

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞEY VE/VEYA EĞİK KAZIKLI İSKELE YAPILARINDA ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ

ŞENOL KORKMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. BİLGE DORAN

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞEY VE/VEYA EĞİK KAZIKLI İSKELE YAPILARINDA ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ

Şenol KORKMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 19.11.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Bilge DORAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

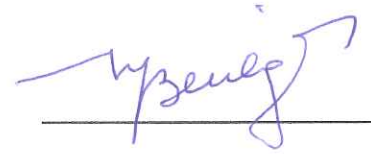
Doç. Dr. Bilge DORAN
Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Cengiz KARAKOÇ
Boğaziçi Üniversitesi



Doç. Dr. Mehmet BERİLGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi



ÖNSÖZ

İskele ve rıhtımlar, önemli mühendislik ve kıyı yapılarından olmakla beraber kazık destekli iskele ve rıhtımların zemin ile birlikte mümkün olduğunca uyumlu çalışması için gerek geoteknik gerekse yapısal açıdan tasarım ve şekil değiştirmeye göre değerlendirme kriterlerini yerine getirmesiyle mümkün hale gelir.

Yapı üzerine gelen yüklerin zemine aktarılması ve zemin tepki kuvvetlerinin yapı elemanları üzerinde oluşturduğu şekil değiştirmelerin modellenmesi için, kazıklı temeller ve zemin arasındaki ilişkiyi dikkatli bir şekilde incelenmesi gerekir.

Bu çalışmada bu gereklilik yapı ve zemin arasındaki ilişkiyi doğrusal olmayan (nonlineer) yaylar kullanılarak ve düşey ve eğik kazıklı iskele yapılarının DLH 2008 esaslarına göre yatay yük taşıma kapasitelerinin değerlendirilmesi ve farklı zeminlerde her iki sistem kendi aralarında karşılaştırılması yapılmıştır.

Danışmanım Doç.Dr. Bilge DORAN' a ve kıyı mühendisliği alanında yardımını esirgemeyen Prof.Dr. Yalçın YÜKSEL' e ayrıca projelerin temini için İnş. Yük.Müh. Caner ÇAKIR' a teşekkürlerimi sunarım. Gözümü açtığım ilk andan beri yanımda olan annem Nuran KÜÇÜKTERZİ' ye beni ben yapmaktaki karşılıksız yardımları için teşekkür ederim.

Mayıs, 2012

Şenol KORKMAZ

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|-------|
| SİMGE LİSTESİ..... | viii |
| KISALTMA LİSTESİ | x |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | xii |
| ÇİZELGE LİSTESİ..... | xiv |
| ÖZET..... | xv |
| ABSTRACT..... | xvii |
| BÖLÜM 1 | |
| GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Literatür Özeti | 1 |
| 1.2 Tezin Amacı | 4 |
| 1.3 Hipotez..... | 5 |
| BÖLÜM 2 | |
| KAZIKLI YANAŞMA YAPILARI..... | 6 |
| 2.1 Giriş..... | 6 |
| 2.2 Kazıklı Yanaşma Yapılarının Tipleri | 6 |
| 2.2.1 Rıhtımlar | 6 |
| 2.2.1.1 Düşük Seviyeli Platformlar | 7 |
| 2.2.1.2 Yüksek Seviyeli Platformlar..... | 7 |
| 2.2.2 İskeleler..... | 8 |
| BÖLÜM 3 | |
| ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ | 12 |
| 3.1 Giriş..... | 12 |
| 3.2 Derin temeller | 12 |
| 3.3 Kazıklı Temeller | 15 |
| 3.3.1 Kazıklı Temellerin Sınıflandırılması | 15 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.3.2 | Kazıklı Temel Çeşitleri | 16 |
| 3.3.2.1 | Temel Yüğü Zemine Aktarma Şekillerine Göre Kazıklar | 16 |
| 3.3.2.2 | Kazık Temellerin Yerleştirme Şekillerine Ve İmalat Metotlarına Göre Kazıklar | 16 |
| 3.3.2.3 | Kazık Temellerin Kullanım Amaçlarına Göre Kazıklar | 18 |
| 3.3.2.4 | Kazık Temellerin Yapıldıkları Malzemelerin Çeşitlerine Göre Kazıklar | 20 |
| 3.3.2.5 | Kazık Temellerin Etrafını Çevreleyen Zemine Yaptıkları Etkiye Göre Kazıklar | 23 |
| 3.3.2.6 | Kazık Temellerin Karşılacakları Yüklere Göre Kazıklar | 23 |
| 3.3.3 | Kazık Tasarım Kriterleri | 25 |
| 3.4 | Kazıkların Yatay Yük Altında Davranışının Analiz Yöntemleri | 26 |
| 3.4.1 | Tarihsel Gelişim | 27 |
| 3.4.2 | Brinch Hansen (1961) Yöntemi | 30 |
| 3.4.3 | Broms Yöntemi | 31 |
| 3.4.4 | Poulos Yöntemi | 33 |
| 3.4.5 | Yatak Katsayısı Yaklaşımı (Reese ve Matlock, 1956) | 35 |
| 3.4.6 | Elastisite Modülü ve Yay Rijitliği | 41 |
| 3.4.7 | Yatak Katsayısı Yöntemi (Winkler Metoduyla p-y Analizine Geçiş) | 43 |
| 3.4.8 | p-y Yöntemi | 44 |
| 3.5 | p-y Eğrilerinin Çıkarılması | 47 |
| 3.5.1 | Kohezyonsuz Zeminlerde p-y Eğrilerinin Çıkarılması | 48 |
| 3.5.2 | Kohezyonlu Zeminlerde p-y Eğrilerinin Çıkarılması | 50 |
| 3.6 | CLM Yöntemi | 52 |
| 3.7 | Yüzey Sürtünmesiyle Oluşan Düşey Şekil Değişikliklerinin t-z Eğrilerinin Çıkarılması | 55 |
| 3.8 | Uç Sürtünmesiyle Oluşan Düşey Şekil Değişikliklerinin Q-z Eğrilerinin Çıkarılması | 56 |

BÖLÜM 4

| | |
|---|----|
| YANAŞMA YAPILARININ YATAY YÜK TAŞIMA KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ | 57 |
| 4.1 Giriş | 57 |
| 4.2 Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri Kavramları | 58 |
| 4.3 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İçin İşlem Sırası | 58 |
| 4.4 Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi | 60 |
| 4.4.1 Plastik Mafsallı Hipotezi | 60 |
| 4.4.2 Yüğü Artımı Yöntemi | 64 |
| 4.4.3 Statik İtme Eğrisinin Belirlenmesi | 65 |

BÖLÜM 5

| | |
|--|----|
| MEVCUT DÜŞEY ve EĞİK KAZIKLI İSKELE YAPILARINDA ZEMİN-KAZIK ETKİLEŞİMİ | 67 |
| 5.1 Giriş | 67 |
| 5.2 Yapısal Bilgiler | 67 |
| 5.3 Malzeme Özellikleri | 69 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.4 | Zemin Özellikleri | 70 |
| 5.4.1 | Kohezyonsuz Zeminlerde p-y Eğrilerinin Çıkarılması | 70 |
| 5.4.2 | Kohezyonlu Zeminlerde p-y Eğrilerinin Çıkarılması | 73 |
| 5.4.3 | Kohezyonsuz Zeminlerde t-z Eğrilerinin Çıkarılması | 75 |
| 5.4.4 | Kohezyonlu Zeminlerde t-z Eğrilerinin Çıkarılması | 77 |
| 5.4.5 | Kohezyonsuz Zeminlerde Q-z Eğrilerinin Çıkarılması | 78 |
| 5.4.6 | Kohezyonlu Zeminlerde Q-z Eğrilerinin Çıkarılması | 81 |
| 5.5 | Zemin Profilleri | 82 |
| 5.5.1 | Bursa Roda Lokasyonu..... | 84 |
| 5.5.2 | İstanbul Ağva Lokasyonu | 87 |
| 5.5.3 | Kocaeli Yeniköy Lokasyonu | 90 |
| 5.6 | Yapıya Etki Eden Yükler..... | 93 |
| 5.7 | İtme Analizi İçin Yapılan Yüklemelemler | 93 |
| 5.7.1 | Başlangıç Yüklemesi | 93 |
| 5.7.2 | X-X Doğruitusu Yüklemesi..... | 94 |
| 5.7.3 | Y-Y Doğruitusu Yüklemesi..... | 95 |
| 5.8 | İtme Analizi Sonuçları | 95 |
| 5.8.1 | Düşey Kazıklı İskele Yapısı..... | 95 |
| 5.8.2 | Eğik Kazıklı İskele Yapısı | 97 |
| 5.9 | Değerlendirmeler | 98 |
| 5.9.1 | Düşey Kazıklı İskele Yapısı..... | 98 |
| 5.9.2 | Eğik Kazıklı İskele Yapısı | 101 |

BÖLÜM 6

| | |
|------------------------|-----|
| SONUÇ ve ÖNERİLER..... | 105 |
| KAYNAKLAR | 108 |
| ÖZGEÇMİŞ | 112 |

SİMGE LİSTESİ

| | |
|----------------|---|
| A_1, B_1 | Yükün statik veya çevrimli olması durumuna göre seçilen katsayı |
| A_p | Kazık kesit alanı |
| B_k | Kazık genişliği |
| B | Gemi bağlama yükü (Baba yükü) |
| c | Kohezyon |
| C_u | Drenajsız kayma mukavemeti |
| D | Kazık çapı |
| D_f | Zemin tabakasındaki toplam kazık boyu |
| e | Uzunluk birimi |
| E_I | Rijitliği |
| E_p | Kazık elastisite modülü |
| E_{py} | Kazık elastisite modülü değişimi |
| E_s | Zemin elastisite modülü |
| $E_p I_p$ | Kazık rijitliği |
| E_s | Zemin elastisite modülü |
| $E_{s,max}$ | Zemin elastisite modülünün maksimum değeri |
| f | Kazık çevresindeki zeminin sürtünme gücü |
| f_{ck} | Beton karakteristik basınç dayanımı |
| f_{yk} | Donatı çeliği akma dayanımı |
| $I_{dairesel}$ | Dolu dairesel kesit atalet momenti |
| I_p | Kazık atalet momenti |
| I_p | Plastik mafsalsal boyu |
| J | Ampirik sabit |
| k_h | Yay rijitliği (sabit) |
| k_h' | Derinlikle sabit bir yatak katsayısı |
| k_{oc} | Aşırı konsolide killer için yay rijitliği |
| k_{py} | Yatak katsayısı değişim sabiti |
| k_x | Derinliğe göre yay rijitliği |
| K | Yatay toprak basınç katsayısı |
| K_a | Aktif toprak basınç katsayısı |
| K_0 | Sükunetteki toprak basınç katsayısı |
| K_1 | Şekil faktörü |

| | |
|-----------|--|
| K_c | İçsel sürtünme açısı ve kazık boyuna bağlı katsayı |
| K_p | Rankine pasif itki katsayısı |
| K_q | İçsel sürtünme açısı ve kazık boyuna bağlı katsayı |
| K_R | Kazık rijitlik faktörü |
| L | Kazık boyu |
| M | Moment |
| M_c | Karakteristik moment |
| M_x | Moment değişimi |
| M_g | Kazık başına etkiyen yatay yükten dolayı oluşan moment |
| M_p | Yükün yaratacağı yer değiştirmeyi verecek moment |
| M_P | Plastikleşen kesitteki moment değeri |
| n | Yatak katsayısı yöntemi sabiti |
| n_h | Yatak katsayısı sabiti |
| N_c | Taşıma gücü katsayısı |
| N_q | Taşıma gücü katsayısı |
| N_y | Taşıma gücü katsayısı |
| p | Kazığın birim uzunluğu için yatay zemin tepkisi, direnci, tepki kuvveti |
| p_B | $3y_c$ değerine karşılık gelen zemin direnci |
| p_{cd} | x_r kritik derinliğine kadar zemin tepki değeri |
| p_{cr} | x_r kritik derinliğinden sonra zemin tepki değeri |
| p_m | Kazığın altmışta biri kadar kazıkta şekil değiştirme yapan yatay zemin tepki kuvveti |
| p_u | Nihai direnç |
| p_x | Zemin tepki kuvveti değişimi |
| P | Yatay yük |
| P_c | Karakteristik yük |
| P_i | i . 'nci kata etkiyen yatay kuvvet |
| P_m | Momentin doğuracağı yer değiştirmeyi yaratacak yük |
| P_L | Yük parametresi limit yük (birinci mertebe limit yük) |
| P_u | Nihai yük |
| P_{xu} | Kazık çevresinde derinlikle oluşan yük dağılımı |
| R | Zemin rijitlik faktörü |
| R_I | Atalet momenti oranı |
| Q | Uç direnç |
| Q_e | Kazık taşıdığı aksenal yük |
| Q_g | Kazık başına etkiyen yatay yük |
| Q_p | Maksimum uç direnç |
| S_a | İtme analizinin ait elastik spektral ivme |
| S_d | Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme |
| S_x | Şekil değiştirme değişimi |
| T_z | Granüler zeminlerde fiktif rijitlik boyu |
| t | Sürtünme gerilmesi |
| t_{max} | Maksimum sürtünme direnci |
| v_s | Poisson oranı |
| v_x | Kesme kuvveti değişimi |
| w | Tekil düşey yük |
| x | Zemin yüzeyinden derinlik |

| | |
|--------------------|--|
| x_1 | Tekrarlı yüklemelerde derinlik |
| x_r | Kritik derinlik |
| X | Eğrilik |
| X_p | Plastikleşen kesittin eğriliği |
| $X_{p,max}$ | Plastikleşen kesittin maksimum eğriliği |
| X_R | Yatay taşıma gücünün azaldığı derinlik |
| Y_A | Yatay yüklerden dolayı oluşan şekil değiştirmeler |
| Y_B | Momentten dolayı oluşan şekil değiştirmeler |
| Y_c | P_u nihai zemin mukavemetine karşılık gelen şekil değiştirme değeri |
| Y_k | Kazığın akma yer değiştirme değeri |
| Y_m | Kazığın altmışta biri kadar kazıktaki şekil değiştirme değeri |
| Y_u | Maksimum yatay yer değiştirme değeri |
| Y | Gerçek yatay yer değiştirme |
| Y_{tm} | Tekil moment etkimesi halindeki yer değiştirme değeri |
| Y_{tp} | Tekil yük etkimesi halinde yer değiştirme değeri |
| z | Düşey yer değiştirme |
| Z | Derinlik katsayısı |
| Z_{max} | Maksimum derinlik katsayısı |
| α | Boyutsuz faktör |
| β | Ampirik katsayı |
| ε_c | Drenajsız üç eksenli basınç deneyinden elde edilen ve maksimum gerilmeye oluşan şekil değiştirme |
| σ_a | Yapı çeliği akma dayanımı |
| σ_0 | Efektif gerilme |
| σ_{vx}' | Düşey efektif gerilme |
| Φ | İçsel sürtünme açısı |
| γ | Zemin birim hacim ağırlığı |
| δ | Zemin ve kazık arasındaki sürtünme açısı |
| δ_p | Poulos yönteminde eleman aralığı |
| φ_p | Plastik mafsalın dönmesi |
| ε_{cu} | Betonun birim boy değişimi |
| ε_s | Çeliğin birim boy değişimi |

KISALTMA LİSTESİ

| | |
|----------|---|
| DLH2008 | Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği |
| SAP2000 | Integrated Software for Structural Analysis and Design |
| TDY 2007 | Türk Deprem Yönetmeliği, 2007 |
| API | American Petroleum Institute |
| ASCE | American Society of Civil Engineers |

ŞEKİL LİSTESİ

| | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 2. 1 Düşük seviyeli platformlar | 7 |
| Şekil 2. 2 Yüksek seviyeli platformlar | 8 |
| Şekil 2. 3 İskele tiplerinin üstten görünüşü | 9 |
| Şekil 2. 4 Düşey kazıklı iskele | 10 |
| Şekil 2. 5 Eğik kazıklı iskele | 10 |
| Şekil 2. 6 Düşey ve eğik kazık kombinasyonlu iskele..... | 11 |
| Şekil 3. 1 Kazıklı temeller örnekleri | 13 |
| Şekil 3. 2 Kazıklı temellerin kullanım yerleri | 13 |
| Şekil 3. 3 Uç kazığı | 19 |
| Şekil 3. 4 Sürtünme kazığı | 20 |
| Şekil 3. 5 Yatay yüklere karşı inşa edilen kazıklar | 24 |
| Şekil 3. 6 Çekme kazığı..... | 25 |
| Şekil 3. 7 Eğik kazıklar | 25 |
| Şekil 3. 8 Kazık taşıma gücü bileşenleri | 26 |
| Şekil 3. 9 Brinch hansen yöntemi | 30 |
| Şekil 3. 10 K_c ve K_q katsayıları | 30 |
| Şekil 3. 11 Yatay yüklü kısa kazıkların davranışı..... | 32 |
| Şekil 3. 12 Yatay yüklü orta ve uzun kazıkların davranışı | 32 |
| Şekil 3. 13 Gerilme etkisi | 35 |
| Şekil 3. 14 Yatak katsayısı yaklaşımında giriş..... | 37 |
| Şekil 3. 15 Yatak katsayısı yaklaşımında kazık | 38 |
| Şekil 3. 16 Q_g ve M_g yükleri altındaki kazığın davranışları | 38 |
| Şekil 3. 17 Yay rijitliğinin derinlikle değişimi..... | 42 |
| Şekil 3. 18 Tipik bir p-y eğrisi ve yatay katsayısının değişimi..... | 42 |
| Şekil 3. 19 Elastisite modülü ve birim şekil değiştirmenin değişimi | 42 |
| Şekil 3. 20 Winkler zemin modeli..... | 43 |
| Şekil 3. 21 Yatak katsayısı yöntemine göre kazığa zemin tepkisi..... | 43 |
| Şekil 3. 22 Zemin tepkisi - yer değiştirmesi (p-y) grafiği..... | 44 |
| Şekil 3. 23 p-y eğrileriyle kazık şekil değiştirmesinin tanımlanması | 45 |
| Şekil 3. 24 Yatay yüklenen bir kazıkta zemin davranışının yaylarla tanımlanması | 47 |
| Şekil 3. 25 Doğrusal elastik-plastik davranış..... | 48 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 3. 26 | Kohezyonsuz zeminde tepki kuvveti dağılışı | 48 |
| Şekil 3. 27 | Kohezyonsuz zeminde yatay yüklü bir kazık | 49 |
| Şekil 3. 28 | Kohezyonsuz zeminler için p-y grafiği | 51 |
| Şekil 3. 29 | CLM yöntemiyle yatay yük nedeniyle oluşan yer değiştirmeler | 53 |
| Şekil 3. 30 | CLM yöntemiyle moment nedeniyle oluşan yer değiştirmeler | 54 |
| Şekil 3. 31 | CLM yönteminde doğrusal olmayan yük ve moment süperpozisyon kuralı adımları | 54 |
| Şekil 3. 32 | t-z arasındaki ilişki | 55 |
| Şekil 3. 33 | Q-z arasındaki ilişki | 56 |
| Şekil 4. 1 | Kapasite eğrisi | 60 |
| Şekil 4. 2 | Eğilme momenti- eğrilik diyagramı | 61 |
| Şekil 4. 3 | Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler | 62 |
| Şekil 4. 4 | İdealleştirilmiş bünye bağıntısı..... | 63 |
| Şekil 4. 5 | Plastik mafsal hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan yükler altındaki davranışı | 64 |
| Şekil 4. 6 | Göçme ve bölgesel mekanizma durumları | 65 |
| Şekil 4. 7 | Statik itme eğrisi..... | 66 |
| Şekil 4. 8 | Yükleme-yer değiştirme..... | 66 |
| Şekil 5. 1 | Düşey kazıklı iskele | 68 |
| Şekil 5. 2 | Eğik kazıklı iskele | 68 |
| Şekil 5. 3 | İskele planı | 68 |
| Şekil 5. 4 | C40 beton sınıfı için sargılı beton modeli | 69 |
| Şekil 5. 5 | S420 donatı çeliği sınıfı için çelik modeli | 70 |
| Şekil 5. 6 | P_{cr} ve P_{cd} değerlerinin değişimi..... | 71 |
| Şekil 5. 7 | Kohezyonsuz zeminler için p-y grafiği | 73 |
| Şekil 5. 8 | Kohezyonlu zeminler için veri grafiği..... | 74 |
| Şekil 5. 9 | Kohezyonlu zeminler için p-y grafiği..... | 75 |
| Şekil 5. 10 | Kohezyonsuz zeminler için t-z grafiği | 76 |
| Şekil 5. 11 | Kohezyonlu zeminler için API veri grafiği..... | 78 |
| Şekil 5. 12 | Kohezyonlu zeminler için t-z grafiği..... | 78 |
| Şekil 5. 13 | Kohezyonsuz zeminler için veri grafiği | 80 |
| Şekil 5. 14 | Kohezyonsuz zeminler için Q-z grafiği | 81 |
| Şekil 5. 15 | Kohezyonlu zeminler için veri grafiği..... | 82 |
| Şekil 5. 16 | Kohezyonlu zeminler için Q-z grafiği | 82 |
| Şekil 5. 17 | Zemin modellemesindeki yay mesafeleri | 83 |
| Şekil 5. 18 | Bursa Roda lokasyonu zemin profili | 84 |
| Şekil 5. 19 | Bursa Roda lokasyonu zemin parametreleri..... | 85 |
| Şekil 5. 20 | Bursa Roda lokasyonu p-y eğrileri | 85 |
| Şekil 5. 21 | Bursa Roda Lokasyonu p-y yay rijitlikleri | 85 |
| Şekil 5. 22 | Bursa Roda lokasyonu yay p-y akma dayanımı | 86 |
| Şekil 5. 23 | Bursa Roda lokasyonu p-y yay rijitliğinin kazık kesitleri boyunca değişimi..... | 86 |
| Şekil 5. 24 | İstanbul Ağva lokasyonu zemin profili | 87 |
| Şekil 5. 25 | İstanbul Ağva lokasyonu zemin parametreleri | 88 |
| Şekil 5. 26 | İstanbul Ağva lokasyonu p-y eğrileri | 88 |
| Şekil 5. 27 | İstanbul Ağva lokasyonu p-y yay rijitlikleri | 89 |
| Şekil 5. 28 | İstanbul Ağva lokasyonu yay p-y akma dayanımı..... | 89 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 5. 29 İstanbul Ağva lokasyonu p-y yay rijitliğinin kazık kesitleri boyunca değişimi..... | 89 |
| Şekil 5. 30 Kocaeli Yeniköy lokasyonu zemin profili..... | 91 |
| Şekil 5. 31 Kocaeli Yeniköy lokasyonu zemin parametreleri | 91 |
| Şekil 5. 32 Kocaeli Yeniköy lokasyonu p-y eğrileri | 91 |
| Şekil 5. 33 Kocaeli Yeniköy lokasyonu p-y yay rijitlikleri | 92 |
| Şekil 5. 34 Kocaeli Yeniköy lokasyonu yay p-y akma dayanımı | 92 |
| Şekil 5. 35 Kocaeli Yeniköy lokasyonu p-y yay rijitliğinin kazık kesitleri boyunca değişimi..... | 92 |
| Şekil 5. 36 Lokasyonların p-y yay rijitlikleri..... | 94 |
| Şekil 5. 37 Lokasyonların yay p-y akma dayanımı..... | 94 |
| Şekil 5. 38 Düşey doğrultudaki yüklemeleri içeren analiz durumunun SAP2000, ver.14.2.2' de tanımlanması | 95 |
| Şekil 5. 39 X-X doğrultusundaki yüklemeyi içeren analiz durumunun SAP2000, ver.14.2.2' de tanımlanması | 96 |
| Şekil 5. 40 Y-Y Doğrultusundaki yüklemeyi içeren analiz durumunun SAP2000, ver.14.2.2' de tanımlanması | 96 |
| Şekil 5. 41 Tüm lokasyonların X-X doğrultusu itme eğrileri..... | 97 |
| Şekil 5. 42 Tüm lokasyonların Y-Y doğrultusu itme eğrileri..... | 97 |
| Şekil 5. 43 Ağva lokasyonu X-X Doğrultusundaki Şekil Değiştirmeye Uğramış Düşey Kazıklı İskele | 98 |
| Şekil 5. 44 Ağva lokasyonu Y-Y doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış düşey kazıklı iskele..... | 98 |
| Şekil 5. 45 Roda lokasyonu X-X doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış düşey kazıklı iskele..... | 99 |
| Şekil 5. 46 Roda lokasyonu Y-Y doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış düşey kazıklı iskele..... | 99 |
| Şekil 5. 47 Yeniköy lokasyonu X-X doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış düşey kazıklı iskele..... | 100 |
| Şekil 5. 48 Yeniköy lokasyonu Y-Y doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış düşey kazıklı iskele..... | 100 |
| Şekil 5. 49 Ağva lokasyonu X-X doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış eğik kazıklı iskele..... | 101 |
| Şekil 5. 50 Ağva lokasyonu Y-Y doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış eğik kazıklı iskele..... | 102 |
| Şekil 5. 51 Roda lokasyonu X-X doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış eğik kazıklı iskele..... | 102 |
| Şekil 5. 52 Roda lokasyonu Y-Y doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış eğik kazıklı iskele..... | 102 |
| Şekil 5. 53 Yeniköy lokasyonu X-X doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış eğik kazıklı iskele..... | 103 |
| Şekil 5. 54 Yeniköy lokasyonu Y-Y doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış eğik kazıklı iskele..... | 103 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | Sayfa |
|---------------|--|
| Çizelge 3. 1 | Farklı sıklıktaki granüler zeminler için n_h değerleri 37 |
| Çizelge 3. 2 | Kohezyonlu zeminler için farklı araştırmacılar tarafından önerilen n_h değerleri 37 |
| Çizelge 5. 1 | A, B katsayılarının seçilen derinliğe değişim çizelgesi..... 72 |
| Çizelge 5. 2 | Yumuşak kil için veri çizelgesi 73 |
| Çizelge 5. 3 | Yumuşak kil çevrimsel yükleme veri çizelgesi 74 |
| Çizelge 5. 4 | API 2000 veri çizelgesi 75 |
| Çizelge 5. 5 | Kumlu zeminler için veri çizelgesi 76 |
| Çizelge 5. 6 | Kumlu zeminler için t-z çizelgesi 76 |
| Çizelge 5. 7 | Kohezyonlu zeminler için API veri çizelgesi 77 |
| Çizelge 5. 8 | Taşıma gücü faktörleri..... 79 |
| Çizelge 5. 9 | Kohezyonsuz zeminler için N_q veri çizelgesi 79 |
| Çizelge 5. 10 | Kohezyonsuz zeminler için veri çizelgesi..... 80 |
| Çizelge 5. 11 | Kohezyonlu zeminler için veri çizelgesi 81 |
| Çizelge 5. 12 | Düşey kazıklı iskele yapısı maksimum yatay yer değiştirme değerleri ve taban kesme kuvvetleri 96 |
| Çizelge 5. 13 | Eğik kazıklı iskele yapısı maksimum yatay yer değiştirme değerleri ve taban kesme kuvvetleri 97 |

DÜŞEY VE/VEYA EĞİK KAZIKLI İSKELE YAPILARINDA ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ

Şenol KORKMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bilge DORAN

Kazıklı rıhtımlar, kıyıya paralel düzenlenen ve tek taraftan gemi yanaşmasına olanak sağlayan, kazıklı iskeleler ise kıyıya dik olarak düzenlenen ve iki veya daha çok taraftan gemi yanaşmasına olanak sağlayan, esas taşıyıcıları kirişli-kirişsiz tabliyeler ile eğik-düşey doğrultuda düzenlenen kazıklardan oluşan yanaşma yapılarıdır. Her iki tip kıyı yapısında da da, yatay yükler ile beraber zemin-kazık etkileşimi nedeniyle önemli oranda hasar meydana gelebilmektedir. Meydana gelecek hasarların dağılımını ve hasar oranlarını belirleyebilmek, yapı davranışını izleyebilmek için oluşturulacak numerik modelde, önemli oranda plastik şekil değiştirmeye maruz kazık kesimlerinde zemin-kazık etkileşimi doğrusal olmayan yaylar ile temsil edilebilir.

Liman ve kıyı yapılarında gemi çarpması, dalga yükleri, gemi bağlama yükleri ve sismik aktiviteler yanaşma yapıları için tasarım ve değerlendirme probleminde dikkate alınması gerekli olan yatay yüklere birer örnektir. Bu tür yapılarda tasarım kriterinin son yıllarda, kazıkların yük taşıma kapasitelerine göre değil de maksimum şekil değiştirme kapasitelerine göre belirlenmesi önerilmektedir. Kazıklarda şekil değiştirmeyi tetikleyen daha çok sismik aktiviteler ile zemin koşulları olacağından, yatay yük taşıma kapasitelerinin anılan etkileri içerecek şekilde hesaplanmasını gerektirmektedir.

DLH 2008' de iskele ve rıhtım yapılarının tasarım ve değerlendirmesinde zemin-yapı etkileşimini dikkate alabilmek açısından numerik modelde bu etkinin doğrusal olmayan yaylar ile temsili şart koşulmaktadır. Bu durumda, yapı ile zemin arasındaki doğrusal olmayan etkileşim dikkate alınmış olacaktır.

Bu çalışmada, düşey ve eğik kazıklı iskelelerin DLH 2008 esaslarına göre doğrusal olmayan statik analizleri (itme analizi) yapılmış ve farklı zemin koşulları için yatay yük taşıma kapasiteleri ile maksimum yer değiştirmeler ayrı ayrı incelenmiştir. Bu bağlamda, sağlam zemine oturan düşey kazıklı iskelelerde yatay yer değiştirmelerin yüksek mertebelerde çıktığı ancak kazık kesitlerinin daha az zorlandığı, eğik kazıklı iskelelerde ise her ne kadar yatay yer değiştirmeler düşük mertebelerde olsa bile gerilmeler açısından kazık kesitlerin aşırı zorlandığı ve mekanizma durumuna daha erken ulaştığı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kazıklı iskeleler, zemin-yapı etkileşimi, doğrusal olmayan zemin yayları.

**SOIL-STRUCTURE INTERACTION OF PILE-WHARF STRUCTURES WITH
VERTICAL AND/OR BATTER PILE**

Şenol KORKMAZ

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Bilge DORAN

Pile-wharfs are berthing structures built parallel to the shoreline and ensure berthing of vessels from one side, pile-wharfs are berthing structures built perpendicular to the shoreline and ensure berthing of vessels at two or more sides. Main structural system of a wharf structures are piles built in a batter-vertical direction with platforms. In both type of shore structures, significant rate of damage occurs due to soil-pile interaction together with horizontal loads. Irreparable deformations may occur with the pillars. In the numerical model which will be established to determine the distribution of damages that may occur and damage rates and to simulate the structural behavior, soil-pile interaction in pile sections which are exposed to significant plastic deformation shall be represented with nonlinear springs.

Vessel impulse at harbors and coastal structures, wave loads, clamping loads and seismic activities are examples to horizontal loads which shall be taken into consideration in the design and evaluation problem for wharf structures. Design criteria of such type of structures are recommended to be established according to the

maximum deformation capacities instead of load bearing capacities of the piles in the recent years. Since mainly seismic activities and base parameters will trigger the deformation in piles, horizontal load bearing capacities shall be calculated to include the above mentioned effects.

Turkish Code for shore structures (TCSS, 2008) requires representation of this effect with non-linear springs in the numerical model for consideration of soil-structure interaction in design and evaluation of pile wharf structures. In this case, non-linear interaction between structure and soil will be taken into consideration.

This study aims to present the non-linear static analysis (push-over analysis) of vertical and batter pile wharfs according to the conditions of TCSS, 2008. Besides, horizontal load bearing capacities for different soil conditions and maximum displacements were analyzed for batter/vertical pile wharf structures separately. In this context, in vertical pile wharfs built on stiff soil, even if high values of lateral displacement at all monitored points have been obtained, less plastic hinge rotations at pile cross sections reached their capacities. However, in batter pile wharfs, even if the structure leads to level of lateral displacements, plastic hinge rotations at pile cross sections reached their capacities and mechanism occurred earlier than expected.

Key Words: Pile-wharf structures, soil-structure interaction, nonlinear soil springs.

1.1 Literatür Özeti

Düşey ve eğik kazıklı iskele ve rıhtım yapılarının, zeminin yapı üzerindeki ilişkisini incelerken yatay yüklemelerde zemin etkilerinin modellenmesinde yaygın olarak kullanılan p-y ve yatak katsayısı yöntemlerinin kazık-zemin davranışını belirlenmesi kazık destekli kıyı yapılarının dayanıma göre tasarımından farklı yükleme kombinasyonlarına karşı da yapıyı güvenli hale getirmektedir. Zira dayanıma göre rıhtım ve iskeleler tasarlanırken, deprem sırasında kazıklarda oluşabilecek kalıcı şekil değiştirmeler nedeniyle kazık temeller ve yapı üzerinde zorlayıcı bir etmen oluşturabilir.

Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (DLH 2008) zemin-yapı etkilerinin doğrusal olmayan (nonlineer) yaylarla tasarımını ve yapı değerlendirmesine katılmasını esas almaktadır.

Arulmoli ve Martin, (2009) [1], binaların ve diğer yapıların tasarımı için asgari yaşam güvenliği standartlarını sağlamak için ulusal şartname olarak geliştirilen ASCE 7-05 (ASCE, 2005) ayrıntılı olarak kazık destekli iskele ve rıhtımlara depreme dayanıklı tasarımı için gereksinimleri ele almamakta olup; tipik eğimli zemin üzerine inşa edilmiş kinematik yükleme için rıhtım ve iskeleler tasarlanırken, deprem sırasında kalıcı şekil değiştirmesi nedeniyle kazık temeller ve yapılar üzerinde zorlayıcı bir etmen olmuştur.

ASCE, mevcut performansa dayalı tasarım şartnameleri ve kriterlerinin belirgin özelliklerini içererek iskele ve rıhtımların depreme dayanıklı yapı tasarımı için ulusal bir standart geliştirme sürecinde olup bu çabanın bir parçası olarak, iskele ve rıhtımlarda zemin-yapı etkileşimini; iskele ve rıhtımlarda depreme dayanıklı tasarımı ile ilgilenen bir çalışma grubu ile yapısal ve jeoteknik mühendisler tarafından ele almıştır. Bu çalışma yatay zemin-yapı etkileşimi meselelerinin görüşüldüğü, dayanıklı bir yapı tasarımını korurken değerlendirme sürecini kolaylaştırmak için öneriler sunmaktadır.

Terzi vd. (2009) [2], farklı kum ortamlarında yerleştirilmiş olan bir kazık modelinin yatay yüklemeler altındaki gerilme-şekil değiştirme ve yer değiştirme davranışını incelemiştir. Küçük modelde dairesel bir alüminyum kazık, deney kutusu, yükleme düzeneği, yer ve şekil değişimi ölçerler kullanılmıştır. Yağmurlama sistemi kullanılarak eşdeğer sıklık ve homojen bir dolgu ortamı oluşturulmuştur. Deneysel çalışmalarda model kazığın kademeli yüklemeler altındaki gösterdiği davranış saptanmış ve daha sonra kazık davranışı, tasarımcılar tarafından yaygın olarak kullanılan p-y ve yatak katsayısı yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Nümerik çalışmalar LPILE ve SAP 2000 programlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, p-y yönteminin yatak katsayısı yönteminden daha güvenilir sonuçlar ortaya koyduğu saptanmıştır. Deney kutusunun sınır koşulları, yükleme adımları zemin ve kazık özellikleri LPILE ve Sap2000 programlarında modellenerek analizleri yapılmış deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kazık davranışı, nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında p-y yönteminin yatak katsayısı yöntemine göre daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Farklı kum sıklıklarında gerçekleştirilen deneylerde, zemin sıklığının kazık davranışında etkili olduğu görülmüştür. Sıklık derecesi arttıkça kazıkta oluşan yer değişmelerin azaldığı belirlenmiştir.

Juirnarongrit ve Ashford (2006) [3], yatay yayılmaya maruz kalan tek kazık ve kazık grupları için p-y analiz yöntemi kullanarak potansiyel bir değerlendirme sunmaktadır. Yatay yayılmaya maruz kalan tek kazık tepkileri, Winkler yay modelinin bilinen serbest zemin hareket profili uygulanarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan sivilaşma

olmayan zemindeki yayların davranışı standart p-y yaklaşımı ile, sıvılaştırılmış zeminlerde ise yayların sıfır yay rijitliğine sahip olduğu varsayımı kabul edilmiştir. Kazık gruplarında ise kazık başına kazık kısıtlama etkisini modellemek için dönel yaylı tek bir kazık modellenmiştir. Kazık grubu etkilerini açıklamak için zemin yay rijitliği azalmasını da içeren p-çarpan yaklaşımı kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, temel zemini özellikleri tek bir set kullanarak, tüm test kazık setleri hesaplanmış ve hesaplanan karşılıkları ile ölçülen tepkileri uyum çıkmıştır. Bu sonuçlar, p-y analiz yönteminin yatay yayılmaya maruz kalan kazık davranışını tahmin etmek için kullanılabileceği fikrini vermektedir.

Chiou vd. (2011) [4], kazıklı bir iskele sisteminin kırılma eğrilerini geliştirmek için bir yöntem önermektedir. Bu yöntemin ispatı için seçilen Tayvan limanlarında yaygın olarak kullanılan tipik kazıklı bir iskele seçilmiştir. Yapı tabliyesi kabuk eleman ile yapısal modeli oluşturulan iskelenin, kazık ve zemin etkileşimi Winkler modeli ile modellenmiştir. İskele yapısının kapasite eğrisi temel modal şekline göre üniform yatay yükleri olan bir itme analiziyle belirlenmiştir. Kırılma eğrileri geliştirmek için Microsoft Excel tablo platformu kullanılarak yapılmıştır. İlk olarak, hasar durumları için plastik bölgeler oluşum sıralaması belirlenip sonrasında doğrusal olmayan statik yöntem olan Kapasite Spektrum Yöntemi (CSM) ile maksimum yer ivme düzeyleri farklı olan 24 deprem, iskelenin tepki matrisini bulmak için kullanılmıştır. Sonuç olarak hasar kriterleri ve yanıt matrisine dayanarak kırılma eğrileri, basit istatistiksel analiz yoluyla oluşturulmuştur.

Ashford ve Juirnarongrit (2006) [5], depremde yanal yayılma gösteren bir zeminde p-y yaklaşımını kullanarak kazık ve kazık grupları için push-over analizlerinin değerlendirmesini sunmaktadır. Tek kazık için, kazık tepkileri Winkler yay modelinin zemindeki yükleme yer değiştirmeleri ölçümü ile belirlenmiştir. Kazık grupları için, gruptaki kazıklarla birlikte kazık grubunun etkisini açıklamak için standart p-y yay yaklaşımına uygun olarak rijitliği düşük yay ile eşdeğer bir tek kazık olarak modellenmiştir. Dönel yay, kazık grubu dönel rijitliğini temsil modeli olarak

tanımlanmıştır. Tek kazık ve kazık grupları analizi sonucu, hem deneylerden hem de ölçülen tepkilerle iyi derece de bir uyum göstermiştir. Böylece bu yöntemle yatay olarak yayılan zemin sorunları kazıklar için ortak tasarım çalışmasında kullanılabilceği ortaya konmuştur.

Siyahi vd. (2011) [6], yapılan çalışmada kıyı ulaşımının önemli bir parçası olan kazıklı iskele ve rıhtımların deprem performanslarının belirlenmesinde performansa dayalı tasarım ilkeleri kullanılmıştır. Bunun için giren DLH, 2008 yönetmeliğindeki kazıklı rıhtım ve iskelelerin tasarımı ve değerlendirilmesi için performansa dayalı tasarım ve değerlendirme ilkelerinin kullanılması benimsenmiştir. DLH 2008 yönetmeliğinde üç farklı deprem seviyesine (D1, D2, D3) göre tasarım ve değerlendirme için iki yöntem önerilmektedir; a)dayanıma göre tasarım, b)şekil değiştirmeye göre tasarım. Anılan yönetmelik çerçevesinde tanımlanan deprem seviyelerine bağlı olarak dayanıma göre tasarım yöntemleri D1 deprem seviyesi için normal ve basit yapılar da kullanılmakta olup, özel ve normal yapılarda D2 ve D3 deprem seviyeleri için şekil değiştirmeye göre tasarım yönteminin kullanılması gerekmektedir. Ancak özel yapı sınıfına giren yapılarda D2 deprem seviyesi için tasarım yönteminin seçimi serbest bırakılmıştır. Şekil değiştirmeye göre tasarım ve değerlendirme, rıhtım ve iskeleyi oluşturan yapısal elemanlarla, yani kazıklarla, zeminin doğrusal olmayan etkileşiminin tanımlanmasını gerektirmektedir. Analizler, dayanıma göre tasarımı yapılan kazıklı iskele yapısının deprem performansının yeterli olduğunu göstermiştir.

1.2 Tezin Amacı

Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (DLH 2008), bina türü olmayan, kazıklı iskele yapılarında şekil değiştirmeye dayalı tasarım ve değerlendirmeyi birçok durumda öngörmektedir. Şekil değiştirmeye dayalı tasarım ilkeleri içerisinde zemin-kazık etkileşimi ise doğrusal olmayan yaylar ile dikkate alınması esas koşulmaktadır.

