İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN EUROCODE 7 VE RUS KAZIKLI TEMELLER YÖNETMELİĞİNE GÖRE BELİRLENMESİ HAKKINDA BİR İNCELEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eda ÇELİK YURTSEVER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN EUROCODE 7 VE RUS KAZIKLI TEMELLER YÖNETMELİĞİNE GÖRE BELİRLENMESİ HAKKINDA BİR İNCELEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eda ÇELİK YURTSEVER
(501101319)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. M. Tuğrul ÖZKAN

HAZİRAN 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101319 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Eda ÇELİK YURTSEVER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN EUROCODE 7 VE RUS KAZIKLI TEMELLER YÖNETMELİĞİNE GÖRE BELİRLENMESİ HAKKINDA BİR İNCELEME" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. M. Tuğrul ÖZKAN** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof.Dr. Recep İYİSAN** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. M. Kubilay KELEŞOĞLU .....
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 2 Mayıs 2016
Savunma Tarihi : 3 Haziran 2016

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezinde, kazık taşıma gücünün belirlenmesi amacıyla Eurocode 7 ve Rus kazıklı temeller yönetmeliğinde verilmiş olan kurallar ve hesap yöntemleri incelenmiştir. İnceleme kapsamında, değişken çap ve uzunluklardaki çakma ve fore kazıkların, kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin tipleri için taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Yapılan hesaplar sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve adı geçen iki yönetmeliğin arasındaki benzerlikler ve farklılıklar yorumlanmıştır.

Tez çalışmam süresince bana destek olan, bilgi ve deneyimlerini benimle paylasan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Tuğrul ÖZKAN'a teşekkürlerimi sunarım. Eğitim hayatım boyunca bana olan sonsuz destekleri için aileme çok teşekkür ederim.

Haziran 2016

Eda Çelik Yurtsever
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 1
1.2 Tezin Kapsamı 1
2. KAZIKLI TEMELLER **3**
2.1 Giriş 3
2.2 Kazık Tipleri 3
2.2.1 İmal edildiği malzemeye göre kazıklar 3
2.2.2 Kullanım amaçlarına göre kazıklar 5
2.2.3 Zemine yerleştirilme tekniğine göre kazıklar 6
2.3 Kazık Tipi ve Uygulama Yönteminin Seçimi 7
3. EUROCODE 7'YE GÖRE KAZIK TASARIMI **9**
3.1 Giriş 9
3.2 Kazık Tasarım Esasları 10
3.3 Kazık Taşıma Gücünün Belirlenmesi 12
3.3.1 Taşıma gücü hesabı 12
3.3.2 Taşıma gücünün arazi deneyleriyle belirlenmesi 13
3.3.3 Taşıma gücünün statik kazık yükleme deneyleriyle belirlenmesi 14
3.3.4 Taşıma gücünün dinamik kazık yükleme deneyleriyle belirlenmesi 14
3.4 Kazık Tasarım Yükünün Belirlenmesi 16
4. SP 24.13330.2011'E GÖRE KAZIK TASARIMI **19**
4.1 Giriş 19
4.2 Kazıklı Temel Tasarım Esasları 20
4.3 Kazık Taşıma Gücünün Belirlenmesi 21
4.3.1 Taşıma gücü hesabı 21
4.3.1.1 Deplasman kazıklarının taşıma gücü hesabı 21
4.3.1.2 Sondaj kazıklarının taşıma gücü hesabı 25
4.3.2 Taşıma gücünün arazi deneyleriyle belirlenmesi 29
4.3.2.1 Statik ve dinamik kazık yükleme deneyine bağlı taşıma gücü 29
4.3.2.2 Referans kazık deneyi ve statik sonda deneyine bağlı taşıma gücü 30
4.4 Kazıkların Tasarım Yükünün Belirlenmesi 31
5. ÖRNEK KAZIK TAŞIMA GÜCÜ HESAPLARI **33**
5.1 Kohezyonlu Zeminde Fore Kazık Taşıma Gücü 33

