

**SUYA DOYGUN KİL VE GEVŞEK KUM
ZEMİNLERDE OLUŞTURULAN KAZIKLI
TEMELLERE ETKİ EDEN DİNAMİK
YÜKLERİN STATİK YÜKLER CİNSİNDEN
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Burak GÖRGÜN
Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat 2014

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Burak GÖRGÜN'ün "Suya Doygun Kil ve Gevşek Kum Zeminlerde Oluşturulan Kazıklı Temellere Etki Eden Dinamik Yüklerin Statik Yükler Cinsinden Uygulanabilirliğinin Araştırılması" başlıklı **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalındaki Yüksek Lisans Tezi, 15.01.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

| | Adı-Soyadı | İmza |
|---------------------|-----------------------------|-------------|
| Üye (Tez danışmanı) | : Prof. Dr. AHMET TUNCAN | |
| Üye | : Prof. Dr. MUSTAFA TUNCAN | |
| Üye | : Yrd. Doç. Dr. NAZİLE URAL | |

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SUYA DOYGUN KİL VE GEVŞEK ZEMİNLERDE OLUŞTURULAN KAZIKLI TEMELLERE ETKİ EDEN DİNAMİK YÜKLERİN STATİK YÜKLER CİNSİNDEN UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Burak GÖRGÜN

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN

2014, 243 sayfa

Bu çalışmada, suya doygun kil ve gevşek kum zeminlerde inşa edilen yüzen kazık gruplarına etki eden dinamik yüklerin statik yükler cinsinden uygulanabilirliği incelenmiştir. Tez çalışmasında, Plaxis ve SAP2000 programlarının dinamik modülü yardımı ile dinamik etki altında kazık grubu deformasyonları belirlenmiş, bu deformasyonlardan geri hesap yapmak sureti ile kazık grubuna aynı deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik yükler bulunmuştur.

Sonuç olarak, dinamik etkilerin de hesaba katıldığı programların kullanılmadığı durumlarda, üst yapıdan gelecek yüklere göre bu tip zeminlerde kazık temel tasarımı için dinamik kuvvetler statik yük cinsinden uygulanabilirliği belirlenmiştir.

Buna göre, suya doygun kil zeminde yapılan kazıklarında 6,0 büyüklüğündeki depremler de dahil olmak üzere sistem üzerine gelen toplam statik zemin şartlarına göre %135 arttırılarak kullanılırsa bu büyüklükte deprem etkisi de göz önüne alınmış olur. Aletsel büyüklüğü 6,0'dan büyük ve 7.0'ye kadar olan depremler de ise %155 arttırılarak deprem etkisi göz önüne alınabilir. Gevşek kum zeminlerde ise zeminin deprem etkisiyle stabilitesinin kaybolması neticesinde daha büyük deformasyon oranları ortaya çıkmıştır. Bu tip zeminlerde 6,0 büyüklüğünün üzerindeki depremlerde sistem üzerine gelen toplam statik %245 arttırılarak deprem etkisi göz önüne alınabilir.

Anahtar Kelimeler: Kazık Temeller, Sürtünme Kazıkları, Deprem, Plaxis, SAP2000, Yüzen Kazıklar.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

INVESTIGATION OF THE APPLICABILITY OF DYNAMIC LOADS ACTING ON PILE FOUNDATIONS AS STATIC LOADS IN THE SATURATED CLAY AND LOOSE SAND SOILS

Burak GÖRGÜN

Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Engineering Program

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN

2014, 243 pages

In this study, the applicability of the dynamic loads acting on floating pile groups in the saturated clay and loose sand soils as static loads is studied. The group pile deformations under dynamic effects are modelled by both Plaxis and Sap 2000 software dynamic module and the equivalent static loads that cause the same deformations on pile group are determined by back-calculations.

As a result, in the case of not using programs that consider the dynamic effects, dynamic forces can be considered as static loads to design of the pile foundations in this saturated soils.

Accordingly this study, in saturated clay total vertical loads applied to the pile foundations can be increased 135% to consider the earthquakes up to magnitude of 6.0. Total vertical static loads applied to the pile foundations can be increased 155% to consider earthquake loads between 6.0 and 7.0. In the loose sand, because of losing the stability by earthquake, the deformation become larger. In this types of soils total vertical loads applied to the pile foundations can be increased 245% to consider the earthquakes on the magnitude of 6.0

Key words: Pile Foundations, Friction Piles, Earthquake, Plaxis, SAP2000, Floating Piles.

TEŐEKKÖR

Hem yűksek lisans eęitimim hem de tez çalıŐmamın boyunca bana engin bilgilerini ve tecrűbelerini aktaran hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet TUNCAN'a ve Sayın hocam Prof. Dr. Mustafa TUNCAN'a, bana çalıŐmam boyunca destek olan hocam Mehmet İnanç ONUR'a, Bilecik Őeyh Edebalı Ŭniversitesi'nde gűrev yapan ve bu çalıŐma için tűm desteklerini esirgemedен sunan saygıdeęer hocalarıma, bana her zaman yardımcı olmaktan mutluluk duyan çalıŐma arkadaşlarıma ve her zaman, her koŐulda yanımda olup beni bu gűnlere getiren canım aileme sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.

Burak GÖRGŬN

Şubat-2014

İÇİNDEKİLER

| | |
|--------------------------------------|-------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | ix |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xiii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xviii |

| | |
|---|----------|
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Genel | 1 |
| 1.2. Kazık Temelleri Gerekli Kılan Durumlar..... | 3 |
| 2. KAZIK TEMELLER | 5 |
| 2.1. Tarihçe..... | 5 |
| 2.2. Kullanım Amaçları Ve Kullanım Alanları | 6 |
| 2.3. Kazık Temel Çeşitleri..... | 8 |
| 2.3.1. İmal edildikleri malzemeye göre kazıklı temeller | 8 |
| 2.3.1.1. Çelik kazıklar | 8 |
| 2.3.1.2. Beton kazıklar..... | 9 |
| 2.3.1.3. Ahşap kazıklar..... | 10 |
| 2.3.1.4. Kompozit kazıklar | 10 |
| 2.4. Kullanım Amaçlarına Göre Kazık Temeller | 11 |
| 2.4.1. Uç kazıkları | 11 |
| 2.4.2. Sürtünme kazıkları | 11 |
| 2.4.3. Kompaksiyon kazıkları | 12 |

| | |
|---|----|
| 2.4.4. Çekme kazıkları..... | 12 |
| 2.4.5. Tampon kazıklar..... | 12 |
| 2.4.6. Eğik Kazıklar..... | 12 |
| 2.5. Zemine Yerleştirilme Şekillerine Göre Kazık Temeller | 12 |
| 2.5.1. Çakma kazıklar (Deplasman kazıkları)..... | 12 |
| 2.5.2. Fore kazıklar..... | 13 |

3. DÜŞEY STATİK YÜKLER ALTINDA TEKİL KAZIKLARIN TAŞIMA KAPASİTESİ **14**

| | |
|---|----|
| 3.1. Kazıkların Zemine Yük Aktarması | 14 |
| 3.2. Kazık Kapasitesinin Hesaplanması | 16 |
| 3.2.1. Uç taşıma kapasitesinin (Q_p) Hesabı..... | 16 |
| 3.2.1.1. Meyerhof yöntemi..... | 18 |
| 3.2.1.2. Coyle & Castello yöntemi..... | 20 |
| 3.2.1.3. Hansen Yöntemi..... | 21 |
| 3.2.1.4. Vesic yöntemi..... | 22 |
| 3.2.1.5. Kaya üzerine oturan kazıklar..... | 23 |
| 3.2.2. Sürtünme (Yüzey) Direncinin (Q_s) Hesaplanması | 24 |
| 3.2.2.1. Kumlarda Sürtünme Direnci..... | 24 |
| 3.2.2.2. Killerde Sürtünme Direnci..... | 27 |

4. YATAY STATİK YÜKLER ALTINDA TEKİL KAZIKLARIN TAŞIMA KAPASİTESİ **31**

| | |
|---|----|
| 4.1. Kohezyonlu Zeminler İçin Yanal Yüklü Kazık Hesabı | 31 |
| 4.2. Granüler Zeminler İçin Yanal Yüklü Kazık Hesabı..... | 32 |
| 4.3. Kohezyonsuz Zeminlerdeki Tekil Kazıkların Nihai Yatay Yük Gerilmeleri..... | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 4.4. Kohezyonlu Zeminlerdeki Tekil Kazıkların Nihai Yatay Yük Gerilmeleri..... | 39 |
| 4.5. Deformasyonlara Bağlı Yanal Yük Kapasitesi..... | 43 |
| 4.5.1. Lineer elastik yöntem | 44 |
| 4.5.1.1. Serbest uçlu (ankrajsız / konsol) kazıklar..... | 44 |
| 4.5.1.2. Sabit uçlu (ankrajlı) kazıklar | 48 |
| 4.5.2. Lineer olmayan yöntemler | 48 |
| 4.5.2.1. Rijitlik matrisi çözüm yöntemi..... | 49 |
| 4.5.2.2. Yanal basınç-deformasyon (p-y) yöntemi..... | 50 |
| 4.5.2.3. p-y eğrilerinin birleştirilmesi..... | 52 |
| 5. KAZIK GRUPLARI VE OTURMA KRİTERLERİ | 54 |
| 5.1. Grup Kazıkların Verimliliği | 54 |
| 5.1.1. Kumdaki kazık gruplarının verimliliği..... | 55 |
| 5.1.2. Kildeki kazık gruplarının verimliliği..... | 56 |
| 5.2. Kazık Gruplarının Konsolidasyon Oturması..... | 57 |
| 5.3. Kazıkların Elastik Oturması | 58 |
| 5.4. Kazık Gruplarının Taşıma Gücü | 62 |
| 5.4.1. Temel bloğunun stabilitesi | 62 |
| 5.4.2. Oturma kriteri | 63 |
| 5.4.3. Kazık guruplarının emniyetli taşıma gücü | 64 |
| 5.4.4. Yüzen kazık temeller..... | 65 |
| 6. SIVILAŞMA | 67 |
| 6.1. Zemin Sıvılaşması | 67 |
| 6.2. Sıvılaşmanın Tanımlanması | 69 |

| | |
|---|----|
| 6.3. Sıvılaşma Oluşumuna Etki Eden Unsurlar | 70 |
|---|----|

7. NEGATİF ÇEVRE SÜRTÜNMESİ **72**

| | |
|--|----|
| 7.1. Negatif Çevre Sürtünmesi Oluşumu İçin Gereken Hareket | 73 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| 7.1.1. Granüler zemin üzerine kil dolgu yapılması durumunda negatif çevre sürtünmesi..... | 74 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| 7.1.2. Kil zemin üzerine granüler dolgu yapılması durumunda negatif çevre sürtünmesi..... | 75 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| 7.2. Negatif Çevre Sürtünmesini Azaltmak İçin Öneriler | 76 |
|--|----|

8. KAZIK TEMEL TASARIMINA AİT DİNAMİK UYGULAMALAR **77**

| | |
|---|----|
| 8.1. Hesaplarda Kullanılan Malzemelere Ait parametreler | 77 |
|---|----|

| | |
|---|--|
| 8.2. Killi Ve Kumlu Zeminde Tekil Kazıkların Taşıma Kapasitesi Hesapları...79 | |
|---|--|

| | |
|--|----|
| 8.2.1. Killi Zeminde Taşıma Kapasitesi | 79 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 8.2.2. Kumlu Zeminde Taşıma Kapasitesi | 90 |
|--|----|

| | |
|---|--|
| 8.3. Kumlu ve Killi Zeminde Tekil Kazıklara Gelen Statik Yükler | |
|---|--|

| | |
|----------------------------------|----|
| Altında Deformasyon Hesabı | 95 |
|----------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| 8.3.1. Kil Zeminde Yapılan Tekil Kazığın Deformasyonu | 95 |
|---|----|

| | |
|---|-----|
| 8.3.2. Kum Zeminde Yapılan Tekil Kazığın Deformasyonu | 100 |
|---|-----|

| | |
|---|--|
| 8.4. Kumlu ve Killi Zeminde Dinamik Çözümler Sonucu Elde Edilen | |
|---|--|

| | |
|---|-----|
| Düşey Deformasyonlardan Geri Hesap Yapılması Suretiyle Kazıklara Gelen Eşdeğer Düşey Statik Yüklerin Belirlenmesi | 108 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| 8.4.1. Kil Zeminde Yapılan Kazık Temellerin Eşdeğer Statik Yüklerinin Hesaplanması | 108 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| 8.4.2. Kum Zeminde Yapılan Kazık Temellerin Eşdeğer Statik Yüklerinin Hesaplanması | 127 |
|--|-----|

| | |
|--|------------|
| 8.5. Killi-Kumlu Ve Kumlu-Kimli Zeminde Tekil Kazıkların Taşıma | |
| Kapasitesi Hesapları | 149 |
| 8.5.1. 22,5 Killi- 7,5 Kumlu Zeminde Yapılan Kazık Temel İçin | |
| Taşıma Gücü Hesabı | 149 |
| 8.5.2. 22,5 Kumlu- 7,5 Killi Zeminde Yapılan Kazık Temel İçin | |
| Taşıma Gücü Hesabı | 156 |
| 8.5.3. Kazıklara Etki Eden Negatif Sürtünme Basınçlarının | |
| Hesaplanması | 162 |
| 8.6. Killi-Kumlu Ve Kumlu-Killi Zeminlerde Yapılan Kazık Temellerin | |
| Statik Yükler Altında Deformasyonu | 163 |
| 8.6.1. 22,5m Kil Zeminde ve 7,5m Kum Zeminde Yapılan 15m | |
| Boyunda Kazık Temel İçin Statik Yükler Altında | |
| Yaptığı Deformasyonun Hesaplanması..... | 163 |
| 8.6.2. 22,5m Kum Zeminde ve 7,5m Kil Zeminde Yapılan 15m | |
| Boyunda Kazık Temel İçin Statik Yükler Altında | |
| Yaptığı Deformasyonun Hesaplanması..... | 171 |
| 8.7. Killi-Kumlu ve Kumlu-Killi Zeminlerde Dinamik Çözümler Sonucu | |
| Elde Edilen Düşey Deformasyonlardan Geri Hesap Yapılması | |
| Suretiyle Kazıklara Gelen Eşdeğer Düşey Statik Yüklerin Belirlenmesi.. | 185 |
| 8.7.1. Killi-Kumlu Zeminde Yapılan Kazık Temellerin Eşdeğer | |
| Statik Yüklerinin Hesaplanması | 185 |
| 8.7.2. Kumlu-Killi Zeminde Yapılan Kazık Temellerin Eşdeğer | |
| Statik Yüklerinin Hesaplanması..... | 210 |
| 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 239 |
| KAYNAKLAR | 241 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | | |
|-------|---|----|
| 2.1 | Kullanım amaçlarına göre kazık temeller (a) uç kazıkları, (b)sürtünme kazıkları, (c)eğilme kazıkları, (d) çekme kazıkları, (e) genleşen ve çöken zeminlerde kazık temeller, (f) yüzey erozyonu olan bölgelerde kazık temeller, (g) eğik kazıklar..... | 7 |
| 2.2. | Kullanımdaki çelik kazıklar (a) H kesitli, (b) daire kesitli dolu gövdeli, (c) daire kesitli boru tipi..... | 9 |
| 2.3. | Sık kullanılan beton kazıklar (a) kare kesitli, (b) altıgen kesitli, (c) daire kesitli..... | 9 |
| 2.4. | Ahşap kazıklarda uç hazırlanması..... | 10 |
| 2.5. | Farklı tür ve büyüklüklerde fore kazıklar. (a), (b), (c), (d) kılıflı, ayaksız, (e) kılıflı ayaklı, (f) kılıfsız ayaksız, (g) kılıfsız ayaklı..... | 13 |
| 3.1. | Zemindeki taşıma kapasitesi göçmesi, (a) genel kayma göçmesi; (b) lokal kayma göçmesi; (c) zımbalama kayma göçmesi..... | 14 |
| 3.2. | Kazıkların maksimum yükle yüklenmesi..... | 15 |
| 3.3. | Kazık - zemin etkileşimleri; (a) kazık – zemin boykesiti; (b) açık uçlu boru kazık kesiti (c) H – Kazık kesiti..... | 16 |
| 3.4 | (a) ve (b) Uç taşıma kazıkları; (c) Sürtünme kazığı..... | 17 |
| 3.5. | Meyerhof'a göre uç direncinin derinlikle değişimi(a) tek tabakalı zeminde (b) iki tabakalı zeminde..... | 18 |
| 3.6. | Meyerhof yöntemiyle çözüm yaparken dayanma kapasitesi katsayılarını bulmak için gerekli grafik..... | 19 |
| 3.7. | Coyle&Castello yöntemiyle çözümde dayanma kapasitesi katsayısı N_q^{*1} bulmak için geliştirilmiş grafik..... | 20 |
| 3.8. | Kumlarda sürtünme direncinin derinlikle değişimi..... | 25 |
| 3.9. | Toprak basınç katsayısının gömülme oranına bağlı değişimi..... | 27 |
| 3.10. | Tabakalı zemin durumunda λ yönteminin uygulanışı..... | 28 |
| 3.11. | λ katsayısının kazık gömülme boyuna bağlı değişimi..... | 29 |
| 3.12. | Drenajsız kohezyona bağlı α değerleri..... | 29 |
| 4.1. | Yatay Yük Etkisindeki Kazıklar: a. Yatay ve düşey yük etkisindeki kazıklar (serbest başlı) b. Yatay yük, düşey yük ve moment | |

| | |
|--|----|
| etkisindeki kazıklar (serbest başlı) c. Yatay yük, düşey yük ve moment etkisindeki kazıklar (sabit başlı)..... | 35 |
| 4.2. Kohezyonsuz zeminlerdeki yanal yüklü kısa kazıkların göçme mekanizması..... | 36 |
| 4.3. Kohezyonsuz zeminlerdeki yanal yüklü uzun kazıkların göçme mekanizması..... | 36 |
| 4.4. Kohezyonsuz zeminlerdeki kısa kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanal yükler..... | 37 |
| 4.5. Kohezyonsuz zeminlerde uzun kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanal yükler..... | 38 |
| 4.6. Kohezyonlu zeminlerdeki yanal yüklü kısa kazıkların yer değiştirme, zemin reaksiyonu ve moment dağılımları..... | 40 |
| 4.7. Kohezyonlu zeminlerdeki yanal yüklü uzun kazıkların yer değiştirme, zemin reaksiyonu ve moment dağılımları..... | 40 |
| 4.8. Kohezyonlu ($c \neq 0$) zeminlerdeki yanal yüklü, ankrajlı kazıkların göçme mekanizmaları 1) Kısa kazıklar 2) Orta boy kazıklar 3) Uzun kazıklar..... | 41 |
| 4.9. Kohezyonlu ($c \neq 0$) zeminlerdeki yanal yüklü, ankrajlı kazıkların göçme mekanizmaları..... | 42 |
| 4.10. Kohezyonlu zeminlerdeki kısa kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yükler..... | 42 |
| 4.11. Kohezyonlu zeminlerdeki uzun kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanal yükler..... | 43 |
| 4.12. H yanal yüküne maruz konsol kazık..... | 47 |
| 4.13. M_0 momentine maruz konsol kazık..... | 48 |
| 4.14. Yanal yüklü kazıkların çözümü için rijitlik matrisi yöntemi..... | 49 |
| 4.15. Yanal yüklü kazıkların ve kazıktaki eğilmenin çözümü için p-y eğrisi yöntemi..... | 51 |
| 5.1. Kazık gruplarının farklı görünüşleri..... | 54 |
| 5.2. Kazık gruplarının konsolidasyon oturması..... | 58 |
| 5.3. Kazık şaftı boyunca çeşitli birim sürtünme mukavemetleri..... | 59 |
| 5.4. Rijit temeller için azaltma faktörü..... | 60 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 5.5. | Kohezyonlu zeminde yüzen kazıklar..... | 63 |
| 5.6. | Kazıklı temeller altında basınç soğanları..... | 65 |
| 6.1. | Suya doymuş kumlu zeminin sıvılaşma olgusu..... | 68 |
| 6.2. | Zemin tanecikleri; okların uzunluğu zemin parçaları arasındaki bağlantı kuvveti ile doğru orantılıdır. Su basıncı azaldıkça bağlantı kuvveti artmaktadır..... | 69 |
| 7.1. | Granüler zemin üzerine kil dolgu yapılması durumunda kazık çevresinde meydana gelen negatif çevre sürtünmesi..... | 74 |
| 7.2. | Kil zemin üzerine granüler dolgu yapılması durumunda kazık çevresinde meydana gelen negatif çevre sürtünmesi..... | 75 |
| 8.1. | 30m kil zemine yapılan 15m kazık temel..... | 79 |
| 8.2. | Çeşitli zemin sürtünme açıları için kritik gömü oranı ve taşıma kapasitesi faktörleri..... | 80 |
| 8.3. | 30m kum zemine yapılan 15m kazık temel..... | 90 |
| 8.4. | 30 ^m kil zemine yapılan 0,6 ^m çapındaki kazık temelin 281,47 kN yük altında SAP2000 programı ile hesaplanan deformasyonu..... | 104 |
| 8.5. | 30 ^m kil zemine yapılan 0,6 ^m çapındaki kazık grubu temelinin Mw=7 büyüklüğündeki deprem yükü altında Plaxis programı ile hesaplanan deformasyonu..... | 106 |
| 8.6. | 30 ^m kum zemine yapılan 0,8 ^m çapındaki kazık grubu temelinin Mw=7 büyüklüğündeki deprem yükü altında SAP2000 programı ile hesaplanan deformasyonu..... | 107 |
| 8.7. | 17,5m sıkı kum zemine ve 12,5m gevşek kum zemine oturan 1 ^m çapa sahip kazık temelin Mw=7 deprem büyüklüğü altında yaptığı deformasyonun Plaxis programı ile hesabı..... | 146 |
| 8.8. | 17,5m kil zemine ve 7,5m gevşek kum zemine oturan 0,6 ^m çapa sahip kazık temel..... | 149 |
| 8.9. | 17,5m kil zemine ve 7,5m gevşek kum zemine oturan 0,8 ^m çapa sahip kazık temel..... | 151 |
| 8.10. | 17,5m kil zemine ve 7,5m gevşek kum zemine oturan 1,0 ^m çapa sahip kazık temel..... | 153 |
| 8.11. | 17,5m kum zemine ve 7,5m kil zemine oturan 0,6 ^m çapa | |

| | |
|--|-----|
| sahip kazık temel..... | 156 |
| 8.12. 17,5m kum zemine ve 7,5m kil zemine oturan 0,8 ^m çapa sahip kazık temel..... | 158 |
| 8.13. 17,5m kum zemine ve 7,5m kil zemine oturan 1,0 ^m çapa sahip kazık temel..... | 160 |
| 8.14. 17,5m kil zemine ve 7,5m kum zemine oturan kazık temelin şematik gösterimi..... | 163 |
| 8.15. 17,5m kum zemine ve 7,5m kil zemine oturan kazık temelin şematik gösterimi..... | 171 |
| 8.16. 22,5m Kum zemin ve 7,5m kil zemine oturan 0,8 ^m çapa sahip kazık temelin 540,36 kN taşıma gücü altında yaptığı deformasyonun SAP2000 programı ile hesabı..... | 181 |
| 8.17. 22,5m Kil zemin ve 7,5m kum zemine oturan 1.0 ^m çapa sahip kazık temelin 374,65 kN taşıma gücü altında yaptığı deformasyonun Plaxis programı ile hesabı..... | 181 |
| 8.18. 22,5m Kum zemin ve 7,5m kil zemine oturan 0,6 ^m çapa sahip kazık temelin Mw=7 deprem büyüklüğü altında yaptığı deformasyonun Plaxis programı ile hesabı..... | 183 |
| 8.19. 22,5m Kil zemin ve 7,5m kum zemine oturan 0,8 ^m çapa sahip kazık temelin Mw=7 deprem büyüklüğü altında yaptığı deformasyonun SAP2000 programı ile hesabı..... | 184 |
| 8.20. 17,5m sıkı kum zemine , 5,0m gevşek kum zemine ve 7,5m kil zemine oturan 1 ^m çapa sahip kazık temelin Mw=7 deprem büyüklüğü altında yaptığı deformasyonun Plaxis programı ile hesabı..... | 236 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|---|-----|
| 3.1. Meyerhof, Hansen ve Vesic taşıma kapasitesi denklemleri için taşıma kapasitesi faktörleri (N_c ve N_q üç metot için de aynıdır; N_γ alt indisleri yazarı belirtir.)..... | 21 |
| 3.2. Farklı zeminler için rijitlik indeksi (I_r) degerleri..... | 23 |
| 4.1. Lineer çözüm için etki faktörleri..... | 46 |
| 5.1. Farklı zemin çeşitleri için poisson oranları..... | 60 |
| 5.2. Tipik C_p değerleri..... | 61 |
| 8.1. Hesaplarda kullanılan kil zemin özellikleri..... | 77 |
| 8.2. Hesaplarda kullanılan kum zemin özellikleri..... | 78 |
| 8.3. Hesaplarda kullanılan kazık temellerin özellikleri..... | 78 |
| 8.4. Hesaplarda kullanılan depremlerin özellikleri..... | 78 |
| 8.5. Killi zeminde 0,60 m kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri..... | 82 |
| 8.6. Killi zeminde 0,80 m kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri..... | 86 |
| 8.7. Killi zeminde 1 m kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri..... | 89 |
| 8.8. Kumlu zeminde 0,6 m kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri..... | 91 |
| 8.9. Kumlu zeminde 0,8 m kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri..... | 92 |
| 8.10. Kumlu zeminde 1,0 m kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri..... | 94 |
| 8.11. Killi zeminde müsaade edilebilir taşıma kapasitesi..... | 94 |
| 8.12. Killi zeminde müsaade edilebilir taşıma kapasitesi..... | 95 |
| 8.13. Killi zeminde meydana gelen oturmalar..... | 103 |
| 8.14. Kumlu zeminde meydana gelen oturmalar..... | 103 |
| 8.15. 281,47 kN yük altında 0,6m kazık çapına sahip temelin killi zeminde meydana gelen oturmaları..... | 104 |
| 8.16. 331,63 kN yük altında 0,6m kazık çapına sahip temelin kumlu zeminde meydana gelen oturmaları..... | 104 |
| 8.17. 395,68 kN yük altında 0,8m kazık çapına sahip temelin killi zeminde meydana gelen oturmaları..... | 104 |
| 8.18. 560,11 kN yük altında 0,8m kazık çapına sahip temelin kumlu zeminde meydana gelen oturmaları..... | 104 |
| 8.19. 520,07 kN yük altında 1,0m kazık çapına sahip temelin killi zeminde | |



| | |
|---|-----|
| meydana gelen oturmaları..... | 105 |
| 8.20. 849,88 kN yük altında 1,0m kazık çapına sahip temelin kumlu zeminde meydana gelen oturmaları..... | 105 |
| 8.21. Kil ve kum zemindeki kazığın statik yük altında yaptığı deformasyon..... | 105 |
| 8.22. Deprem yükü altında 0,60m kazık çapına sahip temelin killi zeminde meydana gelen oturmaları..... | 105 |
| 8.23. Deprem yükü altında 0,60m kazık çapına sahip temelin kumlu zeminde meydana gelen oturmaları..... | 105 |
| 8.24. Deprem yükü altında 0,80m kazık çapına sahip temelin killi zeminde meydana gelen oturmaları..... | 106 |
| 8.25. Deprem yükü altında 0,80m kazık çapına sahip temelin kumlu zeminde meydana gelen oturmaları..... | 106 |
| 8.26. Deprem yükü altında 1,0m kazık çapına sahip temelin killi zeminde meydana gelen oturmaları..... | 107 |
| 8.27. Deprem yükü altında 1,0m kazık çapına sahip temelin kumlu zeminde meydana gelen oturmaları..... | 107 |
| 8.28. 0,6m kazık çapına sahip kil zemine oturan kazık temelde deprem etkisi ile meydana gelen oturmalar..... | 108 |
| 8.29. 0,8m kazık çapına sahip kil zemine oturan kazık temelde deprem etkisi ile meydana gelen oturmalar..... | 115 |
| 8.30. 1,0m kazık çapına sahip kil zemine oturan kazık temelde deprem etkisi ile meydana gelen oturmalar..... | 121 |
| 8.31. 0,6m kazık çapına sahip kum zemine oturan kazık temelde deprem etkisi ile meydana gelen oturmalar..... | 127 |
| 8.32. 0,8m kazık çapına sahip kum zemine oturan kazık temelde deprem etkisi ile meydana gelen oturmalar..... | 133 |
| 8.33. 1,0m kazık çapına sahip kum zemine oturan kazık temelde deprem etkisi ile meydana gelen oturmalar..... | 139 |
| 8.34. Kil zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar ve tekil kazığa düşen deformasyonlar..... | 145 |
| 8.35. Kum zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar ve tekil kazığa düşen deformasyonlar..... | 145 |

| | |
|---|-----|
| 8.36. Sıkı kum zemin özellikleri..... | 146 |
| 8.37. Üstte 12,5m gevşek kum ve altta 17,5m sıkı kum olduğu durumda deprem hesabı..... | 146 |
| 8.38. Kil zemine oturan kazık temele etki eden eşdeğer yükler ve bu yüklerin oluşturduğu % artış..... | 147 |
| 8.39. Kum zemine oturan kazık temele etki eden eşdeğer yükler ve bu yüklerin oluşturduğu % artış..... | 147 |
| 8.40. Kil ve kum zeminlerde oturan kazık temellere etki eden statik yükler, eşdeğer statik yükler ve bu yüklerin oluşturduğu yüzde artışlar..... | 148 |
| 8.41. 22,5m kil ve 7,5 kum zemine oturan 0,6m çapa sahip kazık temelin taşıma gücü..... | 151 |
| 8.42. 22,5m kil ve 7,5 kum zemine oturan 0,8m çapa sahip kazık temelin taşıma gücü..... | 153 |
| 8.43. 22,5m kil ve 7,5 kum zemine oturan 1,0m çapa sahip kazık temelin taşıma gücü..... | 155 |
| 8.44. 22,5m kil ve 7,5 kum zemine oturan kazık temellerin taşıma gücü..... | 155 |
| 8.45. 22,5m kum ve 7,5 kil zemine oturan 0,6m çapa sahip kazık temelin taşıma gücü..... | 157 |
| 8.46. 22,5m kum ve 7,5 kil zemine oturan 0,8m çapa sahip kazık temelin taşıma gücü..... | 159 |
| 8.47. 22,5m kum ve 7,5 kil zemine oturan 1,0m çapa sahip kazık temelin taşıma gücü..... | 161 |
| 8.48. 22,5m kum ve 7,5 kil zemine oturan kazık temellerin taşıma gücü..... | 161 |
| 8.49. 22,5m kil ve 7,5 kum zeminde yapılan kazık temellerin taşıma gücü deformasyonları..... | 179 |
| 8.50. 22,5m kum ve 7,5 kil zeminde yapılan kazık temellerin taşıma gücü deformasyonları..... | 179 |
| 8.51. 192,47 kN yük altında 0,6m kazık çapına sahip temelin 22,5m killi ve 7,5 kumlu zeminde meydana gelen oturmaları..... | 180 |
| 8.52. 339,73 kN yük altında 0,6m kazık çapına sahip temelin 22,5m kumlu ve 7,5 killi zeminde meydana gelen oturmaları..... | 180 |
| 8.53. 278,16 kN yük altında 0,8m kazık çapına sahip temelin 22,5m killi ve | |

| | |
|---|-----|
| 7,5 kumlu zeminde meydana gelen oturmaları..... | 180 |
| 8.54. 540,36 kN yük altında 0,8m kazık çapına sahip temelin 22,5m kumlu ve 7,5 killi zeminde..... | 180 |
| 8.55. 374,65 kN yük altında 1,0m kazık çapına sahip temelin 22,5m killi ve 7,5 kumlu zeminde meydana gelen oturmaları..... | 181 |
| 8.56. 784,98 kN yük altında 1,0m kazık çapına sahip temelin 22,5m kumlu ve 7,5 killi zeminde meydana gelen oturmaları..... | 181 |
| 8.57. 22,5m kil ve 7,5 kum zemin ile 22,5m kum 7,5m kil zeminde yapılan kazık temellerin statik yükler altında yaptığı düşey ortalama deformasyonlar..... | 182 |
| 8.58. Deprem yükü altında 0,60m kazık çapına sahip temelin 22,5m killi ve 7,5m kumlu zeminde meydana gelen oturmaları..... | 182 |
| 8.59. Deprem yükü altında 0,60m kazık çapına sahip temelin 22,5m kumlu ve 7,5m killi zeminde..... | 182 |
| 8.60. Deprem yükü altında 0,80m kazık çapına sahip temelin 22,5m killi ve 7,5m kumlu zeminde meydana gelen oturmaları..... | 183 |
| 8.61. Deprem yükü altında 0,80m kazık çapına sahip temelin 22,5m kumlu ve 7,5m killi zeminde meydana gelen oturmaları..... | 183 |
| 8.62. Deprem yükü altında 1,0m kazık çapına sahip temelin 22,5m killi ve 7,5m kumlu zeminde meydana gelen oturmaları..... | 184 |
| 8.63. Deprem yükü altında 1,0m kazık çapına sahip temelin 22,5m kumlu ve 7,5m killi zeminde meydana gelen oturmaları..... | 184 |
| 8.64. 0,6m kazık çapına sahip killi-kumlu zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar..... | 185 |
| 8.65. 0,8m kazık çapına sahip killi-kumlu zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar..... | 194 |
| 8.66. 1,0m kazık çapına sahip killi-kumlu zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar..... | 202 |
| 8.67. 0,6m kazık çapına sahip kumlu-killi zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar..... | 210 |
| 8.68. 0,8m kazık çapına sahip kumlu-killi zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar..... | 218 |

| | |
|--|-----|
| 8.69. 1,0m kazık çapına sahip kumlu-killi zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar..... | 227 |
| 8.70. Killi-kumlu zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar ve tekil kazığa düşen deformasyonlar..... | 235 |
| 8.71. Kumlu-killi zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar ve tekil kazığa düşen deformasyonlar..... | 235 |
| 8.72. Sıkı kum zemin özellikleri..... | 236 |
| 8.73. 7,5m sıkı kum zemine , 5,0m gevşek kum zemine ve 7,5m kil zemine oturan 1 ^m çapa sahip kazık temelin deprem hesabı..... | 237 |
| 8.74. 22.5m killi zemine oturan kazık temele etki eden eşdeğer yükler ve bu yüklerin oluşturduğu % artış..... | 237 |
| 8.75. 22.5m killi zemine oturan kazık temele etki eden eşdeğer yükler ve bu yüklerin oluşturduğu % artış..... | 237 |
| 8.76. Kil ve kum zeminlerde oturan kazık temellere etki eden statik yükler, eşdeğer statik yükler ve bu yüklerin oluşturduğu yüzde..... | 238 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- p: Kazık en kesitinin çevresi
Q_u : Maksimum taşıma kapasitesi
Q_p : Uç taşıma kapasitesi
Q_s : Sürtünme direnci (kazık üzerindeki yükün sürtünmeyle taşınan kısmı)
c : Kohezyon
q' : Düşey efektif gerilme
A_p : Kazık ucunun kesit alanı
N_c^{*} : Dayanma kapasitesi katsayısı
N_q^{*} : Dayanma kapasitesi katsayısı
φ : Zemin sürtünme açısı
L : Kazık boyu
L_b : Kazığın sağlam zemine gömülme derinliği
D : Kazık çapı
σ₀' : Kazık ucundaki ortalama efektif gerilme
K₀ : Sükûnetteki toprak basıncı
I_{rr} : Zeminin azaltılmış rijitlik indeksi
I_r : Zeminin rijitlik indeksi
Δ : Kazık altındaki plastik bölgede meydana gelen ortalama hacimsel
şekil değiştirme
G_s : Zeminin kayma modülü
E_s : Zeminin Young modülü
μ_s : Zeminin Poisson oranı
q_{ur} : Kayanın tek eksenli basınç dayanımı
f : Birim sürtünme direnci
σ_v' : Düşey efektif gerilme
δ : Zemin-kazık sürtünme açısı
K : Toprak basınç katsayısı
γ : Birim hacim ağırlık
γ' : Efektif birim hacim ağırlık
N : SPT değeri

f_{ort} : Ortalama birim sürtünme direnci
 λ : Killerde sürtünme direnci bulunurken kullanılan bir katsayı
 α : Ampirik adhezyon katsayısı
 c_u : Drenajsız kohezyon
 ϕ_R : Örselenmiş numunenin sürtünme açısı
 β : Killerde sürtünme direnci bulunurken kullanılan bir katsayı
 Q_{all} : İzin verilebilir (emniyetli) kazık kapasitesi
FS : Güvenlik katsayısı
k : Yatak katsayısı
 n_h : Yatay yatak katsayısı sabiti
 E_p : Kazık malzemesinin Young modülü
 I_p : Kazık kesitinin atalet momenti
xz : Kazığın dönmesi
z : Kazığın eğimi
 M_z : Kazığa etkiyen moment
 V_z : Kazığa etkiyen kesme kuvveti
 P'_z : Zemin reaksiyonu
T : Zemin-kazık sisteminin karakteristik uzunluğu
Z, Z' : Boyutsuz derinlik değerleri
 μ_v : Hacimsel sıkışabilirlik katsayısı
g : Yer çekimi ivmesi
 P_u : Kazığın taşıyabileceği maksimum yanal yük
B : Kazık genişliği
 E_{pI} : Kazık rijitliği
 k_h : Yatay yatak katsayısı
p : Yanal yayılı yük şiddeti
y : Yanal deformasyon
w : Yatak katsayısı tayini için yapılan deneyde temel yapısının oturması
 w_1 : Yatak katsayısı tayini için yapılan deneyde 30cm çapındaki deney plakasının oturması
 $k_{0,3}$: 30cm çapındaki deney plakası kullanılarak yapılan deneyde elde edilen yatak katsayısı

P_0 : Dilatometre deneyiyle elde edilen düzeltilmiş değer
 k_p : Dinamik yatak katsayısı
 $T_{u(brüt)}$: Kazığın çekme kuvvetlerine karşı brüt taşıma kapasitesi
 $T_{u(net)}$: Kazığın çekme kuvvetlerine karşı net taşıma kapasitesi
 α' : Adhezyon faktörü
 K_u : Çekme dayanımı hesabı için kaldırma katsayısı
 S : Toplam oturma
 S_1 : Kazık malzemesinin shaft boyunca elastik kısılması
 S_2 : Kazık ucunda aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma
 S_3 : Kazık boyunca sürtünmeyle aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma
 Q_{wp} : Çalışma yükü altında kazık ucunda taşınan yük
 Q_{ws} : Çalışma yükü altında shaft boyunca taşınan yük
 ξ : Birim çevre sürtünmesinin kazık boyunca dağılımına bağlı bir katsayı
 q_{wp} : Kazık ucundaki gerilme
 I_{wp} : Etki faktörü
 C_p : Ampirik faktör
 f_z : Negatif çevre sürtünmesi
 Q_n : Negatif çevre sürtünmesine bağlı olarak kazığa aşağı yönde etkiyen toplam kuvvet
 H_f : Dolgu yüksekliği
 η : Grup etkisi
 $Q_{g(u)}$: Kazık grubunun maksimum dayanma kapasitesi
 f_{ort} : Ortalama birim sürtünme direnci
 L_g : Kazık grubunun plandaki uzunluğu
 B_g : Kazık grubunun plandaki genişliği
 C_y : Yanal öteleme büyütme faktörü
 C_u : Drenajsız kayma mukavemeti
 C_m : Moment büyütme faktörü
 Δp : Tabakanın orta noktasındaki basınç artışı
 Δs : Konsolidasyon oturması

1. GİRİŞ

1.1.Genel

İnşaat mühendisliğinin asıl amaçlarından biri geçmiş depremlerde oluşan hasarlar ve can kayıpları nedeniyle meydana gelen etkilerin azaltılmasıdır. Bu konu üzerinde yapılan çalışmalar depremlerin kazıklarda meydana getirdiği hasarlar nedeniyle yoğunlaştırılmıştır. Çeşitli araştırmacıların kohezyonlu zeminlerdeki kazıklı temellerin davranışları ile ilgili olarak yaptıkları deneyler ve literatür çalışmaları analiz edilmiş ve konunun en temel noktaları aydınlatılmaya çalışılmıştır. Kazık elemanlarına etkiyen yükler, eksenel yönde (kendi ağırlıkları ve üst yapı ağırlığı dahil) ve yanal yönde etkiyen dinamik yükler (rüzgâr, dalga, sismik yük) olmak üzere iki ana sınıfa ayrılabilir. Önemi açısından sismik yüklemeler altında kazık davranışı üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. “(Kaynia ve Kausel 1982; Dobry ve Gazetas 1988; Sen ve ark. 1985)” ve diğer birçok araştırmacı, zeminin lineer davranışını göz önünde bulundurarak analitik çözüm yöntemleri geliştirmişlerdir. “Nogami ve ark. (1992)” Winkler teoremini kullanarak kazık gruplarının dinamik davranışını incelemiştir. “Nogami ve ark. (1992)” doğrusal olmayan zemin davranışını göz önüne alarak birbirinden bağımsız zemin-kütle, yay ve sönümleyici tanımlayarak kazık gruplarının davranışını incelemiştir. “Naggar ve Novak (1996)” grup kazıklarda Winkler teoremini kullanarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında çalışmalar yapmıştır. Bütün çalışmalarda doğrusal olmayan zemin davranışının, kazık gruplarının dinamik performansına önemli ölçüde etki ettiği görülmüştür.

Pratikte yanal yüklü kazıklar giriş olarak, kazık çevresindeki zemin tabakası ise kısaca “p-y eğrileri” olarak adlandırılan doğrusal olmayan yük transfer fonksiyonları tanımlanmaktadır “McClelland ve Focht (1958)”. Yöntemde zemin, yük transfer eğrisi olarak tanımlanan bir seri doğrusal olmayan yay ile modellenmektedir. p-y eğrileri herhangi bir derinlikte zemin direncini birim boyda meydana gelen eğilme olarak tanımlanmaktadır. Her zemin ve kazık sistemine ait p-y eğrileri bulunmaktadır. Ancak bu eğrileri elde etmek için her seferinde, her bir kazık için tam ölçekte deneyler yapmak ekonomik olmayacaktır. Bu nedenle genel

zemin ve yükleme durumları için p-y eğri grupları oluşturulmuştur. Kum zeminler için yatak katsayısı, (k), kayma mukavemeti açısı , zemin birim hacim ağırlığı, gerekli tasarım parametreleridir. Kil zeminler için drenajsız kayma mukavemeti, su, birim hacim ağırlık ve serbest basınç deneylerinde % 50 yada bazı modellerde % 100 göçme yükünden dolayı oluşan deformasyon değerlerine gereksinim vardır.

Zemin mekaniğinde son yıllarda gelişen sayısal modelleme, geoteknik problemlerin çözümünde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada sayısal modelleme türleri olan Plaxis ve SAP2000 sonlu eleman analiz programları kullanılmıştır. Amacı kohezyonlu zeminlerde kazıklı temellerin davranışını gözlemlemektir. Dinamik yüklemeler altında kohezyonlu zeminlerde, kazıklı temellerin davranışı bu sonlu eleman analiz programlarıyla incelenmiş, bu amaçla dört ayrı zemin profili oluşturulmuş ve üç ayrı deprem yükleri altında bu zemin profillerinde modellenen kazıkların davranışının hangi etkenlere bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir.

Aynı zamanda kazıkların taşıma gücü hesapları için gerekli yöntemler 3. Bölümde açıklanmıştır. Yatay statik yükler altında tekil kazıkların taşıma kapasitesi 4. Bölümde, Kazık grupları ve oturma şartları 5. Bölümde açıklanmıştır. 6. Bölümde sıvılaşmanın zeminler üzerindeki etkisi ile 7. Bölümde kazık temellere etki eden negatif sürtünme basınçlarının hangi şartlarda nasıl etkilediği açıklanmıştır.

Kazık temel dizaynına ait dinamik uygulamalar kısmında modellerin açıklaması 8. Bölümde yapılarak Plaxis ve SAP2000 programı yardımıyla sistem modellemesi ve çözümleri yapılmıştır. 4 farklı zemin tipinde toplam 36 farklı model her iki program yardımıyla analiz edilerek, çıkarılan sonuçlar değerlendirilmiş ve bu sonuçlara göre çözüm seçenekleri tavsiye edilmiştir. Analizlerde “eşdeğer deprem yükü” yönteminde tespit edilen yapı ağırlığına, yapı sünekliğine ve zemin durumuna bağlı hesaplanan eşdeğer statik deprem yükü yerine, gerçek yer ivme kayıtları kullanılarak analiz yapılmakta ve mod sayısına göre yapının periyodu bulunmaktadır. Analizlerde p-y eğrileri yerine, zemin katı eleman olarak modellenmiş ve zemin özellikleri elemana yüklenmiştir.

Tüm hesaplamalar yapılmış ve bunlara ait çizelgeler verilmiştir. Önerilen çözüm seçeneklerine ilaveten, zeminlerde uygulanacak kazıkların projelendirilmesi

üzerine bazı öneriler sunulmuş ve daha sonra konu ile ilgili olarak gelecek çalışmalar üzerine bazı düşünceler ifade edilmiştir. Kazık grubuna ait deformasyonlar, deprem etkilerine göre hesaplanan eşdeğer statik yükler ve taşıma gücüne göre % artış miktarları, taşıma gücü hesapları, tekil kazığa düşen düşey deformasyonlar yapılarak bütün modellere ait veriler hesaplanmıştır. Sonuç olarak, dinamik etkilerin de hesaba katıldığı programların kullanılmadığı durumlarda, üst yapıdan gelecek yüklere göre kil zeminlerde kazık temel dizaynı için dinamik kuvvetler statik yük türünden uyumluluğu saptanmıştır.

Bu çalışmada sıvılaştıran zeminlerde ve suya doygun kil zeminlerde kazıklı temellere etki eden dinamik yüklerin statik yükler cinsinden uygulanması araştırılmaktadır. Kazıklara ait taşıma güçleri hesaplanmıştır. Hesaplanan taşıma gücüne göre elastik oturmalar bulunmuştur. Daha sonra Plaxis ve SAP2000 programları yardımıyla modelleme yapılmış bulunan analiz sonuçlarına göre eşdeğer statik yükler hesaplanmıştır.

1.2. Kazık Temelleri Gerekli Kılan Durumlar

Kazık temellerin yapımları yüzeysel temellere nazaran daha zor ve maliyetli olmasına karşın, bazı durumlarda yapının güvenliği açısından kullanılmaları gerekli olabilir. Bu durumlar aşağıda özetlenmiştir:

- Üst zemin katmanlarının sıkışabilir ve yapıdan gelen yükü taşıyamayacak kadar zayıf olduğu durumlarda, yükü alttaki sağlam tabakaya iletmek,
- Üstteki sağlam zemin çok derinde ise yapısal yükü kazık boyunca sürtünme yoluyla zemine iletmek,
- Yanal yüklerin bulunması durumunda, düşey yükleri güvenle taşıırken, eğilmeye karşı direnebilmek,
- Şişme/büzülme yapan ve çöken zeminlerde, yükü alttaki sağlam tabakaya ileterek yapının zeminin su muhtevastındaki değişiklikler nedeniyle zarar görmesini engellemek,
- Zemin suyundan kaynaklanan kaldırma kuvvetine sürtünme yoluyla direnebilmek,

- Köprü ayakları gibi suyun aşındırıcı kuvvetine maruz yerlerde, ayakların çevresindeki zeminin aşınmasıyla temelin dayanma kapasitesinin azalmasını önlemek amacıyla yapılırlar.

Unutulmamalıdır ki kompaksiyon, vibroflatasyon, katkı maddeleri kullanılması, donatılı zemin gibi diğer zemin iyileştirme yöntemleri kazık temel uygulamasına göre daha maliyetli olduğu takdirde kazık temel inşa edilir.

2. KAZIK TEMELLER

Kazık temeller, yüzeyleri boyunca sürtünme yoluyla çevreleyen zemine ileterek ya da derinde sağlam zemin bulunması halinde yükü bu sağlam zemine aktararak ya da her iki durumda da zemine yük aktarabilirler. Zemine ve kullanım amaçlarına bağlı olarak farklı malzemeler kullanılarak, farklı boyut ve şekillerde üretilirler.

2.1.Tarihçe

İnşaat mühendisliğinin ilk bilim ve sanat örneği yapıları desteklemek amacıyla yapılmış taşıyıcı kazıkların çakılmasıdır. Britanya’da Romalılar tarafından inşa edilen köprülerde ve nehir kıyısı yerleşimlerinde çok sayıda ahşap kazık kullanımı örneği bulunmaktadır.

Kazık temeller insanoğlu tarafından yüzyıllardır yük taşıma ve iletme üniteleri olarak kullanılmaktadırlar. Uygarlık tarihinin ilk dönemlerinde, gerek savunma, gerekse stratejik önem itibarıyla yerleşim yerleri göl ve nehir kıyılarına yakın yerlerde kurulmaktaydı. Bu bölgelerde elle oyulan derin çukurlara taş ve çakıl doldurularak veya zemine ahşap kazıklar yerleştirilerek zeminin kalitesi ve yük taşıma kapasitesi arttırılmaya çalışılmıştır.

Çin’de Han Hanedanı zamanındaki köprü inşaatçıları ahşap kazıklar kullanmışlardır (M.Ö. 200 ~ M.S.200). İsviçre’de günümüzden 1200 yıl önce sığ göl tabanlarına ahşap kazıklar çakılması suretiyle üzerlerine barınaklar inşa ettikleri belirlenmiştir (Çalışkan 2003).

Ahşabın hafifliği ile birleşen dayanımı, taşıma ve kesme kolaylığı, son zamanlara kadar kazık işlemlerinde kullanılan tek malzeme olmasına yol açmıştır. Daha sonra bu malzeme yerini beton ve çeliğe bırakmıştır. Bunun nedenlerinden birincisi aynı boyutlardaki ahşaba göre daha fazla basınç, eğilme ve çekme kuvvetlerini taşımaları; ikincisi ise fabrikada istenilen boyutlara getirilebilmeleridir. On dokuzuncu yüzyılın sonlarına kadar kazık elemanı olarak genellikle 30 cm çaplı, boyu 10 m ’ye kadar olan ağaç kütükleri kullanılmıştır. Bu

kazıkların çakımı ise, ağır bir cismin kazık üzerine düşürülmesiyle gerçekleştirilmektedir.

19. yüzyılın sonları 20. yüzyılın başlarında yapısal bir ortam olarak gelişen betonarme, karadaki yüksek kapasiteli kazık işlerinde büyük ölçüde ahşabın yerine geçmiştir. Çok farklı kaya ve zemin ortamlarında kullanılabilirler ve büyük çaplarda imal edilebilirler. Sondaj delikleri açılarak, talep edilen derinliğe kadar uygulanabilirler.

Kazık işlerinde çelik kullanımı oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu artan kullanım taşıma kolaylığı ve fabrikasyonun yanı sıra çok zor koşullardaki çakma işlemlerinde uygulanabilmesinden dolayıdır. Kıyı yapılarında, dayanıklı kaplamalar sayesinde çelikteki korozyon probleminin üstesinden gelinmektedir.

