

**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

Farklı ap ve aralıklarda tasarlanan donatısız kazıkların sonlu elemanlar yöntemi ile analizlerinin yapılması ve sonuçların karşılaştırılmasının yürütüldüğü bu alışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam süresinde her türlü yardım ve desteği sağlayan tez danışmanım, değerli hocam Doç. Dr. Zekai ANGIN'a,

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

Bu süreçte her daim yanımda olan, desteklerini esirgemeyen ve büyük bir sabır gösteren ailem ve sevgili eşim Burak ŞAHİN'e,

Sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tuğba ARSLAN ŞAHİN

Trabzon,2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Farklı Çap Ve Aralıklarda Tasarlanan Donatısız Kazıkların Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi: Trabzon-Akçaabat Hizmet Binası Örneği” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Zekai ANGIN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri 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. 12/07/2023

Tuğba ARSLAN ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.3. Literatür Özeti.....	2
1.4. Kazıklar.....	5
1.4.1. Taşıma Gücünün Oluşması Açısından Kazıkların Sınıflandırılması.....	7
1.4.1.1. Uç Kazıkları.....	7
1.4.1.2. Sürtünme Kazıkları.....	7
1.4.2. Yapıldıkları Malzemeye Göre Kazıkların Sınıflandırılması.....	8
1.4.2.1. Ahşap Kazıklar.....	8
1.4.2.2. Betonarme Kazıklar.....	9
1.4.2.2.1. Hazır Betonarme Kazıklar.....	9
1.4.2.2.2. Yerinde Oluşturulan Betonarme Kazıklar.....	9
1.4.2.3. Çelik Kazıklar.....	10
1.4.2.4. Kompozit Kazıklar.....	11
1.4.3. Taşıdıkları Yükün Biçimine Göre Kazıkların Sınıflandırılması.....	11
1.4.3.1. Basınç Kazıkları.....	11
1.4.3.2. Çekme Kazıkları.....	11
1.4.3.3. Yanal Yüklenmiş Kazıklar.....	11
1.5. Kazıkların Taşıma Gücünün Belirlenmesi.....	12
1.5.1. Statik Kazık Formülleri ile Taşıma Gücünün Belirlenmesi.....	13

1.5.1.1.	Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Taşıma Gücünün Belirlenmesi.....	15
1.5.1.2.	Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Taşıma Gücünün Belirlenmesi.....	17
1.5.2.	Dinamik Kazık Formülleri ile Taşıma Gücünün Belirlenmesi.....	19
1.5.2.1.	Sanders Dinamik Kazık Formülü.....	20
1.5.2.2.	Engineering News Dinamik Kazık Formülü.....	20
1.5.3.	Kazık Yükleme Deneyi ile Taşıma Gücünün Belirlenmesi.....	21
1.5.3.1.	Statik Yükleme Deneyi.....	21
1.5.3.1.1.	Statik Eksenel Basınç Deneyi.....	21
1.5.3.1.2.	Statik Eksenel Çekme Deneyi.....	22
1.5.3.1.3.	Yanal Yükleme Deneyi.....	23
1.5.3.2.	Dinamik Yükleme Deneyi.....	24
1.5.4.	Arazi Deney Sonuçları ile Taşıma Gücünün Belirlenmesi.....	24
1.5.4.1.	Koni Penetrasyon Deneyi.....	25
1.5.4.2.	Standart Penetrasyon Deneyi.....	27
1.6.	Kazıklarda Negatif Çevre Sürtünmesi.....	28
1.7.	Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	28
1.8.	Zemin Modelleri.....	29
1.8.1.	Lineer Elastik Zemin Modeli.....	29
1.8.2.	Mohr-Coulomb Zemin Modeli.....	30
1.8.3.	Hardening Soil Modeli.....	31
1.8.4.	Hardening Soil With Small-Strain Stiffness Zemin Modeli.....	32
1.8.5.	Hoek-Brown Zemin Modeli.....	34
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	35
2.1.	Çalışma Alanının Tanıtılması.....	35
2.1.1.	Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve İklim Özellikleri.....	37
2.1.2.	Çalışma Alanının Jeolojik Yapısı.....	38
2.1.3.	Çalışma Alanının Depremselliği.....	39
2.2.	Bölgede Yapılan Araştırma Çalışmaları.....	41
2.2.1.	Arazi Deneyleri.....	41
2.2.2.	Laboratuvar Deneyleri	42
2.2.2.1.	Zeminlerin Fiziksel Özellikleri.....	43
2.2.2.1.1.	Elek Analizi Deneyi.....	43
2.2.2.1.2.	Su Muhtevası Deneyi.....	44

2.2.2.1.3.	Doğal Birim Hacim Ağırlık Deneyi.....	45
2.2.2.2.	Zeminlerin Mekanik Özellikleri.....	45
2.2.2.2.1.	Kesme Kutusu Deneyi..	46
2.2.2.2.2.	Kumlu Zeminin Elastisite Modülünün Belirlenmesi.....	47
2.3.	İdealize Zemin Profili.....	47
2.4.	Taşıma Gücünün Hesaplanması.....	49
2.5.	Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analiz.....	50
2.5.1.	Uygulama 1.....	61
2.5.2.	Uygulama 2.....	63
2.5.3.	Uygulama 3.....	65
3.	SONUÇLAR.....	67
4.	KAYNAKLAR.....	69
5.	EKLER.....	71
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

FARKLI ÇAP VE ARALIKLARDA TASARLANAN DONATISIZ KAZIKLARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ: TRABZON-AKÇAABAT HİZMET BİNASI ÖRNEĞİ

Tuğba ARSLAN ŞAHİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zekai ANGIN

2023, 70 Sayfa, 5 Sayfa Ek

Kazıklı temeller, yüzeye yakın zemin tabakalarının taşıma gücü açısından yetersiz olması nedeniyle sığ temel uygulamasının mümkün olmadığı, yapının toplam oturmalara hassas olduğu veya üstyapıdan gelen yükün büyük olduğu durumlarda uygulanırlar. Bu tez kapsamında Trabzon ilinde bulunan örnek bir uygulama incelenmiştir. Hizmet binasının yapılacağı yüzeydeki zeminin taşıma gücü açısından yetersiz olması nedeniyle derin temel çeşidi olan kazık yapımına karar verilmiştir. İnceleme alanının coğrafi konumu, jeolojik yapısı ve depremselliğinden bahsedilip uygulama alanındaki parametreleri elde etmek için arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada, mevcut kazıkların uzunluğu sabit tutularak çap ve aralıklarını değiştirmek suretiyle üç farklı analiz yapılmıştır. Analizler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmış olup analiz sonuçları toplam oturma değeri yönünden karşılaştırılıp yorumlanmıştır. Daha küçük çaplı fakat daha küçük aralıklarla yerleştirilen kazıkların, daha büyük çaplı fakat daha büyük aralıklarla yerleştirilen kazıklara göre daha büyük oturma değeri verdiği ve kazık çapının sabit tutulup kazık aralıklarının artırılmasının toplam oturma miktarını arttırdığı görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda optimum çözümün, uygulaması yapılan projedeki kazık aralığı ve çap değerleri kullanıldığında olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin temel, Kazıklı temel, Oturma, Sonlu Elemanlar Yöntemi

Master Thesis

SUMMARY

ANALYSIS OF UNREINFORCED PILE DESIGNED WITH DIFFERENT DIAMETER AND SPACES BY FINITE ELEMENT METHOD: EXAMPLE OF TRABZON- AKCAABAT SERVICE BUILDING

Tuğba ARSLAN ŞAHİN

Karadeniz Technical University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Civil Engineering Graduate Program

Supervisor: Doç. Dr. Zekai ANGIN

2023, 70 Pages, 5 Addition Pages

Pile foundations are applied in cases where shallow foundation application is not possible due to insufficient bearing capacity of the soil layers near the surface, the structure is sensitive to total settlements or the load from the superstructure is large. Within the scope of this thesis, a sample application in the province of Trabzon has been examined. Since the ground on the surface where the service building will be built is insufficient in terms of bearing capacity, it was decided to construct piles, which is a deep foundation type. The geographical location, geological structure and seismicity of the study area were mentioned and field and laboratory tests were carried out to obtain the parameters in the application area. In this study, three different analyzes were made by changing the diameter and spacing of the existing piles while keeping the length constant. The analyzes were made using the finite element method and the analysis results were compared and interpreted in terms of total settlement value. It has been seen that the smaller diameter but smaller spacing piles give a higher settlement value than the larger diameter but larger spacing piles, and keeping the pile diameter constant and increasing the pile spacing increases the total settlement amount. As a result of the analyzes made, it was determined that the optimum solution was formed when the pile spacing and diameter values in the applied project were used.

Key Words: Deep foundation, Pile foundation, Settlement, Finite Element Method

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Tipik eksenel basınç deney düzeneği kesit görünüşü.....	22
Şekil 1.2. Tipik eksenel çekme deney düzeneği kesit görünüşü.....	23
Şekil 1.3. Tipik yanal yükleme deney düzeneği kesit görünüşü.....	24
Şekil 1.4. Koni penetrasyon deneyinde kullanılan konik uç.....	26
Şekil 1.5. Koni penetrasyon deneyi şematik gösterim.....	27
Şekil 1.6. Lineer elastik malzemenin gerilme (σ)-şekil değiştirme (ϵ) grafiği	30
Şekil 1.7. Elastik-tam plastik malzeme modelinin gerilme etkisiyle şekil değişimi (PLAXİS 2D,2019).....	31
Şekil 1.8. Standart drenajlı üç eksenli deneyde hiperbolik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (Plaxis,2019).....	32
Şekil 1.9. Geoteknik uygulamalar ve deney türleri aralıklarında $G/G_{\max}$ – kayma birim şekil değiştirme ilişkisi (Benz, 2007).....	33
Şekil 1.10. Hoek-Brown yenilme ölçütünün ampirik şekilde gösterimi (Hoek-Brown,1980).....	34
Şekil 2.1. Yer bulduru haritası.....	36
Şekil 2.2. Trabzon ili rüzgâr yönü ve hızı grafiksel gösterimi.....	38
Şekil 2.3. Türkiye ve Trabzon iline ait deprem tehlike haritası (AFAD,2019).....	39
Şekil 2.4. 1881-1986 yılları arasında meydana gelen toplam 53 adet depremin magnitütleri ile deprem oluş sayısının değişimi.....	40
Şekil 2.5. Elek analizi granülometri eğrisi.....	44
Şekil 2.6. Kesme kutusu deneyi grafiği.....	46
Şekil 2.7. İdealize zemin profili.....	48
Şekil 2.8. Model boyutunun seçilmesi.....	51
Şekil 2.9. Zemin katmanları ve yeraltı suyu durumu girilmesi.....	52
Şekil 2.10. Yapay dolgu tabakası parametrelerinin programa tanımlanması.....	53
Şekil 2.11. Çakıl-kum tabakası parametrelerinin programa tanımlanması.....	54
Şekil 2.12. Çakıl-kum tabakası parametrelerinin programa tanımlanması.....	55
Şekil 2.13. Şevli kazının temel kazısı yapımının gösterilmesi.....	56
Şekil 2.14. Kazıkların programa tanımlanması.....	56

Şekil 2.15.	Kazık parametrelerinin programa tanımlanması.....	57
Şekil 2.16.	Radye temel in programa tanımlanması.....	58
Şekil 2.17.	Radye temel parametrelerinin programa tanımlanması.....	59
Şekil 2.18.	Yapı modellemesi.....	60
Şekil 2.19.	Mesh işleminin yapılması.....	60
Şekil 2.20.	Proje genel gösterimi.....	61
Şekil 2.21.	Toplam oturma değeri (0.08012 m).....	62
Şekil 2.22.	Güvenlik sayısı (3.619).....	62
Şekil 2.23.	Proje genel gösterimi.....	63
Şekil 2.24.	Toplam oturma değeri (0.06161 m).....	64
Şekil 2.25.	Güvenlik sayısı (3.629).....	64
Şekil 2.26.	Proje genel gösterimi.....	65
Şekil 2.27.	Toplam oturma değeri (0.04536 m).....	66
Şekil 2.28.	Güvenlik sayısı (4.053).....	66

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Bazı kazık tipleri için K_s değerleri (Meyerhof, 1976).....	17
Tablo 1.2. Adezyon katsayıları (Birand,2001).....	19
Tablo 2.1. Trabzon iline ait meteorolojik veriler.....	37
Tablo 2.2. Sondaj noktaları koordinatları ve denizden yükseklikleri.....	38
Tablo 2.3. Sondaj kuyularından elde edilen veriler.....	39
Tablo 2.4. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY,2018).....	41
Tablo 2.5. Standart penetrasyon deneyinden elde edilen veriler.....	42
Tablo 2.6. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sembolleri (USCS).....	43
Tablo 2.7. USCS'ye göre zemin sınıflandırması.....	44
Tablo 2.8. Su muhtevası deney sonuçları.....	45
Tablo 2.9. Doğal birim hacim ağırlık deneyi sonuçları.....	45
Tablo 2.10. Kesme kutusu deneyi sonuçları.....	46
Tablo 2.11. Terzaghi taşıma gücü hesabı.....	50

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a_i	: Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının adezyon katsayısı
A_u	: Kazığın zeminle temas eden uç kesit alanı
$A_{uç}$	: Kazığın taban alanı
$A_{uç (koni)}$	: Koni uç alanı
A_s	: Kazığın zeminle temas eden toplam çevre alanı
A_{yan}	: Kazığın yan yüzeyinin alanı
$A_{yan (koni)}$	: Koni yan alanı
B	: Temel genişliği (m)
c	: Kohezyon
c_i	: Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının drenajsız kayma direnci
C	: Enerji kayıplarını ifade eden sabit sayı
$(c_u)_{30}$	: Üst 30 metredeki ortalama drenajsız kayma dayanımı
D	: Kazık çapı
D_f	: Temel derinliği
E	: Elastisite modülü
f_s	: Kazık birim çevre alanına etkileyen sürtünme gerilmesi
f_{si}	: i tabakası için kazık yan yüzünde, kazıkla zemin arasındaki yan sürtünme gerilmesi
f_{sort}	: Koni yan sürtünmesi
f_{yan}	: Kazık yan yüzünde, kazıkla zemin arasındaki yan sürtünme gerilmesi
G	: Kayma modülü
G_{max}	: Maksimum kayma modülü
G_s	: Güvenlik katsayısı
h	: Tokmağın düştüğü yükseklik
I_r	: Rijitlik faktörü
K_s	: Toprak basıncı sabiti
K_1 ve K_2	: Temel tabanı şekline bağlı katsayılar
L	: Çevre sürtünmesinin etkin olduğu kabul edilen kazık boyu
N_c, N_y, N_q	: Zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak değişen boyutsuz taşıma gücü katsayıları

p	: Kazık çevresi
s	: Kazığın zemine girdiği miktar
SK-1	: 1. Sondaj kuyusu
SK-2	: 2. Sondaj kuyusu
SPT-N	: Standart penetrasyon sayısı
$\tau_{\max}$	: Maksimum kesme gerilmesi
q_{cort}	: Koni uç direnci
q_{emin}	: Emniyetli taşıma gücü
$q_{\text{uç}}$	: Kazık ucundaki gerilme değeri
q_s	: Sınır taşıma gücü
q_{yan}	: Kazığın yan yüzeyindeki sürtünme gerilmesi
Q	: Kazığın toplam taşıma gücü
Q_F	: Kazığın nihai taşıma gücü
Q_s	: Çevre sürtünmesi
$Q_{\text{sınır}}$	: Kazığın toplam sınır taşıma gücü
$Q_{\text{uç}}$	: Kazığın uç alanındaki taşıma gücü
Q_{yan}	: Kazığın yan alanlardaki taşıma gücü
W_t	: Tokmağın ağırlığı
π	: Pi sayısı
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
σ'_h	: Efektif normal gerilme
σ_n	: Normal gerilme
σ'_v	: Kazık uç noktasındaki efektif gerilme
δ	: Kazık – zemin arasındaki sürtünme açısı
$\sum_{L=0}^{L=L} \sigma'_{vl} \Delta L$	: L boyunca oluşan toplam düşey efektif gerilme
ΔL	: i tabakasından geçen kazık boyu
ν	: Poisson oranı
ε	: Toplam deformasyon
ε_e	: Elastik deformasyon
ε_p	: Plastik deformasyon
$\emptyset$	: Kayma mukavemeti açısı
Ψ	: Dilatasyon açısı
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnşaat sektörünün her geçen gün ilerlemesi ve yapıların artması ile yapı ağırlıkları da artmaya başlamıştır. Buna bağlı olarak yapıların yumuşak zeminlerde inşa edilmesi sonucu, taşıma gücü ve oturma problemleri meydana gelmektedir. Bu tür zeminlerde, zemin iyileştirmesi yapımından kaçınılması durumunda, kaymaların, göçmelerin ve yüksek deformasyonların oluşması kaçınılmazdır. Bazı yapı yüklerinin fazla olması veya yüzeydeki zeminin, yapıyı taşıyabilecek kadar elverişli olmaması durumlarında sığ temeller yetersiz kalmıştır ve derin temel yapımı başlanmıştır. Derin temel çeşitlerinden biri olan kazıklı temel, uygulamada en çok kullanılan temel türüdür.

Kazıklı temeller, yüzeye yakın zemin tabakalarının taşıma gücünün düşük olması nedeniyle sığ temel uygulamasının mümkün olmadığı, yapının toplam ve farklı oturmalara hassas olduğu, üstyapıdan gelen yükün büyük olduğu ve zeminin üst tabakalarında sıvılaşma olabileceği durumlarda uygulanırlar (Toğrul, Tan, 2003). Kazıklar; üst yapıdan gelen yükü, zayıf sıkıştırılabilir tabakalar veya su aracılığıyla, daha sert ve daha az sıkıştırılabilir topraklara veya kayaya aktarma işlevine sahip bir temeldeki sütunlu elemanlardır (Tomlinson, 1994).

Kazıklar, yapıdan gelen yükleri zemine aktaracak şekilde temel olarak kullanılabilirler gibi, yan yana sıralanıp, gerekirse ankraj elemanları ile desteklenerek dayanım yapısı olarak da kullanılabilirler.

Kazık türlerinin arasında uygulamada en çok kullanılan fore kazıklardır. Donatılı veya donatısız olarak imal edilebilen ve yerinde imal edilen bu betonarme kazıklar, çeşitli delme yöntemleri kullanılarak ya da zemine bir boru çakılarak elde edilen bir boşluğun içerisine donatı koyularak veya koyulmadan beton ile doldurulması ile oluşturulurlar. Fore kazığın donatısız imal edilebilmesi için gerekli analizlerin yapılmış olması ve yapıdan gelen yükü doğru bir şekilde sağlam zemine aktarabiliyor olması gerekir. En büyük avantajı ise ekonomik olmasıdır.

Fore kazıklar; yapılacak olan yapıya, zemin durumuna, yeraltı suyu durumuna ve yapıdan gelen yükün büyüklüğüne göre, mühendisler tarafından çeşitli çap, aralık ve uzunluklarda projelendirilirler.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışması, Trabzon ili, Akçaabat ilçesinde yapılacak olan 6 katlı bir hizmet binasına ait çalışmaları kapsamaktadır. Projenin yapılacağı yüzeysel zeminin yeterli taşıma gücüne sahip olmadığı anlaşıp derin temel kullanımına karar verilmiştir. Bu proje kapsamında 12.0 metre uzunluğunda, 65.0 cm çaplı kazıklar 2.0 metre aralıklarla, toplamda 710 adet olacak şekilde donatısız olarak imal edilmiştir. Hazırlanan tez çalışması kapsamında PLAXİS 2D Foundation Sonlu Elemanlar Programı kullanılarak, mevcut zeminde farklı çap ve aralıklarda kazık kullanımında, güvenlik sayısının ve oturmaların nasıl bir değişim gösterebileceği incelenmiştir ve sonuçlar analiz edilip karşılaştırılmıştır.

1.3. Literatür Özeti

Çanakçı ve Hamed (2017) çalışmasında, kazığın malzeme cinsine göre, oturma davranışındaki değişimini gözlemlemiştir. Bu çalışma sonucuna göre pürüzlü beton kazıkların toplam taşıma gücü değerinin; ahşap, çelik ve pürüzsüz beton kazıklara göre sırası ile 2.3, 2 ve 1.3 kat daha fazla olduğu görülmüştür.

Yeğit (2017) çalışmasında, farklı çapta, derinlikte ve sayıdaki kazıkların grup davranışlarını incelemiş olup bazı sonuçlara ulaşmıştır. 60.0, 80.0 ve 100.0 cm çaplarında 9 farklı kazık grubunu incelemiş olup; uzunluk sabit iken büyük çaptaki kazıklar kullanıldığında, kazıklardaki oturma değeri artarken, küçük çaptaki kazıklar kullanıldığında, kazık sayısının çok olması sebebiyle kazık grubundaki verimliliğin düştüğünü; tasarımın ekonomik olup olmadığı incelendiğinde, en yüksek kazık maliyetlerinin düşük çaptaki kazıkların kullanılmasıyla ortaya çıktığını, en düşük kazık maliyetinin 60.0 cm çap ve 15.0 m derinlikteki kazık tasarımında görüldüğünü, en yüksek maliyetin 1.0 m çapındaki kazık gruplarında görüldüğünü; kazık oturmalarının kıyaslanmasında, 20.0 m derinliğindeki 100.0 cm'lik kazıklarda oturma miktarının daha az olduğunu, kazık grup davranışında, en elverişli sonuçların 80.0 cm çap ile 15.0 m ve 20.0 m derinliğindeki kazık gruplarında görüldüğünü, kazık grubunun en verimli olduğu durumun 80.0 cm çap ile 20.0 m derinlikte olduğunu, incelenen her durumda da 10.0 m derinliğindeki kazık gruplarının, kazık grubundaki kazık sayısının fazla oluşundan dolayı verimi düşürdüğünü göstermiştir.

Ertuğrul ve Özkan (2006), özellikle kayma modülleri arasında belirgin bir fark olan zeminlerdeki kazıklı temellerin deprem yükleri altındaki davranışlarını incelemiştir. Bu

çalışmada kazıklarda meydana gelen gerilmelerin, diğer etkenler aynı kalırken, zemin şartlarının farklı olduğu durumlarda nasıl değişim olduğuna bakılmıştır. Sonuç olarak zemin tabakasının etkisinin çok belirgin olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, elverişsiz zemin koşullarındaki kazıklarda, zeminin deformasyon davranışının etkilerini mutlaka dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

Tolun ve Laman (2016), çalışmalarında kazık taşıma gücünü bilgisayar yazılımları yardımı ve teorik yöntemler ile hesaplamışlardır. Çalışmalarında kum zemine gömülü, 1.0 cm çapında ve 20.0 cm boyunda model deney düzeneği ile dairesel bir kazığın taşıma gücü araştırılarak, kazık çapının ve boyunun taşıma gücü değeri üzerinde nasıl bir değişiklik yaptığını gözlemlemişlerdir. Çalışma kapsamında Plaxis 2D ve Geo5 bilgisayar yazılımları kullanılmış olup, teorik kısım için Vesic, Hansen, Terzaghi ve Janbu yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış olup, Vesic yönteminin en yüksek, Plaxis 2D yazılımının ise en düşük taşıma gücü değeri verdiği görülmüştür.

Salim ve Abdulrazzaq (2017), çalışmalarında farklı çap ve uzunluk değerlerinde kazıklar için tasarım yapmış olup sonuçları kıyaslamışlardır. Yapılan çalışma tek bir zemin profili için yapılmış olup çeşitli çap ve uzunluklardaki kazıkların nihai taşıma güçleri ampirik ve nümerik metotlar yardımı ile hesaplanarak karşılaştırma yapılmıştır. Analizlerde kullanılan kazık çapları, 0.6, 0.8, 1.0 ve 1.2 m olup kazık boyları ise 16.0, 18.0, 20.0 ve 22.0 m'dir. Farklı çap ve boylardaki kazıklar için hesaplanan taşıma gücü değerleri yüzdelik farklar ile belirlenmiştir.

Kabaca (2018) yaptığı çalışmada kazıkların taşıma gücü ve meydana gelen oturmaları belirlemek için kullanılan teorik, ampirik yöntemler ve kazık yükleme deney yöntemine, sonlu eleman yöntemini de ilave edip, tüm bu yöntemler vasıtasıyla sekiz farklı kazık yükleme deneyi yaparak, kazıkların taşıma kapasitelerini ve oturma değerlerini karşılaştırmıştır. Analizler sonucunda elde edilen oturma değerlerinin her yöntem için ortalaması alınmış olup, kazık yükleme deneyinden alınan oturma miktarına en yakın sonucun sonlu elemanlar yönteminden geldiği görülmüştür.