5.1.1 Eurocode 7'ye göre taşıma gücü hesabı 34
5.1.2 SP 24.13330.2011'e göre taşıma gücü hesabı 35
5.2 Kohezyonsuz Zeminde Fore Kazık Taşıma Gücü 36
5.2.1 Eurocode 7'ye göre taşıma gücü hesabı 37
5.2.2 SP 24.13330.2011'e göre taşıma gücü hesabı 38
5.3 Kohezyonlu Zeminde Çakma Kazığın Taşıma Gücü 39
5.3.1 Eurocode 7'ye göre taşıma gücü hesabı 40
5.3.2 SP 24.13330.2011'e göre taşıma gücü hesabı 41
5.4 Kohezyonsuz Zeminde Çakma Kazığın Taşıma Gücü 42
5.4.1 Eurocode 7'ye göre taşıma gücü hesabı 42
5.4.2 SP 24.13330.2011'e göre taşıma gücü hesabı 43
6. HESAP SONUÇLARI VE BULGULAR 45
6.1 Kohezyonlu Zeminde Birim Uç Mukavemeti ve Birim Çevre Sürtünmesinin Karşılaştırılması 45
6.1.1 Birim Uç Mukavemeti 45
6.1.2 Birim Çevre Sürtünmesi 46
6.2 Kohezyonsuz Zeminde Birim Uç Mukavemeti ve Birim Çevre Sürtünmesinin Karşılaştırılması 48
6.2.1 Birim Uç Mukavemeti 48
6.2.2 Birim Çevre Sürtünmesi 49
6.3 Kazık Taşıma Gücü Hesap Sonuçları 50
6.3.1 Kohezyonlu zeminde kazık taşıma gücü hesap sonuçları 50
6.3.2 Kohezyonsuz zeminde kazık taşıma gücü hesap sonuçları 53
7. SONUÇLAR 57
KAYNAKLAR 59
EKLER 61
ÖZGEÇMİŞ 69

KISALTMALAR

CPT	**:** Koni Penetrasyon Deneyi
DA1	**:** Tasarım Metodu-1
DA2	**:** Tasarım Metodu-2
DA3	**:** Tasarım Metodu-3
EC7	**:** Eurocode 7
MPT	**:** Presiyometre Deneyi
SPT	**:** Standart Penetrasyon Deneyi
SP 24	**:** SP24.13330.2011
YASS	**:** Yer Altı Suyu Seviyesi

