

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAZIKLI TEMELDE ÇİFTLİ RADYE KULLANIMININ
TASARIMA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah KABATAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Bilim Dalı

TEMMUZ 2025

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAZIKLI TEMELDE ÇİFTLİ RADYE KULLANIMININ
TASARIMA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah KABATAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sedat SERT

TEMMUZ 2025

Abdullah KABATAŞ tarafından hazırlanan “Kazıklı Temelde Çiftli Radye Kullanımının Tasarıma Etkileri” adlı tez çalışması 07.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Prof. Dr. Ertan BOL Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Prof. Dr. Sedat SERT (Danışman) Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi Kurban ÖNTÜRK Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “KAZIKLI TEMELDE ÇİFTLİ RADYE KULLANIMININ TASARIMA ETKİLERİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(07/07/2025)

Abdullah KABATAŞ



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi ve tamamlanması sürecinde sağladığı akademik rehberlik ve değerli katkılarından dolayı Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Sedat SERT'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, çalışmam boyunca gösterdiği sabır, anlayış ve manevi desteğiyle her zaman yanımda olan eşim Özlem SARI KABATAŞ'a gönülden sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Beni hep okumaya ve öğrenmeye teşvik eden, maddi ve manevi desteklerini çocukluğumdan beri üzerimden eksik etmeyen başta merhum babam Tekin KABATAŞ'a ve sonrasında annem Hatice KABATAŞ'a da ayrıca şükranlarımı sunarım.

Abdullah KABATAŞ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	3
2.1. Temel ve Temel Çeşitleri.....	3
2.1.1. Yayılı temel	3
2.1.2. Kazıklı temeller.....	4
2.2. Temel Tasarımında Önemli Hususlar	5
2.2.1. Zemin parametreleri	6
2.2.2. Yapı parametreleri	7
2.2.3. Zemin-temel-yapı etkileşimi	8
2.3. Temellerin Sağlaması Gereken Şartlar	10
2.3.1. Taşıma gücü	10
2.3.2. Oturma	11
2.3.3. Ekonomik olma	13
2.4. Zeminlerde Sıvılaşma.....	13
2.5. Yayılı Temellerde Taşıma Gücü Hesabı	14
2.6. Yayılı Temellerin Oturma Hesabı.....	15
2.7. Kazıklı Temeller	15
2.7.1. Kazıklı temellerin kullanım alanları	16
2.7.2. Kazıklı temellerin sınıflandırılması	17
2.7.3. Kazıkların yük aktarım mekanizması	18
2.7.4. Kazıkların kapasitesi	20
2.7.5. Kazıkların grup davranışı.....	23
2.8. Kazıklı Yayılı Temeller	25
2.8.1. Kazıklı yayılı temellerin kullanım alanları	26
2.8.2. Kazıklı yayılı temellerin hesap ve tasarımı.....	27
2.8.3. Kazıklı yayılı temellerde yapı zemin etkileşimi	28
2.9. Sonlu Elemanlar Yöntemi	29
2.9.1. PLAXIS 2D/3D yazılımları	30
3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	33
4. YÖNTEM.....	43
4.1. Zemin, Temel ve Kazık Özellikleri	43
4.2. PLAXIS 3D ile Çözüm Aşamaları	44

5. ANALİZ SONUÇLARI.....	51
5.1. Faz-3 Yükleme Modeline Göre Kazıkların Yatay Deplasman (U_x , mm) Değerleri.....	51
5.2. Kazıkların Düşey Deplasman (U_z , mm) Değerleri	63
5.3. Kazıkların Eksenel Kuvvet Tesir (N , kN) Değerleri	76
5.4. Kazıkların Kesme Kuvvet Tesir (Q_{13} , kN) Değerleri.....	81
5.5. Kazıkların Dönme Moment Tesir (M_3 , kNm) Değerleri.....	89
5.6. Kazıkların Sürtünme Kuvveti Tesir (T_{skin}) Değerleri	95
6. SONUÇ.....	103
KAYNAKÇA.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	113



KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
CRR	: Çevrimsel Dayanım Oranı
CSR	: Çevrimsel Gerilme Oranı
ÇYT	: Çiftli Yayılı Temel
FEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
SYT	: Sadece Yayılı Temel
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği



SİMGELER

A_p	: Kazık ucu kesit alanı [m ²]
B	: Temel genişliği [m]
C_R	: Tij boyu düzeltme katsayısı
C_S	: Numune alıcı tipi düzeltme katsayısı
C_B	: Sondaj delgi çapı düzeltme katsayısı
C_E	: Enerji oranı düzeltme katsayısı
D	: Kazık çapı [m]
D_f	: Gömme derinliği [m]
D_r	: Bağlı birim hacim ağırlık
E_t	: Teğet elastisite modülü [kPa]
E_d	: Temel zemin rijitlik modülü [kPa]
I	: Kirişe ait atalet momenti [kNm ²]
F_{cs}, F_{qs}, F_{γs}	: Temel şekil faktörleri
F_{cd}, F_{qd}, F_{γd}	: Temel derinlik faktörleri
F_{ci}, F_{qi}, F_{γi}	: Yük eğim faktörleri
G.S.	: Güvenlik katsayısı
H	: Temel yüksekliği [m]
K_r	: Temel rölatif rijitliği
L	: Temel uzunluğu [m]
L_b	: Kazık gömülme derinliği [m]
L_k	: Kazık boyu [m]
M	: Moment [kNm]
M_x	: X yönünde etki eden moment [kNm]
M_y	: Y yönünde etki eden moment [kNm]
M₃	: Dönme momenti tesirleri [kNm]
N	: Eksenel basınç kuvvet tesirleri [kN]
N₃₀	: SPT Saha değeri
N₆₀	: SPT Saha değerinin düzeltilmiş hali
T_{skin}	: Sürtünme kuvveti tesirleri [kN]
U_z	: Düşey deplasman [m]

U_x	: Yatay deplasman [m]
V_p	: Zeminin birincil dalga hızı [m/sn]
V_s	: Zeminin ikincil dalga hızı [m/sn]
Q	: Yapının sabit ve hareketli yük toplamı [kN]
Q_u	: Kazığın nihai taşıma kapasitesi [kN]
$Q_{uç}$	: Kazık ucu taşıma kapasitesi [kN]
Q_s	: Kazık çevre sürtünme direnci [kN]
Q_{top}	: Kazık toplam taşıma kapasitesi [kN]
$Q_g(v)$	: Kazık grubunun taşıma gücü [kN]
$Q(v)$	: Tekil kazık taşıma gücü [kN]
Q_{13}	: Kesme kuvveti tesirleri [kN]
β	: Açısal dönme
c	: Kohezyon [kPa]
c'	: Efektif kohezyon [kPa]
c_r	: Kritik penetrasyon derinliği [m]
c_u	: Drenajsız kayma mukavemeti [kN/m ²]
η	: Kazık grup verimi
p	: Kazık çevresi [m]
s	: Merkezden merkeze kazıklar arası mesafe [m]
q_u	: Temelin nihai taşıma gücü [kN/m ²]
q_a	: Temelin güvenli taşıma gücü [kN/m ²]
q_t	: Temel taban gerilmesi [kN/m ²]
q_p	: Kazık uç birim direnci [kN/m ²]
q'	: Düşey efektif gerilme [kN/m ²]
$e_{x,y}$	: Eksantrisite [m]
y_m	: Yatay genişleme miktarı [m]
θ	: İçsel sürtünme açısı
ΔH	: Toplam oturma miktarı [m]
δ	: Farklı oturma miktarı [m]

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Betonarme Yapılar için Kabul Edilen Oturma Değerleri.....	12
Tablo 2.2. Çeşitli Kazık Tiplerinin Avantajları ve Dezavantajları.....	20
Tablo 2.3. Terzaghi Taşıma Gücü Faktörleri.	21
Tablo 2.4. Meyerhof Teorisi için N_q Değerleri.	22
Tablo 4.1. Modelde Kullanılan Zemin, Kazık, Temel ve Ara Yüzey Özellikleri.	44
Tablo 4.2. Faz-1 Yükleme Modelleri.....	47
Tablo 4.3. Faz-2 Yükleme Modelleri.....	49
Tablo 4.4. Faz-3 Yükleme Modelleri.....	50
Tablo 5.1. K1 Kazığı Yatay Deplasman Değerleri (mm).....	52
Tablo 5.2. K2 Kazığı Yatay Deplasman Değerleri (mm).....	54
Tablo 5.3. K3 Kazığı Yatay Deplasman Değerleri (mm).....	56
Tablo 5.4. K4 Kazığı Yatay Deplasman Değerleri (mm).....	57
Tablo 5.5. K1 Kazığı Düşey Deplasman Değerleri (mm).	65
Tablo 5.6. K2 Kazığı Düşey Deplasman Değerleri (mm).	66
Tablo 5.7. K3 Kazığı Düşey Deplasman Değerleri (mm).	67
Tablo 5.8. K4 Kazığı Düşey Deplasman Değerleri (mm).	68
Tablo 5.9. K1 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Değerleri (kN).....	77
Tablo 5.10. K2 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Değerleri (kN).....	78
Tablo 5.11. K3 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Değerleri (kN).....	80
Tablo 5.12. K4 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Değerleri (kN).....	81
Tablo 5.13. K1 Kazığı Kesme Kuvvet Değerleri (kN).	83
Tablo 5.14. K2 Kazığı Kesme Kuvvet Değerleri (kN).	85
Tablo 5.15. K3 Kazığı Kesme Kuvvet Değerleri (kN).	87
Tablo 5.16. K4 Kazığı Kesme Kuvvet Değerleri (kN).	89
Tablo 5.17. K1 Kazığı Eğilme Momenti Değerleri (kNm).....	90
Tablo 5.18. K2 Kazığı Eğilme Momenti Değerleri (kNm).....	92
Tablo 5.19. K3 Kazığı Eğilme Momenti Değerleri.	93
Tablo 5.20. K4 Kazığı Eğilme Momenti Değerleri (kNm).....	95
Tablo 5.21. K1 Kazığı Sürtünme Kuvveti Değerleri (kN/m).	96
Tablo 5.22. K2 Kazığı Sürtünme Kuvveti Değerleri (kN/m).	98
Tablo 5.23. K3 Kazığı Sürtünme Kuvveti Değerleri (kN/m).	100
Tablo 5.24. K4 Kazığı Sürtünme Kuvveti Değerleri (kN/m).	101



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Temel Çeşitleri.....	3
Şekil 2.2. Kazıklı Temel (Uzuner, 2013).	5
Şekil 2.3. Taşıma Gücü Değerlendirmesinde Oturma Kriteri (Çinicioğlu, 2005).	7
Şekil 2.4. Yapı-Zemin Rölatif Rijitliklere Bağlı Oturma Şekilleri (Kökten, 2008).	7
Şekil 2.5. Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi (Çetin ve ark., 2014).	9
Şekil 2.6. Sağlam ve Yumuşak Zeminlerde Hareket (Çetin ve ark., 2014).	9
Şekil 2.7. Zeminde Kayma Kırılmaları (Uzuner, 2023).	11
Şekil 2.8. Temelde Oturma Gösterimi (Uzuner, 2023).	12
Şekil 2.9. Yüzeysel Temellerin Göçme Mekanizması (Ateş ve Şadoğlu, 2020).	14
Şekil 2.10. Farklı Zeminlerde Temel Davranışı (Birand, 2007).	15
Şekil 2.11. Kazık Temellerin Kullanımı (Das, 1999).	17
Şekil 2.12. Uç Kazığı ve Sürtünme Kazığı (Birand, 2007).	18
Şekil 2.13. Kazıklar İçin Yük Aktarım Mekanizması (Das, 1999).	19
Şekil 2.14. Birim Uç Direncinin, Kritik Gömme Derinliği İlişkisi.	22
Şekil 2.15. Kazık Gruplarında Oluşan Basınç Soğanları Etkileşimi (Birand, 2007).	24
Şekil 2.15. Kazıklı Yayılı Temel (Uzuner, 2011).	25
Şekil 2.16. Tipik Bir Kazıklı Yayılı Temel Görseli.....	27
Şekil 2.17. a) Düzlem Gerilme. b) Eksenel Simetrik (PLAXIS, 2024).	30
Şekil 2.18. (a) PLAXIS 2D'de 15 Düğümlü Zemin Elemanı, (b) 6 Düğümlü Zemin Elemanı, (c) PLAXIS 3D'de Tipik 3B Zemin Elemanı (PLAXIS, 2024).	31
Şekil 4.1. PLAXIS 3D Zemin Profili.....	43
Şekil 4.2. (a) Model Elemanları. (b) Sonlu Eleman Ağının Görünüşü.	44
Şekil 4.3. Tekli ve Çiftli Yayılı Temel.....	45
Şekil 4.4. Seçilen Kazıklar.....	45
Şekil 4.5. Başlangıç Fazı Ayarları ve Görüntüsü.	46
Şekil 4.6. Faz-1 Ayarları ve Görüntüsü.....	46
Şekil 4.7. Faz-1 PLAXIS Modeli.....	47
Şekil 4.8. Faz-2 Ayarları ve Görüntüsü.....	48
Şekil 4.9. Faz-2 PLAXIS Modeli.....	48
Şekil 4.9. Faz-3 Ayarları ve Görüntüsü.....	49
Şekil 4.7. Faz-3 PLAXIS Modeli.....	50
Şekil 5.1. K1 Kazığı Yatay Deplasman Grafiği.	52
Şekil 5.2. K1 Kazığı Çapa Bağlı Yatay Deplasman Grafiği.	53
Şekil 5.3. $D_f=0$ m, $D=60$ cm, Kazıklardaki Yatay Deplasman Durumu.	53
Şekil 5.4. K2 Kazığı Yatay Deplasman Grafiği.	54
Şekil 5.5. K3 Kazığı Yatay Deplasman Grafiği.	55
Şekil 5.6. K4 Kazığı Yatay Deplasman Grafiği.	57
Şekil 5.7. Faz-3 $D_f=0$ m, SYT Yatay Deplasmanlar.....	58
Şekil 5.8. Sistemin Merkezindeki Yatay Deplasman Değerleri.	58
Şekil 5.9. Faz-3, $D_f=0$ m için Sistemin Merkezindeki Kesitlerde Yatay Deplasmanlar.	59
Şekil 5.10. Faz-3, $D_f=1$ m, SYT Yatay Deplasmanlar.....	60

Şekil 5.11. Faz-3, $D_f=1$ m, Sistemin Merkezindeki Yatay Deplasman Değerleri.	60
Şekil 5.12. Sistemin Merkezindeki Yatay Deplasman Değerleri.	61
Şekil 5.13. $D_f=1$ m, Sistemin Merkezindeki Kesitlerde Yatay Deplasmanlar.	61
Şekil 5.14. SYT Sisteminin Merkezindeki Kesitler.	62
Şekil 5.15. ÇYT Sisteminin Merkezindeki Kesitler.	63
Şekil 5.16. K1 Kazığı Düşey Deplasman Grafiği.	64
Şekil 5.17. K2 Kazığı Düşey Deplasman Grafiği.	66
Şekil 5.18. K3 Kazığı Düşey Deplasman Grafiği.	67
Şekil 5.19. K4 Kazığı Düşey Deplasman Grafiği.	68
Şekil 5.20. $D_f=0$ m, SYT Altında 60 cm Çaplı Kazık Takviyeli Durum.	69
Şekil 5.21. $D_f=0$ m, Sistemin Merkezindeki Düşey Deplasman Değerleri.	70
Şekil 5.22. Sistemin Merkezindeki Düşey Deplasman Değerleri.	70
Şekil 5.23. $D_f=0$ m, Sistemin Merkezindeki Düşey Deplasman Durumu.	71
Şekil 5.24. $D_f=1$ m, SYT Altında 60 cm Çaplı Kazık Takviyeli Durum.	72
Şekil 5.25. $D_f=1$ m, Sistemin Merkezindeki Düşey Deplasman Değerleri.	72
Şekil 5.26. $D_f=1$ m, Sistemin Merkezindeki Düşey Deplasman Durumu.	73
Şekil 5.27. SYT Sisteminin Merkezindeki Düşey Deplasman Durumu.	74
Şekil 5.28. ÇYT Sisteminin Merkezindeki Düşey Deplasman Durumu.	75
Şekil 5.29. Sistemin Merkezindeki Düşey Deplasman Durumu.	76
Şekil 5.30. K1 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Grafiği.	77
Şekil 5.31. K2 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Grafiği.	78
Şekil 5.32. K3 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Grafiği.	79
Şekil 5.33. K4 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Grafiği.	81
Şekil 5.34. K1 Kazığı Kesme Kuvvet Grafiği.	83
Şekil 5.35. K1 Kazığı Çapa Bağlı Kesme Kuvvet Grafiği.	83
Şekil 5.36. $D_f=0$ m, $D=60$ cm Çaplı Kazıklara Etki Eden Kesme Kuvveti.	84
Şekil 5.37. K2 Kazığı Kesme Kuvvet Grafiği.	85
Şekil 5.38. K3 Kazığı Kesme Kuvvet Grafiği.	87
Şekil 5.39. K4 Kazığı Kesme Kuvvet Grafiği.	88
Şekil 5.40. K1 Kazığı Eğilme Momenti Grafiği.	90
Şekil 5.41. K1 Kazığı Çapa Bağlı Eğilme Momenti Grafiği.	90
Şekil 5.42. $D_f=0$ m, $D=60$ cm Çaplı Kazıklara Etki Eden Eğilme Momenti.	91
Şekil 5.43. K2 Kazığı Eğilme Momenti Grafiği.	92
Şekil 5.44. K3 Kazığı Eğilme Momenti Grafiği.	93
Şekil 5.45. K4 Kazığı Eğilme Momenti Grafiği.	94
Şekil 5.46. K1 Kazığı Sürtünme Kuvveti Grafiği.	96
Şekil 5.47. K1 Kazığı Çapa Bağlı Sürtünme Kuvveti Grafiği.	97
Şekil 5.48. $D_f=0$ m, $D=60$ cm Çaplı Kazıklara Etki Eden Sürtünme Kuvveti.	97
Şekil 5.49. K2 Kazığı Sürtünme Kuvveti Grafiği.	98
Şekil 5.50. K3 Kazığı Sürtünme Kuvveti Grafiği.	100
Şekil 5.51. K4 Kazığı Sürtünme Kuvveti Grafiği.	101

KAZIKLI TEMELDE ÇİFTLİ RADYE KULLANIMININ TASARIMA ETKİLERİ

ÖZET

Radye (yayılı) temeller, yapısal yükleri geniş bir alana yayarak özellikle yüksek katlı yapılar için etkili bir taşıma sistemi sunarlar. Bu sayede, farklı oturma riskleri ve zeminden kaynaklı yapısal sorunların oluşma olasılığı azaltılır. Kazıklı temeller, kayma direnci düşük zeminlerde, yapısal yüklerin daha derin seviyelerde yer alan yüksek kayma dirençli ortamlara güvenli bir şekilde aktarılmasını amaçlayan bir temel sistemidir. Yayılı temellerin taşıma gücü ve oturma kontrolü açısından yetersiz kaldığı zemin koşullarında tercih edilen bu sistemler, farklı oturma, zemin kaymaları ve benzeri geoteknik sorunların etkilerini azaltarak, yapının taşıyıcı sistem performansını ve genel stabilitesini önemli ölçüde iyileştirmektedirler. Kazıklı yayılı temeller ise ana amacı farklı oturmaları azaltmak olan ve kazıklar ile yayılı temel plağının taşıma görevini birlikte üstlendiği hibrit temel sistemleridir. Bu sistemler sınırlı sayıda kazık kullanılarak yapısal yüklerin hem yüzeysel zemine hem de derin taşıyıcı katmanlara etkin biçimde aktarılmasını sağlarlar. Bu sayede, oturma davranışı daha kontrollü bir şekilde yönetilirken taşıma kapasitesi de artırılmış olur. Bu çalışmada, iki farklı gömme derinliğinde ($D_f=0$ m ve $D_f=1$ m) bulunan, farklı çapta ($D=60$ cm, $D=80$ cm, $D=100$ cm), 10 m boyunda, $s=3$ m sabit aralıklı, 49 adet kazık içeren, 20 m x 20 m x 1 m ve 20 m x 20 m x $(1+0.4)$ m boyutlarındaki kazıklı yayılı temel sistemi incelenmiştir. Tezin analiz kısımlarında, temel altında seçilmiş olan dört adet kazığın, farklı yükleme koşulları altında; N (kN) eksenel basınç kuvvet tesirleri, Q_{13} (kN) kesme kuvveti tesirleri, M_3 (kNm) dönme momenti tesirleri, T_{skin} (kN/m) sürtünme kuvveti tesirleri, U_z (mm) düşey deplasman değerleri ve U_x (mm) yatay deplasman değerlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Analizler, sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan PLAXIS 3D programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler sonrasında, temel gömme derinliği 1 m olduğunda düşey deplasman (U_z) değerlerinde yüzeyde oturan temele göre %18-52'ye varan azalmalar gözlemlenmiştir. Temel gömme derinliğinin artmasıyla birlikte kesme kuvveti Q_{13} değerlerinde %7-12 azalma olduğu gözlemlenmiştir. Kazıklarla yapılan takviyenin, yayılı temelin düşey oturmasını %75-80 oranında, yatay ötelenmesini ise %15 oranında azaltıcı etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Çiftli yayılı temel altında (U_x) yatay deplasmanların, tekli yayılı temele göre %8-21 oranında daha küçük olduğu görülmüştür. Kazıklardaki kuvvet tesirlerinin kazık başlarında büyük değerler aldığı görülmüş olup kazık başlarının tasarımına ayrıca dikkat edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma; yayılı temel sisteminin ve temel gömme derinliğinin yayılı temel ve kazıklar üzerindeki etkisinin önemini de teyit etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yayılı temel, Kazıklı temel, Kazıklı yayılı temel, Kazık-temel-zemin etkileşimi, Temellerde deplasmanlar.



DESIGN EFFECTS OF THE USE OF DOUBLE RAFT IN PILED FOUNDATION

SUMMARY

Mat/raft foundations are one of the most widely adopted shallow foundation systems in structural engineering, primarily due to their ability to distribute applied loads over a relatively large soil contact area. This load distribution capability significantly reduces stress concentrations in the underlying soil, thereby lowering the likelihood of excessive settlement and differential settlement between different parts of a structure. By providing a broad bearing surface, mat/raft foundations can minimize non-uniform deformation in the subgrade and enhance the long-term serviceability of structures. For high-rise buildings and heavy structures, this method offers notable benefits in terms of stability and economy when soil conditions are favorable.

However, the performance of mat/raft foundations is highly dependent on the mechanical properties of the foundation soil, including its shear strength, compressibility, and consolidation characteristics. In situations where the near-surface soils possess low bearing capacity or are prone to large settlements, mat/raft foundations alone may not provide adequate performance.

In such problematic ground conditions, deep foundation systems, particularly pile foundations, become a preferred solution. Pile foundations function by transferring structural loads through weak upper layers into deeper strata that possess higher strength and stiffness. This load transfer can occur through end-bearing resistance at the pile tip, skin friction along the pile shaft, or a combination of both.

The primary advantage of piles lies in their ability to bypass weak layers and engage more competent soil or rock, thus reducing settlement magnitudes and enhancing structural stability. In addition, pile foundations provide resistance against lateral loads and overturning moments, making them suitable for sites subjected to significant horizontal forces from wind, seismic activity, or earth pressure. Despite these advantages, pile foundations can be cost-intensive, and their design requires careful consideration of soil-structure interaction effects.

A hybrid approach that combines the benefits of shallow and deep foundations is the piled raft foundation system. In this configuration, a raft footing is used in conjunction with a strategically arranged group of piles. The raft and piles act together to share the applied loads, with the piles reducing the settlement of the raft and the raft providing additional load distribution. This method allows for a reduction in the total number of piles compared to a fully piled foundation, resulting in cost savings while maintaining performance. The raft in a piled raft system can also bridge between piles, redistributing loads in case of differential pile settlement.

By combining both systems, designers can achieve improved bearing capacity, reduced settlements, and more uniform load sharing between foundation elements.

In the present study, the performance of piled raft foundations was examined through numerical simulations, focusing on the influence of raft embedment depth and pile geometry on load transfer and deformation behavior. Two raft thickness configurations were considered: $20\text{ m} \times 20\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ and $20\text{ m} \times 20\text{ m} \times (1+0.4)\text{ m}$.

Each raft was supported by 49 piles, each with a length of 10 m, installed at a constant center-to-center spacing of $s = 3\text{ m}$. Three pile diameters-D60 cm, D80 cm, and D100 cm-were evaluated. To investigate the role of raft embedment, two embedment depths were modeled: $D_f = 0\text{ m}$, representing a surface-mounted raft, and $D_f = 1\text{ m}$, representing a raft partially embedded into the ground. The analysis focused on four selected piles representative of different positions within the foundation layout. Performance metrics included axial compression forces (N , kN), shear forces (Q_{13} , kN), bending moments (M_3 , kNm), skin friction forces (T_{skin} , kN/m), vertical displacements (U_z , mm), and horizontal displacements (U_x , mm). The numerical modeling was performed using the finite element software PLAXIS 3D, which is widely recognized in geotechnical engineering for its ability to capture complex soil-structure interaction effects.

The simulation results demonstrated a clear influence of embedment depth on foundation performance. Increasing the raft embedment depth from 0 m to 1 m yielded significant reductions in vertical displacement, with U_z decreasing by approximately 18-52% depending on pile diameter and loading scenario.

The increased embedment provided additional confinement to the soil beneath and around the raft, enhancing stiffness and reducing deformation. Shear forces (Q_{13}) also decreased by 7-12% with greater embedment, indicating a beneficial reduction in lateral load effects transmitted to the piles. These findings highlight the importance of considering partial embedment in raft design, particularly in cases where controlling settlement is a priority.

The use of piles in conjunction with the raft proved highly effective in controlling both vertical and horizontal movements. Compared to an unpiled raft foundation, the piled raft reduced vertical settlements by approximately 75-80% and horizontal displacements by around 15%. The analysis also revealed differences between single and double raft configurations. In double raft systems, horizontal displacements (U_x) were observed to be 8-21% smaller than in single raft systems under equivalent loading. This suggests that double raft systems offer enhanced stiffness and load distribution characteristics, making them advantageous in applications where lateral stability is critical.

A notable finding from the analysis was the concentration of force effects near the pile heads. Axial forces, bending moments, and shear forces all reached peak values at or near the pile-raft interface. This concentration underscores the need for detailed structural design in the pile head region to ensure adequate strength and durability under service loads. Neglecting this aspect could lead to overstressing and potential structural deficiencies in the long term.

Overall, the results of this study confirm that both raft embedment depth and the use of a hybrid piled raft configuration significantly influence foundation performance. Deeper raft embedment improves settlement control and reduces shear demands, while the inclusion of piles enhances overall stiffness and load-carrying capacity. The hybrid piled raft system offers an efficient solution for challenging soil conditions, allowing for performance improvements without the full cost burden of a fully piled foundation.

These insights can guide the optimization of foundation designs for high-rise buildings and other structures in geotechnically complex environments, promoting both safety and cost-effectiveness in structural engineering practice.

Keywords: Raft foundation, Pile foundation, Piled raft foundation, Pile-raft-soil interaction, Foundation displacements.





1. GİRİŞ

Üstyapıdan gelen yükler prensip olarak öncelikle yüzeysel temellere taşıtılır. Radye (yayılı) temeller, yüzeysel temeller arasında en uç durumlarda tercih edilen seçenek olmakla birlikte yükselen yapılar ve dinamik etkiler nedeniyle yüzeysel temeller içinde kullanımları öncelenmektedir. Daha da ötesi artan nüfus, yerleşimlerin görece zayıf zeminler üzerine kurulmasını gerektirebilmekte ve bazı durumlarda zemin iyileştirmesi yanında derin temellere ihtiyaç ta doğmaktadır. Derin temellerin ana temsilcisi olan kazıklar, üst yapıdan ve diğer etkenlerden kaynaklanan yükleri aşağıdaki zeminlere aktarma işlevi görmektedirler. Tarihsel olarak kullanılmış olan kazıklar ve kazıklı temeller, yüksek maliyetli olmalarına rağmen düşük kayma direncine sahip zeminlerde yapılan inşaatlarda en etkili çözüm olarak değerlendirilmektedir. Kazıklar, üzerlerine gelen diğer yüklerle birlikte üst yapıdan aktarılan momentlere, kesme kuvvetlerine ve eksenel basınç kuvvetlerine direnç göstermektedir.

Çok sayıda kazıktan oluşan temel sistemlerinde her bir kazığın üzerine gelecek farklı yük miktarını ve her bir kazığın oturma miktarını hesaplama ihtiyacı bulunmaktadır. Bu hesaplamalar için tekil kazık ve zemin arasındaki gerilmelerin gösterildiği diyagramlar gerekmektedir. Ayrıca yüklerin kazık başından kazık ucuna kadar nasıl transfer edildiğinin bilinmesi de gerekmektedir.

Yayılı temeller üzerine etki eden yapısal yükler, temelin göçmesine neden olmakta veya aşırı oturmalar oluşturmaktaysa kazıklı temellerin kullanımı genellikle tercih edilen bir yöntem olmaktadır. Bu metot sayesinde yapısal yüklerin büyük bir kısmı etkin bir şekilde sağlam ortama aktarılmakta ve göçmenin önlenmesi yanında hem toplam oturmalar hem de farklı oturmalar azaltılmaktadır. Özellikle yüksek yapılar için kazıklı temeller, yapısal yüklemelerdeki eksantrisite ya da temel alanı boyunca zemindeki beklenmedik rijitlik değişiklikleri sebebiyle meydana gelebilecek dönmelerin olasılığını düşürmektedir. Kazıklı temellerin üç boyutlu doğası nedeniyle bu temellerin detaylı analizi düzlem yayılı temel analizlerine göre çok daha güç olmaktadır. Bu zorluk, çeşitli varsayımlar ve kısıtlamalar üzerine kurulu sayısal analiz metotlarının gelişmesine ve farklı düzeylerdeki yaklaşımların ortaya çıkmasına yol

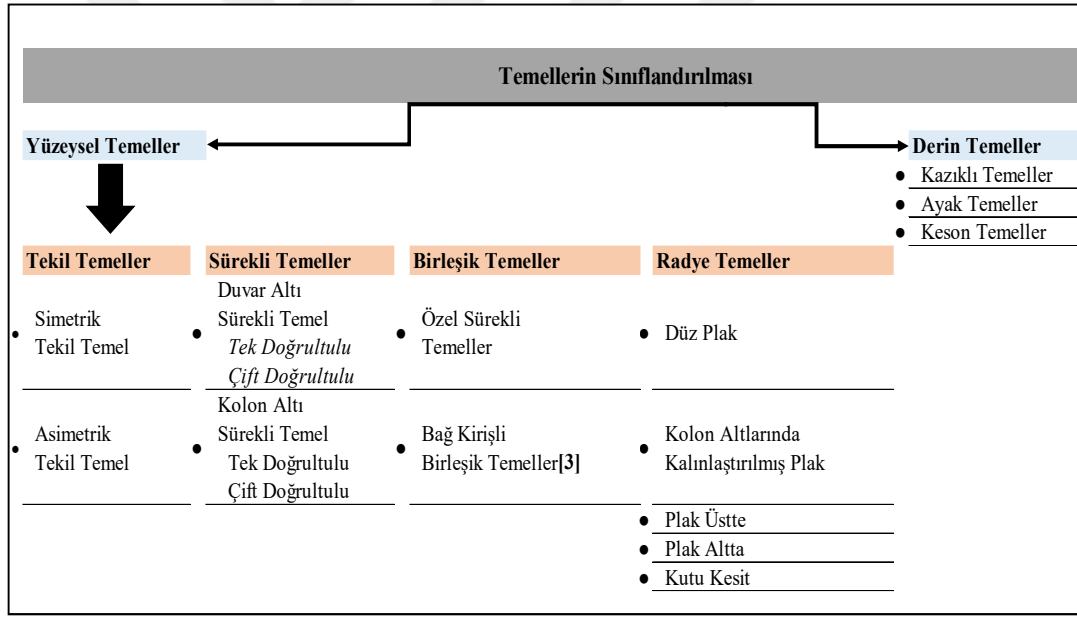
açmaktadır. Genellikle analizler yayılı temel köşeleri altında ve kazık yüzeylerinde oluşan plastik deformasyonlar gibi lineer olmayan yerel etkileri kapsayacak şekilde esnek bir varsayım üzerine kurulmaktadır. Klasik kazıklı temeller yanında zeminin yayılı temeli desteklediği ve kazıkların yalnızca oturmaları azaltıcı elemanlar olarak kullanıldığı kazıklı yayılı temel sistemlerinde bu lineer olmayan etkiler önem taşımaktadır. Çoğu bilgisayar programı, projelerde çeşitli kazık ve tabaka düzenlemelerine uyum sağlayabilen sonlu elemanlar metodunu temel almaktadır. Hem ayrı kazık elemanları ile eşdeğer rijitlik sağlanabilmekte hem de kazık grubu eşdeğer izotropik malzeme özelliklerine sahip bir kazık donatılı blok olarak modellenebilmektedir.

Kazıklı temel ve kazıklı radye (yayılı) temel sistemleri modern yapı teknolojileri arasında önemli yer tutmaktadırlar. Özetle, bu sistemler yapısal yüklerin etkin bir şekilde daha derin ve sağlam zemin katmanlarına aktarılmasını sağlamakta ve böylece yüzeydeki zayıf zeminlerin yaratabileceği riskleri minimize etmektedirler. Bu tip temel sistemlerinde özellikle deprem durumlarında kazık-temel birleşim noktalarında yapısal hasarların oluşabildiği bilinmektedir. Bu noktadan hareketle bu tez çalışmasında kazıklı temel (veya kazıklı yayılı temel) sistemlerinde kazıklar üstünde çiftli yayılı temel kullanımının hem mühendislik açısından hem de ekonomik verimlilik açısından kullanılabilirliği sorgulanmaktadır. Bu çalışmada ele alınan analizler ve kurulan modeller ile, kazıklar üstünde çiftli radye kullanımının bu temel sistemlerinin tasarımına olan potansiyel katkılarının araştırılması amaçlanmaktadır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Temel ve Temel Çeşitleri

Bir yapıda kolon, kiriş, döşeme, perde ve duvar gibi yapı elemanlarından gelen yüklerin bu elemanların kendi ağırlıkları ile birlikte taşınmasını ve zemine güvenilir bir şekilde iletilmesini sağlayan yapısal elemana temel adı verilmektedir. Temeller, yüzeysel temeller ve derin temeller olmak üzere iki ana gruba ayrılır (Şekil 2.1.). Temel tasarımı gerçekleştirilirken zemin özellikleri, temel özellikleri, yapıya etki eden yükler, bu yüklerin neden olabileceği oturmalar, bölgenin sismik riski gibi bir dizi zemin ve yapısal parametre dikkate alınmaktadır.



Şekil 2.1. Temel Çeşitleri.

Yüzeysel temeller kendi içinde dört alt gruba ayrılmış olup bunlar; tekil temeller, sürekli temeller, birleşik temeller ve yayılı (radye) temellerdir. Derin temeller de kazıklı temeller, ayak temeller ve keson temeller olarak üç grupta değerlendirilirler.

2.1.1. Yayılı temel

Zemin çok zayıf olduğunda veya bina alanı boyunca değişkenlik gösterdiğinde yapı temeli tüm kolonlar ve perdeleri tek parça halinde taşımak üzere oluşturulmaktadır. Bu tür birleşik temellere yayılı (radye) temel denilmektedir (Ersoy, 1995). Bu temel türleri

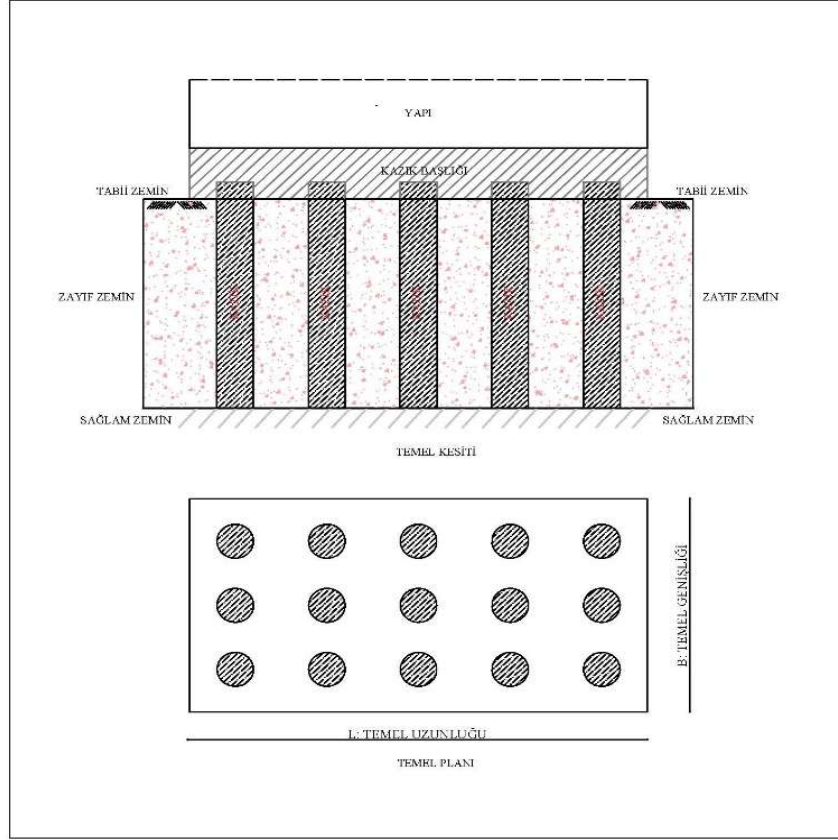
yapı yüklerinin çok yüksek olduğu ve zemin mukavemetinin çok düşük olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Ancak günümüzde yalnızca zayıf zeminlerde değil sağlam zeminlerde de sıklıkla kullanılan bir temel türüdür. Yayılı temeller, özellikle yüksek katlı binalarda tercih edilmekte olup temelde farklı oturma risklerini azaltmaktadırlar. Diğer temel türlerine göre daha fazla temel alanına sahip olduklarından yapı yükünü daha geniş bir alana yayarak zemindeki gerilmeleri azaltmaktadır. Bu nedenden dolayı bu temeller yaygın olarak tercih edilmektedir.

Yayılı temeller kirişli, kirişsiz ve kutu kesit temeller olarak üç ana başlık altında incelenebilmektedir.

2.1.2. Kazıklı temeller

Yapısal yükler, gerekli durumlarda ortamın daha derin ve sağlam katmanlarına kazıklar vasıtasıyla iletilmektedir. Bu kazıklar, sağlam zemine temas eden uçları ya da yan yüzeylerdeki sürtünme kuvveti ile yük aktarımını sağlamaktadır. Belirli aralıklarla zemine yerleştirilen kazıklar, üst bölümlerine monte edilen bağ kirişleri ve ızgaralar aracılığıyla birbirlerine bağlanmaktadır (Özcan, 1994).

Kazıklı temel sistemleri birden fazla kazıktan meydana gelmekte ve bu yapı elemanları kazık grubu olarak adlandırılmaktadır. Kazıklar ahşap, betonarme, çelik gibi malzemelerden imal edilen uzun, silindirik veya prizmatik şekillerdeki yapı elemanlarıdır. Bu kazıklar doğrudan hazır olarak zemine çakılmakta veya çeşitli yöntemlerle zeminde oluşturulan bir boşluğa donatı yerleştirilerek ve beton dökülerek inşa edilmektedir (Şekil 2.2.) (Uzuner, 2013).



Şekil 2.2. Kazıklı Temel (Uzuner, 2013).

2.2. Temel Tasarımında Önemli Hususlar

Temeller üst yapıdan gelen yükleri etkili bir şekilde zemin tabakalarına aktarmaktadır. Zemin, üst yapıdan gelen etkilerle gerilme ve deformasyon yaşamaktadır. Yapı ile temel zemini arasındaki kuvvet aktarımı sadece bu kuvvetlerin büyüklüğü, yönü ve dağılımı ile sınırlı kalmayıp aynı zamanda yapı ve zeminin fiziksel özelliklerinin farklılıklarına da bağlı olmaktadır (Köseoğlu, 1987).

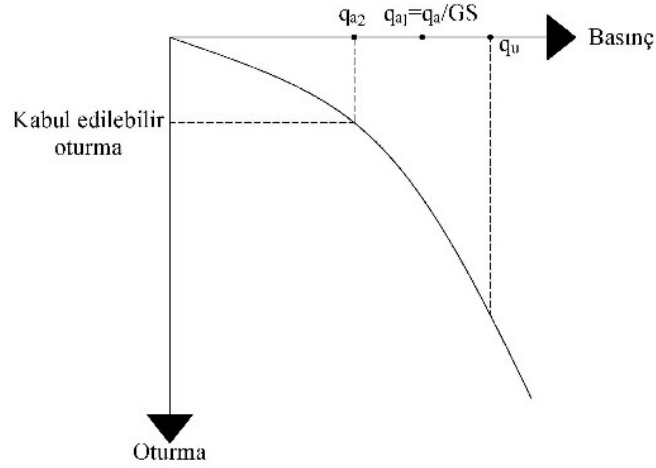
Tasarımın iki ana hedefi bulunmaktadır. İlki yapının yeterli miktarda süneklik göstermesini sağlamaktır. İkinci olarak yapısal boyutlar ve detaylar, uygulanan yüklere dayanıklı bir yapı oluşturmak için dengeli bir şekilde analiz edilmelidir. Temel tasarım sürecinde iklim ve zemin özellikleri ile yapısal parametrelerin detaylı olarak bilinmesi gerekmektedir. Temel tasarım, uygulanan yükler ve deformasyonların etkilerini değerlendirmektedir. Genellikle temele uygulanan yükler sonucunda ortaya çıkan kuvvetler üzerinde belirsizlik bulunmamaktadır. Ancak zemin-yapı etkileşiminin analizindeki farklı metodolojiler, bu kuvvetlerin çeşitli dağılımlarını ve dolayısıyla farklı kuvvet ve moment kombinasyonlarını ortaya çıkarmaktadır. Momentler ve iç kuvvetler arasındaki bu farklılık kalıcı gerilmelere yol açmaktadır. Kalıcı gerilmelerin

geri dönüşümsüz deformasyonlara neden olması önemli bir husustur. Dolayısıyla yapı başlangıçta yeterli sünekliği sağladığı takdirde boyutlandırma esas olarak dışarıdan uygulanan yüklere karşı iç kuvvetler ve momentlerle denge kuracak şekilde yapılmaktadır (Aeberhard ve ark., 1998).

2.2.1. Zemin parametreleri

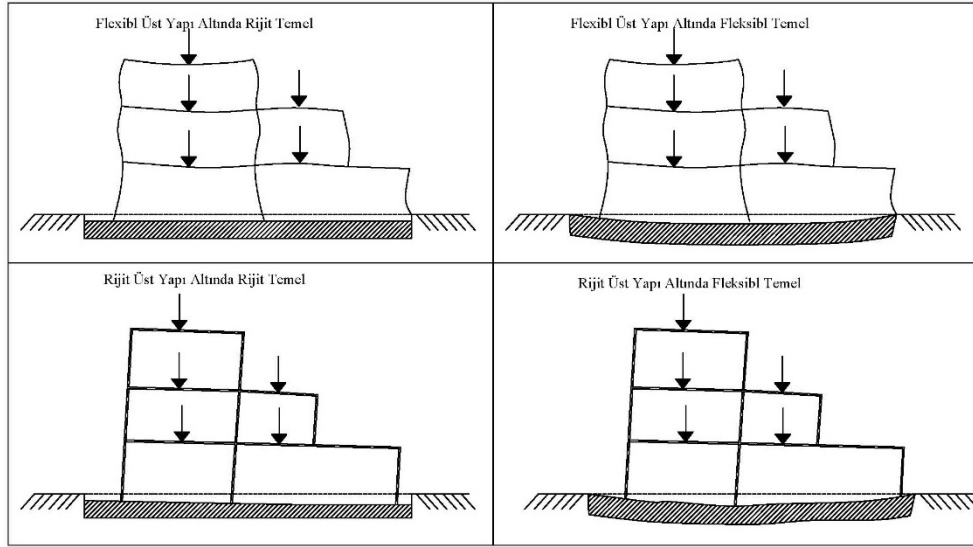
Temellerin taşıma gücü temelin altında yer alan zeminin/kayanın özgül ağırlığı, kayma direnci, başlangıç gerilme durumu ve deformasyon özellikleri gibi mekanik faktörlere bağlıdır. Ayrıca hidrolik koşullar, temelin boyutu, derinliği, tabanın pürüzlülüğü ve üzerine binen yük miktarı gibi özellikler ve kullanılan tasarım metodu da bu kapasiteyi etkilemektedir. Zeminin kayma sırasında ulaştığı maksimum direnç, temelin nihai taşıma gücü (q_u) olarak tanımlanmaktadır. Bu değer, güvenlik katsayısı ile bölündüğünde temel güvenli gerilmesi (q_a) elde edilmektedir. Klasik yaklaşımda güvenlik katsayısı olarak genellikle 3 değeri kabul edilmekle birlikte bu oran tüm zemin tipleri için geçerli olmamaktadır.

Yüzeysel temellerin tasarım sürecinde taşıma gücünün yanı sıra oturmaların miktarı ve hızı ile birlikte zeminin şişme ve büzülme özellikleri de dikkate alınmalıdır. Temelin taşıma kapasitesi, çökme veya farklı oturma olmadan destekleyebileceği maksimum yük miktarını ifade etmektedir (Çinicioğlu, 2005). Zeminde oturma, üzerine binen yükler sonucu hacim değişikliği ile ortaya çıkmaktadır. Düşük geçirgenliğe sahip zeminlerde görülen konsolidasyon bu türden bir oturma örneğidir. Konsolidasyon, zeminin geçirgenliğine bağlı olarak uzun süreler boyunca devam edebilmektedir. Temel, yapının yaklaşık olarak aynı miktarda oturmasına olanak tanıyacak şekilde tasarlanmaktadır. Oturma ile zemin gerilmeleri arasındaki ilişki Şekil 2.3.'te gösterilmektedir (Çinicioğlu, 2005).



Şekil 2.3. Taşıma Gücü Değerlendirmesinde Oturma Kriteri (Çinicioğlu, 2005).

Yüzeysel temellerin tabanındaki oturmaların hesabında temelin zemine göre olan rijitliği önemli bir faktör teşkil etmektedir. Bu bağlamda temel tabanındaki oturmaların doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için temelin zemine oranla rölatif rijitliklerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Rölatif rijitlikler temeldeki oturmaları belirleyen faktörlerden biri olarak Şekil 2.4.'te gösterilmektedir (Kökten, 2008).



Şekil 2.4. Yapı-Zemin Rölatif Rijitliklere Bağlı Oturma Şekilleri (Kökten, 2008).