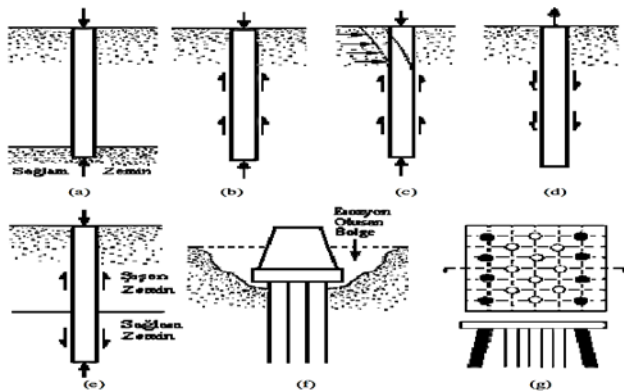
1740' ta Christoffoer Polhem, günümüzde kullanılan kazık çakma tertibatına benzer bir mekanizma geliştirmiştir. Buna takiben 1800'lü yıllardan itibaren çelik, 1900'lü yıllardan itibaren de beton kazıklar kullanılmaya başlanmıştır. Endüstriyel gelişimin sonucu olan dizel ve buharlı kazık çakma makineleri, kazık çakma yöntemlerine önemli ölçüde yenilik getirmiştir (Abebe 1983).

2.2.Kullanım Amaçları Ve Kullanım Alanları

Kazık temeller aşağıda belirtilen hedefler doğrultusunda, ekonomik bakımdan en uygun çözüm yöntemi olmaları şartı ile inşa edilirler (Das 1984).

- Yüzeğe yakın zemin katmanlarının üstyapıdan gelen yükleri taşımak için yetersiz veya yüksek derecede sıkışabilir olduğu durumlarda ve sıvılaşma potansiyeli bulunan bölgelerde yükü alt tabakalardaki sağlam zemine ulaştırmak amacıyla kazıklar kullanılır (Bkz. Şekil 2.1. (a)).
- Sağlam zeminin kazık yapımı için uygun bir derinlikte olmaması durumunda, gelen yükü sürtünme aracılığıyla aşamalı olarak zemine iletebilmek amacıyla kazıklardan faydalanılır (Bkz. Şekil 2.1. (b)).
- Yanal yüklere hedef alındıklarında, kazık temeller, eğilme yoluyla yanal yüklere direnirken aynı şekilde düşey yükleri taşıyabilme kabiliyetine sahiptirler. Bu nedenle hem düşey, hem yatay yüklere maruz kesimlerde inşa edilmeleri makbuldür (Bkz. Şekil 2.1. (c)).

- Açık deniz platformları iletim hattı direkleri, yeraltı su seviyesinin altında kalan bodrum zeminleri gibi bazı yapıların temelleri kaldırma kuvvetlerine maruz kalmışlardır. Kazık temeller bu gibi koşullarda kaldırma kuvvetlerine direnebilmek için de inşa edilirler (Bkz. Şekil 2.1. (d)).
- Pek çok uygulamada, yüzeyden çok derinlere uzanan genişleyen veya çöken zeminlerle karşı karşıya kalınabilir. Şişen zeminler su muhtevastındaki azalma halinde çatlarlar veya artış durumunda şişer. Bu zeminler üzerine inşa edilen temeller, şişme kaynaklı büyük kaldırma kuvvetlerine maruz kalırlar. Bu kuvvetler yapıda şişme, çatlama ve kırılmalara neden olurlar. Zemin suya doyduğunda kil bağlayıcılar dayanımını kaybeder. Sonuç olarak zeminde yapısal çökmeler oluşur. Bu tür zeminlerde sığ temel inşa edilmişse büyük çaplı yapısal hasarlar meydana gelebilir. Çözümü ise; sağlam zemine ulaşan kazıklar yapmaktır (Bkz. Şekil 2.1. (e)).
- Nehir yatakları gibi yüzey erozyonu görülen bölgelerde akışkanın hızı ve sürekliliği bir süre sonra ilk olarak temel altındaki zeminde hacim azalmasına ve daha sonra da dayanım kaybına neden olmaktadır. Bu tür bölgelerde kazık temel yapılarak bu tehlike önlenmektedir (Bkz. Şekil 2.1.(f)).
- Büyük ölçekli düşey yüklerin yanı sıra, önemli ölçüdeki yatay yüklere de direnebilmeleri açısından bazen grup kazıkların bir bölümü eğik olarak inşa edilebilir (Bkz. Şekil 2.1. (g)).



Şekil 2.1. Kullanım amaçlarına göre kazık temeller (a) uç kazıkları, (b) sürtünme kazıkları, (c) eğilme kazıkları, (d) çekme kazıkları, (e) genişleyen ve çöken zeminlerde kazık temeller, (f) yüzey erozyonu olan bölgelerde kazık temeller, (g) eğik kazıklar (Avcı 2008)

- Çakma suretiyle gevşek granüler zeminleri sıkıştırarak stabilitelerini arttırmak amacıyla kompaksiyon kazıkları kullanılır.
- Kıyı yapılarında, deniz araçlarının ve dalgaların çarpmaları nedeniyle oluşan ve yapılara zarar verebilecek boyutlara ulaşan enerjileri sönmlemeyi gerçekleştirmek amacıyla tampon kazıklar inşa edilir.
- Tek başlarına istinat yapısı olarak kullanmak veya istinat yapılarının stabilitelerini arttırmak amacıyla, yanal yüklere karşı ankraj kazıkları kullanılır.
- Şev stabilitesini sağlamak için, kayma yüzeyini kesecek şekilde bitişik düzende yerleştirilerek kullanılabilirler. Ancak bitişik inşa edilmişler ise yalnızca yatay yük taşıyabilirler.

2.3.Kazık Temel Çeşitleri

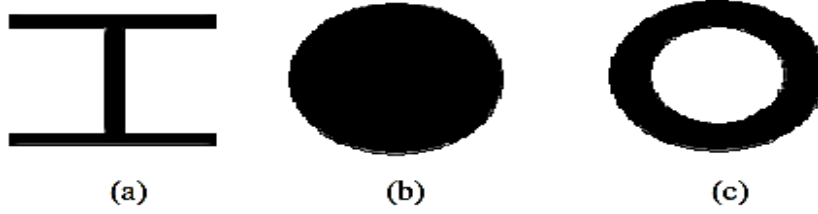
Kazıklı temeller üst yapıdan gelen yükleri daha derinlerdeki sağlam zemin tabakalarına iletir. Genel olarak uzun ve narin yapısal temel elemanlardır. Kazıklı temelleri yapıldıkları malzemelere, yükleri taşıma ve iletme şekillerine, zeminde yerleştirilme tarzlarına, zeminde neden oldukları deplasmanlar yönünden; yapıldıkları veya inşa edildikleri teknolojiye göre sınıflandırmak mümkündür.

2.3.1.İmal edildikleri malzemeye göre kazıklı temeller

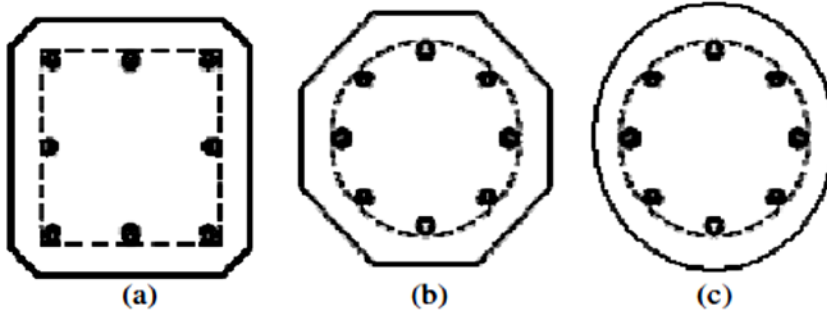
2.3.1.1.Çelik kazıklar

Çelik çakma kazıkların en çok kullanılan tipleri H profili ve boru en kesitli olanlarıdır. Bunların haricinde I profili de sıkça kullanılır. Çelik çakma kazıklarda boy sınırlaması yoktur. Ortalama boyları 12,0 m~30,0 m arasında değişir. H profilleri sert ve sıkı çakımlarda meydana gelebilecek maksimum çarpma kuvvetlerine dayanabilir. Boru kazıklar üniform kesitli olmanın yarattığı bir üstünlüğe sahip olduğundan dolayı; dik boru kazıklar deniz yapılarında öncelikli olarak kullanılmaktadır.

“Kazık çapı / kazık boyu” oranının 1/80 den küçük olması önerilmektedir. Kazık boyunun değiştirilmek istenmesi halinde kaynak veya perçin kullanılabilir. Kazık alanı ve çevresi hesaplanırken (H ve boru kesitli kazıklarda da) kazığın dış sınırları göz önünde tutulur. Şekil 2.2’ de sık kullanılan çelik kazık tipleri verilmiştir.



Şekil 2.2. Kullanımdaki çelik kazıklar (a) H kesitli, (b) daire kesitli dolu gövdeli, (c) daire kesitli boru tipi



Şekil 2.3. Sık kullanılan beton kazıklar (a) kare kesitli, (b) altıgen kesitli, (c) daire kesitli

2.3.1.2. Beton kazıklar

Beton kazıklar hazır döküm de olabilirler veya yerinde de imal edilebilirler. Hazır döküm kazıklarda boy değişimi yapılması zordur. Ayrıca taşınma sırasında hasar görme ihtimalleri de vardır. Ancak kılıf gerektirmezler ve çakmayla yerleştirilebildikleri için gevşek granüler zeminlerde ilave bir sıkışma sağlarlar.

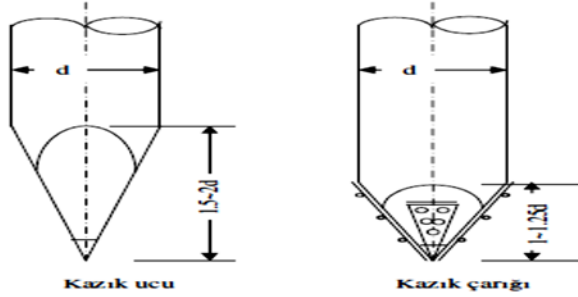
Hazır döküm kazıklar genelde kare veya sekizgendir. Fakat gerekli görülürse donatı kullanılabilir. Donatı kullanılması faydaları kazığın taşıma kapasitesini arttırmak ve taşınması sırasında zarar görmesini engellemektir. Donatılar ön

gerilmeye maruz bırakılıp beton döküldükten sonra fazlalıklar kesilerek kazıkta ilave bir sıkışma da sağlanabilir. Şekil 2.3’de sık kullanılan beton kazıp tipleri verilmiştir.

Betonarme çakma kazıklar çakılma ve taşınma sırasında karşı karşıya kalacakları etkileri ve bu etkilerin meydana getireceği gerilmeleri güvenle taşıyabilecek ve temelde uzun vakit görev yapabilecek özellikte olmalıdırlar.

2.3.1.3.Ahşap kazıklar

Ahşap kazıklar çok fazla kullanılmayan bir kazık türüdür. Sebebi basınç dayanımlarının çok fazla olmaması, su seviyesi değişimleri ve zemin içindeki zararlı organizmalar sebebi ile dayanımlarının düşmesidir. Ancak taşıma gücüne oranla ağırlığının az olması, taşıma kolaylığı, boy değişimlerinin kolayca yapılabilmesi gibi nedenler ile nadiren de olsa tercih edilmektedirler.



Şekil 2.4. Ahşap kazıklarda uç hazırlanması

2.3.1.4.Kompozit kazıklar

Mevcut kazık boyunun yetersiz olduğu durumlarda boy uzatma amacı ile uygulanırlar. Ahşap(alt)-beton(üst) veya çelik(alt)-beton(üst) kazıklardır. Birleşim bölgelerinin özel koruma gerektirmesi ve bu kısımlarda ek gerilmeler oluşması nedeniyle pek fazla kullanılmazlar.

2.4.Kullanım Amaçlarına Göre Kazık Temeller

2.4.1. Uç kazıkları

Sağlam zemin derinliği, kullanılabilir kazık uzunlukları kadar veya daha az ise ve sağlam zeminin üstünde yeterli kalınlıkta taşıyıcı zemin bulunmadığında veya sağlam zeminin üzerinde tamamen zayıf zemin bulunması durumunda uç kazıklardan meydana gelen bir temel sistemi kullanılır. Uç mukavemetli kazıklar çok uygulanır; ayrıca çok tercih edilen bir kazık türüdür.

Uç kazıkları yapıdan gelen yükü alttaki sağlam zemine basınç yolu ile ileten kazıklardır. Sağlam zemin çok derinde değil ise uygulanır. Kazık sağlam zemine gömülebilir veya oturtulabilir. Bu tip kazıklar, yükü ilettikleri zeminin taşıma gücüne ve taşıdıkları yüke bağlı olarak iki şekilde imal edilebilirler:

- Ayaklı: Genelde yerinde dökme kazıklarda tercih edilen bir yöntemdir. Eğer kazığın ulaştığı sağlam zeminin emniyet gerilmesi yeterince büyük değil ise bir ayak yardımı ile yük daha geniş alana yayılarak gerilme azaltılır. Bu metot ile uç direncinde, ayaksız kazıklara oranla %50~100 oranında bir artış sağlanır.
- Ayaksız: Eğer kazığın sağlam zemine ileteceği yük çok büyük değil ise ve zeminin taşıma kapasitesi yeterli güvenlikle kazığı taşıyabiliyor ise, ayak yapılmasının gereği yoktur.

2.4.2. Sürtünme kazıkları

Yapıdan gelen yükü zemine sürtünme aracılığı ile aktaran kazıklardır. Uç kazığın yapılması için gerekli olan sağlam zemin uygun bir derinlikte değil ise uygulanır. Sağlam zeminin derinliği kullanılabilmesi mümkün bulunan kazık uzunluklarından fazla olduğunda ve sağlam zeminin üstünde yeterli kalınlıkta taşıyıcı zemin bulunduğu yüzen kazıklardan meydana gelen kazık temel sistemi kullanılır. Çakım esnasında oluşan titreşim kumu sıkıştırır ve yeterince sıkışma olunca da kazıklarla kum zemin bir blok halinde birlikte davranırlar.

2.4.3. Kompaksiyon kazıkları

Genelde gevşek kumlarda, kazık çakılarak granüler zeminin sıkışması sağlanır. Bu sıkışma da uç direncinde %50~100 artış sağlar.

2.4.4. Çekme kazıkları

Üstyapıya gelen kuvvetler veya temelde çekme gerilmeleri nedeni ile döndürme etkileri oluşması durumunda, sürtünme ile bu kuvveti zemine iletmek ve çekme gerilmesini yenmek amacı ile kullanılır.

2.4.5. Tampon kazıklar

Gemilerin iskeleye çarpmasından, dalgalardan vb. meydana gelen yatay kuvvetleri alma amacı ile kullanılan kazıklardır. Kıyı yapılarının meydana gelmesinde ya da kıyı yapılarını koruma amaçlı kullanılırlar.

2.4.6. Eğik Kazıklar

Düşey yüklerin yanı sıra yatay yükleri de güvenli şekilde taşımak için yapılan kazık türüdür. Genel olarak düşey ile 20° açı yaparlar. Yalnız bu açının 26°'nin üzerine çıkması istenilen bir durum değildir. Negatif çevre sürtünmesinin, ani ve büyük yüklerin ve deprem kuvvetlerinin etkimesinin muhtemel olduğu bölgelerde kullanılmaları önerilmez.

2.5.Zemine Yerleştirilme Şekillerine Göre Kazık Temeller

2.5.1. Çakma kazıklar (Deplasman kazıkları)

Titreşim yaratan mekanik bir donanım veya serbest düşüm yapan mekanik bir tokmak aracılığı ile zemine çakılırlar. Çakma, gevşek taneli zeminde mukavemeti

arttırırken, bir yandan da kohezyonlu zemini örseleyerek geçici bir kayma mukavemeti düşüşü yaratabilir.

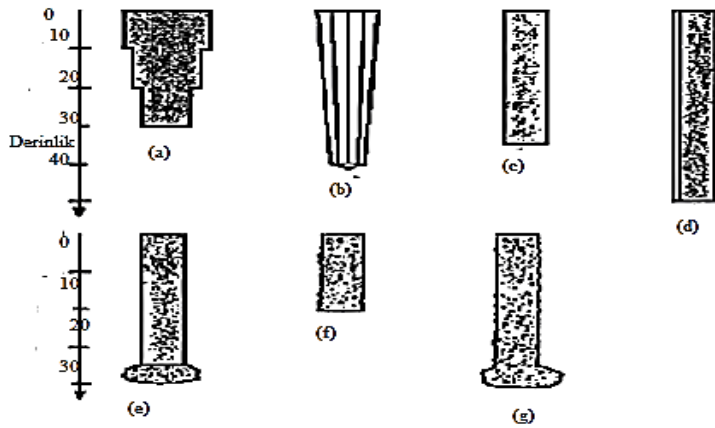
2.5.2. Fore kazıklar

Fore kazıklar zeminde açılan çukurların içine donatı yerleştirilip üzerine beton dökülerek yapılır. Çakmanın zor olacağı sert kil, moloz, kaya parçaları ve kaba taneler ihtiva eden zeminlerde, aynı şekilde çakmadan dolayı meydana gelecek titreşim ve gürültünün sorun yaratacağı bölgelerde yapımları uygundur.

Genelde uç kazıkları bu yöntem ile yapılır. Ayak yapılarak zemine etki eden basınç azaltılabilir. Bu tür kazıklar, yerleştirildikleri zemine göre iki şekilde imal edilebilir:

- Kılıflı: Eğer kazığın yapıldığı zemin kendini tutamayacak durumda ise (genelde kohezyonsuz gevsek kum) bir kılıf aracılığı ile çukurun zeminle dolması önlenir. Yapımın ardından kılıf alınabileceği gibi, dayanımı arttırmak için yerinde de bırakılabilir. Fakat bu oldukça masraflıdır.
- Kılıfsız: Kendisini tutabilen (kohezyonlu) zeminlerde kılıfa gereksinim duyulmadan fore kazık inşa edilebilir.

Şekil 2.5’de farklı tip ve boyutta sondaj kazıkları verilmiştir.



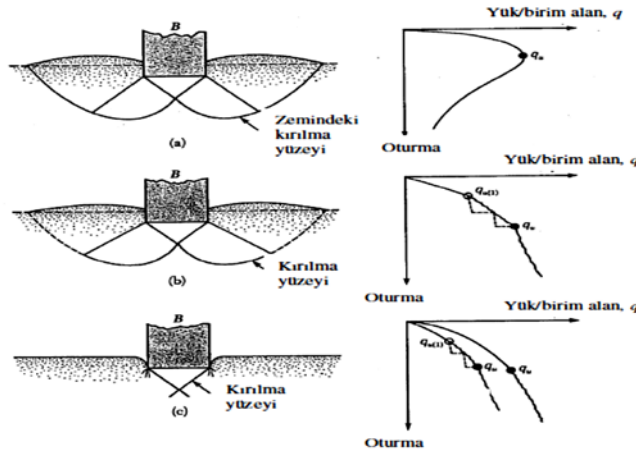
Şekil 2.5. Farklı tür ve büyüklüklerde fore kazıklar. (a), (b), (c), (d) kılıflı, ayaksız, (e) kılıflı ayaklı, (f) kılıfsız ayaksız, (g) kılıfsız ayaklı (Das 1984)

3. DÜŞEY STATİK YÜKLER ALTINDA TEKİL KAZIKLARIN TAŞIMA KAPASİTESİ

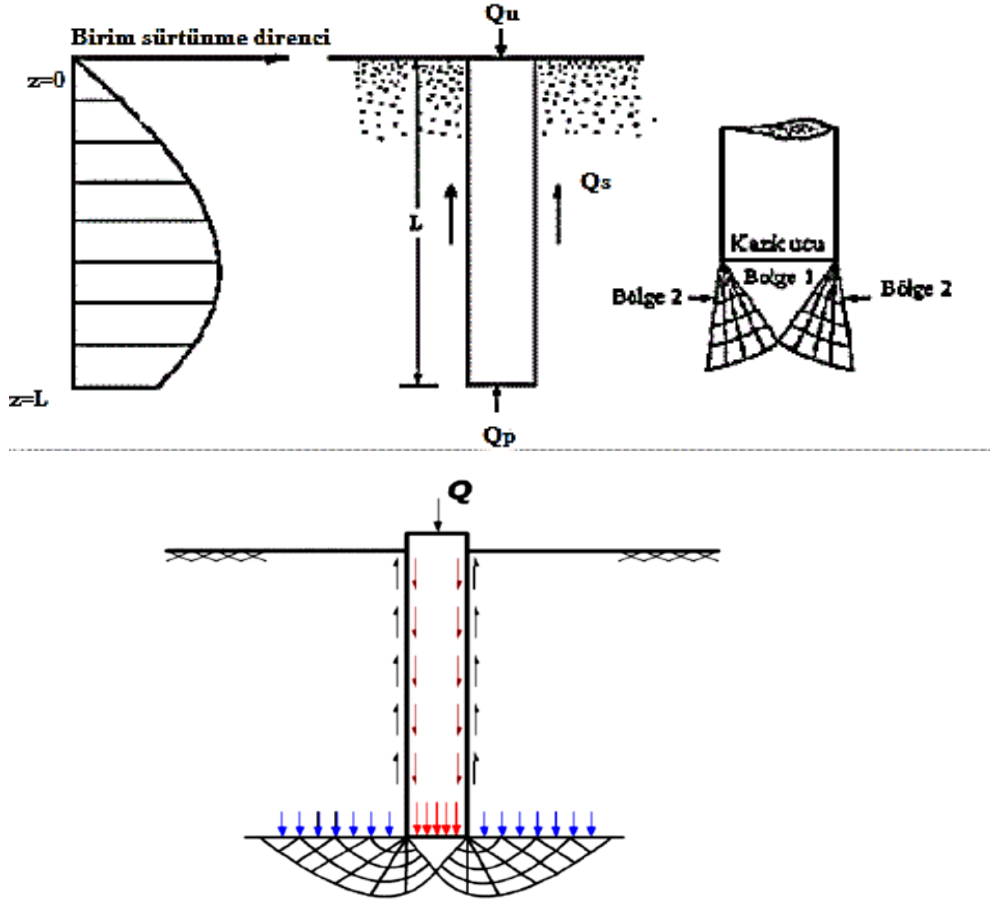
Kazık temeller farklı doğrultulardaki dinamik ve statik yükleri sürtünme aracılığı ile kazık boyunca çevreleyen zemine ve/veya uç direnci yolu ile sağlam zemine ileten taşıyıcı unsurlardır. Tek başlarına kullanılabilecekleri gibi (köprü ayakları) grup halinde kullanılmaları da mümkündür.

3.1. Kazıkların Zemine Yük Aktarması

Kazık üzerindeki $Q(z)$ yükü derinlik arttıkça azalmaktadır. Bunun nedeni, derinlik arttıkça kazık üzerindeki yükün çevre sürtünmesi ile zemine iletilen miktarının artmasıdır. Toplam yükün bir bölümü kazık çevresinde meydana gelen yüzey sürtünmesi (Q_1) ile karşılanırken, bir bölümü de uç direnci (Q_2) ile taşınmaktadır. Yük aktarma mekanizması, toplam yükün ne kadarının yüzey sürtünmesi ile ne kadarının uç mukavemeti ile karşılanacağını belirler. Şekil 3.1' de görüldüğü gibi genel kayma göçmesi, lokal kayma göçmesi, zımbalama kayma göçmesi şartları gözlenmektedir.



Şekil 3.1. Zemindeki taşıma kapasitesi göçmesi, (a) genel kayma göçmesi; (b) lokal kayma göçmesi; (c) zımbalama kayma göçmesi (Vesic, 1973)



Şekil 3.2. Kazıkların maksimum yükle yüklenmesi

Herhangi bir “z” derinliğinde birim shaft alanına isabet eden yüzeysel sürtünme direnci aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$F_z = \Delta Q_z / (p \cdot \Delta z) \quad (3.1)$$

Burada p kazık en kesitinin çevresidir.

Kazığa etki eden yük nihai taşıma kapasitesine ulaşır ise ($Q_z = Q_u \geq Q_1 = Q_s, Q_2 = Q_p$), kazığın uç kesiminde çatlaklar oluşacaktır. Bu durum Şekil 3.2’ de gösterilmiştir. Daha büyük yüklerde ise zeminde kesme makaslaması oluşur ve kazık zemine gömülür (Bölge 1). Bölge 2 genel olarak sıkı kum ve sert kilde oluşur.

3.2.Kazık Kapasitesinin Hesaplanması

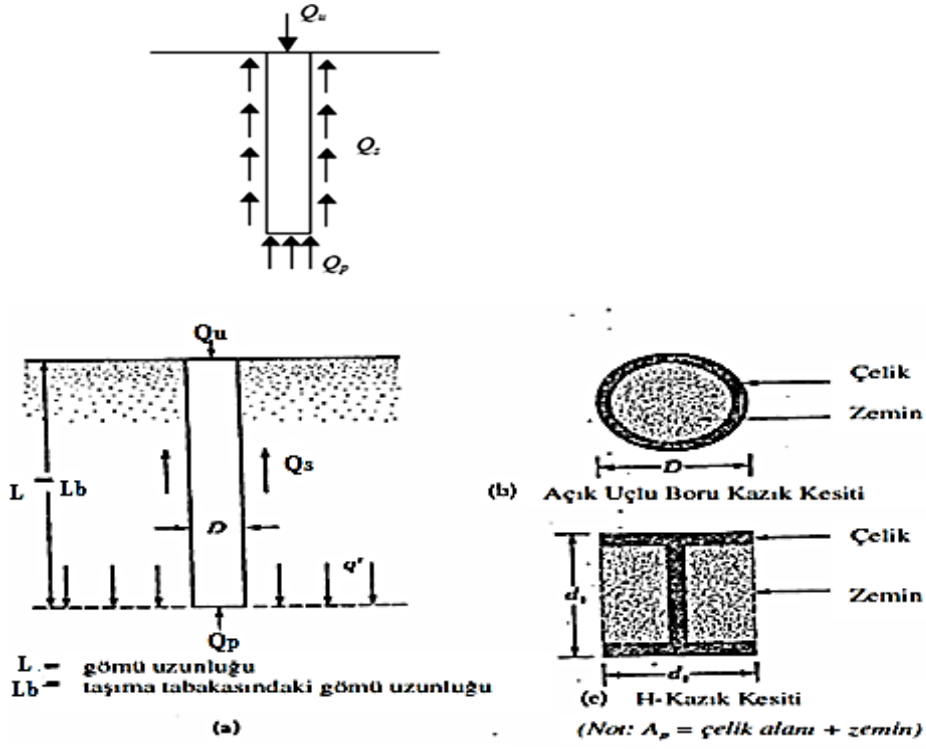
Kazıklarda toplam taşıma kapasitesi aşağıdaki formül kullanılarak bulunur:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3.2)$$

Q_u : maksimum taşıma kapasitesi

Q_p : uç taşıma kapasitesi

Q_s : sürtünme direnci



Şekil 3.3. Kazık - zemin etkileşimleri; (a) kazık - zemin boykesiti; (b) açık uçlu boru kazık kesiti
(c) H - Kazık kesiti

3.2.1. Uç taşıma kapasitesinin (Q_p) Hesabı

Kazıklarda birim alanın uç taşıma kapasitesi aşağıdaki eşitlik ile bulunur:

$$Q_p = c \cdot N_c^* + q \cdot N_q^* + \gamma \cdot D \cdot N_\gamma^* \quad (3.3)$$

Burada son terim diğerlerine göre çok küçük olduğu için önemsenmez. Eşitlik efektif gerilmeler cinsinden aşağıdaki şekilde yazılır:

$$Q_p = c N_c^* + q' \cdot N_q^* \quad (3.4)$$

c : kohezyon

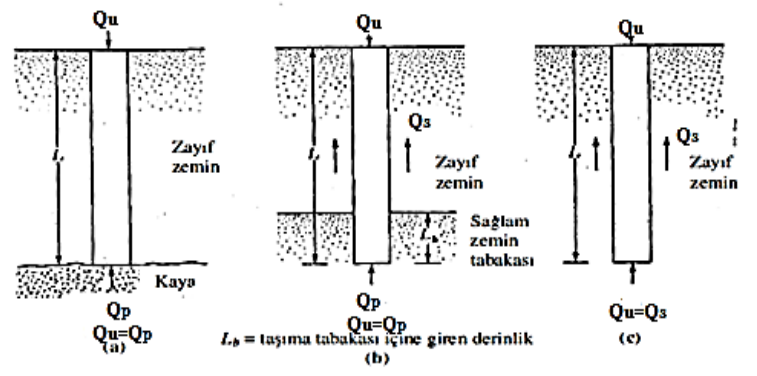
q' : düşey efektif gerilme

$$q' = \gamma' \cdot L = (\gamma_{\text{doygun}} - \gamma_{\text{su}}) \cdot L \quad (3.5)$$

Buna göre bir kazığın uç kapasitesi (3.6) eşitliği ile bulunur.

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c^* + q' \cdot N_q^*) \quad (3.6)$$

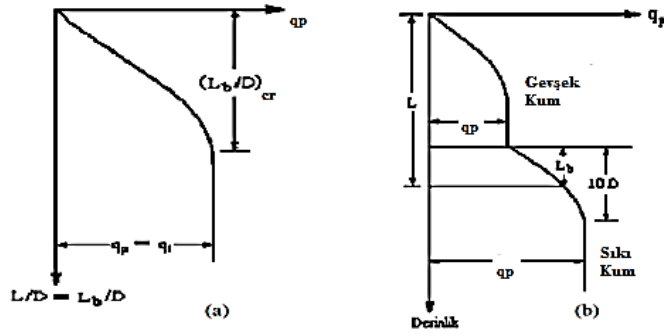
Burada A_p kazık ucunun kesit alanıdır. Kare ve sekizgen kesitli kazıklar için çizelgeler yardımı ile bulunabileceği gibi hesapla da elde edilebilir. Dikdörtgen ve dairesel kesitli kazıklar için hesap yapılır. N_c^* ve N_q^* değerleri ise çizelgelerden elde edilen, kohezyona ve derinliğe bağlı dayanma kapasitesi katsayılarıdır. Uç taşıma kapasitesinin hesabı için Meyerhof, Vesic ve Coyle&Castello farklı yöntemler önermişlerdir. Taşıma kapasitesinin belirlenebilmesi için Meyerhof Yöntemi, Vesic Yöntemi, Hansen Yöntemi, Janbu Yöntemi gibi birkaç yöntem bulunmaktadır.



Şekil 3.4. (a) ve (b) Uç taşıma kazıkları; (c) Sürtünme kazığı

3.2.1.1.Meyerhof yöntemi

Şekil 3.5.(a)'da görüldüğü gibi, Meyerhof'a göre uç direnci kritik bir derinliğe kadar artmakta ve bu derinlikten sonra sabit kalmaktadır. Burada L_b kazığının sağlam zemine gömülme derinliğidir ve homojen zeminlerde $L_b=L$ olur. D ise kazığının çapıdır. Kazığının sağlam zemine girme boyu ne kadar fazla ise, kazığının uç direnci de o kadar yüksek olmaktadır.



Şekil 3.5. Meyerhof'a göre uç direncinin derinlikle değişimi(a) tek tabakalı zeminde (b) iki tabakalı zeminde

İki tabakalı zemin durumunda ise ($L \neq L_b$) uç direnci Şekil 3.5(b)'de görüldüğü gibi değişim göstermektedir. Tabakalı zemin halinde kritik derinliğin taşıyıcı tabakanın üst yüzeyinden başlayacak şekilde alınması ve üst tabakanın yalnızca sürüş yaratan etkisinin göz önünde tutulması daha doğrudur. Kohezyonsuz zeminlerde ($c_u=0$) uç taşıma kapasitesi formülü aşağıdaki hali alır:

$$Q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q^* \leq A_p \cdot q_1 \quad (3.7)$$

$$q_1 = (kN/m^2) = 50 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi \quad (3.8)$$

Hangi Q_p değeri küçük ise o hesaba esas alınır.

Buradaki N_q^* değeri, Meyerhof yöntemi için verilen çizelgeden alınır. ϕ ise zemin sürtünme açısıdır.

Meyerhof (1976), homojen bir zeminde ($L=L_b$) q_p 'nin standart penetrasyon sayısına (N) bağlı olarak (3.9)'da verildiği şekilde de elde edilebileceğini belirtir:

$$q_p \text{ (kN/m}^2\text{)} = 40 \cdot N \cdot (L/D) \leq 400N \quad (3.9)$$

Hangi q_p değeri küçük ise, o hesaba esas alınır.

Üstte zayıf (loose), altta sıkı(dense) kuma giren kazık durumunda q_p aşağıdaki formül ile elde edilir:

$$Q_p = q_{1(l)} + \left[\frac{(q_{1(d)} - q_{1(l)}) \cdot L_b}{10D} \right] \leq q_{1(d)} \quad (3.10)$$

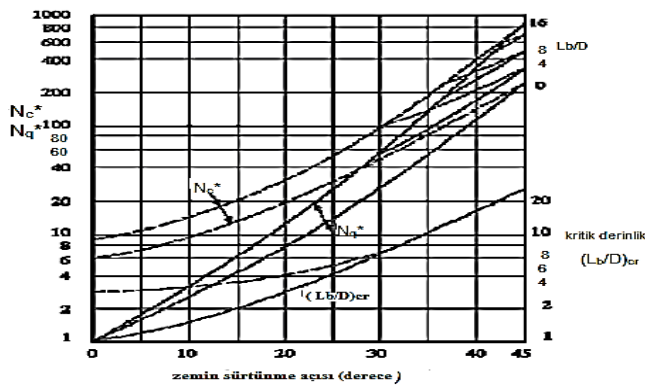
Suya doymun killerde drenajlı durumda ($\phi=0$) kazığın uç taşıma kapasitesi aşağıdaki formül kullanılarak bulunur:

$$Q_p = N_c^* \cdot c_u \cdot A_p = 9 c_u \cdot A_p \quad (3.11)$$

Burada N_c^* değeri, Meyerhof yöntemi için verilen çizelgeden alınır. Drenajsız durumdaki (c, ϕ) killerde (3.12) eşitliği de kullanılabilir:

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p (c \cdot N_c^* + q' \cdot N_q^*) \quad (3.12)$$

Burada da N_c^* ve N_q^* değerleri, Meyerhof tarafından verilen grafikten elde edilirler. Şekil 3.6.'da bu grafik verilmiştir.



Şekil 3.6. Meyerhof yöntemiyle çözüm yaparken dayanma kapasitesi katsayılarını bulmak için gerekli grafik (Das 1984)

Grafiğin kullanılışı:

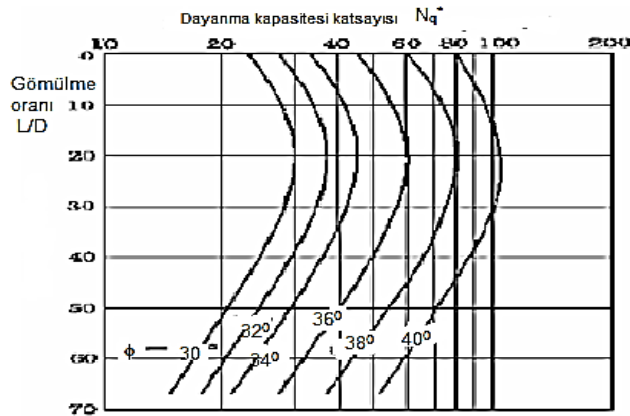
- Önce L_b / D bulunur. $L_b / D > 10$ ise üst çizgi, $L_b / D < 10$ ise alt çizgi kullanılır. $L_b / D > 16$ ise $L_b / D = 16$ varsayıp devam edilir.
- ϕ' 'ye bağlı olarak $(L_b/D)_{cr}$ bulunur. $L_b/D > (L_b/D)_{cr}$ olmalıdır!
- ϕ' 'ye bağlı olarak N_c^* ve N_q^* bulunur.

3.2.1.2. Coyle & Castello yöntemi

Coyle & Castello (1981) kumlardaki çakma kazıklar üzerine çalışmalar yapmış ve dayanma kapasitesi faktörü N_q^* hesabı için farklı bir yöntem ileri sürmüşlerdir. Bu yöntemin Meyerhof yönteminden farkı, daha spesifik oluşudur. Kullanılan formül aynıdır. Sadece, üzerinde çalışılan zemin kohezyonsuz olduğundan formülün kohezyona bağlı kısmı çıkarılmıştır:

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot (q' \cdot N_q^*) \quad (3.23)$$

Burada değişen tek şey, dayanma kapasitesi faktörünün sürtünme açısına bağlı olarak Coyle&Castello'nun kohezyonsuz zeminlere özel hazırladıkları grafikten alınmasıdır. Bu grafik Şekil 3.7. ile verilmiştir.



Şekil 3.7. Coyle&Castello yöntemiyle çözümde dayanma kapasitesi katsayısı N_q^* 'ı bulmak için geliştirilmiş grafik (Coyle&Castello, 1981)

3.2.1.3.Hansen Yöntemi

Kazıklı temeller için genel taşıma kapasitesi denklemi (3.24), Şekil faktörlerinin de dikkate alınması ile aşağıdaki eşitlik şekilde de gösterilebilir:

$$Q_p = A_p.(c.N_c. dc + \eta.q.N_q' q.dq + 0,5.\gamma'B_p.N_\gamma) \quad (3.24)$$

Hansen (1967) yöntemi için şekil faktörleri, dc ve dq uygun koşullar için aşağıdaki denklemlerden, N_c ve N_q değerleri de Çizelge 3.1'den sağlanmaktadır.(3.24) eşitliğindeki η değeri, bu metot için 1'e eşittir (Bowles,1996).

$L/B < 1$ hali için;

$$dq = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 L/B \quad (3.25a)$$

$$dc = 1 + 0,4 L/B \quad (3.26a)$$

$L/B > 1$ hali için;

$$dq = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} L/B \quad (3.25b)$$

$$dc = 1 + 0,4 \tan^{-1} L/B \quad (3.26b)$$

Çizelge 3.1. Meyerhof, Hansen ve Vesic taşıma kapasitesi denklemleri için taşıma kapasitesi faktörleri (N_c ve N_q üç metot için de aynıdır; N_γ alt indisleri yazarı belirtir.)

| ϕ | N_c | N_q | $N_{\gamma M}$ | $N_{\gamma m}$ | $N_{\gamma V}$ | N_q / N_c | $2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2$ |
|--------|--------|-------|----------------|----------------|----------------|-------------|---------------------------------|
| 0 | 5,14* | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,195 | 0,000 |
| 5 | 6,49 | 1,6 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0,242 | 0,146 |
| 10 | 8,34 | 2,5 | 0,4 | 0,4 | 1,2 | 0,296 | 0,241 |
| 15 | 10,97 | 3,9 | 1,2 | 1,1 | 2,6 | 0,359 | 0,294 |
| 20 | 14,83 | 6,4 | 2,9 | 2,9 | 5,4 | 0,431 | 0,315 |
| 25 | 20,71 | 10,7 | 6,8 | 6,8 | 10,9 | 0,514 | 0,311 |
| 26 | 22,25 | 11,8 | 7,9 | 8,0 | 12,5 | 0,533 | 0,308 |
| 28 | 25,79 | 14,7 | 10,9 | 11,2 | 16,7 | 0,570 | 0,299 |
| 30 | 30,13 | 18,4 | 15,1 | 15,7 | 22,4 | 0,610 | 0,289 |
| 32 | 35,47 | 23,2 | 20,8 | 22,0 | 30,2 | 0,653 | 0,276 |
| 34 | 42,14 | 29,4 | 28,7 | 31,1 | 41,0 | 0,698 | 0,262 |
| 36 | 50,55 | 37,7 | 40,0 | 44,4 | 56,2 | 0,746 | 0,247 |
| 38 | 61,31 | 48,9 | 56,1 | 64,0 | 77,9 | 0,797 | 0,231 |
| 40 | 75,25 | 64,1 | 79,4 | 93,6 | 109,3 | 0,852 | 0,214 |
| 45 | 133,73 | 134,7 | 200,5 | 262,3 | 271,3 | 1,007 | 0,172 |
| 50 | 266,50 | 318,5 | 567,4 | 871,7 | 761,3 | 1,195 | 0,131 |

* = $\pi + 2$; $\phi \rightarrow 0^\circ$ olduğunda limitir.

3.2.1.4. Vesic yöntemi

Vesic (1977), uç taşıma kapasitesini boşlukların genişlemesi teorisine göre hesaplamak için, efektif gerilmelere bağlı formüller geliştirmiştir.

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c^* + \sigma_0' \cdot N_\sigma^*) \quad (3.13)$$

σ_0' : kazık ucundaki ortalama efektif gerilme

$$\sigma_0' = [(1+2K_0)/3]q^1 \quad q^1 = \gamma^1 L_1 + \gamma^2 L_2 + \dots \quad \gamma^1 = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (3.14)$$

N_c^* , N_σ^* : dayanma kapasitesi faktörleridir ve aşağıdaki şekilde bulunurlar:

$$N_c^* = (N_q^* - 1) \cot \phi \quad (3.15)$$

$$N_\sigma^* = (3 N_q^*) / (1+2K_0) \quad (3.16)$$

K_0 : sükûnetteki toprak basıncı

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (3.17)$$

N_q^* : dayanma kapasitesi faktörü

$$N_q^* = f(I_{rr}) \quad (3.18)$$

I_{rr} : zeminin azaltılmış rijitlik indeksi

$$I_{rr} = I_r / (1 + I_r \Delta) \quad \dots \dots \dots (3.19)$$

I_r : rijitlik indeksi

Δ : kazık altındaki plastik bölgede oluşan ortalama hacimsel şekil değiştirme

Farklı zeminler için rijitlik indeksi değerleri Çizelge 3.2 ile verilmiştir. Hacim değişimi yoksa $\Delta=0$ $I_{rr} = I_r$ olur. (Sıkı kum ve suya doymuş kilde) Rijitlik indeksi aşağıdaki eşitlikten bulunabilir:

Çizelge 3.2. Farklı zeminler için rijitlik indeksi (I_r) degerleri

| Zemin Türü | I_r |
|--------------------------------|---------|
| Kum | 70~150 |
| Silt ve Kil (drenajlı durumda) | 50~100 |
| Kil (drenajsız durumda) | 100~200 |

$$I_r = G_s / (c + \sigma^1 \cdot \tan \phi) \quad (3.20)$$

G_s : zeminin kayma modülü

$$G_s = E_s / (2 \cdot (1 + \mu_s)) \quad (3.21)$$

E_s : zeminin Young modülü (σ/ε)

μ_s : zeminin Poisson oranı (eh/ev)

Drenajsız durum ($\phi = 0$) için N_c^* değeri ise aşağıdaki eşitlikten bulunur:

$$N_c^* = (4(\ln I_r + 1) / 3 + (\pi/2) + 1) \quad (3.22)$$

Yukarıdaki formüllerle azaltılmış rijitlik indeksi hesaplandıktan sonra, ilgili Çizelgelerden sürtünme açısına ve azaltılmış rijitlik indeksine (I_{rr}) bağlı olarak dayanma kapasitesi katsayıları doğrudan alınabilir.

3.2.1.5. Kaya üzerine oturan kazıklar

Kaya üzerine oturan kazıklarda uç taşıma kapasitesi aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanır:

$$q_p = q_{ur} (N_\phi + 1) \quad N_\phi = \tan^2 (45 + \phi/2) \quad (3.27)$$

$$Q_p(alt) = [q_u(tasarım) (N_\phi + 1)] A_p / FS \quad (FS \geq 3) \quad (3.28)$$

q_{ur} : kayanın tek eksenli basınç dayanımı

ϕ : drenajsız sürtünme açısı

Fakat q_{ur} değeri kullanılırken (kaya içerisinde olabilecek çatlaklar ve boyut etkisi sebebi ile) bir azaltma yapmak gereklidir:

$$q_{ur(tasarım)} = q_{ur(laboratuvar)}/5$$

3.2.2. Sürtünme (Yüzey) Direncinin (Q_s) Hesaplanması

Bir kazığın yüzey direnci, kazık yüzeyi ile zemin arasında oluşur. Kazığın taşıma kapasitesini arttıran önemli bir etkidir. Aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Q_s = \sum pLf \quad (3.30)$$

p : kazık çevresi ($p = \pi D$)

L : kazık uzunluğu

f : verilen bir z derinliğindeki birim sürtünme direnci

Bu direnç zemin türüne göre farklılık gösterir. Bu nedenle farklı zeminlerde farklı yöntemler ile hesaplanmaktadır.

3.2.2.1. Kumlarda Sürtünme Direnci

Kumlardaki sürtünme direnci aşağıdaki formül ile bulunur:

$$f = K \cdot \sigma_v' \cdot \tan \delta \quad (3.31)$$

σ_v' : düşey efektif gerilme

δ : zemin-kazık sürtünme açısı ($0,5\phi \sim 0,8\phi$)

K : toprak basınç katsayısı

Zeminle kazık arasındaki sürtünme açısı ortalama $0,6\phi$ olarak kabul edilebilir. Ayrıntılı çözüm gerektiren büyük çaplı ve önemli projelerin yapımı aşamasında bu katsayıyı kesme kutusu deneyi ile belirleyerek, daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilir.

Şekil 3.6 'da kumlarda sürtünme direncinin derinlik ile değişimi verilmiştir. Yalnız, f hesabı yapılırken $L=15D$ derinliğine kadar σ_v' değerinin bir değişken

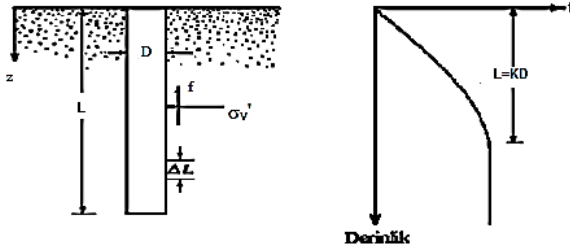
olduğuna dikkat edilmelidir. Sürtünme direnci bu belirtilen derinliğe kadar doğrusal bir artış gösterir. Bu derinlikten sonra ise sabit kalmış gibi düşünülür. Bu nedenle, σ_v' , (0~15D) ve (15D~L) arasında farklı şekillerde hesaplanır:

(0~15D) arasında:

$$\sigma_v' = \gamma' 7,5D \quad f = K(\gamma' 7,5D) \tan \delta \quad (3.32)$$

(15D~L) arasında:

$$\sigma_v' = \gamma' 15D \quad f = K(\gamma' 15D) \tan \delta \quad (3.33)$$



Şekil 3.8. Kumlarda sürtünme direncinin derinlikle değişimi

Meyerhof (1976), aşağıdaki şekilde gösterilen ortalama birim sürtünme direncinin, ortalama SPT değerine (N) bağlı olarak elde edilmesini ön görmüştür:

Düşük yer değiştirmeli çakma kazıklarda:

$$f_{av} \text{ (kN/m}^2\text{)} = N \quad (3.34)$$

Yüksek yer değiştirmeli çakma kazıklarda:

$$f_{av} \text{ (kN/m}^2\text{)} = 2 N \quad (3.35)$$

Kazık çevresindeki toplam sürtünme direnci (3.36) eğitliği ile bulunur:

$$Q_s = p.L.f_{av} \quad (3.36)$$

Şekil 3.9’da K (toprak basınç katsayısı)’nın derinlikle değiştiği gösterilmiştir. Kazığın üst kısmında pasif Rankine basınç katsayısına eşittir fakat; kazık ucunda sükûnetteki toprak basınç katsayısından daha küçük olabilir. Çakma ve fore kazıklar için farklı şekillerde hesaplanır:

Düşük yer değiştirmeli çakma kazıklarda:

$$K= K_0 \text{ (alt limit)} \quad K=1,4 K_0 \text{ (üst limit)} \quad (3.38)$$

Yüksek yer değiştirmeli çakma kazıklarda:

$$K= K_0 \text{ (alt limit)} \quad K=1,8 K_0 \text{ (üst limit)} \quad (3.39)$$

Fore kazıklarda:

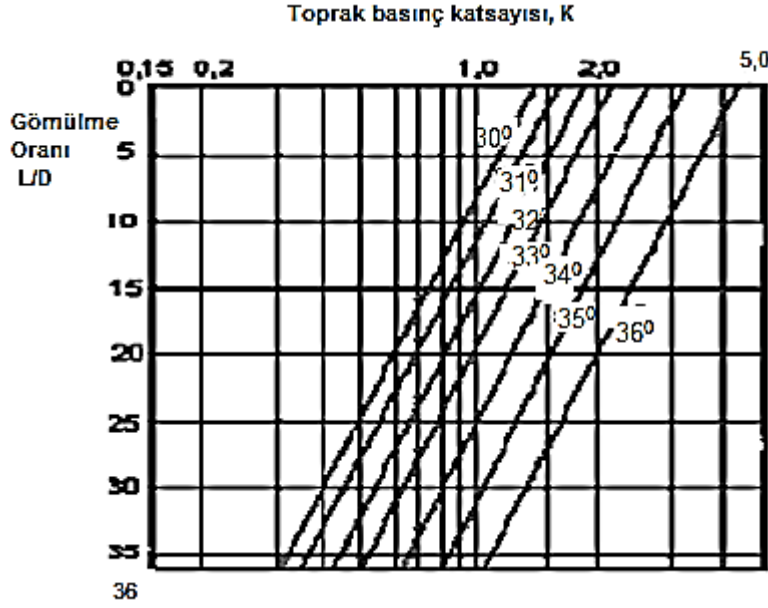
$$K=K_0=1-\sin\phi \quad (3.37)$$

Coyle&Castello ise, kumlarda sürtünme direncini aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi farklı bir şekilde hesaplamışlardır. Buna göre sürtünme direnci:

$$Q_s=K.\sigma_{v(ort)}.\tan\delta.p.L \quad (3.40)$$

$$\sigma_{v' (ort)}=\gamma.L/2 \quad \delta=0,8\phi \quad (3.41)$$

Yapılan deneylere bakılarak K değerinin L/D (boy/çap) oranına bağlı olarak değişim gösterdiği saptanmıştır.



Şekil 3.9. Toprak basınç katsayısının gömülme oranına bağlı değişimi

3.2.2.2.Killerde Sürtünme Direnci

Killerde sürtünme direncini hesaplayan üç metot vardır. Bu üç yöntemi birbirinden ayıran özellikler ve yöntemlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir:

- λ Yöntemi: Sürtünme direnci derinlik, efektif gerilme ve drenajsız kayma mukavemeti etkenlerine bağlı olarak hesaplanır.
- α Yöntemi: Sürtünme direnci adhezyon ve drenajsız kohezyona bağlı olarak hesaplanır.
- β Yöntemi: Sürtünme direnci yanal toprak basınçları ve drenajlı duruma bağlı olarak hesaplanır.

Aşağıda bu üç yöntem ayrıntılarıyla açıklanmıştır.

