

**T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAZIK TEMELLERİN GRUP DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Yasin Taha AYAZ**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Şaban S. ÖZSARIYILDIZ
II. Danışman
Doç. Dr. Cengiz İPEK**

**Haziran 2025
KAYSERİ**

**T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAZIK TEMELLERİN GRUP DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Yasin Taha AYZ**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Şaban S. ÖZSARIYILDIZ
II. Danışman
Doç. Dr. Cengiz İPEK**

**Haziran 2025
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Yasin Taha AYAZ

İmza

YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI

“Kazık Temellerin Grup Davranışının İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan
Yasin Taha AYAZ

Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Şaban S. ÖZSARIYILDIZ

KABUL VE ONAY SAYFASI

Dr. Öğr. Üyesi Şaban S. ÖZSARIYILDIZ danışmanlığında **Yasin Taha AYZ** tarafından hazırlanan “**Kazık Temellerin Grup Davranışının İncelenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

30/06/2025

JÜRİ:

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Şaban S. ÖZSARIYILDIZ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV

Üye : Doç. Dr. Oğuz DÜĞENCİ

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Kurulu’nun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../2025

Doç. Dr. Burcu ORALHAN

Enstitü Müdürü V.

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında tecrübesi, bilgi ve birikimleri ışığında yön tayin eden çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Şaban S. ÖZSARIYILDIZ'a, yardımcı danışmanım Doç. Dr. Öğr. Üyesi Cengiz İPEK'e, ilk danışmanım Dr. Şebnem YALTIR'a çok teşekkür ederim.

Şahsımın bu günlere ulaşmasında sayısız emek ve gayreti olan çok değerli aileme saygı ve sevgilerimi sunarım.

Yasin Taha AYAZ

İmza

KAZIK TEMELLERİN GRUP DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Yasin Taha AYZ

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2025

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Şaban S. ÖZSARIYILDIZ

ÖZET

Bu yüksek lisans tezinde, zemin taşıma gücünün yetersiz olduğu yerlerde tercih edilen kazık temellerin, özellikle grup kazıklarının taşıma gücü davranışı detaylı şekilde incelenmiştir. Çalışmada kazıklar arasındaki mesafe, kazık çapı, kazık malzemesi ve dizilim şekli gibi parametrelerin grup kazık temellerin taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri sayısal olarak analiz edilmiştir. Terzaghi, Meyerhof ve Hansen gibi bilim insanlarının teorik yaklaşımları temel alınarak uç direnci ve çevre sürtünmesi hesapları yapılmış, verimlilik analizlerinde ise 1/8 Kuralı ve Converse-Labarre Kuralı dikkate alınmıştır. Çalışmanın sayısal bölümü, farklı zemin tiplerine (kil ve kum) yönelik Matlab kodları ile yürütülmüştür. Bu kodlar yardımıyla farklı zemin koşullarında ve kazık geometrilerinde grup ve tekil kazıkların taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Bulgular, kazık çapı arttıkça taşıma gücünün doğrusal olmayan şekilde arttığını, drenajsız kil zeminlerde uç direncinin daha yüksek olduğunu ve kum zeminlerde Terzaghi yaklaşımı ile hesaplanan taşıma gücünün Meyerhof'a göre daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, kazıklar arası mesafe arttıkça grup içi etkileşimlerin azaldığı ve kazıkların bireysel davranışa yöneldiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ekonomik ve güvenli kazık tasarımlarında kullanılabilecek önemli tasarım önerileri sunmaktadır. Bu tezde yatay yükler, zeminin katmanlı yapısı, zemin oturmaları, kazıkların minimum ve maksimum çap sınırları ihmal edilmiştir. Hedeflenen sonuç ise taşıma gücü hesaplarında hangi taşıma gücü yöntemi ve hangi bilim adamları yaklaşımları kombinasyonları kullanılarak hangi zeminlerde daha güvenli ya da daha ekonomik tasarımlar yapılır cevabına ulaşmaktır.

Anahtar kelimeler: Grup zemin kazıkları, grup kazık verimi, Matlab ile grup kazık analizi, Terzaghi, Meyerhof, tekil ve grup zemin kazıkları taşıma gücü.

INVESTIGATION OF GROUP BEHAVIOR OF PILE FOUNDATIONS

Yasin Taha AYZ

Nuh Naci Yazgan University, Institute of Graduate Education

Master's Thesis, June 2025

Supervisor: Dr. Lecturer Şaban S. ÖZSARIYILDIZ

ABSTRACT

In this master's thesis, the bearing behavior of pile foundations—especially group piles—preferred in regions with insufficient soil bearing capacity, is examined in detail. The study numerically analyzes the effects of parameters such as spacing between piles, pile diameter, pile material, and pile arrangement on the bearing capacity of group pile foundations. Based on the theoretical approaches proposed by researchers such as Terzaghi, Meyerhof, and Hansen, calculations for end bearing and shaft friction were carried out. In the efficiency analyses, the 1/8 Rule and the Converse-Labarre Rule were taken into account.

The numerical part of the study was conducted using MATLAB codes for different soil types (clay and sand). With the aid of these codes, the bearing capacities of both single and group piles under various soil conditions and pile geometries were compared. The findings indicate that an increase in pile diameter results in a nonlinear increase in bearing capacity, that end bearing resistance is higher in undrained clay soils, and that in sandy soils, the bearing capacity calculated using the Terzaghi approach is higher than that calculated using the Meyerhof method.

Furthermore, it was determined that as the spacing between piles increases, the interaction within the group decreases and the piles tend to behave more independently. The results obtained provide significant design recommendations that can be utilized in safe and economical pile foundation designs. In this study, lateral loads, stratified soil conditions, soil settlements, and minimum and maximum pile diameter limits were disregarded. The ultimate objective of the study is to determine which bearing capacity calculation methods and which combinations of theoretical approaches yield safer or more economical designs for specific soil types.

Keywords: Group pile foundations, Group pile efficiency, Group pile analysis using MATLAB, Terzaghi, Meyerhof, Bearing capacity of single and group piles.

İÇİNDEKİLER

KAZIK TEMELLERİN GRUP DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
KISALTMALAR VE SİMGELER	xiv
1. BÖLÜM:	1
GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Konusu ve Amacı.....	1
1.2. Kullanılan Yöntemler.....	2
1.3. Problem	2
1.4. Hipotez	4
2. BÖLÜM:	6
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
2.1. Daha Önceden Yapılan Çalışmalar	6
3. BÖLÜM:	10
KAZIK UYGULAMASI SINIFLARI.....	10
3.1. Kazık Çeşitleri.....	10
3.1.1. Kazığın Yük Taşıma Şekline Göre Sınıflandırma.....	10
3.1.1.1. Uç Kazığı.....	10
3.1.1.2. Sürtünme Kazığı.....	11
3.1.1.2.1. Kum Zeminlerde Kazık Birim ve Toplam Sürtünme Dirençleri....	12
3.1.1.3. Karma Kazıklar (Hem Uç Direnci Hem de Sürtünme Direnci)	13
3.1.2. Kazığın Çalışma Şekline Göre Sınıflandırma	14
3.1.2.1. Basınç Kazığı	14

3.1.2.2. Çekme Kazığı	14
3.1.3. Kazığın Malzemesine Göre Sınıflandırma	15
3.1.3.1. Çelik Kazıklar	15
3.1.3.2. Prefabrik Betonarme Kazıklar	16
3.1.3.3. Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar	17
3.1.3.4. Ahşap Kazıklar	18
3.1.3.5. Kompozit Kazıklar	19
3.1.4. Zemine İmal Edilme Yöntemine Göre Sınıflandırma	19
3.1.4.1. Çakma Kazıklar	19
3.1.4.2. Delme Kazıklar	20
3.1.4.3. Çakma ile Birlikte Yerinde Dökme Kazıklar	21
4. BÖLÜM:	24
KAZIK TAŞIMA YÖNTEMLERİ VE GRUP KAZIKLAR.....	24
4.1. Kazık Taşıma Gücü Yöntemleri.....	24
4.1.1. Jorgen Brinch Hansen Taşıma Gücü Yöntemi	24
4.1.2. Yüzeysel Temelerde Terzaghi Taşıma Gücü Yöntemi	25
4.1.3. Uç Kazıklarda Terzaghi Uç Taşıma Gücü	27
4.1.4. Sürtünme Kazıklarında Uç Direnci Hesabı (Terzaghi)	28
4.1.5. Sürtünme Kazıklarında Kohezyonsuz Zeminlerde Terzaghi Uç Direnci....	28
4.1.6. Sürtünme Kazıklarında Kohezyonlu Zeminlerde Terzaghi Uç Direnci	29
4.1.7. Meyerhof Taşıma Gücü Yöntemi.....	30
4.1.8. Meyerhof Kum Zeminde Uç Direnci Hesabı	32
4.1.9. Meyerhof Doygun Drenajlı Kil Zeminde Uç Taşıma Gücü Hesabı.....	33
4.1.10. Meyerhof Drenajsız Kil Zeminde Uç Taşıma Gücü Hesabı	33
4.2. Kazık Sürtünme Taşıma Gücü	34
4.2.1. Kumlarda Sürtünme Direnci	34
4.2.2. Kil Zeminde Sürtünme Direnci	35
4.2.2.1. λ Yöntemi	35
4.2.2.2. β Yöntemi.....	37
4.2.2.3. α Yöntemi Killerde Kazık Taşıma Gücü.....	37
4.3. Grup Kazıklar.....	38
4.3.1. Grup Kazık Hesaplamaları Sırasında Dikkat Edilmesi Gerekenler	39
4.3.2. Kazık Gruplarında Verimlilik	40
4.3.3. 1/8 Kuralı.....	41

4.3.4. Converse-Labarre Kuralı	42
4.3.5. Kil Zeminlerde Grup Kazık Verimliliği	43
4.3.6 Kil Zeminlerde Kazık Grubunun Bireysel Davranışının Etkin Olması	43
4.3.7. Kil Zeminlerde Kazık Grubunun Blok Davranışının Etkin Olması	44
4.3.8. Kum Zeminlerde Grup Kazık Taşıma Gücü	45
4.4. Kazık Gruplarının Davranışları	45
4.4.1. Kil Zeminlerde Kazık Grubunun Bireysel Davranışının Etkili Olması	46
4.4.2. Kil Zeminlerde Kazık Grubunun Blok Davranışının Etkin Olması	47
4.4.3. Kum Zeminlerde Kazık Grubunun Taşıma Gücü	47
5. BÖLÜM:	48
KAZIK GRUPLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	48
5.1. Teknik Karşılaştırma ve Literatüre Katkı Analizi	48
5.1.1. Verimlilik Yöntemleri Analizi	48
5.1.2. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C2 ve C3)	50
5.1.3. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C4 ve C5)	51
5.1.4. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C6 ve C7)	53
5.1.5. Grafik Çiftleri Analizi (C8 ve C9)	54
5.1.6. Grafikler (C2-C6 ve C3-C7) Proje Tip 3 ve Proje Tip 4 Kazık Grupları Karşılaştırması	56
5.1.7. Tip 3 ve Tip 4 Kazık Grubu Karşılaştırması (C10-C11)	57
5.1.8. Grafik Çiftleri Karşılaştırması :(C12-C13)	59
5.1.9. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C14-C15)	60
5.1.10. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C16-C17)	62
5.1.11. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C18-C19)	63
5.1.12. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C20-C21)	65
5.1.13. Grafik C22 Proje Tip 1 ve Proje Tip 2 Karşılaştırması	66
6. BÖLÜM:	69
SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKÇA	71
EKLER	74
EK A Matlab Kodları	74
EK A1 Alfa Yöntemi Matlab Kodları	74
EK A2 Alfa Yöntemi Matlab Kodları	74
Ek A3 1/8 Verimlilik Kuralı İçin Matlab Kodları	75

Ek A4 Converse Laberre Kuralı	75
Ek A5 Meyerhof Taşıma Gücü İçin Matlab Kodları.....	75
Ek A6 Meyerhof Taşıma Gücü İçin Matlab Kodları.....	75
Ek A7 Terzaghi Taşıma Gücü İçin Matlab Kodları	76
Ek A8 Kumlarda Sürtünme Gücü İçin Matlab Kodları.....	76
Ek A9 Kumlarda Uç Taşıma Gücü Hesabı İçin Meyerhof'a Ait Kodlar	76
Ek A10 Terzaghi Yaklaşımına Ait Matlab Kodları.....	77
Ek A11 Terzaghi Yaklaşımına Ait Matlab Kodları.....	77
Ek A12 Terzaghi Uç Taşıma Gücü Matlab Kodları.....	78
Ek A13 Farklı Kombinasyonlar ile Grup Kazık Taşıma Güçleri İçin Kodlar.....	78
Ek A14 Blok Halinde Grup Kazıklarının Taşıma Gücü Matlab Kodları	80
Ek A15 Kum Zeminler İçin Kazık Grubu Taşıma Gücü.....	80
EK B.....	81
EK C İntihal Raporu.....	83
ÖZGEÇMİŞ	86

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1. Zemin Cinslerine Göre Kazıklarda Oluşan Sürtünmeler.....	12
Tablo 2. Temel Şekil Faktörleri	27
Tablo 3. Kazık Tipine Göre K Değerleri.	35
Tablo 4. Kazık Çap ve Kazık Aralıklarına Göre Verimlilik Değerleri.....	44
Tablo 5. Kil Zeminlerde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı	46
Tablo 6. Kil Zeminlerde Kazık Grubunun Blok Davranışının Etkin Olması	47
Tablo 7. Kum Zeminlerde Kazık Grubunun Taşıma Gücü	47

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Grup Kazıklar [15].....	1
Şekil 2. Uç Kazık [16]	11
Şekil 3. Sürtünme Kazığı [17]	12
Şekil 4. Kombine Kazığı [18]	13
Şekil 5. Çekme Kazığı [19].....	14
Şekil 6. Çelik Kazıklar [20]	15
Şekil 7. Prefabrik Betonarme Kazıklar [21]	16
Şekil 8. Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar [22].....	17
Şekil 9. Ahşap Kazıklar [23].....	18
Şekil 10. Çakma Kazıklar [24]	20
Şekil 11. Delme Kazıklar [25]	21
Şekil 12. Çakma ile Birlikte Yerinde Dökme Kazıklar [26].....	22
Şekil 13. Çakma ile Birlikte Yerinde Dökme Kazıklar [27].....	22
Şekil 14. Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi Kırılım Yüzeyleri Gösterimi [28]	27
Şekil 15. Kazık Gömülme Miktarı ile λ Değişimi [29]	36
Şekil 16. Tekil ve Grup Kazık Gösterimi [30].....	39
Şekil 17. Kazık Gruplarında Verimlilik [31]	40
Şekil 18. Kazık Gruplarında Verimlilik [32]	41
Şekil 19. Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışının Etkili Olması Durumunda Verimlilik Değerleri.....	49
Şekil 20. Tip 3 - Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı.....	51
Şekil 21. Tip 3 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı.....	52
Şekil 22. Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı.....	54
Şekil 23. Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı.....	55
Şekil 24. Tip 3 - Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı.....	57
Şekil 25. Tip 3 - Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı.....	57
Şekil 26. Tip 3 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı.....	59
Şekil 27. Tip 3 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı.....	60
Şekil 28. Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı.....	61
Şekil 29. Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı.....	63
Şekil 30. Tip 1 Kum Zeminde Kazık Grubunun Taşıma Gücü	64

Şekil 31. Tip 2 Kum Zeminde Kazık Grubunun Taşıma Gücü	66
Şekil 32. Kil Zeminde Kazık Grubunun Blok Davranışı ve Taşıma Gücü Değerleri	68
Şekil Ek B1: Tip 1 – 1 m Çapında, 1 m Aralıklı Kazık Grubu.....	81
Şekil Ek B2: Tip 2 – 0,5 m Çapında, 1 m Aralıklı Kazık Grubu.....	81
Şekil Ek B3: Tip 3 – 0,5 m Çapında, 4 m Aralıklı Kazık Grubu.....	82
Şekil Ek B4: Tip 4 – 1 m Çapında, 4 m Aralıklı Kazık Grubu.....	82

KISALTMALAR VE SİMGELER

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur:

Sembol/Simgeler	Açıklamalar
L	Kazık Boyu
$A_{\text{çevre}}$	Kazık Çevre Alanı (m^2)
f	Zemin Derinliğindeki Birim Çevre Direnci (kN/m^2)
K	Efektif Toprak Basıncı Katsayısı
K_0	Sıfır Yanal Toprak Basıncı Katsayısı
σ'_o	Düşey Efektif Gerilme (kN/m^2)
γ	Zemin Birim Hacim Ağırlığı (kN/m^3)
γ'	Zemin Efektif Birim Hacim Ağırlığı (kN/m^3)
$Q_{\text{uç}}$	Kazık Uç Taşıma Gücü (kN)
$Q_{\text{çevre}}$	Çevre Sürtünmesi ile Karşılanan Taşıma Gücü (kN)
Q_{blok}	Blok Taşıma Gücü (kN)
A_b	Kazık Kesit Alanı (m^2)
A_g	Grup Kazık Toplam Kesit Alanı (m^2)
N_q, N_c, N_γ	Taşıma Gücü Katsayıları
S_c, S_q, S_γ	Şekil Faktörleri
i_c, i_q, i_γ	Yük Eğiklik Faktörleri
d_c, d_q, d_γ	Derinlik Faktörleri
γ_1, γ_2	Üstteki ve Altındaki Zemin Birim Hacim Ağırlıkları (kN/m^3)
D_f	Temelin Zemine Gömülme Miktarı (m)
R	Bileşke Yük
ϕ	İçsel Sürtünme Açısı
ϕ'_R	Örselenmiş Kilin Drenajlı İçsel Sürtünme Açısı
c_u	Drenajsız Kayma Direnci (kN/m^2)
c_b	Alt Ucundaki Kohezyon
c_a	Kazık Çevresel Yapışma Değeri (kN/m^2)

f_o	Ortalama Birim Çevre Sürtünmesi (kN/m ²)
λ	Yer Değiştirme Katsayısı
z	Toplam Çevresel Sürtünme (kN)
α	Kazık-Zemin Etkileşim Katsayısı
n	Gruptaki Kazık Sayısı
m	Grup Kazık Sırasındaki Kazık Sayısı
s	Kazıklar Arası Mesafe (m)
T	Terzaghi ile Taşıma Gücü Hesabı
M	Meyerhof ile Taşıma Gücü Hesabı
1	Doygun Drenajlı Zeminler
2	Drenajsız Zeminler
C	Kohezyonlu Zeminler, Kil Zeminler
S	Kum Zeminler
4	Klasik Uç Kazık Taşıma Gücü Hesabı
5	Klasik Çevre Sürtünmesi Hesabı
6	Alfa Yöntemi ile Tekil Kazıklarda Çevre Sürtünmesi Hesabı
7	Alfa Yöntemi ile Tekil Kazıklarda Toplam Taşıma Gücü Hesabı
8	Bir Bölü Sekiz Kuralı
9	Converse-Labarre Verimlilik Kuralı
l	Kazık Uzunluğu
c	Kohezyon Değeri
u	Üniformluk Katsayısı
d	Kazık Çapı
T1, T2, T3, T4	Tip 1, 2, 3, 4 Projeler
N	Gruptaki Kazık Sayısı
n_g	Grup Kazık Verimlilik Katsayısı
q_p	Gruptaki Tekil Kazığın Taşıma Gücü
Q_p	Grup Kazıkların Toplam Taşıma Gücü

1. BÖLÜM:

GİRİŞ

1.1. Tezin Konusu ve Amacı

Güvenli ama aynı zamanda ulaşılabilir yani ekonomik yapılarda barınmak en temel insani ihtiyaçtır. Güvenliği ve ekonomiyi bir arada düşündüğümüzde elbette yapının inşa edileceği zeminin özelliklerini es geçemeyiz. Yapıların inşa edileceği her arazi inşa edilecek yapıya uygun olmayabilir. Örneğin yüksek katlı bir yapı için killi bir zemine inşaat yapmak gerekebilir. Hal böyle iken ilgili yapı gerekli lokasyona inşa edilmek istendiğinde yer altındaki taşıyıcı gücü daha yüksek zeminlere ulaşmak gerekebilir.

Şekil 1’de temsili görsel verilmiştir.



Şekil 1. Grup Kazıklar [15]

Bazen bu zeminler çok derinlerde de olabilir. Böylesi durumlarda yapıyı konsolidasyon oturmalarından, deprem anındaki zemin sıvılaşmalarından korumak için

kazıklı temel uygulamalarına gitmek gerekmektedir. Bu durum yapı maliyetini yukarı yönlü etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında, güvenliğin ön planda tutulduğu tasarımlar mı yoksa güvenli fakat görece olarak daha ekonomik tasarımlar mı yapılacak, bunun kararını veren kişilere hangi yaklaşımlar ile taşıma gücü hesaplarını yapmaları daha mantıklı olur şeklinde destekleyici mahiyette bir öneride bulunabilme gayesi güdülmüştür.

1.2. Kullanılan Yöntemler

Bu çalışmada taşıma gücü için farklı metot ve yöntemler kullanılmıştır. Bu metot ve yöntemler Terzaghi, Meyerhof yaklaşımları ve Alfa yöntemidir. Bu metot ve yöntemler ile oluşturulan kombinasyonlar ile uç taşıma gücü ve çevre sürtünmesi taşıma güçleri hesap edilmektedir. Hesaplamalara ve oluşturulan kombinasyonlara konu zeminler ise kum, kil, drenajlı, drenajsız zeminlerdir. Yapılan çalışmalarda 0,5 m çapında ve 1 m çapında kazıklardan oluşan 4 farklı kazık grubu oluşturulmuş olup bunlardan ikisi kazık aralıkları fazla tutularak grubun bireysel kazık davranışları, oluşturulan taşıma gücü metot ve yöntem kombinasyonları ışığı altında incelenmiştir. İlgili kazık gruplarının diğer ikisinde ise kazık aralıkları daha kısa tutularak kazıkların grup davranışı, elde edilen taşıma gücü, metot ve yöntem kombinasyonları ışığında incelenmiştir. Tekil kazıkların ve kazık gruplarının taşıma güçleri hesaplamaları yapılırken Matlab yazılımından faydalanılmıştır.

1.3. Problem

Kazık temeller, zayıf zemin koşullarında yapı yüklerini derinlerdeki daha sağlam tabakalara aktarmak için kullanılan kritik altyapı elemanlarıdır. Genellikle birden fazla kazığın bir arada kullanılmasıyla kazık grupları oluşturulur. Ancak bir arada çalışan kazıkların davranışı, tekil bir kazığın davranışından farklılaşmaktadır. Literatürde özellikle *grup etkisi* olarak bilinen bu olgu, bir kazık grubunun toplam taşıma gücünün, aynı kazıkların tekil haldeki taşıma gücü toplamından daha düşük olabildiğini göstermektedir. Bunun başlıca nedeni, grup halindeki kazıkların zeminde oluşturduğu gerilme yayılma alanlarının üst üste binmesi ve etkileşime girmesidir. Sonuç olarak, kazık gruplarında beklenen taşıma kapasitesi azalabilir, bu da mühendislik tasarımında dikkate alınması gereken önemli bir problemdir. Kazık gruplarında taşıma gücündeki azalma miktarı pek çok faktöre bağlıdır. Öne çıkan faktörler şunlardır:

Kazık Çapı: Daha büyük çaplı kazıklar, etraflarındaki zemine daha geniş bir etki alanı uygular. Bu durumda gruptaki komşu kazıkların gerilme alanları daha fazla üst üste binebilir. Dolayısıyla büyük çaplı kazıklar, aynı aralığa sahip daha küçük çaplı kazıklara kıyasla, grup etkisinden dolayı daha fazla taşıma gücü kaybına uğrayabilir. Bu durum, kazık çapı büyüdükçe grup davranışının öneminin arttığını işaret eder.

Kazıklar Arası Aralık (Merkezler Arası Mesafe): Kazıklar arasındaki mesafe azaldıkça, grup içi etkileşim artar. Çok sık aralıklı kazıklarda, zemin konisi ve sürtünme zonları örtüşerek her bir kazığın taşıma kapasitesini düşürür. Buna karşın aralık arttıkça grup etkisi azalır; belirli bir mesafenin ötesinde kazıklar neredeyse bağımsız çalışır hale gelir. Nitekim uygulamada grup etkisini sınırlamak için minimum kazık aralığı önerileri bulunmaktadır.

Zemin Tipi: Zemin özellikleri, kazık grubunun davranışını belirleyici bir diğer etmendir. Kohezyonlu yumuşak killi zeminlerde, kazıklar taşıma kapasitesinin önemli bir kısmını yüzey sürtünmesinden aldığından grup etkisiyle toplam sürtünme kapasitesi önemli ölçüde düşebilir. Bu durumda, grup halindeki sürtünme kazıklarının toplam taşıma gücü, tek tek kazıkların toplamından ciddi oranda düşük bulunabilir. Buna karşılık, uç kaya tabakasına dayanan kazıklar (uç kazıkları) için grup etkisi sonucunda belirgin bir kapasite kaybı söz konusu olmaz; her bir kazık kapasitesi neredeyse tam olarak katkı sağlar. Kohezyonsuz, kum-çakıl gibi zeminlerde ise kazık grubunun toplam kapasitesi genelde tekil toplamlara yakın olup grup verimi %100'e yaklaşabilir; hatta bazı durumlarda sık kazıklar zemini sıkılaştırarak grup verimini 1'in üzerine çıkarabilir şeklinde yorumlar da bulunmaktadır. Ancak genellikle tasarımcılar, zeminin cinsi ne olursa olsun, grup halindeki kazıklarda güvenlik payı bırakmak adına temkinli yaklaşımlar benimsemektedir.

Yukarıdaki faktörler ışığında, kazık gruplarında mühendislik sorunu, her bir kazığın tekil davranışına ek olarak grup etkileşimlerinin de hesaba katılarak güvenilir bir taşıma gücü tahmini yapabilmektir. Geleneksel olarak, tasarımda *grup verimliliği* adı verilen bir katsayı kullanılarak (grup kazık taşıma gücü = verimlilik × tekil kazıkların toplam gücü) işlem yapılır. Fakat uygun verimlilik değeri ve grup etkisini öngörme yöntemleri literatürde tam olarak uzlaşılmış değildir. Örneğin, farklı araştırmacılar değişik empirik formüller ve sınır değerler önermiştir. Sonuç olarak, kazık temellerin grup davranışını doğru şekilde modellemek ve tasarıma yansıtmak güncel bir araştırma ve mühendislik problemidir. Bu tez çalışması, çap, aralık ve zemin tipi değişkenlerini dikkate alarak kazık gruplarındaki kapasite davranışını detaylı biçimde incelemekte;

böylece literatürde bilinen grup etkisini sayısal ve teorik analizlerle irdeleyerek, mühendislik tasarım probleminin çözümüne katkı sunmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada bazı grup yükler (deprem yükleri ve dinamik etkiler gibi) kapsam dışı bırakılmıştır. Bu tez yalnızca statik yükler altında taşıma gücü ve grup verimi hesaplarına odaklanmıştır. Deprem yüklerinin kazık temeller üzerindeki etkisi geniş ve ayrı bir mühendislik çalışma alanı olduğu için kapsam dışı bırakılmıştır.

Kazıkların oturma (settlement) analizleri: Tezde taşıma kapasitesi ve verimlilik hesaplarına yoğunlaşmış, oturma miktarlarının detaylı hesapları yapılmamıştır. Oturma analizleri hem çok farklı parametre gerektirdiği hem de ileri düzey zemin-yapı etkileşimi modellemeleri gerektirdiği için kapsam dışında tutulmuştur.

Farklı kazık malzeme türleri ve imalat yöntemleri: Çelik, ahşap, prefabrik vb. kazık türleri ile çakma, vidalama gibi yöntemlerin performansları incelenmemiştir; tez yalnızca betonarme kazıkların teorik taşıma kapasitesi üzerine odaklanmıştır.

Yerel zemin zayıflıkları, heterojenlikler ve tabaka geçişleri: Homojen zemin kabulü yapılmış, karmaşık zemin profilleri ve tabakalı sistemler kapsam dışı tutulmuştur; çünkü bu tür analizler daha ileri jeoteknik modelleme gerektirir.

1.4. Hipotez

Literatürde kazık gruplarının taşıma kapasitesine ilişkin yaygın yaklaşım, her bir kazığın kapasitesinin belirli bir azaltma faktörü ile çarpılarak toplam grubun kapasitesini bulmak veya en olumsuz durumda kazık grubunun çevresini ve tabanını bir bütün (blok) olarak değerlendirerek taşıma gücünü hesaplamaktır. Bu varsayımlar, genellikle tekil kazık deneylerinden elde edilen empirizme ve grup içi etkileşimlerin basitleştirilmiş kabulüne dayanmaktadır. Bu tezde öne sürülen özgün hipotez, kazık gruplarının taşıma kapasitesinin mevcut literatür varsayımlarından daha karmaşık bir etkileşim sonucu oluştuğudur. Özellikle, kazık çapı ve kazıklar arası mesafe gibi geometrik parametrelerin yanı sıra zemin özelliklerinin birlikte ele alındığında, grup etkisinin lineer olmayan bir şekilde değişeceği hipotez edilmektedir. Bu hipoteze göre, klasik yöntemlerin (Meyerhof, Terzaghi gibi) öngördüğü kapasite değerleri, bazı durumlarda gerçek davranışı ya aşırı güvenli ya da yetersiz temsil edebilir. Örneğin literatürde yaygın bir varsayım olan “killi zemindeki kazık grubunun taşıma gücü, tekil kazıkların toplamının belirli bir sabit oranına eşittir” kabulü, tüm durumlar için geçerli olmayabilir. Tezimizin hipotezi, grup içi kazık etkileşimlerinin sadece sabit bir verimlilik katsayısıyla açıklanamayacağı, bunun yerine kazık konfigürasyonunun ayrıntılarıyla doğrudan ilişkili olduğu yönündedir. Bu

kapsamda, tezde farklı çap ve aralıklara sahip 5×5 kazık grupları üzerinde kapsamlı teorik ve sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Hipotez, klasik hesap yöntemleri ile gelişmiş sayısal analizlerin sistematik bir karşılaştırılması sonucunda, mevcut varsayımlardaki eksikliklerin ortaya koyulabileceğini savunmaktadır. Başka bir deyişle, Meyerhof ve Terzaghi gibi yöntemlerin grup kazıklar için sağladığı öngörülerin doğruluk payı ve sapma miktarı, detaylı analiz kombinasyonlarıyla test edilerek yeni bir bakış açısı geliştirilecektir. Bu zgn hipotez, literatürdeki genel kabullere eleştirel bir yaklaşım getirmekte ve kazık gruplarının taşıma gücünü belirlemede daha hassas bir metodolojinin gerekliliğini bilimsel olarak ortaya koymayı hedeflemektedir.