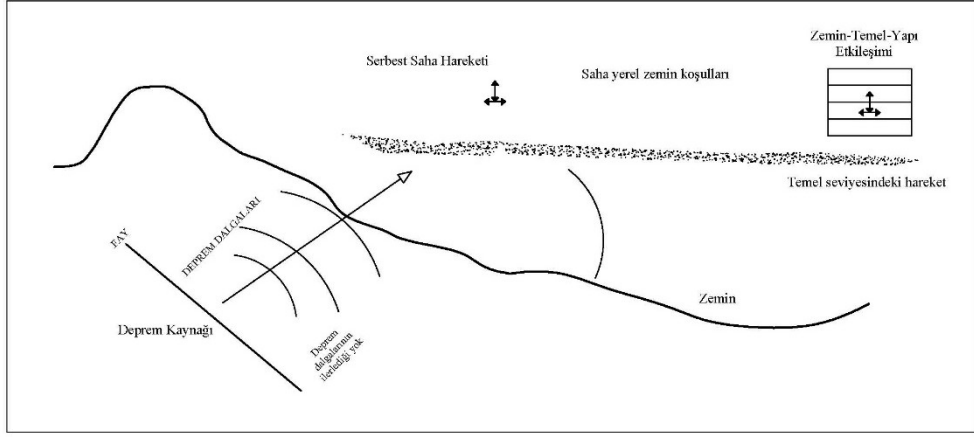
2.2.2. Yapı parametreleri

Temel, zemin ile yapı arasında bir ara eleman olarak işlev görmekte ve yapısal yüklerin zemine aktarılmasını sağlamaktadır. İklim koşullarından kaynaklanan nem değişikliklerinin zeminde yarattığı basıncın da içinde bulunduğu servis yükleri altında

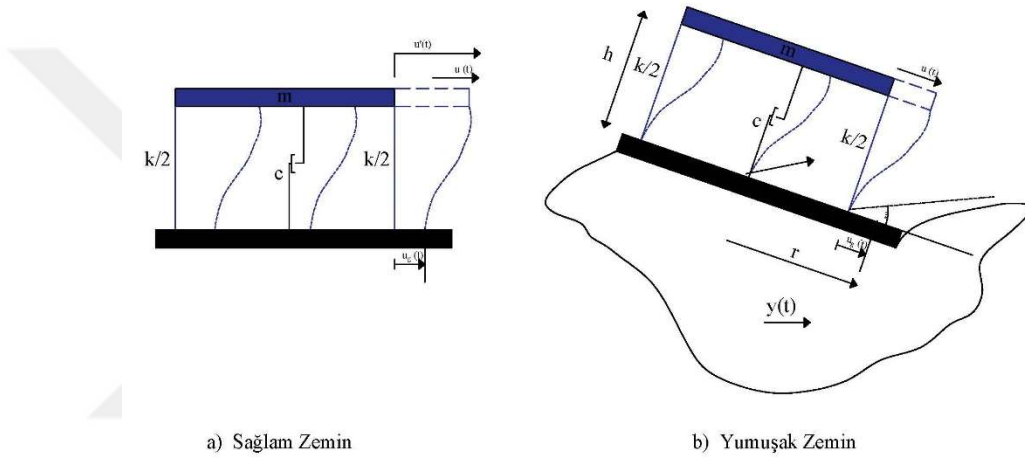
temelde moment, kesme ve eğilme kuvvetleri hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalarda betonun çatlamamış olduğu kabul edilmektedir. Yüklerden kaynaklanan eğilmeler, yapının deformasyon uyumluluğunu koruyacak şekilde minimum temel rijitliğini sağlayacak biçimde sınırlandırılmaktadır. Tasarım aşamasında betonun çatlamamış olacağı varsayılsa da pratikte çoğu temelde kuruma çatlakları meydana gelmektedir. Kuruma ve eğilme çatlaklarının etkileri üzerine yapılan araştırmalar bulunmakta, ancak büzülme çatlaklarının yerleşimi ve yönelimi nedeniyle bunların etkisi göz ardı edilebilmektedir. Temel boyutlandırılması sırasında minimum kalınlık, temel taşıma gücü, kesme ve zımbalama kuvvetleri göz önünde bulundurulmaktadır. Ancak genel bir kural olarak temel kalınlığının belirlenmesinde özellikle zımbalama dayanımı önemli bir rol oynamaktadır (Aeberhard ve ark., 1998).

2.2.3. Zemin-temel-yapı etkileşimi

Deprem sarsıntılarının binalar üzerine olan tesirini değerlendirirken çeşitli parametreler gözetilmektedir. Bu parametreler depremin merkezi, izlenen güzergâh, bölgesel zemin durumları ve yapı-zemin etkileşimidir. Yapısal olarak depremin etkileri hesaba katıldığında yapıların kırılma dinamikleri, fay hattına yakınlık ve depremin şiddeti dikkate alınmaktadır. Deprem dalgalarının yayılma sürecinde güzergâh üzerindeki zemin formasyonları, dalgaların değişim geçirmelerine neden olmaktadır. Yerel zemin şartları, yüzeye ulaşan dalgaların sığ zemin tabakaları tarafından modifiye edilmesi sonucunda yüzeyde serbest zemin hareketinin oluşmasına katkı sağlamaktadır. Zemin ile yapı arasındaki etkileşim, temel ve serbest zemin hareketleri arasındaki farklılıkları kapsamaktadır. Aynı zeminde, aynı temel yapıları kullanılarak inşa edilen ve benzer taşıyıcı sistemlere sahip binalar, değişen deprem şartlarında farklı tepkiler göstermektedir. Bu farklılık, zeminin dinamik karakteristiğinin farklı kayma deformasyonlarında çeşitli değerlere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle sismik etkilere karşı güvenli bir yapı tasarımı gerçekleştirmek için zemin-temel-yapı etkileşimi özenle incelenmelidir (Şekil 2.5. ve 2.6.) (Çetin ve ark., 2014).



Şekil 2.5. Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi (Çetin ve ark., 2014).



Şekil 2.6. Sağlam ve Yumuşak Zeminlerde Hareket (Çetin ve ark., 2014).

Deprem sırasında zemin ve yapı arasındaki etkileşime zemin-yapı etkileşimi adı verilmektedir. Bu etkileşimin derinlemesine incelenmesi için sağlam zemin üzerine oturtulmuş bir yapı ile yumuşak veya gevşek zemin üzerine oturtulmuş aynı yapı arasındaki farklılıkların karşılaştırılması gerekmektedir. Sağlam zemin üzerinde kurulan yapılar, depremden kaynaklanan yatay hareketler sonucu ortaya çıkan taban kesme kuvvetlerinden doğrudan etkilenir ve bu kesme kuvvetleri yapıdaki eylemsizlik kuvvetleriyle denge halindedir. Aynı zamanda yapı tabanında ek bir eğilme momenti meydana gelmektedir. Yumuşak veya gevşek zeminler üzerine inşa edilmiş yapılarda, zemin özelliklerinden kaynaklanan farklılıklar nedeniyle zemin ve yapı arasındaki etkileşim sonucu deprem hareketi ile yapı tabanındaki hareketler arasında belirgin farklar görülmektedir (Siyahi ve ark., 2015). Yapı davranışları, yapısal özellikler ve zemin nitelikleri tarafından belirlenmektedir.

Yapı-zemin etkileşimi, deprem koşulları altında zemin ortamının yapı ile birlikte ele alındığı bir model çerçevesinde yapı ve zeminin karşılıklı olarak birbirini etkilediği süreç olarak tanımlanabilir. Bu etkileşim, genellikle “Doğrudan Yöntem” ve “Altsistem Yöntemi” olmak üzere iki ana yaklaşım kullanılarak analiz edilmektedir. Doğrudan Yöntem, güçlü yer hareketleri altında hem yapıda hem de zeminde meydana gelebilecek non-linear deformasyonların zaman tanım alanında analizini içermektedir. Altsistem Yöntemi ise yapı-zemin dinamik etkileşimini “kinematik etkileşim” ve “eylemsizlik etkileşimi” şeklinde iki bölüme ayırarak incelemektedir (Aydınoglu, 2011; TBDY 2018).

2.3. Temellerin Sağlaması Gereken Şartlar

Temel sistem ve boyutlarının tespit edilmesi sürecinde taşıyıcı sistemin etkilerinin yanı sıra zeminin özelliklerinin de dikkate alınması zorunludur. Temel sistem seçimi yapılırken temelin taşıma gücü, yapısal oturma ve maliyet etkinlik gibi faktörler gözletilmektedir. Bu faktörlerin hepsi bir arada değerlendirildiğinde en uygun temel sistemi belirlenmektedir.

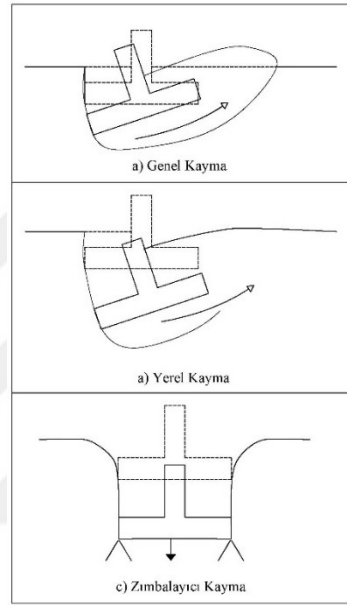
2.3.1. Taşıma gücü

Temel taşıma gücü, zeminin görünür çökme olmaksızın karşı koyabileceği en yüksek gerilme olarak ifade edilebilir (Önalp ve Sert, 2016). Diğer bir ifadeyle temel zemini üzerine aktarılan yüklerin güvenli bir şekilde taşınması gerekmekte olup zeminin kırılma riskine karşı uygun güvenlik tedbirleri alınmalıdır (Uzuner ve ark., 2007). Taşıma gücüne ilişkin şartlar göz önünde bulundurulduğunda temel taban basıncının temel taşıma gücünü geçmemesi esastır (Uzuner, 2023).

$$q_{tmax} \leq q_{amax} \quad (2.1)$$

Güvenli bir temel inşa edebilmenin yolu, temelin yerleştirileceği zeminde herhangi bir kaymanın meydana gelmemesidir. Bu bağlamda temel taşıma kapasitesinin aşılmaması gerektiği de belirtilmektedir (Kanat, 2003). Temel taşıma kapasitesinin belirlenmesinde temel derinliği (D_f), genişliği (B), taşıma gücü katsayıları (N_c , N_q , N_γ), kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) gibi birçok değişkenin etkisi bulunmaktadır. Başka bir tanımla temel taşıma gücünün belirlenmesinde zeminin fiziksel nitelikleri, temel boyutları, temel derinliği, yükün açısı, temel şekli, yeraltı su seviyesinin temele olan mesafesi ve temelin alt yüzeyinin pürüzlülüğü gibi birçok

faktör dikkate alınmaktadır. Bu faktörlerin taşıma kapasitesine etkileri göz ardı edilmemelidir (Uzuner, 2023). Bu unsurlar üzerine yapılan çalışmalar, bilim insanlarının yeni taşıma kapasitesi teorileri geliştirmelerine olanak tanımaktadır. Temel yüklerinin zemin üzerinde meydana getirdiği kayma gerilmeleri, zeminin kayma direncini aştığında, Şekil 2.7’de gösterildiği üzere taşıma gücü kaybı oluşmaktadır (Coduto, 2011). Zemin özelliklerine bağlı olarak genellikle üç tür kırılma gözlemlenmektedir. Bunlar genel kayma kırılması, yerel kayma kırılması ve zımbalama kayma kırılmasıdır.



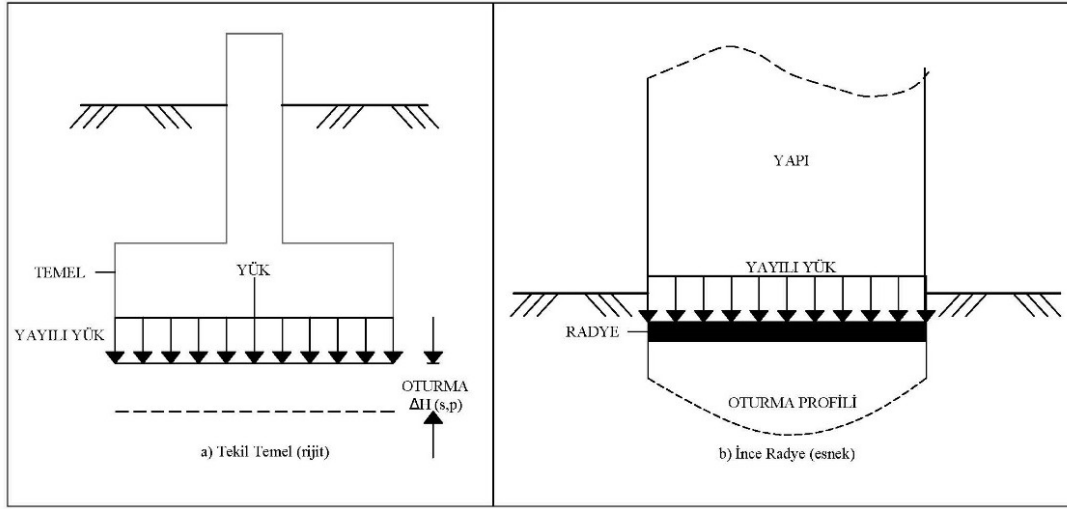
Şekil 2.7. Zeminde Kayma Kırılmaları (Uzuner, 2023).

Genel kayma kırılmaları, çoğunlukla sıkı ya da sert zeminlerde meydana gelmektedir. Bu kırılma türünde yüzeyler keskin ve açıkça belirgin olmaktadır. Kenarlarında ise kabarmalar gözlemlenmektedir. Orta derecede sıkı veya gevşek zeminlerde yerel kayma kırılmaları görülmektedir. Bu kırılma yüzeyleri net olarak ayırt edilememekte ve kenarlarında minimal kabarmalar bulunabilmektedir. Zımbalama kayma kırılmaları, gevşek veya yumuşak zeminlerde ortaya çıkmaktadır. Bu durumda zemin yüzeyinde herhangi bir şekil değişikliği gözlenmemektedir. Aşırı oturma ve taşıma kapasitesinin aşılması, bu tür ortamlarda ayırt edilmesi zor bir durum olabilmektedir (Coduto, 2011).

2.3.2. Oturma

Temellerin oturması genellikle yüklerin zemine etki etmesiyle ve zemin içerisindeki boşluk miktarının azalmasıyla ilişkilendirilmektedir. Bu da yapıların düşey yönde

hareket etmesine yol açmaktadır (Şekil 2.8.) (Uzuner, 2023). Ancak doygun olmayan zemin şartlarında su içeriğinin artmasıyla birlikte hacim genişlemesi gibi durumlar görülebilmekte ve şişen kil zeminler bu duruma örnek gösterilebilmektedir. Yüklerin zemin üzerinde azalmasıyla birlikte zeminin hacimce genişlemesi sonucu özellikle hafif yapılarda kabarmalar meydana gelmektedir. Bu, zeminin yukarı doğru hareket etmesinin bir göstergesidir.



Şekil 2.8. Temelde Oturma Gösterimi (Uzuner, 2023).

Temel tasarım sürecinde önemle ele alınması gereken hususlar arasında oturma miktarı ve oturma hızı bulunmaktadır. Yapıların oturma miktarlarının belirlenen sınırlar içinde kalması gerekmektedir. Tablo 2.1.'de, üst yapıdan gelen yüklerin sebep olduğu temeldeki mutlak veya farklı oturma durumları için kabul edilebilir değerler yer almaktadır (Önalp ve Sert, 2016; Uzuner, 2023).

Tablo 2.1. Betonarme Yapılar için Kabul Edilen Oturma Değerleri.

Ölçüt	Zemin Cinsi	Tekil, Sürekli	Yayılı Temel
Açısal dönme, β	-	1/300	1/300
Maksimum farklı oturma, (mm)	Kil, Kum	40-25	40-25
Maksimum mutlak oturma, (mm)	Kil, Kum	65-40	65-100, 40-65

Tahmini oturma değeri izin verilen oturma değerinden büyükse bu durumda uygulanabilecek çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Temel tasarımının boyutlarını genişleterek oturmaların azaltılması mümkündür. Ayrıca oturmaları minimize etmek için temel tipinin değiştirilmesi düşünülebilir. Zemin stabilizasyonu sağlamak

amacıyla zeminin değiştirilmesi, dolgu yapılması ya da vibro-sıkıştırma gibi farklı teknikler tercih edilebilir (Coduto, 2011).

2.3.3. Ekonomik olma

Temellerin taşıma kapasitesi ve oturma güvenliği sağlanırken maliyetlerin minimizasyonu esas alınmalıdır. Genel yapı maliyetlerinin %20'sine varan oranlarda temel harcamaları gerçekleştirilebilmektedir. İnşaat mühendisleri, projeleri tasarlarken güvenliği önceliklendirerek temel sistemi için en az maliyetli etkin çözümü bulmaya çalışmalıdır. Bu durum, uygun temel tipinin seçilmesi ile mümkün olmaktadır. Temel sistemleri maliyet açısından değerlendirilirse ilk sırada tekil temeller yer almakta, bunu sürekli temeller takip etmekte, ardından yayılı temeller ve en yüksek maliyetli olan kazıklı temeller gelmektedir (Önalp ve Sert, 2016; Uzuner, 2023).

2.4. Zeminlerde Sıvılaşma

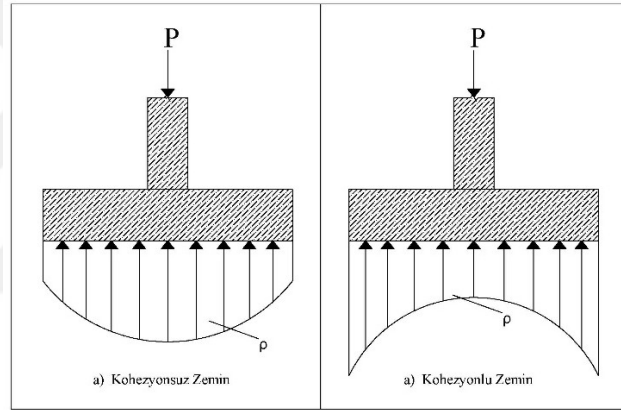
Deprem sonucu artan boşluk suyu basıncı ve efektif gerilmenin azalması, gevşek ve kohezyonsuz zeminlerin kayma mukavemetlerini kısmen ya da tamamen yitirmelerine yol açmaktadır. Özellikle yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu kum tabakalarında gözlenen bu durum, zeminin viskoz sıvıya dönüşmesi sonucunda üstündeki yapıların aşağıya doğru yer değiştirmesiyle veya şevlerde kaymalarla sonuçlanabilmektedir. Sıvılaşma süreci, yükleme çevrimlerinin boşluk suyunun drene olmasına imkân vermeyecek derecede hızlı gerçekleşmesi nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Sıvılaşma, zemindeki boşluk suyu basıncının yükselmesi ve bu durumun efektif gerilmedeki düşüşle eş zamanlı olarak meydana gelmesiyle karakterize edilmektedir. Bu geçici ya da tekrarlanan zemin deformasyonları suyun zemin ortamından uzaklaşmadığı koşullarda meydana gelmektedir. Türkiye, coğrafi konumunun etkisiyle birçok doğal afete maruz kalmıştır ve sismik hareketler nedeniyle ciddi riskler taşımaktadır. Araştırmalar, Türkiye'deki doğal afetler arasında depremlerin en yaygın olduğunu ve bu durumun etkilenen kişi sayısı ve zarar gören yaşam birimleri açısından büyük bir etki yarattığını ortaya koymaktadır. Nitekim yapılan çalışmalarda doğal afet mağdurlarının %58'inin depremlerden etkilendiği saptanmıştır (Kundak ve Kadioğlu, 2011).

Deprem riskine karşı alınacak önlemler genelde iki temel başlık altında incelenebilmektedir. Bunlar yapının şiddetli dinamik yüklere karşı dayanıklılığının artırılması ve yapı ile temelin oturduğu zeminin deprem tarafından uygulanan dinamik

derinlik faktörü ve yük eğimi faktörü sırasıyla $F_{cs}, F_{cd}, F_{ci}, F_{qs}, F_{qd}, F_{qi}, F_{ys}, F_{yd}, F_{yi}$ şeklinde belirtilmektedir. Taşıma kapasitesi faktörleri ise N_c, N_q, N_γ olarak gösterilmektedir.

2.6. Yayılı Temellerin Oturma Hesabı

Yayılı temellerin oturma davranışı, kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin tiplerine göre değişiklik göstermektedir. Kohezyonsuz zeminlerde oturma, üstyapıdan kaynaklanan yüklerin etkisiyle ani bir biçimde meydana gelmektedir. Buna karşın kohezyonlu zeminlerde, özellikle killerde ani oturma miktarı az olmakta, büyük ölçüde birincil ve ikincil konsolidasyon oturmaları bu davranışı şekillendirmektedir. Şekil 2.10.'da kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için farklı temel davranışı verilmiştir (Birand, 2007).



Şekil 2.10. Farklı Zeminlerde Temel Davranışı (Birand, 2007).

2.7. Kazıklı Temeller

Yapısal yüklerin aşırı büyüklükte olması durumunda temel altı zeminleri bu yükleri göçme ya da yüksek deplasman olmadan taşıyamayabilir. Sağlam zemin katmanlarının bulunmaması ya da yüzeysel temeller için zemin iyileştirmesinin ekonomik olmaması halinde, yapıdan kaynaklanan yükler kazıklı temeller aracılığıyla zemine aktarılabilmektedir. Yapı tasarımında benimsenen temel prensip, üst yapı yüklerinin sağlam zemine iletilmesi olarak kabul edilmektedir. Temelin sağlam zemin üzerine konumlandırılması, bu temelin taşıma kapasitesini de artırmaktadır. Bu, derin temellerin kullanımına yönelik başlangıç noktasını oluşturmaktadır. İlk derin temel tasarımları Neolitik Çağ'da insanlar tarafından korunma amacıyla kullanılan ahşap kazıklar olarak gerçekleştirilmiştir ve bu kazıklar tarihin ilk derin temelleri olarak

düşünülmektedir. Zamanla kazıklar özellikle köprü yapımında da tercih edilmiştir. Ahşap kazıkların ardından teknolojinin gelişmesiyle birlikte demir ve çelik kazıklar da imal edilmeye başlanmıştır. Günümüzde betonarme kazıklarla birlikte çelik kazıklar da yaygın olarak kullanılmaktadır (Birand, 2007).

2.7.1. Kazıklı temellerin kullanım alanları

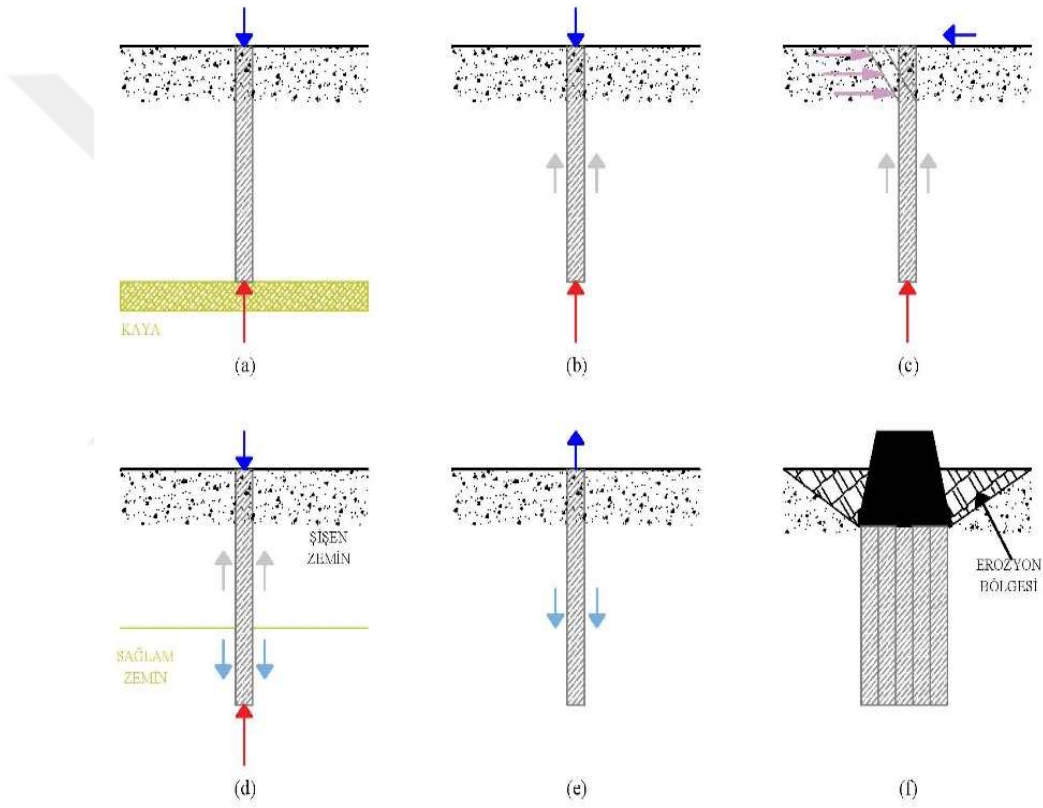
Yapıdan aktarılan yüklerin yüzeysel temeller tarafından taşınabilecek kapasiteden fazla olması halinde derin temeller tercih edilmektedir. Bu durumda kullanılan kazıklar hem yük altındaki temeli desteklemekte hem de zeminin derinleşmesiyle artan ana kaya iyileştirme etkisinden faydalanmaktadır. Yüzeysel temellerin yetersiz kaldığı veya zemin özelliklerinin elverişsiz olduğu durumlarda kazık kullanımı ekonomik bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca kazıklar zeminde meydana gelebilecek olan oturmaları kabul edilebilir sınırlar içinde tutmaktadır. Kazık kullanımının zorunlu olduğu durumlar aşağıdaki gibi sıralanmakta olup (Önalp ve Sert, 2016) kazıklar;

- Yapının çok katlı olması veya üstüne binen yükün ağır olması halinde,
- Zeminin kayma direncinin yetersiz olduğu durumlarda,
- Suyun kaldırma kuvveti oluşturduğu durumlarda veya yüksek yeraltı su seviyeleri durumlarında,
- Şişebilir zeminlerin geçilerek sağlam zemine ulaşılmasının gerektiği durumlarda,
- Köprülerin kenar ve orta ayaklarında, erozyon nedeniyle temel altının oyulması riskine karşı,
- Sıvılaşma potansiyeli taşıyan zeminlerde,
- Deprem yükü taşıma ihtimali yüksek olan zeminlerde kullanılmaktadır.

Das (1999) tarafından kazıkların kullanım alanları şu şekilde gruplanmaktadır:

- Zeminde oturma meydana geldiğinde veya sağlam zemine ulaşılması zorunlu olduğunda kullanılan kazıklı temellerde, yükün uç kısımda taşındığı kazıklar (Şekil 2.11-a.).
- Taşıma kapasitesi belirli bir derinliğe kadar yeterli olmayan zeminlerde kazıklar yükü sürekli olarak aktarır ve kazık ile zemin arasındaki sürtünme kuvveti ile yükü taşırlar. Bu tür kazıklar sürtünme kazığı veya yüzen kazık olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.11-b.).

- Yanal yüklerle karşılaşan kazıkların düşey yükleri de taşıması gerekmektedir. Özellikle istinat yapılarının tasarımında önem arz etmektedir (Şekil 2.11-c.).
- Şişme özelliği gösteren zemin tabakaları arasında sınır değerleri aşan deplasmanlar gerçekleşebilmektedir. Bu durum, kazıkların bu tabakayı geçerek kullanılmasını zorunlu kılmaktadır (Şekil 2.11-d.).
- Hidrolik basınç veya yeraltı suyundan kaynaklanan kaldırma kuvveti etkisi de kazık kullanımını mecbur kılmaktadır (Şekil 2.11-e.).
- Ayrıca temel erozyonu riski bulunan su yapılarında kazıklı temeller tercih edilmektedir (Şekil 2.11-f.).

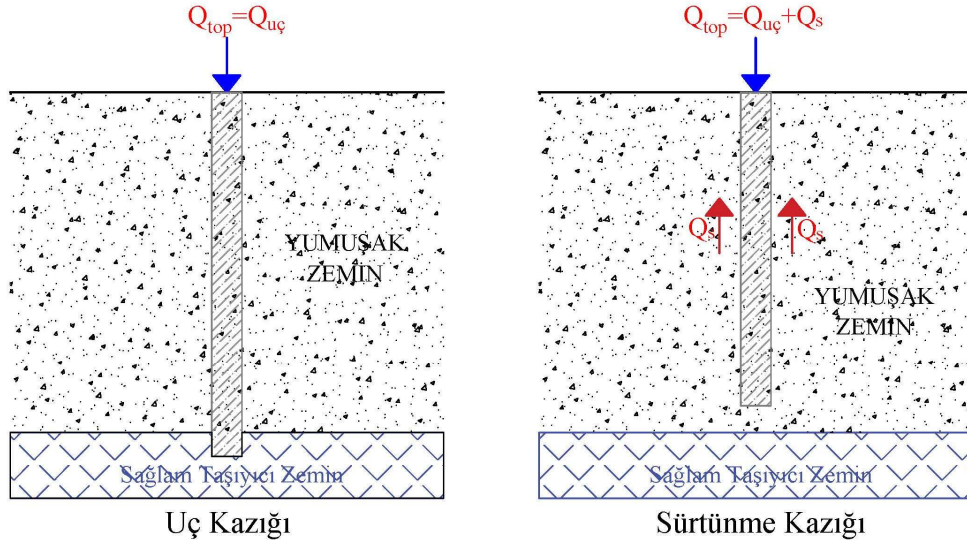


Şekil 2.11. Kazık Temellerin Kullanımı (Das, 1999).

2.7.2. Kazıklı temellerin sınıflandırılması

Kazıklı temellerde kullanılan kazıklar, yük taşıma ve iletim yöntemleri, imalat malzemeleri, zeminlere yerleştirilme teknikleri ve işlevsellik özelliklerine göre dört ana gruba ayrılmaktadır. İmalat malzemelerine göre sınıflandırıldığında ahşap, çelik, betonarme ve kompozit olmak üzere dört farklı kazık tipi incelenebilmektedir. Ayrıca kazıkların yük taşıma ve iletim yöntemlerine göre sınıflandırılmasında uç kısmı sert ve az sıkışabilir zemin üzerine oturan veya zemin içerisine gömülü olan kazıklar “uç

kazığı” olarak, zemin içinde yer almasına rağmen tabanı sert bir zemine basmayan kazıklar ise “sürtünme kazığı” olarak iki kategoriye ayrılmaktadır (Şekil 2.12.) (Birand, 2007).



Şekil 2.12. Uç Kazığı ve Sürtünme Kazığı (Birand, 2007).

Yapım şekillerine göre kazıklar ise çakma kazıklar ve fore kazıklar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Yerleşim özelliklerine göre kazıklar ise; zeminde yer değiştirmeye sebep olmayan kazıklar, zeminde küçük yer değiştirmeler yapan kazıklar ve zeminde büyük yer değiştirmeler yapan kazıklar olarak ayrılmaktadır.

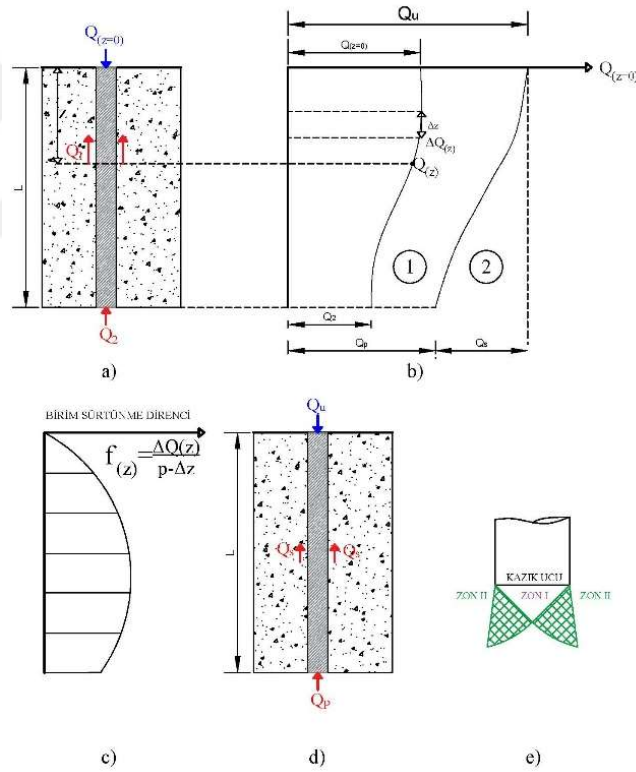
2.7.3. Kazıkların yük aktarım mekanizması

Yük aktarım mekanizması, kazıklarda zemin yüzeyinden derinlere doğru artan yükü incelemektedir. Kazık boyunca yük, kazık gövdesinde meydana gelen yüzey sürtünmesi ve kazık ucunda bulunan zemin tarafından karşılanmaktadır (Turan, 2006). Bu süreç, kazığın yüzey sürtünmesi ve uç mukavemeti vasıtasıyla taşıdığı yük miktarlarını belirlemektedir. Belirli bir derinlikte, $Q(z)$ yük miktarını ölçmek amacıyla yapılan deneyler kazık shaftı boyunca yükün dağılımını ortaya koymaktadır. Her derinlikteki yüzeysel sürtünme direnci, $f(z)$, aşağıdaki denklem ile aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$f(x) = \frac{\Delta Q(x)}{p \Delta z} \quad (2.3)$$

Bu denklemde p , kazığın çevresini ifade etmektedir. $f(z)$ 'nin derinlikle olan değişimi Şekil 2.13-c.'de gösterilmektedir. Eğer zemin yüzeyindeki Q yükü yavaş yavaş

artırılırsa ve kazık ile zemin arasındaki göreceli hareket 5-10 mm'ye ulaşırsa kazık shaftında oluşan yüzeysel sürtünme direnci en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Buna ek olarak kazık ucunda taşınabilecek maksimum yük için, kazık ucunun çok daha fazla hareket etmesi gerekmektedir. Bu durum, Vesic'in (1970) granüler zeminler üzerine gerçekleştirdiği kazık yükleme deneylerinde de gözlemlenebilmektedir. Ancak bu sonuçların özellikle sıkı kumdaki boru kazıklar için geçerli olduğuna dikkat edilmesi gerekmektedir. Nihai yük durumunda kazık ucundaki zeminde meydana gelen taşıma kapasitesi çöküntüsü, yani kırılma yüzeyi Q_p tarafından oluşturulmaktadır. Ayrıca kazıklı temellerin derin temel çeşitlerinden biri olduğu ve zeminin çoğunlukla zımbalama etkisiyle çöktüğü, Şekil 2.13-e.'de açıkça görülmektedir. Kazık ucunda oluşan üçgensel alan I, herhangi bir kayma yüzeyi oluşturmadan aşağıya doğru hareket etmektedir. Sıkı kum ve sert kil zeminlerde ise kısmi olarak radyal kesme alanı II oluşmaktadır (Das, 1999).



Şekil 2.13. Kazıklar İçin Yük Aktarım Mekanizması (Das, 1999).

Rove ve Kerry (2000), çalışmalarında farklı kazık tiplerinin avantaj ve dezavantajlarını Tablo 2.2.'deki gibi sıralamışlardır.

Tablo 2.2. Çeşitli Kazık Tiplerinin Avantajları ve Dezavantajları.

Kazık Tipi	Avantajları	Dezavantajları
Betonarme çakma kazıklar	- Kazıklar, zeminde yer değiştirmeye neden olan performans sergilemektedirler. - Bu yöntem nispeten ekonomik olmaktadır ve güvenli temel inşası sağlamaktadır.	- Gürültü ve vibrasyona bağlı potansiyel problemler ortaya çıkmaktadır. - Büyük uzunluklarda mekanik bağlantılı birleşim detayları gerekmektedir. - Kazık başlığı kurulumu zorunlu olmaktadır. - Eğilme ve çekme durumlarında kazıklar nispeten zayıf performans göstermektedir.
Sondaj kazıkları	- Kazık başlığına ihtiyaç duyulmamaktadır. - Gürültü ve vibrasyon etkisi bulunmamaktadır. - Büyük çaplarda yüksek eğilme dayanımına sahiptirler.	- Cürufun kaldırılması gerekmektedir ve bu durum yüksek maliyete neden olmaktadır. - Sondaj sıvısının kazık performansı üzerinde belirsizliklere yol açabilmesi mümkündür. - Yöntem pahalı olabilmektedir.
Yerinde dökme kazıklar	- Kazıklar, zeminde yer değiştirmeye neden olan performans göstermektedirler. - Güvenli temel inşa koşulları sağlamaktadırlar. - Çeşitli zemin koşullarına uyum sağlayabilmektedirler. - Düşük maliyet avantajına sahiptirler.	- Potansiyel vibrasyon problemleri ortaya çıkabilmektedir. - Genellikle kazık başlığı gerekmektedir.
Burgulu kazıklar	- Vibrasyon ve gürültüden bağımsızdır. - Genellikle hızlı yerleşim sağlanmaktadır.	- Nispeten yüksek maliyetlere sahiptir. - Kaldırılması gereken cüruf maliyeti arttırabilmektedir. - Zeminde yer değiştirmeye neden olmayan kazık performansı göstermektedir. - Kapsamlı saha araştırması gerekliliği bulunmaktadır.
Vidalı Kazıklar	- Kazıklar, zeminde yer değiştirmeye neden olan performans göstermektedirler. - Çok güvenli inşa imkânı sunmaktadırlar. - Cüruf bulunmamaktadır. - Vibrasyon ve gürültüden bağımsızdırlar.	- Kazık başlığı gerektirmektedir. - Nispeten düşük eğilme kapasitesine sahiptirler.

2.7.4. Kazıkların kapasitesi

Kazıkların yük taşıma kapasitesi, temel olarak kazık uç direnci ile sürtünme direncinin toplamına bağlıdır.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.4)$$

Bu kapasite, Q_u ile ifade edilmektedir. Kazık uç direnci ve sürtünme direnci ise sırasıyla Q_p ve Q_s ile temsil edilmektedir. Kazıkların uç bölgelerindeki yük taşıma direnci ve zeminle temas eden yüzeylerindeki sürtünme direnci üzerine yoğun

araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmaların sonuçları, kazıkların nihai yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Orhan, 2019).

Terzaghi'nin geliştirdiği metoda göre kazık uç direnci, kazığın ucunda yer alan kesit alanı, birim alana etki eden uç direnci ve kohezyon değerı ile doğrudan ilişkilidir. Ayrıca kazık ucundaki düşey efektif gerilme ve taşıma gücü faktörleri de kazık uç direncinin hesaplanmasında dikkate alınmaktadır. Bu metod kazığın uç bölgesindeki direnci belirlemede kullanılmaktadır (Tablo 2.3.) (Bowles, 1995).

$$Q_p = A_p q_p = A_p (c N_c + q' N_q) \quad (2.5)$$

Tablo 2.3. Terzaghi Taşıma Gücü Faktörleri.

$\emptyset$	N_c	N_q	N_γ
0	5.7	1.0	0.0
5	7.3	1.6	0.5
10	9.6	2.7	1.2
15	12.9	4.4	2.5
20	17.7	7.4	5.0
25	25.1	12.7	9.7
30	37.2	22.5	19.7
35	57.8	41.4	42.4
40	95.7	81.3	100.4
45	172.3	173.3	297.5
50	347.5	415.1	1153.2

Kumlu bir zeminde yer alan bir kazığın ucunda oluşan “birim taşıma direnci”, gömölme derinliği arttıkça yükselmekte ve belirli bir oranda maksimum değere ulaşmaktadır. Eğer kazığın gömölme derinliği yani L_b , kazık boyu olan L_k ile eşitse, bu durum homojen zeminler için geçerli olup kazığın fiili gömme uzunluğu da ($L_b = L_k$) olarak belirlenmektedir. Ancak taşıyıcı tabakanın derinliği kazık gömölme derinliğinden daha az olduğuunda, penetrasyon ($L_b < L_k$) gerçekteşmekte ve “kritik penetrasyon derinliği” olarak tanımlanan (L_b/D) c_r oranı belirli bir değere ulaştıktan sonra sabit kalmakta ve böylece kazık uç birim direncinin (q_p) değişmediği kabul edilmektedir. Homojen ortamlarda ise ($L_b = L_k$) olarak kabul edilmektedir.

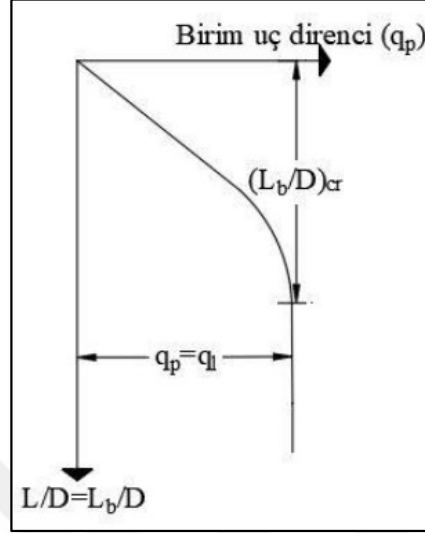
$$Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q \quad (2.6)$$

Bu bağlamda kumlu zeminlerde $c=0$ olduğu durumda “kazık uç direnci” (Q_p) için taşıma faktörü (N_q)’nun değeri, zeminin içsel sürtünme açısı ($\emptyset$) dikkate alınarak Tablo 2.7.’den alınabilmektedir (Orhan, 2019).

$$Q_p = A_p q' N_q \leq A_p q_1$$

$$q_1 = 0.5p_a N_q \tan\theta \quad (2.7)$$

Burada atmosferik basınç (p_a) 100 kPa olarak belirlenmiş, q_1 ise limit birim uç direncini, θ de taşıyıcı tabakanın içsel sürtünme açısını ifade etmektedir (Şekil 2.14.).



Şekil 2.14. Birim Uç Direncinin, Kritik Gömme Derinliği İlişkisi.

Tablo 2.4. Meyerhof Teorisi için N_q Değerleri.

İçsel sürtünme açısı	N_q	İçsel sürtünme açısı	N_q
20	12.4	33	96.0
22	15.5	35	143.0
25	26.0	38	231.0
26	29.5	39	276.0
27	34.0	40	346.0
28	39.7	41	420.0
29	46.5	42	525.0
30	56.7	43	650.0

Doygun killerde drenajsız koşullar altında kazıklar için “nihai sınır yük” şu formülle hesaplanabilmektedir:

$$Q_p = c_u N_c A_p = 9 c_u A_p \quad (2.8)$$

Bu formülde c_u , kazık ucunun altında bulunan zeminin drenajsız kohezyonunu temsil etmektedir.

Coyle ve Castello (1981), kumlu zeminlerde çakılmış 24 adet kazık üzerinde gerçekleştirilen yükleme deneylerinden elde ettikleri verilere dayanarak “Kazık yük taşıma kapasitesi” için aşağıdaki formülü önermişlerdir:

$$Q_p = A_p q' N_q \quad (2.9)$$

Burada taşıma gücü faktörü (N_q) değeri, gömme derinlik oranı ve içsel sürtünme açısı belirlenebilmektedir (Orhan, 2019).

Kazıklar bazen uygun derinlikte bulunan ana kayaya kadar ulaştırılabilir. Bu tür durumlarda kayanın taşıma kapasitesi değerlendirilmelidir. Goodman (1980) tarafından önerilen kayadaki (q_p) değeri,

$$q_p = q_u (N_\phi + 1) \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada,

$$N_\phi: \tan^2 (45 + \phi' / 2) \quad (2.11)$$

formülüyle hesaplanmakta, q_u kayanın tek eksenli basınç dayanımını, ϕ' ise drenajlı içsel sürtünme açısını simgelemektedir.

Kayaçların serbest basınç mukavemeti, laboratuvar ortamında kayaç numuneleri üzerinde yapılan testlerle belirlenebilmektedir. Ancak (q_u) değerinin belirlenmesi sürecinde dikkatli olunmalıdır. Laboratuvarda kullanılan numuneler küçük çaplı olup numune çapı arttıkça tek eksenli basınç değeri azalmaktadır. Bu durum, boyut etkisi olarak adlandırılmakta ve büyük ile küçük kırıklar ile süreksizlikler boyunca meydana gelen kopma ve kaymalardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle tasarım değeri olarak aşağıdaki denklem kullanılmalıdır.

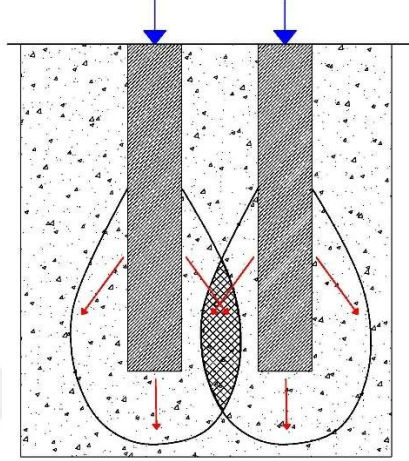
$$q(u - dizayn) = (q(u - lab)/5) \quad (2.12)$$

2.7.5. Kazıkların grup davranışı

Kazıklar inşa sürecinde genellikle grup halinde yerleştirilmekte ve birbirleriyle etkileşim içinde davranış sergilemektedir. Her ne kadar bireysel olarak modellenebilseler de yük taşıma kapasiteleri, yük iletim mekanizmaları ve oturma davranışları, grup halinde çalıştıklarında daha etkili bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu bağlamda tekil kazıkların ve grup halindeki kazıkların yük taşıma kapasiteleri ve oturma davranışları arasında belirgin farklar bulunmaktadır. Grup halindeki kazıkların taşıma kapasitesinin hesaplanması sırasında farklı hesaplama adımları gerekmektedir. Eksantrik yüklenme olmadığı takdirde yükün kazıklar arasında eşit olarak dağıtılması ve her bir kazığa düşen yük miktarının karşılaştırılması, oturma sınırlarının aşıldığı durumlarda yetersiz kalabilmektedir (Birand, 2007; Uzuner, 2011).

Tek bir kazık yüklendiğinde ve bir grup içinde çalıştığında gösterdiği yük taşıma kapasiteleri aynı olmamaktadır. Kazıklar arası mesafenin doğru belirlenmesi gibi

faktörler bu durumda öne çıkmaktadır. Kazık grubunun içindeki kazık-kazık, zemin-yayılı temel, kazık-zemin ve kazık-yayılı temel arasındaki etkileşim, kazıkların davranışlarını birbirine bağlamakta ve meydana gelen gerilme dağılımını etkilemektedir. Bu etkileşim alanındaki artış, gerilmeyi ve oturmaya artırırken kazık grubunun taşıma kapasitesini azaltmaktadır (Şekil 2.15.) (Birand, 2007).



Şekil 2.15. Kazık Gruplarında Oluşan Basınç Soğanları Etkileşimi (Birand, 2007).