Bu tez kapsamında, Kocaeli Yeniköy, İstanbul Ağva ve Bursa Roda lokasyonlarında yapılması planlanan ve dayanıma göre tasarlanmış düşey ve eğik kazıklı iskele yapıları, zemin-kazık etkileşimi de dikkate alınarak artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile

doğrusal olmayan statik analizleri (itme analizi) yapılmış, yatay yük taşıma kapasiteleri ile maksimum yatay yer değiştirmeler incelenmiştir.

1.3 Hipotez

DLH 2008 yönetmeliğinde, rıhtım veya iskeleyi oluşturan yapısal elemanlarla zemin ortamını birarada, doğrusal elastik olmayan (nonlinear) biçimde idealleştiren ve ayrıca zemin ortamının geometrik sınırsızlığını gözönüne alan üç boyutlu dinamik yapı-zemin etkileşim modeli kullanılması gerekliliği vurgulanmış ve kazık-zemin etkileşimini temsil eden ayrık zemin yaylarında, doğrusal elastik olmayan (nonlinear) kuvvet-yer değiştirme ilişkileri gözönüne alınacağı Paragraf 2.3.4.2.7'de belirtilmiştir.

KAZIKLI YANAŞMA YAPILARI

2.1 Giriş

Deniz yolları ticari taşımacılığın ana hattını oluşturması sebebiyle, artan ticaret hacmine paralel olarak, yeni kıyı yapılarının inşa edilmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Bu durumun farkında olan ülkeler, ticari paylarını artırabilmek için liman işletmelerine ve yapılarına yatırımlar yapmaya başlamışlardır.

Liman ve kıyı yanaşma yapılarına olan talep, bu sektörde planlama ve projelendirme çalışmalarına olan gereksinimi beraberinde getirmiştir. Bu talebe cevap verecek kıyı yapıları deniz ile etkileşimleri ve stabiliteeleri açısından kapalı yüzlü ve açık yüzlü yanaşma yapıları olarak sınıflandırılabilir.

Bu kapsamda, açık yüzlü yanaşma yapı tipi olan kazık destekli yanaşma yapıları incelenmiştir [7].

2.2 Yanaşma Yapılarının Tipleri

Kazıklı yanaşma yapıları kıyı çizgisi konumlarına göre rıhtımlar ve iskeleler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

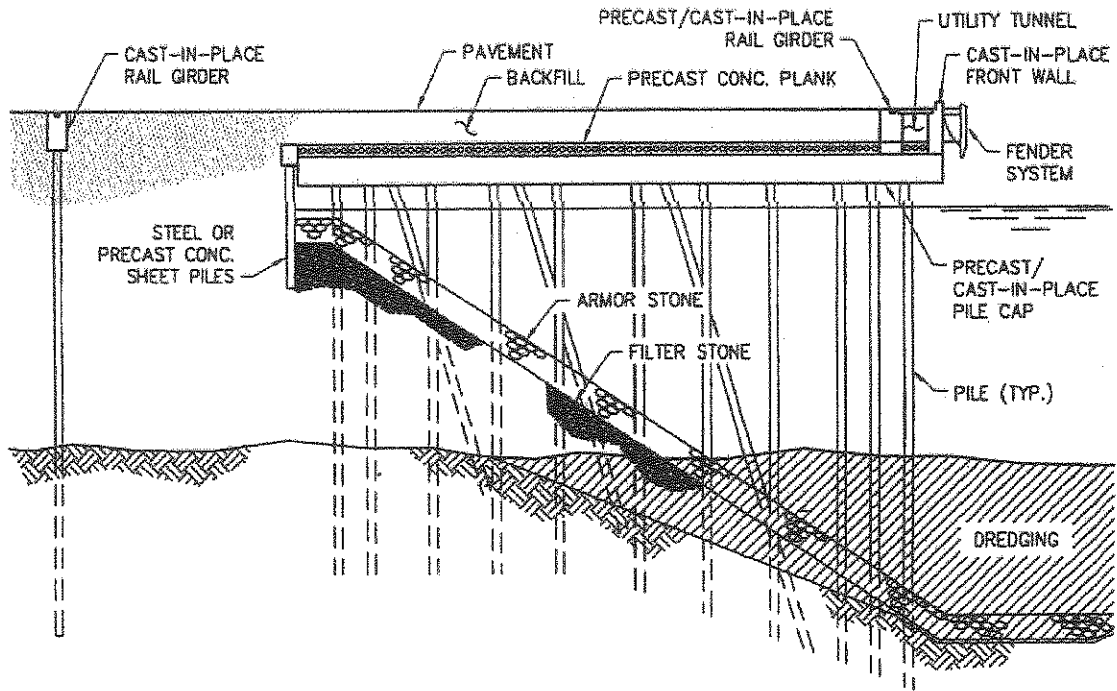
2.2.1 Rıhtımlar

Rıhtımlar kıyı çizgisine paralel inşa edilen kıyı yanaşma yapılarıdır. Tek yüzü ile yanaşma hizmeti sağlayan rıhtımların diğer yüzleri ise kara ile bağlantılıdır. Rıhtım arkası toprak dolgu ile doldurulduktan sonra açığa çıkan toprak basıncını dengelemek için istinat

duvarı veya palplanş duvar ile birlikte inşa edilirler. Platform seviyelerine göre iki başlık altında incelenirler.

2.2.1.1 Düşük Seviyeli Platformlar

Bu tip rıhtım platformlarında, rıhtım-kara bağlantısında toprak basıncını dengelemek için istinat yapısı veya palplanş bulunur. Rıhtım platformu bu noktadan başlayarak yanaşma yüzeyine kadar uzatılarak rıhtım üstü toprak dolgu ile doldurulur. Platform, Şekil 2.1' de görüldüğü gibi toprak dolgunun altında kaldığı için düşük seviyeli platform olarak isimlendirilir. Rıhtım ağırlığı ile birlikte toprak dolgu ağırlığı da yapının ölü ağırlığını oluşturur. Yapının yatay stabilitesini sağlayabilmek için eğik kazıklar kullanılmaktadır [8].

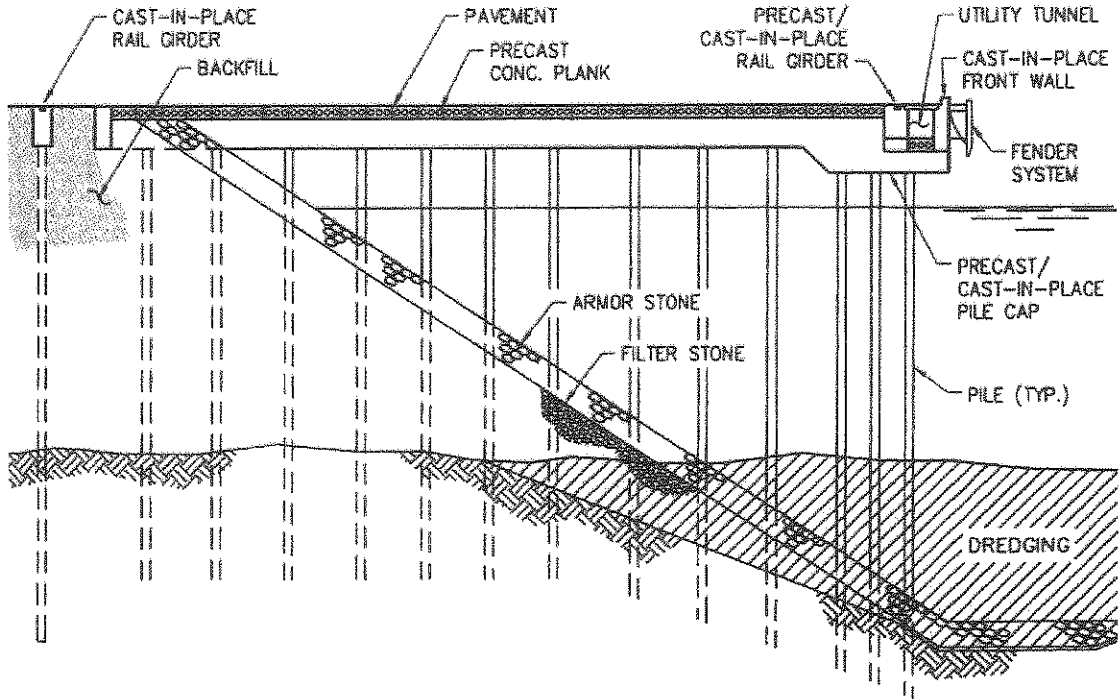


Şekil 2.1 Düşük seviyeli platformlar [9]

2.2.1.2 Yüksek Seviyeli Platformlar

Bu tip yanaşma yapılarında, platform rıhtım yanaşma yüzeyinden geri dolgu alanına kadar uzatılmaktadır. Platform üstüne toprak dolgu yapılmadığı için yüksek seviyeli platform olarak isimlendirilir. Platform doğal şev eğiminin başlangıç noktasına kadar

uzatıldığı için dengelenmesi gereken bir zemin basıncı meydana gelmez ve bu sebeple Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi herhangi bir istinat yapısı veya palplanş uygulaması yapılmaz. Böylece büyük orandaki zemin basıncı engellenmiş olur ve eğik kazık kullanılmasına gerek kalmadan yapının yatay stabilitesi sağlanır. Sadece düşey kazıklar kullanılarak imal edilmeye imkân sağlayan yüksek seviyeli platformlara sahip yanaşma yapıları, aktif sismik hareketliliğe sahip ve deprem riski yüksek olan bölgelerde tercih edilirler. Bu tercihte en büyük etken daha hafif ve daha esnek (narin) olmalarıdır [8].



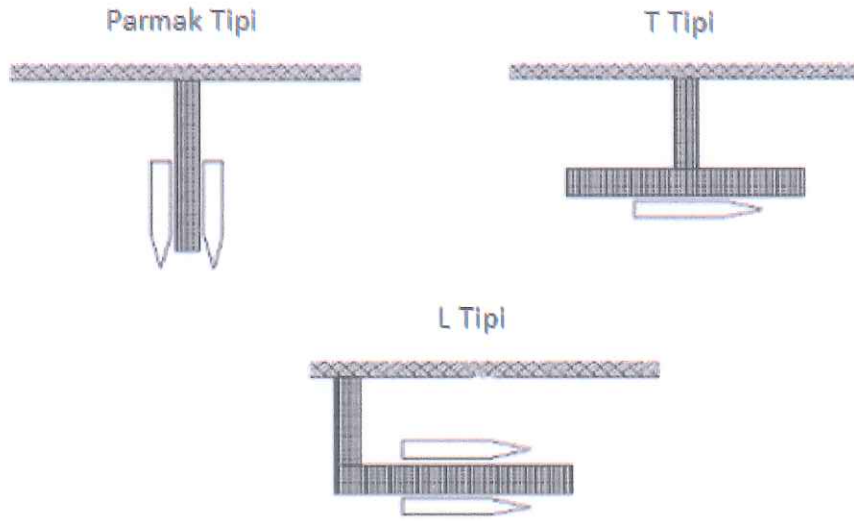
Şekil 2.2 Yüksek seviyeli platformlar [9]

2.2.2 İskeleler

İskeleler kazıklar ile bunların üzerine oturtulan plaklardan (döşeme) oluşan kıyıya dik yapılardır [10]. Kıyı çizgisine dik veya açılı şekilde inşa edilen iskelelerin birden fazla yanaşma yüzeyleri bulunabilir. Yanaşma yüzeylerinin şekillerine göre 3 tipte incelenirler. Bunlar Şekil 2.3’ te görülen T tipi, L tipi ve Parmak tip iskelelerdir. Parmak iskeleler kıyı çizgisine dik olarak yönlendirilmiş ve her iki yüzeyine de yanaşma imkânı bulunan iskele tipleridir. Bu iskele tipleri, su derinliğinin yeterli olduğu durumlarda ve genellikle yat limanlarında görülmektedir.

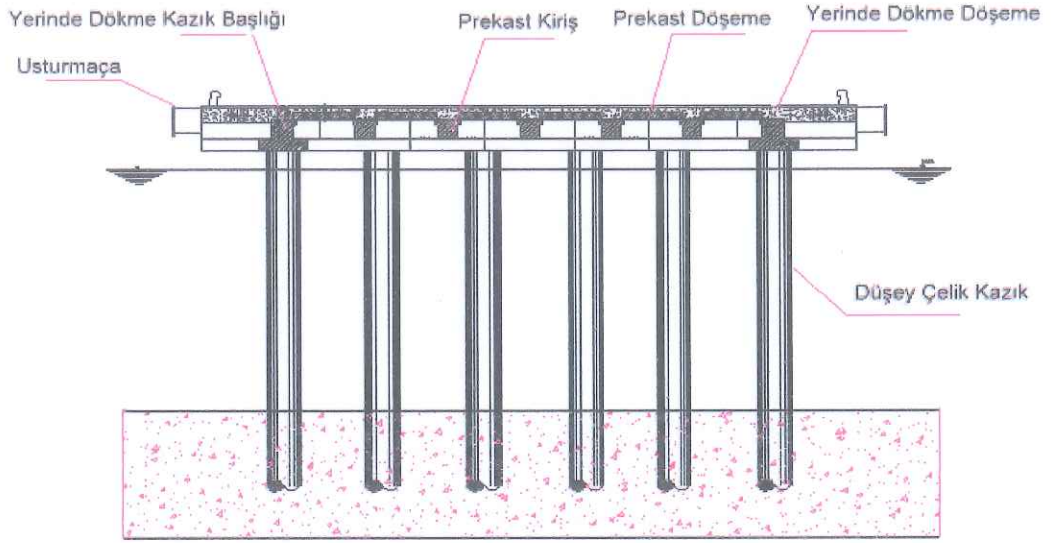
T tipi iskeleler tek taraflı yanaşma yüzeyine sahip ve kıyıya paralel konumlandırılmış iskele kafası ve bu iskele kafasını kıyıya bağlayan bir yaklaşım köprüsünden oluşmaktadır. Bu yaklaşım köprüsü, iskele kafasının orta noktasına bağlanmaktadır. Genellikle yeterli su derinliğinin sağlanamadığı durumlarda, iskele kafası kıyı çizgisinden uzakta konumlandırılarak yanaşma gemilerinin güvenle yanaşmasına olanak tanımaktadır.

L tipi iskeleler ise, T tipi iskeleler ile aynı özellikleri barındırmaktadır. Aralarındaki fark yaklaşım köprüsü ile iskele kafasının bağlanma şeklinde ortaya çıkmaktadır. L tipi bir iskelede köprü platformun bir kenarındadır, buna karşılık T tipi bir iskelede köprü platforma ortalanmıştır. L tipi bir iskelenin bir avantajı ise, römorklar için platformun iç tarafında bağlanma alanı sağlamasıdır [10].

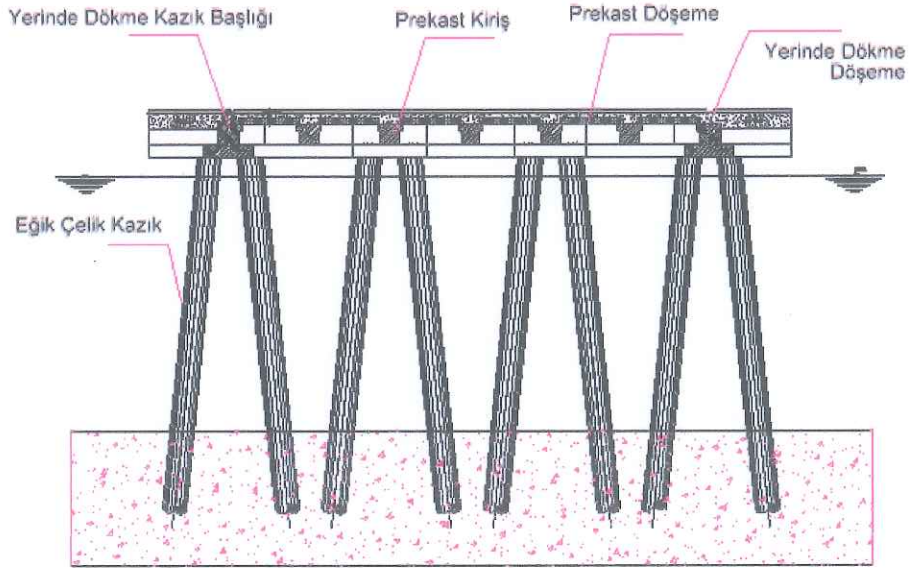


Şekil 2.3 İskele tiplerinin üstten görünüşü [8]

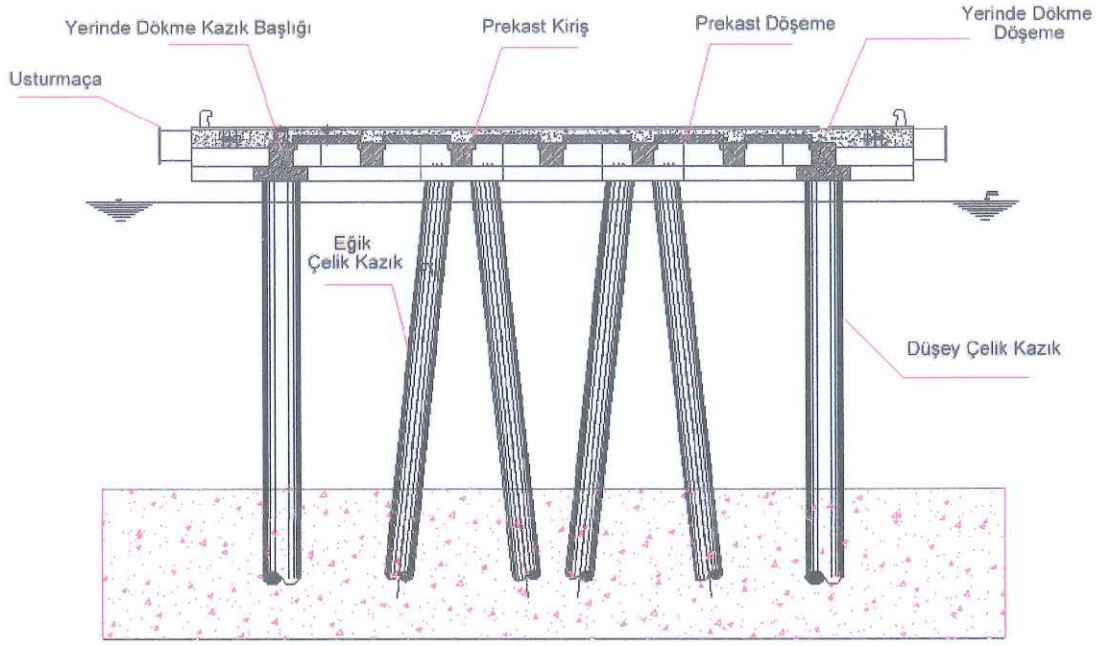
İskeleler kapalı yüzlü olarak tasarlansalar bile genellikle açık yüzlü iskeleler daha fazla tercih edilir. Kapalı ya da açık tip olarak inşa edilmeleri zemin koşullarına, su derinliğine, akıntıya, dalga iklimine ve katı madde hareketine bağlıdır [10]. Açık yüzlü iskeleler; Şekil 2.4' te tamamı düşey kazıklı, Şekil 2.5' te tamamı eğik kazıklı ve Şekil 2.6' daki gibi düşey ve eğik kazıklı olarak inşa edilirler [8].



Şekil 2.4 Düsey kazıklı iskele [8]



Şekil 2.5 Eğik kazıklı iskele [8]



Şekil 2.6 Düsey ve eğik kazık kombinasyonlu iskele [8]

ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ

3.1 Giriş

Deprem yüklerini taşıyan rijitlik veya iskele taşıyıcı sisteminde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde, deprem yüklerinin derin temellerin bir çeşidi olan kazıklar aracılığıyla temel zeminine güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlayacak yeterlikte rijitlik, kararlılık, dayanım ve süneklik bulunmalıdır.

Kazıklarda zemin desteğini yay mesnetlerle modelleyen çözüm yöntemleri ve sürekli ortam mekaniği prensibine dayanan elastik çözümler vardır. Kazıkların çevresindeki zeminin plastik davranışlarının analizlerde modellenmesi için yatak katsayısı yönteminin yerine yatay yük-yer değiştirme (p-y eğrileri), aksenal yük-yer değiştirme (t-z eğrileri), uç yükü-yer değiştirme ilişkisi eğrileri kullanılır. DLH 2008 esaslarına göre, API 2000 kazıklarda bu eğrileri teşkili için verilen yöntemi önermektedir. Verilen kriter hem kil hem de kum zeminlerde kullanılabilir. Günümüzde bu analizler geliştirilmiş bilgisayar yazılımları ile yapılmaktadır.

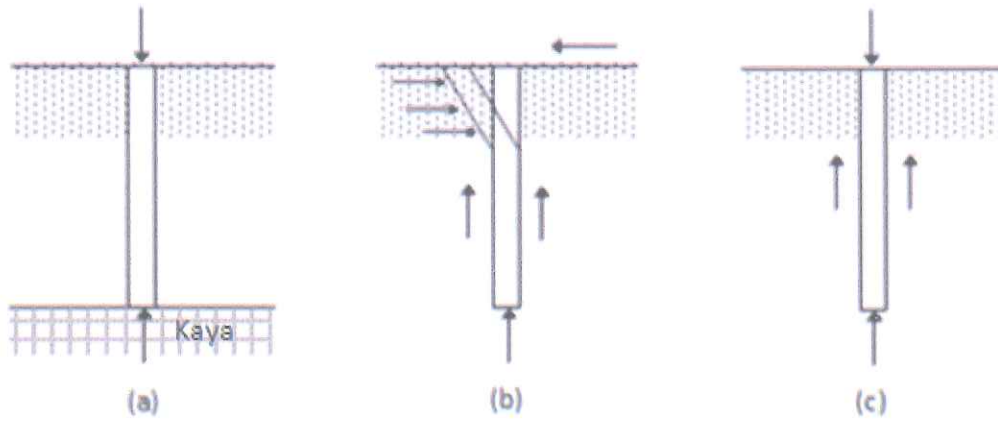
Bu kapsamda derin temellerin analiz ve tasarım ve inşaa yöntemleri ve derin temellerin bir çeşidi olan kazıklı temeller incelenip, kazık analiz yöntemleri irdelenmiştir.

3.2 Derin temeller

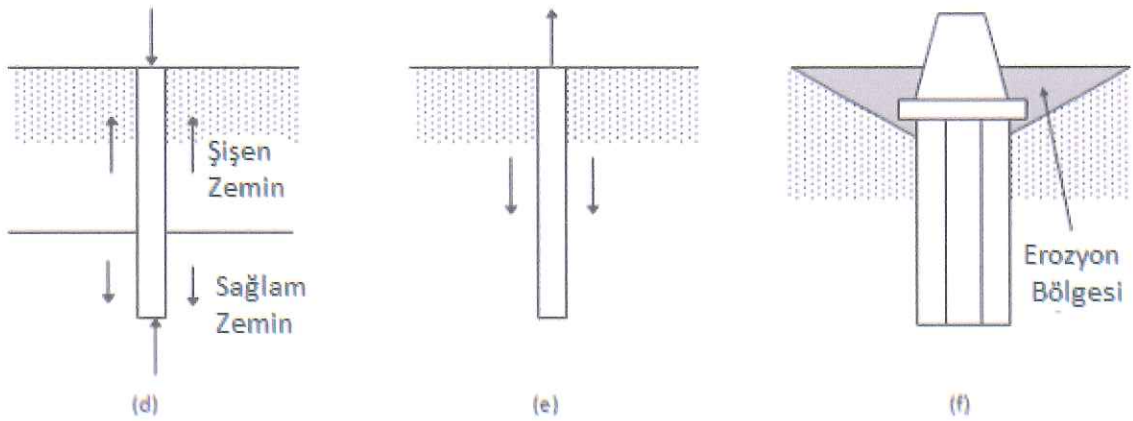
Sağlam temel zemini çok derinde olursa veya yüzeysel temellerin ekonomik, hatta olanaklı olmadığı durumlarda derin temeller kullanılır. Ayrıca yüzeysel temel çukurunun kuvvetli su etkisinden dolayı ekonomik olmadığı veya yüksek su akımına engel olmak ve set çekmek gerektiği zaman yine derin temellerin kullanılması uygundur. Derin temeller üç şekilde yapılabilir:

- Açık temel çukuru ile derindeki sağlam zemin tabakalarına kadar inerek, derin yüzey temeli inşa etmek,
- Temeli havaj metotları ile derine indirerek, derin yüzey temeli inşa etmek,
- Kazık temel inşa etmek [11].

Temel tabanındaki zeminin taşıma gücü aktarılan yükleri yüzeysel temelle karşılamaya yetmiyorsa kazık temeller gibi derin temeller tercih edilir. Temelin derin temel kategorisine girmesi için gereken kriter derinliğin genişlikten fazla olması gerekmektedir. Derin temeller kazık, ayak ve keson şeklinde olabilir. Bunların en yaygın kullanılanı, davranışı ve hesap yöntemi olarak diğerlerini de kapsayan Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' de verilen kazıklardır. Kazıkların çalışma mekanizması buldukları ortamın özelliklerine, imalat şekline ve yüklenme şekillerine göre değerlendirilmelidir. Şekil 3.1.a' da görüldüğü gibi zayıf zemin tabakalarının altında ulaşılabilir mesafede kaya gibi sağlam tabaka varsa kazıklar bu tabaka içine soketlenir.



Şekil 3.1 Kazıklı temeller örnekleri [12]



Şekil 3.2 Kazıklı temellerin kullanım yerleri [12]

Eğer kaya tabakası ulaşılabilecek uzaklıkta değilse orta sıklıkta ve sert bir zeminde kazık mukavemetini kısmen çevre sürtünmesinden kısmen uç direncinden alır. Şekil 3.1.b' de görüldüğü gibi kazıkların düşey yüklere ilave olarak yatay yükleri de taşıması gerekebilir. İstinat yapıları ve yüksek binaların temellerine deprem ve rüzgar yüklerinin etkisi ile yatay yük nakledilebilir.

Genel anlamda, yatay yüklenmiş kazıklı temellerin davranışları, aksenal yüklenmiş kazıklı temellerin davranışlarından farklıdır. Zemin davranışının doğrusal olmaması sonucu kazıklarda büyük şekil değiştirmeler oluşmaktadır. Bu davranışların değerlendirilmesinde, çok daha karmaşık zemin-yapı etkileşimi analizlerine ihtiyaç gösteren yatay yer değiştirmelerin ince duyarlılıkla tahmin edilmesi yoluna gidilmektedir.

Derin temeller, statik ve dinamik koşullar altında yatay yüklenmeye maruz kalabilmektedirler. Genelde statik yükleme; uzun açıklıklı köprüler ile iletim hatları gibi durumlarda kilit rol oynarken, dinamik yükleme; rüzgar, okyanus dalgaları veya deprem yükleri altındaki durumlarda, yapılar için önemlidir. Derin temellerin deprem altındaki davranışları, günümüzde ülkemiz açısından çok araştırılan bir konu olmamakla beraber son zamanlarda Kocaeli, Düzce Depremleri gibi büyük sismik olaylar, araştırma çabalarını bu alana yönlendirmiştir.

Geoteknik mühendisliğinde sismik tasarım, sadece yapıyla ilgili olmayıp, bunun yanında hem temel, hem de temel zemini ile ilgilidir. Temel zemini, temel ve yapının oluşturduğu sistemin, dinamik analiz sırasında birlikte ele alınması uygun bir yaklaşım olacaktır. Bu durumda, temel zemini ve yapının, doğrusal olmayan davranışlarının dikkate alındığı, zaman tanımlı bir analizde, tüm sistemi değerlendirmek oldukça güçtür. Büyük hesap yükü getirmesi, işlem hacminin fazla olması nedeniyle, hem bilgisayar programlama tekniği açısından, hem de belleğin ekonomik kullanılması açısından uygunluğu tartışılmaktadır. Böyle bir durumda, kazıklı temel ile zemin arasındaki doğrusal olmayan etkileşimin uygun bir biçimde değerlendirilmesi de ayrıca önemlidir [12].

3.3 Kazıklı Temeller

3.3.1 Kazıklı Temellerin Sınıflandırılması

Yapı yükleri taşıma gücünün yetersizliği yanında çoğu kez oturma şartlarının sağlanamamasından dolayı, derin temel sistemi kullanılarak zemine aktarılmaktadır. Böylece yüzeydeki zayıf tabakalar geçilerek, derindeki taşıyıcı tabakalara ulaşılmaktadır ve bu anlamda kullanılan yapı elemanları, kazık olarak nitelendirilmektedir. Temel sistemi de adını kullanan yapı elemanından almakta ve kazıklı temel olarak nitelendirilmektedir [13]. Ayrıca zemine yukarı doğru çekme kuvvetlerinin etkidiği durumlarda ve zayıf zemin koşullarında yatay yükleri karşılamak amacıyla kullanılır.

Kazıklı temellerin kullanılmasını gerekli kılan bazı durumlar aşağıda sıralanmaktadır:

- 1) Üstteki zemin tabakalarının üst yapı yükleri için yeterli taşıma güçlerinin olmayışı veya çok sıkışabilir nitelikleri nedeni ile yüklerin daha sağlam veya kayaca aktarılma zorunluluğu doğabilir. Sağlam tabakanın çok derinde olması durumunda yükün büyük kısmı kazık çevresinden zemine aktarılacak şekilde düzenlenmesi,
- 2) Dayanma yapıları veya yüksek yapı temellerinde zemin, rüzgar ve deprem yükü gibi yatay etkilerinin karşılanması,
- 3) Yer altı su seviyesine bağlı olarak oluşabilecek çökmeleri ve yukarıya doğru olan hareketleri engellemek, kazıklar kullanılarak kule temellerini desteklenmesi,
- 4) Yapının hemen altındaki zemin tabakalarının çok yumuşak veya gevşek olması,
- 5) Yapının yer alacağı alandaki zemin tabakalarının büyük farklılıklar göstermesi,
- 6) Makine temelleri altındaki zeminin, titreşimlere ve sistemin doğal frekansına karşı sıkışmasını sağlanması,
- 7) Sıkışabilirliği yüksek zeminlerde bulunana tekil temellerin veya temel sistemlerinin oturmalarını kontrol altına alınması,
- 8) Köprü kenar ve orta ayakları erozyon nedeniyle temel altının oyulmasına karşı güvenlik oluşturulması,
- 9) Suyla ilişkiye geçtiğinde, kabaran veya birden çökme gösteren zeminlerde üst yapı yüklerini aktif zon diye tanımlayacak bir bölge dışına aktarılması,

10) Açık deniz yapılarında gemi çarpması, dalga yüklerinin karşılanması,

11) Kuleler, deniz platformları ve yer altı suyu altındaki radyeler kaldırma kuvvetleri etkisindedir. Bu kuvvetlerin ortadan kaldırılmasında kazıklı temeller düzenlenebilir [14]a.

Kazıklar ve kazıklı temeller çok eski zamandan beri kullanılmaktadır. İsveçre' nin Neolitik insanın günümüzden 1200 yıl önce sığ göl tabanlarında ahşap kazıklar çakılarak üzerine barınak inşaa ettikleri belirlenmiştir [15].

3.3.2 Kazıklı Temel Çeşitleri

Kazıklı temeller aşağıda belirtilen kriterlere göre sınıflandırma yapılabilmektedir.

3.3.2.1 Temel Yükü Zemine Aktarma Şekillerine Göre Kazıklı Temeller

- **Ayakta Duran (Sabit) Kazıklı Temeller:** Bu kazıklı temeller, yapı yüklerini derindeki sağlam zemin tabakalarına aktarırlar.
- **Yüzen Serbest Duran Kazık Temeller:** Bu kazıklı temeller, yapı yüklerini doğrudan doğruya derindeki sağlam zemin tabakalarına değil, öncelikle üstteki daha az taşıma yetenekli zemin tabakalarına aktarırlar.

3.3.2.2 Kazık Temellerin Yerleştirme Şekillerine Ve İmalat Metotlarına Göre Kazıklı Temeller

- **Hazır Kazıklar:** Bu kazıklar, bütün halinde veya parça parça önceden hazırlanır. Sonra zemine çakma, sarsma, önceden hazırlanan sondaj deliklerine yerleştirme, yıkama, presleme ve vidalama gibi çeşitli şekillerde batırılırlar.
- **Yerinde Dökülen Kazıklar:** Bu kazıklar yerinde ve zemin içerisinde hazırlanan delikte yapılır. Her bir çeşide göre kaplama borusu çeşitli şekillerde zemine daldırılır. Örneğin; delme kazıklar, yerinde dökülen çakma kazıklar, basma borulu kazıklar ve sarsma kazıklar gibi.

Yerinde dökülen kazıkların imalatında genellikle kaplama borusu denilen çelik bir boru kullanılır. Kaplama borusu kullanılmadan dökülebilen kazıklar dışında bütün kazıklarda bu boru vardır. Kaplama boruları kalınlıkları değişik olmakla birlikte boyları çoğunlukla 2 metre olan parçalar halinde bulunur ve bu parçalar zemine sokuldukça bir diğer

parça bunun üzerine vidalama veya kaynaklama ile birleştirilir. Böylece kaplama borusu istenilen boyda yapılarak istenilen derinliğe kadar zemine sokulur. Kaplama borusu istenilen derinliğe kadar sokulduktan sonra, içindeki zeminin püskürtülmesi ve dışarı atılması sonucu ortaya çıkan oyuk betonla doldurulup, sıkıştırılarak kazık imalatı tamamlanır. İmalat metotlarına ilişkin esaslar aşağıda topluca verilmiştir.

- i. **Kaplama Borusuz Yerde Dökülen Kazıklar:** Bu kazıkların imalatında koni şeklinde bir uç zemine çakılarak veya yüksekte düşürülerek zemini sıkıştırıp batar ve istenilen oyucu açar. İstenilen derinliğe kadar oyuk açıldıktan sonra beton dökümü elliser santimlik tabakalar halinde yapılır. Bu beton tabakaları döküm sırasında özel uçlarla tokmaklanarak, yandaki zemin tabakalarına doğru itilir. Bu metot kendisini iyi tutabilen ve su saldırısı etkisinde bulunmayan zeminler için uygundur.
- ii. **Kaplama Borulu Yerde Dökülen Kazıklar:** Kaplama boruları zemine delme, çakma, sıkıştırma ve sarsma ile sokulur. Kaplama borulu kazıklar; kaplama boruları zemine kalan ve kaplama boruları tekrar açılan kazıklar olmak üzere ikiye ayrılır. Zemine, çakma ve delme ile sokulan borular genellikle sökülmeden yerine bırakılır. Yerde bırakılana böyle bir boru betona zarar veren su ve zeminlere karşı iyi bir koruyucudur. Beton dökümü sırasında oyuk duvarlarından düşecek toprak kitlelerinin taze beton içine karışmasına engel olur. Delme ile sokulan bir boru zemine bırakıldığında kazık için önemli hiçbir çevre sürtünmesi doğurmaz. Kaplama boruları zemine sıkıştırma ve sarsma ile sokulan kazıklarda genellikle kaplama boruları tekrar çıkarılır.
- iii. **Kaplama Boruları Tekrar Çıkarılan Kazıklar:** Beton döküldükçe boru çekilip ve en sonunda tamamen çıkarılmaktadır. Böyle kazıklar düzgün olmayan bir çevre yüzeyine sahip olacağından çevre sürtünmesi oldukça fazladır.

❖ **Kaplama Borusunun Zemine Delme (Foraj) İle Sokulması:** Borunun alt ucunda bulunan ve çelikten yapılmış burgular döndürülerek boru zemine sokulup, içindeki zemin üstten boşaltılır. Burgulama ile delme borunun ilerlemesini çabuklaştırmak amacı ile üstüne ağırlık da konulabilir. Burgulama elverişli zeminler kil, kum ve içinde büyük daneler bulunmayan çakıl gibi oldukça gevşek yerleştirilmiş

zeminlerdir. Zemin dönme burgularla ve üstten vuruşlu kazıklarla gevşetilir. Gevşek zeminlerde silindirik bir yuva içine konulmuş özel bir yıkama borusundan gönderilen su yardımı ile de kaplama borusu batırılabilir.

❖ **Kaplama Borusunun Zemine Çakma İle Sokulması:** İnşaat alanı yakınında yapılmış binalar varsa, bunların zarar görmemesi için çakma işine çok dikkat etmek gerekir. Boruların çakılması üstten ve içten olmak üzere iki şekilde yapılır.

➤ **Üstten Çakma:** Yeter sağlamlıkta olan kalın borular kazık başlığı yardımıyla, narin olan ince borular ise çakma çekirdeği yardımıyla çakılır.

➤ **İçten Çakma:** Önce kuru betondan yapılmış bir tıkaç borunun alt ucuna basılır. Bu beton sertleştikten sonra boru içinde çalışan şahmerdan ile beton tıkaç üzerine vurularak boru aşağıya doğru batırılır. Diğer bir şekilde çakma sırasında devamlı beton gönderilerek boru yukarı çekilir. Böylece çakma ile zemin sıkıştırılır.

❖ **Kaplama Borusunun Zemine Sıkıştırma İle Sokulması:** Kaplama borusu atım metoduna göre, hidrolik pres yardımıyla zemin sıkıştırılır ve yine atım metoduna göre betonlama yapılır. En alt atımda bir uç bulunur. Burada boru yerine panplanş demirinden kaynakla yapılmış profiller de kullanılabilir.

- **Karışık Kazıklı Temeller:** Bu kazıklar önceden hazırlanmış ve yerinde yapılmış kesimlerin bir araya getirilmesi ile oluşmuştur.

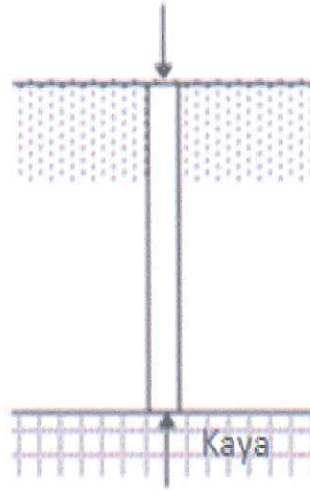
3.3.2.3 Kazıklı Temellerin Kullanım Amaçlarına Göre Kazıklar

- **Uç Dirençli Kazıklar:** Üst yapıya gelen yükleri su etkisi veya taşıma gücü açısından zayıf zemin tabakalarının altındaki, taşıma gücü yüksek zemin tabakalarına iletmek için kullanılan kazıklardır. Bir kazığın taşıma gücü, kazığın uç direnci ve sürtünme direnci olarak ayrılmaktadır. Kazıkta meydana gelen pozitif çevre sürtünmesi, yukarı doğru etkiyen sürtünme

direncidir ve uç kazıklarında bu tip sürtünme direnci göz önüne alınmamaktadır. Buna karşılık zeminden bir kazığı çekip çıkarmak istendiğinde karşılaşılan direnç negatif çevre direncidir ve bu direnç ise mutlaka göz önüne alınmalıdır.

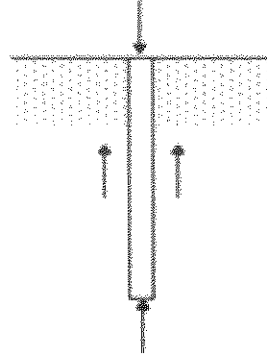
- **Sürtünmeli Kazıklar:** Kazık yükleri, daha çok kazık çevresinde oluşan çevre sürtünmesi ile sağlam zemin tabakalarına iletilir.
- **Uç Dirençli Ve Sürtünmeli Kazıklar:** Uygulamada çoğunlukla yukarıda bahsedilen iki durumu bir arada görmek mümkündür. Bu tür kazıklara uç dirençli ve sürtünmeli kazıklar denir.

Günümüzde kullanılan kazıklar en temel fonksiyonu taşınan yükün zeminin sağlam bölgelerine doğru dengeli bir şekilde dağıtılmasıdır. Bir kazık, taşıma gücü zayıf zemin tabakalarından geçerek uç kısmı taşıma gücü yüksek zemine bir miktar girmişse Şekil 3.3' de gösterilen bu tür kazıklara uç kazığı adı verilir.



Şekil 3.3 Uç Kazığı [12]

Bir kazık tarafından taşınması gereken yükün, taşıma gücü yüksek bir zeminin çok derinde bulunması halinde, kazık yüzeyi ile zemin arasında oluşan sürtünme kuvveti ile taşınması prensibine dayanan Şekil 3.4' de gösterilen bu tür kazıklara ise sürtünme kazığı denir.



Şekil 3.4 Sürtünme kazığı [12]

3.3.2.4 Kazıklı Temellerin Yapıldıkları Malzemelerin Çeşitlerine Göre Kazıklar

- Beton Kazıklar,
- Betonarme Kazıklar: İstenilen boyda yapılabilme özelliği nedeniyle diğer kazıklara göre üstünlük kazanan betonarme kazıklar en çok uygulama alanı bulan kazık tipleridir. Hazır kazıklar ve yerinde dökme kazıklar olarak iki türe ayrılır.
 - i. **Hazır Betonarme Kazıklar:** Masif ve içi boş kazıklar olarak iki şekilde yapılabilirler ve enkesitleri genellikle kare, sekiz köşeli, daire şeklinde düzenlenir.
 - ❖ **Olumlu Yönleri:**
 - Yer altı suyunun varlığı kazık imalat işini etkilememesi,
 - Kazık malzemesinin kalitesinin önceden belirlenmesi,
 - Kazık boyu istenilen boya göre önceden ayarlanabilir.
 - ❖ **Olumsuz Yönleri :**
 - Kazık boyları, arazi zemin koşullarına göre ayarlanamaz, değiştirilemez, kesin hesap gerektirir,
 - Büyük çaplarda, çakma zorlukları yaşanmaktadır,
 - Çakma sırasında çevrede kabarma ve zor çakılma koşulları altında kazıkta hasar olasılığı görülmektedir.