2. BÖLÜM:

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Daha Önceden Yapılan Çalışmalar

Songür (2019), “Three-Dimensional Finite Element Modelling in Piled-Raft Foundation Design” adlı çalışmasında, ANSYS APDL ve PLAXIS 3D yazılımlarını kullanarak kazıklı radye temellerin performansını üç boyutlu finite eleman yöntemleriyle incelemektedir. Çalışma hem kumlu hem de killi zeminlerde farklı parametre gruplarını karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir. İlk olarak, tekil kazık ile gömülü kazık modellerinin geçerliliği karşılaştırılmış ve mevcut bina verileriyle doğruluk sağlanmıştır. Temel bölümünde, kazık uzunluğu, aralık oranı (s/D), kazık düzeni ve radye kalınlığı gibi parametreler hem taşıma kapasitesi hem de yerleşme davranışı açısından detaylı şekilde ele alınmıştır. Özellikle 16’lı kazık düzeninde üçgen konfigürasyonu, kare düzenle karşılaştırıldığında taşıma kapasitesini ortalama %15 artırmıştır. Radye kalınlığının 0,8 m’den 1,2 m’ye çıkartılmasıyla yük taşıma gücünde %22’lik belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca sistem analizi sonucunda kazıklı radye sisteminin yük paylaşım mekanizması değerlendirilmiş ve somut sayılarla veri sunulmuştur: Grup verimliliği (η) 0.94 ve yerleşme azalma oranı net biçimde ortaya konulmuştur. Parametrik analizlere göre, $L/D = 30$ oranı hem yerleşme kontrolü hem de maliyet performansı açısından en ideal çözüm olarak önerilmiştir. Songür, tezinde yalnızca teknik boyutları ele almakla kalmamış; aynı zamanda ekonomik analiz içeren bir yaklaşım ortaya koymuştur. Optimizasyonu kazık-radye kombinasyonlarıyla toplam maliyetlerde %10–15 arasında bir tasarruf elde edilebileceği değerlendirilmiştir. Bu yönüyle çalışma hem akademik hem de uygulamaya dönük mühendislik çözümlerine katkı sağlamaktadır. Çalışmanın temel çıktıları, yüksek yapılar için kazıklı radye temellerin hem ekonomik hem de performans odaklı tasarımına güçlü bir referans oluşturmaktadır [1].

Yılmaz (2013), “Kohezyonsuz Zeminlerde ve Kayaya Soketli Perde Kazıkların Taşıma Kapasitesinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi” adlı çalışmada, PLAXIS 3D üzerinden yapılan derin parametrik analizlerle kayaya ankrajlı perde kazık sistemlerini tüm teknik yönleriyle ele alıyor Tezin odaklandığı üç merkez parametre zemin sıkılığı (D_r), kazık ankraj derinliği ve kazıklar arası mesafe (s/D) sistem davranışı üzerindeki etkileri model tabanlı olarak ortaya koymaktadır. Zemin sıkılığı %80

seviyelerine çıkarıldığında sistem verimliliği $\eta = 1.48$ 'e yükselmiş, ankraj derinliğinin 8 m'ye ulaşması, taşınan yük kapasitesinde %31 gibi ciddi bir artış sağlamıştır. Bununla birlikte, $s/D < 3$ olduğunda “grup bloklaşması” etkisi hissedilir biçimde ortaya çıkmış ve taşıma kapasitesi %25 oranında düşmüştür [2].

Gören (2012), “Yüksek Yük Altındaki Dikey Yüklü Kazık Gruplarının Davranışı ve Analizi” adlı çalışmada, özellikle yüksek yapıların temel sistemlerinde karşılaşılan taşıma kapasitesi ve yerleşme sorunlarına odaklanmıştır. Çalışma, dikey yükler altındaki kazık gruplarının performansını incelemek amacıyla deneysel ve sayısal yöntemleri bir arada kullanmıştır. Deneyler, farklı sayıda ve düzenlemeye sahip kazık grupları üzerinde gerçekleştirilmiş ve bu grupların taşıma kapasitesi ile yerleşme davranışları detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kazık grubu düzenlemelerinin taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Özellikle kazık aralıklarının ve düzenlerinin, grup etkisini belirleyen başlıca faktörler olduğu vurgulanmıştır. Bu tez, kazık grubu davranışlarının daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamak ve mühendislik uygulamalarında daha etkin tasarım stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır [3].

Usha ve ark. (2023), “Optimization Studies on Bracing Systems and Its Effective Placement to Counteract Earthquakes in Very High Damage Risk Zone” adlı çalışmalarında, farklı zemin türlerinde uç taşıyan kazık gruplarının performansını sayısal yöntemlerle incelemişlerdir. Çalışma, özellikle uç taşıyan kazıkların taşıma kapasitesini etkileyen faktörleri anlamaya yönelik kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Farklı zemin koşullarında gerçekleştirilen sayısal modellemeler, kazıkların uç taşıma kapasitesinin, zemin türüne ve kazık düzenine bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, kazık grubu tasarımlarında zemin özelliklerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Usha ve ark. (2023) çalışması, kazık grubu tasarımında zemin türünün etkisini anlamaya yönelik değerli bilgiler sunmakta ve mühendislik uygulamalarında daha etkili tasarım stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır [4].

Yenginar (2014), “Kazıklı Temellerde Grup Etkisinin Model Deneylerle Araştırılması” adlı çalışmada, kazıklı temellerin grup etkisini model deneyler aracılığıyla incelemiştir. Çalışma, kumlu zeminlerde yerinde imal edilmiş betonarme kazıklar kullanarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, kazıkların uç direnci ve çevre sürtünmesi direnci ayrı ayrı ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kazık çapı, boyu ve aralıklarının grup etkisini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Bu tez, kazıklı temellerin grup etkisini anlamaya yönelik değerli bilgiler sunmakta ve mühendislik

uygulamalarında daha etkin tasarım stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır [5].

Poulos ve Davis (1980), "Pile Foundation Analysis and Design" adlı eserlerinde, kazık temellerinin analiz ve tasarımına dair kapsamlı bir yaklaşım sunmuşlardır. Kitap, kazık temellerinin taşıma kapasitesi, yerleşme davranışı gibi konuları detaylı bir şekilde ele almaktadır. Özellikle kazıkların uç ve çevre direncinin hesaplanmasına yönelik yöntemler, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Poulos ve Davis'in bu eseri, kazık temellerinin tasarımında temel referans kaynaklardan biri olarak kabul edilmektedir [6].

Randolph ve Wroth (1979), "Analysis of Deformation of Vertically Loaded Piles" adlı çalışmalarında, düşey yüklü kazıkların deformasyonunu incelemişlerdir. Çalışma, kazıkların yerleşme davranışını etkileyen faktörleri anlamaya yönelik kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, kazık uzunluğu, çapı ve zemin özelliklerinin, kazık deformasyonunu önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Bu çalışma, kazık temellerinin tasarımında yerleşme kontrolü açısından önemli bir referans kaynağıdır [7].

Omeman (2012), "Load Sharing of Piled Raft Foundations in Sand Subjected to Vertical Loads" başlıklı çalışmada, kumlu zeminlerde dikey yükler altındaki kazıklı radye temellerinin yük paylaşım mekanizmasını incelemiştir. Çalışma, kazıkların ve radyenin birlikte çalışarak yükü nasıl paylaştığını anlamaya yönelik kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, kazıklı radye sistemlerinin tasarımında yük paylaşımının optimize edilmesinin önemini vurgulamaktadır [8].

Abdelaziz (2000), "An Axisymmetrical Model for a Single Vertical Pile in Sand" başlıklı doktora tezinde, kumlu zeminlerde tek bir dikey kazığın taşıma kapasitesini incelemiştir. Çalışma, eksenel yükler altındaki kazığın davranışını anlamaya yönelik teorik ve sayısal bir model geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlar, kazık çapı, boyu ve zemin özelliklerinin, kazığın taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir [9].

Unsever ve ark. (2014), "Physical and Numerical Modelling of Pile Foundations Subjected to Vertical and Horizontal Loading in Dry Sand" başlıklı çalışmalarında, kuru kum zeminlerde dikey ve yatay yükler altındaki kazık temellerinin davranışını incelemişlerdir. Çalışma, deneysel ve sayısal yöntemleri bir arada kullanarak kazık temellerinin performansını değerlendirmiştir [10].

Meyerhof (1976), "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations" adlı eserinde, kazık temellerinin taşıma kapasitesi ve yerleşme davranışını incelemiştir. Çalışma, kazıkların uç ve çevre direncinin hesaplanmasına yönelik yöntemler

sunmaktadır. Meyerhof'un bu eseri, kazık temellerinin tasarımında temel referans kaynaklardan biri olarak kabul edilmektedir [11].

Sales ve ark. (2017), "Load Settlement Behaviour of Model Pile Groups in Sand under Vertical Load" başlıklı çalışmalarında, kumlu zeminlerde dikey yükler altındaki model kazık gruplarının yerleşme davranışını incelemişlerdir. Çalışma, kazık grubu düzenlemelerinin yerleşme davranışını nasıl etkilediğini anlamaya yönelik deneysel bir analiz sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, kazık grubu düzenlemelerinin yerleşme kontrolü açısından önemli olduğunu göstermektedir [12].

Karthigeyan ve Rajagopal (2006), "Influence of Vertical Load on the Lateral Response of Piles in Sand" başlıklı çalışmalarında, dikey yüklerin kumlu zeminlerdeki kazıkların yatay davranışını nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Çalışma, dikey yüklerin kazıkların yatay davranışını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Bu bulgular, kazıkların yatay yükler altındaki davranışının da dikkate alınarak tasarım yapılmasının önemini vurgulamaktadır [13].

Yeğit (2017), "Farklı Çapta, Derinlikte ve Sayıdaki Kazıkların Grup Davranışı" başlıklı çalışmada, farklı çap, derinlik ve sayıya sahip kazıkların grup davranışını incelemiştir. Çalışma, kazık çapı, derinliği ve sayısının, grup etkisini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Bu tez, kazık grubu tasarımlarında bu faktörlerin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır [14].

3. BÖLÜM:

KAZIK UYGULAMASI SINIFLARI

3.1. Kazık Çeşitleri

Kazıklar, taşıdıkları yükü aktarma şekline, üretim ve yerleştirme yöntemlerine, malzeme türlerine göre sınıflandırılabilir. Genel anlamda inşaat mühendisliğinde kullanılan kazık türleri, zemin koşullarına, yapı tipine ve proje ihtiyaçlarına göre seçilir. Beton, çelik, ahşap kazıklar gibi farklı malzeme türleriyle üretilmiş kazıklar, yerleştirilme yöntemine göre çakma, vidalama veya sıkıştırma gibi yöntemlerle uygulanabilir. Bu çeşitlilik, zemin özelliklerine uygun tasarım yapılmasını sağlar ve güvenli bir temel oluşturulmasına katkıda bulunur.

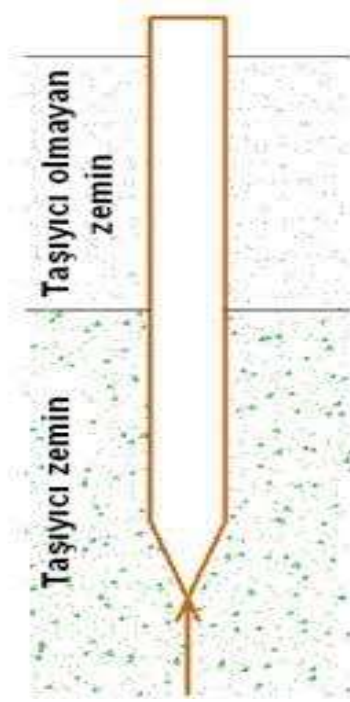
3.1.1. Kazığın Yük Taşıma Şekline Göre Sınıflandırma

Kazıklar, yapıdan gelen yükleri zemine aktarma şekline göre uç kazıkları, sürtünme kazıkları ve karma kazıklar olarak sınıflandırılır. Uç kazıkları, yükün büyük bölümünü kazık ucundaki sert tabakaya iletirken; sürtünme kazıkları, yükü çevresel sürtünme yoluyla taşır. Karma kazıklar ise hem uç hem de sürtünme dayanımından yararlanır. Bu sınıflandırma, tasarımcıların zemine ve projeye en uygun kazık türünü seçmesine yardımcı olur ve temel sisteminin verimliliğini artırır.

3.1.1.1. Uç Kazığı

Uç kazık, yapıdan gelen yükleri taşıma gücü yüksek tabakaya iletirken, bu kuvveti sadece kazık ucunda oluşan uç direnci ile karşılar. Formüllere veya sayısal yöntemlere, Terzaghi ve Meyerhof bilim insanlarının hesap yöntemlerinin anlatıldığı başlıkların altında değinilmiştir. Uç kazık Şekil 2'deki gibi sembolize edilmiştir.

Tablo 1'de ise zemin cinslerine göre kazıklarda oluşan sürtünmelere ait değerler sunulmuştur.



Şekil 2. Uç Kazık [16]

3.1.1.2. Sürtünme Kazığı

Sürtünme kazığı sağlam zeminin ulaşamayacak kadar çok derinlerde olduğu ortamlarda kullanılır. Yapıdan gelen yükü sadece kazık ile zemin arasında oluşan sürtünme kuvveti ile karşılar. Terzaghi ve Peck Tablo 1’de belirtilen m² başına çevre sürtünmesi değerlerini zemin sınıflarına göre belirtmişlerdir. Sürtünme kazığı Şekil 3’te gösterilmiştir. Kazığın çevre sürtünmesi 1 no.lu bağıntıda, kazığın çevre alanı ise 2 no.lu bağıntıda belirtilmiştir. Tablo 1’de farklı zeminlere göre çevre sürtünmesi için gerekli değer aralıkları verilmiştir.

$$Q_{\text{çevre}} = f \times A_{\text{çevre}} \quad (1)$$

$$A_{\text{çevre}} = 2 \times \pi \times r \times L \quad (2)$$

Bağıntılarda geçen;

$Q_{\text{çevre}}$: Kazık çevre direnci (kN)

$A_{\text{çevre}}$: Kazığın çevre alanı (m²)

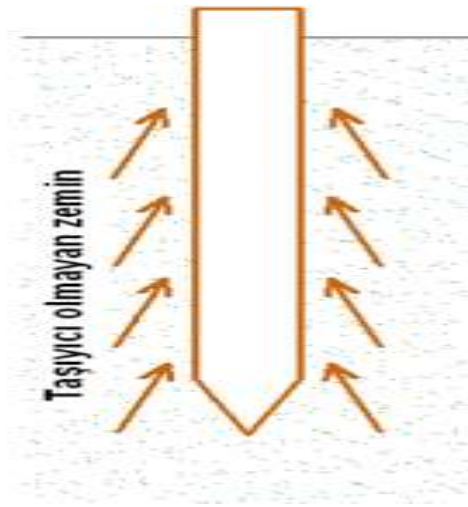
L : Kazığın boyu (m)

r : Kazığın yarıçapı (m)

f : Herhangi bir zemin derinliğindeki birim çevre direncidir (kN/m²)

Tablo 1. Zemin Cinslerine Göre Kazıklarda Oluşan Sürtünmeler

Zemin Cinsi	Zemin-Kazık Çevre Sürtünmesi (kN/m ²)
Gevşek Kum	25
Sıkı Kum	100
Yumuşak Kil-Silt	10-20
Kumlu Silt	20-50
Katı Kil	40-100



Şekil 3. Sürtünme Kazığı [17]

3.1.1.2.1. Kum Zeminlerde Kazık Birim ve Toplam Sürtünme Dirençleri

Kum zeminlerde kazıkların taşıma gücüne katkı sağlayan sürtünme direnci, zemin ile kazık yüzeyi arasındaki etkileşim sonucu oluşur. Bu bölümde, birim ve toplam sürtünme dirençlerinin hesaplanmasında kullanılan teorik yaklaşımlar ve formüller sunulmaktadır. Kumlardaki sürtünme direnci için aşağıdaki formül geliştirilmiştir. Kazığın çevre sürtünmesi 3 no.lu bağıntıda, herhangi bir zemin derinliğindeki birim çevre direnci de 4 no.lu bağıntıda verilmiştir.

$$Q_{\text{çevre}} = A_{\text{çevre}} \times f \quad (3)$$

$$f = K \times \sigma'_0 \times \tan (0,6\phi) \quad (4)$$

Bağıntılarda geçen;

$Q_{\text{çevre}}$: Kazık çevre direnci (kN)

$A_{\text{çevre}}$: Kazığın çevre alanı (m²)

σ'_0 : Düşey efektif gerilme (kN/m²)

- K : Toprak basıncı için katsayı
 ϕ : İçsel sürtünme açısı (°)
f : Herhangi bir zemin derinliğindeki birim çevre direncidir (kN/m²)

3.1.1.3. Karma Kazıklar (Hem Uç Direnci Hem de Sürtünme Direnci)

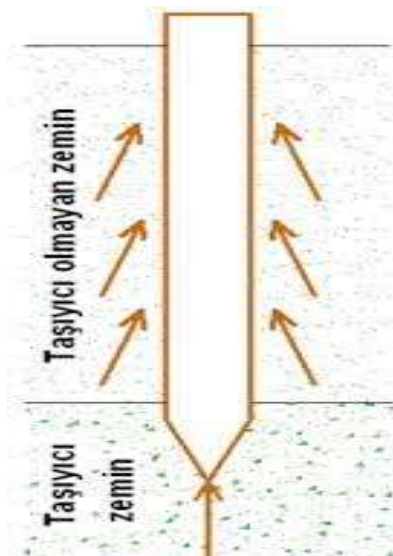
Karma kazıklar, zemin mühendisliğinde en sık karşılaşılan ve önemli taşıma elemanlarından biridir. Bu tür kazıklar hem uç hem de çevresel sürtünme katkıları ile yük taşımakta olup karmaşık bir etkileşim mekanizması sergiler. Tasarım aşamasında, bu iki bileşenin oranı zeminin türüne ve kazığın yerleştirilme şekline bağlı olarak değişir. Doğru hesaplama yapılmadığında taşıma kapasitesi hatalı belirlenebilir ve yapısal güvenlik riske atılabilir. Bu nedenle karma kazıkların tasarım ve analizinde hem teorik hem de deneysel yaklaşımlar bir arada kullanılmalıdır. Kazığın hem uç kısmında meydana gelen gerilmelerin hem de çevresindeki zemin ortamıyla etkileşim sonucu açığa çıkan sürtünme gerilmelerinin toplamı ile yapıdan gelen yükleri karşıladığı kazık türüdür. Diğer yük taşıma türlerinde de olduğu üzere, kazığın kendi ağırlığını (W) taşıma gücünden çıkartılması halinde, kazığın net taşıma gücünü ortaya çıkaracaktır. Kombine kazığı aşağıda Şekil 4'te belirtilmiştir. Kazığın uç ve çevre direnç toplamı 5 no.lu bağıntıda gösterilmiştir.

$$Q_{\text{toplam}} = Q_{\text{uç}} + Q_{\text{çevre}} \quad (5)$$

Bağıntılarda geçen;

$Q_{\text{uç}}$: Kazık uç direnci (kN)

$Q_{\text{çevre}}$: Kazık çevre direnci (kN)



Şekil 4. Kombine Kazığı [18]

3.1.2. Kazığın Çalışma Şekline Göre Sınıflandırma

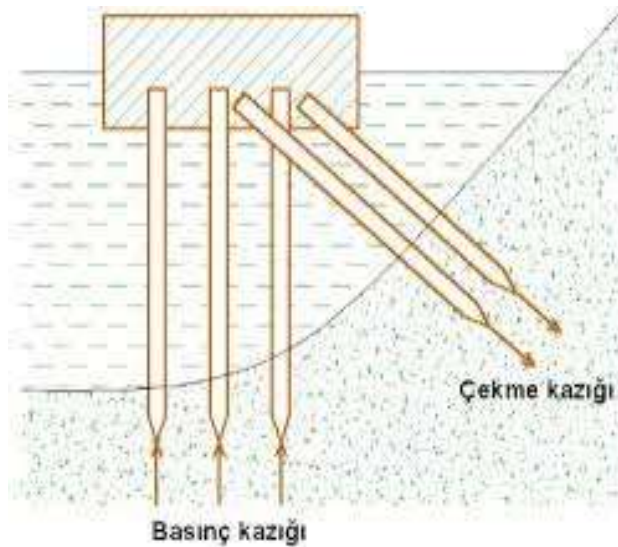
Kazıklar, yapıdan gelen yükleri zemine aktarma biçimlerine göre çalışma şekillerine ayrılır. Çalışma şekli, kazığın hangi yüklere karşı tasarlandığını ve nasıl davranış sergilediğini ifade eder. Genel olarak kazıklar, basınç (düşey yükler) ve çekme (negatif yükler) durumlarına göre değerlendirilir. Ayrıca yatay yükler ve moment etkileri de özel projelerde dikkate alınır. Bu sınıflandırma, kazıkların sadece düşey yükleri değil, aynı zamanda deprem gibi yatay etkileri de güvenle taşıyabilmesi için önemlidir.

3.1.2.1. Basınç Kazığı

Basınç kazıkları, yapıdan gelen düşey yükleri doğrudan altındaki zemin tabakasına aktaran kazıklardır. Bu kazık türü, özellikle yumuşak veya taşıma gücü düşük üst tabakalarda kullanılır ve alttaki daha sağlam tabakalara kadar uzatılır. Uç dayanımı ve çevresel sürtünme dayanımı sayesinde, yapıların oturma problemlerini azaltır ve güvenli taşıma kapasitesi sağlar. Basınç kazıkları, köprü, yüksek bina ve sanayi yapılarında sıkça tercih edilir.

3.1.2.2. Çekme Kazığı

Kazığın şevlerde aktif kamanın arkasına kadar uzatılarak zeminde akmanın, heyelanın önlenmesi, ankrajlarda vb. durumlarda kazığın yapılarındaki donatılar gibi çekme kuvvetine karşı koyması için kullanılması şeklindedir. Çekme kazığı Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Çekme Kazığı [19]

3.1.3. Kazığın Malzemesine Göre Sınıflandırma

Kazıklar, üretildikleri malzeme türüne göre sınıflandırılarak tasarım ve uygulama açısından farklı özellikler gösterirler. Malzeme seçimi, zemin koşulları, yapı tipi, çevresel etkiler ve ekonomik faktörlere bağlı olarak yapılır. Genel olarak çelik, beton, betonarme, ahşap ve kompozit kazıklar olmak üzere beş ana grupta incelenir. Her malzemenin dayanım, esneklik, korozyon direnci ve uygulama kolaylığı gibi avantaj ve dezavantajları bulunur. Bu nedenle proje gereksinimlerine en uygun malzeme seçimi hem yapısal güvenlik hem de maliyet etkinliği açısından büyük önem taşır.

3.1.3.1. Çelik Kazıklar

Çelik kazıklar, yapılan kazık imalatlarında önemli bir yer tutmakla birlikte pratikte oldukça uygulanabilir. Kullanılan tipleri H, I ve boru tipi kazıklardır. Şekil 6'da çelik kazıklar gösterilmiştir. Yüksek taşıma gücü değerine sahip olması, istenilen boyda kesilip kullanılabilmesi (pratiklik) avantajlarından sayılacağı gibi yüksek maliyetli olması, tek kullanılması halinde korozyona maruz kaldığında yıllar içerisinde deforme olması (çözüm; dış yüzeyi beton ile kaplanabilir, anti-korozyon boyası ile boyanabilir) dezavantajlarıdır.



Şekil 6. Çelik Kazıklar [20]

3.1.3.2. Prefabrik Betonarme Kazıklar

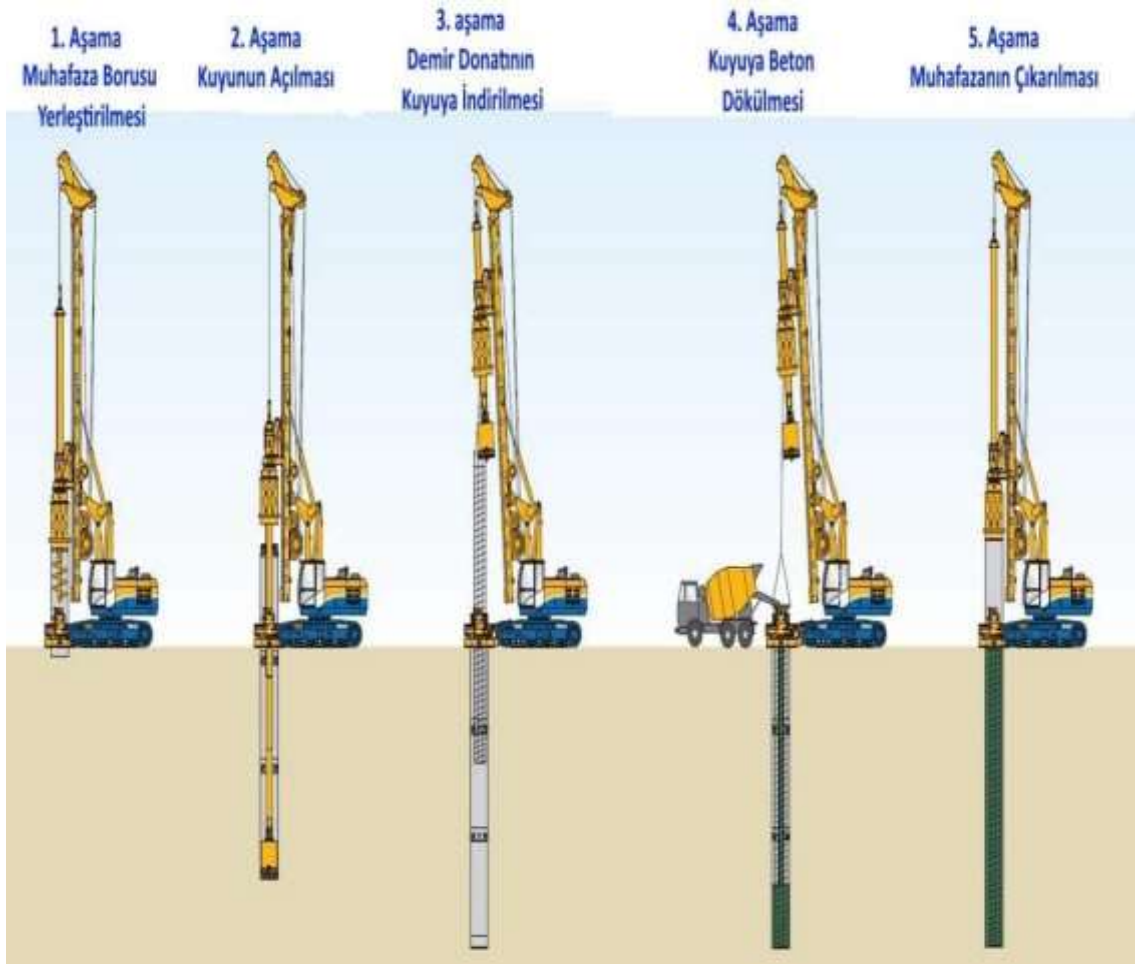
Fabrikalarda ortalama 400 kg/m³ çimento dozlu beton ve çelik kullanılarak üretilip yerinde çakılarak imal edilirler. Donatıları olumsuz çevre etkilerinden korumak adına 5 cm pas payı uygulanmalıdır. İstenilen dayanımda üretilebilmesi, yer altı suyuna, deniz suyuna, zararlı dış etkenlere karşı dayanıklı olması, 45 derece eğime kadar çakılabilmesi, üst yapıya rahatlıkla entegre edilebilmesi avantajlarından olup çakma işlemi sırasında oldukça yüksek titreşimlere sebep olunması, çakma işlemini gerçekleştirecek araç gereçlerin oldukça ağır olması, çakma işlemi sırasında çevredeki diğer yapılara zarar verilmemesinin güç olması, kazık çapının 60 cm ile sınırlı olması, kazık imal edildikten sonra uzunluğunun değişiminin mümkün olmaması dezavantajlarındandır. Şekil 7’de prefabrik betonarme kazıklara ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 7. Prefabrik Betonarme Kazıklar [21]

3.1.3.3. Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar

Bu imalat, sahada dört aşamada gerçekleştirilir. İlk olarak koruma borusu (kılavuz, kılıf) makineler ile zemine çakılır. İkinci aşamada koruma borusunun içi boşaltılır. Üçüncü aşamada donatılar koruma borusunun içerisine indirilir. Dördüncü aşamada beton koruma borusunun içerisine indirilir. Şekil 8’de yerinde dökme betonarme kazıklar olarak gösterilmiştir. İmalat esnasında prefabrik betonarme kazıklar kadar yüksek titreşimler oluşturmuyor olması, kazık boyunu imalat esnasında istenilen uzunlukta hazırlanabilme imkânı vermesi, kazığın nakliye ve çakma sebeplerinden ötürü zarar görmemesi avantajlarındandır. Kazığın maksimum imal edilme uzunluğunun 25 m ile sınırlı olması, tatbik edilme eğiminin oldukça sınırlı olması, işçilik faktörünün kazık mukavemetini önemli ölçüde etkiliyor olması dezavantajlarındandır.



Şekil 8. Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar [22]

3.1.3.4. Ahşap Kazıklar

Ahşap kazıkların kullanımı oldukça eskiye dayanmaktadır. Çakılmasını daha kolay kılmak için kazık uçları sivriltilmektedir. Çakma boyu üst sınırı 30-35 m'dir. Dört m'lik bir kazığın ortalama çapı 22-25 cm olup her 1 m'lik artış için kazık çapında yapılması gereken artış 2 cm civarındadır. Taşıma değeri üst sınırı yaklaşık 30 tondur. Şekil 9'da ahşap kazıklar olarak gösterilmiştir. Nakliyesi oldukça kolaydır. Diğer kazık türlerine göre ekonomiktir. Daima su altında kalması halinde on yıllarca ömre sahiptir. Bu özellikler avantajlarıdır. Yer altı suyunda negatif anlamda değişimlerin sıklıkla gerçekleşmesi durumunda çürümektedir. Taşıdığı maksimum yük miktarı oldukça düşüktür. Sert zeminlere çakılmak istenmesi halinde kırılacağından veyahut deforme olacağından sert zeminlerde kullanılması oldukça güçtür. Kazık boyu sınırlı ve diğer malzemelere göre oldukça düşüktür. Bu özellikler ise dezavantajlarıdır.



Şekil 9. Ahşap Kazıklar [23]

3.1.3.5. Kompozit Kazıklar

Kompozit kazıklar, farklı malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan kazıklardır. Örneğin ahşap kazığın ucuna çakılan metal uçlar, kazığın taşıma kapasitesini artırır ve aşınmayı azaltır. Betonarme ile çelik kazıkların bir arada kullanıldığı durumlarda hem dayanım hem de esneklik avantajı sağlanır. Kompozit kazıklar, özellikle zemin koşullarının değişken olduğu veya yüksek dayanım gereken projelerde tercih edilir. Bu tür kazıklar, malzeme avantajlarının birleştirilmesiyle optimize edilmiş bir performans sunar.