Kazıklı yayılı temellerin klasik tasarım sürecinde tasarımcı tarafından sistem üzerine etki eden toplam yük, kazık sayısına bölünerek her bir kazık üzerine düşen yük miktarının kazık taşıma kapasitesini aşmaması sağlanarak boyutlandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kazık grubunda herhangi bir yetersizlik tespit edilmesi durumunda kazık sayısı, kazıklar arasındaki mesafe ve kazık boyutlarında değişiklikler yapılmaktadır. Bu değişiklikler hem ekonomik hem de güvenilir tasarımlar elde etmek amacıyla tekrarlanmaktadır. Bu süreçte kazıkların grup olarak işlev gördükleri her adım dikkate alınmalıdır. Kazıklar arasındaki etkileşimden kaynaklanan taşıma güçlerindeki azalmanın hesaplanması amacıyla sürtünme kazıklarında grup verimliliğini belirleyen formüller geliştirilmiştir (Burland ve ark., 1977; Birand, 2007). Hesaplanan grup verimi (η), kazıkların toplam taşıma gücü ile çarpılarak temel sisteminin hep birlikte ne kadar yük taşıyacağı hesaplanmaktadır. Bolin tarafından 1941 yılında geliştirilen Converse-Labarre denklemi ile grup verimi katsayısı hesaplanmaktadır.

$$\eta = Q_g(v) / \sum Q(v) \quad (2.13)$$

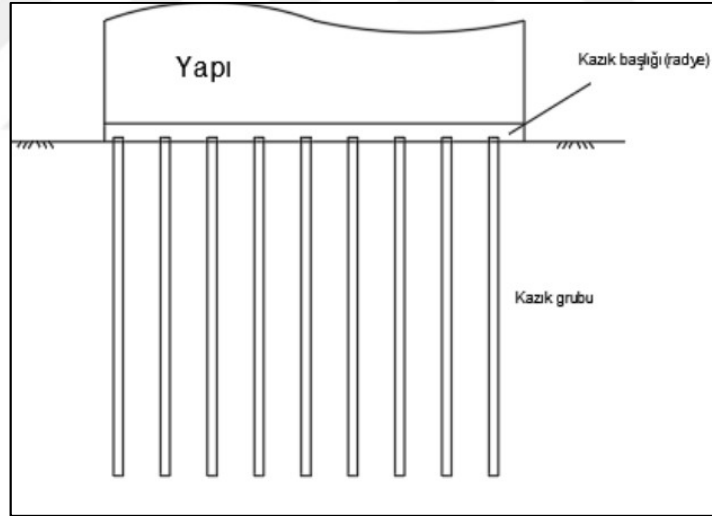
$Q_g(v)$: Kazık grubunun taşıma gücü,

$Q(v)$: Grup etkisi olmaksızın kazıkların bireysel olarak taşıma gücü,

η : Kazık grup verimliliği

2.8. Kazıklı Yayılı Temeller

Zemin koşulları zayıf olduğunda veya yükler taşıma kapasitesini aştığında derin temeller öne çıkmaktadır. Kazıklı temellerle ilgili yapılan klasik hesaplar, yüklerin kazıklarca tamamen karşılandığını öngörmektedir. Ancak yayılı temel plağının zemine temas etmesi nedeniyle yükler kazıklar ve yayılı temel plağı arasında paylaşılarak zemine dağıtılmaktadır. Bu gerçeklik, uygun koşullarda temel tasarımlarında kazık sayısının azaltılmasına imkân sağlamakta ve maliyet etkin çözümler üretilmektedir (Sert, 2003; Gök, 2007). Yüzeysel temellerin taşıma gücü yeterli olmakla birlikte oturma değerleri kabul edilebilir limitleri aştığında kazıklar, oturmaları azaltmak amacıyla yüzeysel temellerin destekleyici elemanları olarak işlev görmektedir (Broms, 1976; Burland ve ark., 1977). “Kazıklı yayılı temel” olarak isimlendirilen bu sistem (Şekil 2.15.), klasik kazıklı temellere kıyasla daha ekonomik bir çözüm sağlamaktadır (Uzuner, 2011).



Şekil 2.16. Kazıklı Yayılı Temel (Uzuner, 2011).

Yapılan çalışmalar, kazıklı temel tasarımlarında taşıma kapasitesi ile birlikte kullanılabilirlik koşullarının da önem kazandığını göstermektedir. Kullanılabilirlik, temelin toplam ve farklı oturma miktarlarının kabul edilebilir düzeylerde olmasını sağlamaktadır (Poulos ve ark., 1997). Bu bakış açısı, ilgili yönetmelikler ve standartlara giderek daha fazla entegre edilmektedir (Katzenbach ve Moorman, 2001; Viggiani, 2003).

Kazıklı yayılı temeller, yayılı temel plağının yeterli taşıma gücüne sahip olduğu ancak oturma değerleri kabul edilebilir sınırların üzerine çıktığı durumlarda kullanılmaktadır. Temel derinliği boyunca katı kil veya sıkı kum bulunan yumuşak veya gevşek tabakaların olmadığı zeminler, kazıklı yayılı temeller için uygun zeminler olarak değerlendirilmektedir (Poulos, 1994). Bu koşullar altında yayılı temel plağı taşıma gücünün büyük bir kısmını sağlamakta, kazıklar ise daha çok oturmaları azaltıcı yardımcı elemanlar olarak görev almaktadır.

Yumuşak kil veya gevşek kumların bulunduğu katmanların mevcut olduğu sığ derinliklerde, kazıklı yayılı temel tasarımı uygun olmamaktadır. Bu tür katmanlarda yayılı temel plağının taşıma gücü düşebilmektedir. Sıkışabilir katmanlardaki oturmalar ise yayılı temel plağının sisteme olan katkısını azaltmaktadır. Konsolidasyon nedeniyle meydana gelebilecek yayılı temel-zemin temas kayıpları, yayılı temel plağının ağırlığının kazıklara transfer edilmesine yol açmakta ya da kazıklar etrafında oluşabilecek negatif çevre sürtünmesi nedeniyle kazıklara binen yük miktarı artmaktadır. Böylece temel sistemindeki oturmalar da artış göstermektedir. Şişebilen zeminlerde ise kazık boyunca yukarı yönlü oluşan zemin hareketleri ve yayılı temel plağının altında oluşan gerilmeler kazıklarda çekme gerilmesinin yükselmesine neden olmaktadır (Poulos, 1993; Sinha ve ark., 1997; Sinha ve Poulos, 1997).

Kazıklı yayılı temeller, taşıma kapasitesini artırmak veya yayılı temel plağının altında meydana gelebilecek çeşitli oturmaları önlemek amacıyla tercih edilmektedir. Kazıklı yayılı temellerin tasarımında dikkate alınması gereken başlıca faktörler şunlardır (Gök ve Toğrol, 2001):

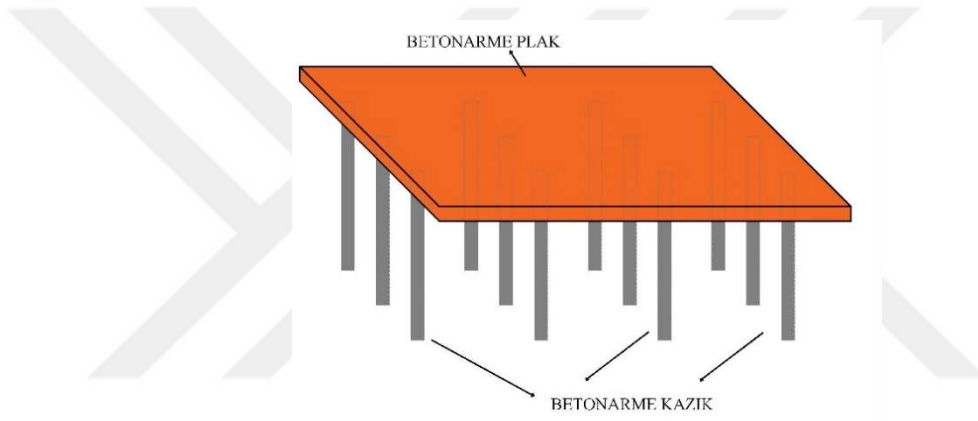
- Kazıklar ile yayılı temel plağının yük paylaşım oranları,
- Kazıklı yayılı temelinin yük-oturma davranışı,
- Temel sisteminin iç kuvvetleri ve moment değerleri,
- Yayılı temel plağı altındaki konumlarına göre kazıklara aktarılan yükler.

DeneySEL çalışmalar, kazıkların yayılı temel plağı ile uyumlu şekilde tasarlandığında maliyet açısından önemli tasarruflar elde edilebileceğini ortaya koymaktadır.

2.8.1. Kazıklı yayılı temellerin kullanım alanları

Taşıma kapasitesi yüksek yayılı temeller, özellikle üstyapı yükleri fazla olan zeminlerde kullanılmaktadır. Ancak yüklerin artmasıyla birlikte oturma değerleri kabul edilebilir sınırların üzerine çıkabilmekte ve yapıya zarar verebilecek düzeylere

ulaşabilmektedir. İnşaat sektöründe kullanımı artış gösteren kazıklı yayılı temeller, özellikle yüksek binalar için tercih edilen güvenilir bir temel çözümü olmaktadır (Şekil 2.16.). Bu sistem, yüksek yükler altında meydana gelen oturmaları kabul edilebilir seviyelere düşürme konusunda etkili olmaktadır. Sistem, zemin içine derinlemesine yerleştirilen betonarme kazıklar ve bu kazıklara bağlı olan bir plaktan oluşmaktadır. Yapıdan gelen yükler ve bu yüklerin neden olduğu gerilmeler, kazıklar aracılığıyla daha derinde bulunan ve yük taşıma kapasitesi yüksek zeminlere aktarılmaktadır. Kazıkların sayısı ve geometrik özellikleri, temel tasarım sürecinde zemin özellikleri ve yapı yükleri gibi faktörlere bağlı olarak belirlenmektedir. Kazıklar genellikle delme yöntemiyle yerleştirilmekte ve bu kazıklar arasındaki mesafe, tasarım sürecinde özenle seçilmesi gereken kritik bir parametre olmaktadır (Moyes ve ark., 2005).



Şekil 2.17. Tipik Bir Kazıklı Yayılı Temel Görseli.

Kazıklı yayılı temellerde üstyapıdan alınan yüklerin bir kısmı kazıklara, diğer kısmı ise doğrudan zemine aktarılmaktadır. Bu temellerde kullanılan betonarme plak, kazıkların üst bölümlerini birleştirmekte ve yük dağılımını sağlamaktadır. Plakların boyutları, yüklerin kazıklar ve yayılı temel arasında nasıl paylaştırılacağını belirlemektedir. Geleneksel olarak kazıklı temellerde tüm yüklerin kazıklar aracılığıyla zemine iletilmesi esas alınmıştır ancak bu durum temellerin aşırı güvenli şekilde tasarlanmasına yol açmıştır. Yapılan çalışmalar, yayılı temelin de yük taşıma kapasitesinin önemsenmesi gerektiğini ortaya koymuş ve bu sayede tasarımlar %30 kadar daha ekonomik hale gelmiştir (Franke, 1991; Moyes ve ark., 2005).

2.8.2. Kazıklı yayılı temellerin hesap ve tasarımı

Kazıklı yayılı temellerde yük, yayılı temel ve kazıklar vasıtasıyla zemine aktarılmaktadır. Bu nedenle yük taşıma süreci oldukça komplekstir. Elastisite teorisi

ve sonlu eleman yöntemlerine dayanan araştırmalar, kazıklı yayılı temellerin düşey yük taşıma kapasitesinin pratik uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahip olduğunu göstermektedir. Ancak yatay yükler ve deprem esnasında bu yük taşıma kapasitesi önemli ölçüde sınırlanmaktadır. Bu durum, kazıklı yayılı temellerin tasarımının çoğunlukla yayılı temel olarak ele alınmasından kaynaklanmaktadır. Deprem sırasında yayılı temel, kazık ve zemin arasındaki dinamik etkileşim, temelin davranışını oldukça karmaşık bir hale getirmektedir. Tasarım süreci bu etkileşimleri göz önünde bulunduracak şekilde düzenlenmelidir (Nakai, 2004).

Kazıklı yayılı temellerin tasarımıyla ilgili ele alınması gereken başlıca hususlar (Toğrol ve Tan, 2002):

- Yapının maruz kaldığı iç kuvvetler ve moment değerleri,
- Kazıklı yayılı temelin yük altında gösterdiği oturma davranışları,
- Yayılı temelin altındaki zemin özelliklerine göre kazıklara uygulanan yükler,
- Yayılı temel ile kazıklar arasında gerçekleşen yük paylaşım oranları.

2.8.3. Kazıklı yayılı temellerde yapı zemin etkileşimi

Yapı-zemin etkileşimi, zemin ortamı ile yapı arasında deprem sırasında meydana gelen dinamik bir etkileşim sürecidir. Deprem dalgaları, zemin aracılığıyla temele iletilmekte, bir kısmı temel üzerinden yansıyarak zemine geri dönerken diğer bir kısmı ise yapı içinde titreşimlere neden olarak zemine geri dönmektedir. Yumuşak zeminler üzerine oturan kazıklı yapılarda, yapı ile kazıklar ve zemin arasındaki etkileşim, özellikle deprem anında kazıkların yük taşıma ve deformasyon davranışını önemli ölçüde etkileyen belirleyici bir unsurdur. Deprem sırasında yer hareketlerinin etkisiyle kazıklar şekil değiştirmelere ve zorlanmalara maruz kalmaktadır. Bu durum, kazıkların karşılık olarak temel hareketlerinde değişikliklere yol açmaktadır ve bu etkileşime kinematik etkileşim denilmektedir. Üst yapıdan kazıklı zemin ortamına geri dönen deprem dalgaları, kazıklarda ek zorlanmalara sebep olabilmektedir. Bu nedenle zayıf zeminlerde kazıklı yapılarda yapı-kazık-zemin etkileşimi dikkate alınmalıdır (TBDY Ek 16C, 2018).

Kazıklı yayılı temel sistemlerinin ilavesiyle, zemin-tepki mekanizması değişmekte ve bu durum, bazı zemin koşullarında temel kaymalarının artmasına yol açabilmektedir. Ayrıca devrilme momentlerinde küçük çapta bir yükselme meydana gelmekte ve maksimum ivmelerde azalma yaşanmaktadır. Yapılan analizler bazında kazıklı yayılı

temeller, kazıklı temellere kıyasla temel kaymaları açısından %5, devrilme momentleri açısından %12 ve ivmeler açısından ise %20 daha az değerlere sahip olmaktadır. Bu durum, kazıklı yayılı temellerin yapı-zemin etkileşimine daha fazla dahil olmasından kaynaklanmaktadır. Kazıklar yayılı temel ile entegre değilse, sistemin dinamik cevabı, entegre edilen duruma kıyasla genellikle daha yüksek olmaktadır. Bağlantısız sistemlerde, maksimum ivmelenme hariç tutulduğunda, yapının verdiği dinamik tepkiler yayılı temelli sistemlerden daha büyük değerler göstermektedir. Buna karşılık, maksimum ivmelenme değerleri ise yayılı temele göre daha düşük kalmaktadır. Yayılı temel ve zemin arasındaki bağlantı varlığında yapı dinamik cevabı önemli ölçüde azalmaktadır. Kazık başlıkları ile bağlantılı durumların temel türlerine kıyasla üst yapı üzerindeki etkisi oldukça sınırlıdır. Ancak bu bağlantı koşulu, kazıkların taşıma kapasitesini etkilemektedir. Yayılı temel altına yerleştirilen kazıklar, üst yapı üzerindeki tepki özelliklerine büyük etkilerde bulunmaktadır. Sonuç olarak kazıkların sismik tasarım açısından zemin güçlendirme aracı olarak kullanılmasının önemi anlaşılmaktadır (Phuyal, 2020).

2.9. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Elemanlar Metodu (Finite Element Method-FEM), karmaşık yapıların daha basit alt parçalara ayrılarak analiz edilmesini sağlayan sayısal bir tekniktir. Başta mühendislik analizleri için geliştirilen bu yöntem, inşaat, mekanik ve havacılık mühendisliği gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. FEM, simülasyon sonuçlarının gerçek duruma ne kadar yakın olduğunu belirlemede etkilidir. Geleneksel yaklaşımlar ise genellikle üç boyutlu zemin davranışını tek boyutlu elemanlarla temsil etmeye çalışmaktadır (Horvath, 2002).

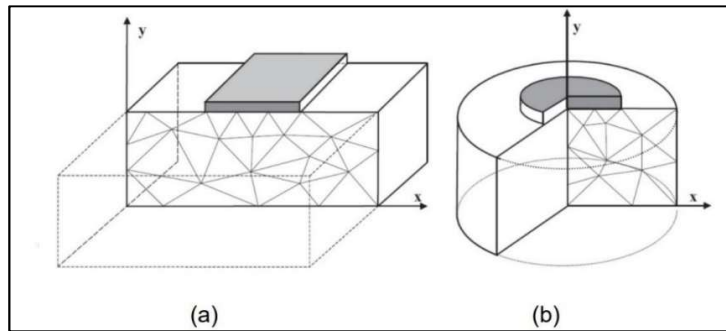
Sonlu Elemanlar Metodu (FEM), karmaşık yapı sistemlerini ayrıntılı bir şekilde modelleme imkânı sunarak, tüm bileşenleri temsil edebilen güçlü bir analiz yöntemidir. Zemin-temel analizinde zemin ve temel, mühendislik özellikleri tanımlanmış küçük elemanlara ayrılır. Bu elemanlar yük altında şekil değiştirir ve analiz, her eleman için ayrı denklemler kurularak gerçekleştirilir. Ancak mevcut FEM yazılımları genellikle yapısal sistemlere odaklanmakta, zemin davranışını yeterince gerçekçi şekilde yansıtamamakta ya da üst yapı etkilerini dışarıda bırakmaktadır. Daha doğru ve ekonomik tasarımlar için FEM analizleri, temel, zemin ve üst yapıyı birlikte içerecek şekilde genişletilmelidir. Bu kapsamda, geoteknik ve yapısal mühendislik

disiplinlerinin iş birliğiyle yapılan birleşik analizler önem kazanmaktadır (Horvath, 2002).

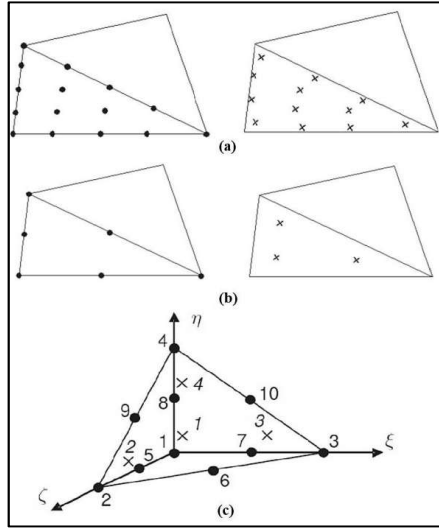
2.9.1. PLAXIS 2D/3D yazılımları

PLAXIS 2D ve 3D, geoteknik analizler için geliştirilmiş iki ve üç boyutlu analizler yapabilen sonlu eleman programlarıdır. PLAXIS 2D, düzlem zorlanma ve eksenel simetri problemlerini ele alabilmektedir. Düzlem zorlanma modeli, bir kesit boyunca sabit kalacak şekilde tasarlanmakta ve bu kesite dik yönlerdeki gerilmeler ihmal edilerek sıfır olarak kabul edilmektedir. Eksenel simetri durumunda ise yapısal elemanların radyal yöndeki gerilim ve deformasyonları eşit kabul edilmektedir (Şekil 2.17.).

PLAXIS 2D uygulamasında zemin katmanlarını ve yapısal elemanları temsil etmek üzere iki tür üçgen eleman kullanılmaktadır. On beş düğümlü eleman, yer değiştirme için dördüncü dereceden enterpolasyon kullanmakta ve sayısal hesaplamalar için on iki Gauss noktası içermektedir (Şekil 2.18-a). Altı düğümlü eleman ise ikinci derece enterpolasyon ile yer değiştirmeyi sağlamak ve sayısal entegrasyon için üç Gauss noktası bulundurmaktadır (Şekil 2.18-b). On beş düğümlü eleman, altı düğümlü elemana göre daha doğru sonuçlar sağlamakla birlikte daha fazla hafıza gereksinimi ve işlemci performansı gerektirmekte, bu da hesaplamaları yavaşlatmaktadır. PLAXIS 3D ise zemin hacmini modellemek için on düğümlü tetrahedral elemanlar kullanmakta ve yüzeyler ile alanlar için altı düğümlü üçgen elemanlar tercih edilmektedir (Şekil 2.18-c.) (PLAXIS, 2024).



Şekil 2.18. a) Düzlem Gerilme. b) Eksenel Simetrik (PLAXIS, 2024).



Şekil 2.19. (a) PLAXIS 2D'de 15 Düğümlü Zemin Elemanı, (b) 6 Düğümlü Zemin Elemanı, (c) PLAXIS 3D'de Tipik 3B Zemin Elemanı (PLAXIS, 2024).

Model oluşturulduktan sonra uygun bir malzeme modeli seçilmeli ve bu modelin parametreleri ilgili geometrik kümeler veya katmanlara atanmalıdır.



3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Literatürde yapı-zemin etkileşimini temel ve kazıkları da dahil ederek inceleyen farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan birinde Whitaker (1961) tarafından killi zeminler üzerinde, rijit bir başlığa sahip kazık grupları için laboratuvar ortamında model deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında her durumda rijit başlıklı kazık gruplarının daha fazla yük taşıdığı ve yapının oturmasını önemli ölçüde azalttığı ortaya konulmuştur. Ayrıca kazıklı yayılı temellerin, kazıksız yayılı temellere kıyasla çok daha az oturma yaptığı ve klasik kazıklı temellerle kıyaslama yapıldığında kazık sayısının düşürülebildiği gösterilmiştir.

Poulos (1968) tarafından dairesel yayılı temel başlıklı tek bir kazık üzerinde yapılan deneylerde, kazık çapı ile yayılı temelin çapı arasındaki oranın kazık ve yayılı temel arasındaki yük dağılımına ve oturmaya etkisi incelenmiştir. Çalışmada yayılı temelin boyutunun kazık çapının beş katından küçük olduğu durumlar için yayılı temelin taşıdığı yük oranının azaldığı ve oturmaları önemli derecede azaltmadığı belirtilmiştir. Fakat yayılı temelin çapı kazık çapının beş katından daha büyük olduğunda temel sisteminin oturmasında kayda değer bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

Butterfield ve Banerjee (1971) çalışmalarında, kazıklı yayılı temellerin yük-oturma ilişkisini, kazık uzunluğu ve kazık çapı oranını, kazıklar ve yayılı temel arasındaki yük dağılımının oranını analiz etmek için elastik bir malzeme modeli geliştirmiş ve numerik analizler yapmışlardır. Sadece kazık grubunun yük taşıdığı sistem ile yayılı temelin zemine temas ederek kazık grubu ile birlikte yük taşıdığı sistem arasında yapılan karşılaştırmalarda çok az farklılık olduğunu bulmuşlardır. Yayılı temelin taşımış olduğu yükün sadece kazıkların taşımış olduğu yüke oranının, kazık grubunun boyutlarına ve kazıklar arasındaki mesafeye bağlı olarak %20-%60 arasında değiştiği belirtilmiştir.

Davis ve Poulos (1972), kazıklı yayılı temeller için yayılı temelin taşıdığı yükün göz önünde bulundurulduğu en uygun tasarım yöntemlerini ortaya koymuştur. Hooper (1973), analiz edilen sistemin üç boyutlu niteliklerini eksenel simetri kullanarak yeni bir sonlu elemanlar analiz yöntemi önermiştir. Bu yöntemde her kazık sırası eş rijitlikte

bir eleman olarak tanımlanmıştır. Hooper, yayılı temelin zemine temas ettiği durumlarda yayılı temelden zemine yük aktarımının zeminin konsolidasyonunu tetiklediğini ve bu durumun kazıkların üzerindeki yükleri artırdığını, yayılı temelin taşıdığı yük miktarını azalttığını saptamıştır.

Wiesner ve Brown (1980), literatür taramaları sonucunda kazıklı yayılı temeller üzerine çok sayıda elastik ortam koşullarında yapılan numerik araştırmanın, model deneylerle doğrulanmadığı sonucuna varmışlardır. Bu eksikliği gidermek amacıyla aşırı konsolide kil zeminde kazıklı yayılı temellerin dikey yükler altındaki davranışlarını laboratuvar model deneyleri ile test etmişlerdir. Deney sonuçları, zeminin lineer elastik modellemesinin kazıklı yayılı temel davranışlarını tahmin etmede yeterli olduğunu göstermiştir.

Cooke (1986), saf kil zemin üzerinde yayılı temelin zemine temas ettiği kazıklı temeller ile SYT'ler üzerinde çeşitli model deneyleri gerçekleştirmiştir. Bu deneyler kazıklı yayılı temellerin oturmasını azaltmada, kazık boyu ile temel genişliği arasındaki oranın önemli olduğunu ortaya koymuştur.

Horikoshi ve Randolph (1996), kazıklı yayılı temellerde ideal kazık düzeninin belirlenmesine yönelik santrifüj model deneyleri gerçekleştirmiştir. Bu çalışmaları kapsamında altı adet deney düzenleyerek kazıklı ve kazıksız yayılı temellerin killi zeminlerdeki performanslarını değerlendirmişlerdir. Araştırmaları, küçük kazık gruplarının yayılı temel merkezine yerleştirilmesiyle oturmaların ve gerilmelerin etkin bir şekilde kontrol edilebileceğini ortaya koymuştur. Çalışmaya göre yayılı temelin rijitliği ile kazık grubunun rijitliğinin benzer olması gerekmekte, yayılı temelin merkezindeki %16-25'lik bölgeye kazıkların yoğunlaştırılması önerilmektedir. Kazıkların taşıma kapasitesinin grubun alanı ve zeminin Poisson oranına bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir.

Öztoprak ve Özkan (1998), sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında, kazıklı yayılı temel sisteminde yapıdan gelen yükün kazık ve yayılı temel arasında nasıl dağıldığını belirlemek amacıyla çeşitli kazık konfigürasyonlarını modellemişlerdir. Araştırma sonuçları, yayılı temelin taşıdığı yükün oturma ile başlayarak arttığını ve bu yük dağılımının kazık modeli, kazıklar arası mesafe ve kazık adedi gibi parametrelere bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Kazıklar arası mesafenin artması yayılı temelin taşıdığı yükü artırırken, kazıkların sağlam zemine

soketlenmesiyle yayılı temelin yük taşıma oranının azaldığı ortaya konmuştur. Genel olarak, kazıklar arası mesafenin artmasının oturma zorlanmasını artırarak yayılı temelin yük taşıma oranını yükseltirken, kazıklar arası mesafenin azalmasının yayılı temelin yük taşıma oranını düşürdüğü ortaya konmuştur.

Aydinoğlu ve ark. (2000), deprem etkisi altındaki zayıf zemin tabakasına yerleştirilmiş kazıklar üzerinde “kinematik etkileşim” ve “eylemsizlik etkileşimi” davranışlarını ayrı ayrı incelemiş, ayrıca sıvılaşma riskini de değerlendirmişlerdir. Tekil kazık üzerinde yapılan analizlere göre, kazığın rijitliğinin içinde bulunduğu zemin tabakasının rijitliğinden daha büyük olması durumunda, kazığın zemindeki yer değiştirmesinde ve serbest zemin hareketinde artışa neden olduğu görülmüştür. Bu durumda kazık, zemin hareketinden kaynaklanan kuvvetlere maruz kalmakta ve bu kuvvetler kazıkta belirli zorlanmalara yol açmaktadır. Çalışmada kinematik etkileşimin eylemsizlik etkileşiminden daha baskın olduğu ve kazıklı yayılı temel tasarımında mutlaka dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Sert ve Önalp (2004), Sakarya ili Adapazarı ilçe merkezinde gerçekleştirdikleri geniş çaplı sondaj çalışmaları sonucunda, sıkı kum zemin profili üzerinde PLAXIS programını kullanarak 150'den fazla yayılı temel ve kazıklı yayılı temel modeli oluşturmuşlardır. Araştırmaları, kazık grubunun genişliğinin (Bg) yayılı temel genişliğine (Bt) oranı olarak tanımlanan “kazık yayılım oranı (Bg/Bt)” kavramının, oturma miktarını azaltmada en etkili bileşen olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmaya göre, kazık yayılım oranı 1 olduğunda toplam oturma minimum seviyeye inerken, oran 0.75-0.80 aralığında olduğunda toplam oturmada bir artış gözlenirse de bu değerler belirlenen limitler içerisinde kalmakta ve farklı oturma miktarları sifıra yakın olmaktadır.

Sert ve ark. (2006), Sakarya ili Adapazarı ilçe merkezinde çalışma konusu alanda yaptıkları sondaj çalışmalarında, sıvılaşma potansiyeli yüksek, yüzeye yakın siltli zeminler ile, yer yer sıkı/çok sıkı kum zeminlere rastlamışlardır. Deprem yüklerinin yapılarda yanal ötelenmelere sebep olduğu bilinmekle beraber, yayılı temel sistemine sahip çalışma konusu yapı, çelik kazıklı ve çelik kazıkların bulunmadığı durumlar için yatay yüke maruz kalacak şekilde PLAXIS programında modellenerek çözümlenmiştir. Çalışma sonucunda; statik tek seferlik yatay yükleme durumunda, kazıklı temelde meydana gelecek deplasmanların, yayılı temele göre 1/30 mertebesine inebileceğini göstermişlerdir.

Türkmen (2008), kazıklı yayılı temellerin taşıma kapasitelerini hem laboratuvar hem de saha deneyleri ile araştırmıştır. Optimum su içeriğinde sıkıştırılmış kil-kum karışımı zemin kullanılan laboratuvar deneylerinde yüksek bir yapı için kazıklı yayılı temel sistemine yerleştirilen gözlem aletleri ile yapılan ölçümler, inşaat sürecinde kazıkların yüklenme durumunu kademeli olarak kaydetmiştir. İnşaatın başlarında kazıkların yüksek yük taşıdığı, ilerleyen aşamalarda ise yayılı temelin daha fazla yük taşıdığı gözlemlenmiştir. Kazık sayısının artması ile yayılı temelin yük taşıma oranının düştüğü, kazıkların ise daha az yük taşıdığı saptanmıştır.

Terzi ve ark. (2009), tek bir kazığın yanal yükler altında nasıl davrandığını belirlemek için laboratuvar model deneyleri ve sayısal analizler yapmıştır. Kum malzemesi yağmurlama yöntemiyle tanka yerleştirilmiş ve alüminyum malzemeden üretilmiş tek kazık, yanal yükler altında test edilmiştir. Bu laboratuvar deneylerinin sonuçları SAP 2000 yazılımı kullanılarak yapılan sayısal analizlerle karşılaştırılmış ve sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

İncecik ve Yalçın (2010), yayılı temeller ile kazıklı yayılı temellerin yatay ve düşey yükler altındaki davranışları üzerinde sonlu elemanlar yöntemini kullanan paket program ile karşılaştırma çalışması yapmışlardır. Özellikle modellemede kullanılan yapının çekirdek bölgesi, üzerinde bulunduğu zemini en çok etkileyen kısım olmuştur. Tasarım yöntemlerinde, üst yapı yüklerini zemine aktarmada kazıkların tamamının etkin ya da çok yüksek oranda etkin olduğu “Geleneksel Yaklaşım”, doğrusal davranış sergilemeden kazık taşıma gücünün %70-%100 mertebelerinde olduğu “Sünme Yaklaşımı” ve yayılı temelin üst yapı yüklerini taşımasıyla birlikte oturma kriterini sağlayamadığı durum için kazıkların kullanıldığı sistem olmak üzere üç farklı yöntem izlemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre, çekirdek bölgede kazıklı yayılı temel, yayılı temele kıyasla daha avantajlı bulunmuştur. Maksimum farklı oturma, toplam oturma, yanal ötelenme ve yayılı temel plağında oluşan eğilme momenti değerleri kazıkların kullanılmasıyla azalmış, bu durum kazıklı yayılı temel sistemlerinin performansını olumlu şekilde etkilemiştir.

Kılıç (2011), sonlu elemanlar yöntemi kullanan bir paket program ile gerçekleştirdiği çalışmada, üst yapı yükünün modellenme şeklinin yapı-zemin etkileşimi nedeniyle zeminde oluşabilecek oturmaların farklılık göstermesine neden olduğunu ortaya koymuş ve bu durumun, temelde meydana gelen eğilme momenti ve oturma değerlerinin değişmesine sebep olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, araştırma üst

yapı modellenmesinin yapı-zemin etkileşimi açısından kritik bir role sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Mahmoudzadeh ve Naserabadi (2012), yatay ve düşey yönlerde uniform olmayan yükler altında kazıklı yayılı temellerin davranışlarını sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Araştırmalarında, farklı boy ve çapa sahip kazıkların kullanılmasının sistem performansını artırabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre, yatay yükleme altında kazıkların kullanılması yayılı temelin yanal ötelenmesini azaltırken, aynı zamanda yayılı temelde eğilme momentlerine neden olmaktadır. Düşey yükleme durumunda ise yük taşıma kapasitesinin, yatay yüklemeye maruz kalan kazıklara kıyasla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Tasarım açısından, yayılı temele etki eden yükün büyüklüğüne bağlı olarak kazık yerleşiminin yük eksenlerine göre düzenlenmesi gerektiği ve daha uzun kazıkların yayılı temele etkiyen alana uygun şekilde konumlandırılmasının önemli olduğu vurgulanmıştır.

Omeman (2012), kohezyonsuz zeminlerdeki kazıklı yayılı temellerde yayılı temel ve kazıklar arasındaki yük paylaşımını PLAXIS 2D programı ile incelemiştir. Çalışmada, kazık çapı, kazık boyu, kazık aralığı, uygulanan yük, kazık-zemin ara yüzey dayanımını azaltma faktörü, zeminin içsel sürtünme açısı, kazık, zemin ve yayılı temelin elastisite modülü, zeminin Poisson oranı, zeminin birim hacim ağırlığı, yayılı temelin kalınlığı ve genişliği gibi parametreler değişken olarak ele alınmıştır. Bu değişkenlerin yük paylaşımındaki etkileri sonlu elemanlar programı aracılığıyla araştırılmıştır.

Nguyen ve ark. (2013), santifrüj deneyleri kullanarak kum zeminler üzerine kurulu 9 ve 16 kazıklı yayılı temel sistemlerinin taşıma kapasitesi ve oturma davranışlarını analiz etmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre taşıma kapasitesinin yaklaşık %10-20'si yayılı temel tarafından sağlanmakta, geri kalan %80-90'lık kısım ise kazık grupları tarafından üstlenilmektedir. PLAXIS 3D ve SAP 2000 programları aracılığıyla yapılan analizlerden gelen sonuçlar, model santifrüj deney sonuçları ile uyumlu bulunmuştur.

Sawada ve Takemura (2014), farklı kombinasyonlardaki kazıklı yayılı temeller üzerine santifrüj deneyleri gerçekleştirerek bu temellerin yatay yüklere karşı gösterdiği davranışları incelemişlerdir. Deneyler, kazıklı yayılı temellerin yatay yükler karşısında deplasmanları etkili bir şekilde kontrol ettiğini göstermektedir.

Vu ve ark. (2014), PLAXIS 3D programında kazık sayısının, kazık uzunluğunun, kazık çapının ve kazık yerleşim düzeninin kazıklı yayılı temeller üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Farklı kazık parametrelerine sahip temeller üzerinde gerçekleştirilen nümerik analizler, bu parametrelerin değişiminin temel davranışlarını ciddi şekilde etkilediğini ortaya koymuştur.

Akgüner ve ark. (2014), zemin ile yapı arasındaki kinematik ilişkinin analiz edilmesi amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapı-zemin kinematik etkileşiminin yükleme özelliğine, kazıklı temele ve zemine bağlı olarak değiştiği durumları incelemek için sonlu elemanlar yöntemini kullanarak 1999 Kocaeli Deprem verisini dinamik yük olarak modellemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, kazıklı temel zeminin hareketi ile birlikte hareket etmekte ve bu etkileşim nedeniyle kazıkta dirence karşı gerilmeler oluşmaktadır. Zemindeki tabakalaşmanın deprem etkisini tabakalar arasında farklılaştırdığı ve bu durumun kazıkta değişken tesir kuvvetlerine neden olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kazık başının sabit olması durumunda, eğilme momentinin maksimum değerlerinin kazık başlarında meydana geldiği; serbest başlı olması halinde ise eğilme momentinin kazığın zemin seviyesinden daha derinlerde olduğu ortaya konmuştur. Çalışma, deprem etkisi altındaki yapıların kazık-zemin kinematik etkileşiminde maksimum eğilme momentlerinin kazık başının sabit veya serbest olmasına bağlı olarak değiştiğini ve tabakalaşmış zeminin bu etkileşimi farklı noktalarda etkilediğini göstermektedir.

Akgüner ve ark. (2014), zemin içerisindeki kazık temel sisteminin, deprem gibi dinamik yükler altında yapı-zemin kinematik etkileşimine neden olduğunu ve bu etkileşimin kazığın zemin içerisindeki uzunluğu ile kazığın etkilediği zemin tabakası arasındaki ilişkiden etkilendiğini göstermiştir. Araştırmaya göre, kinematik etkileşim faktörü ($H/L = I_u$), zemin tabakası kalınlığının (H) kazık boyuna (L) yaklaşmasıyla azalmakta ve kazıklı temel, zeminde meydana gelen yer değişimlerine daha fazla direnç göstermektedir. Deprem anında, kazığın zemin hareketini takip etmesiyle birlikte, kinematik etkileşim faktörü (H/L) 1'e yaklaştıkça yapıya etkiyen deprem yükü azalmakta, ancak (H/L) 1'den küçük olduğunda deprem yükü yapıya daha fazla etki etmektedir. Özellikle derin olmayan zemin tabakalarının kazıkta ivme değerlerinin artışına neden olduğu, yapılan çalışmada ortaya konmuştur.

Alver ve Gürkan (2015), kazıklı yayılı temelin oturma davranışları üzerinde kazık sayısının ve kazık uzunluğunun etkilerini araştırmışlardır. Optimum tasarımı sağlamak

amacıyla kazık sayısını artırmak yerine kazık uzunluğunun artırılmasının daha etkili sonuçlar vereceğini önermişlerdir.

Fattah ve ark. (2015) tarafından kohezyonsuz zeminlerdeki kazıklı yayılı temellerin davranışlarını değerlendirmek amacıyla yapılan deneyler kum tankına yerleştirilen temeller üzerine düşey yükler uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan yüklemeler, farklı kazık düzenlemeleriyle tekrarlanmıştır. Bu çalışmalarda yayılı temelin zemine doğrudan temas etmediği durumlar da gözlenmiştir. Deneysel bulgular, kazık düzeninin ve sayısının temelin davranışlarını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir.

Watcharasawe ve ark. (2015), kohezyonlu zeminler üzerine inşa edilmiş farklı yüksekliklerdeki yapıların analizini PLAXIS 3D programı kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Zemin modelleri, Mohr-Coulomb bünye modeli kullanılarak tasarlanmış ve yük-deplasman değerleri elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda yayılı temel kalınlığının temel davranışlar üzerinde belirleyici bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yapı derinliğinin artmasıyla birlikte kazıklı yayılı temelin taşıma kapasitesinde değişiklikler meydana gelmiştir.

Mısır ve ark. (2016), 134 m uzunluğundaki buhar tesisi bacasının yayılı temel sistemini, sonlu elemanlar yöntemiyle kazıklı yayılı temel olarak tasarlamışlardır. Yayılı temel, 2 m kalınlığında ve 18 m çapında dairesel bir kazık başlığı ile oluşturulmuştur. Çalışmada, rüzgâr, deprem ve statik yükler altındaki davranışlar değerlendirilmiştir. Buhar bacasının temel halkasının en dış çevresindeki zeminde oluşan gerilmeler merkeze doğru azalırken, kazık boyları dıştan içe doğru kademeli olarak azaltılmıştır. Ayrıca, rüzgâr kuvvetinin yayılı temele etkisinin kazık başı plağında dıştan merkeze doğru azaldığı ve bu nedenle tasarımda kazık boylarının da dıştan içe doğru küçültüldüğü ortaya konmuştur.

Alver ve ark. (2016), oturmaya dayalı tasarım esasına göre kazıklı yayılı temeller üzerinde yaptıkları çalışmalarında, kazıklar arası mesafenin 4.5-6.0 çap aralığında tutulması ve kazık boylarının artırılması ile optimum çözüme ulaştıklarını belirtmişlerdir. Araştırma sonuçları, kazıklar arası mesafenin azalmasının (yani kazık sayısının artmasının) kazık grup etkisini yükselttiğini ve bunun da zemin gerilmelerini artırarak oturma miktarının yükselmesine sebep olduğunu göstermektedir.

Bağrıaçık ve ark. (2017), kazıklı yayılı temellerin tasarımında kazıklar arası mesafenin ve kazık-zemin düşey yerleşim açısının etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler

sonucunda, kazık grup etkisini azaltmak amacıyla 4D mesafesinde kazık yerleşimi gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, kazıkların zeminle düşey birleşiminde açılardan artmasıyla taşıma gücünün arttığını ortaya koymuşlardır. Çalışma, kazık yerleşimi ve düşey birleşim açısının, kazıklı yayılı temel sistemlerinin performansı üzerindeki belirleyici etkilerini vurgulamaktadır.

Nguyen ve ark. (2017) tarafından kazıklı yayılı temellerin davranışlarını değerlendirmek üzere model deneyler yürütülmüştür. Bu deneyler, 9 ve 16 kazıklı temel sistemleri üzerinde santrifüj tankında düşey yüklemeler yaparak gerçekleştirilmiş ve silis kumu kullanılmıştır.

Altay ve Kayadelen (2017), ANSYS programını kullanarak çeşitli çap ve uzunluklardaki kazıkları modellemiştir. Bu çalışmada 40 cm, 80 cm ve 100 cm çaplarında ve 10 m, 15 m, 20 m uzunluklarında tekil kazıklar incelenmiştir. Farklı boyutlardaki kazıkların kayma gerilmesi ve yanal deplasman değerleri belirlenmiştir. Araştırma, aynı uzunluktaki farklı çapta kazıklar için moment artışıyla birlikte maksimum kayma gerilmesinin ve yanal deplasmanların da arttığını göstermektedir.

Deshpande ve Thakare (2017), MIDAS GTS 3D programını kullanarak kazıklı yayılı temeller üzerine farklı kazık parametreleri ile analizler yapmışlardır. Yapılan analizler, kazık sayısındaki artışın taşıma gücünde önemli artışlara yol açtığını göstermiştir. Bu artış, çap artışından ziyade kazık boyunun uzatılmasıyla sağlanmıştır. Ayrıca optimum kazık uzunluğunun “kazık uzunluğu/kazık çapı” oranında olduğu belirlenmiştir.

Sharafkhan ve Shooshpasha (2018), kohezyonsuz zeminler üzerinde kurulu kazıklı yayılı temellerin davranışını etkileyen faktörler üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada simetrik ve asimetrik kazık yerleşim düzenlerine sahip model temeller üzerinde yüklemeler yapılırken oturma değerleri ölçülmüştür. Elde edilen deneysel sonuçlar, simetrik olarak yerleştirilmiş kazıklarla oluşturulan temellerde daha düşük oturma değerleri gözlemlendiğini ortaya koymuştur.

Söylemez ve Güler (2019), deprem etkisi altındaki kazıklı yayılı temellerde yükün yayılı temel ve kazıklar arasında nasıl dağıldığını belirlemek amacıyla sonlu elemanlar yöntemiyle analizler gerçekleştirmişlerdir. Araştırmalarında, kazık boylarının uzamasının bu yük dağılımına etkisini de incelemişlerdir. Üç farklı deprem modelini kullanarak yaptıkları çalışmada, yüzen ve uç kazık sistemlerini karşılaştırmışlardır. Pik değerlere ulaşan deprem etkisi altında, uç kazıkların üst yapı yükünü daha fazla

taşıdığı; uç kazıklı yayılı temel sisteminde yayılı temelin neredeyse hiç yük almadığı ve yükün tamamen kazıklar tarafından karşılandığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık, yüzen kazıklı yayılı temel sisteminde, uç kazıklara kıyasla yayılı temel de belirli bir oranda yük taşımaktadır. Ayrıca, kazık boylarının uzamasının yayılı temele aktarılan yükü azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Çalışma, kazık uzunluklarının ve kazık türlerinin deprem etkisi altındaki yayılı temel sistemlerinde yük taşıma mekanizmalarını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

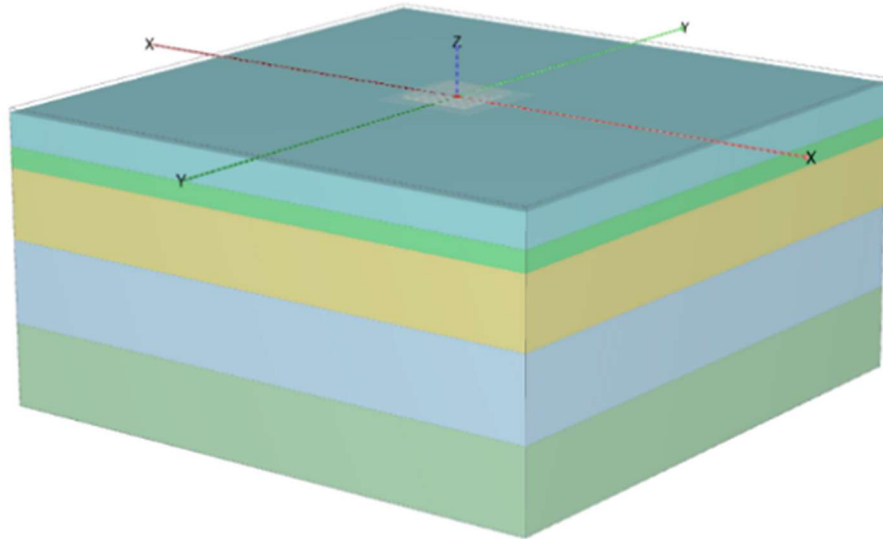




4. YÖNTEM

4.1. Zemin, Temel ve Kazık Özellikleri

Bu tez çalışmasında Adapazarı zemin özellikleri dikkate alınarak seçilen kesitte beş tabaka bulunmaktadır (Şekil 4.1). Üst 8 m’de kahverengi yumuşak siltli kil tabakaları, onun altında 5 m kalınlığında çok sıkı kum tabakaları modellenmiştir. 13 m ile 70 m arasında kil özelliği gösteren zemin ise, değişen aşırı konsolidasyon etkisini dikkate alabilmek üzere üç ayrı tabaka şeklinde modellenmiştir. Malzeme tipi, sıkı kum tabakasında yükleme anında boşluk suyu basıncı oluşmadığı kabulüyle “drenajlı”, diğerlerinde ise “drenajsız” seçilmiştir. Zemin özellikleri pekleşen zemin modeli ile temsil edilmiştir. Sıkı kum tabakasının özellikleri, koni penetrasyon deneyi sonuçları kullanılarak bulunmuştur (Robertson ve Campanella, 1983). Sıkı kum tabakasının üstünde ve altında yer alan killi tabakaların özellikleri, laboratuvarda yapılan CIU üç eksenli deneylerden ve konsolidasyon deneylerinden elde edilmiştir. Seçilen modelde kullanılan zemin, temel, kazık ve ara yüzey özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir (Sert, 2003).