Enkesit büyüklüğü; gerekli taşıma kuvveti etkisinde, zeminden ve çakma güçlüğünden oluşan zorlamalar altında kazık boyuna göre hesaplanır.

ii. **Yerinde Dökülen Betonarme Kazıklar:** Kaplama borusu veya sondaj deliği içerisinde imal edilirler. Bu kazıklar, delme teknikleri kullanılarak veya boş bir boru çakılarak zeminde oluşturulan deliğin içine betonun doldurulması ile imal edilen kazıklardır.

❖ **Olumlu Yönleri:**

- İmalat sürecinde temel kazısı yapılmadan önce de delinip yapılabilirler. Bu işlem inşaat işine hız kazandırır.
- Değişken zemin koşullarına göre boyutları ayarlanabilir.
- Zemin içinde çakma kazıkların çakılmasına engel olan taş ve bloklar, fore kazık için delme işlemi yapılırken uygun teçhizat kullanılarak geçilebilir.
- İnşa sırasında çevrede önemli titreşim, sarsıntı yaratmazlar. Bu nitelik, şehir içinde çevre yapıların bu tür etkilere karşı hassas olduğu durumlarda büyük avantajdır.
- Kazıklar yerinde yapıldığı için gereken malzeme kum, çakıl, su, çimento, demir olup şantiyede bunların elde edilmesi kolaydır.
- Gerektiğinde kazık dibinde enjeksiyon veya aşırı tokmaktama ile genişletilmiş bir bölge (soğan) oluşturularak taşıma gücü arttırılabilir. Bu işlem kazığın çekmeye karşı dayanımını arttırır.
- Sondaj deliğinden çıkan zeminin incelenmesi ile istenilen derinliğe inildiği ve istenilen sağlam tabakaya erişip erişilmediği kolayca denetlenebilir.
- Fore kazığın boyu delme sırasında çıkarılıp incelenen zeminin niteliği göz önüne alınarak kolayca ayarlanabilir.

❖ **Olumsuz Yönleri :**

- Beklenmeyen zemin koşulları ile karşılaşılması durumunda tasarım süresinde önemli gecikmeler olabilir. Bu nedenle, fore kazıkların yapılacağı alanda çok ayrıntılı bir zemin araştırılması yapılmış olmalıdır.
- Yer altı suyunun varlığı halinde beton kalitesi etkilenebilir. Özellikle yer altı suyu akımı olması halinde, kazık deliği

çevresindeki zeminde yıkıntı veya döküntü olabilir. Kazık ucunun basacağı zeminde kaynama meydana gelerek bu zemini gevşetebilir [14]b.

- **Öngerilmeli Beton Kazıklar**
- **Çelik Kazıklar:** Bu kazıkların betonarme kazıklardan üstünlükleri, ağırlıklarının çok küçük olması, nakliyesi kolay ve çok büyük yüklerin aktarılmasını sağlayabildiklerinden dolayı kullanışlıdır. Maliyetleri çok yüksektir. Çelik kazıklar için genellikle *St / çeliği* kullanılır ve profil olarak boru, birbirlerine kaynaklanmış panplans demirleri ve putreller kullanılır. İçi boş kazıklar dışında, kazık kuvvetleri genellikle uç direnci ile taşınır. Bununla birlikte bu kazıklar açık olarak çakılır ve sonra alt ucuna sağlam bir tıkaç düzenlenir. İçi boş kesitler çakıldıktan sonra paslanmayı önlemek amacıyla tamamen betonla doldurulabilir. Bu işlem kazığın rijitliğinin artmasını sağlar. Özellikle su altında bulunan ve paslanma tehlikesi olan kazık, eksiksiz bir şekilde emniyet altına alınabilir.
- **Ahşap kazıklar:** Ahşap kazıklar kolay taşınma, kolay işlenme ve uzun ömürlü olmaları bakımından tercih edilirler. Bu tip kazıklar, özellikle killerde iyi adhezyon sağlarlar. Su seviyesi altında ömürleri uzundur. Ahşap kazıkları sert zeminlere, sıkı kum-çakıl tabakalara çakmak zordur, aşırı çakma halinde uçları veya gövdeleri çatlayabilir, kırılabilir. İnşaat sırasında yardımcı bir araç olarak kullanılabilirler gibi, temelin esas yapısını oluşturan kazıklar olarak da kullanılırlar. Yalnız bu son durumda kazıklar sürekli temel suyu altında bulunmalı ve zararlı kurtlara karşı korunmalıdır. Ahşap cinsi olarak çoğunlukla çam, laden ve meşe ağaçları kullanılır. Ahşap kazıkların düzgün ve doğru olması, sağlam ağaçtan yapılması gerekir. Kazık boyunca çap metrede en fazla 1.5 cm değişmelidir. İğne yapraklı ağaçlarda kazık olarak kullanılacak ahşap en az 2.Kalite olmalıdır. Ahşap kazıkların emniyet gerilmeleri için DIN 1052 geçerlidir. Ahşap kazıkların ortalama çapı (yarı kazık uzunluğu üzerindeki çap ölçüsü), konstrüktif ve çakma tekniği yönünden kazığın "l" boyuna göre ayarlanır. Yaklaşık olarak 20-25 cm çaplı bir kazığın taşıyacağı yük 200-300 kN civarındadır. Ahşap kazıkların en büyük kazık boyu aşağı yukarı 20 m ve bu halde ortalama kazık çapı 40 ~ 45 cm' dir.

- **Kompozit Kazıklar:** Birden fazla ve farklı malzeme kullanılarak yapılan kazıklardır. Çelik kazıkları içine betonarme yapı kullanılarak hazırlanılan bu tipte çeliğin büyük yük aktarma özelliğiyle betonarmeyele birleştirilen kısmın arttırılmış rijitlik özelliği bu kazık türünün en önemli özelliklerindedir. Uygulama alanı geniş olmayan bir başka kompozit kazık türünde ise alt kısmı ahşap, üst kısmı da beton veya çelikten oluşur. Ahşap kısım çürümeden etkilenmeyeceği derinliğe kadar çakılır, üst kısım beton olarak, şartlara göre, gerektiğinde kaplama borusu yerinde bırakılarak yapılır.

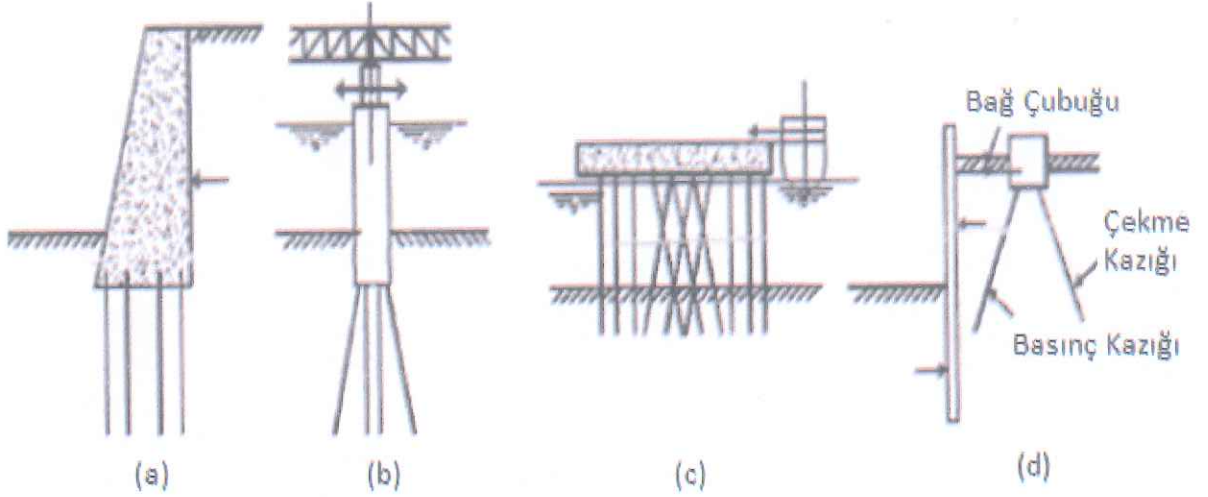
3.3.2.5 Kazık Temellerin Etrafını Çevreleyen Zemine Yaptıkları Etkiye Göre Kazıklı Temeller

Kazıklı temelleri, etraflarını çevreleyen zemine yapacakları etkiye göre aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür [11]:

- **Zemini Kuvvetlendiren Kazıklar**
- **Zemini Püskürten Kazıklar**
- **Zemini Gevşeten Kazıklar.**

3.3.2.6 Kazık Temellerin Karşıladıkları Yüklere Göre Kazıklı Temeller

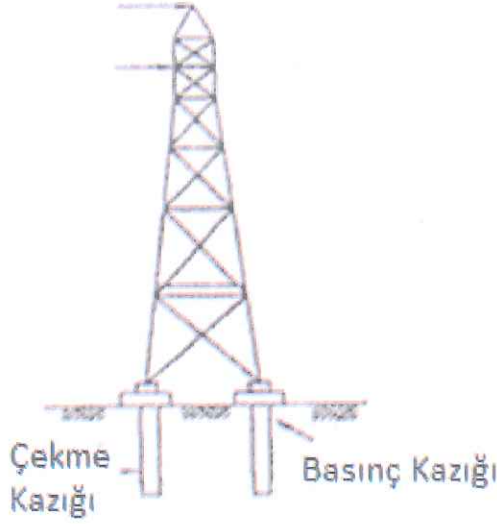
- Basınç Kazığı**
- Çekme Kazığı:** Suyun kaldırma kuvveti altında, yapıların veya üst yapıya gelen kuvvetler nedeni ile döndürme momenti etkisinde temel sistemlerinin tespitini sağlayan kazıklardır. Su altında yapılan tesisler veya toprağa gömülü tanklar bu tür kazıkların kullanıldığı yerlerdir (Şekil 3.5.c).
- Yatay Yükle Çalışan Kazıklar (Düşey Ve Eğik Kazıklar):** Yatay kuvvetlere karşı kullanılan kazıklardır. Bu kazıklar, gemilerin iskeleye çarpmasından, dalga kuvvetlerinden, ek su kütlelerinden oluşan etkileri karşılamak için kullanılırlar (Şekil 3.5.d).



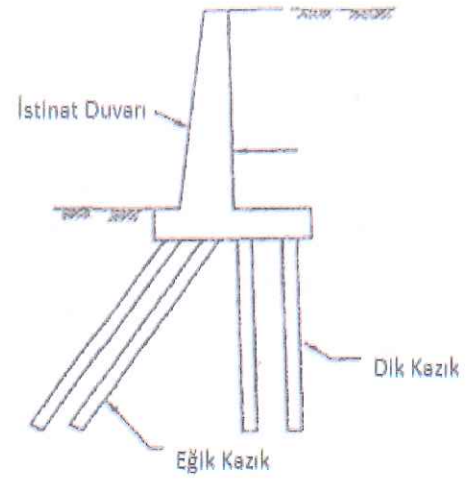
Şekil 3.5 Yatay yüklere karşı inşa edilen kazıklar; a)dayanma yapıları b)köprü yapıları c)iskeleler d)palplanjlı dayanma yapıları [16]

Kazıklı temeller tasarlanırken, kazığa etkiyen kuvvetler iki sınıfa ayrılır; düşey ve yatay yükler. Düşey yükler kazık eksenine paralel olarak etkir. Yatay yükler kazık aksına dik yönde etkir. Üstyapı yatay bileşeninin, küçük olduğu durumlarda, yükler düşey kazıklarda güvenle taşınabilmektedir. Bununla birlikte rıhtım ve dalgakıranların azıkları, köprü ayaklarının kazıklı temelleri, petrol arama kule ve vinçlerinin kazıklı temelleri, yüksek baca yapılarının temelleri ve dayanma yapıları gibi yapıların kazıklı temelleri oldukça yüksek mertebelerdeki yatay yük bileşenleri etkisinde kalabilmektedir. Bu yükler göz önüne alınmaksızın tasarlanıp, inşa edilen düşey kazıkların üst yapı yüklerini güvenli şekilde taşımaları olanaksızdır. Bu durumda yatay yükler göz önüne alınarak tasarlanan düşey kazıklarla veya bu kazıkların da taşıma gücü açısından yetersiz kaldığı durumlarda ise eğik kazıklar inşa edilerek yüksek yatay taşıma gücü sağlanabilmektedir [16].

Kazıklar pratikte değişik problemlerde başarıyla kullanılabilir. Çekme kazıkları uzun yapılarda doğabilecek momentlere karşı kullanılabilir (Şekil 3.6). Su altında yapılan tesisler veya gömülü tanklar bu tip kazıkların kullanıldığı yerlere örnek olarak verilebilir. Yatay yüklü kazıklar kazık eksenine dik uygulanan kuvvetlerin dengelenmesinde kullanılır. Kazık zemine eğik olarak yerleştirilmişse bu tip kazıklara eğik kazıklar denilir (Şekil 3.7) ve bu tip kazıklar aynı anda hem yatay hem de düşey yükleri taşıyabilirler [17]a.



Şekil 3.6 Çekme kazığı [17]a

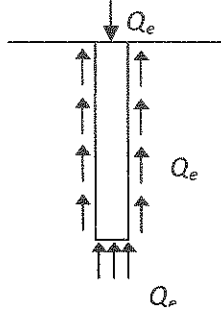


Şekil 3.7 Eğik kazıklar [17]a

3.3.3 Kazık Tasarım Kriterleri

Kazık davranışı ve kazığın taşıma gücü konusunda günümüze kadar çok araştırma yapılmıştır, ancak hala belirsizlikler mevcuttur. Kazık tasarım ve imalatı konusundaki geniş birikime göre kazık taşıma gücünün belirlenmesi için geçerli belli başlı yaklaşımlar şunlardır:

- **Mühendislik Analizi-Statik Taşıma Gücü Formülleri:** Temel zemin etüt verileri ve laboratuvar deneyleri sonuçları ile uygun parametreler tayin edilir ve kazık davranış mekanizmasına göre geliştirilmiş genel kabul görmüş taşıma gücü denklemleri kullanılır. Bu yaklaşım yüzeysel temeller için uygulanan yaklaşıma benzemektedir.
- **Arazi Yükleme Deneyleri:** Tüm kazık temel sisteminin inşa edilmesinden önce, farklı zemin özellikleri gösteren noktalarda deney kazıkları öngörülen boyutta ve yöntemle inşa edilerek yükleme deneyine tabi tutulur,
- Kazık çakma direncini esas alan dinamik kazık formülleri uygulanarak taşıma gücü elde edilir (Şekil 3.8),
- Uygulama standartları ve tecrübe doğru tasarımın önemli bileşenlerindedir [12].



Şekil 3.8 Kazık taşıma gücü bileşenleri [12]

3.4 Kazıkların Yatay Yük Altında Davranışının Analiz Yöntemleri

Liman ve kıyı yapılarında gemi çarpması, açık deniz yapılarında rüzgar ve dalga yükleri, dayanma yapıları temelleri, kule temelleri kazıkların yatay yüklenmesine birer örnektir. Bu tür kazıklarda tasarım kriteri son taşıma gücü değil çoğunlukla kazıkların maksimum şekil değiştirmesidir. Son taşıma gücü ve yer değiştirmelerin yanı sıra kazıkta eğilme ile göçme oluşma olasılığına karşı güvenlik gözetilmelidir. Genelde son taşıma gücüne maksimum şekil değiştirmeden sonra ulaşıldığı için belirleyici diğer ikinci koşul olmaktadır.

Zemin-yapı etkileşimi problemlerinden birisi olan yatay yüklü kazıkta, temasta olan kazık ve zeminde aynı şekil değiştirme ve yer değiştirme söz konusudur. Zeminde gerilme şekil değiştirme davranışı elastik olmadığından sonuçta yük-moment-şekil değiştirme arasındaki bağıntı güvenli çalışma bölgesinde dahi doğrusal olmayacaktır [14]a.

Yatay yüklü kazıklardaki doğrusal olmayan (nonlinear) davranışa neden olan iki faktör vardır. Birincisi kazık etrafındaki zeminin yük-yer değiştirme davranışı doğrusal olmayandır (nonlineerdir). Yük kazıktan zemine artan bir yüzdeyle iletilirken, yer değiştirme daha büyük bir yüzde ile artmaktadır. İkincisi ise kazığın üst kısmındaki zeminin dayanımı nihai değerine ulaştığı zaman ek yükler dayanımın nihai değerine aynı derecede ulaşamadığından daha derindeki zeminlere iletilir. Daha derin zeminlere yükleri transfer etmek için derinlik boyunca kazık daha fazla yer değiştirme yapar ve zemin direnci derinlik boyunca artar. Dolayısıyla momentler kazık başından etkileyen yüke göre çok daha hızlı artmaktadır. Yapılan analizler, maksimum moment ve

zemin direncinin yatay yükün büyük değeri için daha derinlerde oluştuğunu göstermektedir [18]a.

Yatay yükler aşağıdaki nedenlerle ortaya çıkmaktadır [16]:

1. Rüzgar yükleri,
2. Deprem yükleri,
3. Toprak basınçları,
4. Gemi çarpma kuvvetleri,
5. Gemi bağlama kuvvetleri,
6. Dalga kuvvetleri,
7. Ek su kütleleri,
8. Kazıklardaki düşey eksantrik yükler,
9. Akarsu akıntılarının köprü ayaklarında oluşturduğu yatay kuvvetler,
10. Elektrik direklerindeki kablo kuvvetleri,
11. Köprülerde araçların fren ve ilerleme hareketleri.

3.4.1 Tarihsel Gelişim

Yatay yüklü kazıkların geçmişi yaklaşık olarak 45-50 yıl öncesine Terzaghi' nin 1955 yılında yatay yüklemeler için, Winkler' in zeminini birbirine sonsuz yakınlıktaki yaylarla temsil eden modelini kullanmasına kadar götürülebilmesine rağmen bu konudaki en önemli gelişmeler son 25-30 yıl içerisinde gerçekteşmiştir. Yatay yüklü bir kazık hesabında aşağıda listelenen üç konuda çok dikkatli olunmalıdır:

- Zemin kaldıracabileceğinden daha fazla bir gerilmeye maruz kalmamalıdır,
- Kazık yer değiştirmeleri kabul edilebilir düzeyde kalmalıdır,
- Yapısal bütünlük garanti altına alınmalıdır.

Yatay yük taşıyan kazıklar sistemine izin verebilir yükü bulmak için iki farklı temel anlayış geliştirilmiştir:

- Kazığın taşıyabileceği en büyük yatay yükün kazığın yapıldığı malzemeye bağlı olan toplam kesit direnci ve zeminin taşıma gücü özellikleri kullanılarak da zemin değerlendirilir. Her ikisinde uygulanan yükler altında sağlam kalacakları kanıtlanır (Taşıma gücü yöntemi),
- Kazıkta en büyük yatay yer değiştirmeye sebep olacak olan yatay kuvveti hesaplamaktır (Yer değiştirme yöntemi).

Birinci anlayışı kabul edip buna göre çözüm öneren yöntemler ilerleyen paragraflarda verilmiştir:

Yatay yüklü kazıkta en büyük yatay yükü bulmak iki yolla gerçekleştirilebilir. Brinch Hansen ve Broms yöntemleridir.

i. Brinch Hansen Yöntemi:

Bu yöntem toprak basıncı teorisine dayanmaktadır ve aşağıdaki avantajlara sahiptir:

- Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde kullanılabilir,
- Tabakalı zeminlerde kullanılabilir.

Bunun yanı sıra dezavantajları da vardır:

- Yalnız kısa kazıklarda kullanılabilir,
- Dönme merkezinin bulunması için deneme-yanılma yöntemi kullanılır.

ii. Broms Yöntemi:

Bu yöntemin temeli de esas olarak toprak basıncı teorisine dayanır. Ancak nihai mukavemetin dağılımı hakkında bir takım kabuller yapılmıştır. Bu yöntemin avantajları:

- Kısa ve uzun kazıklar için kullanılır.
- Hem kohezyon hem de kohezyonsuz zeminleri içerir.
- Kazık başının durumuna göre (serbest-tutulu) hesap yapma imkanı sağlar.

Bu yöntemin dezavantajları:

- Tabakalı zeminlerde kullanılmaz,
- Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde kullanılmaz.

İkinci anlayışı kabul edip buna göre çözüm öneren poulos yöntemi, yatak katsayısı yaklaşımı, p-y yöntemi, CLM yöntemleridir. Yatay yüklü kazıkta müsaade edilen oluşan şekil değiştirmeler iki yolla bulunabilir. Yatak katsayısı yöntemi ve elastik teori yöntemleridir.

i. Poulos Yöntemi

Bu yöntemin esası elastisite teorisine dayanır. Yöntemin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Teorik bir yaklaşımdan daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir,
- Derinlikle beraber meydana gelen değişimler hesaba katılır ve tabakalı zeminlerde kullanılabilir.

Dezavantajları:

- Elastisite modülünün elde edilmesi ile ilgili zorluklar.

ii. Yatak Katsayısı Yaklaşımı

Bu yöntemde zeminin birbirinden bağımsız doğrusal elastik yaylar şeklinde davrandığı kabul edilir. Bu metodun avantajları:

- Kolay olması,
- Nonlineer, yatak katsayısının derinlikle değişimi gibi problemlere adapte olabilen bir yöntemdir. Tabakalı zeminlerde kullanılabilir.

Dezavantajları:

- Zemin sürekliliğini dikkate almaz,
- Yatak katsayısının bulunması,
- Zeminlerin belirleyici özelliklerinden değildir, şekil değiştirme ve temel boyutlarına göre değişir.

❖ p-y Yöntemi

Yatay yüklü kazıklarla ilgili analizlerde yukarıda sayılan metotların dışında sıkça kullanılan yöntemlerin başında p-y eğrilerinin teşkil edilmesi ile uygulanan nümerik yöntemler gelmektedir. p-y yönteminde kazık elastik veya plastik bir kirişle, zemin ise

tanımlanan yük- yer değiştirme eğrileri ile elasto-plastik davranış gösteren yaylar ile modellenmektedir. Bu yöntemde çözüme ulaşmak için sonlu farklar veya sonlu elemanlar yöntemlerinden biri kullanılmaktadır.

iii. CLM Yöntemi

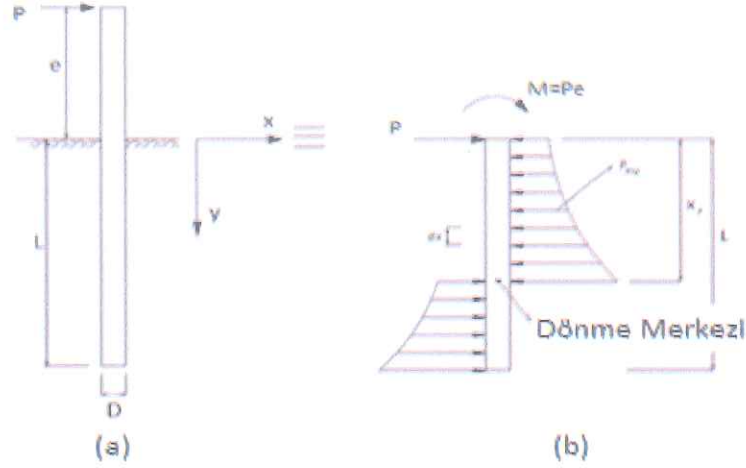
Duncan tarafından killi ve kumlu zeminlerde hem tutulu hem serbest başlı kazıklar için zemin yüzünde etkiyen yatay yük ve moment nedeniyle oluşacak ötelenmeler boyutsuz olarak eğriler şeklinde verilmektedir. Bu eğriler, izin verilebilir bir ötelenme için yükü sınırlandırma türü çözümlerde de kullanılabilir

3.4.2 Brinch Hansen (1961) Yöntemi

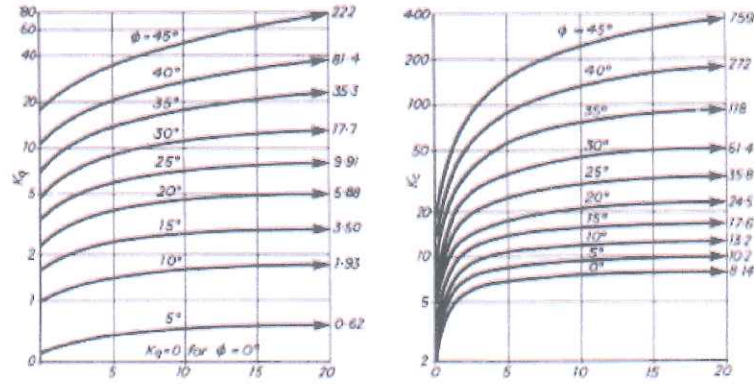
Zemin basıncı teorisine dayalı bir yöntem olup her tür de zeminde yer alan yatay yüklü kazıkların analizinde kullanılabilir. Tabakalı zeminler için elverişli olmakla birlikte sadece rijit kazıklar için uygundur. Dönüm noktasının saptanması gerekmekte ve bunun için deneme yanılma çözümleri yapılmalıdır. şekil 3.9' da yatay yüklü bir kazık için Brinch Hansen yönteminde göz önüne alınan yükleme durumu gösterilmektedir. şekil 3.9' da verildiği gibi zemin yüzünden "e" mesafede bir "P" yatay yüküne maruz bir kazıkta nihai yatay yük "P_u" veya momenti (M= P_ue) belirlemek için; şekil 3.9.b' deki kazık çevresinde derinlikle oluşan yük dağılımı için:

$$P_{xu} = \sigma_{vx}'K_q + K_c \quad (3.1)$$

yazılabilir. " σ_{vx}' " düşey efektif gerilme, "c" kohezyon, "K_c" ve "K_q" ise içsel sürtünme açısı " Φ " ve " x/D " oranına bağlı olarak şekil 3.10' den alınacak katsayılardır. Bu yöntem kullanılırken ilk olarak zemin tabakalara bölünür ve derinlikle "P_{xu}" değerleri hesaplanır. Başlangıçta dönme merkezinin yeri "x_r", için bir varsayımda bulunulur. Kazık tepesine göre moment alınarak toplam momentin sıfır olması koşulu yazılır. Bu sağlanamıyorsa "x_r" yeri denge koşulu sağlanıncaya kadar değiştirilir. "x_r" doğru değeri saptanıncaya bu kez "x_r" yerine göre moment alınarak göçme yükü "P_u" bulunur [14]a.



Şekil 3.9 Brinch Hansen yöntemi [14]a

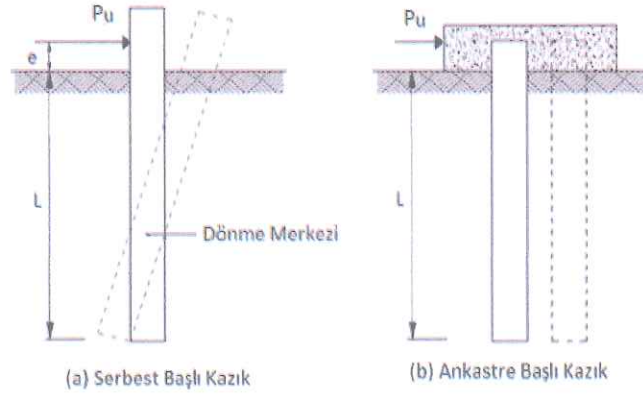


Şekil 3.10 K_c ve K_q katsayıları [19]

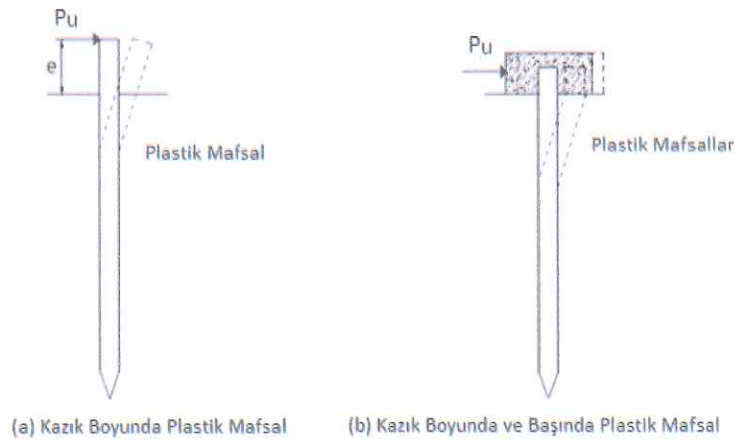
3.4.3 Broms Yöntemi

Kazığın rijitlik ve dayanım özellikleri ile kazık üzerine gelen zemin yatay basınçlarını statik ilişkiler ve limit dayanım ilkeleri içinde ele alarak çözüm sunan bir yöntemdir. Bu yöntem yatay yükü taşıyan kazıkların nihai taşıma gücünü "limit değerler" kavramı ile açıklamaktadır. Dayanma yapılarında olduğu gibi yatay yük taşıyan zemin zorlandığında zemin gerilmeleri zeminin limit basınç dayanımına (bir diğer deyişle göçme gerilmesine veya taşıma gücüne) kadar bir artış gösterir. Limit durumda, pasif basınca ulaşılır ve yapı üzerindeki zemin tepki kuvveti pasif basınç olur ve zeminle etkileşmekte olan kazıklar da şekil değiştirmeye uğrar ve eğilir. Bu sırada kazığın kritik bir kesitindeki moment, dayanım momentini aşarsa kazık o kesitte kırılır ve bir plastik mafsallı oluşur. Ancak bu durumda kazığın boyu ve kazık başının serbestliğinin rolü de göz önüne alınmalıdır. Uygulamada kazık başı, kazık radyesi ile aynı anda imal edilir (monolitik).

İmalat şekline bağlı olarak kazık başının, üst yapıdan uygulanan moment nedeni ile dönmesine izin verebilir. Şekil 3.11.a ve 3.11.b, belli bir zemin içindeki kısa kazıklar olsun. Birinci halde kazık başının dönmesine izin verilmektedir. İkinci halde ise kazık başının dönmesi engellenmiş durumdadır. Bu durumdaki bir kazık Şekil 3.11.a' da gösterildiği birinci halde yatay yük altında bir dönme merkezi etrafında döner ve merkezin üstünde kalan kısım ile altında kalan kısım komşu zemine şekilde görüldüğü yönlerde yüklenir. Şekil 3.11.b' de gösterilen ankastre başlı kazık ise bir rijit bütün olarak yükün uygulandığı yönde hareket eder ve kazık boyu boyunca önündeki zemine yüklenir. Her iki durumda hareket biçimlerinin farklılığı nedeniyle kazık boyunca basıncın dağılımı değişik olur. Bu basınç dağılımının niteliği zeminin cinsine de bağlıdır [20]a.



Şekil 3.11 Yatay yüklü kısa kazıkların davranışı [20]a



Şekil 3.12 Yatay yüklü orta ve uzun kazıkların davranışı [20]a

Şekil 3.12.a ve b' de ise kazık boyunun bir miktar uzadığı varsayılmıştır. Bu halde yatay yük altındaki serbest başlı bir kazığın tek bir merkez etrafında rijit bir kütle olarak dönmesi zorlaşır ve kazıkta enbüyük eğilme momentinin meydana geldiği kesitte bu değer aşıldığında bir plastik mafsal meydana gelir ve diğer bir değişle kazık kırılır. Kazık başının ankastre olması durumunda ise kazık başı kesitindeki negatif momentin kazığın moment dayanımına ulaşması ile kazık aynı şekilde kırılmakta ve kazık başında bir plastik mafsal oluşmaktadır (kazığın yükün ters tarafındaki dış yüzünde basınç gerilmesi yaratan moment pozitif olmaktadır). Bu durumdaki bir kazığın boyuna “orta boy” denilir. Bu ankastre başlı kazığın boyunun bir miktar daha uzatıldığı düşünüldüğünde ise plastik mafsal sadece kazık başında değil daha derindeki bir kesitte de bu kez pozitif momentin kazığın moment dayanımına ulaşması ile oluşacaktır [20]a.

Teori, yüklenen zemini kohezyonlu-granüler ve kazığın uzun-kısa niteliğine göre; nihai taşıma gücünü yaratacağı varsayılan zemin direncinin kabulü ile başar, ardından kazık-zemin etkileşimi sonucunda kazıkta plastik mafsalların oluşmasını öngören limit teoriyi öngörür [21].

3.4.4 Poulos Yöntemi

Yatay yük etkisindeki kazıklarda yer değiştirme ve momentin yatak katsayısı yaklaşımı ile belirlenmesi, zemin sürekliliğinin göz önüne alınmaması nedeniyle konunun gerçek analizi açısından yetersiz kalmaktadır. Yatay yüklü kazık davranışı, Poulos tarafından zeminin elastik ortam olarak incelenmiştir. Yaklaşımın güvenle kullanılabilmesi için zemin parametrelerinin daha fazla arazi çalışmaları (zemin etüdü) ile belirlenmesi gerekmektedir. Ancak zemin elastisite modülünün (E_s) doğru şekilde belirleme güçlüğü vardır. Bu nedenle yöntem, “ E_s ” zemin elastisite modülünün elde edilmesinin güçlüğünden dolayı daha yaklaşık sonuçlar vermektedir.

Anılan yöntem için temel varsayımlar aşağıda sıralanmıştır :

1.Şekil 3.13' da görüldüğü gibi kazık “ B_k ” genişliğinde, “ L ” uzunluğunda ve rijitliği “ $E_p I_p$ ” olan kazık ince, uzun ve düşey dikdörtgen olarak varsaymaktadır (Dairesel kazıklarda “ B_k ” genişliği kazık çapı olarak alınmaktadır). Kazık, kazık başı ve dibi arasında $\delta_p/2$ uzunluğunda iki eleman ve bu iki eleman arası eşit uzunlukta ($n+1$) sayıda parçaya

ayrılmaktadır (eleman aralığı $\delta_p=L/n$ uzunlukta) her bir elemana kazık genişliği boyunca üniform ve sabit olan “p” yatay zemin tepki kuvveti etkilemekte olduğu varsayılmaktadır.

2.Analizi kolaylaştırmak için, zemin ile kazık çevresinde oluşabilecek kayma gerilmeleri ihmal edilmiştir.

3.Her elemana üniform yatay “P” yükünün etkilemediği varsayılmaktadır.

4.Zemin ideal, homojen, izotropik, yarı sonsuz elastik malzeme, Young modülü “E”, Poisson oranı “v” olan ve kazık özelliklerinden etkilenmediği varsayılmaktadır.

5.Kazığın arka yüzeyine yakın yerdeki zemin ile kazık arasında tam aderans olduğu varsayılmaktadır; tam elastik koşullardaki zeminlerde, kazık boyunca kazık ve zemin yer değiştirmeleri eşittir. Poulos, birim elemanların merkezinde kazık ve zemin yer değiştirmelerini eşitlemektedir. Bu şekilde her bir elemanda kazık ve zemin yer değiştirmeleri eşitlenerek ve denge durumları kullanarak her bir elemanın bilinmeyen yatay yer değiştirmeleri çözmek için yeterli denge denklemleri elde edilir. Elde edilen denge denklemlerinin çözümünde yatay yüklü kazıkların iki farklı durumu göz önüne alınmalıdır. Bu sınır durumları;

1- Serbest başlı kazık: Kazık başında serbest dönme oluşması durumu,

2-Tutulu başlı kazık : Kazık başında dönme oluşmadığı durumdur.

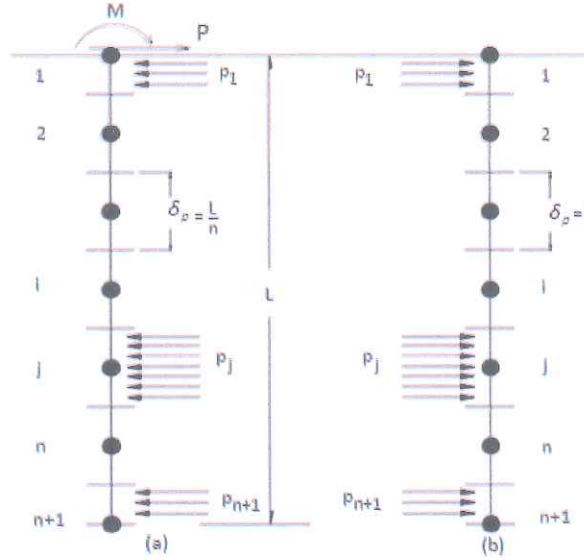
Kazık davranışını etkileyen önemli değişkenler, uzunluk–çap oranı (L/D) ve “K_R” kazık rijitlik faktörüdür.

$$K_R = \frac{E_p I_p}{E_s L^4} \quad (3.2)$$

olarak tanımlanır. Burada; “E_p” ve “E_s” sırasıyla kazık ve zeminin elastisite modülleri, “I_p” kazık en kesit atalet momentini ve “L” kazık boyunu göstermektedir. “K_R”, zemine bağlı kazığın rijitliğinin ölçüsüdür. Rijit kazıklar için ∞ ve sonsuz uzun kazıklar için sıfır limit değerlerini alır [22].

Kazık çapı boyunca üniform gerilme dağılımı varsayımının içerdiği hatalar, Douglas ve Davis tarafından rijit kazıklar için hesaplanan değerlerle karşılaştırılarak tahmin

edilebilir. Kazık boyunun kazık çapına oranı $L/D=2'$ e eşit olursa yer değiştirmeler ve dönmeler gerçek değerinin yaklaşık %25-30 altında tahmin edilebilir. Fakat L/D oranı arttıkça hata oranı düşmekte ve yaklaşık $L/D=15$ için hata ihmal edilebilir seviyelerde olmaktadır. Bu yüzden çoğu pratik durumlar için, dönme ve yer değiştirmelerin hesaplanmasında kazık boyunca üniform gerilme dağılımı varsayımı önemli hatalar vermektedir [23].



Şekil 3.13 Gerilme etkisi; a)kazığa, b)kazıktan, kazık çevresindeki zemine [22]

3.4.5 Yatak Katsayısı Yaklaşımı (Reese ve Matlock, 1956)

Yay rijitliği, kazıkların yatay yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan çok önemli bir parametredir. Yatak katsayısının elde edilebilmesi için, çeşitli araştırmacılar tarafından birçok arazi ve laboratuvar teknikleri kullanılarak kolayca elde edilebilen zemin özelliklerine bağlı ampirik ve yarı ampirik bağıntılar önerilmiştir. Hesaplarda yay rijitliğinin (sabit) rolü çok önemli olmasına karşın, çeşitli kaynaklarda verilen çizelge, abak ve formüllerden elde edilen değerler geniş bir aralıkta olabilmektedir. Sonuçların doğruluğunu, kullanılan yapısal çözümleme yönteminden çok, seçilen yatak katsayısının doğruluğu belirler. Bu nedenle, kazıkların yatay yük taşıma kapasitelerinin hesabında kullanılacak yatak katsayısı belirleme yönteminin seçiminde mühendis, doğruluk ve basitlik arasında bir denge kurmalıdır [24].

Tez çalışmasının bu bölümünde, çeşitli araştırmacılar tarafından yay rijitliklerinin (sabit) belirlenmesi için önerilen bazı yöntemler kısaca anlatılmıştır.

Bu yöntemde yatay yüklü kazığın elastik zemin üzerinde kiriş gibi davrandığı kabul edilir. Kirişin çalışmasındaki kabuller Şekil 3.14 ve 3.15’ de verilen Winkler zemin modelinden seçilmiştir. Bu modelde elastik zemin çevresinde sürekli, birbirinden bağımsız, elastik yayların yerleştirildiği kabul edilir. Yayların rijitliği “ k_h ” (Yay sabiti) aşağıdaki gibi ifade edilir. Bu tanımlamada kirişin herhangi bir noktasının kazık eksenine dik doğrultudaki yalnızca o noktadaki gerilme etkisinde olduğu varsayılmaktadır. Bu katsayı kohezyonlu zeminlerde zeminin serbest direnci ile yaklaşık olarak orantılıdır. Kohezyonsuz ve normal konsolide zeminlerde derinlikle beraber rijitlik ve kayma mukavemeti arttığı için yatak katsayısının da derinlikle birlikte arttığı söylenebilir. Aşırı konsolide killerde ise yatak katsayısı derinlikle değişmez.

$$k_h = \frac{p}{y} \quad (3.3)$$

Burada; “ p ” kazığın birim uzunluğu için yatay zemin tepki kuvvetini, “ y ” kazığın yer değiştirmesidir [25].

Palmer ve Thompson yay rijitliği için aşağıdaki formu kullanmıştır.

$$k_x = k_h \left(\frac{x}{L} \right)^n \quad (3.4)$$

Burada; “ k_x ” derinliğe göre yay rijitliği değeri, “ x ” kazık boyunca derinlikleri, “ n ” sıfıra eşit veya sıfırdan büyük bir sayıdır [26].