λ Yöntemi: Vijayvergia ve Focht (1972) tarafından geliştirilmiş bir metottur. Kazık çakımından dolayı zeminde oluşan yer değiştirmenin, pasif yanal toprak basıncına neden olduğu varsayımından yola çıkılarak hazırlanmıştır. Birim yüzey dayanımı aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanır:

$$f_{av} = \lambda (\sigma_v' + 2c_u) \quad (3.42)$$

Burada $\sigma_v'_{(ort)}$ kazık boyunca etki eden ortalama düşey efektif gerilmedir. Tek tabaka durumunda (3.43) eşitliği ile bulunur:

$$(\text{kazık ucundaki düşey gerilme}) / 2 \quad (3.43)$$

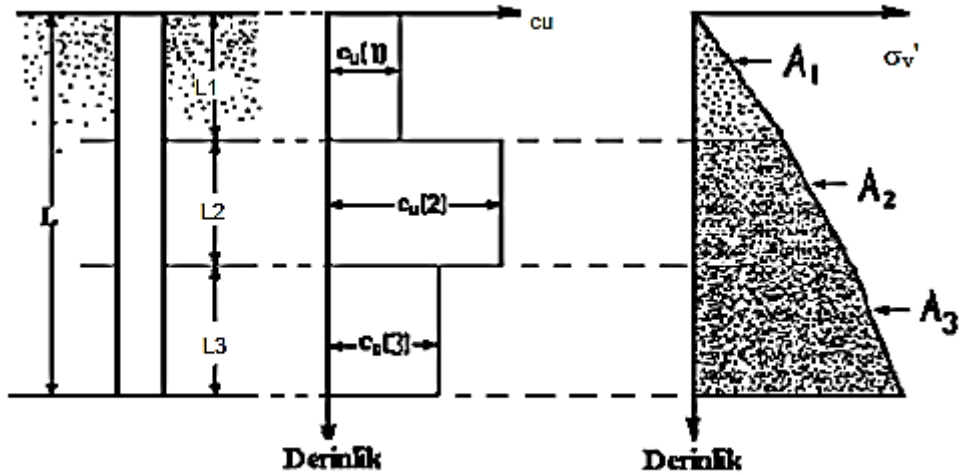
λ katsayısının kazık gömülme derinliğine bağlı değişimi Şekil 3.9 ile gösterilmiştir. λ katsayısı, kazığın gömüldüğü derinliğe (L) bağlı olarak bu grafik yardımı ile bulunabilir. Bu grafikten yola çıkılarak kazık çevresindeki (p) toplam sürtünme ise aşağıdaki gibi bulunur:

$$Q_s = p.L.f_{av} \quad (3.44)$$

Tabakalı zemin durumunda (bkz. Şekil 3.8), her bir tabaka için düşey efektif gerilme ve kohezyon değerleri ayrı ayrı hesaplanır ve bu değerlerin ortalaması denklemde yerine konulur:

$$c_u = (c_{u1} L_1 + c_{u2} L_2 + \dots) / L \quad (3.45)$$

$$\sigma_v' = (A_1 + A_2 + \dots) / L \quad (3.46)$$



Şekil 3.10. Tabakalı zemin durumunda λ yönteminin uygulanışı

α Yöntemi: Şekil 3.12'deki grafikte drenajsız kohezyona bağlı α değerleri mevcuttur. İşte bu α ampirik adhezyon katsayısı alınır ve (3.47) eşitliği ile sürtünme direnci hesaplanır:

$$f = \alpha c_u \quad (3.47)$$

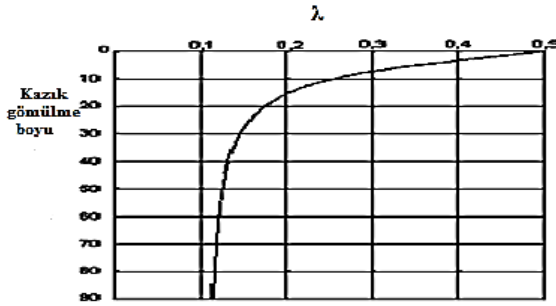
Toplam sürtünme ise buna bağlı olarak aşağıda verilen eşitlikten bulunur:

$$Q_s = \sum .f.pL = \sum .\alpha .c_u .p.L \quad (3.48)$$

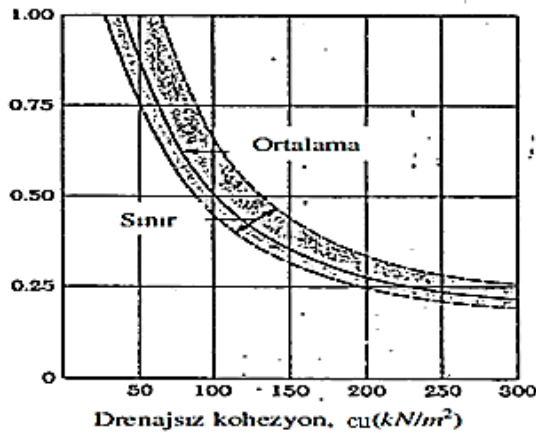
Tabakalı zemin durumunda ise çözüm (3.49)'da verilen hesaplama ile yapılır:

$$Q_s = \sum .f.pL = .\alpha_1 .c_{u1} .p.L_1 + \alpha_2 .c_{u2} .p.L_2 + \dots \quad (3.49)$$

p: kazık çevresi



Şekil 3.11. λ katsayısının kazık gömülme boyuna bağlı değişimi



Şekil 3.12. Drenajsız kohezyona bağlı α değerleri

β Yöntemi: Kazık çevresindeki boşluk suyu basıncı doymun kile kazık çakıldığında yüksektir. Normal killerde bu aşırı boşluk suyu basıncının büyüklüğü, c_u 'nun 4 – 6 katı arasında değişir. Bununla birlikte, bu basıncın tamamen ortadan kaybolması için yaklaşık bir aylık süre gereklidir. Bu durumda, kazık için birim sürtünme dayanımı, örselenmiş kilin efektif gerilme parametrelerine ($c = 0$ durumu) dayanarak hesaplanır.

$$f = \beta \sigma_v' \quad \beta = K \tan \phi_R \quad \sigma_v' = \gamma' L \quad (3.50)$$

ϕ_R : örselenmiş kilin drenajlı sürtünme açısı

K: toprak basınç katsayısı

Toprak basınç katsayısı normal ve aşırı konsolide killer olmak üzere farklı metotlarla belirlenir.

Normal konsolide killer için:

$$K = 1 - \sin \phi_R \quad (3.51)$$

Aşırı konsolide killer için:

$$K = (1 - \sin \phi_R)(A.K.O)^{1/2} \quad (A.K.O: \text{Aşırı Kons. Oranı}) \quad (3.52)$$

Toplam sürtünme ise; (3.53)'te verildiği gibi hesaplanır:

$$Q_s = \sum f.pL \quad (3.53)$$

4. YATAY STATİK YÜKLER ALTINDA TEKİL KAZIKLARIN TAŞIMA KAPASİTESİ

Temel kazıkları, yapıdan kaynaklanan eğik statik yükler, rüzgar, toprak basıncı, su basıncı, deprem, gemi çarpması gibi yanal yükleri de taşımak üzere teşkil edilir. Kuvvetin yatay bileşeninin düşey bileşene göre küçük olduğu durumlarda, düşey kazıklar yanal yükleri emniyetle taşıyacak yatay dirence sahip olabilir. Kazıklı bir temelin taşıyabileceği yanal yük, kazık cinsine, zeminin özelliklerine ve durumuna, kazık başlığının bağlanma şekline bağlıdır.

Düşey bir kazık rijit bir başlıkla tespit edilmemişse, kazık başına gelen yatay yükün tamamını zemin alacaktır. Bu durumda yanal kuvvet, kazın şekil değiştirmesine de bağlı olarak belli bir derinliğe kadar zeminde oluşan gerilmeler ile karşılanır. Serbest başlı kısa kazığa etkiyen yatay kuvvetler artınca kazık ötelenir. Uzun kazıkların yanal yük karşısında davranışı farklıdır. Artan yanal kuvvetler karşısında uzun kazıkların alt tarafları düşey olarak kalır, üst tarafları yer değiştirir. Yumuşak kil veya silt içinde düşey olarak inşa edilmiş kazıklarda, zeminin kazığın yanal direncine katkısı azdır. Bu yüzden böyle zeminlerdeki kazıkların kesit momenti hesaplanarak eğilmeye karşı dirençlerini artıracak donatı konulmalıdır.

Kazıkta kabul edilebilir yatay yük aşağıdaki kriterlerden belirlenebilir[1]:

- Kabul edilebilir yatay yük, maksimum kesme kuvvetinin uygun bir güvenlik katsayısına bölünmesiyle elde edilir.
- Kabul edilebilir yatay yük, kabul edilebilen yatay gerilmeye karşılık gelen yüküdür.

Bu iki değerden küçük olanı, tasarım yatay yükü olarak alınır.

4.1.Kohezyonlu Zeminler İçin Yanal Yüklü Kazık Hesabı

Çözümler, granüler zemindeki yanal yüklü kazıkların hesaplarına benzer şekilde yapıp ve aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiştir:

Kazığın herhangi bir z derinliğindeki dönmesi:

$$x_z(z)=[A'_x Q_g R^3/(E_p I_p)] +[B'_x M_g R^2/(E_p I_p)] \quad (4.1)$$

Kazığa herhangi bir z derinliğinde etkiyen moment:

$$M_z(z)=[A'_m Q_g R/(B'_m M_g)] \quad (4.2)$$

Bu formüllerde kullanılan A'_x , B'_x , A'_m ve B'_m yine Z' boyutsuz derinlik değerine bağlı katsayılar olup grafiklerden alınır. Bu Z' değeri ise (4.3) eşitliği kullanılarak bulunur:

$$Z' = z/R \quad Z'(\max) = L/R \quad (4.4)$$

R ise (4.5.) eşitliğiyle elde edilir:

$$R=(E_p I_p/k)^{1/4} \quad (4.5)$$

Kohezyonlu zeminlerde taban katsayısının derinlikle değişmediği varsayılarak (4.6) eşitliği verilmiştir(Vesic):

$$k = 0,65^{12} \sqrt{[E_s D^4/(E_p I_p)] \cdot E_s/(1-\mu_s^2)} \quad (4.7)$$

E_s : zeminin Young modülü (laboratuar konsolidasyon testi yardımıyla hesaplanabilir):

$$E_s = 3(1-\mu_s)/\mu_v \quad (4.8)$$

μ_v : hacimsel sıkışabilirlik katsayısı

$$\mu_v = \Delta e / [\Delta p(1 + e_{ort})] \quad (4.9)$$

D: kazığın çapı veya dörtgen enkesitli kazıklar için genişliği(kısa kenar)

μ_s : zeminin Poisson oranı ($\mu_s = 0,3 \sim 0,4$)

4.2.Granüler Zeminler İçin Yanal Yüklü Kazık Hesabı

Elastik ortamı (zemini) bir dizi sonlu-kapalı elastik yay kabul edilerek şu formül yazılabilir:

$$k=p'(kN/m^2)/x(m) \quad (4.10)$$

k: yatay yatak katsayısı

p': zemin üzerindeki basınç

x: çökme

Granüler zeminlerde z derinliğindeki taban tepki katsayısı aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir:

$$k_z = n_h z \quad (4.11)$$

Burada n_h yatay yatak katsayısı sabitidir.

Elastik temel üzerine oturan kiriş teorisini kullanarak, kazıya gelen yatay yükten dolayı zeminde oluşan gerilmeyi şu şekilde ifade etmek mümkündür:

$$p' = (E_p I_p) (dx^4/dz^4) \quad (4.12)$$

E_p : kazık malzemesinin Young modülü

I_p : kazık kesitinin atalet momenti

Aynı zamanda Winkler modeline göre:

$$p' = -kx \quad (4.13)$$

olduğuna göre, bu iki denklemin birleşiminden (4.14) elde edilir:

$$[(E_p I_p) (dx^4/dz^4)] + kx = 0 \quad (4.14)$$

Bu denklemin çözümünden de, kazıkla ilgili pek çok formüle ulaşılır. Bu formüller aşağıda sıralanmışlardır.

Kazığın herhangi bir z derinliğindeki dönmesi:

$$x_z(z) = [A_x Q_g T^3 / (E_p I_p)] + [B_x M_g T^2 / (E_p I_p)] \quad (4.15)$$

Kazığın herhangi bir z derinliğindeki eğimi:

$$\Theta_z(z) = [A_\Theta Q_g T^2 / (E_p I_p)] + [B_\Theta M_g T / (E_p I_p)] \quad (4.16)$$

Kazığa herhangi bir z derinliğinde etkiyen moment:

$$M_z(z)=[A_m Q_g T / (B_m M_g)] \quad (4.17)$$

Kazığa herhangi bir z derinliğinde etkiyen kesme kuvveti

$$V_z(z)=[A_v Q_g T] + [B_v M_g / T] \quad (4.18)$$

Herhangi bir z derinliğindeki zemin reaksiyonu:

$$p'_z(z)=[A_{p1} Q_g / T] + [B_{p1} M_g T] \quad (4.19)$$

Bu formüllerde kullanılan A_x , B_x , A , B , A_m , B_m , A_v , B_v , A_p' ve B_p' Z boyutsuz derinlik değerine bağlı katsayılar olup Çizelgelerden alınır. Bu Z değeri ise aşağıdaki denklem yardımıyla bulunur:

$$Z = z / T \quad (4.20)$$

T, zemin-kazık sisteminin karakteristik uzunluğu olup (4.21) eşitliği kullanılarak bulunur:

$$T = \sqrt[5]{(E_p I_p / n_h)} \quad (4.21)$$

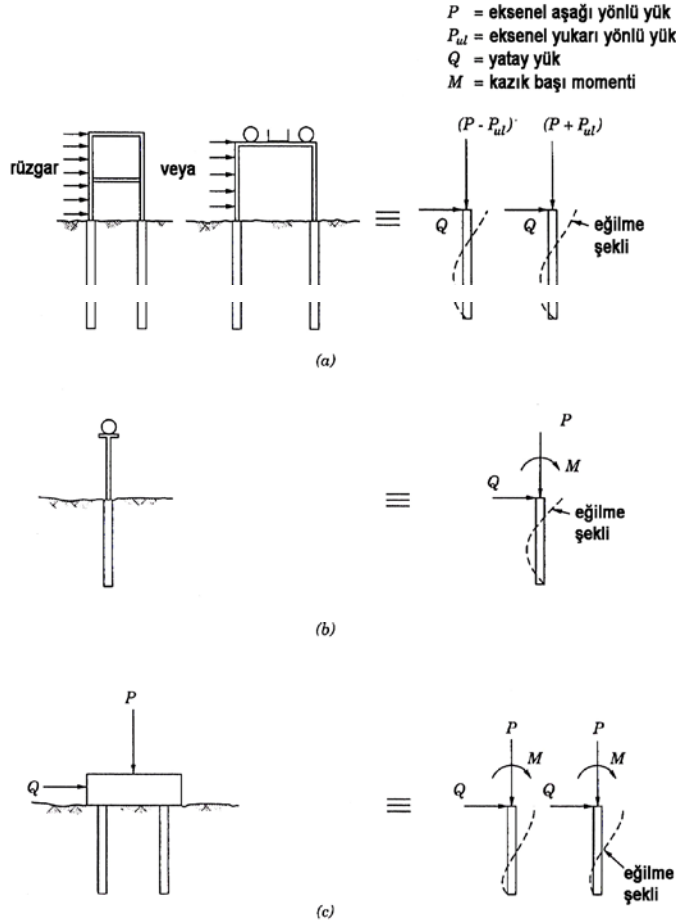
Bu T uzunluğu aynı zamanda kazık tipini belirlemek için de kullanılır:

$$L \geq 5T \quad (\text{Uzun kazık}) \quad L \leq 2T \quad (\text{Rijit kazık}) \quad (4.22)$$

4.3.Kohezyonsuz Zeminlerdeki Tekil Kazıkların Nihai Yatay Yük Gerilmeleri

Yatay yük etkisindeki tekil kazıkları ve kazık gruplarının analizi ve davranışının esasları ile tasarım prosedürü özet olarak aşağıdaki gibidir. Normalde, kazık çapı ve yerleşiminin belirlenmesi aksenal basınç yüküne göre yapılır, bu kazık çapının ve yerleşiminin yatay yükleri ve momentleri taşıyıp taşıyamadığına bakılır [1].

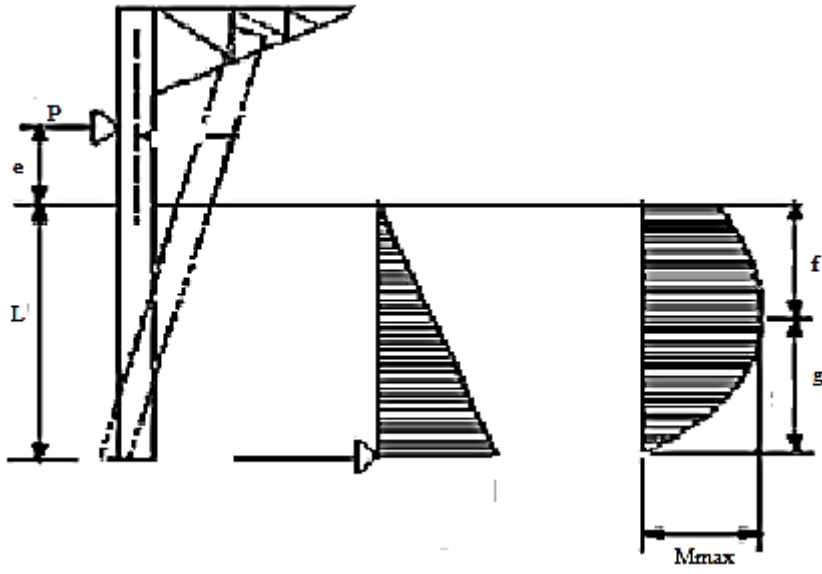
Brom's, derinlikle birlikte nihai gerilmenin dağılımını, *kısa rijit kazıklar* ve *uzun esnek kazıklar* olarak ikiye ayırmıştır. Bunları da *serbest başlı kazıklar* ve *sabit başlı kazıklar* olarak iki ayrı durumda incelemiştir.



Şekil 4.1. Yatay Yük Etkisindeki Kazıklar: a. Yatay ve düşey yük etkisindeki kazıklar (serbest başlı) b. Yatay yük, düşey yük ve moment etkisindeki kazıklar (serbest başlı) c. Yatay yük, düşey yük ve moment etkisindeki kazıklar (sabit başlı). (Prakash, 1990)

Serbest uçlu (ankrajsız / konsol) kazıklar: Kohezyonsuz zeminlerde, kısa ve uzun kazıkların göçme mekanizmaları Şekil 4.2 ve 4.3'de verilmiştir. Kısa kazıkların taşıyabileceği maksimum yanal yük aşağıda verilen denklem (4.23) yardımıyla hesaplanır veya Şekil 4.4 kullanılarak doğrudan bulunur:

$$P_u = (0,5\gamma DL^3 K_p)/(e+L) \quad (4.23)$$

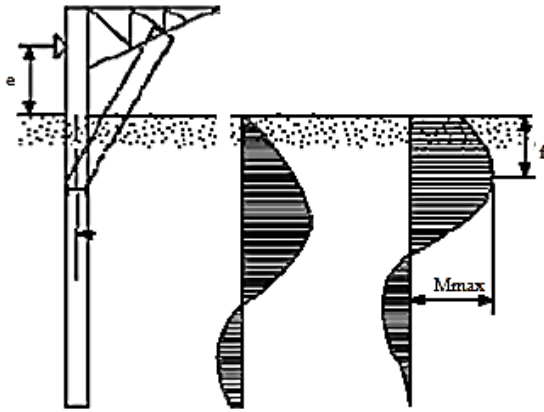


a) deformasyon

b) zemin tepkisi

c) eğilme momenti

Şekil 4.2. Kohezyonsuz zeminlerdeki yanal yüklü kısa kazıkların göçme mekanizması

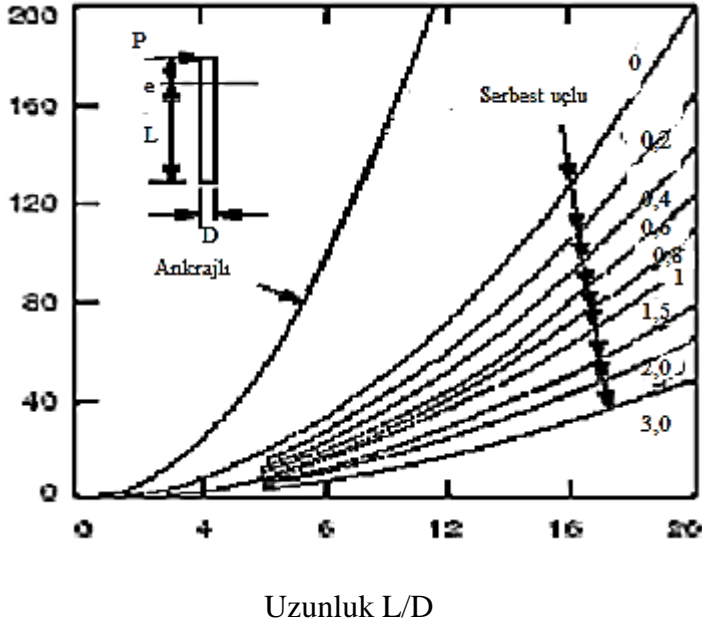


a)deformasyon

b)zemin tepkisi

c)eğilme momenti

Şekil 4.3. Kohezyonsuz zeminlerdeki yanal yüklü uzun kazıkların göçme mekanizması



Şekil 4.4. Kohezyonsuz zeminlerdeki kısa kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanıl yükler

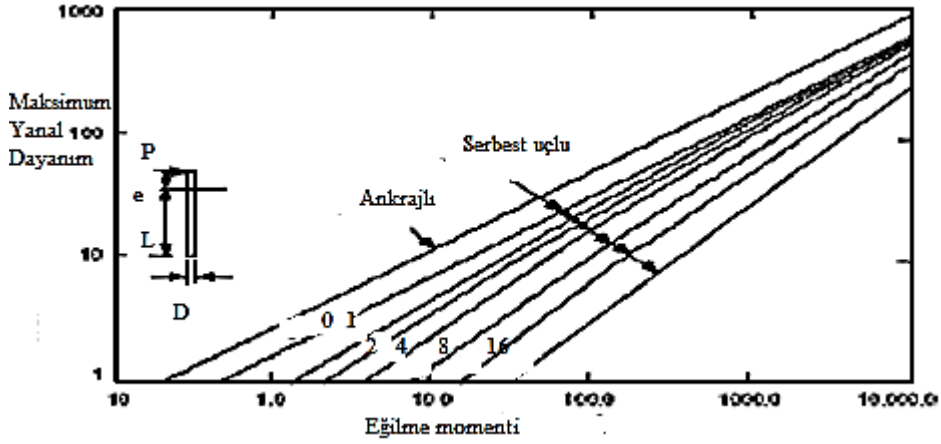
Maksimum momentin yerini belirlemek için gereken f mesafesi aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilir:

$$f = 0,82\sqrt{(P_u/DK_p\gamma)} \quad (4.24)$$

Sonuç olarak maksimum moment (4.25) denklemiyle bulunur:

$$M_{\max} = P_u(e + 0,67f) \quad (4.25)$$

Eğer hesapla bulunan M_{\max} değeri, kazık malzemesi için verilen $M_{\text{eğilme}}$ değerinden büyükse, kazık uzun kazık gibi davranır ve gerçek maksimum yanıl yük P_u , denklem (4.25)'de $M_{\max} = M_{\text{eğilme}}$ alınarak hesaplanır veya uzun kazıklar için verilen Çizelge yardımıyla doğrudan elde edilir.



Şekil 4.5. Kohezyonsuz zeminlerde uzun kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanal yükler

Sabit uçlu (ankrajlı) kazıklar: Ankrajlı kısa kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanal yük Şekil 4.5 yardımıyla doğrudan bulunabileceği gibi, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir:

$$P_u = 1,5\gamma DL^2 DK_p \quad (4.26)$$

P_u değerine bağlı olarak maksimum moment (4.27) ile hesaplanabilir:

$$M_{max} = (2/3)P_u L \quad (4.27)$$

Eğer hesapla bulunan M_{max} değeri, kazık malzemesi için verilen $M_{eğilme}$ değerinden büyükse, bu durumda önce kazığın orta boy kazık gibi davrandığı düşünülerek bir kez daha hesap yapılır. Bu durumda maksimum yanal yükün hesabı için, kazık alt ucundan (4.28) ifadesi kullanılarak moment alınır:

$$M_y = (0,5\gamma DL^3 K_p) - P_u L \quad (4.28)$$

Eğer hala hesapla bulunan M_{max} değeri, kazık malzemesi için verilen $M_{eğilme}$ değerinden büyükse, o zaman kazık uzun kazık gibi davranıyor demektir. Bu durumda kazığın taşıyabileceği maksimum yanal yük ya Şekil 4.5. yardımıyla elde edilir, ya da aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$P_u(e+0,67f)=2M_y \quad (4.29)$$

4.4.Kohezyonlu Zeminlerdeki Tekil Kazıkların Nihai Yatay Yük Gerilmeleri

Kazık, ağırlıklı olarak ince tanelerden oluşan bir zeminde bulunduğu, zeminin drenajsız durumda olması en kritik tasarım koşuludur. Kazığa uygulanabilecek maksimum yük şu faktörlere dayanır:

Kazığın, çevreleyen zemine göre rölatif sıkılığı: Eğer deformasyon durumunda zemin, kazık malzemesinden daha önce eğiliyorsa kazık “kısa kazık” olarak kabul edilir. Benzer şekilde eğer önce kazık malzemesi eğiliyorsa, o zaman da kazık “uzun kazık” olarak kabul edilir.

- Kazık başının serbest veya rijit oluşu: Tekil kazıkların çoğu yanal yükleme altında serbest uçlu kabul edilirken, kazık başlığıyla bağlanmış grup kazıklar genellikle rijit uçlu kabul edilir.

•

Serbest uçlu (ankrajsız / konsol) kazıklar: Maksimum momentin olduğu noktada kesme kuvveti sıfır olduğuna göre, zemin reaksiyon eğrisinin alanından(6.30) eşitliği elde edilebilir:

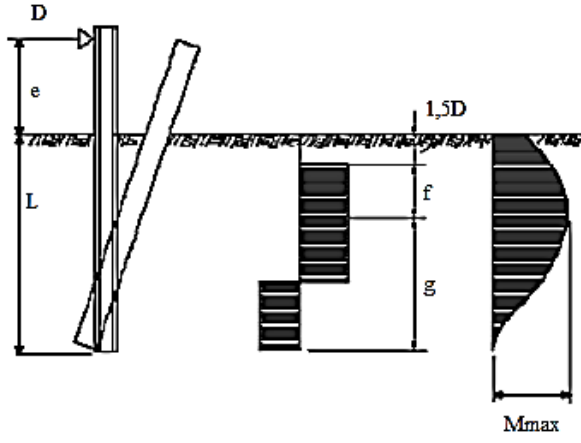
$$f = P_u / 9c_u D \quad (4.30)$$

Benzer biçimde, Şekil 4.6'daki eğilme noktasına göre birinci momentler alınarak aşağıdaki ifade elde edilir:

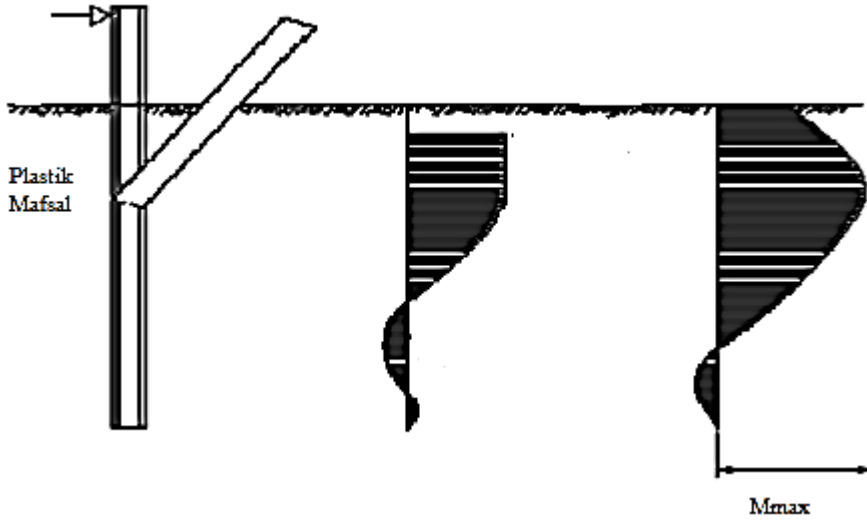
$$M_{\max} = 2.25 Dg^2 c_u$$
$$M_{\max} = H_u (e + 1,5D + 0,5f) \quad (4.31)$$

Kazığın toplam boyu için de (4.32) eşitliği verilebilir:

$$L = g + 1,5D + f \quad (4.32)$$



Şekil 4.6. Kohezyonlu zeminlerdeki yanal yüklü kısa kazıkların yer değiştirme, zemin reaksiyonu ve moment dağılımları

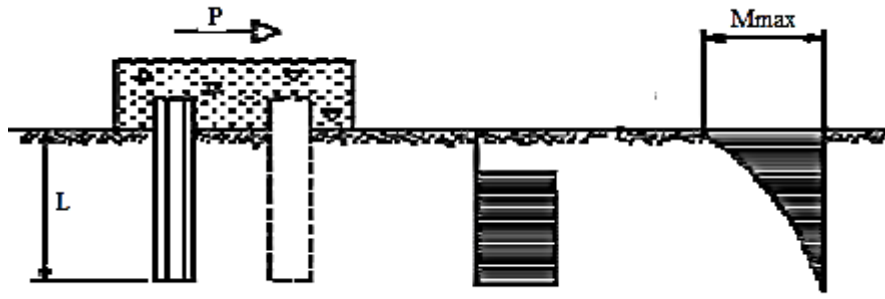


a) deformasyon b) zemin tepkisi c) eğilme momenti

Şekil 4.7. Kohezyonlu zeminlerdeki yanal yüklü uzun kazıkların yer değiştirme, zemin reaksiyonu ve moment dağılımları

Kohezyonlu zeminlerdeki yanal yüklü kısa ve uzun kazıkların yer değiştirme, zemin reaksiyonu ve moment dağılımları sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 ile verilmiştir.

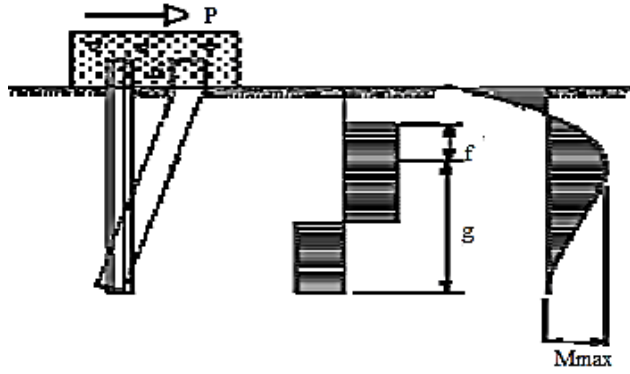
Sabit uçlu (ankrajlı) kazıklar: Brooms formüllerine göre ankrajlı kazıklar, kısa kazıklar, orta boy kazıklar ve uzun kazıklar olmak üzere üç farklı mekanizmayla maksimum kapasitelerine ulaşırlar. Bu üç farklı durum Şekil 4.8 ile verilmiştir. Bu durumlar için geliştirilen analitik çözümler için yapılan varsayım ise, kazık başında (tepesinde) oluşan momentin, kazığın, tepedeki sınır koşullarını sağlayacak şekilde kazık başlığıyla ankrajlanarak sağlandığıdır. Kısa kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanal yükler (P_u), gömülme boyuna, kazık çapına ve kazık basının durumuna göre Şekil 4.9 yardımıyla doğrudan bulunabilirler.



a) deformasyon

b) zemin tepkisi

c) Eğilme momenti



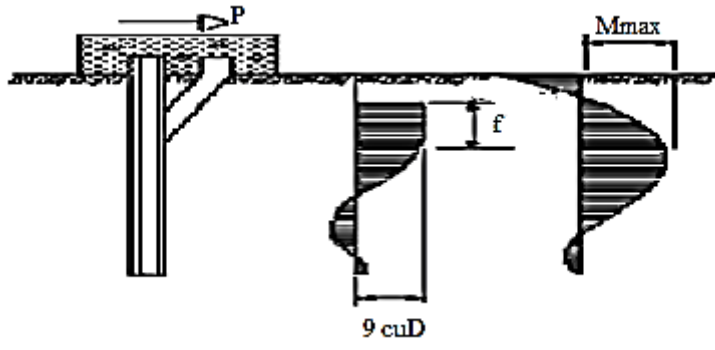
a) deformasyon

b) zemin tepkisi

c) eğilme momenti

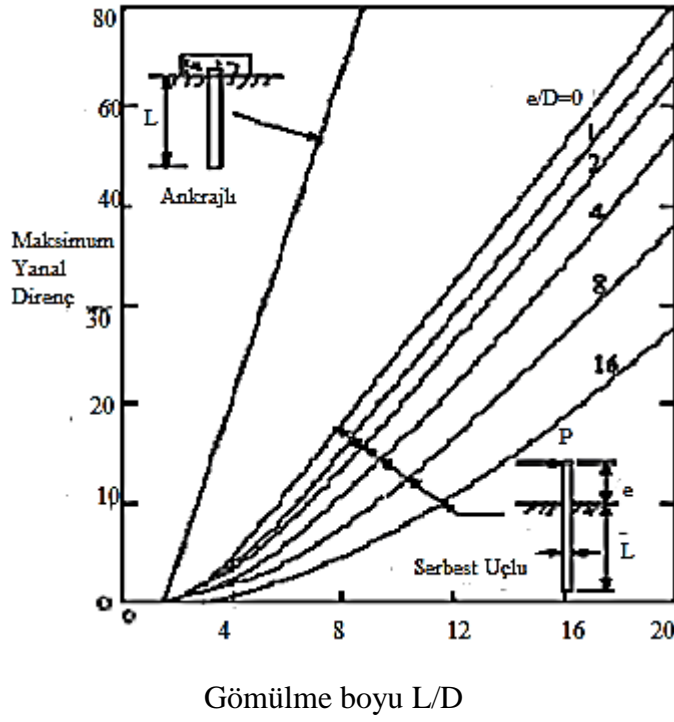
Şekil 4.8. Kohezyonlu ($c \neq 0$) zeminlerdeki yanal yüklü, ankrajlı kazıkların göçme mekanizmaları

1) Kısa kazıklar 2) Orta boy kazıklar 3) Uzun kazıklar



a)deformasyon b)zemin tepkisi c)eğilme momenti

Şekil 4.9.Kohezyonlu ($c \neq 0$) zeminlerdeki yanal yüklü, ankrajlı kazıkların göçme mekanizmaları



Şekil 4.10.Kohezyonlu zeminlerdeki kısa kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yükler

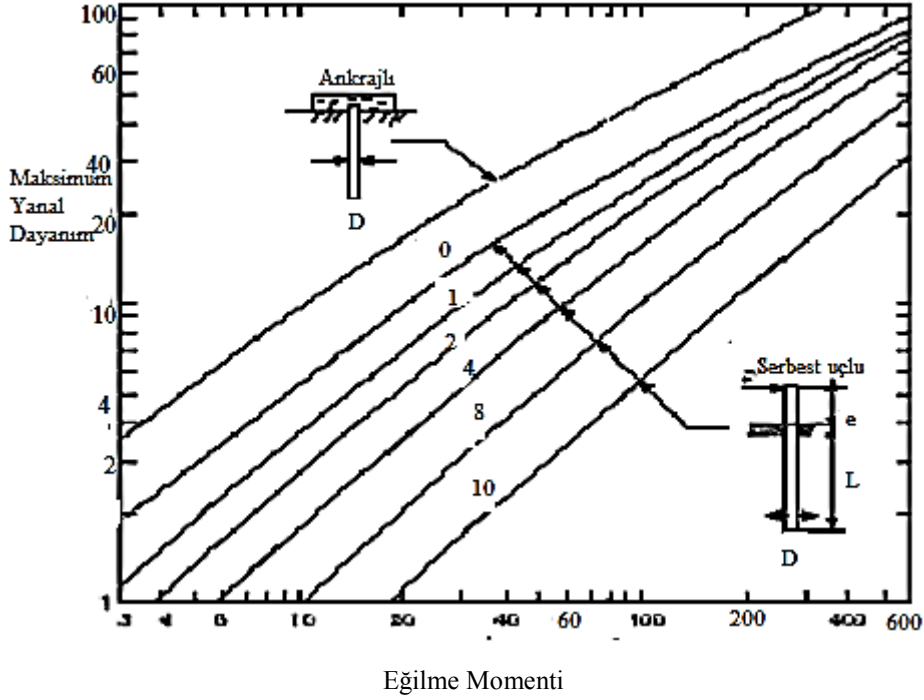
Kazığın dayanabileceği maksimum moment ve maksimum yanal yük aşağıdaki eşitliklerle de hesaplanabilir:

$$P_u = 9c_u D (L - 1,5D)$$

$$M_{max} = P_u (0,5L + 0,75D) \quad (4.33)$$

Uzun kazıklar için maksimum yanal yük benzer biçimde Şekil 4.2 yardımıyla bulunup, aşağıdaki eşitlik kullanılarak f uzunluğu ve buna bağlı olarak kazığın eğilme noktası bulunabilir:

$$P_u = 2M_y / (1,5d + 0,5f) \quad (4.34)$$



Şekil 4.11. Kohezyonlu zeminlerdeki uzun kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanal yükler.

Orta boy kazıklarda eğilme tepede meydana gelir (Şekil 4.9 (b)) ve P_u 'yu elde etmek için aşağıdaki denklemler kullanılabilir:

$$f = P_u / (9c_u D) \quad (4.35)$$

$$M_y = 2,25 c_u D g^2 - 9c_u D f (1,5D + 0,5f) \quad (4.36)$$

$$L = g + 1,5 D + f \quad (4.37)$$

4.5. Deformasyonlara Bağlı Yanal Yük Kapasitesi

Tasarımın amacına ulaşabilmesi için, izin verilebilir maksimum zemin deformasyonlarının, yanal yüklü kazığın yanal deformasyonlarıyla kıyaslanması gerekir. Bu deformasyonların elde edilebilmesi içinse doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan (non-lineer) yöntemler geliştirilmiştir.

4.5.1. Lineer elastik yöntem

Yanal yüklü bir kazık, sonsuz elastik bir ortamda denklem (4.38) ile ifade edilen yatay deformasyonla, yanal deformasyona uğrayan sonsuz uzunlukta bir silindir gibi idealize edilebilir:

$$p=k_h \cdot y \quad (4.38)$$

Yayıllı yük ve moment bağıntılarından (4.39) elde edilir:

$$pB=(d^2M/dz^2)=- E_p I (d^2y/dz^2) \quad (4.39)$$

B: kazık genişliği

$E_p I$: kazığın rijitliği

Bu ifade yardımıyla, yatay deformasyonu yöneten denklem aşağıdaki hali alır:

$$E_p I (d^4y/dz^4)+Bk_h y =0 \quad (4.40)$$

(4.41) eşitliğinin y 'ye göre çözümünün karakteristik katsayısı da aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\beta=(k_h D/4E_p I)^{1/4} \quad (4.41)$$

$1/\beta$: boyutsuz uzunluk

k_h : yatay zemin reaksiyon katsayısı

Brooms, β katsayısı 2'den az olduğu takdirde yanal yüklü kazığın sonsuz rijit davrandığını kanıtlamıştır β . $L \geq 4$ olduğu durumda ise kazık, maksimum eğilme momenti kazık kesitinin eğilme dayanımına ulaştığı zaman çöken sonsuz uzun bir eleman gibi davranır.

4.5.1.1.Serbest uçlu (ankrajsız / konsol) kazıklar

1. Durum: H yanal yüküne bağlı deformasyon:

Bu konu ile ilgili aşağıda verilen denklemler Şekil 4.11 ile verilen yanal yüklü konsol kazıklarla bağlantılı olarak, d genişliğinde bir kazık için geliştirilmiştir.

Yatay yer değiştirme:

$$\Delta = ((2H\beta^3)/k_h d) K_{\Delta H} \quad (4.42)$$

Eğim:

$$\Theta = ((2M_0\beta^3)/k_h d) K_{\Theta m}$$

Moment:

$$M = -(H/\beta) K_{MH} \quad (4.44)$$

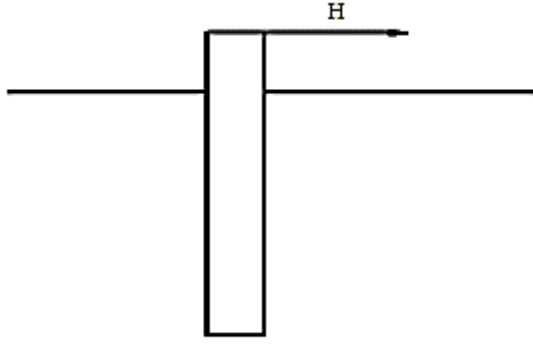
Kesme kuvveti:

$$V = -H K_{VH} \quad (4.45)$$

Etki faktörleri olan $K_{\Delta H}$, $K_{\Theta H}$, K_{MH} ve K_{VH} izelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Lineer çözüm için etki faktörleri

| βL | Z/L | K(ΔH) | K(θH) | K(MH) | K(VH) | K(ΔM) | K(θM) | K(MM) | K(VM) |
|-----------|-------|-----------------|-----------------|---------|---------|-----------------|-----------------|---------|---------|
| 2,0 | 0 | 1,1376 | 1,1341 | 0 | 1 | -1,0762 | 1,0762 | 1 | 0 |
| 2,0 | 0,125 | 0,8586 | 1,0828 | 0,1848 | 0,5015 | -0,6579 | 0,8314 | 0,9397 | 0,2214 |
| 2,0 | 0,25 | 0,6015 | 0,9673 | 0,262 | 0,1377 | -0,2982 | 0,6133 | 0,7959 | 0,3387 |
| 2,0 | 0,375 | 0,3764 | 0,8333 | 0,2637 | -0,1054 | -0,0376 | 0,4366 | 0,6138 | 0,3788 |
| 2,0 | 0,5 | 0,1838 | 0,7115 | 0,218 | -0,2442 | 0,1463 | 0,3068 | 0,4262 | 0,3639 |
| 2,0 | 0,625 | 0,0182 | 0,6192 | 0,1491 | -0,2937 | 0,2767 | 0,222 | 0,2564 | 0,3101 |
| 2,0 | 0,75 | -0,1288 | 0,5628 | 0,0776 | -0,2654 | 0,3747 | 0,1757 | 0,1208 | 0,2282 |
| 2,0 | 0,875 | -0,2659 | 0,5389 | 0,0222 | -0,1665 | 0,4572 | 0,1578 | 0,0318 | 0,1241 |
| 2,0 | 1 | -0,3999 | 0,5351 | 0 | 0 | 0,5351 | 0,1551 | 0 | 0 |
| 3,0 | 0,125 | 0,6459 | 0,8919 | 0,2508 | 0,3829 | -0,3854 | 0,6433 | 0,8913 | 0,2514 |
| 3,0 | 0,25 | 0,3515 | 0,6698 | 0,3184 | 0,0141 | -0,0184 | 0,3493 | 0,6684 | 0,3202 |
| 3,0 | 0,375 | 0,1444 | 0,4394 | 0,285 | -0,1661 | 0,1607 | 0,1429 | 0,436 | 0,2887 |
| 3,0 | 0,5 | 0,0164 | 0,2528 | 0,2091 | -0,2223 | 0,2162 | 0,0168 | 0,2458 | 0,215 |
| 3,0 | 0,625 | -0,0529 | 0,1271 | 0,1272 | -0,2057 | 0,2011 | -0,0489 | 0,1148 | 0,1353 |
| 3,0 | 0,75 | -0,0861 | 0,0584 | 0,0594 | -0,1519 | 0,1524 | -0,0763 | 0,0396 | 0,0684 |
| 3,0 | 0,875 | -0,1021 | 0,0321 | 0,0154 | -0,0807 | 0,0916 | -0,0839 | 0,0069 | 0,0225 |
| 3,0 | 1 | -0,133 | 0,0282 | 0 | 0 | 0,0282 | -0,0847 | 0 | 0 |
| 4,0 | 0 | 1,0008 | 1,0015 | 0 | 0 | 0,0282 | -0,0847 | 0 | 0 |
| 4,0 | 0,125 | 0,5323 | 0,8247 | 0,2907 | 0,2411 | -0,2409 | 0,5344 | 0,8229 | 0,2910 |
| 4,0 | 0,25 | 0,1979 | 0,5101 | 0,3093 | -0,1108 | 0,1136 | 0,2010 | 0,5082 | 0,3090 |
| 4,0 | 0,375 | 0,014 | 0,2403 | 0,2226 | -0,2055 | 0,2118 | 0,0178 | 0,2397 | 0,2200 |
| 4,0 | 0,5 | -0,059 | 0,0682 | 0,1243 | -0,1758 | 0,1858 | -0,0558 | 0,0720 | 0,1176 |
| 4,0 | 0,625 | -0,0687 | -0,0176 | 0,0529 | -0,1084 | 0,1200 | -0,0696 | -0,0043 | 0,0406 |
| 4,0 | 0,75 | -0,0505 | -0,0488 | 0,0147 | -0,0475 | 0,0538 | -0,0616 | -0,0206 | -0,0025 |
| 4,0 | 0,875 | -0,0239 | -0,0552 | 0,0014 | -0,0101 | -0,0033 | -0,0535 | -0,0096 | -0,0148 |
| 4,0 | 1 | 0,0038 | -0,0555 | 0 | 0 | -0,0555 | -0,0517 | 0 | 0 |
| 5,0 | 0 | 1,0003 | 1,0003 | 0 | 1 | -1,0003 | 1,0002 | 1 | 0 |
| 5,0 | 0,125 | 0,4342 | 0,7476 | 0,3131 | 0,1206 | -0,1210 | 0,4343 | 0,7472 | 0,3133 |
| 5,0 | 0,25 | 0,0901 | 0,3628 | 0,2716 | -0,1817 | 0,1818 | 0,0907 | 0,3620 | 0,2720 |
| 5,0 | 0,365 | -0,0466 | 0,1013 | 0,1461 | -0,1919 | 0,1930 | -0,0455 | 0,1002 | 0,1461 |
| 5,0 | 0,5 | -0,0671 | -0,0157 | 0,0494 | -0,1133 | 0,1163 | -0,0654 | -0,0161 | 0,0482 |
| 5,0 | 0,625 | -0,0456 | -0,0435 | 0,0026 | -0,0412 | 0,0461 | -0,0444 | -0,0409 | -0,0012 |
| 5,0 | 0,75 | -0,0197 | -0,0369 | -0,0088 | -0,0008 | 0,0055 | -0,0221 | -0,0276 | -0,0159 |
| 5,0 | 0,875 | 0,0002 | -0,0279 | -0,0044 | 0,0108 | -0,0139 | -0,0110 | -0,0086 | -0,0125 |
| 5,0 | 1 | 0,0167 | -0,0259 | 0 | 0 | -0,0259 | -0,0091 | 0 | 0 |



Şekil 4.12. H yanal yüküne maruz konsol kazık

2. Durum: M_0 momentine bağlı yanal deformasyon:

Aşağıdaki denklemler Şekil 4.12 ile verilen M momentine bağlı konsol kazıklarla bağlantılı olarak, d genişliğinde bir kazık için geliştirilmiştir.

Yatay yer değiştirme:

$$\Delta = ((2M_0\beta^2)/k_h d) K_{\Delta M} \quad (4.46)$$

Eğim:

$$\Theta = ((2M_0\beta^3)/k_h d) K_{\Theta M} \quad (4.47)$$

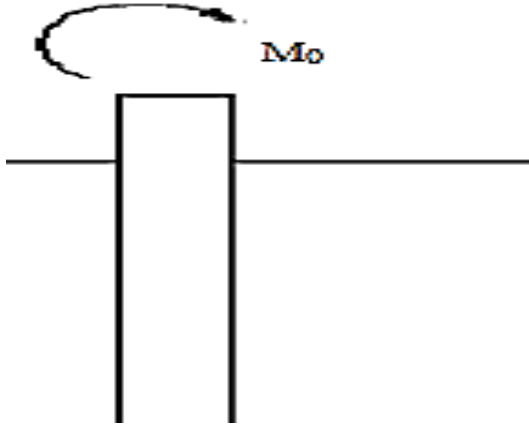
Moment:

$$M = M_0 K_{MM} \quad (4.48)$$

Kesme kuvveti:

$$V = -2M_0\beta K_{VM} \quad (4.49)$$

Etki faktörleri olan $K_{\Delta H}$, $K_{\Theta H}$, K_{MH} ve K_{VH} Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.13. M_0 momentine maruz konsol kazık

4.5.1.2.Sabit uçlu (ankrajlı) kazıklar

Çözümün elastik doğasına bağlı olarak, ankrajlı kazıkların yanal deformasyonları, aşağıdaki nedenlerle oluşan deformasyonlar toplanarak elde edilebilir:

- Bilinen deformasyon oluşturan moment ve kazık basındaki bilinmeyen ankraj momenti.
- Bilinen yanal deformasyon oluşturan kuvvet ve kazık basındaki bilinmeyen ankraj momenti,

Sonrasında, ankrajlı olduğundan dolayı kazık basındaki momenti sıfır kabul ederek, bilinmeyen ankraj momenti ve bileşke çözüm elde edilebilir.

4.5.2. Lineer olmayan yöntemler

Son zamanlarda, üstün hesap kabiliyetleri nedeniyle doğrusal olmayan pek çok sayısal yöntem oldukça popüler hale gelmiştir. Bunlar içinden sıklıkla kullanılanları rijitlik matrisi çözüm yöntemi (sonlu elemanlar yöntemi) ve yanal yük-deformasyon (p-y) yaklaşımıdır.

4.5.2.1.Rijitlik matrisi çözüm yöntemi

Bu yöntem, klasik sonlu elemanlar ve rijitlik matrisi yöntemlerinin temel formülasyonları arasındaki benzerliklerden ötürü “sonlu elemanlar yöntemi” olarak da adlandırılmaktadır. İlk olarak kazık belli sayıda bir boyutlu kiriş elemanlarına bölünür. Şekil 4.14’de bu durum gösterilmiştir. Şekildeki ifadeleri açıklamak gerekirse:

1, 2, ..., N (Koyu renkli) : düğüm noktası numarası

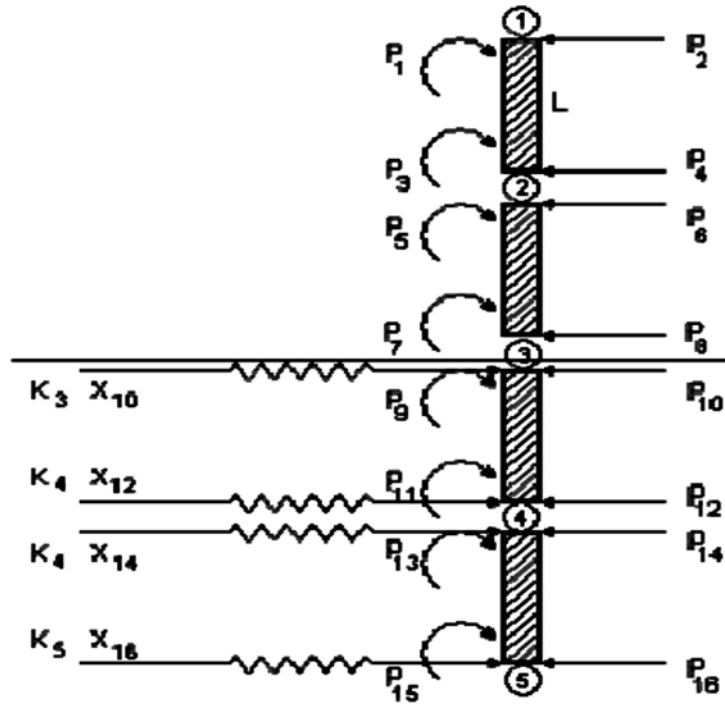
P_i (i çift) : kazıkta düğüm noktalarında toplanmış yanal yükler

P_i (i tek) : kazıkta düğüm noktalarında toplanmış iç momentler

X_i (i çift) : her bir kazık elemanının düğüm noktası deformasyonu

X_i (i tek) : her bir kazık elemanının düğüm noktası dönmesi

K_j : eşdeğer bir yay rijitliğiyle ifade edilen yanal zemin



Şekil 4.14.Yanal yüklü kazıkların çözümü için rijitlik matrisi yöntemi

Yapısal analizdeki eğim-deformasyon bağıntıları yardımıyla, serbest bir kazık elemanı için aşağıdaki rijitlik bağıntısı yazılabilir:

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4EI/L & 6EI/L^2 & 2EI/L & -6EI/L^2 \\ 6EI/L^2 & 12EI/L^2 & 6EI/L^2 & -12EI/L^3 \\ 2EI/L & 6EI/L^2 & 4EI/L & -6EI/L^2 \\ -6EI/L^2 & -12EI/L^3 & -6EI/L^2 & 12EI/L^3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix}^T \quad (4.50)$$

Burada EI kazığın rijitliği, L ise her bir kazık elemanının boyudur. Eğer kazık elastik zemin üzerindeki bir kiriş olarak ele alınırsa, aşağıdaki ifade yardımıyla herhangi bir derinlikteki yanal zemin reaksiyonu modülü k_h 'ın herhangi bir derinlikteki yanal kazık deformasyonu ile ilişkilendirilmesi sağlanır:

$$p = k_h y \quad (4.51)$$

Böylece K_j yay rijitliği de, yanal zemin reaksiyonu modülü k_h cinsinden ifade edilebilir.