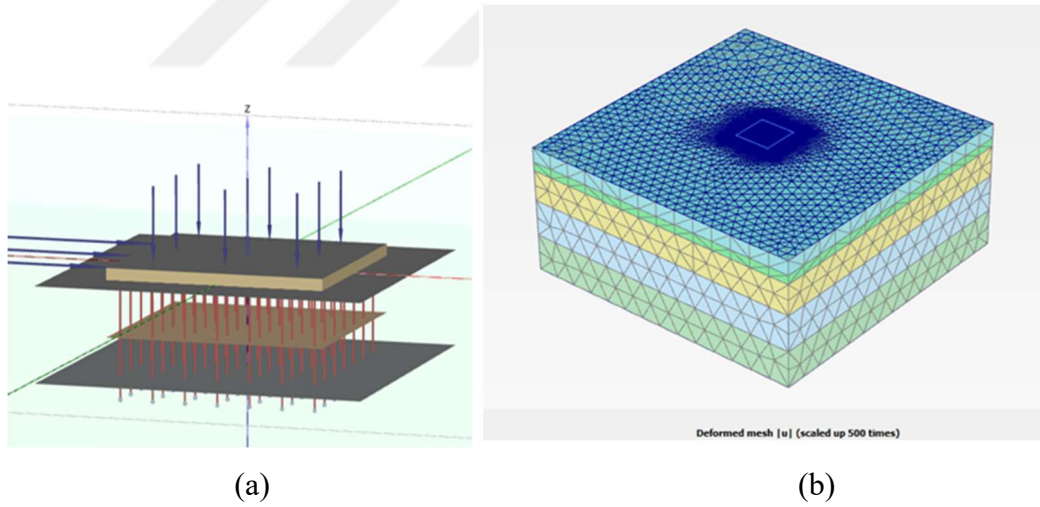


Şekil 4.1. PLAXIS 3D Zemin Profili.

Tablo 4.1. Modelde Kullanılan Zemin, Kazık, Temel ve Ara Yüzey Özellikleri.

Derinlik (m)	0–8	8–13	13–30	30–50	50–70	Temel ve Kazıklar
İsim	Siltli Kil	Sıkı Kum	Kil	Kil	Kil	Beton
Malzeme Modeli	Pekleşen Zemin Modeli	Pekleşen Zemin Modeli	Pekleşen Zemin Modeli	Pekleşen Zemin Modeli	Pekleşen Zemin Modeli	Lineer Elastik
Malzeme Tipi	Drenajsız	Drenajlı	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız	Geçirimsiz
$\rho_{\text{doğun}}$ (kN/m ³)	18	18	18.5	18.5	18.5	24
e_0	1.0	0.4	1.0	1.0	1.0	-
E_{50}^{ref} (kPa)	8000	62000	20000	20000	20000	30000000
$E_{\text{od}}^{\text{ref}}$ (kPa)	7000	65000	20000	20000	20000	-
Üstlük, m	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	-
c' (kPa)	15	$c'_{\text{int}}=15$	60	80	100	-
ϕ' (°)	20	$\phi'_{\text{int}}=20$	40	15	15	-
ψ (°)	0	10	0	0	0	-
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ (kPa)	25000	246000	60000	60000	60000	-
v_{ur}	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
p^{ref} (kPa)	100	100	100	100	100	-
K_0^{nc}	0.577	0.449	0.666	0.666	0.666	-
c'_{inc} (kPa)	0	0	1	1	1	-
z_{ref} (m)	0	0	-13	-30	-50	-
R_f	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	-
R_{inter}	0.75	-	-	-	-	-
OCR	2	1.75	1.5	1.3	1.1	-

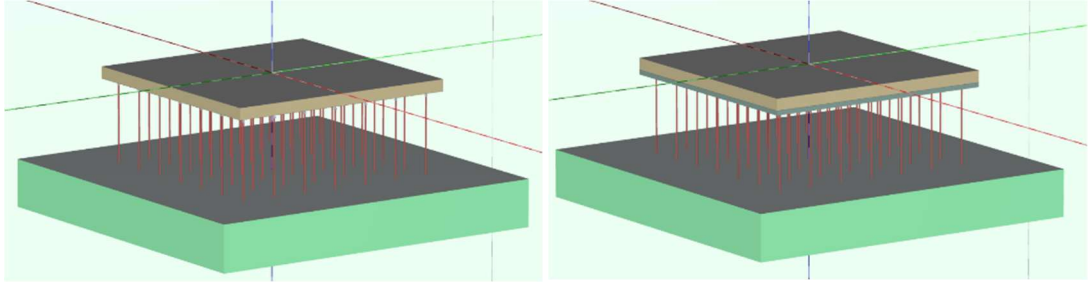
Yayılı temel, kazıklar ve ara yüzeylerle yüklerin görünümü Şekil 4.2-a.'da, 3 boyutlu sonlu eleman ağı ise Şekil 4.2-b.'de sunulmaktadır.

**Şekil 4.2.** (a) Model Elemanları. (b) Sonlu Eleman Ağı'nın Görünüşü.

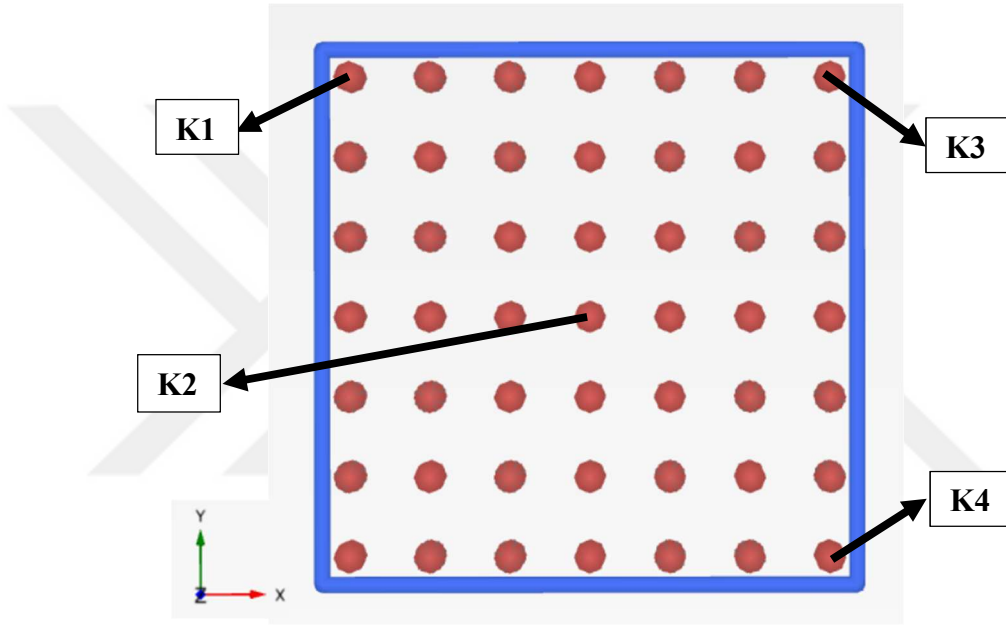
4.2. PLAXIS 3D ile Çözüm Aşamaları

Bu çalışmada, iki farklı gömme derinliğinde ($D_f=0$ ve $D_f=1$) bulunan, farklı çapta ($D=60$ cm, $D=80$ cm, $D=100$ cm), 10 m boyunda, $s=3$ m sabit aralıklı, 49 adet kazıktan oluşan, 20 m x 20 m x 1 m ve 20 m x 20 m x (1+0.4) m (Şekil 4.3) boyutlarındaki kazıklı yayılı temel sistemi modellenmiştir. Temel altında seçilmiş olan dört adet

kazığın (Şekil 4.4.), farklı yükleme koşulları altında kuvvet tesirleri PLAXIS 3D programı ile incelenmiştir.

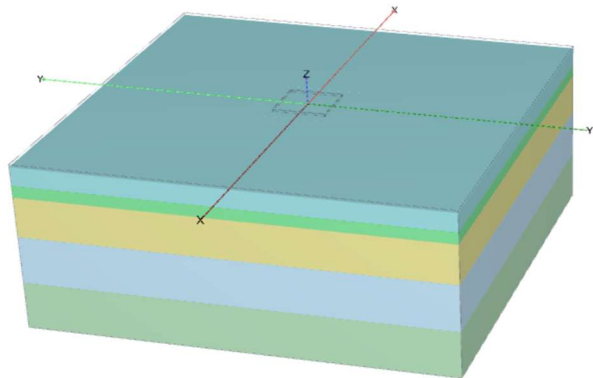
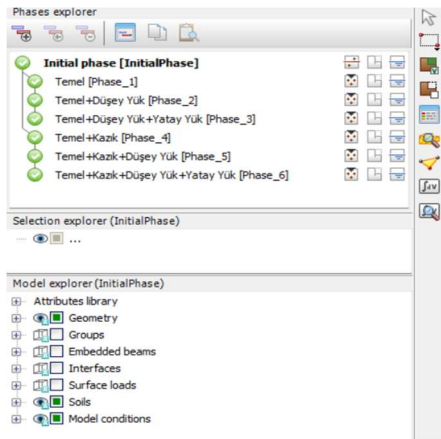


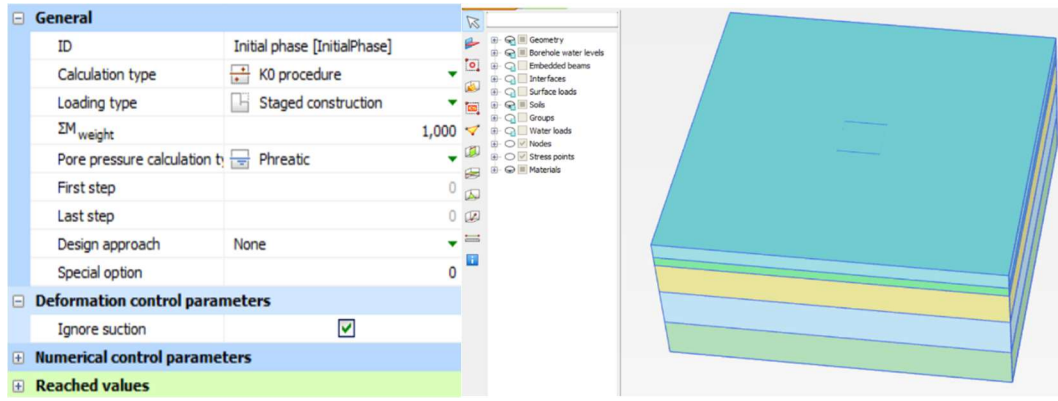
Şekil 4.3. Tekli ve Çiftli Yayılı Temel.



Şekil 4.4. Seçilen Kazıklar.

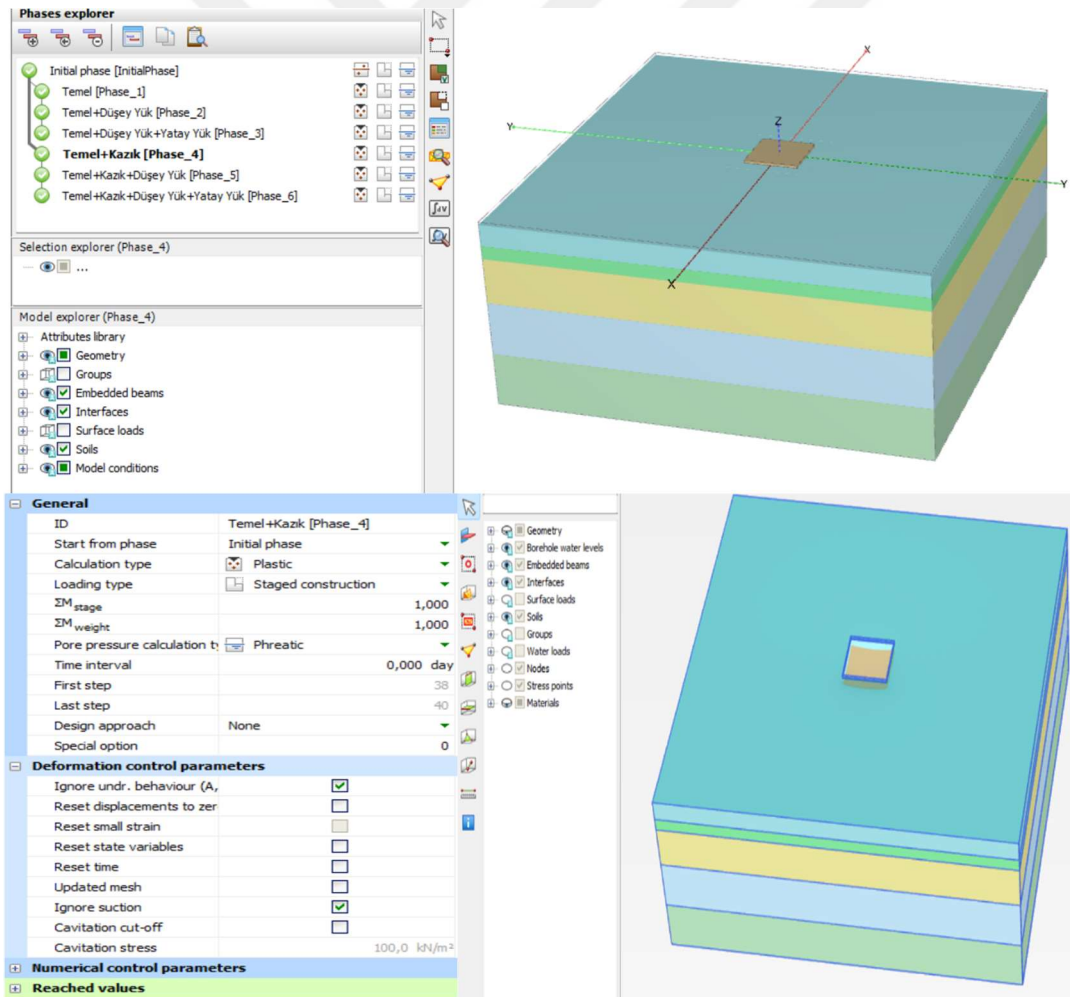
İlk aşamada, başlangıç fazında, Sadece Yayılı Temel (SYT) ve çiftli yayılı temelden (ÇYT) oluşan modellerde doğal gerilmeler oluşturulmuştur. Başlangıç fazına ait PLAXIS 3D yükleme ayarları görüntüsü Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.



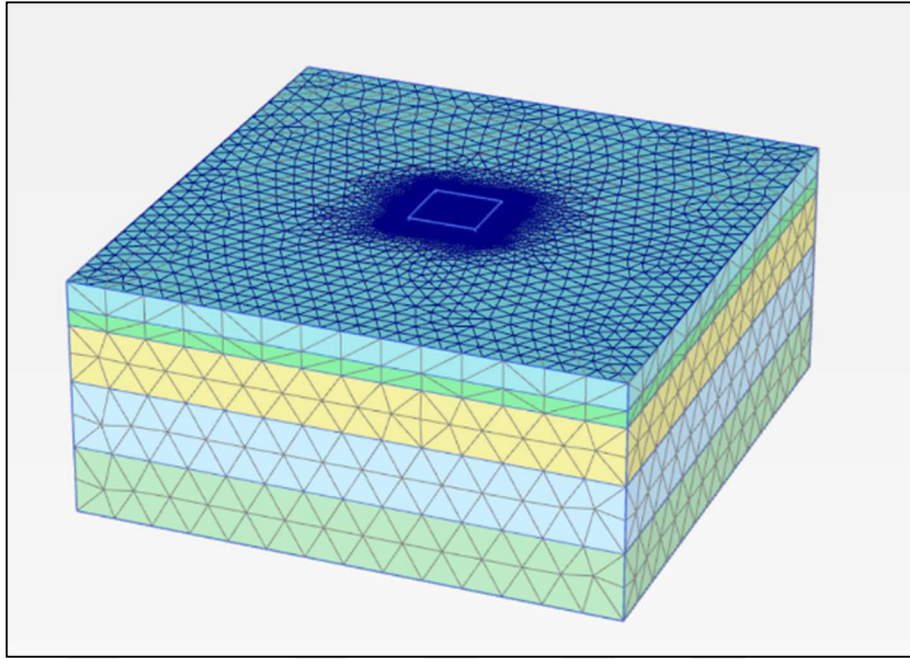


Şekil 4.5. Başlangıç Fazı Ayarları ve Görüntüsü.

İkinci aşamada, Faz-1’de, Sadece yayılı temel (SYT) ve çiftli yayılı temelden (ÇYT) oluşan modellerde yayılı temelin kendi ağırlığı altında kazık davranışları incelenmiştir. Faz-1 modeline ait PLAXIS 3D yükleme ayarları görüntüsü Şekil 4.6.’da, sonlu eleman ağı Şekil 4.7.’de ve yükleme modeline ait bilgiler Tablo 4.2.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Faz-1 Ayarları ve Görüntüsü.

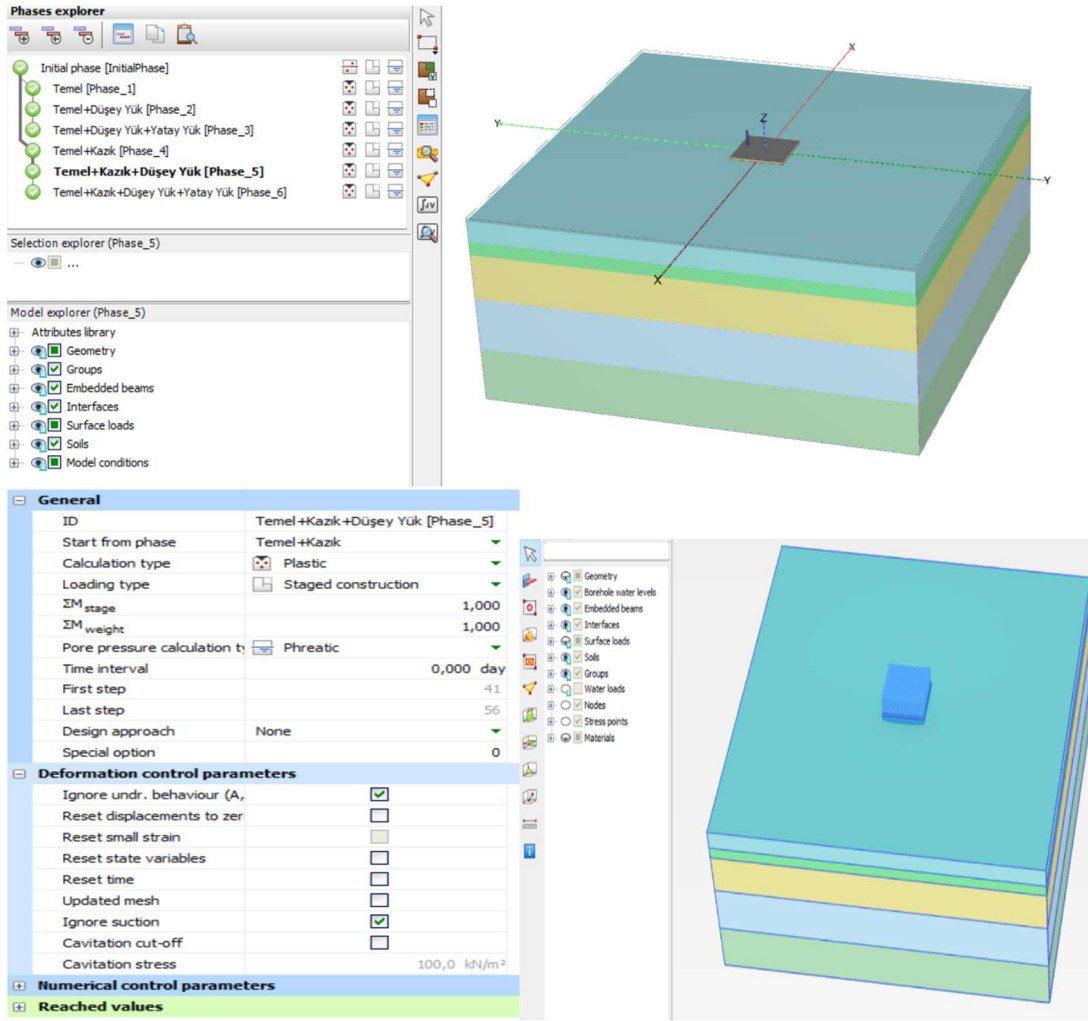


Şekil 4.7. Faz-1 PLAXIS Modeli.

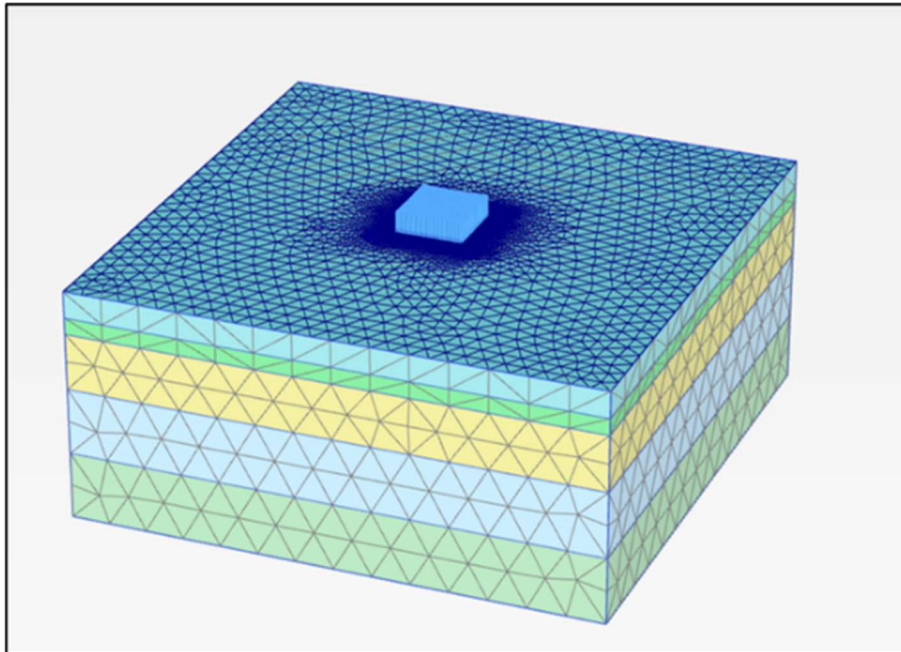
Tablo 4.2. Faz-1 Yükleme Modelleri.

D _f =0 m / D _f =1 m					
	Yayılı Temel	Kazık Başlığı	Kazık D60	Kazık D80	Kazık D100
SYT	✓	-	-	-	-
SYT+D60	✓	-	✓	-	-
SYT+D80	✓	-	-	✓	-
SYT+D100	✓	-	-	-	✓
ÇYT+D60	✓	✓	✓	-	-
ÇYT+D80	✓	✓	-	✓	-
ÇYT+D100	✓	✓	-	-	✓

Üçüncü aşamada, Faz-2’de, SYT ve ÇYT’den oluşan modellerde yayılı temelin kendi ağırlığına ilave olarak Fz=90 kPa’lık düşey yayılı yük (temsili 9 katlı bina yükü) altında kazık davranışları incelenmiştir. Faz-2 modeline ait PLAXIS 3D yükleme ayarları görüntüsü Şekil 4.8.’de, sonlu eleman ağı Şekil 4.9.’da ve yükleme modeline ait bilgiler Tablo 4.3.’te gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Faz-2 Ayarları ve Görüntüsü.

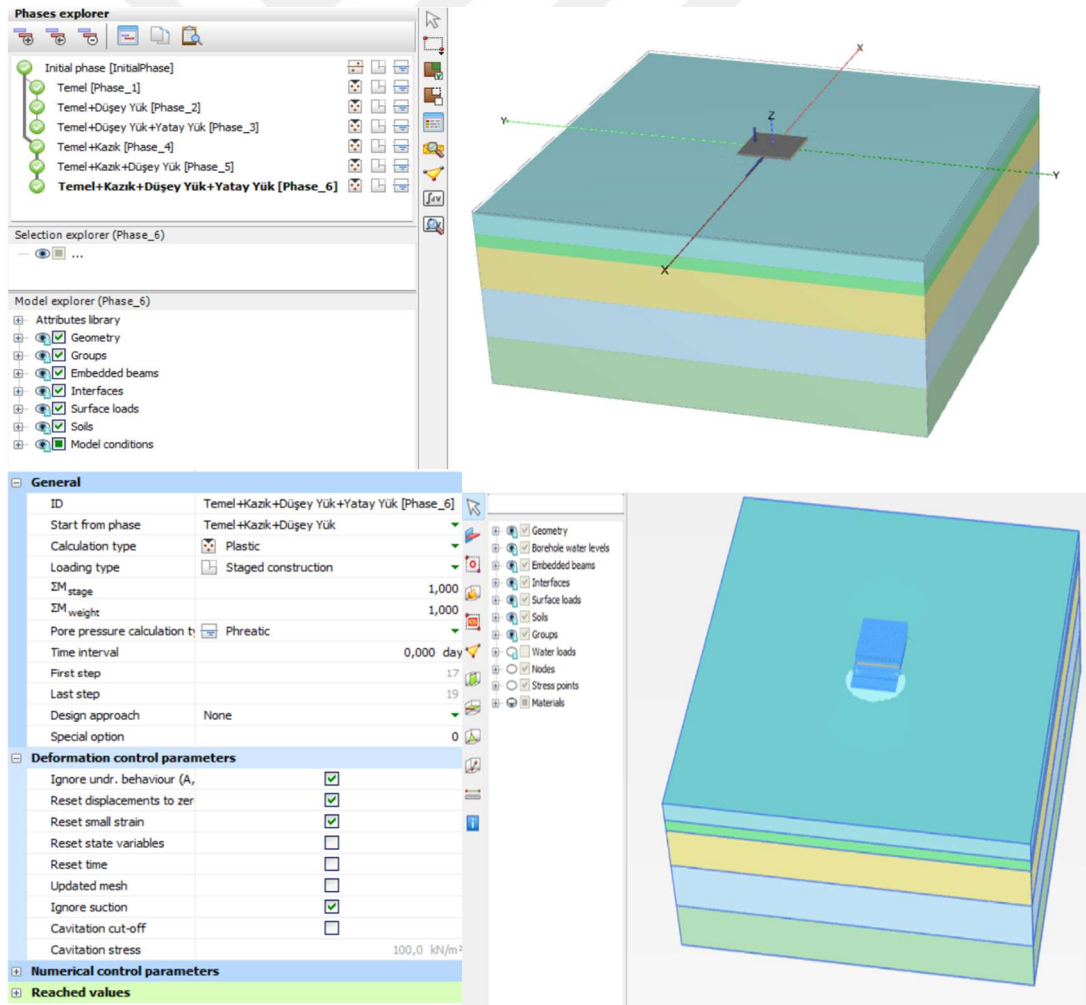


Şekil 4.9. Faz-2 PLAXIS Modeli.

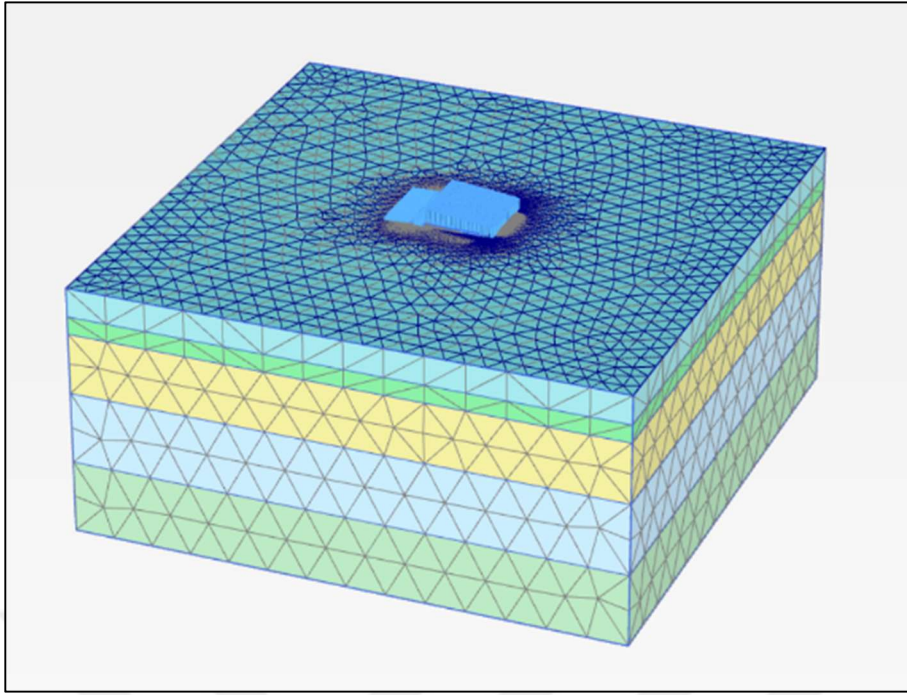
Tablo 4.3. Faz-2 Yükleme Modelleri.

	D _f =0 m / D _f =1 m					
	Yayılı Temel	Kazık Başlığı	Kazık D60	Kazık D80	Kazık D100	Fz 90 kPa
SYT	✓	-	-	-	-	✓
SYT+D60+F _z	✓	-	✓	-	-	✓
SYT+D80+F _z	✓	-	-	✓	-	✓
SYT+D100+F _z	✓	-	-	-	✓	✓
ÇYT+D60+F _z	✓	✓	✓	-	-	✓
ÇYT+D80+F _z	✓	✓	-	✓	-	✓
ÇYT+D100+F _z	✓	✓	-	-	✓	✓

Dördüncü aşamada, Faz-3'te, yayılı temelin kendi ağırlığına ilave olarak F_z=90 kPa'lık düşey yayılı yük (temsili 9 katlı bina yükü) etkisinde, yayılı temele yatay F_x=250 kPa'lık (temsili deprem yükü) etkililerek kazık davranışları incelenmiştir. Faz-3 modeline ait PLAXIS 3D yükleme ayarları görüntüsü Şekil 4.9.'da, sonlu eleman ağı Şekil 4.10.'da ve yükleme modeline ait bilgiler Tablo 4.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Faz-3 Ayarları ve Görüntüsü.



Şekil 4.11. Faz-3 PLAXIS Modeli

Tablo 4.4. Faz-3 Yükleme Modelleri

$D_f=0 \text{ m} / D_f=1 \text{ m}$							
	Yayıllı Temel	Kazık Başlığı	Kazık D60	Kazık D80	Kazık D100	Fz 90 kPa	Fx 250 kPa
SYT	✓	-	-	-	-	✓	✓
SYT+D60+F_z+F_x	✓	-	✓	-	-	✓	✓
SYT+D80+F_z+F_x	✓	-	-	✓	-	✓	✓
SYT+D100+F_z+F_x	✓	-	-	-	✓	✓	✓
ÇYT+D60+F_z+F_x	✓	✓	✓	-	-	✓	✓
ÇYT+D80+F_z+F_x	✓	✓	-	✓	-	✓	✓
ÇYT+D100+F_z+F_x	✓	✓	-	-	✓	✓	✓

Seçilen her kazık için; N (kN) eksenel basınç kuvvet tesirleri, Q_{13} (kN) kesme kuvveti tesirleri, M_3 (kNm) dönme momenti tesirleri, T_{skin} (kN/m) sürtünme kuvveti tesirleri, U_z (mm) düşey deplasman değerleri ve U_x (mm), yatay deplasman (yatay kuvvet uygulama yönü x-x doğrultusunda uygulandığı için) değerlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Analizler, sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan PLAXIS 3D programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yatay yük uygulamasından önce sistemdeki tüm deplasmanlar sıfırlanarak, yalnızca yatay yükün etkisinin net bir şekilde gözlenmesi sağlanmıştır.

5. ANALİZ SONUÇLARI

Bu tez çalışmasında, iki farklı gömme derinliğinde ($D_f=0$ m ve $D_f=1$ m) bulunan, farklı çapta (60 cm, 80 cm, 100 cm), 10 m boyunda, $s=3$ m sabit aralıklı, 49 adet kazık içeren, 20 m x 20 m x 1 m ve 20 m x 20 m x (1+0.4) m (Şekil 4.3 a,b) boyutlarındaki kazıklı temeller modellenmiştir. Şekil 4.4.'te gösterildiği üzere temel altında seçilmiş olan dört adet kazığın (K1, K2, K3, K4), farklı yükleme koşulları altında; N (kN), eksenel basınç kuvvet tesirleri, Q_{13} (kN) kesme kuvveti tesirleri, M_3 (kNm) dönme momenti tesirleri, T_{skin} (kN/m) sürtünme kuvveti tesirleri, U_z (mm) düşey deplasman değerleri ve U_x (mm) yatay deplasman (yatay kuvvet uygulama yönü x-x doğrultusunda) değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

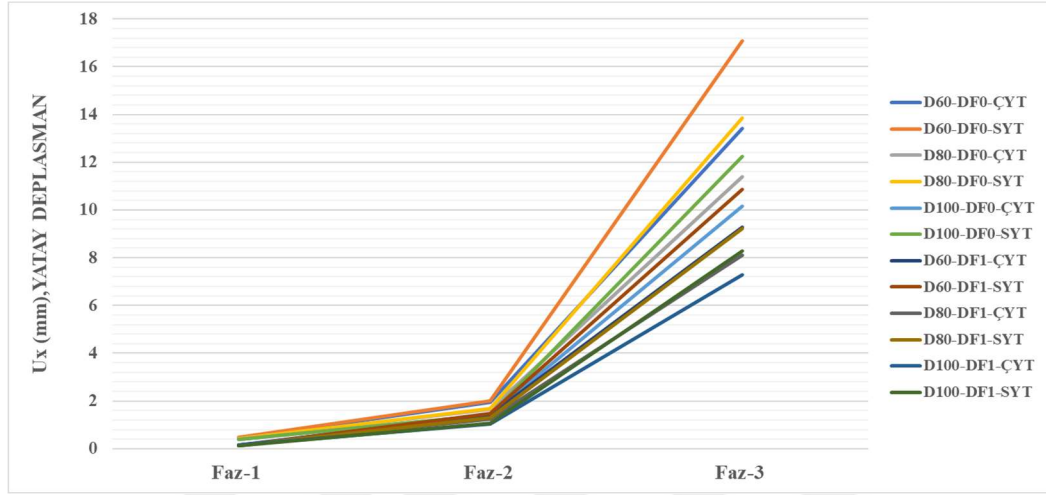
5.1. Faz-3 Yükleme Modeline Göre Kazıkların Yatay Deplasman (U_x , mm) Değerleri

a. Yüzeye oturan çiftli yayılı temel altındaki K1 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yatay deplasman değeri (U_x), 13.43 mm'den 10.16 mm'ye düşmektedir. $D_f=1$ m'de ise yatay deplasman değeri (U_x), 9.29 mm'den 7.27 mm'ye düşmektedir. Kazık çapının artması çiftli yayılı temel altındaki K1 kazığının yatay deplasman değerinde %20'ye varan, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise %30'a varan azalmaya sebep olmuştur.

b. Yüzeye oturan SYT altındaki K1 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yatay deplasman değeri (U_x), 17.07 mm'den 12.24 mm'ye düşmektedir. $D_f=1$ m'de ise yatay deplasman değeri (U_x), 10.86 mm'den 8.28 mm'ye düşmektedir. Kazık çapının artması SYT altındaki K1 kazığının yatay deplasman değerinde %25'e varan, temel gömme derinliğinin 1 m olması da %25'e varan azalmaya sebep olmuştur.

Yüzeye oturan SYT altında max 17.07 mm yatay deplasman (U_x) hareketine maruz kalan K1 kazığı, çiftli yayılı temel altında 13.43 mm'lik yatay deplasman yapmıştır. Çiftli yayılı temel, K1 kazığının yatay deplasman değerinde %21'lik azalmayı sağlamıştır. Ayrıca, max yatay deplasman hareketi kazık başında gerçekleşmiştir. Çiftli yayılı temel altındaki K1 kazığının yatay deplasman (U_x) değerleri çoğunlukla SYT altındaki durumuna kıyasla ortalama %16 oranında daha azdır.

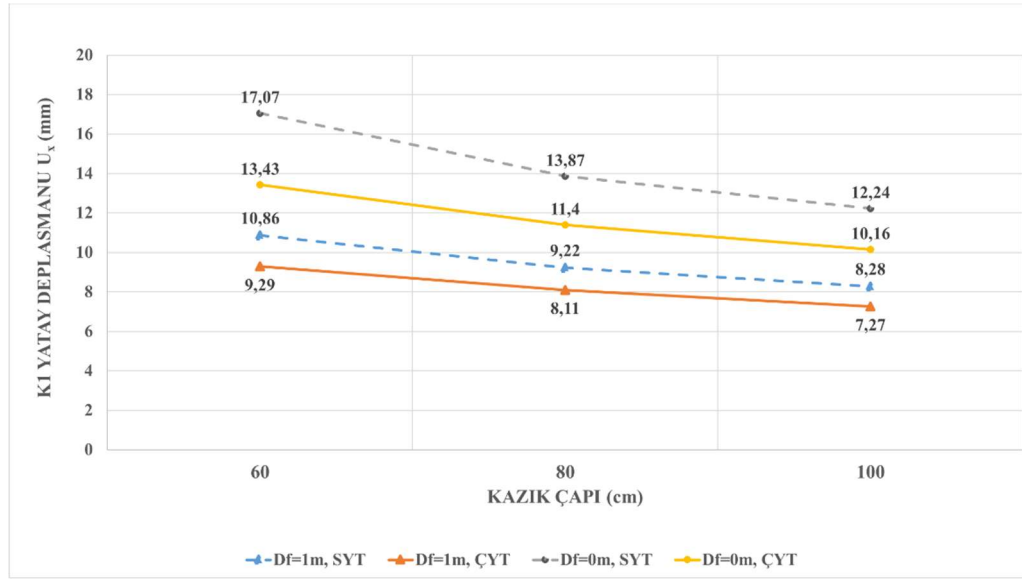
K1 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen U_x yatay deplasman grafiği Şekil 5.1.'de, değerleri ise Tablo 5.1.'de gösterilmiştir. Ayrıca çapa bağlı U_x yatay deplasman grafiği de Şekil 5.2.'te gösterilmiştir. D_f 0 m olduğu durumda, 60 cm çaplı kazıklar için seçilen kazıklarda yatay deplasmanlar Şekil 5.3.'te örnek olarak gösterilmektedir.



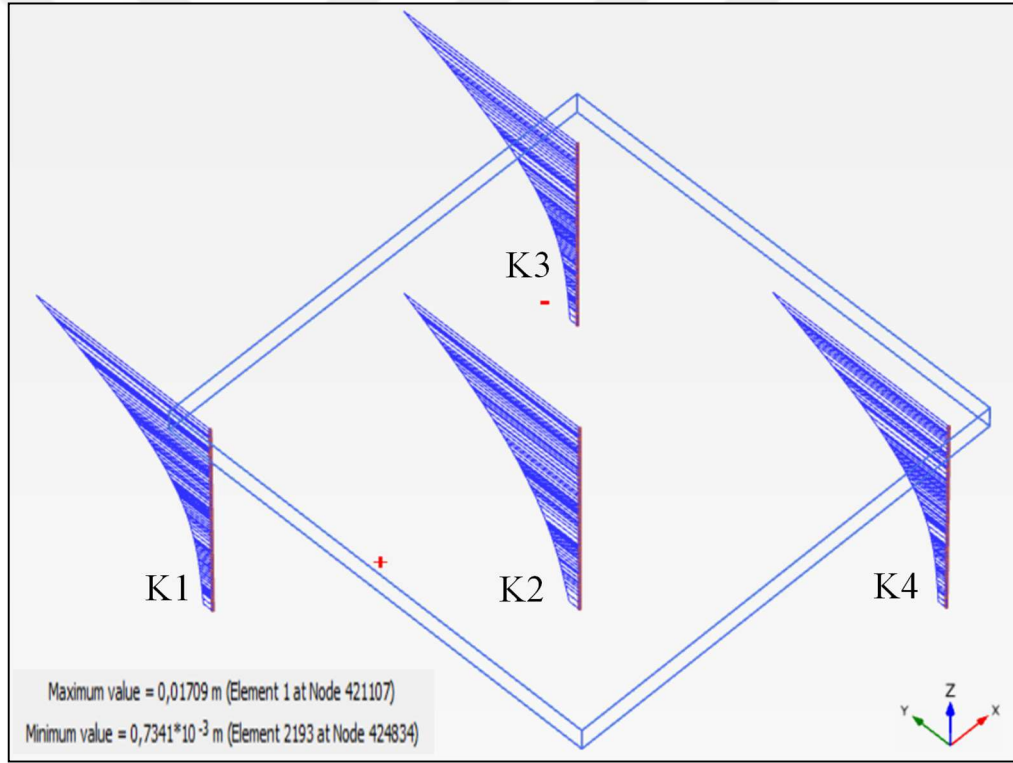
Şekil 5.1. K1 Kazığı Yatay Deplasman Grafiği.

Tablo 5.1. K1 Kazığı Yatay Deplasman Değerleri (mm).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60- $D_f=0$ m - ÇYT	0.46	1.94	13.43
D60- $D_f=0$ m - SYT	0.47	1.99	17.07
D80- $D_f=0$ m - ÇYT	0.43	1.64	11.40
D80- $D_f=0$ m - SYT	0.43	1.67	13.87
D100- $D_f=0$ m - ÇYT	0.38	1.41	10.16
D100- $D_f=0$ m - SYT	0.38	1.43	12.24
D60- $D_f=1$ m - ÇYT	0.16	1.42	9.29
D60- $D_f=1$ m - SYT	0.13	1.48	10.86
D80- $D_f=1$ m - ÇYT	0.16	1.23	8.11
D80- $D_f=1$ m - SYT	0.14	1.29	9.22
D100- $D_f=1$ m - ÇYT	0.15	1.02	7.27
D100- $D_f=1$ m - SYT	0.13	1.07	8.28



Şekil 5.2. K1 Kazığı Çapa Bağlı Yatay Deplasman Grafiği.



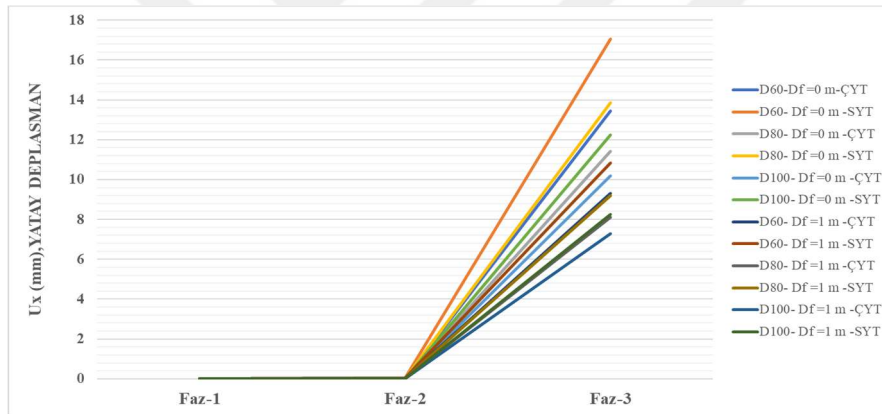
Şekil 5.3. $D_f=0$ m, $D=60$ cm, Kazıklardaki Yatay Deplasman Durumu.

c. Yüzeye oturan ÇYT altındaki K2 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yatay deplasman değeri (U_x), 13.45 mm'den 10.18 mm'ye düşmektedir. $D_f=1$ m'de ise yatay deplasman değeri (U_x), 9.3 mm'den 7.29 mm'ye düşmektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K2 kazığının yatay deplasman değerinde %30'a varan, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise %20'ye varan azalmaya sebep olmuştur.

d. Yüzeye oturan SYT altındaki K2 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yatay deplasman değeri (U_x), 17.07 mm'den 12.23 mm'ye düşmektedir. $D_f=1$ m'de ise yatay deplasman değeri (U_x), 10.84 mm'den 8.26 mm'ye düşmektedir. Kazık çapının artması SYT altındaki K2 kazığının yatay deplasman değerinde %30'a varan, temel gömme derinliğinin 1 m olması da %25'e varan azalmaya sebep olmuştur.

Yüzeye oturan SYT altında max 17.06 mm yatay deplasman (U_x) hareketine maruz kalan K2 kazığı, ÇYT altında 13.45 mm'lik yatay deplasmana maruz kalmıştır. ÇYT, K2 kazığının yatay deplasman değerinde %21'lik azalmayı sağlamıştır. Ayrıca max yatay deplasman hareketi kazık başında gerçekleşmiştir. ÇYT altındaki K2 kazığının yatay deplasman (U_x) değerleri çoğunlukla SYT altındaki durumuna kıyasla ortalama %20 oranında daha küçüktür.

K2 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen U_x yatay deplasman grafiği Şekil 5.4.'te, değerleri ise Tablo 5.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. K2 Kazığı Yatay Deplasman Grafiği.

Tablo 5.2. K2 Kazığı Yatay Deplasman Değerleri (mm).

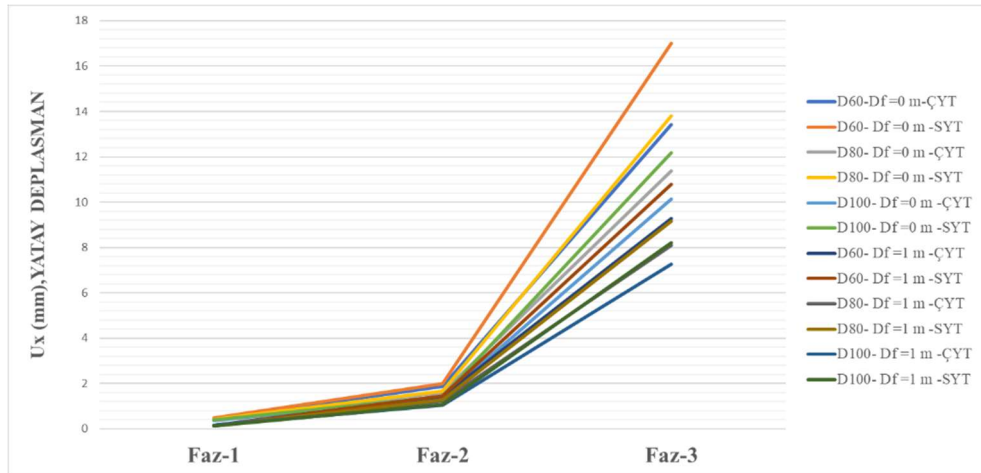
Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	0.0022	0.02	13.45
D60-D _f =0 m - SYT	0.0020	0.03	17.06
D80-D _f =0 m - ÇYT	0.0014	0.01	11.42
D80-D _f =0 m - SYT	0.0022	0.02	13.86
D100-D _f =0 m - ÇYT	0.0017	0.02	10.18
D100-D _f =0 m - SYT	0.0018	0.01	12.23
D60-D _f =1 m - ÇYT	0.0003	0.03	9.30
D60-D _f =1 m - SYT	0.0002	0.04	10.84
D80-D _f =1 m - ÇYT	0.0003	0.00	8.12
D80-D _f =1 m - SYT	0.0002	0.02	9.20
D100-D _f =1 m - ÇYT	0.0003	0.00	7.29
D100-D _f =1 m - SYT	0.0003	0.01	8.26

e. Yüzeye oturan ÇYT altındaki K3 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yatay deplasman değeri (U_x), 13.41 mm'den 10.14 mm'ye düşmektedir. $D_f=1$ m'de ise yatay deplasman değeri (U_x), 9.27 mm'den 7.25 mm'ye düşmektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K3 kazığının yatay deplasman değerinde %22'ye varan, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise %30'a varan azalmaya sebep olmuştur.

f. Yüzeye oturan SYT altındaki K3 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yatay deplasman değeri (U_x), 17.02 mm'den 12.18 mm'ye düşmektedir. $D_f=1$ m'de ise yatay deplasman değeri (U_x), 10.80 mm'den 8.21 mm'ye düşmektedir. Kazık çapının artması SYT altındaki K3 kazığının yatay deplasman değerinde %30'a varan, temel gömme derinliğinin 1 m olması da %25'e varan azalmaya sebep olmuştur.