Kumlar ve normal konsolide killer için “ n ” değeri genel olarak aynı kullanılır. Aşırı konsolide killer için “ n ” değeri sıfır alınır. Davisson ve Prakash göre “ n ” değerleri kumda 1.5, drenajlı killerde 0.15 alınabilir. $n=1$ değeri için “ k_h ” sabitinin derinlikle alacağı değerler aşağıdaki gibi bulunur.

$$k_h = n_h x \quad (3.5)$$

Burada; “ n_h ” yatak katsayısı sabitidir [27]. Kumlu ve kohezyonlu zeminler için aldığı değerler sırasıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’ de gösterilmiştir.

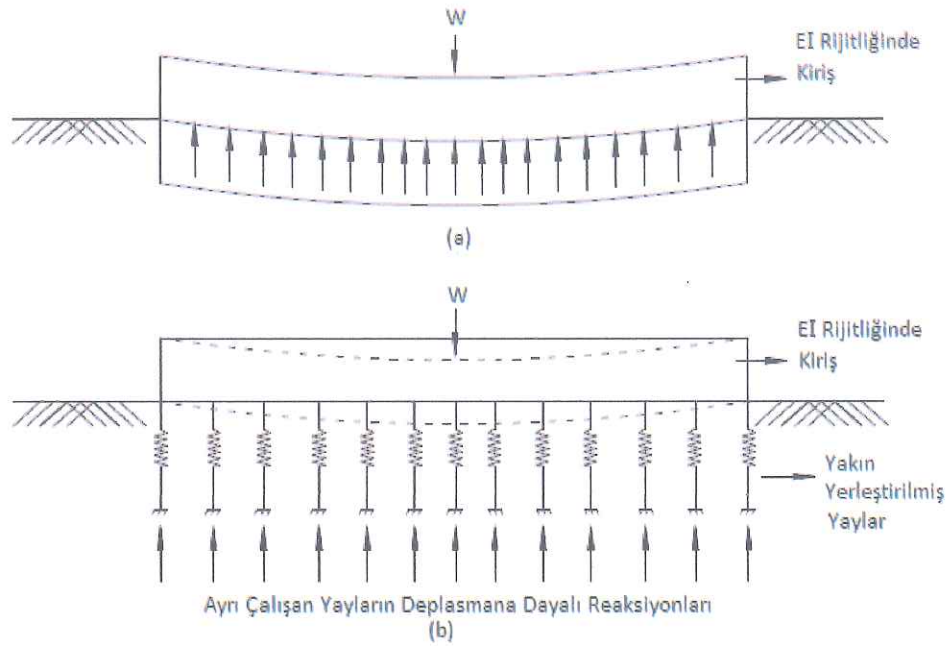
Çizelge 3.1 Farklı sıklıktaki granüler zeminler için " n_h " değerleri [25]

| Kumda Sıklık | Gevşek | Orta Sıkı | Sıkı |
|--|-----------|-----------|-------------|
| n_h , kuru ve nemli zeminde (kN/m^3) | 1800-2200 | 5500-7000 | 15000-18000 |
| n_h , su altında (kN/m^3) | 1000-1400 | 3500-4500 | 9000-12000 |

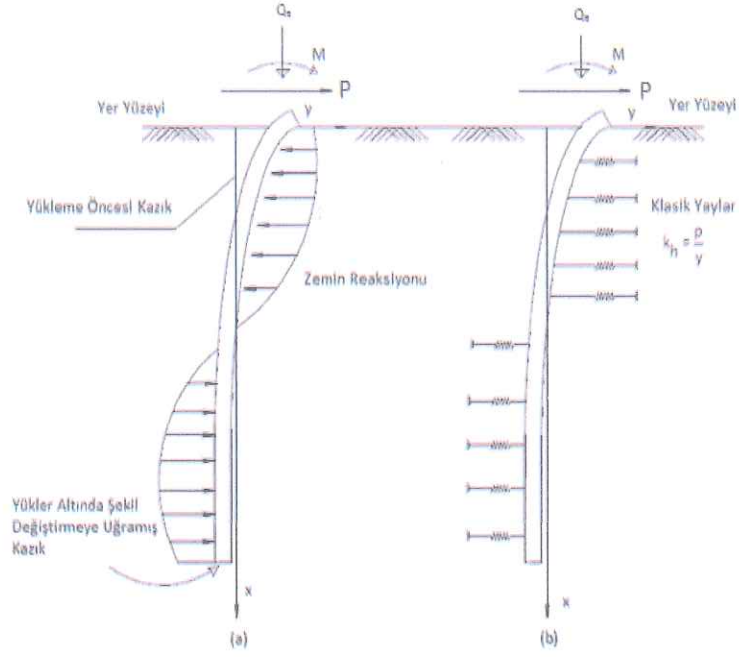
Çizelge 3.2 Kohezyonlu zeminler için farklı araştırmacılar tarafından önerilen " n_h " değerleri [25]

| Zemin | n_h , (kN/m^3) | Kaynak |
|---------------|----------------------|--------------------------|
| Yumuşak Kil | 160-3500 | Reese-Matlock (1965) |
| | 270-340 | Davissson-Prakash (1963) |
| Organik Zemin | 100-270 | Peck-Davis (1962) |
| | 100-815 | Davissson (1970) |
| Turba | 55 | Davissson (1970) |
| | 30-100 | Wilson-Hilts (1967) |

Zemin tepki kuvveti-yer değiştirme ilişkisi gerçek zeminlerde doğrusal değildir. Bu nedenle Winkler zemin modelinde bazı değişikler gerekmiştir. Bu değişikler Bölüm 3.4.7' de verilmiştir.



Şekil 3.14 Yatak katsayısı yaklaşımında kiriş; a) elastik zeminde kiriş, b) Winkler idealleştirmesi [17]b



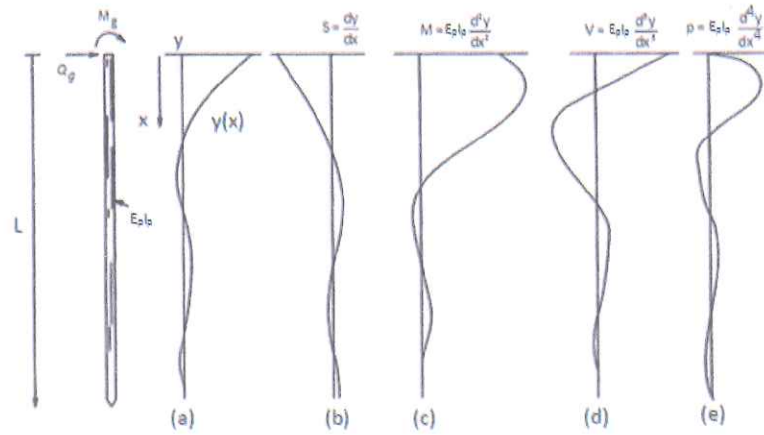
Şekil 3.15 Yatak katsayısı yaklaşımında kazık; a)zeminde yatay yüklü kazık, b)yaylar üzerinde yatay yüklü kazık [17]b

Şekil 3.14' de elastik zeminde elastik kirişin temel denklemini aşağıda verilmektedir.

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + p = 0 \quad (3.6)$$

Burada; "E_p" kazığın elastisite modülü, "I_p" kazık kesimine ait atalet momenti, "p" zemin tepki kuvvetidir ("k_h y" değerine eşittir). Eşitlik (3.6) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{k_h y}{E_p I_p} = 0 \quad (3.7)$$



Şekil 3.16 "Q_g" ve "M_g" yükleri altındaki kazığın davranışları; a) şekil değişimi,

b) "dy/dx", c)moment, d)kesme kuvveti, e)zemin direnci [17]a

Şekil 3.16' da kazık başına etkiyen "Q_g" yatay yükü ve "M_g" momentinden dolayı oluşan şekil değiştirme "y", şekil değiştirmenin derinlikle değişimi "dy/dx", moment, kesme kuvveti ve zemin direnci değişimleri görülmektedir. Bu kazığın davranışı (3.7) bağıntısıyla ifade edilebilir. (3.7) bağıntısının çözümü ise aşağıdaki fonksiyonda belirtilmiş değişkenlere bağlıdır.

$$y = f(x, T_z, L, k_h, E_p I_p, Q_g, M_g) \quad (3.8)$$

Burada; "x" zemin yüzeyinden itibaren derinlik, "L" kazık boyu, "T_z" granüler zeminlerde fiktif rijitlik boyu, (k_h=n_hx) yay rijitliği, "n_h" yay rijitliği sabiti, "E_pI_p" kazık rijitliği, "Q_g" kazık başına etkiyen yatay yük, "M_g" kazık başına etkiyen momenttir.

Çok küçük yer değiştirmelerde elastik davranışa göre analiz yapmak gerçekçi olabilmektedir. Bu tür bir davranış için süperpozisyon kuralı kullanılabilir. Bu yöntem yük-yer değiştirme eğrileri yardımıyla büyük şekil değiştirmeler için de uygulanabilmektedir. Süperpozisyon ilkesinden yararlanarak yatay yüklerden (Q_g) dolayı oluşan şekil değiştirmeler y_A, momentten (M_g) dolayı oluşan şekil değiştirmeler "y_B" olarak ifade edilebilir. "y_A" ve "y_B" ise;

$$\frac{y_A}{Q_g} = f_1(x, T_z, L, k_h, E_p I_p) \quad (3.9)$$

$$\frac{y_B}{M_g} = f_2(x, T_z, L, k_h, E_p I_p) \quad (3.10)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Bu durumda "x" derinliğindeki toplam şekil değiştirme "y_x";

$$y_x = y_A + y_B \quad (3.11)$$

olarak ifade edilebilir. "f₁" ve "f₂" farklı fonksiyonlar olmalarına rağmen aynı terimlerden oluşmuşlardır. Fonksiyondaki terimlerin sayısı altıdır ve bu terimlerin birimleri kuvvet ve uzunluk birimleridir. Dolayısıyla aşağıdaki bağımsız ve boyutsuz terimler yazılabilir.

$$\frac{y_A E_p I_p}{Q_g T_z^3}, \frac{x}{T_z}, \frac{L}{T_z}, \frac{k_h T_z^4}{E_p I_p} \quad (3.12)$$

$$\frac{y_B E_p I_p}{M_g T_z^2}, \frac{x}{T_z}, \frac{L}{T_z}, \frac{k_h T_z^4}{E_p I_p} \quad (3.13)$$

Bu boyutsuz ifadeler de aşağıdaki semboller kullanılarak işlemler daha da kısaltılabilir.

$$\frac{y_A E_p I_p}{Q_g T_z^3} = A_y \text{ (yatay yük transferi için şekil değiştirme katsayısı)} \quad (3.14)$$

$$\frac{y_B E_p I_p}{M_g T_z^2} = B_y \text{ (moment transferi için şekil değiştirme katsayısı)} \quad (3.15)$$

$$\frac{x}{T_z} = Z \text{ (derinlik katsayısı)} \quad (3.16)$$

$$\frac{L}{T_z} = Z_{\max} \text{ (derinlik katsayısı)} \quad (3.17)$$

$$\frac{k_h T_z^4}{E_p I_p} = f(x) \text{ (yay rijitliğinin (sabit) değişimi)} \quad (3.18)$$

(3.14) ve (3.15) bağıntıları kullanılarak;

$$y_x = y_A + y_B = A_y \frac{Q_g}{T_z} + B_y \frac{M_g}{T_z^2} \quad (3.19)$$

elde edilir. Benzer şekilde moment "M_x", şekil değiştirme değişimi "S_x", kesme kuvveti değişimi "V_x", zemin direnci "p_x" de aşağıdaki bağıntılarla elde edilir.

$$M_x = M_A + M_B = A_m Q_g T_z + B_m M_g \quad (3.20)$$

$$S_x = S_A + S_B = A_s \frac{Q_g T_z^2}{E_p I_p} + B_s \frac{M_g T_z}{E_p I_p} \quad (3.21)$$

$$V_x = V_A + V_B = A_v Q_g + B_v \frac{M_g}{T_z} \quad (3.22)$$

$$p_x = p_A + p_B = A_p \frac{Q_g}{T_z} + B_p \frac{M_g}{T_z^2} \quad (3.23)$$

Elastik bir temel üzerindeki kiriş davranışı ifade eden (3.7) diferansiyel bağıntısı ve süperpozisyon ilkesi kullanılarak;

$$\frac{d^4 y_A}{dx^4} + \frac{k_h y_A}{E_p I_p} = 0 \quad (3.24)$$

$$\frac{d^4 y_B}{dx^4} + \frac{k_h y_B}{E_p I_p} = 0 \quad (3.25)$$

(3.14) ve (3.15) bağıntısında “ y_A ” ve “ y_B ”, (3.18) bağıntısından (k_h/EI) , (3.16) bağıntısından (x/T_z) çekilerek,

$$\frac{d^4 A_y}{dz^4} + f(x)A_y = 0 \quad (3.26)$$

$$\frac{d^4 B_y}{dz^4} + f(x)B_y = 0 \quad (3.27)$$

elde edilir. Kohezyonsuz zeminlerde “ $\Phi(x)$ ” derinlikle arttığı için $(k_h=n_h x)$, “ $\Phi(x)$ ” yerine $(Z= x/T_z)$ kullanılabilir. Dolayısıyla (3.18) bağıntısı,

$$\frac{n_h x T_z^4}{E_p I_p} = \frac{x}{T_z} \quad (3.28)$$

şeklinde yazılabilir. Yukarıdaki bağıntıdan “ T_z ” çekilirse;

$$T_z = \left(\frac{E_p I_p}{n_h} \right)^{1/5} \quad (3.29)$$

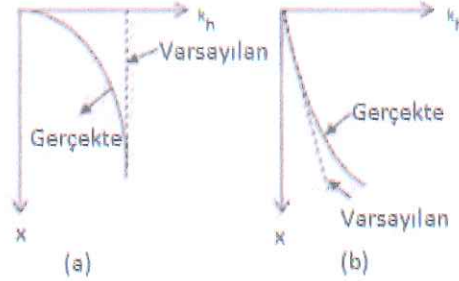
elde edilir. (3.26) ve (3.27) bağıntılarının çözümleri “Sonlu Farklar Yöntemi” kullanılarak Reese ve Matlock tarafından elde edilmiştir [28].

3.4.6 Elastisite Modülü Ve Yay Rijitliği

Yatak katsayısının derinlikle ve zemin türüne bağlı olarak değişimi kadar yer değiştirmeye bağlı değişimi de çok önemlidir. Kazık üzerine uygulanan yüke bağlı olarak yatay yer değiştirmelerle birlikte zemini temsil eden yay rijitliklerinde bir miktar azalma oluşacaktır. Zemin direnci ve kazık yer değiştirmesi arasındaki yük-yer değiştirme ilişkisini tanımlayan ve (3.30) bağıntısı ile elde edilen tipik bir p-y eğrisi Şekil 3.17.a’ da

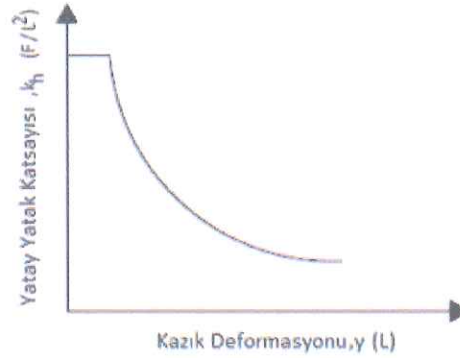
verilmektedir. Bu durumda da azalmaya neden olan mekanizma zeminde artan şekil değiştirmeye birlikte rijitliğin ve dayanımın azalmasına bağlı olarak açıklanabilir.

$$E_{py} = k_{py}x^n \quad (3.30)$$

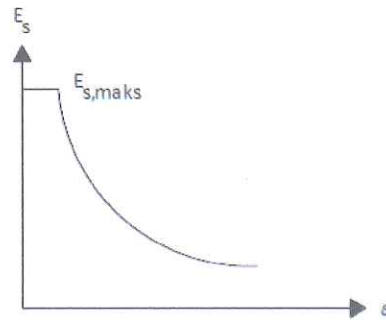


Şekil 3.17 Yay rijitliğinin derinlikle değişimi; a)aşırı konsolide killer, b)normal konsolide killer ve granüler zeminler [29]

Şekil 3.17.b' de ise yay rijitliği " k_h " kazık yer değiştirmesi ile birlikte değerindeki azalmaya ait değişim verilmektedir. Yatay yükler altındaki bir kazık için yay rijitliği küçük yer değiştirmeler için belirli bir değere kadar sabit kalır. Bu elastik davranışın ardından yatay yer değiştirmeler arttıkça yay rijitliğinin değerinin hızla azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.18 Tipik bir p-y eğrisi ve yay rijitliğinin değişimi [30]

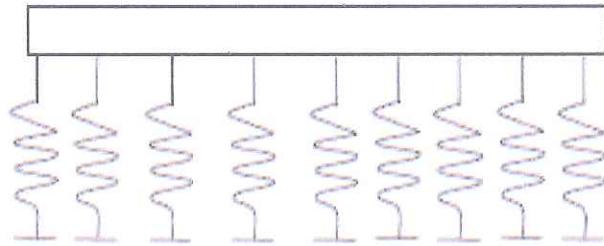


Şekil 3.19 Elastisite modülü ve birim şekil değiştirmenin değişimi [30]

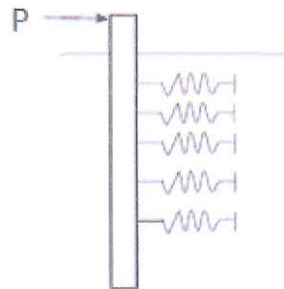
Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’ da açıkça görülmekte olan bu benzerlik özellikle yay rijitliğinin belirlenmesinde elastisite modülünden yararlanılmasına neden olmuştur. Aslında “ k_h ” ve “ E_s ” parametrelerinin her ikisi de zemine ait sıklığın veya rijitliğin bir göstergesi olsalar da farklı durumlarda kullanılmaktadır. Örneğin bir zeminin drenajlı ve drenajsız durumdaki elastisite modülü farklı olabilmektedir. Ayrıca “ k_h ” bir zemin özelliği değildir yalnızca hesaplarda kullanılan bir parametredir. Zeminin kazık veya bir temelle birlikteki rijitliğini tanımlar. “ E_s ” ise zeminin gerilmeye karşı göstermiş olduğu direnci tanımlamak için kullanılan bir parametredir [30].

3.4.7 Yatak Katsayısı Yöntemi (Winkler Metoduyla p-y Analizine Geçiş)

Yatak katsayısı yönteminin temeli, Winkler’ in 1867 yılında önerdiği zemin modelidir [31]. Winkler zemin modeline göre zemin, birbirine çok yakın sonsuz sayıda yayla temsil edilebilir (Şekil 3.20). Yatay yüklü kazıklar, elastik zemine oturan kirişler gibi düşünülebilir (Şekil 3.21).



Şekil 3.20 Winkler zemin modeli [31]

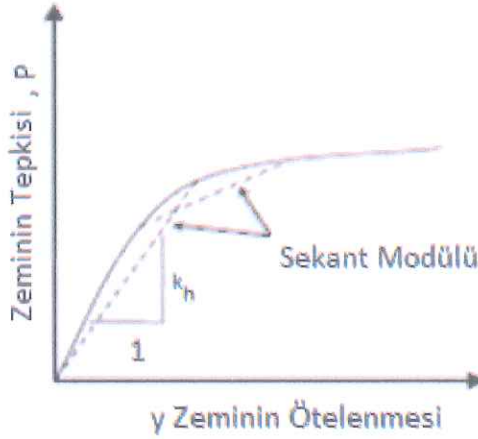


Şekil 3.21 Yatak katsayısı yöntemine göre kazığa zemin tepkisi [31]

Winkler’ in bu zemin modelini yatay yüklü kazıklar için ilk kullanan kişi Terzaghi’ dir [25]. Bu yayların sıkışabilirlik katsayısı olan “ k_h ” aynı zamanda yay rijitliği veya yay

rijitliği olarak adlandırılır ve bir noktadaki zemin tepkisi “p” o noktada kazığın yer değiştirmesi “y” ile oranı olarak tariflenir (şekil 3.22). (3.31) ile bu ilişki verilmiştir:

$$k_h = \frac{p}{y} \quad (3.31)$$



şekil 3.22 Zemin tepkisi - yer değiştirmesi (p-y) grafiği [25]

3.4.8 p-y Yöntemi

Yatay yüklü kazıkların plastik davranışlarının analizinde yatak katsayısı yöntemi yerine p-y eğrileri kullanılır. Bu bölümde ilk önce konunun teorik kısmı açıklandıktan sonra p-y eğrilerinin elde edilmesi ile ilgili bilgiler verilecektir. Yatay yüklü kazıklar, doğrusal elastik davranan kirişler olarak kabul edilirse kazıkların davranışları için aşağıdaki diferansiyel bağıntı tanımlanmaktadır:

$$E_p I_p \frac{d^4 y}{dx^4} + P \frac{d^2 y}{dx^2} - p = 0 \quad (3.32)$$

Bağıntıda; “ $E_p I_p$ ” kazık rijitliği, “y” kazık boyunca herhangi bir “x” derinliğindeki şekil değiştirmesi, “P” kazık üzerindeki düşey yükü ve “p” ise kazık boyunca birim geniliğteki zemin direncini göstermektedir. “p”, yay rijitliği “ k_h ” olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$p = k_h y \quad (3.33)$$

(3.33) bağıntısı “ k_h ” terimi “x” ve “y” fonksiyonu olarak ifade edilebilirse mümkündür. k' nın sayısal olarak ifadesinde “p”, zemin direnci “y”, şekil değiştirmenin fonksiyonu

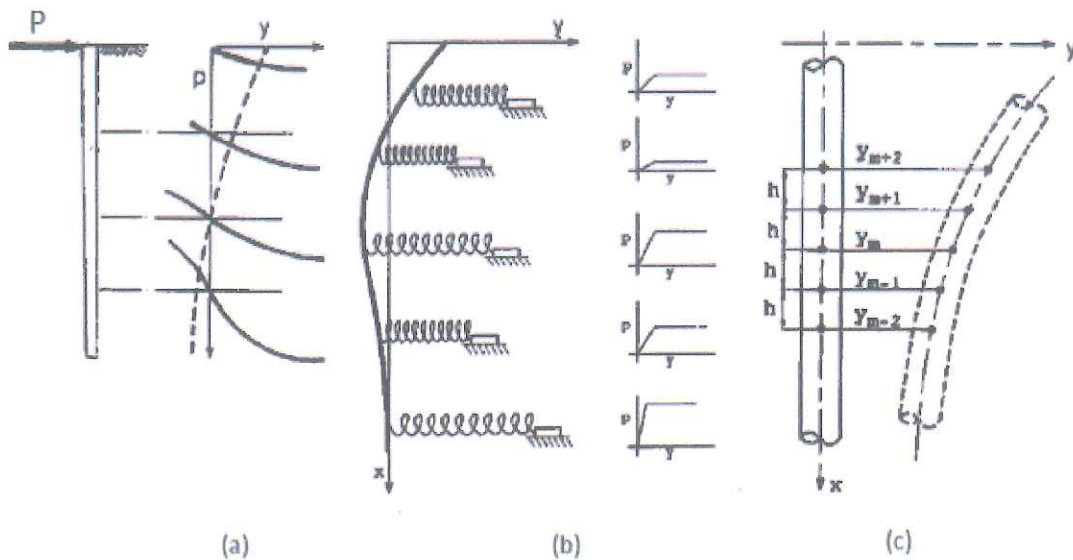
olarak ifade eden eğri grupları kullanılır. Bu eğriler tek değildir ve birçok parametreye bağlıdır.

Şekil 3.23' de p-y eğrilerinin davranışlarıyla ilgili farklı durumlar görülmektedir, p-y eğrilerinin aşağıdaki özelliklere sahip oldukları kabul edilir:

1-Yatay yüklü bir kazığın birbirinden farklı tüm düşey parçalarının şekil değiştirmesi p-y eğrileri tarafından tam olarak tanımlanabilmektedir.

2-Eğriler, kazığın şeklinden, sıklığından ve kazığın düşey kesiti boyunca herhangi bir parçasının, altındaki veya üstündeki düşey bölgelerin yüklemesinden etkilenmez. Bu kabul tam olarak doğruyu yansıtmada da pratik yaklaşımlar için kazık şekil değiştirmesinin kazığın o derinlikte maruz kaldığı zemin direncine bağlı olduğu söylenebilir. Dolayısıyla zeminin, farklı p-y eğrileri ile, Şekil 3.23.b' deki gibi, ifade edilebilmesi mümkündür.

Şekil 3.23.a' da yatay yüklü bir kazıkta kazık çevresindeki zeminde meydana gelen yatay şekil değiştirmesinin oluşan yatay basınca göre değişimi ile verilmektedir. Şekil 3.23.b' de ise "p" ve "y" eksen takımında eğrinin genel durumu ve Şekil 3.23.c' de deforme olmuş bir kazık gösterilmiştir. Gelişen bilgisayar teknolojisi yardımıyla p-y eğrileri ile çözüm yapmak kolaylaşmış ve çok kullanılan bir yöntem olmuştur.



Şekil 3.23 p-y eğrileriyle kazık şekil değiştirmesinin tanımlanması; a) farklı "x" derinliklerinde eğrilerin durumu, b) eğrilerin eksen takımındaki durumları, c) deforme olmuş kazığın durumu [17]a

Çoğu zaman kazıkların yük etkisindeki şekil değiştirme davranışı yoğun plastik şekil değiştirmeleri de içerir. Dolayısıyla yatay yüklü kazıkların analizinde iki türlü hesap yapmakta her zaman fayda vardır. Kazığın elastik analizinin yapıldığı yöntemde kullanılan zemin elastite modülü ile p-y eğrileri ile yapılan analizde kullanılan yay rijitliğinin (sabit) kıyaslanması gerekmektedir. Bu tür bir kontrol aşağıdaki hesap yöntemiyle yapılabilmektedir. Yine yatay yüklü bir kazık-zemin sisteminin p-y eğrileri elde edildikten sonra o sistemle ilgili hesaplar iterasyon tekniği kullanılarak aşağıdaki adımlarla çözülebilir:

1-Zeminin türüne göre rijitlik faktörleri “ T_z ” ve “ R ” hesaplanır. “ T_z ”, kohezyonsuz ve normal konsolide killerde “ n_h ” terimiyle hesaplanır. “ R ” hesabında aşırı konsolide killer için kullanılan “ k_{oc} ”, terimi kullanılır.

2-Hesaplanan “ T_z ” ve “ R ” değerleri ile birlikte kazığa etkiyen yatay yük “ Q_g ” ve moment “ M_g ” verileri de kullanılarak Bölüm 3.4.5’ de anlatılan yatak katsayısı metodu yardımıyla kazık boyunca oluşan “ y ” şekil değiştirmeleri hesaplanır.

3-Hesaplanan “ y ” şekil değiştirmeleri kullanılarak yatay basınç “ p ” hesaplanır. Yay rijitliği “ k_h ” ve rijitlik faktörleri (T_z ve R) aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$k_h = p/y \quad (3.34)$$

$$A. n_h = k_h/x, T_z = \left(\frac{E_p I_p}{n_h} \right)^{1/5} \text{ zeminin modülünün derinlikle artması durumu,}$$

$$B. k_h = k_{oc}, R = \left(\frac{E_p I_p}{k} \right)^{1/4} \text{ zeminin modülü derinlikle değişmiyor.}$$

Burada; “ p ” kazık boyunca birim genişlikteki zemin direncini, “ y ” yatay şekil değiştirme, “ E_p ” kazık malzemesi elastisite modülü, “ I_p ” kazık kesitinin atalet momenti, “ k_h ” yay rijitliği, “ k_{oc} ” aşırı konsolide killer için yay rijitliği ve “ n_h ” yatak katsayısı değişim çarpanıdır.

4-1. Adımdan elde edilen “ R ” ve “ T_z ” değerleri karşılaştırılır. Eğer bu değerler birbirlerini tutmuyorsa aşağıdaki şekilde işleme devam edilir.

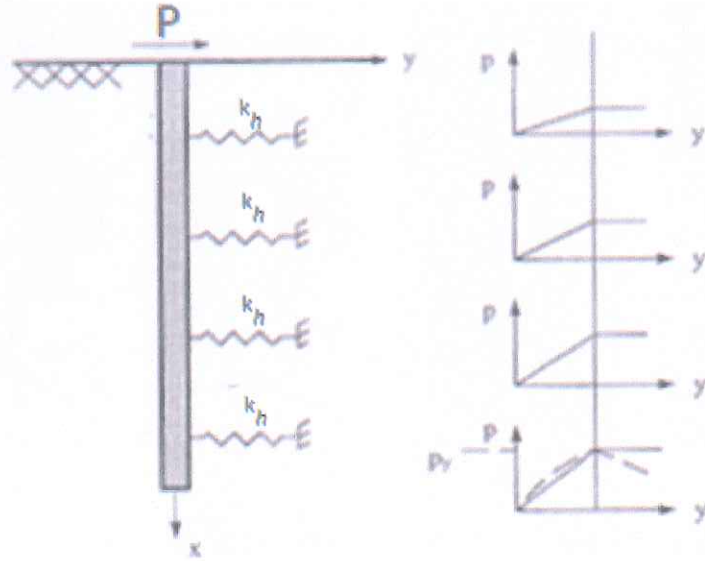
5-“ k_{oc} ” ve “ n_h ” değerleri 3. Adımda bulunan değerlere yakın değerler olarak seçilir. Bu işleme hesaplanan ve kabul edilen değerler birbirini tutuncaya kadar devam edilir. En son bulunan değerler kullanılarak şekil değiştirme ve momentler hesaplanabilir [17]a.

3.5 p-y Eğrilerinin Çıkarılması

Zemini temsil eden yayların yer değiştirmenin ve derinliğin fonksiyonu olduklarını Şekil 3.24’ de gözlemlenen davranışla ortaya konmaktadır. Bu sonucu matematiksel bir ifade ile gösterilebilir:

$$p = k_h(x, y)y \quad (3.35)$$

Şekil 3.24’ de zemini temsil eden yaylar kazığın yer değiştirmesi sonucunda yüklemeye etkisinde kalacaklar ve “ p_u ” ile gösterilen son taşıma gücü değerine kadar yüklemeye devam edeceklerdir. Diğer taraftan kazık boyunca derine doğru ilerledikçe, aynı yer değiştirme miktarına ulaşabilmek için daha fazla yük gerektiği ortaya çıkmaktadır.

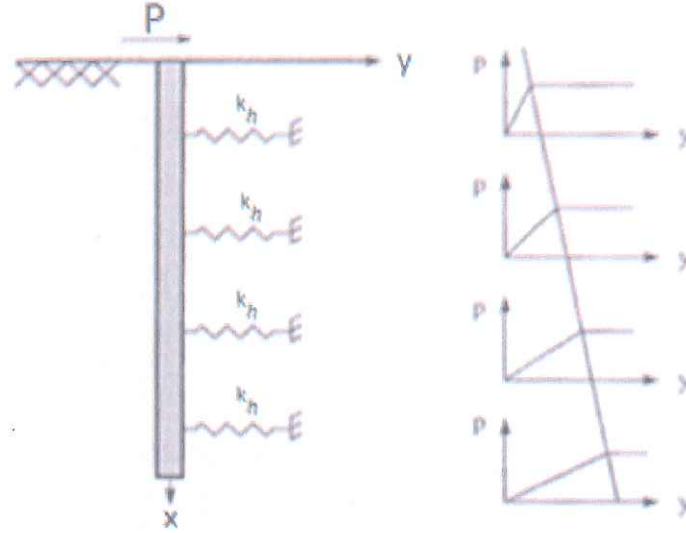


Şekil 3.24 Yatay yüklenen bir kazıkta zemin davranışının yaylarla tanımlanması [20]b

Ancak bazı zemin türlerinde (aşırı konsolide killer) ve bazen hesap kolaylığı olması için derinlikle sabit bir yatak katsayısı kabulü yapılır ve herhangi bir “x” derinliğinde, “y” yer değiştirmesini yapan yay üzerindeki “p” gerilmesi birim genişlik için;

$$p = k_h' y \quad (3.36)$$

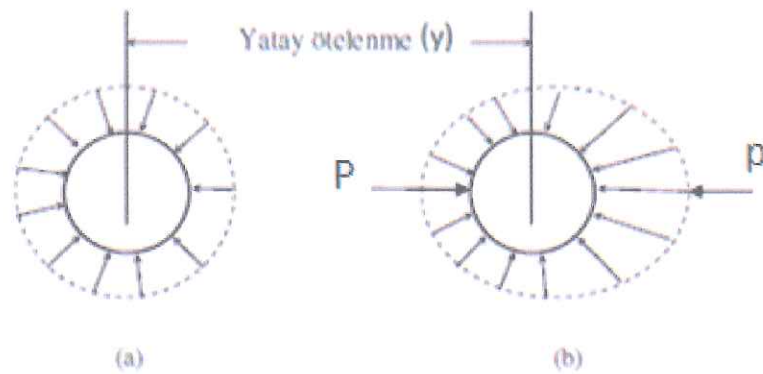
ifadesi ile gösterilir. Şekil 3.25' de ise doğrusal elastik-plastik yaylar üzerinde yüklenmiş bir kazık yer almaktadır. Bu tür bir davranış kohezyonsuz zeminlerde ve yumuşak kil-silt zeminlerin davranışını temsil etmek için sıklıkla kullanılır.



Şekil 3.25 Doğrusal elastik-plastik davranış [20]b

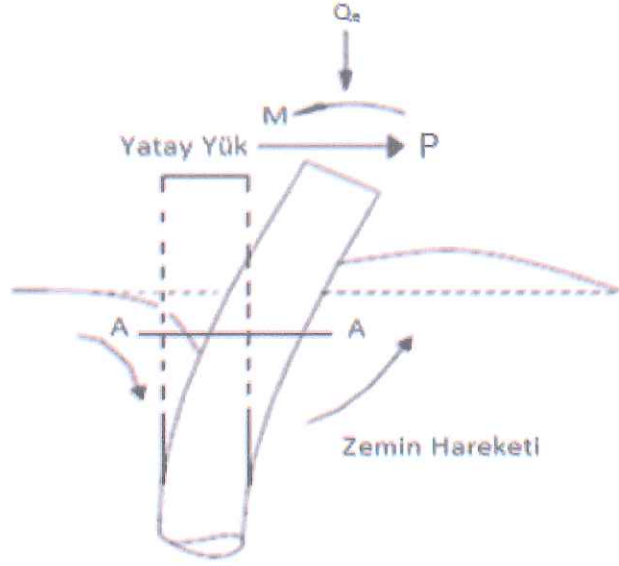
3.5.1 Kohezyonsuz Zeminlerde p-y Eğrilerinin Çıkarılması

Yüksüz bir kazıkta üniform ve simetrik bir çevresel basınç varken Şekil 3.26.a, bu kazığa bir "P" yatay yükü etkidiğinde Şekil 3.27 bu üniformalık bozulur. Yüksüz bir kazığa yatay bir yük uygulandığında kazık arkasındaki kuvvet azalırken Şekil 3.26.b' deki gibi kazık önündeki kuvvet artar [32].



Kazık çevre basıncı (a) yüklenmeden önce
(b) yüklenmeden sonra

Şekil 3.26 Kohezyonsuz zeminde tepki kuvvetinin dağılışı [32]



Şekil 3.27 Kohezyonsuz zeminde yatay yüklü bir kazık [32]

Bu durumda kazığın birim uzunluğu için belirlenen derinliklerde Şekil 3.26 “p” kuvvetleri oluşur. Bu koşullar altında kazıkta kesme ve eğilme momenti oluşacaktır. “p” ve “y” parametreleri yatay yükleme açısından şu anlama gelir;

- “y”, kazığın yatay yüklenmesiyle yatay yönde oluşan yatay yer değiştirmedir.
- “p” ise kazığın yer değiştirmesi sonucu kazığa karşı zeminde ortaya çıkan ve kazık boyunca birim uzunluğuna etkiyen tepki kuvvetidir.

p-y eğrilerinin bulunması için yapılan kabuller;

1. Bir seri p-y eğrileri kazığın farklı düşey seviyelerinde zemine yatay kuvvet uygulanınca oluşan yatay yer değiştirmelerini gösterir,

2. Eğri, kazığın şekil ve rijitliğinden bağımsız olduğu gibi üstteki ve alttaki seçilen parçalarda oluşan gerilmelerden etkilenmez. Bu kabul tamamen doğru bir kabul değildir. Bununla beraber yapılan deneyler göstermiştir ki herhangi bir derinlikte pratik tahmin için yer değiştirmenin sadece zemin tepki kuvvetine bağlı olduğu kabulü yapılabilir. Bundan dolayı bir seri farklı p-y karakteristik eğrileriyle zeminin davranışı gösterilebilir,

3. Analizler için zemin yerine bir grup birbirinden bağımsız yük-yer değiştirmeli p-y elastik yaylar düşünülebilir.

3.5.2 Kohezyonlu Zeminlerde p-y Eğrilerinin Çıkarılması

Bu yöntem kıvamı yumuşak ve sıkı arasında kalan killer için uygulanabilmektedir. Matlock tarafından öne sürülen bu yöntem aşağıdaki adımları içerir:

1-Zemin drenajsız kayma mukavemeti “ c_u ” ve birim hacim ağırlık “ γ ” elde edilir.

2-Aşağıdaki bağıntılar kullanılarak gerekli katsayılar elde edilir.

$$x_r = \frac{6D}{\frac{\gamma D}{c_u} + J} \quad (3.37)$$

Burada; “ x_r ” kritik derinlik, “ D ” kazık çapı, “ γ ” zeminin birim hacim ağırlığı, “ c_u ” kilin drenajsız kayma mukavemeti, “ J ” ampirik katsayıdır.

Matlock tarafından yapılan deneysel araştırmalar sonucunda yumuşak killer için $J=0.50$, sert killer için $J=0.25$ olarak elde edilmiştir [33].

$$x < x_r \quad \text{ise} \quad N_c = 3 + \frac{\gamma x}{c_u} + \frac{Jx}{D} \quad (3.38)$$

$$x \geq x_r \quad \text{ise} \quad N_c = 9 \quad (3.39)$$

N_c taşıma gücü katsayısı, “ x ” ise zemin derinliğini ifade etmektedir.

3-(p-y) eğrilerinin çizileceği derinlik (3.38) ve (3.39) bağıntılarından uygun olanında yerine konular ve “ N_c ” elde edilir.

4-Birim genişlikteki nihai zemin mukavemeti “ p_u ” aşağıdaki bağıntıyla elde edilir.

$$p_u = c_u N_c D \quad (3.40)$$

“ p_u ” nihai zemin mukavemetine karşılık gelen şekil değiştirmesi “ γ_c ” ile gösterilirse bu şekil değiştirmeyi;

$$\gamma_c = 2.5 \varepsilon_c D \quad (3.41)$$

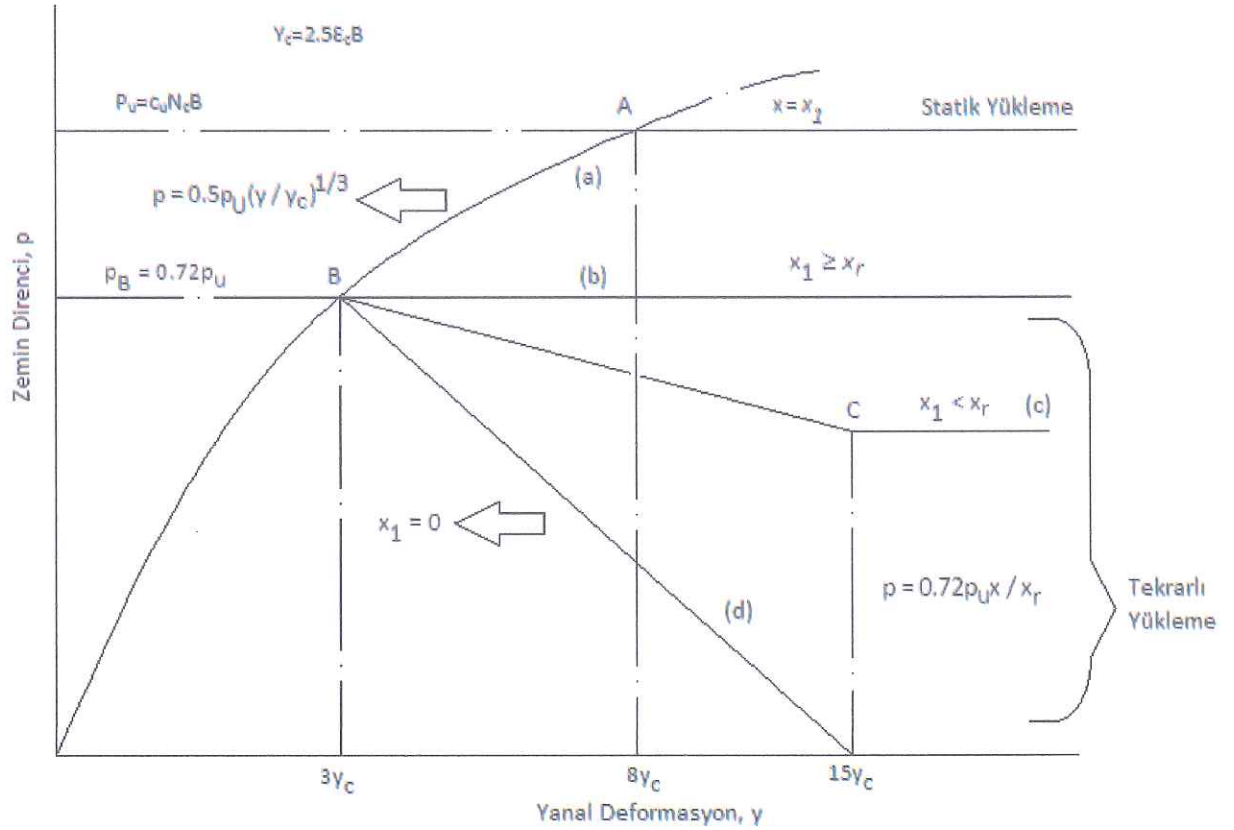
olarak ifade etmek mümkündür. “ ε_c ”, drenajsız üç eksenli basınç deneyinden elde edilen ve maksimum gerilmede oluşan şekil değiştirmedir. Bu şekil değiştirme, “ p_u ” basıncı altında meydana gelen “ γ_c ” şekil değiştirmesine karşı gelen deneysel şekil değiştirmedir. Matlock deney verilerinin olmaması durumunda “ ε_c ” için, hassas ve gevrek zeminlerde 0.005, konsolide olmamış tabakalar veya yoğrulmuş ve örselenmiş

tabakalar için 0.02, normal konsolide killer için 0.01 değerlerinin kullanılması önerilmiştir [33].