Ateş ve Toplu (2022) çalışmalarında kazık mesafe değişiminin kazık tasarımına etkisini incelemişlerdir. İlk durumda 120 cm çaplı ve 19 m boyundaki toplam 120 adet kazığı, 2.5 m aralıklar ile yerleştirip, 65 cm kalınlığında radye temel kullanımı durumunu incelemiş olup ikinci durumda, kazık çapında değişim yapmayarak yine 120 cm çaplı ve 25 m boyundaki toplam 66 adet kazığı, 3.5 m aralıklar ile yerleştirip, 60 cm kalınlığında radye temel kullanım durumunu incelemişlerdir. Fore kazık kullanılan temellerde, kazık çaplarının

aynı kalması kaydıyla kazıkların arasındaki uzaklık değiştirildiğinde kazıkların boylarında değişim olduğu anlaşılmış olup kazık aralığının artışına göre, kazık çapını ya da kazık boyunun arttırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bozkurt ve Demiröz (2020) çalışmalarında kazık uzunluğu, kazık çapı ve kazık sayısının kazıklı radye temellerdeki oturma davranışını nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Geliştirilmiş örnek bir matematik model oluşturarak, boyutlara bağlı değişiklik gösteren oturma ve farklı oturma değerlerini araştırmışlardır. Ayrıca kazık sayısı ve kazık yerinin oturma değerine etkisini de incelemişlerdir. Araştırmalarının sonucunda kazık uzunluğu arttıkça taşıma gücünün arttığını ve oturmanın azaldığını; dolayısıyla bu durumun optimum çözümü verdiğini, optimum çözümün, oturma değerlerinin belirgin farklılıklar göstermediği kazık sayısında elde edildiğini, kazık çapının arttırılmasıyla farklı oturma değerinin azaldığını, radye temelin kalınlığının arttırılmasının, uygulanan Randolph yönteminde belirgin bir etkisinin olmadığını, kazık sayısının arttırılmasıyla kazıkların birbirleriyle etkileşiminin arttığını, bununla birlikte belli bir değerden sonra oturma üzerinde sabit bir etki oluşturduğunu görmüşlerdir.

Terzaghi ve Peck (1968) kazıkların merkezleri arasındaki uzaklığın, kazık çapının yaklaşık 2.5 ila 4 katı arasında olması gerektiğini savunmuşlardır.

Afacan (2007) sonlu elemanlar yöntemi kullanarak perde kazık modellemesi yapmış olup çalışmasında farklı kazık çapları ve farklı kazık aralıkları kullanarak karşılaştırmalı analiz yapmıştır. Çalışma sonucunda kumlu zeminler için perde kazıklarda eksenler arası mesafenin sırasıyla D (teğet), 1.5D, 2D, 2.5D, 3D modellenmesi sonucu tek kazık taşıma gücüne göre 1000 mm çaplı kazıklar için %29,18, %43,27, %56,45, %65,44, %71,87 oranlarda taşıma gücüne sahip olduğu görüldü. Başka bir deyişle 1000 mm çaplı kazıklar için tekil kazığa göre D aralıklarla yerleştirildiğinde %70,82, 1.5D aralıklarla yerleştirildiğinde %56,73, 2D aralıklarla yerleştirildiğinde %43,55, 2.5D aralıkla yerleştirildiğinde %34,56, 3D aralıkla yerleştirildiğinde %28,13 taşıma kaybına uğradığı görülmüştür.

Vu (2014) farklı kazık parametrelerine sahip kazıklı radye temeller üzerine nümerik analizler yapmıştır. Nümerik analizlerinde sonlu elemanlar yöntemini kullanarak kazık sayısının, kazık uzunluğunun, kazık boyunun, kazık çapının ve kazık yerleşim düzeninin kazıklı radye temellerin davranışı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Nümerik analizlerden söz konusu parametrelerin, kazıklı radye temel davranışında önemli etkilere sahip olduğunu belirlenmiştir.

1.4. Kazıklar

Günümüzde bir yapı inşa edilmeden önce birçok analiz yapılmaktadır. Bunların en başında zemin etüt analizleri gelir, sonrasında da gerek bilgisayar programlarıyla gerekse mühendislik tecrübesiyle yapının hangi zemin ortamına yapılacağı veya yapının zemine nasıl daha iyi taşıttırılabilceğı anlaşılabılır. Fakat eski çağlarda bu yapım yöntemleri ve teknoloji gelişmeden önce, bir yapının inşa edilebileceğı en elverişli zeminin kaya olduğı düşünülürdü. Bu sebeple ağır yapı temelleri ana kayaya indirilmeye çalışılırdı veya sağlam zemine ulaşabilmek amacıyla derin temel çukurları açmaya çalışılırdı.

Ahşap kazıklar tarih boyunca bilinen en eski kazık türüdür. Bundan tam 12000 yıl öncesinde bile insanların göllerin ortasına ahşap kazık çakarak barınak yaptığı bilinmektedir. Eski çağlarda bile göllerin veya nehirlerin kenarlarında sellerden korunmak için kazık kullanılarak yapılmış barınakların olduğı bilinmektedir. Mühendislik alanında diğerk toplumlara göre çok gelişme gösteren Roma İmparatorluğunda köprü yapımında kazıkların kullanıldığđı bilinmektedir. Günümüzde İstanbul Yeni Camii temelinde yapılmış olan araştırmalarda Osmanlı İmparatorluğunun kısa kazıklar kullandığđı görölmüşür. Günümüzde en eski camilerden biri olan Nur-u Osmaniye Camii'nde 8.5 metreye inen temel zemini araştırmaları yapılarak Türkiye'nin ilk fore kazık uygulaması yapıldığđı görölmüşür.

Kazıkların yapımları sanayi devrimi sırasında çok büyük gelişme göstermiştir. Özellikle de kazık imalatında kullanılan malzemeler geliştirilmiştir. 1890'larda ahşap kazıklar yerine çelik veya içerisine donatı yerleştirilmiş beton kazıklar kullanılmaya başlanmış ve böylelikle ahşap kazıklara göre daha çok mukavemet sahibi kazıkların oluşturulması sağlanmışır. Geliştirilen ve güçlendirilen bu yöntemler ve malzemeler, günümüzde büyük ve devasa yapıların yapımına imkân tanımıştır. Günümüzde oldukça elverişsiz zemin türlerinde bile imalatı yapılan kazıklı temellerin büyük yükleri taşıma gücüne sahip olmalarıyla birlikte bunun en büyük örneğı olarak denizlere yapılan petrol istasyonları verilebilir. Rüzgâr, dalga, deprem gibi birçok başka etkene de karşı koymakta olan bu kazıklar, üç metreye kadar çapa sahip olabilirler. Günümüzde de çelik kazıklar büyük ve güçlü ölkeler başta olmak üzere birçok ölkede kullanımı yaygındır. Betonarme kazıklar ise önceleri hazır yapılp çakılırken, sonrasında yerinde dökme olacak şekilde de imal edilmiştir.

Bir yapı, oturma koşulları veya taşıma gücü açısından bir zemine taşıttırılmaz ise derin temel kullanımı tercih edilir (Uzuner, 2006). Derin temel yapılması gereken bu

zeminler, üzerine yapı yapılması açısından; taşıma güçleri düşük olması ve fazla oturma yapıları sebebiyle elverişli değildir. Aynı zamanda suya doygun gevşek taneli zeminlerde dinamik yükler sebebiyle sıvılaşma meydana gelebilir. Sıvılaşma, boşluk suyu basıncının artıp zeminin bir sıvı gibi davranmasıdır. Sıvılaşma gerçekleşmiş zeminlerin taşıma gücü çok düşüktür veya sıfıra yakındır. Böyle bir durumla karşılaşan mühendisin yapması gereken ilk şey zemini iyileştirmektir. Zemin iyileştirmesinin çeşitli yöntemleri olmakla beraber bunlardan bir tanesi derin temel yapımıdır.

Derin temeller; yapı yüklerini, derinlerdeki tabakalara aktaran temellerdir. Derin temellerin arasında en bilinen ve en yaygın olanı kazıklı temellerdir (Uzuner, 2006). Günümüzde geoteknik mühendisliğinde; zeminin taşıma kapasitesinin artırılmasında, kazıların yanal yüklere karşı desteklenmesinde, şevlerde stabilite sağlanmasında ve daha birçok alanda kazıklar kullanılmaktadırlar.

Kazıklar; beton, çelik veya ahşaptan imal edilen yapı elemanlarıdır. Kazıklar, yüzeysel temellere göre daha derinde bulunan ve maliyeti daha yüksek olan kazıklı temellerin imalatında kullanılırlar (Das 2007). Kazıklı temellerde üstyapıdan gelen yükün aktarımı, kazığın çevresiyle veya ucuyla; elverişsiz zemin tabakasını geçip, sağlam tabakaya kadar olmaktadır.

Yeterli taşıma gücüne sahip zemin tabakasının derinde olması, yüzeyde bulunan zeminin tabakalarının çok yumuşak veya gevşek olması, yapının oluşturulacağı alandaki zemin katmanlarının belirgin farklılıklar göstermesi, zemin yüzeyinin fazla eğimli olması, özellikleri nedeniyle fazla oturma yapabilecek zemin olması durumlarında kazık imalatı tercih edilir.

Kazık kullanılmasının amaçları; üst yapıdan gelen yükleri sağlam tabakaya iletmek, su seviyesinin altındaki temellerin kabarmasını engellemek, elverişsiz zemin ortamını iyileştirmek, sıkışabilir zeminlerde temelin fazla oturma yapmasını engellemek olarak sıralanabilir (Bowles, 1982).

Kazıklar; taşıma gücünün oluşma biçimine, üretildikleri malzeme türüne ve taşıdıkları yükün biçimine göre sınıflandırılırlar.

1.4.1. Taşıma Gücünün Oluşması Açısından Kazıkların Sınıflandırılması

Kazıklar, yapıdan gelen yükü sağlam zemin veya kayaya aktaracak şekilde veya çevresindeki elverişsiz zemini sürtünme ve uç direnci vasıtasıyla daha verimli kullanabilecek şekilde tasarlanır. Kazıklarda taşıma gücü oluşumu, bazı kazıkların taşıma gücünü uç alanlardaki basınçlardan almasıyla, bazı kazıkların ise uç alanlardaki basınçlara ilave olarak yan yüzeylerdeki sürtünme gerilmelerinden alması olarak iki farklı şekilde oluşur.

1.4.1.1. Uç Kazıkları

Uç kazıkları, taşıma gücü düşük olan zemini geçerek yükü, daha derindeki sağlam zemine aktarırlar. Bu kazıkların taşıma gücü, kazığın uç alanındaki basınçtan oluşur ve çevre sürtünmesinin etkisi göz önüne alınmaz (Uzuner, 2006) Uç kazıklarının taşıma gücü hesabı Bağıntı 1.1’de gösterilmiştir.

$$Q = Q_{uç} = q_{uç} \times A_{uç} \quad (1.1)$$

Burada;

Q yani $Q_{uç}$: Kazığın toplam taşıma gücünü (kN),

$q_{uç}$: Kazık ucundaki gerilme değerini (kN/m²),

$A_{uç}$: Kazığın taban alanını (m²) ifade eder.

1.4.1.2. Sürtünme Kazıkları

Sürtünme kazıklarında taşıma gücü, hem uç alanlardaki basınçlardan hem de yan yüzeylerdeki sürtünme gerilmelerinden oluşur (Bağıntı 1.2). Çevre sürtünmesi yukarı doğru etkir ve pozitifdir. Fakat bir kazık zeminden çıkarılmak istendiğinde, çevre sürtünmesinden oluşan negatif bir dirençle karşılaşılır. Kazığın çevresindeki zeminin konsolidasyonu veya

sıkışması, zeminin kazıktan daha fazla oturmasına sebep olabilir. Böyle durumlarda kazığa negatif çevre sürtünmesi etkir.

$$Q = Q_{uç} + Q_{yan} = q_{uç} \times A_{uç} + q_{yan} \times A_{yan} \quad (1.2)$$

Burada;

Q : Kazığın toplam taşıma gücünü (kN),

$Q_{uç}$: Kazığın uç alanındaki taşıma gücünü (kN),

Q_{yan} : Kazığın yan alanlardaki taşıma gücünü (kN),

$q_{uç}$: Kazığın uç alanındaki basıncı (kN/m²),

$A_{uç}$: Kazığın taban alanını (m²),

q_{yan} : Kazığın yan yüzeyindeki sürtünme gerilmesini (kN/m²),

A_{yan} : Kazığın yan yüzeyinin alanını (m²) ifade eder.

1.4.2. Yapıldıkları Malzemeye Göre Kazıkların Sınıflandırılması

1.4.2.1. Ahşap Kazıklar

En eski kazıkların ahşap kullanılarak silindirik, kare veya dikdörtgen kesitli yapıldığı bilinmektedir. Bu tür kazıklar hazır üretilirler ve zemine çakılarak yerleştirilirler. Maksimum çakma boyu 30-35 m'dir. Ahşap kazıklar çok büyük olmayan veya geçici işlerde ve taşlı, çakıllı veya sert olmayan zeminlerde kullanılırlar. Hafif olmaları, uygulama esnasında, boyunda değişiklik yapılabilmesi en büyük avantajlarındandır. Ahşabın çürüme ihtimali ve çeşitli böcekler tarafından kemirilmesi de dezavantajlarındandır. Ahşap kazıkların zemin yüzeyi ile iki metrelik derinlik arasındaki kısımları, yeraltı suyunun yükselip alçalmasıyla birlikte sürekli olarak ıslanma ve kurumaya maruz kalması sebebiyle çürüme ihtimalinin en fazla olduğu kısımlarıdır. Ahşap kazıkların başlarının ve uçlarının zemine çakılma esnasında zarar görmesini engellemek için başlık kullanılmalıdır.

Ahşap kazıkların 4.0 ila 6.0 N/mm² değerleri arasında basınç gerilmesi taşıdığı kabul edilmektedir (Toğrol ve Tan, 2009).

1.4.2.2. Betonarme Kazıklar

Betonarme kazıklar günümüzde en çok kullanılan kazık tiplerindendir. Kazığın imal edilme ve zemine yerleştirilme biçimine göre hazır betonarme kazıklar ve yerinde oluşturulan betonarme kazıklar olarak ikiye ayrılımlarıyla birlikte istenilen boylarda imalat yapılabiliyor olması ve yeraltı suyunun korozyon etkisine karşı dirayetli olmaları nedeniyle genelde tercih edilirler.

1.4.2.2.1. Hazır Betonarme Kazıklar

Hazır betonarme kazıklar, prekast kazıklar veya çakma kazıklar diye de bilinirler. Şantiye veya prefabrik üretim yerlerinde, istenilen çapta, uzunlukta ve mukavemette üretilirler. Üretilen kazıklar çakılacağı zemin bölgesine taşınırlar ve zemine çakılarak yerleştirilirler. Bu kazıkların kesitleri kare, dikdörtgen veya sekizgen olabilir. Zemine çakılarak yerleştirildiğinden dolayı zemini sıkıştırırlar. Hazır betonarme kazıklar, kaldırılırken, taşınırken ve zemine çakılırken araç gereç ihtiyacı çoktur. Çakma esnasında gürültü ve titreşim oluşur. Ayrıca komşu yapılarda, taneli zeminlerde oturmalar ve hasarlara neden olabilirler.

Betonarme kazıklar, kaldırma ve çakma işlemi sırasında eğilme etkisinde kalırlar. Bu sebeple kazıkların içine, etriyeler ve boyuna donatılar koyulur. Kazıkların kaldırılıp taşınması sırasında oluşacak eğilme momentlerine karşı gereken dayanımı sağlayabilmek için ön germe işlemi uygulanabilir.

1.4.2.2.2. Yerinde Oluşturulan Betonarme Kazıklar

Yerinde oluşturulan betonarme kazıklar, genel anlamıyla zeminde oluşturulan silindirik bir boşluğa, donatı koyularak veya donatı koyulmadan; bu boşluğun betonla doldurulması ile oluşturulurlar. Yerinde oluşturulan betonarme kazıkların en bilinen örneği fore kazıklardır. Fore kazıklar; delme kazıklar veya sondaj kazıkları olarak da bilinirler. Fore

kazıklar ülkemizde en çok tercih edilen kazık türlerindendir. Bunun en önemli sebepleri hemen hemen bütün zeminlere uygulanabiliyor olması, imalatının zor olmaması ve sondaj esnasında kazık kesiti boyunca zemin profilinin öğrenilebilir olmasıdır. Fore kazıklar, taşıma gücü zayıf olan zemin türlerinde, yapıdan zemine gelecek yükleri sağlam zeminlere aktarmak amaçlı yapılırlar. Kazık imalatı yapılmadan önce, üzerine kazık gelecek olan zeminin zemin etüt raporu alınmalıdır. Zeminin özellikleri ve yeraltı suyu durumu dikkatlice incelenmelidir.

Fore kazıklar bazı durumlarda donatısız olarak imal edilirler. Yapı yükü ve zemin durumu dikkate alınarak gerekli analizler yapıldığında, donatısız kazıkların yapıdan gelen yükü zemine aktarabildiği görülürse kazıklar donatısız imal edilebilirler.

Donatısız fore kazığın oluşturulması için önce zemine ucu açık bir kaplama borusu indirilir. Ucu açık kaplama boruları, zemine özel kova veya kepçelerle indirilirler. Bu özel kovalar silindirik biçimlidirler. Yüksekten düşürülerek zemine indirilirler. Sonrasında yukarı çekilip içleri boşaltılır. İstenilen derinliğe kadar boşaltıldıktan sonra ise betonlama yapılır. Betonlama esnasında kaplama borusu yukarı çekilir veya olduğu yerde bırakılabilir. Kaplama boruları, muhafaza borusu olarak da bilinen, zemine boşluk açarken yan yüzleri tutarak zeminin içe doğru göçmesini engelleyen borulardır. Kaplama boruları 1-2 mm kalınlığında çelik sac veya ince beton borulardır. Belli boylarda hazırlanan çelik borular birbirlerine kaynakla eklenilir, istenildiğinde de kaynakla birbirinden ayrılır. Çelik borular beton dökümü esnasında yukarı çekilip çıkartılabilir ve daha sonra başka işlerde tekrar kullanılabilir. Bu şekilde üretilen kazıklar yerinde kaplama borulu veya kaplama borusuz olarak kalabilirler. Betonlama işlemi, boşluğun dibine gönderilen bir hortum ile beton gönderilmesi ile gerçekleşir. Betonun yüksekten gönderilmesi tercih edilmez. Aksi takdirde beton ayrışır. Beton dökümü esnasında kaplama borusunun tamamı çekilmez, bir kısmı hala içeride bırakılır. Bunun sebebi yan zeminin betonun üzerine doğru eğilip betonu kapatmasını önlemektir. Yeraltı suyu durumu varsa kaplama borusu içeride bırakılır.

1.4.2.3.Çelik Kazıklar

Çelik kazıklar değişken şekillere ve boyutlara sahip, silindirik, konik uçlu ve H-profil gibi kazıklardır. Zemine çakılarak yerleştirilirler. Birçok zemin için uygundur. En büyük avantajları kolayca kesilir veya ekleme yapılabilirler. Uzunlukları 70.0 metreye kadar çıkabilir.

1.4.2.4.Kompozit Kazıklar

Kompozit kazıklar, ahşap ve betonarme, ahşap ve çelik, çelik ve beton şeklinde kompozisyonları bulunan, genelde iki farklı yapı malzemesinden oluşup tek kazık görevi gören kazıklardır.

Kompozit kazıklara, yeraltı suyu altındaki kısmı ahşap, üstü betonarme olan kazıklar örnek verilebilir. Bilindiği gibi ahşap devamlı su altında uzun ömürlüdür. (Uzuner,2006)

Kompozit kazıklar deniz yapılarında inşa edilirken, denizin bozucu etkisi sebebiyle üst tarafta hazır beton kazık ile zemin içerisinde çelik kazık kombinasyonu olacak şekilde imal edilebilirler. Diğer kazık türleriyle kıyaslandığında, kompozit kazıklar ekonomik ve yaygın değildir (Tomlinson, 2008).

1.4.3. Taşıdıkları Yükün Biçimine Göre Kazıkların Sınıflandırılması

1.4.3.1. Basınç Kazıkları

Basınç kazıklarının asıl amacı zemini iyileştirmektir. Zemin, basınç kazıkları ile sıkıştırılarak, daha elverişli hale getirilir. Özellikle granüler zeminlerde uygulamak daha uygundur.

1.4.3.2. Çekme Kazıkları

Üst yapıya etki eden kuvvetler sebebiyle temelde döndürme etkisi oluşması veya suyun kaldırma kuvveti etkisi nedeniyle temellerin çekmeye maruz kalması, çekme kazığı kullanılmasına sebep olur.

Özellikle yüksek yapılarda rüzgar ve deprem etkilerine karşı veya deniz yapılarında suyun kaldırma kuvvetine karşı çekme etkisi karşılanabilsin diye bu kazıklar yerleştirilebilir.

1.4.3.3. Yanal Yüklenmiş Kazıklar

Yanal yüklenmiş kazıklar, yatay kuvvetlere karşı koymak için yapılan ve genellikle gemilerin iskeleye çarpması, yüksek dalga kuvvetleri ve palplanş perdeleri belirlemek gibi

durumlarda kullanılan kazıklardır. Boşluklu ve düşük dayanımlı granüler zeminlerde üst yapıya etki eden yükleri, yanal basınçları ve kaldırma kuvvetlerini daha derindeki kaya tabakalara aktarma görevi üstlenirler.

1.5. Kazıkların Taşıma Gücünün Belirlenmesi

Kazıklar genellikle kazık grubu şeklinde tasarlanırlar. Bu nedenle kazık grubunun taşıma gücü belirlenirken tekil kazığın taşıma gücünün bilinmesi gerekir.

Derin temellerde taşıma gücü hesabı yapılırken temelin yan yüzeylerindeki sürtünmenin de hesaba katılması, derin temelleri sıg temellerden ayıran en büyük farktır. (Toğrol ve Tan, 2003). Kazığın taşıdığı yük, kazık tabanının uç direnci (Q_u) ve kazığın yan yüzeylerinde zemin ve kazık arasında oluşan sürtünme direnci (Q_s) ile oluşur (Bağıntı 1.3.).

$$Q_F = Q_u + Q_s = q_u A_u + f_s A_s \quad (1.3)$$

Burada;

Q_F : Kazığın nihai taşıma gücünü (kN),

Q_u : Kazık uç direncini (kN),

Q_s : Çevre sürtünmesini (kN),

q_u : Uç gerilmesini (kN/m²),

A_u : Kazığın zeminle temas eden uç kesit alanını (m²),

f_s : Kazık birim çevre alanına etkileyen sürtünme gerilmesini (kN/m²),

A_s : Kazığın zeminle temas eden toplam çevre alanını (m²) ifade eder.

Tekil kazığın düşey yükler altında taşıma gücünün belirlenmesinde statik kazık formüllerinden, dinamik kazık formüllerinden, kazık yükleme deneyinden ve arazi deney sonuçlarından faydalanılır (Toğrol ve Tan, 2009)

1.5.1. Statik Kazık Formülleri ile Taşıma Gücünün Belirlenmesi

Kazığın oturduğu tabakaların zemin özelliklerinden faydalanarak kazık taşıma gücünün belirlenmesine yardımcı olan ifadeler statik formüller denir. Çakma kazıkların taşıma gücü, zeminin ve kazığın özelliklerine bakılarak hesaplanabilir.

En genel haliyle bir sürtünme kazığının toplam taşıma gücü Bağıntı 1.4.'te verilmiştir.

$$Q_{\text{sınır}} = Q_{\text{uç}} + Q_{\text{yan}} = q_{\text{uç}} A_{\text{uç}} + f_{\text{yan}} A_{\text{yan}} \quad (1.4.)$$

Burada;

$Q_{\text{sınır}}$: Azami kazık taşıma kapasitesini,

$Q_{\text{uç}}$: Kazık uç direncini (Bağıntı 1.7)

Q_{yan} : Kazık yan yüzünde, yukarıya doğru etkiyen sürtünme gerilmelerinin toplamını (Bağıntı 1.8),

$q_{\text{uç}}$: Uç gerilmesini,

$A_{\text{uç}}$: Kazığın zeminle temas eden uç kesit alanını (Bağıntı 1.5),

f_{yan} : Kazık yan yüzünde, kazıkla zemin arasındaki yan sürtünme gerilmesini,

A_{yan} : Kazığın zeminle temas eden yan alanını (Bağıntı 1.6) ifade eder.

Bağıntı 1.4'teki terimler şu şekilde açılabilir;

$$A_{\text{uç}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (1.5)$$

Burada;

π : Pi sayısını,

D : Kazık çapını (m) ifade eder.

$$A_{\text{yan}} = \pi \times D \times D_f \quad (1.6)$$

Burada;

π : Pi sayısını,

D : Kazık çapını (m),

D_f : Temel derinliğini (m) ifade eder.

$$Q_{uç} = A_{uç} \left[c N_c + \frac{1}{2} \gamma D N_\gamma + \gamma D_f N_q \right] \quad (1.7)$$

Burada;

c : Kazık ucu altındaki zeminin kohezyonunu,

γ : Zeminin birim hacim ağırlığını,

N_c, N_γ, N_q : Zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak değişen boyutsuz taşıma gücü katsayılarını,

D : Kazığın çapını (m),

D_f : Kazık ucunun zemin yüzeyine mesafesini (m) ifade eder.

$$Q_{van} = p \sum_{L=0}^{L=L} f_s \Delta L \quad (1.8)$$

Burada;

p : Kazık çevresini (m),

f_s : ΔL boyu boyunca birim çevre sürtünmesini (kN/m²),

L : Çevre sürtünmesinin etkin olduğu kabul edilen kazık boyunu (m) ifade eder.