3.1.4. Zemine İmal Edilme Yöntemine Göre Sınıflandırma

Kazıkların zemine yerleştirilme yöntemi, projenin ihtiyaçlarına ve zemin özelliklerine göre belirlenir. Genel olarak üç ana yöntem uygulanır; çakma kazıklar, yerinde dökme kazıklar ve vidalı/sıkıştırılmalı kazıklar. Çakma kazıklar, önceden hazırlanmış halde sahaya getirilip çakılarak yerleştirilir. Yerinde dökme kazıklarda, sahada açılan deliklere beton dökülerek kazık oluşturulur. Vidalı ve sıkıştırılmalı kazıklar ise özellikle hassas zeminlerde kullanılan özel yöntemlerdir. Bu yöntemlerin her biri, belirli avantajlar ve uygulama koşulları sunar; seçim süreci, mühendislik analizlerine ve ekonomik değerlendirmelere göre yapılır.

3.1.4.1. Çakma Kazıklar

Şahmerdan kullanılarak çelik, betonarme, ahşap kazıkların zemine çakılması işlemine denir. Bu kazıkların tasarımında taşıma ve kaldırılmaları sırasında maruz kalacakları eğilme momenti dikkate alınmaktadır. Çakma kazıklar öngermeli olarak da inşa edilebilmektedirler. Şekil 10'da çakma kazıklar olarak gösterilmiştir. Öngirme sayesinde ağırlıklarına göre mukavemet değerleri yükselmekte ve çakma sırasındaki çatlamaların önüne geçilebilmektedir. Kazığın çakıldığı zeminin granüler olması durumunda zemini sıkıştıracağından zeminin taşıma gücünü arttıracaktır. Deniz, su üstü yapılarında su seviyesinin geçilmesini oldukça kolay kılmaktadır. Bu özellikler avantajlarıdır. Kullanılacak kazık boyu bilgisine imalat öncesinde haiz olunamadığından imalat aşamasında kazığı kesmek veya kazığa ilave yapmak gerekebilmektedir. Bu uygulamalar da ekstra maliyete sebep olmaktadır. Yeterli drenaj özelliği olmayan zeminlere tatbik edildiğinde zeminde kabarmalara ve diğer kazıkların tekrar yükselmesine sebebiyet verebilmektedir. Çakma işlemi esnasında diğer yapıların temellerine zarar verebilme potansiyeli olması sebebi ile şehir merkezlerinde

kullanılmasının güç olması, büyük çaplı imal edilmesi halinde uç kısmının yüzey alanı artacağından ve bu sebeple zemine gömülmesi zorlaşacağından ve gömülmesi için daha büyük kuvvetler gerektireceğinden, uygulanacak yüksek kuvvetlerin de kazığa zarar verme ihtimali yüksek olduğundan büyük çaplı imal edilememektedir. Bu özellikler ise dezavantajlarıdır.



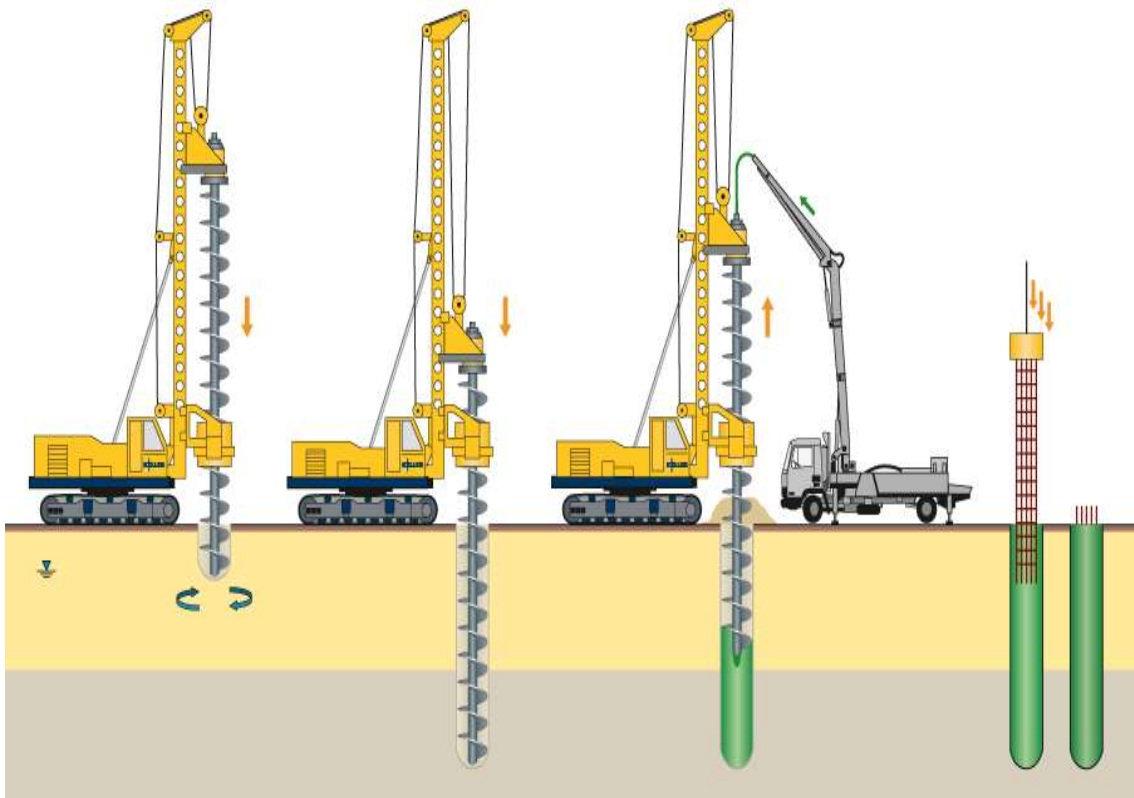
Şekil 10. Çakma Kazıklar [24]

3.1.4.2. Delme Kazıklar

Delme yöntemi, beton kullanarak uygulanan bir yöntemdir. Arazide kuyuların açılması ardından bu kuyulara beton dökülmesi ve gereksinim olduğunda kuyulara önce donatıların indirilmesi ve sonrasında beton dökümü ile kazıkların imal edilmesi yöntemidir. Üç ayrı yaklaşım ile tatbik edilebilir. Açılan kuyuda göçmeler meydana gelmiyorsa kuru yöntem uygulanır ve imalat tamamlanır. Eğer kuyuda göçmeler oluyorsa bentonit çamuru kuyu duvarlarına uygulanır, bu şekilde de kuyu ayakta kalamıyorsa çelik koruma kılıfları kullanılır. Bu şekilde imalat bu kılıfların içerisine yapıldıktan sonra istenirse çelik koruma kılıfı geri çekilebilir veya kuyunun içerisinde bırakılabilir.

Şekil 11’de delme kazıklar olarak gösterilmiştir. Uzun boy ve çaplarda inşa edilebilirler. Çalışma esnasında çevre zeminde kabarmaya neden olmaz. Çakma

yönteminde kazığı taşıırken oluşabilecek eğilme momentlerine karşı ve kazık çakılırken oluşabilecek hasarlara karşı kazık donatı oranı artırılır. Delme yönteminde bu sebeplerden ötürü ekstra donatıya ihtiyaç olmaz. Bu bilgiler avantajları olup uygulama sırasında zemini deforme edip zeminin gevşemesine neden olabilir. Yer altı suyu kendisine maruz kalan henüz donmamış betonun dayanımının düşmesine neden olduğu gibi yapılmak istenen kazığın çevresindeki zemini deforme ederek zemin kazık etkileşimini olumsuz yönde etkilemektedir, bu özellikler ise dezavantajlarıdır.

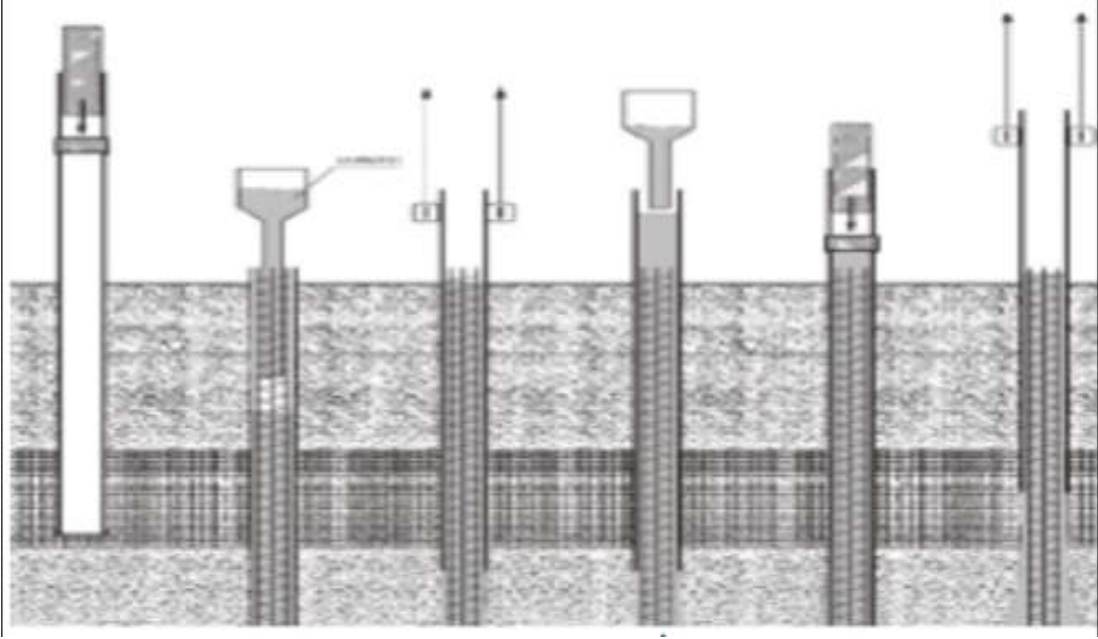


Şekil 11. Delme Kazıklar [25]

3.1.4.3. Çakma ile Birlikte Yerinde Dökme Kazıklar

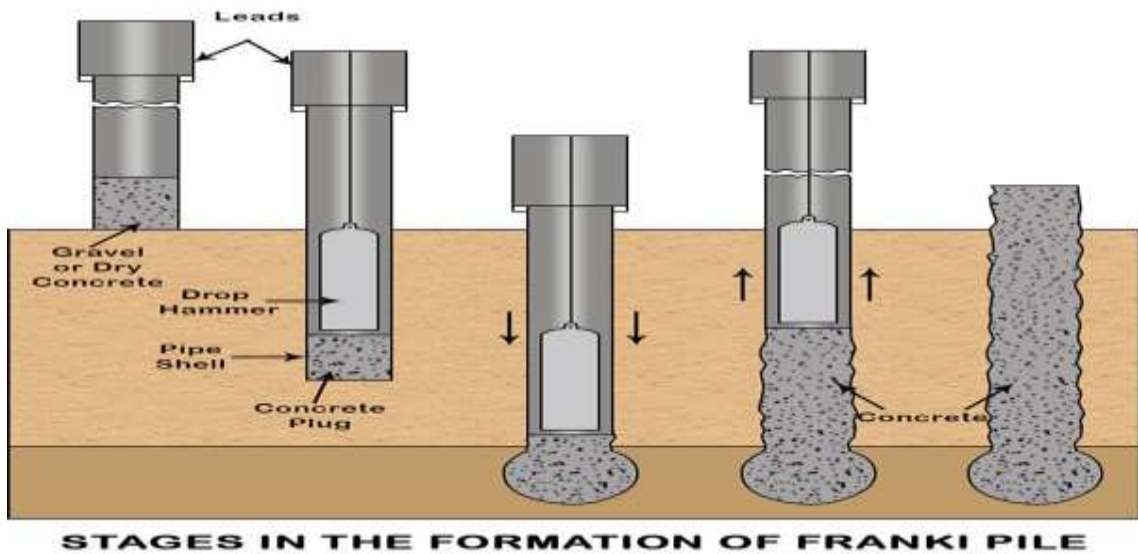
Bu yöntemde konik uçlu (konik uç borudan ayrılabilir) bir koruma borusu zemine çakılır. Devamında koruma borusunun içerisi beton ile doldurulur. İstenilirse gerek duyulursa, koruma borusunun içerisine basılan beton ile kazık alt uç kısmında bir soğan bölgesi oluşturulabilir. Böylelikle hem zemini sıkıştırarak hem de kazık uç alanını artırarak kazık taşıma gücü yükseltilebilir. Bu yöntemde kazık uzunluğu 25 m'ye kadar uygulanabilmektedir. Taşıma kapasitesi ise 1500 kN'a kadar çıkabilmektedir.

Şekil 12. ve Şekil 13'te yerinde dökme kazıklar ile çakma kazıklar olarak gösterilmiştir.



Şekil 12. Çakma ile Birlikte Yerde Dökme Kazıklar [26]

Bu yöntemle bir örnek Franki kazık uygulamasıdır. Franki uygulaması koruma borusunun alt ucunda 100 cm'ye kadar beton ya da taş ya da kum, çakıl karışımı doldurulabilir. Bu şekilde koruma borusu zemine çakılır. Devamında şahmerdan yardımı ile ilave edilen bu malzemeler boru dışına itirilir. Böylelikle soğan oluşturma uygulamasında olduğu gibi hem zemin sıkıştırılır hem de kazık uç alanı artırılarak kazık taşıma gücü yükseltilir. Ardından donatılar indirilir ve ister beton dökümü esnasında ister beton dökümü sonlandırıldıktan sonra koruma borusu çekilir.



Şekil 13. Çakma ile Birlikte Yerde Dökme Kazıklar [27]

Kazık boyları istenilen ölçülerde sahada ayarlanabilir. Uç kısmı kapalı olduğundan koruma borusu içerisindeki beton yer altı suyunun zararlı tesirinden etkilenmez. Avantajları bu şekilde sıralanabilir. Kazıyı çakma esnasında çevredeki yapılara, zemin kabarmasından ötürü oluşan titreşimden dolayı zarar verebilir. Daha önce çakılmış olan kazıkların zemin yüzeyine doğru yükselmesine neden olabilir. Bu nedenle kazıkların yeniden çakılması gerekebilir. Yeniden çakılma işlemi sırasında kazık zarar görebilir. Kazık uç yüzey alanı genişleyeceğinden, çakma esnasında zorluk yaşanacağından büyük çaplı imal edilmesi güçtür. Dezavantajları bu şekilde sıralanabilir.

4. BÖLÜM:

KAZIK TAŞIMA YÖNTEMLERİ VE GRUP KAZIKLAR

4.1. Kazık Taşıma Gücü Yöntemleri

Kazık temellerin taşıma gücünün doğru bir şekilde belirlenmesi, güvenli ve ekonomik bir temel tasarımı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla çeşitli teorik, deneysel ve ampirik yöntemler geliştirilmiştir. Kazık taşıma gücü hesaplamalarında genellikle uç direnci, çevre sürtünmesi ve zemin özellikleri dikkate alınmaktadır. Yöntemlerin seçiminde zemin tipi, kazık türü ve uygulama alanına göre farklılıklar göz önünde bulundurulmalıdır.

4.1.1. Jorgen Brinch Hansen Taşıma Gücü Yöntemi

Jorgen Brinch Hansen'in yöntemi, Meyerhof yönteminin daha kapsamlı halidir. Hansen, Meyerhof yöntemine ek olarak temel tabanı eğim faktörünü (b) ve temel zemini eğim faktörünü (g) getirerek yeni bir yöntem ortaya koymuştur. Bu yeni yöntem formüle edildiğinde aşağıdaki bağıntı ortaya çıkmaktadır. Kazık-Temel karakteristik taşıma gücü dayanımı 6 no.lu bağıntıda verilmiş olup, $\phi = 0$ değerine göre 7 no.lu bağıntıda değişen taşıma gücü dayanımı verilmiştir. 8, 9, 10, 11 no.lu bağıntılarda temel altındaki zeminin " ϕ " değerine bağlı değişebilen katsayılar verilmiştir.

$$q_p = c \times N_c \times d_c \times i_c \times s_c \times g_c \times b_c + \gamma_1 \times D_f \times N_q \times d_q \times i_q \times s_q \times g_q \times b_q + 0.5 \times \gamma_2 \times B \times N_\gamma \times d_\gamma \times i_\gamma \times s_\gamma \times g_\gamma \times b_\gamma \quad (6)$$

$\phi = 0$ olması durumunda;

$$q_p = 5.14 \times c_u \times (1 + s_c + d_c) \quad (7)$$

Bağıntılarda geçen;

q_p : Kazık-Temel karakteristik taşıma gücü dayanımı (kN/m^2)

c : Zemin kohezyon değeri (kN/m^2)

γ_1 : Temelin tabanıyla zemin üst sınırı arasındaki zemin birim hacim ağırlığıdır. (kN/m^3)

γ_2 : Temel tabanının kotunun altında kalan zemin efektif birim hacim ağırlığıdır. (kN/m^3)

D_f : Temelin zemine gömülme miktarı (m)

B : Kazık çapı olup yüzeysel temeller için temel genişliğini temsil etmektedir. (m)

$$\phi > 0 \text{ için } N_c = (N_q - 1) \times (1/\tan \theta^\circ) \quad (8)$$

$$\phi = 0 \text{ için}$$

$$N_c = 2 + \pi \quad (9)$$

$$N_\gamma = 1.5 \times (N_q - 1) \times \tan \theta^\circ \quad (10)$$

$$N_q = \tan^2(45 + \phi/2) \times e^{(\pi \times \tan \theta^\circ)} \quad (11)$$

Bağıntılarda geçen;

N_c , N_q , N_γ : Birimsiz, temel altındaki zeminin “ ϕ ” değerine bağlı değişebilen katsayılarıdır.

s_c , s_q , s_γ : Şekil faktörüdür.

$\phi = 0$ ise s_q , s_γ değerleri 1’dir.

i_c , i_q , i_γ : Yük eğiklik faktörleri

$\phi = 0$ ise i_γ ’dir. Yük düşey ise tüm eğiklik faktörleri 1’dir.

d_c , d_q , d_γ : Derinlik faktörleri

$\phi = 0$ ise d_q , d_γ değerleri 1’dir.

g_c , g_q , g_γ : Temel yüzeyi eğim faktörleridir.

Temel altı zeminini düz olması durumunda

g_c , g_q , g_γ : değerlerinin tamamı 1’dir.

b_c , b_q , b_γ : Temel tabanı eğim faktörleridir.

Temel tabanının düz olması durumunda b_c , b_q , b_γ faktörlerinin tamamı 1’dir.

L : Temelin uzun kenar değeridir. (m)

4.1.2. Yüzeysel Temelerde Terzaghi Taşıma Gücü Yöntemi

Terzaghi yüzeysel temelerin taşıma gücü yöntemini ve taşıma gücü formüllerini kullanmıştır. Aralarındaki tek fark ise temel hesaplarında genişlik kullanılırken, kazıklarda ise çap kullanılmaktadır. Şekil 14’te Terzaghi’ye ait taşıma gücü teorisinin kırılma yüzeylerinin davranışı gösterilmiştir. 12 no.lu bağıntıda kazık ucuna etkiyen birim alan direncine yer verilmiştir. 13 no.lu bağıntıda tasarım taşıma gücüne yer verilmiştir. Tablo 2’de temel şekillerine göre K katsayısı değerleri verilmiştir.

Terzaghi teorisi bazı kabullere dayanmaktadır;

- 1) Zemin iki boyutludur.
- 2) Temel tabanı pürüzlüdür.
- 3) Zemin homojendir.
- 4) Zemin yatay konumdadır.

5) Temele gelen yük dikey olarak temelin merkezine etkimektedir. Bu sebeple eksantriksizde meydana gelmeyip moment oluşmamaktadır.

6) Temel tabanı üzerindeki zeminin oluşturduğu yük sürşarj yükü olarak dahil edilir.

7) Yer altı suyu temel tabanından çok derinlerde bulunmaktadır.

8) Görece olarak temel zeminden daha rijittir

$$q_p = c \times N_c \times K_1 + \gamma_1 \times D_f \times N_q + 0,5 \times \gamma_2 \times B \times N_\gamma \times K_2 \quad (12)$$

Terzaghi taşıma gücü formülü üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm kohezyonun taşıma gücündeki payı. İkinci bölüm temel tabanı üstünde kalan kısmın sürşarj yükünün taşıma gücü payı. Üçüncü kısım zeminin kendi ağırlığının taşıma gücündeki payıdır.

Bağıntılarda geçen;

q_p : Kazık ucuna etkiyen birim alan direnci (kN/m^2)

c : Zemin kohezyon değeri (kPa)

γ_1 : Temelin tabanıyla zemin üst sınırı arasındaki zemin birim hacim ağırlığı değeridir. (kN/m^3)

γ_2 : Temel tabanının kot değerinin altında kalan zemin efektif birim hacim ağırlığı değeridir. (kN/m^3)

D_f : Temelin zemine gömülme miktarı (m)

B : Kazıklar çap olup yüzeysel temeller için temel genişliğini temsil etmektedir. (m)

N_c, N_q, N_γ : Birimsiz, temel altındaki zeminin “ ϕ ”değerine bağlı değişebilen katsayılarıdır.

N_c değeri kohezyona bağlı değer olduğundan kohezyonsuz zeminlerde (kum, çakıl) “0” kabul edilir.

K_1, K_2 : Temel şekil faktörleri olup birimsizdir.

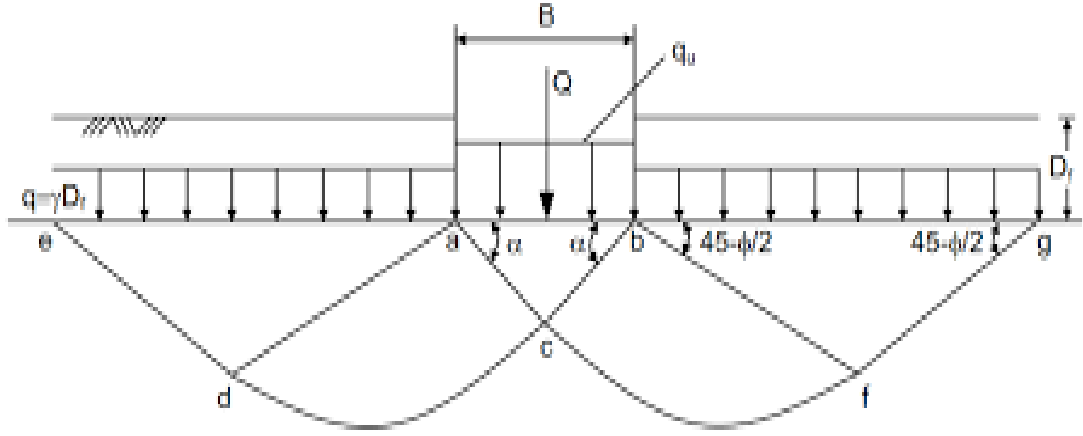
$$Q_t = Q_p / G.S \quad (13)$$

Bağıntılarda geçen;

Q_t : Tasarım taşıma gücü (kN/m^2)

q_p : Birim alan direnci (kN/m^2)

$G.S.$: Güvenlik katsayısı



Şekil 14. Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi Kırılma Yüzeyleri Gösterimi [28]

abc zone'u: Bu bölge ab, bc kenarları eşit olan ikizkenar üçgen şeklinde bir kama olup, α kırılma açısı, ϕ ise makaslama dayanımı açısıdır.

bfg zone'u: Rankine pasif bölgesidir. Yüzey ile yaptığı açısı $(45-\phi/2)$ 'dir.

bcf zone'u: Radyal kayma bölgesidir.

Tablo 2. Temel Şekil Faktörleri

	Şerit Temel	Dikdörtgen	Kare	Daire
K_1	1	$1+0,3 \times (B/L)$	1,3	1,3
K_2	1	$1-0,2 \times (B/L)$	0,8	0,6

L: Temel Boyu

B: Temel Genişliği

Şekil Katsayıları

Aşağıdaki formülde kazık çap değerinin yüzeysel temelin kenar uzunluğuna göre oldukça düşük olması ve kazığın gömülme miktarının kazık çap değerinden oldukça yüksek olması nedeniyle formülün üçüncü bölümü $[0,5 \times \square \times B \times N_{\square}]$ ihmal edilmiştir.

4.1.3. Uç Kazıklarda Terzaghi Uç Taşıma Gücü

Terzaghi yaptığı çalışmalar sonucunda yukarıdaki yüzeysel temellerin taşıma gücü adlı başlığının altındaki formülü ortaya çıkarmıştır. Buradan yola çıkarak aşağıdaki formül geliştirilmiş olup kazık çapının, temel kenar uzunluğuna göre rakamsal olarak çok daha az bir değere sahip olmasından ötürü, ek olarak kazık çapının derinliğine kıyas ile oldukça küçük kalmasından, N_q katsayısı N_{γ} katsayısından oldukça büyük olması sonucunu doğurmasından kaynaklı olarak " $0,5 \times \gamma_2 \times B \times N_{\gamma} \times K_2$ " bu kısım yok kabul

edilmiştir. Böylelikle aşağıdaki yöntem karşımıza çıkmaktadır. 14 no.lu bağıntıda uç kazıklarda kazık uç taşıma gücü hesabına yer verilmiştir.

$$Q_{uç} = A_b \times q_p = A_b \times [c \times N_c + \gamma \times L \times N_q] \quad (14)$$

Bağıntılarda geçen;

c: Zemin kohezyonu (kN/m²)

N_c, N_q: Taşıma gücü katsayıları

γ: Zemin birim hacim ağırlığı (kN/m³)

L: Kazık uzunluğu (m)

A_b: Kazık kesit alanı (m²)

q_p: Kazık ucuna etkiyen birim alan direnci (kN/m²)

4.1.4. Sürtünme Kazıklarında Uç Direnci Hesabı (Terzaghi)

Sürtünme kazıklarında her ne kadar kazıklara gelen yükün büyük kısmı çevre sürtünmesi ile karşılanırsa da bir miktar uç direnci de oluşmaktadır. Söz konusu bu uç direncini aşağıdaki şekilde hesaplamak mümkündür. 15 no.lu bağıntıda sürtünme kazıklarında uç direnci hesabına yer verilmiştir. 16 no.lu bağıntıda ise sürtünme kazıklarında uç taşıma gücü değerine yer verilmiştir.

$$q_p = 1.3 \times c \times N_c + \gamma' \times L \times N_q + n \times \gamma' \times B \times N_{\gamma} \quad (15)$$

$$Q_{uç} = A_b \times q_p \quad (16)$$

Bağıntıda geçen;

A_b: Kazık kesit alanı (m²)

q_p: Kazık ucuna etkiyen birim alan direnci (kN/m²)

c: Zemin kohezyonu (kN/m²)

N_c, N_q, N_γ: Taşıma gücü katsayılarıdır.

L: Kazık uzunluğu (m)

n: Dairesel kazıklarda 0,3 kare kazıklarda 0,4 kabul edilir.

γ': Zeminin efektif birim hacim ağırlığı (kN/m³)

B: Kazık çap değeri (m)

4.1.5. Sürtünme Kazıklarında Kohezyonsuz Zeminlerde Terzaghi Uç Direnci

Kohezyonsuz zeminlerde kazıkların uç direnci, zeminin birim hacim ağırlığı ve kazık ucunun derinliği ile ilişkili olarak Terzaghi tarafından geliştirilen yöntemle hesaplanmaktadır. Bu hesapta, kohezyon değeri sıfır kabul edilmekte ve taşıma gücü

formülünün yalnızca efektif gerilme ve birim hacim ağırlığına bağlı terimleri dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle kum gibi kohezyonsuz zeminler için geçerlidir.

Aşağıda verilen formüller, bu tip zeminlerde uç direnci bileşenlerinin nasıl sadeleştirildiğini göstermektedir. Bu hesaplamalar, kazığın taşıma kapasitesinin belirlenmesinde kritik öneme sahiptir. 17 no.lu bağıntıda kazık ucuna etkiyen birim alan direncine yer verilmiştir. 18 no.lu bağıntıda ise bu başlığın özelliklerindeki zeminde kazığın uç taşıma gücü için hesap yöntemine yer verilmiştir. 19 no.lu bağıntıda kazık ucundaki düşey efektif gerilme hesabı gösterilmiştir. 20 no.lu bağıntıda N_c ve N_γ değerleri ihmal edilerek kazık ucundaki düşey efektif gerilme hesabına yer verilmiştir.

$$q_p = 1.3 \times c \times N_c + \sigma'_0 \times N_q + n \times \gamma' \times B \times N_\gamma \quad (17)$$

$$Q_{uç} = A_b \times q_p \quad (18)$$

Uç direnci hesabı için formülde kohezyon değeri yerine “0” sayısı tatbik edildiğinde ve formülde 3. kısım dikkate alınmayacak ehemmiyette olduğundan formül aşağıdaki yeni halini almaktadır.

$$\sigma'_0 = L \times \gamma' \quad (19)$$

$$q_p = \sigma'_0 \times N_q \quad (20)$$

Bağıntılarda geçen;

σ'_0 : Kazık ucundaki düşey efektif gerilme (kN/m^2)

q_p : Kazık ucuna etkiyen birim alan direnci

A_b : Kazık kesit alanı (m^2)

q_p : Kazık ucuna etkiyen birim alan direnci (kN/m^2)

c : Zemin kohezyonu (kN/m^2)

N_c, N_q, N_γ : Taşıma gücü katsayıları

L : Kazık uzunluğu (m)

n : Dairesel kazıklarda 0,3 kare kazıklarda 0,4 kabul edilir.

γ' : Zeminin efektif birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

B : Kazık çap değeri (m)

4.1.6. Sürtünme Kazıklarında Kohezyonlu Zeminlerde Terzaghi Uç Direnci

Kil ve silt gibi kohezyonlu zeminlerde zeminin bünyesinde bulunan suyu tahliye etmemesi durumunda, içsel sürtünme açısı değeri “0” olacağından birim taşıma gücü formülü aşağıdaki halini almaktadır. 21 no.lu bağıntıda kohezyonlu zemin cinslerinde tatbik edilen sürtünme kazıklarına ait uç taşıma gücüne yer verilmiştir. 22 no.lu bağıntıda

kohezyonlu zemin cinslerinde tatbik edilen sürtünme kazıklarına ait birim uç direncine yer verilmiştir.

$$Q_{uç} = A_b \times q_p \quad (21)$$

$$q_p = c_u \times N_c \quad (22)$$

Bağıntılarda geçen;

A_b = Kazık kesit alanı (m^2)

q_p = Kazık ucuna etkiyen birim alan direnci (kN/m^2)

N_c = Taşıma gücü katsayısı

Kazığın zemine gömülme miktarı/kazık çapı değeri çok yüksek olması halinde N_c katsayısı “9” kabul edilmekte olup yukarıdaki bağıntı aşağıdaki halini almaktadır.