5-Şekil 3.28' deki gibi ifade edilen p-y eğrisi aşağıdaki eşitlikler kullanılarak elde edilmiştir.

$$p = 0.5p_U(y/y_c)^{1/3} \quad (3.42)$$

p-y eğrileri, drenajsız üç eksenli basınç deneyinden elde edilen gerilme-şekil değiştirme veya plaka yükleme deneylerindeki etkisi Şekil 3.28' de gösterilen ifadelerle ve tekrarlı yüklemelerde " x_1 " derinliği kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır;



Şekil 3.28 Kohezyonsuz zeminler için p-y grafiği [18]a

- $x_1 \geq x_r$ ise p-y eğrisi $p_B = 0.72p_U$ noktasında kesilir ve yatay eksenle uzatılır (b eğrisi).
- $x_1 < x_r$ ise eğri B noktasında C noktasına birleştirilir (c eğrisi). C noktası $y = 15y_c$ yatay şekil değiştirmesinin ve $p = 0.72 p_U x / x_r$ olduğu noktadır.

- c. $x_1 = 0$ ise B noktası yatay ekseninde $y=0.15 y_c$ noktasıyla birleştirilir. $y \geq 0.15 y_c'$ de zemin direncinin sıfır olduğu kabul edilmiştir.

6-Farklı derinlikler için bu işlem tekrarlanarak p-y eğrileri elde edilir.

3.6 CLM (Karakteristik Yük) Yöntemi

Tek kazığın yatay yüklemesi için iyi bir referans oluşturmaktadır. Yöntemin veri hazırlama ve hesaplamada uzun zaman alışı bazı projelerde kullanımını kısıtlamakta olup Duncan vd. tarafından CLM (Characteristic Load Method) yöntemi buna iyi bir alternatif oluşturmaktadır [34].

Yöntemde kazığın çap ve eğilme rijitliği ile zemin mukavemet ve gerilme-şekil değiştirme davranışı özelliklerini içeren karakteristik bir yük ve karakteristik bir moment tanımlanmaktadır.

Karakteristik yük;

$$\text{Kilde } P_c = 7.34B^2(E_p R_I) \left(\frac{C_u}{E_p R_I} \right)^{0.68} \quad (3.43)$$

$$\text{Kumda } P_c = 1.57B^2(E_p R_I) \left(\frac{\gamma^I B \Phi^I K_p C_u}{E_p R_I} \right)^{0.57} \quad (3.44)$$

ve karakteristik moment;

$$\text{Kilde } M_c = 3.86B^3(E_p R_I) \left(\frac{C_u}{E_p R_I} \right)^{0.46} \quad (3.45)$$

$$\text{Kumda } M_c = 1.33B^3(E_p R_I) \left(\frac{\gamma^I B \Phi^I K_p C_u}{E_p R_I} \right)^{0.40} \quad (3.46)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada R_I atalet momenti oranı olup,

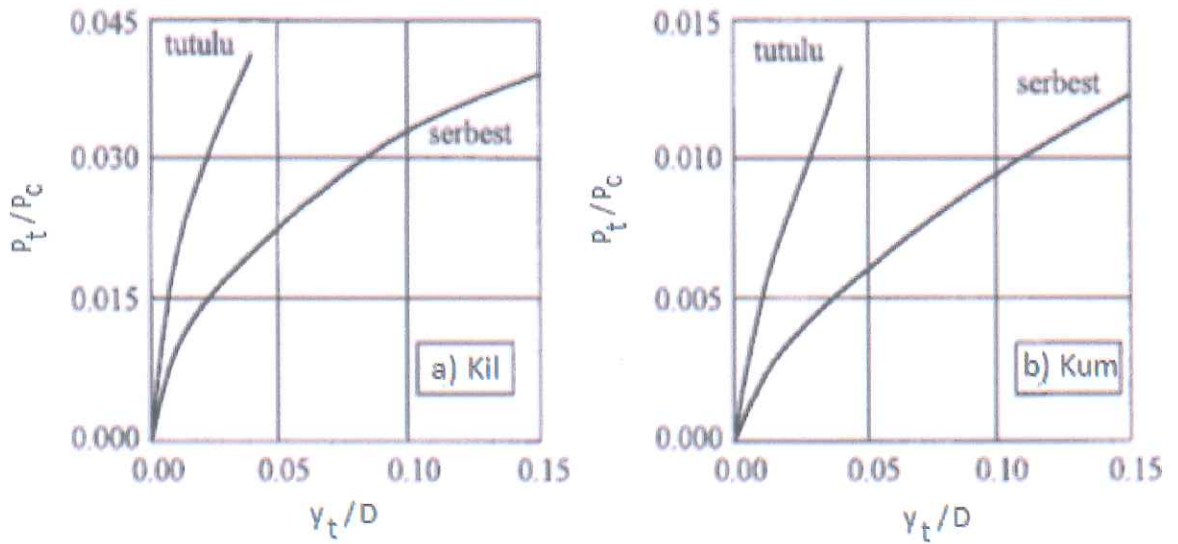
$$R_I = \frac{I_p}{I_{\text{daire}}} \quad (3.47)$$

şeklinde verilmektedir. Burada " I_p " kazık atalet momenti, " I_{daire} " ise dolu dairesel kesit atalet momentini göstermektedir. " γ " için yer altı suyu altında su altındaki, yer altı

suyu üzerinde toplam birim hacim ağırlığı alınacaktır. “ K_p ” Rankine pasif itki katsayısıdır. Drenajsız kayma mukavemeti “ C_u ” nun arazi veya üç eksenli basınç deneyleriyle, “ Φ ” nin ise arazi deneyleri ile bulunması önerilmektedir.

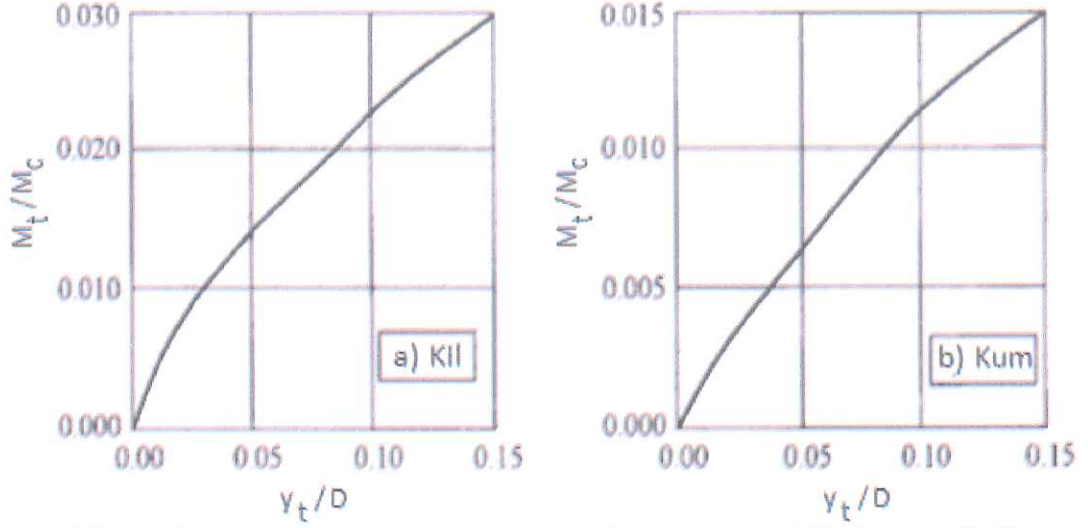
Yatay yük etkisinde kazık başı civarının davranışı önemli olduğundan zemin yüzeyinden itibaren 8D derinliğe kadar ortalama “ C_u ” ve “ Φ ” almak yeterlidir. Donatılı kazıklarda eğilme rijitliği “ $E_p I_p$ ” kesit tesirlerinin çatlama yaratacak büyüklükte olması halinde azaltılmalıdır. Azaltılmanın miktarı, hesaplanan maksimum momentin son moment kapasitesi veya çatlak yaratacak momente oranına göre alınmalıdır.

Duncan vd. tarafından killi ve kumlu zeminlerde hem tutulu hem serbest başlı kazıklar için zemin yüzünde etkiyen yatay yük ve moment nedeni ile oluşacak şekil değiştirmeler boyutsuz olarak eğriler Şekil 3.29 ve Şekil 3.30’ da verilmektedir.



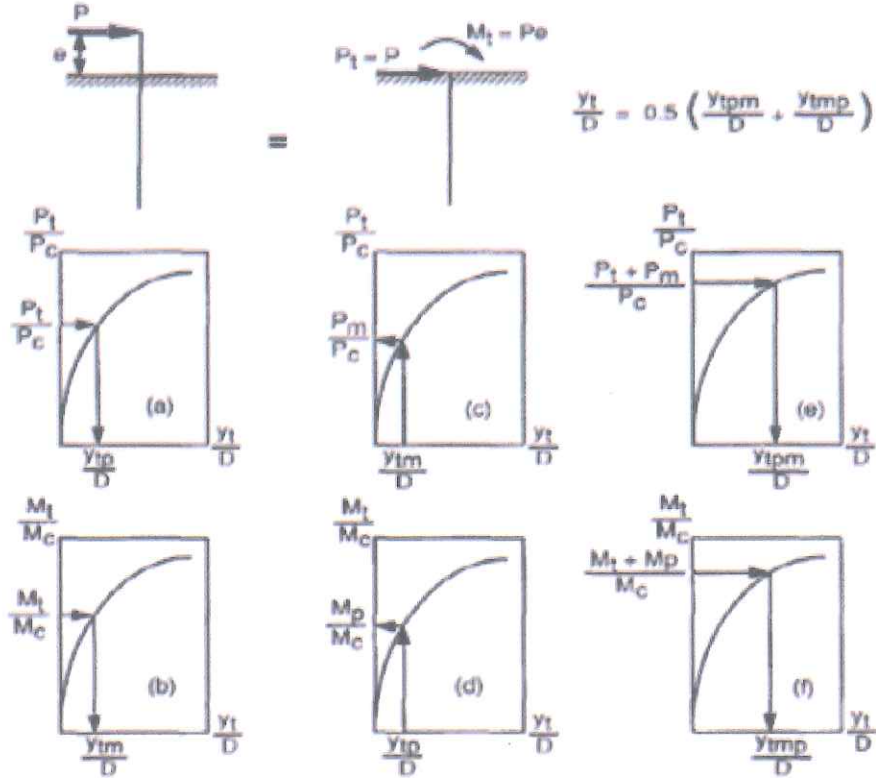
Şekil 3.29 CLM yöntemiyle yatay yük nedeniyle oluşan yer değiştirmeler [18]b

Eğriler, verilen bir yük nedeni ile yer değiştirmeleri tahmin etmekte kullanıldığı gibi izin verilebilir bir yatay yer değiştirme için, yükü sınırlandırma türü çözümlerde de kullanılabilir. Eğrilerden kazık başı için ön görülen kinematik şartın toplam kazık yer olan büyük etkisi görülmektedir. Pratikte kazıkların kazık başlıklarına yeterince gömülüp moment transferi için gerekli donatı yerleştirilen durumlarda kazık başının tutulu olduğu varsayılır. Kazık başında moment etkimesi halinde yatay yer değiştirmeler yine boyutsuz formda şekillerden tahmin edilebilir.



Şekil 3.30 CLM yöntemiyle moment nedeniyle oluşan yer değiştirmeler [18]b

Eğer yatay kuvvet zemin yüzeyinden yukarıda etkiyorsa, bu zemin yüzeyine bir yatay kuvvet ve bir moment olarak indirgenir. Kazıkların yük ve moment etkisinde davranışı doğrusal olmadığından aşağıda belirtilen yolla doğrusal olmayan bir süperpozisyon kuralı önerilmektedir.



Şekil 3.31 CLM yönteminde doğrusal olmayan yük ve moment süperpozisyon kuralı adımları [18]b

Kazıkların yük ve moment etkisinde davranışı doğrusal olmadığından doğrusal bir süperpozisyon kuralı yerine Şekil 3.31' de belirtilen yolla doğrusal olmayan bir süperpozisyon kuralı önerilmektedir.

1. Yalnız başına yük etkimesi halinde yatay yer değiştirme " Y_{tp} " ile yalnız moment etkimesi halindeki yatay yer değiştirme " Y_{tm} " yukarıdaki eğrilerden bulunur.
2. Momentin doğuracağı yatay yer değiştirmeyi yaratacak yük " P_m " ile yükün yaratacağı yer değiştirmeyi verecek moment " M_p " yine eğrilerden ters işlem yapılarak bulunur.
3. " P_t+P_m " ile " M_t+M_p " yük ve momentlerine karşılık gelen " Y_{tpm} " ve " Y_{tmp} " yatay yer değiştirmeleri bulunur.
4. Zemin yüzünden yukarıda etkiyen yük için beklenen yatay yer değiştirme ;

$$Y_{\text{birleşik}}=0.5(Y_{tpm}+Y_{tmp}) \quad (3.48)$$

eşitliğiyle hesaplanabilir [18]b.

3.7 Yüzey Sürtünmesiyle Oluşan Düşey Şekil Değişikliklerinin t-z Eğrilerinin Çıkarılması



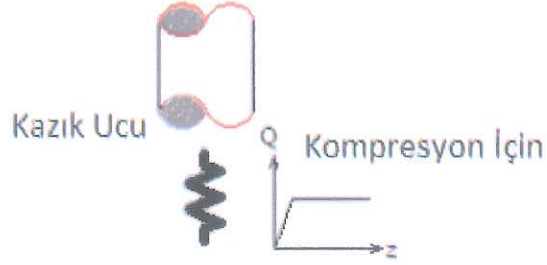
Şekil 3.32 t-z arasındaki ilişki

Kazığın aksenal rijitliği, zeminin aksenal direnç bileşenleri kadar kazık rijitliğinin bir fonksiyonudur. Kazığın aksenal rijitliğini tanımlamak için analitik bir model belirlenir ve bu model yani t-z eğrileri kazığın uzunluğu boyunca zemin tarafından sağlanan destek modelidir (Şekil 3.32).

Bu metot basitçe kazıkları, her biri doğrusal olmayan yaylara bağlanmış çok kısa elemanlara böler, ki bu yaylar kazık ucuna birbirleriyle doğrusal olmayan yaylarla

bağlıdır. Çeşitli ampirik ve teorik metotlar t-z eğrilerini geliştirmek için kullanılabilir. En yaygın metotlardan biri API 2000 kılavuzun da tanımlanmıştır.

3.8 Uç Sürtünmesiyle Oluşan Düşey Şekil Değişikliklerinin Q-z Eğrilerinin Çıkarılması



Şekil 3.33 Q-z arasındaki ilişki

Kazığın rijitliği, zeminin kazığın uç noktasındaki bileşenleri ile kazık rijitliğinin bir fonksiyonudur. Kazığın rijitliğini tanımlamak için analitik bir model belirlenir, bu model yani Q-z eğrileri kazığın uç noktasında zemin tarafından sağlanan destek modelidir (Şekil 3.33).

Bu metot basitçe kazıkları, her biri doğrusal olmayan yaylara bağlanmış çok kısa elemanlara böler, ki bu yaylar kazık ucuna birbirleriyle doğrusal olmayan yaylarla bağlıdır. Çeşitli ampirik ve teorik metotlar Q-z eğrilerini geliştirmek için kullanılabilir. En yaygın metotlardan biri API 2000 kılavuzun da tanımlanmıştır.

YANAŞMA YAPILARININ YATAY YÜK TAŞIMA KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ

4.1 Giriş

Bu tez çalışmasında, DLH2008 yönetmeliği Pragraf 2.1.1.2' de belirtildiği üzere, zemin-kazık, kazık-yapı etkileşimini dikkate alabilmek amacıyla düşey ve eğik kazıklardan oluşan mevcut iki farklı iskele yapısına ait numerik modeller oluşturulmuş, zemin-kazık etkileşimi Böl.3' de anlatıldığı gibi elastik olmayan yaylar ile temsil edilmiştir. Anılan etkileşimi daha da açığa çıkarabilmek amacıyla yapıların üç farklı zemin üzerinde inşa edilmiş olduğu düşünülmüş, her bir durum ve her bir iskele yapısı için yatay yük taşıma kapasiteleri ile maksimum yatay yer değiştirmeler itme analizi ile belirlenmiştir.

Mevcut yanaşma yapılarının yatay yük taşıma kapasitelerinin değerlendirmesinde Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde; birinci (deprem doğrultusunda hâkim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizi yapılır. Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarında bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılır. Bu yöntem ile:

- Yapısal elemanların kuvvet talepleri,
- Elemanların elastik olmayan yer değiştirme talepleri,
- Göreli kat şekil değiştirmeleri,

- Yapısal elemanlarda meydana gelecek plastik mafsalların oluşum sırası,
- Yapının göçme mekanizması,
- Yapı sisteminin süneklik düzeyi,
- Kapasite eğrisi,

elde edilebilir.

4.2 Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri Kavramları

Performansa dayalı tasarımın üç önemli kavramı talep, performans ve kapasitedir. Tasarıma esas deprem hareketi ile talep, yapının bu talebi karşılama yeteneği ile de kapasite kastedilmektedir. Performans ise kapasitenin talebi karşılama yeteneği olarak düşünülmelidir. Yapının tasarım veya değerlendirme performans hedefine ulaşması için kapasitenin talebi karşılayacak düzeyde olması gerekmektedir.

- **Kapasite**

Yapının toplam kapasitesi yapıyı oluşturan elemanlarının dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerine bağlıdır. Elastik sınıra kadar olan kapasite doğrusal analiz yöntemleri ile hesaplanabilirken, elastik sınırın ötesindeki kapasiteyi belirleyebilmek için itme (pushover) analizi gibi doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerine ihtiyaç vardır.

- **Talep**

Göz önüne alınan deprem etkisinde binada ortaya çıkacak kesit etkileri, şekil değiştirme ve yer değiştirme değerleridir.

- **Performans**

Kapasite ve talep eğrilerinin kesişmesiyle belirlenen performans noktası altında yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarların düzeyine ve dağılımına bağlı olarak belirlenen yapı güvenliği durumudur.

4.3 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İçin İşlem Sırası

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin amacı, birinci (deprem doğrultusunda hâkim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında

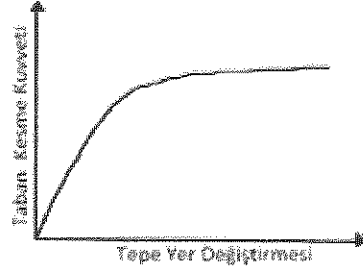
doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her adımında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır. Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, sadece her iki deprem doğrultusunda da tam simetrisi olan düzenli sistemlere uygulanabilir. Aşağıda yöntem için algoritma verilmiştir.

- Yanaşma yapısında her iki deprem doğrultusu için simetri uygunluğu kontrol edilir.
- Şekil değiştirmeye göre tasarım ilkeleri göz önünde bulundurularak yapının nümerik modeli oluşturulur.
- Zemin sınıfı dikkate alınarak deprem tasarım spektrumu belirlenir. Tasarım spektrumu, spektral yer değiştirme – spektral ivme eğrisine dönüştürülür.
- Tahmini bir yer değiştirme değeri için itme analizi yapılarak yapının kapasitesi belirlenir.
- İtme analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisi yapı dinamiğindeki temel bağıntılar yardımıyla spektral ivme (S_a)-spektral yer değiştirme (S_d) düzleminde tanımlı modal kapasite eğrisine dönüştürülür.
- Kapasite spektrumu ile talep spektrumu " S_a-S_d " koordinat sisteminde çizilerek öngörülen deprem etkisi altında yapının performans noktası (yer değiştirme istemi) eşit yer değiştirme prensibi yardımıyla elde edilir. Daha sonra yapının hâkim titreşim moduna ait titreşim özelliklerinden yararlanılarak yer değiştirme istemine karşı gelen tepe yer değiştirmesi hesaplanır.
- Tepe yer değiştirme istemine ulaşılan kadar itme analizi tekrarlanır.
- Statik itme analizinin hedef yer değiştirme sınırına ulaştığı son adımında plastik mafsallarda kesitlerdeki dönmeler elde edilir. Plastik dönmeler plastik mafsallara boyuna bölünerek plastik eğrilikler elde edilir. Moment-eğrilik analizi ile elastik eğrilikler belirlenir, plastik eğriliklerle toplanarak toplam eğrilikler bulunur. Yine moment-eğrilik analizi ile birim şekil değiştirme istemleri hesaplanır.

- Şekil değiştirme istemleri yönetmelikte tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenerek istenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir.

4.4 Kapasite Eğrisi

Yapısal kapasite itme eğrisi (kapasite eğrisi) ile temsil edilir (Şekil 4.1). Yapı; sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yük altında, kesitte ve malzemede elastik ötesi davranış göz önüne alınarak (Bknz. Böl. 4.4.1), taşıma kapasitesinin sona erdiği duruma kadar itilir. Bu analiz sonucunda her yük artımı için (Bknz. Böl. 4.4.2), yapıda tepe yer değiştirmesi ve taban kesme kuvveti (yatay yük kapasitesi) belirlenerek grafik ortamda çizilecek olursa kapasite eğrisi elde edilmiş olur.



Şekil 4.1 Kapasite eğrisi [35]

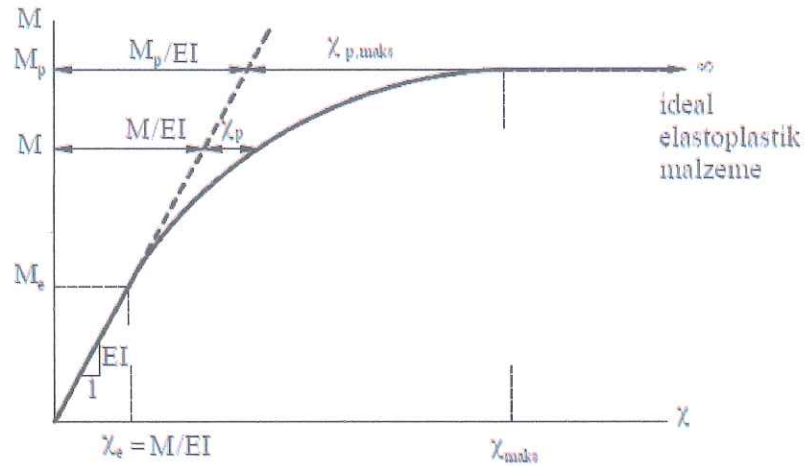
İtme eğrisinde eğimin değiştiği her nokta yapıda hasar gören yani plastikleşen kesite karşı gelmektedir (plastik mafsal). Son nokta ise hali ile sistemi mekanizma durumuna ulaştıracak plastik mafsal kesitini ve o yüklemeye ait kapasiteyi işaret edecektir. Bu bağlamda, kapasite eğrisinin izlenmesi sistemin adım adım mekanizma durumuna nasıl ulaştığının belirlenmesi ve her adımda hasar gören kesitlerdeki kapasite değerlerinin (yük-yer değiştirme) elde edilmesi açısından oldukça önemlidir [35].

4.4.1 Plastik Mafsal Hipotezi

Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin

doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, plastik mafsalsal (plastik kesit) hipotezi adı verilir.

Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren sistemlerde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsalsal hipotezi yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir.



Şekil 4.1 Eğilme momenti- eğrilik diyagramı [36]

Doğrusal olmayan malzemeden yapılmış bir kesitteki gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 4.2' te verilen bir düzlem çubuk elemanın bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekil değiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeler Şekil 4.3' te gösterilmişlerdir.

Şekil 4.2' de gösterilen eğilme momenti-eğrilik diyagramı mafsalsal hipotezinde, çubuk elemanı üzerinde l_p uzunluğundaki bir bölgede sürekli olarak yayılmış olan plastik şekil değiştirmelerin;

$$\varphi_p = \int_{l_p} \chi_p ds \quad (4.1)$$

Şeklinde plastik mafsalsal olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada φ_p plastik mafsalsalın dönmesini göstermektedir.

Plastik mafsalsal hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti- eğrilik bağıntısını izleyen şekilde iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir (Şekil 4.4).

$$M \leq M_p \text{ için } X = \frac{M}{EI} \quad (4.2)$$

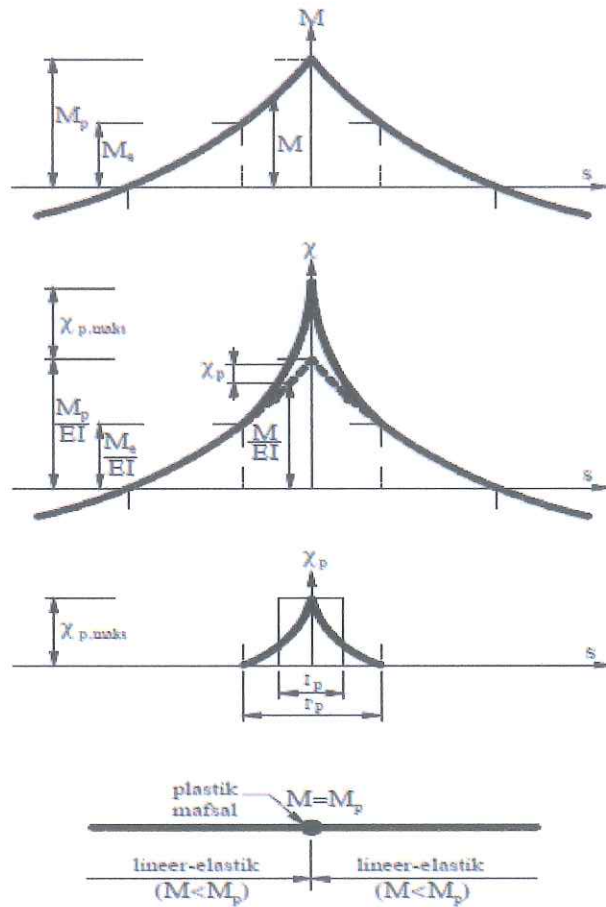
$$M \leq M_p \text{ için } X \rightarrow X_{p,maks} \quad (4.3)$$

Artan dış yükler altında, plastik mafsalin dönmesi artarak *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere ulaşınca, meydana gelen büyük plastik şekil değiştirmeler nedeni ile kesit kullanılamaz hale gelir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsal dönmelerinin kendilerine ait dönme kapasitelerine ulaşması halinde ise, yapı sisteminin kullanım dışı kaldığı varsayılır. Dönme kapasitesi (4.4)'e göre hesaplanır.

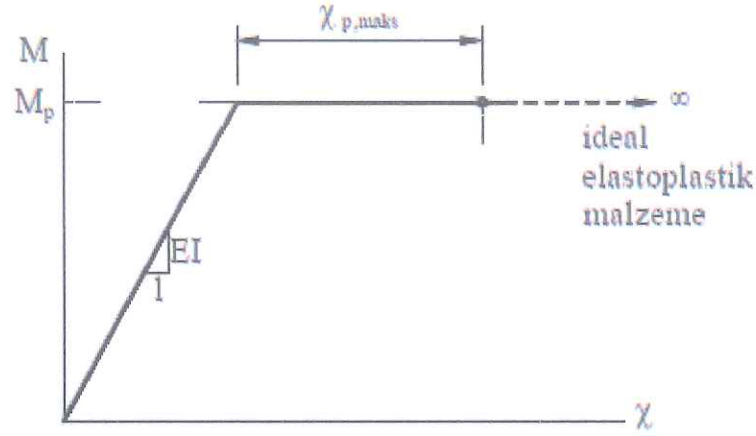
$$\varphi_{p,maks} = l_p \cdot X_{p,maks} \quad (4.4)$$

Burada l_p , plastik bölge uzunluğunu (plastik mafsal boyu) göstermektedir ve yaklaşık olarak denklem (4.5) ile hesaplanır.

$$l_p \approx 0.5d \quad (d : \text{en kesit yüksekliği}) \quad (4.5)$$



Şekil 4.3 Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler [36]



Şekil 4.4 İdealleştirilmiş bünye bağıntısı [36]

Betonarme yapı sistemlerinde dönme kapasitesi çeşitli etkenlere bağlıdır. Bunlar;

- Betonarme betonu ve beton çeliğinin σ - ε diyagramlarını belirleyen ε_{cu} ve ε_s sınır birim boy değiştirmeleri,
- Betonarme betonun ε_{cu} birim boy değişimini etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni,
- Plastik bölge uzunluğunu etkileyen en kesit boyutları,
- Eğilme momenti diyagramının şekli ve kesitteki normal kuvvettir.

Yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan plastik mafsal hipotezinin esasları aşağıda özetlenmiştir.

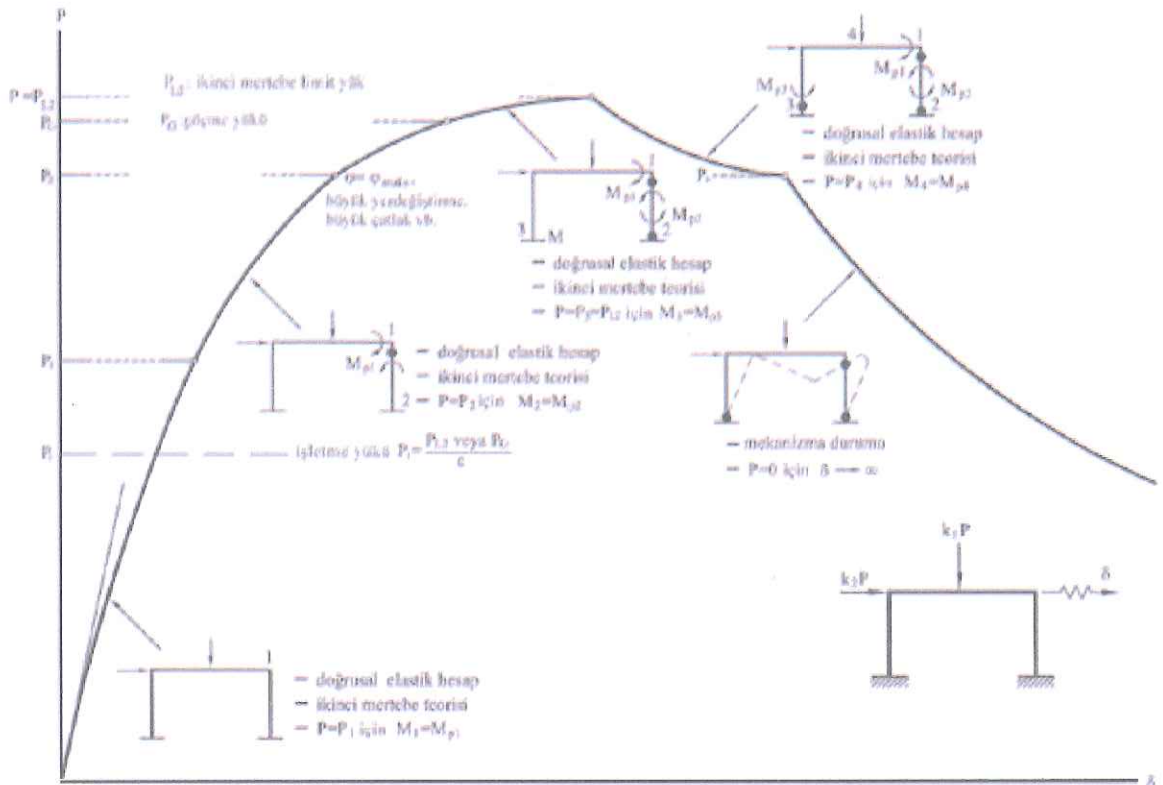
- Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsal oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti sabit olarak kalır ve kesit serbestçe döner. Kesitteki eğilme momentinin değeri M_p değerinde sabit kalır. Plastik mafsalda ki φ_p plastik dönme değeri artarak dönme kapasitesine ($max\varphi_p$) erişince sistem kullanılamaz durumu gelir. Yani geçer.
- Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal elastik olarak davranır.
- Kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetinde etkimesi halinde M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulunda bulunan indirgenmiş plastik moment (M_p') değeri kullanılır.

4.4.2 Yük Artımı Yöntemi

Plastik mafsalsal hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan dış yükler altındaki davranışı Şekil 4.5 ile açıklanmıştır.

Artan dış yükler altında, her plastik mafsalsal oluşumundan sonra, o noktaya bir adi mafsalsal koymak ve M_p plastik momentini dış yük olarak etki ettirmek suretiyle elde edilen sistem doğrusal-elastik teoriye göre hesaplanır. Sistemin doğrusal elastik-teoriye göre hesabı için Kuvvet veya Yer değiştirme yöntemlerinden herhangi biri kullanılabilir.

Belirli sayıda plastik mafsalsal oluşumundan sonra, sistem kısmen veya tamamen mekanizma durumuna ulaşır; yani stabilitesini yitirerek yük taşıyamaz hale gelir (Şekil 4.6). Bu duruma karşı gelen P_L yük parametresi *limit yük (birinci merteye limit yük)* olarak tanımlanır. Bu tanıma göre, limit yük sistemin tümünü veya bir bölümünü mekanizma durumuna getiren yüküdür.



Şekil 4.5 Plastik mafsalsal hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin

artan yükler altındaki davranışı [36]

Bazı hallerde limit yükten önce, plastik mafsallardaki dönmelerin dönme kapasitesine ulaşması, büyük yer değiştirmelerin oluşması veya betonarme sistemlerde büyük çatlakların oluşması nedeni ile sistem geçebilir. Bu duruma karşı gelen P_G yük parametresi *göçme yükü* olarak tanımlanır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Göçme ve bölgesel mekanizma durumları [36]

Limit yük (göçme yükü) bulunduktan sonra, yapının güvenli taşıyabileceği yük, yani işletme yükü;

$$P_i = \frac{P_G \text{ veya } P_L}{e} \quad (e : \text{güvenlik katsayısı}) \quad (4.6)$$

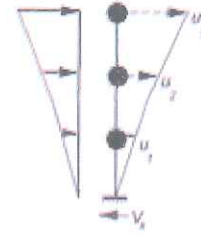
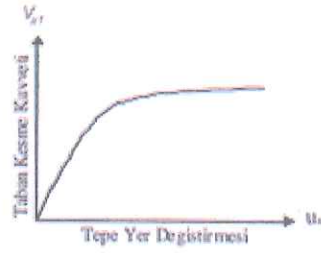
Şeklinde hesaplanır. Bu bağlamda işletme yükleri altında doğrusal-elastik sınırın pek aşılması, zararlı yer değiştirmelerin ve çatlakların olmaması istenir.

4.4.3 Statik İtme Eğrisinin Belirlenmesi

Kapasite, yapının deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir. Yapısal kapasite, pushover curve (statik itme veya kapasite eğrisi) ile temsil edilir. Bu eğri, genellikle taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi arasındaki bağıntı çizilerek elde edilmektedir. Kapasite eğrisinin elde edilmesi için, yapı sistemi sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay kuvvetler altında, taşıma kapasitesinin sona erdiği limit duruma kadar hesaplanır. Doğrusal olmayan statik analizin esas amacı, verilen bir deprem etkisi altında sistemde oluşan maksimum yerdeğiştirmelere ve özellikle maksimum plastik şekildeğiştirmelere ilişkin deprem istemi'nin belirlenmesi, daha sonra bu istem değerlerinin, seçilen performans düzeyleri için tanımlanan şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması ve böylece yapısal performansın değerlendirilmesi' dir [36]. Ancak performans değerlendirmesi bu tezin

kapsamında yer almamakta, sadece yatay yük taşıma kapasiteleri farklı zemin durumları için irdelenecektir.

Yapısal kapasite statik itme eğrisi ile ifade edilir (Şekil 4.7). Taşıyıcı sistemin geometrisi, kesit ve malzeme özellikleri ve taşıyıcı sistem elastik ötesi davranışı göz önüne alınarak sistem adım adım yüklenir (Statik İtme Analizi) ve toplam yatay yükle en üst noktanın yer değiştirmesi arasındaki ilişki elde edilir (Şekil 4.8).



Şekil 4.7 Statik itme eğrisi [35] Şekil 4.8 Yükleme-yer değiştirme [35]

Statik itme eğrisinde yatay kuvvet adım adım arttırıldıkça, yatay yer değiştirmeler ve plastik şekil değiştirmeler büyür. Büyüme sonucu sistemde oluşan plastik mafsalların etkisi ile taşıyıcı sistemdeki oluşan hasarlar gözlenebilir. Statik itme eğrisinin adımları, kesitte oluşan plastik mafsalların ortaya çıkış sırasının izlenmesi ve sistem davranışının değerlendirilebilmesi açısından önemlidir.

MEVCUT DÜŞEY ve EĞİK KAZIKLI İSKELE YAPILARINDA ZEMİN-KAZIK ETKİLEŞİMİ

5.1 Giriş

Zemin taşıyıcı sistemi düşey kazıklardan ve eğik kazıklardan oluşan iki farklı iskele yapısının; Kocaeli Yeniköy, İstanbul Ağva, Bursa Roda lokasyonlarının zemin profilleri DLH 2008 çerçevesinde modellenip Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan statik analizi yapılmış ve kapasite eğrileri tespit edilmiştir.

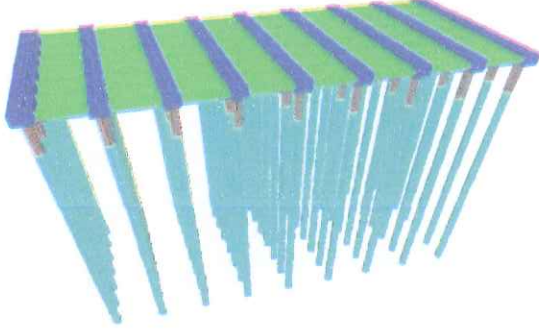
Her iki tip yapıya ait numerik modelinin itme analizleri SAP 2000 ver.14.2.2 [37] yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Eğriliklerin belirlenmesinde XTRACT ver.3.0.8 [38] programı kullanılmıştır.

5.2 Yapısal Bilgiler

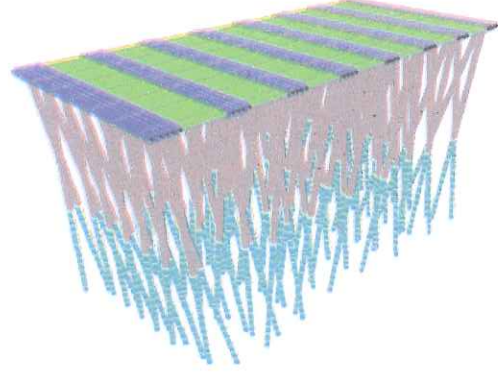
Yanaşma yapılarının taşıyıcı sistemleri çelik ve kompozit (çelik + betonarme) kazıklar ile bu kazıklara monolitik olarak bağlanmış başlık kirişleri ve döşeme plaklarından oluşmaktadır. İskele planı Şekil 5.3' de verilmiştir.

- Düşey kazıklı iskele 346 m boyunda, 39 m enindedir ve altı anodan oluşmaktadır. İncelenen ano boyutları 74.35 m boy ve 39 m enindedir ve 63 adet kazıktan oluşmaktadır. Kazık çapı 1.2192 metre, et kalınlığı 18 mm olarak alınmıştır (Şekil 5.1).