Kazığın taşıma gücü hesabı yapılırken; çevreden gelen sürtünme gerilmesinin ve kazığın ucundaki gerilmenin aynı anda maksimum seviyeye ulaştığı ve maksimum gerilmeyi geçmesi anında kazığın göçmüş olduğu kabul edilir. Kazığın kendisine uygulanan yük artışına karşılık verememesi (yük arttıkça ciddi miktarda oturma yapması) veya toplam oturma miktarının kazık çapının %10'una ulaşmasına kazığın göçmesi denir (Önalp ve Sert, 2006).

Güvenilir taşıma gücünün bulunabilmesi için maksimum taşıma gücü, G_s olarak sembolize edilen bir güvenlik sayısına bölünür. Güvenlik katsayısının değeri, kazığın kalitesi ve zeminin özelliklerine göre değişmekte olup, kazığın üretim kalitesi arttıkça ve zeminin özelliklerinin elverişliliği arttıkça güvenlik katsayısı azalır. Projedeki belirsizlikler de güvenlik katsayısının değerini önemli ölçüde etkiler.

Kazığın taşıma gücü değeri hesaplanırken kullanılan güvenlik sayısı değeri 2-4 arasında veya daha yüksek değerler almaktadır (Bowles, 1997).

Kazıkların taşıma gücü değeri, bulundukları zeminin kohezyonlu veya kohezyonsuz olması durumlarına göre ayrı ayrı incelenebilir.

1.5.1.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Taşıma Gücünün Belirlenmesi

Kumlu ve çakıllı (kohezyonsuz) zeminlerde kazığa gelen yükün önemli bir kısmı uç mukavemeti ile karşılanmaktadır. Çevre sürtünmesi değeri kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısına ve efektif gerilme değerlerine bağlı iken uç mukavemeti ise kazığın ucundaki efektif gerilme değeri ve taşıma gücü faktörleri vasıtasıyla belirlenir.

Kohezyonsuz zeminlerdeki uç direnci ifadesi için, (1.7) bağıntısı düzenlenecek olursa, $c = 0$ olduğundan ve $\gamma \frac{1}{2} \gamma DN$ terimi $\gamma D_f N_q$ teriminden küçük olduğu için Bağıntı 1.9'daki gibi yeniden yazılabilir;

$$Q_{uç} = A_{uç} \gamma D_f N_q \quad (1.9)$$

veya;

$$Q_{uç} = A_{uç} \sigma'_v N_q \quad (1.10)$$

Burada;

σ'_v : Kazık uç noktasındaki efektif gerilmeyi ifade eder.

Uç direnci ve sürtünme direnci kritik derinliğe (D_c) kadar artarken, kritik derinliğin altındaki direnç değerleri aynı kalır. 33 adet kazık yükleme deneyi üzerinde yapılan çalışmalar, derinliğin, kazık genişliği veya çapına oranı (D_f/D), 2 ila 40 arasında değer almıştır (Meyerhof,1976)

Yapılan araştırmalardan yola çıkılarak kritik yükseklik değerinin, kazığın genişliğinin veya kazığın çapının yaklaşık 20 katı olarak alınabileceği söylenebilir. Ortalama olarak 10-30 katı da alınabilir. (Meyerhof, 1976; Coyle ve Castello, 1981)

Sürtünme direncinin (Q_{yan}) değeri Bağıntı 1.8 ile bulunur. Fakat sürtünme direncinin hesaplanması için öncelikle sürtünme gerilmesinin (f_s) hesaplanması gerekir (Bağıntı 1.11).

$$f_s = c_a + \sigma'_h \tan \delta \quad (1.11)$$

Burada;

c_a : Birim adhezyonu,

δ : Kazık – zemin arasındaki sürtünme açısını ($2/3\Phi$),

σ'_h : Efektif normal gerilmeyi ifade eder.

Kohezyonsuz zeminler için $c_a=0$ olduğundan, (1.8) eşitliği şu şekli alır;

$$Q_{yan} = p K_s \tan \delta \sum_{L=0}^{L=L} \sigma'_{vl} \Delta L \quad (1.12)$$

Burada;

K_s : Toprak basıncı sabitini,

$\sum_{L=0}^{L=L} \sigma'_{vl} \Delta L$: Kazığın l boyunca oluşan toplam düşey efektif gerilmeyi,

p : Kazığın çevresini,

ΔL : Efektif sürtünme boyunu ifade eder.

Genellikle tasarım amacıyla yapılan hesaplarda, δ değeri $2/3\phi$ olarak kullanılmaktadır (Sharma ve Prakash, 1990). Yapılan araştırmalar toprak basıncı sabiti (K_s) değerinin, dolayısıyla çevre sürtünmesinin, yer değiştiren zeminin miktarı ile arttığını göstermektedir. Bu sebeple, H profiller gibi küçük yer değiştirme kazıkları ve fore kazıklar gibi yer değiştirme yapmayan kazıklar, geniş yer değiştirme kazıklarına göre daha küçük toprak basıncı sabitine (K_s) sahiptirler. Yaygın olarak kullanılan toprak basıncı sabiti değerleri Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Bazı kazık tipleri için K_s değerleri (Meyerhof, 1976)

Kazık Tipi	K_s
Fore kazık	0.5
Çakma H profilli kazık	0.5-1.0
Çakma yer değiştirme kazığı	1.0-2.0

Sonuç olarak uç direnci ve çevre sürtünmesini ifade eden Bağıntı 1.10 ve Bağıntı 1.12 ifadeleri bir araya getirilerek, kohezyonsuz zeminlerdeki kazıklar için statik taşıma gücü Bağıntı 1.13'te verilmiştir.

$$Q_{\text{sınır}} = A_{\text{uç}} \sigma'_v N_q + p K_s \tan \delta \sum_{L=0}^{L=L} \sigma'_{vl} \Delta L \quad (1.13)$$

1.5.1.2. Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Taşıma Gücünün Belirlenmesi

Kohezyonlu zeminlerde kazık taşıma gücü hesabı yapılırken, zeminin drenajsız kayma mukavemeti parametreleri ($\Phi=0$, $c=c_u$) kullanılır.

Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen kazıklarda, konsolidasyon oturması ve üretim esnasında örselenen zeminin mukavemetinin zamanla artması ile taşıma gücünde artış olmaktadır (Sharma ve Prakash,1990). Kohezyonlu zeminlerde kazık uç direnci Bağıntı 1.14'te gösterilen hali alır.

$$Q_{\text{uç}} = A_{\text{uç}} (c N_c + \gamma D_f N_q) \quad (1.14)$$

Derin temeller için $\Phi=0$ olduğunda; $c_u=9.0$ alınabilir ve N_q terimi ihmal edilebilir. Bu durumda Bağıntı 1.14 şu hali alır;

$$Q_{\text{uç}} = A_{\text{uç}} 9 c_u \quad (1.15)$$

Burada; c_u , drenajsız kayma mukavemeti değerini ifade eder.

Çevre sürtünmesi değeri adhezyon faktörüne göre belirlenir. Kohezyonlu zeminlerde çevre sürtünmesi direnci Bağntı 1.16'da verilmiştir.

$$Q_{yan} = \sum_{L=0}^{L=L} d\Delta L_i a_i c_i \quad (1.16)$$

Burada;

d :Kazık çapını,

ΔL : i tabakasından geçen kazık boyunu,

a_i : Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının adezyon katsayısını,

c_i : Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının drenajsız kayma direncini ifade eder.

Adezyon katsayısı (a_i), Bağntı 1.17'de görüldüğü gibi, çoğu kez drenajsız kayma direncinin bir fonksiyonu olmaktadır.

$$f_{si} = a_i c_{ui} \quad (1.17)$$

Burada;

f_{si} : i tabakası için kazık yan yüzünde, kazıkla zemin arasındaki yan sürtünme gerilmesini ifade eder.

Adezyon katsayısı, kohezyonun (c_{ui}), 25-90 kN/m² olduğu durumlarda Bağntı 1.18'deki gibi hesaplanabilir.

$$a_i = 1 - 0.00615 (c_{ui} - 25) \quad (1.18)$$

Kohezyon değeri $c_{ui} > 90$ kN/m² olduğu durumlarda ise Tablo 1.2'deki değerler kullanılabilir.

Tablo 1.2. Adezyon katsayıları (Birand,2001)

c_{ui} (kN/m ²)	a_i
90	0.6
100	0.58
150	0.42
200	0.35

Kohezyonlu zeminlerde toplam kazık taşıma gücü, hesaplanan uç direnci ve sürtünme dirençlerinin toplamından elde edilerek Bağıntı 1.19’da gösterilmiştir.

$$Q_{sınır} = A_{uç} 9 c_u + \sum_{L=0}^{L=L} d\Delta L_i a_i c_i \quad (1.19)$$

1.5.2. Dinamik Kazık Formülleri ile Taşıma Gücünün Belirlenmesi

Çakma kazıkların taşıma gücü hesaplarında, genellikle dinamik kazık formülleri kullanılır. Dinamik kazık formülleri ile çözümde, kazığın çakılması esnasında enerjinin sabit kaldığı kabul edilir. Yani kazığın enerjisi ile enerji kayıplarının toplamının, kazığın çakıldığı tokmağın enerjisine eşit olduğu varsayılır (Bağıntı 1.20 ve Bağıntı 1.21).

$$\text{Tokmağın enerjisi} = \text{Kazığın enerjisi} + \text{Enerji kaybı} \quad (1.20)$$

$$W_t h = Q_{sınır} s + \text{Enerji kayıpları} \quad (1.21)$$

Burada;

W_t : Tokmağın ağırlığını,

h : Tokmağın düştüğü yüksekliği,

$Q_{sınır}$: Kazığın toplam sınır taşıma gücünü,

s : Kazığın zemine girdiği miktarı (son 5 vuruşun ortalaması olarak alınabilir) ifade eder.

Sanders, Engineering News, Dutch, Ritter Form, Brix ve Hilley Formülleri dinamik kazık formüllerinin en bilinenleridir.

1.5.2.1. Sanders Dinamik Kazık Formülü

Sanders Dinamik Kazık Formülü genelde en kolay dinamik kazık formülü olarak kabul edilir. En basit tanımıyla; h mesafesinden düşürülen W_t ağırlığındaki tokmağın yaptığı işin, kazığın zemine girme miktarına (s) bölünmesi ile kazığın çakmaya karşı toplam direncinin (Q) bulunması kabulüne dayanır (Bağıntı 1.22). Sanders Formülünde güvenlik sayısı 8 alınmalıdır (Bağıntı 1.23)

$$Q_{\text{sınır}} = \frac{W_t h}{s} \quad (1.22)$$

$$Q_{\text{emin}} = Q_{\text{sınır}} / 8 \quad (1.23)$$

Burada;

W_t : Tokmağın ağırlığını,

h : Tokmağın düştüğü yüksekliği,

$Q_{\text{sınır}}$: Kazığın toplam sınır taşıma gücünü,

s : Kazığın zemine girdiği miktarı (son 5 vuruşun ortalaması olarak alınabilir) ifade eder.

1.5.2.2. Engineering News Dinamik Kazık Formülü

Engineering News dinamik kazık formülü yaygın kullanılan bir diğer dinamik formül olup Bağıntı 1.24'te verilmiştir.

$$Q_{\text{emin}} = \frac{W_t h}{G_s(s+C)} \quad (1.24)$$

Burada;

W_t : Tokmağın ağırlığını,

h : Tokmağın düştüğü yüksekliği,

- s : Kazığın zemine girdiği miktarı (son 5 vuruşun ortalaması olarak alınabilir),
- C : Enerji kayıplarını ifade eden sabit sayıyı (Serbest düşüşlü tokmak için 0.25, tek tesirli tokmak için 0.25 olarak alınır)
- G_s : Güvenlik sayısını (3 ila 6 arasında alınır)

1.5.3. Kazık Yükleme Deneyi ile Taşıma Gücünün Belirlenmesi

Kazıklar tasarlanırken genellikle teorik formüller ve ampirik bağıntılar kullanılmakta olup, tasarım sonucunda belirlenen değerler ile imal edilen kazıkların, gelecek olan yükleri karşılayabilecek olup olmadığının anlaşılabilmesi için yerinde yapılacak deneylerden faydalanmak, hesapların ve imalatın kontrol edilmesi açısından çok önemlidir.

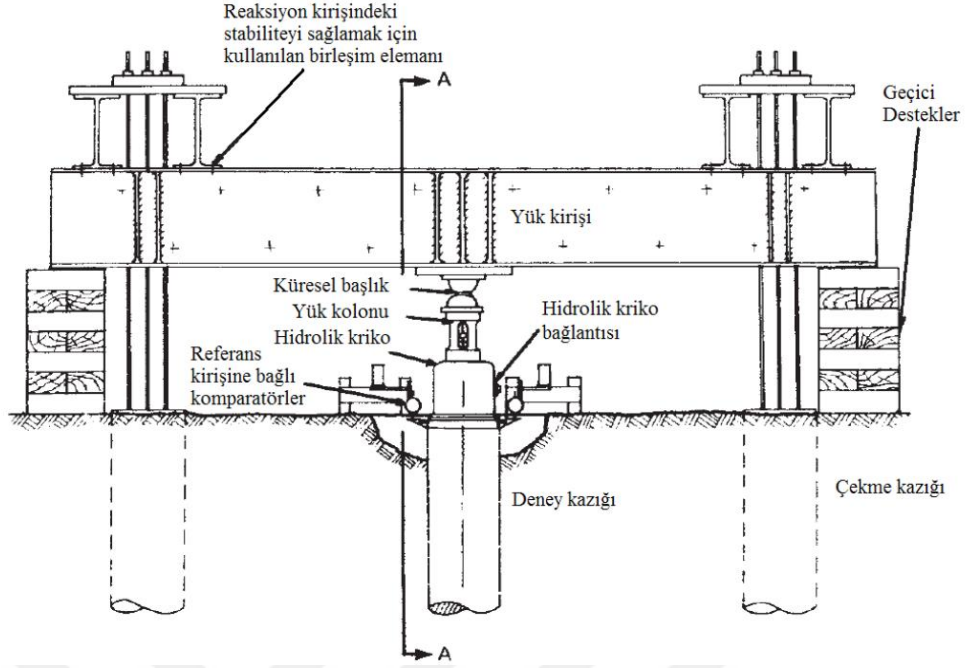
Kazık yükleme deneyleri, belirlenen kazık tasarım taşıma gücü değerinin doğruluğunu kanıtlamak ve kazıklı temel tasarımı için gerekli kriterleri belirlemek amacıyla yapılırlar (Fuller ve Hoy,1970).

1.5.3.1. Statik Yükleme Deneyi

Kazıkların taşıma gücünü belirlemek amacıyla yapılan ve en güvenilir deney olan Statik Yükleme Deneyi, kazığın belirli zaman aralıklarında yüklenmesiyle birlikte yapmış olduğu yer değiştirmelerin ölçülmesi esasına dayanmakta olup yükün kazığa uygulama şekline göre üçe ayrılmaktadır.

1.5.3.1.1. Statik Eksenel Basınç Deneyi

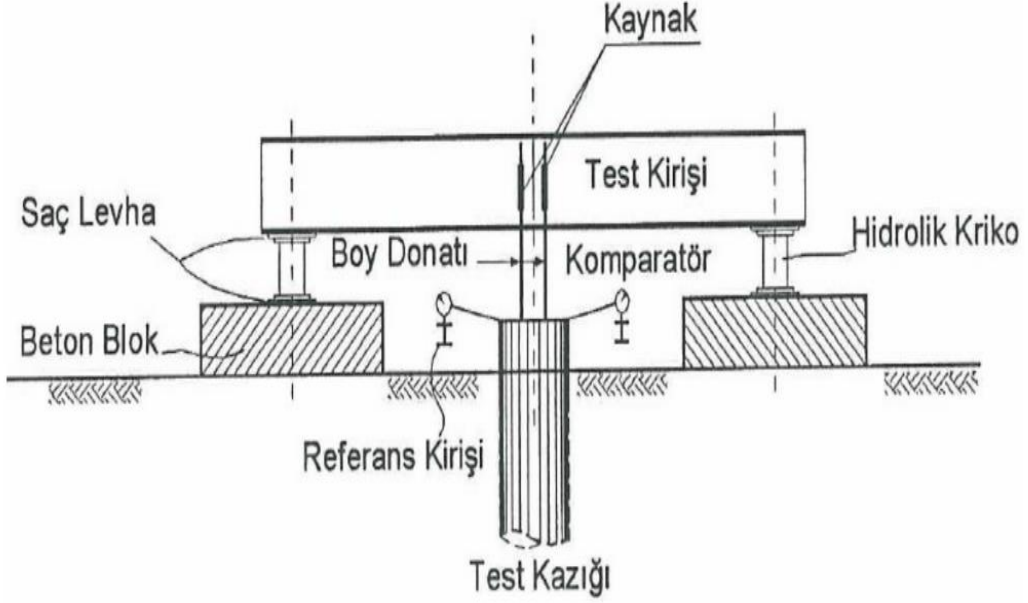
Kazıkların düşeydeki kapasitelerinin bulunabilmesi amacıyla Eksenel Basınç Deneyi uygulanır. Statik eksenel basınç deneyi Şekil 1.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Tipik eksenel basınç deney düzeneği kesit görünüşü

1.5.3.1.2. Statik Eksenel Çekme Deneyi

Çekme deneyleri, kazıkların eksenel çekme kapasitelerinin bulunabilmesi için yapılmakta olup, özellikle de kazıkların, yüksek katlı binalarda deprem veya rüzgar yüklerine karşı gösterdiği çekme kapasitesini anlamaya yardımcı olur. Yeraltı suyunun mevcut olduğu durumlarda, zemin içerisinde de katları olan binalar için, kazığın, sudan kaynaklı oluşan kaldırma kuvvetine karşı çekme kapasitesinin belirlenebilmesi amacıyla veya özellikle de deprem bölgelerinde imalatı yapılacak olan kazıkların çekme kapasitesinin öğrenilmesi amacıyla statik eksenel çekme deneyi sık sık uygulanan bir yöntemdir. Uygulanan yükün yönü farklılık göstermekle birlikte statik eksenel basınç deneyinin uygulanma aşamaları basınç deneyine benzemektedir. Statik eksenel çekme deneyi Şekil 1.2’de şematik olarak gösterilmiştir.

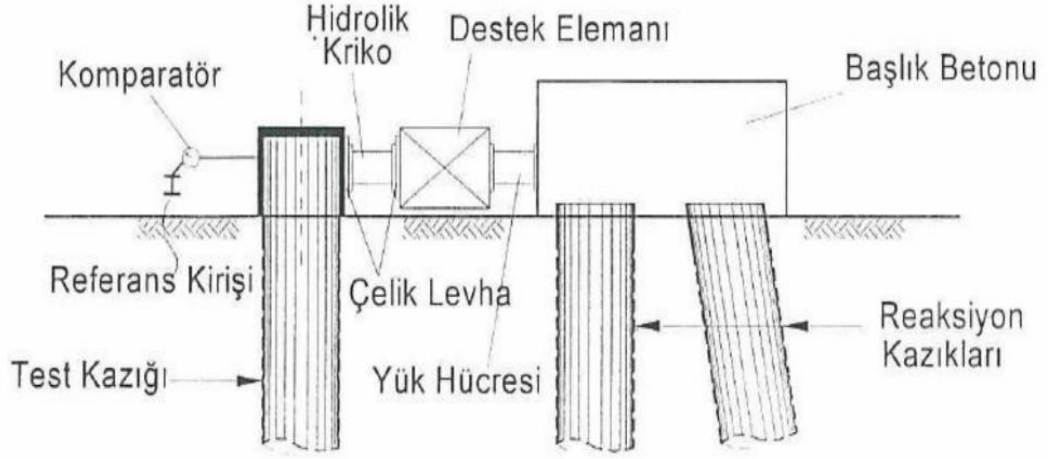


Şekil 1.2. Tipik eksenel çekme deney düzeneği kesit görünüşü

1.5.3.1.3. Yanal Yükleme Deneyi

Yanal yükleme deneyi, çeşitli yöntemlerle kazığa yük uygulanması şeklinde gerçekleştirilmesiyle birlikte özellikle yanal yüke maruz olan liman ve kıyı yapıları veya deprem etkilerine maruz kalan yapılarda gelen yüke karşı kazığın kapasitesinin kontrolünü sağlamak amacıyla yapılmaktadır.

Yanal yükleme deneyi, tekrarlı yüklerin mevcut olduğu trafik yüküne maruz kalan köprüler için uygun bir yöntemdir (Tomlinson,1994). Yanal yükleme deneyi Şekil 1.3'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Tipik yanal yükleme deney düzeneği kesit görünüşü

1.5.3.2. Dinamik Yükleme Deneyi

Kazıkların taşıma gücü değerlerinin belirlenmesi için uygulanan dinamik yükleme deneyleri, titreşim, darbe, dalga kullanılarak yapılır. Dinamik yükleme deneyi, kazık çakımında kullanılan serbest düşürülmüş bir ağırlık veya çekiç tarafından oluşturulan basınç dalgalarının kazık boyunca yayılıp, kazığın dibinden yukarı doğru yansımalarının ölçülmesidir. Kazığın çakılması sırasında veya çakılma sonrasında, kazığın başına yerleştirilen ivmeyi ve gerinimi ölçen cihazlar aracılığıyla, kazıkta meydana gelen gerilmeler, kazığın sağlamlığı ve statik kazık taşıma kapasitesi belirlenir.

1.5.4. Arazi Deney Sonuçları ile Taşıma Gücünün Belirlenmesi

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde en sık başvuru yöntem arazi deneyleridir. Doğal koşullarda yapılabilir ve ekonomik olması arazi deneylerinin avantajlarından biridir.

Arazide hangi deney yönteminin uygulanacağına, zemin koşulları ve zeminin dayanımı göz önüne alınarak karar verilir. Arazi deneyleri sayesinde elde edilen veriler zeminin tabakalarının özelliklerini vermesiyle birlikte arazi deneylerinin verileri deney sonunda, hemen kullanılabilir (Sivrikaya ve Toğrol, 2019).

Kazık taşıma gücünün belirlenmesi için en çok uygulanan arazi deneyleri koni penetrasyon ve standart penetrasyon deneyleridir.

1.5.4.1. Koni Penetrasyon Deneyi

Bir kazığın taşıma gücü, arazide yapılan deneylerden faydalananarak da belirlenebilir. Uygulama da en çok kullanılan arazi deneyi koni penetrasyon kısaca CPT deneyidir. Deney ilk kez 1934'te Hollanda'da yapılmıştır. Başlıca statik sonda deneyi olan koni penetrasyon deneyi, yumuşak killler, siltler veya kumlu zeminler için uygun olmasına karşın çakıllı veya kaya türü zeminler için uygun değildir. Koni penetrasyon deneyi, genellikle zeminin tüm katmanlarında, kohezyonlu zemin ise kayma mukavemetinin değişimini, kohezyonsuz zemin ise rölatif sıkılığının değişimini öğrenmek amacıyla yapılır. Bu deney yardımıyla kazıkların taşıma kapasitesi de doğrudan değerlendirilebilir. Bu deney, konik şeklindeki bir ucun metalden üretilmiş olan çubuklara montelenerek, zemine sabit bir hız ile girebilmesi için ihtiyaç duyulan kuvvetin devamlı bir şekilde ölçülmesi şeklinde uygulanır ve incelenen zeminin profilinin oluşturulması, zemin katmanlarının fiziksel ve mekanik özellikleri için tahminde bulunulması, yer altı suyu seviyesinin belirlenmesi ve boşluk suyu basıncı tahmini için yapılır (Şekil 1.5). Deney yapılırken sondaj kuyusuna ihtiyaç duyulmaz. Maliyeti düşük olması sebebiyle daha avantajlıdır. Zeminden 40 metreye kadar devamlı olarak değer alınabilir. Deneyin esası, plandaki alanı $0,001 \text{ m}^2$ olan bir metal koni ucun zemine itilerek batırılmasıdır (Şekil 1.4). Kazıklar zemine indirilerek üzerlerine giriş takılır. Çubuk-boru sistemi yüklenerek, uygulanan yük, yük halkasından okunur. Zeminin bu itmeye karşı gösterdiği direnç bağıntı 1.25'te gösterilmiştir (Meyerhof, 1956).

$$Q_{\text{sınır}} = q_{\text{cort}}A_{\text{uç}} + 2f_{\text{sort}}A_{\text{yan}} \quad (1.25)$$

Burada;

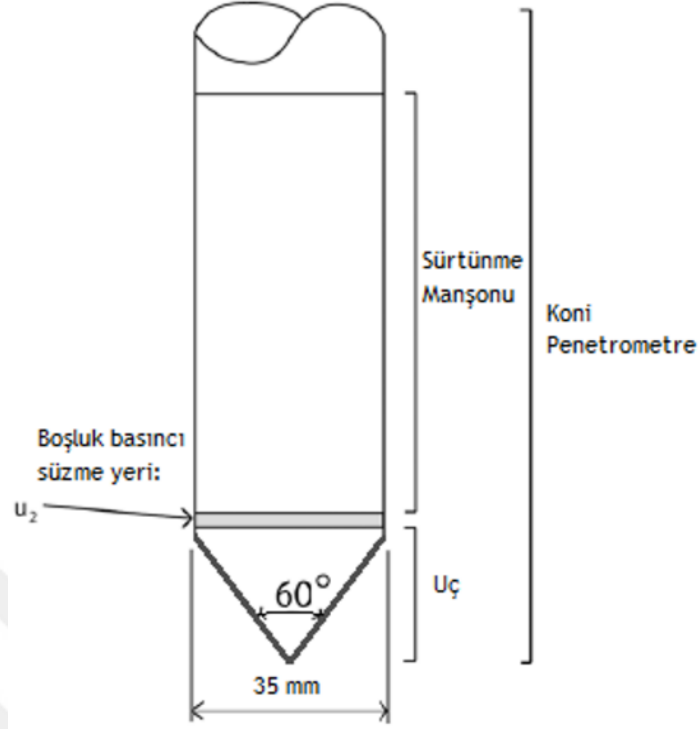
$Q_{\text{uç}}$: Sınır taşıma gücü değerini,

q_{cort} : Koni uç direncini,

$A_{\text{uç (koni)}}$: Koni uç alanını,

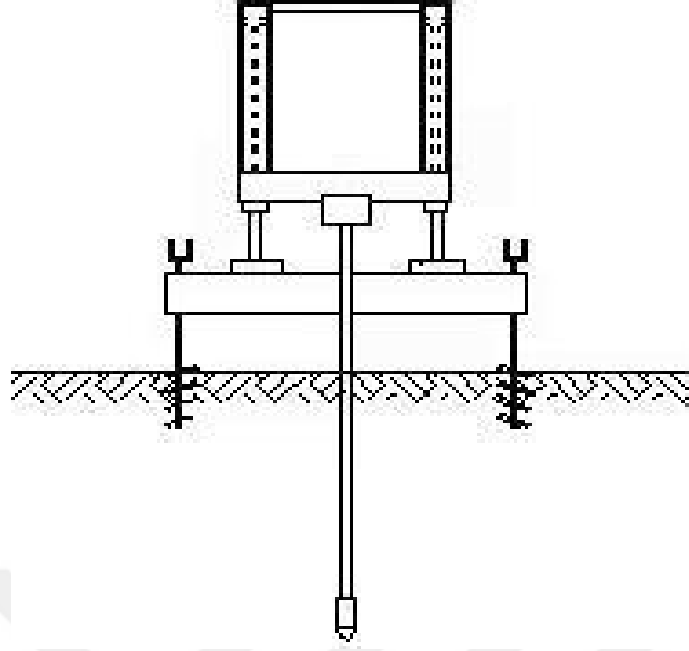
f_{sort} : Koni yan sürtünmesini,

$A_{\text{yan (koni)}}$: Koni yan alanını ifade eder.