Yüzeye oturan SYT altında max 17.02 mm yatay deplasman (U_x) hareketine maruz kalan K3 kazığı, ÇYT altında 13.41 mm'lik yatay deplasmana maruz kalmıştır. ÇYT, K3 kazığının yatay deplasman değerinde %21'lik azalmayı sağlamıştır. Ayrıca max yatay deplasman yatay kuvvet etkisiyle kazık başında gerçekleşmiştir. ÇYT altındaki K3 kazığının yatay deplasman (U_x) değerleri çoğunlukla SYT altındaki durumuna kıyasla ortalama %8 oranında daha küçüktür.

K3 kazığında üç yükleme modeli için meydana gelen U_x yatay deplasman grafiği Şekil 5.5.'te, değerleri ise Tablo 5.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. K3 Kazığı Yatay Deplasman Grafiği.

Tablo 5.3. K3 Kazığı Yatay Deplasman Değerleri (mm).

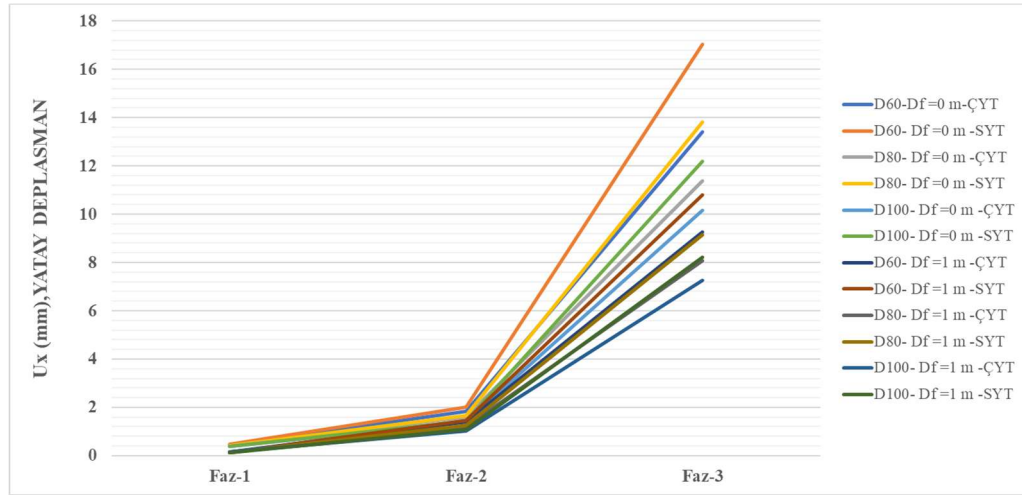
Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	0.46	1.88	13.41
D60-D _f =0 m - SYT	0.46	1.98	17.02
D80-D _f =0 m - ÇYT	0.43	1.61	11.38
D80-D _f =0 m - SYT	0.43	1.66	13.81
D100-D _f =0 m - ÇYT	0.37	1.38	10.14
D100-D _f =0 m - SYT	0.38	1.44	12.18
D60-D _f =1 m - ÇYT	0.16	1.42	9.27
D60-D _f =1 m - SYT	0.13	1.45	10.80
D80-D _f =1 m - ÇYT	0.16	1.23	8.09
D80-D _f =1 m - SYT	0.14	1.28	9.16
D100-D _f =1 m - ÇYT	0.15	1.03	7.25
D100-D _f =1 m - SYT	0.13	1.07	8.21

g. Yüzeye oturan ÇYT altındaki K4 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yatay deplasman değeri (U_x) 13.42 mm'den 10.15 mm'ye düşmektedir. D_f=1 m'de ise yatay deplasman değeri (U_x) 9.27 mm'den 7.25 mm'ye düşmektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K4 kazığının yatay deplasman değerinde %23'e varan, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise %30'a varan azalmaya sebep olmuştur.

h. Yüzeye oturan SYT altındaki K4 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yatay deplasman değeri (U_x) 17.03 mm'den 12.19 mm'ye düşmektedir. D_f=1 m'de ise yatay deplasman değeri (U_x) 10.80 mm'den 8.22 mm'ye düşmektedir. Kazık çapının artması SYT altındaki K4 kazığının yatay deplasman değerinde %34'e varan, temel gömme derinliğinin 1 m olması da %26'ya varan azalmaya sebep olmuştur.

SYT altında max 17.03 mm yatay deplasman (U_x) hareketine maruz kalan K4 kazığı, ÇYT altında 13.42 mm'lik yatay deplasmana maruz kalmıştır. ÇYT, K4 kazığının yatay deplasman değerinde %21'lik azalmaya sebebiyet vermiştir. Ayrıca max yatay deplasman hareketi kazık başında gerçekleşmiştir. ÇYT altındaki K4 kazığının yatay deplasman (U_x) değerleri çoğunlukla SYT altındaki durumuna kıyasla ortalama %7 oranında daha küçüktür.

K4 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen U_x yatay deplasman grafiği Şekil 5.6.'da, değerleri ise Tablo 5.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.6. K4 Kazığı Yatay Deplasman Grafiği.

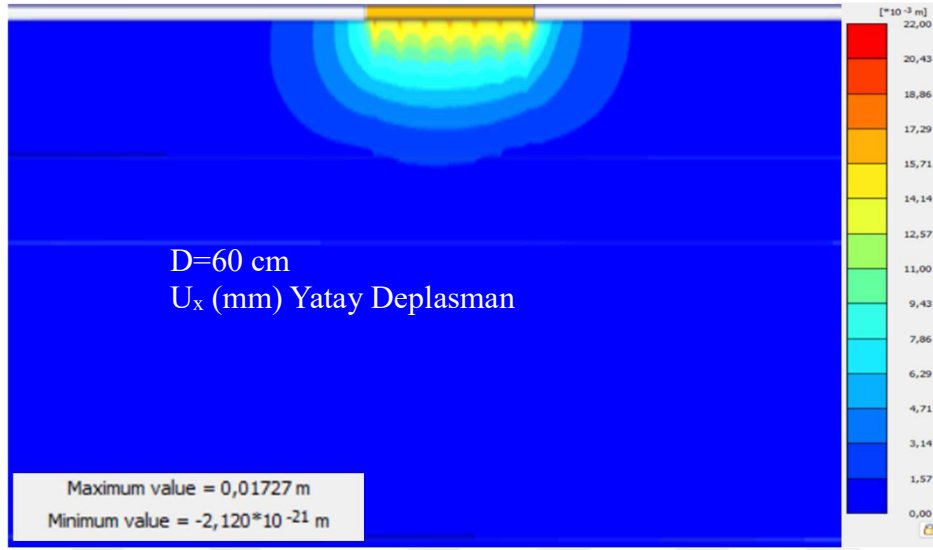
Tablo 5.4. K4 Kazığı Yatay Deplasman Değerleri (mm).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	0.46	1.84	13.42
D60-D _f =0 m - SYT	0.46	2.00	17.03
D80-D _f =0 m - ÇYT	0.43	1.61	11.39
D80-D _f =0 m - SYT	0.43	1.66	13.83
D100-D _f =0 m - ÇYT	0.38	1.39	10.15
D100-D _f =0 m - SYT	0.38	1.44	12.19
D60-D _f =1 m - ÇYT	0.16	1.41	9.27
D60-D _f =1 m - SYT	0.13	1.47	10.80
D80-D _f =1 m - ÇYT	0.16	1.21	8.08
D80-D _f =1 m - SYT	0.13	1.27	9.16
D100-D _f =1 m - ÇYT	0.15	1.02	7.25
D100-D _f =1 m - SYT	0.13	1.07	8.22

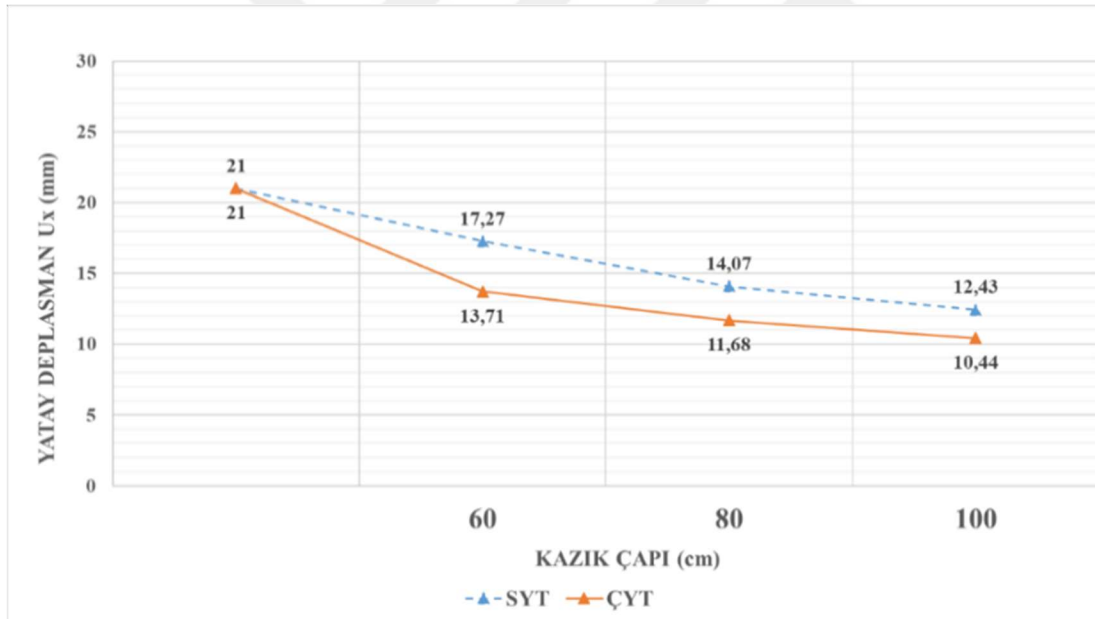
D_f= 0 m için sistemin merkezindeki yatay deplasman durumu incelendiğinde, Şekil 5.7.'de, D=60 cm kazık çapı ve SYT modeline ait PLAXIS 3D kesit görüntüsü gösterilmektedir. Sistemin merkezindeki max U_x değerleri Şekil 5.8.'de grafikte sunulmuştur. Şekil 5.9.'da ise SYT ve ÇYT modelleri için PLAXIS 3D kesit görüntüsü gösterilmiştir.

D_f= 1 m için sistemin merkezindeki yatay deplasman durumu incelendiğinde, Şekil 5.10.'da, D=60 cm kazık çapı ve SYT modeline ait PLAXIS 3D kesit görüntüsü gösterilmektedir. Sistemin merkezindeki max U_x değerleri Şekil 5.11.'de grafikte sunulmuştur. Şekil 5.12.'de ise dört temel tipi için yatay deplasman değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.13.'te ise SYT ve ÇYT modelleri için PLAXIS 3D kesit görüntüsü gösterilmiştir.

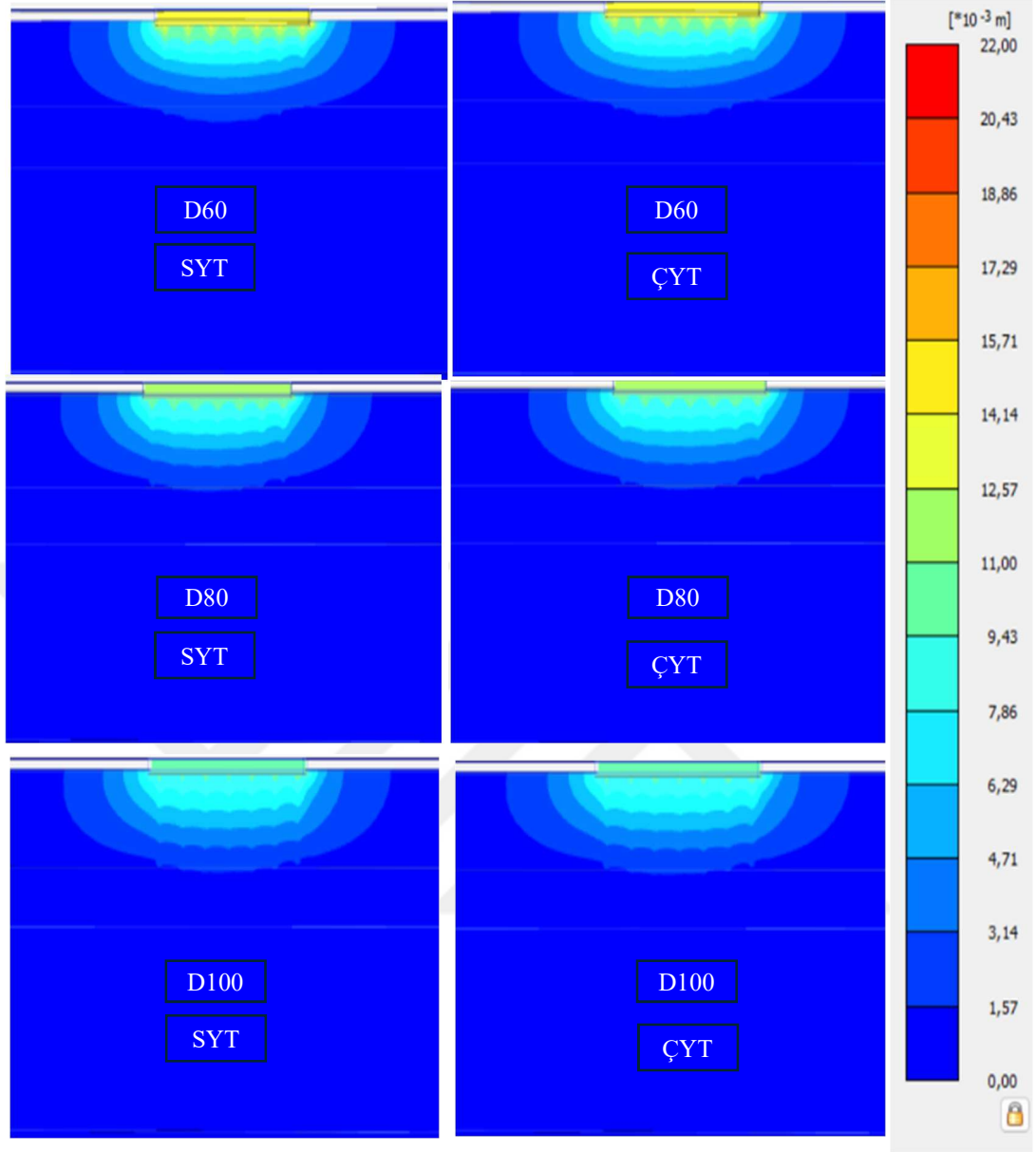
Ayrıca SYT ve ÇYT sistemlerinin merkezindeki yatay deplasman durumları sırasıyla Şekil 5.14.'te $D_f = 1$ m ve Şekil 5.15.'de $D_f = 0$ m durumları için gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Faz-3 $D_f=0$ m, SYT Yatay Deplasmanlar.



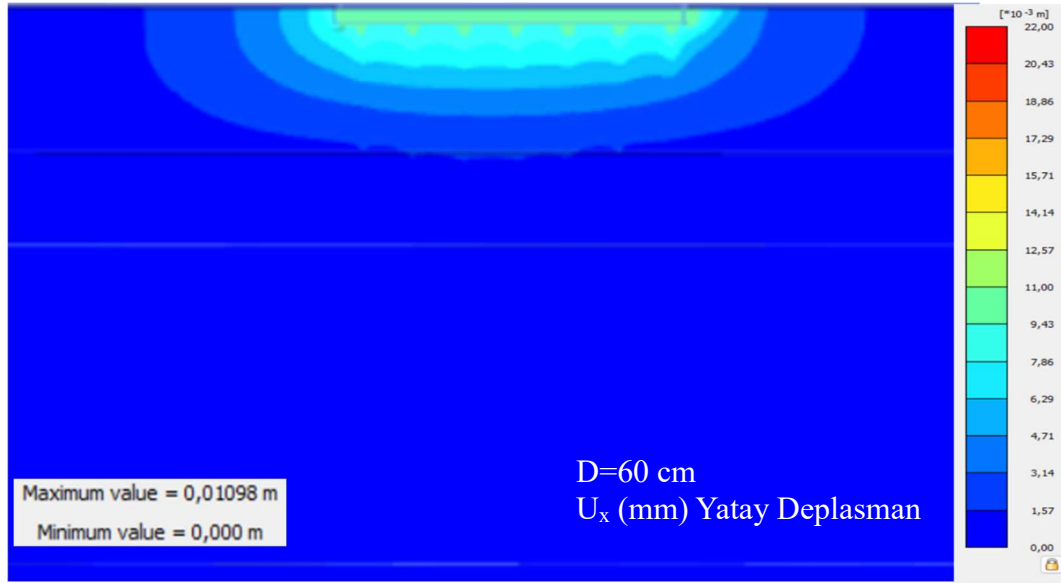
Şekil 5.8. Sistemin Merkezindeki Yatay Deplasman Değerleri.



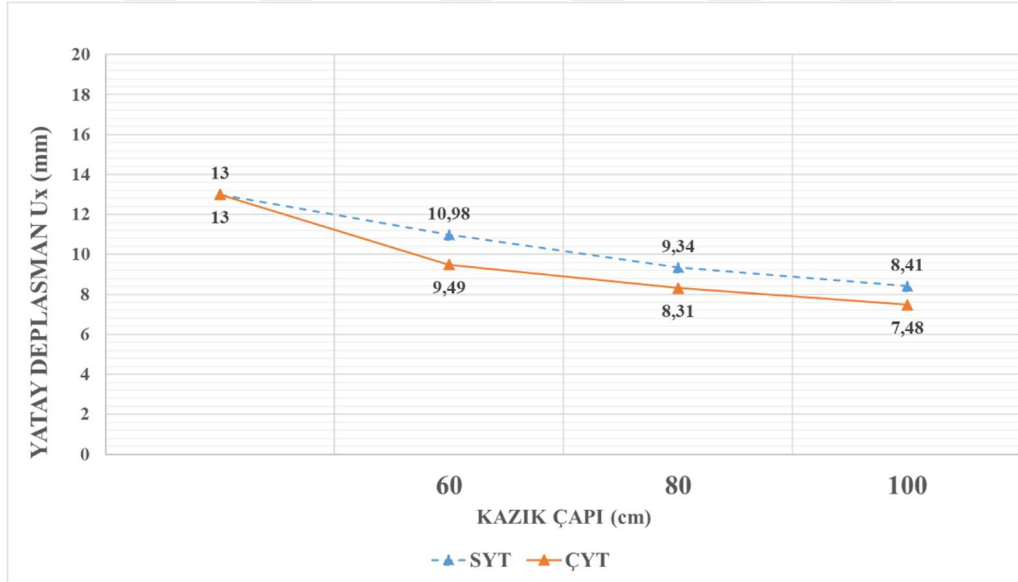
(a)

(b)

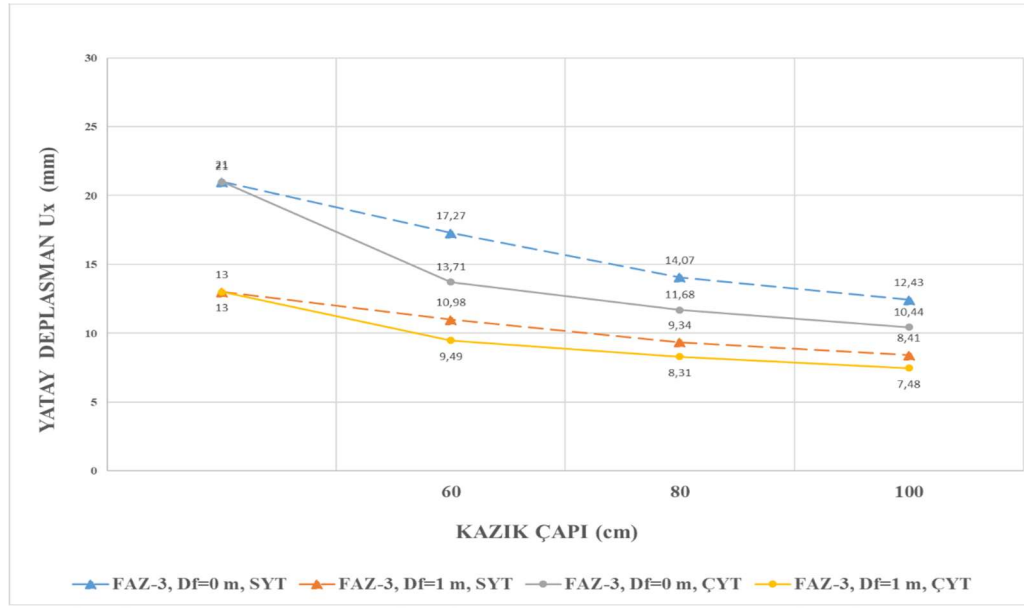
Şekil 5.9. Faz-3, $D_f=0$ m, Sistemin Merkezindeki Kesitlerde Yatay Deplasmanlar.



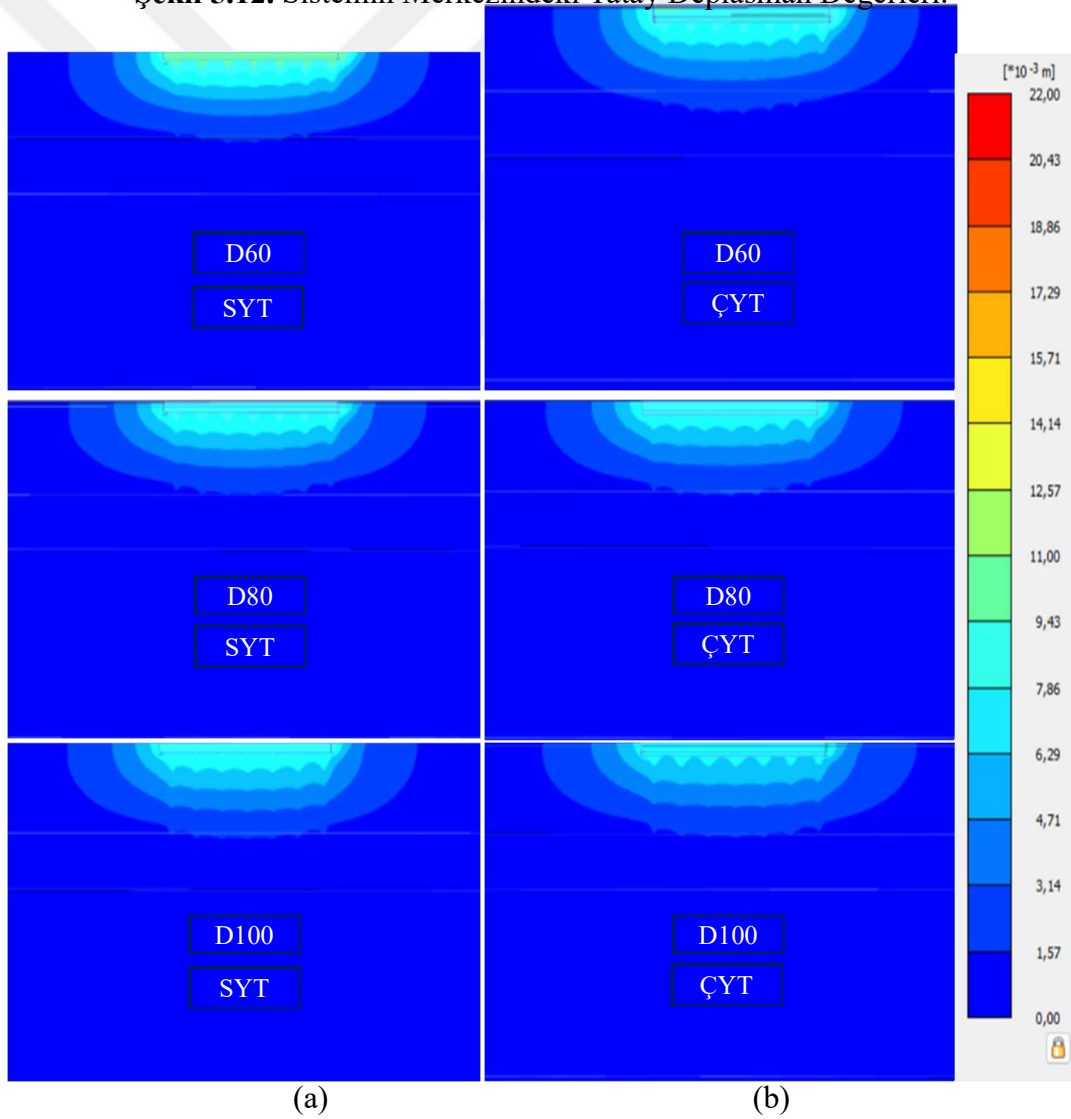
Şekil 5.10. Faz-3, $D_f=1$ m, SYT Yatay Deplasmanlar.



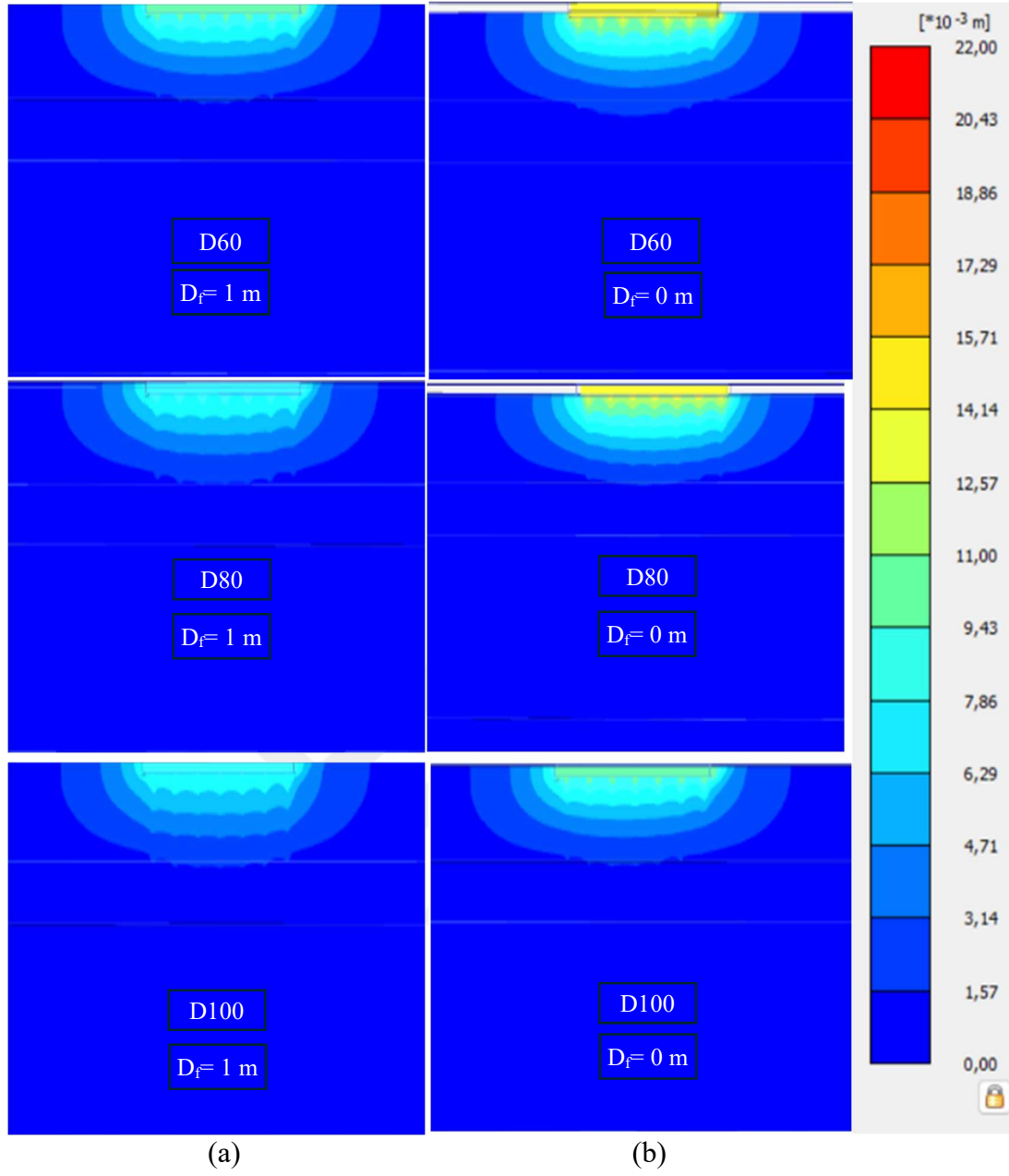
Şekil 5.11. Faz-3, $D_f=1$ m, Sistemin Merkezindeki Yatay Deplasman Değerleri.



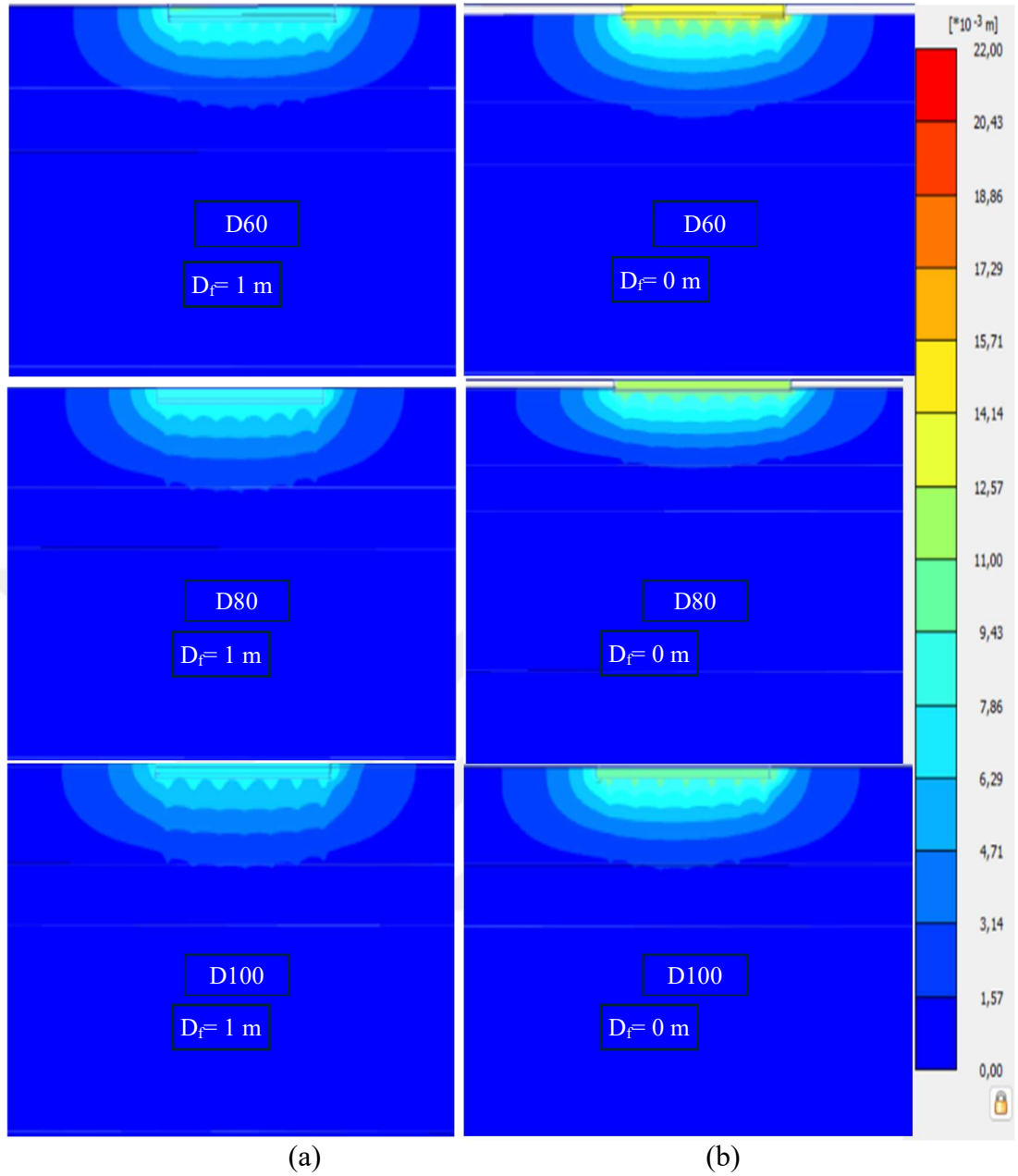
Şekil 5.12. Sistemin Merkezindeki Yatay Deplasman Değerleri.



Şekil 5.13. $D_f=1$ m, Sistemin Merkezindeki Kesitlerde Yatay Deplasmanlar.



Şekil 5.14. SYT Sisteminin Merkezindeki Kesitler.



Şekil 5.15. ÇYT Sisteminin Merkezindeki Kesitler.

5.2. Kazıkların Düşey Deplasman (U_z , mm) Değerleri

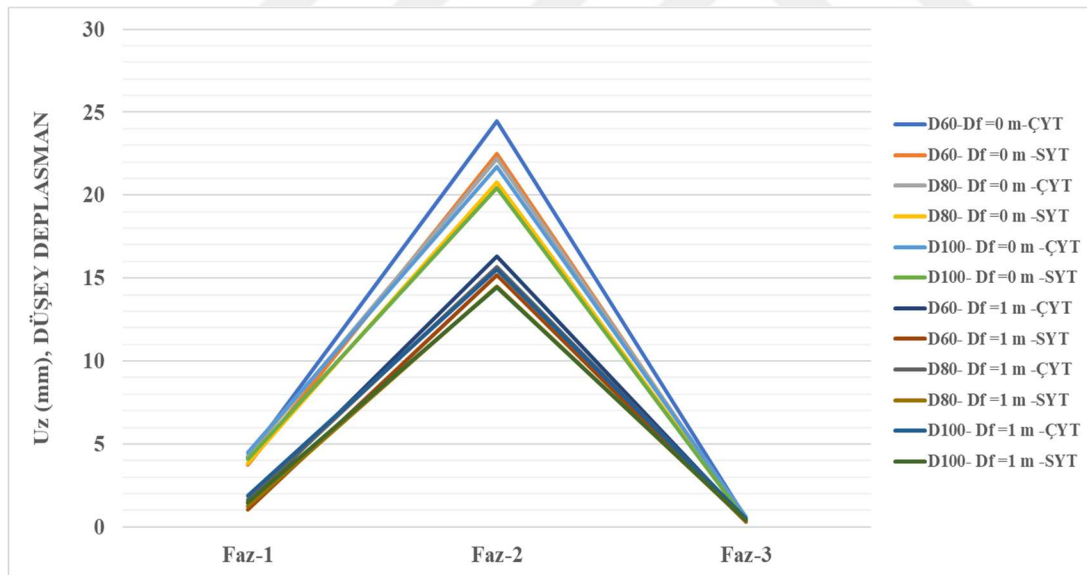
a. Faz-2 yüklemesine maruz kalan yüzeye oturan ÇYT altındaki K1 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile düşey deplasman değeri (U_z), 24.46 mm'den 21.72 mm'ye düşmektedir. $D_f=1$ m'de ise düşey deplasman değeri (U_z), 16.30 mm'den 15.54 mm'ye düşmektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K1 kazığının düşey deplasman değerinde %8'e varan, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise %30'a varan azalmaya sebep olmuştur. Diğer yandan Faz-3 yüklemesine maruz kalan

K1 kazığının düşey deplasman değerinde, temel gömme derinliğinin 1 m olması %18'e varan azalmaya sebep olmuştur.

SYT altında max 22.47 mm düşey deplasman (U_z) hareketine maruz kalan K1 kazığı, ÇYT altında 24.46 mm'lik düşey deplasmana maruz kalmıştır. ÇYT, K1 kazığının düşey deplasman değerinde %8'lik artışa sebebiyet vermiştir. Bunun sebebi olarak ÇYT modelindeki ilave temel ağırlığı gösterilebilir. Ayrıca max düşey deplasman hareketi kazık başında gerçekleşmiştir.

Kazık çapının artması, yatay yük etkisinde kalan K1 kazığının düşey deplasman değerlerinde diğer kazıkların aksine çok az da olsa artışa sebebiyet vermiştir. Bunun sebebi, K1 kazığının yatay kuvvet etkisini karşılayan ilk sıra kazık grubunda yer alması olarak değerlendirilebilir. SYT altındaki K1 kazığının düşey deplasman (U_z) değerleri çoğunlukla ÇYT altındaki durumuna kıyasla ortalama %15 oranında daha azdır.

K1 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen U_z düşey deplasman grafiği Şekil 5.16.'da, değerleri ise Tablo 5.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.16. K1 Kazığı Düşey Deplasman Grafiği.

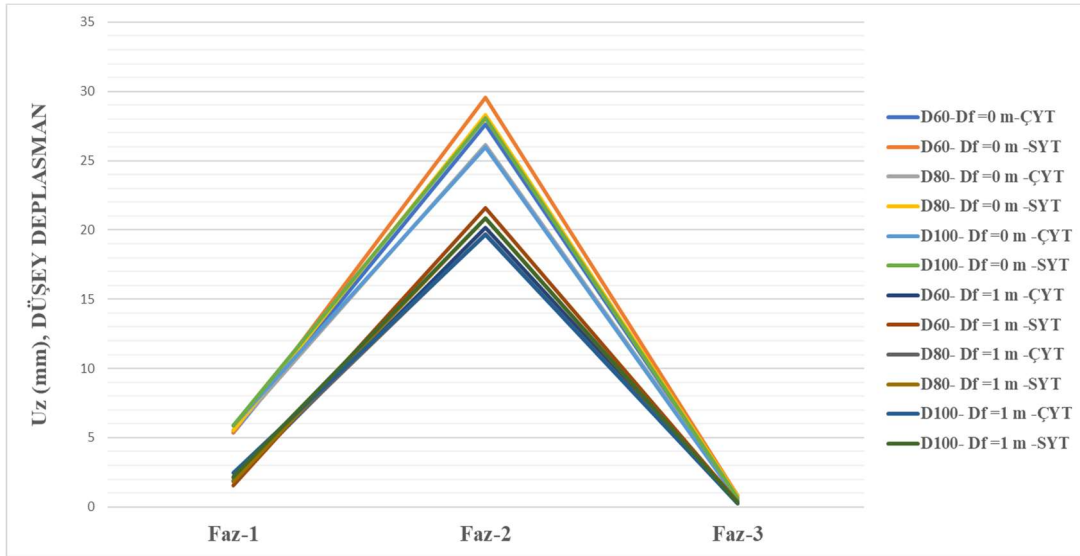
Tablo 5.5. K1 Kazığı Düşey Deplasman Değerleri (mm).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayıllı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	4.17	24.46	0.52
D60- D _f =0 m - SYT	3.73	22.47	0.38
D80- D _f =0 m - ÇYT	4.27	22.21	0.52
D80- D _f =0 m - SYT	3.84	20.76	0.41
D100- D _f =0 m - ÇYT	4.50	21.72	0.60
D100- D _f =0 m - SYT	4.07	20.44	0.42
D60- D _f =1 m - ÇYT	1.42	16.30	0.39
D60- D _f =1 m - SYT	1.06	15.20	0.33
D80- D _f =1 m - ÇYT	1.61	15.65	0.45
D80- D _f =1 m - SYT	1.25	14.47	0.37
D100- D _f =1 m - ÇYT	1.86	15.54	0.49
D100- D _f =1 m - SYT	1.51	14.43	0.40

b. Faz-2 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K2 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile düşey deplasman değeri (U_z), 27.61 mm'den 25.95 mm'ye düşmektedir. D_f=1 m'de ise düşey deplasman değeri (U_z), 20.17 mm'den 19.65 mm'ye düşmektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K2 kazığının düşey deplasman değerinde %4'e varan, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise %25'e varan azalmaya sebep olmuştur. Diğer yandan, Faz-3 yüklemesine maruz kalan K2 kazığının düşey deplasman değerinde, temel gömme derinliğinin 1 m olması %52'ye varan azalmaya sebep olmuştur.

SYT altında max 29.57 mm düşey deplasman (U_z) hareketine maruz kalan K2 kazığı, ÇYT altında 27.61 mm'lik düşey deplasmana maruz kalmıştır. ÇYT, K2 kazığının düşey deplasman değerinde %7'lik azalmaya sebebiyet vermiştir. Ayrıca, max düşey deplasman hareketi çoğunlukla kazık başında gerçekleşmiştir. ÇYT altındaki K2 kazığının düşey deplasman (U_z) değerleri çoğunlukla SYT altındaki durumuna kıyasla ortalama %9 oranında daha küçüktür.

K2 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen U_z düşey deplasman grafiği Şekil 5.17.'de, değerleri ise Tablo 5.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.17. K2 Kazığı Düşey Deplasman Grafiği.

Tablo 5.6. K2 Kazığı Düşey Deplasman Değerleri (mm).

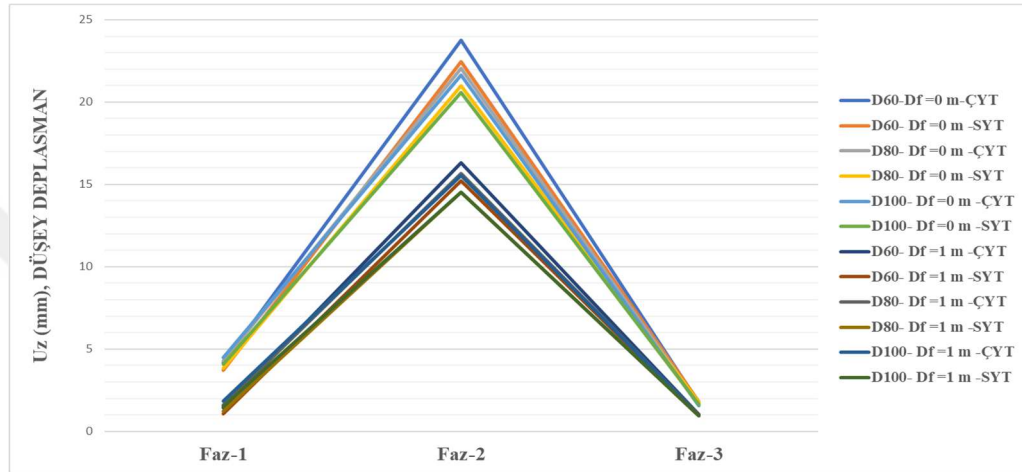
Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	5.38	27.61	0.69
D60- D _f =0 m - SYT	5.35	29.57	0.82
D80- D _f =0 m - ÇYT	5.56	26.16	0.62
D80- D _f =0 m - SYT	5.54	28.30	0.74
D100- D _f =0 m - ÇYT	5.86	25.95	0.52
D100- D _f =0 m - SYT	5.86	28.06	0.62
D60- D _f =1 m - ÇYT	1.89	20.17	0.33
D60- D _f =1 m - SYT	1.56	21.59	0.36
D80- D _f =1 m - ÇYT	2.13	19.70	0.28
D80- D _f =1 m - SYT	1.83	20.87	0.31
D100- D _f =1 m - ÇYT	2.46	19.65	0.26
D100- D _f =1 m - SYT	2.18	20.84	0.28

c. Faz-2 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K3 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile düşey deplasman değeri (U_z), 23.77 mm'den 21.66 mm'ye düşmektedir. D_f=1 m'de ise düşey deplasman değeri (U_z), 16.33 mm'den 15.54 mm'ye düşmektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K3 kazığının düşey deplasman değerinde %7'ye varan, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise %29'a varan azalmaya sebep olmuştur. Diğer yandan, Faz-3 yüklemesine maruz kalan K3 kazığının düşey deplasman değerinde, temel gömme derinliğinin 1 m olması %40'a varan azalmaya sebep olmuştur.

SYT altında max 22.47 mm düşey deplasman (U_z) hareketine maruz kalan K3 kazığı, ÇYT altında 23.77 mm'lik düşey deplasmana maruz kalmıştır. ÇYT, K3 kazığının

düşey deplasman değerinde %5'lik artışa sebebiyet vermiştir. Bunun sebebi olarak, ÇYT modelindeki ilave temel ağırlığı gösterilebilir. Ayrıca, max düşey deplasman hareketi kazık başında gerçekleşmiştir. SYT altındaki K3 kazığının düşey deplasman (U_z) değerleri çoğunlukla ÇYT altındaki durumuna kıyasla ortalama %9 oranında daha küçüktür.

K3 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen U_z düşey deplasman grafiği Şekil 5.18.'de, değerleri ise Tablo 5.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. K3 Kazığı Düşey Deplasman Grafiği.

Tablo 5.7. K3 Kazığı Düşey Deplasman Değerleri (mm).