4.1.7. Meyerhof Taşıma Gücü Yöntemi

Meyerhof bağıntılarında Terzaghi'ye ek olarak eğim (i), derinlik (d) ve şekil (s) faktörlerini kullanmıştır. Ayrıca taşıma gücü bağıntılarını da dikey yük ve eğimli yük için olmak üzere ikiye ayırmıştır. Eğimli yüklerinde ise şekil faktörlerini kullanmamıştır. 23 ve 24 no.lu bağıntılarda sırası ile dikey ve eğimli yükler için birim uç direncine yer verilmiştir. 25, 26 ve 27 denklemlerinde ise temel altındaki zeminin “ ϕ ” değerine bağlı değişebilen, katsayıların hesabına ait denklemlere yer verilmiştir. 28, 29 ve 30 no.lu bağıntılarda ise değişen ϕ değerlerine göre şekil katsayı değerlerini hesaplamak için gerekli denklemlere yer verilmiştir. 31, 32 ve 33 no.lu denklemlerde ise değişen “ ϕ ” değerlerine göre eğim düzeltme katsayılarına yer verilmiştir. 34, 35 ve 36 no.lu denklemlerde değişen “ ϕ ” değerlerine göre gömülme derinliği düzeltme katsayısı hesaplarına yer verilmiştir. 37 no.lu denklemde ise pasif toprak direnci katsayısı hesabına yer verilmiştir. 38 no.lu bağıntıda sürşarj yükü efektif gerilme yükü hesabına ait denkleme yer verilmiştir.

Dikey yüklerde:

$$q_p = c \times N_c \times s_c \times d_c + \gamma_1 \times D_f \times N_q \times s_q \times d_q + 0.5 \times \gamma_2 \times B \times N_\gamma \times s_\gamma \times d_\gamma \quad (23)$$

Eğimli yüklerde:

$$q_p = c \times N_c \times d_c \times i_c + \gamma_1 \times D_f \times N_q \times d_q \times i_q + 0.5 \times \gamma_2 \times B \times N_\gamma \times d_\gamma \times i_\gamma \quad (24)$$

Bağıntılarda geçen;

q_p : Birim alan direnci (kN/m^2)

c : Zemin kohezyon değeri (kN/m^2)

γ_1 : Temelin tabanıyla zemin üst sınırı arasındaki zemin birim hacim ağırlığıdır. (kN/m^3)

γ_2 : Temel tabanının kot değerinin altında kalan zemin efektif birim hacim ağırlığı değeridir. (kN/m³)

D_f : Temelin zemine gömülme miktarı (m)

B : Kazıklar için kazık çapı olup yüzeysel temeller için temel genişliğidir. (m)

$$N_q = (e^{\pi \tan \phi}) \times (\tan^2(45 + \phi/2)) \quad (25)$$

$$N_c = (N_q - 1) \times (1/\tan \phi) \quad (26)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \times (\tan(1.4\phi)) \quad (27)$$

Bağıntılarda geçen;

N_c , N_q , N_γ : Birimsiz, temel altındaki zeminin “ ϕ ” değerine bağlı değişebilen, katsayılarıdır. N_c değeri kohezyona bağlı değer olduğundan kohezyonsuz zeminlerde (kum, çakıl) 0 kabul edilir. Taşıma gücü katsayıları tablolardan hazır olarak elde edilebileceği gibi formüllerle de hesaplanabilir.

Bütün (ϕ) değerlerinde

$$s_c = 1 + 0.2 \times K_p \times B/L \quad (28)$$

$$\phi > 0^\circ \text{ için } s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 \times K_p \times B/L \quad (29)$$

$$\phi = 0 \text{ için } s_q = s_\gamma = 1 \text{ dir.} \quad (30)$$

$$\text{Bütün } (\phi) \text{ için } i_c = i_q = (1 - \theta^\circ/90)^\wedge 2 \quad (31)$$

$$\phi > 0 \text{ için } i_\gamma = (1 - \theta^\circ/\phi^\circ) \quad (32)$$

$$\phi = 0 \text{ için } i_\gamma = 0 \quad \theta > 0 \quad (33)$$

Tüm (ϕ) için

$$d_c = 1 + 0.2 \times \sqrt{k_p} \times D_f/B \quad (34)$$

$$\phi > 10 \text{ için } d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \times \sqrt{k_p} \times D_f/B \quad (35)$$

$$\phi = 0 \text{ için } d_q = d_\gamma = 1 \quad (36)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2) \quad (37)$$

$$\gamma_1 \times D_f = \text{Sürşarj yükü, efektif gerilme (kN)} \quad (38)$$

Bağıntılarda geçen;

i_c , i_q , i_γ : Yük eğiklik faktörleri

d_c , d_q , d_γ : Derinlik faktörleri

K_p : Pasif toprak basıncı katsayısıdır.

R : Bileşke yüküdür.

θ : R 'nin düşeyle yapmış olduğu açı değeridir.

4.1.8. Meyerhof Kum Zeminde Uç Direnci Hesabı

Meyerhof uç direncinin zeminin belirli derinliklerine kadar arttığını, akabinde ise sabit kaldığını belirtmektedir. Bu derinlik sınırına ise kritik derinlik denmektedir. Tabakalı zeminlerde ise kazık boyu (L) gömme derinliğine eşit değildir. ($L_g \neq L$)

Bu tez kapsamındaki hesaplamalarda kritik derinliğin aşıldığı kabul edilmiş olup q_p değeri sabit ve maksimum durumunda kabul edilecektir. SPT deneyine bağlı olarak tek tabakalı zeminde ise uç direncinin aşağıdaki formül ile hesap edilmesi yöntemi ortaya koyulmuştur. 39 no.lu denklemde Meyerhof yaklaşımı ile kum zeminlerdeki uç taşıma gücüne yer verilmiş olup 40 no.lu bağıntıda ise zeminde uç direnci hesabına yer verilmiştir.

$$Q_{uç} = q_p \times A \quad (39)$$

$$q_p = 40 \times (L/D) \times N_p < 0,4 \text{ kN} \quad (40)$$

Bağıntılarda geçen;

$Q_{uç}$ = Uç taşıma gücü (kN)

A_b = Kazık kesit alanı (m^2)

q_p = Kazık ucuna etkiyen birim alan direnci (kN/m^2)

N_p = Standart penetrasyon deneyindeki darbe sayısı

L = Kazık uzunluğu (m)

D = Kazık çapı (m)

Bulunan değer formülde belirtildiği üzere 0,4 kN'dan büyük olması halinde q_p değeri 0,4kN olarak kabul edilecektir.

Kum, çakıl gibi üniformluk katsayısı ve kohezyon değeri "0" olan zeminlerde uç taşıma direnci 41 no.lu denklemde belirtilen denklem vasıtası ile hesaplanır.

$$Q_{uç} = A_b \times \sigma'_0 \times N_q < A_b \times 50 \times N_q \times \tan(\phi) \quad (41)$$

Bağıntılarda geçen;

$Q_{uç}$: Uç taşıma gücü (kN)

A_b : Kazık kesit alanı (m^2)

σ'_0 : Efektif gerilme (kN/m^2)

ϕ : İçsel sürtünme açısı

N_q : Taşıma gücü katsayısı

4.1.9. Meyerhof Doygun Drenajlı Kil Zeminde Uç Taşıma Gücü Hesabı

Kazığın doymuş, drenajlı ve içsel sürtünme açısı “0” olması halinde aşağıdaki formül yardımı ile kazığın uç taşıma gücü değeri bulunabilir. 42 no.lu bağıntıda bu başlığa ait kazık taşıma gücü hesap yöntemine yer verilmiştir.

$$Q_{uç} = N_c \times c_u \times A_b \quad (42)$$

Bağıntılarda geçen;

$Q_{uç}$: Uç taşıma gücü (kN)

N_c : Taşıma gücü katsayısı olup ilgili tablolardan alınabilmektedir.

A_b : Kazık kesit alanıdır. (m^2)

4.1.10. Meyerhof Drenajsız Kil Zeminde Uç Taşıma Gücü Hesabı

Meyerhof tarafından önerilen yöntem, drenajsız koşullarda (kısa süreli yüklemeler veya düşük geçirgenliğe sahip kil zeminlerde) kazıkların uç taşıma gücünün hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu yöntem kapsamında, zeminin kohezyon değeri ve kazık ucundaki efektif gerilme bileşenleri dikkate alınarak uç taşıma gücü hesaplanır. Drenajsız durumlarda kayma mukavemeti yalnızca kohezyona dayandığından, bu yöntem özellikle kohezyonlu zeminler için uygundur. Aşağıda verilen bağıntılar, kazık kesit alanı, zeminin birim hacim ağırlığı ve kazık uzunluğu gibi parametreler yardımıyla uç taşıma gücünün belirlenmesine olanak sağlar. Bu yaklaşım, mühendislik yapılarında güvenli taşıma kapasitesinin tahmini açısından önemli bir hesaplama yöntemidir. 43 no.lu bağıntıda bu başlığa ait kazık taşıma gücü hesap yöntemine yer verilmiştir. 44 no.lu bağıntıda bu başlığa ait kazık ucundaki düşey efektif gerilme hesap yöntemine yer verilmiştir.

$$Q_{uç} = A_b \times (c \times N_c + \sigma'_0 \times N_q) \quad (43)$$

$$\sigma'_0 = \gamma' \times L \quad (44)$$

Bağıntılarda geçen;

$Q_{uç}$: Uç taşıma gücü (kN)

A_b : Kazık kesit alanıdır. (m^2)

σ'_0 : Kazık ucundaki düşey efektif gerilme (kN/m^2)

γ' : Zeminin efektif birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

L : Kazık uzunluğu (m)

c : Zemin kohezyon değeri (kN/m^2)

N_c, N_q : Taşıma gücü katsayıları

4.2. Kazık Sürtünme Taşıma Gücü

Kazıklar taşıma gücünün yalnızca uç direnci ile sağlanamadığı durumlarda, sürtünme taşıma gücü devreye girer. Özellikle yumuşak, zayıf veya düşük dayanımlı zeminlerde kazıkların çevresi ile zemin arasındaki aderans ve sürtünme kuvvetleri, yük taşımada önemli bir rol oynar. Bu tür zeminler genellikle kumlu ve killi zeminlerdir. Kumlu zeminlerde sürtünme, tanelerin birbirine kilitlenmesi yoluyla sağlanırken, killi zeminlerde kohezyon ve kohezyonel sürtünme etkili olur. Kazık sürtünme taşıma gücü hesaplanırken dikkate alınan başlıca faktörler şunlardır: Kazığın çevresinin (perimetre) yüzey alanı, zemin türü (kum, kil, silt vb.), zemin ile kazık malzemesi arasındaki sürtünme katsayısı, yer altı su seviyesi ve drenaj durumu, kazık uzunluğu ve yerleştirilme derinliği. Bu etkenler göz önünde bulundurularak yapılan tasarımda, kazıkların yeterli sürtünme dayanımı sağlaması hedeflenir. Yetersiz kalan durumlarda, grup etkisi veya kazık çapı ve uzunluğunun artırılması gibi yöntemlere başvurulabilir.

4.2.1. Kumlarda Sürtünme Direnci

Kumlarda sürtünme direnci belirli bir kritik derinliğe L' kadar lineer olarak artmakta olup akabinde değişmemektedir. Kritik derinlik yaklaşık olarak 15 kazık (15D) çapı kabul edilmektedir. Aşağıdaki formülde ise zeminden L' derinliğe kadar olan birim çevre sürtünme direnci ve kazık çevre sürtünme direnci formülleri verilmiştir. 45, 46, 47 no.lu bağıntılarda sırası ile bu başlığa ait kazık çevresinde oluşan taşıma gücüne ait denklem, kazık çevre alanı hesaplarına yer verilmiştir. Tablo 3'te kazık tipine göre K değerleri verilmiştir.

$$Q_{\text{çevre}} = A_{\text{çevre}} \times f \quad (45)$$

$$A_{\text{çevre}} = \pi \times D \times L \quad (46)$$

$$F = K \times \sigma'_0 \times \tan(\phi) \quad (47)$$

Bağıntılarda geçen;

$Q_{\text{çevre}}$: Kazık çevre sürtünme direnci (kN)

$A_{\text{çevre}}$: Kazık çevre alanı (m^2)

f : Herhangi bir zemin derinliğindeki birim çevre direncidir. (kN/m^2)

K : Efektif toprak basıncı katsayısı

σ'_0 : Düşey efektif gerilme (kN/m^2)

ϕ : Sürtünme açısı (ortalama olarak 0.8ϕ alınabilir.)

D : Kazık çapı (m)

L: Kazık uzunluğu (m)

Tablo 3. Kazık Tipine Göre K Değerleri.

KAZIK TİPİ	K
Fore kazıklar	$K_0 = 1 - \sin\phi$
Yer değiştirmesi yüksek olan kazıklar	K_0 ile $1.8 K_0$ aralığında
Yer değiştirmesi düşük olan kazıklar	K_0 ile $1.4 K_0$ aralığında

4.2.2. Kil Zeminde Sürtünme Direnci

Kil zeminlerde sürtünme direnci, kazığın çevresi ile zemin arasındaki yapışma ve temas kuvvetlerinden kaynaklanır. Bu tür zeminlerde kazıkların taşıma gücüne katkıda bulunan en önemli unsur, kilin kohezyonel yapısıdır. Yani, zemin taneleri arasındaki doğal yapışma ve sıkışma etkileri, kazığın yüzeyine tutunarak yük taşıma kapasitesini artırır.

Kil zeminler zamanla oturma ve konsolidasyon eğilimi gösterir. Bu nedenle, kısa vadede kazıklar yüksek sürtünme direnci sağlarken, uzun vadede drenaj koşullarına ve zemin deformasyonlarına bağlı olarak bu direnç değişebilir. Ayrıca kil zeminlerde plastik özellikler ve su içeriği, sürtünme direncini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Yerinde yapılan arazi gözlemleri, deneyler ve zemin etütleri, sürtünme direncinin doğru tahmin edilmesi açısından büyük önem taşır. Tasarım aşamasında, kazığın tipi (çelik, betonarme, ahşap), yüzey pürüzlülüğü ve kazık-zemin uyumu da dikkate alınır. Bu faktörler, kil zeminlerde güvenli ve dayanıklı bir temel tasarımı için önemli rol oynar.

4.2.2.1. λ Yöntemi

Kazığın zemine imal edilirken, zeminde oluşturmuş olduğu yer değiştirmelerin pasif yanal toprak basıncı oluşturması ve ortalama birim çevre sürtünmesi elde edilmesi esaslarına dayanır. 48 no.lu bağıntıda kazık ortalama birim çevre sürtünmesi değeri hesaplanması için ilgili denkleme yer verilmiştir. 49 no.lu bağıntıda ise kazığın gömülme derinliğince ortalama efektif düşey gerilmesi hesabı için ilgili denkleme yer verilmiştir. 50 no.lu bağıntıda tabakalı zeminde drenajsız kayma direnci hesabına ait denkleme yer verilmiştir. 51 no.lu bağıntıda çevre taşıma gücü hesabına ait denkleme yer verilmiştir. Şekil 4.15'te kazık gömülme miktarı ile λ değişimi grafiği verilmiştir.

$$f_0 = \lambda \times (\bar{\sigma}'_0 + 2 \times c_u) \quad (48)$$

$$\sigma'_0 = (A_1 + A_2 + \dots) / L \quad (49)$$

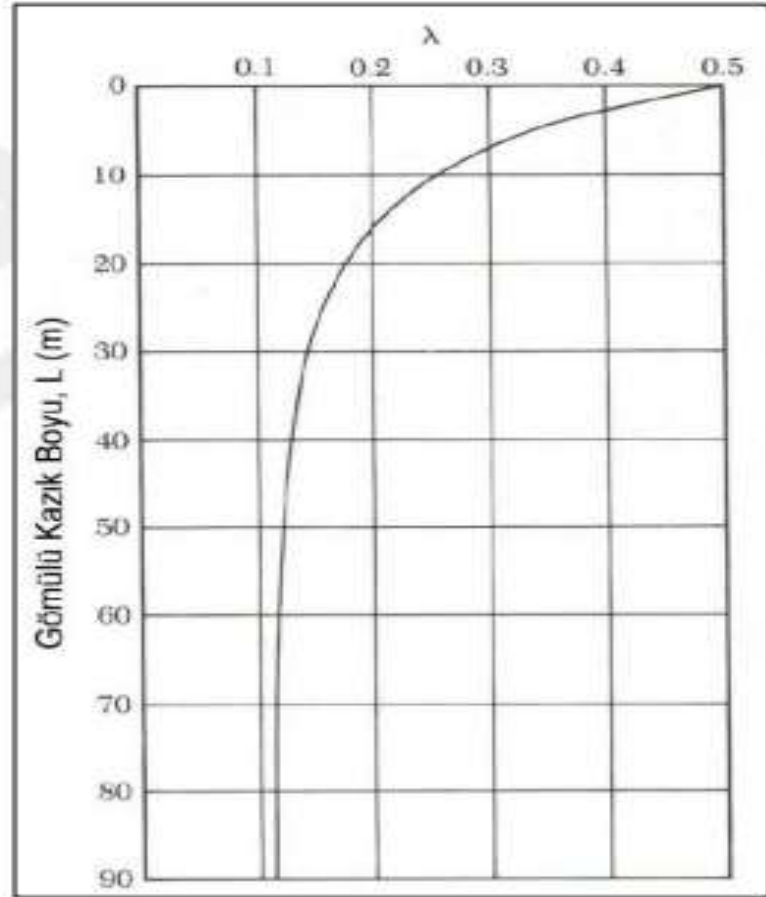
$$c_u = (c_u (1) / L_1 + c_u (2) / L_2 + \dots) / L \quad (50)$$

Bağıntılarda geçen;

σ'_0 : Kazığın gömülme derinliğince ortalama efektif düşey gerilmesi (kN/m²)

c_u : Tabakalı zeminde drenajsız kayma direnci (kN/m²)

λ : Kazık uzunluğu boyunca değişen katsayı olup aşağıdaki grafikte değişen kazık boyuna göre değişen değerleri gösterilmiştir.



Şekil 15. Kazık Gömülme Miktarı ile λ Değişimi [29]

$$Q_{\text{çevre}} = \gamma \times L \times f_0 \quad (51)$$

Bağıntılarda geçen;

$Q_{\text{çevre}}$: Toplam çevre sürtünmesi (kN)

f_0 : Ortalama birim çevre sürtünmesi (kN/m²)

L : Kazık uzunluğu (m)

γ : Zemin birim hacim ağırlığı (kN/m³)

4.2.2.2. β Yöntemi

Bu yöntemde çevre sürtünmesi değeri aşağıdaki formül yardımı ile bulunur. 52, 53 no.lu bağıntılarda sırası ile birim çevre sürtünmesi ve çevre sürtünmesi katsayısı değerlerine ait denklemlere yer verilmiştir. 54, 56 no.lu bağıntılarda ise toprak basıncı sabiti değerinin hesaplanmasına yer verilmiştir. 55, 57 bağıntılarda sırası ile normal konsolide, aşırı konsolide zeminler için birim çevre sürtünmesi katsayısına yer verilmiştir. 58 bağıntısında ise β yöntemi için kazık çevre taşıma gücüne yer verilmiştir.

$$z = \beta \times \sigma'_0 \quad (52)$$

$$\beta = K \times \tan\phi'_R \quad (53)$$

Normal konsolide olmuş killerde;

$$K = 1 - \sin\phi'_R \quad (54)$$

$$z = (1 - \sin\phi'_R) \times \tan\phi'_R \times \sigma'_0 \quad (55)$$

Aşırı konsolide olmuş killerde;

$$K = (1 - \sin\phi'_R) \times ((O.C.R.)^{(1/2)} \dots \quad (56)$$

$$z = (1 - \sin\phi'_R) \times ((O.C.R.)^{(1/2)}) \times \tan\phi'_R \times \sigma'_0. \quad (57)$$

Toplam çevre sürtünme direnci ise aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$Q_{\text{çevre}} = \Sigma z \times p \quad (58)$$

Bağıntılarda geçen;

σ'_0 : Düşey efektif gerilme (kN/m²)

ϕ'_R : Örselenmiş kilin drenajlı içsel sürtünme açısı

K: Toprak basınç sabiti (Normal konsolide killerde ve aşırı konsolide killerde farklı yöntemler kullanılarak hesap edilmektedir.)

4.2.2.3. α Yöntemi Killerde Kazık Taşıma Gücü

Yöntemin doğrudan isminde yer alan “ α ”, kazık-zemin arasındaki etkileşimin sembolü olan katsayıdır ve kazık taşıma gücü hesabında kullanılan bir yöntemdir. 59, 60, 61 no.lu bağıntılarda değişen drenajsız kayma direncini kullanarak, kazık zemin arasındaki etkileşimi gösteren katsayı olan “ α ” değerini hesap etmekte kullanılan denklemler mevcuttur. 62 no.lu denklemde ise kazık zemin arasındaki yapışma değerinin hesap edilmesinde kullanılan denklem gösterilmektedir. 63 no.lu bağıntıda toplam taşıma gücü hesabında kullanılan denklem gösterilmektedir.

$$c_u \leq 25 \text{ ise } \alpha = 1 \quad (59)$$

$$25 < c_u < 70 \text{ ise } \alpha = 1,2777 - 0,0111 \times c_u \quad (60)$$

$$c_u \geq 70 \text{ ise } \alpha = 0,5 \quad (61)$$

$$c_a = \alpha \times c_u \quad (62)$$

$$Q_p = c_b \times N_c \times A_b + \bar{c}_a \times A_{\text{çevre}} \quad (63)$$

Bağıntılarda geçen;

c_a : Kazık ile zemin arasındaki yapışma değeridir. (kN/m²)

c_b : Kazık alt ucundan itibaren 2D derinlikteki ortalama kohezyon değeridir. (kN/m²)

c_u : Drenajsız kayma direnci (kN/m²)

N_c : Kil zeminlerde “9” değeri olarak hesaba katılır.

$A_{\text{çevre}}$: Kazığın çevre alanı (m²)

A_b : Kazık kesit alanı (m²)

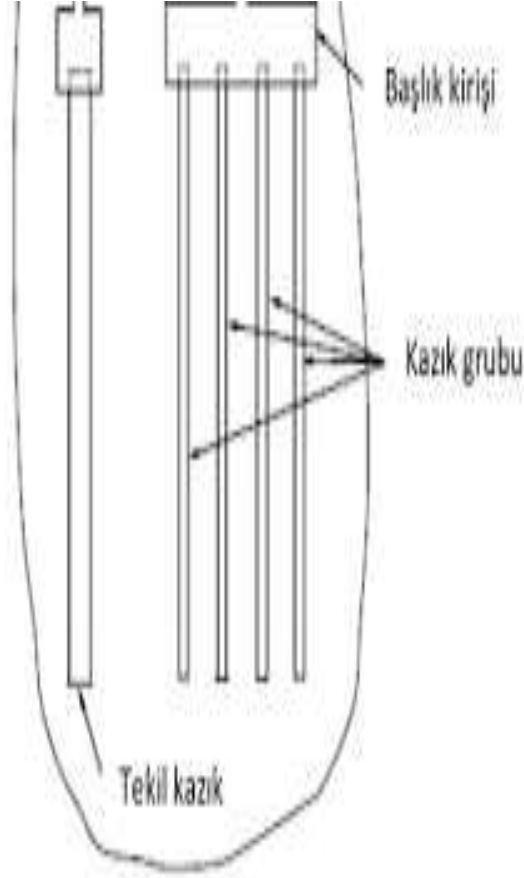
α : Kazık zemin arasındaki etkileşimi gösteren katsayı (birimsiz)

4.3. Grup Kazıklar

Üst yapı yükünü alt tabakalardaki zemine güvenle aktarmak amacıyla imal edilen kazıklar genellikle tek olarak imal edilmeyip, grup olarak imal edilirler.

Kazıklara gelen yükü eşit dağıtabilmek amacı ile kazık başlığı imal edilir. Kazık başlığı betonarme olarak tasarlanır. Şekil 16’da tekil ve grup kazığa ait görsel yer almaktadır. Üst yapı yükünü alt tabakalardaki zemine güvenle aktarmak amacıyla imal edilen kazıklar genellikle tek olarak imal edilmeyip, grup olarak imal edilirler. Grup kazıklarının toplam taşıma gücü değeri, grup kazık sayısı ile her bir tekil kazığın taşıma gücü çarpımları sonucu elde edilen değerden genellikle düşüktür (killerde). Kazıklara gelen yükü eşit dağıtabilmek amacı ile kazık başlığı imal edilir. Grup kazıklarının kullanımında dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri, kazıklar arasındaki aralık mesafesidir. Bu mesafe, kazıkların taşıma kapasitelerinin birbirini etkilemeyeceği şekilde belirlenmelidir. Ayrıca grup kazıkları, sürtünme kazıkları ve uç kazıkları şeklinde farklı tiplerde tasarlanabilir. Özellikle yumuşak zeminlerde grup kazıkları, rijit bir kazık başlığı ile çalışarak yükleri hem kazıklara hem de çevresindeki zemine dağıtır. Bu durum, yapının oturma miktarını azaltır ve yapısal stabiliteyi artırır. Grup kazıklarının tasarımında, zemin özellikleri, yer altı su seviyesi, kazık boyu, çapı ve malzeme türü dikkate alınarak hem taşıma gücü hem de oturma hesapları yapılmalıdır. Ayrıca, grup kazıkları arasındaki etkileşimi hesaba katmak için etkileşim katsayıları veya deneysel

yöntemler kullanılabilir. Sonuç olarak, grup kazıkları, büyük ve ağır yapıların zayıf zemin koşullarında güvenle taşınabilmesi için etkili bir çözüm sağlar. Doğru tasarım ve detaylandırma ile, yapı yükleri dengeli şekilde kazık grubuna ve zemine aktarılır, böylece yapının uzun ömürlü ve güvenli bir şekilde hizmet etmesi sağlanır. Şekil 16’da tekil ve grup kazık gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 16. Tekil ve Grup Kazık Gösterimi [30]

Kazık grupları hesaplamaları esnasında hesap kolaylığını sağlamak adına yapılan kabullerden öne çıkanlar şöyledir;

İmal edilen kazıklar rijit kabul edilir. Kazık üst başları ve alt kısımları sabit kabul edilir.

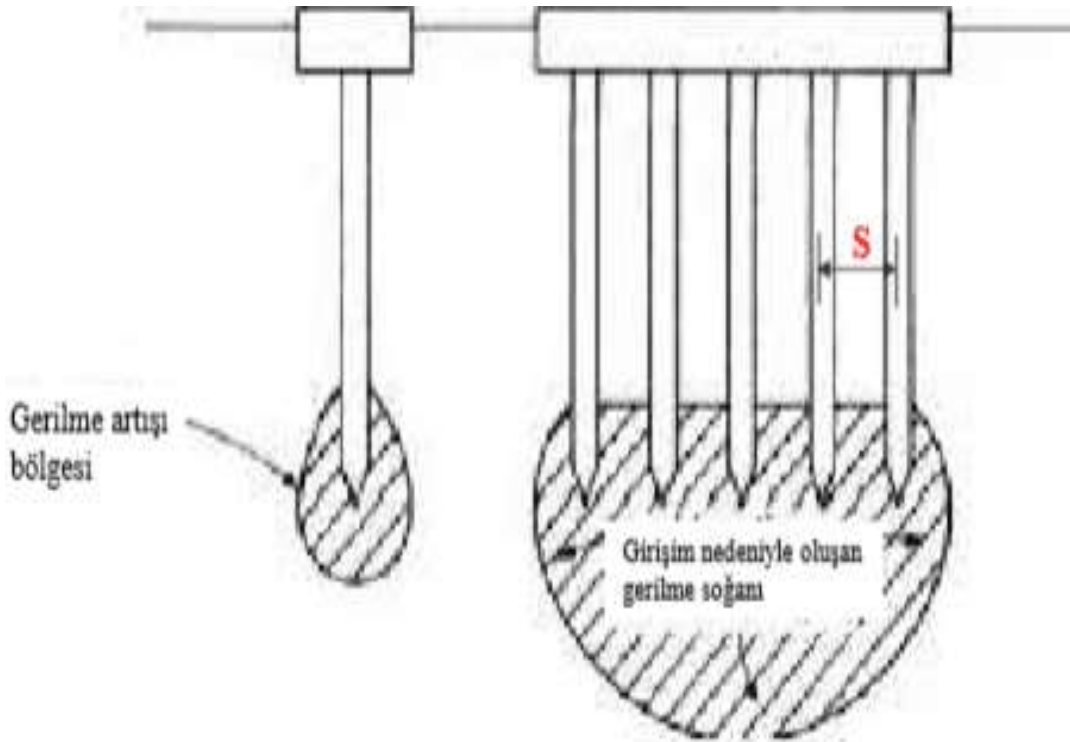
4.3.1. Grup Kazık Hesaplamaları Sırasında Dikkat Edilmesi Gerekenler

Kaya zeminlerde sürtünme kazıklarında grup kazık imalatı yapılırken kazıkların arasındaki asgari mesafe dairesel kazıklarda 2D olmalı iken dörtgen kazıklarda köşegen uzunluğunun 2 katından fazla olmalıdır [15]. Kaya zeminlerde uç kazıklar imal edilirken kazıkların aralarındaki asgari mesafe yuvarlak kazıklarda gruptaki en büyük çaplı kazığa

30 cm eklenmesi yoluyla hesap edilirken, dörtgen kazıklara kazık köşegen uzunluğuna 30 cm eklemek yoluyla hesap edilir. Kazıklar bir eksen üzerinde tek sıra ile çakılmak yerine, bir eksenin altında ve üstünde kalacak şekilde şaşırtmalı olarak çakılmalıdır. Bu eksen ile aralarındaki mesafe minimum $D/2$ olmalıdır. Kazıkların gömülme derinliği kohezyonsuz zeminlerde başka özel sebepler olmaması halinde 3 m'ye kadar ulaşmalıdır. Kazıkların gömülü uzunluğunun aynı olması önemli iken farklı uzunluklarda imalat gerekiyorsa ilk olarak derinliği daha fazla olan kazığın çakılma işlemi gerçekleştirilmelidir.