Şekil 1.4. Koni penetrasyon deneyinde kullanılan konik uç

Koni penetrasyon deneyi, sondaj kuyusu açmayı gerektirmemesi, deneyin yapılma süresinin kısa olması, maliyetinin diğer deneylere göre daha düşük olması, deneyi yapan kişinin deney üzerindeki etkisinin az olması ve deney sonucunun zemin tabakları hakkında bilgi vermesi sebebiyle avantajlıdır. Deney yapılırken zeminden numune alınamaması ve her zemin türü için uygun olmaması ise dezavantajlarındandır.



Şekil 1.5. Koni penetrasyon deneyi şematik gösterim

1.5.4.2. Standart Penetrasyon Deneyi

Standart penetrasyon deneyi geoteknik mühendisliğinde en fazla kullanılan arazi deneylerindendir. Bu deneyle birlikte, zeminin sıkılık ve kıvam değerlerinin bulunabilmesinin yanında zeminden örselenmiş numune alınması da sağlanır. Başlıca dinamik sonda deneyi olan standart penetrasyon deneyi, daha önceden açılmış bir sondaj kuyusunda yapılır. Sondaj esnasında 1 veya 2 metrede bir sondaj durdurulur ve birbirine takılmış tijlerin ucuna yerleştirilmiş sonda kuyuya indirilir. Sondayı zemine çakmak için 63.5 kg'lık tokmak 76 cm yükseklikten serbest düşürülür. İlk aşamada sonda zemine 15 cm çakılır, daha sonra 30 cm çakılır. Sondanın 30 cm çakılması için gereken vuruş sayısına 'standart penetrasyon sayısı (SPT-N)' denir. Bu deney taşlı-çakıllı zeminler için elverişli olmayıp kumlar için idealdir. Deney sonuçları derinlik-SPT N sayısı ilişkisini gösteren bir grafikte gösterilir. SPT-N değeri ile kumların ve kumlu siltlerin sıkılığı, kayma mukavemeti açısı, birim hacim ağırlığı tahmininde bulunabilir.

İri taneli zeminlerde numunelerin örselenmemiş olarak alınmasının zor olması sebebiyle, zemin özelliklerinin belirlenmesinde standart penetrasyon deneyi yapılması yaygındır. Bu deney, siltler ve kumlar için efektif kayma mukavemeti açısı (ϕ') ve relatif sıkılık (D_r) gibi parametrelerin tahmininde kullanılmasıyla birlikte killi zeminler için ise,

SPT-N değeri vasıtasıyla serbest basınç mukavemeti (q_u) ve drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değerleri arasındaki ilişkiler gözlemlenebilmiştir.

1.6.Kazıklarda Negatif Çevre Sürtünmesi

Kazığın çevresindeki tabakalarda sonradan meydana gelen oturmalar, kazığa aşağı yönde etki uygular. Yüzeyin yüklenmesi, yüzey dolgusu ve yeraltı su seviyesinin indirilmesi bu tip oturmalarla sebep olabilir. Bu durumda kazığın çevresinde aşağı doğru oluşan gerilmelere negatif çevre sürtünmesi denir. Bu çevre sürtünmesi, kazık ile zeminin birlikte hareket etmeyişinden kaynaklanır. Negatif çevre sürtünmesi, uç kazığı ve sürtünme kazığı olarak sınıflandırılan kazıklarda, yumuşak kıvamlı kohezyonlu zeminlerde ve gevşek dolgu tabakalarında yapılacak olan kazıklı temel sistemlerinde zaman içinde oluşması durumudur ve bu etki kazığın aşağı doğru yüklenmesine sebep olur. Kazıklarda, negatif çevre sürtünmesinden dolayı taşıma gücü kaybı olur. Bu sebeple kazıkların taşıma gücünü belirlerken negatif çevre sürtünmesi muhakkak dikkate alınmalıdır.

Negatif çevre sürtünmesinin başlıca sebepleri, yumuşak zeminlerde henüz konsolidasyonunu tamamlamamış olmasına rağmen kazık yapılması, sıkışabilen zemin türlerinde herhangi bir sebeple ekstra bir boşluk suyu basıncı oluşması, yeraltı su seviyesinin düşürülmesi, içinde kazık imal edilmiş olan sıkışabilen bir zemin tabakası üstünde veya kazıklı temele yakın bir alanda dolgu yapılması veya daha önceden imal edilen bir kazıklı temelin yanında kazık çakılması olarak sıralanabilir.

1.7. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Diferansiyel denklemleri çözebilmek için sürekli bir ortamı, sonlu olacak şekilde elemanlara ayırarak ve bu elemanların üzerindeki iç ve dış kuvvetlerin enerjisinin minimum olması esasına dayanarak sayısal bir analiz yapan sonlu elemanlar yöntemi esas olarak fiziksel bir sistemin matematiksel olarak ifade edilebilmesini sağlamaktadır. Sınır koşulları belirgin ve düzgün olmayan geometriye sahip, lineer ve lineer olmayan problemlere uygulanabilen sonlu elemanlar yönteminde karmaşık geometriye sahip bu sistemler çok sayıda basit geometrili elemanlara bölünerek bu elemanların her birinin ayrı olarak çözülmesi ile analiz edilir.

Doğada zeminlerin gerilme/şekil değiştirme davranışı lineer olmaması sebebiyle, bu davranışın modellenenebilmesi için geoteknik mühendisleri tarafından sonlu elemanlar yöntemi kullanılır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözülen zemin problemlerinde gerilmeler, yanal ve düşey yer değiştirmeler, boşluk suyu basınçları ve zemin suyu akışı belirlenebilmektedir.

Plaxis, zemin uygulamaları için tasarlanmış olup, zemin davranışını zemin modelleri vasıtasıyla çözümleme yapan bir sonlu elemanlar yazılımıdır (Plaxis, 2002). İnşaat mühendisliğinde en yaygın kullanılan programlardan biri olan Plaxis, zeminin ve zemin yapılarının yükler veya kuvvetler karşısında davranışını analiz eden ve sonlu elemanlar yöntemini esas alan bir sayısal analiz programıdır. Plaxis programında analiz yapmak isteyen bir kullanıcı öncelikle veri girişi penceresinde analizi yapılacak modelin geometrisini oluşturup, geometrisini oluşturduğu modelin zemin parametrelerini, sürşarj yüklerini, yeraltı su seviyesini ve yapı mukavemet özelliklerini programa tanımlamalıdır. Tanımlanan modelde meydana gelen oturma ve gerilme değerlerinin gösterildiği kısım ise veri çıkış penceresidir.

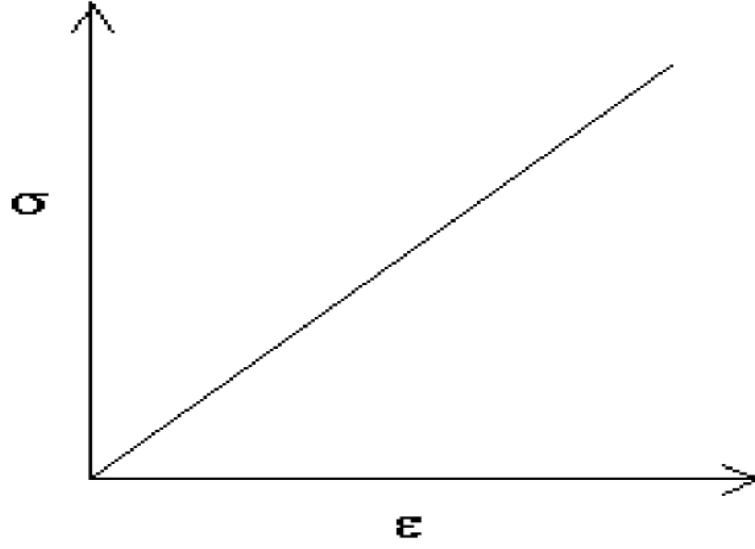
Plaxis, sonsuz bir ortamı noktalar, çizgiler ve parçalara bölerek sonlu hale getirmektedir. Program inşaat aşamalarının simülasyonunu oluşturur ve toplam deformasyon, oturma, normal kuvvet, kesme kuvveti, moment ve güvenlik sayısı gibi değerleri verir.

1.8. Zemin Modelleri

PLAXİS 2D programında birden çok zemin modeli bulunmaktadır. Bu çalışmada Mohr- Coulomb zemin modeli kullanılmış olup yaygın kullanılan zemin modellerinden kısaca bahsedilmiştir.

1.8.1. Lineer Elastik Zemin Modeli

Lineer Elastik zemin modeli, Elastisite modülü (E) ve Poisson oranı (ν) olarak bilinen iki temel parametreyi ele alan Hooke Yasası'na dayanmaktadır (Şekil 1.6). Doğrusal elastik çalışan zemin modellemesi için uygun olmamakla beraber zemindeki sert elemanları (betonarme elemanlar vb.) veya bozulmamış kaya parçalarını modellemek için kullanılabilir.



Şekil 1.6. Lineer elastik malzemenin gerilme (σ)-şekil değiştirme (ϵ) grafiği

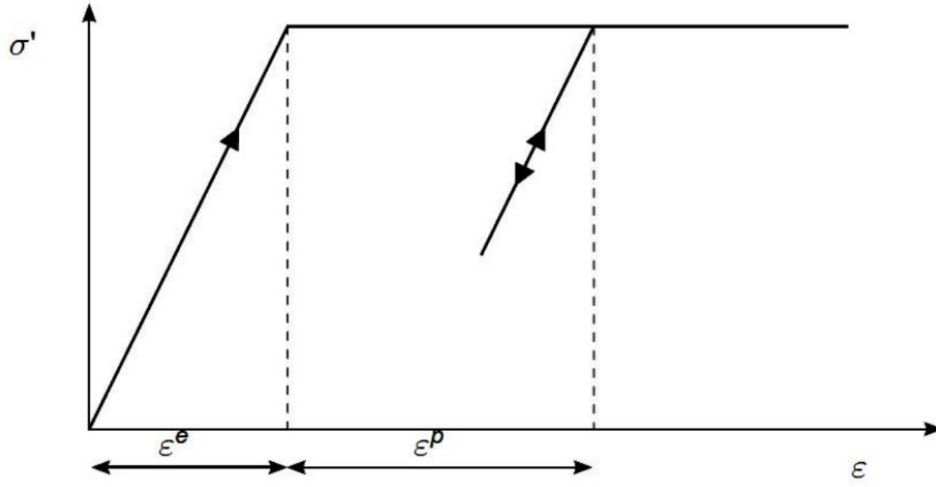
1.8.2. Mohr-Coulomb Zemin Modeli

Zeminlerin gerilme veya gerilmeye bağlı şekil değiştirmeye maruz kaldığında doğrusal olmayan davranışını gösteren Mohr-Coulomb modeli genellikle kolay ve iyi bilinen bir doğrusal elastik/tam plastik model örneği olmasıyla birlikte, Mohr-Coulomb modelinin doğrusal elastik kısmı Hooke yasasını, plastik kısmı ise Mohr-Coulomb yenilme kriterini esas almaktadır. Elastik-tam plastik zeminin temel kuralı yük altında meydana gelen şekil değiştirmenin elastik ve plastik olmak üzere iki kısımda oluşmasıdır (Şekil 1.7). Elastik-tam plastik malzemede toplam deformasyon Bağıntı 1.26'da gösterilmiştir.

$$\epsilon = \epsilon_e + \epsilon_p \quad (1.26)$$

Burada;

- ϵ : Toplam deformasyonu (m),
- ϵ_e : Elastik deformasyonu (m),
- ϵ_p : Plastik deformasyonu (m) ifade eder.



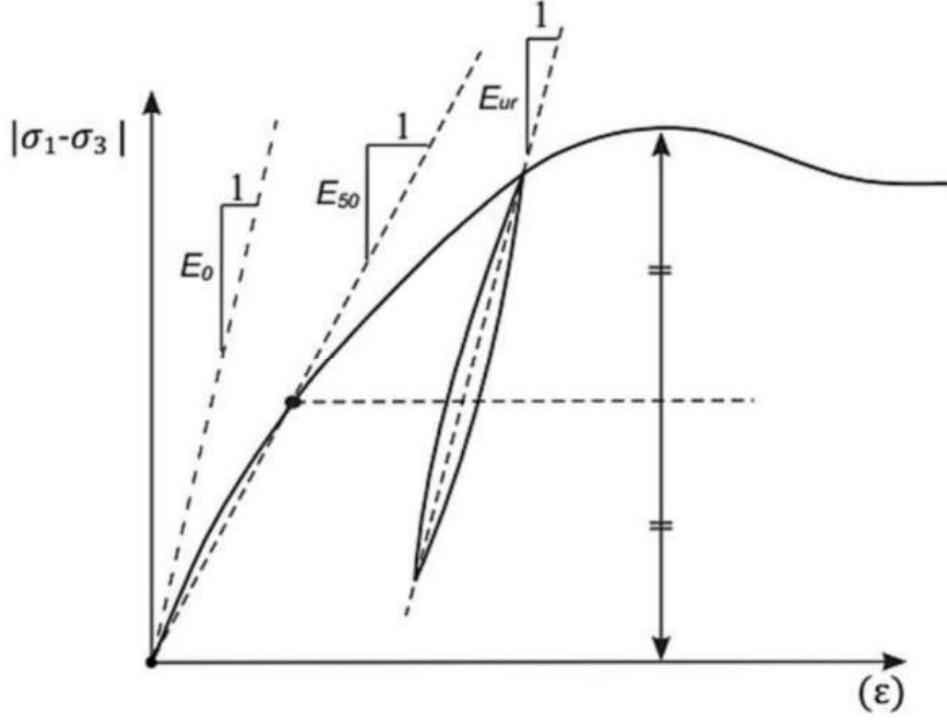
Şekil 1.7. Elastik-tam plastik malzeme modelinin gerilme etkisiyle şekil değişimi (PLAXİS 2D,2019)

Doğrusal elastik tam plastik Mohr-Coulomb modelinde zemin elastisitesi için rijitlik, elastisite modülü (E) ve Poisson oranı (ν); plastisitesi için mukavemet, zeminin kayma mukavemeti açısı (ϕ), zeminin kohezyonu (c) ve dilatans açısı (ψ) parametreleri tanımlanmaktadır. Mohr-Coulomb modeli, zemin veya kaya davranışını yaklaşık olarak temsil etmektedir. Problemlerin ilk yaklaşım analizi için Mohr-Coulomb zemin modelinin kullanması önerilmektedir. Bütün zemin tabakaları için, sabit bir rijitlik değeri veya derinlikle doğrusal olarak artan bir rijitlik değeri belirlendiği için hesaplamalar diğer modellere göre daha hızlı olmakta ve analizlerin sonucunda yaklaşık oturma değeri öğrenilmektedir (Plaxis, 2019).

1.8.3. Hardening Soil Modeli

Hardening soil modeli, zemin davranışını taklit etmek için ileri bir modeldir. Doğrusal olmayan gerçek zemin gerilme-şekil değiştirme davranışında gerilmeler arttıkça zeminin rijitlik modülü azalmasına rağmen, doğrusal elastik tam plastik modelde sabit zemin rijitliği olduğu kabul edilir. Bunun aksine, Hardening Soil modelde gerilme durumuna göre zeminin rijitlik modülü değişmektedir (Şekil 1.8). Hardening soil modeli, Mohr-Coulomb zemin modeline göre oldukça gelişmiştir. Hardening Soil modeli hem yumuşak zeminlerin

hem de sert zeminlerin davranışını analiz etmek için kullanılmaktadır. Mohr-Coulomb modele benzer şekilde gerilme; kayma mukavemeti açısı (ϕ), kohezyon (c) ve dilatasyon açısı (ψ) ile belirlenir. Bu zemin modelinde diğer modellere kıyasla daha çok işlem adımı uygulanması gerektiği için, istenilen analizin yapılması daha çok zaman alır.



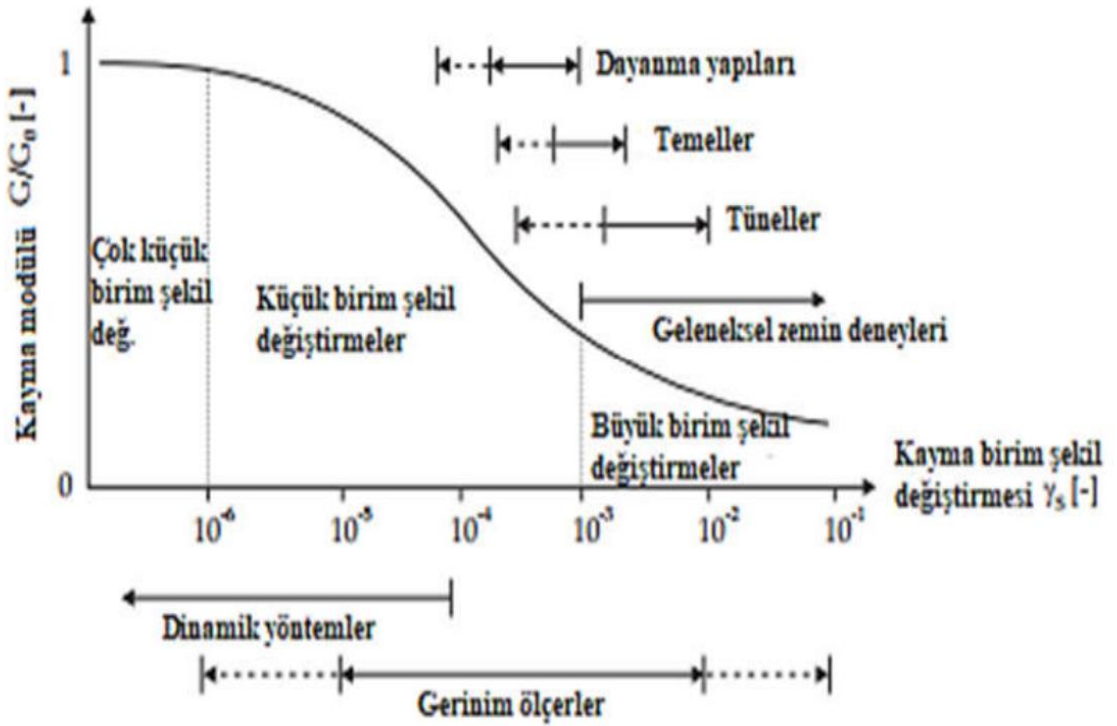
Şekil 1.8. Drenajlı üç eksenli deneyde hiperbolik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (Plaxis,2019)

1.8.4. Hardening Soil with Small-Strain Stiffness Zemin Modeli

Hardening Soil modelde, zemine uygulanan yüklerin boşaltılması ve yeniden yüklenmesi esnasında zeminin elastik malzeme davranışı sergilediği kabul edilmektedir. Ancak zeminlerin tam olarak elastik davrandığı kısımdaki birim şekil değiştirme miktarı oldukça küçüktür (Plaxis, 2019). Bu model küçük birim şekil değiştirmelerde zeminin artan rijitliğini de dikkate almaktadır (Şekil 1.9).

Hardening soil model için belirlenen tüm parametreler, Hardening Soil Small Strain modelinde de kullanılmaktadır (Benz, 2007).

Hardening Soil with Small-Strain Stiffness zemin modelinde, Hardening Soil zemin modeline ek olarak küçük birim şekil değiştirme aralıklarındaki zemin rijitliğini tanımlamak için referans gerilme altında başlangıç (küçük birim şekil değiştirme) kayma modülü (G_0) ve başlangıç kayma modülünün %70'ine karşılık gelen birim şekil değiştirme değeri ($\gamma_{0.7}$) olmak üzere iki parametre tanımlanmaktadır. Bu modelin, aşırı konsolide olmuş killerde ve düşük oturma değeri veren, genellikle dolgu malzemesi olarak kullanılan granüler zeminlerde uygulanması daha doğrudur.



Şekil 1.9. Geoteknik uygulamalar ve deney türleri aralıklarında $G/G_{\max}$ – kayma birim şekil değiştirme ilişkisi (Benz, 2007)

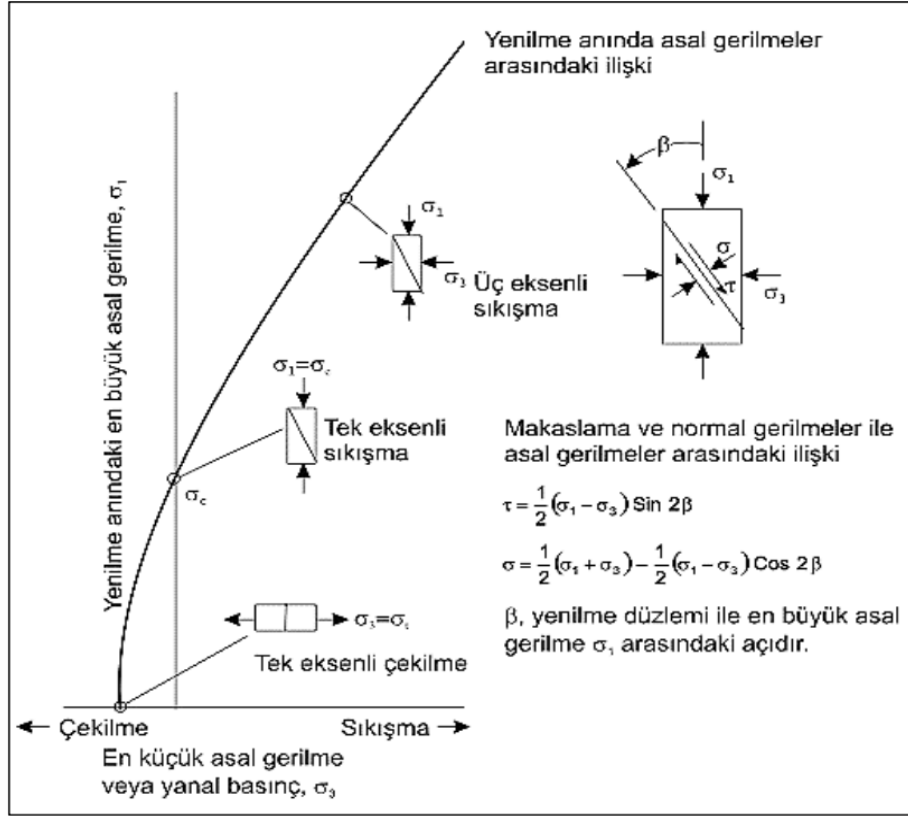
Burada;

G : Kayma modülünü,

$G_{\max}$: Maksimum kayma modülünü ifade eder.