Gömülü düğüm noktaları için:

$$K_j = LBk_h \quad (4.52)$$

Zemin yüzeyinin üstünde kalan düğüm noktaları için:

$$K_j = 0,5LBk_h \quad (4.53)$$

Burada B kazık genişliği veya çapıdır.

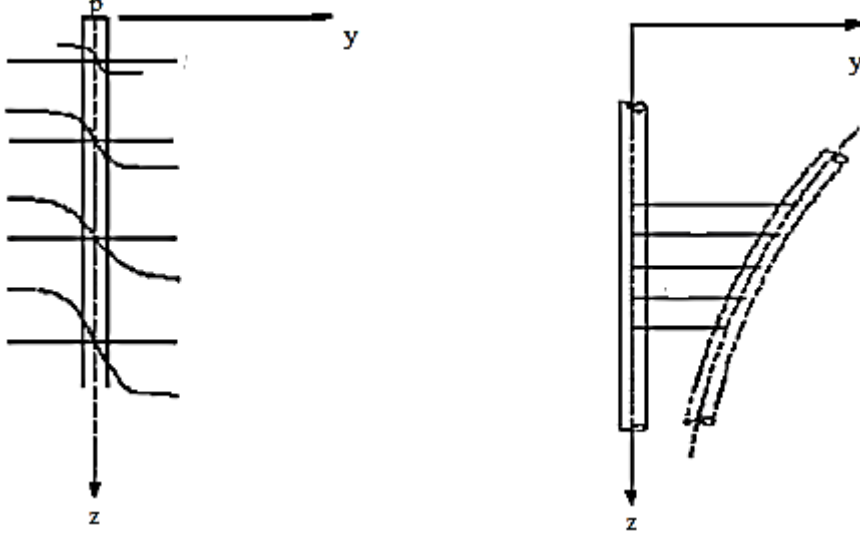
4.5.2.2. Yanal basınç-deformasyon (p-y) yöntemi

Lineer elastik yöntemde kullanılan yayılı yük-moment bağıntısının aşağıdaki hali Reese tarafından p-y eğrisi yaklaşımına uyarlanmıştır:

$$(d^2M)/(dz^2) + P(z)(d^2y)/(dz^2) - p' = 0 \quad (4.54)$$

Burada p' kazığın birim uzunluğuna gelen zemin tepkisidir. Bu denklemde yanal yüklemekten dolayı kazıkta meydana gelen sonlu eğilmeye bağlı olarak $P(z)$

eksenel yükünün sebep olduğu kesme ve moment etkileri de göz önüne alınmaktadır. (Şekil 4.15)



Şekil 4.15. Yanal yüklü kazıkların ve kazıktaki eğilmenin çözümü için p-y eğrisi yöntemi

Buna göre, kesme kuvveti ve kazık boyunca herhangi bir derinlikteki zemin reaksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$S = EI (d^3y)/(dz^3) + P_{(z)}(dy)(dz) \quad (4.55)$$

$$p' = EI (d^4y)/(dz^4) + P_{(z)}(d^2y)(dz^2) \quad (4.56)$$

Yukarıdaki denklemin sonlu farklar (Finite differences:FD) formu (4.57) ifadesiyle verilmiştir:

$$y_{m-2}R_{m-1} + y_{m-1}(-2R_{m-1}2R_m + P_2h^2) + y_m(R_{m1} + 4R_m + R_{m+1}2P_2h^2 + k_mh^4) + y_{m+1}(-2R_m - 2R_{m+1} + P_2h^2) + y_{m+2}R_{m+1} = 0 \quad (4.57)$$

Burada:

$$R_m = E_m I_m \quad (4.58)$$

Bu denklemde kullanılan ifadelerin anlamlarını açıklamak gerekirse:

R_m: m'inci düğüm noktasının rijitliği

y_m : m'inci düğüm noktasındaki yatay deformasyon

h : sonlu fark adım boyu (kazık boyunca nodal mesafe)

P_z : m'inci düğüm noktasında ve z derinliğindeki aksenal yük

k_m parametresi aşağıdaki eşitlik kullanılarak, her m düğüm noktası için, o noktaya tekabül eden derinliğe bağlı olarak belirlenecek p - y eğrisi yardımıyla bulunabilir:

$$p^i = k_m y \quad (4.59)$$

Sonuç olarak, aşağıdaki sınır koşulları kullanılır:

- Kazığın ortasında kesme ve moment sıfırdır.
- Kazık başındaki yanal yük ve moment (veya eğim ya da açıl sınırlılık) bilinmemektedir.

Sonlu farklar (FD) algoritması çözülerek herhangi bir derinlik için yanal deformasyon, kazıktaki dönme, kazık boyunca moment ve kesme sayısal olarak belirlenebilir. Reese'e göre p - y yönteminde zeminin herhangi bir derinlikteki davranışı, diğer derinliklerdeki davranışından bağımsız olmasını gerektirir ki bu doğru bir varsayım değildir. Fakat yapılan deneyler, yukarıdaki ifadenin uygulamaya yönelik koşullarda doğru sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır.

4.5.2.3. p - y eğrilerinin birleştirilmesi

Yanal yüklenerek deneye tabi tutulmuş bir kazık boyunca elde edilen gerilme sayacı okumaları, Hameed tarafından, kazık boyunca sonlu sayıda noktada yanal yük geçiş eğrilerini (p - y eğrileri) geliştirmek için kullanılmıştır.

Verilen herhangi bir yanal yükleme durumu için kazık üzerinde herhangi bir noktadaki p (yanal yayılı yük şiddeti) ve y (yanal deformasyon) değerleri, aşağıdaki sayısal işlemler kullanılarak hesaplanabilir. Basit kiriş teorisine göre:

$$(d^2y)/(dz^2) = (\epsilon/h) \quad (4.60)$$

y : yanal deformasyon

z : kazık üzerinde düşey koordinat

h: kazık kesitinin tarafsız eksenine göre gerilme sayacı arasındaki mesafe
 ϵ : z'deki gerilme sayacı okuması

Böylece yanal deformasyon (y) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$Y = \frac{1}{h} \int \int \epsilon dz \quad (4.61)$$

Benzer şekilde, önceki formüller kullanılarak yayılı zemin yükü (p) de (4.62) kullanılarak hesaplanabilir:

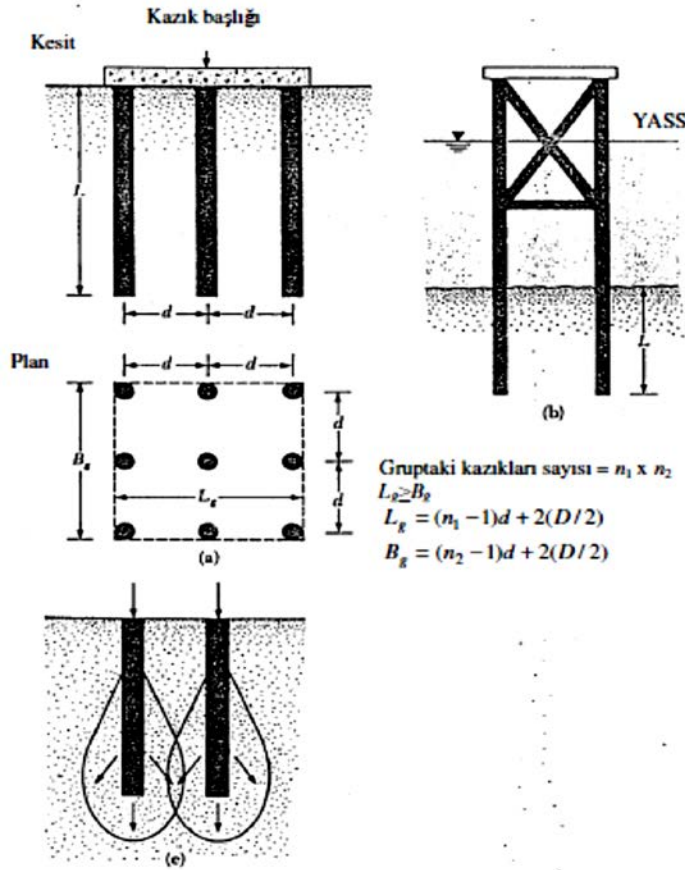
$$p = - \frac{E_p I d^3 \epsilon}{h B d z^2} \quad (4.62)$$

Buradan görülüyor ki, p ve y değerleri, ölçülen eğilme gerilmelerine uygun matematiksel bir p-y eğrisi yaklaşımıyla hesaplanabilmektedir. Bu problem genelde ya doğru ölçülmüş gerilme verilerinin olduğu noktalar arasında üçüncü dereceden bir eğri denklemi uyarlanarak veya gerilme verilerinin alındığı bütün noktalar için uygun, daha yüksek dereceli bir polinom kullanılarak sonuçlandırılır.

5. KAZIK GRUPLARI VE OTURMA KRİTERLERİ

5.1. Grup Kazıkların Verimliliği

Birçok duruma, yapı yükünü zemine aktarmak için kazıklar, Şekil 5.1’de gösterildiği gibi gruplar halinde kullanılırlar. Kazık gruplarının üzerine bir kazık başlığı inşa edilir. Kazık başlıkları, birçok durumda zeminle temas halinde olabilecekleri gibi (Şekil5.1a), su üzeri platform yapılarında zemin seviyesinden yukarıda da olabilirler (Şekil 5.1b).



Şekil 5.1 Kazık gruplarının farklı görünüşleri

Tek bir kazığın yük taşıma kapasitesi 3. bölümde açıklanmıştır. Grup kazıkların yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesi oldukça karışık bir problemdir ve henüz tam olarak netleştirilip çözüme ulaşılamamıştır. Kazıklar birbirlerine

yakın olarak yerleştirildiğinde, kazıklar tarafından zemin tabakasına aktarılan gerilmelerin kesişmesi durumu söz konusudur (Şekil5.1c). Bu sebeple kazıkların yük taşıma kapasitelerini azaltmaktadır. İdealizasyon yapıldığında, kazıklar zemine öyle bir ara mesafeyle yerleştirilmelidir ki, grup yük taşıma kapasitesinin, her bir kazığın yük taşıma kapasiteleri toplamından daha az olmaması sağlanmalıdır. Pratikte, merkezden merkeze kazık aralığı (d), $2,5D$ olarak kullanılmakta, bununla beraber, sıra dışı durumlarda bu ara mesafe $3-3,5D$ 'ye çıkabilmektedir (Das,1984).

Sönmez ve Ergun, 1994, yaptıkları bir model çalışmasında, grup kazıkların davranışlarını çeşitli mesafelerde incelemiş, grup etkisinin $2B$ ve $3B$ mesafesinde gözlemlendiğini, $3B$ den itibaren kaybolmaya başladığı ve $4B$ den sonra sona erdiği belirtmişlerdir. Grup kazığın yük taşıma kapasitesinin verimliliği şu şekilde ifade edilebilir:

$$\eta = Q_{g(u)} / \sum Q_u \quad (5.1)$$

burada η = grup verimliliği

$Q_{g(u)}$ = grup kazığın nihai yük taşıma kapasitesi

Q_u = her bir kazığın grup etkisi göz önüne alınmadan nihai yük taşıma kapasitesidir.

5.1.1. Kumdaki kazık gruplarının verimliliği

Kumdaki sürtünme kazıklarının grup verimliliğini belirlemek için, birçok yapı mühendisi basitleştirilmiş bir analiz kullanmaktadırlar. Bu durum, (Şekil 5.1(a))'nın yardımıyla açıklanabilir. Gruptaki yerleşimlerine bağlı olarak, kazıklar şu iki yoldan birindeki gibi davranırlar:

$L_g \times B_g \times L$ ölçülerine sahip bir blok gibi, ya da münferit tekil kazıklar gibi. Eğer kazıklar blok şeklinde davranırlarsa, sürtünme kapasiteleri şu şekilde ifade edilebilir: $f_{av} p g L \approx Q_{g(u)}$. Burada dikkat edilmesi gereken, $p g$ = blok kesitinin çevresi = $2(n_1 + n_2 - 2)d + 4D$ ve f_{av} = ortalama birim sürtünme dayanımı olduğudur. Benzer şekilde, bireysel hareket eden her bir kazık için de $Q_u \approx p L f_{av}$ 'dir. Burada da p = her bir kazığın kesitinin çevresidir.

Böylece;

$$\eta = Q_{g(u)} / \sum Q_u = (f_{av} [2(n_1+n_2-2)d+4D]L) / (n_1 \times n_2) P L f_{av} \quad (5.2)$$

$$\eta = (2(n_1+n_2-2)d+4D) / (n_1 \times n_2) P \quad (5.3)$$

$$Q_{g(u)} = [(2(n_1+n_2-2)d+4D) / (n_1 \times n_2) P] \sum Q_u \quad (5.4)$$

Denklem (5.4)'ten, eğer merkezden merkeze kazık aralığı (d) büyükse, $\eta > 1$ olur. Bu durumda, kazıklar münferit kazık olarak davranırlar. Eğer pratikte $\eta < 1$ ise,

$$Q_{gu} = Q \quad \eta \sum Q_u$$

$$\eta \geq 1 \text{ ise, } Q_{g(u)} = Q_u$$

Dizayn mühendisleri tarafından önerilen bir diğer eşitlik de Converse-Labarre denklemidir. Converse-Labarre denklemine göre;

$$\eta = 1 - [(n_1-1)n_2 + ((n_2-1)n_1) / 90n_1.n_2] \theta \quad (5.5)$$

burada derece cinsinden $\theta = \text{tg}^{-1} (D / d)$ 'dir.

Gerçekte, grup verimliliği bir ya da daha büyük olabilmektedir. Bu da, kazıklar çakılırken kazık etrafında zemin kompaksiyon alanlarının oluşmasından kaynaklanmaktadır. Kumdaki grup kazıklar üzerine yapılan bunca araştırmaya dayanarak, aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Kumdaki çakma kazıklarda, $d \geq 3D$ ise, $Q_{g(u)}$ yaklaşık $\sum Q_u$ 'ya eşit alınabilir. Bu, tek bir kazığın hem yüzey hem de uç taşıma kapasitesini kapsamaktadır.
- Kumdaki delgi kazıklarda, $d \approx 3D$ ise, $Q_{g(u)}$ yaklaşık $\sum Q_u$ 'nun $2/3 - 3/4$ katı olarak alınabilir.

5.1.2. Kildeki kazık gruplarının verimliliği

Killerdeki kazık gruplarının yük taşıma kapasiteleri aşağıdaki şekilde belirlenebilir:

$$Q_u = n_1 \cdot n_2 (Q_p + Q_s)$$

$$Q_p = A_p [9c_{u(p)}]$$

$$Q_s = \sum p c_u \Delta L$$

$$\text{Böylece; } \sum Q_u = n_1 n_2 (A_p [9c_{u(p)}] + \sum p c_u \Delta L) \quad (5.6)$$

Gruptaki kazıkların $L_g \times B_g \times L$ ölçülerine sahip bir blok gibi davrandığını varsayarak, nihai yüzey kapasitesi;

$$\sum p c_u \Delta L = (2(L_g + B_g) c_u \Delta L)$$

Uç taşıma kapasitesi;

$$A_p q_p = A_p c_{u(p)} N_c^* = (L_g B_g) c_{u(p)} N_c^*$$

$$\text{Böylece; } \sum Q_u = (L_g B_g) c_{u(p)} N_c^* + 2(L_g + B_g) c_u \Delta L \quad (5.7)$$

(5.6) ve (5.7) denklemlerinin sonuçlarını kıyaslayıp, küçük olanın $Q_{g(u)}$ değeri olarak alınması.

5.2. Kazık Gruplarının Konsolidasyon Oturması

Kildeki bir grup kazığın konsolidasyon oturması Şekil 5.2’de gösterilen 2:1 gerilme dağılımı metoduyla yaklaşık olarak belirlenebilir. Bu hesap prosedürünün aşamaları aşağıdaki gibidir:

- Kazık gömü derinliğinin L olduğu kabul edilir. Grup, Q_g toplam yüküne maruzdur. Eğer kazık başlığı orijinal zemin yüzeyinden aşağıdaysa, Q_g , kazıklar üzerindeki toplam yapı yükünden kazık grubunun üzerindeki kazılan zeminin efektif ağırlığının çıkarılmasıyla bulunur.
- Q_g yükünün, Şekil 5.2’de gösterildiği gibi, kazık üzerinden $2L/3$ derinlikte zemine yük aktarımına başladığı varsayılır. Şekildeki bu derinlik $z=0$ ’dır. Q_g yükü düşeyde 2, yatayda 1 olacak şekilde derinlikle çizgi çizer. aa’ ve bb’ çizgileri 2 :1 çizgileridir.

- Q_g yükünden dolayı, her bir zemin tabakasının ortasında oluşan gerilmenin hesabı;

$$\Delta p_i = Q_g / (B_g + z_i)(L_g + z_i) \quad (5.8)$$

burada Δp_i = i tabakasının ortasındaki gerilme artışı

L_g, B_g = kazık grubu planının uzunluk ve genişliği

z_i = i kil tabakasının ortasının $z = 0$ 'a olan uzaklığıdır.

- Artan gerilmeden dolayı oluşan oturmanın hesaplanması:

$$\Delta s_i = [\Delta e_{(i)} / (1 + e_{o(i)})] H_i \quad (5.9)$$

burada

Δs_i = i tabakasının konsolidasyon oturması

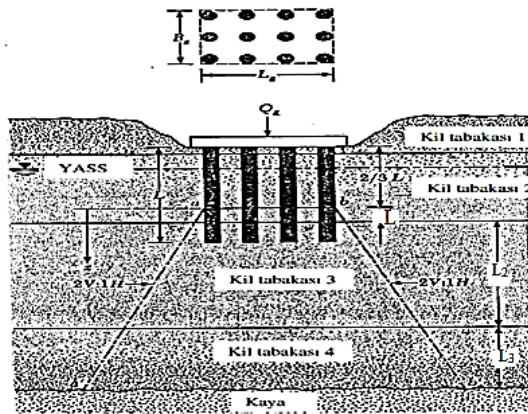
$\Delta e_{(i)}$ = gerilme artışına bağlı olarak i tabakasındaki boşluk oranı değişimi

e_o = i tabakasının başlangıç boşluk oranı

H_i = i tabakasının kalınlığı

- Toplam kazık grubu oturması;

$$\Delta S_{g(c)} = \sum \Delta s_i \quad (5.10)$$



Şekil 5.2. Kazık gruplarının konsolidasyon oturması

5.3. Kazıkların Elastik Oturması

Çalışan düşey bir yük (Q_{wp}) altında, kazıkta üç sebepten oturma meydana gelmektedir.

$$s = s_1 + s_2 + s_3 \quad (5.11)$$

burada s = toplam kazık oturması

s_1 = kazık shaftının oturması

s_2 = kazığın ucundaki yüke bağlı kazık oturması

s_3 = kazık shaftı boyunca karşılanan yüke bağlı kazık oturmasıdır.

Kazık oturmasının bu üç elemanını belirlemek için aşağıdaki prosedür uygulanmaktadır:

s_1 'in belirlenmesi;

Eğer kazık malzemesinin elastik olduğu kabul edilirse, kazık shaftındaki deformasyon temel malzeme mekaniği kullanılarak belirlenebilir:

$$s_1 = (Q_{wp} + \xi Q_{ws}) / A_p E_p L \quad (5.12)$$

burada ; Q_{wp} = çalışan yük durumunda kazık ucunda taşınan yük

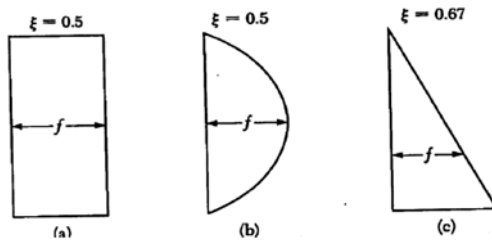
Q_{ws} = çalışan yük durumunda yüzey sürtünmesi ile taşınan yük

A_p = kazık en kesitinin alanı

L = kazık uzunluğu

E_p = kazık malzemesinin Young modülüdür.

ξ 'nin büyüklüğü, kazık shaftı boyunca oluşan birim sürtünme mukavemetine (f) bağlıdır. Eger f üniform veya parabolikse (Şekil 5.3a ve b), ξ 0,5'e eşittir. Ancak, f 'in dağılımı üçgen ise, ξ 'nin değeri yaklaşık 0,67'dir (Vesic,1977).



Şekil.5.3.Kazık shaftı boyunca çeşitli birim sürtünme mukavemetleri

s_2 'nin belirlenmesi;

Bir kazığın kazık ucundaki yüke bağlı oturması, yüzeysel temellerdekine benzer şekilde ifade edilmektedir.

$$s_2 = q_{wp} D / E_s (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (5.13)$$

burada ; D = kazığın genişliği ya da çapı

q_{wp} = kazık ucundaki birim alana denk gelen uç yükü = Q_{wp} / A_p

μ_s = zeminin poisson oranı

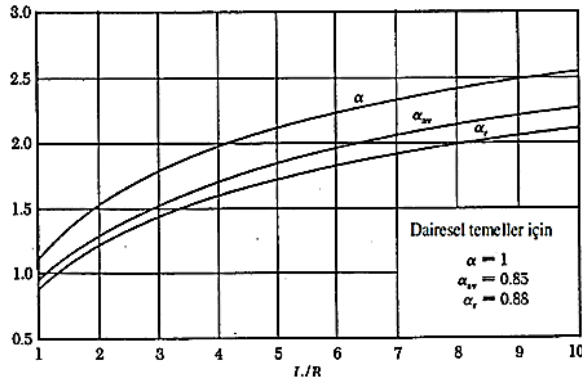
I_{wp} = azaltma faktörüdür.

Tüm pratik uygulamalar için I_{wp} (5.14) denklemindeki α_r 'ye eşittir ve Şekil 5.4'ten elde edilir. Deneysel çalışma yapılamaması durumunda poisson oranı da Çizelge 5.1 'den elde edilmektedir.

$$s_e = (Bq_0/E_s)(1 - \mu_s^2)\alpha_r \quad (5.14)$$

Çizelge 5.1 Farklı zemin çeşitleri için poisson oranları

| Zemin çeşidi | Poison oranı, μ_s |
|------------------|-----------------------|
| Gevşek kum | 0,20 - 0,40 |
| Orta sıkı kum | 0,25 - 0,40 |
| Sıkı kum | 0,30 - 0,45 |
| Siltli kum | 0,20 - 0,40 |
| Kum ve çakıl | 0,15 - 0,35 |
| Yumuşak kil | |
| Orta yumuşak kil | 0,20 - 0,50 |
| Katı kil | |



Şekil 5.4. Rijit temeller için azaltma faktörü

Vesic (1977) s_2 'nin büyüklüğünün belirlenmesi için yarı ampirik bir metot önermiştir:

$$s_2 = Q_{up} C_p / Dq_p \quad (5.15)$$

burada q_p = kazığın nihai uç mukavemeti

C_p = ampirik bir katsayıdır.

s_3 'ün belirlenmesi;

Kazık şaftı boyunca karşılanan yüke bağlı kazık oturması, (5.13) denkleminde benzer şekilde elde edilebilir:

$$s_3 = (Q_{ws} / pL)D/E_s(1-\mu_s^2) I_{ws} \quad (5.16)$$

burada p = kazığın çevresi

L = kazığın gömü uzunluğu

I_{ws} = azaltma faktörüdür.

Burada dikkat edilmesi gereken, Q_{ws}/pL teriminin kazık şaftı boyunca oluşan f nin ortalama değeri olduğudur.

Azaltma faktörü I_{ws} , şu şekilde belirlenir:

$$I_{ws} = 2 + 0,35\sqrt{(L/D)} \quad (5.17)$$

Vesic, s_3 'ün büyüklüğünün belirlenmesinde (5.15) denkleminde benzer bir öneride daha bulunmuştur:

$$s_3 = Q_{us} C_s / Lq_p \quad (5.18)$$

burada C_s = ampirik bir katsayıdır.

$$C_s = (0,93 + 0,16\sqrt{(L/D)})C_p \quad (5.19)$$

Çizelge 5.2. Tipik C_p değerleri

| Zemin çeşidi | Çakma Kazık | Fore Kazık |
|------------------------|-------------|-------------|
| Kum (sıkıdan gevşeye) | 0,02 - 0,04 | 0,09 - 0,18 |
| Kil (katıdan yumuşağa) | 0,02 - 0,03 | 0,03 - 0,06 |
| Silt (sıkıdan gevşeye) | 0,03 - 0,05 | 0,09 - 0,12 |

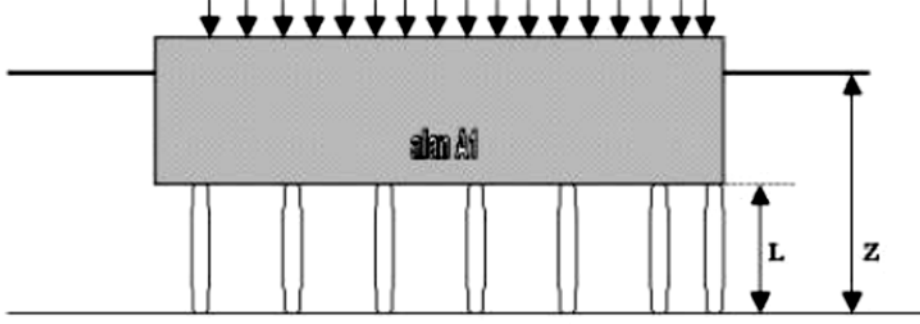
5.4.Kazık Gruplarının Taşıma Gücü

Kazıklı bir temelin, özellikle sürtünme kazıklarına oturan bir temelin, projelendirilmesinde tek bir kazığa ait emniyetli yükün kazık guruplarındaki kazık sayısı ile çarpılması ile kazık gurubunun emniyetle taşıyabileceği yükün bulunması emin bir çözüm değildir. Bunun nedeni kısmen, toplam yükün kazıklara eşit olarak dağıtılmamasıdır. Uygulanan yükün kazık başlığına üniform olarak yayılması halinde bile kazıkların eşit yükler taşıyacakları söylenemez. Bu durumda dış kazıklar, iç kazıklara göre daha fazla yüklenecektir.

5.4.1. Temel bloğunun stabilitesi

Bir kazık gurubunun taşıyabileceği yükün azaltılmasının en önemli nedenlerinden biri kazıklar ile aralarındaki zeminin oluşturduğu bloğun oturmasıdır. Şekilde de yükün alt seviyelerine aktarılmasında kazıklar ile bunlar arasındaki zeminin tek bir kütle olarak etkilediği kabul edilmektedir. Bu durumda zemin bloğu, çevresi boyunca bir sürtünme mukavemetine maruz kalmaktadır. Kazık uçları seviyelerindeki zemine aktarılan yük, temelin taşıdığı yükten blok çevresinde etkileyen kayma mukavemetinin çıkarılmasına eşittir.

Hesaplanan Q_p değeri zeminin z derinliğindeki emniyet gerilmesinden ufak olmalıdır. Kazıkların önemi, zemine etkileyen basıncın değerinin azaltılmasında ve bu basıncı, muhtemel satıhtaki zeminden daha fazla bir taşıma gücüne sahip z derinliğindeki tabakaya aktarılmasındandır. Kohezyonlu zayıf zeminlerde yüzen kazık temel inşasının ekonomik değeri olması için LP/AI azaltma teriminin büyük olması gerekir. Bu terim, kazık boyları, zeminin kohezyon mukavemeti ve temel çevresi uzunluğu büyüdükçe artar. Temel alanın ufalması da bu terimi artırır. Bundan dolayı bu temellerde uzun kazıklar kullanılmalı ve çevrenin alana oranı büyük olmalıdır.



Şekil.5.5. Kohezyonlu zeminde yüzen kazıklar

Diğer bir anlatımla, dar binaları taşıyan uzun sürtünme kazıkları, basınç soğanlarını bina altında daha derin tabakalara aktararak temel zeminin içindeki gerilmeleri azaltır. Geniş bir bina altındaki aynı boydaki sürtünme kazıkları radye jeneral temel yapılması halinde doğacak basınç soğanı eğrilerinde az bir değişikliğe sebep olabilir.

Bu sebepten kohezyonlu zeminlerde bina genişliğinin yüzde biri uzunluğundaki sürtünme kazıklarının kullanılması faydasız ve hatta tehlikeli bir iştir. Bu temel zeminini zayıflatır ve zararlı oturmalar meydana getirir.

Yukarıda verilen ifadede kullanılan c' nin değerinin seçilmesi bir kabul işidir. Ekseriyetle normal deneylerden elde edilen kohezyona eşit veya ondan bir miktar ufak alınır. Kohezyonlu zeminlere çakılan kazıkların meydana getirdiği yoğurma genellikle zemin özelliklerini büyük miktarda değiştirir. Çakılmış bir kazığın çekilmesi için gerekli kuvvetin ölçülmesinden, bu değişmiş kohezyon mukavemeti hakkında bazı fikirler edinilebilir. Zamanın tesiri önemlidir. Çakılmanın hemen sonrasındaki mukavemet çakılma bittikten bir müddet sonra olandan çok daha az olabilir.

5.4.2. Oturma kriteri

Kazık gruplarının hareketi ve kazık boyunun taşınan temel genişliğine oranının anlamı, geniş bir temelde meydana gelecek basınç soğanının dar bir temel altındaki soğandan daha büyük olmasıdır. Bunlar ufak basınç soğanının erişemediği derinliklere kadar inerler.

Sürtünme kazıklı bir temel altında da benzer bir basınç soğanı meydana gelir. Bu soğanın genişliğinin yük taşıyan efektif zemin alanını gösterdiği kabul edilebilir. Tek bir kazık altında meydana gelen bu basınç soğanları, bir kazık gurubu altında meydana gelen basınç soğanlarına göre, temel alanından daha büyük bir katına eşittir (Şekil 5.6).

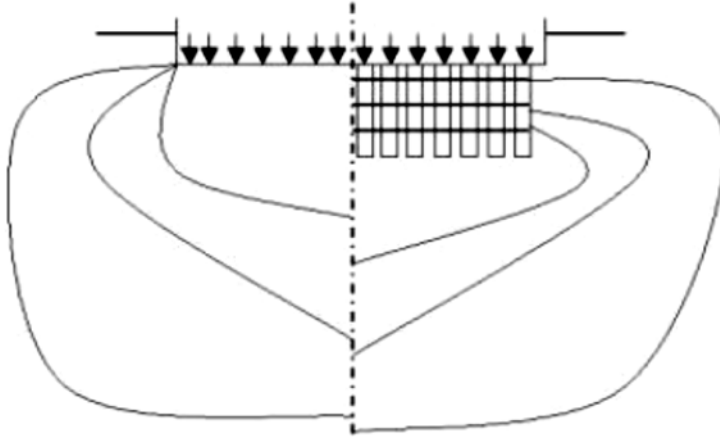
Bu sebepten, belli bir oturma için hesaplanan tekil bir kazığa ait emniyet yükünün, bir kazık gurubunun yük/oturma bağıntısıyla az bir ilgisi vardır. Dahası bir sürtünme kazığı boyunca yük, iyi bir şekilde dağılır ve zeminde meydana gelen en yüksek gerilme normal bir sömelden doğandan daha az olabilir.

Kazığın zemine aktardığı en yüksek gerilme zeminin muhtemelen daha büyük mukavemete sahip olduğu, daha derinlerde meydana gelir. Kazık boyu temel genişliğine oranının küçük olduğu geniş bir temel altında, kazık gurubunun meydana getirdiği en büyük gerilme, normal bir sömel altında meydana gelenden pek farklı olmaz.

Şekil 5.2.'den görüldüğü üzere kazıkların boyları temel genişliğine nazaran büyük olursa, basınç soğanı daha yüksek gerilmeler taşıyacak derin tabakalara aktarılmaktadır. Eğer kazık boyları temel genişliğine göre ufaksa kazıkların varlığı temel seviyesi altında kalan noktalardaki gerilme durumunu çok az olarak değiştirmektedir.

5.4.3. Kazık guruplarının emniyetli taşıma gücü

N adet kazıktan oluşan kazık gurubunun emniyetli taşıma gücü (müsaade edilen maksimum toplam servis yükü) $B_n Q_d$ olarak tanımlanır. Burada B zemin özelliklerine, kazık sayısına ve kazık ağırlığının kazık çapına olan oranına bağlı olan bir faktördür. Bu B faktörü, bazen gurup tesir yüzdesi olarak da tanımlanır.



Şekil 5.6. Kazıklı temeller altında basınç soğanları

Kazık gruplarının grup tesir yüzdesini belirlemek için birkaç ampirik formül geliştirilmiştir. Ancak bunların gerçekten güvenilir olabilmelerine engel olan çok sayıda değişken vardır.

İngiltere’de Building Research Station’da kohezyonlu zeminlerde kare grup oluşturan model kazıklar üzerinde yapılan deneylerde, belli uzunluk ve sayıdaki kazıklar ve her grup için göçme cinsinin değiştiği belli bir boyutun olduğu görülmüştür. Bu boyuttan daha küçük kazık gruplarında blok göçmesi meydana gelmekte, daha büyük gruplarda ise göçme tek kazıklar üzerinde olmaktadır.

5.4.4. Yüzen kazık temeller

Kazıklı temeller, zayıf temel zemini için her zaman bir çözüm olamazlar. Çok sıkışabilir ve zayıf bir zemin üstündeki tabaka ağırlıklarının bir kısmının kaldırılması ile dış yükleri taşıyabilecek duruma getirilebilir. Toplam dengelenme durumunda kazılan toprak ağırlığı yapının toplam ağırlığına eşit olacak derinliğine kadar zemin kütlesi kazılır ve yerine rijit bir kutu temel inşa edilir. Bu durumda yapı ağırlığının tam olarak hesaplanabilmesi halinde yapı ile çevresindeki zemin arasındaki farklı oturma meydana gelmeyecek veya çok az gelecektir. Bu şekilde toplam dengelenme her zaman sağlanamaz. Bu bakımdan kısmi dengelenme durumu ile karşılaşılır. Bu dengelenmede yapı yükünün bir kısmı kazılan zemin

ağırlığı ile karşılanır ve bir miktar oturmanın meydana gelmesi kabul edilir. Bu oturma, yapı yüküyle kazılan toprak ağırlığı arasındaki farktan ileri gelir. Böyle durumlarda bile oturmalar, Gonzales Flores tarafından geliştirilen ve Mexico City’deki yapılarda kullanılan kontrol kazıkları gibi önlemlerle durdurulabilir.

Dengeleme metodunun değişik bir uygulama şekli, üniform yüklü temelin merkezinde bir bodrum kat inşa olunmasıdır. Bu şekilde projelendirilen bir yapıda, sıkışabilir zemin üzerinde üniform yükleme nedeni ile doğan tabak şeklindeki oturmanın meydana gelmesi engellenerek bütün yapı alanı boyunca daha üniform bir oturmanın oluşması sağlanır.

6. SIVILAŞMA

6.1.Zemin Sıvılaşması

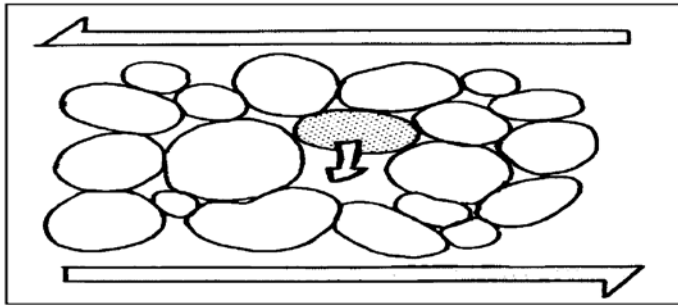
Depremler sırasında hasara neden olan en önemli faktörlerden biri suya doymun gevşek ve orta sıkılıktaki ince taneli kumlu ve siltli zeminlerin sıvılaşması olayıdır. Genel olarak zemin sıvılaşması, yük uygulanması sırasında zeminde aşırı boşluk suyu basıncı üretilmesi nedeniyle zeminin kesme mukavemetinde meydana gelen ani düşme olarak tanımlanabilir. Yükün uygulanması depremde olduğu şekliyle çevrimsel ya da yamaç kaymalarındaki gibi monotonik şekilde olabilir. Zeminde meydana gelen bu büyük mukavemet kaybını ilk kez sıvılaşabilir davranış olarak tanımlarken, sıvılaşma teriminin bilimsel literatürde ilk kez “Terzaghi(1925)” tarafından kullanılmıştır. Terzaghi’ye göre “sıvılaşma, suya doymun zeminin çökmesi sırasında zemini oluşturan katı parçacıkların ağırlığının zemini çevreleyen suya aktarılması durumunda meydana gelebilir. Bu olay sonucunda zeminin herhangi bir derinliğinde hidrostatik su basıncı yükselerek, büyüklüğü suya batan zeminin birim ağırlığına yaklaşır.

Youd (1992) sıvılaşma olayını suya doymun ince taneli kumlu ve siltli zeminlerin, deprem titreşimleri sırasında boşluk suyu basıncı değerinin artması ile efektif gerilmenin sıfır olması sonucu, zeminin bir sıvı haline dönüşmesi olarak tanımlamaktadır. Sıvılaşma durumunda, zeminin yapısı küçük bir dirençle bozulabilmekte hatta meydana gelen deformasyonlar, binaları veya diğer yapıları hasara uğratabilecek kadar büyük olabilmektedir.

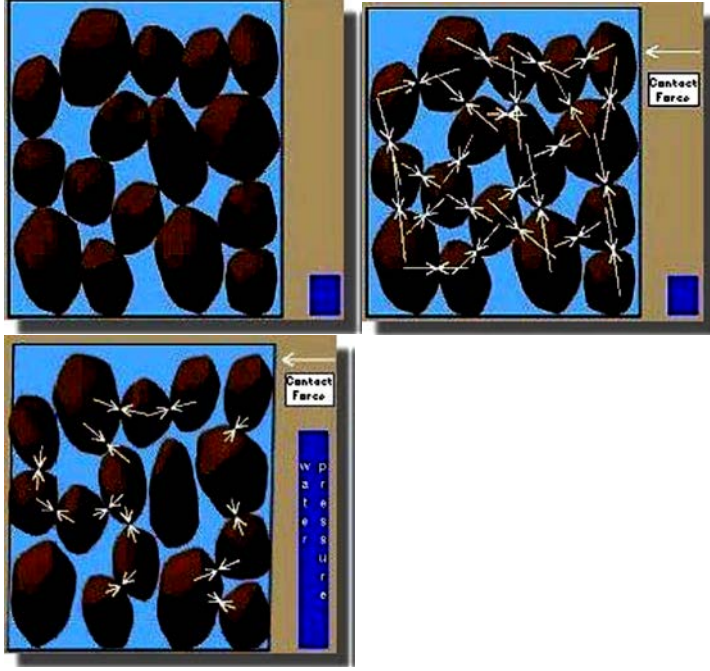
Bu tür zeminler gevşek zemin olarak adlandırılır. Sıvılaşma sonucunda zeminde oluşabilecek deformasyonun miktarı, materyalin gevşekliğine, derinliğine, kalınlığına ve sıvılaştıran tabakanın zeminde kapsadığı alana, zeminin eğimine, bina ve diğer yapılar nedeniyle zemine uygulanan yükün dağılımına bağlı olmaktadır.

Zeminde sıvılaşmaya neden olan hareketler, sismik dalgalar ve özellikle de makaslama dalgalarıdır. Bu dalgalar suya doymun taneli tabakalardan geçerken oluşturdukları aşırı su basıncı ile tanecikli yapıyı bozar ve zeminin dayanımını yitirmesine neden olurlar (Şekil 6.1). Zemindeki sıvılaşma davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için depremden önceki zemin koşullarının iyi bilinmesi ve

anlaşılması gereklidir. Zeminin yapısını oluşturan bütün taneler birbiri ile temas halindedir (Şekil 6.1 ve 6.2). Taneler arasındaki bu temas yüzeylerinde temas kuvvetleri mevcuttur. Taneler arasındaki boşluklarda ise hava ve su bulunmaktadır. Bu boşluklar suya doymuş zeminlerde tamamen su ile dolu olmaktadır. İşte bu boşluklar arasındaki suyun taneler üzerine uyguladığı basınca boşluk suyu basıncı denmektedir. Deprem sırasında sismik dalgalar zemin içinde yayılırken birbirine göre ters yönde etkiyen kuvvet çiftleri yaratırlar (Şekil 6.2). Bu durum, suya doymuş ve kohezyonsuz zeminlerde zemin tanelerinin yer değiştirmesine neden olur. Bu sırada taneler arasındaki temas yüzeyleri azalır. Böylece taneler arasındaki mevcut temas kuvvetleri, bir başka ifadeyle zemin iskeleti tarafından taşınan yükler (zeminin kendi ağırlığı ve üzerindeki yapı yükleri) taneleri çevreleyen suya aktarılır. Deprem sırasında taneler arasında yer alan bu suyun drene olması için yeterli süre olmadığından, zemin sismik dalgalar öncesindeki denge durumuna kavuşmadan (taneler arasındaki temas yüzeyleri yeniden oluşmadan) boşluk suyu basıncında ani bir artış meydana gelir (Şekil 6.2). Boşluk suyu basıncındaki bu ani artış zemin tanelerini bir arada tutan temas kuvvetlerini yok ederek taneleri birbirinden uzaklaştırır ve böylelikle zemin dayanımını yitirir. Bu koşullar altında gözenekli zemin, deprem öncesinde gösterdiği katı malzeme davranışı yerine, geçici olarak bir sıvı gibi davranarak yüzeye doğru hareket eder (Şekil 6.2). İşte bu durum sıvılaşma olgusu olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 6.1.Suya doymuş kumlu zeminin sıvılaşma olgusu (Atak ve ark., 2003).



Şekil 6.2. Zemin tanecikleri; okların uzunluğu zemin parçaları arasındaki bağlantı kuvveti ile doğru orantılıdır. Su basıncı azaldıkça bağlantı kuvveti artmaktadır (Anonymous, 2006).

6.2.Sıvılaşmanın Tanımlanması

Konu ilgili çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan tanımlar aşağıda özetlenmiştir.

Ön Sıvılaşma: Tekrarlı yükler altında boşluk suyu basıncının artarak bir yükleme çevrimi sonunda efektif çevre basıncına eşit olması durumu ön sıvılaşma olarak adlandırılmaktadır. Ön sıvılaşmanın olması zemin elemanında oluşabilecek şekil değiştirmelerin boyutları ile ilgili bilgi vermemekle birlikte, zemin elemanının tekrarlı yükler altındaki davranışının adlandırılmasında ve sıvılaşma sonrası davranışının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Seed ve ark.,1975).

Gerçek sıvılaşma: Boşluk suyu basıncının tekrarlı veya statik yükler altında sürekli olarak artması ve bir noktadan sonra sabit bir değerde korunması ile efektif çevre basıncının çok küçük bir değere düşmesi sonucu zemin kayma mukavemetinin kaybolması ve çok büyük şekil değiştirmeler ve akmaların olduğu bir durumdur (Seed ve ark., 1975).

Sınırlı Ön Sıvılaşma – Çevrimsel Hareketlilik: Tekrarlı yükler altında bir yükleme çevrimi sonunda bir ön sıvılaşmanın oluşması ve bunu izleyen yükleme

çevrimlerinde zemin elemanında bir artık dayanım bulunmasından veya hacim kabarmasından dolayı boşluk suyu basıncının düşmesi ile şekil değişimlerinin sınırlı kalması ve zemin elemanının tekrarlı yükler altında duraylı bir konuma gelmesi durumuna sınırlı sıvılaşma ya da çevrimsel hareketlilik denmektedir (Seed ve ark., 1975). Bu durum genelde orta ve çok sıkılıktaki kumlarda meydana gelmektedir.

Kum kayması: Bir zemin kütledeki aşırı boşluk suyu basıncı nedeniyle kum ve suyun borularak dışarı çıkması olayıdır.

Mikroskobik ve Makroskobik Sıvılaşma: Sıvılaşmanın olduğu kısımdaki zeminin dinamik dayanımı ile aynı noktada tahmin edilen dinamik gerilme değerlerinin kıyaslanmasıyla sıvılaşma tanımına uyduğu anlaşılan durumdur. Zeminin dayanımı, sismik gerilme ve bölgesel jeoloji ve topografyanın etkilenmesi dikkate alınarak önemli bir zemin kısmı için sıvılaşma olduğu anlaşılan durum ise makroskobik sıvılaşma olarak isimlendirilmektedir. Bu tür sıvılaşmanın en belirgin göstergesi genellikle yüzeyde meydana gelen kum kaynamalarıdır. Bu bölgelerde boşluk suyu basıncı, kum parçacıklarını yüzeye doğru itecek derecede güçlüdür. Bu durumda, sıvılaşmanın değerlendirilmesinde kullanılacak ampirik formüller, makroskobik sıvılaşmanın olduğu bölgelerden alınan kayıtlardan yararlanılarak geliştirilmektedir.

6.3.Sıvılaşma Oluşumuna Etki Eden Unsurlar

Sıvılaşmanın oluşumunda birçok geoteknik faktör etkili olsa da genel olarak zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığını belirleyen etkenler, bir başka deyişle zeminin sıvılaşma potansiyelini belirleyen ölçütler üç ana başlık altında incelenebilir. Bunlar; zeminin özellikleri, jeolojik şartlar ve yer hareketleridir. Sıvılaşma oluşumuna etki eden bu faktörler;

- Zeminin Yapısının Sıvılaşma Üzerindeki Etkisi
 - Relatif Sıklık
 - İnce Tane Oranı
 - Plastik Olmayan İnce Tane Oranı

- Zemindeki Drenaj
- Yeraltı Suyu Ve Derinlik Faktörü
- Jeolojik Şartların Sıvılaşmaya Etkisi
- Yer Sarsıntılarının Oluşturduğu Sıvılaşma

şeklinde sıralanabilir.

7. NEGATİF ÇEVRE SÜRTÜNMESİ

Kazık ve zemin arasındaki rölatif (görelî) bir hareket, kazık-zemin arayüzünde kayma gerilmeleri oluşmasına sebep olur. Bu tür bir hareket, kazığın üzerinde, kazığı zeminin içine iten veya yukarı çeken yönde kuvvetler olması durumunda mümkündür. Zeminin kazığa göre görelî oturması veya şişen zeminlerin kabarması da bu tür hareketlere yol açar. Tanım olarak, eğer kazığın görelî hareketi aşağı yönde ise (yani kazık yüzündeki kayma gerilmeleri yukarı yönde ise) kaymanın yönü pozitifdir. Benzer şekilde eğer kazığın görelî hareketi yukarı yönde ise, kayma gerilmelerinin yönü negatiftir. (Fellenius 1984).

Eskiden terim olarak “yüzey sürtünmesi” kullanılırken, son zamanlarda bu terim yerine “şaft direnci” kullanılmaktadır. Buna bağılı olarak “pozitif ve negatif çevre sürtünmesi” terimleri, kazık üzerindeki itme veya çekme kuvvetlerine bağılı olarak meydana gelen kayma gerilmelerini belirtmekte kullanılırken, “pozitif ve negatif şaft direnci” terimleri ise zeminin görelî oturmasına veya kabarmasına bağılı olarak kazık üzerinde meydana gelen kayma kuvvetlerini anlatmaktadır. Negatif çevre sürtünmesi, uzun kazıklarda ciddi boyutlara varabilen bir kuvvet oluşturur. Bu kuvvet etkisiyle kazık zemin içine çekilir. Burada bahsedilen “çekme kuvveti”, kazığın bu şekilde zemin içine çekilmesini anlatmaktadır.

Johannesen, Bjerrum ve Bozozuk, kazıklara uygulanabilecek izin verilebilir yükleri aşan çekme yükü ölçümlerini bildirmişlerdir. Bjerrum aynı zamanda negatif çevre sürtünmesini azaltmak için kazığın bitümle kaplanmasının etkilerini kanıtlamıştır.

Fellenius ve Brooms, kazık çakarken meydana gelen örselenmeyi takiben zeminin yeniden-konsolidasyonuna bağılı olarak da çekme yükü oluşabileceğine dair ölçümlerini sunmuşlardır.

Şu ana kadar yayınlanan araştırmaların çoğunda, negatif çevre sürtünmesi hesaba katıldığı takdirde izin verilebilir yüke bağılı olarak kazığın dayanma kapasitesinin azaltılması gerekliliği savunulmuştur. Oysaki negatif çevre sürtünmesi, bir “dayanma kapasitesi sorunu” değil, “oturma” sorunu yaratmaktadır çünkü çekme kuvvetinin şiddeti kazığın dayanma kapasitesiyle doğrudan ilgili

değildir. Sonuç olarak, aşağı yönde çekme kuvvetinin bulunduğu bir durumda tasarım yaparken, oturma dağılımına dikkat edilmelidir.

7.1.Negatif Çevre Sürtünmesi Oluşumu İçin Gereken Hareket

Negatif çevre sürtünmesi oluşturacak kuvvetler farklı araştırmacılar tarafından farklı tanımlanmıştır.

Walker ve Darvall (1973), tekil kazıkların çevresine yerleştirilen 3m yüksekliğinde bir sürşarj yüküne bağlı olarak zemin yüzeyinde meydana gelecek 35mm oturmanın 18m derinliğe kadar negatif çevre sürtünmesi oluşması için yeterli olduğunu belirtmişlerdir. Deneylede derinliğe bağlı oturma dağılımı ölçülmemiştir.

Bjerin (1977), kazığa 0,12m mesafede meydana gelen 5mm'lik görel bir yer değıştirmenin 25m derinliğe kadar negatif çevre sürtünmesi yarattığını belirtmiştir. Bu deneyde 5m'lik mesafede görel bir yer değıştirme değeri 8mm bulunmuştur.

Bozozuk (1981), kazığı yükleyerek kazık başında 5mm'lik bir görel hareket meydana getirildiğinde, 20m derinliğe kadar kayma kuvvetlerinin yön değıştirdiğini gözlemlemiştir.

Bjerrum (1969), araştırma yaptıkları bölgede yeni bir dolgu altındaki toplam 2m'lik oturmaya bağlı olarak negatif çevre sürtünmesi oluşurken, bu bölgeye bitişik bir bölgedeki 70 yıllık, aynı yükseklikte ve aynı tip dolgu zemine çakılan aynı tip kazıkların çevresinde de hemen hemen aynı miktarda negatif çevre sürtünmesi olduğunu, fakat kazık çakımı sonrası yeni bir ek oturmanın gözlenmediğini belirtmişlerdir. Kazık malzemesi zeminden çok daha rijit olduğu için, zamanla, zeminde, kazıkla zemin arasında kazık boyunca kayma kuvvetleri oluşturmaya yetecek boyutta küçük yer değıştirmeler mutlaka oluşacaktır. Yani bütün kazıklar, az ya da çok, muhakkak zemine doğru çekme kuvvetlerine maruz kalacaklardır.

Negatif çevre sürtünmesinin oluşma sebeplerinden bazıları şöyledir:

- Kazığın çakıldığı granüler zeminin üzerine kil dolgu yapılırsa, kil dolguda zamanla meydana gelecek konsolidasyon oturması negatif çevre sürtünmesi yaratır.
- Granüler zeminin altında yumuşak kil zemin varsa, artan yük sebebiyle kilde konsolidasyon meydana gelir. Bu da negatif çevre sürtünmesi yaratır.