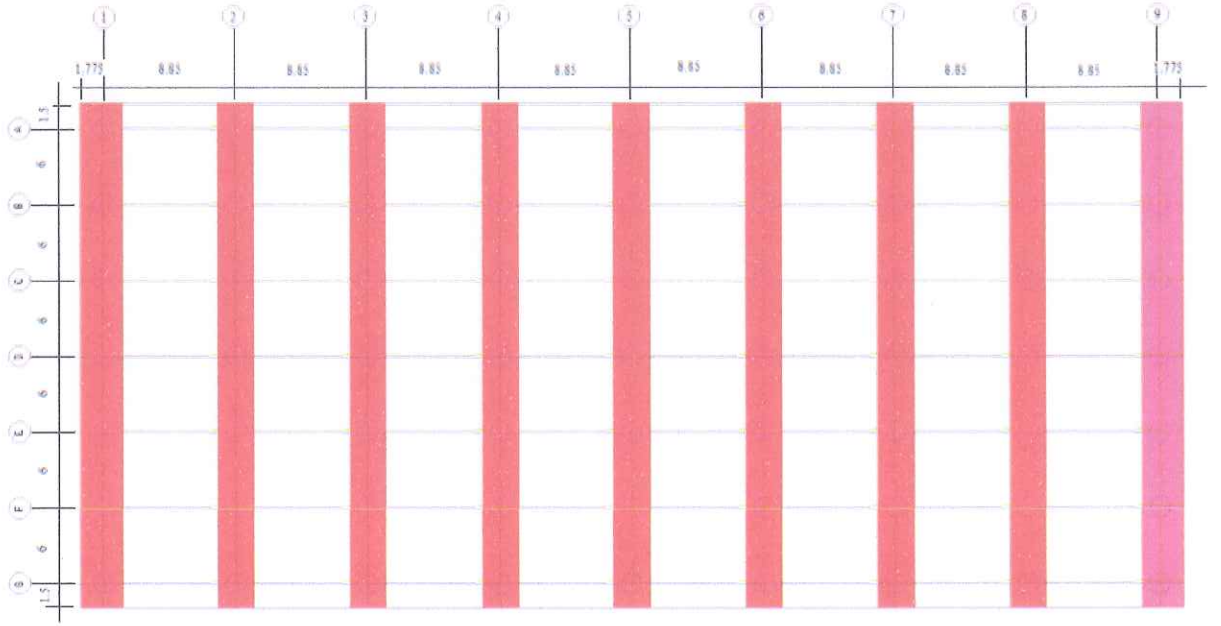
- Eğik kazıklı iskele 346 m boyunda, 39 m enindedir ve altı anodan oluşmaktadır. İncelenen ano boyutları 74.35 m boy ve 39 m enindedir ve 112 tane eğik kazık mevcuttur. Kazık çapı 0.9144 metre, et kalınlığı 16 mm olarak alınmıştır (Şekil 5.2).
- Kazıklı iskeleler normal yapı olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 5.1 Düşey kazıklı iskele



Şekil 5.2 Eğik kazıklı iskele

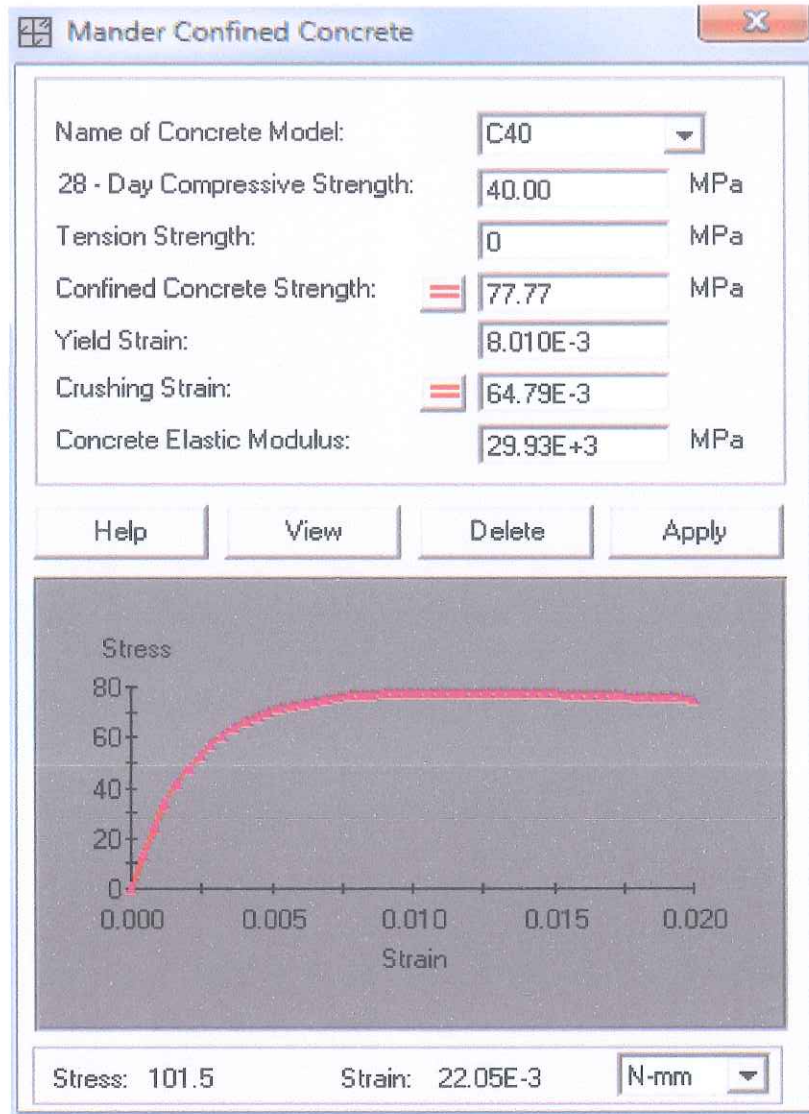


Şekil 5.3 İskele planı

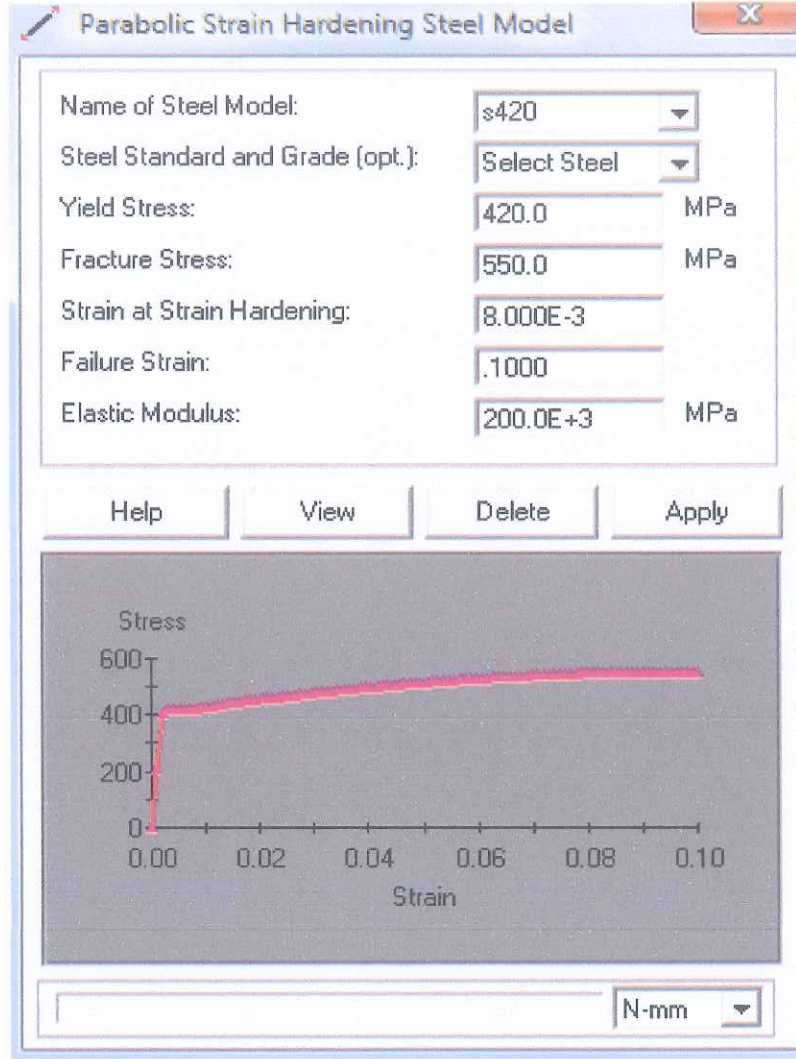
5.3 Malzeme Özellikleri

- Çelik: St52 ($\sigma_a=3600$ Mpa)
- Beton: C40 ($f_{ck}=40$ Mpa)
- Donatı Çeliği: S420 ($f_{yk}=420$ Mpa)

Analizde, TDY 2007 Ek 7B. de belirtilen birim uzama ve kısalma sınır kriterlere uygun olarak üretilen beton ve donatı çeliği malzeme modelleri kullanılmıştır. Malzemelere ait XTRACT ver.3.0.8 [38] programında tanımlanan doğrusal olmayan malzeme modelleri Şekil 5.4 ve 5.5' te gösterilmiştir [7].



Şekil 5.4 C40 beton sınıfı için sargili beton modeli



Şekil 5.5 S420 donatı çeliği sınıfı için çelik modeli

5.4 Zemin Özellikleri

5.4.1 Kohezyonsuz Zeminlerde p-y Eğrilerinin Belirlenmesi

Zemin tabakalarının tepkilerinin yapıya etkilerinin modellenebilmesi için önceki bölümlerde yapılan açıklamalara ek olarak doğrusal olmayan (nonlinear) zemin yayları, deneysel sonuçlara dayanarak ve ampirik formüllerle ifade edilmiştir [39]. Kohezyonsuz zeminlerde p-y eğrileri:

- 1.Zeminin yerinde birim hacim ağırlığı " γ " ve içsel sürtünme açısının " Φ " tahmini için arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmaktadır.
- 2.Zemin tepkisi hesabında kullanılmak üzere;

$$\alpha = \frac{1}{2} \Phi, \beta = 45 + \alpha, K_0 = 0.4, K_a = \tan^2(45 - \frac{1}{2} \Phi) \quad (5.1)$$

hesaplanır.

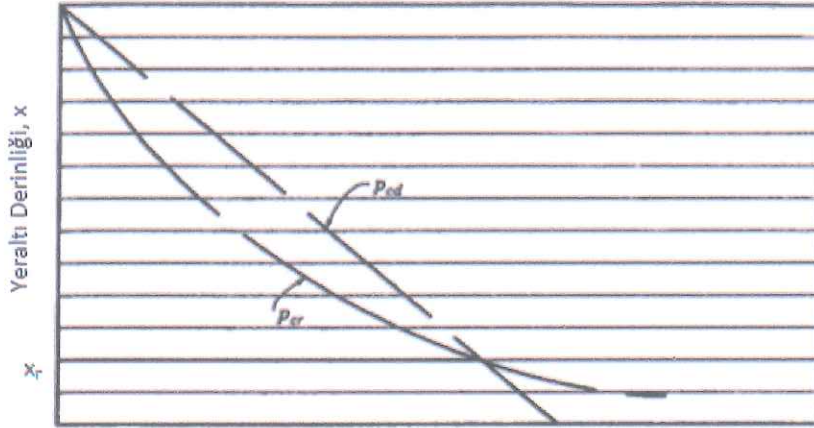
3. Kritik zemin tepkisi hesaplanır;

$$p_{cr} = \gamma x \left[\frac{K_0 x \tan \Phi \sin \beta}{\tan(\beta - \Phi) \cos \alpha} + \frac{\tan \beta}{\tan(\beta - \Phi)} (D + x \tan \beta \tan \alpha) + K_0 x \tan \beta (\tan \Phi \sin \beta - \tan \alpha) - K_A D \right] \quad (5.2)$$

eşitliklerde "x" derinlik, "D" kazık çapıdır.

$$p_{cd} = K_A D \gamma x (\tan^8 \beta - 1) + K_0 D x \tan \Phi \tan^4 \beta \quad (5.3)$$

"p_{cr}" değerleri, "x_r" kritik derinlik denilen değere kadar uygulanır. Kritik derinlik, kazığa etki edecek "P" kuvveti sonucu oluşacak şekil değiştirmenin etkisiyle zeminde oluşacak yatay kuvvetin; derinlik ve zemin özellikleriyle değişen kritik derinlikten sonraki zemin tepki kuvvetleriyle eşit olduğu derinliktir. "p_{cr}" ve "p_{cd}" değerlerinin değişimi Şekil 5.6' de gösterilmiş ve eşit olduğu "x_r" derinliği bulunur. Hesap yapılmak istenen "x" derinliği bu değerden büyükse "p_{cd}", küçükse "p_{cr}" kullanılır.



Şekil 5.6 p_{cr} ve p_{cd} değerlerinin değişimi [32]

4. Yükün çevrimli veya statik olma durumuna göre Çizelge 5.1' den alınacak uygun A, B katsayıları ve seçilen derinliğe göre uygun "p_c" (p_{cr} veya p_{cd}) değeri ile önce y_u = 3D/80 hesaplanır ve bu değer için "p_u" değeri p_u = A₁ P_c eşitliği ile bulunur ve Şekil 5.7' daki gibi işaretlenir.

Sonra y_m = D/60 hesaplanır ve bu değer için "P_m" değeri P_m = B₁ P_c eşitliği ile bulunur ve Şekil 5.6' daki gibi işaretlenir. Bu iki nokta bir doğru ile birleştirilir.

Çizelge 5.1 A, B katsayılarının seçilen derinliğe değişim çizelgesi [32]

| x/D | a ₁ | | b ₁ | |
|-------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| | Statik | Çevrimsel | Statik | Çevrimsel |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0.00 | 2.85 | 0.77 | 2.18 | 0.50 |
| 0.20 | 2.72 | 0.85 | 2.02 | 0.60 |
| 0.40 | 2.60 | 0.93 | 1.90 | 0.70 |
| 0.60 | 2.42 | 0.98 | 1.80 | 0.78 |
| 0.80 | 2.20 | 1.02 | 1.70 | 0.80 |
| 1.00 | 2.10 | 1.08 | 1.56 | 0.84 |
| 1.20 | 1.96 | 1.10 | 1.46 | 0.86 |
| 1.40 | 1.85 | 1.11 | 1.38 | 0.86 |
| 1.60 | 1.74 | 1.08 | 1.24 | 0.86 |
| 1.80 | 1.62 | 1.06 | 1.15 | 0.84 |
| 2.00 | 1.50 | 1.05 | 1.04 | 0.83 |
| 2.20 | 1.40 | 1.02 | 0.96 | 0.82 |
| 2.40 | 1.32 | 1.00 | 0.88 | 0.81 |
| 2.60 | 1.22 | 0.97 | 0.85 | 0.80 |
| 2.80 | 1.15 | 0.96 | 0.80 | 0.78 |
| 3.00 | 1.05 | 0.95 | 0.75 | 0.72 |
| 3.20 | 1.00 | 0.93 | 0.68 | 0.68 |
| 3.40 | 0.95 | 0.92 | 0.64 | 0.64 |
| 3.60 | 0.94 | 0.91 | 0.61 | 0.62 |
| 3.80 | 0.91 | 0.90 | 0.56 | 0.60 |
| 4.00 | 0.90 | 0.90 | 0.53 | 0.58 |
| 4.20 | 0.89 | 0.89 | 0.52 | 0.57 |
| 4.4-4.8 | 0.89 | 0.89 | 0.51 | 0.56 |
| 5 ve daha fazlası | 0.88 | 0.88 | 0.50 | 0.55 |

5. Bu adımda "y_u" ve "y_m" arasına çizilen doğrunun eğimi m aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$m = \frac{p_u - p_m}{y_u - y_m} \quad (5.4)$$

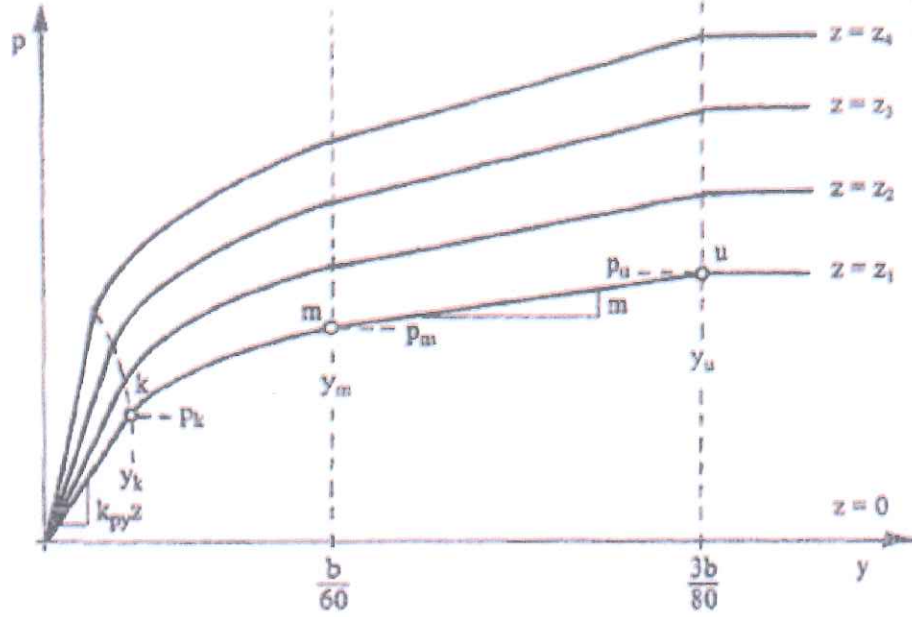
Burada; zemine uygun bir "n_h" değeri seçilip, $n = \frac{p_m}{m y_m}$ ve $C = \frac{p_m}{(y_m)^{(1/n)}}$ hesaplanır ve

bunlar yardımıyla "y_k" aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$y_k = \frac{C}{(n_h \cdot x)^{(n/(n-1))}} \quad \text{bu "y}_k\text{" değeri } p = C y^{1/n} \text{ de yerine koyularak ilgili zemin direnci}$$

bulunur.

6.Orijinden 5. adımla hesaplanan noktaya doğru çizilir ve 4. adımda ve 5. adımda çizilen doğrular parabolle birleştirilir. Eğrinin eğimi bulunur [32].



Şekil 5.7 Kohezyonsuz zeminler için p-y grafiği [32]

5.4.2 Kohezyonlu Zeminlerde p-y Eğrilerinin Belirlenmesi

Çeşitli ampirik ve teorik metotlar p-y eğrilerini geliştirmek için kullanılabilir. En yaygın metotlardan biri API 2000 kılavuzun da tanımlanmıştır. API kılavuzundan alınan doğrusal olmayan zemin direnciyle yumuşak kil için sapma ilişkisi statik yükleme için Çizelge 5.2' deki gibidir.

Çizelge 5.2 Yumuşak kil için veri çizelgesi [39]

| p/p_u | y/y_c |
|---------|----------|
| 0 | 0 |
| 0.5 | 1 |
| 0.72 | 3 |
| 1 | 8 |
| 1 | ∞ |

Burada; "p" gerçek direnci, "pu" basınç birimlerinde son direnci, "y" gerçek sapmayı, "D" kazık çapıdır. API kılavuzundan alınan çizelgenin grafiksel olarak gösterimi Şekil 5.8' deki gibidir.

$$y_c:2.50*\epsilon_{50}*D$$

(5.5)

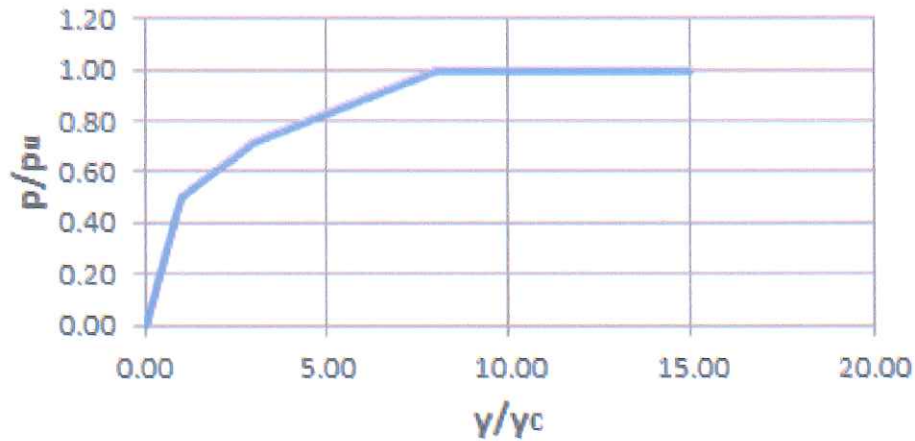
Doğrusal olmayan zemin direnci ile yumuşak kil için sapma ilişkisi çevrimsel yükleme için Çizelge 5.3' den elde edilebilir [39].

Çizelge 5.3 Yumuşak kil çevrimsel yükleme veri çizelgesi [39]

| Aktif Kama Bölgesi Dışı | | Aktif Kama Bölgesi | |
|-------------------------|----------|--------------------|----------|
| p/p_u | y/y_c | p/p_u | y/y_c |
| 0.5 | 1 | 0.5 | 1 |
| 0.72 | 3 | 0.72 | 3 |
| 0.72 | ∞ | $0.72x/x_r$ | 15 |
| | | $0.72x/x_r$ | ∞ |

p-y eğrilerinin oluşturulması için API 2000 tarafından yapılan çalışmalarda grafiklerin bulunması için yer alan adımlar şöyle sıralanmaktadır;

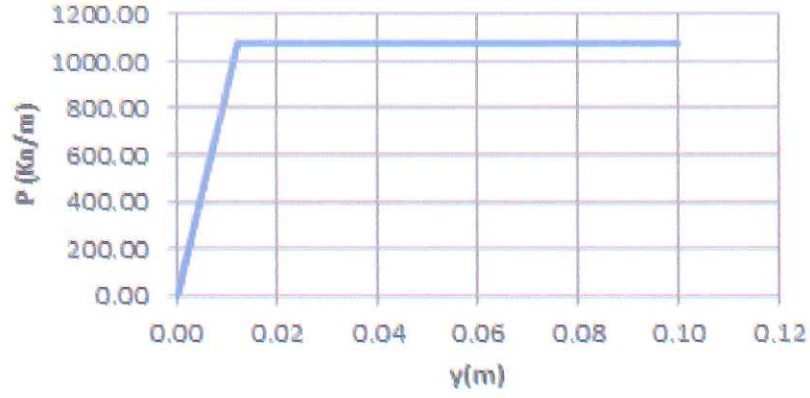
1.Verilen formüllerde değerler yerine yazılıp " p_u " ve " y_c " bulunur.



Şekil 5.8 Kohezyonlu zeminler için veri grafiği

2.yer değiştirmenin kazığın şekil değiştirmeye başladığı değerden ('0' değeri) maksimum şekil değiştirme yaptığı değere kadar; tüm bu "y" değerlerine karşılık gelen değerler Çizelge 5.2 ' den alınan sınır değerlerle kesiştirilerek "p" değerleri bulunur. Eğrinin eğimi hesaplanır.

3.Verilen "y" değerlerine karşılık gelen "p" değerleriyle p-y grafiği çizilir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Kohezyonlu zeminler için p-y grafiği

5.4.3 Kohezyonsuz Zeminlerde t-z Eğrilerinin Belirlenmesi

t-z eğrilerinin belirlenebilmesi için aşağıdaki basamaklar izlenmelidir [39].

1. Maksimum sürtünme direnci bulunur.

$$f = K\sigma_0 \tan\delta \quad (5.6)$$

$$\sigma_0 = \gamma D_f \quad (5.7)$$

Burada; “ D_f ” zemin tabakasındaki toplam kazık boyu, “ f ” kazık çevresindeki zeminin sürtünme gücü, “ σ_0 ” kazık ucunda oluşan düşey basınç, “ K ” yatay toprak basıncı katsayısı (açık uçlu boru kazıklarda çekme ve basınç yükleri için 0.8, tam yer değiştirmeli kazıklar için 1 kabul edilebilir), “ δ ” zeminin içsel sürtünme açısı (Çizelge 5.4 yardımıyla belirlenir), “ γ ” zemin birim hacim ağırlığıdır.

Çizelge 5.4 API 2000 veri çizelgesi [39]

| Yoğunluk | Zemin Tanımı | Zemin-Kazık Yüzey Sürtünme Açısı, δ° | Sınırlayıcı Gövde Sürtünmesi, f_s | |
|------------|--------------|---|-------------------------------------|-------|
| | | | (kips/ ft^2) | (kPa) |
| Çok Gevşek | Kum | 15 | 1 | 47.8 |
| Gevşek | Kum-Silt | | | |
| Orta | Silt | | | |
| Gevşek | Kum | 20 | 1.4 | 67 |
| Orta | Kum-Silt | | | |
| Sıkı | Silt | | | |
| Orta | Kum | 25 | 1.7 | 81.3 |
| Sıkı | Kum-Silt | | | |
| Sıkı | Kum | | | |
| Sıkı | Kum | 30 | 2 | 95.7 |
| Çok Sıkı | Kum-Silt | | | |
| Sıkı | Kum | | | |
| Çok Sıkı | Kum-Silt | 35 | 2.4 | 114.8 |
| | | | | |

2.API' de kumlu zeminler için t-z eğrisi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

Çizelge 5.5 Kumlu zeminler için veri çizelgesi [39]

| z (m) | t/t _{max} |
|--------|--------------------|
| 0,00 | 0,00 |
| 0,0025 | 1,00 |
| ∞ | 1,00 |

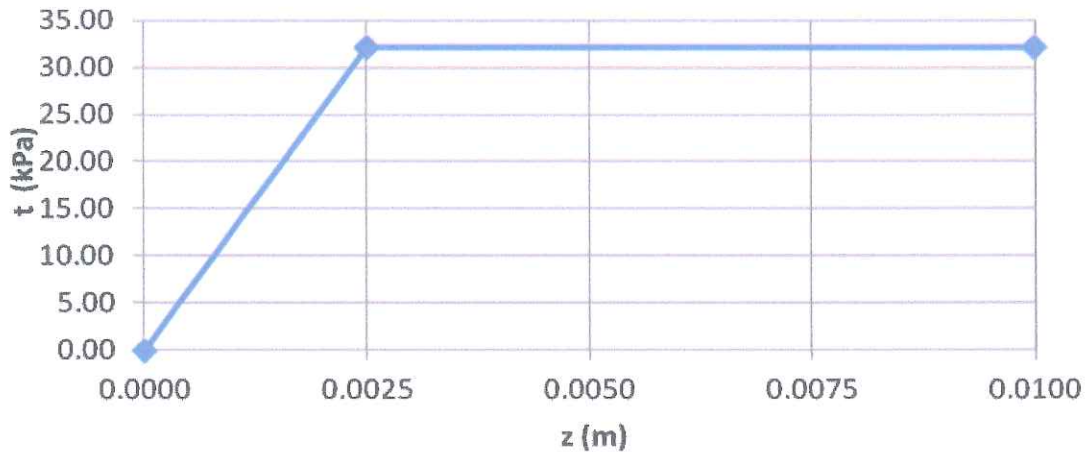
Burada; "t" kazık yüzeyinde mobilize olmuş sürtünme gerilmesi, t_{max}=f ise maksimum sürtünme direncidir.

Yer değiştirmenin kazığın şekil değiştirmeye başladığı değerden ('0' değeri) maksimum şekil değiştirme yaptığı değere kadar; tüm bu "z" değerlerine karşılık gelen değerler çizelgesinden alınan sınır değerlerle kesleştirilerek "t" değerleri bulunur. Eğrinin eğimi hesaplanır.

3.Verilen "t" değerlerine karşılık gelen "z" değerleriyle t-z grafiği çizilir (Şekil 5.10).

Çizelge 5.6 Kumlu zeminler için t-z çizelgesi [39]

| z (m) | t |
|--------|-----------------------|
| 0,00 | 0,00 |
| 0,0025 | 1,00*t _{max} |
| ∞ | 1,00*t _{max} |



Şekil 5.10 Kohezyonsuz zeminler için t-z grafiği

5.4.4 Kohezyonlu Zeminlerde t-z Eğrilerinin Belirlenmesi

t-z eğrilerinin belirlenebilmesi için aşağıdaki basamaklar izlenmelidir [39].

1. Maksimum sürtünme direnci bulunur.

$$f = \alpha C_u \quad (5.8)$$

$$\sigma_0 = \gamma D_f \quad (5.9)$$

$$\Psi: \sigma_0 / C_u \quad (5.10)$$

$$\alpha: \Psi^{0.5} \quad (5.11)$$

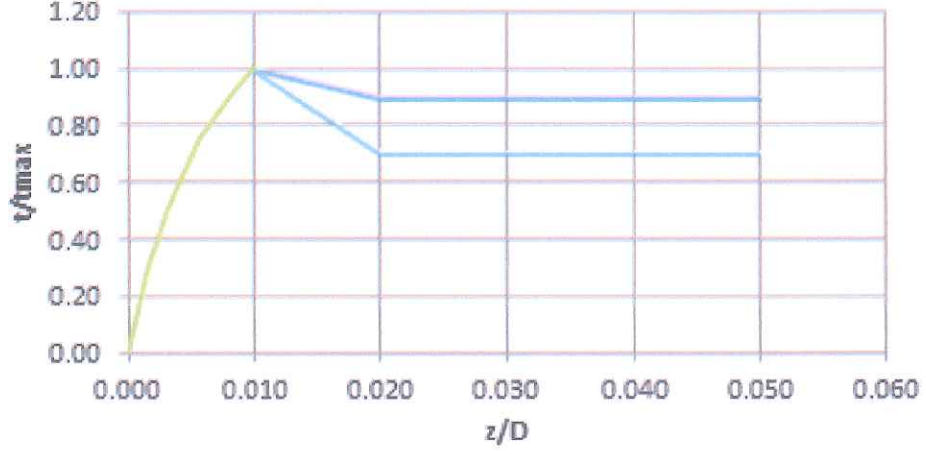
Burada; "f" kazık çevresindeki zeminin sürtünme gücü, " σ_0 " kazık ucunda oluşan düşey basınç, " α " boyutsuz faktör, " C_u " drenajsız kayma dayanımı, " γ " zemin birim hacim ağırlığı, " D_f " kazık boyu, "D" kazık çapıdır.

2. API' de kumlu zeminler için t-z eğrisi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

Çizelge 5.7 Kohezyonlu zeminler için veri çizelgesi [39]

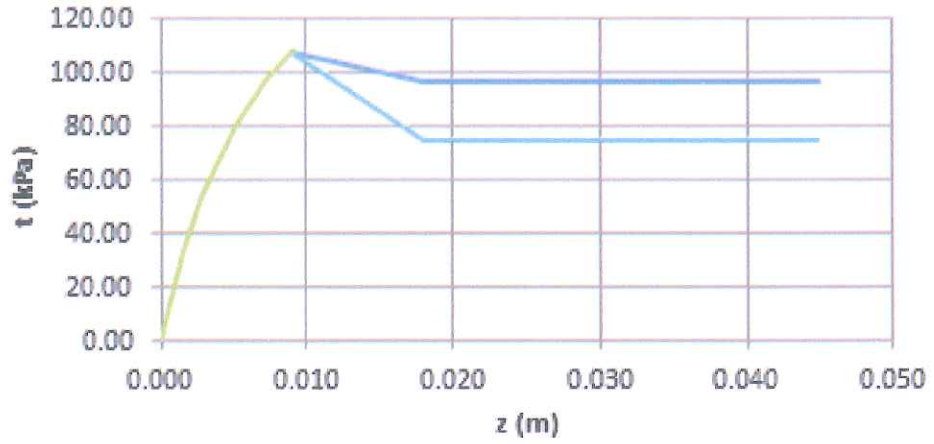
| z/D | t/t _{max} |
|--------|--------------------|
| 0 | 0 |
| 0,0016 | 0,30 |
| 0,0031 | 0,50 |
| 0,0057 | 0,75 |
| 0,0080 | 0,90 |
| 0,010 | 1,00 |
| 0,020 | 0,70-0,90 |
| 0,050 | 0,70-0,90 |

Burada; "t" kazık yüzeyinde mobilize olmuş sürtünme gerilmesi, $t_{max}=f$ ise maksimum sürtünme direncidir. API kılavuzundan alınan çizelgenin grafiksel olarak gösterimi Şekil 5.11' daki gibidir.



Şekil 5.11 Kohezyonlu zeminler için veri grafiği

3.Eğrinin eğimi bulunur. " t_{max} " ve "D" değerleri yerine konularak t-z eğrisi oluşturulur (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 Kohezyonlu zeminler için t-z grafiği

5.4.5 Kohezyonsuz Zeminlerde Q-z Eğrilerinin Belirlenmesi

Kohezyonsuz zemin için kazık uç taşıma, birim uç taşıma " Q_p " aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

$$Q_p = (K_1 \gamma N_{\gamma} D + \sigma_0 N_q) A_p \quad (5.12)$$

Burada; “ Q_p ” toplam uç taşıma kapasitesi, “ K_1 ” şekil faktörü (dairesel kazıklar için), “ γ ” zemin birim hacim ağırlığı, “ N_y ” taşıma gücü katsayısı, “ D ” kazık çapı, “ N_q ” boyutsuz taşıma kapasite faktörü, “ A_p ” kazık kesit alanıdır.

Çizelge 5.8 Taşıma gücü faktörleri [39]

| ϕ | N_c | N_q | N_y |
|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 5.14 | 1 | 0 |
| 5 | 6.5 | 1.6 | 0.5 |
| 10 | 8.3 | 2.5 | 1.2 |
| 15 | 11 | 3.9 | 2.6 |
| 20 | 14.8 | 6.4 | 5.4 |
| 25 | 20.7 | 10.7 | 10.8 |
| 30 | 30.1 | 18.4 | 22.4 |
| 32 | 35.5 | 23.2 | 30.2 |
| 34 | 42.2 | 29.4 | 41.1 |
| 36 | 50.6 | 37.7 | 56.3 |
| 38 | 61.4 | 48.9 | 78 |
| 40 | 75.3 | 64.2 | 109.4 |
| 42 | 93.7 | 85.4 | 155.6 |
| 44 | 118.4 | 115.3 | 224.6 |
| 46 | 152.1 | 158.5 | 330.4 |
| 48 | 199.3 | 222.3 | 496 |
| 50 | 266.9 | 319.1 | 762.9 |

Çizelge 5.9 Kohezyonsuz zeminler için “ N_q ” veri çizelgesi [39]

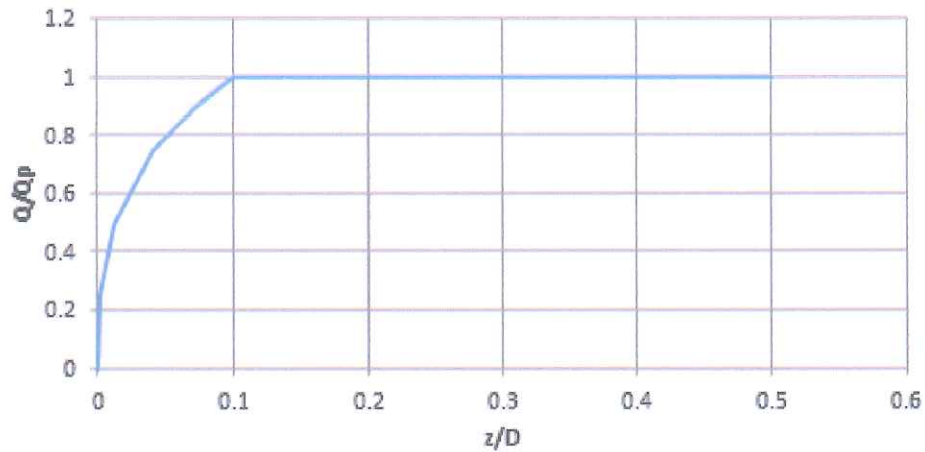
| Yoğunluk | Zemin Tanımı | N_q | Sınırlayıcı Uç Direnci, q_b | |
|------------|--------------|-------|----------------------------------|-------|
| | | | (kips/ ft^2) | (MPa) |
| Çok Gevşek | Kum | 8 | 40 | 1.9 |
| Gevşek | Kum-Silt | | | |
| Orta | Silt | | | |
| Gevşek | Kum | 12 | 60 | 2.9 |
| Orta | Kum-Silt | | | |
| Sıkı | Silt | | | |
| Orta | Kum | 20 | 100 | 4.8 |
| Sıkı | Kum-Silt | | | |
| Sıkı | Kum | | | |
| Çok Sıkı | Kum-Silt | 40 | 200 | 9.6 |
| Sıkı | Kum | | | |
| Çok Sıkı | Kum-Silt | | | |
| | | 50 | 250 | 12 |

Tavsiye edilen “ N_q ” değerleri ve uç taşıma kapasitesi sınırları Çizelge 5.9’ da verilmiştir. Kazıkların tapalı olduğu düşünülür, son taşıma gücü kazığın tüm kesiti boyunca kabul edilir.

Çizelge 5.10 Kohezyonsuz zeminler için veri çizelgesi [39]

| z/D | Q/Q_p |
|----------|---------|
| 0.002 | 0.25 |
| 0.013 | 0.50 |
| 0.042 | 0.75 |
| 0.073 | 0.90 |
| 0.10 | 1 |
| ∞ | 1 |

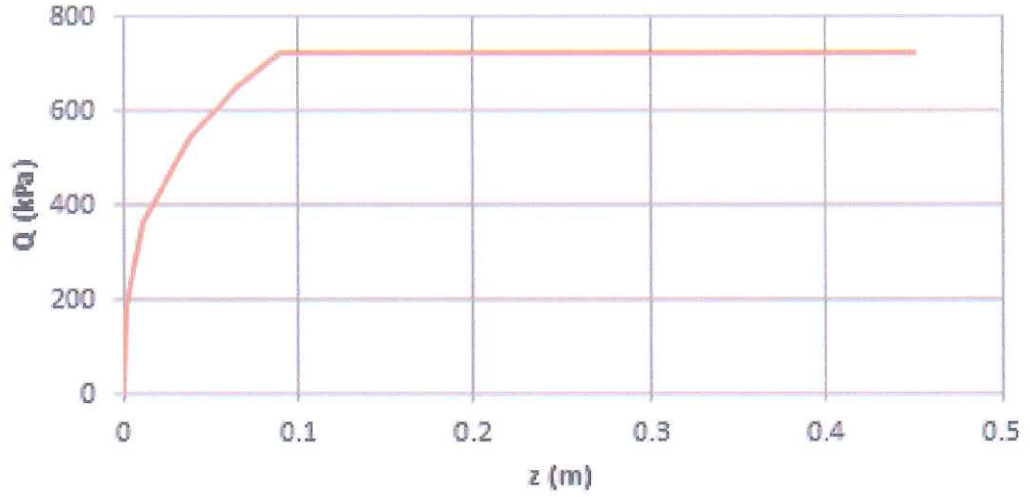
Nispeten büyük kazık uç hareketleri harekete geçirilmek için yatak direncinin tamamı gereklidir. Kazık çapının %10' u kadar kazık uç yer değiştirmesini harekete geçirmek için kohezyonsuz zemin gereklidir. Daha kesin kriterler yoksa kohezyonsuz zemin için Çizelge 5.10 tavsiye edilir. İdealize edilmiş iki parçalı Q-z eğrisi şekil Şekil 5.13' de gösterilmiştir [39].



Şekil 5.13 Kohezyonsuz zeminler için veri grafiği

Burada; "z" kazık ucunun yer değiştirmesi, "D" kazık çapı, "Q" stabilize olmuş uç direnci, "Q_p" toplam uç taşıma kapasitesidir.

Yer değiştirmenin kazığın şekil değiştirmeye başladığı değerden ('0' değeri) maksimum şekil değiştirme yaptığı değere kadar; tüm bu "z" değerlerine karşılık gelen değerler çizelgesinden alınan sınır değerlerle kesiştirilerek "t" değerleri bulunur. Eğrinin eğimi bulunur. Verilen "Q" değerlerine karşılık gelen "z" değerleriyle Q-z grafiği çizilir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 Kohezyonsuz zeminler için Q-z grafiği

5.4.6 Kohezyonlu Zeminlerde Q-z Eğrilerinin Belirlenmesi

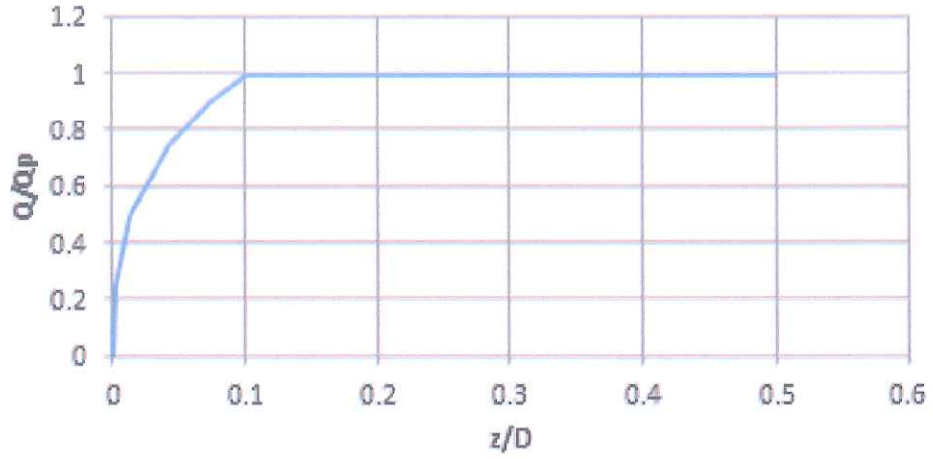
$$Q_p = 9C_u A_p \quad (5.13)$$

Burada; "Q_p" toplam uç taşıma kapasitesi, "C_u" istenen noktadaki zeminin drenajsız kayma dayanımı, "A_p" kazık kesit alanını temsil eder.

Kohezyonsuz zeminlerde olduğu gibi kesin kriterler yoksa kohezyonlu zemin için Çizelge 5.11 tavsiye edilir. İdealize edilmiş iki parçalı Q-z eğrisi Şekil Şekil 5.15' de gösterilmiştir [39].