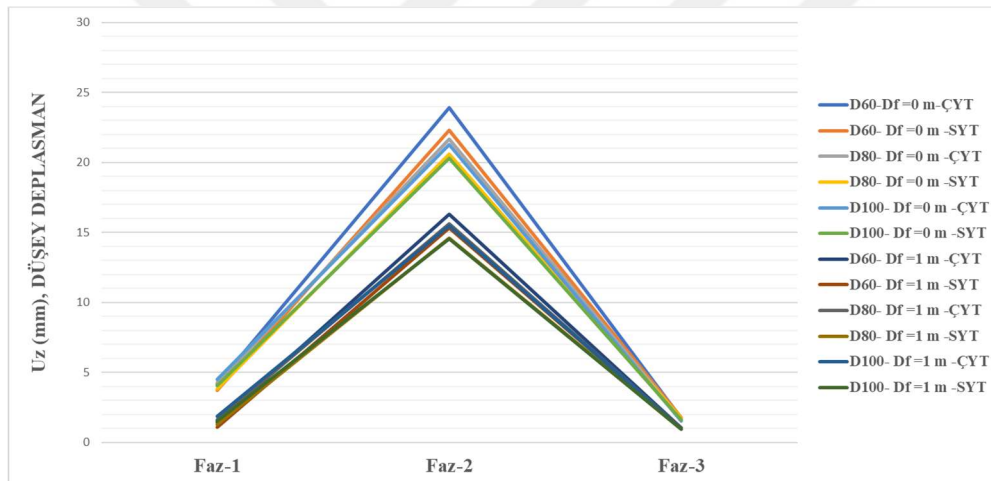
Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	4.16	23.77	1.72
D60- D _f =0 m - SYT	3.71	22.47	1.79
D80- D _f =0 m - ÇYT	4.27	22.04	1.69
D80- D _f =0 m - SYT	3.83	20.99	1.76
D100- D _f =0 m - ÇYT	4.50	21.66	1.55
D100- D _f =0 m - SYT	4.07	20.58	1.63
D60- D _f =1 m - ÇYT	1.42	16.33	1.03
D60- D _f =1 m - SYT	1.06	15.22	1.01
D80- D _f =1 m - ÇYT	1.60	15.67	0.98
D80- D _f =1 m - SYT	1.25	14.52	0.96
D100- D _f =1 m - ÇYT	1.86	15.54	0.98
D100- D _f =1 m - SYT	1.51	14.51	0.94

d. Faz-2 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K4 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile düşey deplasman değeri (U_z), 23.94 mm'den 21.29 mm'ye düşmektedir. D_f=1 m'de ise düşey deplasman değeri (U_z), 16.29 mm'den 15.47 mm'ye düşmektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K4 kazığının düşey deplasman değerinde %8'e varan, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise %29'a

varan azalmaya sebep olmuştur. Diğer yandan, Faz-3 yüklemesine maruz kalan K4 kazığının düşey deplasman değerinde, temel gömme derinliğinin 1 m olması %39'a varan azalmaya sebep olmuştur.

SYT altında max 22.30 mm düşey deplasman (U_z) hareketine maruz kalan K4 kazığı, ÇYT altında 23.94 mm'lik düşey deplasmana maruz kalmıştır. ÇYT, K4 kazığının düşey deplasman değerinde %7'lik artışa sebebiyet vermiştir. Bunun sebebi olarak, ÇYT modelindeki ilave temel ağırlığı gösterilebilir. Ayrıca max düşey deplasman hareketi kazık başında gerçekleşmiştir. SYT altındaki K4 kazığının düşey deplasman (U_z) değerleri çoğunlukla ÇYT altındaki durumuna kıyasla ortalama %9 oranında daha küçüktür.

K4 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen U_z düşey deplasman grafiği Şekil 5.19.'da, değerleri ise Tablo 5.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.19. K4 Kazığı Düşey Deplasman Grafiği.

Tablo 5.8. K4 Kazığı Düşey Deplasman Değerleri (mm).

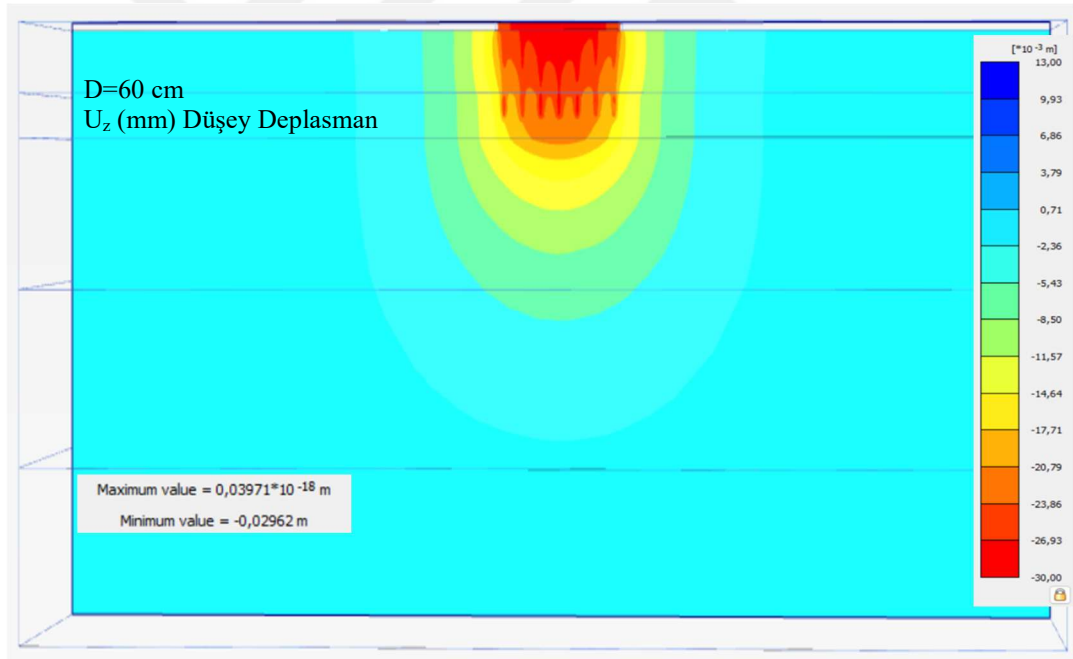
Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	4.16	23.94	1.74
D60- D _f =0 m - SYT	3.71	22.30	1.78
D80- D _f =0 m - ÇYT	4.25	21.70	1.68
D80- D _f =0 m - SYT	3.81	20.60	1.71
D100- D _f =0 m - ÇYT	4.48	21.29	1.53
D100- D _f =0 m - SYT	4.05	20.30	1.62
D60- D _f =1 m - ÇYT	1.41	16.29	1.04
D60- D _f =1 m - SYT	1.07	15.31	1.02
D80- D _f =1 m - ÇYT	1.60	15.61	0.98
D80- D _f =1 m - SYT	1.26	14.58	0.96
D100- D _f =1 m - ÇYT	1.85	15.47	0.99
D100- D _f =1 m - SYT	1.52	14.55	0.94

$D_f = 0$ m için sistemin merkezindeki düşey deplasman durumu incelendiğinde, Şekil 5.20.'de, $D=60$ cm kazık çapı ve SYT modeline ait PLAXIS 3D kesit görüntüsü gösterilmektedir. Sistemin merkezindeki max U_z (mm) değerleri Şekil 5.21.'de grafikte sunulmuştur.

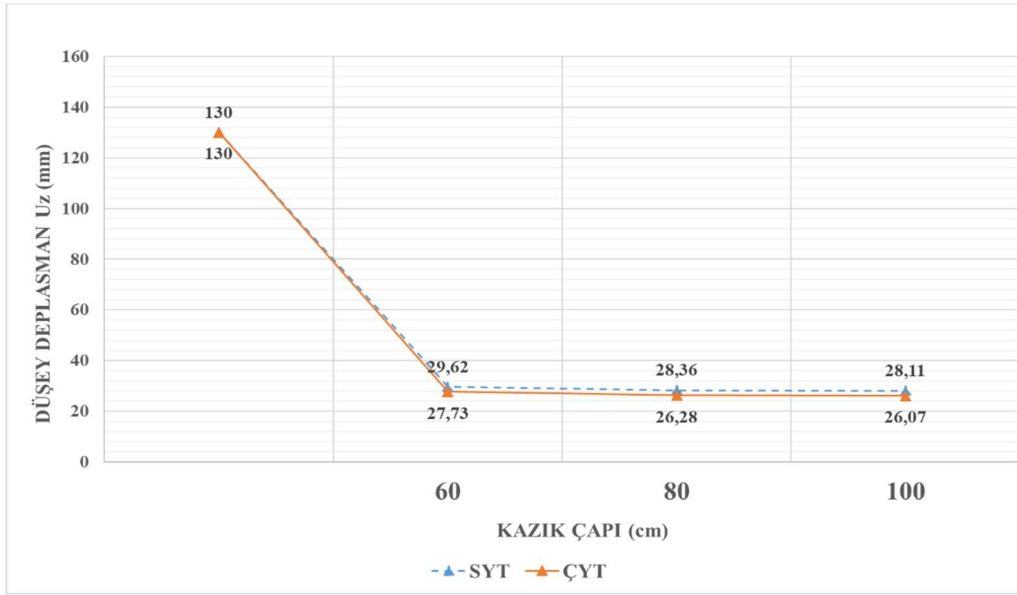
Şekil 5.22.'de ise dört adet temel modeli için değerler gösterilmiştir. Şekil 5.23.'te ise SYT ve ÇYT modelleri için PLAXIS 3D kesit görüntüsü gösterilmiştir.

$D_f = 1$ m için sistemin merkezindeki düşey deplasman durumu incelendiğinde, Şekil 5.24.'te, $D=60$ cm kazık çapı ve SYT modeline ait PLAXIS 3D kesit görüntüsü gösterilmektedir. Sistemin merkezindeki max U_z (mm) değerleri Şekil 5.25.'te grafikte sunulmuştur. Şekil 5.26.'da ise SYT ve ÇYT modelleri için PLAXIS 3D kesit görüntüsü gösterilmiştir.

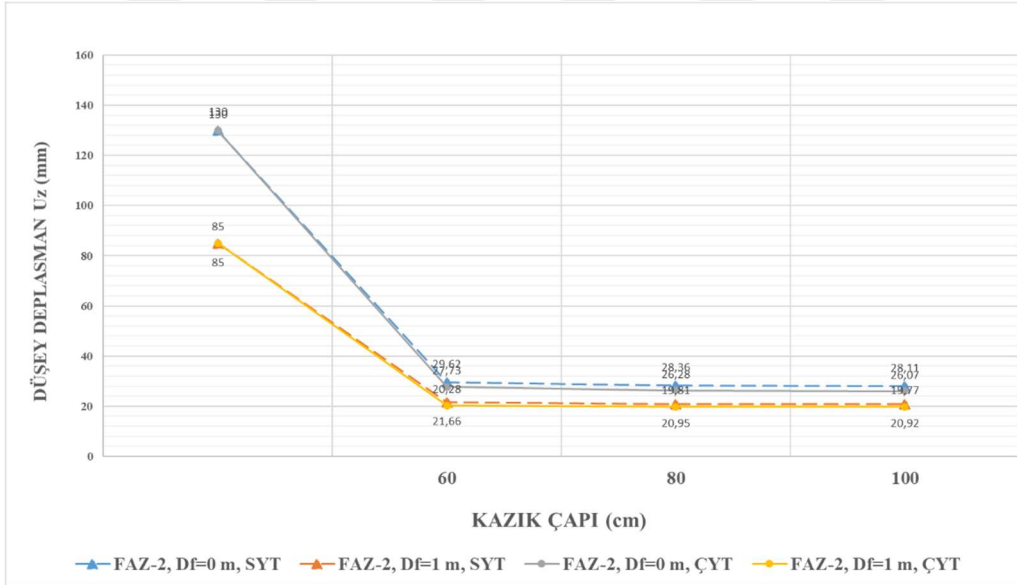
Ayrıca SYT ve ÇYT sistemlerinin merkezindeki düşey deplasman durumları Şekil 5.27. ve Şekil 5.28.'de. $D_f = 0$ m ve $D_f = 1$ m için gösterilmiştir.



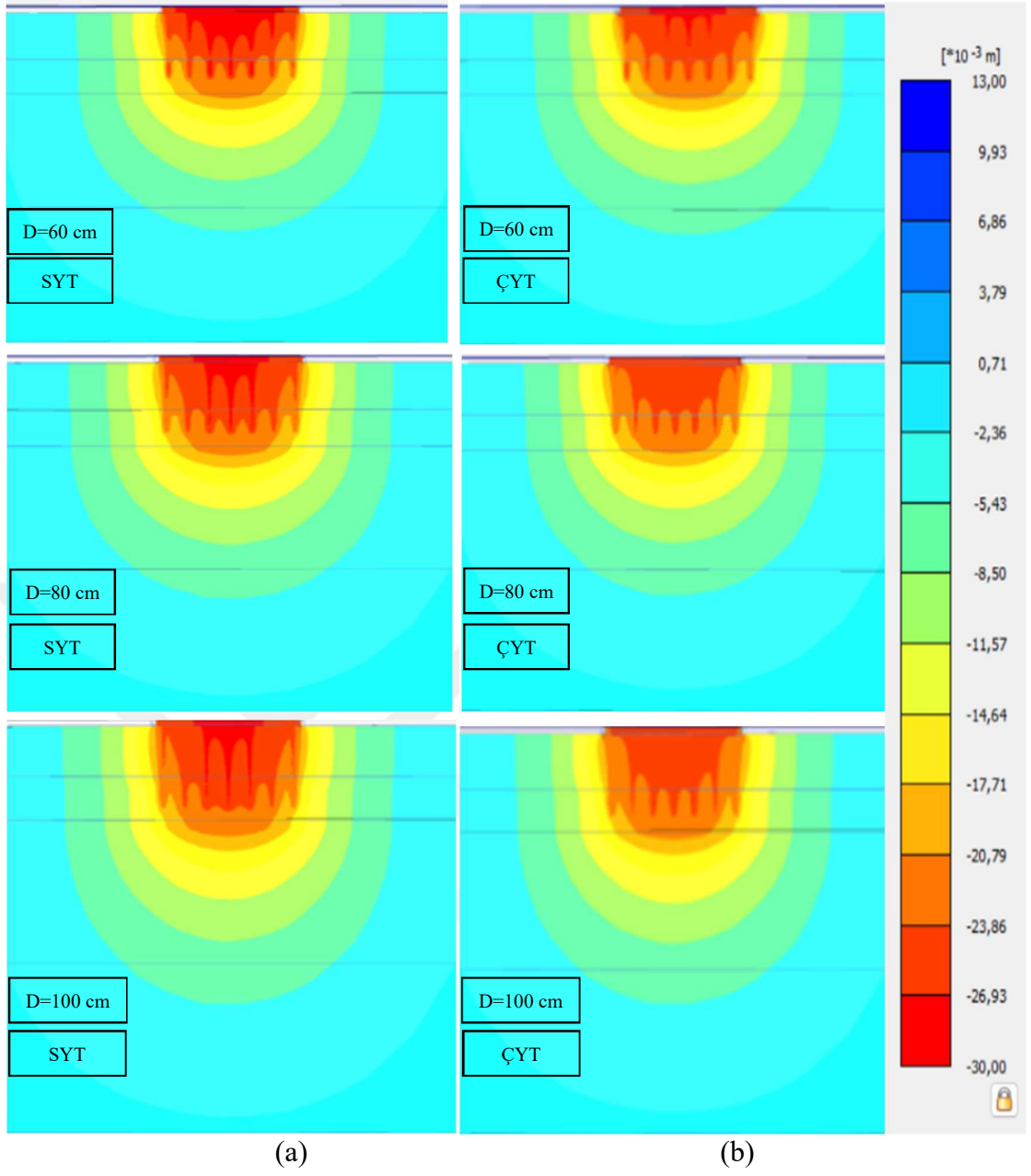
Şekil 5.20. $D_f=0$ m, SYT Altında 60 cm Çaplı Kazık Takviyeli Durum.



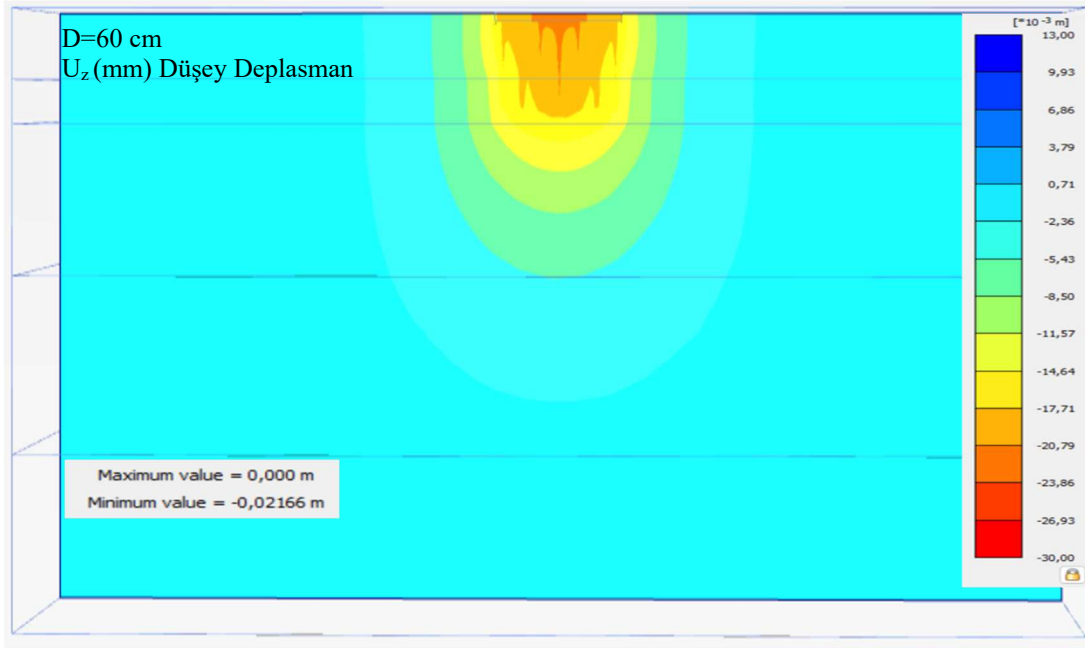
Şekil 5.21. $D_f=0$ m, Sistemin Merkezindeki Düşey Deplasman Değerleri.



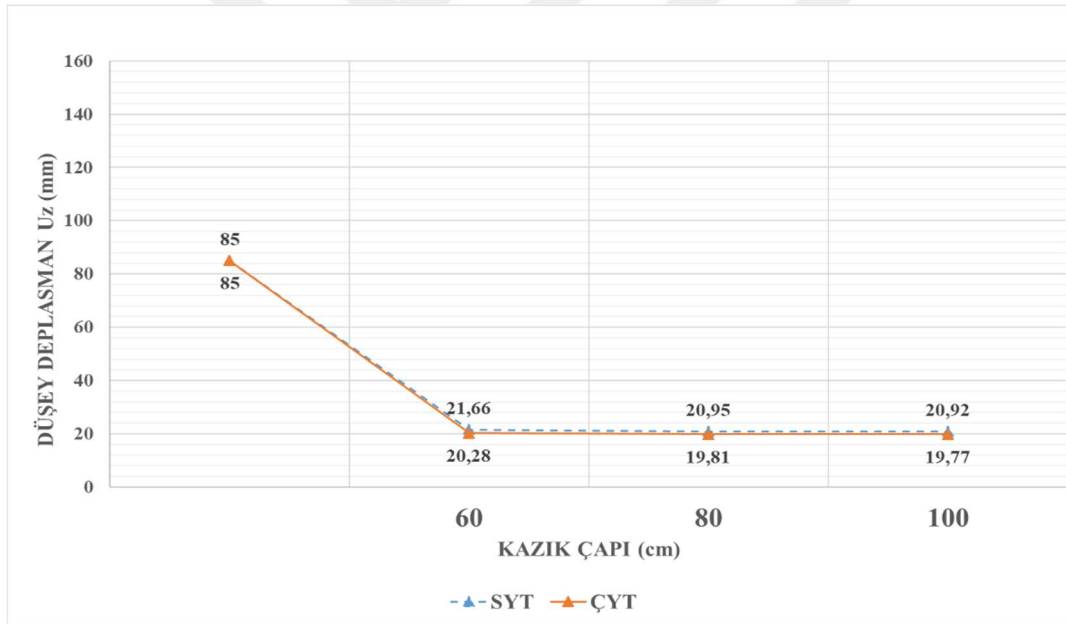
Şekil 5.22. Sistemin Merkezindeki Düşey Deplasman Değerleri.



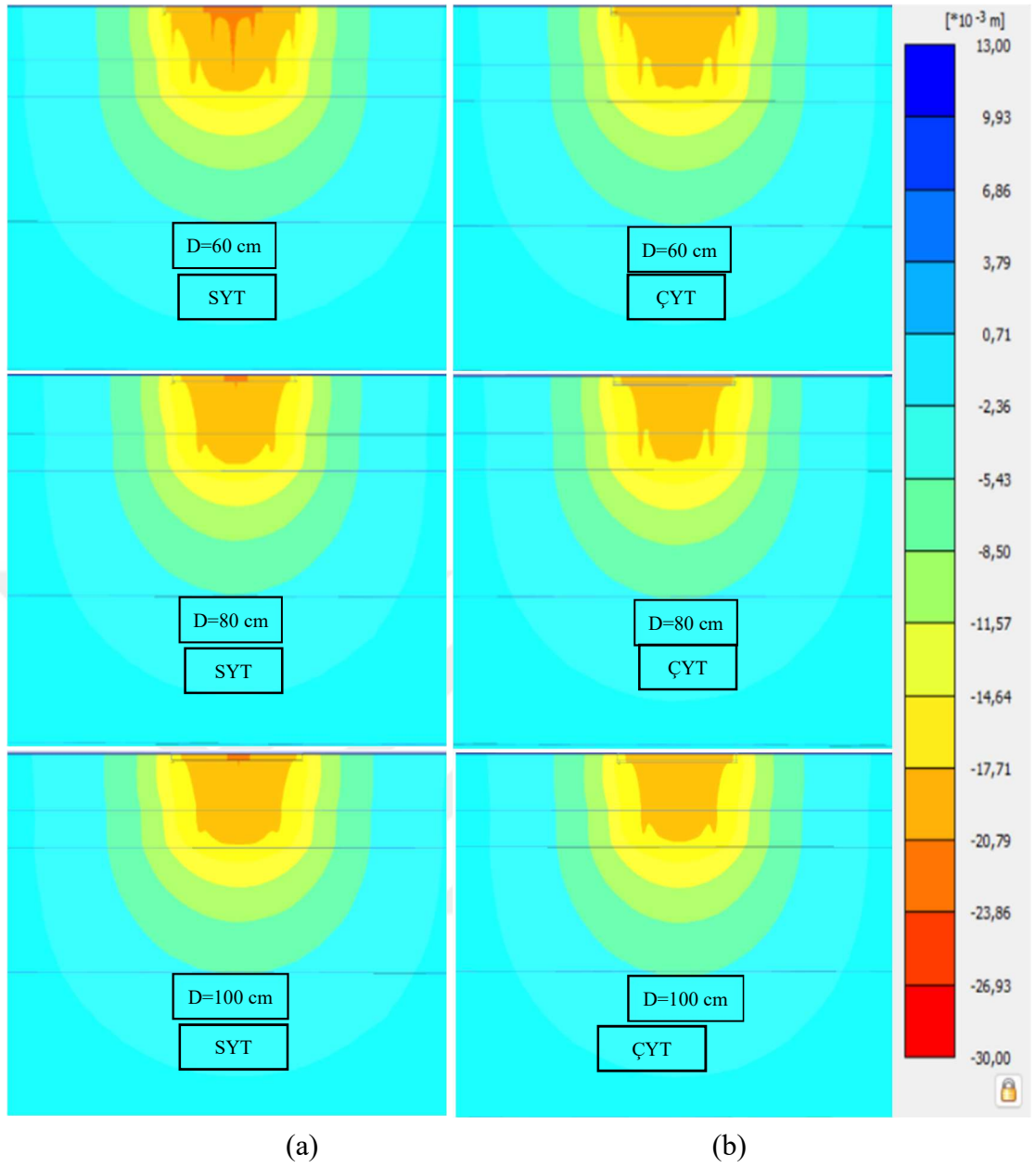
Şekil 5.23. $D_f=0 \text{ m}$, Sistemin Merkezindeki Düşey Deplasman Durumu.



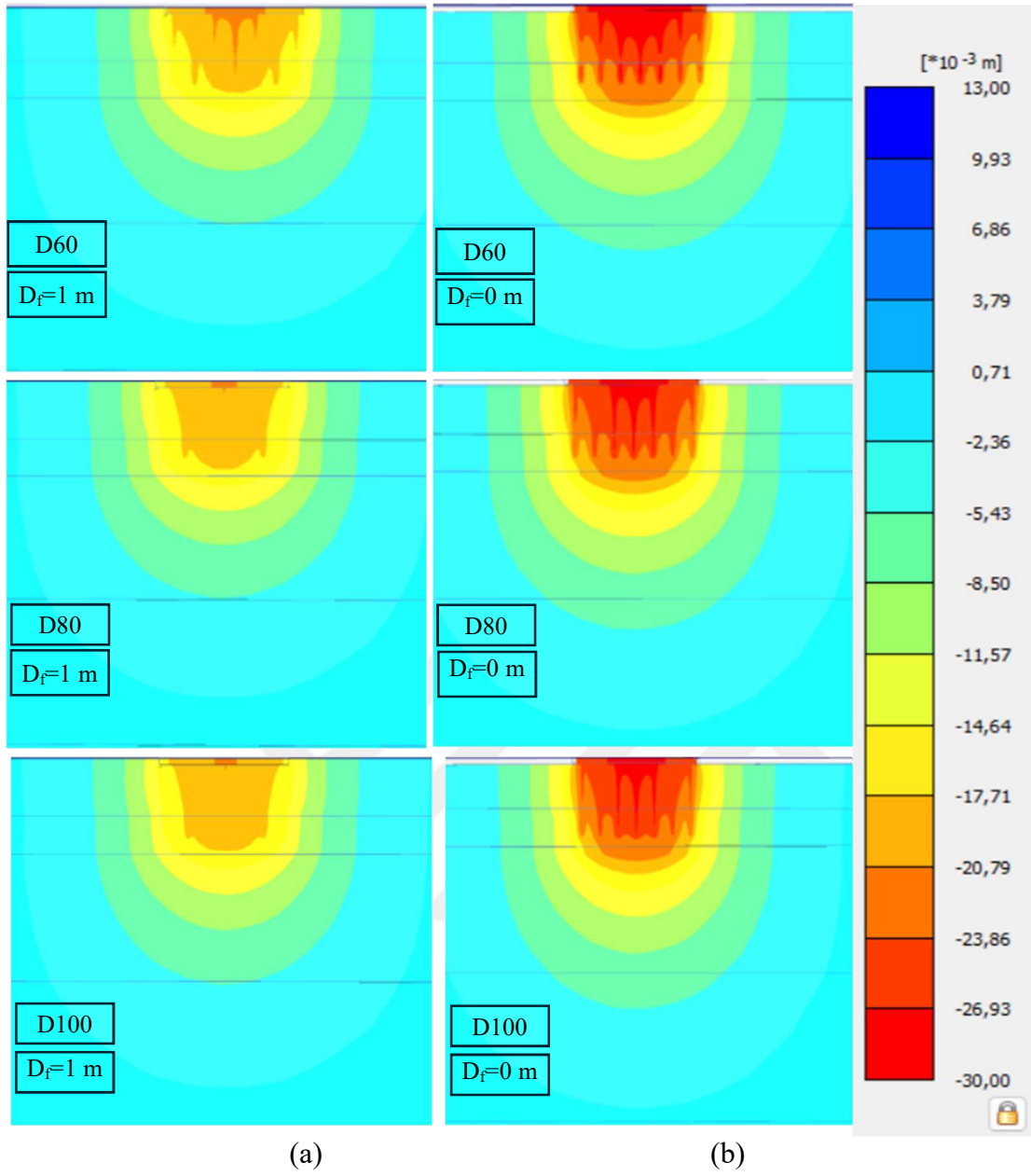
Şekil 5.24. D_f=1 m, SYT Altında 60 cm Çaplı Kazık Takviyeli Durum.



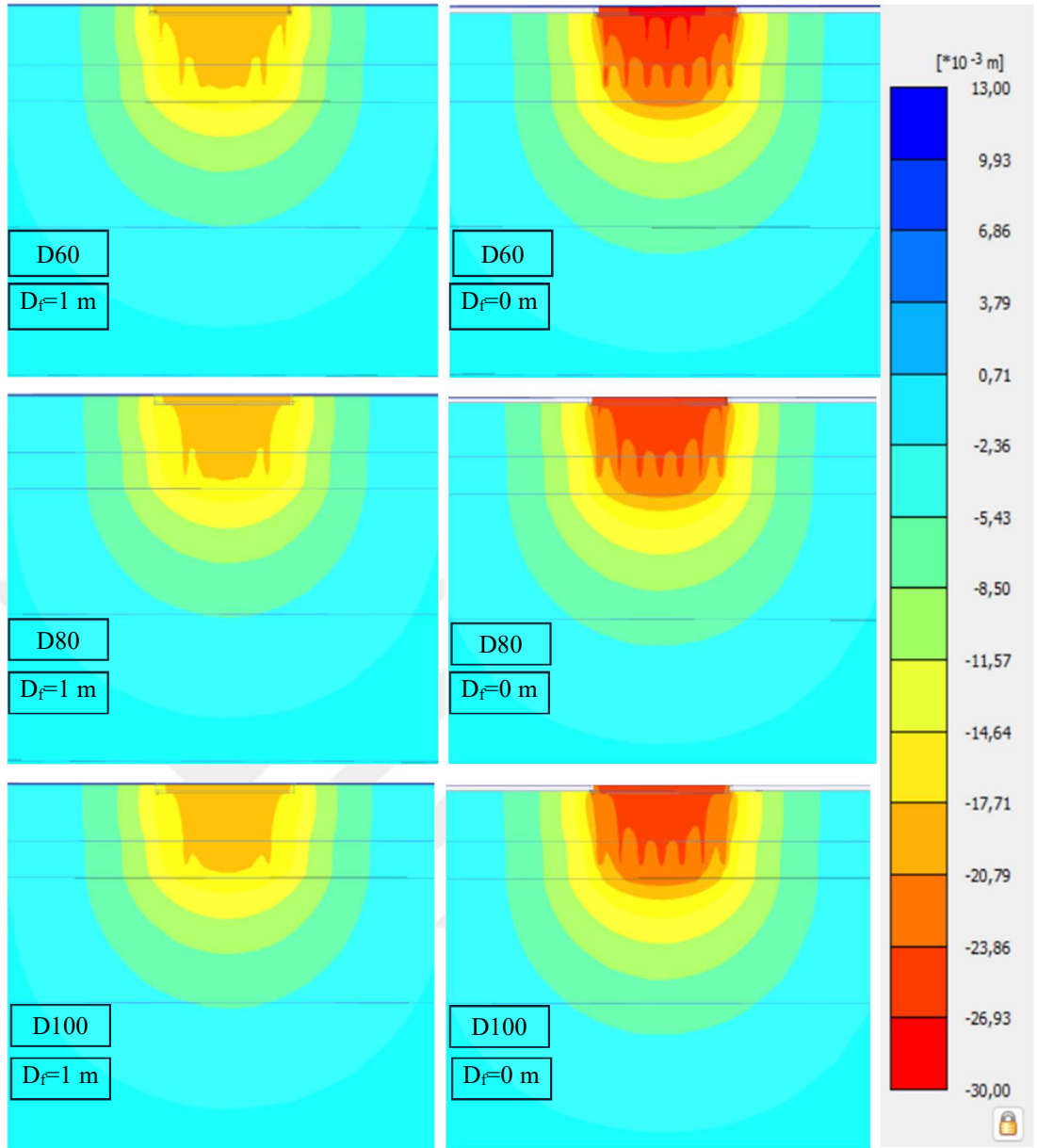
Şekil 5.25. D_f=1 m, Sistemin Merkezindeki Düşey Deplasman Değerleri.



Şekil 5.26. $D_f = 1$ m, Sistemin Merkezindeki Düşey Deplasman Durumu.



Şekil 5.27. SYT Sisteminin Merkezindeki Düşey Deplasman Durumu.

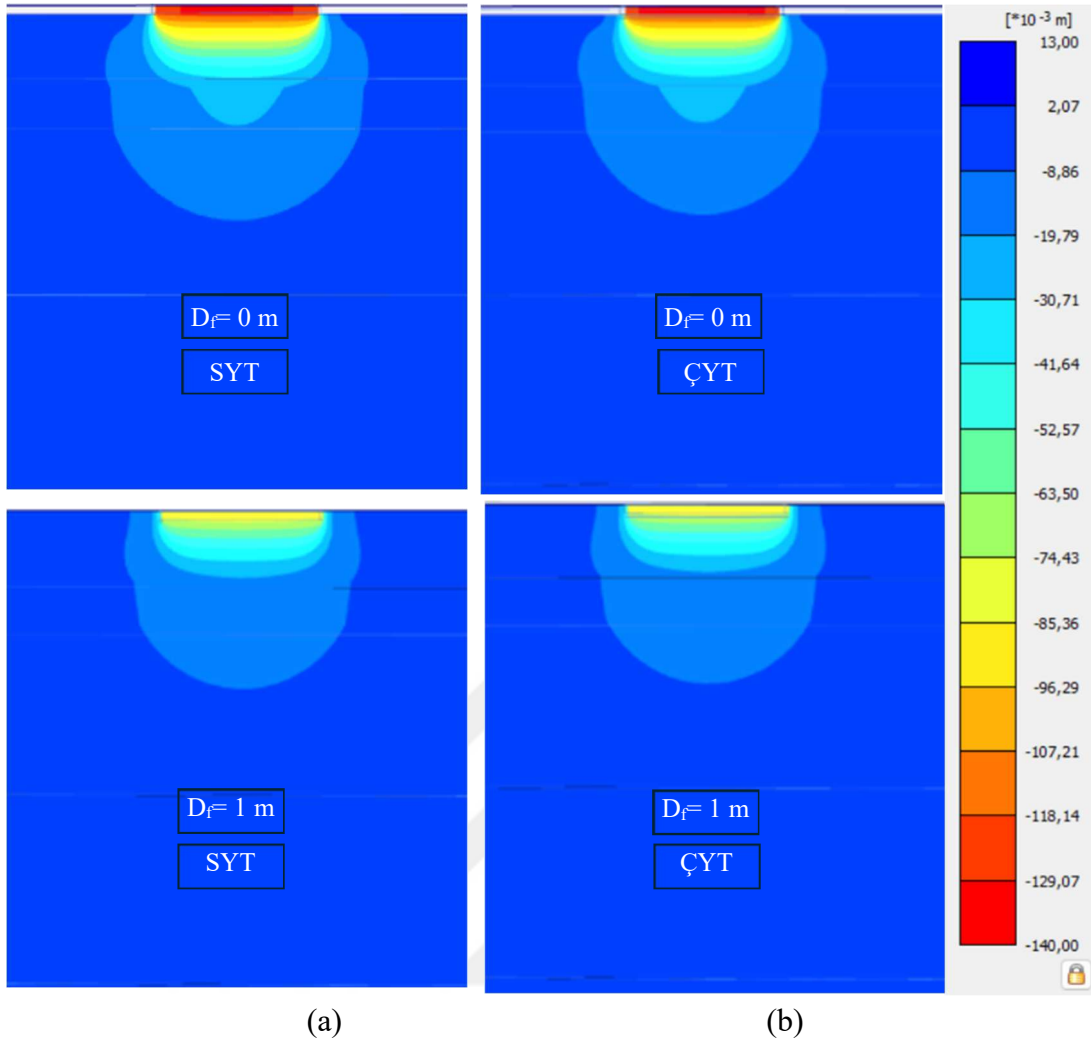


(a)

(b)

Şekil 5.28. ÇYT Sistemin Merkezindeki Düşey Deplasman Durumu.

Ayrıca, Şekil 5.29.'da, $D_f = 1$ m ve $D_f = 0$ m için kazıkların olmadığı durumda sistemin merkezindeki kesitlere ait PLAXIS 3D görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 5.29. Sistemin Merkezindeki Düşey Deplasman Durumu.

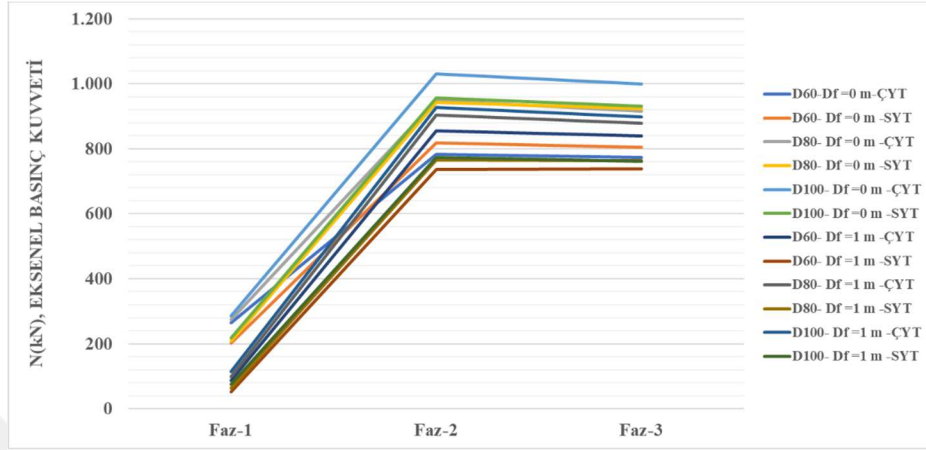
5.3. Kazıkların Eksenel Kuvvet Tesir (N, kN) Değerleri

a. Faz-2 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K1 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eksenel kuvvet değeri (N), 783.57 kN'dan 1030.83 kN'a artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise eksenel kuvvet tesir (N) değerleri, 854.91 kN'dan 927.24 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K1 kazığının eksenel kuvvet tesir (N) değerinde ortalama %20'ye varan, temel gömme derinliğinin 1 m olması da ortalama %3'e varan artışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-2 etkisinde kalan K1 kazığının çapı arttıkça eksenel kuvvet tesir (N) değerleri de artmaktadır. Ancak Faz-3 etkisinde iken eksenel kuvvet tesir (N) değerleri azalmıştır. Bunun sebebi, yatay yükün yayılı temelleri kazık başlarından koparmaya çalışması olarak değerlendirilebilir. Max N değerleri, kazık başında

görülmektedir. SYT altındaki K1 kazığının eksenel kuvvet tesir (N) değerleri çoğunlukla ÇYT altındaki durumuna kıyasla %22 oranında daha azdır.

K1 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen eksenel basınç kuvvet tesirleri (N, kN) grafiği Şekil 5.30.'da, değerleri ise Tablo 5.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.30. K1 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Grafiği.

Tablo 5.9. K1 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Değerleri (kN).

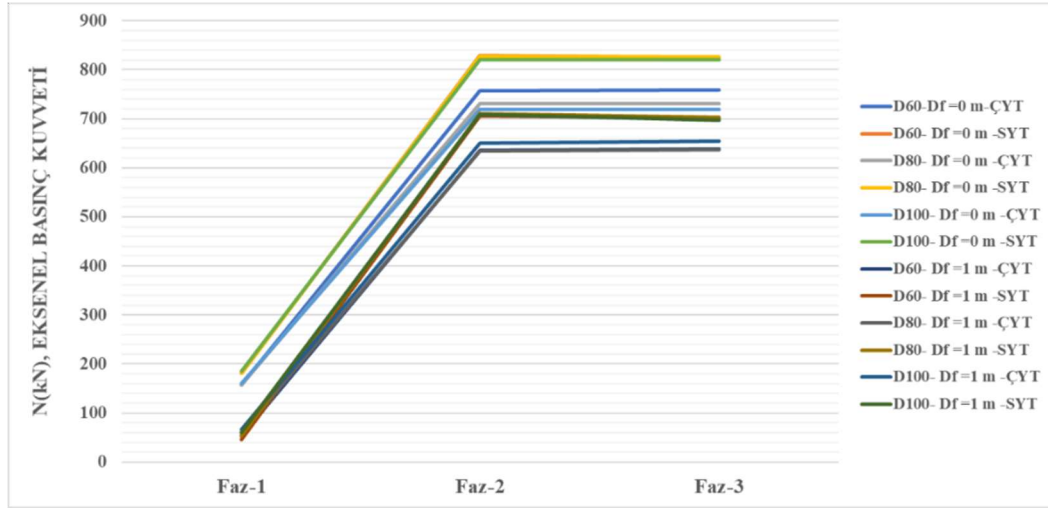
Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	264.61	783.57	773.19
D60- D _f =0 m - SYT	201.15	817.76	803.55
D80- D _f =0 m - ÇYT	274.61	949.26	915.31
D80- D _f =0 m - SYT	208.17	943.51	923.36
D100- D _f =0 m - ÇYT	286.34	1030.83	998.45
D100- D _f =0 m - SYT	216.72	956.09	931.18
D60- D _f =1 m - ÇYT	88.00	854.91	838.91
D60- D _f =1 m - SYT	52.79	735.28	737.25
D80- D _f =1 m - ÇYT	98.61	903.24	878.84
D80- D _f =1 m - SYT	62.88	766.10	763.35
D100- D _f =1 m - ÇYT	113.70	927.24	898.39
D100- D _f =1 m - SYT	75.78	772.92	760.60

b. Faz-2 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K2 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eksenel kuvvet değeri (N), 756.70 kN'dan 718.53 kN'a azalış göstermektedir. SYT'de de, eksenel kuvvet değeri (N), 828.65 kN'dan 820 kN'a azalış göstermektedir. D_f= 1 m'de ise eksenel kuvvet tesir (N) değerleri, ÇYT için 635.41 kN'dan 649.79 kN'a, SYT için 705.73 kN'dan 708.68 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K2 kazığının eksenel kuvvet tesir (N) değerinde %5'e varan azalmaya, temel gömme derinliğinin 1 m olması da %2'ye varan artışa sebep olmuştur. Kazık çapının artması SYT altındaki K2 kazığının eksenel

kuvvet tesir (N) değerinde %1'e varan azalmaya sebep olmuş, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise herhangi bir farka sebep olmamıştır.

SYT ve ÇYT altında, Faz-2 etkisinde kalan K2 kazığının çapı arttıkça eksenel kuvvet tesir (N) değerleri de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması halinde K2 kazığına etkiyen eksenel kuvvet (N) değerlerinde %14 oranında azalma gözlenmiştir. Max N değerleri, çoğunlukla kazık başında görülmektedir. ÇYT altındaki K2 kazığının eksenel kuvvet tesir (N) değerleri SYT altındaki durumuna kıyasla ortalama %9 oranında daha azdır.

K2 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen eksenel basınç kuvvet tesirleri (N, kN) grafiği Şekil 5.31.'de, değerleri ise Tablo 5.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.31. K2 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Grafiği.

Tablo 5.10. K2 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Değerleri (kN).

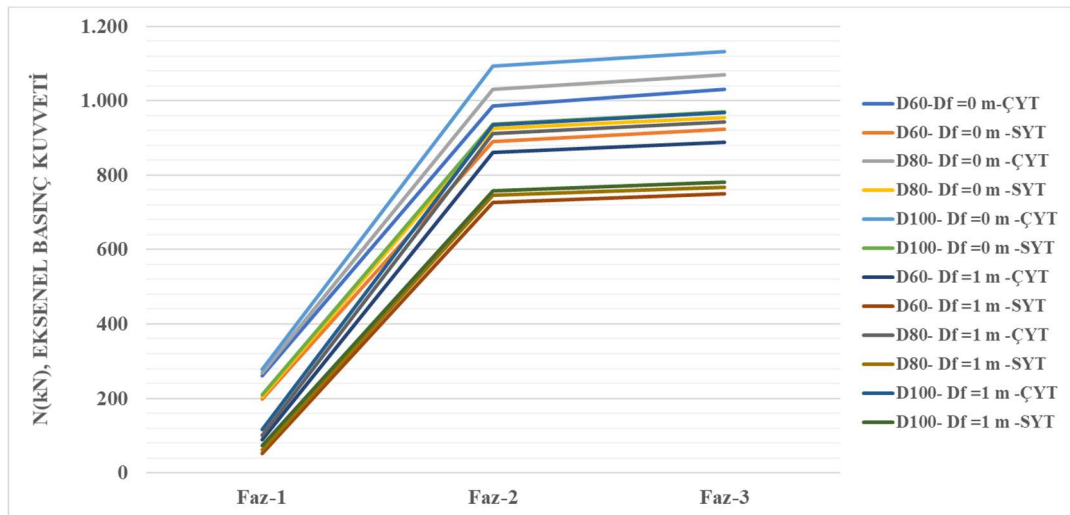
Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	157.82	756.70	759.46
D60- D _f =0 m - SYT	181.25	828.65	824.79
D80- D _f =0 m - ÇYT	157.82	730.25	731.49
D80- D _f =0 m - SYT	181.30	828.38	826.29
D100- D _f =0 m - ÇYT	160.80	718.53	719.19
D100- D _f =0 m - SYT	184.50	820.00	821.01
D60- D _f =1 m - ÇYT	52.68	635.41	638.02
D60- D _f =1 m - SYT	46.26	705.73	701.52
D80- D _f =1 m - ÇYT	58.48	634.40	637.59
D80- D _f =1 m - SYT	52.57	710.57	702.41
D100- D _f =1 m - ÇYT	65.91	649.79	654.77
D100- D _f =1 m - SYT	60.93	708.68	697.00

c. Faz-2 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K3 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eksenel kuvvet değeri (N), 985.90 kN'dan 1132.11 kN'a artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise eksenel kuvvet tesir (N) değerleri, 859.98 kN'dan 935.87 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K3 kazığının eksenel kuvvet tesir (N) değerinde ortalama %11'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %13'e varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K3 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eksenel kuvvet değeri (N), 890.95 kN'dan 937.77 kN'a artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise eksenel kuvvet tesir (N) değerleri, 726.19 kN'dan 757.69 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması SYT altındaki K3 kazığının eksenel kuvvet tesir (N) değerinde ortalama %5'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %16'ya varan azalışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-2 ve Faz-3 etkisinde kalan K3 kazığının çapı arttıkça eksenel kuvvet tesir (N) değerleri de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması ise eksenel kuvvet tesir (N) değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Max N değerleri çoğunlukla kazık başında görülmektedir. SYT altındaki K3 kazığının eksenel kuvvet tesir (N) değerleri çoğunlukla ÇYT altındaki durumuna kıyasla ortalama %20 oranında daha küçüktür.

K3 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen eksenel basınç kuvvet tesirleri (N, kN) grafiği Şekil 5.32.'de, değerleri ise Tablo 5.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.32. K3 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Grafiği.

Tablo 5.11. K3 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Değerleri (kN).