1.8.5. Hoek-Brown Zemin Modeli

Kayanın rijitliği genellikle zeminlerden daha yüksek olduğu için kaya davranışı ile zemin davranışı birbirinden farklıdır. Kaya rijitliği sabit kabul edildiğinden, rijitlik ve gerilme seviyesi arasındaki ilişki esasen mevcut değildir. Mohr-Coulomb zemin modeli yoluyla kayanın kesme mukavemeti modellenebilir. Ancak Mohr-Coulomb modeli, kayanın maruz kalabileceği çok çeşitli gerilme seviyelerini hesaba katmaz. Ayrıca, kaya önemli çekme mukavemeti gösterebilir. Kaya olması durumunda Hoek-Brown modeli, üstün bir doğrusal olmayan gerilme-gerinim ilişkisi gösterir (Şekil 1.10). Hesaplamalara kesme ve çekme mukavemeti dahildir.



Şekil 1.10. Hoek-Brown yenilme ölçütünün ampirik şekilde gösterimi (Hoek-Brown, 1980)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

Fore kazıklar ülkemizde en çok tercih edilen kazık türlerindendir. Bunun en önemli sebepleri hemen hemen bütün zeminlere uygulanabiliyor olması, imalatının zor olmaması ve sondaj esnasında kazık kesiti boyunca zemin profilinin öğrenilebilir olmasıdır. Fore kazıklar, taşıma gücü bakımında yetersiz olan zemin türlerinde, üstyapıdan zemine gelecek yükleri, daha elverişli zeminlere aktarmak amacı ile yapılırlar. İmalatı yapılacak olan kazıkların yerleri; yerleştirilecekleri zeminin yapısı, sahanın uygunluğu, kazıkların çapları ve derinliğine göre değişmektedir. Kazık imalatı yapılmadan önce, üzerine kazık gelecek olan zeminin zemin etüt raporu alınmalıdır. Zeminin özellikleri ve yeraltı suyu durumu dikkatlice incelenmelidir. Fore kazıklar bazı durumlarda donatısız olarak imal edilirler. Yapı yükü ve zemin durumu dikkate alınarak gerekli analizler yapıldığında, donatısız kazıkların yapıdan gelen yükü zemine aktarabildiği görülürse kazıklar donatısız imal edilebilirler.

Çalışma alanı Trabzon ilinin Akçaabat ilçesi, Söğütlü Mahallesiinde olup, 352 ada, 2 nolu parselde yer almaktadır. Etüt alanında, Akçaabat Belediyesine ait hizmet binası yapılacak olup, yapı betonarme şekilde tasarlanıp, yükleri, modern inşaat tekniğine uygun şekilde bir derin temel çeşidi olan donatısız fore kazıklara aktarılmaktadır. Yapılacak hizmet binası altı katlı olup temelde 12.0 metre uzunluğunda, 65.0 cm çaplı donatısız kazıklar 2.0 metre aralıklarla yerleştirilmiştir. Bölgenin coğrafi konumu, jeolojik yapısı ve depremselliğinden bahsedilmiş olup, uygulama alanındaki parametreleri elde etmek için arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Mevcut kazıkların çap ve aralıkları değiştirilmek suretiyle üç farklı analiz yapılmıştır. Analizler Plaxis 2D programı ile Mohr-Coulomb zemin modeli seçilerek gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar güvenlik sayısı ve oturma yönünden karşılaştırılmıştır.

2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

İnceleme alanı; Trabzon ili, Akçaabat ilçesi, Söğütlü Mahallesiinde yer almaktadır. İnceleme alanı Akçaabat parkının kenarında ve limanın eski mendirek mevkiinde yer almakta olup, ölçeksiz yer bulduru haritası Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Yer bulduru haritası

Bu çalışma kapsamında, Trabzon İli, Akçaabat İlçesi hizmet binası inşaatı sırasında yapılan temel uygulamaları incelenmiş, en güvenli zemin iyileştirme ve derin temel analiz çalışmaları yapılmıştır. Proje kapsamında; iki bodrum, bir zemin ve üç normal olacak şekilde toplam 6 kattan oluşan bir kültür merkezi yapısı inşa edilecek olup, yapının oturacağı bölgedeki zeminin farklı oturmaya müsait olmasından dolayı, yapı temelini altına donatısız fore kazık yapılması uygun görülmüştür. Yapı temel alanı 2533.00 m^2 olup temel alt kotundan itibaren 12.0 metre uzunluğunda, 65.0 cm çaplı, toplamda 710 adet donatısız kazık iki metre aralıklarla yerleştirilmiştir.

2.1.1. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve İklim Özellikleri

İnceleme alanı; Trabzon İli, Akçaabat İlçesi, Söğütlü Mahallesinde 352 ada, 2 nolu parselde yer almaktadır. Morfolojik yapısı Karadeniz Bölgesinin özelliklerine sahiptir. İnceleme alanı genellikle % 0-5 eğimli bir topografik arazide bulunmaktadır. Bölgede Karadeniz iklimi hüküm sürmektedir. Nemli bir iklimdir. Ortalama yıllık yağış 822,2 mm., ortalama sıcaklık 11,6 °C dir (Tablo 2.1). Hakim rüzgar B-KB ve G-GB yönünde olup, maksimum rüzgar hızı güney yönünden 32,6 m/sn olarak ölçülmüştür (Şekil 2.2).

Tablo 2.1. Trabzon iline ait meteorolojik veriler

TRABZON	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1950 - 2014)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	7.4	7.3	8.5	11.9	16.0	20.4	23.2	23.4	20.3	16.5	12.7	9.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.9	11.0	12.1	15.6	19.1	23.4	26.1	26.7	23.9	20.0	16.4	13.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4.7	4.4	5.6	8.8	13.0	17.1	20.1	20.5	17.4	13.6	9.8	6.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.8	3.3	3.5	4.3	5.7	7.1	6.1	5.7	5.0	4.6	3.7	2.8
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.2	12.7	14.0	14.4	13.7	11.2	8.3	9.3	11.8	13.4	12.6	12.9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m ²)	78.0	61.3	58.1	56.6	52.9	50.8	34.8	45.5	78.3	114.5	95.9	80.3
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1950 - 2014)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25.9	28.2	35.2	37.6	37.8	35.9	37.0	34.8	33.2	33.8	30.3	26.4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.0	-6.1	-5.0	-2.0	5.2	9.2	13.5	13.8	8.5	3.4	-1.6	-3.1
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı	10.07.1992	115.1 kg/m ²	Günlük En Hızlı Rüzgar			12.03.1968	116.3 km/sa	En Yüksek Kar		15.01.1950	115.0 cm	



Şekil 2.2. Trabzon ili rüzgâr yönü ve hızı grafiksel gösterimi

2.1.2. Çalışma Alanının Jeolojik Yapısı

Etüt alanı ve çevresinin jeoloji haritası EK-1’de gösterilmiştir.

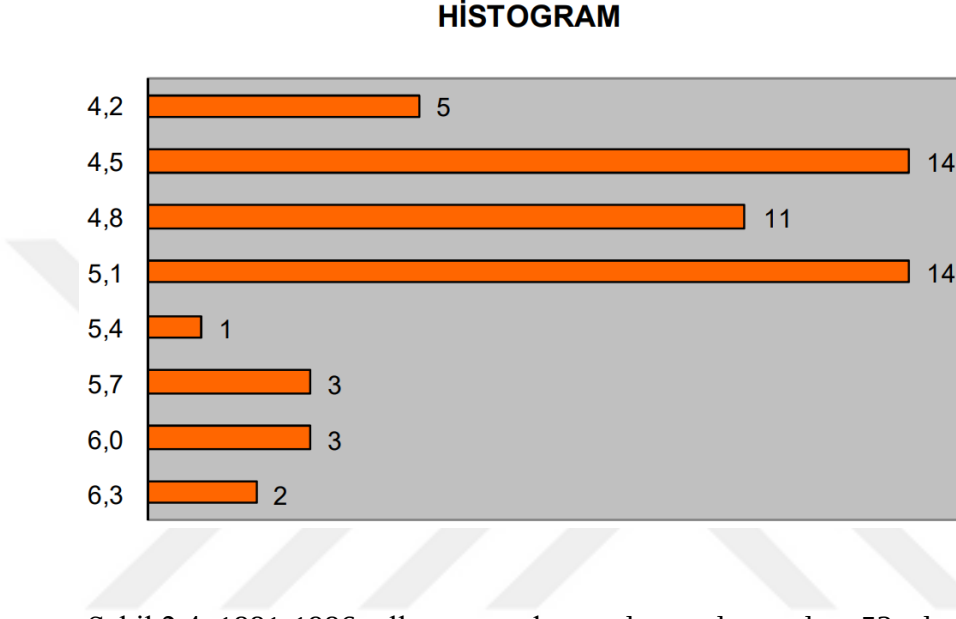
Etüt alanından ve çevre arazilerden gözlemler yapılmış olup, inceleme alanında iki adet temel sondaj çalışması yapılmıştır (EK-2 ve EK-3). İnceleme alanında 20.00 m derinliklerinde iki adet temel sondaj kuyusu açılmıştır (Tablo 2.2). Sondaj kuyusundan elde edilen veriler Tablo 2.3’te gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Sondaj noktaları koordinatları ve denizden yükseklikleri

Kuyu No	Koordinatlar		Yükseklik (m)	Derinlik (m)
	x	y		
SK 1	41 00 49.54	39 36 24.34	6.00	20.00
SK 2	41 00 48.18	39 36 23.95	9.00	20.00

Tablo 2.2’de kullanılan SK-1, birinci sondaj kuyusunu ifade ederken; SK-2, ikinci sondaj kuyusunu ifade etmektedir.

Yapı, 39.92°-42.08° N ve 37.67°-41.77° E koordinatları arasında olup bu alan üzerinde etkili olan deprem oluşumu incelenerek bölgenin sismik risk analizi yapılmıştır. İncelenen bu bölgede büyüklükleri 4.2'ye eşit ve daha büyük ($M \geq 4.2$) olan ve 1881-1986 yılları arasında olmuş toplam 53 tane deprem hareketi dikkate alınarak bölgenin, deprem büyüklüğü-oluş sayısı ilişkisi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. 1881-1986 yılları arasında meydana gelen toplam 53 adet depremin büyüklükleri ile deprem oluş sayısının değişimi

İnceleme alanındaki zeminin bina önem katsayısının 1.0 olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2.4).

Tablo 2.4. 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) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	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

2.2. Bölgede Yapılan Araştırma Çalışmaları

2.2.1. Arazi Deneyleri

Açılan sondaj kuyularında, zemin birimlerinin fiziksel parametrelerini belirlemek amacıyla standart penetrasyon deneyi yapılmıştır. Bu deneyde dış çapı 50.8 mm., iç çapı 34.93 mm. olan standart tip boyuna yarık numune alıcısının, 63.5 kg ağırlığında şahmerdanın 76 cm yükseklikten serbest düşmesi ile zemine 15 cm'lik kademeler halinde toplam 45 cm'ye çakılması için gereken darbe adedi tespit edilmiştir. İlk 15 cm'lik kesim

için elde edilen darbe değerleri göz önüne alınmayarak son iki kademe (15 cm + 15 cm) için darbe sayısı toplamı zeminin penetrasyon direnci (N) olarak kaydedilmiştir. Genellikle kumlu zeminler için yaygın olarak uygulanan standart penetrasyon deneylerinde, kohezyonsuz zeminlerin rölatif sıklığı, kohezyonlu zeminlerin kıvamı belirlenmektedir. Deney sonuçları ve seviyeleri Tablo 2.5’te gösterilmiştir. Deneye ait sondaj logları EK-4 ve EK-5’te detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 2.5. Standart penetrasyon deneyinden elde edilen veriler

Kuyu Numarası	Deney Seviyeleri (m)	Darbe Sayısı				Zemin Cinsi	Sıklık Durumu
		0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	SPT-N		
SK-1	2.00	7	11	13	24	Kum	Orta sıkı
SK-1	4.00	8	10	14	24	Kum	Orta sıkı
SK-1	6.00	32/50	R	R	R	Çakıl Kum	Çok sıkı
SK-1	8.00	9	13	14	27	Kum	Orta sıkı
SK-1	12.00	35/50	R	R	R	Çakıl Kum	Çok sıkı
SK-2	6.00	39/50	R	R	R	Çakıl Kum	Çok sıkı
SK-2	8.00	41/50	R	R	R	Çakıl Kum	Çok sıkı
SK-2	12.00	40/50	R	R	R	Çakıl Kum	Çok sıkı

İnceleme alanında yapay dolgu malzemesinin altında, kum yoğunluklu, plaj çökelleri yayılım göstermektedir. Kum yoğunluklu plaj çökellerinin yayılım gösterdiği seviyelerde yapılan standart penetrasyon deneyi verilerine göre plaj çökellerinin “orta sıkı” olduğu, çakıl- kum yoğunluklu plaj çökellerinin “çok sıkı” olduğu belirlenmiştir.

2.2.2. Laboratuvar Deneyleri

Yapılan sondajlarda yapay dolgu malzemesinden sonra kesilen kum yoğunluklu plaj çökellerinde standart penetrasyon deneyi yapılarak numuneler alınmış ve laboratuvar da su muhtevası, birim hacim ağırlık, elek analizi ve kesme kutusu deneylerine tabi tutulmuştur. Bu şekilde ulaşılan sonuçlar çerçevesinde, çalışma alanının zemin özellikleri belirlenmiştir.

2.2.2.1. Zeminlerin Fiziksel Özellikleri

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında yapay dolgu malzemesinden sonra gözlenen plaj çökellerinden alınan numuneler üzerinde elek analizi, su muhtevası ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır.

2.2.2.1.1. Elek Analizi Deneyi

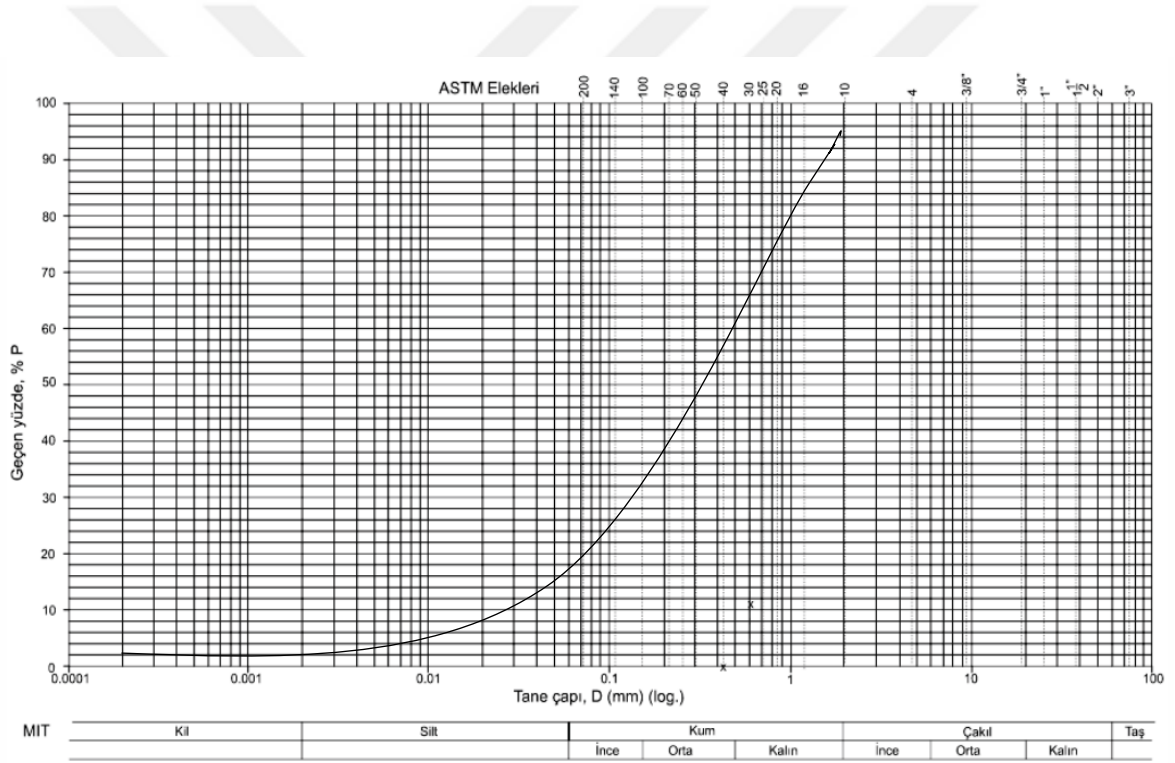
Elek analizi sonucu kil-silt oranı %12.70, kum oranı % 79.23, çakıl oranı % 8.06 olarak bulunmuştur (Şekil 2.5.) Alınan numunelerin zemin sınıfı SP-SM, SM ve SW-SM olarak sınıflandırılmış olup Tablo 2.7’ de gösterilmiştir. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Yöntemine (USCS) göre sınıflandırma tablosu Tablo 2.6’ da verilmiştir.

Tablo 2.6. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sembolleri (USCS)

Zemin	1. Sembol	Zemin Alt Grubu	2. Sembol
Çakıl	G	İyi Derecelenmiş	W
Kum	S	Kötü Derecelenmiş	P
		Plastik Olmayan İnce Taneli	M
		Plastik İnce Taneli	C
Silt	M	Likit Limit $\leq$ %50	L
Kil	C	Likit <u>Limit</u> $>$ %50	H
Organik	O		
Turba	Pt		

Tablo 2.7. USCS'ye göre zemin sınıflandırması

Sondaj Kuyusu Numarası	Derinlik (m)	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt, Kıl (%)	Zemin Sınıfı
SK-1	4.50	1.60	88.10	10.30	SP-SM (Üniform Kum ve Az Silt)
SK-1	8.00	0.20	81.10	18.70	SM (Siltli Kum)
SK-2	6.00	22.40	68.50	9.10	SW-SM (İyi Derecelenmiş Kum, Az Silt ve Az Çakıl)



Şekil 2.5. Elek analizi granülometri eğrisi

2.2.2.1.2. Su Muhtevası Deneyi

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan zemin numunelerinde, su muhtevası deneyi yapılarak elde edilen veriler Tablo 2.8'de gösterilmiştir.

Tablo 2.8. Su muhtevası deney sonuçları

Sondaj Kuyusu Numarası	Numune Numarası	Derinlik (m)	Su Muhtevası (%)
SK-1	SPT-1	4.50	15.90
SK-1	SPT-1	8.00	20.10
SK-2	SPT-1	6.00	14.00

Deney sonucu ortalama su muhtevası değeri % 16.66 olarak bulunmuştur.

2.2.2.1.3. Doğal Birim Hacim Ağırlık Deneyi

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan zemin numunelerinde, doğal ve doygun birim hacim ağırlık ölçümü yapılarak elde edilen veriler Tablo 2.9' da verilmiştir.

Tablo 2.9. Doğal birim hacim ağırlık deneyi sonuçları

Sondaj Kuyusu Numarası	Numune Numarası	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (t/m^3)
SK-1	SPT-1	4.50	1.70
SK-1	SPT-1	8.00	1.72
SK-2	SPT-1	6.00	1.68

Yapılan deneyler sonucunda zeminin ortalama doğal birim hacim ağırlığı $1.70 t/m^3$ olarak bulunmuştur.

2.2.2.2. Zeminlerin Mekanik Özellikleri

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında yapay dolgu malzemesinden sonra gözlenen plaj çökellerinden alınan numunelerin, mekanik özelliklerinin belirlenmesi için, numuneler üzerinde kesme kutusu deneyi yapılarak, zeminin kohezyon (c) ve kayma mukavemeti açısı (ϕ) belirlenmiştir.

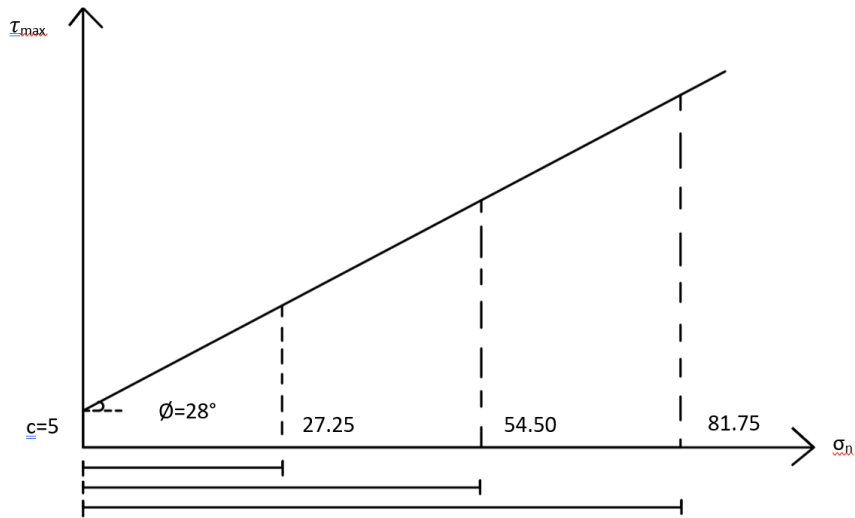
2.2.2.2.1. Kesme Kutusu Deneyi

İnceleme alanında yapılan sondajlardan alınan zemin numuneleri üzerinde kesme kutusu deneyi yapılmış, elde edilen laboratuvar sonuçlarına göre kohezyon ve kayma mukavemeti açıları Tablo 2.10’da gösterilmiştir.

Tablo 2.10. Kesme kutusu deney sonuçları

Sondaj Kuyusu Numarası	Derinlik (m)	Kesme Kutusu Deneyi							
		1		2		3		c (kN/m ²)	Ø (derece)
		σ_n (kN/m ²)	τ_{max} (kN/m ²)	σ_n (kN/m ²)	τ_{max} (kN/m ²)	σ_n (kN/m ²)	τ_{max} (kN/m ²)		
SK-1	4.50	27.25	19.20	54.50	33.80	81.75	48.50	5	28
SK-1	8.00	27.25	21.10	54.50	35.50	81.75	48.50	8	27
SK-2	6.00	27.25	17.80	54.50	32.20	81.75	48.90	2	30
ORTALAMA								5	28.33
σ_n : Normal Gerilme, τ_{max} : Maksimum Kesme Gerilmesi									

Kesme kutusu deney grafiği SK-1 için örnek olarak Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Kesme kutusu deneyi grafiği

2.2.2.2. Kumlu Zeminin Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Kum yoğunluklu plaj çökellerinde yapılan standart penetrasyon deneylerinin ortalamasına göre, suya doymuş kumlu zeminin elastisite modülü (E_s) Bağlantı 2.1’de hesaplanmıştır (Bowles, 1982)

$$\begin{aligned} E_s &= 250.(N+15) \text{ kPa} \\ &= 250.(25+15) = E_s = 250 \times 40 = 10000 \text{ kPa} = 1000 \text{ t/m}^3 = 100 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Burada;

E_s : Kumlu zeminin elastisite modülünü (kPa)

N : Penetrasyon direncini ($N=25$ olarak alınmıştır.) ifade eder.

2.3. İdealize Zemin Profili

İnceleme alanı; Trabzon ili, Akçaabat ilçesi, Söğütlü Mahallesi’nde yer almaktadır. İnceleme alanı Akçaabat parkının kenarında ve limanın eski mendirek mevkiinde yer almaktadır. Yapılan arazi çalışmaları ile alınan numunelerin incelenmesi sonucunda, temel zemininin yüzeyden itibaren ortalama 1.50-4.00 metresi yapay dolgu malzemesinden oluşmaktadır. Temel zeminin 1.50-4.00 metreden sonrası ise 20.00 metreye kadar kum yoğunluklu, ara seviyelerde çakıl-kum içeren plaj çökellerinden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 2.7).

Sondaj Derinliği, m	Jeoteknik Tanımlama	Jeolojik Kesit	İdealize Zemin Profili
1.00	Yapay Dolgu Malzemesi		Yapay Dolgu Malzemesi N=24
2.00			
3.00	Kum Yoğunluklu Plaj Çökeli		
4.00			
5.00	Çakıl-Kum Yoğunluklu Plaj Çökeli		Çakıl-Kum Yoğunluklu Plaj Çökeli N=40
6.00			
7.00			
8.00	Kum Yoğunluklu Plaj Çökeli		
9.00			
10.00	Çakıl- Kum Yoğunluklu Plaj Çökeli		
11.00			
12.00			
13.00			
14.00			
15.00			
16.00			
17.00			
18.00			
19.00			
20.00			

Şekil 2.7. İdealize zemin profili

2.4. Taşıma Gücünün Hesaplanması

Taşıma gücü, temel elemanın göçmeye karşı yeterli miktarda kapasiteye sahip olmasını ifade eden önemli bir kavramdır. Temelin göçmesi üstyapının da yıkılmasına sebep olmasının yanı sıra üstyapının, beklenen görevi yerine getirebilmesi için zeminde oluşabilecek toplam ve farklı oturmaların kabul edilebilir değerleri aşmaması gerekir. Zeminin taşıma gücü, Terzaghi taşıma gücü hesabı (Bağıntı 2.2 ve Bağıntı 2.3) ile yapıp sonuçlar Tablo 2.11’de gösterilmiştir.

$$q_s = K_1 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + K_2 \cdot N_\gamma \cdot B \cdot \gamma \quad (2.2)$$

Burada;

q_s : Sınır taşıma gücünü,

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 faktörleri ni,

γ : Zeminin birim hacim ağırlığını,

D_f : Temel derinliğini (m),

B : Temel genişliğini (m),

$\emptyset$: Kayma mukavemet açısını ifade eder.

$$q_{emin} = q_s / G_s \quad (2.3)$$

Burada;

q_{emin} : Emniyetli taşıma gücünü,

G_s : Güvenlik katsayısını (3 alınır) ifade eder.