- Yer altı su seviyesinin azalması, düşey efektif basıncı arttırarak kilde konsolidasyona sebep olur.

7.1.1. Granüler zemin üzerine kil dolgu yapılması durumunda negatif çevre sürtünmesi

Şekil 7.1’de, bu durumda negatif çevre sürtünmesinin hangi bölgede meydana geldiği görülüyor. β yöntemine benzer şekilde çevre sürtünmesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$f_z = K' \sigma_v' \tan \delta \quad (7.1)$$

K' : toprak basınç katsayısı ($K_0=1-\sin\phi$)

σ_v' : herhangi bir z derinliğindeki efektif düşey gerilme

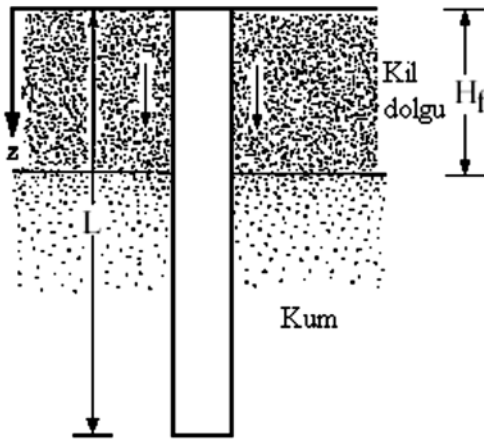
δ : zemin-kazık sürtünme açısı

Buna bağlı olarak kazığa aşağı yönde etkiyen toplam kuvvet (toplam negatif çevre sürtünmesi):

$$Q_n = \int_0^{H_f} (H_f p K' \gamma' \tan \delta) z \, dz = (p K' \gamma' H_f \tan \delta) / 2 \quad (7.2)$$

P : kazık çevresi

H_f : dolgu yüksekliği



Şekil 7.1. Granüler zemin üzerine kil dolgu yapılması durumunda kazık çevresinde meydana gelen negatif çevre sürtünmesi

7.1.2. Kil zemin üzerine granüler dolgu yapılması durumunda negatif çevre sürtünmesi

Konsolidasyona bağlı olarak meydana gelen negatif çevre sürtünmesi kazığa $z=0$ ve $z=L_1$ arasındaki “nötral derinlik” diye tabir edilen kısımdan etkir. Bu durum Şekil 6.2 ile verilmistir.

Nötral derinlik (6.3) bağıntısıyla hesaplanabilir:

$$L_1 = \frac{(L-H_f)}{L_1} \left[\frac{L-H_f}{2} + \frac{\gamma_f' H_f}{\gamma'} \right] - \frac{2\gamma_f' H_f}{\gamma'} \quad (7.3)$$

Negatif çevre sürtünmesi aşağıdaki formülle bulunur:

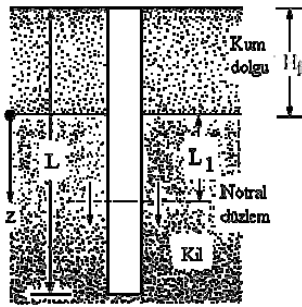
$$f_z = K' \sigma_v' \tan \delta \quad (7.4)$$

$$\sigma_v' = \gamma_d' H_f + \gamma' z \quad (7.5)$$

Buna bağlı olarak, p kazık çevresi olmak üzere, kazığa aşağı yönde etkiyen toplam kuvvet (toplam negatif çevre sürtünmesi) de aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır:

$$Q_n = (p K' \gamma_f' H_f \tan \delta') L_1 + \frac{L_1 p K' \gamma' \tan \delta'}{2} \quad (7.6)$$

$$K' = 1 - \sin \phi \quad (7.7)$$



Şekil 7.2. Kil zemin üzerine granüler dolgu yapılması durumunda kazık çevresinde meydana gelen negatif çevre sürtünmesi

7.2.Negatif Çevre Sürtünmesini Azaltmak İçin Öneriler

Hesaplar sonucunda kazık oturmasının istenilenden fazla çıkması durumunda kazık boyunu uzatmak veya kazık çapını azaltmak gibi değişiklikler oturmanın istenilen sınırlar dahiline çekilmesini sağlayabilir. Hesaplar sonucunda kazığın yapısal kapasitesinin (taşıma gücünün) yeterli olmadığı sonucuna varılırsa, kazık kesitini büyütmek, kazık malzemesini değiştirmek veya iyileştirmek gibi çözümler uygulanabilir. Eğer bu tür uygulamalar pratik veya ekonomik görünmüyorsa, bu durumda yerleştirmeden önce kazık yüzeyi bitüm veya diğer akıcı kaplamalarla kaplanarak negatif çevre sürtünmesi azaltılabilir. “Fellenius (1975~1979) ve Clemente (1981)”

8. KAZIK TEMEL TASARIMINA AİT DİNAMİK UYGULAMALAR

Bu tasarımda gevşek kum ve suya doygun yumuşak kil zeminde ve bu iki zeminin karışımı olan zemin türlerinde 3 farklı kazık çapı ile (0,60m), (0,80m) ve (1,00m) sürtünme kazıklarının çeşitli yöntemlerle taşıma güçleri hesaplanmış ve deprem analizleri yapılmıştır. Meyerhof metodu ile bulunan uç taşıma gücü zeminler için tasarım değeri olarak kullanılmış olup, kil zeminin sürtünme ile taşıdığı kuvvet bulunurken α yöntemi tasarım değeri olarak kullanılmıştır. Hesaplanan taşıma güçleri kazıklara düşey olarak etki ettirilerek 4,9 (Mw5), 5,9 (Mw6) , 7,2 (Mw7) büyüklüğündeki üç depremde yaptıkları oturmalar Plaxis ve SAP2000 ile belirlenmiştir. Daha sonra kazıklara bu yer değiştirmeleri yaptıracak eşdeğer statik yükler hesaplanmıştır.

8.1.Hesaplarda Kullanılan Malzemelere Ait parametreler

Hesaplarda kullanılan zeminlerin özellikleri ve kazık temellerin özellikleri sırasıyla Çizelge 8.1, Çizelge 8.2 ve Çizelge 8.3 ile verilmiştir. Deprem ivme kayıtları Çizelge 8.4’de verilmiş olup Plaxis programı için Usgs strong motion (smc) verileri kullanılmış, SAP2000 programı için ise zaman-tanım aralığında hesap yapılmıştır.

Çizelge 8.1. Hesaplarda kullanılan kil zemin özellikleri

| Zemin Özellikleri | Yumuşak kil zemin |
|----------------------------------|---|
| γ_d (kN/m ³) | 12 |
| γ_s (kN/m ³) | 17,5 |
| ν | 0,2 |
| E (kN/m ²) | 9500 |
| k_x , k_y (m/gün) | $k_x= 5 \times 10^{-8}$, $k_y= 5 \times 10^{-9}$ |
| ϕ (°) | 5 |
| c (kohezyon, kN/m ²) | 25 |
| e (boşluk oranı) | 1,2 |
| YASS (yüzeyden itibaren, m) | -0,50 |
| w (su muhtevası) | %30 |
| kh (N/mm ³) | 0,0125 |

Çizelge 8.2. Hesaplarda kullanılan kum zemin özellikleri

| Zemin Özellikleri | Gevşek kum zemin |
|--|------------------|
| γ_d (kN/m ³) | 15,5 |
| γ_s (kN/m ³) | 19,5 |
| ν | 0,3 |
| E (kN/m ²) | 15000 |
| k_x, k_y (m/gün) | 864 |
| ϕ (°) | 22 |
| c (kohezyon, kN/m ²) | 2 |
| e (boşluk oranı) | 0,7 |
| YAS (yüzeyden itibaren, m) | -0,50 |
| δ (zemin-kazık sürtünme açısı, °) | 13,2 |
| kh (N/mm ³) | 0,013 |

Çizelge 8.3. Hesaplarda kullanılan kazık temellerin özellikleri

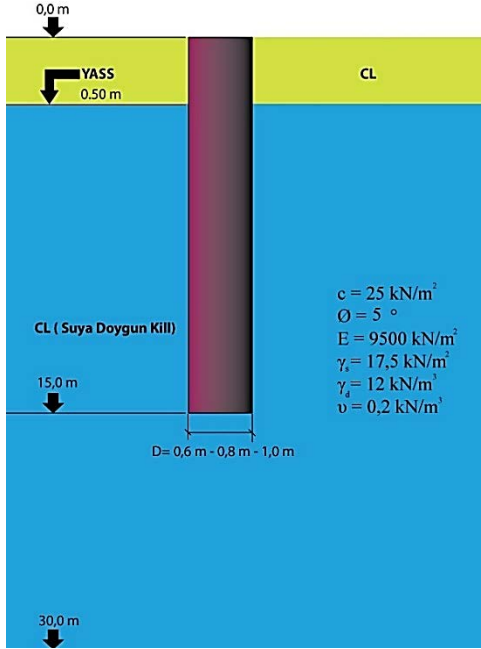
| Çap (D) (m) | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Malzeme Modeli | Elastik | Elastik | Elastik |
| $L=L_b$ (m) | 15 | 15 | 15 |
| EA (kN/m) | $1,08 \times 10^7$ | $1,92 \times 10^7$ | 3×10^7 |
| EI (kN/m ² /m) | $3,24 \times 10^5$ | $1,02 \times 10^6$ | $2,50 \times 10^6$ |
| Poisson oranı ν | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Alan (A)(m ²) | 0,2827 | 0,5027 | 0,7854 |

Çizelge 8.4. Hesaplarda kullanılan depremlerin özellikleri

| Dinamik kuvvetlerin sembolü | Depremin Büyüklüğü | Episantr mesafesi(km) | Meydana geldiği tarih | Meydana geldiği yer |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| M _w =5 | 4,9 | 31,8 | 11/08/2013 | Volcano Hawai'i |
| M _w =6 | 5,9 | 23,6 | 04/02/2010 | Petrolia-California |
| M _w =7 | 7,2 | 20 | 23/10/2011 | Van-Türkiye |

8.2.Killi Ve Kumlu Zeminde Tekil Kazıkların Taşıma Kapasitesi Hesapları

8.2.1. Killi Zeminde Taşıma Kapasitesi



Şekil 8.1.30m kil zemine yapılan 15m kazık temel

Killi Zeminde 0,60 m Kazık İçin Uç Taşıma Kapasitesi Hesabı

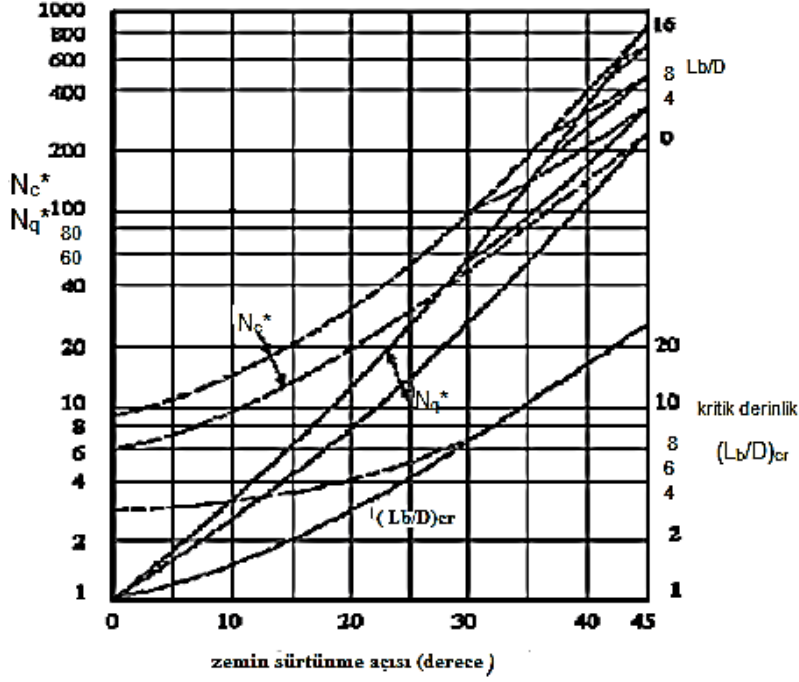
$$L = 15 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad A_p = \pi \cdot D^2/4 = 0,2827$$

$$D = 0,60 \text{ m} \quad c = 25,00 \text{ kN/m}^2$$

$$qp' = 12 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,5 \text{ m} + (17,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 14,5 \text{ m} = 117,505 \text{ kN/m}^2$$

Meyerhof Metodu

$$Q_p = A_p \cdot qp = A_p \cdot (c \cdot Nc^* + qp' \cdot Nq^*) \text{ (ağırlığa bağlı katsayı ihmal edilmiştir.)}$$



Şekil 8.2. Çeşitli zemin sürtünme açıları için kritik gömü oranı ve taşıma kapasitesi faktörleri, (Meyerhof, 1976)

$$L_b/D = 15/0,60 = 25 \quad \text{Şekil 4.'ten;} \quad \phi = 5^\circ \quad N_q^* = 1,8 \quad N_c^* = 11$$

$$Q_p = 0,2827 \cdot (25 \times 11 + 117,505 \times 1,8) = 137,54 \text{ kN} (\phi = 5^\circ)$$

$$\text{Limit Değeri; } Q_p = A_p \cdot q_l$$

$$q_l = 50 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi = 50 \cdot 1,8 \cdot \tan 5^\circ = 7,874 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot q_l = 0,2827 \cdot 7,874 = 2,226 \text{ kN}$$

$$A_p \cdot q_p < A_p \cdot q_l \text{ olması gerekir; } 2,226 < 137,54 \quad Q_p = 2,226 \text{ kN}$$

SPT N Değerlerine Göre;

$$q_p = 40 \cdot N \cdot (L/D) \leq 400N \quad N = 4$$

$$Q_{p_{ult}} = A_p \cdot q_p = 0,2827 \cdot 40 \cdot 4 \cdot 25 = 1130,8 \text{ kN}$$

Limit Degeri; $Q_p = A_p \cdot 400N = 0,2827 \cdot 400 \cdot 4 = 452,32 \text{ kN}$

$$40 \cdot N \cdot (L/D) \leq 400N$$

$$452,32 < 1130,8 \quad Q_p = 452,32 \text{ kN}$$

Hansen Metodu

$$Q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c \cdot d_c + \eta \cdot q \cdot N'_q \cdot d_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B_p \cdot N_\gamma)$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} L/B = 1,22$$

$$N'_q = 1,60$$

$$d_c = 1 + 0,4 \tan^{-1} L/B = 1,61$$

$$N_c = 6,49$$

$$\eta = 1$$

$$N_\gamma = 0,10$$

$$Q_p = 0,2827 \cdot (25 \cdot 6,49 \cdot 1,61 + 1 \cdot 117,505 \cdot 1,60 \cdot 1,22 + 0,5 \cdot (17,5 - 9,81) \cdot 0,60 \cdot 0,1) = 138,76 \text{ kN}$$

Vesic Metodu

$N\sigma^*$ ve Nc^* değerlerine gre; (ağırlığa bağlı katsayı ihmal edilmiştir.)

$$\text{izelge 4.3'ten; } I_{rr} = I_r = 60 \quad \phi = 5^\circ \quad N\sigma^* = 2,16 \quad Nc^* = 13,30$$

$$Q_p = A_p \cdot (c \cdot Nc^* + \sigma_o' \cdot N\sigma^*)$$

$$\sigma_o' = q' \cdot (1 + 2Ko) / 3 \quad Ko = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 5^\circ = 0,913$$

$$\sigma_o' = 117,505 \cdot (1 + 2 \cdot 0,913) / 3 = 110,69$$

$$Q_p = 0,2827 \cdot (25 \cdot 13,30 + 110,69 \cdot 2,16) = 161,59 \text{ kN}$$

Terzaghi Metodu

$$Q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c \cdot s_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot N \cdot \gamma \cdot s \cdot \gamma) \quad \phi = 5^\circ; \quad \text{Çizelge 4.1'den;}$$

$$N_q = 1,60$$

$$N_c = 7,30$$

$$N \gamma = 0,50$$

$$sc = 1,3 ; s \gamma = 0,6 \text{ (dairesel)}$$

$$Qp = 0,2827 \cdot (25 \cdot 7,30 \cdot 1,3 + 117,505 \cdot 1,60 + 0,5 \cdot (17,5 - 9,81) \cdot 0,60 \cdot 0,50) = 120,55$$

Janbu Metodu

$$Qp = Ap \cdot (c \cdot Nc \cdot dc + \eta \cdot q \cdot N'q \cdot dq + 0,5 \cdot \gamma' \cdot Bp \cdot N\gamma)$$

$$\phi = 5^\circ; \psi = 75^\circ;$$

$$Nq = 1,50$$

$$\text{Hansen Metodu'ndan; } dq = 1,22$$

$$Nc = 6,5$$

$$dc = 1,61$$

$$N\gamma = 0,10$$

$$Qp = 0,2827 \cdot (25 \cdot 6,5 \cdot 1,61 + 1 \cdot 117,505 \cdot 1,50 \cdot 1,22 + 0,5 \cdot (17,5 - 9,81) \cdot 0,60 \cdot 0,1) = 134,82 \text{ kN}$$

Çizelge 8.5. Killi zeminde 0,60 m kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri

| Kullanılan Metotlar | Qp Değerleri (kN) | Dizayn Değeri (kN) |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Meyerhof | 137,54 | 137,54 (Meyerhof Metodu) |
| SPT N | 452,32 | |
| Hansen | 138,76 | |
| Vesic | 161,59 | |
| Terzaghi | 120,55 | |
| Janbu | 134,82 | |

Killi Zeminde 0,60 m Kazık için Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$L = 15 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad \delta = 0,6$$

$$D = 0,60 \text{ m} \quad K = K_0 = 1 - \sin \phi = 0,913$$

λ Metodu

$$L = 15 \text{ m};$$

$$\text{Şekil 4.7.'den } \lambda = 0,15$$

$$Q_s = p.L.f_{av} \quad f_{av} = \lambda (\sigma_v' + 2c_u)$$

$$\sigma_v' = 117,505 \text{ kN/m}^2 \quad c_u = 25 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{av} = 0,15 (117,505 + 2 \cdot 25) = 25,13 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \pi \cdot 0,60 \cdot 15 \cdot 25,13$$

$$Q_s = 710,53 \text{ kN}$$

α Metodu

$$c_u = 25 \text{ kN/m}^2; \text{ Şekil 4.9'dan } \alpha = 1$$

$$Q_s = \sum \alpha \cdot p \cdot c_u \cdot \Delta L$$

$$Q_s = 1 \cdot \pi \cdot 0,60 \cdot 25 \cdot 15$$

$$Q_s = 706,86 \text{ kN [Dizayn Değeri]}$$

β Metodu

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L \quad f = \beta \cdot \sigma_v' \quad \beta = K \cdot \tan \phi_r$$

$$K = 1 - \sin \phi_r = 1 - \sin 5^\circ = 0,913 \quad \beta = 0,913 \cdot \tan 5^\circ = 0,08$$

$$Q_s = \pi \cdot 0,60 \cdot 15 \cdot (0,08 \cdot 117,505)$$

$$Q_s = 265,709 \text{ kN}$$

Killi Zeminde 0,80 m Kazık İçin Uç Taşıma Kapasitesi Hesabı

$$L = 15 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad A_p = \pi D^2/4 = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$D = 0,80 \text{ m} \quad c = 25 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p' = 12 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,5 \text{ m} + (17,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 14,5 \text{ m} = 117,505 \text{ kN/m}^2$$

Meyerhof Metodu

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c^* + q_p' \cdot N_q^*) \text{ (ağırlığa bağlı katsayı ihmal edilmiştir.)}$$

$$L_b/D = 15/0,80 = 18,75 \text{ Şekil 4.4'ten; } \phi = 5^\circ \quad N_q^* = 1,8 N_c^* = 11$$

$$Q_p = 0,5027 \cdot (25 \cdot 11 + 117,505 \cdot 1,8) = \mathbf{244,57 \text{ kN}} \quad (\phi = 5^\circ)$$

Limit Degeri; $Q_p = A_p \cdot q_l$

$$q_l = 50 \cdot N_q \cdot \tan \phi = 50 \cdot 5 \cdot \tan 5^\circ = 21,872 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot q_l = 0,5027 \cdot 21,872 = \mathbf{10,99 \text{ kN}} \quad A_p \cdot q_p < A_p \cdot q_l \text{ olması gerekir;}$$

$$10,99 < 244,57 \quad \mathbf{Q_p = 10,99 \text{ kN}}$$

SPT N Değerlerine Göre;

$$q_p = 40 \cdot N \cdot (L/D) \leq 400N \quad N = 4$$

$$Q_p \text{ ult} = A_p \cdot q_p = 0,5027 \cdot 40 \cdot 4 \cdot 18,75 = \mathbf{1508,1 \text{ kN}}$$

Limit Degeri; $Q_p = A_p \cdot 400N = 0,5027 \cdot 400 \cdot 4 = \mathbf{804,32 \text{ kN}}$

$$40 \cdot N \cdot (L/D) \leq 400N$$

$$804,32 < 1508,1 \quad \mathbf{Q_p = 804,32 \text{ kN}}$$

Hansen Metodu

$$Q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c \cdot d_c + \eta \cdot q \cdot N'_q \cdot d_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B_p \cdot N_\gamma)$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^{2 \tan^{-1} L/B} = 1,22 \quad N'_q = 1,60$$

$$d_c = 1 + 0,4 \tan^{-1} L/B = 1,61 \quad N_c = 6,49$$

$$\eta = 1 \quad N_\gamma = 0,10$$

$$Q_p = 0,5027 \cdot (25 \cdot 6,49 \cdot 1,61 + 1 \cdot 117,505 \cdot 1,60 \cdot 1,22 + 0,5 \cdot (17,5 - 9,81) \cdot 0,80 \cdot 0,1) = 246,78 \text{ kN}$$

Vesic Metodu

$N\sigma^*$ ve Nc^* değerlerine göre; (ağırlığa bağlı katsayı ihmal edilmiştir.)

$$\text{Çizelge 4.3'ten; } Irr = Ir = 60 \quad \phi = 5^\circ \quad N\sigma^* = 2,16 \quad Nc^* = 13,30$$

$$Q_p = A_p \cdot (c \cdot Nc^* + \sigma' \cdot N\sigma^*)$$

$$\sigma_o' = q' \cdot (1 + 2K_o) / 3$$

$$K_o = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 5^\circ = 0,913$$

$$\sigma_o' = 117,505 \cdot (1 + 2 \cdot 0,913) / 3 = 110,69$$

$$Q_p = 0,5027 \cdot (25 \cdot 13,30 + 110,69 \cdot 2,16) = \mathbf{287,34 \text{ kN}}$$

Terzaghi Metodu

$$Q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c \cdot s_c + q \cdot N_q + 0,5 \gamma' \cdot N_\gamma s_\gamma) \quad \phi = 5^\circ; \text{Çizelge 4.1'den};$$

$$N_q = 1,60$$

$$N_c = 7,30$$

$$N_\gamma = 0,50$$

$$s_c = 1,3; \quad s_\gamma = 0,6 \text{ (dairesel)}$$

$$Q_p = 0,5027 \cdot (25 \cdot 7,30 \cdot 1,3 + 117,505 \cdot 1,60 + 0,5 \cdot (17,5 - 9,81) \cdot 0,60 \cdot 0,50) = 214,36 \text{ kN}$$

Janbu Metodu

$$Q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c \cdot d_c + \eta \cdot q \cdot N'_q \cdot d_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B_p \cdot N_\gamma)$$

$$\phi = 5^\circ; \quad \psi = 75^\circ; \quad \text{Çizelge 3.1'den}; \quad N_q = 1,50$$

$$\text{Hansen Metodu'ndan}; \quad d_q = 1,22 \quad N_c = 5,69$$

$$d_c = 1,61 \quad N_\gamma = 0,10$$

$$Q_p = 0,5027 \cdot (25 \cdot 5,69 \cdot 1,61 + 1 \cdot 117,505 \cdot 1,50 \cdot 1,22 + 0,5 \cdot (17,5 - 9,81) \cdot 0,80 \cdot 0,1) = 223,38 \text{ kN}$$

Çizelge 8.6. Killi zeminde 0,80 m kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri

| Kullanılan Metotlar | Q_p Değerleri (kN) | Dizayn Değeri (kN) |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|
| Meyerhof | 244,57 | 244,57 (Meyerhof Metodu) |
| SPT N | 804,32 | |
| Hansen | 246,78 | |
| Vesic | 287,34 | |
| Terzaghi | 214,36 | |
| Janbu | 223,38 | |

Killi Zeminde 0,80 m Kazık İçin Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$L = 15 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad \delta = 0,6$$

$$D = 0,80 \text{ m} \quad K = K_o = 1 - \sin \phi = 0,913$$

λ Metodu

$$L = 15 \text{ m}; \quad \text{Sekil 4.7'den } \lambda = 0,2$$

$$Q_s = p \cdot L \cdot f_{av} \quad f_{av} = \lambda (\sigma_v' + 2c_u)$$

$$\sigma_v' = 117,505 \text{ kN/m}^2 \quad c_u = 25 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{av} = 0,2 (117,505 + 2 \cdot 25) = 33,50 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \pi \cdot 0,80 \cdot 15 \cdot 33,50$$

$$Q_s = 1262,92 \text{ kN}$$

α Metodu

$$c_u = 25 \text{ kN/m}^2; \quad \text{Sekil 4.9'dan} \quad \alpha = 1$$

$$Q_s = \sum \alpha \cdot p \cdot c_u \cdot \Delta L$$

$$Q_s = 1 \cdot \pi \cdot 0,80 \cdot 25 \cdot 15$$

$$Q_s = 942,48 \text{ kN [Dizayn Değeri]}$$

β Metodu

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L \quad f = \beta \cdot \sigma_v' \quad \beta = K \cdot \tan \phi$$

$$K = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 5^\circ = 0,913$$

$$\beta = 0,913 \cdot \tan 5^\circ = 0,08$$

$$Q_s = \pi \cdot 0,80 \cdot 15 \cdot (0,08 \cdot 117,505)$$

$$Q_s = 354,39 \text{ kN}$$

Killi Zeminde 1,00 m Kazık İçin Uç Tasıma Kapasitesi Hesabı

$$L = 15 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad A_p = \pi \cdot D^2/4 = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$D = 1,00 \text{ m} \quad c = 25 \text{ kN/m}^2$$

$$qp' = 12 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,5 \text{ m} + (17,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 14,5 \text{ m} = 117,505 \text{ kN/m}^2$$

Meyerhof Metodu

$$Q_p = A_p \cdot qp = A_p \cdot (c \cdot N_c^* + qp' \cdot N_q^*) \text{ (ağırlığa bağlı katsayı ihmal edilmiştir.)}$$

$$Lb/D = 15/1,00 = 15 \text{ Sekil 4.4'ten; } \phi = 5^\circ \quad N_q^* = 1,8 \quad N_c^* = 11$$

$$Q_p = 0,7854 \cdot (25 \cdot 11 + 117,505 \cdot 1,8) = \mathbf{382,10 \text{ kN}}$$

$$\text{Limit Değeri; } Q_p = A_p \cdot ql$$

$$ql = 50 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi = 50 \cdot 1,8 \cdot \tan 5^\circ = 21,872 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot ql = 0,7854 \cdot 21,872 = \mathbf{17,18 \text{ kN}}$$

$A_p \cdot qp < A_p \cdot ql$ olması gerekir;

$$17,18 < 382,10 \quad \mathbf{Q_p = 17,18 \text{ kN}}$$

SPT N Değerlerine Göre;

$$qp = 40 \cdot N \cdot (L/D) \leq 400N \quad N = 4$$

$$Q_{p \text{ ult}} = A_p \cdot qp = 0,7854 \cdot 40 \cdot 4 \cdot 25 = \mathbf{3141,6 \text{ kN}}$$

$$\text{Limit Değeri; } Q_p = A_p \cdot 400N = 0,7854 \cdot 400 \cdot 4 = 1256,64 \text{ kN}$$

$$40 \cdot N \cdot (L/D) \leq 400N$$

$$1256,64 < 3141,6$$

$$Q_p = 1256,64 \text{ kN}$$

Hansen Metodu

$$Q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c \cdot dc + \eta \cdot q \cdot N_q \cdot dq + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B_p \cdot N_\gamma)$$

$$dq = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} L/B = 1,22$$

$$dc = 1 + 0,4 \tan^{-1} L/B = 1,60$$

$$\eta = 1$$

$$N'q = 1,60$$

$$Nc = 6,49$$

$$N\gamma = 0,10$$

$$Qp = 0,7854 \cdot [25 \cdot 6,49 \cdot 1,60 + 1 \cdot 117,505 \cdot 1,60 \cdot 1,22 + 0,5 \cdot (17,5 - 9,81) \cdot 1,00 \cdot 0,1] = 384,34 \text{ kN}$$

Vesic Metodu

$N\sigma^*$ ve Nc^* degerlerine göre; (ağırlığa bağlı katsayı ihmal edilmistir.)

$$\text{Çizelge 4.3'ten; } Irr = Ir = 60 \quad \phi = 5^\circ \quad N\sigma^* = 2,16$$

$$Nc^* = 13,30$$

$$Qp = Ap \cdot (c \cdot Nc^* + \sigma_o' \cdot N\sigma^*)$$

$$\sigma_o' = q' \cdot (1 + 2Ko) / 3 \quad Ko = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 5^\circ = 0,913$$

$$\sigma_o' = 117,505 \cdot (1 + 2 \cdot 0,913) / 3 = 110,69$$

$$Qp = 0,7854 \cdot (25 \cdot 13,30 + 110,69 \cdot 2,16) = \mathbf{448,93 \text{ kN}}$$

Terzaghi Metodu

$$Qp = Ap \cdot (c \cdot Nc \cdot sc + q \cdot Nq + 0,5 \cdot \gamma' \cdot N\gamma \cdot s\gamma) \quad \phi = 5^\circ; \quad Nq = 1,60$$

$$Nc = 7,30$$

$$N\gamma = 0,50$$

$$sc = 1,3 ; s\gamma = 0,6 \text{ (dairesel)}$$

$$Qp = 0,7854 \cdot [25 \cdot 7,30 \cdot 1,3 + 117,505 \cdot 1,60 + 0,5 \cdot (17,5 - 9,81) \cdot 0,60 \cdot 0,50] = 334,90 \text{ kN}$$

Janbu Metodu

$$Qp = Ap \cdot (c \cdot Nc \cdot dc + \eta \cdot q \cdot N'q \cdot dq + 0,5 \cdot \gamma' \cdot Bp \cdot N\gamma)$$

$$\phi = 5^\circ; \psi = 75^\circ; \quad Nq = 1,50$$

$$\text{Hansen Metodu'ndan; } dq = 1,22 \quad Nc = 5,69$$

$$dc = 1,60 \quad N\gamma = 0,10$$

$$Q_p = 0,7854 \cdot (25 \cdot 5,69 \cdot 1,60 + 1 \cdot 117,505 \cdot 1,50 \cdot 1,22 + 0,5 \cdot (17,5 - 9,81) \cdot 1,00 \cdot 0,1) = 347,95 \text{ kN}$$

Çizelge 8.7. Killi zeminde 1 m kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri

| Kullanılan Metotlar | Q_p Değerleri (kN) | Dizayn Değeri (kN) |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|
| Meyerhof | 382,10 | 382,10 (Meyerhof Metodu) |
| SPT N | 1256,64 | |
| Hansen | 383,34 | |
| Vesic | 448,93 | |
| Terzaghi | 334,90 | |
| Janbu | 347,95 | |

Killi Zeminde 1,00 m Kazık İçin Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$L = 15 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad \delta = 0,6$$

$$D = 1,00 \text{ m} \quad K = K_o = 1 - \sin \phi = 0,913 \quad L' = 15D = 15$$

λ Metodu

$$L = 15 \text{ m}; \quad \text{Şekil 4.7'den} \quad \lambda = 0,25$$

$$Q_s = p \cdot L \cdot f_{av} \quad f_{av} = \lambda (\sigma_v' + 2c_u)$$

$$\sigma_v' = 117,505 \text{ kN/m}^2 \quad c_u = 25 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{av} = 0,25 (117,505 + 2 \cdot 25) = 41,88 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \pi \cdot 1,00 \cdot 15 \cdot 41,88$$

$$Q_s = 1973,37 \text{ kN}$$

α Metodu

$$c_u = 25 \text{ kN/m}^2; \quad \text{Şekil 4.9'dan} \quad \alpha = 1$$

$$Q_s = \sum \alpha \cdot p \cdot c_u \cdot \Delta L$$

$$Q_s = 1 \cdot \pi \cdot 1,00 \cdot 25 \cdot 15$$

$$Q_s = 1178,10 \text{ kN [Dizayn Değeri]}$$

β Metodu

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L \quad f = \beta \sigma_v' \quad \beta = K \cdot \tan \phi$$

$$K = 1 - \sin\phi = 1 - \sin 5^\circ = 0,913$$

$$\beta = 0,913 \cdot \tan 5^\circ = 0,08$$

$$Q_s = \pi \cdot 1,00 \cdot 15 \cdot (0,08 \cdot 117,505)$$

$$Q_s = 442,98 \text{ kN}$$

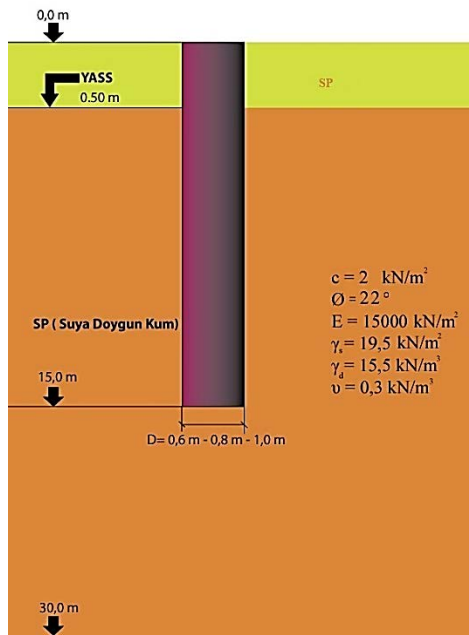
$$c_u = 0,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$0,6 \text{ m kazık izin verilebilir taşıma gücü} = (Q_u + Q_s) / G \cdot S = (137,54 + 706,86) / 3 \\ = 281,47 \text{ kN}$$

$$0,8 \text{ m kazık izin verilebilir taşıma gücü} = (Q_u + Q_s) / G \cdot S = (244,57 + 942,48) / 3 \\ = 395,68$$

$$1,0 \text{ m kazık izin verilebilir taşıma gücü} = (Q_u + Q_s) / G \cdot S = (382,10 + 1178,10) / 3 \\ = 520,07 \text{ kN}$$

8.2.2. Kumlu Zeminde Taşıma Kapasitesi



Şekil 8.3. 30m kum zemine yapılan 15m kazık temel

Kumlu Zeminde 0,60 m Kazık İçin Uç Taşıma Kapasitesi Hesabı

Meyerhof yöntemi

$$L_b/D = 15/0,6 = 25 \quad \phi = 22^\circ \Rightarrow N_q^* = 17, N_c^* = 37$$

$$q_p' = (\gamma d) \cdot 0,5 + (\gamma_s - \gamma_w) \cdot 14,5 = (15,5)(0,5) + (19,5 - 9,81)(14,5) = 148,255 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p [c \cdot N_c^* + q' \cdot N_q^*] = (0,2827) [(2)(37) + (148,255)(17)] = \mathbf{733,42 \text{ kN}}$$

$$q_l = 50 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi = (50)(17)(\tan 22^\circ) = 343,422 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot q_l = (0,283)(343,422) = \mathbf{97,189 \text{ kN}}$$

Coyle & Castello yöntemi

$$L/D = 25 \quad \phi = 22^\circ \Rightarrow N_q^* \ll 19$$

$$Q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q^* = (0,2827)(148,255)(19) = \mathbf{796,32 \text{ kN}}$$

Vesic yöntemi

$$K_o = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 22^\circ = 0,625$$

$$\sigma \sigma' = (1 + 2K_o) q'/3 = 111,19 \text{ kN/m}^3 \Rightarrow N_{\sigma^*} = 15,50, N_c^* = 35,89$$

$$Q_p = A_p [c \cdot N_c^* + \sigma \sigma' \cdot N_{\sigma^*}]$$

$$= (0,2827)[(25)(35,89) + (111,19)(15,50)] = \mathbf{740,87 \text{ kN}}$$

Çizelge 8.8. Kumlu zeminde 0,6 m kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri

| Kullanılan Metotlar | Q_p Değerleri (kN) | Dizayn Değeri (kN) |
|---------------------|----------------------|--------------------|
| Meyerhof | 733,42 | 733,42 |
| Coyle & Castello | 796,32 | (Meyerhof Metodu) |
| Vesic | 740,87 | |

Sürtünme direnci

$$0 \sim 15D \Rightarrow 0 \sim 9m \text{ arası:}$$

$$\sigma_v' = (15,5)(0,5) + (19,5 - 9,81)(8,5) = 90,12 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = P \cdot L' \cdot f_{av}$$

$$= (0,6\pi)(9) [(0,625)(90,12)(\tan 13,2^\circ)/2] = 112,06 \text{ kN}$$

15D ~ L => 9 ~ 15m arası:

$$Q_s = P \cdot L' \cdot \text{fav}$$

$$= (0,6 \pi)(6) [(0,625)(90,12)(\tan 13,2^\circ)] = 149,41 \text{ kN}$$

$$Q_s = 112,06 + 149,41 = \mathbf{261,47 \text{ kN}}$$

Kumlu Zeminde 0,80 m Kazık İçin Uç Taşıma Kapasitesi Hesabı

Meyerhof yöntemi

$$Lb/D = 15/0,8 = 18,75 \quad \phi=22^\circ \Rightarrow N_q^* = 17, N_c^* = 37$$

$$q_p' = (\gamma d) \cdot 0,5 + (\gamma_s - \gamma_w) \cdot 14,5 = (15,5)(0,5) + (19,5 - 9,81)(14,5) = 148,255 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p [c \cdot N_c^* + q' \cdot N_q^*] = (0,5027) [(2)(37) + (148,255)(17)] = \mathbf{1304,17 \text{ kN}}$$

$$q_l = 50 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi = (50)(17)(\tan 22^\circ) = 343,422 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot q_l = (0,5027)(343,422) = \mathbf{172,74 \text{ kN}}$$

Coyle & Castello yöntemi

$$L/D = 18,75 \quad \phi=22^\circ \Rightarrow N_q^* \ll 20$$

$$Q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q^* = (0,5027)(148,255)(20) = \mathbf{1490,56 \text{ kN}}$$

Vesic yöntemi

$$K_o = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 22^\circ = 0,625$$

$$\sigma \sigma' = (1 + 2K_o) q' / 3 = 111,19 \text{ kN/m}^3 \Rightarrow N_{\sigma^*} = 15,50, N_c^* = 35,89$$

$$Q_p = A_p [c \cdot N_c^* + \sigma \sigma' \cdot N_{\sigma^*}]$$

$$= (0,5027)[(25)(35,89) + (111,19)(15,50)] = \mathbf{1317,42 \text{ kN}}$$

Çizelge 8.9. Kumlu zeminde 0,8 m kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri

| Kullanılan Metotlar | Q_p Değerleri (kN) | Dizayn Değeri (kN) |
|---------------------|----------------------|--------------------|
| Meyerhof | 1304,17 | 1304,17 |
| Coyle & Castello | 1490,56 | (Meyerhof Metodu) |
| Vesic | 1317,42 | |

Sürtünme direnci

0 ~ 15D => 0 ~ 12m arası:

$$\sigma_v' = (15,5)(0,5) + (19,5 - 9,81)(11,5) = 113,44 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = P \cdot L' \cdot f_{av}$$

$$= (0,8\pi)(12) [(0,625)(113,44)(\tan 13,2^\circ)/2] = 250,77 \text{ kN}$$

15D ~ L => 12 ~ 15m arası:

$$Q_s = P \cdot L' \cdot f_{av}$$

$$= (0,8 \pi)(3) [(0,625)(113,44)(\tan 13,2^\circ)] = 125,38 \text{ kN}$$

$$Q_s = 250,77 + 125,38 = \mathbf{376,15 \text{ kN}}$$

Kumlu Zeminde 1 m Kazık İçin Uç Taşıma Kapasitesi Hesabı

Meyerhof yöntemi

$$L_b/D = 15/1 = 15 \quad \phi = 22^\circ \Rightarrow N_q^* = 17, N_c^* = 37$$

$$q_p' = (\gamma d) \cdot 0,5 + (\gamma_s - \gamma_w) \cdot 14,5 = (15,5)(0,5) + (19,5 - 9,81)(14,5) = 148,255 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p [c \cdot N_c^* + q' \cdot N_q^*] = (0,7854) [(2)(37) + (148,255)(17)] = \mathbf{2037,59 \text{ kN}}$$

$$q_l = 50 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi = (50)(17)(\tan 22^\circ) = 343,422 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot q_l = (0,7854)(343,422) = \mathbf{296,586 \text{ kN}}$$

Coyle & Castello yöntemi

$$L/D = 15 \quad \phi = 22^\circ \Rightarrow N_q^* \ll 19$$

$$Q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q^* = (0,7854)(148,255)(19) = \mathbf{2212,35 \text{ kN}}$$

Vesic yöntemi

$$K_o = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 22^\circ = 0,625$$

$$\sigma_o' = (1 + 2K_o) q'/3 = 111,19 \text{ kN/m}^3 \Rightarrow N_{\sigma^*} = 15,50, N_c^* = 35,89$$

$$Q_p = A_p [c \cdot N_c^* + \sigma_o' \cdot N_{\sigma^*}]$$

$$= (0,7854)[(25)(35,89) + (111,19)(15,50)] = \mathbf{2058,29 \text{ kN}}$$

Çizelge 8.10. Kumlu zeminde 1,0 m kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri

| Kullanılan Metotlar | Q_p Değerleri (kN) | Dizayn Değeri (kN) |
|---------------------|----------------------|--------------------|
| Meyerhof | 2037,59 | 2037,59 |
| Coyle & Castello | 2212,35 | (Meyerhof Metodu) |
| Vesic | 2058,29 | |

Sürtünme direnci

0 ~ 15D \Rightarrow 0 ~ 15m arası:

$$\sigma_v' = (15,5)(0,5) + (19,5 - 9,81)(14,5) = 148,255 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = P \cdot L' \cdot f_{av}$$

$$= (1\pi)(15) [(0,625)(148,255)(\tan 13,2^\circ)/2] = 512,07 \text{ kN}$$

$$Q_s = \mathbf{512,07 \text{ kN}}$$

$$\begin{aligned} 0,6 \text{ m kazık izin verilebilir taşıma gücü} &= (Q_u + Q_s)/G \cdot S = (733,42 + 261,47)/3 \\ &= 331,63 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,8 \text{ m kazık izin verilebilir taşıma gücü} &= (Q_u + Q_s)/G \cdot S = (1304,17 + 376,15)/3 \\ &= 560,11 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1,0 \text{ m kazık izin verilebilir taşıma gücü} &= (Q_u + Q_s)/G \cdot S = (2037,59 + 512,07)/3 \\ &= 849,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

Çizelge 8.11. Killi zeminde müsaade edilebilir taşıma kapasitesi

| Kil Zemin | 0,6 ^m kazık çapı | 0,8 ^m kazık çapı | 1 ^m kazık çapı |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Uç Taşıma Kapasitesi | 137,54 kN | 244,57 kN | 382,10 kN |
| Sürtünme Direnci | 706,86 kN | 942,48 kN | 1178,10 kN |
| Toplam Taşıma Gücü | 828,88 kN | 1324,58 kN | 1560,20 kN |
| Müsaade Edilebilir Taşıma Gücü (GS=3) | 844,40/3= 281,47 kN | 1324,58/3= 395,68 kN | 1560,20/3= 520,07 kN |

Çizelge 8.12. Killi zeminde müsadde edilebilir taşıma kapasitesi

| Kum Zemin | 0,6 ^m kazık çapı | 0,8 ^m kazık çapı | 1 ^m kazık çapı |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Uç Taşıma Kapasitesi | 733,42 kN | 1304,17 kN | 2037,59 kN |
| Sürtünme Direnci | 261,47 kN | 376,15 kN | 512,07 kN |
| Toplam Taşıma Gücü | 994,89 kN | 1680,32 kN | 2549,66 kN |
| Müsadde Edilebilir Taşıma Gücü (GS=3) | 994,89/3= 331,63 kN | 1680,32/3= 560,11 kN | 2549,66/3= 849,88 kN |

8.3.Kumlu ve Killi Zeminde Tekil Kazıklara Gelen Statik Yükler Altında Deformasyon Hesabı

8.3.1. Kil Zeminde Yapılan Tekil Kazığın Deformasyonu

a)0,6^m kazık çapı kil zemin için oturma hesabı

$Q_u=281,47$ kN izin verilebilir taşıma gücü

$$Q_u = Q_{wp} + Q_{ws}$$

$Q_{wp}=45,85$ kN uç mukavemeti ile karşılanan taşıma gücü

$Q_{ws}=235,62$ kN sürtünme ile karşılanan taşıma gücü

$$\xi = 0,6 \quad A_p = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$E_p = 1,08 \times 10^7 \text{ kN/ m}^2$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$q_{wp}=Q_{wp}/A_p=45,85/0,2827=162,19 \text{ kN/m}^2$$

$$C_p=0,05$$

$$L=15\text{m}$$

$$C_s = \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{15}{0,60}} \right) C_p = 0,0865$$

a)Şaft boyunca kazığın elastik davranışı nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})}{A_p E_p} L$$

$$s_1=(45,85+0,6 \times 235,62)/(1,08 \times 10^7) \times 15= 0,26\text{mm}$$

b)Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_2 = \frac{Q_{wp} C_p}{D \cdot q_p}$$

$$s_2=(45,85 \times 0,05)/(0,6 \times 162,19)= 23,56\text{mm}$$

c)Kazık boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_3 = \frac{Q_{us} C_s}{L \cdot q_p}$$

$$s_3=(235,62 \times 0,0865)/(15 \times 143,86)= 9,44\text{mm}$$

$$s=s_1+ s_2+ s_3 \quad s= 0,26\text{mm} + 23,56\text{mm} + 9,44\text{mm}$$

$$s = 33,26 \text{ mm}$$

b) 0,80m kazık çapı kil zemin için oturma hesabı

$$Q_u = 395,68 \text{ kN izin verilebilir taşıma gücü} \quad Q_u = Q_{wp} + Q_{ws}$$

$$Q_{wp} = 81,52 \text{ kN uç mukavemeti ile karşılanan taşıma gücü}$$

$$Q_{ws} = 314,16 \text{ kN sürtünme ile karşılanan taşıma gücü}$$

$$\xi = 0,6 \quad A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_p = 1,92 \times 10^7 \text{ kN/m}^2 \quad D = 0,80 \text{ m}$$

$$q_{wp} = Q_{wp}/A_p = 81,52/0,5027 = 162,16 \text{ kN/m}^2$$

$$C_p = 0,05$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$C_s = \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{15}{0,80}} \right) C_p = 0,0811$$

a) Şaft boyunca kazığın elastik davranışı nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})}{A_p E_p} L$$

$$s_1 = (81,52 + 0,6 \times 314,16) / (1,92 \times 10^7) \times 15 = 0,21 \text{ mm}$$

b)Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_2 = \frac{Q_{up} C_p}{D \cdot q_p}$$

$$s_2 = (81,52 \times 0,05) / (0,8 \times 162,16) = 31,42 \text{m}$$

c)Kazık boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_3 = \frac{Q_{us} C_s}{L \cdot q_p}$$

$$s_3 = (314,16 \times 0,0811) / (15 \times 162,16) = 10,47 \text{mm}$$

$$s = s_1 + s_2 + s_3 \quad s = 0,21 \text{mm} + 31,42 \text{mm} + 10,47 \text{mm}$$

$$s = 42,10 \text{mm}$$

c)1^m kazık çapı kil zemin için oturma hesabı

$Q_u = 520,07 \text{ kN}$ izin verilebilir taşıma gücü

$$Q_u = Q_{wp} + Q_{ws}$$

$Q_{wp} = 127,37 \text{ kN}$ uç mukavemeti ile karşılanan taşıma gücü

$Q_{ws} = 392,70 \text{ kN}$ sürtünme ile karşılanan taşıma gücü

$$\xi = 0,6 \quad A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_p = 3 \times 10^7 \text{ kN/m}^2 \quad D = 1,00 \text{m}$$

$$q_{wp}=Q_{wp}/A_p=127,37/0,7854=162,17 \text{ kN/ m}^2$$

$$C_p=0,05 \quad L=15\text{m}$$

$$C_s = \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{15}{1,00}} \right) C_p = 0,0775$$

a)Şaft boyunca kazığın elastik davranışı nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})}{A_p E_p} L$$

$$s_1=(127,37+0,6 \times 392,70)/(3 \times 10^7) \times 15 = 0,18\text{mm}$$

b)Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_2 = \frac{Q_{wp} C_p}{D \cdot q_p}$$

$$s_2=(127,37 \times 0,05)/(1 \times 162,17) = 39,27\text{mm}$$

c)Kazık boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_3 = \frac{Q_{ws} C_s}{L \cdot q_p}$$

$$s_3=(392,70 \times 0,0775)/(15 \times 162,17) = 12,51\text{mm}$$

$$s = s_1 + s_2 + s_3 \quad s = 0,18\text{mm} + 39,27\text{mm} + 12,51\text{mm}$$

$$s = 51,96 \text{ mm}$$

8.3.2. Kum Zeminde Yapılan Tekil Kazığın Deformasyonu

a) 0,6^m kazık çapı kum zemin için oturma hesabı

s₁ oturması

Şaft boyunca kazığın elastik davranışı nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 244,47 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = 87,16 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (244,47 + 0,6 \times 87,16) (15) / 1,08 \times 10^7 = 0,41 \text{ mm}$$

s₂ oturması

Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s)$$

$$Q_{up} = 244,47 \text{ kN}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_s = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN / m}^2$$

$$s_2 = (244,47 \times 0,6) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,2827 \times 15000) = 27,70 \text{ mm}$$

s₃ oturması

Kazık boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D / E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 87,16 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (87,16)/(1,885 \times 15) (0,6/15000) (1-0,3^2) (3,75) = 0,42 \text{ mm}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,41 + 27,70 + 0,42 = 28,53 \text{ mm}$$

b)0,8m kazık çapı kum zemin için oturma hesabı

s1 oturması

Şaft boyunca kazığın elastik davranışı nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 434,72 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = 125,38 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (434,72 + 0,6 \times 125,38) (15) / 1,92 \times 10^7 = 0,40 \text{ mm}$$

s2 oturması

Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s)$$

$$Q_{up} = 434,72 \text{ kN}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_s = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (434,72 \times 0,8) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,5027 \times 15000) = 36,93 \text{ mm}$$

s3 oturması

Kazık boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 125,38 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (125,38) / (2,513 \times 15) (0,8/15000) (1 - 0,3^2) (3,516) = 0,57 \text{ mm}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,40 + 36,93 + 0,57 = 37,90 \text{ mm}$$

c)1^m kazık çapı kum zemin için oturma hesabı

s₁ oturması

Şaft boyunca kazığın elastik davranışı nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 679,20 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = 170,69 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (679,20 + 0,6 \times 170,69) (15) / 3 \times 10^7 = 0,39 \text{ mm}$$

s₂ oturması

Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s)$$

$$Q_{up} = 679,20 \text{ kN}$$

$$D = 1 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_s = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (679,20 \times 1) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,7854 \times 15000) = 46,17 \text{ mm}$$

s3 oturması

Kazık boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 170,69 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (170,69) / (3,142 \times 15) (1/15000) (1 - 0,3^2) (3,356) = 0,74 \text{ mm}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,39 + 46,17 + 0,74 = 47,30 \text{ mm}$$

Çizelge 8.13. Killi zeminde meydana gelen oturmalar

| Kil Zemin | 0,6 ^m kazık çapı | 0,8 ^m kazık çapı | 1 ^m kazık çapı |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| S ₁ Oturması | 0,26 mm | 0,21 mm | 0,18 mm |
| S ₂ Oturması | 23,56 mm | 31,42 mm | 39,27 mm |
| S ₃ Oturması | 9,44 mm | 10,47 mm | 12,51 mm |
| Toplam Oturma | 33,26 mm | 42,10 mm | 51,96 mm |

Çizelge 8.14. Kumlu zeminde meydana gelen oturmalar

| Kum Zemin | 0,6 ^m kazık çapı | 0,8 ^m kazık çapı | 1 ^m kazık çapı |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| S ₁ Oturması | 0,41 mm | 0,40 mm | 0,39 mm |
| S ₂ Oturması | 27,70 mm | 36,93 mm | 46,17 mm |
| S ₃ Oturması | 0,42 mm | 0,57 mm | 0,74 mm |
| Toplam Oturma | 28,53 mm | 37,90 mm | 47,30 mm |

Çizelge 8.15. 281,47 kN yük altında 0,6m kazık çapına sahip temelin killi zeminde meydana gelen oturmaları

| Hesap Türü | Ampirik | SAP2000 | Plaxis |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Deformasyon | 33,26 ^{mm} | 38,00 ^{mm} | 30,60 ^{mm} |

Çizelge 8.16. 331,63 kN yük altında 0,6m kazık çapına sahip temelin kumlu zeminde meydana gelen oturmaları

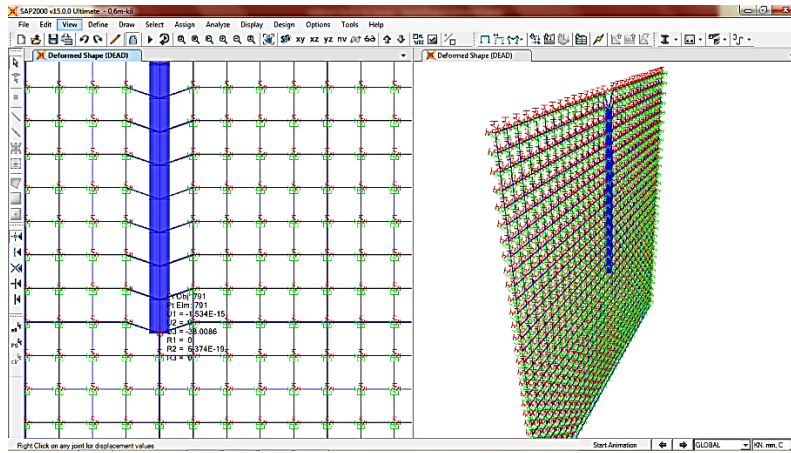
| Hesap Türü | Ampirik | SAP2000 | Plaxis |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Deformasyon | 28,53 ^{mm} | 28,56 ^{mm} | 29,01 ^{mm} |

Çizelge 8.17. 395,68 kN yük altında 0,8m kazık çapına sahip temelin killi zeminde meydana gelen oturmaları

| Hesap Türü | Ampirik | SAP2000 | Plaxis |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Deformasyon | 42,10 ^{mm} | 47,88 ^{mm} | 43,92 ^{mm} |

Çizelge 8.18. 560,11 kN yük altında 0,8m kazık çapına sahip temelin kumlu zeminde meydana gelen oturmaları

| Hesap Türü | Ampirik | SAP2000 | Plaxis |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Deformasyon | 37,90 ^{mm} | 37,55 ^{mm} | 39,08 ^{mm} |



Şekil 8.4. 30^m kil zemine yapılan 0,6^m çapındaki kazık temelin 281,47 kN yük altında SAP2000 programı ile hesaplanan deformasyonu.