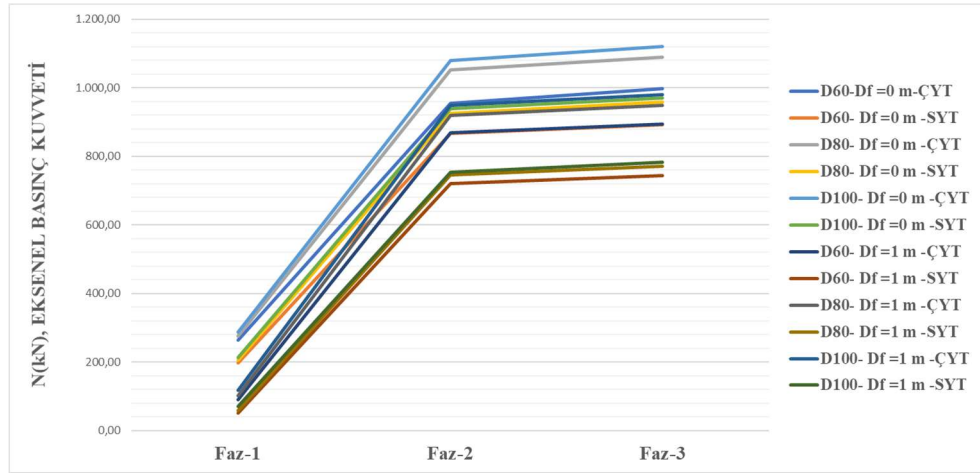
Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yaylı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	260.20	985.90	1031.36
D60- D _f =0 m - SYT	198.37	890.85	922.61
D80- D _f =0 m - ÇYT	267.60	1030.85	1069.82
D80- D _f =0 m - SYT	203.74	925.42	954.19
D100- D _f =0 m - ÇYT	277.40	1092.11	1132.11
D100- D _f =0 m - SYT	210.60	937.77	970.49
D60- D _f =1 m - ÇYT	89.41	859.98	889.06
D60- D _f =1 m - SYT	51.81	726.19	749.86
D80- D _f =1 m - ÇYT	100.80	911.42	943.49
D80- D _f =1 m - SYT	61.50	745.45	766.57
D100- D _f =1 m - ÇYT	115.94	935.87	967.64
D100- D _f =1 m - SYT	73.92	757.69	781.37

d. Faz-2 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K4 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eksenel kuvvet değeri (N), 955.19 kN'dan 1121.70 kN'a artış göstermektedir. D_f=1 m'de ise eksenel kuvvet tesir (N) değerleri, 868.57 kN'dan 948.54 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K4 kazığının eksenel kuvvet tesir (N) değerinde ortalama %11'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %11'e varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K4 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eksenel kuvvet değeri (N), 866.87 kN'dan 938.49 kN'a artış göstermektedir. D_f=1 m'de ise eksenel kuvvet tesir (N) değerleri, 719.95 kN'dan 754.12 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması SYT altındaki K4 kazığının eksenel kuvvet tesir (N) değerinde ortalama %7'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %19'a varan azalışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-2 ve Faz-3 etkisinde kalan K4 kazığının çapı arttıkça eksenel kuvvet tesir (N) değerleri de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması ise eksenel kuvvet tesir (N) değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Max N değerleri çoğunlukla kazık başında görülmektedir. SYT altındaki K4 kazığının eksenel kuvvet tesir (N) değerleri çoğunlukla ÇYT altındaki durumuna kıyasla ortalama %21 oranında daha küçüktür.

K4 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen eksenel basınç kuvvet tesirleri (N, kN) grafiği Şekil 5.33.'te, değerleri ise Tablo 5.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.33. K4 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Grafiği.

Tablo 5.12. K4 Kazığı Eksenel Basınç Kuvvet Değerleri (kN).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	263.20	955.19	998.75
D60- D _f =0 m - SYT	198.44	866.87	893.24
D80- D _f =0 m - ÇYT	276.37	1053.00	1089.76
D80- D _f =0 m - SYT	205.53	926.56	958.42
D100- D _f =0 m - ÇYT	287.00	1080.34	1121.70
D100- D _f =0 m - SYT	212.84	938.49	971.32
D60- D _f =1 m - ÇYT	89.90	868.57	894.35
D60- D _f =1 m - SYT	50.58	719.95	744.07
D80- D _f =1 m - ÇYT	101.89	919.79	949.79
D80- D _f =1 m - SYT	59.47	746.84	771.97
D100- D _f =1 m - ÇYT	118.08	948.54	980.68
D100- D _f =1 m - SYT	71.31	754.12	782.92

5.4. Kazıkların Kesme Kuvvet Tesir (Q₁₃, kN) Değerleri

a. Faz-2 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K1 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q₁₂), 38.56 kN'dan 74.39 kN'a artış göstermektedir. D_f=1 m'de ise kesme kuvvet tesir (Q₁₂) değerleri, 34.59 kN'dan 67.90 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K1 kazığının kesme kuvvet tesir (Q₁₂) değerlerinde ortalama %93'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %10'a varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-2 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K1 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q₁₂), 40.17 kN'dan 78.17 kN'a artış göstermektedir. D_f=1 m'de ise kesme kuvvet tesir (Q₁₂) değerleri, 36.43 kN'dan 68.99 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K1 kazığının

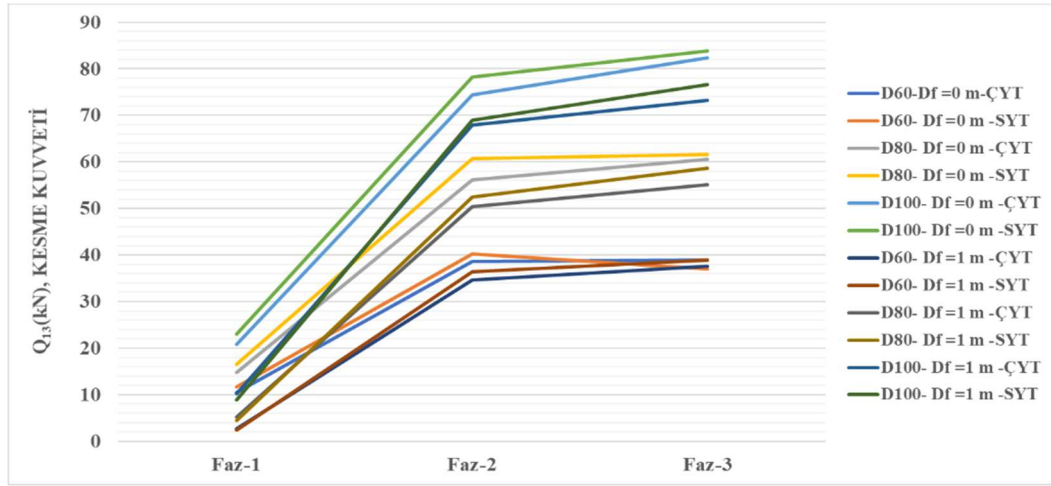
kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerlerinde ortalama %92'ye varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %12'ye varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K1 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 38.85 kN'dan 82.34 kN'a artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 37.58 kN'dan 73.24 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K1 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerlerinde ortalama %103'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %8'e varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K1 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 37.05 kN'dan 83.88 kN'a artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 38.86 kN'dan 76.66 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K1 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerlerinde ortalama %112'ye varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %7'ye varan azalışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-2 ve Faz-3 etkisinde kalan K1 kazığının çapı arttıkça kesme kuvveti değeri (Q_{12}) de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması ise kesme kuvveti değeri (Q_{12}) değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Ayrıca kesme kuvveti değeri (Q_{12}) ÇYT altında, SYT'e kıyasla ortalama %4 oranında daha küçüktür. Max Q_{12} değerleri çoğunlukla kazık başında görülmektedir.

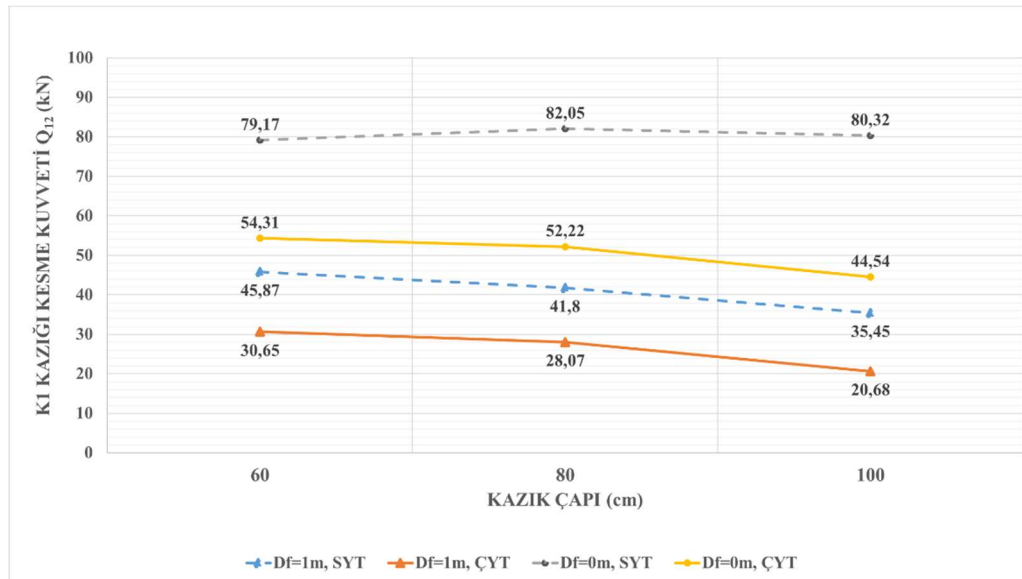
K1 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen kesme kuvvet tesirleri (Q_{12} , kN) grafiği Şekil 5.34.'te, değerleri ise Tablo 5.13.'te gösterilmiştir. Ayrıca çapa bağlı kesme kuvveti grafiği Şekil 5.35.'te verilirken, Şekil 5.36.'da ise $D_f=0$ m, $D=60$ cm kazık çapı için kazıklara etki eden kesme kuvveti değerleri PLAXIS 3D çıktısı olarak sunulmuştur.



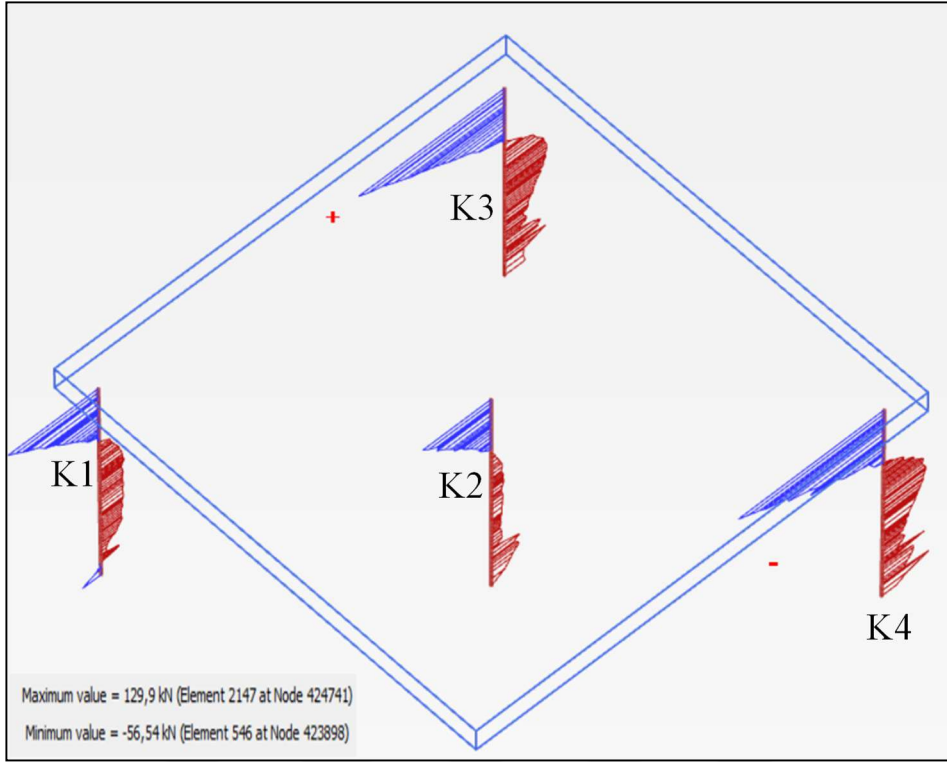
Şekil 5.34. K1 Kazığı Kesme Kuvvet Grafiği.

Tablo 5.13. K1 Kazığı Kesme Kuvvet Değerleri (kN).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	10.50	38.56	38.85
D60- D _f =0 m - SYT	11.71	40.17	37.05
D80- D _f =0 m - ÇYT	14.70	56.12	60.54
D80- D _f =0 m - SYT	16.55	60.74	61.65
D100- D _f =0 m - ÇYT	20.86	74.39	82.34
D100- D _f =0 m - SYT	23.00	78.17	83.88
D60- D _f =1 m - ÇYT	2.75	34.59	37.58
D60- D _f =1 m - SYT	2.35	36.43	38.86
D80- D _f =1 m - ÇYT	5.16	50.42	55.11
D80- D _f =1 m - SYT	4.48	52.43	58.65
D100- D _f =1 m - ÇYT	10.20	67.90	73.24
D100- D _f =1 m - SYT	8.87	68.99	76.66



Şekil 5.35. K1 Kazığı Çapa Bağlı Kesme Kuvvet Grafiği.



Şekil 5.36. $D_f=0$ m, $D=60$ cm Çaplı Kazıklara Etki Eden Kesme Kuvveti.

b. Faz-2 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K2 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 9.60 kN'dan 7.53 kN'a azalış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 9.33 kN'dan 11.94 kN'a artış göstermektedir. ÇYT altındaki K2 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri $D_f=0$ m için %22 azalırken, $D_f=1$ m için %28 artmıştır.

Faz-2 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K2 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 11.80 kN'dan 6.94 kN'a azalış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 8.48 kN'dan 8.69 kN'a artış göstermektedir. SYT altındaki K2 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri $D_f=0$ m için %41 azalırken, $D_f=1$ m için %2 artmıştır.

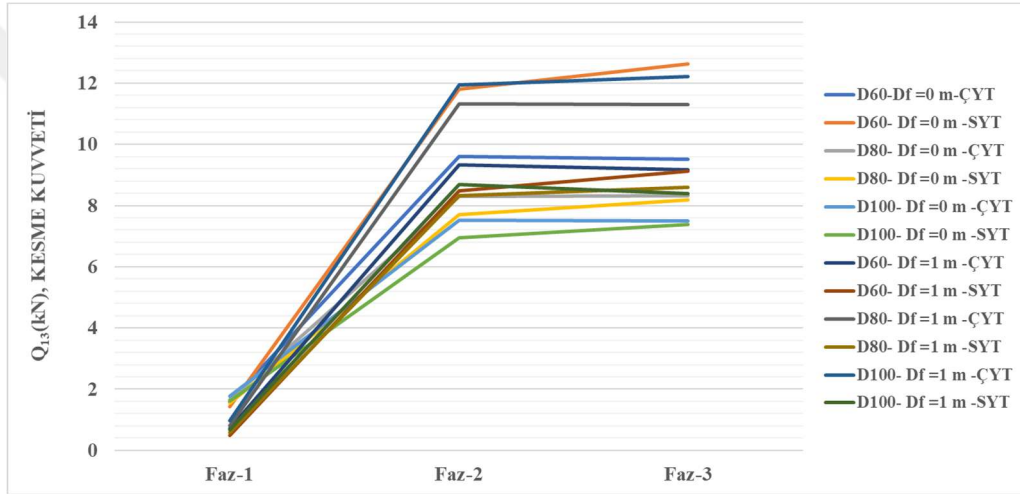
Faz-3 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K2 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 9.51 kN'dan 7.50 kN'a azalış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 9.17 kN'dan 12.22 kN'a artış göstermektedir. ÇYT altındaki K2 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri $D_f=0$ m için %21 azalırken, $D_f=1$ m için %33 artmıştır.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K2 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 12.62 kN'dan 7.39 kN'a

azalış göstermektedir. $D_f=1$ m’de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 9.12 kN’dan 8.39 kN’a azalış göstermektedir. SYT altındaki K2 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri $D_f=0$ m için %41, $D_f=1$ m için %8 azalmıştır.

SYT ve ÇYT altında, Faz-2 ve Faz-3 etkisinde kalan K2 kazığının çapı arttıkça kesme kuvveti değeri (Q_{12}) sadece $D_f=1$ m’deki ÇYT’de artmaktadır. Diğer modellerde aksine azalma görülmüştür. Ayrıca kesme kuvveti değeri (Q_{12}) ÇYT altında, SYT’e kıyasla ortalama %12 oranında daha büyüktür. Max Q_{12} değerleri çoğunlukla kazık sonuna yakın kısımlarda görülmektedir.

K2 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen kesme kuvvet tesirleri (Q_{12} , kN) grafiği Şekil 5.37.’de, değerleri ise Tablo 5.14.’te gösterilmiştir.



Şekil 5.37. K2 Kazığı Kesme Kuvvet Grafiği.

Tablo 5.14. K2 Kazığı Kesme Kuvvet Değerleri (kN).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayıllı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	1.59	9.60	9.51
D60-D _f =0 m - SYT	1.43	11.80	12.62
D80-D _f =0 m - ÇYT	1.66	8.29	8.32
D80-D _f =0 m - SYT	1.53	7.70	8.19
D100-D _f =0 m - ÇYT	1.78	7.53	7.50
D100-D _f =0 m - SYT	1.60	6.94	7.39
D60-D _f =1 m - ÇYT	0.73	9.33	9.17
D60-D _f =1 m - SYT	0.48	8.48	9.12
D80-D _f =1 m - ÇYT	0.80	11.33	11.30
D80-D _f =1 m - SYT	0.58	8.33	8.59
D100-D _f =1 m - ÇYT	0.97	11.94	12.22
D100-D _f =1 m - SYT	0.66	8.69	8.39

c. Faz-2 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K3 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 37.93 kN'dan 73.01 kN'a artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 34.00 kN'dan 66.78 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K3 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerlerinde ortalama %94'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %10'a varan azalışa sebep olmuştur.

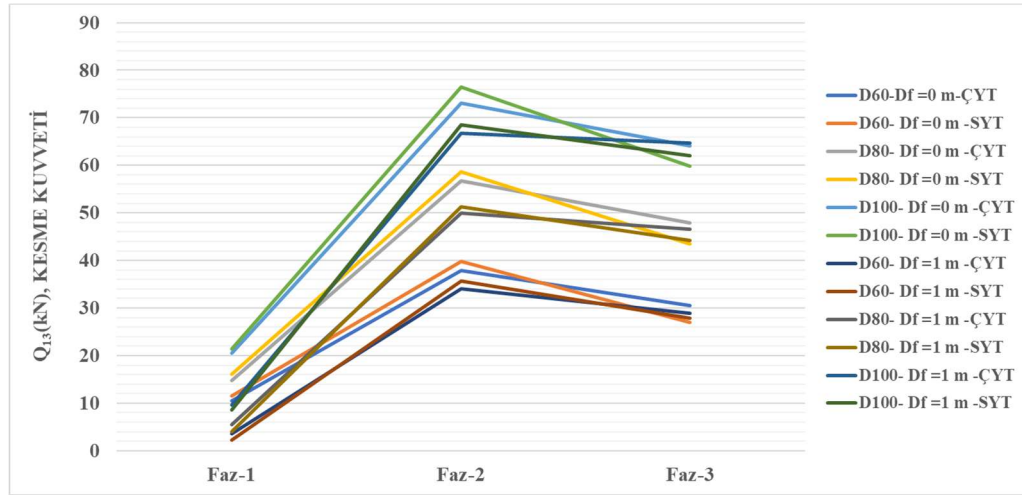
Faz-2 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K3 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 39.85 kN'dan 76.48 kN'a artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 35.64 kN'dan 68.57 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K3 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerlerinde ortalama %92'ye varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %11'e varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K3 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 30.54 kN'dan 64.03 kN'a artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 28.83 kN'dan 64.62 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K3 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerlerinde ortalama %117'ye varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %4'e varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K3 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 27.02 kN'dan 59.79 kN'a artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 27.86 kN'dan 62.00 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K3 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerlerinde ortalama %122'ye, temel gömme derinliğinin 1 m olması ortalama %3'e varan artışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-2 ve Faz-3 etkisinde kalan K3 kazığının çapı arttıkça kesme kuvveti değeri (Q_{12}) de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması ise kesme kuvveti değeri (Q_{12}) değerlerinde çoğunlukla azalmaya sebep olmuştur. Ayrıca kesme kuvveti değeri (Q_{12}) SYT altında çoğunlukla ÇYT'e kıyasla ortalama %12 oranında daha küçüktür. Max Q_{12} değerleri çoğunlukla kazık başında görülmektedir.

K3 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen kesme kuvvet tesirleri (Q_{12} , kN) grafiği Şekil 5.38.'de, değerleri ise Tablo 5.15.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.38. K3 Kazığı Kesme Kuvvet Grafiği.

Tablo 5.15. K3 Kazığı Kesme Kuvvet Değerleri (kN).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	10.47	37.93	30.54
D60- D _f =0 m - SYT	11.54	39.85	27.02
D80- D _f =0 m - ÇYT	14.72	56.77	47.88
D80- D _f =0 m - SYT	16.16	58.68	43.51
D100- D _f =0 m - ÇYT	20.45	73.01	64.03
D100- D _f =0 m - SYT	21.35	76.48	59.79
D60- D _f =1 m - ÇYT	3.57	34.00	28.83
D60- D _f =1 m - SYT	2.27	35.64	27.86
D80- D _f =1 m - ÇYT	5.43	49.92	46.51
D80- D _f =1 m - SYT	4.07	51.31	44.18
D100- D _f =1 m - ÇYT	9.60	66.78	64.62
D100- D _f =1 m - SYT	8.59	68.57	62.00

d. Faz-2 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K4 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 36.48 kN'dan 66.66 kN'a artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 34.99 kN'dan 66.87 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K4 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerlerinde ortalama %90'a varan artışa neden olmuştur.

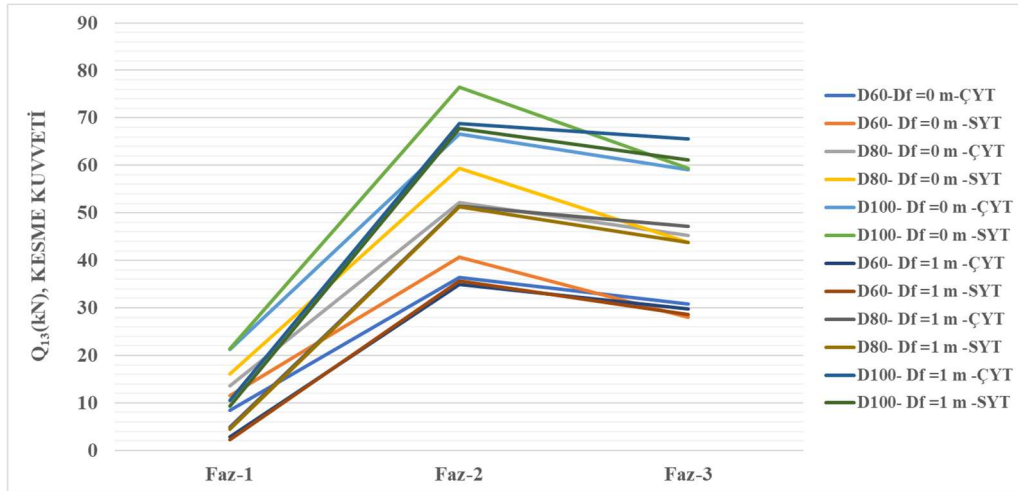
Faz-2 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K4 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 40.67 kN'dan 76.49 kN'a artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 35.70 kN'dan 67.84 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K4 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerlerinde ortalama %89'a varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %12'ye varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K4 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 30.82 kN'dan 59.11 kN'a artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 29.83 kN'dan 65.54 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K4 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerlerinde ortalama %106'ya varan artışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K4 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile kesme kuvveti değeri (Q_{12}), 28.05 kN'dan 59.40 kN'a artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerleri, 28.54 kN'dan 61.12 kN'a artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K4 kazığının kesme kuvvet tesir (Q_{12}) değerlerinde ortalama %112'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %2'ye varan azalışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-2 ve Faz-3 etkisinde kalan K4 kazığının çapı arttıkça kesme kuvveti değeri (Q_{12}) de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması ise kesme kuvveti (Q_{12}) değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Ayrıca kesme kuvveti değeri (Q_{12}) olarak ÇYT ve SYT arasında yakın değerler mevcuttur. Max Q_{12} değerleri çoğunlukla kazık başında görülmektedir.

K4 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen kesme kuvvet tesirleri (Q_{12} , kN) grafiği Şekil 5.39.'da, değerleri ise Tablo 5.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.39. K4 Kazığı Kesme Kuvvet Grafiği.

Tablo 5.16. K4 Kazığı Kesme Kuvvet Değerleri (kN).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	8.41	36.48	30.82
D60- D _f =0 m - SYT	11.57	40.67	28.05
D80- D _f =0 m - ÇYT	12.54	52.12	45.24
D80- D _f =0 m - SYT	16.12	59.31	43.80
D100- D _f =0 m - ÇYT	21.17	66.66	59.11
D100- D _f =0 m - SYT	21.42	76.49	59.40
D60- D _f =1 m - ÇYT	2.85	34.99	29.83
D60- D _f =1 m - SYT	2.27	35.70	28.54
D80- D _f =1 m - ÇYT	4.92	51.48	47.22
D80- D _f =1 m - SYT	4.42	51.24	43.84
D100- D _f =1 m - ÇYT	10.50	68.87	65.54
D100- D _f =1 m - SYT	9.37	67.84	61.12

5.5. Kazıkların Dönme Moment Tesir (M₃, kNm) Değerleri

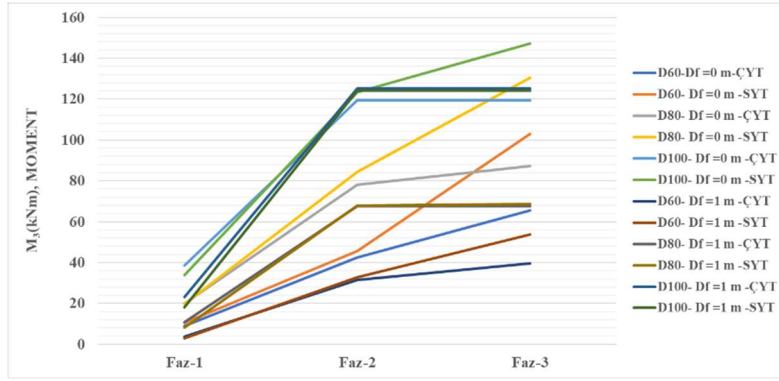
a. Faz-3 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K1 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eğilme momenti değeri (M₃), 65.50 kNm'den 119.45 kNm'ye artış göstermektedir. D_f=1 m'de ise eğilme momenti (M₃) değerleri, 39.69 kNm'den 125.20 kNm'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K1 kazığının eğilme momenti (M₃) değerinde ortalama %34'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %36'ya varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K1 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eğilme momenti değeri (M₃), 102.83 kNm'den 147.26 kNm'ye artış göstermektedir. D_f=1 m'de ise eğilme momenti değeri (M₃) değerleri, 53.82 kNm'den 72.35 kNm'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K1 kazığının eğilme momenti (M₃) değerinde ortalama %39'a varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %49'a varan azalışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-3 etkisinde kalan K1 kazığının çapı arttıkça eğilme momenti (M₃) değeri de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması ise eğilme momenti (M₃) değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Ayrıca ÇYT altındaki K1 kazıklarına ait eğilme momenti (M₃) değerleri SYT'dekine kıyasla ortalama %36 oranında daha azdır.

K1 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen eğilme momenti tesirleri (M₃, kNm) grafiği Şekil 5.40.'ta, değerleri ise Tablo 5.17.'de gösterilmiştir. Ayrıca K1 kazığı çapa bağlı eğilme momenti (M₃, kNm) grafiği Şekil 5.41.'de sunulmaktadır.

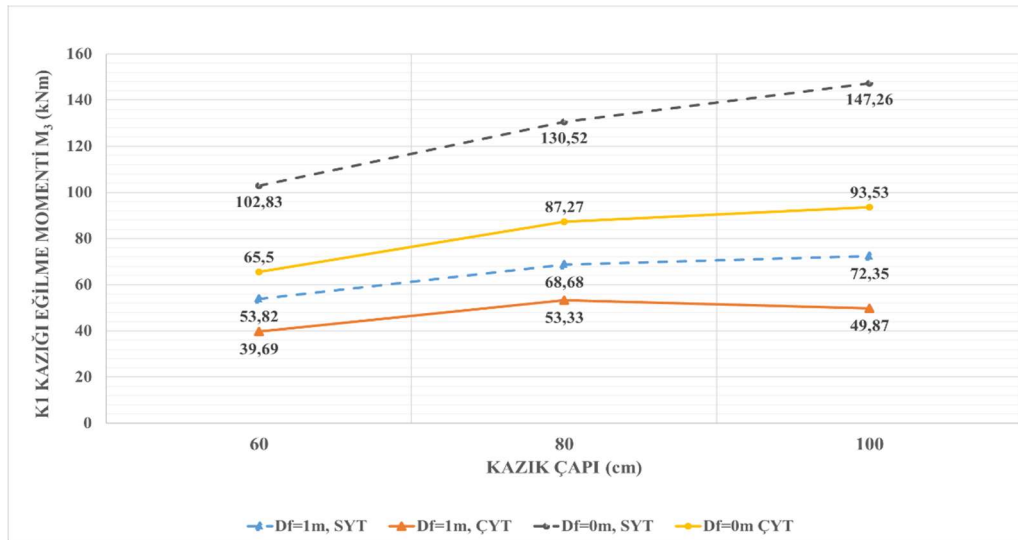
Şekil 5.42.'de ise $D_f=0$ m, $D=60$ cm çaplı kazıklara etki eden eğilme momenti M_3 (kNm) PLAXIS 3D görüntüsü gösterilmiştir.



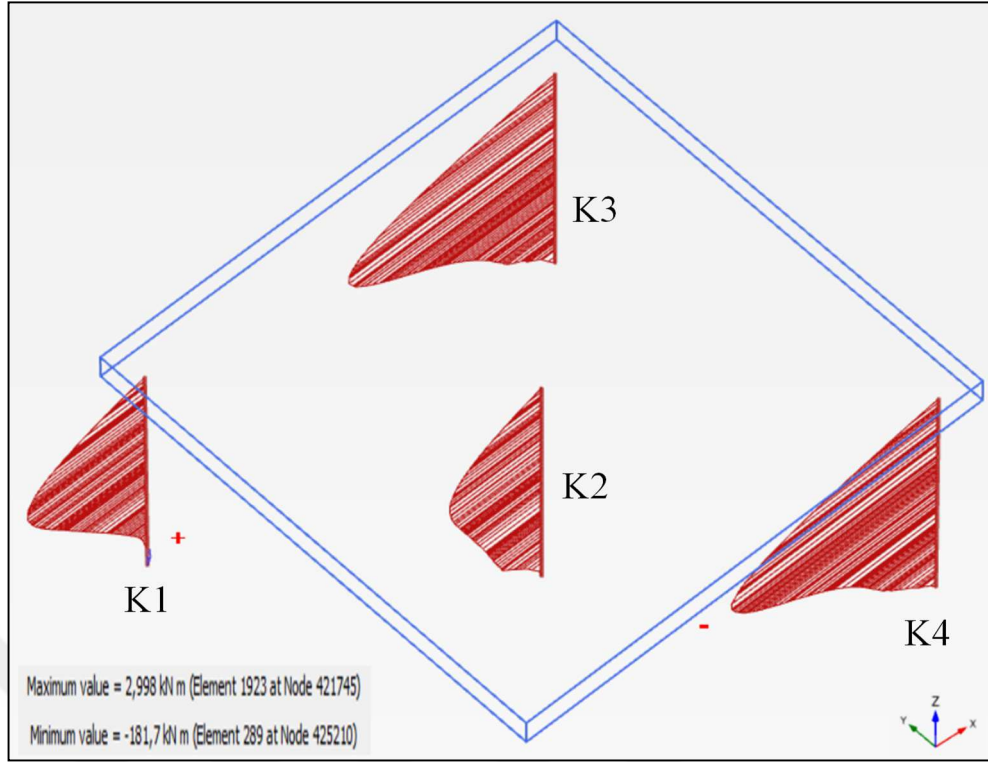
Şekil 5.40. K1 Kazığı Eğilme Momenti Grafiği.

Tablo 5.17. K1 Kazığı Eğilme Momenti Değerleri (kNm).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayıllı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	8.86	42.35	65.50
D60- D _f =0 m - SYT	10.51	45.73	102.83
D80- D _f =0 m - ÇYT	19.97	78.21	87.27
D80- D _f =0 m - SYT	19.67	84.36	120.52
D100- D _f =0 m - ÇYT	38.43	119.45	119.45
D100- D _f =0 m - SYT	33.86	123.35	147.26
D60- D _f =1 m - ÇYT	3.76	31.50	39.69
D60- D _f =1 m - SYT	2.83	32.88	53.82
D80- D _f =1 m - ÇYT	10.68	67.71	67.71
D80- D _f =1 m - SYT	8.28	67.76	68.68
D100- D _f =1 m - ÇYT	23.00	125.20	125.20
D100- D _f =1 m - SYT	18.14	124.20	124.20



Şekil 5.41. K1 Kazığı Çapa Bağlı Eğilme Momenti Grafiği.



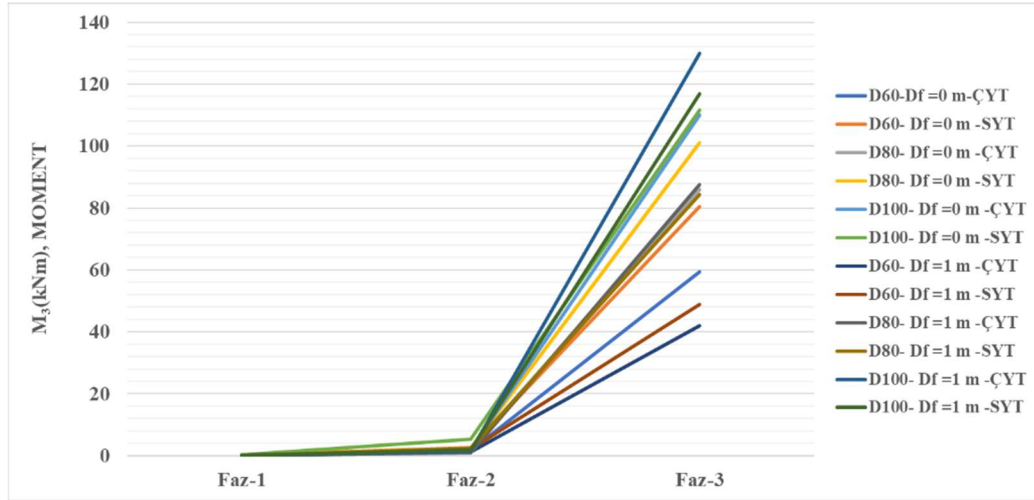
Şekil 5.42. $D_f=0$ m, $D=60$ cm Çaplı Kazıklara Etki Eden Eğilme Momenti.

b. Faz-3 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K2 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eğilme momenti değeri (M_3), 59.47 kNm'den 109.96 kNm'ye artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise eğilme momenti (M_3) değerleri, 41.88 kNm'den 120.00 kNm'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K2 kazığının eğilme momenti (M_3) değerinde ortalama %148'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması da ortalama %3'e varan artışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K2 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eğilme momenti değeri (M_3), 80.53 kNm'den 111.67 kNm'ye artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise eğilme momenti (M_3) değerleri, 48.91 kNm'den 116.88 kNm'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K2 kazığının eğilme momenti (M_3) değerinde ortalama %89'a varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %17'ye varan azalışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-3 etkisinde kalan K2 kazığının çapı arttıkça eğilme momenti (M_3) değeri de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması ise eğilme momenti (M_3) değerinde ÇYT için artışa, SYT içinse azalmaya sebep olmuştur. Ayrıca ÇYT altındaki K2 kazıklarına ait eğilme momenti (M_3) değerleri SYT'dekine kıyasla ortalama %14 oranında daha azdır.

K2 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen eğilme momenti tesirleri (M_3 , kNm) grafiği Şekil 5.43.'te, değerleri ise Tablo 5.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.43. K2 Kazığı Eğilme Momenti Grafiği.

Tablo 5.18. K2 Kazığı Eğilme Momenti Değerleri (kNm).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	0.25	1.58	59.47
D60- D _f =0 m - SYT	0.34	2.51	80.53
D80- D _f =0 m - ÇYT	0.12	2.14	85.96
D80- D _f =0 m - SYT	0.37	2.42	101.18
D100- D _f =0 m - ÇYT	0.11	1.83	109.96
D100- D _f =0 m - SYT	0.28	5.23	111.67
D60- D _f =1 m - ÇYT	0.06	1.28	41.88
D60- D _f =1 m - SYT	0.04	2.10	48.91
D80- D _f =1 m - ÇYT	0.08	0.91	87.47
D80- D _f =1 m - SYT	0.05	2.29	84.42
D100- D _f =1 m - ÇYT	0.09	1.49	120.00
D100- D _f =1 m - SYT	0.06	1.81	116.88

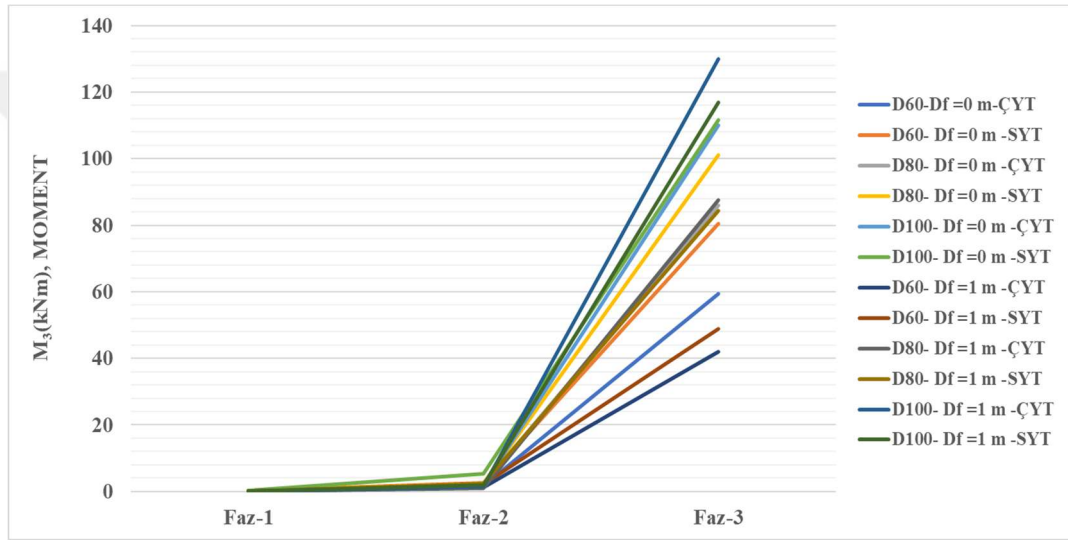
c. Faz-3 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K3 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eğilme momenti değeri (M_3), 148.45 kNm'den 322.79 kNm'ye artış göstermektedir. D_f=1 m'de ise eğilme momenti (M_3) değerleri, 107.74 kNm'den 302.24 kNm'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K3 kazığının eğilme momenti (M_3) değerinde ortalama %149'a varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %17'ye varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K3 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eğilme momenti değeri (M_3), 181.61 kNm'den 377.73 kNm'ye artış göstermektedir. D_f=1 m'de ise eğilme momenti (M_3) değerleri, 125.33

kNm'den 321.31 kNm'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K3 kazığının eğilme momenti (M_3) değerinde ortalama %122'ye varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %23'e varan azalışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-3 etkisinde kalan K3 kazığının çapı arttıkça eğilme momenti (M_3) değeri de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması ise eğilme momenti (M_3) değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Ayrıca ÇYT altındaki K3 kazıklarına ait eğilme momenti (M_3) değerleri SYT'dekine kıyasla ortalama %8 oranında daha azdır.

K3 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen eğilme momenti tesirleri (M_3 , kNm) grafiği Şekil 5.44.'te, değerleri ise Tablo 5.19.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.44. K3 Kazığı Eğilme Momenti Grafiği.

Tablo 5.19. K3 Kazığı Eğilme Momenti Değerleri.

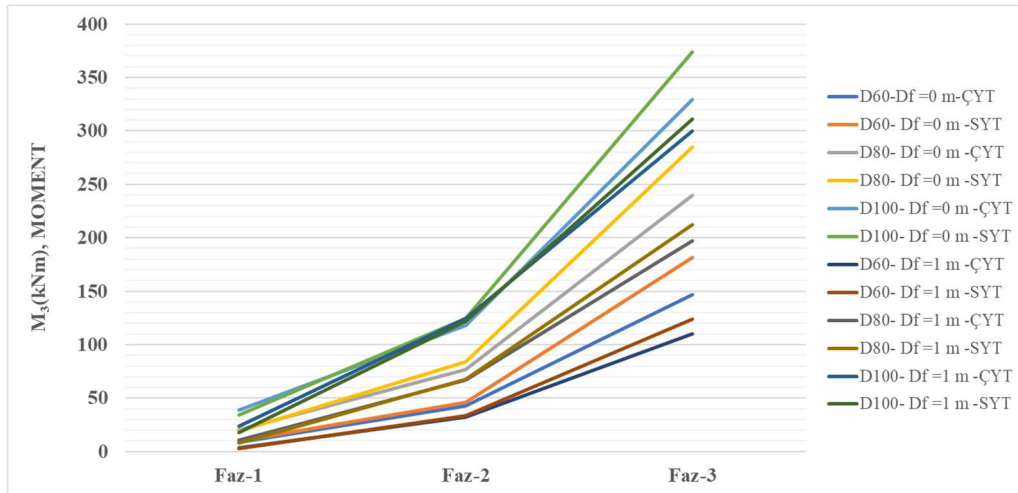
Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayıllı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m-ÇYT	8.88	43.53	148.45
D60- D _f =0 m -SYT	10.71	46.42	181.61
D80- D _f =0 m -ÇYT	19.00	77.31	240.51
D80- D _f =0 m -SYT	19.76	82.94	282.68
D100- D _f =0 m -ÇYT	36.17	115.75	322.79
D100- D _f =0 m -SYT	34.04	126.14	377.73
D60- D _f =1 m -ÇYT	3.82	31.00	107.74
D60- D _f =1 m -SYT	2.88	33.67	125.33
D80- D _f =1 m -ÇYT	10.91	67.33	196.34
D80- D _f =1 m -SYT	8.37	68.03	215.53
D100- D _f =1 m -ÇYT	23.67	128.70	302.24
D100- D _f =1 m -SYT	18.23	123.64	321.31

d. Faz-3 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K4 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eğilme momenti değeri (M_3), 146.77 kNm'den 329.64 kNm'ye artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise eğilme momenti (M_3) değerleri, 110.22 kNm'den 299.67 kNm'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K4 kazığının eğilme momenti (M_3) değerinde ortalama %148'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %17'ye varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K4 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile eğilme momenti değeri (M_3), 181.7 kNm'den 373.99 kNm'ye artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise eğilme momenti (M_3) değerleri, 124.14 kNm'den 310.88 kNm'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K4 kazığının eğilme momenti (M_3) değerinde ortalama %128'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %25'e varan azalışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-3 etkisinde kalan K4 kazığının çapı arttıkça eğilme momenti (M_3) değeri de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması ise eğilme momenti (M_3) değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Ayrıca ÇYT altındaki K4 kazıklarına ait eğilme momenti (M_3) değerleri SYT'dekine kıyasla ortalama %16 oranında daha küçüktür.

K4 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen eğilme momenti tesirleri (M_3 , kNm) grafiği Şekil 5.45.'te, değerleri ise Tablo 5.20.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.45. K4 Kazığı Eğilme Momenti Grafiği.

Tablo 5.20. K4 Kazığı Eğilme Momenti Değerleri (kNm).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	8.80	42.84	146.77
D60- D _f =0 m - SYT	10.20	46.07	181.70
D80- D _f =0 m - ÇYT	20.30	76.68	239.69
D80- D _f =0 m - SYT	19.39	84.08	284.75
D100- D _f =0 m - ÇYT	38.74	117.68	329.64
D100- D _f =0 m - SYT	34.20	124.31	373.99
D60- D _f =1 m - ÇYT	3.77	31.98	110.22
D60- D _f =1 m - SYT	2.81	33.36	124.14
D80- D _f =1 m - ÇYT	10.84	66.74	196.97
D80- D _f =1 m - SYT	8.14	67.38	212.06
D100- D _f =1 m - ÇYT	23.62	124.43	299.67
D100- D _f =1 m - SYT	17.63	121.74	310.88

5.6. Kazıkların Sürtünme Kuvveti Tesir (T_{skin}) Değerleri

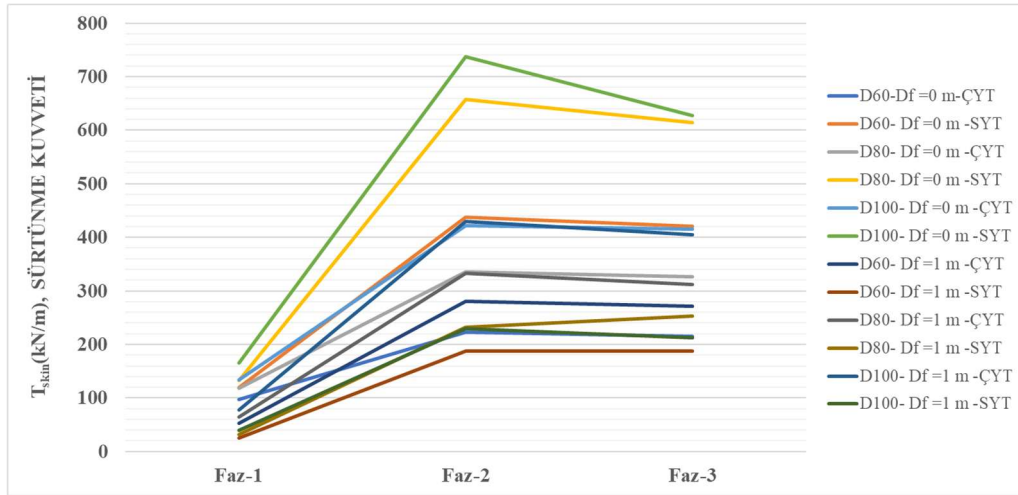
a. Faz-3 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K1 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 214.74 kN/m'den 415.3 kN/m'ye artış göstermektedir. D_f=1 m'de ise yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 270.71 kN/m'den 404.48 kN/m'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K1 kazığının yüzey sürtünme kuvveti değerinde (T_{skin}) ortalama %71'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %6'ya varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K1 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 420.41 kN/m'den 627.38 kN/m'ye artış göstermektedir. D_f=1 m'de ise yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 187.66 kN/m'den 212.85 kN/m'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K1 kazığının yüzey sürtünme kuvveti değerinde (T_{skin}) ortalama %31'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %60'a varan azalışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-2 ve Faz-3 etkisinde kalan K1 kazığının çapı arttıkça yüzey sürtünme kuvveti (T_{skin}) değeri de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması ise sürtünme kuvveti (T_{skin}) değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Ayrıca ÇYT altındaki K1 kazıklarına ait yüzey sürtünme kuvveti (T_{skin}) değerleri D_f=0 m için SYT'dekine kıyasla ortalama %35 oranında daha küçüktür. D_f=1 m içinse, ÇYT'deki K1 kazıklarına ait yüzey sürtünme kuvveti (T_{skin}) değerleri SYT'deki değerlerine

oranla ortalama %40 daha büyüktür. Max T_{skin} değerlerinin kazık ucunda ve uç kısımlarında olduğu görülmektedir.