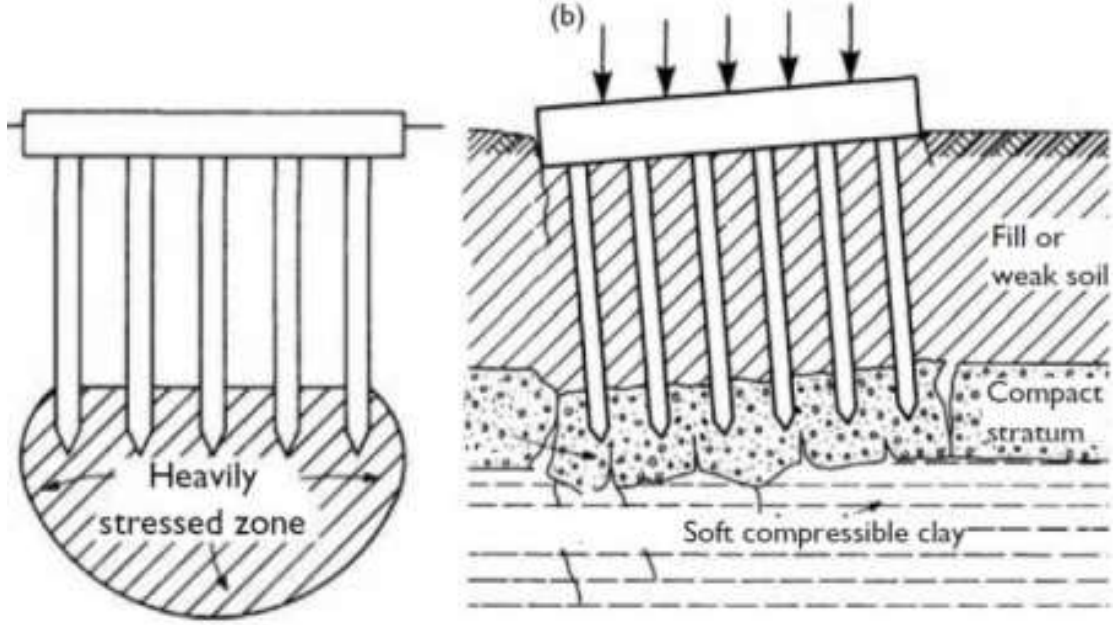
4.3.2. Kazık Gruplarında Verimlilik

Kazıklarda grupların verimliliğinde söz sahibi unsurlardan bazıları şöyledir; kazıkların uzunluğu, kazıkların aralarındaki mesafe, grup boyutu, grup geometrik şekli, imalatın uygulandığı zemin tipi-tipleri, imalatın şekli. Grup kazıklar imal edilirken her bir kazık ile diğer kazıkların arasında merkezden merkeze ideal mesafe olarak 3-3,5 kazık çapı kadar mesafe bırakılmalıdır. Bu mesafenin amacı, kazıklara üst yapıdan gelen yüklerin kazık alt uçlarında “basınç soğanları” oluşturmaları dolayısıyla oluşan bu basınç soğanlarının üst üste gelmesinin önlenmesidir. Şekil 17’de kazık gruplarında verimlilik ile ilgili görsel verilmiştir.



Şekil 17. Kazık Gruplarında Verimlilik [31]

Aksi halde kazıkların taşıma güçleri olumsuz etkileneceği gibi killi zeminlerde oluşabilecek gerilme artışları sonucu kazık grubunun yekpare olacak şekilde zemine batmasına da yol açabilecektir. Şekil 18’de kazık aralarındaki mesafenin istenmeyen sonuçlara yol açabileceği ile ilgili görsel bulunmaktadır.



Şekil 18. Kazık Gruplarında Verimlilik [32]

Fakat kazık aralarındaki mesafenin fazla olması grup etkisini negatif yönde etkileyeceği gibi, kazıkların başlığı görevini gören radye temelde istenmeyen eğilme momentleri artışları da gözlenecektir. Kazıkların yerleştirildiği radyenin ideal kalınlıkta olmasına dikkat edilmelidir. Kazık grup verimliliğini hesaplamak için bazı yöntemler geliştirilmiştir ki bunlardan bazıları şunlardır:

4.3.3. 1/8 Kuralı

Bu bağıntı, kazık grubunun toplam taşıma gücünün, kazıkların bireysel taşıma kapasitelerinin toplamına oranını belirlemeye yarar. Grup verimi, birden fazla kazığın bir araya geldiğinde zemine birlikte yük aktarırken birbirlerini nasıl etkilediklerini anlamak için kritik bir parametredir. 1/8 kuralı, kazık gruplarında yan yüzey sürtünmesinin ve uç taşıma gücünün bir kısmının kaybolacağını ve bu yüzden teorik maksimum taşıma kapasitesine ulaşamayacağını kabul eder. Genellikle grup içindeki dış kazıkların daha fazla yük taşıdığı, iç kazıkların ise daha az yük taşıdığı göz önünde bulundurulur. Kazık grubu veriminin hesaplanmasında aşağıdaki hususlar dikkate alınır: Grup içi kazıklar arasındaki mesafeler (sık veya seyrek dizilim). Kazıklar arasındaki yük transferi ve

etkileşimler. Zeminin türü ve taşıma kapasitesi. Kazıkların rijitlik ve yerleştirme düzeni. 1/8 kuralı, özellikle killi gibi kohezyonlu zeminlerde uygulanırken daha dikkatli olunmalıdır çünkü bu zeminlerde grup etkisi belirgin şekilde taşıma gücünde azalmaya sebep olabilir. Kumlu zeminlerde ise bu azalma daha sınırlı kalabilir. Sonuç olarak bu kural, tasarım mühendisine grup kazıklarının performansını tahmin etmede pratik ve hızlı bir yöntem sunar. Ancak, karmaşık zemin koşullarında veya kritik yapılar için detaylı analizler ve ileri hesap yöntemleri (örneğin sonlu elemanlar yöntemi) ile desteklenmesi tavsiye edilir. Hesaplarda yöntemi tatbik ederken dikdörtgen kazık grubundaki m, n adetlerinde kazıktan oluşan kazık grubunun verimi 64 no.lu bağıntı ile gösterilmiştir.

$$\eta_g = 1 - (12 + 10 \times (m-2) + 10 \times (n-2) + 8 \times (m-2) \times (n-2)) / (8 \times m \times n) \times (D / s) \quad (64)$$

Bağıntılarda geçen;

n: Gruptaki dikey sırada bulunan kazık sayısı

m: Gruptaki yatay sırada bulunan kazık sayısı

D: Kazık çapı (m)

s: Kazık aralığı (m)

η_g 'nin bağlı olduğu değişkenler;

Gruptaki kazıkların çapları, uzunlukları, aralıkları, kazık sayıları, zemin tipi, kazık başlık etkileşimi, kazık imalatından sonra geçen süre. (Konsolidasyon olmadığından bu maddeye istisna olan zeminler orta sıkı ve sıkı kumlardır hatta çakma kazıklarda $\eta_g \geq 1$ olabilmektedir.)

4.3.4. Converse-Labarre Kuralı

Converse-Labarre kuralı, grup kazıkların taşıma gücü hesaplamalarında kullanılan önemli bir yaklaşımdır. Grup etkisi, kazıkların birbirine yakın yerleştirilmesi durumunda bireysel taşıma güçlerinin toplamından daha düşük bir toplam taşıma gücüne yol açabilir. İşte bu noktada Converse-Labarre kuralı devreye girer ve grup kazıkların temel sistemine katkısını değerlendirmek için kullanılır.

Bu kural, grup kazıkların toplam taşıma kapasitesinin, kazıkların taban alanı ile çevresel yüzey alanı dikkate alınarak hesaplanması gerektiğini belirtir. Yani grup halinde çalışan kazıkların zemine uyguladığı yük, bireysel kazıkların yük taşımasından daha farklıdır ve bu durum özellikle kohezyonlu zeminlerde dikkatlice incelenmelidir.

Converse-Labarre kuralı, temel mühendislik tasarımında güvenlik ve ekonomik optimizasyon açısından önemli bir rol oynar. Doğru uygulanması, aşırı tasarımı önlerken

yeterli güvenlik katsayısını da sağlar. Bu kurala göre dikdörtgen kazık grubundaki m, n adetlerinde kazıktan oluşan kazık grubunun verim hesabı 65 no.lu bağıntıda gösterilmiştir.

$$\eta_g = 1 - \theta \times [((n - 1) \times m + (m - 1) \times n) / (90 \times m \times n)] \quad (65)$$

Bağıntılarda geçen;

n: Gruptaki dikey sırada bulunan kazık sayısı

θ : $\arctan (D/s)$

D: Kazık çapı (m)

s: Kazık aralığı (m)

4.3.5. Kil Zeminlerde Grup Kazık Verimliliği

Kil zeminlerde grup kazık verimliliği, birden fazla kazığın birlikte çalıştığında sağladığı toplam taşıma gücünün, bireysel kazıkların toplam taşıma gücüne oranı olarak tanımlanır. Grup halinde çalışan kazıklar, zemin üzerindeki etkileşimler nedeniyle genellikle tek tek kazıkların taşıma kapasitesinden daha düşük bir toplam kapasiteye ulaşır. Kil zeminlerde bu verimlilik, şu faktörlerden etkilenir: Kazıklar arası mesafe, kazık çapı ve uzunluğu, kazıkların dizilimi (dairese, kare, dikdörtgen), zemin-kazık etkileşim yüzeyi, grup içinde oluşan gerilme alanlarının örtüşmesi.

Verimlilik katsayısı genellikle 0.7–1.0 aralığında değişir. Eğer kazıklar birbirine çok yakın yerleştirilmişse, zemin üzerinde oluşturdıkları gerilme alanları çakışır ve bu durum taşıma kapasitesinde azalmaya yol açar. Uygulamada, uygun aralıkların ve düzenlemelerin seçilmesi, grup kazıkların verimli çalışması açısından kritik önem taşır.

Kil gibi kohezyonlu zeminlerde ekseriyetle grup halindeki kazık taşıma gücü potansiyel değeri, kazıkların tekil taşıma gücü değerlerinin toplam potansiyel değerinden fazla olmaktadır. Hesaplamalarda ise bu iki değerden küçük olanı kullanılır.

4.3.6 Kil Zeminlerde Kazık Grubunun Bireysel Davranışının Etkin Olması

Bu durumdan söz edilebilmesi için kazık ara mesafesinin, kazık çapının üç katından daha fazla olması gerekmektedir. Eğer grup etkisinden söz edilemeyecekse bu durumda bireysel etkiden söz etmek gerekecek olup verimlilik katsayısı dikkate alınıp tekil kazıkların tek taşıma gücü ile verimlilik katsayısı ve kazık sayısı çarpılmak suretiyle söz konusu N sayılı kazık grubunun taşıma gücü değeri bulunacaktır ki 66 no.lu bağıntıda ilgili formül gösterilmektedir. Tablo 4'te kazık çap ve kazık aralıklarına göre verimlilik değerleri verilmiştir.

$$Q_{\text{grup}} = N \times \eta_g \times Q_p \quad (66)$$

Bağıntılarda geçen;

Q_{grup} : Kazık grubunun taşıma gücü (kN)

Q_p : Tekil kazık taşıma gücü değeri (kN)

N : Kazık sayısı

η_g : Kazık grup verimliliği (Birimsiz)

Kazık grup verimliliği değerleri için bazı hazır değerler mevcuttur.

Tablo 4. Kazık Çap ve Kazık Aralıklarına Göre Verimlilik Değerleri

Kazık Yerleşimi (s)	3D	4D	5D	6D	8D
η_g	0,7	0,75	0,85	0,9	1

4.3.7. Kil Zeminlerde Kazık Grubunun Blok Davranışının Etkin Olması

Kil zeminlerde, kazık gruplarının birlikte blok halinde göçmesi durumu, bireysel kazıkların taşıma gücünden farklı bir mekanizma ile açıklanır. Terzaghi ve Peck (1967), grup kazıklarının blok davranışı gösterdiğinde, sanki tek bir büyük kazık gibi hareket ettiklerini ve kazık başının rijit olduğu varsayımıyla bu durumu analiz etmişlerdir.

Bu durumda, kazık grubu etrafındaki zemin kütlesi, grup kazıklarının çevresini saran bir blok gibi davranır. Böylece taşıma gücü, sadece bireysel kazıkların çevresel sürtünmesi ve uç taşıma kapasitesine değil, aynı zamanda grup blokunun etrafındaki zemin mukavemetine de bağlı hale gelir. Blok davranışının etkin olduğu durumlarda: Grup kazıklarının aralarındaki mesafe çok küçükse, zemin kohezyonel ve düşük geçirgenlikte ise, kazık başlıkları rijit ve yükleri eşit dağıtıyor, blok halinde göç meydana gelir. Tasarımda, bu etkiyi göz önüne almak, taşıma gücü hesaplamalarının doğru yapılması açısından çok önemlidir. Yanlış varsayımlar, kazık grubunun beklenenden düşük taşıma gücüne sahip olmasına ve yapısal sorunlara yol açabilir. Terzaghi ve Peck (1967) grupların blok halinde göçtüğünü ve kazık başının rijit olduğu kabulü ile 66 no.lu bağıntıdaki formülü getirmişlerdir.

$$Q_{\text{blok}} = p \times L \times \bar{c}_u + c_u \times N_c \times A_g \quad (66)$$

Bağıntılarda geçen;

Q_{blok} : Kazık bloğu taşıma gücü (kN)

$\bar{c}_u$: Kazık bloğunu çevreleyen zeminin ortalama drenajsız kayma dayanımı (kN/m²)

L: Gruptaki kazıkların uzunluğu (m)

p: Kazık grubunun çevresi (m)

A_g: Kazık grubunun alanı (m²)

c_u: Kazık ucundaki zeminin drenajsız kayma dayanımı (kN/m²)

N_c: Skempton taşıma gücü faktörü

Terzaghi ve Peck (1967)'in geliştirdiği yöntem kullanılarak bulunan değer, ayrı ayrı her bir kazığın taşıma gücü toplanarak bulunan değer ile kıyaslanır ve görece düşüğü dikkate alınır.

4.3.8. Kum Zeminlerde Grup Kazık Taşıma Gücü

Kum gibi kohezyonsuz zeminlerde basınç soğanları küçük olduğundan bir kazığın diğer komşu kazığa olan etkisi oldukça düşüktür. Bu koşullarda kazık sayısı ve her bir kazığın bireysel olarak sahip olduğu taşıma gücü çarpımı ile kazık grubunun toplam taşıma gücü arasındaki oranı belirten grup kazık verimliliği (η_g) değeri, 1 değerine oldukça yakın değerler almak ile ekseriyetle 1 kabul edilir. Verimlilik değerinin 1 kabul edildiği durumda ise grup kazık taşıma gücü değeri 67 no.lu bağıntıda gösterildiği gibi denklem halinde sunulmuştur.

$$Q_{\text{grup}} = N \times Q_p \quad (67)$$

Bağıntılarda geçen;

Q_{grup} : Kazık grubunun taşıma gücü (kN)

Q_p : Tekil kazık taşıma gücü değeri (kN) ($Q_{u\phi} + Q_{\text{çevre}}$)

N: Kazık sayısı

4.4. Kazık Gruplarının Davranışları

Kazık grupları, birden fazla kazığın belirli bir düzen içinde bir araya getirilmesiyle oluşturulan temel sistemleridir. Bu sistemlerde, kazıklar yalnız başlarına gösterdikleri taşıma gücünden farklı bir performans sergileyebilirler. Grup içindeki kazıklar, birbirleriyle etkileşime girerek çevre zemin üzerinde gerilme alanlarının üst üste binmesine neden olurlar ve iki farklı senaryo meydana gelir bu senaryolar şunlardır: Kazıkların bireysel davrandığı kazık grupları senaryosu, kazıkların bir bütün olarak davrandığı grup etkisinin etkili olduğu kazık grupları senaryosu.

4.4.1. Kil Zeminlerde Kazık Grubunun Bireysel Davranışının Etkili Olması

Kil zeminlerde kazık gruplarının bireysel davrandığı durumlarda, her bir kazık, zeminle doğrudan temas eden bağımsız bir taşıyıcı eleman gibi hareket eder. Bu tür bir durumda, grup etkisi veya blok davranışı gözlemlenmez; her kazığın taşıma kapasitesi, kendi çevresel sürtünmesi ve uç taşıma kapasitesine bağlı olarak hesaplanır. Bu senaryoda dikkate alınması gereken başlıca faktörler şunlardır: Kazık yüklerinin eşit dağılması, zemin deformasyonlarının bireysel kazıkların performansını etkilememesi, grup içinde zemin sıkışmasının veya gerilme alanlarının örtüşmemesi. Bu bölümde, kazık grubu hesaplamaları yapılırken kullanılan veri girdileri ve bu verilere dayanarak bireysel kazıkların ve grup kazıkların taşıma gücü çıktıları sunulur. Tablo 5'te kil zeminlerde kazık grubunun bireysel davranışı ile ilgili değerler verilmiştir.

Tablo 5. Kil Zeminlerde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı

a	b	C	d	e							f		
Metot	Zemin Türü	Hesap Yöntemi	Verimlilik Hesap Yöntemi	D	S	Cu	c	L	Nc	Proje Tip	ng	Qp	Qgrup
				m	m		kN/m	m				(kN)	(kN)
	C	7	8	0.5	4	24	30	4	9	T3	0.91	203.7	4634.3
	C	7	9	0.5	4	24	30	4	9	T3	0.87	203.7	4447.3
T	C	(T-4)-6	8	0.5	4	24	30	4	9	T3	0.91	193.1	4393.3
T	C	(T-4)-6	9	0.5	4	24	30	4	9	T3	0.87	193.1	4215.9
M	1	(M-4)-6	8	0.5	4	24	30	4	9	T3	0.91	193.1	4393.3
M	1	(M-4)-6	9	0.5	4	24	30	4	9	T3	0.87	193.1	4215.9
M	2	(M-4)-6	8	0.5	4	24	30	4	9	T3	0.91	243.5	5541.2
M	2	(M-4)-6	9	0.5	4	24	30	4	9	T3	0.87	243.5	5317.5
	C	A.Y.T	8	1.0	4	24	30	4	9	T4	0.82	513.3	10524.0
	C	A.Y.T	9	1.0	4	24	30	4	9	T4	0.75	513.3	9630.4
T	C	(T-4)-6	8	1.0	4	24	30	4	9	T4	0.82	471.0	9655.5
T	C	(T-4)-6	9	1.0	4	24	30	4	9	T4	0.75	471.0	8835.5
M	1	(M-4)-6	8	1.0	4	24	30	4	9	T4	0.82	471.0	9655.5
M	1	(M-4)-6	9	1.0	4	24	30	4	9	T4	0.70	471.0	8835.5
M	2	(M-4)-6	8	1.0	4	24	30	4	9	T4	0.82	672.8	13793.0
M	2	(M-4)-6	9	1.0	4	24	30	4	9	T4	0.75	672.8	12620.0

4.4.2. Kil Zeminlerde Kazık Grubunun Blok Davranışının Etkin Olması

Aşağıdaki tabloda tatbik edilen metotlar, kazık çapları, kazık grubunun çevre uzunlukları, kazık ucundaki zeminin drenajsız kayma dayanımı, kazık grup alanı, kazık uzunluğu, kazık bloğu çevresi, ortalama drenajsız kayma dayanımı, N_c katsayısı ve kazık grubunun taşıma gücü değerleri verilmiştir. Kil zeminlerde kazık grubunun blok davranışının etkin olması halinde mevcut değerler Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Kil Zeminlerde Kazık Grubunun Blok Davranışının Etkin Olması

A	b	e								f
Methot	Zemin Türü	D (m)	c_u (kN/m ²)	L (m)	N_c	Proje Tip	p (m)	Ag- (m ²)	c_{uort} (kN/m ²)	Qblok (kN)
T.P.	C	1.0	24	4	9	T1	44	121.0	24	30000
T.P.	C	0.5	24	4	9	T2	34	72.25	24	18870

4.4.3. Kum Zeminlerde Kazık Grubunun Taşıma Gücü

Kum zeminlerdeki kazık grubunun incelendiği bu kısımda veri girdilerine ve bu verilere göre oluşan kazık gruplarının taşıma güçleri çıktılarına yer verilmiştir. Tablo 7’de ilgili zemindeki imalat için tatbik edilen metot, zemin türü, hesap yöntemi, kazık çapları, zemin efektif birim hacim ağırlığı, kazık uzunluğu, zemin içsel sürtünme açısı, N_q katsayısı, tek kazık taşıma gücü, grup kazık taşıma gücü değerleri verilmiştir. Kum zeminlerde kazık grubunun taşıma gücü değerleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Kum Zeminlerde Kazık Grubunun Taşıma Gücü

Metot	Zemin Türü	Hesap Yöntemi	D (m)	L (m)	N_q	Proje Tip	ϕ	γ (kN/m ³)	Qp (kN)	Qgrup (kN)
M	S.	(M+4)-5	1.0	4	2.8211	T1	11.41	8	720.13	18000
T	S.	(T+4)-5	1.0	4	2.8211	T1	11.41	8	1250.2	31300
M	S.	(M+4)-5	0.5	4	2.8211	T2	11.41	8	310.61	7900
T	S.	(T+4)-5	0.5	4	2.8211	T2	11.41	8	440.88	11200

5. BÖLÜM:

KAZIK GRUPLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Teknik Karşılaştırma ve Literatüre Katkı Analizi

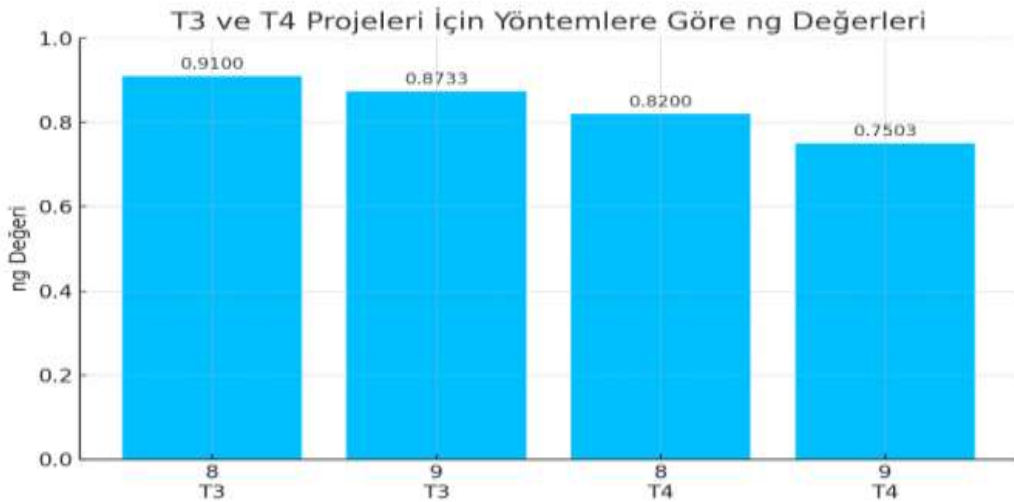
Bu bölümde grup kazıkların taşıma gücünü etkileyen başlıca parametreler (kazık çapı, aralığı, zemin tipi) teknik analizler ve karşılaştırmalı grafiklerle sunulmuştur. Özellikle Tip 3 ve Tip 4 olarak tanımlanan iki farklı kazık grubu düzeninin değişik zemin koşullarındaki performansı grafiksel olarak karşılaştırılmış, tekil kazık ile blok halinde gruplanmış kazıkların davranışları detaylıca analiz edilmiştir. Yapılan incelemelerde 1/8 kuralı ve Converse-Labarre gibi ampirik yöntemlerin öngörülerini sayısal model sonuçları ile karşılaştırılmış ve bu yaklaşımların geçerliliği değerlendirilmiştir. Bu analizler, tekil kazık performansı ile blok davranışı arasındaki farkları netleştirmiştir. Elde edilen bulgular, Tip 3 ve Tip 4 kazık gruplarının farklı düzenlerdeki taşıma gücü karakteristiklerini ortaya koyarak literatüre özgün katkı sunmakta; nadir incelenen bu konfigürasyonlara ilişkin deneysel yaklaşımlar ve sayısal veriler sağlayarak ampirik tasarım yöntemlerine önemli bir referans oluşturmaktadır.

5.1.1. Verimlilik Yöntemleri Analizi

Kil zemin koşullarında kazık gruplarının bireysel davranış sergilediği durumları değerlendirmek için Şekil 5.19'daki grafik hazırlanmış ve şu yorumları yapmaya imkân tanınmıştır: T3 (0,5 m çap, 4 m aralık) ve T4 (1,0 m çap, 4 m aralık) projelerine ait verimlilik değerleri (η), hem 1/8 kuralı hem de Converse–Labarre yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, T3 projesinde 1/8 kuralı ile hesaplanan η değeri 0,91 iken, Converse–Labarre yöntemiyle bu değer 0,8733 olarak bulunmuştur.

T4 projesinde ise aynı yöntemlere göre sırasıyla 0,82 ve 0,7503 değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar, kazık çapı arttıkça grup verimliliğinin düştüğünü açık biçimde göstermektedir. Her iki projede de kazıklar arası mesafenin 4 metre ile sabit tutulmasına rağmen, kazık çapının artması ile d/s oranı yükselmiş ve grup içi etkileşim belirgin biçimde artmıştır. Bu etkileşim, komşu kazıklar arasındaki gerilme bölgelerinin örtüşmesine neden olmuş ve taşıma gücü verimliliğini azaltmıştır. Örneğin T3 projesinde d/s oranı 0,125 iken, T4'te bu oran 0,25 seviyesine çıkmaktadır. Bu artış, verimlilikte yaklaşık %8–9'luk bir azalma ile sonuçlanmıştır. Söz konusu eğilim, kazık çapı ile

verimlilik arasındaki ters orantıyı net biçimde ortaya koymakta ve grup içi etkileşimin kazık tasarımı üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. Yöntem karşılaştırması yapıldığında, her iki proje tipi için 1/8 kuralının hesapladığı n_g değerlerinin Converse–Labarre yöntemine kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, 1/8 kuralının daha sade ve iyimser bir tahmin sunduğunu; buna karşılık Converse–Labarre formülünün çap–aralık oranını daha hassas bir şekilde değerlendirerek daha temkinli (daha düşük) sonuçlar verdiğini göstermektedir. Özellikle T4 gibi büyük çaplı kazıklarda bu fark daha da belirgin hale gelmektedir. Deneysel ve mühendislik açıdan değerlendirildiğinde, bu bulgular literatürdeki eğilimleri desteklemektedir. Daha küçük çaplı ve geniş aralıklı kazıklardan oluşan gruplarda, bireysel kazık davranışı baskın hale gelmekte ve verimlilik yüksek çıkmaktadır. Buna karşılık daha büyük çaplı kazıklarda grup etkisi artmakta, bu da sistemin verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu kapsamda, kazık çapı ile verimlilik arasında ters bir ilişki olduğu doğrulanmıştır. Tasarımcılara katkı açısından bakıldığında, bu çalışma sabit kazık aralığında yalnızca çap değiştirildiğinde n_g değerlerinde meydana gelen değişimi sayısal olarak ortaya koymuştur. Böylece, çapın grup içi etkileşim üzerindeki etkisi doğrudan gösterilmiş ve hesap yöntemleri arasındaki farklar net biçimde karşılaştırılmıştır. Bu yönüyle çalışma, hem hesap yöntemlerinin sonuçlar üzerindeki etkisini irdeleyen karşılaştırmalı bir veri sunmuş, hem de tasarım sürecinde çap–aralık optimizasyonunun önemini vurgulamıştır. Sonuçlar hem teorik bilgiye katkı sağlamakta hem de uygulama düzeyinde güvenli ve etkin tasarımlara ışık tutmaktadır. Şekil 19’da kil zeminde kazık grubunun bireysel davranışının etkili olması durumunda verimlilik değerleri grafik halinde verilmiştir.



Şekil 19. Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışının Etkili Olması Durumunda Verimlilik Değerleri

5.1.2. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C2 ve C3)

Zemin Türleri:

C2: Doygun Drenajlı Kil Zeminleri (1)

C3: Drenajsız Kil Zeminleri (2)

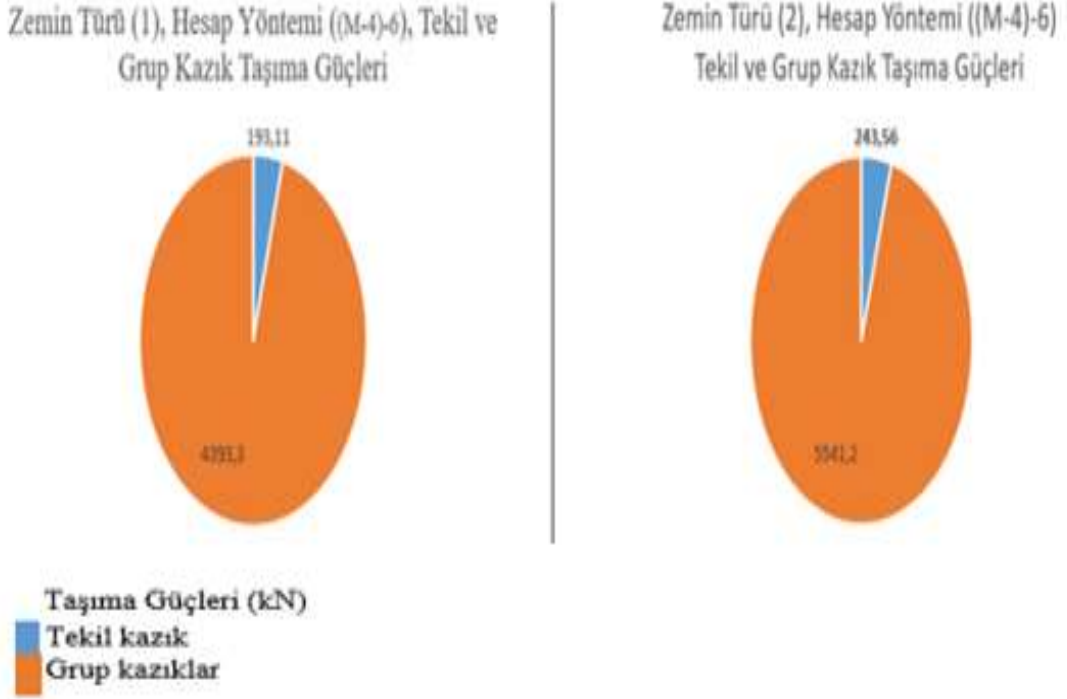
Proje Tipi: Tip 3 (0,5 m çapında kazıklar, 4 m aralıklarla, 25 kazıklı grup)

Kombinasyonlar

((M-4)-6): Meyerhof ile Uç Kazık Taşıma Gücü + Alfa Yöntemi Çevre Sürtünmesi

Teknik Yorum: Doygun drenajlı kil zeminlerinde (C2) tekil kazık taşıma gücü 193,11 birim, grup kazık taşıma gücü 4393,3 birimdir. Drenajsız kil zeminlerinde (C3) ise tekil kazık taşıma gücü 243,56 birim, grup kazık taşıma gücü 5541,2 birimdir. Drenajsız ortam, drenajlı ortama kıyasla hem tekil hem de grup taşıma güçlerinde yaklaşık %25 artış sağlamaktadır. Bu artış, drenajsız kilin kohezyon katkısı, artan çevre sürtünmesi ve uç direnci sayesinde açıklanabilir. Tasarımcı için bu sonuçlar, farklı drenaj koşullarının saha uygulamalarında doğrudan taşıma kapasitelerine nasıl yansıdığını gösterir ve yalnızca hesap seviyesinde değil, zemin türü seçiminde de kritik bir karar noktası sunar. Ekonomi ve güvenlik açısından incelendiğinde drenajsız kil zeminlerinde kazıklar daha az sayıda ve daha yüksek kapasitede çalışabildiğinden, malzeme ve işçilik maliyetlerinde tasarruf sağlanabilir. Ancak, bu tür zeminlerde zamanla drenaj koşullarının değişmesi ve zeminin davranışındaki belirsizlikler güvenlik katsayılarının dikkatle seçilmesini gerektirir. Tasarımcılara öneri olarak, drenajsız ortamlarda %25 taşıma gücü artışından yararlanmak isteniyorsa, sahada düzenli drenaj kontrolü yapılmalı, kohezyon kaybını izleyen uzun vadeli performans testleri uygulanmalı ve kapasiteye dayalı tasarımda güvenlik katsayıları en az %10 artırılmalıdır. Ayrıca, Tip 3 projelerde geniş aralıkların getirdiği grup verimliliği kayıpları göz önünde bulundurulmalı ve yerleşim planı, yük paylaşımı ve zemin deformasyon analizleri dikkatlice yapılmalıdır. Böylece, kapasite avantajı sağlanırken, olası riskler de minimize edilebilir. Bu analiz, farklı zemin türlerinde (drenajlı ve drenajsız koşullar) Meyerhof ve Alfa yöntemi kombinasyonlarıyla elde edilen taşıma gücünü ayrıntılı ve deneysel yaklaşım ile inceleyen bir çalışma niteliğindedir. Literatüre, hangi zemin koşullarında hangi yöntem kombinasyonlarının daha ekonomik ve güvenli çözümler sunduğuna dair teknik bir yol haritası sağlar. Ayrıca bu çalışma, drenaj koşullarının kazık grubu etkileşimine ve toplam taşıma kapasitesine etkisini kantitatif olarak ortaya koyarak, tasarım mühendislerine karar

süreçlerine ışık tutacak pratik bir karşılaştırma aracı sunmaktadır. Tasarımcılar, bu bulguları proje seçimlerinde kullanarak, yalnızca en yüksek kapasiteyi değil, sahaya uygun ve sürdürülebilir çözümleri tercih edebilir. Şekil 20’de Tip 3 ve Tip 4 projeleri için kil zeminde kazık grubunun bireysel davranışı durumunda tekil kazıklar ve kazık grupları için taşıma gücü değerleri (kN) verilmiştir.