Çizelge 5.11 Kohezyonlu zeminler için veri çizelgesi [39]

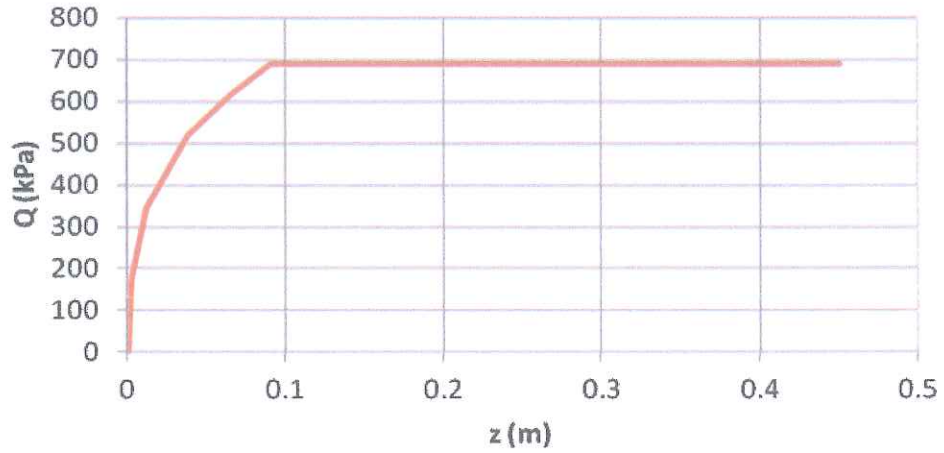
| z/D | Q/Q_p |
|----------|---------|
| 0.002 | 0.25 |
| 0.013 | 0.50 |
| 0.042 | 0.75 |
| 0.073 | 0.90 |
| 0.10 | 1 |
| ∞ | 1 |



Şekil 5.15 Kohezyonlu zeminler için veri grafiği

Burada; "z" aksenal uç sapmayı, "D" kazık çapı, "Q" hareketli uç taşıma kapasitesi, "Q_p" toplam uç taşıma kapasitesi temsil eder.

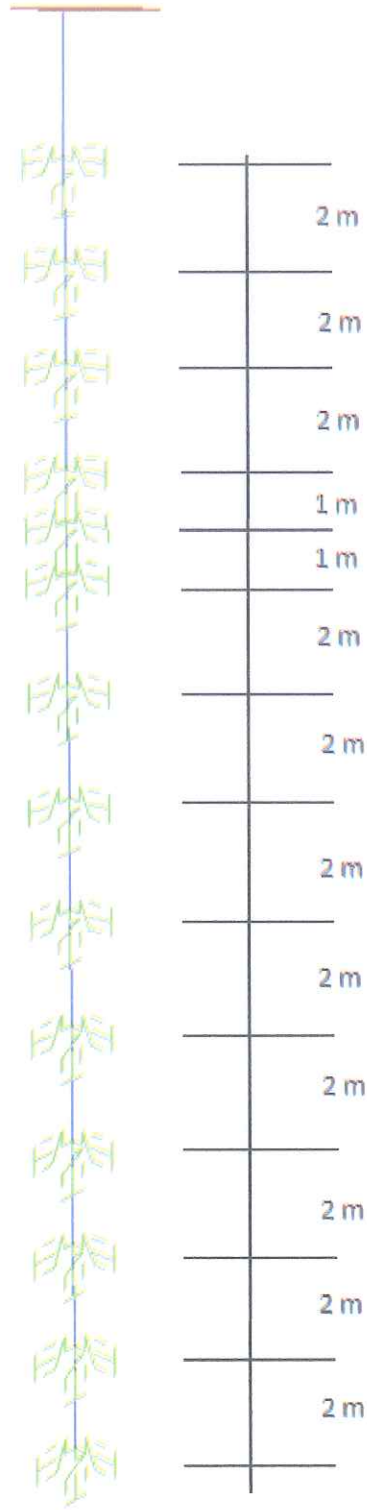
Yer değiştirmenin kazığın şekil değiştirmeye başladığı değerden ('0' değeri) maksimum şekil değiştirme yaptığı değere kadar; tüm bu "z" değerlerine karşılık gelen değerler çizelgesinden alınan sınır değerlerle kesiştirilerek "t" değerleri bulunur. Eğrinin eğimi bulunur [39]. Verilen "Q" değerlerine karşılık gelen "z" değerleriyle Q-z grafiği çizilir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16 Kohezyonlu zeminler için Q-z grafiği

5.5 Zemin Profilleri

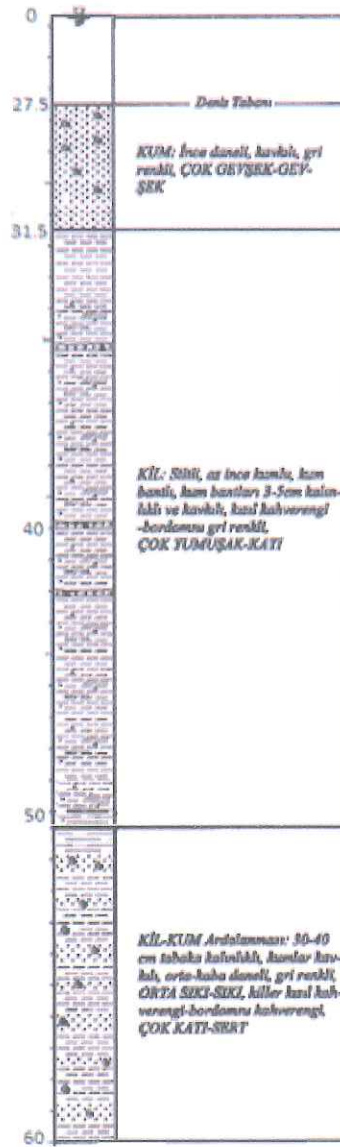
Zemin yapı etkileşimini temsil eden yayların hesaplanmasında ele alınan zemin katmanları ve derinlikleri dikkate alınarak (p-y), (t-z), (Q-y) doğrusal olmayan (nonlinear) zemin yayları şeklinde zeminler modellenmiştir (Şekil 5.17).



Şekil 5.17 Zemin modellemesindeki yay mesafeleri

5.5.1 Bursa Roda Lokasyonu

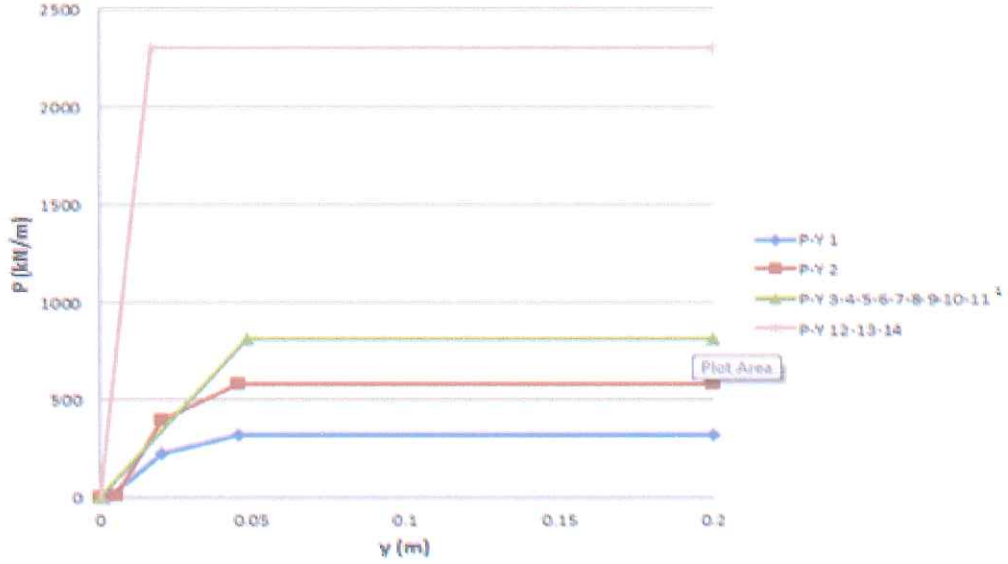
Bursa, Gemlik' te, Gemlik Körfezi kıyısında Metamorfik Temel' den güncel Alüvyonlara kadar değişik birimlerden kurulu bir jeoloji ile karşılaşmaktadır. Bu birimler daha çok Kuzey Anadolu Fay Kuşağı'nın bu kesimden geçen güney kolunun kuzeyinde Metamorfik Temel ve güneyinde Tersiyer Tortulları' nın yer aldığı bir dağılım sergilemektedir. Metamorfik Temel, çeşitli tortul ve volkanik kayaların epimetamorfik süreçlerle başkalaşım ürünlerinden oluşan ve yüksek yamaçlarda yüzeyleyen ve yer mermer niteliği kazanacak denli yeniden kristallenmiş kireçtaşlarından oluşmaktadır [40].



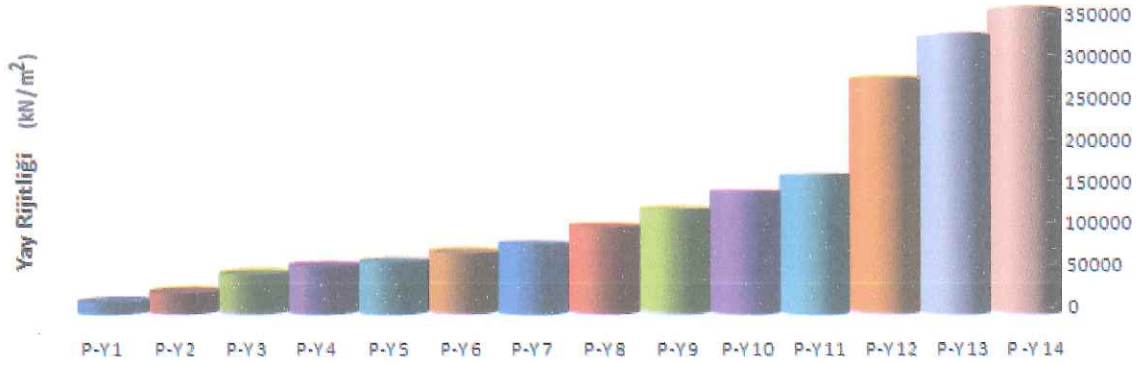
Şekil 5.18 Bursa Roda lokasyonu zemin profili

| ZEMİN TÜRÜ | ZEMİN PARAMETRELERİ | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------|-------------|------------|---------|------------------|------------------------|
| | γ (KN/m ³) | C_u (kPa) | ϕ (°) | E (Mpa) | N_{srt} (Adet) | k (KN/m ²) |
| GEVŞEK KUM | 17 | - | 29 | 5 | 4-5 | 13539-24219 |
| ORTA-KATI KİL | 17,5 | | - | 12 | 7-21 | 45562,5-184566 |
| ÇOK KATI KİL-SERT KİL | 18 | 100-140 | - | 15 | 21-37 | 184566-350000 |

Şekil 5.19 Bursa Roda lokasyonu zemin parametreleri

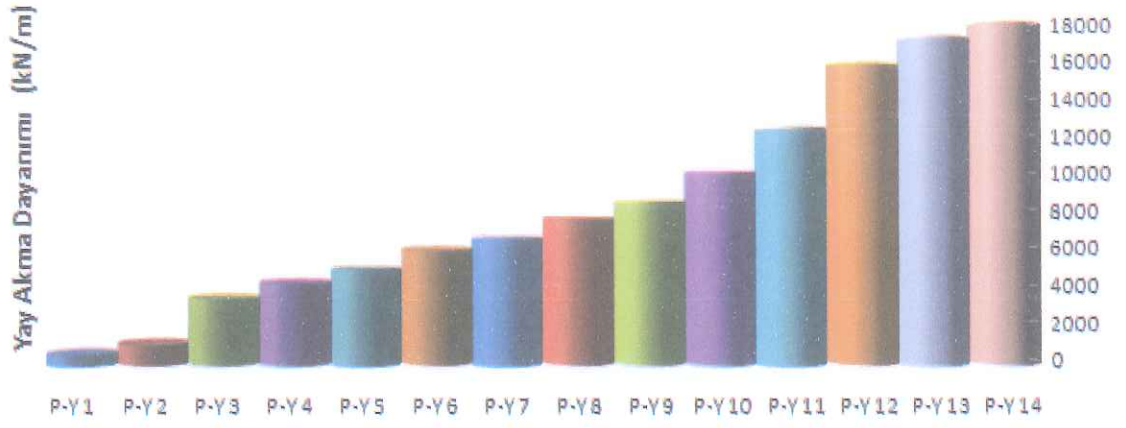


Şekil 5.20 Bursa Roda lokasyonu p-y eğrileri

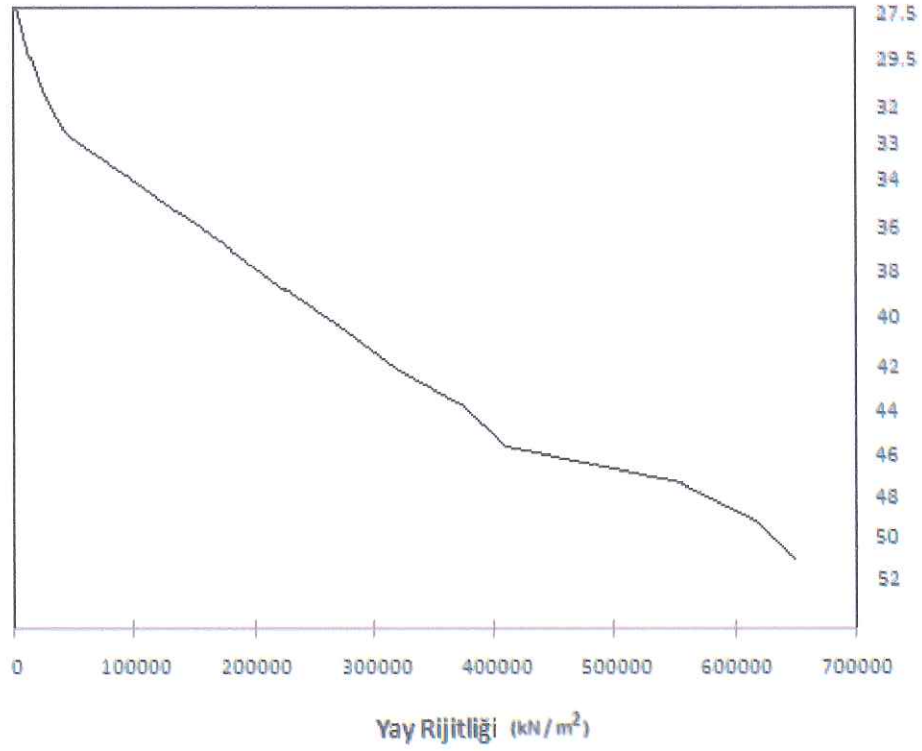


Şekil 5.21 Bursa Roda lokasyonu p-y yay rijitlikleri

¹ p-y yay rijitlikleri, p-y eğrilerinin yükseklikle değişen fonksiyonlarıdır. Aynı zemin tabakasındaki eğriler aynı değeri alsa dahi rijitlikler farklı değerde olmalıdır.

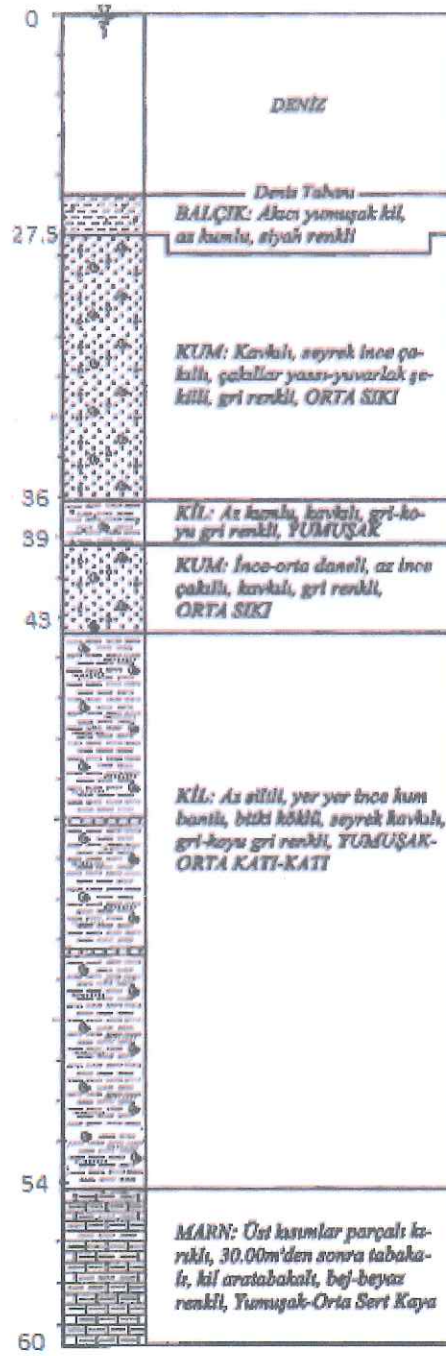


Şekil 5.22 Bursa Roda lokasyonu yay p-y akma dayanımı



Şekil 5.23 Bursa Roda lokasyonu p-y yay rijitliğinin kazık kesitleri boyunca değişimi

5.5.2 İstanbul Ağva Lokasyonu



Şekil 5.24 İstanbul Ağva lokasyonu zemin profili

İstanbul, Şile İlçesi Ağva' da, Kocaeli Yarımadası'nın kuzey kenarında Göksu Deresi' nin Karadeniz' e boşaldığı yerin kıyısında yapılan incelemelerde; kıyıdaki yarlar Üst Kretase yaşlı birimlerde, marnlı kireçtaşı tabakalarında açılmıştır. Göksu Deresi' nin sağ, doğu

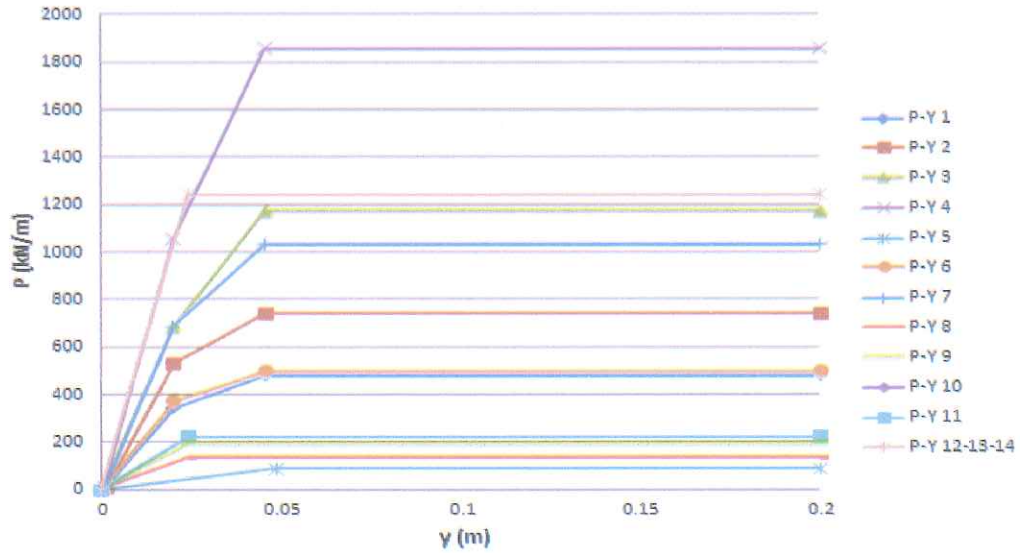
kenarındaki yamaçta yarıldır ve yine Üst Kretase yaşlı kireçli marn tabakaları içinde açılmıştır.

Kıydan içeri gidildiğinde önce Üst Kretase yaşlı volkanitler; daha güneyde de, Triyas kırıntılı tortullarının yüzeyleme alanları yayılmaktadır.

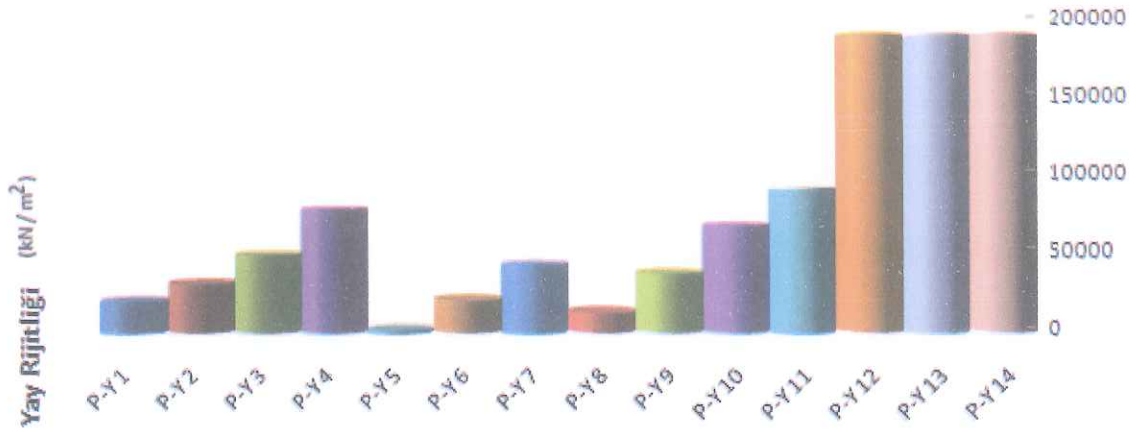
Yapılan sondajlarda da, Göksu Deresi alüvyonunun denize açıldığı kesimde çökelmiş kum, silt ve kil tabakalarının ardalanmasından oluştuğu ve altında Anakaya olarak marnlı kireçtaşı tabakalarının bulunduğu görülmüştür [41].

| ZEMİN TÜRÜ | ZEMİN PARAMETRELERİ | | | | | |
|-----------------|-------------------------------|-------------|------------|---------|------------------|------------------------|
| | γ (KN/m ³) | C_u (kPa) | ϕ (°) | E (Mpa) | N_{200} (Adet) | k (KN/m ²) |
| BALÇIK | - | - | - | - | - | - |
| KUM (27.5m-36m) | 17 | - | 32 | 12 | 8-19 | 20194-77742 |
| YUMUŞAK KİL | 17 | 21 | - | 4 | 0-3 | 2215 |
| KUM (39m-43m) | 17,5 | - | 37 | 15 | 20-28 | 20701-43301 |
| ORTA KATI KİL | 18 | 25 | - | 15 | 4-10 | 13151-135320 |
| MARN | Zayıf Kaliteli Kaya | | | | | |

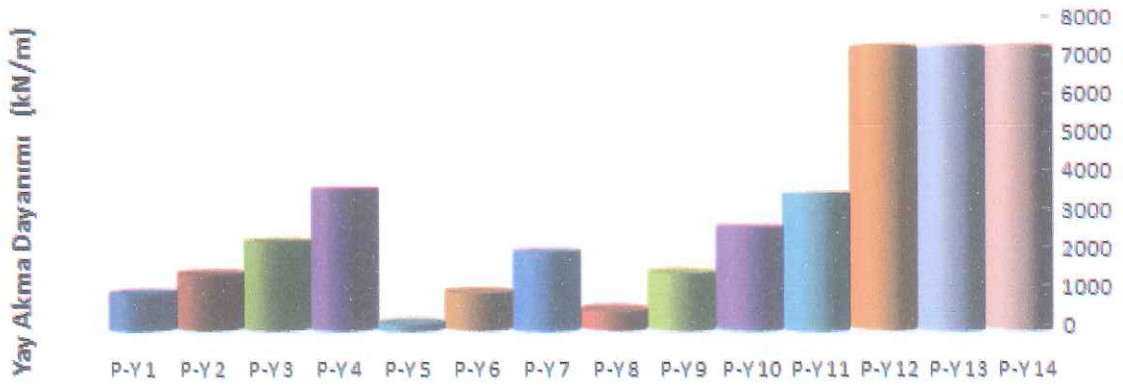
Şekil 5.25 İstanbul Ağva lokasyonu zemin parametreleri



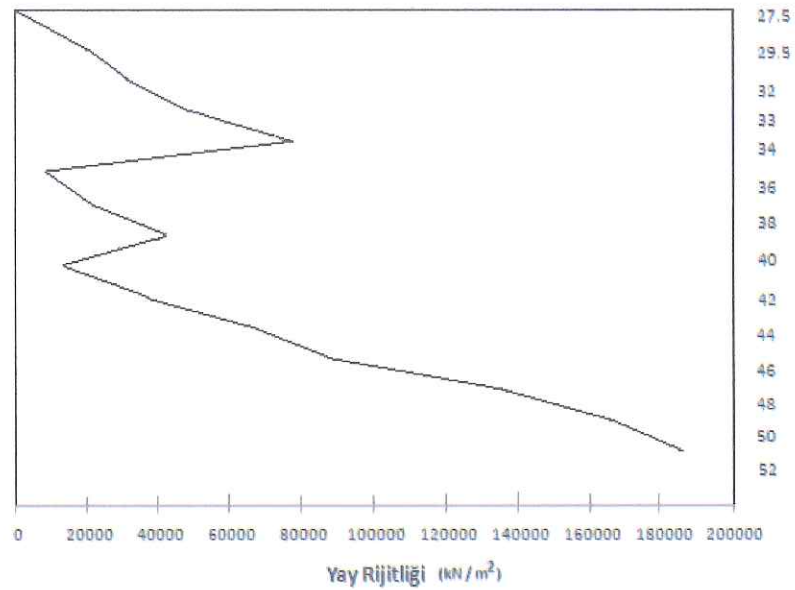
Şekil 5.26 İstanbul Ağva lokasyonu p-y eğrileri



Şekil 5.27 İstanbul Ağva lokasyonu p-y yay rijitlikleri



Şekil 5.28 İstanbul Ağva lokasyonu yay p-y akma dayanımı



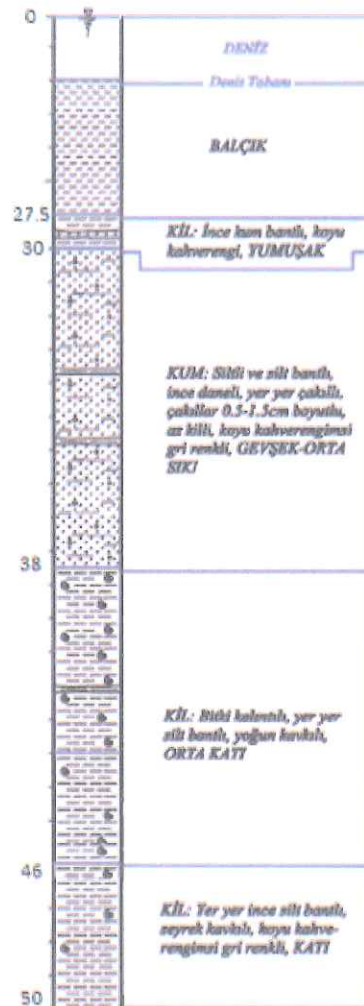
Şekil 5.29 İstanbul Ağva lokasyonu p-y yay rijitliğinin kazık kesitleri boyunca değişimi

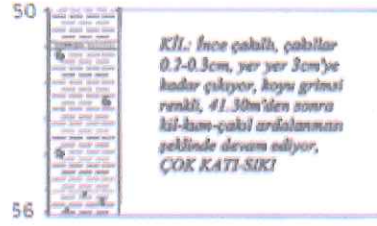
5.5.3 Kocaeli Yeniköy Lokasyonu

Kocaeli İli, Gölcük İlçesi, Yeniköy’ de İzmit Körfezi’nin içinde yerleşmiş olduğu çukurluk ve güneyinde ise yöredeki en yaşlı kaya birimlerinden kurulu sarp ve yüksek sırtlar bulunan İzmit-Sapanca çöküntü havzası içinde yer almaktadır.

Kuzey Anadolu Fay sisteminin etkisi ile biçimlenen Keltepe Dağ sırası’nın kuzey ve kuzeybatısı, İzmit Körfezi ve Sapanca Gölü’ nü içine alan bu geniş havza, tipik bir çek-ayır havza niteliğindedir. Bu kesimde, özellikle Sapanca Gölü ve İzmit Körfezi’ nde alüvyal çökellerin kalınlığı yüzlerce metreye ulaşabilir.

Güneydeki dağ sırasını kuran ve inceleme alanının güneydoğusunda yayılan Metamorfik Şist (killi şist, klorit şist, amfibolit şist, kalkşist), gnays ve mermer gibi birimlerden, inceleme alanının güneyinde yayılan Eosen yaşlı tortul birimlerden ve Kretase’ den Eosen’ e uzanan yaş aralığında oluşmuş olan volkanik kayalardan türeyen gereç, çekim ile oluşan bu derin havzada depolanmıştır [42].

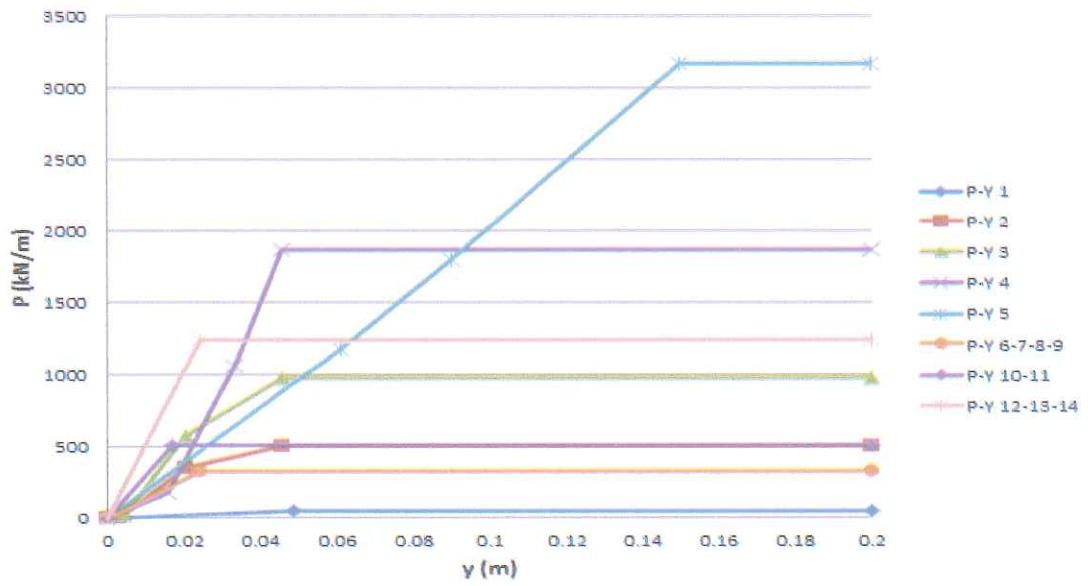




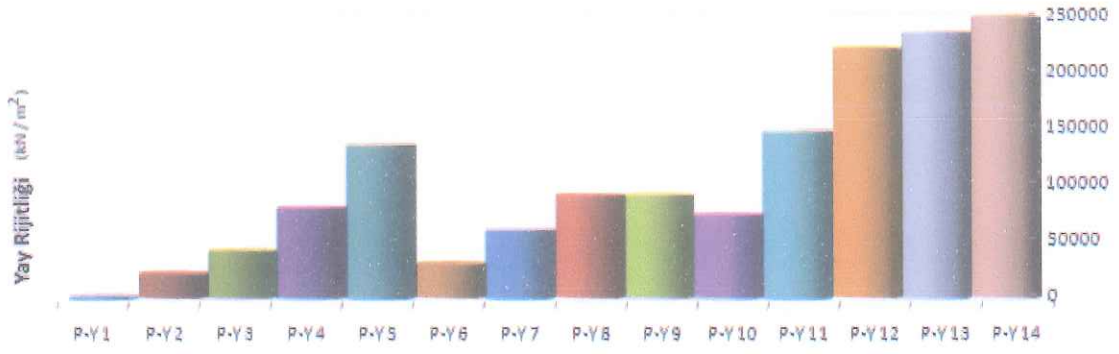
Şekil 5.30 Kocaeli Yeniköy lokasyonu zemin profili

| ZEMİN TÜRÜ | ZEMİN PARAMETRELERİ | | | | | |
|----------------------|-------------------------------|-------------|------------|---------|------------------|------------------------|
| | γ (KN/m ³) | C_u (kPa) | ϕ (°) | E (Mpa) | N_{sfr} (Adet) | k (KN/m ²) |
| YUMUŞAK KİL | 16 | 12 | - | 1,2 | 0-3 | 1360 |
| GEVŞEK-ORTA SIKI KUM | 17 | - | 30 | 11,2 | 9-21 | 20947-132975 |
| ORTA KATI KİL | 17 | 27 | - | 2,8 | 7-8 | 29594-88782 |
| KATI KİL | 17 | 50 | - | 4,4 | 11 | 72321-144643 |
| ÇOK KATI KİL | 20 | 94,5 | - | 12 | 8-21 | 216964-242943 |

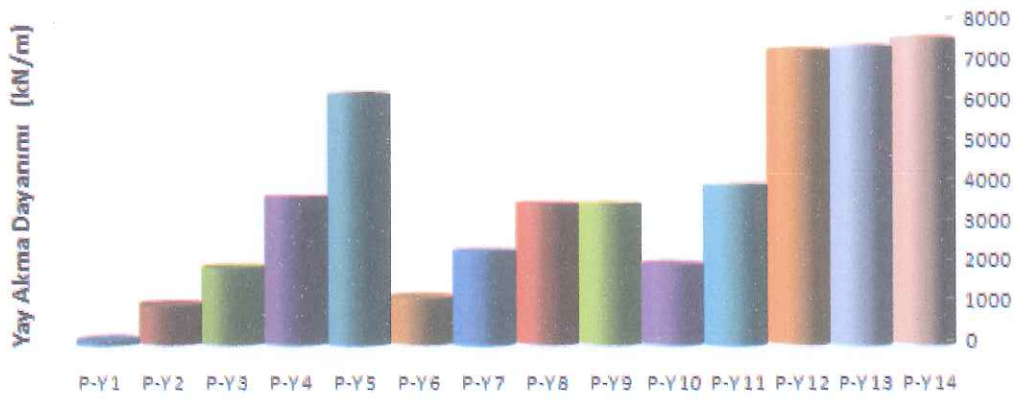
Şekil 5.31 İstanbul Ağva lokasyonu zemin parametreleri



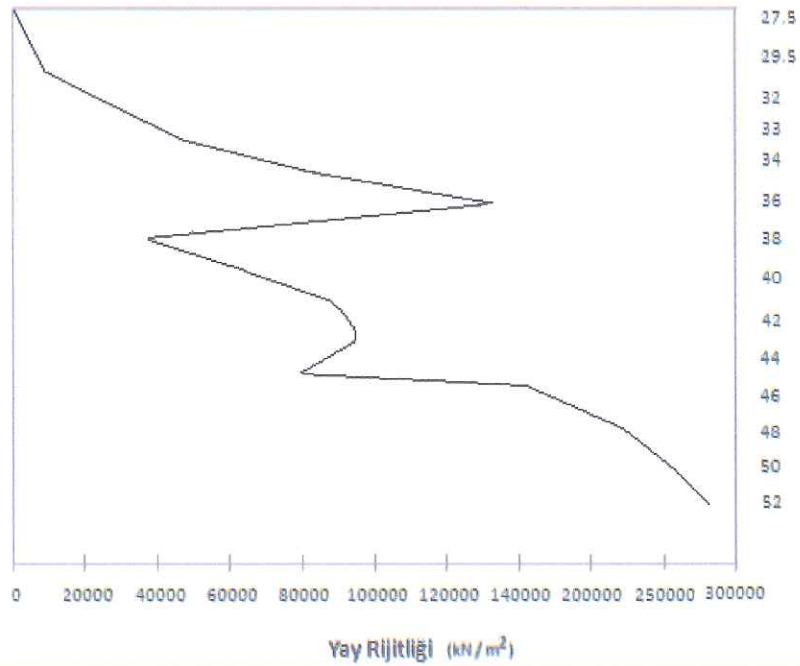
Şekil 5.32 Kocaeli Yeniköy lokasyonu p-y eğrileri



Şekil 5.33 Kocaeli Yeniköy lokasyonu p-y yay rijitlikleri



Şekil 5.34 Kocaeli Yeniköy lokasyonu yay p-y akma dayanımı



Şekil 5.35 Kocaeli Yeniköy lokasyonu p-y yay rijitliğinin kazık kesitleri boyunca değişimi

5.6 Yapıya Etki Eden Yükler

Doğrusal olmayan statik analizin başlangıç koşullarını belirlemek üzere kazıklı rıhtım veya iskele sistemi, ilk aşamada öz ağırlık ve gemi bağlama yükünün (baba yükü) yarısının ortak etkisi altında analiz edilecektir. Ancak bu analizlerde doğrusal olmayan davranışa sadece zeminde izin verilecek, kazıklarda plastik mafsal oluşumuna izin verilmeyecektir. Aksi durumda kazık kesitleri değiştirilerek analiz tekrarlanacaktır. Aşağıda, hesapta dikkate alınan başlıca esaslar verilmiştir:

- SAP2000, ver.14.2.2 Programı ile taşıyıcı sistemi oluşturan eleman ağırlıkları otomatik olarak dikkate alınabildiğinden, eleman ağırlıkları statik yük olarak ayrıca dikkate alınmamıştır.
- Gemi bağlama yükü "B" 100 ton olarak alınmıştır. Doğrusal olmayan analizde bu yükün yarısı dikkate alınmıştır.
- Yatay yükler, hâkim mod şekline uygun olacak şekilde her iki doğrultu için ayrı ayrı taşıyıcı sisteme statik yükler olarak etki ettirilmiştir.

5.7 İtme Analizi İçin Yapılan Yüklemeler

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde, birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizi yapılır. Başlangıç analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır. Statik itme analizi için 3 adet yükleme tanımlanmıştır. Bunlar; D: Ölü yük ve B: Gemi bağlama yükü olarak düşey yüklemeyi temsilen $D+0.5B$, X yönünde yapılan itmeyi temsilen $D+0.5B+X$ ve Y yönünde yapılan itmeyi temsilen $D+0.5B+Y$ olarak tanımlanmıştır.

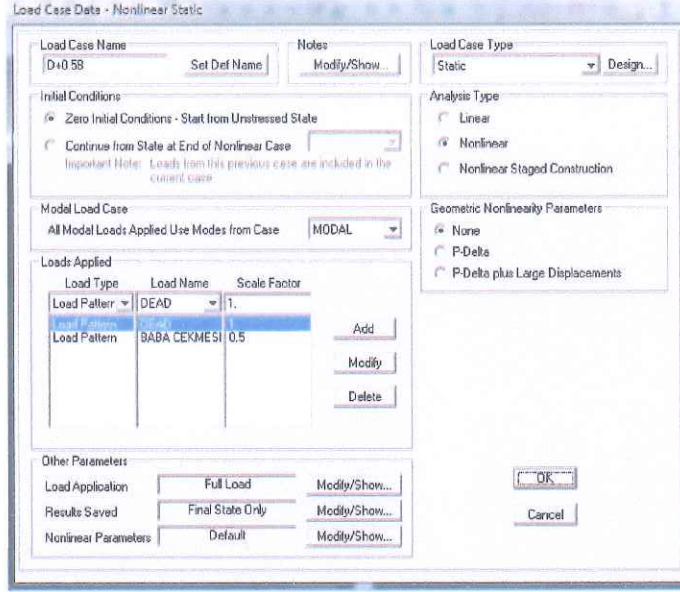
5.7.1 Başlangıç Yükleme

Yapının toplam ağırlığını ve baba çekme yükünün yarısını içeren doğrusal olmayan analiz durumunu ifade etmektedir. Şekil 5.33' da düşey doğrultudaki yüklere ait analiz

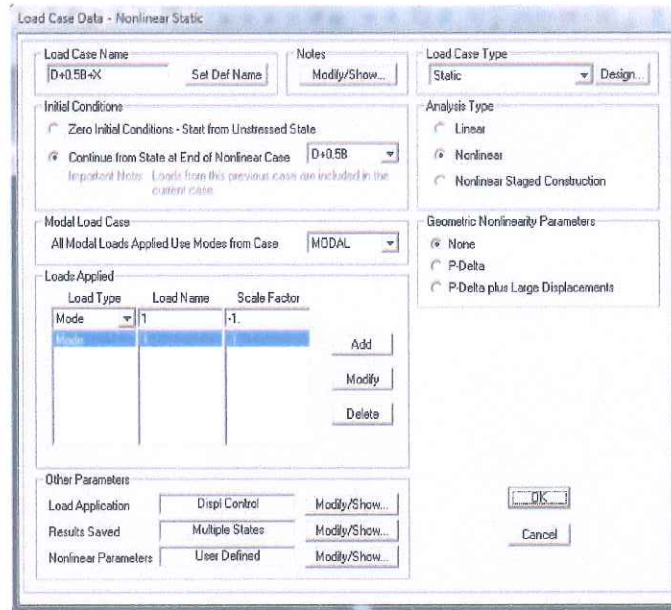
durumu SAP2000 ver.14.2.2' de tanımlanmıştır.

5.7.2 X-X Doğrultusu Yüklemesi

Başlangıç yüklemesi ile elastik çözümün tamamlandığı andan itibaren belirtilen yer değiştirme istemine kadar sürecek X-X doğrultusunda yatay yükleme başlar. Şekil 5.34' da X-X doğrultusuna ait analiz durumu SAP2000 ver.14.2.2' de tanımlanmıştır.