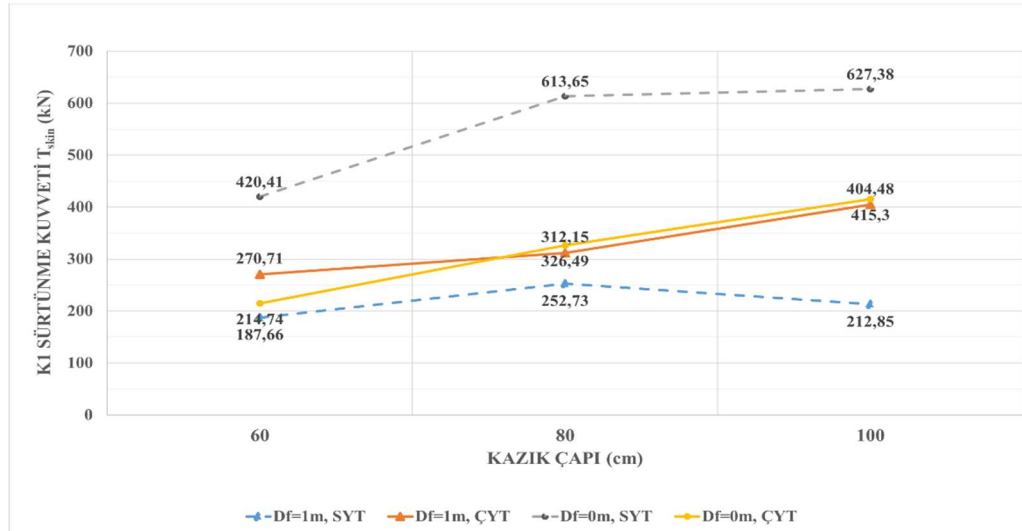
K1 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen sürtünme kuvveti (T_{skin} , kN/m) grafiği Şekil 5.46.'da, değerleri ise Tablo 5.21.'de gösterilmiştir. Ayrıca K1 kazığı çapa bağlı sürtünme kuvveti (T_{skin} , kN/m) grafiği Şekil 5.47.'de verilmektedir. Şekil 5.48.'de ise $D_f = 0$ m, $D = 60$ cm çaplı kazıklara etki eden sürtünme kuvveti T_{skin} (kN) PLAXIS 3D görüntüsü gösterilmiştir.



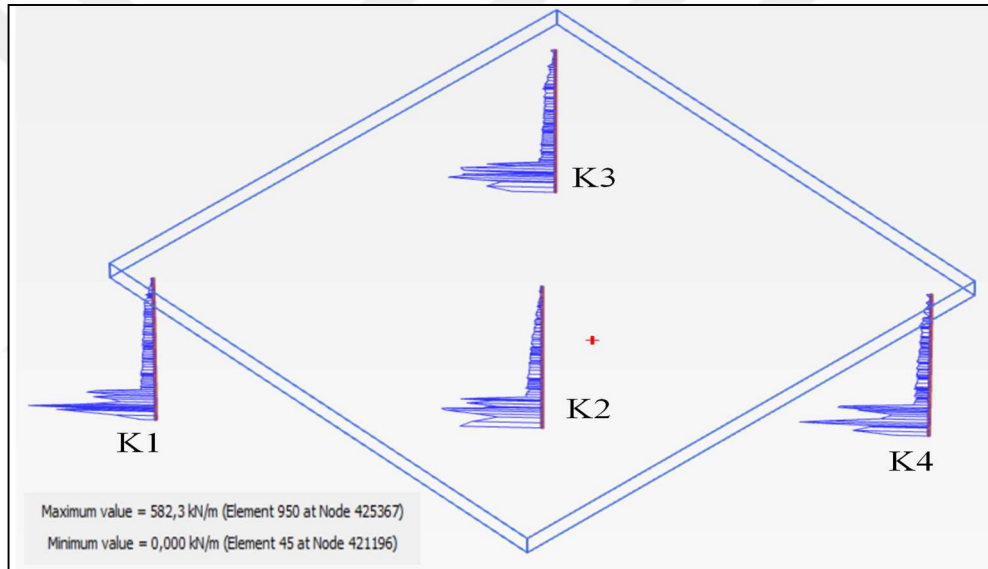
Şekil 5.46. K1 Kazığı Sürtünme Kuvveti Grafiği.

Tablo 5.21. K1 Kazığı Sürtünme Kuvveti Değerleri (kN/m).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	96.69	222.73	214.74
D60- D _f =0 m - SYT	119.10	438.01	420.41
D80- D _f =0 m - ÇYT	118.10	335.81	326.49
D80- D _f =0 m - SYT	122.23	657.46	612.65
D100- D _f =0 m - ÇYT	123.60	421.79	415.30
D100- D _f =0 m - SYT	164.85	737.56	627.38
D60- D _f =1 m - ÇYT	52.77	281.06	270.71
D60- D _f =1 m - SYT	25.11	187.92	187.66
D80- D _f =1 m - ÇYT	63.97	332.49	312.15
D80- D _f =1 m - SYT	31.78	232.08	252.73
D100- D _f =1 m - ÇYT	77.28	430.00	404.48
D100- D _f =1 m - SYT	39.94	229.16	212.85



Şekil 5.47. K1 Kazığı Çapa Bağlı Sürtünme Kuvveti Grafiği.



Şekil 5.48. D_f 0 m, D = 60 cm Çaplı Kazıklara Etki Eden Sürtünme Kuvveti.

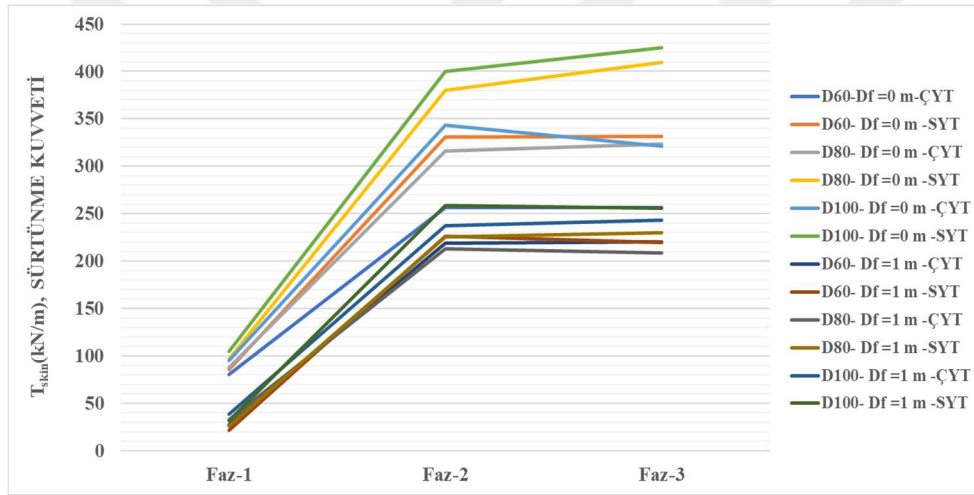
b. Faz-3 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K2 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 256.26 kN/m'den 320.91 kN/m'ye artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 220.18 kN/m'den 243.29 kN/m'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K2 kazığının yüzey sürtünme kuvveti değerinde (T_{skin}) ortalama %18'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %25'e varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K2 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 331.42 kN/m'den 425.25 kN/m'ye artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise yüzey sürtünme

kuvveti değeri (T_{skin}), 219.28 kN/m'den 255.47 kN/m'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K2 kazığının yüzey sürtünme kuvveti değerinde (T_{skin}) ortalama %22'ye varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %39'a varan azalışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-2 ve Faz-3 etkisinde kalan K2 kazığının çapı arttıkça yüzey sürtünme kuvveti (T_{skin}) değeri de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması ise sürtünme kuvveti (T_{skin}) değerlerinde ortalama %11 oranında azalmaya sebep olmuştur. Max T_{skin} değerlerinin kazık ucunda ve uç kısımlarında olduğu görülmektedir.

K2 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen sürtünme kuvveti (T_{skin} , kN/m) grafiği Şekil 5.49.'da, değerleri ise Tablo 5.22.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.49. K2 Kazığı Sürtünme Kuvveti Grafiği.

Tablo 5.22. K2 Kazığı Sürtünme Kuvveti Değerleri (kN/m).

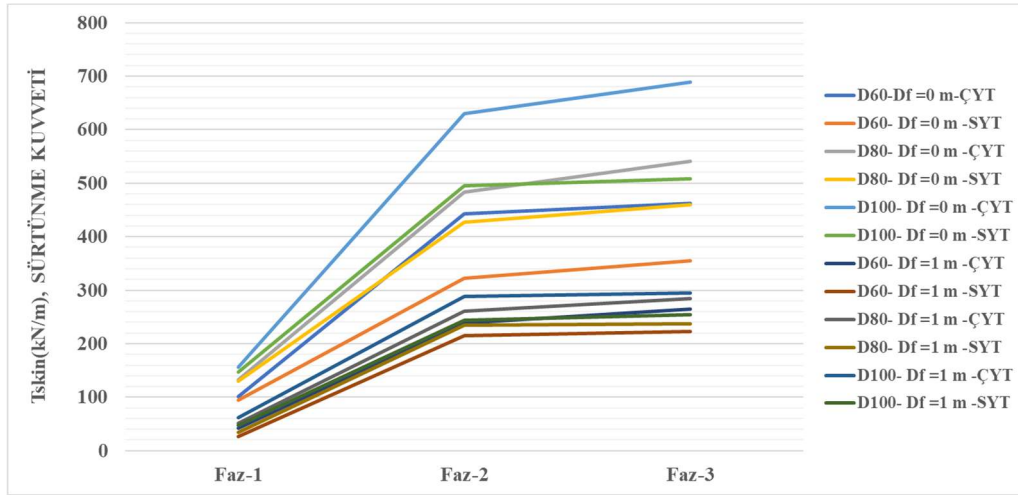
Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	80.30	256.47	256.26
D60- D _f =0 m - SYT	85.89	331.06	331.42
D80- D _f =0 m - ÇYT	87.47	316.35	323.10
D80- D _f =0 m - SYT	96.35	379.77	409.49
D100- D _f =0 m - ÇYT	94.94	343.56	320.91
D100- D _f =0 m - SYT	105.08	399.83	425.25
D60- D _f =1 m - ÇYT	27.61	218.96	220.18
D60- D _f =1 m - SYT	21.65	226.07	219.28
D80- D _f =1 m - ÇYT	32.54	212.99	208.42
D80- D _f =1 m - SYT	26.29	225.31	230.00
D100- D _f =1 m - ÇYT	38.59	237.12	243.29
D100- D _f =1 m - SYT	32.19	258.42	255.47

c. Faz-3 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K3 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 462.86 kN/m'den 689.10 kN/m'ye artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 265.22 kN/m'den 295.30 kN/m'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K3 kazığının yüzey sürtünme kuvveti değerinde (T_{skin}) ortalama %30'e varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %49'a varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K3 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 355.66 kN/m'den 508.46 kN/m'ye artış göstermektedir. $D_f=1$ m'de ise yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 222.66 kN/m'den 253.96 kN/m'ye artış göstermektedir. Kazık çapının artması ÇYT altındaki K3 kazığının yüzey sürtünme kuvveti değerinde (T_{skin}) ortalama %29'ye varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %45'e varan azalışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-2 ve Faz-3 etkisinde kalan K3 kazığının çapı arttıkça yüzey sürtünme kuvveti (T_{skin}) değeri de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması ise sürtünme kuvveti (T_{skin}) değerlerinde ortalama %19 oranında azalmaya sebep olmuştur. Ayrıca ÇYT altındaki K3 kazıklarına ait yüzey sürtünme kuvveti (T_{skin}) değerleri $D_f=0$ m için SYT'dekine kıyasla ortalama %20 oranında daha büyüktür. $D_f=1$ m içinse, ÇYT'deki K3 kazıklarına ait yüzey sürtünme kuvveti (T_{skin}) değerleri SYT'deki değerlerine oranla ortalama %19 daha büyüktür. Max T_{skin} değerlerinin kazık ucunda ve uç kısımlarında olduğu görülmektedir.

K3 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen sürtünme kuvveti (T_{skin} , kN/m) grafiği Şekil 5.50.'de, değerleri ise Tablo 5.23.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.50. K3 Kazığı Sürtünme Kuvveti Grafiği.

Tablo 5.23. K3 Kazığı Sürtünme Kuvveti Değerleri (kN/m).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	100.86	443.17	462.86
D60- D _f =0 m - SYT	94.51	321.76	355.66
D80- D _f =0 m - ÇYT	122.60	483.52	540.77
D80- D _f =0 m - SYT	129.43	427.33	460.12
D100- D _f =0 m - ÇYT	156.00	630.10	689.10
D100- D _f =0 m - SYT	147.12	494.99	508.46
D60- D _f =1 m - ÇYT	42.35	239.19	265.22
D60- D _f =1 m - SYT	26.96	215.10	222.66
D80- D _f =1 m - ÇYT	51.15	261.16	283.90
D80- D _f =1 m - SYT	34.02	235.25	237.14
D100- D _f =1 m - ÇYT	61.26	287.67	295.30
D100- D _f =1 m - SYT	47.73	243.87	253.96

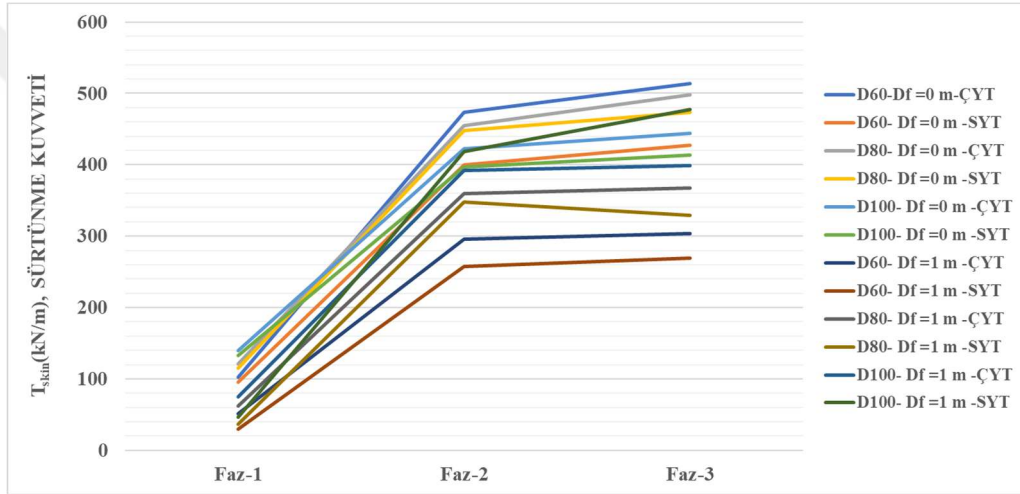
d. Faz-3 yüklemesine maruz kalan ÇYT altındaki K4 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 512.81 kN/m'den 444.40 kN/m'ye azalış göstermektedir. D_f=1 m'de ise yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 427.00 kN/m'den 412.58 kN/m'ye azalış göstermektedir. Kazık çapının artması D_f=0 m için ÇYT altındaki K4 kazığının yüzey sürtünme kuvveti değerinde (T_{skin}) ortalama %14'e varan azalışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %12'ye varan azalışa sebep olmuştur.

Faz-3 yüklemesine maruz kalan SYT altındaki K4 kazık çapının, D60-D80-D100 olarak değişiklik göstermesi ile yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 427.00 kN/m'den 412.58 kN/m'ye azalış göstermektedir. D_f=1 m'de ise yüzey sürtünme kuvveti değeri (T_{skin}), 268.77 kN/m'den 477.33 kN/m'ye artış göstermektedir. Kazık

çapının artması ÇYT altındaki K4 kazığının yüzey sürtünme kuvveti değerinde (T_{skin}) ortalama %37'ye varan artışa, temel gömme derinliğinin 1 m olması ise ortalama %17'e varan azalışa sebep olmuştur.

SYT ve ÇYT altında, Faz-2 ve Faz-3 etkisinde kalan K4 kazığının çapı arttıkça genellikle yüzey sürtünme kuvveti (T_{skin}) değeri de artmaktadır. Temel gömme derinliğinin 1 m olması ise sürtünme kuvveti (T_{skin}) değerlerinde ortalama %12 oranında azalmaya sebep olmuştur. Max T_{skin} değerlerinin kazık ucunda ve uç kısımlarında olduğu görülmektedir.

K4 kazığında, üç yükleme modeli için meydana gelen sürtünme kuvveti (T_{skin} , kN/m) grafiği Şekil 5.51.'de, değerleri ise Tablo 5.24.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.51. K4 Kazığı Sürtünme Kuvveti Grafiği.

Tablo 5.24. K4 Kazığı Sürtünme Kuvveti Değerleri (kN/m).

Kazık Çapı-Temel Gömme Derinliği-Yayılı Temel Tipi	Faz-1	Faz-2	Faz-3
D60-D _f =0 m - ÇYT	102.00	473.03	512.81
D60- D _f =0 m - SYT	95.44	399.58	427.00
D80- D _f =0 m - ÇYT	121.40	454.47	497.64
D80- D _f =0 m - SYT	115.06	448.06	472.95
D100- D _f =0 m - ÇYT	129.54	422.74	444.40
D100- D _f =0 m - SYT	122.68	396.98	412.58
D60- D _f =1 m - ÇYT	51.35	295.79	303.35
D60- D _f =1 m - SYT	29.33	257.48	268.77
D80- D _f =1 m - ÇYT	62.43	359.16	367.79
D80- D _f =1 m - SYT	36.92	348.10	329.04
D100- D _f =1 m - ÇYT	75.30	392.03	399.03
D100- D _f =1 m - SYT	46.23	418.33	477.33



6. SONUÇ

Bu çalışmada, iki farklı gömme derinliğinde ($D_f=0$ m ve $D_f=1$ m) bulunan, farklı çapta ($D=60$ cm, $D=80$ cm, $D=100$ cm), 10 m boyunda, $s=3$ m sabit aralıklı, 49 adet kazıktan oluşan, $20\text{ m} \times 20\text{ m} \times 1\text{ m}$ ve $20\text{ m} \times 20\text{ m} \times (1+0.4)\text{ m}$ (Şekil 4.3 a,b) boyutlarındaki kazıklı yayılı temel altında seçilmiş olan dört adet kazığın (K1, K2, K3, K4), farklı yükleme koşulları altında; $N(\text{kN})$, eksenel basınç kuvvet tesirleri, $Q_{12}(\text{kN})$ kesme kuvveti tesirleri, $M_3(\text{kNm})$ dönme momenti tesirleri, $T_{\text{skin}}(\text{kN/m})$ sürtünme kuvveti tesirleri, $U_z(\text{mm})$ düşey deplasman değerleri ve $U_x(\text{mm})$, yatay deplasman (yatay kuvvet uygulama yönü x-x doğrultusunda uygulandığı için) değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca, kazık takviyeli yayılı temel sisteminde ÇYT kullanımının seçilen kazıklarda nasıl bir etki oluşturduğu da inceleme konusu içindedir.

Çalışmanın sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

- Kazık başları tasarımı dikkat edilmesi gereken kritik bölgedir. Özellikle yatay yük etkisinde kuvvet tesirlerinin zorladığı kısım olarak dikkat çekmektedir.
- Yatay kuvvetin etki doğrultusundaki kazıklar, sınır kazıklar, temel merkezine doğru yerleşim sağlamış olan kazıklara göre daha çok kuvvet almaktadır.
- SYT’de en büyük yatay deplasman K1 için 17.07 mm iken, ÇYT’de bu değer %21 azalarak 12.43 mm’ye düşmektedir.
- ÇYT altında (U_x) sistemde oluşan maksimum yatay deplasmanlar, SYT’e göre %8-21 oranında daha küçüktür.
- Temel gömme derinliği 1 m olduğunda düşey deplasman (U_z) değerlerinde %18-52’ye varan azalmalar gözlemlenmiştir.
- Kazık çapı arttıkça eksenel basınç kuvveti (N) değerlerinin de genelde arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle K1, K3 ve K4 kazıklarında çap arttıkça %15-32 oranında artış gözlenmiştir.
- Temel gömme derinliğinin artmasıyla birlikte kesme kuvveti Q_{12} değerlerinde %7-12 azalma olduğu gözlenmiştir.
- Kazık çapı arttıkça, tüm kazıklarda yatay deplasmanlarda belirgin azalmalar (%24 oranında) gözlenmiştir. Özellikle K1-K4 kazıkları için yatay deplasman

(U_x) değerleri $D=60$ cm çapta ortalama 12.4 mm civarındayken, $D=100$ cm çapında bu değer 10.1 mm'ye düşmektedir. Temel gömme derinliği 1 metreye çıkarıldığında ise yatay deplasman (U_x) değerlerinde ilave olarak ortalama %30'a varan azalma gözlemlenmiştir.

- $D_f=0$ m'de yükleme yapılması durumunda, bazı kazıklarda düşey deplasman artışı yaşansa da, genel eğilim düşey deplasmanın kazık çapı ve gömme derinliği ile azaldığı yönündedir.
- Kazık çapındaki artış ile birlikte kesme kuvveti değerlerinde %90-122'ye varan artışlar gözlenmiştir. Temel gömme derinliğinin artması ise %10-12 civarında kesme kuvvetini azaltıcı etki yapmıştır.
- Kazık çapındaki artış, eğilme momentini %30-150 arasında artırmıştır. Özellikle K3 ve K4 kazıklarında eğilme momenti %117-124 oranında artmıştır. Temel gömme derinliğinin artması ise eğilme momentinde %17-49'a varan düşüşlere sebep olmuştur. SYT'lerde eğilme momentleri, ÇYT'e göre genelde daha büyüktür.
- Kazık çapı arttıkça yüzey sürtünme kuvveti genel olarak artmış, temel gömme derinliğinin artması ise bu değeri %6-60 arasında azaltmıştır. T_{skin} değerleri çoğunlukla kazık uç bölgesinde maksimuma ulaşmaktadır.
- Bina yükü ile yüklemenin olduğu durumda, kazıkların düşey deplasman (U_z) değerleri maksimum seviyeye ulaşmakta olup; yatay yükün etkisi ile birlikte bu değerlerde %97'lere varan azalmalar gözlenmiştir. Bu durumda kazıkların yatay kuvvet etkisi ile beraber aktif duruma geçtiği söylenebilir.
- Genellikle, ÇYT tasarımındaki kazıklara etkiyen kuvvetler, SYT tasarımındaki kazıklara kıyasla küçüktür. Bu durum, tasarımda ÇYT kullanımının kazıkta oluşan kesit tesirlerini azaltıcı rol oynadığını göstermektedir. Buradan çiftli radye kullanımının ekonomik çözüm olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır. Tekli yayılı temel kalınlığı ile çiftli radyenin toplam kalınlığının ne olacağının da sorgulanması ileriki çalışmalarda irdelenebilir.

KAYNAKLAR

- Aeberhard. H. U., Ganz H. R., Martı P., ve Schuler W. (1998). *VSL PostTensioned Foundations*. VSL International Ltd., Berne/ Switzerland.
- Akbuğa. E. (2019). *Seferihisar (İzmir) Bölgesinde Sıvılaşma Analizi ve Haritalandırılması*. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akgüner. C., Berilgen. M., Kirkit. M., Taciroğlu. E., (2014). Kazıklı Temellerde Tabaka Kalınlığının Zemin-Yapı Etkileşimine Etkisi. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2. Özel Konulu Sempozyumu*. Antalya. Türkiye
- Akgüner. C., Berilgen. M., Kirkit. M., Taciroğlu. E., (2014). Kazıklı Temellerde Tabaka Kalınlığının Zemin-Yapı Etkileşimine Etkisi. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbeşinci Ulusal Kongresi*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi. Ankara.
- Alpaslan. N., (2012). Zemin sıvılaşması ve mekanizması. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi* 3(2):67-89.
- Altay G., Kayadelen C., (2017) Momente maruz kazıkların nümerik olarak incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 32(4). 127-124.
- Altındış. M. (2020). “Sıvılaşma Analizi ve Sıvılaşma Sonucu Oluşan Yanal Yayılma Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması”. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Alver O., Özden G. (2015). Tabakalı zeminlerde kazıklı yayılı temellerin optimum tasarımı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi* . Sayı 49. Cilt 17. 12-26. ID. JA48DU46TZ
- Alver. O., Erginağ. U., C., Özden. G. (2016). Killi Zeminlerde Zemin Kazık Yapı Etkileşimi. *Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi* 12-14 Ekim 2016. Atatürk Üniversitesi. Erzurum.
- Andrews. D. C. A. and Martin. G. R. (2000) Criteria for Liquefaction of Silty Soils. *12th World Conference on Earthquake Engineering*. Proceedings. Auckland. New Zealand.
- Ata. A., Badrawi. E. ve Nabil. M., Numerical. (2014). Analysis of Unconnected Piled Raft With Cushion. *Ain Shams Engineering Journal*. December.
- Ateş. B., Şadoğlu. E. (2020). Donatılı Kum Zeminlerde Düzlem Deformasyon Koşullarında Düşey Gerilme Dağılışı. *Teknik Dergi* 31 9967-9985.
- Aydinoğlu. M., N., Berilgen. M., Özaydın. K., Özden. L., Depremde Kazık-Zemin Dinamik Etkileşimi. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi*. (2000). İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.

- Aydinoğlu. M.N. (2011). *Zayıf zeminlerde yapılan binalarda dinamik yapı – kazık – zemin etkileşimi için uygulamaya yönelik bir hesap yöntemi*. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Ve Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı. Rapor 2011/1.
- Bağrıaçık. B. (2015). *Kohezyonsuz zeminlerde düşey yüklü kazıklı Yayılı temellerin analizi*. Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi.
- Bağrıaçık. B., Uysal. F., Yıldız. A., Farklı Kazık Yerleşim Açılarının Kazıklı Yayılı Temel Taşıma Kapasitesine Etkisi. 3rd International Soil-Structure Interaction Symposium-Izmir. Turkey
- Birand. A. (2007). *Kazıklı Temeller*. 2. Baskı. Teknik Yayınevi. Ankara.
- Bol. E., Önalp. A., Arel. E., Sert. S., Özocak. A., (2010). Liquefaction of Silts: The Adapazari Criteria. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2010:8:859-873.
- Bolin. H.W. (1941). *The pile efficiency formula of the Uniform Building Code*. Building Standards Monthly. 10(1): 4–5.
- Boulanger. R. W., Idriss. I. M., (2014). *CPT and SPT Based Liquefaction Triggering Procedures*. Report No: UCD/CGM-14/01.
- Bowles. J.E., (1995). *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math. 1207p. New York.
- Broms B. (1976). Pile Foundations. Pile Groups II. Proc. 6th European Conf. on Soil Mech. *Foundation Eng.* Vienna Austria 2.1 103-122.
- Burland. J. B., Broms. B. B., & De Mello. V. F. B. (1977). Behaviour of foundations and structures. In Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. *Found. Engng.* Tokyo (Vol. 2. pp. 495-546).
- Butterfield. R., Banerjee. P. K. (1971). *The problem of pile group–pile cap interaction*. Geotechnique. 21(2). 125-142.
- Clancy. P., Randolph. M. F. (1993). An approximate analysis procedure for piled raft foundations. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 17(12). 849-869.
- Coduto. D. (2011). *Temel Tasarımı İlkeler ve uygulamalar*. 1. basım. Gazi Kitabevi. Ankara.
- Coduto. D., Kitch. W., Yeung. M., (2015). *Foundation Design Principles and Practices*. Third Edition. Pearson Publication.
- Cooke. R. W. (1986). *Piled raft foundations on stiff clays—a contribution to design philosophy*. Geotechnique. 36(2). 169-203.
- Coyle. H.M., Castello. R.R., (1981). New Design Correlations for Piles in Sand. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. 107(GT7). 965-986.
- Çamlıbel. A.N., (2000). *Yüzeyel yapı temelleri*. Birsan Yayınevi. 1. baskı. İstanbul.
- Çetin K.Ö., Bilge T., Siyahi B. (2014) Yüksek katlı yapıların deprem- zemin-kazık-temel etkileşim analizi için kinematik sistem esneklik matrisinin geliştirilmesi bir vaka örneği. *Teorik Ve Uygulamalar Yapı Zemin Etkileşimi Sempozyumu*. 24-25 Nisan.

- Çıklaiblikçi. P., (2019). *Depremler sırasında zeminlerin sıvılaşması ve sonrasında meydana gelen deplasmanların belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi. Kayseri. 149s.
- Çinicioğlu. S. F. (2005). *Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı*. Seminer İnşaat Mühendisleri Odası.
- Das B., Sivakugan N., (2018). *Principles of Foundation Engineering*. Ninth Edition. Cengage Publication.
- Das. B. M. (1999). *Principles of Foundation Engineering*. Pws – Kent Pub., California.
- Davis. E. H., Poulos. H. G. (1972). The analysis of piled raft systems. *Australia Geotechnique Journal*. 2(1). 21-27.
- Deshpande. S.S. Ve Thakare. S.W. (2017) Performance of piled raft foundation subjected to non-uniform load. *International Journal Of Civil Engineering And Technology*. 8 (4). 1603- 1612.
- Durlanık. N. (1995). *Kazıkların eksenel ve yatay yük taşıma kapasiteleri*. Yüksek Lisans Tezi. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Efendioğlu K., (2008). *Yayıllı Temellerin Tasarımında Kullanılan Hesap Yöntemlerinin Etkinliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Ersoy U., (1995). *Betonarme 2 Döşeme ve Temeller*. Cilt 2. 1. Baskı. Evrim Yayınevi. İstanbul.
- Fattah. M. Y., Yousif. M. A. ve Al-Tameemi. Sarmad. M.K. (2015) Effect of pile group geometry on bearing capacity of piled raft foundations. *Structural engineering and Mechanics*. 54. 5. 829-853.
- Franke. E., (1991). *Measurements beneath piled rafts*. Key note lecture to the ENPC Conference on Deep Foundations. Paris. pp.1-28.
- Goodman. R.E., (1980). *Introduction to Rock Mechanics*. Wiley. 478p. New York.
- Gök. S., (2007). *Kazıklı Yayıllı Temellerin Analizi*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Gök. S., ve Toğrol. E., (2001). *Essais de Chargement sur les Fondations Mixtes RadierPieux*; Proc. XV ICSMGE. İstanbul. Vol. 2. sf. 1047-1048.
- Günay. F. (2012). *Kompozit bir temelin davranışının farklı analiz yöntemleri ile incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimler Enstitüsü. Gazi Üniversitesi. Ankara.
- Güneş. M., (2022). *Yalova İli Süleymanbey Mahallesinde Bulunan Proje Alanının Sismik Saha Tepkisi ve Zemin Sıvılaşma Analizleri*. Harran Üniversitesi.
- H. G. Poulos., (2001). Methods of analysis of piled raft foundations. *International Conference on Deep Foundations- CPRF and Energy Piles.*, Germany. Subcommittee 1. Rep.
- Holzer. T. L., Toprak. S., Bennett. M. J., (2002). *Liquefaction Potential Index and Seismic Hazard Mapping in the San Francisco Bay Area*. California. Seventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering. Theme: Urban Earthquake Hazard. Boston. MA. July 21-25.

- Hooper. J. A. (1973). Observations On The Behaviour Of A Pile-Raft Foundation On London Clay. *Proceedings of the institution of civil engineers*. 55(4). 855-877
- Horikoshi. K., Randolph. M. F. (1996). *Centrifuge modelling of piled raft foundations on clay*. Geotechnique. 46(4). 741-752.
- Horvath. J. S. (1995). *Subgrade modeling for mat foundations: A review and critique of analytical methods*. Report No. SP 152-5. Detroit.
- Horvath. J. S. (2002). *Soil-structure interaction research project: Basic SSI concepts and applications overview*. Report No. CGT-2002-2. Manhattan College. New York.
- Hunt. R.E. (1986). *Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation*. McGraw-Hill Book Company. New York. USA.
- Iwasaki T. Tokida K. Tatsuoka F. Watanabe S. Yasuda S. Sato H., (1982). Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods. *In: Proceedings of the 3rd International Conference on Microzonation*. Seattle. vol 3. pp 1219–1230.
- Iwasaki. T. (1986). Soil Liquefaction Studies in Japan. State-of-Art. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. V.5. N.1. 2-68.
- İncecik. M., Yalçın. A., (2010). *Kazıklı Yayılı (Radyejeneral) Temeller ile Yayılı (Radyejeneral) Temellerin Düşey ve Yatay Yükler Altında Davranışlarının Karşılaştırılması*. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi. İstanbul Kültür Üniversitesi. İstanbul.
- Kamıt. R. (2003). *Temel İnşaatı*. 1. Baskı. Gazi Kitabevi. Ankara.
- Katzenbach. R., Moormann. C., (2001). *Recommendations for the Design and Construction of Piled Rafts*. Proc. of XVth Int. Conf. on Soil Mech. Geotech. Eng. (ICSMGE). Istanbul. Turkey. Vol. 2. 927-930
- Kılıç. N.A., (2011). *Yayılı Temel Analizinde Üstyapı Rijitliğinin Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya.
- Korça P., (1984). *Kıyılarda Arazi Kullanımı ve Türkiye Örneği*. Yüksek Lisans Tezi. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Kökten. Ö. (2008). *Yüzeysel Temellerin TS 500'e Göre Hesap ve Tasarım Yöntemleri*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Köseoğlu. S. (1987). *Temeller Statiği ve Konstruksiyonu*. Matbaa Teknisyenleri Basımevi. İstanbul.
- Kundak. S. ve Kadioğlu. M. (2011). *İlk 72 Saat*. AFAD Yayınları. Ankara.
- Mahmoudzadeh. A., Naserabadi. H., D., (2012). Optimization Of Piled-Raft Foundation Compound System By Evaluation Of The Effect Of Pile Length Variation On Performance This System. *3rd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Near East University. Nicosia. North Cyprus
- Mısır. G., Arslan. A., Laman. M., (2016). *Buhar Tesisi Bacası Yayılı Kazıklı Temel Sisteminin Sayısal Analizi*. Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi. Atatürk Üniversitesi. Erzurum.

- Mollamahmutoğlu. M. ve Babuçcu. F. (2006). *Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri*. (1. Baskı) Ankara: Gazi Kitabevi.
- Moyes. P., Poulos. H. G., Small. J. C., & Badelow. F. (2005). Piled raft design process for a high-rise building on the Gold Coast. Australia. In *Tall Buildings: From Engineering to Sustainability*.
- Nakai. S., Kato. H., Ishida. R., Mano. H. ve Nagata. M., (2004). Load Bearing Mechanism of Piled Raft Foundation During Earthquake. *Proceedings Third UJNR Workshop on Soil-Structure Interaction*. March 29-30. Menlo Park. California.
- Nas. M., (2012). *Trabzon Akyazı sahil dolgu alanı zeminlerinde sismik kaynaklı sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi. Trabzon. 226s.
- Nguyen. D. D. C., Jo. S. B. And Kim. D. S. (2012) *Design method of piled-raft foundations under vertical load considering interaction effects*. Computers And Geotechnics. 47. 16-27.
- Nguyen. D. D. C., Nguyen.V., Abdoun. T., Kim. D. S. Ve Jo. B. S. (2017) Piled raft foundation design: a method to consider interaction effects. *19th International Conference On Soil*.
- Omeman. Z.M., (2012). *Load Sharing Of Piled-Raft Foundations in Sand Subjected To Vertical Loads*. Doktora Tezi. Concordia University.
- Orhan. M., (2019). *Geoteknik Mühendisliği ve Temel İnşaatı*. Gazi Kitabevi. 930s. Ankara.
- Oyan. E., (2019). *Salihli (Manisa) kent merkezinin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi. Manisa. 111s.
- Önalp. A., ve Sert. S. (2004). *Kazıklı Yayılı Temel Çözümlerinde Kazık Yayılım Oranının Etkisi*. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi. İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.16-17 Eylül 2004
- Önalp. A., Arel. E., Sert. S., (2006). *Kazıklı Yayılı Temellerin Deprem Yüğü Alan Aluviyal Ortamda Kullanımı* Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi. Karadeniz Teknik Üniversitesi. Trabzon. 7-8 Eylül 2006.
- Önalp. A., ve Sert. S. (2016). *Geoteknik Bilgisi 3 Bina Temelleri*. 3. Baskı. Birsen Yayınevi. İstanbul.
- Özaydın. K., (2007). *Zeminlerde sıvılaşma*. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı. İstanbul. 16-20 Ekim. s. 231-255.
- Özcan. K., (1994). Yapı. Matser Basım. Ankara.
- Özpolat. A. (2020) *Killi zeminlerde kazıklı Yayılı temellerin düşey yükler etkisi altında davranışının model deneyler ile incelenmesi*. Fırat Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi.
- Öztoprak. S., Özkan. M., T., (1998). Kazıklı Temellerde Radye İle Kazıklar Arasındaki Yük Paylaşımının İncelenmesi. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi*. Yıldız Teknik Üniversitesi. İstanbul

- Phuyal. S., (2020). Effectiveness of Ground Improvement Around Piled-Raft for Tall Wind Turbines in Weak Soil: Analytical and Finite Element Analyses. M.Sc. Thesis. *Clemson University Degree Master of Science Civil Engineering*. USA.
- Poulos. H. G. (1968). The Influence of Rigid Pile Cap on the Settlement Behaviour of an Axially-Loaded Pile. *Civ. Eng. Trans. of Inst. Engrs. Austr.*, Vol. CE10. No. 2 October. 206-208.
- Poulos. H. G., Davis. E. H. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. John Wiley. Newyork.
- Poulos. H.G., (1993). Piled rafts in swelling or consolidating soils. *ASCE Journal of Geotechnical Engineering*. Volume 119 . No:2. February. 374-380.
- Poulos. H.G., (1994). Alternative design strategies for piled raft foundations. *3rd International Conference on Deep Foundation Practice incorporating PILETALK'94*. Singapore. 19-20 May. Keynote paper. pp. 239-244.
- Poulos. H.G., Small. J.C., Ta. L.D., Sinha. J. ve Chen. L., (1997). Comparison of Some Methods for Analysis of Piled Rafts. *Proceedings of 14th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Hamburg. No:2 pp:1119-1124
- R. W. Cooke. (1986). Piled raft foundation on stiff clays. *A contribution to design philosophy Geotechnique*. c. 36. sayı 2. ss. 169–203. 1986.
- Randolph. M. F. (1994). Design methods for pile groups and piled rafts. *1st Proceeding of 12th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Rotterdam. Netherlands. ss. 61-62.
- Reference Manual PLAXIS 3D. (2012). PLAXIS bv.
- Rogers. J. (2006). *Post -Tensioning Manual*. USA. Sixth Edition. 0-9778752-0-2
- Rollins. K. M. & Seed. H. B. (1990). Influence of buildings on potential liquefaction damage. *Journal of Geotechnical Engineering*. 116(2). 165–185.
- Rove R. ve Kerry R., (2000). *Geotechnical and Geoenviromental Engineering Handbook*. Kluwer Academic Publishers Group. Netherlands.
- Sawada. K. Ve Takemura. J. (2014) *Centrifuge model tests on piled raft foundation in sand subjected to lateral and moment loads*. *Soil And Foundation*. 54(2). 126-140.
- Seed. H. B. ve Idriss. I. M., (1971). Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*. Vol 97(9). 1249-1273.
- Seed. H. B., Idriss. I.M., (1982). *Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes. Monograph Series*. Earthquake Engineering Reserch Institute. University of California. Berkeley. California
- Sharafkhan. M. ve Shooshpasha. I. (2018) A laboratory study of the effect of piles asymmetric arrangement on the behavior of piled raft foundation in sand. *International Journal of Geotechnical Engineering*. February .1-12.
- Sinha. J. and Poulos. H.G., (1997). *Piled raft foundation systems in swelling and shrinking soils*. 14th ICSMFE. Germany. Volume 2. pp. 1141-1144.

- Sinha. J., (1997). *Piled Raft Foundations Subjected to Swelling and Shrinking Soils*. PhD Thesis. Univ. of Sydney. Australia.
- Siyahi B., Çetin K.Ö., Bilge T. (2015) *Geoteknik deprem mühendisliği açısından zemin temel yapı etkileşimine kritik bakış*. Türkiye Mühendislik Haberleri. 484. 41-50.
- Sönmez. H. ve Gökçeoğlu. C., (2005). *A liquefaction Severity Index Suggested For Engineering Practice*. Environmental Geology. Vol 48. 81-91.
- Söylemez. Ş., Güler. E., (2019). *Kazıklı Yayılı Temellerin Dinamik Ve Statik Yükler Altındaki Davranışı Ve Tasarımı*. 8. Uluslararası Geoteknik Sempozyumu. İTÜ Süleyman Demirel Kültür Merkezi. İstanbul
- TBDY. (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
- Tekeli İ., (1976). Kıyı Planlamasının Değişik Boyutları. Mimarlık Dergisi. Sayı.2.
- Terzi. N.U., Kılıç. H., Gültekin. S. (2009) Yanal Yüklü Bir Model Kazığın Kum Ortamındaki Davranışının Deneysel ve Nümerik Yöntemlerle İncelenmesi. *Pamukkale Ünv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*. Cilt:15. Sayı:1. Sayfa: 119-127.
- Tezcan. S., Özdemir. Z. (2006). Sismik Yöntem ile Zemin Emniyet Gerilmesi Tayininde Temel Boyutları. *Şantiye (İnşaat. Makine ve Mimarlık Dergisi)*. Sayı: 217:106-108.
- Tirant. P. (1992). *Offshore Pile Design*. Argema. Editions Technip. Cedex-Paris. 291s.
- Toğrol. E. ve Tan. O. (2009). *Kazıklı Temeller*. Birsan Yayınevi. İstanbul.,
- Tomlinson. M.J. (1993). *Pile Design and Construction Practice*. 4. Baskı. Chapman & Hall. London.
- Toprak. S. ve Holzer. T. L., (2003). Liquefaction Potential Index: Field Assessment. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. Vol 129(4). 315-322. (2003).
- Toprak. S., Nacaroglu. E., Van Ballegooy. S., Koc. A. C., Jacka. M., Manav. Y., Torvelainen. E., O'Rourke and T. D., (2019). Segmented Pipeline Damage Predictions Using Liquefaction Vulnerability Parameters Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Vol 125.
- Turan. E. (2006). *Statik ve dinamik düşey yükler altındaki kazıklı temellerin davranışı*. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete. Sayı: 30364. 18 Mart 2018.
- Türkmen. H.K. (2008). *An Experimental Study Into Bearing of Rigid Piled Rafts Under Vertical Loads*. PhD Thesis. The Graduate School Of Natural and Applied Sciences of M.E.T.U. Ankara
- Uyanık. O., (2002). *Kayma dalga hızına bağlı potansiyel sıvılaşma analiz yöntemi*. Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir. 218s.
- Uzuner. B. A. (2011). *Temel Mühendisliğine Giriş II*. Derya Kitabevi.
- Uzuner. B. A. (2023). *Temel Mühendisliğine Giriş*. 8. Baskı. Seçkin Yayıncılık. Trabzon. 384s.

- Uzuner. B. A., Moroğlu. B., ve Cüre. E. (2007). Geotekstil. Bir model Şerit Temelin Taşıma Gücünü Nasıl Artırıyor. *Yapı Dünyası Dergisi*.123. 15-19.
- Uzuner. B.A., 2012. Temel Mühendisliğine Giriş. Derya Kitabevi. Trabzon
- Vesic. A. S. (1970). Tests on Instrumented Piles. Ogeechee River Sidell. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*. ASCE. 96. Baskı. 561-584.
- Vesic. A. S. (1973). Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*. American Society of Civil Engineers. Vol. 99. No. SM1. pp. 45–73.
- Vesic. A. S. (1977). *Design of Pile Foundations* II. NCHRP Synthesis of Practise No:42. Transportation research Board. Washington. DC. 68.
- Viggiani. C., (2003). *Analysis and design of piled foundations*. ETHZ Seminars. May. Zurich.
- Vu. A., Pam. D. C., Nyugen T., He. Y. (2014) 3d Finite element analysis on behaviour of piled raft foundations. *4th International Conference On Civil Engineering. Architecture And Building Materials*. China. 580-583.
- Watcharasawe. K., Kitiyodom. P. Ve Jongpradist. P. (2015) Numerical analyses of piled raft foundation in soft soil using 3d-fem. *Geotechnical Engineering Journal Of The Seags & Agssea*. 46. 1. Issn 0046-5828.
- Whitaker. T. (1961). Some Experiments on Model Piled Foundations in Clayll. Proc. Symp. Pile Foundations. *6th Congr. Int. Assn. Bridge and Structural Engineering*. Stockholm. pp. 124-129.
- Wiesner. T. J., Brown. P. T. (1980). Laboratory tests on model piled raft foundations., *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 106(ASCE 15576).
- Yıldırım. S., Özaydın. İ.K. (1994). *Derin Temeller*. Teknik Rapor. Y.T.Ü. İstanbul.
- Yoshimi. Y. (1967). *An experimental study of liquefaction of saturated sands*. Soils and Foundations. 7(2). 20–32.
- Youd. T. L., Idriss. I. M., Andrus. R. D., Arango. I., Castro. G., Christian. J. T., Dobry. R., Finn. W. D. L., Harder. L. F., Hynes. M. E., Ishihara. K., Koester. J. P., Liao. S. S. C., Marcuson. W. F., Martin. G. R., Mitchell. J. K., Moriwaki. Y., Power. M.S., Robertson. P. K., Seed. R. B. ve Stokoe. K. H., (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report form the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. Vol 127(10). 817-833.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Abdullah KABATAŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2021, Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Mühendislik Yönetimi

MESLEKİ DENEYİM:

- 2010-2011 yılları arasında Sakarya/Gürtaş Yapı Denetim firmasında inşaat kontrol mühendisi olarak çalıştı.
- 2011-2014 yılları arasında MNG İnşaat/Suudi Arabistan/Jizan Bölgesinde Şantiye Şefi olarak çalıştı.
- 2014-2015 yılları arasında Sakarya/Santaş Yapı İnşaat San. Ve Tic. Ltd. Şti.'de Şantiye Şefi olarak çalıştı.
- 2015-2019 yılları arasında MNG İnşaat/Suudi Arabistan/Cidde Bölgesinde Kıdemli Teknik Ofis Mühendisi olarak çalıştı.
- 2019-2020 yılları arasında Gürallar Yapı/Maldivler/Bodufushi Adasında Kıdemli Teknik Ofis Mühendisi olarak çalıştı.
- 2021-2023 yılları arasında MAS Otelcilik Yatırım San. Ve Tic. A.Ş.'de Proje Müdürü olarak çalıştı.
- 2023-halen Sakarya 3. Organize Sanayi Bölgesi'nde İmar ve İnşaat Birim Yöneticisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Kabataş A. ve Sert S. (2025, 23-25, May). Alternative Approaches In Piled Foundation Design. *21th International Istanbul Scientific Research Congress On Life, Engineering, Architecture And Mathematical Sciences*, İstanbul, Turkey.