Şekil 20. Tip 3 - Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı

5.1.3. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C4 ve C5)

Zemin Türleri:

C4: Doygun Drenajlı Kil Zeminleri (1)

C5: Drenajsız Kil Zeminleri (2)

Proje Tipi: Tip 3 (0,5 m çapında kazıklar, 4 m aralıklarla, 25 kazıklı grup)

Kombinasyonlar

((M-4)-6): Meyerhof ile Klasik Uç Kazık Taşıma Gücü + Alfa Yöntemi Çevre Sürtünmesi

Teknik Yorum: C4 grafiğinde (doygun drenajlı kil zeminleri) tekil kazık taşıma gücü 193,11 birim, grup kazık taşıma gücü 4215,9 birimdir. C5 grafiğinde (drenajsız kil zeminleri) ise tekil kazık taşıma gücü 243,56 birim, grup kazık taşıma gücü 5317,5 birimdir. Bu yaklaşık %25-30'luk artış, drenajsız zeminin yüksek kohezyon ve çevre sürtünmesi kapasitesinden kaynaklanmaktadır. Bu sonuç, tasarımcıların sadece

hesaplamalara değil, sahadaki gerçek davranışlara da dikkat etmesi gerektiğini ortaya koymaktadır; çünkü drenajlı ve drenajsız koşullar arasındaki farklar, özellikle geniş aralıklı kazık gruplarında grup etkilerini değiştirebilir. Ekonomi/Güvenlik Yorumu: Drenajsız kil zeminlerin sunduğu kapasite artışı, doğrudan maliyet avantajı yaratabilir; ancak tasarımcılar bu avantajı güvenli biçimde kullanabilmek için farklı yöntemler düşünülmelidir. Özgün öneri olarak; geniş aralıklı (Tip 3) projelerde yük aktarımını iyileştirmek için kazık başlıklarının rijitlik tasarımı artırılabilir ve gerekirse ara kazıklar eklenerek grup verimliliği dengelenebilir. Ayrıca, drenajsız kilde kullanılan adhezyon faktörü (α) değeri sahada yapılan deneylerle hassas şekilde belirlenmelidir. Bu deneyler arasında kazık yükleme testleri, kazık gövdesinden alınan numunelerle yapılan laboratuvar sürtünme deneyleri, yerinde yapılan CPTU (konik penetrasyon testi) ve direk yerinde sürtünme testleri yer alır. Bu yöntemler, α değerinin zemin türüne, doygunluk derecesine ve gerilme koşullarına göre sahaya özgü ayarlanmasını sağlar. Böylece hem güvenlik hem maliyet yönünden optimize edilmiş bir çözüm elde edilir. Bu analiz, Meyerhof ve Alfa yöntemlerinin farklı drenaj koşullarındaki performansını deneysel bulgularla destekleyerek literatüre özgün katkı sağlar. Çalışma, geniş aralıklı kazık gruplarında drenaj koşullarının etkisini ve hesap yöntemi seçimlerinin mühendislik tasarımına yansımalarını ortaya koyarak, literatürde eksik kalan pratik örnekleri tamamlar. Tasarımcılar bu çalışma sayesinde uygulanabilir ve proje bazında optimize edilmiş çözümlere ulaşabilir. Şekil 21’de Tip 3 projesi için kil zeminde kazık grubunun bireysel davranışı durumunda tekil kazıklar ve kazık grupları için taşıma gücü değerleri (kN) verilmiştir.



Şekil 21. Tip 3 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı

5.1.4. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C6 ve C7)

Zemin Türleri:

C6: Doygun Drenajlı Kil Zeminleri (1)

C7: Drenajsız Kil Zeminleri (2)

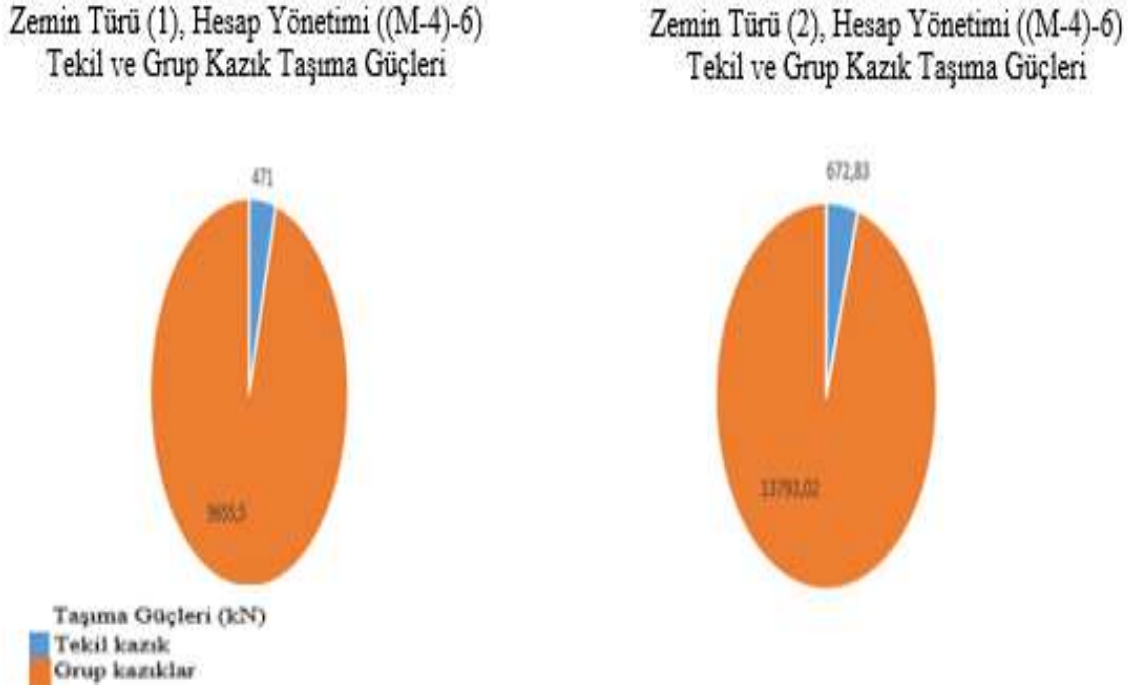
Proje Tipi: Tip 4 (1 m çapında kazıklar, 4 m aralıklarla, 25 kazıklı grup)

Kombinasyonlar

((M-4)-6): Meyerhof ile Uç Kazık Taşıma Gücü + Alfa Yöntemi Çevre Sürtünmesi

Teknik İnceleme: C6 grafiğinde doymuş drenajlı kil zemin için tekil kazık taşıma gücü 471 birim, grup kazık taşıma gücü 9655,5 birim olarak hesaplanmıştır. C7 grafiğinde drenajsız kil zeminde tekil taşıma gücü 672,83 birim, grup taşıma gücü ise 13793,02 birimdir. Sonuçlar, drenajsız zeminlerde hem tekil hem de grup taşıma kapasitelerinde yaklaşık %43 civarında bir artış olduğunu göstermektedir. Bu artış, drenajsız zeminin sunduğu kohezyon katkılarının Meyerhof ve çevre sürtünmesi hesaplarında belirgin şekilde etkili olduğunu ortaya koyar. Tasarımcılar için bu, geniş çaplı kazıkların grup etkisi ve zeminle etkileşim bakımından ayrı bir hassasiyet gerektirdiğini vurgular. Ekonomi ve güvenlik açısından değerlendirme: Drenajsız kil zeminleri, yüksek taşıma kapasiteleri sayesinde daha az kazıkla yeterli güvenlik sağlayabilir, bu da proje maliyetlerinin azaltılması açısından avantaj yaratır. Ancak bu avantaj, uzun vadeli zemin dayanıklılığı ve özellik değişimlerinin yakından izlenmesini gerektirir. Tasarımcı önerisi: Tip 4 projelerde büyük çaplı kazıkların grup içindeki yük dağılımını optimize etmek için kazık başlıkları, rijit bağ kirişleri veya yerel güçlendirme detayları kullanılabilir. Ayrıca, drenajsız kilde adhezyon faktörü (α) belirlenirken saha ve laboratuvar verileri birleştirilmelidir. Bu amaçla kazık yükleme testleri, kazık çevresinden alınan numune sürtünme deneyleri, CPTU (konik penetrasyon testi) ve doğrudan yerinde yapılan sürtünme testleri kullanılabilir. Bu testler, α değerinin zemin tipi, nem ve gerilme durumu dikkate alınarak en doğru şekilde belirlenmesini sağlar. Bu çalışma, farklı zemin türlerinin ve hesap kombinasyonlarının mühendislik tasarımlarına olan etkilerini kantitatif (sayısal ve ölçülebilir) olarak ortaya koyarak literatüre değerli bir katkı sağlamaktadır. Tip 4 projede büyük çaplı kazıklar ve geniş aralıklı düzenlerde drenaj etkisinin hesap yöntemine bağlı sonuçlarını belgeleyerek, tasarım mühendislerinin hem taşıma gücü hem de ekonomik ve güvenlik faktörleri açısından daha bilinçli kararlar almasına yardımcı olacak yeni bir referans sunmaktadır. Böylece çalışma, uygulamada

kullanılabilir somut öneriler ve saha bazlı çıkarımlarla literatürdeki boşluğu doldurmaktadır. Şekil 22’de Tip 4 projesi için kil zeminde kazık grubunun bireysel davranışı durumunda tekil kazıklar ve kazık grupları için taşıma gücü değerleri (kN) verilmiştir.



Şekil 22. Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı

5.1.5. Grafik Çiftleri Analizi (C8 ve C9)

Zemin Türleri:

C8: Doygun Drenajlı Kil Zemin (1)

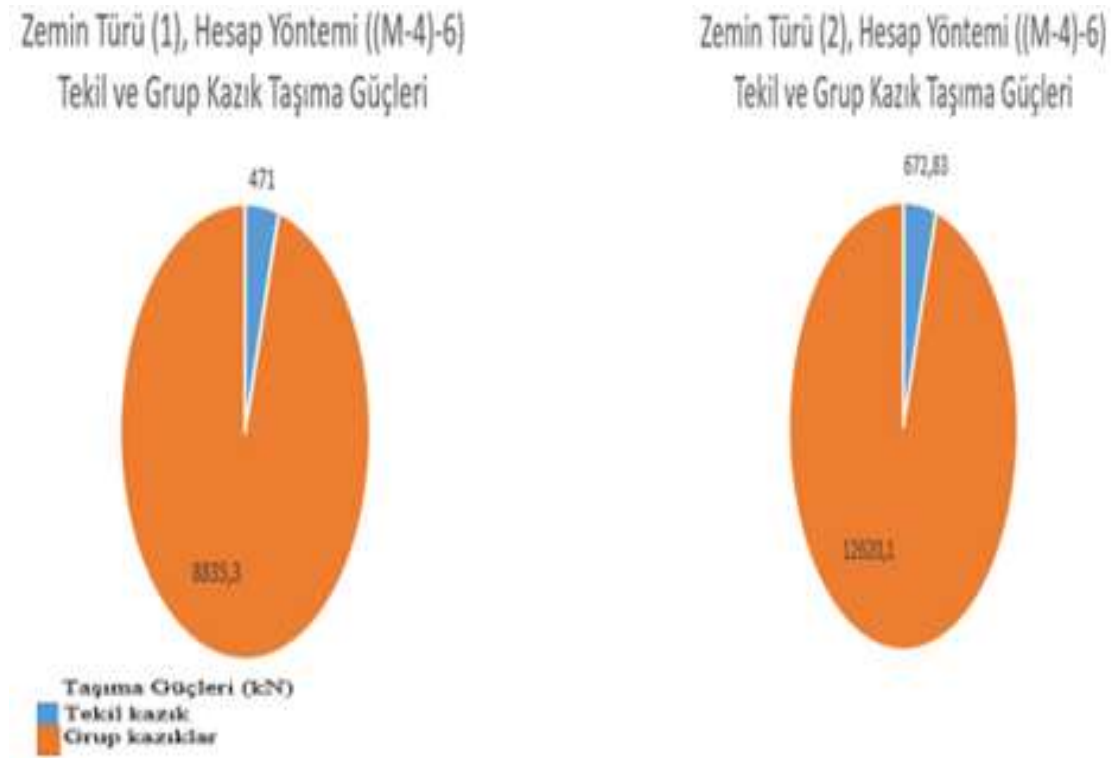
C9: Drenajsız Kil Zemin (2)

Kombinasyonlar

((M-4)-6): (Meyerhof ile Kazık Uç Taşıma Gücü + Alfa Yöntemi (Çevre Sürtünmesi))

Teknik İnceleme: C8 grafiğinde, doymuş drenajlı kil zeminler için tekil kazık taşıma gücü 471 birim, grup kazık taşıma gücü ise 8835,3 birimdir. Buna karşılık C9 grafiğinde, drenajsız kil zeminde tekil taşıma gücü 672,83 birime, grup taşıma gücü ise 11791,02 birime ulaşmıştır. Buradan, drenajsız koşullarda hem tekil hem de grup taşıma gücünde yaklaşık %43-45 arası bir artış olduğu görülmektedir. Bu durum, drenajsız zeminlerin sahip olduğu kohezyonun katkılarının, özellikle Meyerhof yaklaşımında ve çevre sürtünmesi hesaplarında ciddi bir etkisi olduğunu açıkça göstermektedir. Ekonomi ve güvenlik açısından değerlendirme: Drenajsız kil zeminlerde sağlanan yüksek taşıma

gücü, daha az kazık kullanımıyla aynı güvenlik düzeyine ulaşılmasına imkân tanır ve bu da ekonomik olarak önemli bir avantajdır. Ancak, drenajsız zeminlerde zaman içinde su içeriği değişimleri veya yapı yükleri altında davranış değişiklikleri gibi riskler bulunduğundan, mühendislik tasarımlarında güvenlik katsayılarının yükseltilmesi tavsiye edilir. Doygun drenajlı zeminler ise taşıma kapasitesi açısından dezavantajlıdır; buna rağmen davranışlarının öngörülebilirliği sayesinde tasarım güvenilirliği sağlar. Literatüre olası katkılar ise şöyledir: Bu çalışma, farklı zemin tiplerinin ve hesap yöntemlerinin kazık taşıma kapasitesi üzerindeki etkilerini sistematik bir şekilde değerlendirerek literatüre yeni ve özgün bir bakış açısı kazandırmaktadır. Doygun ve drenajsız kil zeminlerde Meyerhof ve Alfa yöntemi ile çevre sürtünmesi katkılarının nasıl değiştiğini net bir biçimde ortaya koyan bu analiz, tasarımcıların hem ekonomik hem de güvenlik açısından daha dengeli ve rasyonel çözümler üretmesine katkı sağlayacaktır. Şekil 23’de Tip 4 projesi için kil zeminde kazık grubunun bireysel davranışı durumunda tekil kazıklar ve kazık grupları için taşıma gücü değerleri verilmiştir.



Şekil 23. Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı

5.1.6. Grafikler (C2-C6 ve C3-C7) Proje Tip 3 ve Proje Tip 4 Kazık Grupları Karşılaştırması

Zemin Türleri:

C2 ve C6: Doygun Drenajlı Kil Zemin (1)

C3 ve C7: Drenajsız Kil Zemin (2)

Kombinasyonlar

((M-4)-6): Meyerhof + Klasik Uç Kazık Taşıma Gücü + Alfa Yöntemi (Çevre Sürtünmesi)

Proje Tipleri:

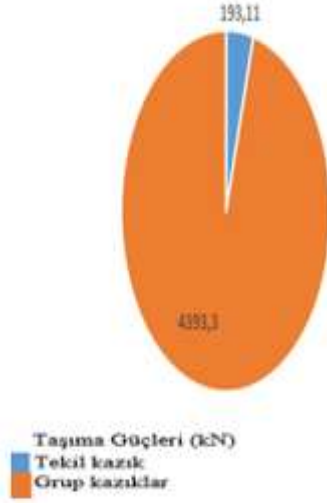
C2 ve C3: Tip 3 (0,5 m çap, 4 m aralıklı, 25 kazık)

C6 ve C7: Tip 4 (1 m çap, 4 m aralıklı, 25 kazık)

Teknik İnceleme: Tip 3 ve Tip 4 kazık gruplarının karşılaştırılması, çapın iki katına çıkarılmasının taşıma kapasitesine etkisini net bir şekilde ortaya koymaktadır. C2 ve C3'te 0,5 m çaplı kazıklar kullanıldığında grup taşıma gücü yaklaşık 4393-5541 birim aralığında kalırken, C6 ve C7'de bu değer 9655-13793 birim seviyesine çıkmaktadır. Yani kazık çapındaki artış taşıma gücünü yaklaşık %100 ila %150 arasında artırmaktadır. Benzer şekilde tekil kazık taşıma gücü de 193-243 birimden, 471-672 birim aralığına yükselmiştir. Bu artış sadece zemin koşullarından değil, büyük oranda proje tipine yani geometrik kapasite artışına bağlıdır. Ekonomi ve güvenlik açısından değerlendirme: Tip 4 kazık gruplarında daha yüksek taşıma kapasiteleri elde edilmesi, proje başına daha az kazık kullanma veya daha fazla yük taşıma fırsatı sunar; bu durum mühendislikte hem ekonomik hem de güvenlik optimizasyonu sağlar. Ancak çap büyüdükçe maliyetler ve yerleştirme hassasiyeti artar; bu nedenle tasarım aşamasında ekonomik analizle birlikte şantiye uygulanabilirliği de mutlaka değerlendirilmelidir. Bu çalışma, farklı çap ve grup düzenlerinin taşıma gücü üzerindeki etkilerini sistematik olarak kıyaslayarak literatüre özgün bir katkı sağlar. Özellikle sadece hesap yöntemi veya zemin türüne değil, kazık geometrisine bağlı kapasite artışlarının ekonomik ve güvenlik sonuçlarına vurgu yapılması, uygulamalı geoteknik tasarım çalışmalarına yeni bir bakış açısı getirmektedir.

Şekil 24'de ve Şekil 25'de Tip 3 ve Tip 4 projeleri için kil zeminde kazık grubunun bireysel davranışı durumunda tekil kazıklar ve kazık grupları için taşıma gücü değerleri kN cinsinden verilmiştir.

Zemin Türü (1), Hesap Yönetimi ((M-4)-6)
Tekil ve Grup Kazık Taşıma Güçleri Tip 3

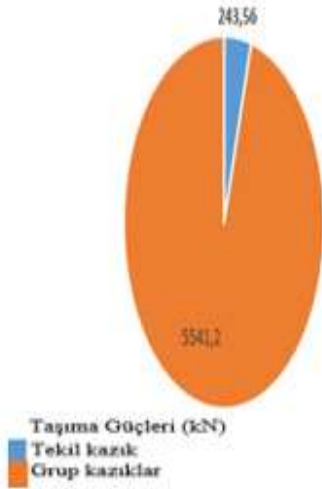


Zemin Türü (1), Hesap Yönetimi ((M-4)-6)
Tekil ve Grup Kazık Taşıma Güçleri Tip 4



Şekil 24. Tip 3 - Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı

Zemin Türü (2), Hesap Yönetimi ((M-4)-6)
Tekil ve Grup Kazık Taşıma Güçleri Tip 3



Zemin Türü (2), Hesap Yönetimi ((M-4)-6)
Tekil ve Grup Kazık Taşıma Güçleri Tip 4



Şekil 25. Tip 3 - Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı

5.1.7. Tip 3 ve Tip 4 Kazık Grubu Karşılaştırması (C10-C11)

Grafikler ve Zemin Türü: C10 ve C11: Kil Zemin (C)

Kombinasyonlar

C10 → Yöntem (7): Alfa Yöntemi ile Kazıklarda Toplam Taşıma Gücü Hesabı

C11 → Yöntem ((T-4)-6): Terzaghi ile Uç Kazık Taşıma Gücü + Alfa Yöntemi
(Çevre Sürtünmesi)

Proje Tipleri:

C10: Tip 3 (0,5 m çap, 4 m aralıklı, 25 kazıktan oluşan grup)

C11: Tip 3 (0,5 m çap, 4 m aralıklı, 25 kazıktan oluşan grup)

Teknik İnceleme: Bu iki grafik karşılaştırıldığında, Tip 3 (C10) için grup taşıma gücü yaklaşık 4634 birim, tekil kazık taşıma gücü 203,7 birimdir. Tip 3 (C11) için ise grup taşıma gücü 4393,3 birim, tekil kazık taşıma gücü 193,11 birimdir. İki grafik de aynı proje tipinde, ancak farklı hesap yöntemleriyle analiz edilmiştir. Hesap yöntemi değişimi, taşıma gücünde beklenenden az fark yaratmış, bu da kullanılan metodolojinin nihai taşıma kapasitesi üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Ancak evre sürtünmesi ve uç direnci ayrı ayrı analiz edildiğinde, sistem davranışının metodik detaylara ne kadar hassas olduğu ortaya çıkmaktadır. Ekonomi ve güvenlik açısından değerlendirme: Aynı proje tipinde hesap yöntemi değiştirildiğinde ortaya çıkan küçük farklar, mühendislikte gereksiz maliyet artışına neden olmadan güvenli bir tasarım yapılabilceğini gösterir. Terzaghi ve Alfa yöntemlerinin kombinasyonu, evre sürtünmesini hesaba kattığı için biraz daha güvenli sonuçlar verebilir. Bu, güvenlik marjı açısından avantaj sağlamaktadır. Bu analiz, kazık taşıma gücü hesaplarında yalnızca geometri ve malzeme değil, seçilen hesap metodolojisinin de sonuca olan etkisini ortaya koyar. Literatüre katkısı, mevcut hesap yöntemlerinin etkinliğinin sorgulanması ve daha sade, maliyet etkin ve güvenli metodolojilerin önerilmesi üzerinedir. Bu alışma hem mühendislik tasarımında hem de akademik modellemelerde, yöntem karşılaştırmalarının somut verilere dayandırılması gerektiğini vurgular ve özellikle saha uygulamalarında hangi yöntemin hangi zemin koşullarında daha uygun olacağına dair değerli çıkarımlar sağlar. şekil 26'da Tip 3 projesi için kil zeminde kazık grubunun bireysel davranışı durumunda tekil kazıklar ve kazık grupları için taşıma gücü değerleri kN cinsinden verilmiştir.

Zemin Türü (C), Hesap Yöntemi (7)
Tekil ve Grup Kazık Taşıma Güçleri



Zemin Türü (C), Hesap Yöntemi ((T-4)-6)
Tekil ve Grup Kazık Taşıma Güçleri



Şekil 26. Tip 3 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı

5.1.8. Grafik Çiftleri Karşılaştırması :(C12-C13)

Zemin Türü: Kil Zemin (C)

Kombinasyonlar

C12 → Yöntem (7): Alfa Yöntemi ile Kazıklarda Toplam Taşıma Gücü Hesabı

C13 → ((T-4)-6): Terzaghi ile Uç Direnci + Alfa Yöntemi ile Çevre Sürtünmesi Hesabı

Proje Tipleri:

C12: Tip 3 (0,5 m çap, 4 m aralık, 25 kazık)

C13: Tip 3 (0,5 m çap, 4 m aralık, 25 kazık)

Teknik İnceleme: C12 grafiğinde grup taşıma gücü yaklaşık 4447,3 kN, tekil kazık taşıma gücü 203,7 kN olarak belirlenmiştir. C13 grafiğinde ise grup taşıma gücü 4215,9 kN, tekil kazık taşıma gücü 193,11 kN olarak ölçülmüştür. Her iki durumda da fiziksel kazık özellikleri aynı olmasına rağmen, farklı hesap yöntemleri sonucu önemli ölçüde etkilemiştir. Alfa yöntemi, daha bütüncül bir değerlendirme sunarak taşıma gücünde artış sağlamıştır. Bu farklılık, hesap yöntemi tercihlerinin mühendislik projelerindeki sonuçlar üzerindeki kritik etkisini gözler önüne sermektedir. Ekonomi ve güvenlik açısından bakıldığında ise Alfa yönteminin sağladığı yüksek taşıma gücü, ekonomik olarak daha az kazık kullanımı veya daha ince çaplı kazıklarla tasarım yapılabilmesine olanak sağlayabilir. Ancak, yöntem seçiminde güvenlik katsayılarının ve zemin davranışlarının dikkatlice göz önüne alınması gereklidir. Terzaghi yönteminin sonuçları, özellikle riskli projelerde güvenli tarafta kalmak açısından önemli olabilir.

Literatüre Olası Katkılar: Bu çalışma, literatürdeki yaklaşımlardan farklı olarak, hesap yöntemlerinin aynı fiziksel koşullar altında nasıl değişken sonuçlar üretebildiğini sistematik biçimde ortaya koymaktadır. Bu durum, tasarım optimizasyonu ve maliyet analizlerinde mühendislerin hesap yöntemini sadece geleneksel alışkanlıklarla değil, proje özelinde bilinçli seçimlerle yapmalarının gerekliliğini vurgulamaktadır. Çalışmanın sağladığı bu matematiksel ve metodolojik karşılaştırmalar, literatüre yöntem seçiminin önemini ortaya koyan özgün bir katkı sunmaktadır. Şekil 27’de Tip 3 projesi için kil zeminde kazık grubunun bireysel davranışı durumunda tekil kazıklar ve kazık grupları için taşıma gücü değerleri kN cinsinden verilmiştir.



Şekil 27. Tip 3 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı

5.1.9. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C14-C15)

Zemin Türü: Kil Zemin (C)

Kombinasyonlar

C14 → (A.Y.T.): Alfa Yöntemi Taşıma Gücü Hesabı

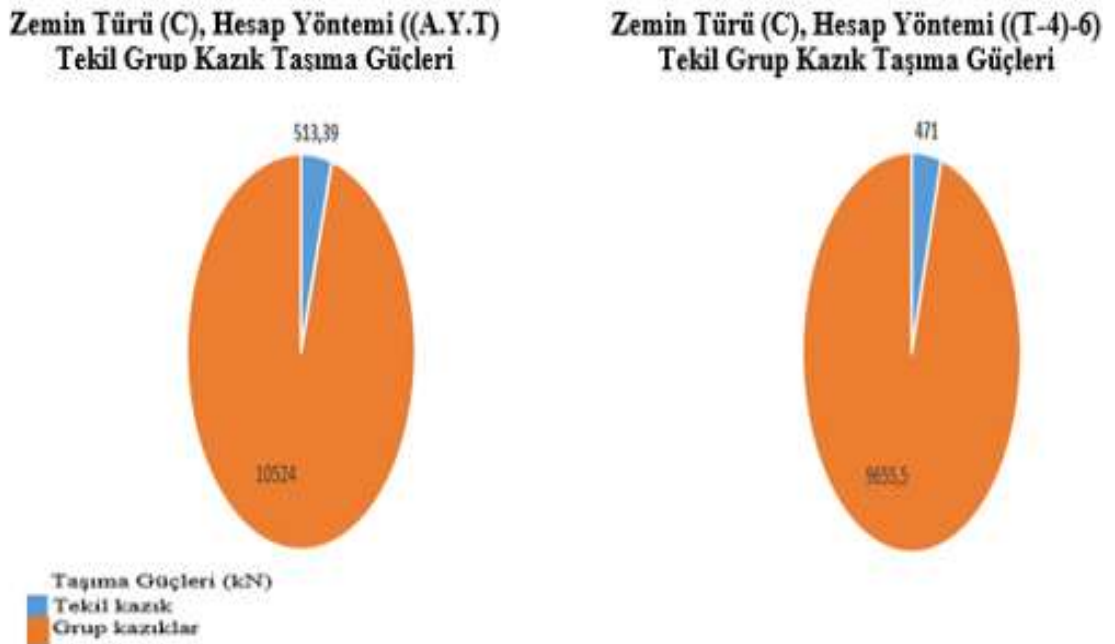
C15 → ((T-4)-6): Terzaghi ile Uç Direnci + Alfa Yöntemi ile Çevre Sürtünmesi Hesabı

Proje Tipleri:

Her iki grafik de Tip 4 (1 m çap, 4 m aralık, 25 kazık)

Teknik İnceleme: C14 grafiğinde grup taşıma gücü yaklaşık 10.524 kN, tekil kazık taşıma gücü ise 513,39 kN olarak ölçülmüştür. C15 grafiğinde ise grup taşıma gücü

9.655,5 kN, tekil kazık taşıma gücü 471 kN'dır. Buradan görüldüğü üzere, yalnızca kullanılan hesap yöntemleri değişmiş, kazık çapı ve aralıkları sabit kalmıştır. Alfa yöntemi ile yapılan hesaplama, çevre sürtünmesi katkısının daha detaylı dikkate alınmasıyla toplam taşıma gücünde daha yüksek bir sonuç ortaya çıkarmıştır. Buna karşın, Terzaghi ve Alfa kombinasyonu biraz daha dengeli ama daha düşük bir toplam kapasite sunmaktadır. Ekonomi ve Güvenlik Değerlendirmesi: Tip 4 projelerde geniş çaplı kazıklar daha az sayıda kazık gerektirerek toplam maliyeti azaltabilir, ancak burada kullanılan hesap yöntemine bağlı olarak elde edilen taşıma gücü farklılaşır. Alfa yöntemi ile yapılan hesaplama, çevre sürtünmesinin maksimum katkısını göz önüne alarak daha güvenli ve yüksek kapasiteli bir çözüm sunabilirken, klasik kombinasyonlar daha temkinli bir güvenlik yaklaşımı sergiler. Tasarımda seçim hem ekonomik hem güvenlik dengesi açısından önemli olacaktır. Bu analiz, literatürde çoğunlukla ayrı ayrı incelenen uç direnci ve çevre sürtünmesi hesap yöntemlerinin karşılaştırmalı etkilerini doğrudan göstermek açısından özgün bir katkı sunar. Bu çalışma projede kullanılan hesap yaklaşımlarının taşıma gücü üzerindeki etkileri, literatürde eksik kalan çap-aralık-hesap yöntemi etkileşimleri bağlamında matematiksel ve mühendislik temelli çıkarımlar sağlar. Böylece tasarım mühendisleri, projelerinde hem hesaplama doğruluğu hem de maliyet-güvenlik optimizasyonu açısından daha bilinçli tercihler yapabilir. Şekil 28'de Tip 4 projesi için kil zeminde kazık grubunun bireysel davranışı durumunda tekil kazıklar ve kazık grupları için taşıma gücü değerleri kN cinsinden verilmiştir.