Tablo 2.11. Terzaghi Taşıma Gücü hesabı

Veriler		Hesaplamalar
Temel tipi	Şerit temel	Zemin sınır taşıma gücü (q_s): 58.48 t/m ² Zemin emniyetli taşıma gücü (q_{emin}) : 19.49 t/m ² veya 1.95 kg/cm ²
K_1	1.00	
K_2	0.50	
c (t/m ³)	0.5	
ϕ (°)	28	
γ_1 (t/m ³)	1.70	
γ_2 (t/m ³)	1.70	
D_f (m)	1.0	
B (m)	1.0	
L (m)	1.0	
N_q	17.81	
N_c	31.61	
N_γ	14.59	

Yapılan hesaplara göre inceleme alanındaki kumlu zeminin emniyetli taşıma gücü 1.66 kg/cm²-1.95 kg/cm² arasında hesaplanmıştır. Ancak inceleme alanındaki zemin özellikleri ve yapı temellerini yeraltı suyunun etkileyeceği gibi etkenler göz önüne alınarak, güvenli tarafta kalabilmek için zemin emniyet gerilmesi 1.50 kg/cm² olarak kabul edilmiştir.

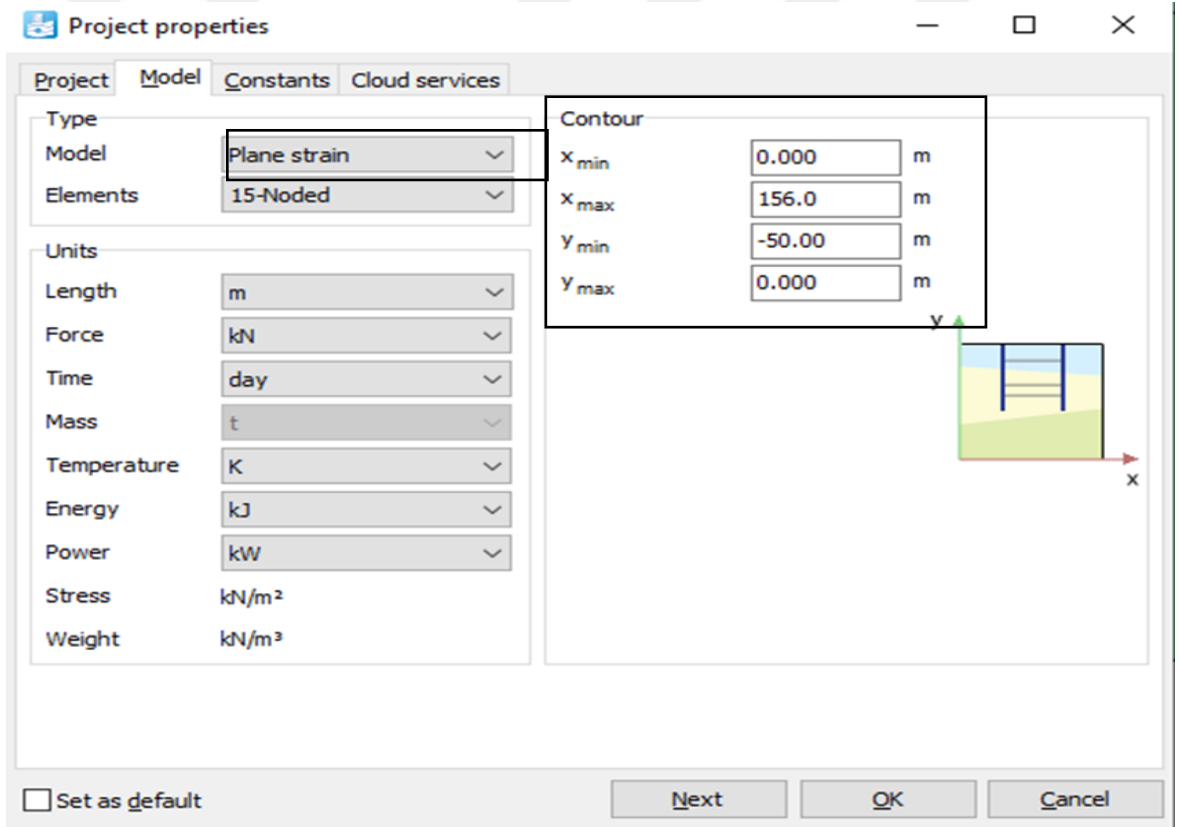
2.5. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analiz

PLAXIS (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis), çeşitli geoteknik problemlerde, sonlu elemanlar metodu kullanarak oturma ve stabilite analizleri yapan bir bilgisayar programıdır.

Programın veri girişi kısmında analizi yapılacak modelin geometrisi tasarlanırken, veri çıkışı kısmında, tasarlanan modelin oturma ve gerilme değerleri verilir. Plaxis programı aracılığı ile sonsuz bir ortam noktalanır, çizgilenir ve hücreler ile bilinen üçgen parçalara bölünerek sonlu hale dönüştürülmektedir. Oluşturulan sonlu elemanlara model duvarlar, ankrajlar, levhalar, geotekstiller ve zemin-yapı birleşim elemanları örnek olarak verilebilir (Karaca, 2019).

Bu bölümde; projede hali hazırda bulunan kazıkların çap ve aralıklarını değiştirerek oturma, taşıma gücü ve deformasyon bakımından karşılaştırma yapılmıştır. Hali hazır projede 12 metre uzunluğunda, 65 cm çaplı donatısız fore kazıklar, iki metre aralıklarla yerleştirilmiştir. İlk durumda 45 cm çaplı kazıkları üç metre aralıklarla yerleştirerek, kazık aralıklarının ve çapın değişiminde oluşan farklılıklar; ikinci durumda, 65 cm çaplı kazıkları dört metre aralıklarla yerleştirerek, kazıkların aralıklarının değişiminde oluşan farklılıklar gözlenmiştir. Analizde Mohr-Coulomb zemin modeli kullanılmıştır.

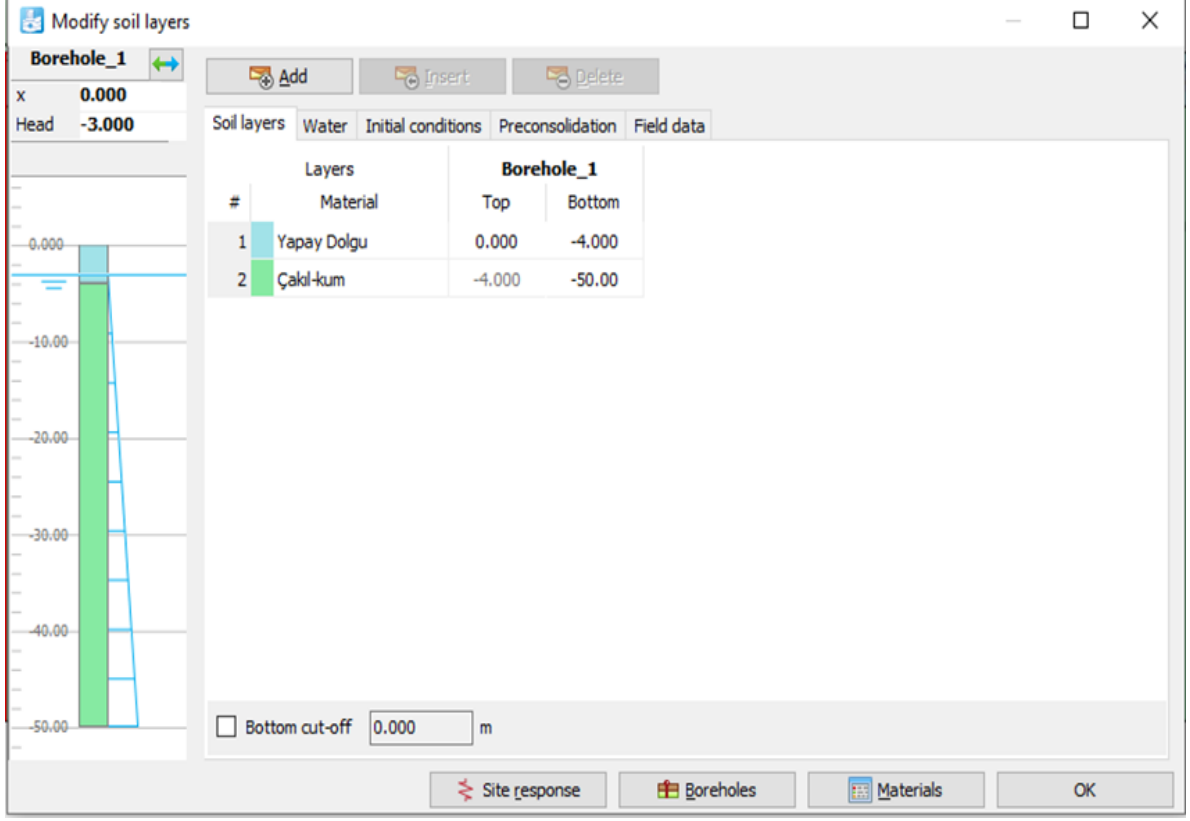
İlk aşamada projenin çözüleceği modelin boyutları seçilip (Şekil 2.8) zemin katmanları ve yeraltı suyu bilgisi (Şekil 2.9) girilmiştir.



Şekil 2.8. Model boyutunun seçilmesi

Proje planda x ekseninde yaklaşık 76 metre uzunluğunda olmakla beraber, sağ ve soldan 40'ar metre daha eklenerek; model x ekseninde 156 metre alınmıştır. Projede 40 metrelik bir sondaj gözüktüğü için y eksenini de bir miktar uzatılarak 50 metre olarak alınmıştır.

Modelin Plane Strain olması; düzlemsel deformasyon analizi yapıldığını yani Plaxis 2D programında görülemeyen z eksenine doğru sonsuza giden bir çözüm olduğunu ifade eder.



Şekil 2.9. Zemin katmanları ve yeraltı suyu durumu girilmesi

Yapılan sondajlarda yeraltı suyu durumunun 2.0 m ve 4.0 m olarak ölçülmesi sebebiyle programa, ortalama değer olarak 3.0 m girilmiştir.

Zemin değerleri idealize edilip yazılmıştır. Yapay dolgu tabakasının drenajlı olduğu kabul edilip, doğal birim hacim ağırlık (γ_n), doymuş birim hacim ağırlık (γ_d) ve rijitlik parametrelerine ilişkin bir bilgi olmadığı için literatürde kabul edilen değerler girilmiştir. Elastisite modülü (E) : $10,00 \times 10^3$ kN/m² ,Poisson oranı (v) 0.3 , kayma mukavemeti açısı (Φ) 30° olarak alınmıştır (Şekil 2.10.).

Soil - Mohr-Coulomb - Yapay Dolgu

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Yapay Dolgu
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 161, 226, 232
Comments		
General properties		
γ_{unsat}	kN/m ³	17.00
γ_{sat}	kN/m ³	17.50
Advanced		
Void ratio		
Dilatancy cut-off		☐
e_{init}		0.5000
e_{min}		0.000
e_{max}		999.0
Damping		
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000

Next OK Cancel

Şekil 2.10. Yapay dolgu tabakası parametrelerinin programa tanımlanması

İkinci katman çakıllı kum olduğu için drenajlı çözüm seçilmiş olup, birim hacim ağırlık ve doymun birim hacim ağırlık değerleri zemin etüt raporundaki değerlerden alınarak girilmiştir (Şekil 2.11 ve Şekil 2.12).

Soil - Mohr-Coulomb - akıl-kum

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		akıl-kum
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 134, 234, 162
Comments		
General properties		
Y_{unsat}	kN/m ³	18.00
Y_{sat}	kN/m ³	18.50
Advanced		
Void ratio		
Dilatancy cut-off		☐
e_{init}		0.5000
e_{min}		0.000
e_{max}		999.0
Damping		
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000

Next OK Cancel

Şekil 2.11. akıl-Kum tabakası parametrelerinin programa tanımlanması

Soil - Mohr-Coulomb - Çakıl-kum

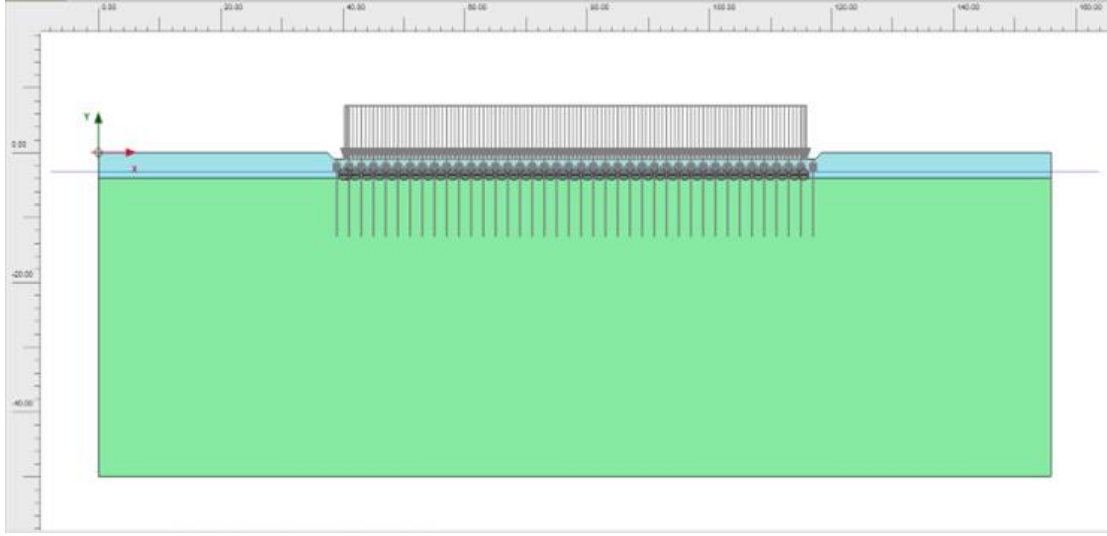
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Stiffness		
E'	kN/m ²	30.00E3
ν' (ν)		0.3000
Alternatives		
G	kN/m ²	30.77E3
E_{oed}	kN/m ²	107.7E3
Strength		
c'_{ref}	kN/m ²	1.000
ϕ' (ϕ)	°	32.00
ψ (ψ)	°	2.000
Velocities		
V_s	m/s	129.5
V_p	m/s	242.3
Advanced		
Set to default values		☒
Stiffness		
E'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
γ_{ref}	m	0.000
Strength		
c'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
γ_{ref}	m	0.000
Tension cut-off		☒
Tensile strength	kN/m ²	0.000
Undrained behaviour		

Next OK Cancel

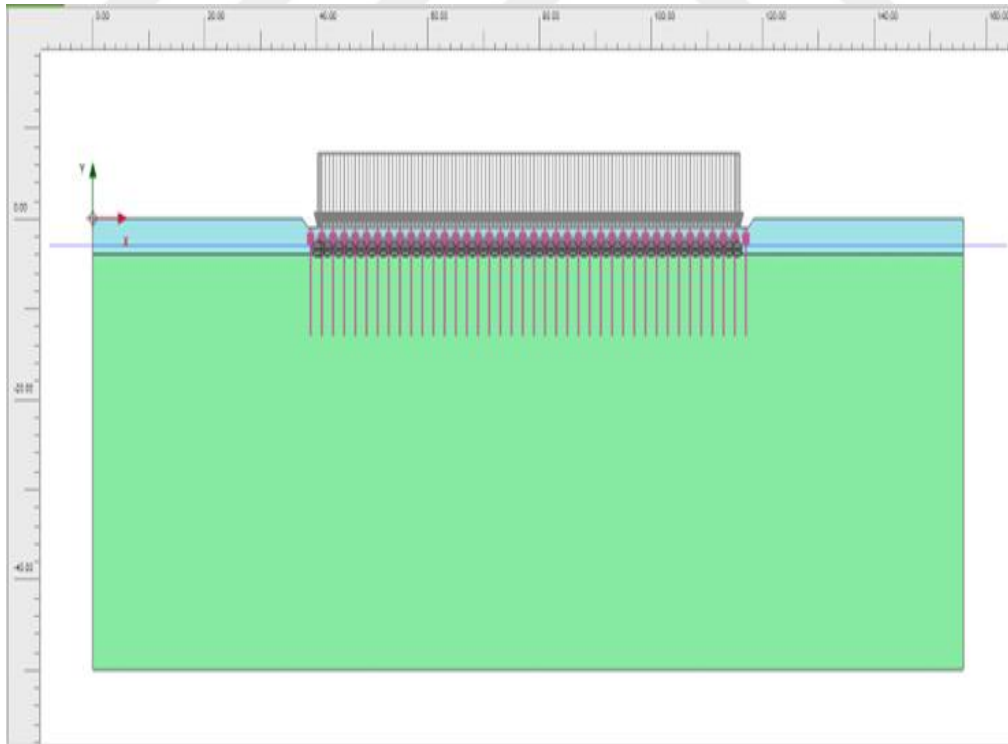
Şekil 2.12. Çakıl-kum tabakası parametrelerinin programa tanımlanması

Zemin katmaları parametrelerinin tanımlanmasının ardından yapı modellemesi yapılmıştır. Temel derinliği (D_f) 1 metre kabul edilip, temel şevi 1.0 m x 1.0 m olduğu için temelin sağında ve solunda bir metrelik temel şevleri oluşturulmuştur (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Şevli kazının temel kazısı yapımının gösterilmesi

Kazıklar 12'şer metre olacak şekilde yerleştirilip, projede kullanılan kazıklar donatısız olduğu için kazık-temel birleşimi rijit değil mafsallı olarak seçilmiştir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Kazıkların Programa Tanımlanması

Kazık yapımında C30 beton sınıfı kullanılmıştır. Bu betonların elastisite modülleri $E=32$ GPa'dır. Güvenli tarafta kalmak açısından 30 GPa kabul edilmiştir. Çapı 65 cm olan kazıklar 2.0 m aralıklarla girilerek kazık tasarımı tanımlanmıştır (Şekil 2.15).

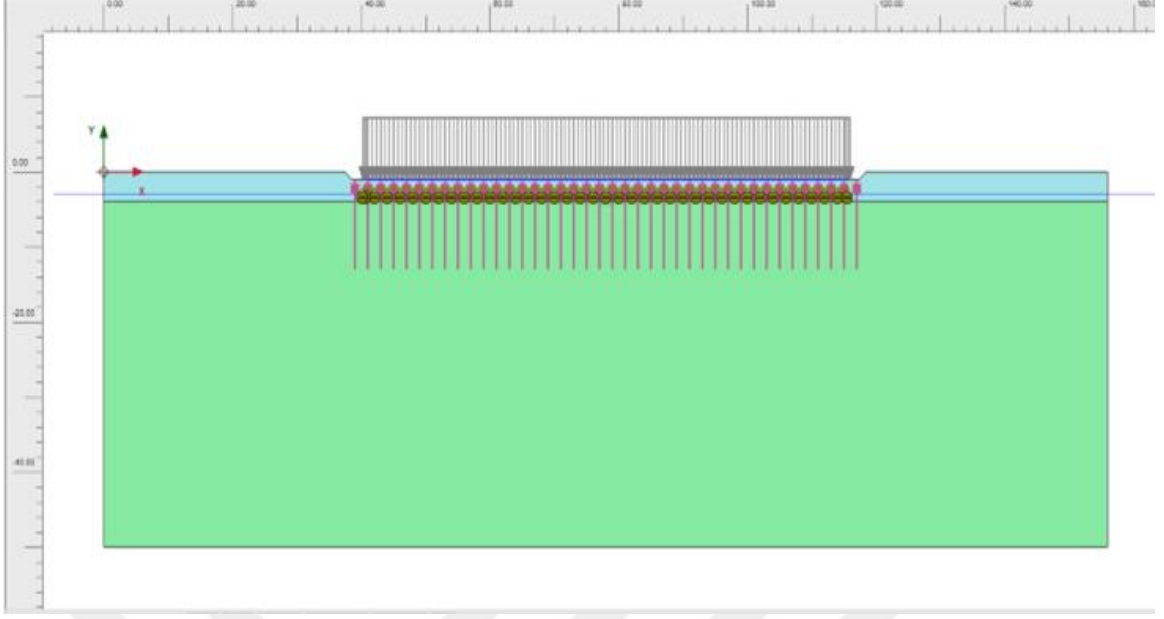
Embedded beam row - 65 cm FK

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		65 cm FK
Comments		
Colour		RGB 199, 82, 143
Material type		Elastic
Properties		
E	kN/m ²	30.00E6
ν	kN/m ²	24.00
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	2.000
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	4000
Interface stiffness factor		

OK Cancel

Şekil 2.15. Kazık parametrelerinin programa tanımlanması

Kazıkların üzerine plate elemanı olarak radye temel girilmiştir. Yapılan proje 6 katlık bir kültür merkezi projesi olması sebebiyle, kat başına 20 kPa yayılı yük geldiği varsayılarak, toplamda 120 kPa değerinde yayılı yük eklenmiştir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Radye temelin programa tanımlanması

Temelin yüksekliği 90.0 cm, genişliği 76.0 m'dir. Fakat 1.0 metre için hesap yapılarak EI değeri bulunmuştur (Bağıntı 2.4, Bağıntı 2.5). ν (poisson oranı), TS500'den alınmıştır (Şekil 2.17).

$$E_x A = 30 \times 10^6 \times 0.90 \times 1 = 27 \times 10^6 \text{ kN/m} \quad (2.4)$$

$$EI = E_x I = 30 \times 10^6 \times \frac{1}{12} \times 1 \times 0.9^3 = 1.823 \times 10^6 \text{ kNm}^2/\text{m} \quad (2.5)$$

Burada;

w : Ağırlığı ifade eder (Bağıntı 2.6).

$$\gamma = \text{Ağırlık/Hacim} \quad (2.6)$$

$24 = w / (1 \times 1 \times 0.9) \Rightarrow w = 21.6 \text{ kN/m/m}$ olarak hesaplanmıştır.