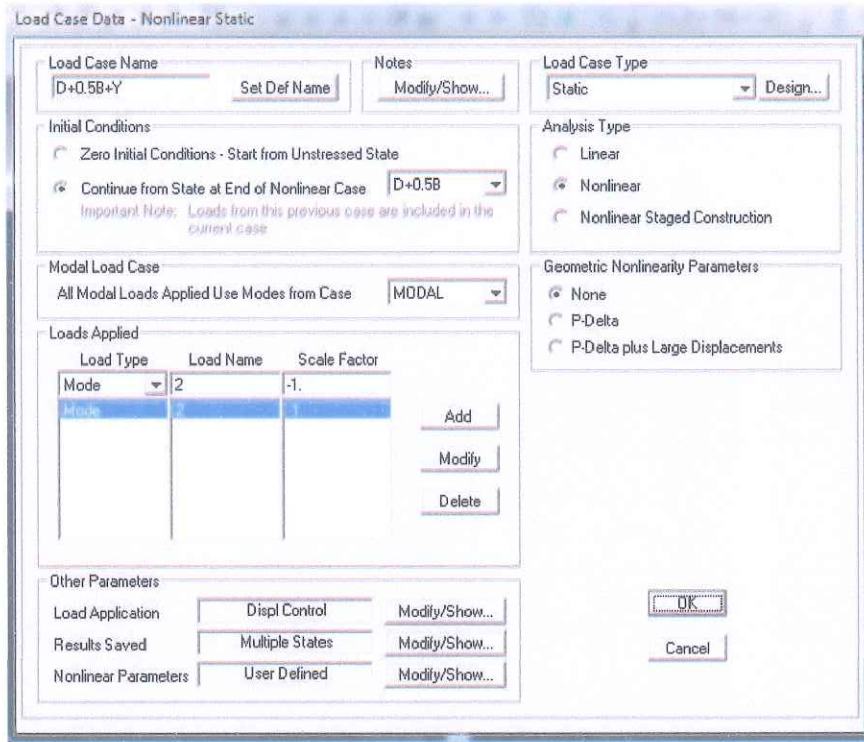
Şekil 5.36 Düşey doğrultudaki yüklemeleri içeren analiz durumunun SAP2000, ver.14.2.2' de tanımlanması



Şekil 5.37 X-X doğrultusundaki yüklemeyi içeren analiz durumunun SAP2000, ver.14.2.2' de tanımlanması

5.7.3 Y-Y Doğrultusu Yüklemesi

Başlangıç yüklemesi ile elastik çözümün tamamlandığı andan itibaren belirtilen yer değiştirme istemine kadar sürecek Y-Y doğrultusunda yatay yükleme başlar. Şekil 5.35' de Y-Y doğrultusuna ait analiz durumu SAP2000, ver.14.2.2' de tanımlanmıştır.



Şekil 5.38 Y-Y doğrultusundaki yüklemeyi içeren analiz durumunun SAP2000, ver.14.2.2' de tanımlanması

5.8 İtme Analizi Sonuçları

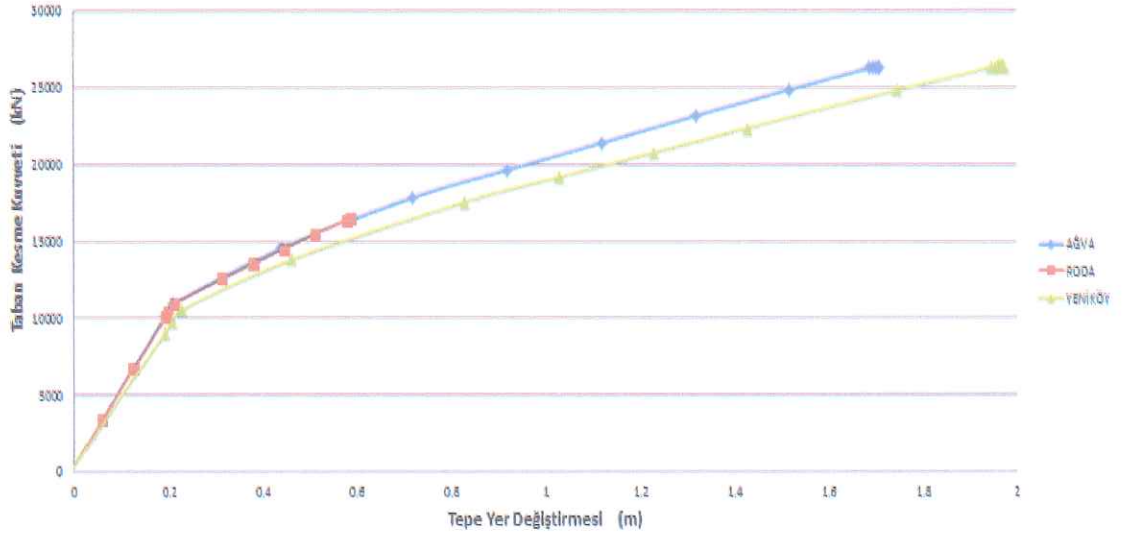
Mevcut yüklemeler altında itme analizi yapılarak taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi (kapasite eğrisi) elde edilmiştir [7].

5.8.1 Düşey Kazıklı İskele Yapısı

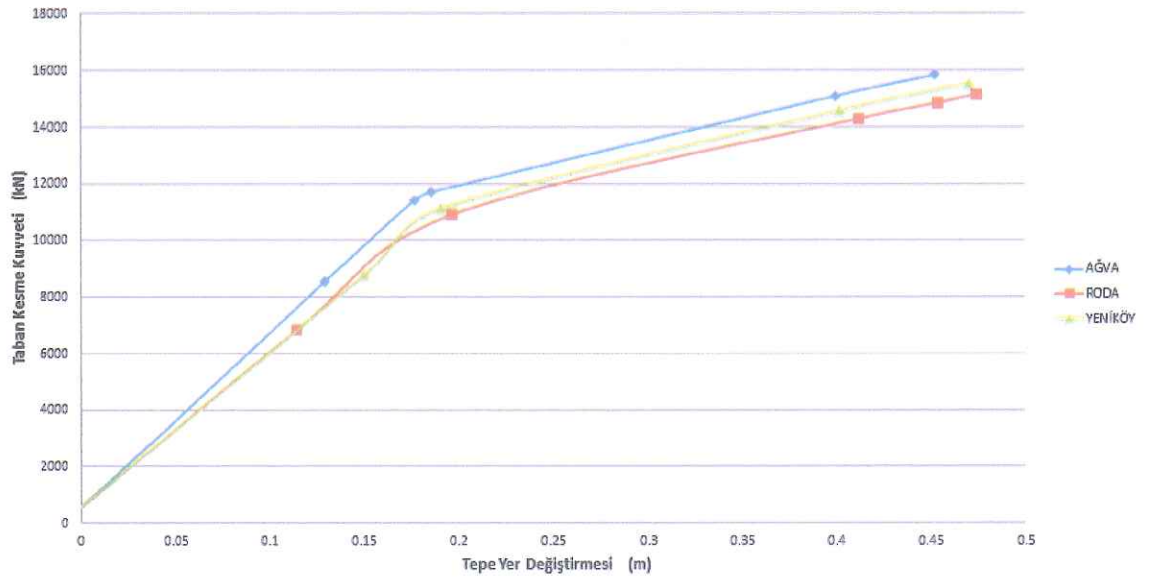
Bu bölümde düşey kazıklı iskele yapısına ait artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile statik itme analizi gerçekleştirilmiş ve farklı zemin formasyonları için her iki doğrultuda ulaşılan maksimum yatay yer değiştirme ve taban kesme kuvvetleri Çizelge 5.12' de, kapasite eğrileri ise Şekil 5.36 ve 5.37' de verilmiştir.

Çizelge 5.12 Düşey kazıklı iskele yapısı maksimum yatay yer değiştirme değerleri ve taban kesme kuvvetleri

| | Maksimum Yatay Yer Değiştirme (m) | | Taban Kesme Kuvvetleri (kN) | |
|---------|-----------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|
| | X-X Doğrultusu | Y-Y Doğrultusu | X-X Doğrultusu | Y-Y Doğrultusu |
| AĞVA | 1.71 | 0.45 | 26380 | 15860 |
| RODA | 0.59 | 0.474 | 16460 | 15120 |
| YENİKÖY | 1.97 | 0.47 | 26890 | 15500 |



Şekil 5.39 Tüm lokasyonların X-X doğrultusu itme eğrileri



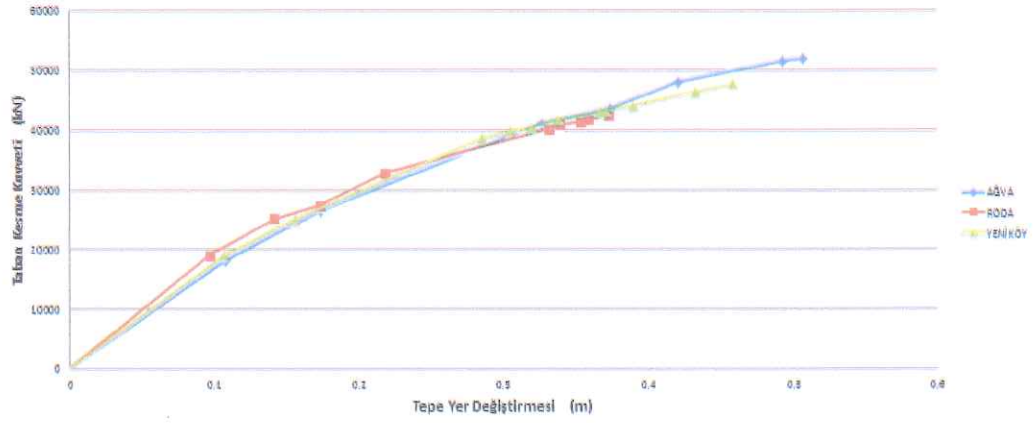
Şekil 5.40 Tüm lokasyonların Y-Y doğrultusu itme eğrileri

5.8.2 Eğik Kazıklı İskele Yapısı

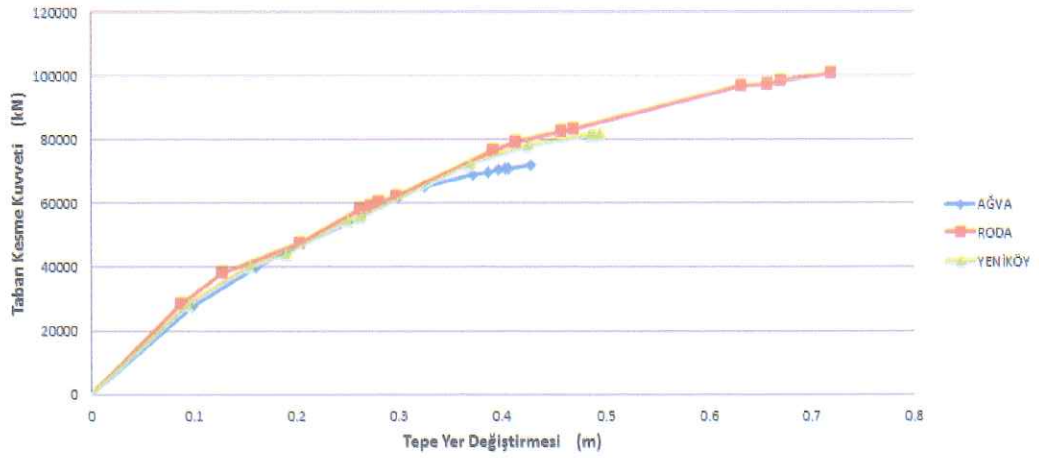
Bu bölümde eğik kazıklı iskele yapısına ait artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile statik itme analizi gerçekleştirilmiş ve farklı zemin formasyonları için her iki doğrultuda ulaşılan maksimum yatay yer değiştirme ve taban kesme kuvvetleri Çizelge 5.13' de, kapasite eğrileri ise Şekil 5.38 ve 5.39' de verilmiştir.

Çizelge 5.13 Eğik kazıklı iskele yapısı maksimum yatay yer değiştirme değerleri ve taban kesme kuvvetleri

| | Maksimum Yatay Yer Değiştirme (m) | | Taban Kesme Kuvvetleri (kN) | |
|---------|-----------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|
| | X-X Doğrultusu | Y-Y Doğrultusu | X-X Doğrultusu | Y-Y Doğrultusu |
| AĞVA | 0.51 | 0.43 | 52122 | 72110 |
| RODA | 0.37 | 0.72 | 42270 | 100460 |
| YENİKÖY | 0.46 | 0.494 | 47580 | 81580 |



Şekil 5.41 Tüm lokasyonların X-X doğrultusu itme eğrileri



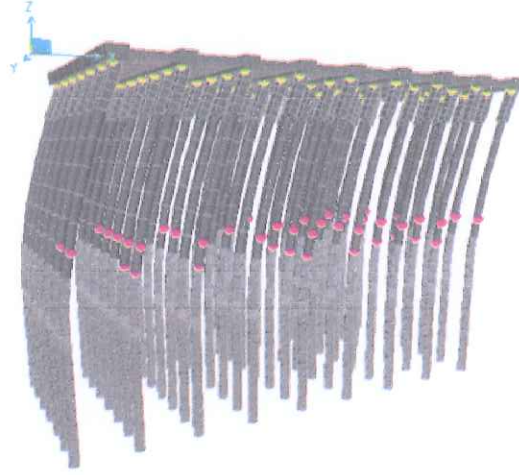
Şekil 5.42 Tüm lokasyonların Y-Y doğrultusu itme eğrileri

5.9 Değerlendirmeler

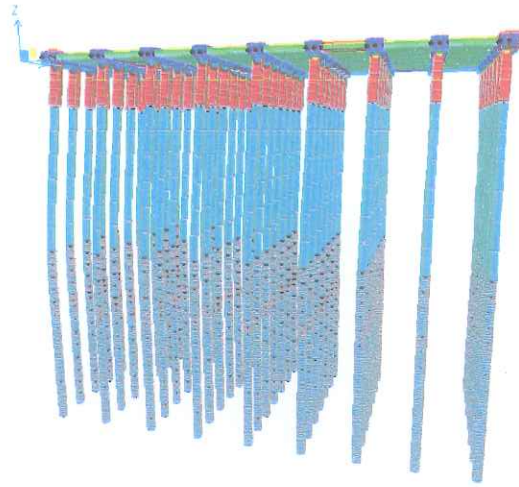
Bu kısımda, iki farklı iskele yapısı için, zemin-kazık, kazık-yapı etkileşiminin doğrusal olmayan yayar ile temsil edilmiş olduğu numerik modellere ait farklı zemin profilleri göz önüne alınarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan statik analiz sonuçları, her iki yapı için kendi içerisinde karşılaştırılmış, yük taşıma kapasiteleri ve maksimum yatay yer değiştirmeler irdelenmiştir.

5.9.1 Düşey Kazıklı İskele Yapısı

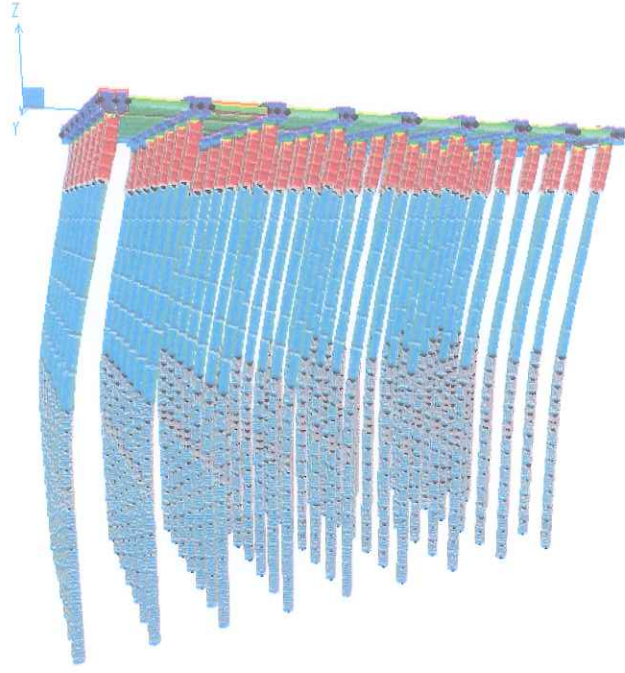
Üç farklı zemin profili için düşey kazıklı iskele sisteminde her iki doğrultuda son itme adımına ait mekanizma durumları Şekil 5.40-5.45'de görülmektedir.



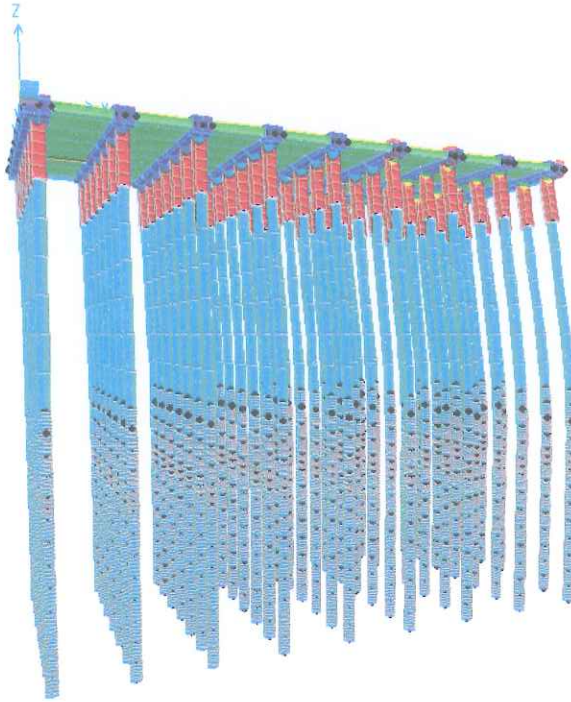
Şekil 5.43 Ağva lokasyonu X-X doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış düşey kazıklı iskele



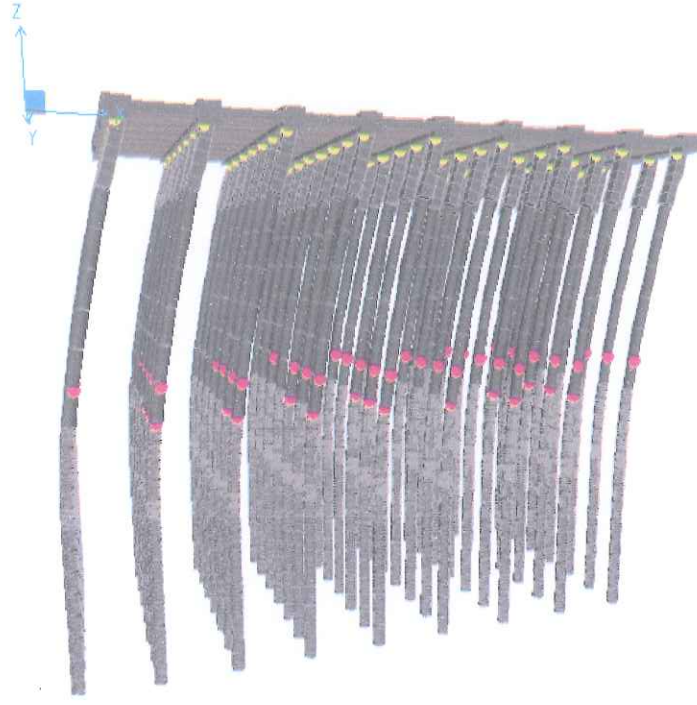
Şekil 5.44 Ağva lokasyonu Y-Y doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış düşey kazıklı iskele



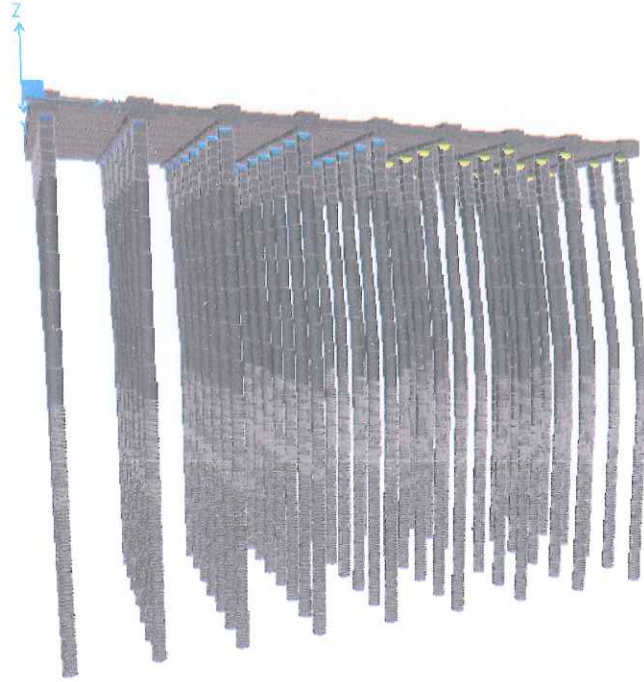
Şekil 5.45 Roda Lokasyonu X-X doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış düşey kazıklı iskele



Şekil 5.46 Roda lokasyonu Y-Y doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış düşey kazıklı iskele



Şekil 5.47 Yeniköy lokasyonu X-X doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış düşey kazıklı iskele



Şekil 5.48 Yeniköy lokasyonu Y-Y doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış düşey kazıklı iskele

Buna göre,

1. Düşey kazıklı iskelede X-X doğrultusundaki mekanizma durumları incelendiğinde (Şekil 5.40, 5.42, 5.44);

❖ Roda lokasyonun, diğer lokasyonlara nazaran daha sağlam zemine rastlaması dolayısıyla kesitlerinin daha az zorlandığı ve mekanizma durumuna geçmediği görülmüştür.

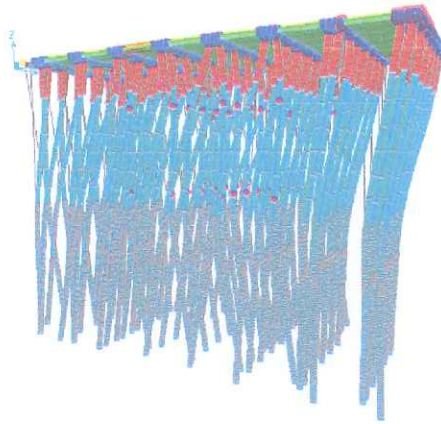
❖ Yeniköy ve Ağva lokasyonlarının ise zemin değerleri birbirine yakın olmasına rağmen Ağva lokasyonunun zemin profilinin daha zayıf olması nedeniyle daha çok plastik mafsal olduğu gözlenmiştir.

2. Düşey kazıklı iskelede Y-Y doğrultusundaki mekanizma durumları incelendiğinde (Şekil 5.41, 5.43, 5.45);

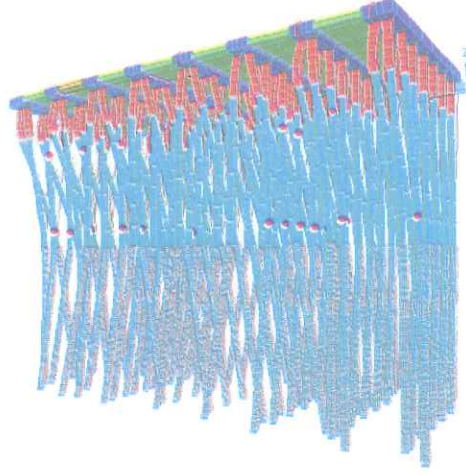
❖ Yeniköy, Ağva, Roda lokasyonlarında sistemlerin yatay yükler nedeniyle fazla zorlanmadığı (X-X doğrultusuna göre) bununla beraber etkileşimde oldukları yatay yükler sırasıyla Ağva, Roda, Yeniköy lokasyonları olarak bulunmuştur. Oluşan yerdeğiştirme büyüklükleri incelendiğinde ise etkileşimde oldukları yatay yükler sıralamasının tersi biçimindedir.

5.9.2 Eğik Kazıklı İskele Yapısı

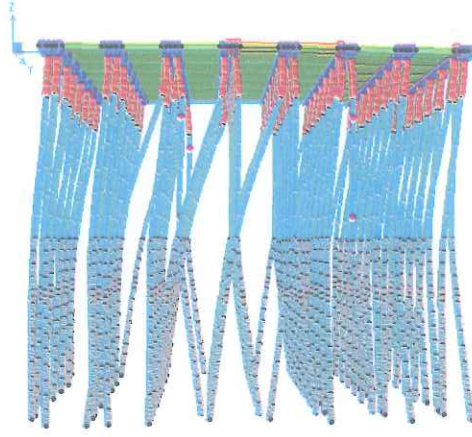
Üç farklı zemin profili için düşey kazıklı iskele sisteminde her iki doğrultuda son itme adımına ait mekanizma durumları Şekil 5.46-5.51’de görülmektedir.



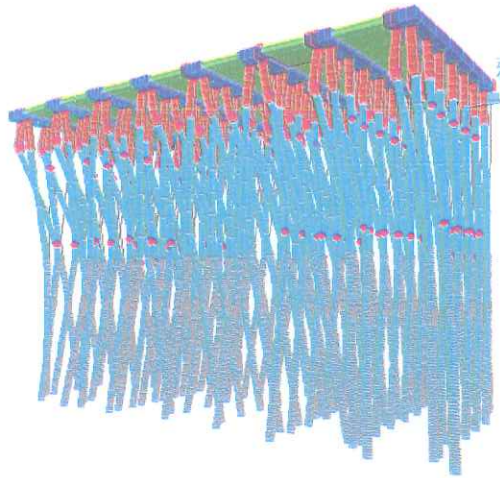
Şekil 5.49 Ağva lokasyonu X-X doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış eğik kazıklı iskele



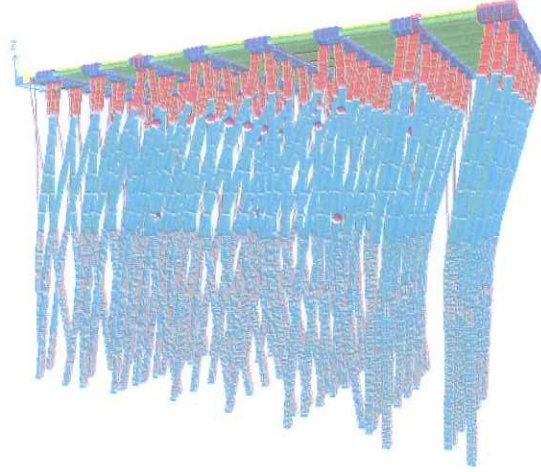
Şekil 5.50 Ağva lokasyonu Y-y doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış eğik kazıklı iskele



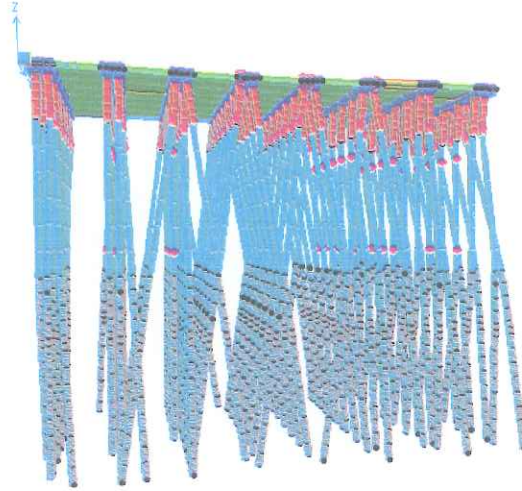
Şekil 5.51 Roda lokasyonu X-X doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış eğik kazıklı iskele



Şekil 5.52 Roda lokasyonu Y-Y doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış eğik kazıklı iskele



Şekil 5.53 Yeniköy lokasyonu X-X doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış eğik kazıklı iskele



Şekil 5.54 Yeniköy lokasyonu Y-Y doğrultusundaki şekil değiştirmeye uğramış eğik kazıklı iskele

Buna göre,

1. Eğik kazıklı iskelede X-X doğrultusundaki mekanizma durumları incelendiğinde (Şekil 5.46, 5.48, 5.50);

- ❖ Ağva lokasyonunda plastik mafsall oluşumunun diğer zeminlere nazaran daha fazla olduğu (en zayıf zemine rastlaması nedeniyle) gözlenmiştir. Roda lokasyonu Yeniköy lokasyonundan zemin profilinin daha güçlü olması nedeniyle daha az zorlandığı görülmüştür.

2. Eğik kazıklı iskelede Y-Y doğrultusundaki mekanizma durumları incelendiğinde (Şekil 5.47, 5.49, 5.51);

- ❖ Roda lokasyonun, diğer lokasyonlara nazaran daha sağlam zemine rastlaması dolayısıyla kazıkların yapısı nedeniyle daha fazla zorlandığı ve mekanizma durumuna geçtiği görülmüştür.
- ❖ Yeniköy ve Ağva lokasyonlarının ise zemin değerleri birbirine yakın olmasına rağmen Yeniköy lokasyonunun zemin profilinin daha zayıf olması nedeniyle daha çok plastik mafsallık oluştuğu gözlenmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, DLH 2008 yönetmelik hükümleri uyarınca düşey ve eğik düzenlenmiş kazık destekli iskele yapılarının farklı zemin koşulları dikkate alınarak yatay yük taşıma kapasiteleri doğrusal olmayan statik analizlerle belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Her iki sistemde de; düşey kazıklı iskelelerde tabliye bölgesi ve eğik kazıklı iskelelerde kompozit kazık geçiş bölgesinde oluşan plastik mafsalların haricinde su tabanı-zemin geçiş bölgesinde oluşan plastik mafsallarla beraber yatay yük taşıma kapasitesi artmıştır. Bu artış zemin tabakalarının zayıflaması ile daha da belirgin bir hal almıştır.
2. Düşey kazıklı iskelenin tabliyesindeki plastik mafsallar, eğik kazıklı iskelenin tabliyesindeki plastik mafsallardan kritik (yüksek) dönme değerleri olarak tabliye bölgesinde daha fazla hasar oluşturacağını göstermiştir.
3. Düşey kazıklı iskelenin zemin tabakalarının geçiş bölgelerinde de plastik mafsallı oluşmuş, bu bölgede kazıklarda hasarlar yoğunlaşmıştır. Eğik kazıklı iskelelerde böyle bir durum söz konusu değildir.
4. Düşey kazıklı iskele yapısı eğik kazıklı iskele yapısına oranla daha fazla yer değiştirme yapmaktadır. Yatay yük kapasite eğrilerinde başlangıç teğet eğimleri karşılaştırıldığında da düşey kazıklardan oluşan iskele yapısının daha az yatay rijitliğe sahip olduğu görülmektedir.

5. Yatay yük kapasite eğrileri altında kalan alanlardan hareketle eğik kazıklardan oluşan iskele yapısının düşey kazıklardan oluşan iskele yapısına oranla daha fazla enerji tüketebileceği söylenebilir.

Bu sonuçlar doğrultusunda; rıhtım ve iskele yapılarının esas taşıyıcılarından olan kazıklar ile kazıkların mesnetlendiği ve doğrusal davranmayan zemin ortamının idealize edilerek doğrusal elastik olmayan (nonlineer) yaylar ile temsil edilmesi ile oluşturulan 3 boyutlu numerik simülasyonlarda zemin-kazık etkileşimi açısından iki temel sonuca daha ulaşmak mümkün olmuştur:

1. Farklı zemin şartları gözetildiğinde numerik modellerde gözlenen yapısal davranış, zayıf zemin koşullarına maruz iskele yapılarında taban kesme kuvvetlerinin büyük mertebelere ulaşacağını hali ile yapının daha fazla deprem kuvvetine maruz kalabileceğini destekler niteliktedir.
2. Düşey kazıklı rıhtım ve iskelelerin kendi arasında yapılan değerlendirmede, daha sağlam zemine oturması nedeniyle kesitlerinin daha az zorlandığı ve mekanizma durumuna geçmediği gözlenmiştir.
3. Eğik kazıklı rıhtım ve iskelelerin kendi arasında yapılan değerlendirmede, sağlam zeminlerde bile daha fazla zorlandığı ve mekanizma durumuna geçtiği görülmüştür.
4. Eğik kazıklı iskele yapılarında yatay yer değiştirmeler düşük mertebelerde olduğundan farklı zemin profilleri için elde edilen yatay yük-yer değiştirme eğrilerinden de izlenebileceği gibi (Şekil 5.41-42) zemin-kazık etkileşimi terk edilebilir; sayısal modelde kazıkların zeminle olan bağlantıları tanımlanırken eşdeğer ankastre mesnet kabulü yapılabilir. Ancak yatay yer değiştirmelerin yüksek mertebelere ulaştığı düşey kazıklı iskele yapılarında ise zemin-kazık etkileşimi oldukça belirgin hale geldiği için (Şekil 5.39-40) bu etkileşim göz ardı edilmemelidir; sayısal modelde zemin içerisinde kalan kazıklardaki bu etkileşim, ayrık zemin yaylarında, doğrusal elastik olmayan kuvvet-yer değiştirme ilişkileri göz önüne alınacak şekilde tarif edilmelidir.

Yukarıdaki sonuçların değerlendirilmesi sonucunda iskele ve rıhtım yapı sisteminde sadece eğik kazık kullanılmasından ziyade kazıklar karma sistem olarak seçilebilir.

Bu durumda zemin-kazık etkileşimi doğrusal elastik olmayan yaylar ile sayısal modele yansıtılmalıdır. Bu konu ileriki çalışmalarda irdelenecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Arulmoli, A. K., ve Martin, G. R., (2009). " Seismic Soil-Structure Interaction Issues for Pile-Supported Piers and Wharves", Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment, ASCE, 2009.
- [2] Terzi, N. U., Kılıç, H., ve Gültekin S., (2009). " Yanal Yüklü Bir Model Kazığın Kum Ortamındaki Davranışının Deneysel ve Nümerik", Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15:119-127.
- [3] Juirnarongrit, T., ve Ashford, S. A., (2006). "Soil-Pile Response to Blast-Induced Lateral Spreading. II: Analysis and Assessment of the p-y Method", Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, ASCE, 132:163-172, February 2006.
- [4] Chiou J. S., Chiang, C. H., Yang, H. H., ve Hsu S. Y., (2011). "Developing fragility curves for a pile-supported wharf", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31:830-840.
- [5] Juirnarongrit, T., ve Ashford, S. A., (2006). Seismic Performance and Simulation of Pile Foundations, ASCE, 119-120, New York.
- [6] Siyahi, B., Fahjan, Y., Doran, B., Akbaş, B., ve Özkan, T., (2011). "Kazıklı İskelelerin Deprem Performanslarının Değerlendirilmesi", Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 30 Mayıs-3 Haziran, 2011, İstanbul.
- [7] Seçkin, A. (2012). Yanaşma Yapılarının Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirilmesi ,Yüksek Lisans Tezi , Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Polat, Ş. Ş., (2008). "Deformation Based Seismic Design of Pile Supported Marine Facilities", Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırmaları Enstitüsü Deprem Mühendisliği Doktora Tezi, İstanbul.
- [9] Tsinker, Gregory P. (2004) Port Engineering: Planning, Construction, Maintenance, and Security, Wiley.
- [10] Yüksel, Y. ve Özkan E.Ç., (2010). "Liman Mühendisliği", 2. Baskı Beta Yayınevi, İstanbul.

- [11] Köseoğlu, S., (1987). "Temeller Statiği ve Konstrüksiyonu I Temel Bilgier", Cilt 2 (3.Basım), Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- [12] Çinicioğlu, S. F., (2005). "Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı", İmo Seminer, 2005, İstanbul.
- [13] Özkan, M.T. ve Sağlamer, A., (1995). "Kazıklı Temeller", Dünya İnşaat, 35-38.
- [14]a Yıldırım, S., (2002). Zemin İncelenmesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [14]b Yıldırım, S., (2004). Zemin İncelenmesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [15] Sowers, G.F., (1987). "Introductors Soil Mechancs and Foundations", Geotechnical Engineering, 4th Ed., MacMillan, New York.
- [16] Tomlinson, M. J., (1994). Foundation Design and Construction, Longman, Great Britain.
- [17]a Praskash, S., (1989). "Pile Foundation in Engineering Practice", John Wiley&Sons Inc., New York.
- [17]b Praskash, S., ve Sharma, H. D., (1989). "Pile Foundation in Engineering Practice", John Wiley&Sons Inc., New York.
- [18]a Duncan, M. J., ve Ooi, P. S. K., (1994). "Lateral Load Analysis of Groups of Piles and Drilled Shafts", Journal of Geotecnical Engineering, ASCE, 120(3): 429-447.
- [18]b Duncan, M. J., ve Ooi, P. S. K., (1994). "Lateral Load Analysis of Groups of Piles and Drilled Shafts", Journal of Geotecnical Engineering, ASCE, 20(5): 1018-1033.
- [19] Brinch Hansen, J., (1961). "The Ultimate Resistance Of Rigid Piles Against Transversal Forces", Danish Geotechnical Institue Bull. No.12, Copenhagen, 5-9.
- [20]a Birand, A. A., (2001). "Kazıklı Temeller", Teknik Yayınevi, Ankara, 443.
- [20]b Birand, A. A., (2007). "Kazıklı Temeller", ODTÜ Yayınları, Ankara.
- [21] Broms, B. B., (1964). "Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils", Journal of Soil Mechanics and Foundation Divison, ASCE, 90(2):27-63.
- [22] Poulos, H. G., (1971). "Behavior of Laterally Loaded Piles:I- Single Piles", J. Soil. Mech. Found. Div., ASCE, 97(5):711-731.
- [23] Douglas, D. J., ve Davis, E. H., (1964). "The Movement of Buried Footings due to Moment and Horizontal Load and Movement of Anchor Plates", Geotechnique, 14:115-132.
- [24] Ansal, A. M., Kın, A. S., ve Yasa, B., (1991). "Yatay Yükler Etkisindeki Kazıkların Hesabında Kullanılan Yatak Katsayılarının Belirlenmesi", İnşaat Mühendisliğinde Zemin Sempozyumu, İmo Seminer, 1991, İzmir.

- [25] Terzagi, K., (1955). "Evaluation of Coefficients of Sub-grade Reaction", *Geot.*, 5(1):12-23.
- [26] Palmer, L. A., ve Thompson J.B., (1948). "The Earth Pressure and Deflection Along The Embedded Lengths of Piles Subjected to Lateral Thrust", 156-161, *Proceedings Second International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rotterdam.*
- [27] Davisson, M. T., ve Prakash, S., (1963). "A Review of Soil Pile Behavior", 25-38, *Highway Research Record No. 39.*
- [28] Reese, M. A., ve Matlock, H., (1956). "Non Dimensional Solution for Laterally Loaded Piles with Soil Modulus Assumed Proportional to Depth", *Proc. 8th Texas Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering, Austin, TX.*, 1-41.
- [29] Davisson, M.T., ve Gill, H.L., (1963). "Laterally Load Piles in Layered Soil System", *J. Soil. Mech. Found. Div., ASCE*, 89(3):63-94.
- [30] Reese, L. C., ve Van Impe, W. F., (2001). "Single Piles and Pile Groups Under Lateral Loading", *Taylor & Francis, New York.*
- [31] Savaşeri, K. (2006). "Yatay Yüklü Düşey Kazıkların Hesap Esasları ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- [32] Reese, L. C., Coc, W. R., ve Koop, F.D., (1974). "Analysis of Laterally Loaded Piles in Sand", *Proc. Offshore Technology Conf., Houston, TX.*, 473-483.
- [33] Matlock, H., (1970). "Correlations for Design of Laterally Loaded Piles in Soft Clay" *2nd Offsh. Tech. Conf., Texas, OTC 1204.*
- [34] Yıldırım, S., (1995). *Kazıklı Temellerin Tasarımı, 1995.*
- [35] T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, (2008). *Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, Ankara.*
- [36] Özer, E., (2007), "Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları", *İstanbul.*
- [37] SAP2000 ver.14.2.2, (2010). *Integrated Structural Analysis and Design Software, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.*
- [38] XTRACT ver.3.0.8, (2007). *Cross Sectional Analysis of Components, Imbsen Software System, Sacramento.*
- [39] API, American Petroleum Institute, *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms—Working Stress Design, 2000.*
- [40] Geosan, (2005). *Roda Limanı İskele, Dolgu ve Rihtım Yerleri Zemin İncelmesi, Bursa Gemlik.*
- [41] Geosan, (2004). *Ağva Balıkçı Barınağı Zemin İncelmesi Raporu, İstanbul Şile.*

- [42] Geosan, (2007). Limaş Limanı Tahmil ve Tahliye İskeleleri Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu, Kocaeli GÖlcük.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Şenol KORKMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri :02.06.1987
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :sivrisenol@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan | Okul/Üniversite | Mezuniyet Yılı |
|--------|---------------------|---------------------------|----------------|
| Lisans | İnşaat Mühendisliği | Kocaeli Üniversitesi | 2010 |
| Lise | Fen Bilimleri | Orhan Cemal Fersoy Lisesi | 2005 |

YAYINLARI

Bildiri

1. Doran, B., Yüksel, Y., Çakır, C., Seçkin, A., Korkmaz, Ş., Köroğlu, M., Düşey/Eğik Kazıklı İskele Yapılarının Doğrusal Olmayan Statik Çözümlemesi, 7. Kıyı Mühendisliği Konferansı, 20 -23 Kasım 2011, Trabzon.
2. Doran, B., Yüksel, Y., Çakır, C., Korkmaz, Ş., Seçkin, A., Köroğlu, M., Non-Linear Static Analysis of Vertical/Batter Pile-Wharf Structures, ISOPE 2012 – The 22nd International Offshore (Ocean) and Polar Engineering Conference, June 17-22 2012, Rhodes (Rodos), Greece.