Şekil 28. Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı

5.1.10. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C16-C17)

Zemin Türü: Kil Zemin (C)

Kombinasyonlar

C16 → (A.Y.T.): Alfa Yöntemi Taşıma Gücü Hesabı

C17 → ((T-4)-6): Terzaghi ile Uç Direnci + Alfa Yöntemi ile Çevre Sürtünmesi Hesabı

Proje Tipleri:

Her iki grafik de Tip 4 (1 m çap, 4 m aralık, 25 kazık)

Teknik İnceleme: C16 grafiğinde grup taşıma gücü yaklaşık 9.630,4 kN, tekil kazık taşıma gücü ise 513,39 kN olarak belirlenmiştir. C17 grafiğinde ise grup taşıma gücü 8.835,3 kN, tekil kazık taşıma gücü 471 kN olarak ölçülmüştür. Sadece hesap yöntemi değişmesine rağmen sonuçlarda dikkat çekici bir fark görülmektedir. Alfa yöntemi, çevre sürtünmesini maksimum düzeyde kullanarak taşıma gücünü artırmakta; Terzaghi ve Alfa kombinasyonu ise daha dengeli ama toplamda biraz daha düşük bir kapasite sunmaktadır. Ekonomi ve Güvenlik Değerlendirmesi: Tip 4 projelerde geniş çaplı kazıklar büyük kapasite avantajı sunar, ancak kullanılan hesap yöntemi sonucu doğrudan etkilemektedir. Alfa yöntemi ile yapılan hesap, çevre etkisinin daha geniş kapsamda dikkate alınması nedeniyle daha yüksek taşıma gücü sağlayarak güvenliği ön plana çıkarabilir. Ancak, bu durum ekonomik optimizasyon açısından da değerlendirilmelidir; çünkü her yöntemin tasarımıda yol açtığı maliyet ve işçilik farkları mevcuttur. Bu karşılaştırma, literatürde genellikle ayrı ele alınan hesap yöntemlerinin, sabit proje tiplerinde taşıma gücüne olan etkilerini doğrudan kıyaslayarak sunması açısından değer taşır. Çalışma, mühendislik uygulamalarında çap-aralık ve hesap yöntemi etkileşimlerinin sistematik incelenmesine dair yeni matematiksel ve uygulamalı veriler sağlayarak literatürdeki boşlukları doldurur. Böylece tasarım mühendislerinin hem güvenlik hem de ekonomik bakış açısı ile daha bilinçli tercihler yapabilmesine katkı sunar. Şekil 29'da Tip 4 projesi için kil zeminde kazık grubunun bireysel davranışı durumunda tekil kazıklar ve kazık grupları için taşıma gücü değerleri kN cinsinden verilmiştir.

Zemin Türü (C), Hesap Yöntemi (A.Y.T)
Tekil ve Grup Kazık Taşıma Güçleri



Zemin Türü (C), Hesap Yöntemi ((T-4)-6)
Tekil ve Grup Kazık Taşıma Güçleri



Şekil 29. Tip 4 Kil Zeminde Kazık Grubunun Bireysel Davranışı

5.1.11. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C18-C19)

Zemin Türü: S

Kombinasyonlar

C18 → ((M+4)-5): Meyerhof ile Klasik Uç Direnci + Klasik Çevre Sürtünmesi

Hesabı

C19 → ((T+4)-5): Terzaghi ile Klasik Uç Direnci + Klasik Çevre Sürtünmesi

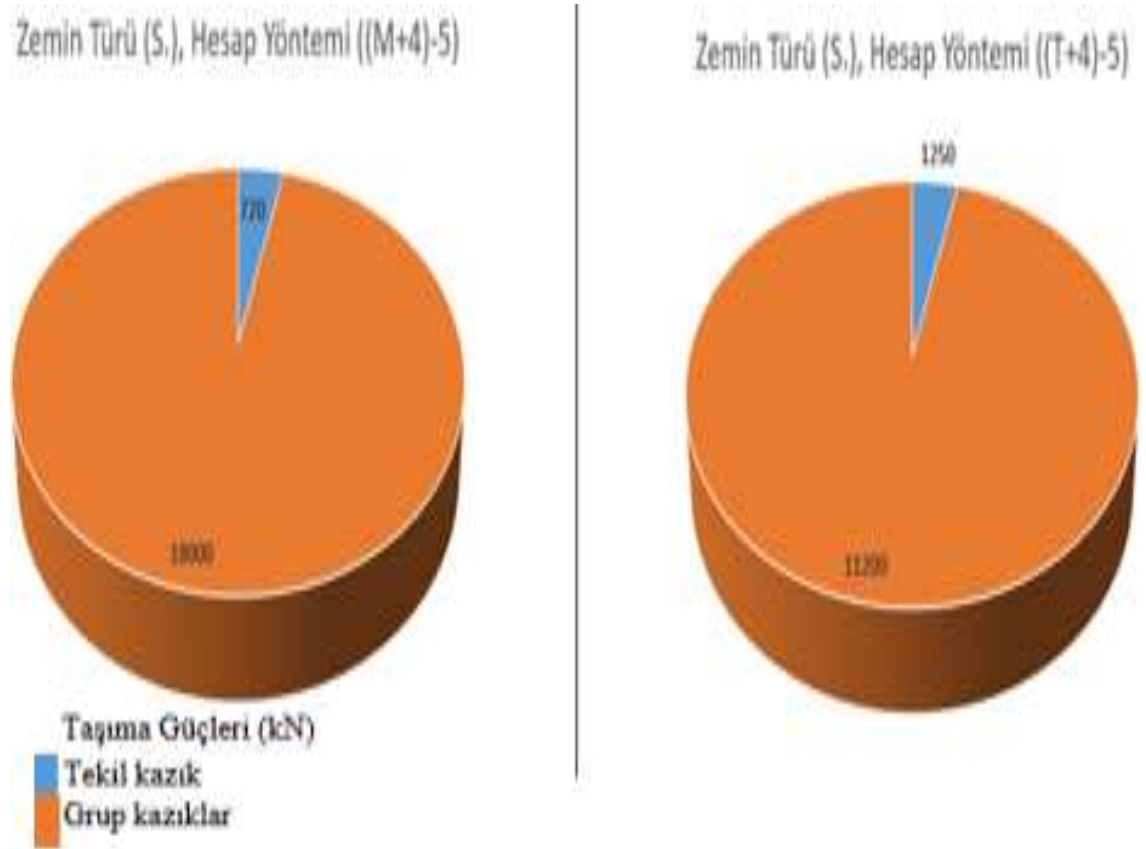
Hesabı

Proje Tipleri:

Her iki grafik de Tip 1 proje (belirlenen çap ve aralıklar sabit)

Teknik İnceleme: C18 grafiğinde grup taşıma gücü yaklaşık 18.000 kN, tekil kazık taşıma gücü ise 720 kN olarak ölçülmüştür. C19 grafiğinde grup taşıma gücü 11.200 kN, tekil kazık taşıma gücü 1.250 kN olarak belirlenmiştir. Burada dikkat çeken unsur, Terzaghi yöntemiyle yapılan hesaplamalarda tekil kazık taşıma gücünün Meyerhof yöntemine kıyasla daha yüksek çıkması; buna karşılık Meyerhof yönteminde grup taşıma gücünün çok daha yüksek olmasıdır. Bu, hesap yöntemlerinin sistem davranışına olan etkisini göstermesi bakımından önemlidir. Ekonomi ve güvenlik açısından bakıldığında ise Meyerhof yöntemiyle yapılan hesaplama, daha yüksek grup kapasitesi sağladığı için projelerde yük paylaşımı ve güvenlik açısından avantaj sunabilir. Terzaghi yöntemi ise tekil kazık kapasitesine odaklanarak daha bireysel güvenlik avantajı sağlasa da grup

halinde yük aktarımı düşünüldüğünde Meyerhof'a kıyasla toplam kapasite düşük kalmaktadır. Ekonomik açıdan, hangisinin tercih edileceği; yük durumu, proje tipi ve maliyet hesaplarıyla ilişkilendirilmelidir. Bu karşılaştırma, farklı zemin türlerinde (S tipi) hesap yöntemlerinin grup ve tekil taşıma gücü üzerindeki farklı etkilerini ortaya koyarak mühendislik literatürüne yeni bakış açıları kazandırır. Özellikle grup davranışının Meyerhof ve Terzaghi yöntemlerindeki değişimi göstererek, tasarımda hangi yöntemin hangi koşulda daha avantajlı olacağına dair pratik çıkarımlar sunar. Bu sayede hem akademik çalışmalarda hem de saha uygulamalarında karar alma süreçlerine ışık tutacak matematiksel ve teorik katkılar sağlar. Şekil 30'da Tip 1 projesi için kum zeminde kazık grubunun tekil kazıklar ve kazık grupları için taşıma gücü değerleri kN cinsinden verilmiştir.



Şekil 30. Tip 1 Kum Zeminde Kazık Grubunun Taşıma Gücü

5.1.12. Grafik Çiftleri Karşılaştırması (C20-C21)

Zemin Türü: S

Proje Tipi: Tip 2 (0,5 m çapında kazıklar, 1 m aralıklarla, 25 kazıklı grup)

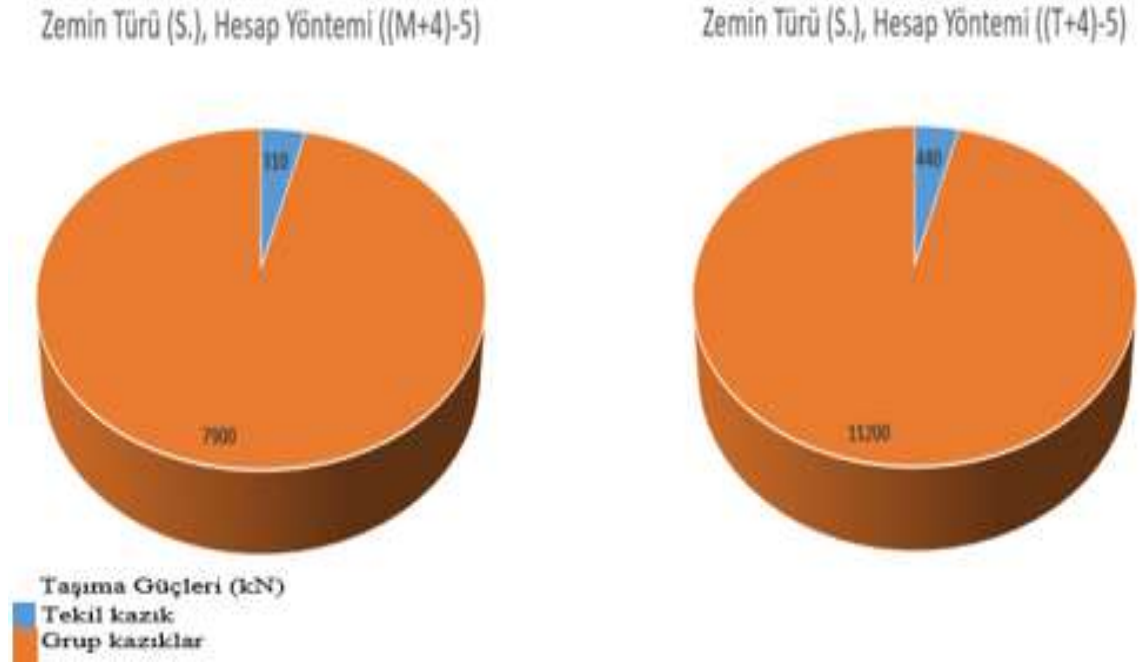
Kombinasyonlar

C20: ((M+4)-5) Meyerhof ile Uç Direnci + Çevre Sürtünmesi

C21: ((T+4)-5) Terzaghi ile Uç Direnci + Çevre Sürtünmesi

Teknik Yorum: C20 grafiğinde Meyerhof yöntemiyle elde edilen grup kazık taşıma gücü 7900 kN, tekil kazık taşıma gücü 310 kN'dur. C21 grafiğinde Terzaghi yöntemiyle grup kazık taşıma gücü 11200 kN, tekil kazık taşıma gücü ise 440 kN bulunmuştur. Terzaghi yöntemi, Meyerhof'a göre yaklaşık %42 daha yüksek taşıma kapasitesi sağlamıştır. Bu fark, Terzaghi'nin hesaplamalarında zemin-kazık etkileşimini daha geniş kapsayan ve güvenlik katsayılarını daha hassas belirleyen yaklaşımından kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlar, hesap yöntemi seçiminin yalnızca sayısal sonuçları değil, aynı zamanda sahadaki tasarım davranışını da önemli ölçüde etkilediğini somut şekilde ortaya koymaktadır. Ekonomi/Güvenlik Yorumu: Terzaghi yöntemiyle tasarlanan kazık grupları daha yüksek kapasite sunduğundan, aynı yük için daha az kazık kullanılabilir; bu da hem malzeme hem de işçilik maliyetlerinde düşüş sağlar. Ancak bu yüksek kapasite, sahadaki uygulama koşulları ve zemin davranışlarının dikkatle izlenmesini gerektirir, çünkü teorik kapasite artışları pratikte zemin deformasyonu, göçme riski veya çevre sürtünme sınırlamaları nedeniyle tam yansımaya sahip olabilir. Meyerhof yöntemi daha sade ve ekonomik bir hesap yaklaşımı sunmakla birlikte, taşıma kapasitesi tahmininde daha temkinli kalabilir. Tasarımcı bu farklardan yola çıkarak, yalnızca en yüksek kapasiteyi hedeflemek yerine, uygulama güvenliği, maliyet verimliliği ve uzun vadeli dayanıklılığı birlikte değerlendirmelidir. Örneğin, sahada 25 kazıklı Tip 2 projede kazık başına kapasite %42 artırılabilirse, kazık sayısında yaklaşık %20 azaltma yapılarak aynı taşıma sağlanabilir; bu da toplam proje maliyetine ciddi katkı sağlar. Bu analiz, farklı zemin türlerinde (özellikle kum zeminlerde) ve hesap yöntemlerinde yapılan taşıma gücü karşılaştırmalarıyla, literatürde çoğu çalışmada eksik kalan doğrudan yöntem kıyaslamasına katkı sunmaktadır. Tip 1 ve Tip 2 projelerinden elde edilen paralel verilerle birlikte çalışma değerlendirildiğinde, çap, aralık, hesap yöntemi ve grup düzeni gibi tasarım unsurlarının mühendislik sonuçlarına olan etkilerini detaylı biçimde belgeleyerek, uygulamacılara yalnızca teorik değil, saha bazlı karar alma süreçlerinde de yön verecek sayısal referanslar sağlamaktadır. Böylece bu çalışma hem akademik hem de

pratik alanda optimize edilmiş, bilinçli ve rasyonel kazık tasarımı yaklaşımlarına özgün bir katkı sunmaktadır. Şekil 31’de Tip 2 projesi için kum zeminde kazık grubunun tekil kazıklar ve kazık grupları için taşıma gücü değerleri kN cinsinden verilmiştir.



Şekil 31. Tip 2 Kum Zeminde Kazık Grubunun Taşıma Gücü

5.1.13. Grafik C22 Proje Tip 1 ve Proje Tip 2 Karşılaştırması

Zemin Türü: C (Kil Zeminler)

Proje Örnekleri:

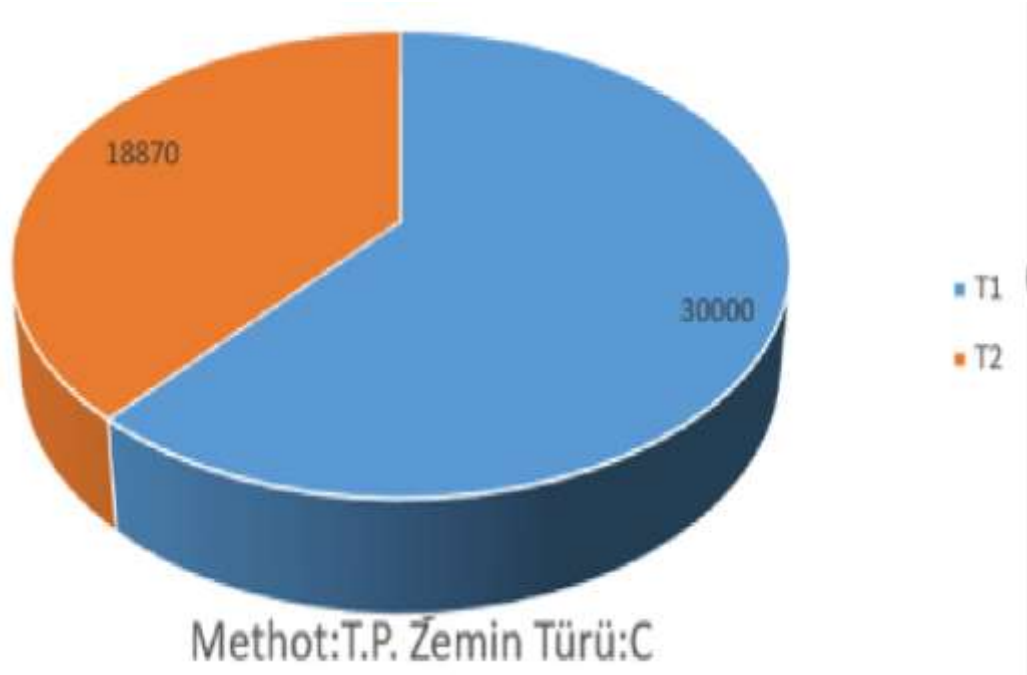
Tip 1: 1 m çapında kazıklar, 1 m aralıklarla, 25 kazıklı grup

Tip 2: 0,5 m çapında kazıklar, 1 m aralıklarla, 25 kazıklı grup

Teknik Yorum (Genel Bakış): Analizlerde görüldüğü üzere, kazık çapındaki artış doğrudan taşıma kapasitesinde pozitif bir etki yaratmaktadır. Büyük çaplı kazıklar, uç direnci ve çevre sürtünmesi açısından daha avantajlı davranır ve bu durum grup içi yük paylaşımını iyileştirir. Ancak, çap ve aralık ilişkisi karmaşık bir etkileşim sunar; daha büyük çaplar genellikle daha geniş aralıklar gerektirirken, daha küçük çaplı ve sık yerleştirilmiş kazıklar bireysel taşıma kapasitesini sınırlı tutsa da grup etkilerini dağıtarak toplam taşıma gücüne katkı yapabilir. Tip 1 ve Tip 2 projelerinden elde edilen veriler, bu çap-aralık ilişkilerinin yalnızca basit bir oransal değişim olmadığını, kazık grubunun geometrisine ve düzenine göre taşıma kapasitesinin hassasiyetle şekillendiğini göstermektedir. Burada çapın %100 artması (0,5 m’den 1 m’ye çıkması), teorik hesaplamalarda çapın alanını (πr^2) iki kat büyütmesi nedeniyle yaklaşık dört kat (yaklaşık

%300 artış) taşıma kapasitesi beklentisi yaratır. Ancak, pratikte grup etkileşimleri, kazıklar arası gerilme gölgelemesi (komşu kazıkların çevresinde oluşan gerilme alanlarının birbirine çakışarak taşıma kapasitesinin tam olarak yansıtılamaması), çevre sürtünme sınırlamaları ve zemin deformasyon özellikleri bu teorik artışın yalnızca %60-70 civarında gerçekleşmesine yol açmaktadır. Tasarımcı, bu açıklamalardan yalnızca basit geometrik büyütmelemlerle yetinmeyip, sistemin grup davranışını detaylı analiz ederek, örneğin hangi çapta hangi aralığın optimum olduğunu ve yük paylaşımında hangi yerleşimin en verimli sonucu verdiğini tasarımına dahil edebilir. Ekonomi ve güvenlik açısından incelendiğinde ise kazık tasarımında ekonomik optimizasyon, yalnızca kullanılan malzeme veya kazık çapı üzerinden yapılmamalıdır; aksine, sahadaki uygulama zorlukları, montaj süresi, kullanılan ekipman kapasitesi, taşıma ve nakliye maliyetleri gibi geniş bir maliyet yelpazesi dikkate alınmalıdır. Örneğin, büyük çaplı kazıklar taşıma gücü açısından daha avantajlı olsa da saha mobilizasyonu, vinç ve makine gereksinimi ciddi yatırım maliyetleri doğurabilir. Küçük çaplı ve sık yerleştirilmiş kazıklarda ise toplam kazık sayısının artışı, işçilik ve zaman açısından maliyeti yükseltebilir. Tip 1 ve Tip 2 projelerinden gelen karşılaştırmalar, yalnızca bir parametrenin değiştirilmesiyle elde edilen taşıma gücü artışlarının her zaman maliyet etkinliği yaratmadığını, bu yüzden çap-aralık kombinasyonlarının dikkatle optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, çap artışının maliyete yansması %50-70 artış yaratırken, taşıma gücündeki artış yalnızca %60 civarında kalıyorsa, tasarımcı bu ilişkiyi matematiksel olarak değerlendirip en verimli çözümü seçebilir. Bu çalışma, yalnızca Tip 1 ve Tip 2 projelerindeki sonuçları değerlendirmekle kalmayıp, bu iki tipin karşılaştırmalarından elde edilen paralel ve ek bilgileri kullanarak daha genel mühendislik çıkarımları sunmaktadır. Örneğin, çap artışı ve aralık sabiti değişimlerinin ne ölçüde taşıma kapasitesini artırdığı, grup etkilerinin tasarım optimizasyonunu nasıl sınırladığı ve hesap yöntemlerinin sonuçlara olan katkısı bu çalışmada somut verilerle belgelenmiştir. Tasarımcı bu bulgular sayesinde, bir sonraki projede saha uygulaması ve mühendislik gerçeklikleri açısından da hangi tasarımın daha güvenli, ekonomik ve verimli olacağına dair bilinçli tercihler yapabilir. Çalışma, çap, aralık ve grup büyüklüğü değişimlerinin yalnızca teorik düzeyde değil, uygulama bazlı saha verileriyle nasıl şekillendiğini göstermekte ve literatürde eksik kalan pratik karşılaştırma boşluğunu doldurmaktadır. Böylece bu çalışma, akademik alanda çap-aralık-kapasite dengesine dayalı daha rasyonel ve optimize edilmiş kazık tasarım yaklaşımlarına katkı sunmaktadır. Şekil 32’de Tip 1 ve

Tip 2 projeleri için kil zeminde kazık grubunun blok davranışına ait taşıma gücü değerleri kN cinsinden verilmiştir.



Şekil 32. Kil Zeminde Kazık Grubunun Blok Davranışı ve Taşıma Gücü Değerleri

6. BÖLÜM:

SONUÇ VE ÖNERİLER

Drene koşullardaki kumlu zeminlerde tekil kazık kapasite tahminlerinde Terzaghi ve Meyerhof yöntemleri arasında belirgin farklar gözlenmiştir. Meyerhof yöntemi ile Terzaghi yöntemi karşılaştırıldığında özellikle gömülme derinliği belirli bir kritik orana ($L/D \approx 16-18$) ulaşana kadar Meyerhof'un daha yüksek uç direnci değerleri verdiği sonucuna ulaşılmıştır (örneğin %10-20 civarında daha yüksek). Buradan yola çıkılarak Meyerhof yönteminin bazı durumlarda daha az güvenli fakat daha ekonomik bir tasarım sağlayabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Terzaghi'nin yöntemi ile ise benzer şartlarda daha düşük kapasitelere ulaşılmıştır. Bu da daha güvenli tarafta kalınmak istendiğinde tasarımın Terzaghi yöntemi ile yapılmasının gerektiğini ortaya koymaktadır.

Kil zemin şartlarında, drenaj durumuna bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilmiştir. Drenajsız (kısa vadeli) koşullarda Alfa yöntemi, kohezyonlu zeminlerde en güvenli tarafta sonuç veren yaklaşım olarak bulunmuştur. Terzaghi ve Meyerhof yöntemleri ise kil zemin için daha yüksek kapasite öngörülerinde bulunduğu için daha ekonomik tasarımların bu iki yöntemle yapılması sonucuna ulaşılmıştır.

Meyerhof yönteminin yumuşak kilde Terzaghi'ye kıyasla daha düşük (daha emniyetli) bir kapasite verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Drenajlı (uzun vadeli) kil koşullarında, zamanla kil zeminin drenaj olup efektif gerilme kazanması durumunda taşıma kapasitesinde artış olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Tezde, uzun vadede kil zeminin içsel sürtünme açısı (ϕ') devreye girerek, özellikle uç direnci bileşenini yükseltmiştir. Meyerhof yöntemi ile drenajlı durumda kil için yapılan hesaplarla (yani efektif gerilmeye dayalı hesapla) bulunan kapasite, drenajsız duruma kıyasla önemli ölçüde (örneğin analiz edilen senaryoda %20-30 oranında) daha yüksek değerler vermiştir. Bu durum, kil zeminlerde kısa vadede güvenlik sağlamak amacıyla drenajsız durumun kritik olduğunu, ancak uzun vadede konsolidasyon sonrası taşıma kapasitesinin artabileceği sonucuna ulaşmamızı sağlamıştır.

Terzaghi ve Meyerhof gibi yaklaşımlarla hesaplanan (özellikle drenajlı duruma ait) daha yüksek kapasitelerin ise uzun vadedeki performansı değerlendirmek için kullanılması gerektiği, güvenlik katsayılarının buna göre seçilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

1/8 Kuralı ve Converse-Labarre Kuralı karşılaştırıldığında, Converse-Labarre kuralı daha güvenli sonuçlar vermektedir. Ekonomik tasarım yapılmak istendiğinde ise 1/8 kuralının kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kazık çapındaki artış, bireysel davranan kazık gruplarının taşıma gücüne daha fazla etki etmektedir.

Daha büyük çaplı kazıklarda grup etkisinin azaldığı ve kazıkların bireysel davranmaya yöneldiği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKÇA

1. Songür S., 2019. Three-Dimensional Finite Element Modelling in Piled-Raft Foundation Design. Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Civil Engineering Department, MS Thesis, Ankara, 190 s.
2. Yılmaz, S., 2013. Kohezyonsuz Zeminlerde ve Kayaya Soketli Perde Kazıkların Taşıma Kapasitesinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 164 s.
3. Gören, R., 2012. Yüksek Yük Altındaki Dikey Yüklü Kazık Gruplarının Davranışı ve Analizi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129 s.
4. Usha, S., Ajay, H. A., Abhilash, D. T., Brunda, B. A. 2023. Optimization Studies on Bracing Systems and Its Effective Placement to Counteract Earthquakes in Very High Damage Risk Zone. In International Conference on Interdisciplinary Approaches in Civil Engineering for Sustainable Development (pp. 443-454). Singapore: Springer Nature Singapore.
5. Yenginar, Y., 2014. Kazıklı Temellerde Grup Etkisinin Model Deneylerle Araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 263 s.
6. Poulos H.G., Davis E.H., 1980. Pile Foundation Analysis and Design. University of Sydney, Civil Engineering Department, 250s.
7. Randolph M.F., Wroth C.P., 1978. Analysis of Deformation of Vertically Loaded Piles. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, **104** (12): 1465-1488.
8. Omeman Z. M., 2012. Load Sharing of Piled-Raft Foundations in Sand Subjected to Vertical Loads. Concordia University, Civil Engineering Department, PhD Thesis, Montreal, 131 s.
9. Abdelaziz G., 2000. An Axisymmetrical Model for a Single Vertical Pile in Sand. Concordia University, Civil Engineering Department, PhD Thesis, Montreal, 355 s.
10. Unsever, Y., Ozkan, M., Matsumoto, T., Shimono, S., Esashi, K. 2014. Physical and Numerical Modelling of pile Foundations Subjected to Vertical and Horizontal

Loading in Dry Sand. **Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics**: 963-968.