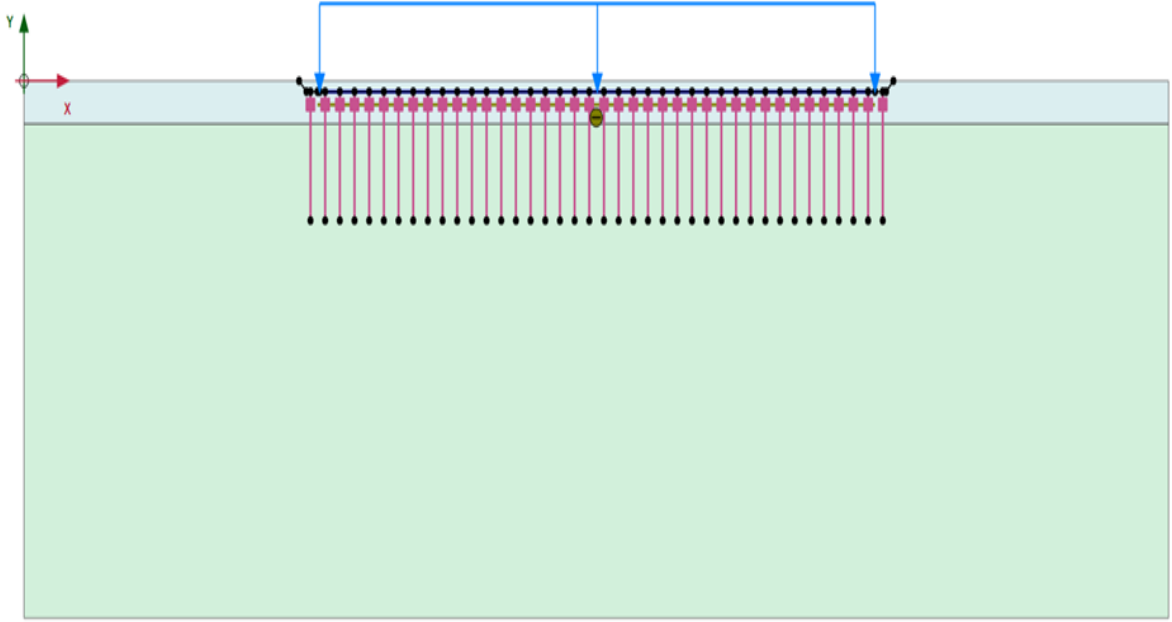
Plate - Radye temel

Mechanical Thermal

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Radye temel
Comments		
Colour		RGB 0, 0, 255
Material type		Elastic
Properties		
Isotropic		☒
EA ₁	kN/m	27.00E6
EA ₂	kN/m	27.00E6
EI	kN m ² /m	1.823E6
d	m	0.9000
w	kN/m/m	21.60
ν (nu)		0.2000
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000
Prevent punching		☐

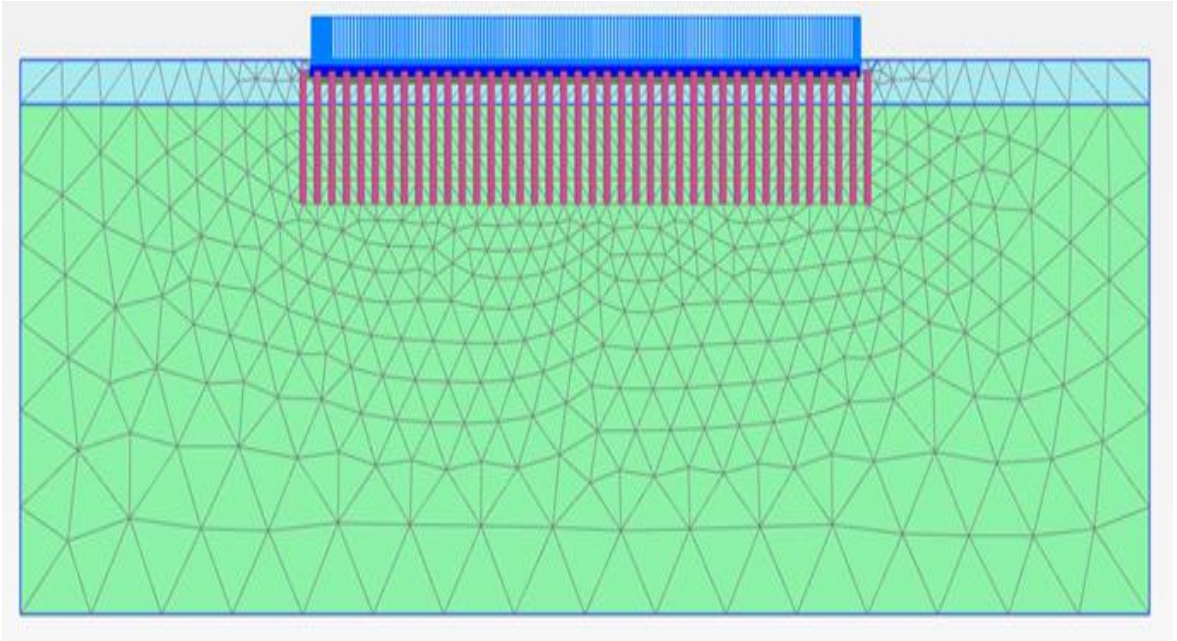
OK Cancel

Şekil 2.17. Radye temel parametrelerinin programa tanımlanması



Şekil 2.18. Yapı modellemesi

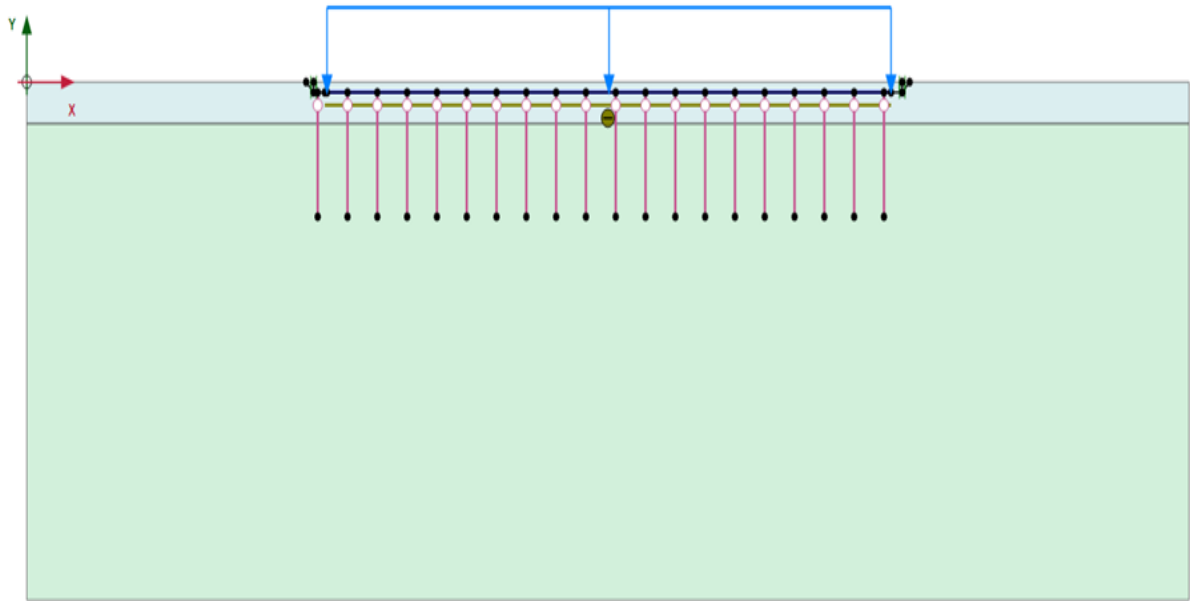
Mesh işlemi ile, oluşturulan yapısal elemanlar ile zemin arasındaki etkileşim sağlanmıştır (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Mesh işleminin yapılması

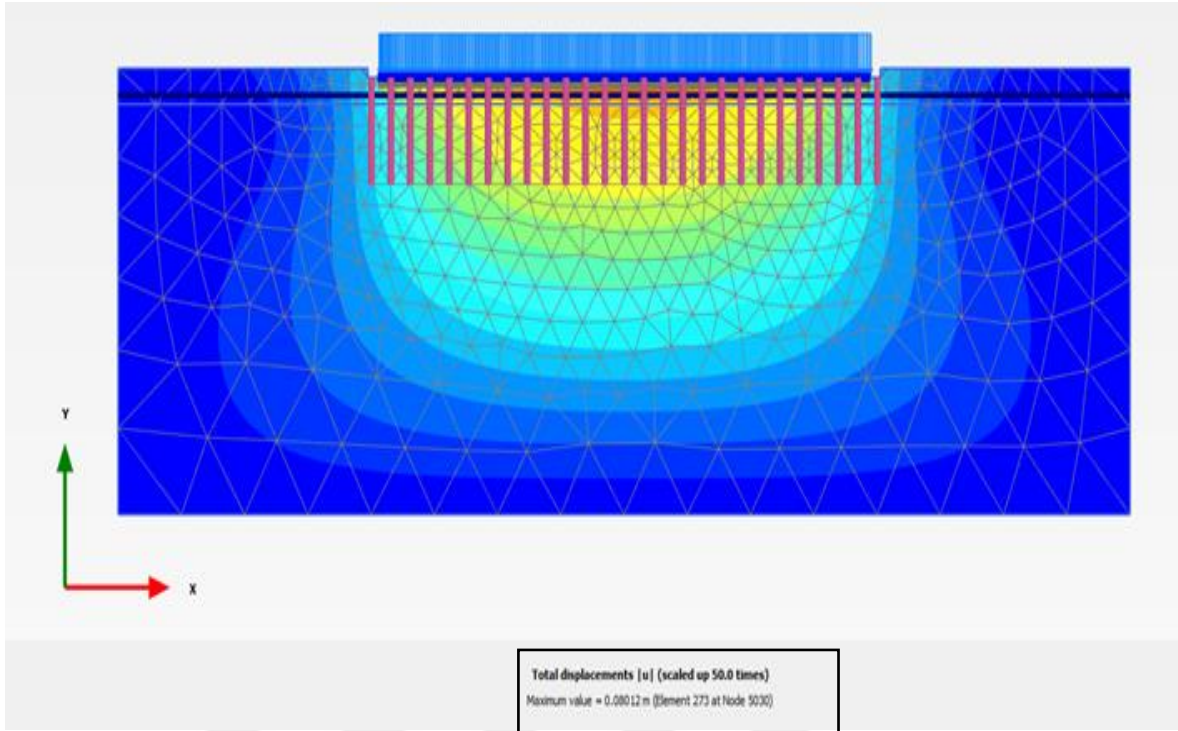
2.5.1. Uygulama 1

Bu bölümde 45.0 cm çaplı kazıklar 3.0 m aralıklar ile yerleştirilip analiz edilerek toplam oturma değeri ve güvenlik sayısı bulunmuştur. Projenin genel görünümü Şekil 2.20’de gösterilmiştir.

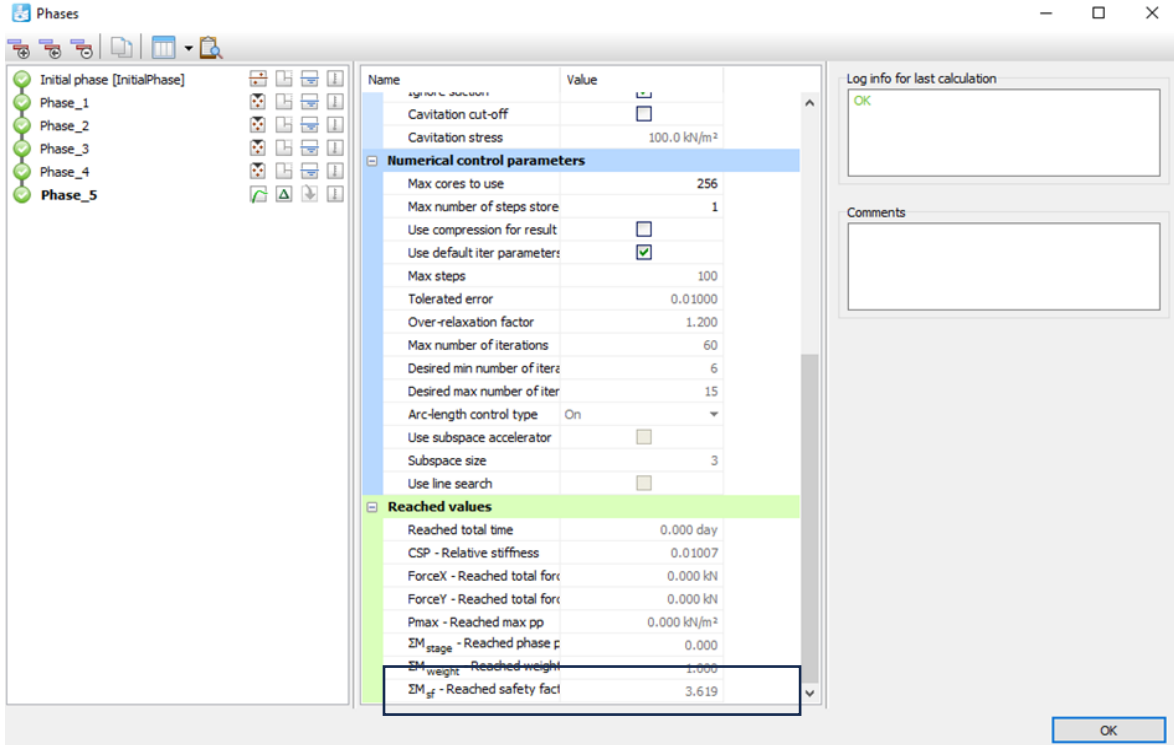


Şekil 2.20. Proje genel gösterimi

Toplam oturma değeri 8 cm bulunurken (Şekil 2.21), güvenlik sayısı değerinin 3.619 olduğu görülmüştür (Şekil 2.22).



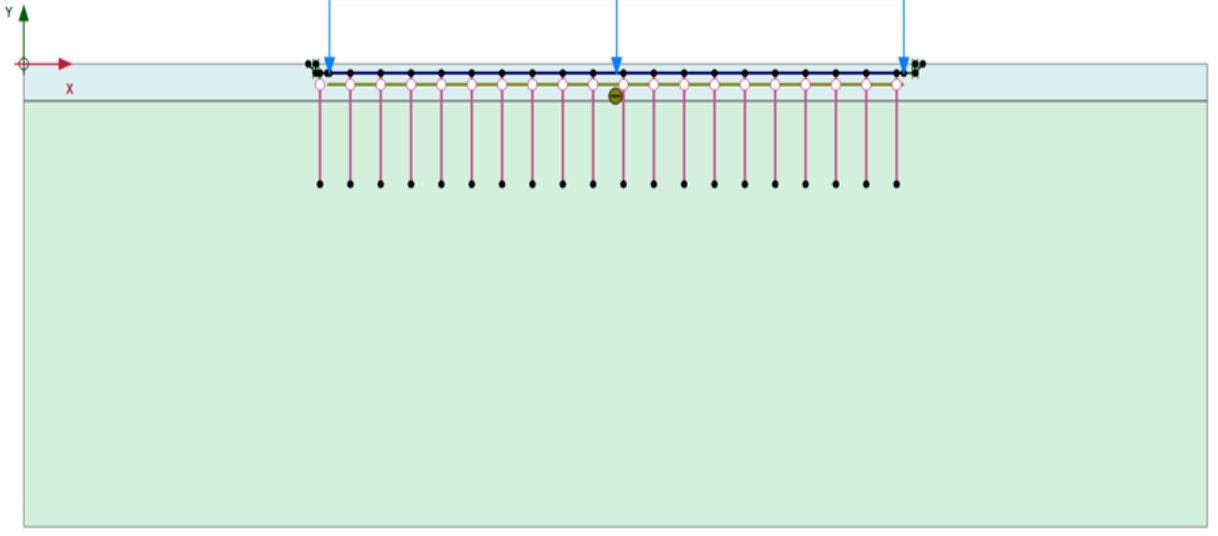
Şekil 2.21. Toplam oturma değeri (0.08012 m)



Şekil 2.22. Güvenlik sayısı (3.619)

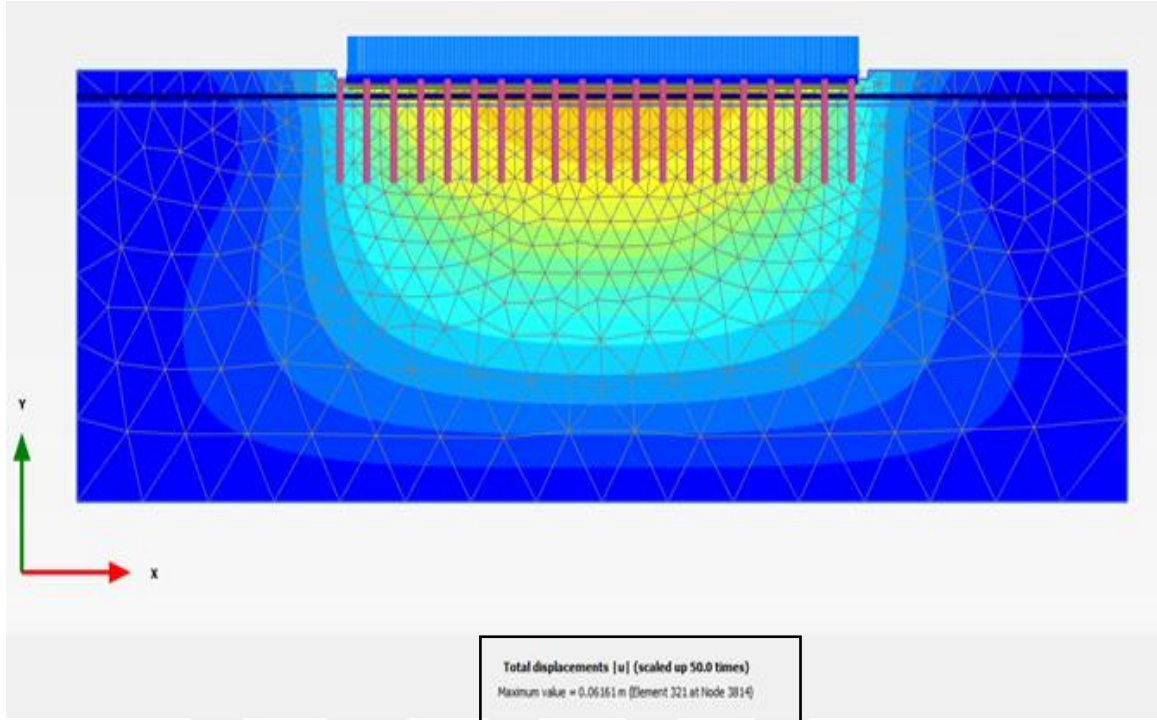
2.5.2. Uygulama 2

Bu bölümde 65.0 cm çaplı kazıklar 4.0 m aralıklar ile yerleştirilip analiz edilerek toplam oturma değeri ve güvenlik sayısı bulunmuştur. Projenin genel görünümü Şekil 2.23'te gösterilmiştir.

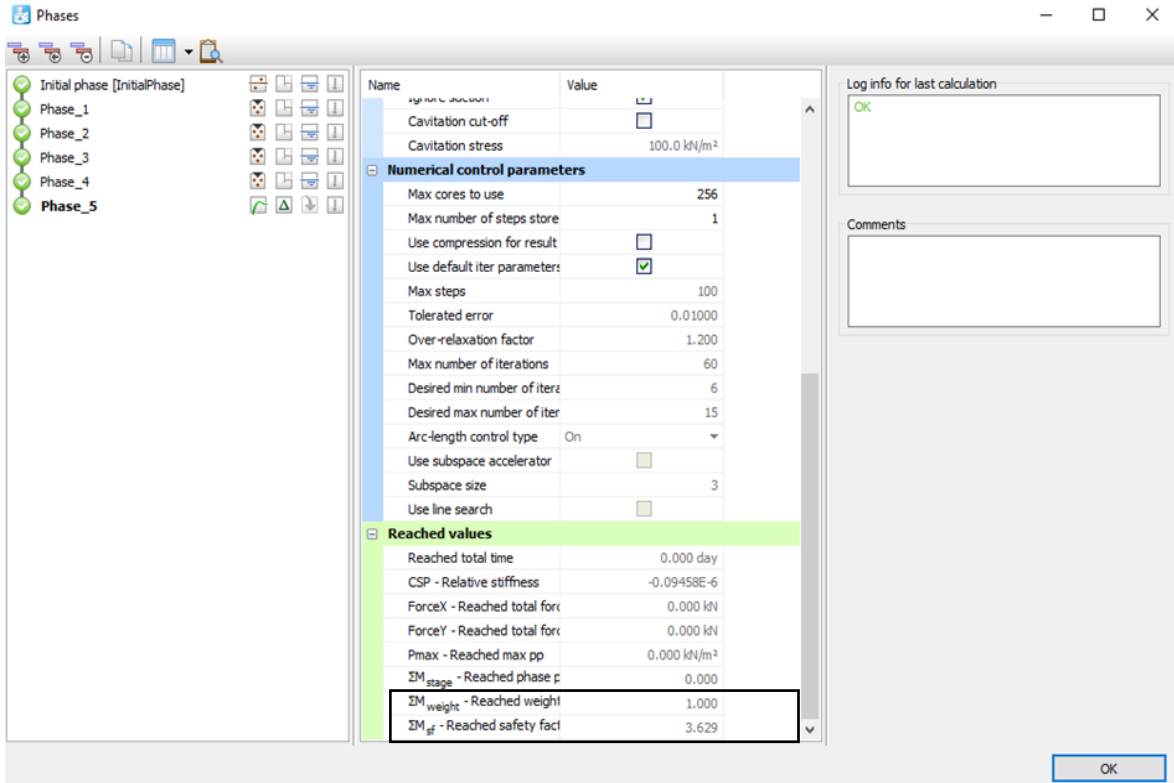


Şekil 2.23. Proje genel gösterimi

Toplam oturma değeri yaklaşık 6.2 cm bulunurken (Şekil 2.24), güvenlik sayısı değerinin 3.629 olduğu görülmüştür (Şekil 2.25).



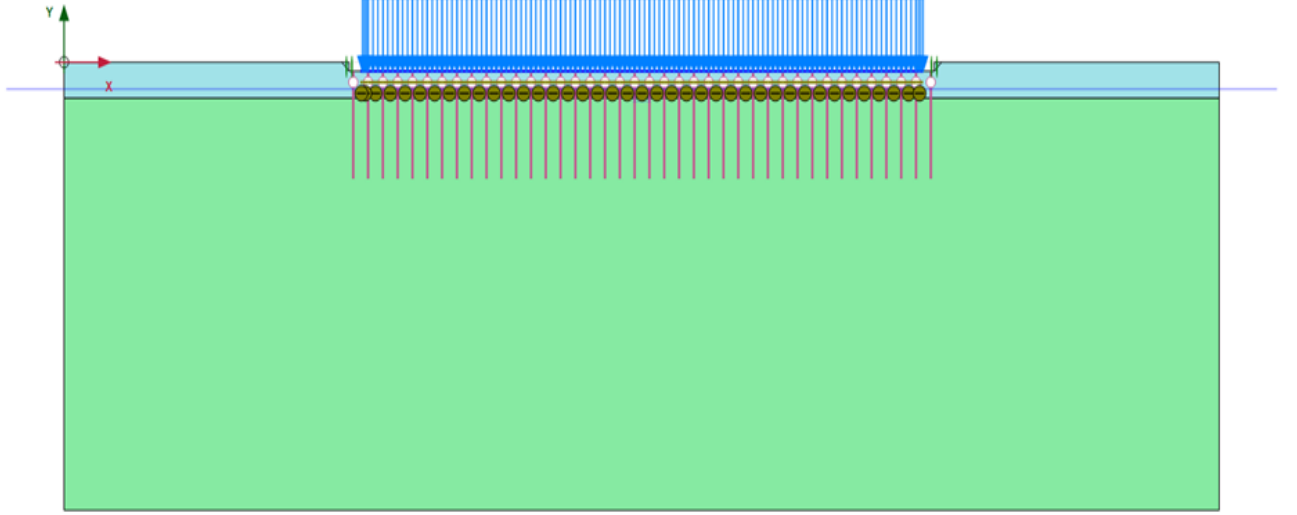
Şekil 2.24. Toplam oturma değeri (0.06161 m)



Şekil 2.25. Güvenlik sayısı (3.629)

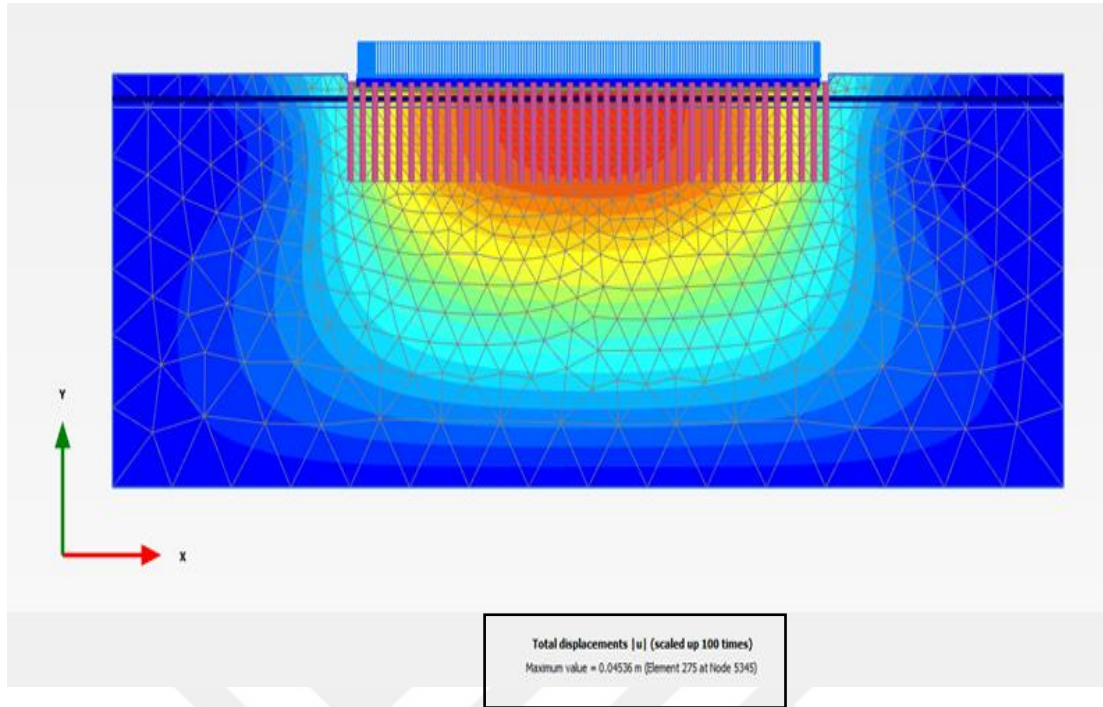
2.5.3. Uygulama 3

Bu bölümde 65.0 cm çaplı kazıklar 2.0 m aralıklar ile yerleştirilip analiz edilerek toplam oturma değeri ve güvenlik sayısı bulunmuştur. Projenin genel görünümü Şekil 2.26’da gösterilmiştir.