Çizelge 8.19. 520,07 kN yük altında 1,0m kazık çapına sahip temelin killi zeminde meydana gelen oturmaları

| Hesap Türü | Ampirik | SAP2000 | Plaxis |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Deformasyon | 51,96 ^{mm} | 59,68 ^{mm} | 59,38 ^{mm} |

Çizelge 8.20. 849,88 kN yük altında 1,0m kazık çapına sahip temelin kumlu zeminde meydana gelen oturmaları

| Hesap Türü | Ampirik | SAP2000 | Plaxis |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Deformasyon | 47,30 ^{mm} | 49,00 ^{mm} | 53,25 ^{mm} |

Çizelge 8.21. Kil ve kum zemindeki kazığın statik yük altında yaptığı deformasyon

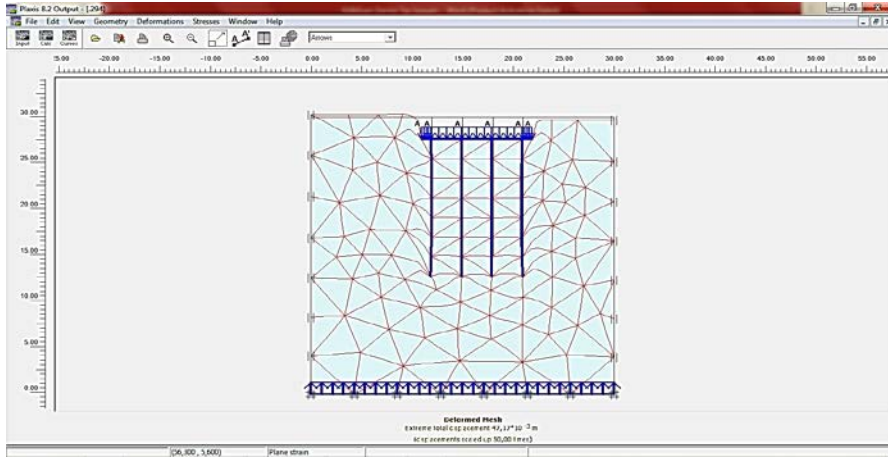
| Zemin Türü | Kil Zemin | | | Kum Zemin | | |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Kazık Çapı | 0,6 ^m | 0,8 ^m | 1 ^m | 0,6 ^m | 0,8 ^m | 1 ^m |
| Müsade Edilebilir Taşıma Gücü | 281,47 kN | 395,68 kN | 520,07 kN | 331,63 kN | 560,11 kN | 849,88 kN |
| Statik Yük Altında Ortalama Deformasyon | 33,95 ^{mm} | 44,63 ^{mm} | 57,01 ^{mm} | 28,70 ^{mm} | 38,18 ^{mm} | 49,85 ^{mm} |

Çizelge 8.22. Deprem yükü altında 0,60m kazık çapına sahip temelin killi zeminde meydana gelen oturmaları

| Deprem Büyüklüğü | SAP2000 | Plaxis |
|------------------|---------------------|---------------------|
| Mw=5 | 65,43 ^{mm} | 59,70 ^{mm} |
| Mw=6 | 82,27 ^{mm} | 76,60 ^{mm} |
| Mw=7 | 98,74 ^{mm} | 93,01 ^{mm} |

Çizelge 8.23. Deprem yükü altında 0,60m kazık çapına sahip temelin kumlu zeminde meydana gelen oturmaları

| Deprem Büyüklüğü | SAP2000 | Plaxis |
|------------------|---------------------|---------------------|
| Mw=5 | 47,06 ^{mm} | 47,12 ^{mm} |
| Mw=6 | 65,21 ^{mm} | 65,41 ^{mm} |
| Mw=7 | 81,14 ^{mm} | 81,27 ^{mm} |



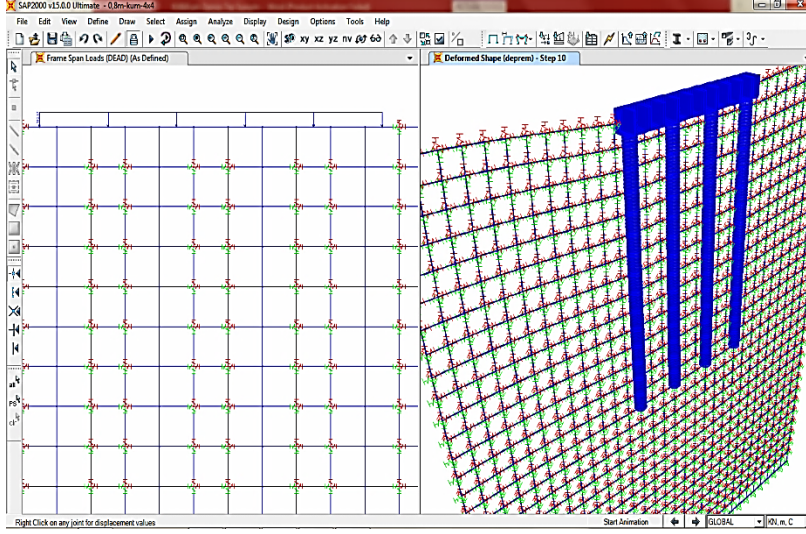
Şekil 8.5. 30^m kil zemine yapılan 0,6^m çapındaki kazık grubu temelinin $M_w=7$ büyüklüğündeki deprem yükü altında Plaxis programı ile hesaplanan deformasyonu.

Çizelge 8.24. Deprem yükü altında 0,80m kazık çapına sahip temelin killi zeminde meydana gelen oturmaları

| Deprem Büyüklüğü | SAP2000 | Plaxis |
|------------------|----------------------|----------------------|
| $M_w=5$ | 90,23 ^{mm} | 85,71 ^{mm} |
| $M_w=6$ | 113,75 ^{mm} | 108,66 ^{mm} |
| $M_w=7$ | 136,29 ^{mm} | 131,23 ^{mm} |

Çizelge 8.25. Deprem yükü altında 0,80m kazık çapına sahip temelin kumlu zeminde meydana gelen oturmaları

| Deprem Büyüklüğü | SAP2000 | Plaxis |
|------------------|----------------------|----------------------|
| $M_w=5$ | 119,26 ^{mm} | 120,08 ^{mm} |
| $M_w=6$ | 138,21 ^{mm} | 138,96 ^{mm} |
| $M_w=7$ | 153,44 ^{mm} | 154,11 ^{mm} |



Şekil 8.6. 30^m kum zemine yapılan 0,8^m çapındaki kazık grubu temelini $M_w=7$ büyüklüğündeki deprem yükü altında SAP2000 programı ile hesaplanan deformatsyonu.

Çizelge 8.26. Deprem yükü altında 1,0m kazık çapına sahip temelini killi zeminde meydana gelen oturmaları

| Deprem Büyüklüğü | SAP2000 | Plaxis |
|------------------|----------------------|----------------------|
| $M_w=5$ | 125,20 ^{mm} | 122,19 ^{mm} |
| $M_w=6$ | 154,75 ^{mm} | 149,47 ^{mm} |
| $M_w=7$ | 180,19 ^{mm} | 175,95 ^{mm} |

Çizelge 8.27. Deprem yükü altında 1,0m kazık çapına sahip temelini kumlu zeminde meydana gelen oturmaları

| Deprem Büyüklüğü | SAP2000 | Plaxis |
|------------------|----------------------|----------------------|
| $M_w=5$ | 242,03 ^{mm} | 243,23 ^{mm} |
| $M_w=6$ | 263,11 ^{mm} | 263,58 ^{mm} |
| $M_w=7$ | 276,84 ^{mm} | 277,46 ^{mm} |

8.4.Kumlu ve Killi Zeminde Dinamik Çözümler Sonucu Elde Edilen Düşey Deformasyonlardan Geri Hesap Yapılması Suretiyle Kazıklara Gelen Eşdeğer Düşey Statik Yüklerin Belirlenmesi

8.4.1. Kil Zeminde Yapılan Kazık Temellerin Eşdeğer Statik Yüklerinin Hesaplanması

$$E = 1 - \tan^{-1} \left(\frac{d}{s} \right)^{\frac{m(n-1)+n(m-1)}{90mn}}$$

$$d = 1\text{m} \quad s = 3,00\text{m} \quad m = n = 4$$

$$E = 1 - \tan^{-1} \left(\frac{1}{3} \right)^{\frac{4(4-1)+4(4-1)}{90 \times 4 \times 4}} \quad E = 0,70$$

Her bir kazık çapı için grup etkinlik faktörü değişmekle birlikte zeminler $N=4$ değerine sahip olduğu için tüm çaplarda grup etkinlik faktörü olarak minimum olan $E = 0,70$ değeri kullanılmıştır.

30^m kil zemine yapılan 0,6^m çapındaki kazık temele uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Çizelge 8.28. 0,6m kazık çapına sahip kil zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyüklik (M_w) | Kazık grubu düşey deformasyon (Plaxis) (mm) |
|------------|-----------------|--------------------|---|
| Kil Zemin | 0,6 | $M_w=5$ | 59,70 |
| | | $M_w=6$ | 76,60 |
| | | $M_w=7$ | 93,01 |

Bu modelde 0,6m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi 0,6m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,6 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,6m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan 0,6m kazık grubunun $M_w=5$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$sg(e) = s (4D+3/D+4)^2 = 5,97 \text{ cm}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$sg(e) = s ((4 \times 0,6 + 3) / (0,6 + 4))^2 = 0,0597 \text{ m} \quad s = 0,04332 \text{ m}$$

0,6m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,6m tekil kazığına $s=0,04332$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,04332 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha r = 0,88$$

$$A_p = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,6) (1 - 0,2^2) (0,88) / (0,2827 \times 9500) = 0,04332 \text{ m} = 43,32 \text{ mm}$$

$$Q_{up} = 229,53 \text{ kN}$$

s_1 oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 229,53 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 235,62 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (229,53 + 0,6 \times 235,62) (15) / (1,08 \times 10^7) = 5,15 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 235,62 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (235,62) / (1,885 \times 15) (0,6 / 9500) (1 - 0,2^2) (3,75) = 1,89 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000515 + 0,04332 + 0,00189 = 0,04573 \text{ m} \approx 0,04332 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 229,53 \text{ kN}$$

Kazık grubuna etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (229,53) \times 4 = 918,12 \times 0,7 = 642,68 \text{ kN}$$

0,6m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 0,6m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi 0,6m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,6 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir

0,6m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,6 m kazıklardan oluşan $M_w=6$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 7,660 \text{ cm}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,6 + 3) / (0,6 + 4))^2 = 0,0766 \text{ m} \quad s = 0,05558 \text{ m}$$

0,6m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,6m tekil kazığına $s=0,05558$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,05558 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ? \cdot 1 - \mu_s^2$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha r = 0,88$$

$$A_p = 0,2 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,6) (1 - 0,2^2) (0,88) / (0,2827 \times 9500) = 0,05558 \text{ m}$$

$$Q_{up} = 294,48 \text{ kN/m}^2$$

s_1 oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 294,48 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 235,62 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$s_1 = (294,48 + 0,6 \times 235,62) (15) / (1,08 \times 10^7) = 6,05 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 235,62 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (235,62) / (1,885 \times 15) (0,6/9500) (1 - 0,2^2) (3,75) = 1,89 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000605 + 0,05558 + 0,00189 = 0,0581 \text{ m} \approx 0,05558 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 294,48 \text{ kN/m}^2$$

Kazık-radye sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{(g)} = (294,48) \times 4 = 1177,92 \times 0,7 = 824,54 \text{ kN/m}^2$$

0,6m kazığına uygulanan Mw=7 dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu bölümde 0,6m kazığına uygulanan M7 dinamik yüklemesi 0,6m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,6 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,6m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,6m kazıklardan oluşan $M_w=7$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 9,301 \text{ cm}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,6 + 3) / (0,6 + 4))^2 = 0,09301 \text{ m} \quad s = 0,06749 \text{ m}$$

0,6m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,6m tekil kazığına $s=0,06749$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,06749 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,2 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,6) (1 - 0,2^2) (0,88) / (0,2827 \times 9500) = 0,0696 \text{ m}$$

$$Q_{up} = 357,59 \text{ kN}$$

s_1 oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 357,59 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{us} = Q_s = 235,62 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$s_1 = (357,59 + 0,6 \times 235,62) (15) / (1,08 \times 10^7) = 6,93 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 235,62 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (235,62) / (1,885 \times 15) (0,6/9500) (1 - 0,2^2) (3,75) = 1,89 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000693 + 0,06749 + 0,00189 = 0,0701 \text{ m} \approx 0,06749 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 357,59 \text{ kN}$$

Kazık-grubuna etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (357,59) \times 4 = 1430,36 \times 0,7 = 1001,25 \text{ kN}$$

30^m kil zemine yapılan 0,8^m çapındaki kazık temele uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi için geri hesap

Çizelge 8.29. 0,8m kazık çapına sahip kil zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyüklik (Mw) | Kazık grubu düşey deformasyon (Plaxis) (mm) |
|------------|-----------------|---------------|---|
| Kil Zemin | 0,8 | Mw=5 | 85,71 |
| | | Mw=6 | 108,66 |
| | | Mw=7 | 131,23 |

Bu modelde 0,8m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi 0,8m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,8 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,8m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 3 kazıktan oluşan kazık grubu 0,8m kazıklardan oluşan Mw=5 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 8,571 \text{ cm}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,8 + 3) / (0,8 + 4))^2 = 0,08571 \text{ m} \quad s = 0,05137 \text{ m}$$

0,8 m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,8m tekil kazığına $s=0,05137$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu

görülyüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,05137 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,8) (1 - 0,2^2) (0,88) / (0,5027 \times 9500) = 0,05273 \quad Q_{up} = 362,99 \text{ kN}$$

s_1 oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 362,99 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 314,16 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (362,99 + 0,6 \times 314,16) (15) / (1,92 \times 10^7) = 3,94 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s_3 oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D / E_s) (1 - \mu s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 314,16 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (314,16) / (2,513 \times 15) (0,8 / 9500) (1 - 0,2^2) (3,516) = 1,78 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000394 + 0,05137 + 0,00178 = 0,0535 \text{ m} \approx 0,05137 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 362,99 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (362,99) \times 4 = 1451,96 \times 0,7 = 1016,37 \text{ kN}$$

0,8m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 0,8m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi 0,8m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,8 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,8m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,8m kazıklardan oluşan M_6 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 10,866 \text{ cm}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,8 + 3) / (0,8 + 4))^2 = 0,10866 \text{ m} \quad s = 0,06513 \text{ m}$$

0,8m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,8m tekil kazığına $s=0,06513$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s2 oturması

$$s_2 = (Q_{up}.D) (1-\mu_s^2) I_{wp} / (A_p.E_s) = 0,06513 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,8) (1-0,2^2) (0,88) / (0,5027 \times 9500) = 0,06513 \quad Q_{up} = 460,22 \text{ kN}$$

s1 oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 460,22 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 314,16 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (460,22 + 0,6 \times 314,16) (15) / (1,92 \times 10^7) = 4,70 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s3 oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p.L) (D/E_s) (1-\mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 314,16 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (314,16) / (2,513 \times 15) (0,8/9500) (1-0,2^2) (3,516) = 1,78 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000470 + 0,06513 + 0,00178 = 0,0674 \text{ m} \approx 0,06513 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 460,22 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (460,22) \times 4 = 1840,88 \times 0,7 = 1288,62 \text{ kN}$$

0,8m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 0,8m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi 0,8m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,8 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,8m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,8m kazıklardan oluşan $M_w=7$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 13,123 \text{ cm}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,8 + 3) / (0,8 + 4))^2 = 0,13123 \text{ m} \quad s = 0,07866 \text{ m}$$

0,8m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,8m tekil kazığına $s=0,07866$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,07866 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,8) (1 - 0,2^2) (0,88) / (0,5027 \times 9500) = 0,07866$$

$$Q_{up} = 555,83 \text{ kN}$$

s₁ oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 555,83 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 314,16 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (555,83 + 0,6 \times 314,16) (15) / (1,92 \times 10^7) = 5,45 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 314,16 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (314,16) / (2,513 \times 15) (0,8/9500) (1 - 0,2^2) (3,516) = 1,78 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000545 + 0,07866 + 0,00178 = 0,0810 \text{ m} \approx 0,07866 \text{ m}$$

Bu durumda 0,8m kazığına uygulanan Mw=7 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 555,83 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (555,83) \times 4 = 2223,32 \times 0,7 = 1556,32 \text{ kN}$$

30^m kil zemine yapılan 1^m çapındaki kazık temele uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi için geri hesap

Çizelge 8.30. 1,0m kazık çapına sahip kil zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyüklik (Mw) | Kazık grubu düşey deformasyon (Plaxis) (mm) |
|------------|-----------------|---------------|---|
| Kil Zemin | 1 | Mw=5 | 122,19 |
| | | Mw=6 | 149,47 |
| | | Mw=7 | 175,95 |

Bu modelde 1,0m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi 1,0m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 1,0 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

1,0m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 1,0 m kazıklardan oluşan Mw=5 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 12,219 \text{ cm}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 1 + 3)/(1 + 4))^2 = 0,12219 \text{ m} \quad s = 0,06234 \text{ m}$$

1,0m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 1,0 m tekil kazığına $s=0,06234$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturma s_2 olduğu görülmüştür. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up}.D) (1-\mu_s^2) I_{wp} / (A_p.E_s) = 0,06234 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 1) (1-0,2^2) (0,88) / (0,7854 \times 9500) = 0,06234 \quad Q_{up} = 550,59 \text{ kN}$$

s_1 oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 550,59 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 392,70 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (550,59 + 0,6 \times 392,70) (15) / (0,7854 \times 3 \times 10^7) = 3,93 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s_3 oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p.L) (D/E_s) (1-\mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 392,70 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (392,70)/(3,142 \times 15) (1,0/6560) (1-0,2375^2) (3,356) = 0,002826 \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000393 + 0,06234 + 0,002826 = 0,0656 \text{ m} \approx 0,06234 \text{ m}$$

Bu durumda 1,0m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 550,59 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (550,68) \times 4 = 2202,72 \text{ kN}$$

1,0m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 1,0m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi 1,0m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 1,0 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

1,0m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 1,0 m kazıklardan oluşan $M_w=6$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 14,947 \text{ cm}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 1 + 3)/(1 + 4))^2 = 0,14947 \text{ m} \quad s = 0,07626 \text{ m}$$

1,0m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 1,0 m tekil kazığına $s=0,07626$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu

görülyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,07626 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$\mu s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 1) (1 - 0,2^2) (0,88) / (0,7854 \times 9500) = 0,07626 \quad Q_{up} = 673,53 \text{ kN}$$

s_1 oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 673,53 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 392,70 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (519,54 + 0,6 \times 392,70) (15) / (0,7854 \times 3 \times 10^7) = 4,55 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s_3 oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D / E_s) (1 - \mu s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 392,70 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (392,70) / (3,142 \times 15) (1,0 / 9500) (1 - 0,2^2) (3,356) = 2,826 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000455 + 0,07626 + 0,002826 = 0,0795 \text{ m} \approx 0,07626 \text{ m}$$

Bu durumda 1,0m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 673,53 \text{ kN}$$

Kazık-radye sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (673,53) \times 4 = 2694,12 \times 0,7 = 1885,88 \text{ kN}$$

1,0m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 1,0m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi 1,0m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 1,0 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

1,0m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 1,0 m kazıklardan oluşan $M_w=7$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 17,595 \text{ cm}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 1 + 3)/(1 + 4))^2 = 0,17595 \text{ m} \quad s = 0,08977 \text{ m}$$

1,0m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 1,0 m tekil kazığına $s=0,08977$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s₂ oturması

$$s_2 = (Q_{up}.D) (1-\mu s^2) I_{wp} / (A_p.E_s) = 0,08977 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$\mu s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 1) (1-0,2^2) (0,88) / (0,7854 \times 9500) = 0,08977 \quad Q_{up} = 792,85 \text{ kN}$$

s₁ oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 792,85 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 392,70 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (792,85 + 0,6 \times 392,70) (15) / (3 \times 10^7) = 5,14 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p.L) (D/E_s) (1-\mu s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 392,70 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (392,70) / (3,142 \times 15) (1,0 / 9500) (1-0,2^2) (3,356) = 2,826 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000514 + 0,08977 + 0,002826 = 0,0931 \text{ m} \approx 0,08977 \text{ m}$$

Bu durumda 1,0m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 792,85 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (792,85) \times 4 = 3171,40 \times 0,7 = 2219,98 \text{ kN}$$

8.4.2. Kum Zeminde Yapılan Kazık Temellerin Eşdeğer Statik Yüklerinin Hesaplanması

30^m kum zemine yapılan 0,6^m çapındaki kazık temele uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Çizelge 8.31. 0,60m kazık çapına sahip kum zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyüklik (M_w) | Kazık grubu düşey deformasyon (Plaxis) (mm) |
|------------|-----------------|--------------------|---|
| Kum Zemin | 0,6 | $M_w=5$ | 47,12 |
| | | $M_w=6$ | 65,41 |
| | | $M_w=7$ | 81,27 |

Bu modelde 0,6m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi 0,6m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,6 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,6m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan 0,6m kazık grubunun $M_w=5$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$sg(e) = s (4D+3/D+4)^2 = 4,712 \text{ cm}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$sg(e) = s ((4 \times 0,6 + 3) / (0,6 + 4))^2 = 0,04712 \text{ m} \quad s = 0,034 \text{ m}$$

0,6m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,6m tekil kazığına $s=0,034$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s₂ oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,034 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha r = 0,88$$

$$A_p = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,6) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,2827 \times 15000) = 0,034 \text{ m} \quad Q_{up} = 300,07 \text{ kN}$$

s₁ oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 300,07 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 87,16 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (300,07 + 0,6 \times 87,16) (15) / (1,08 \times 10^7) = 4,89 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D / E_s) (1 - \mu s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 87,16 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (87,16)/(1,885 \times 15) (0,6/15000) (1-0,3^2) (3,75) = 4,21 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000489 + 0,034 + 0,000421 = 0,0349 \text{ m} \approx 0,034 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 300,07 \text{ kN}$$

Kazık grubuna etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (300,07) \times 4 = 1200,28 \times 0,7 = 840,20 \text{ kN}$$

0,6m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 0,6m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi 0,6m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,6 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir

0,6m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,6 m kazıklardan oluşan $M_w=6$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 6,541 \text{ cm}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,6 + 3)/(0,6 + 4))^2 = 0,06541 \text{ m} \quad s = 0,0475 \text{ m}$$

0,6m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,6m tekil kazığına $s=0,0475$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturma s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,0475 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha r = 0,88$$

$$A_p = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,6) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,2827 \times 15000) = 0,0475 \text{ m}$$

$$Q_{up} = 419,21 \text{ kN/m}^2$$

s_1 oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 419,21 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 87,16 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$s_1 = (419,21 + 0,6 \times 87,16) (15) / (1,08 \times 10^7) = 6,55 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s_3 oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D / E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 87,16 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (87,16)/(1,885 \times 15) (0,6/15000) (1-0,3^2) (3,75) = 4,21 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000655 + 0,0475 + 0,000421 = 0,0486 \text{ m} \approx 0,0475 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 419,21 \text{ kN/m}^2$$

Kazık-radye sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (419,21) \times 4 = 1676,96 \times 0,7 = 1173,87 \text{ kN/m}^2$$

0,6m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu bölümde 0,6m kazığına uygulanan M_7 dinamik yüklemesi 0,6m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,6 m kazığına bu deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,6m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,6m kazıklardan oluşan $M_w=7$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 8,127 \text{ cm}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,6 + 3)/(0,6 + 4))^2 = 0,08127 \text{ m} \quad s = 0,0590 \text{ m}$$

0,6m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,6m tekil kazığına $s=0,0590$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor.

Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,0590 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,6) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,2827 \times 15000) = 0,0590 \text{ m}$$

$$Q_{up} = 520,71 \text{ kN}$$

s_1 oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 520,71 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{us} = Q_s = 87,16 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$s_1 = (520,71 + 0,6 \times 87,16) (15) / (1,08 \times 10^7) = 7,96 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s_3 oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D / E_s) (1 - \mu s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 87,16 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (87,16)/(1,885 \times 15) (0,6/15000) (1-0,3^2) (3,75) = 4,21 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000796 + 0,0590 + 0,000421 = 0,0602 \text{ m} \approx 0,0590 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 520,71 \text{ kN}$$

Kazık-grubuna etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (520,71) \times 4 = 2082,84 \times 0,7 = 1457,99 \text{ kN}$$

30^m kum zemine yapılan 0,8^m çapındaki kazık temele uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi için geri hesap

Çizelge 8.32. 0,80m kazık çapına sahip kum zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyüklik (Mw) | Kazık grubu düşey deformasyon (Plaxis) (mm) |
|------------|-----------------|---------------|---|
| Kum Zemin | 0,8 | Mw=5 | 120,08 |
| | | Mw=6 | 138,96 |
| | | Mw=7 | 154,11 |

Bu modelde 0,8m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi 0,8m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,8 m kazığına bu deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,8m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 3 kazıktan oluşan kazık grubu 0,8m kazıklardan oluşan Mw=5 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 12,008 \text{ cm}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s \left(\frac{(4 \times 0,8 + 3)}{(0,8 + 4)} \right)^2 = 0,12008 \text{ m} \quad s = 0,0720 \text{ m}$$

0,8 m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,8m tekil kazığına $s=0,0720$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s₂ oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,0720 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,8) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,5027 \times 15000) = 0,0720 \quad Q_{up} = 847,46 \text{ kN}$$

s₁ oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 847,46 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 125,38 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (847,46 + 0,6 \times 125,38) (15) / (1,92 \times 10^7) = 7,21 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D / E_s) (1 - \mu s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 125,38 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (396,52)/(2,513 \times 15) (0,8/15000) (1-0,3^2) (3,516) = 5,68 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000721 + 0,072 + 0,000568 = 0,0733 \text{ m} \approx 0,072 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 847,46 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (847,46) \times 4 \Rightarrow 3389,84 \times 0,7 = 2372,89 \text{ kN}$$

0,8m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 0,8m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi 0,8m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,8 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,8m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,8m kazıklardan oluşan M_6 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 13,896 \text{ cm}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,8 + 3)/(0,8 + 4))^2 = 0,13896 \text{ m} \quad s = 0,0833 \text{ m}$$

0,8m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,8m tekil kazığına $s=0,0833$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturma s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s₂ oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,0833 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,8) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,5027 \times 15000) = 0,0833 \quad Q_{up} = 980,46 \text{ kN}$$

s₁ oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 980,46 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 125,38 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (980,46 + 0,6 \times 125,38) (15) / (1,92 \times 10^7) = 8,25 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D / E_s) (1 - \mu s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 125,38 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (125,38)/(2,513 \times 15) (0,8/15000) (1-0,3^2) (3,516) = 5,68 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000825 + 0,0833 + 0,000568 = 0,0847 \text{ m} \approx 0,0833 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 980,46 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (980,46) \times 4 = 3921,84 \times 0,7 = 2745,29 \text{ kN}$$

0,8m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 0,8m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi 0,8m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,8 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,8m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,8m kazıklardan oluşan $M_w=7$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 15,411 \text{ cm}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,8 + 3)/(0,8 + 4))^2 = 0,15411 \text{ m} \quad s = 0,0924 \text{ m}$$

0,8m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,8m tekil kazığına $s=0,0924$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,0924 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,8) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,5027 \times 15000) = 0,0924$$

$$Q_{up} = 1087,57 \text{ kN}$$

s_1 oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 1087,57 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 125,38 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (1087,57 + 0,6 \times 125,38) (15) / (1,92 \times 10^7) = 9,08 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s_3 oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 125,38 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (125,38)/(2,513 \times 15) (0,8/15000) (1-0,2^2) (3,516) = 5,68 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000908 + 0,0924 + 0,000568 = 0,0939 \text{ m} \approx 0,0924 \text{ m}$$

Bu durumda 0,8m kazığına uygulanan Mw=7 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 1087,57 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (1087,57) \times 4 = 4350,28 \times 0,7 = 3045,20 \text{ kN}$$

30^m kum zemine yapılan 1^m çapındaki kazık temele uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi için geri hesap

Çizelge 8.33. 1,00m kazık çapına sahip kum zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyüklik (Mw) | Kazık grubu düşey deformasyon (Plaxis) (mm) |
|------------|-----------------|---------------|---|
| Kum Zemin | 0,6 | Mw=5 | 243,23 |
| | | Mw=6 | 263,58 |
| | | Mw=7 | 277,46 |

Bu modelde 1,0m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi 1,0m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 1,0 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

1,0m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 1,0 m kazıklardan oluşan $M_w=5$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 24,323 \text{ cm}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 1 + 3)/(1+4))^2 = 0,24323 \text{ m} \quad s = 0,1241 \text{ m}$$

1,0m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 1,0 m tekil kazığına $s=0,1241$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,1241 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 1) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,7854 \times 15000) = 0,1241$$

$$Q_{up} = 1826,40 \text{ kN}$$

s_1 oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 1826,40 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 170,69 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (1826,40 + 0,6 \times 170,69) (15) / (3 \times 10^7) = 9,64 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 170,69 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (170,69) / (3,142 \times 15) (1,0 / 15000) (1 - 0,3^2) (3,356) = 0,000737 \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000964 + 0,1241 + 0,000737 = 0,126 \text{ m} \approx 0,01241 \text{ m}$$

Bu durumda 1,0m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 1826,40 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (1826,40) \times 4 = 7305,60 \times 0,7 = 5113,92 \text{ kN}$$

1,0m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 1,0m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi 1,0m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 1,0 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır.

1,0m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 1,0 m kazıklardan oluşan Mw=6 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 26,358 \text{ cm}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 1 + 3)/(1+4))^2 = 0,26358 \text{ m} \quad s = 0,1345 \text{ m}$$

1,0m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 1,0 m tekil kazığına $s=0,1345$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturma s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,1345 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 1) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,7854 \times 15000) = 0,1345$$

$$Q_{up} = 1979,46 \text{ kN}$$

s1 oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 1979,46 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 170,69 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6 \quad EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (1979,46 + 0,6 \times 170,69) (15) / (3 \times 10^7) = 1,04 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s3 oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 170,69 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (170,69)/(3,142 \times 15) (1,0/15000) (1-0,3^2) (3,356) = 7,37 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,00104 + 0,1345 + 0,000737 = 0,136 \text{ m} \approx 0,1345 \text{ m}$$

Bu durumda 1,0m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 1979,46 \text{ kN}$$

Kazık-radye sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (1979,46) \times 4 = 7917,84 \times 0,7 = 5542,49 \text{ kN}$$

1,0m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 1,0m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi 1,0m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 1,0 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır.

1,0m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 1,0 m kazıklardan oluşan $M_w=7$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 27,746 \text{ cm}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 1 + 3)/(1 + 4))^2 = 0,27746 \text{ m} \quad s = 0,1416 \text{ m}$$

1,0m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 1,0 m tekil kazığına $s=0,1416$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturma s_2 olduğu görülmüştür. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up}.D) (1-\mu s^2) I_{wp} / (A_p.E_s) = 0,1416 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$\mu s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 1) (1-0,3^2) (0,88) / (0,7854 \times 15000) = 0,1416 \quad Q_{up} = 2083,95 \text{ kN}$$

s_1 oturması

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 2083,95 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 170,69 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6 \quad EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (2083,95 + 0,6 \times 170,69) (15) / (3 \times 10^7) = 1,09 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s_3 oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p.L) (D/E_s) (1-\mu s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 170,69 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu s = 0,3 \quad I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (170,69)/(3,142 \times 15) (1,0/15000) (1-0,3^2) (3,356) = 7,37 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,00109 + 0,1416 + 0,000737 = 0,143 \text{ m} \approx 0,1416 \text{ m}$$

Bu durumda 1,0m kazığına uygulanan Mw=7 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 2083,95 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (2083,95) \times 4 = 8335,8 \times 0,7 = 5835,06 \text{ kN}$$

Çizelge 8.34. Kil zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar ve tekil kazığa düşen deformasyonlar

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyüklik (Mw) | Kazık grubu düşey deformasyon (mm) | Kazık grubundan tek kazığa düşen deformasyon (mm) |
|------------|-----------------|---------------|------------------------------------|---|
| Kil Zemin | 0,6 | Mw=5 | 59,70 | 43,32 |
| | | Mw=6 | 76,60 | 55,58 |
| | | Mw=7 | 93,01 | 67,49 |
| | 0,8 | Mw=5 | 85,71 | 51,37 |
| | | Mw=6 | 108,66 | 65,13 |
| | | Mw=7 | 131,23 | 78,66 |
| | 1,0 | Mw=5 | 122,19 | 62,34 |
| | | Mw=6 | 149,47 | 76,26 |
| | | Mw=7 | 175,95 | 89,77 |

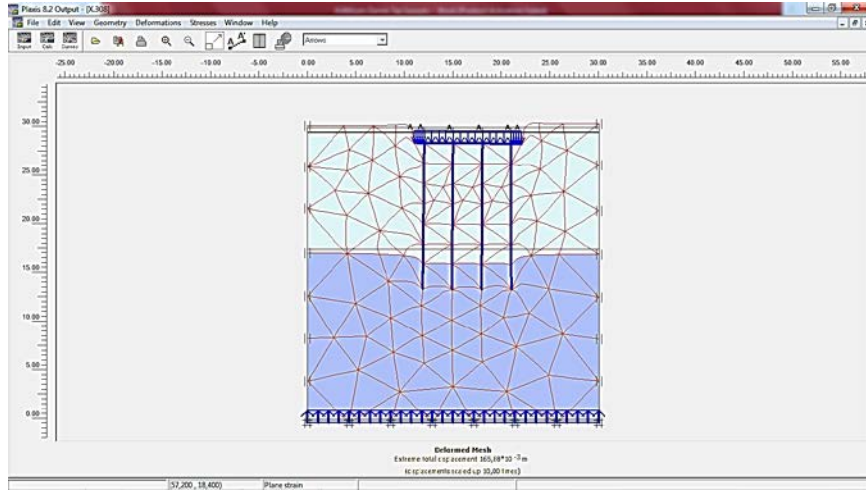
Çizelge 8.35. Kum zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar ve tekil kazığa düşen deformasyonlar

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyüklik (Mw) | Kazık grubu düşey deformasyon (mm) | Kazık grubundan tek kazığa düşen deformasyon (mm) |
|------------|-----------------|---------------|------------------------------------|---|
| Kum Zemin | 0,6 | Mw=5 | 47,12 | 34,00 |
| | | Mw=6 | 65,41 | 47,50 |
| | | Mw=7 | 81,27 | 59,00 |
| | 0,8 | Mw=5 | 120,08 | 72,00 |
| | | Mw=6 | 138,96 | 83,30 |
| | | Mw=7 | 154,11 | 92,40 |
| | 1,0 | Mw=5 | 243,23 | 124,10 |
| | | Mw=6 | 263,58 | 134,50 |
| | | Mw=7 | 277,46 | 141,60 |

1m kazık çapına sahip 30,0 m kum zeminde yapılan kazık temel Mw=5, Mw=6 ve Mw=7 deprem büyüklüklerinde izin verilebilir oturma miktarının üzerinde bir deformasyon yapmıştır. Bu yüzden aşağıda özellikleri verilen zemine kazık temelin 2,5 metresinin saplandığı başka bir durumda analizler yapılmış olup deformasyon miktarları belirlenmiştir.

Çizelge 8.36. Sıkı kum zemin özellikleri

| Zemin Özellikleri | Sıkı Kum |
|----------------------------------|----------|
| γ_d (kN/m ³) | 17 |
| γ_s (kN/m ³) | 21 |
| ν | 0,3 |
| E (kN/m ²) | 20000 |
| k_x, k_y (m/gün) | 0,5 |
| ϕ (°) | 44 |
| c (kohezyon, kN/m ²) | 4 |



Şekil 8.7. 17,5m sıkı kum zemine ve 12,5m gevşek kum zemine oturan 1^m çapa sahip kazık temelin Mw=7 deprem büyüklüğü altında yaptığı deformasyonun Plaxis programı ile hesabı.

Çizelge 8.37. Üstte 12,5m gevşek kum ve altta 17,5m sıkı kum olduğu durumda deprem hesabı

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|------------------|----------------------|----------------------|
| Mw=5 | 130,69 ^{mm} | 131,83 ^{mm} |
| Mw=6 | 149,18 ^{mm} | 150,21 ^{mm} |
| Mw=7 | 164,76 ^{mm} | 165,88 ^{mm} |

Çizelge 8.38. Kil zemine oturan kazık temele etki eden eşdeğer yükler ve bu yüklerin oluşturduğu % artış

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyüklik (Mw) | Kazık grubundan tek kazığa düşen deformasyon (mm) | Eşdeğer Statik Yük (kN) | Eşdeğer Statik Yük Artış (%) |
|------------|-----------------|---------------|---|-------------------------|------------------------------|
| Kil Zemin | 0,6 | Mw=5 | 43,32 | 642,68 | 81,5 |
| | | Mw=6 | 55,58 | 824,54 | 104,6 |
| | | Mw=7 | 67,49 | 1032,56 | 131,0 |
| | 0,8 | Mw=5 | 51,37 | 1001,25 | 90,4 |
| | | Mw=6 | 65,13 | 1288,62 | 116,3 |
| | | Mw= 7 | 78,66 | 1556,32 | 140,5 |
| | 1,0 | Mw=5 | 62,34 | 1541,65 | 105,9 |
| | | Mw=6 | 76,26 | 1885,88 | 129,5 |
| | | Mw= 7 | 89,77 | 2219,98 | 152,5 |

Çizelge 8.39. Kum zemine oturan kazık temele etki eden eşdeğer yükler ve bu yüklerin oluşturduğu % artış

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyüklik (Mw) | Kazık grubundan tek kazığa düşen deformasyon (mm) | Eşdeğer Statik Yük (kN) | Eşdeğer Statik Yük Artış (%) |
|------------|-----------------|---------------|---|-------------------------|------------------------------|
| Kum Zemin | 0,6 | Mw=5 | 34,00 | 840,20 | 90,5 |
| | | Mw=6 | 47,50 | 1173,87 | 126,4 |
| | | Mw=7 | 59,00 | 1457,99 | 157,0 |
| | 0,8 | Mw=5 | 72,00 | 2372,89 | 151,3 |
| | | Mw=6 | 83,30 | 2745,29 | 175,0 |
| | | Mw= 7 | 92,40 | 3045,20 | 194,2 |
| | 1,0 | Mw=5 | 124,10 | 5113,92 | 214,9 |
| | | Mw=6 | 134,50 | 5542,49 | 232,9 |
| | | Mw= 7 | 141,60 | 5835,06 | 245,2 |

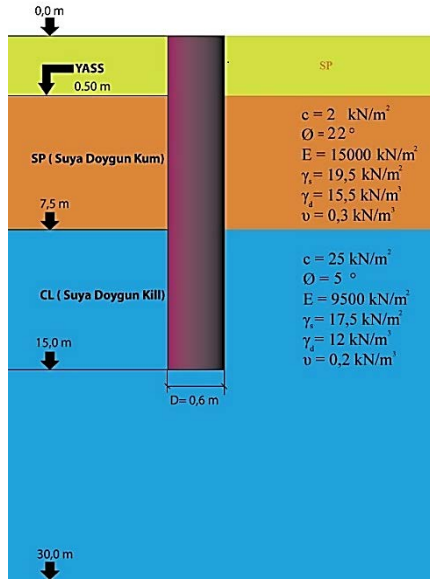
Çizelge 8.40. Kil ve kum zeminlerde oturan kazık temellere etki eden statik yükler, eşdeğer statik yükler ve bu yüklerin oluşturduğu yüzde artışlar

| Zemin Türü | | Kil Zemin | | | Kum Zemin | | |
|---|-------------------------------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| Kazık Çapı | | 0,6m | 0,8m | 1m | 0,6m | 0,8m | 1m |
| Tekil Kazığa Etkiyen Düşey Statik Yük (kN) | | 281,47 | 395,68 | 520,07 | 331,63 | 560,11 | 849,88 |
| Kazık Grubunda Etkiyen Düşey Statik Yük (kN) | | 788,12 | 1107,90 | 1456,20 | 928,56 | 1568,31 | 2379,66 |
| Mevcut Statik Yük Altında Tekil Kazığın Oturması (mm) | | 33,95 | 44,63 | 57,01 | 28,70 | 38,18 | 49,85 |
| Mw=5 | Kazık Grubu Deformasyonu (mm) | 62,22 | 87,97 | 102,20 | 47,12 | 120,08 | 243,23 |
| | Tekil Kazığa Düşen Deformasyon (mm) | 45,12 | 52,73 | 62,35 | 34,00 | 72,00 | 124,10 |
| | Eşdeğer Statik Yük (kN) | 642,68 | 1001,25 | 1541,65 | 840,20 | 2372,89 | 5113,92 |
| | Eşdeğer Statik Yük Artış (%) | 81,5 | 90,4 | 105,9 | 90,5 | 151,3 | 214,9 |
| Mw=6 | Kazık Grubu Deformasyonu (mm) | 79,44 | 104,71 | 119,61 | 65,41 | 138,96 | 263,58 |
| | Tekil Kazığa Düşen Deformasyon (mm) | 57,60 | 66,67 | 76,33 | 47,50 | 83,30 | 134,50 |
| | Eşdeğer Statik Yük (kN) | 824,54 | 1288,62 | 1885,88 | 1173,87 | 2745,29 | 5542,49 |
| | Eşdeğer Statik Yük Artış (%) | 104,6 | 116,3 | 129,5 | 126,4 | 175,0 | 232,9 |
| Mw=7 | Kazık Grubu Deformasyonu (mm) | 95,88 | 121,15 | 136,07 | 81,27 | 154,11 | 277,46 |
| | Tekil Kazığa Düşen Deformasyon (mm) | 69,60 | 80,17 | 89,32 | 59,00 | 92,40 | 141,60 |
| | Eşdeğer Statik Yük (kN) | 1032,56 | 1556,32 | 2219,98 | 1457,99 | 3045,20 | 5835,06 |
| | Eşdeğer Statik Yük Artış (%) | 131,0 | 140,5 | 152,5 | 157,0 | 194,2 | 245,2 |

8.5.Killi-Kumlu Ve Kumlu-Kimli Zeminde Tekil Kazıkların Taşıma Kapasitesi Hesapları

8.5.1. 22,5 Killi- 7,5 Kumlu Zeminde Yapılan Kazık Temel İçin Taşıma Gücü Hesabı

22,5m Kil Zeminde ve 7,5m Kum Zeminde Yapılan 15m Boyunda 0,60m Çapa Sahip Kazık Temel İçin Taşıma Kapasitesi Hesabı



Şekil 8.8. 17,5m kil zemine ve 7,5m gevşek kum zemine oturan 0,6^m çapa sahip kazık temel

Uç Taşıma Kapasitesi Hesabı

$$L = 15 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad A_p = \pi \cdot D^2/4 = 0,2827$$

$$D = 0,60 \text{ m} \quad c = 25,00 \text{ kN/m}^2$$

$$qp' = (17,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 7,5 \text{ m} + (15,5 \text{ kN/m}^3) \cdot 0,5 \text{ m} + (19,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 7 \text{ m} = 133,255 \text{ kN/m}^2$$

Meyerhof Metodu

$$Q_p = A_p \cdot qp = A_p \cdot (c \cdot N_c^* + qp' \cdot N_q^*) \text{ (ağırlığa bağlı katsayı ihmal edilmistir.)}$$

$$Lb/D = 15/0,60 = 25 \quad \text{Şekil .4'ten; } \phi = 5^\circ \quad Nq^* = 1,8 \quad Nc^* = 11$$

$$Qp = 0,2827 \cdot (25 \times 11 + 133,255 \times 1,8) = \mathbf{145,55 \text{ kN}} \quad (\phi = 5^\circ)$$

Limit Degeri; $Qp = Ap \cdot ql$

$$ql = 50 \cdot Nq^* \cdot \tan \phi = 50 \cdot 1,8 \cdot \tan 5^\circ = 7,874 \text{ kN/m}^2$$

$$Qp = Ap \cdot ql = 0,2827 \cdot 7,874 = \mathbf{2,226 \text{ kN}}$$

$$Ap \cdot qp < Ap \cdot ql \text{ olması gerekir; } 2,226 < 107,09 \quad Qp = \mathbf{2,226 \text{ kN}}$$

Killi Zeminde 0,60 m Kazık için Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$L = 7,5 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad \delta = 0,6$$

$$D = 0,60 \text{ m} \quad K = K_o = 1 - \sin \phi = 0,913$$

α Metodu

$$cu = 25 \text{ kN/m}^2; \text{ Şekil 4.9'dan } \alpha = 1$$

$$Qs = \sum \alpha \cdot p \cdot cu \cdot \Delta L$$

$$Qs = 1 \cdot \pi \cdot 0,60 \cdot 25 \cdot 7,5$$

$$Qs = 353,43 \text{ kN}$$

Kumlu Zeminde 0,60 m Kazık İçin Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$\sigma_v' = (15,5)(0,5) + (19,5 - 9,81)(7) = 75,58 \text{ kN/m}^2$$

$$Qs = P \cdot L' \cdot f_{av}$$

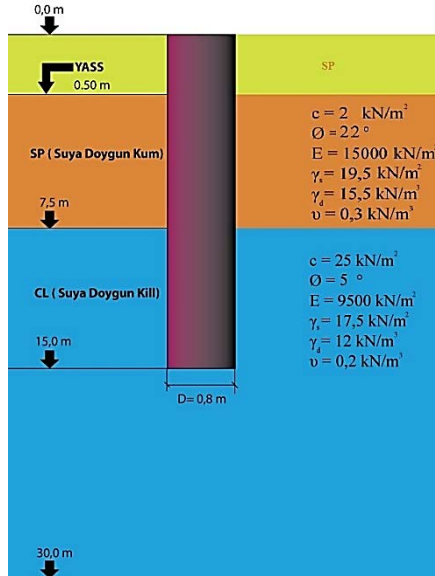
$$= (0,6\pi)(7,5) [(0,625)(75,68)(\tan 13,2^\circ)/2] = \mathbf{78,42 \text{ kN}}$$

$$Qs = \mathbf{78,42 \text{ kN}}$$

Çizelge 8.41. 22,5m kil ve 7,5m kum zemine oturan 0,6m çapa sahip kazık temel in taşıma gücü

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| 22,5m Kil Zemin + 7,5m Kum Zemin | 0,6 ^m kazık çapı |
| Uç Taşıma Kapasitesi | 145,55 kN |
| Sürtünme Direnci [Kil Zemin] | 353,43 kN |
| Sürtünme Direnci [Kum Zemin] | 78,42 kN |
| Toplam Taşıma Gücü | 577,40 kN |
| Müsade Edilebilir Taşıma Gücü (GS=3) | 577,40/3= |
| | 192,47 kN |

22,5m Kil Zeminde ve 7,5m Kum Zeminde Yapılan 15m Boyunda 0,80m Çapa Sahip Kazık Temel İçin Taşıma Kapasitesi Hesabı



Şekil 8.9. 17,5m kil zemine ve 7,5m gevşek kum zemine oturan 0,8^m çapa sahip kazık temel

Uç Taşıma Kapasitesi Hesabı

$$L = 15 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad A_p = \pi D^2/4 = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$D = 0,80 \text{ m} \quad c = 25 \text{ kN/m}^2$$

$$qp' = (17,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 7,5 \text{ m} + (15,5 \text{ kN/m}^3) \cdot 0,5 \text{ m} + (19,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 7 \text{ m}$$

$$= 133,255 \text{ kN/m}^2$$

Meyerhof Metodu

$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c^* + q_p' \cdot N_q^*)$ (ağırlığa bağlı katsayı ihmal edilmiştir.)

$$L_b/D = 15/0,80 = 18,75 \quad \text{Şekil 4.'ten; } \phi = 5^\circ \quad N_q^* = 1,8 \quad N_c^* = 11$$

$$Q_p = 0,5027 \cdot (25 \cdot 11 + 133,255 \cdot 1,8) = \mathbf{258,82 \text{ kN}} \quad (\phi = 5^\circ)$$