11. Meyerhof, G. G. 1976. Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, **102**(3): 197-228.
12. Sales, M. M., Prezzi, M., Salgado, R., Choi, Y. S., Lee, J. (2017). Load-Settlement Behaviour of Model Pile Groups in Sand Under Vertical Load. **Journal of Civil Engineering and Management**, **23**(8): 1148-1163.
13. Karthigeyan, S., Ramakrishna, V. V. G. S. T., Rajagopal, K. 2006. Influence of Vertical Load on the Lateral Response of Piles in Sand. **Computers and Geotechnics**, **33**(2): 121-131.
14. Yeğit, M., 2017. Farklı Çapta, Derinlikte ve Sayıdaki Kazıkların Grup Davranışı. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar, 185 s.
15. Pinterest, t.y., Grup Kazıklar. (Web Sayfası: <https://www.co.pinterest.com>) (Erişim Tarihi: Şubat 2024).
16. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Akademik Veri Yönetim Sistemi, t.y., “Uç Kazık”, (Web sayfası: www.avys.omu.edu.tr) (Erişim Tarihi: Şubat 2024).
17. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Akademik Veri Yönetim Sistemi, t.y., “Sürtünme Kazığı”, (Web sayfası: www.avys.omu.edu.tr) (Erişim Tarihi: Şubat 2024).
18. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Akademik Veri Yönetim Sistemi, t.y., “Kombine Kazığı”, (Web sayfası: www.avys.omu.edu.tr) (Erişim Tarihi: Şubat 2024).
19. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Akademik Veri Yönetim Sistemi, t.y., “Çekme Kazığı”, (Web sayfası: www.avys.omu.edu.tr) (Erişim Tarihi: Şubat 2024).
20. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, t.y., “Çekme Kazıklar”, (Web sayfası: <http://imoistanbul.org>) (Erişim Tarihi: Mart 2024).
21. Zemin Araştırma Merkezi, t.y., “Prefabrik Betonarme Kazıklar”, (Web sayfası: <https://www.zeminarastirma.com>) (Erişim Tarihi: Mart 2024).
22. Özdemir, A., t.y., “Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar”, (Web sayfası: <https://www.aykutozdemir.com.tr>) (Erişim Tarihi: Mart 2024)

23. Ahşap Kazıklar, t.y., (Web Sayfası: www.isapedia.com), (Erişim Tarihi: Mart 2024).
24. Çakma Kazıklar, t.y., (Web Sayfası: www.isapedia.com), (Erişim Tarihi: Mart 2024).
25. Kent Harita Eğitim, t.y., “Delme Kazıklar”, (Web Sayfası: <https://www.kentharita.com>) (Erişim Tarihi: Mart 2024).
26. Sanal Şantiye, t.y., “Çakma ile Birlikte Yerinde Dökme Kazıklar”, (Web sayfası: <https://www.sanalsantiye.com>) (Erişim Tarihi: Mart 2024).
27. Structural Analysis and Design, t.y., “Çakma ile Birlikte Yerinde Dökme Kazıklar”, (Web Sayfası: <https://skyciv.com>) (Erişime Tarihi: Mart 2024).
28. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 2021. “Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi Kırılım Yüzeyleri Gösterimi”, (Web Sayfası: https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/7fc012a3b4ecf92_ek.pdf), (Erişim Tarihi: Mart 2024).
29. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, t.y., “Kazık Gömülme Miktarı ile λ Değişimi”, (Web sayfası: <https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler>) (Erişim Tarihi: Mart 2024).
30. Tekil ve Grup Kazık Gösterimi, t.y., (Web sayfası: <https://www.researchgate.net>) (Erişim Tarihi: Mart 2024).
31. Sanal Şantiye, t.y., “Kazık Gruplarında Verimlilik”, (Web sayfası: <https://www.sanalsantiye.com>) (Erişim Tarihi: Mart 2024).
32. Sanal Şantiye, t.y., “Kazık Gruplarında Verimlilik”, (Web sayfası: <https://www.sanalsantiye.com>) (Erişim Tarihi: Mart 2024).
33. Herrerias, M.D., 2020. “Reinforcement in Concrete Frame Corners”, (Web Sayfası: <https://comingupagainststructures.wordpress.com>) (Erişim Tarihi: Mart 2024).

EKLER

EK A Matlab Kodları

EK A1 Alfa Yöntemi Matlab Kodları

```
cu = input('Uniformluk katsayısını giriniz:')
L = input('Kazık uzunluğunu giriniz:')
D = input('Kazık çapını giriniz:')
if cu <= 25:
    a = 1
else if (25 < cu) and (cu < 70):
    a = 1.2777 - 0.0111 × cu
else if 70 <= cu:
    a = 0.5
ca = a × cu
Nc = 9 # Kil zeminlerde Nc 9 olarak kabul edilir
Acevre = 3.14 × D × L
Qcevre = ca × Acevre
```

EK A2 Alfa Yöntemi Matlab Kodları

```
cu = input('Uniformluk katsayısını giriniz:')
cb = input('Kazığın altından itibaren 2D mesafedeki ortalama kohezyon değerini giriniz:')
L = input('Kazık uzunluğunu giriniz:')
D = input('Kazık çapını giriniz:')
if cu <= 25:
    a = 1
else if (25 < cu) and (cu < 70):
    a = 1.2777 - 0.0111 × cu
else if 70 <= cu:
    a = 0.5
ca = a × cu
Nc = 9 # Kil zeminlerde Nc 9 olarak kabul edilir
Acevre = 3.14 × D × L
```

$$A_b = 3.14 \times (D \times \times 2) / 4$$

$$Q_p = c_b \times N_c \times A_b + c_a \times A_{cevre}$$

Ek A3 1/8 Verimlilik Kuralı İçin Matlab Kodları

m = input('Gruptaki yatay sıradaki kazık sayısını giriniz:')

n = input('Gruptaki dikey sıradaki kazık sayısını giriniz:')

s = input('Grup kazıklarının aralarındaki mesafeyi giriniz:')

D = input('Grup kazıklarının çapını giriniz:')

$$ng = 1 - (12 + 10 \times (m - 2) + 10 \times (n - 2) + 8 \times (m - 2) \times (n - 2)) / (8 \times m \times n) \times (D / s)$$

Ek A4 Converse Laberre Kuralı

s = input('Grup kazıklarının aralarındaki mesafeyi giriniz:')

D = input('Grup kazıklarının çapını giriniz:')

m = input('Gruptaki yatay sıradaki kazık sayısını giriniz:')

n = input('Gruptaki dikey sıradaki kazık sayısını giriniz:')

x = atan(D / s)

$$D_{rc} = x \times (180 / 3.14)$$

$$ng = 1 - D_{rc} \times (((n - 1) \times m + (m - 1) \times n) / (90 \times m \times n))$$

Ek A5 Meyerhof Taşıma Gücü İçin Matlab Kodları

L = input('Kazık uzunluğunu giriniz:')

D = input('Kazık çapını giriniz:')

$$A_b = 3.14 \times (D \times \times 2) / 4$$

cu = input('Uniformluk katsayısını giriniz:')

Nc = input('Nc taşıma gücü katsayısını giriniz:')

$$Q_{uc} = N_c \times cu \times A_b$$

Ek A6 Meyerhof Taşıma Gücü İçin Matlab Kodları

L = input('Kazık uzunluğunu giriniz:')

gammaE = input('Zemin efektif birim hacim ağırlığını giriniz:')

D = input('Kazık çapını giriniz:')

$$A_b = 3.14 \times (D \times \times 2) / 4$$

c = input('Zemin kohezyon değerini giriniz:')

Nc = input('Nc taşıma gücü katsayısını giriniz:')

```
Nq = input('Nq taşıma gücü katsayısını giriniz:')
sigmaE = L × gammaE
Quc = Ab × (c × Nc + sigmaE × Nq)
```

Ek A7 Terzaghi Taşıma Gücü İçin Matlab Kodları

```
D = input('Kazık çapını giriniz:')
Ab = 3.14 × (D ×× 2) / 4
cu = input('Uniformluk katsayısını giriniz:')
qp = 9 × cu
Quc = qp × Ab
```

Ek A8 Kumlarda Sürtünme Gücü İçin Matlab Kodları

```
fi = input('İçsel sürtünme açısını giriniz:')
fi = fi × 0.8
fi = fi × 3.14 / 180
gammaE = input('Zemin efektif birim hacim ağırlığını giriniz:')
L = input('Kazık uzunluğunu giriniz:')
sigmaE = L × gammaE
D = input('Kazık çapını giriniz:')
Acevre = 3.14 × D × L
K = 1 - sin(fi) # %K Efektif toprak basıncı katsayısıdır
f = K × sigmaE × tan(fi)
Qcevre = Acevre × f
```

Ek A9 Kumlarda Uç Taşıma Gücü Hesabı İçin Meyerhof'a Ait Kodlar

```
fi = input('İçsel sürtünme açısını giriniz:')
fi = fi × 0.8
fi = fi × 3.14 / 180
D = input('Kazık çapını giriniz:')
L = input('Kazık uzunluğunu giriniz:')
y = input('Spt verilerine göre sonuç için 1, taşıma gücü faktörleri yardımı ile hesap etmek için 2'yi tuşlayınız:')
gammaE = input('Zemin efektif birim hacim ağırlığını giriniz:')
sigmaE = L × gammaE
```

```

Nq = input('Nq taşıma gücü katsayısını giriniz:')
Ab = 3.14 × (D ×× 2) / 4
if y == 1:
    Np = input('Spt deneyindeki darbe sayısını giriniz:')
    if 40 × L / D × Np < 400 × Np:
        qp = 40 × L / D × Np
        Quc = Ab × qp
    else:
        qp = 400 × Np
        Quc = Ab × qp
else if y == 2:
    if (Ab × sigmaE × Nq) < (Ab × 50 × Nq × tan(fi)):
        Quc = Ab × sigmaE × Nq
    else:
        Quc = Ab × 50 × Nq × tan(fi)
    end
end
end

```

Ek A10 Terzaghi Yaklaşımına Ait Matlab Kodları

```

clc, clear;
L = input('Kazık uzunluğunu giriniz:');
D = input('Kazık çapını giriniz:');
Ab = 3.14 * (D^2) / 4;
gammaE = input('Zemin efektif birim hacim ağırlığını giriniz:');
sigmaE = L * gammaE;
Nq = input("Nq taşıma gücü katsayısını giriniz:");
qp = sigmaE * Nq;
Quc = qp * Ab;

```

Ek A11 Terzaghi Yaklaşımına Ait Matlab Kodları

```

L = input('Kazık uzunluğunu giriniz:');
D = input('Kazık çapını giriniz:');
Ab = 3.14 * (D^2) / 4;
c = input("Zemin kohezyon değerini giriniz:");

```

```

Nc = input("Nc taşıma gücü katsayısını giriniz:");
Nq = input("Nq taşıma gücü katsayısını giriniz:");
Ngamma = input("Ngamma taşıma gücü katsayısını giriniz:");
gammaE = input('Zemin efektif birim hacim ağırlığını giriniz:');
x = input('Dairesel kazık için 1, kare kazık için 2’yi tuşlayınız:');
if x == 1
    n = 0.3;
elseif x == 2
    n = 0.4;
end
qp = 1.3 * c * Nc + gammaE * L * Nq + n * D * Ngamma * gammaE;
Quc = qp * Ab;
Qem = Quc / 3;

```

Ek A12 Terzaghi Uç Taşıma Gücü Matlab Kodları

```

Ab = input("Kazık uç kesit alanını giriniz:");
c = input("Zemin kohezyon değerini giriniz:");
Nc = input("Nc taşıma gücü katsayısını giriniz:");
Nq = input("Nq taşıma gücü katsayısını giriniz:");
gamma = input("Zeminin birim hacim ağırlığı:");
L = input("Kazık uzunluk değerini giriniz:");
qp = c * Nc + gamma * L * Nq;
Quc = Ab * qp;

```

Ek A13 Farklı Kombinasyonlar ile Grup Kazık Taşıma Güçleri İçin Kodlar

BirBoluSekizKurali

AlfaYontemiKillerdeKazikTasimaGucu

```
N = input('Gruptaki kazık sayısını giriniz:');
```

```
Qgrup = N * ng * Qp;
```

KilZemindeKazikVerimlilikConverseLaberreKurali

AlfaYontemiKillerdeKazikTasimaGucu

```
N = input('Gruptaki kazık sayısını giriniz:');
```

```
Qgrup = N * ng * Qp;
```

BirBoluSekizKurali

SurtunmeKaziklarindaKohezyonluZeminlerdeTerzaghiUcDirenciHesabi

AlfaYontemiKillerdeCevreSurtunmesi

$N = \text{input}(\text{'Gruptaki kazık sayısını giriniz:'});$

$Q_p = Q_{uc} + Q_{cevre};$

$Q_{grup} = N * n_g * Q_p;$

KilZemindeKazikVerimliligiConverseLaberreKurali

SurtunmeKaziklarindaKohezyonluZeminlerdeTerzaghiUcDirenciHesabi

AlfaYontemiKillerdeCevreSurtunmesi

$N = \text{input}(\text{'Gruptaki kazık sayısını giriniz:'});$

$Q_p = Q_{uc} + Q_{cevre};$

$Q_{grup} = N * n_g * Q_p;''$

BirBoluSekizKurali

MeyerhofDoygunDrenajliKilZemindeUcTasimaGucuHesabi

AlfaYontemiKillerdeCevreSurtunmesi

$N = \text{input}(\text{'Gruptaki kazık sayısını giriniz:'});$

$Q_p = Q_{uc} + Q_{cevre};$

$Q_{grup} = N * n_g * Q_p;$

KilZemindeKazikVerimliligiConverseLaberreKurali

MeyerhofDoygunDrenajliKilZemindeUcTasimaGucuHesabi

AlfaYontemiKillerdeCevreSurtunmesi

$N = \text{input}(\text{'Gruptaki kazık sayısını giriniz:'});$

$Q_p = Q_{uc} + Q_{cevre};$

$Q_{grup} = N * n_g * Q_p;$

BirBoluSekizKurali

MeyerhofDrenajsizKilZemindeUcTasimaGucuHesabi

AlfaYontemiKillerdeCevreSurtunmesi

$N = \text{input}(\text{'Gruptaki kazık sayısını giriniz:'});$

$Q_p = Q_{uc} + Q_{cevre};$

$Q_{grup} = N * n_g * Q_p;$

KilZemindeKazıkVerimliliğiConverseLaberreKuralı

MeyerhofDrenajsızKilZemindeUcTasimaGucuHesabi

AlfaYontemiKillerdeCevreSurtunmesi

$N = \text{input}(\text{'Gruptaki kazık sayısını giriniz:'});$

$Q_p = Q_{uc} + Q_{cevre};$

$Q_{grup} = N * n_g * Q_p;$

Ek A14 Blok Halinde Grup Kazıkların Taşıma Gücü Matlab Kodları

$p = \text{input}(\text{'Kazık grubunun çevre uzunluğunu giriniz:'});$

$N_c = \text{input}(\text{'Nc taşıma gücü katsayısını giriniz:'});$

$c_u = \text{input}(\text{'Kazık ucundaki zeminin drenajsız kayma dayanımı değerini giriniz:'});$

$A_g = \text{input}(\text{'Kazık grubunun alanını giriniz:'});$

$L = \text{input}(\text{'Grup kazık uzunluğunu giriniz:'});$

$c_{uOrt} = \text{input}(\text{'Kazık bloğunu çevreleyen zeminin ortalama drenajsız kayma dayanımını giriniz:'});$

$Q_{blok} = p * L * c_{uOrt} + c_u * N_c * A_g;$

Ek A15 Kum Zeminler İçin Kazık Grubu Taşıma Gücü

MeyerhofKumZemindeUcDirenciHesabi

KumlardaSurtunmeDirenci

$N = \text{input}(\text{'Kazık sayısını giriniz:'});$

$Q_p = Q_{cevre} + Q_{uc};$

$Q_{grup} = N * Q_p;$

SurtunmeKaziklarindaKohezyonsuzZeminlerdeTerzaghiUcDirenciHesabi

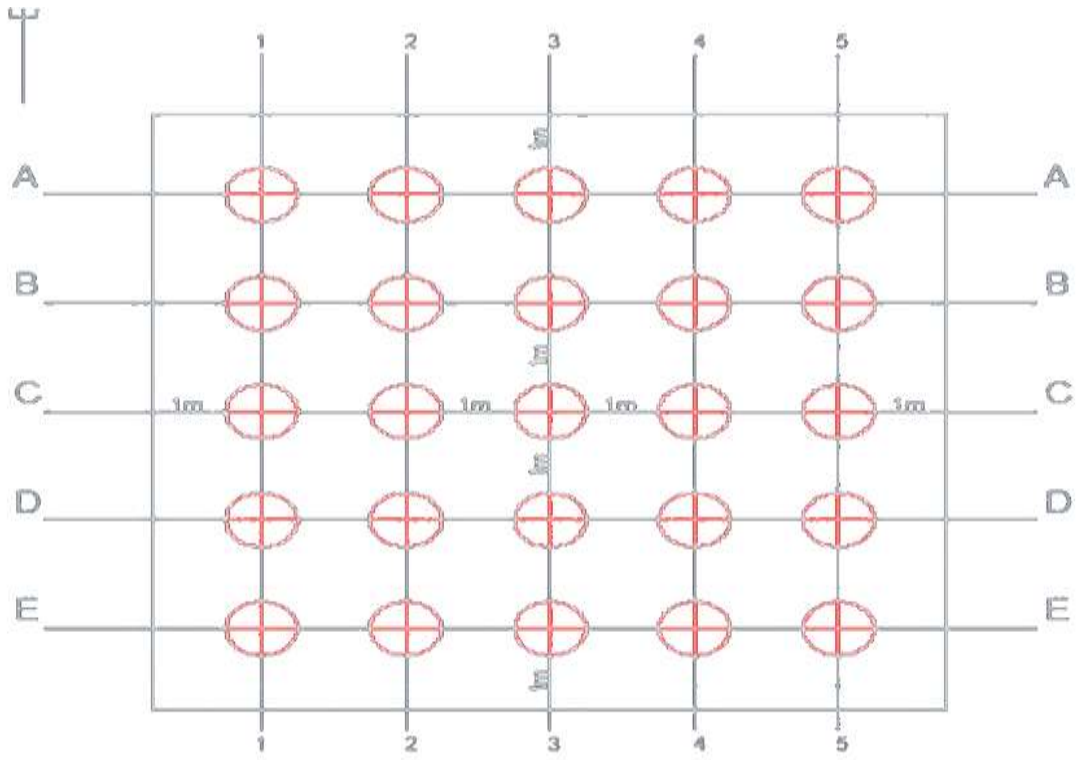
KumlardaSurtunmeDirenci

$N = \text{input}(\text{'Kazık sayısını giriniz:'});$

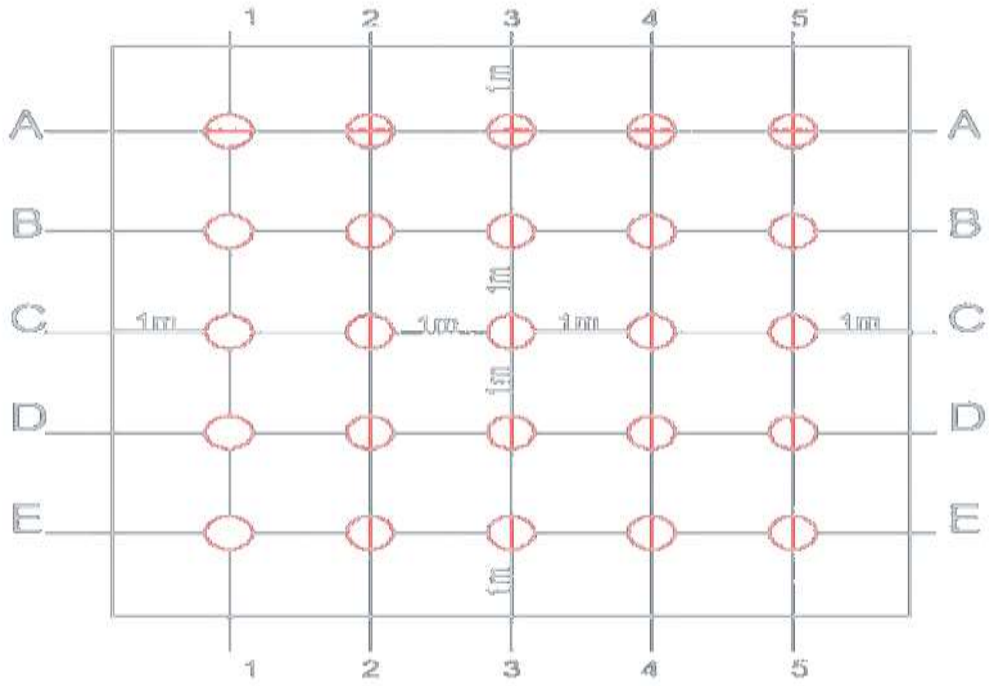
$Q_p = Q_{cevre} + Q_{uc};$

$Q_{grup} = N * Q_p;$

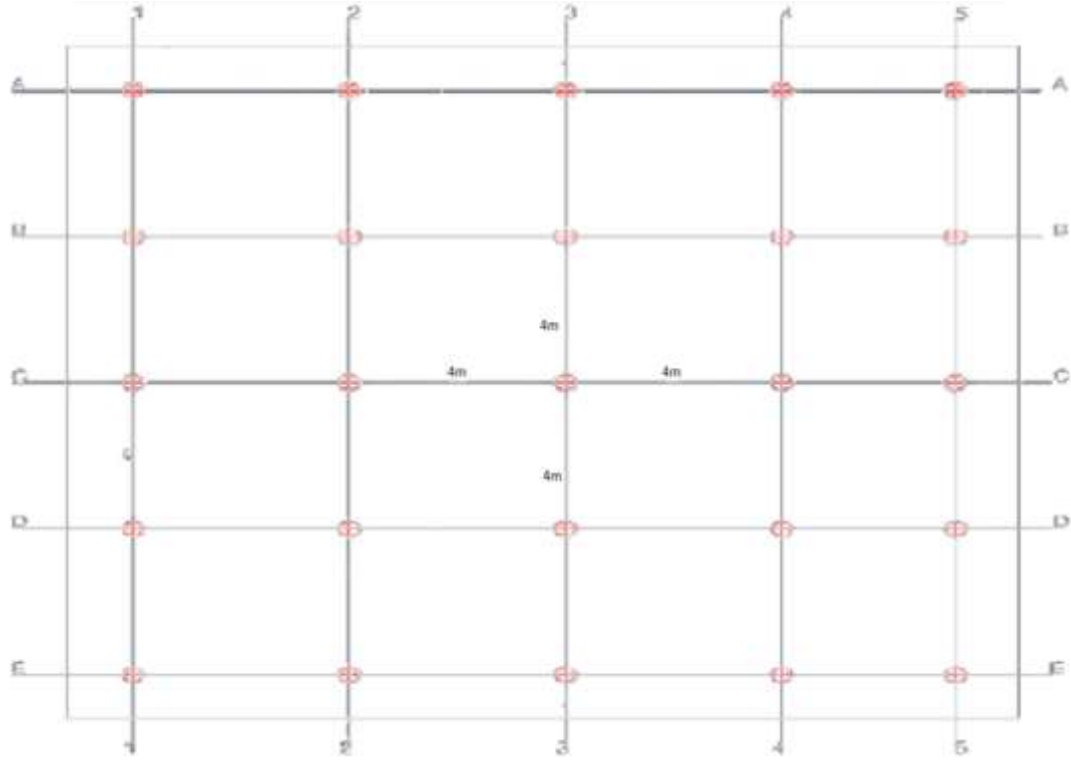
EK B



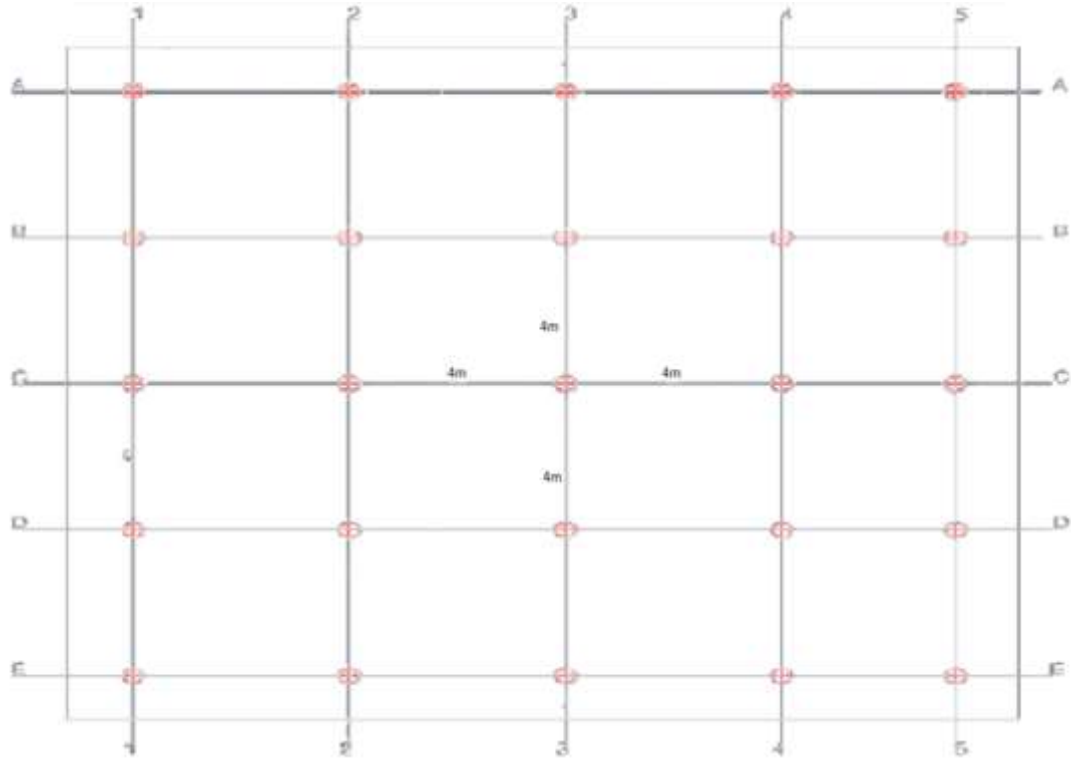
Şekil Ek B1: Tip 1 – 1 m Çapında, 1 m Aralıklı Kazık Grubu



Şekil Ek B2: Tip 2 – 0,5 m Çapında, 1 m Aralıklı Kazık Grubu



Şekil Ek B3: Tip 3 – 0,5 m Çapında, 4 m Aralıklı Kazık Grubu



Şekil Ek B4: Tip 4 – 1 m Çapında, 4 m Aralıklı Kazık Grubu

EK C İntihal Raporu

Tez son

By: taha ayaz

As of: Jul 2, 2025 3:49:14 PM
19,033 words - 40 matches - 32 sources

Similarity Index

3%

Mode: Summary Report

sources:

34 words / < 1% match - Internet from 05-Oct-2022 12:00AM
acikbilim.yok.gov.tr

25 words / < 1% match - Internet from 16-Oct-2022 12:00AM
acikbilim.yok.gov.tr

22 words / < 1% match - Internet from 10-Jan-2022 12:00AM
acikbilim.yok.gov.tr

21 words / < 1% match - Internet from 09-Nov-2022 12:00AM
acikbilim.yok.gov.tr

20 words / < 1% match - Internet from 01-Oct-2022 12:00AM
acikbilim.yok.gov.tr

17 words / < 1% match - Internet from 02-Oct-2022 12:00AM
acikbilim.yok.gov.tr

14 words / < 1% match - Internet from 20-Jul-2023 12:00AM
acikbilim.yok.gov.tr

14 words / < 1% match - Internet from 28-Nov-2024 12:00AM
acikbilim.yok.gov.tr

11 words / < 1% match - Internet from 16-Oct-2022 12:00AM
acikbilim.yok.gov.tr

10 words / < 1% match - Internet from 13-Mar-2022 12:00AM
acikbilim.yok.gov.tr

9 words / < 1% match - Internet from 13-Nov-2023 12:00AM
acikbilim.yok.gov.tr

46 words / < 1% match - Internet from 04-Feb-2023 12:00AM
sbe.nny.edu.tr

36 words / < 1% match - Internet from 04-Feb-2025 12:00AM
www.hlserviziocloud.it

26 words / < 1% match - Internet from 29-Nov-2018 12:00AM
www.scribd.com

9 words / < 1% match - Internet from 09-Jan-2019 12:00AM
www.scribd.com

24 words / < 1% match - Internet from 27-Sep-2022 12:00AM
acikerisim.selcuk.edu.tr

23 words / < 1% match - ProQuest
[Turan, Elif, "Statik Ve Dinamik Dusey Yukler Altındaki Kazikli Temellerin Davranisi", Anadolu University \(Turkey\), 2021](#)

23 words / < 1% match - Internet from 23-Nov-2022 12:00AM
dspace.ankara.edu.tr

20 words / < 1% match - Internet from 27-Nov-2022 12:00AM
acikerisim.aku.edu.tr

19 words / < 1% match - ProQuest
[Çalışkan, Özlem, "Kazikli Temellerin Analitik Yontemlerle Statik Ve Betonarme Cozumleri", Anadolu University \(Turkey\), 2021](#)

13 words / < 1% match - Crossref
[Tharwat M. Baban, "Shallow Foundations", Wiley, 2016](#)

12 words / < 1% match - ProQuest
[Kabaca, Halil, "Kazıkların Taşıma Gücü ve Oturma Parametrelerinin İncelenmesi, Taşıma Gücü İçin Yeni bir Metot Önerisi", Sakarya Üniversitesi \(Turkey\), 2022](#)

12 words / < 1% match - Internet from 08-Dec-2022 12:00AM
acikerisim.pau.edu.tr

11 words / < 1% match - Internet from 21-Oct-2023 12:00AM
acikerisim.uludag.edu.tr

11 words / < 1% match - Internet from 12-Dec-2022 12:00AM
www.insaport.com

10 words / < 1% match - Internet from 17-Jun-2020 12:00AM
abls-files.erciyes.edu.tr

10 words / < 1% match - Internet from 13-Oct-2022 12:00AM
fbenhy.edu.tr

10 words / < 1% match - Internet from 16-Jan-2024 12:00AM
pdffox.com

10 words / < 1% match - Internet from 12-Jan-2023 12:00AM
repository.uib.ac.id

10 words / < 1% match - Internet from 07-Dec-2020 12:00AM
slio.tips

9 words / < 1% match - ProQuest
[Guney, Yucel, "Kazık Temellerin \(kazık Grubu\) Yatak Katsayısı ile Statik Analizi", Anadolu University \(Turkey\), 2021](#)

9 words / < 1% match - Crossref
[Manish Kumar, G. Maneesha, G. Sai Kumar Reddy, M. Mahesh, Akash Sankar Chowdhury, Vinay Kumar, "Chapter 31 Reliability Analysis of Shallow Foundation", Springer Science and Business Media LLC, 2025](#)

paper text:

T.C. NUH NACI YAZGAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAZIK TEMELLERİN GRUP DAVRANIŞININ İNCELENMESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI (Yüksek Lisans Tezi) Tezi Hazırlayan YASİN TAHA AYAZ Danışman Dr. Öğr. Üyesi Şaban S. ÖZSARİYILDIZ II.

Danışman Doç. Dr. Cengiz İpek HAZİRAN 2025 KAYSERİ T.C. NUH NACI YAZGAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAZIK TEMELLERİN GRUP DAVRANIŞININ İNCELENMESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI (Yüksek Lisans Tezi) Tezi Hazırlayan YASİN TAHA AYAZ Danışman Dr. Öğr. Üyesi Şaban S. ÖZSARİYILDIZ II.
Danışman Doç. Dr. Cengiz İpek HAZİRAN 2025 KAYSERİ III

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim. Yasin Taha AYAZ İmza I **YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI**

*Kazık Temellerin Grup Davranışının

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı : Yasin Taha AYZ

Uyruğu : T.C.

Doğum Tarihi ve Yeri

Medeni Durumu

Tel

Fax

GSM

E-mail

Yazışma Adresi

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Sakarya Üniversitesi	04.05.2020
Lise	Malatya Bilim Koleji	07.06.2012

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
07.18.2022 – devam ediyor	Türk Telekom	Mühendis

YABANCI DİL

İngilizce