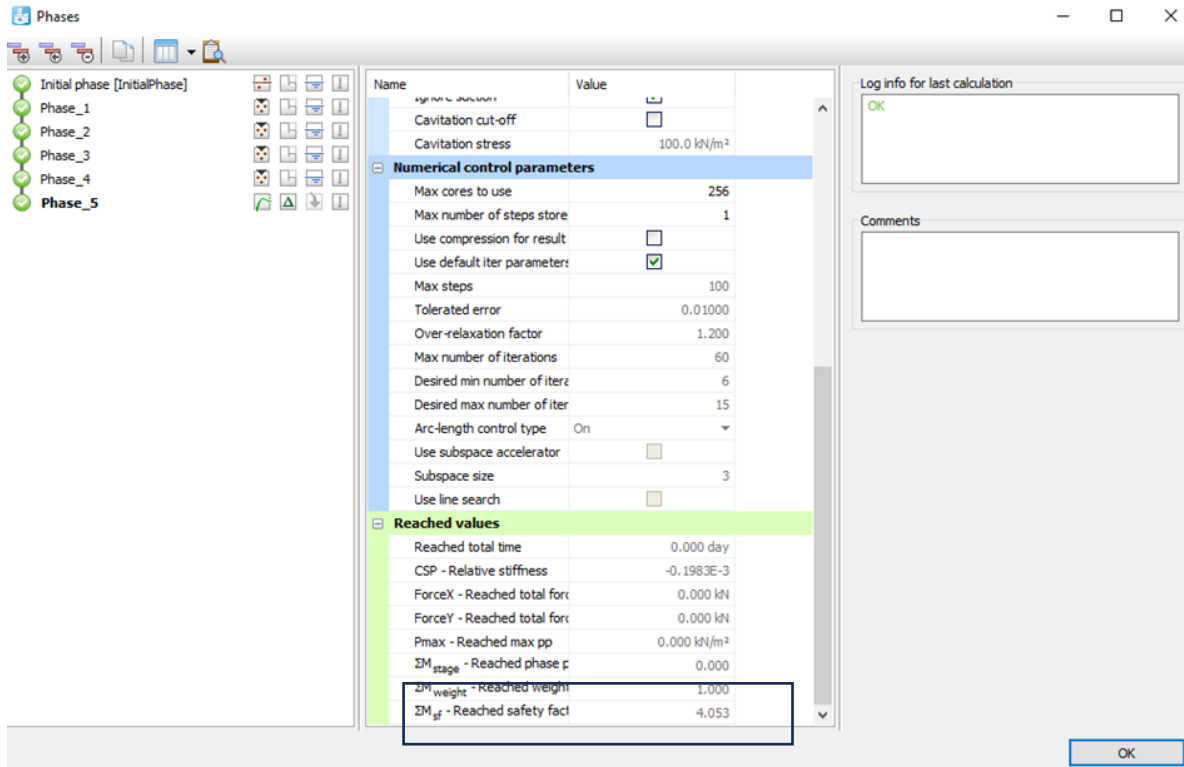


Şekil 2.26. Proje genel gösterimi

Toplam oturma değeri yaklaşık 4.5 cm bulunurken (Şekil 2.27), güvenlik sayısı değerinin 4.053 olduğu görülmüştür (Şekil 2.28).



Şekil 2.27. Toplam oturma değeri (0.04536 m)



Şekil 2.28. Güvenlik sayısı (4.053)

3.SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Trabzon ilinin Akçaabat ilçesi, Söğütlü Mahallesi, 352 ada, 2 nolu parselde yer alacak olan binanın temelinde kullanılacak kazıklarla ilgili analizler yapılmıştır. Etüt alanında, Akçaabat Belediyesine ait hizmet binası yapılacak olup, yapı betonarme şekilde tasarlanıp, yükleri, modern inşaat tekniğine uygun şekilde bir derin temel çeşidi olan donatısız kazıklara aktarılmaktadır. Projenin yapılacağı yüzeysel zeminin yeterli taşıma gücüne sahip olmadığı anlaşıp derin temel kullanımına karar verilmiştir. Yapılacak hizmet binası altı katlı olup temelde toplamda 710 adet olacak şekilde, 12.0 metre uzunluğunda, 65.0 cm çaplı donatısız kazıklar iki metre aralıklarla yerleştirilmiştir. Bölgenin coğrafi konumu, jeolojik yapısı ve depremselliğinden bahsedilmiş olup, uygulama alanındaki parametreleri elde etmek için arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Mevcut kazıkların çap ve aralıkları değiştirilmek suretiyle üç farklı analiz yapılmıştır. Analizler Plaxis 2D programı ile Mohr-Coulomb zemin modeli seçilerek gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar güvenlik sayısı ve oturma değeri yönünden karşılaştırılmıştır. İlk aşamada, kazık boyu sabit olacak şekilde, 45.0 cm çaplı kazıkları 3.0 m aralıklarla yerleştirerek, ikinci aşamada 65.0 cm çaplı kazıkları 4.0 m aralıklarla yerleştirerek, üçüncü aşamada ise optimum çözüm olan 65.0 cm çaplı kazıkları 2.0 m aralıklarla yerleştirerek, üç farklı analiz yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, kazık çap ve aralıklarının değişiminin güvenlik sayısı ve oturma değeri üzerindeki değişimini gözlemlemektir. Zemin etüt raporlarından ve yapı projesinden elde edilen bütün veriler Plaxis 2D programına tanımlanmıştır ve analiz sonuçları gösterilmiştir.

Birinci uygulamada yapılan analizler sonucunda toplam oturma değeri 8 cm bulunurken, güvenlik sayısı değerinin 3.619 olduğu görülmüştür. İkinci uygulamada toplam oturma değeri 6.2 cm bulunurken, güvenlik sayısı değerinin 3.629 olduğu görülmüştür. Üçüncü uygulamada ise toplam oturma değeri 4.5 cm bulunurken, güvenlik sayısı değerinin 4.053 olduğu görülmüştür.

Bu çalışma sonucunda;

- Sabit uzunlukta daha küçük çaplı fakat daha küçük aralıklarla yerleştirilen kazıkların, daha büyük çaplı fakat daha büyük aralıklarla yerleştirilen kazıklara göre daha büyük oturma değeri verdiği (45.0 cm çaplı kazıkların aralıklarının daha düşük olmasına rağmen, 65.0 cm çaplı kazıklara göre daha büyük oturma değeri verdiği),
- Sabit uzunlukta kazıklarda, kazık çapının sabit tutulup kazık aralıklarının arttırılmasının toplam oturma miktarını arttırdığı (65.0 cm çaplı kazıkların 4.0 m aralıklarla yerleştirilmesi, 2.0 m aralıklarla yerleştirilmesinden daha büyük oturma değeri verdiği),
- Sabit uzunlukta daha küçük çaplı fakat daha küçük aralıklarla yerleştirilen kazıkların, daha büyük çaplı fakat daha büyük aralıklarla yerleştirilen kazıklara göre daha küçük güvenlik sayısı değeri verdiği (45.0 cm çaplı kazıkların aralıklarının daha düşük olmasına rağmen, 65.0 cm çaplı kazıklara göre daha küçük güvenlik sayısı değeri verdiği),
- Sabit uzunlukta kazıklarda, kazık çapının sabit tutulup kazık aralıklarının arttırılmasının güvenlik sayısı değerini düşürdüğü (65.0 cm çaplı kazıkların 4.0 m aralıklarla yerleştirilmesi, 2.0 m aralıklarla yerleştirilmesinden daha küçük güvenlik sayısı değeri verdiği) görülmüştür.

Üç farklı analiz sonuçları karşılaştırıldığında optimum çözümün, uygulaması yapılan projedeki aralık ve çapların olduğu görülmektedir. Diğer iki durumun güvenlik sayısı yeterli olsa da, oturma değerlerinin yüksek olması sebebiyle optimum çözüm olmamaktadır.

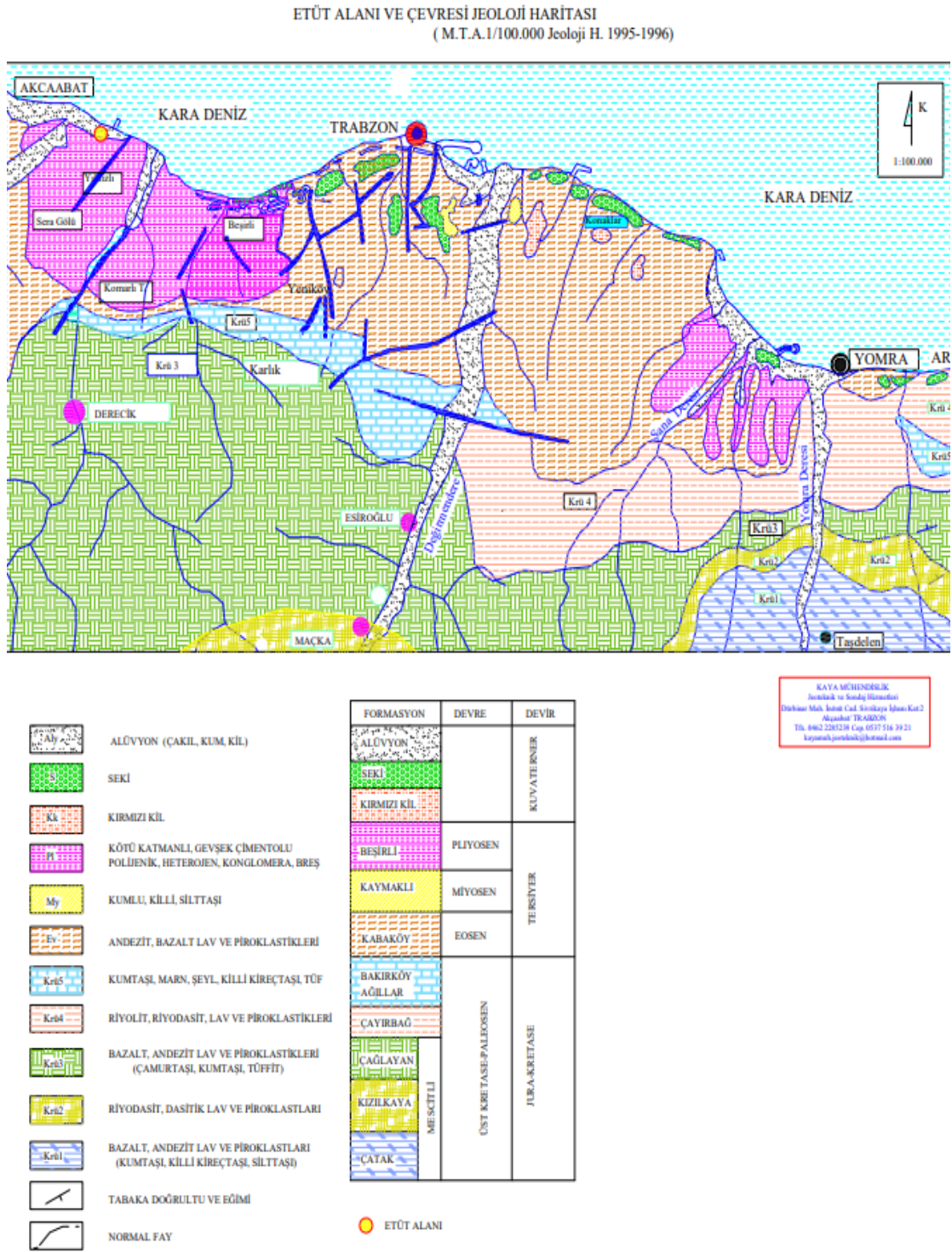
4.KAYNAKÇA

- Afacan, K.B., 2007. Perde Kazıkların Düşey Taşıma Gücünün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- AFAD, 2019. Türkiye Deprem Tehlike Haritası.
- Ateş, A. ve Toplu, Ş., 2022. Örnek Bir Yapıda Kazık Mesafe Değişiminin Kazık Tasarımına Etkisinin İncelenmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 35, 579-594.
- Benz, T., 2007. Small-strain stiffness of soils and its numerical consequences, Ph. D. Thesis, University of Stuttgart, Germany.
- Birand, A.A., 2007. Kazıklı Temeller, Teknik Yayınevi, Ankara.
- 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.
- Bozkurt, R. ve Demiröz, A., 2020. Kazıklı Radye Temel Boyutlarının Oturma Davranışı Dikkate Alınarak Optimum Tasarımı, İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi, 123-129.
- Coyle, H.M. ve Castello, R.R., 1981. New Design Correlations for Piles in Sand, Journal Geotechnical Engineering Division, Proc. ASCE, 107, GT7.
- Çanakçı, H. ve Hamed, M., 2017. Experimental study on axial response of different pile materials in organic soil, Geomechanics and Engineering, 12,6.
- Das, M.B., 2007. Principles of Foundation Engineering, Global Engineering Publishing Company, Seventh Edition, Stanford ABD.
- Hoek, E. ve Brown, E., T., 1980. Empirical Strength Criterion for Rock Masses. ASCE Journal of The Geotechnical Engineering Division, 106 (GT9), 1013-1035
- Fuller, F.M. ve Hoy, H.E., 1970. Pile Load Tests Including Quick Load Test Method, Conventional Methods and Interpretations, Highway Research Record No.333.
- 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.
- Karaca, Ş., Academia, https://www.academia.edu/34713742/PLAXIS_2D_Final_%C5%9Eevket_Karaca, 05 Ağustos 2019

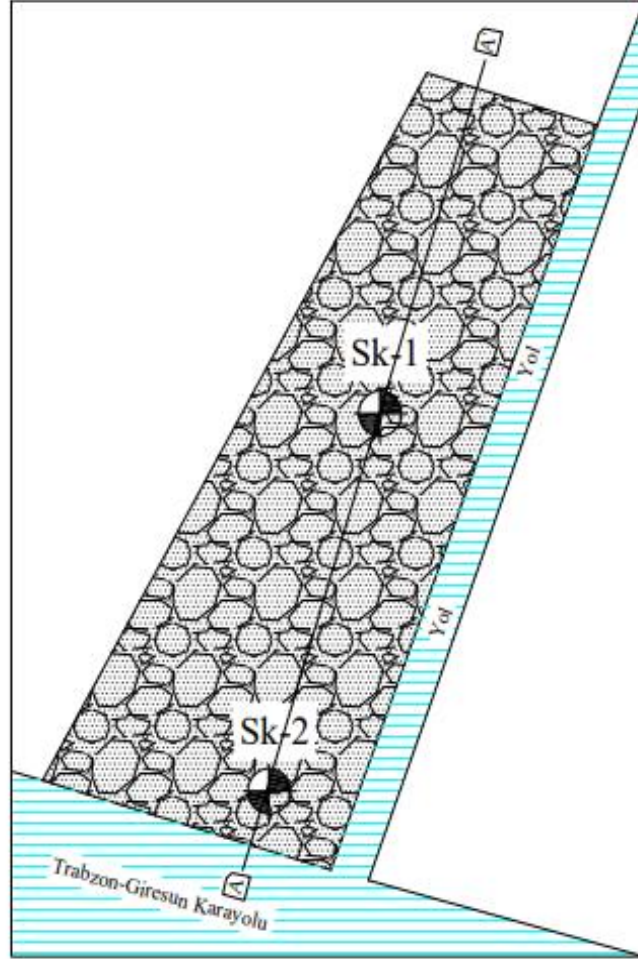
- Meyerhof, G.G.,1956. Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils, Jnl. Soil Mech.&Found. Div., ASCE.
- Meyerhof, G.G., 1976. Bearing capacity and settlement of pile foundation, ASCE, Journal of the Geotechnical Engineering Division.
- Ordu, E. ve Özkan, M.T., 2006. Kazıklı Temellerin Deprem Performanslarının Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi, İTÜDERGİSİ/d, 5.2.
- Önalp, A. ve Sert, S., 2006. Geoteknik Bilgisi 3 Bina Temelleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- PLAXIS-2D USER MANUAL,2002. 'Plaxis 2D Version 8 Material Models Manual'.
- Salim, R.R. ve Abdulrazzaq, O.A., 2017. Analysis of Cast in Place Piles Using Finite Elements Method, Irak.
- Sharma, H.D. ve Prakash, S., 1990. Pile Foundation in Engineering Practise, John Wiley&Sons Inc., New York.
- 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.
- Toğrol, E. ve Tan, O., 2009. Kazıklı Temeller, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Tolun, M. ve Laman, M., 2015. Eksenel yüklü tekil kazığın farklı yöntemlerle sayısal analizi, 6. Geoteknik Sempozyumu, Adana.
- Tomlinson, M. J.,1994. Pile Design and Construction Practise, Fourth Edition.
- Tomlimson, M.J. ve Woodward, J., 2008. Pile Design and Construction Practise, 5 th Edition, Taylor&Francis Group.
- Uzuner, B.A., 2006. Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Vu, A. ve Ark, 2014. 3D Finite Element Analysison Behaviour of Piled Raft Foundations, 4th International Conference on Civil Engineering, Architecture and Building Materials, China, 580,583
- 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. Etüt Alanı ve Çevresi Jeoloji Haritası



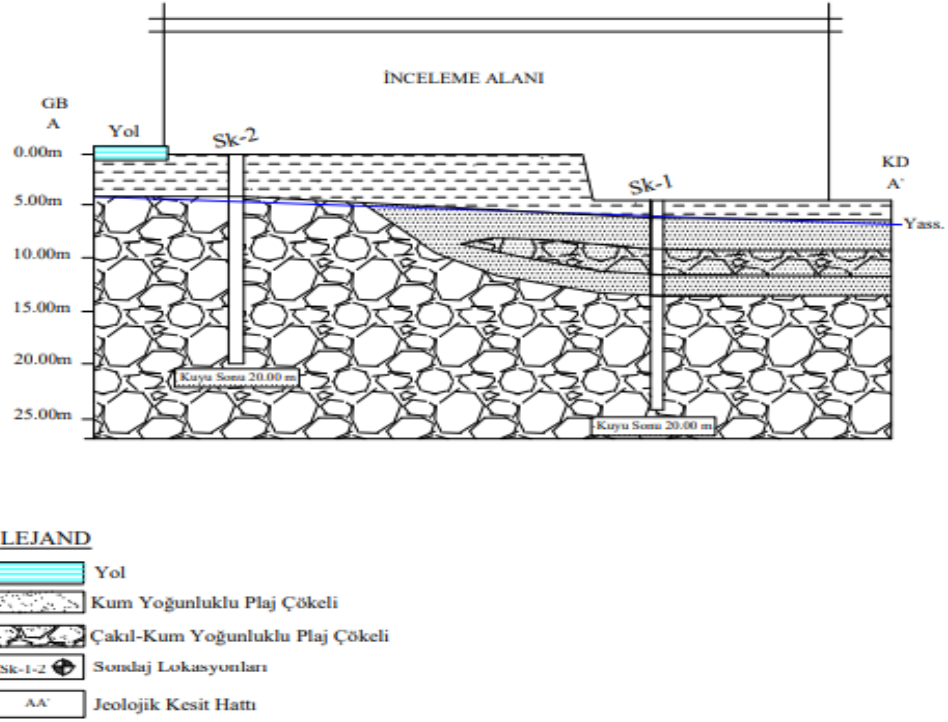
EK 2. Sondaj Noktalarının Yeri



LEJAND

- | | |
|---|----------------------------------|
|  | Yol |
|  | Çakıl-Kum Yoğunluklu Plaj Çökeli |
|  | Sondaj Lokasyonları |
|  | Jeolojik Kesit Hattı |

EK 3. Etüt Alanının AA' Jeoloji Kesiti



EK 4. Sondaj Kuyusu 1 Verileri

KAYA MÜHENDİSLİK Jeoteknik ve Sondaj Hizmetleri Düşünür Mah. İnönü Cad. Sivrikaya İşhanı Kat:2 Akçaabat/ TRABZON Tlx. 0462 2285239 Cep. 0537 516 39 21 kayamah.jeoteknik@hotmail.com										TEMEL SONDAJ LOGU										SAYFA : 1/1 SONDAJ No : SK-1 SONDÖR : Mustafa KUŞAN									
PROJE ADI : TRABZON İLİ AKÇAABAT İLÇESİ, SÖĞÜTLÜ MAHALLESİ, PAFTA:4032DHC, ADA:352 VE PARSEL:2 DE YAPILACAK OLAN BİNAYA AİT JEOTEK. ZEMİN ETÜT RAPORU																													
SONDAJ YERİ : TRABZON İLİ AKÇAABAT İLÇESİ, SÖĞÜTLÜ MAHALLESİ, PAFTA:4032DHC, ADA:352 VE PARSEL:2																													
SONDAJ DERİNLİĞİ : 20.00 m										MUHA. BOR. DER. : 20 m																			
SONDAJ KOTU : 6.00 m										BAŞ. BİT. TARİHİ : 06-08-2016 / 06-08-2016																			
YERALTI SUYU : 2.00 m										KOORDİNATLARI : y: 39 36 24.34 x: 41 00 49.54																			
LOGU HAZIRLAYANLAR : Murat Sinan ŞAHİN																													
Sondaj Der. (m)	Tabaka Der. (m)	Manevra boyu:	Nümunne Der. (m)	Nümunne Türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ					JEOTEKNIK TANIMLAMA	JEOLOJİK KESİT	GEVŞEKLİK SIKLIĞI	SERBEST BASINÇ DAVANIMI	DAYANIKLILIK	AYRIŞMA	ÇATLAK SIKLIĞI (# m)	KAROT %	RQD %											
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	GRAFİK																				
1.00										10 20 30 40 50 60	Yapay dolgu malzemesi																		
2.00											Yassı																		
3.00											Kum yoğunluklu plaj çukeli																		
4.00																													
5.00																													
6.00											Çakıl-Kum yoğunluklu plaj çukeli																		
7.00																													
8.00											Kum yoğunluklu plaj çukeli																		
9.00																													
10.00																													
11.00																													
12.00																													
13.00											Çakıl-Kum yoğunluklu plaj çukeli																		
14.00																													
15.00																													
16.00																													
17.00																													
18.00																													
19.00																													
20.00																													
KUYU SONU 20.00 m																													
ZEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ- SPT										DAYANIKLILIK		KAYA KALİTESİ TANIMI RQD		AYRIŞMA DERECE (W)		ÇATLAK SIKLIĞI (# m)													
İNCE TANELİ (Kohezyonlu)					İRİ TANELİ (Kohezyonsuz)																								
N : 0 - 2 ÇOK YUMUŞAK					N : 0 - 4 ÇOK GEVŞEK					I DAYANIKLI		% 0 - 25 ÇOK ZAYIF		W1 : TAZE (AYRIŞMAMIŞ)		< 1 MASİF													
N : 3 - 4 YUMUŞAK					N : 5 - 10 GEVŞEK					II ORTA DAYANIKLI		% 25 - 50 ZAYIF		W2 : AZ AYRIŞMIŞ		1 - 3 AZ ÇATLAKLI KIRIKLI													
N : 5 - 8 ORTA KATI					N : 11 - 30 ORTA					III ORTA ZAYIF		% 50 - 75 ORTA		W3 : ORTA DERECEDE AYRIŞMIŞ		3 - 10 KIRIKLI													
N : 9 - 13 KATI					N : 31 - 50 SIKI					IV ZAYIF		% 75 - 90 İYİ		W4 : ÇOK AYRIŞMIŞ		10 - 50 ÇOK ÇATLAKLI, KIRIKLI													
N : 14 - 30 ÇOK KATI					N : > 50 ÇOK SIKI					V ÇOK ZAYIF		% 90 - 100 ÇOK İYİ		W5 : TAMAMEN AYRIŞMIŞ		> PARÇALANMIŞ													
N : 30 SERT																													
SONDAJ MÜHENDİSİ														İMZA		TARİH													
Murat Sinan ŞAHİN Jeoloji Mühendisi																													

EK 5. Sondaj Kuyusu 2 Verileri

KAYA MÜHENDİSLİK Jeoteknik ve Sondaj Hizmetleri Dürbinar Mah. İnönü Cad. Sivrikaya İşhan Kat:2 Akçaabat/ TRABZON Tfx. 0462 2285239 Cep. 0537 516 39 21 kayamuh.jeoteknik@hotmail.com					TEMEL SONDAJ LOGU					SAYFA : 1/1 SONDAJ No : SK-2 SONDÖR : Mustafa KUŞAN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
PROJE ADI : TRABZON İLİ, AKÇAABAT İLÇESİ, SÖĞÜTLÜ MAHALLESİ, PAFTA:43025D0C, ADA:352 VE PARSEL:2 DE YAPILACAK OLAN BİNAYA AIT JEOLojİK ZEMİN ETÜT RAPORU																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
SONDAJ YERİ : TRABZON İLİ, AKÇAABAT İLÇESİ, SÖĞÜTLÜ MAHALLESİ, PAFTA:43025D0C, ADA:352 VE PARSEL:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
SONDAJ DERİNLİĞİ : 20.00 m										MUHA. BOR. DER. : 20 m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
SONDAJ KOTU : 9.00 m										BAŞ. BİT. TARİHİ : 08-08-2016 / 08-08-2016																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
YERALTI SUYU : 4.00 m										KOORDİNATLARI : y: 39 36 23.95 x : 41 00 48.18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
LOGU HAZIRLAYANLAR : Murat Sinan ŞAHİN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Sondaj Der. (m)	Tabaka Der. (m)	Manevra boyu:	Numune Der. (m)	Numune Türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ										JEOTEKNİK TANIMLAMA	JEOLojİK KESİT	GEVŞEKLIK SIKLIK	SERTLİK BASINÇ DAYANIMI	DAYANIKLILIK	AYRIŞMA	ÇATLAK SIKLIĞI (# m)	KAROT %	RQD %																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	GRAFİK																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
										10	20	30	40	50	60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

ÖZGEÇMİŞ

Tuğba ARSLAN ŞAHİN Lise öğretimini Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2020 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden İnşaat Mühendisi unvanı ile mezun oldu. 2020 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı. İngilizceyi ve Rusçayı iyi seviyede bilmektedir.