Limit Degeri; $Q_p = A_p \cdot q_l$

$$q_l = 50 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi = 50 \cdot 5 \cdot \tan 5^\circ = 21,872 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot q_l = 0,5027 \cdot 21,872 = \mathbf{10,99 \text{ kN}} \quad A_p \cdot q_p < A_p \cdot q_l \text{ olması gerekir;}$$

$$10,99 < 190,43 \quad \mathbf{Q_p = 10,99 \text{ kN}}$$

Killi Zeminde 0,80 m Kazık İçin Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$L = 7,5 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad \delta = 0,6$$

$$D = 0,80 \text{ m} \quad K = K_o = 1 - \sin \phi = 0,913$$

α Metodu

$$c_u = 25 \text{ kN/m}^2; \quad \text{Şekil 4.9'dan} \quad \alpha = 1$$

$$Q_s = \sum \alpha \cdot p \cdot c_u \cdot \Delta L$$

$$Q_s = 1 \cdot \pi \cdot 0,80 \cdot 25 \cdot 7,5$$

$$Q_s = 471,24 \text{ kN}$$

Kumlu Zeminde 0,80 m Kazık İçin Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$\sigma_v' = (15,5)(0,5) + (19,5 - 9,81)(7) = 75,58 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = P \cdot L' \cdot f_{av}$$

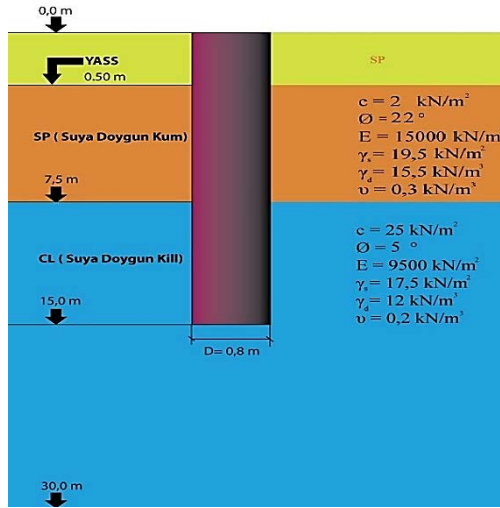
$$= (0,8\pi)(7,5) [(0,625)(75,58)(\tan 13,2^\circ)/2] = 104,42 \text{ kN}$$

$$Q_s = \mathbf{104,42 \text{ kN}}$$

Çizelge 8.42. 22,5m kil ve 7,5 kum zemine oturan 0,8m çapa sahip kazık temellin taşıma gücü

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| 22,5m Kil Zemin + 7,5m Kum Zemin | 0,8 ^m kazık çapı |
| Uç Taşıma Kapasitesi | 258,82 kN |
| Sürtünme Direnci [Kil Zemin] | 471,24 kN |
| Sürtünme Direnci [Kum Zemin] | 104,42 kN |
| Toplam Taşıma Gücü | 834,48 kN |
| Müsade Edilebilir Taşıma Gücü (GS=3) | 834,48/3= |
| | 278,16 kN |

22,5m Kil Zeminde ve 7,5m Kum Zeminde Yapılan 15m Boyunda 1,00m Çapa Sahip Kazık Temel İçin Taşıma Kapasitesi Hesabı



Şekil 8.10. 17,5m kil zemine ve 7,5m gevşek kum zemine oturan 1,0^m çapa sahip kazık temel

Uç Taşıma Kapasitesi Hesabı

$$L = 7,5 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad Ap = \pi \cdot D^2 / 4 = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$D = 1,00 \text{ m} \quad c = 25 \text{ kN/m}^2$$

$$qp' = (17,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 7,5 \text{ m} + (15,5 \text{ kN/m}^3) \cdot 0,5 \text{ m} + (19,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 7 \text{ m}$$

$$= 133,255 \text{ kN/m}^2$$

Meyerhof Metodu

$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c^* + q_p' \cdot N_q^*)$ (ağırlığa bağlı katsayı ihmal edilmiştir.)

$$L_b/D = 7,5/1,00 = 7,5 \text{ Şekil 4.'ten; } \phi = 5^\circ \quad N_q^* = 1,8 \quad N_c^* = 11$$

$$Q_p = 0,7854 \cdot (25 \cdot 11 + 133,255 \cdot 1,8) = \mathbf{404,37 \text{ kN}}$$

Limit Değeri; $Q_p = A_p \cdot q_l$

$$q_l = 50 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi = 50 \cdot 5 \cdot \tan 5^\circ = 21,872 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot q_l = 0,7854 \cdot 21,872 = \mathbf{17,18 \text{ kN}}$$

$A_p \cdot q_p < A_p \cdot q_l$ olması gerekir;

$$17,18 < 297,52 \quad \mathbf{Q_p = 17,18 \text{ kN}}$$

Killi Zeminde 1,00 m Kazık İçin Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$L = 7,5 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad \delta = 0,6$$

$$D = 1,00 \text{ m} \quad K = K_o = 1 - \sin \phi = 0,913 \quad L' = 15D = 15$$

α Metodu

$$c_u = 25 \text{ kN/m}^2; \text{ Şekil 4.9'dan} \quad \alpha = 1$$

$$Q_s = \sum \alpha \cdot p \cdot c_u \cdot \Delta L$$

$$Q_s = 1 \cdot \pi \cdot 1,00 \cdot 25 \cdot 7,5$$

$$Q_s = 589,05 \text{ kN}$$

Killi Zeminde 1,00 m Kazık İçin Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$\sigma_v' = (15,5)(0,5) + (19,5 - 9,81)(7) = 75,58 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = P \cdot L' \cdot f_{av}$$

$$= (1\pi)(7,5) [(0,625)(75,58)(\tan 13,2^\circ)/2] = 130,53 \text{ kN}$$

$$Q_s = \mathbf{130,53 \text{ kN}}$$

Çizelge 8.43. 22,5m kil ve 7,5 kum zemine oturan 1,0m çapa sahip kazık temelin taşıma gücü

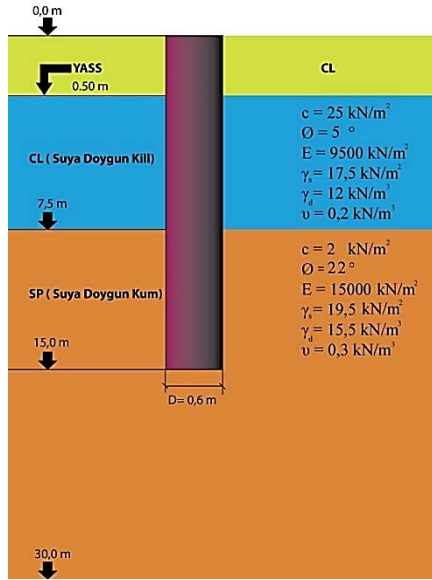
| 22,5m Kil Zemin + 7,5m Kum Zemin | 1 ^m kazık çapı |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Uç Taşıma Kapasitesi | 404,37 kN |
| Sürtünme Direnci [Kil Zemin] | 589,05 kN |
| Sürtünme Direnci [Kum Zemin] | 130,53 kN |
| Toplam Taşıma Gücü | 1123,95 kN |
| Müsade Edilebilir Taşıma Gücü (GS=3) | 1123,95/3= 374,65 kN |

Çizelge 8.44. 22,5m kil ve 7,5 kum zemine oturan kazık temellerin taşıma gücü

| 22,5m Kil Zemin + 7,5m Kum Zemin | 0,6 ^m kazık çapı | 0,8 ^m kazık çapı | 1 ^m kazık çapı |
|---|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Uç Taşıma Kapasitesi | 145,55 kN | 258,82 kN | 404,37 kN |
| Sürtünme Direnci [Kil Zemin] | 353,43 kN | 471,24 kN | 589,05 kN |
| Sürtünme Direnci [Kum Zemin] | 78,42 kN | 104,42 kN | 130,53 kN |
| Toplam Taşıma Gücü | 577,40 kN | 834,48 kN | 1123,95 kN |
| Müsade Edilebilir Taşıma Gücü (GS=3) | 577,40/3= 192,47 kN | 834,48/3= 278,16 kN | 1123,95/3= 374,65 kN |

8.5.2. 22,5 Kumlu- 7,5 Killi Zeminde Yapılan Kazık Temel İçin Taşıma Gücü Hesabı

22,5m Kum Zeminde ve 7,5m Kil Zeminde Yapılan 15m Boyunda 0,60m Çapa Sahip Kazık Temel İçin Taşıma Kapasitesi Hesabı



Şekil 8.11. 17,5m kum zemine ve 7,5m kil zemine oturan 0,6^m çapa sahip kazık temel

Uç Taşıma Kapasitesi Hesabı

Meyerhof yöntemi

$$L_b/D = 15/0,6 = 25 \quad \phi = 22^\circ \Rightarrow N_q^* = 17, N_c^* = 37$$

$$q_{p'} = (19,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 7,5 \text{ m} + (12 \text{ kN/m}^3) \cdot 0,5 \text{ m} + (17,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 7 \text{ m} = 132,505 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p [c \cdot N_c^* + q' \cdot N_q^*] = (0,2827) [(2)(37) + (132,505)(17)] = \mathbf{657,73 \text{ kN}}$$

$$q_1 = 50 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi = (50)(17)(\tan 22^\circ) = 343,422 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot q_1 = (0,283)(343,422) = \mathbf{97,189 \text{ kN}}$$

Kumlu Zeminde 0,60 m Kazık İçin Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$\sigma_v' = (19,5 - 9,81)(7,5) = 72,68 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = P \cdot L' \cdot f_{av}$$

$$= (0,6\pi)(7,5) [(0,625)(72,68)(\tan 13,2^\circ)/2] = \mathbf{75,31 \text{ kN}}$$

$$Q_s = \mathbf{75,31 \text{ kN}}$$

Killi Zeminde 0,60 m Kazık için Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$L = 7,5 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad \delta = 0,6$$

$$D = 0,60 \text{ m} \quad K = K_o = 1 - \sin \phi = 0,913$$

α Metodu

$$c_u = 25 \text{ kN/m}^2; \text{ Şekil 4.9'dan } \alpha = 1$$

$$Q_s = \sum \alpha \cdot p \cdot c_u \cdot \Delta L$$

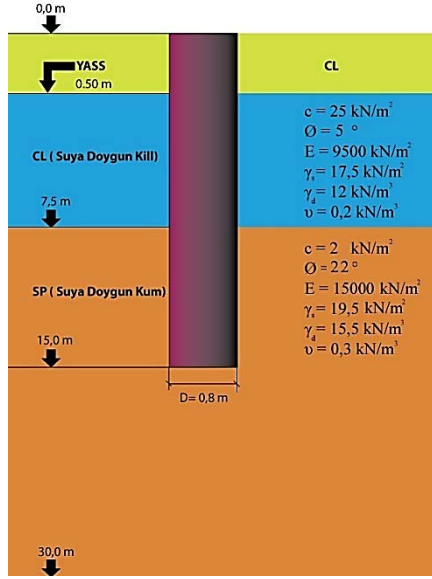
$$Q_s = 1 \cdot \pi \cdot 0,60 \cdot 25 \cdot 7,5$$

$$Q_s = 353,43 \text{ kN}$$

Çizelge 8.45. 22,5m kum ve 7,5 kil zemine oturan 0,6m çapa sahip kazık temellin taşıma gücü

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| 22,5m Kum Zemin + 7,5m Kil Zemin | 0,6 ^m kazık çapı |
| Uç Taşıma Kapasitesi | 657,73 kN |
| Sürtünme Direnci [Kum Zemin] | 75,31 kN |
| Sürtünme Direnci [Kil Zemin] | 353,43 kN |
| Toplam Taşıma Gücü | 1086,47 kN |
| Müsade Edilebilir Taşıma Gücü (GS=3) | 1086,47/3= |
| | 362,16 kN |

22,5m Kum Zeminde ve 7,5m Kil Zeminde Yapılan 15m Boyunda 0,80m Çapa Sahip Kazık Temel İçin Taşıma Kapasitesi Hesabı



Şekil 8.12. 17,5m kum zemine ve 7,5m kil zemine oturan 0,8^m çapa sahip kazık temel

Uç Taşıma Kapasitesi Hesabı

Meyerhof yöntemi

$$L_b/D = 15/0,8 = 18,75 \quad \phi = 22^\circ \Rightarrow N_q^* = 17, N_c^* = 37$$

$$q_p' = (19,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 7,5 \text{ m} + (12 \text{ kN/m}^3) \cdot 0,5 \text{ m} + (17,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 7 \text{ m} = 132,505 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p [c \cdot N_c^* + q_p' \cdot N_q^*] = (0,5027) [(2)(37) + (132,505)(17)] = \mathbf{1169,57 \text{ kN}}$$

$$q_1 = 50 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi = (50)(17)(\tan 22^\circ) = 343,422 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot q_1 = (0,5027)(343,422) = \mathbf{172,74 \text{ kN}}$$

Kumlu Zeminde 0,80 m Kazık İçin Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$\sigma_v' = (19,5 - 9,81)(7,5) = 72,68 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = P \cdot L' \cdot f_{av}$$

$$= (0,8\pi)(7,5) [(0,625)(72,68)(\tan 13,2^\circ)/2] = \mathbf{100,41 \text{ kN}}$$

$$Q_s = \mathbf{100,41 \text{ kN}}$$

Killi Zeminde 0,80 m Kazık için Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$L = 7,5 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad \delta = 0,6$$

$$D = 0,80 \text{ m} \quad K = K_0 = 1 - \sin \phi = 0,913$$

α Metodu

$$c_u = 25 \text{ kN/m}^2; \quad \text{Şekil 4.9'dan} \quad \alpha = 1$$

$$Q_s = \sum \alpha \cdot p \cdot c_u \cdot \Delta L$$

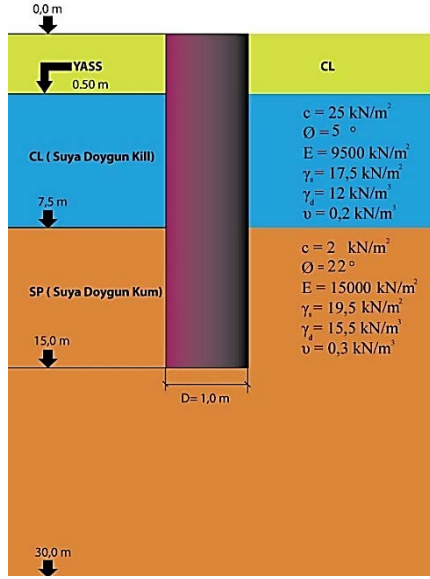
$$Q_s = 1 \cdot \pi \cdot 0,80 \cdot 25 \cdot 7,5$$

$$Q_s = 471,24 \text{ kN}$$

Çizelge 8.46. 22,5m kum ve 7,5 kil zemine oturan 0,8m çapa sahip kazık temellin taşıma gücü

| 2,5m Kum Zemin + 7,5m Kil Zemin | 0,8 ^m kazık çapı |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Uç Taşıma Kapasitesi | 1169,57 kN |
| Sürtünme Direnci [Kum Zemin] | 100,41 kN |
| Sürtünme Direnci [Kil Zemin] | 471,24 kN |
| Toplam Taşıma Gücü | 1741,22 kN |
| Müsade Edilebilir Taşıma Gücü (GS=3) | 1741,22/3= |
| | 580,41 kN |

22,5m Kum Zeminde ve 7,5m Kil Zeminde Yapılan 15m Boyunda 1,00m Çapa Sahip Kazık Temel İçin Taşıma Kapasitesi Hesabı



Şekil 8.13. 17,5m kum zemine ve 7,5m kil zemine oturan 1,0^m çapa sahip kazık temel

Uç Taşıma Kapasitesi Hesabı

Meyerhof yöntemi

$$L_b/D = 15/1 = 15 \quad \phi = 22^\circ \Rightarrow N_q^* = 17, N_c^* = 37$$

$$q_p' = (19,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 7,5 \text{ m} + (12 \text{ kN/m}^3) \cdot 0,5 \text{ m} + (17,5 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 7 \text{ m} = 132,505 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p [c \cdot N_c^* + q' \cdot N_q^*] = (0,7854) [(2)(37) + (132,505)(17)] = \mathbf{1827,30 \text{ kN}}$$

$$q_l = 50 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi = (50)(17)(\tan 22^\circ) = 343,422 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot q_l = (0,7854)(343,422) = \mathbf{269,72 \text{ kN}}$$

Kumlu Zeminde 1,00 m Kazık İçin Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$\sigma_v' = (19,5 - 9,81)(7,5) = 72,68 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = P \cdot L' \cdot f_{av}$$

$$= (1\pi)(7,5) [(0,625)(72,68)(\tan 13,2^\circ)/2] = \mathbf{125,52 \text{ kN}}$$

$$Q_s = \mathbf{125,52 \text{ kN}}$$

Killi Zeminde 1,00 m Kazık için Yüzey Sürtünmesi Hesabı

$$L = 7,5 \text{ m} \quad \phi = 5^\circ \quad \delta = 0,6$$

$$D = 1,00 \text{ m} \quad K = K_o = 1 - \sin \phi = 0,913 \quad L' = 15D = 15$$

α Metodu

$$c_u = 25 \text{ kN/m}^2; \quad \text{Şekil 4.9'dan} \quad \alpha = 1$$

$$Q_s = \sum \alpha \cdot p \cdot c_u \cdot \Delta L$$

$$Q_s = 1 \cdot \pi \cdot 1,00 \cdot 25 \cdot 7,5$$

$$Q_s = 589,05 \text{ kN}$$

Çizelge 8.47. 22,5m kum ve 7,5 kil zemine oturan 1,0m çapa sahip kazık temellin taşıma gücü

| 22,5m Kum Zemin + 7,5m Kil Zemin | 1 ^m kazık çapı |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Uç Taşıma Kapasitesi | 1827,30 kN |
| Sürtünme Direnci [Kum Zemin] | 125,52 kN |
| Sürtünme Direnci [Kil Zemin] | 589,05 kN |
| Toplam Taşıma Gücü | 2541,87 kN |
| Müsade Edilebilir Taşıma Gücü (GS=3) | 2541,87/3= |
| | 847,29 kN |

Çizelge 8.48. 22,5m kum ve 7,5 kil zemine oturan kazık temellerin taşıma gücü

| 22,5m Kum Zemin + 7,5m Kil Zemin | 0,6 ^m kazık çapı | 0,8 ^m kazık çapı | 1 ^m kazık çapı |
|---|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Uç Taşıma Kapasitesi | 657,73 kN | 1169,57 kN | 1827,30 kN |
| Sürtünme Direnci [Kum Zemin] | 75,31 kN | 100,41 kN | 125,52 kN |
| Sürtünme Direnci [Kil Zemin] | 353,43 kN | 471,24 kN | 589,05 kN |
| Toplam Taşıma Gücü | 1086,47 kN | 1741,22 kN | 2541,87 kN |
| Müsade Edilebilir Taşıma Gücü (GS=3) | 1086,47/3= | 1741,22/3= | 2541,87/3= |
| | 362,16 kN | 580,41 kN | 847,29 kN |

8.5.3. Kazıklara Etki Eden Negatif Sürtünme Basınçlarının Hesaplanması

Kum Zemin Üzerinde Dolgu Kil Zemin

$$f_n = K' q_p' \tan \delta'$$

$$Q_n = \frac{p K' \gamma_f' H_f^2 \tan \delta'}{2} = \frac{(\pi \times 1)(0,913)(17,5-9,81)^2 (\tan 3)}{2} = 4,44 \text{ kN}$$

En fazla negatif sürtünme basıncı D=1,0m'de olacağı için bu kazık çapı için hesap yapılmıştır.

Kil Zemin Üzerinde Dolgu Kum Zemin

$$L_1 = \frac{(L-H_f)}{L_1} \left[\frac{L-H_f}{2} + \frac{\gamma_f' H_f}{\gamma'} \right] - \frac{2\gamma_f' H_f}{\gamma'}$$

$$Q_n = (p K' \gamma_f' H_f \tan \delta') L_1 + \frac{L_1 p K' \gamma' \tan \delta'}{2}$$

$$L_1 = \frac{(15-7,5)}{L_1} \left[\frac{7,5}{2} + \frac{(19,5-9,81) 7,5}{(17,5-9,81)} \right] - \frac{2(17,5-9,81) 7,5}{(15,5-9,81)} \Rightarrow L_1^2 + 20 L_1 - 99 = 0$$

$$L_1 = 4,11 \text{ m}$$

$$Q_n = [(\pi \times 1)(0,625) (19,5 - 9,81) 7,5 (\tan 13,2)] 4,11 + \frac{4,11(\pi \times 1)(0,625)(15,5-9,81) (\tan 13,2)}{2}$$

$$Q_n = 138,88$$

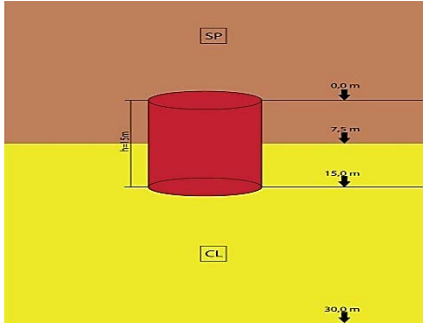
Negatif sürtünme hesaba katılsaydı müsaade edilebilir taşıma gücü

$$Q = (1827,30+125,52+589,05-138,88)/3 = 801,00 \text{ kN olacaktır.}$$

Bu durumda kazığa yükleme yapılırken bu değer alınacaktır. Ancak negatif sürtünme basıncı hesaba katılmayarak kazığa daha fazla yük taşıtılmış olup güvenli tarafta kalınmıştır.

8.6.Killi-Kumlu Ve Kumlu-Killi Zeminlerde Yapılan Kazık Temellerin Statik Yükler Altında Deformasyonu

8.6.1. 22,5m Kil Zeminde ve 7,5m Kum Zeminde Yapılan 15m Boyunda Kazık Temel İçin Statik Yükler Altında Yaptığı Deformasyonun Hesaplanması



Şekil 8.14. 17,5m kil zemine ve 7,5m kum zemine oturan kazık temelin şematik gösterimi

22,5m Kil Zeminde ve 7,5m Kum Zeminde Yapılan 15m Boyunda 0,60m Çapa Sahip Kazık Temel İçin Oturma Hesabı

s₁ oturması

Şaft boyunca kazığın elastik kısalması nedeniyle meydana gelen oturma:

Kil zeminden dolayı meydana gelen oturma

$Q_{wp} = 48,52$ kN uç mukavemeti ile karşılanan taşıma gücü

$Q_{ws} = 117,81$ kN sürtünme ile karşılanan taşıma gücü

$\xi = 0,6$ $A_p = 0,2827$ m²

$E_p \cdot A_p = 1,08 \times 10^7$ kN/ m²

$$D=0,60\text{m}$$

$$L=7,5\text{m}$$

$$s_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})}{A_p E_p} L$$

$$s_{1\text{ki}} = (48,52 + 0,6 \times 117,81) / (1,08 \times 10^7) \times 7,5 = 8,28 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Kum zeminden dolayı meydana gelen oturma

$$s_{1\text{kum}} = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 48,52 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = 26,14 \text{ kN}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_{1\text{kum}} = (48,52 + 0,6 \times 26,14) (7,5) / 1,08 \times 10^7 = 4,46 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$s_1 = 8,28 \times 10^{-5} + 4,46 \times 10^{-5} = 1,27 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s2 oturması

Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_2 = \frac{Q_{up} C_p}{D \cdot q_p}$$

$$Q_{up} = 48,52 \text{ kN}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$q_{wp} = Q_{wp} / A_p = 48,52 / 0,2827 = 171,63 \text{ kN/m}^2$$

$$C_p = 0,05$$

$$s_2 = (48,52 \times 0,05) / (0,6 \times 171,63) = 23,56 \text{ mm}$$

s₃ oturması

Kazık boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

Kil zeminden dolayı meydana gelen oturma

$$C_s = \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) C_p$$

$$q_{wp} = Q_{wp} / A_p = 48,52 / 0,2827 = 171,63 \text{ kN/m}^2$$

$$C_p = 0,05$$

$$C_s = 0,075$$

$$s_3 = \frac{Q_{us} C_s}{L \cdot q_p}$$

$$s_{3\text{kil}} = (117,81 \times 0,075) / (7,5 \times 171,63) = 4,58 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Kum zeminden dolayı meydana gelen oturma

$$s_{3\text{kum}} = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 26,14 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_{3\text{kum}} = (26,14) / (1,885 \times 7,5) (0,6 / 15000) (1 - 0,3^2) (3,75) = 2,52 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$s_3 = 4,58 \times 10^{-3} + 2,52 \times 10^{-4} = 4,83 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000127 + 0,02356 + 0,00483 = 0,02852 \text{ m} = 28,52 \text{ mm}$$

**22,5m Kil Zeminde ve 7,5m Kum Zeminde Yapılan 15m Boyunda 0,80m
Çapa Sahip Kazık Temel İçin Oturma Hesabı**

s₁ oturması

Şaft boyunca kazığın elastik kısalması nedeniyle meydana gelen oturma:

Kil zeminden dolayı meydana gelen oturma

$Q_{wp}=86,27$ kN uç mukavemeti ile karşılanan taşıma gücü

$Q_{ws}=157,08$ kN sürtünme ile karşılanan taşıma gücü

$$\xi = 0,6 \quad A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_p \cdot A_p = 1,92 \times 10^7 \text{ kN/ m}^2$$

$$D = 0,80 \text{ m}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$s_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})}{A_p E_p} L$$

$$s_{1\text{kil}} = (86,27 + 0,6 \times 157,08) / (1,92 \times 10^7) \times 7,5 = 7,07 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Kum zeminden dolayı meydana gelen oturma

$$s_{1\text{kum}} = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 86,27 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = 34,81 \text{ kN}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_{1\text{kum}} = (86,27 + 0,6 \times 34,81) (7,5) / 1,92 \times 10^7 = 4,19 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$s_1 = 7,07 \times 10^{-5} + 4,19 \times 10^{-5} = 1,13 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s2 oturması

Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_2 = \frac{Q_{up} C_p}{D \cdot q_p}$$

$$Q_{up} = 86,27 \text{ kN}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$q_{wp} = Q_{wp} / A_p = 86,27 / 0,5027 = 171,61 \text{ kN/m}^2$$

$$C_p = 0,05$$

$$s_2 = (86,27 \times 0,05) / (0,8 \times 171,61) = 31,42 \text{ mm}$$

s3 oturması

Kazık boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

Kil zeminden dolayı meydana gelen oturma

$$C_s = \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) C_p$$

$$q_{wp} = Q_{wp} / A_p = 86,27 / 0,5027 = 171,61 \text{ kN/m}^2$$

$$C_p = 0,05$$

$$C_s = 0,071$$

$$s_3 = \frac{Q_{us} C_s}{L \cdot q_p}$$

$$s_{3kil} = (157,08 \times 0,071) / (7,5 \times 171,61) = 8,67 \text{ mm}$$

Kum zeminden dolayı meydana gelen oturma

$$s_{3kum} = (Q_{us}) / (p \cdot L) \cdot (D / E_s) \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws}$$

$$Q_{us} = 34,81 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_{3kum} = (34,81) / (2,513 \times 7,5) \cdot (0,8 / 15000) \cdot (1 - 0,3^2) \cdot (3,516) = 3,15 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$s_3 = 3,15 \times 10^{-4} + 0,00867 = 0,00896 \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000113 + 0,03142 + 0,00896 = 0,04049 \text{ m} = 40,49 \text{ mm}$$

22,5m Kil Zeminde ve 7,5m Kum Zeminde Yapılan 15m Boyunda 1,00m Çapa Sahip Kazık Temel İçin Oturma Hesabı

s₁ oturması

Şaft boyunca kazığın elastik kısalması nedeniyle meydana gelen oturma:

Kil zeminden dolayı meydana gelen oturma

$$Q_{wp} = 134,79 \text{ kN uç mukavemeti ile karşılanan taşıma gücü}$$

$$Q_{ws} = 196,35 \text{ kN sürtünme ile karşılanan taşıma gücü}$$

$$\xi = 0,6 \quad A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_p, A_p=3 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$D=1 \text{ m}$$

$$L=7,5 \text{ m}$$

$$s_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})}{A_p E_p} L$$

$$s_{1ki} = (134,79 + 0,6 \times 196,35) / (3 \times 10^7) \times 7,5 = 6,32 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Kum zeminden dolayı meydana gelen oturma

$$s_{1kum} = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 134,79 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = 43,51 \text{ kN}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_{1kum} = (134,79 + 0,6 \times 43,51) (7,5) / 3 \times 10^7 = 4,02 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$s_1 = 6,32 \times 10^{-5} + 4,02 \times 10^{-5} = 1,03 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s2 oturması

Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_2 = \frac{Q_{up} C_p}{D \cdot q_p}$$

$$Q_{up} = 99,17 \text{ kN}$$

$$D = 1 \text{ m}$$

$$q_{wp} = Q_{wp}/A_p = 134,79/0,7854 = 171,62 \text{ kN/m}^2$$

$$C_p = 0,05$$

$$s_2 = (134,79 \times 0,05) / (1 \times 171,62) = 39,27 \text{ mm}$$

s₃ oturması

Kazık boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

Kil zeminden dolayı meydana gelen oturma

$$C_s = \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) C_p$$

$$q_{wp} = Q_{wp}/A_p = 134,79/0,7854 = 171,62 \text{ kN/m}^2$$

$$C_p = 0,05$$

$$C_s = 0,068$$

$$s_3 = \frac{Q_{us} C_s}{L \cdot q_p}$$

$$s_{3kil} = (196,35 \times 0,068) / (7,5 \times 171,62) = 10,37 \text{ mm}$$

Kum zeminden dolayı meydana gelen oturma

$$s_{3kum} = (Q_{us}) / (p \cdot L) \cdot (D/E_s) \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws}$$

$$Q_{us} = 43,15 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$D = 1 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,356$$

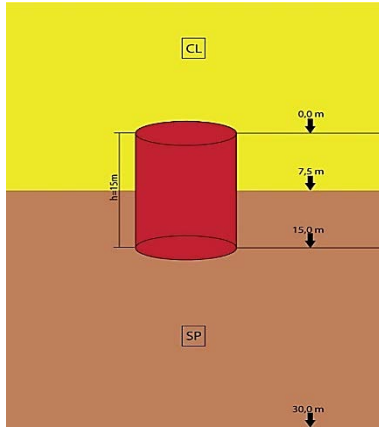
$$s_{3\text{kum}} = (43,15)/(3,142 \times 7,5) (1/15000) (1-0,3^2) (3,356) = 3,73 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$s_3 = 0,01037 + 3,73 \times 10^{-4} = 0,01075 \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000103 + 0,03927 + 0,01075 = 0,05012 \text{ m} = 50,12 \text{ mm}$$

8.6.2. 22,5m Kum Zeminde ve 7,5m Kil Zeminde Yapılan 15m Boyunda Kazık Temel İçin Statik Yükler Altında Yaptığı Deformasyonun Hesaplanması



Şekil 8.15. 17,5m kum zemine ve 7,5m kil zemine oturan kazık temelin şematik gösterimi

22,5m Kum Zeminde ve 7,5m Kil Zeminde Yapılan 15m Boyunda 0,60m Çapa Sahip Kazık Temel İçin Oturma Hesabı

s₁ oturması

Şaft boyunca kazığın elastik davranışı nedeniyle meydana gelen oturma:

Kum Zemindeki Oturma

$$s_{1kum} = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 219,24 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = 25,10 \text{ kN}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_{1kum} = (219,24 + 0,6 \times 25,10) (7,5) / 1,08 \times 10^7 = 1,63 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemindeki Oturma

$Q_{wp} = 219,24 \text{ kN}$ uç mukavemeti ile karşılanan taşıma gücü

$Q_{ws} = 117,81 \text{ kN}$ sürtünme ile karşılanan taşıma gücü

$$\xi = 0,6 \quad A_p = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$E_p \cdot A_p = 1,08 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$D = 0,60 \text{ m}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$s_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})}{A_p E_p} L$$

$$s_{1kil} = (219,24 + 0,6 \times 117,81) / (1,08 \times 10^7) \times 7,5 = 2,01 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$s_1 = 1,63 \times 10^{-4} + 2,01 \times 10^{-4} = 3,64 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s2 oturması

Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_2 = (Q_{up}.D) (1-\mu_s^2) I_{wp} / (A_p.E_s)$$

$$Q_{up} = 219,24 \text{ kN}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_s = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN /m}^2$$

$$s_2 = (219,24 \times 0,6) (1-0,3^2) (0,88) / (0,2827 \times 15000) = 0,02484 \text{ m}$$

s3 oturması

Kazık boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

Kum Zemindeki Oturma

$$s_{3kum} = (Q_{us})/(p.L) (D/E_s) (1- \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 25,10 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_{3kum} = (25,10)/(1,885 \times 7,5) (0,6/15000) (1-0,3^2) (3,75) = 2,42 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemindeki Oturma

$$C_s = \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) C_p$$

$$q_{wp} = Q_{wp}/A_p = 219,24/0,2827 = 775,52 \text{ kN/ m}^2$$

$$C_p = 0,05$$

$$C_s=0,075$$

$$s_3 = \frac{Q_{us} C_s}{L \cdot q_p}$$

$$s_{3kil}=(219,24 \times 0,075)/(7,5 \times 775,52)= 2,83 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$s_3 = 2,42 \times 10^{-4} + 2,83 \times 10^{-3} = 3,07 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000364 + 0,02484 + 0,00307 = 0,02827 \text{ m} = 28,27 \text{ mm}$$

22,5m Kum Zeminde ve 7,5m Kil Zeminde Yapılan 15m Boyunda 0,80m Çapa Sahip Kazık Temel İçin Oturma Hesabı

s₁ oturması

Şaft boyunca kazığın elastik kısalması nedeniyle meydana gelen oturma:

Kum Zemindeki Oturma

$$s_{1kum} = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 389,86 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = 33,47 \text{ kN}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_{1kum} = (389,86 + 0,6 \times 33,47) (7,5) / 1,92 \times 10^7 = 1,60 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemindeki Oturma

$Q_{wp} = 389,86 \text{ kN}$ uç mukavemeti ile karşılanan taşıma gücü

$Q_{ws} = 157,08 \text{ kN}$ sürtünme ile karşılanan taşıma gücü

$$\xi = 0,6 \quad A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_p \cdot A_p = 1,92 \times 10^7 \text{ kN/ m}^2$$

$$D = 0,80 \text{ m}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$s_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})}{A_p E_p} L$$

$$s_{1kil} = (389,86 + 0,6 \times 157,08) / (1,92 \times 10^7) \times 7,5 = 1,89 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$s_1 = 1,60 \times 10^{-4} + 1,89 \times 10^{-4} = 3,49 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s2 oturması

Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s)$$

$$Q_{up} = 389,86 \text{ kN}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_s = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN /m}^2$$

$$s_2 = (389,86 \times 0,8) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,5027 \times 15000) = 0,03312 \text{ m}$$

s3 oturması

Kazık boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

Kum Zemindeki Oturma

$$s_{3kum} = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D / E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 33,47 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_{3kum} = (33,47)/(2,513 \times 7,5) (0,8/15000) (1-0,3^2) (3,516) = 3,03 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemindeki Oturma

$$C_s = \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) C_p$$

$$q_{wp} = Q_{wp}/A_p = 389,86/0,5027 = 775,53 \text{ kN/m}^2$$

$$C_p = 0,05$$

$$C_s = 0,071$$

$$s_3 = \frac{Q_{us} C_s}{L \cdot q_p}$$

$$s_{3kil} = (389,86 \times 0,071)/(7,5 \times 696,20) = 4,76 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$s_3 = 3,03 \times 10^{-4} + 4,76 \times 10^{-3} = 5,06 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000349 + 0,03312 + 0,00506 = 0,03853 \text{ m} = 38,53 \text{ mm}$$

22,5m Kum Zeminde ve 7,5m Kil Zeminde Yapılan 15m Boyunda 1,00m Çapa Sahip Kazık Temel İçin Oturma Hesabı

s₁ oturması

Şaft boyunca kazığın elastik kısalması nedeniyle meydana gelen oturma:

Kum Zemindeki Oturma

$$s_{1\text{kum}} = (Q_{\text{up}} + \xi Q_{\text{us}}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{\text{up}} = 609,10 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{us}} = 41,84 \text{ kN}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_{1\text{kum}} = (609,10 + 0,6 \times 41,84) (7,5) / 3 \times 10^7 = 1,59 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemindeki Oturma

$Q_{\text{wp}} = 609,10 \text{ kN}$ uç mukavemeti ile karşılanan taşıma gücü

$Q_{\text{ws}} = 196,35 \text{ kN}$ sürtünme ile karşılanan taşıma gücü

$$\xi = 0,6 \quad A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_p \cdot A_p = 3 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$D = 1 \text{ m}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$s_1 = \frac{(Q_{\text{wp}} + \xi Q_{\text{ws}}) L}{A_p E_p}$$

$$s_{1\text{kil}} = (609,10 + 0,6 \times 196,35) / (3 \times 10^7) \times 7,5 = 1,82 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$s_1 = 1,59 \times 10^{-4} + 1,82 \times 10^{-4} = 3,41 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s2 oturması

Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s)$$

$$Q_{up} = 609,10 \text{ kN}$$

$$D = 1 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_s = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (609,10 \times 1) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,7854 \times 15000) = 0,04140 \text{ m}$$

s3 oturması

Kazık boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma:

Kum Zemindeki Oturma

$$s_{3kum} = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D / E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 41,84 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 7,5 \text{ m}$$

$$D = 1 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_{3kum} = (41,84) / (3,142 \times 7,5) (1 / 15000) (1 - 0,3^2) (3,356) = 3,61 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemindeki Oturma

$$C_s = \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) C_p$$

$$q_{wp} = Q_{wp} / A_p = 609,10 / 0,7854 = 775,53 \text{ kN/ m}^2$$

$$C_p = 0,05$$

$$C_s = 0,068$$

$$s_3 = \frac{Q_{ws} C_s}{L \cdot q_p}$$

$$s_{3\text{kil}} = (609,10 \times 0,068) / (7,5 \times 775,53) = 7,12 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$s_3 = 3,61 \times 10^{-4} + 7,12 \times 10^{-3} = 7,48 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000341 + 0,04140 + 0,00748 = 0,04922 \text{ m} = 49,22 \text{ mm}$$

Çizelge 8.49. 22,5m kil ve 7,5 kum zeminde yapılan kazık temellerin taşıma gücü deformasyonları

| 22,5m Kil Zemin + 7,5m Kum Zemin | 0,6 ^m kazık çapı | 0,8 ^m kazık çapı | 1 ^m kazık çapı |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Müsade Edilebilir Taşıma Gücü | 192,47 kN | 278,16 kN | 374,65 kN |
| S ₁ Oturması | 0,000127 m | 0,000113 m | 0,000103 m |
| S ₂ Oturması | 0,02356 m | 0,03142 m | 0,03927 m |
| S ₃ Oturması | 0,00483 m | 0,00896 m | 0,001075 m |
| Toplam Oturma | 28,52 mm | 40,49 mm | 50,12 mm |

Çizelge 8.50. 22,5m kum ve 7,5 kil zeminde yapılan kazık temellerin taşıma gücü deformasyonları

| 22,5m Kum Zemin + 7,5m Kil Zemin | 0,6 ^m kazık çapı | 0,8 ^m kazık çapı | 1 ^m kazık çapı |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Müsade Edilebilir Taşıma Gücü | 362,16 kN | 580,41 kN | 847,29 kN |
| S ₁ Oturması | 0,000364 m | 0,000349 m | 0,000341 m |
| S ₂ Oturması | 0,02484 m | 0,03312 m | 0,04140 m |
| S ₃ Oturması | 0,00307 m | 0,00506 m | 0,00748 m |
| Toplam Oturma | 28,27 mm | 38,53 mm | 49,22 mm |

Çizelge 8.51. 192,47 kN yük altında 0,6m kazık çapına sahip temelin 22,5m killi ve 7,5 kumlu zeminde meydana gelen oturmaları

| Hesap Türü | Ampirik | SAP2000 | Plaxis |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Deformasyon | 28,52 ^{mm} | 30,72 ^{mm} | 22,31 ^{mm} |

Çizelge 8.52. 339,73 kN yük altında 0,6m kazık çapına sahip temelin 22,5m kumlu ve 7,5 killi zeminde meydana gelen oturmaları

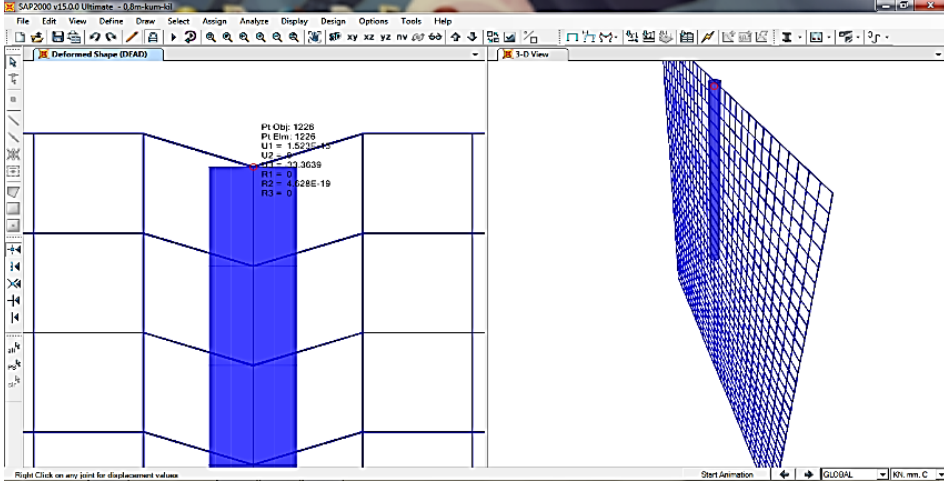
| Hesap Türü | Ampirik | SAP2000 | Plaxis |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Deformasyon | 28,27 ^{mm} | 26,47 ^{mm} | 24,98 ^{mm} |

Çizelge 8.53. 278,16 kN yük altında 0,8m kazık çapına sahip temelin 22,5m killi ve 7,5 kumlu zeminde meydana gelen oturmaları

| Hesap Türü | Ampirik | SAP2000 | Plaxis |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Deformasyon | 40,49 ^{mm} | 45,77 ^{mm} | 35,27 ^{mm} |

Çizelge 8.54. 540,36 kN yük altında 0,8m kazık çapına sahip temelin 22,5m kumlu ve 7,5 killi zeminde meydana gelen oturmaları

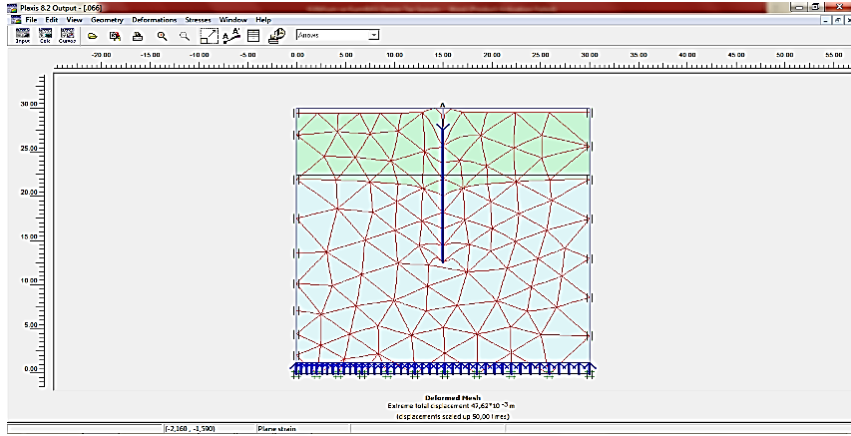
| Hesap Türü | Ampirik | SAP2000 | Plaxis |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Deformasyon | 38,53 ^{mm} | 33,36 ^{mm} | 35,05 ^{mm} |



Şekil 8.16. 22,5m Kum zemin ve 7,5m kil zemine oturan 0,8^m çapa sahip kazık temelin 540,36 kN taşıma gücü altında yaptığı deformasyonun SAP2000 programı ile hesabı

Çizelge 8.55. 374,65 kN yük altında 1,0m kazık çapına sahip temelin 22,5m killi ve 7,5m kumlu zeminde meydana gelen oturmaları

| Hesap Türü | Ampirik | SAP2000 | Plaxis |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Deformasyon | 50,12 ^{mm} | 57,23 ^{mm} | 47,62 ^{mm} |



Şekil 8.17. 22,5m Kil zemin ve 7,5m kum zemine oturan 1,0^m çapa sahip kazık temelin 374,65 kN taşıma gücü altında yaptığı deformasyonun Plaxis programı ile hesabı.

Çizelge 8.56. 784,98 kN yük altında 1,0m kazık çapına sahip temelin 22,5m kumlu ve 7,5 killi zeminde meydana gelen oturmaları

| Hesap Türü | Ampirik | SAP2000 | Plaxis |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Deformasyon | 49,22 ^{mm} | 41,15 ^{mm} | 47,31 ^{mm} |

Çizelge 8.57. 22,5m kil ve 7,5 kum zemin ile 22,5m kum 7,5m kil zeminde yapılan kazık temellerin statik yükler altında yaptığı düşey ortalama deformasyonlar

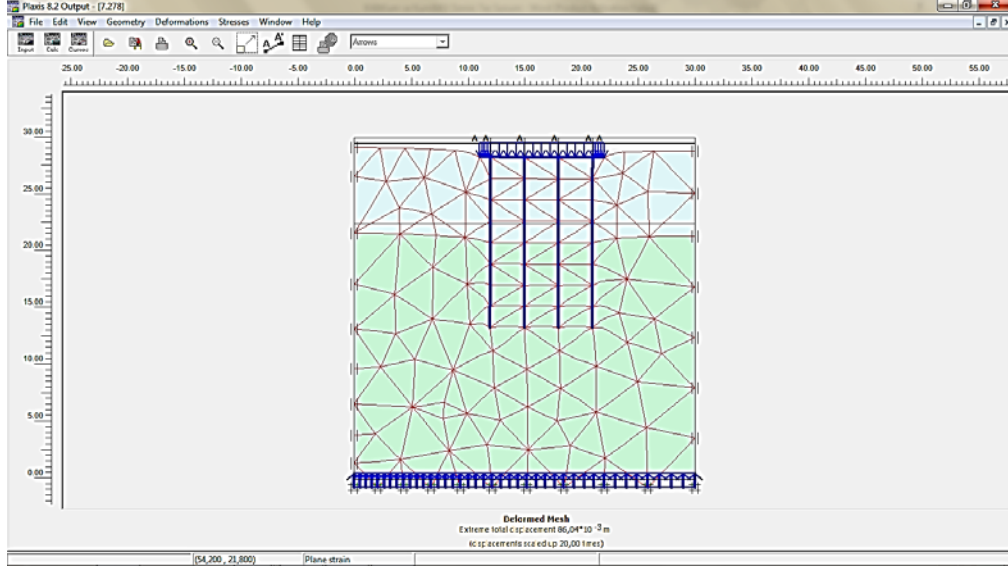
| Zemin Türü | 22,5m Kil Zemin | | | 22,5m Kum Zemin | | |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 0,6 ^m | 0,8 ^m | 1 ^m | 0,6 ^m | 0,8 ^m | 1 ^m |
| Müsade Edilebilir Taşıma Gücü | 192,47 kN | 278,16 kN | 374,65 kN | 362,16 kN | 580,41 kN | 847,29 kN |
| Statik Yük Altında Ortalama Deformasyon | 27,18 ^{mm} | 40,51 ^{mm} | 51,66 ^{mm} | 26,57 ^{mm} | 35,65 ^{mm} | 45,89 ^{mm} |

Çizelge 8.58. Deprem yükü altında 0,60m kazık çapına sahip temelin 22,5m killi ve 7,5m kumlu zeminde meydana gelen oturmaları

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|------------------|---------------------|---------------------|
| Mw=5 | 50,13 ^{mm} | 41,73 ^{mm} |
| Mw=6 | 65,37 ^{mm} | 56,75 ^{mm} |
| Mw=7 | 75,64 ^{mm} | 68,21 ^{mm} |

Çizelge 8.59. Deprem yükü altında 0,60m kazık çapına sahip temelin 22,5m kumlu ve 7,5m killi zeminde meydana gelen oturmaları

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|------------------|---------------------|---------------------|
| Mw=5 | 53,04 ^{mm} | 51,91 ^{mm} |
| Mw=6 | 72,11 ^{mm} | 69,78 ^{mm} |
| Mw=7 | 88,14 ^{mm} | 86,04 ^{mm} |



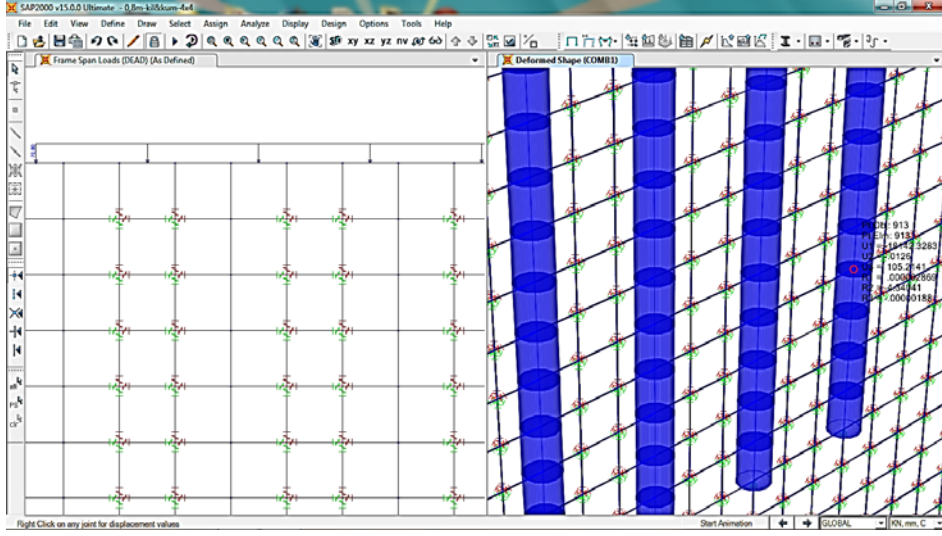
Şekil 8.18. 22,5m Kum zemin ve 7,5m kil zemine oturan 0,6^m çapa sahip kazık temelin Mw=7 deprem büyüklüğü altında yaptığı deformasyonun Plaxis programı ile hesabı.

Çizelge 8.60. Deprem yükü altında 0,80m kazık çapına sahip temelin 22,5m killi ve 7,5m kumlu zeminde meydana gelen oturmaları

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|------------------|----------------------|---------------------|
| Mw=5 | 71,23 ^{mm} | 61,86 ^{mm} |
| Mw=6 | 89,43 ^{mm} | 79,57 ^{mm} |
| Mw=7 | 105,21 ^{mm} | 96,31 ^{mm} |

Çizelge 8.61. Deprem yükü altında 0,80m kazık çapına sahip temelin 22,5m kumlu ve 7,5m killi zeminde meydana gelen oturmaları

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|------------------|----------------------|----------------------|
| Mw=5 | 120,22 ^{mm} | 124,81 ^{mm} |
| Mw=6 | 138,81 ^{mm} | 142,77 ^{mm} |
| Mw=7 | 154,44 ^{mm} | 158,97 ^{mm} |



Şekil 8.19. 22,5m Kıl zemin ve 7,5m kum zemine oturan 0,8^m çapa sahip kazık temelin Mw=7 deprem büyüklüğü altında yaptığı deformasyonun SAP2000 programı ile hesabı..

Çizelge 8.62. Deprem yükü altında 1,0m kazık çapına sahip temelin 22,5m killi ve 7,5m kumlu zeminde meydana gelen oturmaları

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|------------------|----------------------|----------------------|
| Mw=5 | 105,15 ^{mm} | 94,73 ^{mm} |
| Mw=6 | 122,42 ^{mm} | 112,22 ^{mm} |
| Mw=7 | 137,03 ^{mm} | 128,62 ^{mm} |

Çizelge 8.63. Deprem yükü altında 1,0m kazık çapına sahip temelin 22,5m kumlu ve 7,5m killi zeminde meydana gelen oturmaları

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|------------------|----------------------|----------------------|
| Mw=5 | 237,05 ^{mm} | 242,59 ^{mm} |
| Mw=6 | 255,01 ^{mm} | 260,88 ^{mm} |
| Mw=7 | 271,24 ^{mm} | 276,69 ^{mm} |

8.7. Killi-Kumlu ve Kumlu-Killi Zeminlerde Dinamik Çözümler Sonucu Elde Edilen Düşey Deformasyonlardan Geri Hesap Yapılması Suretiyle Kazıklara Gelen Eşdeğer Düşey Statik Yüklerin Belirlenmesi

$$E = 1 - \tan^{-1} \left(\frac{d}{s} \right) \frac{m(n-1)+n(m-1)}{90mn}$$

$$d = 1\text{m}$$

$$s = 3,00\text{m}$$

$$m = n = 4$$

$$E = 1 - \tan^{-1} \left(\frac{1}{3} \right) \frac{4(4-1)+4(4-1)}{90 \times 4 \times 4}$$

$$E = 0,70$$

Her bir kazık çapı için grup etkinlik faktörü değişmekle birlikte zeminler $N=4$ değerine sahip olduğu için tüm çaplarda grup etkinlik faktörü olarak minimum olan $E = 0,70$ değeri kullanılmıştır.

8.7.1. Killi-Kumlu Zeminde Yapılan Kazık Temellerin Eşdeğer Statik Yüklerinin Hesaplanması

22,5^m kil zemin ve 7,5^m kum zeminde yapılan 0,6^m çapındaki kazık temele uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Çizelge 8.64. 0,6m kazık çapına sahip killi-kumlu zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|------------------|---------------------|---------------------|
| $M_w=5$ | 50,13 ^{mm} | 41,73 ^{mm} |
| $M_w=6$ | 65,37 ^{mm} | 56,75 ^{mm} |
| $M_w=7$ | 75,64 ^{mm} | 68,21 ^{mm} |

Bu modelde 0,6m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi 0,6m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,6 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,6m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan 0,6m kazık grubunun $M_w=5$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$sg(e) = s (4D+3/D+4)^2 = 4,173 \text{ cm}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$sg(e) = s ((4 \times 0,6 + 3) / (0,6 + 4))^2 = 0,04173 \text{ m} \quad s = 0,03028 \text{ m}$$

0,6m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,6m tekil kazığına $s=0,03028$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,03028 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha r = 0,88$$

$$A_p = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,6) (1 - 0,2^2) (0,88) / (0,2827 \times 9500) = 0,03028 \text{ m} = 30,28 \text{ mm}$$

$$Q_{up} = 160,46 \text{ kN}$$

s1 oturması

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 160,46 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 117,81 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (160,46 + 0,6 \times 117,81) (15) / (1,08 \times 10^7) = 3,21 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 160,46 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 26,14 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (160,46 + 0,6 \times 26,14) (15) / (1,08 \times 10^7) = 2,45 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s3 oturması

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 117,81 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (117,81) / (1,885 \times 15) (0,6 / 9500) (1 - 0,2^2) (3,75) = 9,47 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 26,14 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (26,14) / (1,885 \times 15) (0,6 / 15000) (1 - 0,3^2) (3,75) = 1,26 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000566 + 0,03028 + 0,00107 = 0,03192 \text{ m} \approx 0,03027 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 160,46 \text{ kN}$$

Kazık grubuna etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (160,46) \times 4 = 641,84 \times 0,7 = 449,29 \text{ kN}$$

0,6m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 0,6m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi 0,6m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,6 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir

0,6m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,6 m kazıklardan oluşan $M_w=6$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D + 3/D + 4)^2 = 5,675 \text{ cm}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s \left(\frac{4 \times 0,6 + 3}{(0,6 + 4)} \right)^2 = 0,05675 \text{ m} \quad s = 0,04118 \text{ m}$$

0,6m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,6m tekil kazığına $s=0,04118$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturma s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,04118 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha r = 0,88$$

$$A_p = 0,2 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,6) (1 - 0,2^2) (0,88) / (0,2827 \times 9500) = 0,04118 \text{ m}$$

$$Q_{up} = 218,22 \text{ kN/m}^2$$

s_1 oturması

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 218,22 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 117,81 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (218,22 + 0,6 \times 117,81) (15) / (1,08 \times 10^7) = 4,01 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 218,22 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 26,14 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (218,22 + 0,6 \times 26,14) (15) / (1,08 \times 10^7) = 3,25 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s3 oturması

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 117,81 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (117,81) / (1,885 \times 15) (0,6/9500) (1 - 0,2^2) (3,75) = 9,47 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 26,14 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (26,14) / (1,885 \times 15) (0,6/15000) (1 - 0,3^2) (3,75) = 1,26 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000725 + 0,04118 + 0,00107 = 0,04298 \text{ m} \approx 0,04118 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 218,22 \text{ kN/m}^2$$

Kazık-radye sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{(g)} = (218,22) \times 4 = 872,88 \times 0,7 = 611,02 \text{ kN/m}^2$$

0,6m kazığına uygulanan Mw=7 dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu bölümde 0,6m kazığına uygulanan M7 dinamik yüklemesi 0,6m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,6 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,6m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,6m kazıklardan oluşan Mw=7 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 6,821 \text{ cm}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,6 + 3) / (0,6 + 4))^2 = 0,06821 \text{ m} \quad s = 0,04950 \text{ m}$$

0,6m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,6m tekil kazığına $s=0,04950$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,04950 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha r = 0,88$$

$$A_p = 0,2 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,6) (1 - 0,2^2) (0,88) / (0,2827 \times 9500) = 0,04950 \text{ m}$$

$$Q_{up} = 262,31 \text{ kN/m}^2$$

s1 oturması

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 262,31 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 117,81 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (262,31 + 0,6 \times 117,81) (15) / (1,08 \times 10^7) = 4,62 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 262,31 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 26,14 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (262,31 + 0,6 \times 26,14) (15) / (1,08 \times 10^7) = 3,86 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s3 oturması

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 117,81 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (117,81)/(1,885 \times 15) (0,6/9500) (1-0,2^2) (3,75) = 9,47 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us})/(p \cdot L) (D/E_s) (1-\mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 26,14 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (26,14)/(1,885 \times 15) (0,6/15000) (1-0,3^2) (3,75) = 1,26 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000848 + 0,04950 + 0,00107 = 0,05142 \text{ m} \approx 0,04950 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 262,31 \text{ kN}$$

Kazık-grubuna etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (262,31) \times 4 = 1049,24 \text{ kN}$$

22,5^m kil zemin ve 7,5^m kum zeminde yapılan 0,8^m çapındaki kazık temele uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi için geri hesap

Çizelge 8.65. 0,8m kazık çapına sahip killi-kumlu zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|------------------|----------------------|---------------------|
| Mw=5 | 71,23 ^{mm} | 61,86 ^{mm} |
| Mw=6 | 89,43 ^{mm} | 79,57 ^{mm} |
| Mw=7 | 105,21 ^{mm} | 96,31 ^{mm} |

Bu modelde 0,8m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi 0,8m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,8 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,8m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 3 kazıktan oluşan kazık grubu 0,8m kazıklardan oluşan Mw=5 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 6,186 \text{ cm}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,8 + 3) / (0,8 + 4))^2 = 0,06186 \text{ m} \quad s = 0,03708 \text{ m}$$

0,8 m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,8m tekil kazığına $s=0,03708$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s2 oturması

$$s_2 = (Q_{up}.D) (1-\mu_s^2) I_{wp} / (A_p.E_s) = 0,03708 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,8) (1-0,2^2) (0,88) / (0,5027 \times 9500) = 0,03708$$

$$Q_{up} = 261,99 \text{ kN}$$

s1 oturması

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 261,99 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 157,08 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (261,99 + 0,6 \times 157,08) (15) / (1,92 \times 10^7) = 2,78 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 261,99 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 34,81 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (261,99 + 0,6 \times 34,81) (15) / (1,92 \times 10^7) = 2,21 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 157,08 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (157,08) / (2,513 \times 15) (0,8/9500) (1 - 0,2^2) (3,516) = 1,18 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 34,81 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (34,81) / (2,513 \times 15) (0,8/15000) (1 - 0,3^2) (3,516) = 1,58 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000499 + 0,03708 + 0,00134 = 0,03892 \text{ m} \approx 0,03708 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 261,99 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (261,99) \times 4 = 1047,96 \text{ kN}$$

0,8m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 0,8m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi 0,8m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,8 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,8m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,8m kazıklardan oluşan M6 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 7,957 \text{ cm}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,8 + 3) / (0,8 + 4))^2 = 0,07957 \text{ m} \quad s = 0,04769 \text{ m}$$

0,8m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,8m tekil kazığına $s=0,04769$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,04769 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,8) (1 - 0,2^2) (0,88) / (0,5027 \times 9500) = 0,04769$$

$$Q_{up} = 336,96 \text{ kN}$$

s₁ oturması

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 336,96 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 157,08 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (336,96 + 0,6 \times 157,08) (15) / (1,92 \times 10^7) = 3,37 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 336,96 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 34,81 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (336,96 + 0,6 \times 34,81) (15) / (1,92 \times 10^7) = 2,80 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D / E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 157,08 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (157,08)/(2,513 \times 15) (0,8/9500) (1-0,2^2) (3,516) = 1,18 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us})/(p.L) (D/E_s) (1-\mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 34,81 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (34,81)/(2,513 \times 15) (0,8/15000) (1-0,3^2) (3,516) = 1,58 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000617 + 0,04769 + 0,00134 = 0,04965 \text{ m} \approx 0,04769 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 336,96 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (336,96) \times 4 = 1347,84 \times 0,7 = 943,49 \text{ kN}$$

0,8m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 0,8m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi 0,8m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,8 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,8m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,8m kazıklardan oluşan $M_w=7$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 9,631 \text{ cm}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,8 + 3) / (0,8 + 4))^2 = 0,09631 \text{ m} \quad s = 0,05773 \text{ m}$$

0,8m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,8m tekil kazığına $s=0,05773$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,05773 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,8) (1 - 0,2^2) (0,88) / (0,5027 \times 9500) = 0,05773$$

$$Q_{up} = 407,90 \text{ kN}$$

s_1 oturması

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 407,90 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 157,08 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (407,90 + 0,6 \times 157,08) (15) / (1,92 \times 10^7) = 3,92 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 407,90 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 34,81 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (407,90 + 0,6 \times 34,81) (15) / (1,92 \times 10^7) = 3,35 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 157,08 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (157,08) / (2,513 \times 15) (0,8/9500) (1 - 0,2^2) (3,516) = 1,18 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 34,81 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (34,81)/(2,513 \times 15) (0,8/15000) (1-0,3^2) (3,516) = 1,58 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000727 + 0,05773 + 0,00134 = 0,05980 \text{ m} \approx 0,05773 \text{ m}$$

Bu durumda 0,8m kazığına uygulanan Mw=7 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 407,90 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (407,90) \times 4 = 1631,60 \times 0,7 = 1142,12 \text{ kN}$$

22,5^m kil zemin ve 7,5^m kum zeminde yapılan 1,0^m çapındaki kazık temele uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi için geri hesap

Çizelge 8.66. 1,0m kazık çapına sahip killi-kumlu zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|------------------|----------------------|----------------------|
| Mw=5 | 105,15 ^{mm} | 94,73 ^{mm} |
| Mw=6 | 122,42 ^{mm} | 112,22 ^{mm} |
| Mw=7 | 139,03 ^{mm} | 128,62 ^{mm} |

Bu modelde 1,0m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi 1,0m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 1,0 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

1,0m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 1,0 m kazıklardan oluşan Mw=5 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 9,473 \text{ cm}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 1 + 3)/(1 + 4))^2 = 0,09473 \text{ m} \quad s = 0,04833 \text{ m}$$

1,0m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 1,0 m tekil kazığına $s=0,04833$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up}.D) (1-\mu s^2) I_{wp} / (A_p.E_s) = 0,04833 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$\mu s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 1) (1-0,2^2) (0,88) / (0,7854 \times 9500) = 0,04833 \quad Q_{up} = 426,85 \text{ kN}$$

s_1 oturması

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 426,85 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 196,35 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (426,85 + 0,6 \times 196,35) (15) / (3 \times 10^7) = 2,72 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 426,85 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 43,51 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (426,85 + 0,6 \times 43,51) (15) / (3 \times 10^7) = 2,26 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s3 oturması

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 196,35 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (196,35) / (3,142 \times 15) (1,0/9500) (1 - 0,2^2) (3,356) = 1,41 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 43,51 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (43,51) / (3,142 \times 15) (1,0/15000) (1 - 0,3^2) (3,356) = 1,88 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000498 + 0,04833 + 0,00160 = 0,05043 \text{ m} \approx 0,04833 \text{ m}$$

Bu durumda 1,0m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 426,85 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (426,85) \times 4 = 1707,40 \times 0,7 = 1195,18 \text{ kN}$$

1,0m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 1,0m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi 1,0m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 1,0 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

1,0m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 1,0 m kazıklardan oluşan Mw=6 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 11,222 \text{ cm}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 1 + 3)/(1 + 4))^2 = 0,11222 \text{ m} \quad s = 0,05726 \text{ m}$$

1,0m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 1,0 m tekil kazığına $s=0,05726$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s2 oturması

$$s_2 = (Q_{up}.D) (1-\mu_s^2) I_{wp} / (A_p.E_s) = 0,05726 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 1) (1-0,2^2) (0,88) / (0,7854 \times 9500) = 0,05726 \quad Q_{up} = 505,72 \text{ kN}$$

s1 oturması

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 505,72 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 196,35 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (505,72 + 0,6 \times 196,35) (15) / (3 \times 10^7) = 3,12 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 505,72 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 43,51 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (505,72 + 0,6 \times 43,51) (15) / (3 \times 10^7) = 2,66 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s3 oturması

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p.L) (D/E_s) (1-\mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 196,35 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (196,35)/(3,142 \times 15) (1,0/9500) (1-0,2^2) (3,356) = 1,41 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us})/(p.L) (D/E_s) (1-\mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 43,51 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (43,51)/(3,142 \times 15) (1,0/15000) (1-0,3^2) (3,356) = 1,88 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000578 + 0,05726 + 0,00160 = 0,05944 \text{ m} \approx 0,05726 \text{ m}$$

Bu durumda 1,0m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 505,72 \text{ kN}$$

Kazık-radye sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (505,72) \times 4 = 2022,88 \times 0,7 = 1416,02 \text{ kN}$$

1,0m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 1,0m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi 1,0m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 1,0 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey

yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

1,0m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 1,0 m kazıklardan oluşan $M_w=7$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 12,862 \text{ cm}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 1 + 3)/(1+4))^2 = 0,12862 \text{ m} \quad s = 0,06562 \text{ m}$$

1,0m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 1,0 m tekil kazığına $s=0,06562$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,06562 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$\mu s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 1) (1 - 0,2^2) (0,88) / (0,7854 \times 9500) = 0,06562 \quad Q_{up} = 579,56 \text{ kN}$$

s_1 oturması

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 579,56 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 196,35 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (579,56 + 0,6 \times 196,35) (15) / (3 \times 10^7) = 3,49 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 579,56 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 43,51 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (579,56 + 0,6 \times 43,51) (15) / (3 \times 10^7) = 3,03 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 196,35 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (196,35) / (3,142 \times 15) (1,0 / 9500) (1 - 0,2^2) (3,356) = 1,41 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 43,51 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (43,51)/(3,142 \times 15) (1,0/15000) (1-0,3^2) (3,356) = 1,88 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,000652 + 0,06562 + 0,00160 = 0,06787 \text{ m} \approx 0,06562 \text{ m}$$

Bu durumda 1,0m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 579,56 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (579,56) \times 4 = 2318,24 \times 0,7 = 1622,77 \text{ kN}$$

8.7.2. Kumlu-Killi Zeminde Yapılan Kazık Temellerin Eşdeğer Statik Yüklerinin Hesaplanması

22,5^m kum zemin ve 7,5^m kil zeminde yapılan 0,6^m çapındaki kazık temele uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Çizelge 8.67. 0,6m kazık çapına sahip kumlu-killi zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|------------------|---------------------|---------------------|
| $M_w=5$ | 53,04 ^{mm} | 51,91 ^{mm} |
| $M_w=6$ | 72,11 ^{mm} | 69,78 ^{mm} |
| $M_w=7$ | 88,14 ^{mm} | 86,04 ^{mm} |

Bu modelde 0,6m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi 0,6m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,6 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma

kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,6m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan 0,6m kazık grubunun $M_w=5$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$sg(e) = s (4D+3/D+4)^2 = 5,191 \text{ cm}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$sg(e) = s ((4 \times 0,6 + 3) / (0,6 + 4))^2 = 0,05191 \text{ m} \quad s = 0,03767 \text{ m}$$

0,6m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,6m tekil kazığına $s=0,03767$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up}.D) (1-\mu_s^2) I_{wp} / (A_p.E_s) = 0,03767 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha r = 0,88$$

$$A_p = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,6) (1-0,3^2) (0,88) / (0,2827 \times 15000) = 0,03767 \text{ m}$$

$$Q_{up} = 332,51 \text{ kN}$$

s_1 oturması

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 332,51 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 25,10 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (332,51 + 0,6 \times 25,10) (15) / (1,08 \times 10^7) = 4,83 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 332,51 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 117,81 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (332,51 + 0,6 \times 117,81) (15) / (1,08 \times 10^7) = 5,60 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 25,10 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (25,10) / (1,885 \times 15) (0,6/15000) (1 - 0,3^2) (3,75) = 1,21 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 117,81 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (117,81)/(1,885 \times 15) (0,6/9500) (1-0,2^2) (3,75) = 9,47 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,001043 + 0,03767 + 0,001068 = 0,03978 \text{ m} \approx 0,03767 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 332,51 \text{ kN}$$

Kazık grubuna etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (332,51) \times 4 = 1330,04 \times 0,7 = 931,03 \text{ kN}$$

0,6m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 0,6m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi 0,6m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,6 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir

0,6m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,6 m kazıklardan oluşan $M_w=6$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 6,978 \text{ cm}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,6 + 3)/(0,6 + 4))^2 = 0,06978 \text{ m} \quad s = 0,05064 \text{ m}$$

0,6m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,6m tekil kazığına $s=0,05064$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturma s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s₂ oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,05064 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha r = 0,88$$

$$A_p = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,6) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,2827 \times 15000) = 0,05064 \text{ m}$$

$$Q_{up} = 446,99 \text{ kN}$$

s₁ oturması

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 446,99 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 25,10 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (446,99 + 0,6 \times 25,10) (15) / (1,08 \times 10^7) = 6,42 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 446,99 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 117,81 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (446,99 + 0,6 \times 117,81) (15) / (1,08 \times 10^7) = 7,19 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s3 oturması

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 25,10 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (25,10) / (1,885 \times 15) (0,6 / 15000) (1 - 0,3^2) (3,75) = 1,21 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 117,81 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (117,81) / (1,885 \times 15) (0,6 / 9500) (1 - 0,2^2) (3,75) = 9,47 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,001361 + 0,05064 + 0,001068 = 0,05307 \text{ m} \approx 0,05064 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 446,99 \text{ kN/m}^2$$

Kazık-radye sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)}=(446,99) \times 4 \Rightarrow 1787,96 \times 0,7 = 1251,57 \text{ kN/m}^2$$

0,6m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu bölümde 0,6m kazığına uygulanan M7 dinamik yüklemesi 0,6m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,6 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,6m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,6m kazıklardan oluşan $M_w=7$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 8,604 \text{ cm}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,6 + 3) / (0,6 + 4))^2 = 0,08604 \text{ m} \quad s = 0,06244 \text{ m}$$

0,6m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,6m tekil kazığına $s=0,06244$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,06244 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha r = 0,88$$

$$A_p = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,6) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,2827 \times 15000) = 0,06244 \text{ m}$$

$$Q_{up} = 551,15 \text{ kN}$$

s1 oturması

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 551,15 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 25,10 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (446,99 + 0,6 \times 25,10) (15) / (1,08 \times 10^7) = 7,86 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 446,99 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 117,81 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,08 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (446,99 + 0,6 \times 117,81) (15) / (1,08 \times 10^7) = 8,64 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s3 oturması

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 25,10 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (25,10)/(1,885 \times 15) (0,6/15000) (1-0,3^2) (3,75) = 1,21 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us})/(p \cdot L) (D/E_s) (1-\mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 117,81 \text{ kN}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (117,81)/(1,885 \times 15) (0,6/9500) (1-0,2^2) (3,75) = 9,47 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,00165 + 0,06244 + 0,001068 = 0,06516 \text{ m} \approx 0,06244 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 551,15 \text{ kN}$$

Kazık-grubuna etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (551,15) \times 4 = 2204,60 \times 0,7 = 1543,22 \text{ kN}$$

22,5^m kum zemin ve 7,5^m kil zeminde yapılan 0,8^m çapındaki kazık temele uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Çizelge 8.68. 0,8m kazık çapına sahip kumlu-killi zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|------------------|----------------------|----------------------|
| $M_w=5$ | 120,22 ^{mm} | 124,81 ^{mm} |
| $M_w=6$ | 138,81 ^{mm} | 142,77 ^{mm} |
| $M_w=7$ | 154,44 ^{mm} | 158,97 ^{mm} |

Bu modelde 0,8m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi 0,8m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,8 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,8m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 3 kazıktan oluşan kazık grubu 0,8m kazıklardan oluşan $M_w=5$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 12,481 \text{ cm}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,8 + 3) / (0,8 + 4))^2 = 0,12481 \text{ m} \quad s = 0,07481 \text{ m}$$

0,8 m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,8m tekil kazığına $s=0,07481$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,07481 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,8) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,5027 \times 15000) = 0,07481$$

$$Q_{up} = 880,45 \text{ kN}$$

s1 oturması

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 880,45 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 33,47 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (880,45 + 0,6 \times 33,47) (15) / (1,92 \times 10^7) = 7,04 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 880,45 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 157,08 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (880,45 + 0,6 \times 157,08) (15) / (1,92 \times 10^7) = 7,61 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s3 oturması

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 33,47 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (33,47) / (2,513 \times 15) (0,8 / 15000) (1 - 0,3^2) (3,516) = 1,52 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) \cdot (D/E_s) \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws}$$

$$Q_{us} = 157,08 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (157,08) / (2,513 \times 15) \cdot (0,8 / 9500) \cdot (1 - 0,2^2) \cdot (3,516) = 1,18 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,001465 + 0,07481 + 0,001332 = 0,07761 \text{ m} \approx 0,07481 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 880,45 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (880,45) \times 4 = 3521,80 \times 0,7 = 2465,26 \text{ kN}$$

0,8m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 0,8m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi 0,8m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,8 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,8m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,8m kazıklardan oluşan M6 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 14,277 \text{ cm}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,8 + 3) / (0,8 + 4))^2 = 0,14277 \text{ m} \quad s = 0,08557 \text{ m}$$

0,8m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,8m tekil kazığına $s=0,08557$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,08557 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,8) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,5027 \times 15000) = 0,08557$$

$$Q_{up} = 1007,09 \text{ kN}$$

s_1 oturması

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 1007,09 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 33,47 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (1007,09 + 0,6 \times 33,47) (15) / (1,92 \times 10^7) = 8,02 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 1007,09 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 157,08 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (1007,09 + 0,6 \times 157,08) (15) / (1,92 \times 10^7) = 8,60 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s3 oturması

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 33,47 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (33,47) / (2,513 \times 15) (0,8/15000) (1 - 0,3^2) (3,516) = 1,52 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 157,08 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (157,08) / (2,513 \times 15) (0,8/9500) (1 - 0,2^2) (3,516) = 1,18 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,001662 + 0,08557 + 0,001332 = 0,08856 \text{ m} \approx 0,08557 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 1007,09 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkileyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (1007,09) \times 4 = 4028,36 \times 0,7 = 2819,85 \text{ kN}$$

0,8m kazığına uygulanan Mw=7 dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 0,8m kazığına uygulanan Mw=7 dinamik yüklemesi 0,8m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,8 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,8m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 0,8m kazıklardan oluşan Mw=7 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 15,897 \text{ cm}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 0,8 + 3) / (0,8 + 4))^2 = 0,15897 \text{ m} \quad s = 0,09528 \text{ m}$$

0,8m tekil kazığına etkileyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,8m tekil kazığına $s=0,09528 \text{ m}$ oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s2 oturması

$$s_2 = (Q_{up}.D) (1-\mu_s^2) I_{wp} / (A_p.E_s) = 0,09528 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,5027 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,8) (1-0,3^2) (0,88) / (0,5027 \times 15000) = 0,09528$$

$$Q_{up} = 1121,37 \text{ kN}$$

s1 oturması

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 1121,37 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 33,47 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (1121,37 + 0,6 \times 33,47) (15) / (1,92 \times 10^7) = 8,92 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 1121,37 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 157,08 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,92 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (1121,37 + 0,6 \times 157,08) (15) / (1,92 \times 10^7) = 9,50 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s3 oturması

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) \cdot (D / E_s) \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws}$$

$$Q_{us} = 33,47 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (33,47) / (2,513 \times 15) \cdot (0,8 / 15000) \cdot (1 - 0,3^2) \cdot (3,516) = 1,52 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) \cdot (D / E_s) \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws}$$

$$Q_{us} = 157,08 \text{ kN}$$

$$p = 2,513 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,516$$

$$s_3 = (157,08) / (2,513 \times 15) \cdot (0,8 / 9500) \cdot (1 - 0,2^2) \cdot (3,516) = 1,18 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,001842 + 0,09528 + 0,001332 = 0,09845 \text{ m} \approx 0,09528 \text{ m}$$

Bu durumda 0,8m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 1121,37 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (1121,37) \times 4 = 4485,48 \times 0,7 = 3139,84 \text{ kN}$$

22,5^m kum zemin ve 7,5^m kil zeminde yapılan 1,0^m çapındaki kazık temele uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi için geri hesap

Çizelge 8.69. 1,0m kazık çapına sahip kumlu-killi zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|------------------|----------------------|----------------------|
| Mw=5 | 237,05 ^{mm} | 242,59 ^{mm} |
| Mw=6 | 255,01 ^{mm} | 260,88 ^{mm} |
| Mw=7 | 271,24 ^{mm} | 276,69 ^{mm} |

Bu modelde 1,0m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi 1,0m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 1,0 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

1,0m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 1,0 m kazıklardan oluşan Mw=5 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 24,259 \text{ cm}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 1 + 3)/(1 + 4))^2 = 0,24259 \text{ m} \quad s = 0,12377 \text{ m}$$

1,0m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 1,0 m tekil kazığına $s=0,12377$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s2 oturması

$$s_2 = (Q_{up}.D) (1-\mu_s^2) I_{wp} / (A_p.E_s) = 0,12377 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 1) (1-0,3^2) (0,88) / (0,7854 \times 15000) = 0,12377$$

$$Q_{up} = 1820,84 \text{ kN}$$

s1 oturması

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 1820,84 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 41,84 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (1820,84 + 0,6 \times 41,84) (15) / (3 \times 10^7) = 9,23 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p.E_p)$$

$$Q_{up} = 1142,94 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 196,35 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (1142,94 + 0,6 \times 196,35) (15) / (3 \times 10^7) = 9,69 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 41,84 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (41,84) / (3,142 \times 15) (1,0 / 15000) (1 - 0,3^2) (3,356) = 1,81 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 196,35 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (196,35) / (3,142 \times 15) (1,0 / 9500) (1 - 0,2^2) (3,356) = 1,41 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,001892 + 0,12377 + 0,001591 = 0,12725 \text{ m} \approx 0,12377 \text{ m}$$

Bu durumda 1,0m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 1820,84 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (1820,84) \times 4 = 7283,36 \times 0,7 = 5098,35 \text{ kN}$$

1,0m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 1,0m kazığına uygulanan Mw=6 dinamik yüklemesi 1,0m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 1,0 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

1,0m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 1,0 m kazıklardan oluşan Mw=6 dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 260,88 \text{ cm}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s ((4 \times 1 + 3)/(1 + 4))^2 = 0,26088 \text{ m} \quad s = 0,13310 \text{ m}$$

1,0m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 1,0 m tekil kazığına $s=0,13310$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,13310 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$\mu s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 1) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,7854 \times 15000) = 0,13310 \quad Q_{up} = 1958,10 \text{ kN}$$

s1 oturması

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 1958,10 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 41,84 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (1958,10 + 0,6 \times 41,84) (15) / (3 \times 10^7) = 9,92 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 1958,10 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 196,35 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (1958,10 + 0,6 \times 196,35) (15) / (3 \times 10^7) = 1,04 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s3 oturması

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 41,84 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (41,84) / (3,142 \times 15) (1,0 / 15000) (1 - 0,3^2) (3,356) = 1,81 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 196,35 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (196,35)/(3,142 \times 15) (1,0/9500) (1-0,2^2) (3,356) = 1,41 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,002032 + 0,13310 + 0,001591 = 0,13672 \text{ m} \approx 0,13310 \text{ m}$$

Bu durumda 1,0m kazığına uygulanan $M_w=6$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 1958,10 \text{ kN}$$

Kazık-radye sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (1958,10) \times 4 = 7832,40 \times 0,7 = 5482,68 \text{ kN}$$

1,0m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde 1,0m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi 1,0m kazığının düşey deformasyonu 4 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 1,0 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

1,0m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 4 kazıktan oluşan kazık grubu 1,0 m kazıklardan oluşan $M_w=7$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_{g(e)} = s (4D+3/D+4)^2 = 27,669 \text{ cm}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$s = ?$$

$$s_{g(e)} = s \left(\frac{4x1+3}{1+4} \right)^2 = 0,27669 \text{ m} \quad s = 0,14117 \text{ m}$$

1,0m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 1,0 m tekil kazığına $s=0,14117$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturma s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu_s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,14117 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{wp} = \alpha_r = 0,88$$

$$A_p = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 1) (1 - 0,3^2) (0,88) / (0,7854 \times 15000) = 0,14117$$

$$Q_{up} = 2076,82 \text{ kN}$$

s1 oturması

Kum Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 2076,82 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 41,84 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (2076,82 + 0,6 \times 41,84) (15) / (3 \times 10^7) = 1,05 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_1 = (Q_{up} + \xi Q_{us}) (L) / (A_p \cdot E_p)$$

$$Q_{up} = 2076,81 \text{ kN}$$

$$Q_{us} = Q_s = 196,35 \text{ kN}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 3 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$s_1 = (1280,49 + 0,6 \times 196,35) (15) / (3 \times 10^7) = 1,10 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s₃ oturması

Kum Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 41,84 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,3$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (41,84) / (3,142 \times 15) (1,0 / 15000) (1 - 0,3^2) (3,356) = 1,81 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Kil Zemin

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 196,35 \text{ kN}$$

$$p = 3,142 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,356$$

$$s_3 = (196,35) / (3,142 \times 15) (1,0 / 9500) (1 - 0,2^2) (3,356) = 1,41 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,002150 + 0,14117 + 0,001591 = 0,14491 \text{ m} \approx 0,14117 \text{ m}$$

Bu durumda 1,0m kazığına uygulanan $M_w=7$ dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 2076,82 \text{ kN}$$

Kazık sistemine etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = (2076,82) \times 4 = 8307,28 \times 0,7 = 5815,10 \text{ kN}$$

Çizelge 8.70. Killi-kumlu zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar ve tekil kazığa düşen deformasyonlar

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyüklik (M_w) | Kazık grubu düşey deformasyon (mm) | Kazık grubundan tek kazığa düşen deformasyon (mm) |
|----------------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------------|---|
| 22,5m Kil Zemin + 7,5m Kum Zemin | 0,6 | $M_w=5$ | 41,73 | 30,27 |
| | | $M_w=6$ | 56,75 | 41,18 |
| | | $M_w=7$ | 68,21 | 49,50 |
| | 0,8 | $M_w=5$ | 61,86 | 37,08 |
| | | $M_w=6$ | 79,57 | 47,69 |
| | | $M_w=7$ | 96,31 | 57,73 |
| | 1,0 | $M_w=5$ | 94,73 | 48,83 |
| | | $M_w=6$ | 112,22 | 57,26 |
| | | $M_w=7$ | 128,62 | 65,62 |

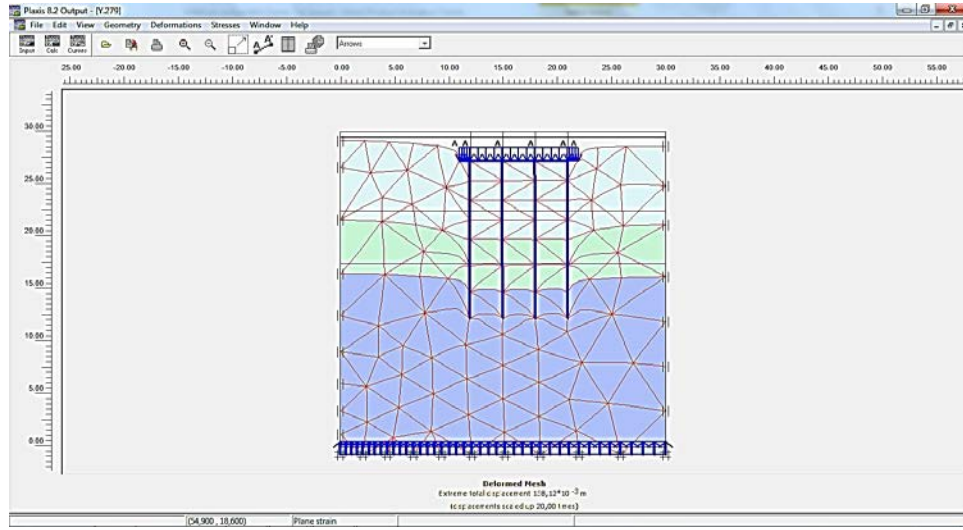
Çizelge 8.71. Kumlu-killi zemine oturan kazık temelde deprem etkisiyle meydana gelen oturmalar ve tekil kazığa düşen deformasyonlar

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyüklik (M_w) | Kazık grubu düşey deformasyon (mm) | Kazık grubundan tek kazığa düşen deformasyon (mm) |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------------|---|
| 22,5m Kum Zemin + 22,5m Kil Zemin | 0,6 | $M_w=5$ | 51,91 | 37,67 |
| | | $M_w=6$ | 69,78 | 50,64 |
| | | $M_w=7$ | 86,04 | 62,44 |
| | 0,8 | $M_w=5$ | 124,81 | 74,81 |
| | | $M_w=6$ | 142,77 | 85,57 |
| | | $M_w=7$ | 158,97 | 95,28 |
| | 1,0 | $M_w=5$ | 242,59 | 123,77 |
| | | $M_w=6$ | 260,88 | 133,10 |
| | | $M_w=7$ | 276,69 | 141,17 |

1m kazık çapına sahip 30,0 m kum zeminde yapılan kazık temel $M_w=5$, $M_w=6$ ve $M_w=7$ deprem büyüklüklerinde izin verilebilir oturma miktarının üzerinde bir deformasyon yapmıştır. Bu yüzden aşağıda özellikleri verilen zemine kazık temelin 2,5 metresinin saplandığı başka bir durumda analizler yapılmış olup deformasyon miktarları belirlenmiştir.

Çizelge 8.72. Sıkı kum zemin özellikleri

| Zemin Özellikleri | Sıkı Kum |
|----------------------------------|----------|
| γ_d (kN/m ³) | 17 |
| γ_s (kN/m ³) | 21 |
| ν | 0,3 |
| E (kN/m ²) | 20000 |
| k_x, k_y (m/gün) | 0,5 |
| ϕ (°) | 44 |
| c (kohezyon, kN/m ²) | 4 |



Şekil 8.20. 17,5m sıkı kum zemine , 5,0m gevşek kum zemine ve 7,5m kil zemine oturan 1^m çapa sahip kazık temelin $M_w=7$ deprem büyüklüğü altında yaptığı deformasyonun Plaxis programı ile hesabı.

Çizelge 8.73. 7,5m sıkı kum zemine , 5,0m gevşek kum zemine ve 7,5m kil zemine oturan 1^m çapa sahip kazık temelin deprem hesabı

| Deprem Büyüklüğü | SAP | Plaxis |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| Mw=5 | 100,03 ^{mm} | 104,42 ^{mm} |
| Mw=6 | 117,27 ^{mm} | 121,87 ^{mm} |
| Mw=7 | 133,93 ^{mm} | 138,12 ^{mm} |

Çizelge 8.74. 22.5m killi zemine oturan kazık temele etki eden eşdeğer yükler ve bu yüklerin oluşturduğu % artış

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyükük (Mw) | Kazık grubundan tek kazığa düşen deformasyon (mm) | Eşdeğer Statik Yük (kN) | Eşdeğer Statik Yük Artış (%) |
|-----------------------|-----------------|--------------|---|-------------------------|------------------------------|
| 22,5m Kil Zemin | 0,6 | Mw=5 | 30,27 | 449,29 | 83,4 |
| | | Mw=6 | 41,18 | 611,02 | 113,4 |
| | | Mw=7 | 49,50 | 734,47 | 136,3 |
| | 0,8 | Mw=5 | 37,08 | 733,57 | 94,2 |
| | | Mw=6 | 47,69 | 943,49 | 121,1 |
| | | Mw= 7 | 57,73 | 1142,12 | 146,6 |
| | 1,0 | Mw=5 | 48,83 | 1195,18 | 113,9 |
| | | Mw=6 | 57,26 | 1416,02 | 135,0 |
| | | Mw= 7 | 65,62 | 1622,77 | 154,7 |

Çizelge 8.75. 22.5m killi zemine oturan kazık temele etki eden eşdeğer yükler ve bu yüklerin oluşturduğu % artış

| Zemin Türü | Kazık çapı (D)m | Büyükük (Mw) | Kazık grubundan tek kazığa düşen deformasyon (mm) | Eşdeğer Statik Yük (kN) | Eşdeğer Statik Yük Artış (%) |
|-----------------------|-----------------|--------------|---|-------------------------|------------------------------|
| 22,5m Kum Zemin | 0,6 | Mw=5 | 37,67 | 931,03 | 91,8 |
| | | Mw=6 | 50,64 | 1251,57 | 123,4 |
| | | Mw=7 | 62,44 | 1543,22 | 152,2 |
| | 0,8 | Mw=5 | 74,81 | 2465,26 | 151,7 |
| | | Mw=6 | 85,57 | 2819,85 | 173,5 |
| | | Mw= 7 | 95,28 | 3139,84 | 193,2 |
| | 1,0 | Mw=5 | 123,77 | 5098,35 | 214,9 |
| | | Mw=6 | 133,10 | 5482,68 | 231,1 |
| | | Mw= 7 | 141,17 | 5815,10 | 245,1 |

Çizelge 8.76. Kil ve kum zeminlerde oturan kazık temellere etki eden statik yükler, eşdeğer statik yükler ve bu yüklerin oluşturduğu yüzde

| Zemin Türü | | 22,5m Kil Zemin | | 22,5m Kum Zemin | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------|---------|-----------------|---------|---------|---------|
| Kazık Çapı | | 0,6m | 0,8m | 1m | 0,6m | 0,8m | 1m |
| Tekil Kazığa Etkiyen Düşey Statik Yük (kN) | | 192,47 | 278,16 | 374,65 | 362,16 | 580,41 | 847,29 |
| Kazık Grubunda Etkiyen Düşey Statik Yük (kN) | | 538,92 | 778,85 | 1049,02 | 1014,05 | 1625,15 | 2372,41 |
| Mevcut Statik Yük Altında Tekil Kazığın Oturması (mm) | | 27,18 | 40,51 | 51,66 | 26,57 | 35,65 | 45,89 |
| Mw=5 | Kazık Grubu Deformasyonu (mm) | 41,73 | 61,86 | 94,73 | 51,91 | 83,69 | 152,28 |
| | Tekil Kazığa Düşen Deformasyon (mm) | 30,27 | 37,08 | 48,83 | 37,67 | 74,81 | 123,77 |
| | Eşdeğer Statik Yük (kN) | 449,29 | 733,57 | 1195,18 | 931,03 | 2465,26 | 5098,35 |
| | Eşdeğer Statik Yük Artış (%) | 83,4 | 94,2 | 113,9 | 91,8 | 151,7 | 214,9 |
| Mw=6 | Kazık Grubu Deformasyonu (mm) | 56,75 | 79,57 | 112,22 | 69,78 | 101,62 | 170,60 |
| | Tekil Kazığa Düşen Deformasyon (mm) | 41,18 | 47,69 | 57,26 | 50,64 | 85,57 | 133,10 |
| | Eşdeğer Statik Yük (kN) | 611,02 | 943,49 | 1416,02 | 1251,57 | 2819,85 | 5482,68 |
| | Eşdeğer Statik Yük Artış (%) | 113,4 | 121,1 | 135,0 | 123,4 | 173,5 | 231,1 |
| Mw=7 | Kazık Grubu Deformasyonu (mm) | 68,21 | 96,31 | 128,62 | 86,04 | 117,80 | 186,31 |
| | Tekil Kazığa Düşen Deformasyon (mm) | 49,50 | 57,73 | 65,62 | 62,44 | 95,28 | 141,17 |
| | Eşdeğer Statik Yük (kN) | 734,47 | 1142,12 | 1622,77 | 1543,22 | 3139,84 | 5815,10 |
| | Eşdeğer Statik Yük Artış (%) | 136,3 | 146,6 | 154,7 | 152,2 | 193,2 | 245,1 |

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kazık temellerin çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmaları, kullanım amaçları, avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

Sonraki bölümlerde düşey ve yatay statik yükler altında tekil ve grup kazıkların davranışlarından bahsedilmiş, ilgili yüklere göre taşıma kapasitesi ve deformasyon hesapları verilmiştir. Statik yükler altında kazıkların taşıma kapasitesini ve deformasyon miktarlarını hesaplamak için ampirik metod, Plaxis programı ve SAP2000 programı olmak üzere üç farklı metod yardımıyla çözüm yapılmıştır.

Uygulama kısmında ise suya doymuş 30m kalınlığındaki zemin kil zemin, kum zemin ve bu iki zeminin karışımıyla oluşan zemin türleri olmak üzere 4 farklı zemin içerisindeki, sabit boyutlarda bir radye plağa bağlı farklı çaplardaki yüzen kazık grupları, radye plağa gelen toplam statik düşey yük sabit kalacak şekilde statik ve dinamik yükler altında çözümlenmiştir. Zemin türleri olarak yumuşak kil ve gevşek kum alınarak en uygunsuz şartlar altında analiz yapılmıştır. Ampirik, Plaxis ve SAP2000 programları ile yapılan çözümler sonucunda kazık gruplarının dinamik yükler etkisinde yaptıkları deformasyonları ve kazık gruplarına bu deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik yükler belirlenmiş, elde edilen veriler detaylı olarak anlatılıp yorumlanmıştır.

Söz konusu çalışma sonucunda ulaşılan sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmıştır:

Gevşek kum zeminlerde ve suya doymuş kil zeminlerde yapılan sürtünme kazıklarında, kazıklar arası minimum mesafe ve taşıma kapasitesi koşulları sağlandığı takdirde, radye plağa gelen toplam yük ve kazık çapı değişmeksizin kazık adedinin artırılması, gerek statik gerek dinamik yüklemelerde düşey deformasyonları azaltırken stabiliteyi arttırmaktadır. Fakat bu stabilite artışının mali açıdan getireceği yük de hesaba katılarak tasarım yapılmalıdır.

Kazıklar arası minimum mesafe ve taşıma kapasitesi koşulları sağlandığı takdirde, kazık grubuna gelen toplam yük ve deprem etkisi sabit kalmak şartıyla kazık çapının artırılması, (beklenenin aksine) statik ve dinamik yüklemelerde sistemin yaptığı deformasyonları arttırarak stabiliteyi azaltmaktadır. Aynı şekilde

bu deformasyon artışı sebebiyle eşdeğer statik yük miktarında da artış görülmektedir. Bunun sebebi olarak kazıkların yüzen kazık olarak inşa edilmiş olmasıdır.

Ayrıca üzerine gelen statik yük ve uygulanan deprem yükü ile kazık grubunun stabilitesi bozulduğunda kil zeminde sürtünme ile gösterilen direnç kaybolmakta ve deformasyonlar beklenen değerlerin üzerine çıkmaktadır. Ancak kazık grubunun dengesi korunduğu durumda beklenildiği gibi kil zemin ile kazık arasındaki sürtünme pozitif etki yaratarak deformasyonların azalmasını sağlamıştır.

Deprem magnitüdü Richter ölçeğine göre logaritmik olarak hesaplandığı için, deprem magnitüdündeki 1 birimlik artış, sismogram genliğinde 10 kat, gerilme enerjisinde 30 kat artışa tekabül etmektedir. Bu da, deprem magnitüdündeki doğrusal artışa karşılık deformasyonların ve eşdeğer ilave yüklerin neden ani artışlar yaptığını açıklamaktadır.

Buna göre, suya doymuş kil zeminde yapılan 0,60m, 0,80m ve 1,00m çaplarındaki sürtünme kazıklarında 6,0 büyüklüğündeki depremler de dahil olmak üzere sistem üzerine gelen toplam statik zemin şartlarına göre %135 arttırılarak kullanılırsa bu büyüklükte deprem etkisi de göz önüne alınmış olur. Aletsel büyüklüğü 6,0'dan büyük 7.0'da dahil olmak üzere bu büyüklüğe kadar olan depremler de ise %155 arttırılarak deprem etkisi göz önüne alınabilir. Gevşek kum zeminlerde ise zeminin deprem etkisiyle stabilitenin kaybolması neticesinde daha büyük deformasyon oranları ortaya çıkmıştır. Buna göre, gevşek kum zeminde yapılan 0,60m, 0,80m ve 1,00m çapa sahip kazıklarda her bir çap ve deprem yükü için ayrı değerlendirme yapılması gerekmektedir. 0,60m çapa sahip aletsel büyüklüğü 5 olan depremden etkilenen kazık grubu için statik yükleri %90 arttırmak yeterli iken en olumsuz koşul olan 1,00m çapa sahip ve aletsel büyüklüğü 7.0 olan depreme maruz kalacak kazık grubu için ise sisteme gelen yük %245 arttırılarak deprem etkisi göz önüne alınmış olur.

KAYNAKLAR

- Abebe A., Dr. Smith I.G. “Pile Foundation Design: A Student Guide”
<http://www.sbe.napier.ac.uk/projects/piledesign/guide/index.htm>
- Atak, V. O., Aksu, O., Önder, M., Aydan, Ö., ve Toz, G. “Zeminlerde Sıvılaşmaya ve Faylanmaya Bağlı Yer Değiştirmelerin Yön ve Büyüklüklerinin Fotogrametrik Yöntemlerle Belirlenmesi”.
- Avcı, G., (2008) “Kazıklı temellere etki eden dinamik yüklerin statik yükler cinsinden uygulanabilirliğinin araştırılması” (Yüksek Lisans Tezi) Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Berilgen, M., (2004) Plaxis ile Hesaplamalı Geoteknik Kursu Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Birand, A.A., (2001) Kazıklı Temeller, Teknik Yayınevi, ODTÜ, Ankara
- Bobet A., (2001) Salgado R., Loukidis D., “Seismic Design of Deep Foundations” Joint Transportation Research Program Final Report, Purdue University India,
- Bowles, J.E., (1996) Foundation Analysis and Design, 5. Baskı, Mc Graw Hill Companies, Inc., USA
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., (1998) *Betonarme Yapılar*, Sema Matbaacılık, İstanbul
- Çalışkan, Ö. (2003) “Kazıklı Temellerin Analitik Yöntemlerle Statik ve Betonarme Çözümleri”(Yüksek Lisans Tezi) Anadolu Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Das, B.M., (1984) Principles of Foundation Engineering, Wadsworth, Inc. California, USA
- Das B.M., (1984) “Principles of Foundation Engineering” (Ed: Kingman R.) Wadsworth Inc, California, USA.
- Das, B. M. (1987) “Advanced Soil Mechanics”, Hemisphere Publishing Corporation, Washington / New York / London,.
- Das B. M. (1993) “Principles of Soil Dynamics”, PWS-KENT Publishing Company,
- Dash S. R., Jain S. K., (2005) “Guidelines for Seismic Design of Bruid Pipelines”, Indian Institute of Technology, Civil Engineering Department, Kanpur,

- Elçik, K., (1994) Kazıklı Temellerin Projelendirilmesi, Anadolu Üniversitesi, Lisans Tezi, Eskişehir
- Fellenius. B. H., (1984) “Negative skin Friction and Settlement of Piles”, Second International Seminar, Pile Foundations, Nanyang Technological Institute, Singapore.
- Gunaratne M. (2006) “Foundation Engineering Handbook” CRC, London, New York,
- Hanavdeloğulları,Z.,(1998). Kazıkların Davranışlarının Sonlu Elemanlar Metodu ile Belirlenmesi, İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Ishihara K. (2003) “Soil Behavior in Earthquake Geotechnics”, Clarendon Pres, Oxford, New York.
- Kaynia A. M., Kausel E., (1982) “Dynamic behavior of pile groups”. *Proceedings of the 2nd International Conference on Numerical Methods in Offshore Piling*, University of Texas, Austin, Texas, pp. 509–532.
- Liu, C., Evett, J.B., (1996) *Soils and Foundations*, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey *Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 15, pp. 233–244.
- Mollamahmutoglu, M. ve Kayabalı, K., (2005) Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar, 2. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara
- Naggar M. H. El ve Novak M., “Nonlinear analysis for dynamic lateral pile response soil”
- Nogami T. ve Konagai K., (1986) “Time domain axial response of dynamically loaded single piles”. *Journal of Engineering Mechanics, ASCE*, Vol. 112, No. 11, pp. 1241–1252.
- Odbay, O.,(1995) Kazıklı Temeller ve Düşey Yükler Altında Kazıklı Temel Sistemlerinin Hesap ve Analiz Yöntemlerinin Rasyonelleştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Özaydın K., “Zemin Dinamiği”, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi
- Prakash S. ve Sharma H. D.,(1989) “Pile Foundations In Engineering Practice”, Wilry-Interscience Publication, New York / Chichester Brisbane / Toronto/ Singapore.
- Potts, D.M.C. ve Zdravkovic, L., (1999) *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering*, Thomas Telford, London

- Seed, H. B., ve Idriss, I. M. (1971) Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*,97(9), 1249-1273.
- Sen R., Davis T. G. ve Banerjee P. K., (1985) “Dynamic analysis of piles and pile groups embedded in homogenous soils,”. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.13, No.1, pp. 53–65.
- Teng, W. C., (1982) *Foundation Design*, Prentice-Hall, New Jersey
- Toğrol, E. ve Tan, O., (2003) *Kazıklı Temeller*, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Tomlinson, M.J.,(1994) *Pile Design and Construction Practice*, 4. Baskı, Chapman US Army Corps of Engineers, (1991) “Design of Pile Foundations”, Washington DC
- VESIC, A.S., (1975). Bearing capacity of shallow foundations. Chapter 3 of *Foundation Engineering Handbook* , Hans F. Winterkorn and Hsai Yang Fang (Eds) Van Nostrand Reinhold.
- Wilson D. W., (1998) “Soil-Pile-Superstructure Interaction in Liquefying Sand and Soft Clay”, Department of Civil&Environmental Engineering, University of California, Davis
- Youd, T. L., ve Idriss, I. M. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(4), 297-313.