SEMBOLLER

$\mathbf{A}$	: Kazık ucu kesit alanı
$\mathbf{A_{b,k}}$	: Kazık taban kesit alanı,
$\mathbf{A_{s,i}}$	: İlgili zemin tabakası için kazık çevre alanı
$\mathbf{B}$	: Kazık genişliği
$\mathbf{D}$	: Kazık çapı
$\mathbf{f_i}$	: SP 24.13330.2011'e göre birim çevre sürtünmesi
$\mathbf{E'}$	: Drenajlı Young modülü
$\mathbf{F_{c,d}}$	: Kazığa etkiyen eksenel tasarım yükü
$\mathbf{F_d}$	: SP 24.13330.2011'e göre kazık taşıma gücü
$\mathbf{F_{tu}}$	: SP 24.13330.2011'e göre kazık çekme kapasitesi
$\mathbf{F_u}$	: SP 24.13330.2011'e göre kısmi kazık taşıma gücü
$\mathbf{F_{u,n}}$	: SP 24.13330.2011'e göre karakteristik kazık taşıma gücü
$\mathbf{G}$	: Sabit yük
$\mathbf{h}$	: Gömülme derinliği
$\mathbf{h_i}$	: Kazıkla temas halinde olan zemin tabakasının kalınlığı
$\mathbf{I_L}$	: Likidite indisi
$\mathbf{I_c}$	: Kıvam indisi
$\mathbf{L}$	: Kazık uzunluğu
$\mathbf{n}$	: Deney sayısı
$\mathbf{N}$	: Kazığa etkiyen tasarım yükü
$\mathbf{Q}$	: Hareketli yük
$\mathbf{Q_{ult}}$	: Kazık taşıma gücü
$\mathbf{q_{b,k}}$	: Karakteristik birim uç mukavemeti
$\mathbf{q_c}$	: CPT koni uç mukavemeti
$\mathbf{q_{s,k}}$	: Karakteristik birim çevre sürtünmesi
$\mathbf{R}$	: SP 24.13330.2011'e göre kazığın birim uç mukavemeti
$\mathbf{R_{b,cal}}$	: Arazi deneylerine bağlı olarak belirlenen kazık uç taşıma gücü
$\mathbf{R_{b,k}}$	: Karakteristik uç taşıma gücü
$\mathbf{R_{c,cal}}$	: Arazi deneylerine bağlı kazık taşıma gücü
$\mathbf{R_{c,d}}$	: Kazığın tasarım taşıma gücü
$\mathbf{R_{c,k}}$	: Karakteristik kazık taşıma gücü
$\mathbf{R_{c,m}}$	: Deneyle ölçülen kazık taşıma gücü
$\mathbf{R_{s,cal}}$	: Arazi deneylerine bağlı olarak belirlenen kazık çevre taşıma gücü
$\mathbf{R_{s,k}}$	: Karakteristik çevre taşıma gücü
$\mathbf{s}$	: Oturma miktarı
$\mathbf{s_{u,mt}}$	: Yapı için izin verilen oturma değeri
$\mathbf{u}$	: Kazık çevresi
$\mathbf{(A)}$	: Yükler için kısmi faktör
$\mathbf{(M)}$	: Zemin parametresi için kısmi faktör
$\mathbf{(R)}$	: Kazık kapasitesi için kısmi faktör
$\mathbf{(R_{c,cal})_{mean}}$	: Kazık taşıma gücü değerlerinin ortalaması
$\mathbf{(R_{c,cal})_{min}}$	: Kazık taşıma gücü değerlerinin en küçüğü

$(R_{c,m})_{mean}$: Kazık yükleme deneyiyle ölçülen kazık taşıma gücü değerlerinin ortalaması

$(R_{c,m})_{min}$: Kazık yükleme deneyiyle ölçülen kazık taşıma gücü değerlerinin en düşüğü

α_1 : Kazık uç mukavemeti için boyutsuz faktör

α_2 : Kazık uç mukavemeti için boyutsuz faktör

α_3 : Kazık uç mukavemeti için boyutsuz faktör

α_4 : Kazık uç mukavemeti için boyutsuz faktör

γ_0 : Servis faktörü

γ_1 : Kazık çevresindeki zeminin birim hacim ağırlığı

γ_b : Kazık uç mukavemeti için kısmi taşıma gücü faktörü

γ_c : Kazık servis faktörü

γ_{cf} : Kazık çevre sürtünmesi için zemin servis faktörü

γ_{cR} : Kazık uç mukavemeti için zemin servis faktörü

γ_g : Zemin güvenlik faktörü

γ_G : Sabit yüke uygulanan kısmi güvenlik faktörü

γ_k : Kazık taşıma kapasitesinin belirlendiği yönteme bağlı zemin güvenlik faktörü

γ_n : Yapı önem derecesine bağlı katsayı

γ_Q : Değişken yüke uygulanan kısmi güvenlik faktörü

γ_{Rd} : Model faktörü

γ_s : Kazık çevre sürtünmesi için kısmi taşıma gücü faktörü

γ_t : Kazığın toplam taşıma gücü için kısmi taşıma gücü faktörü

γ'_1 : Kazık tabanındaki zeminin birim hacim ağırlığı

ζ : Oturma dönüşüm faktörü

ξ_1 : Statik yükleme deneyine bağlı güvenlik sayısı

ξ_2 : Statik yükleme deneyine bağlı güvenlik sayısı

ξ_3 : Arazi deneyi sayısına bağlı güvenlik sayısı

ξ_4 : Arazi deneyi sayısına bağlı güvenlik sayısı

ξ_5 : Dinamik yükleme deneyine bağlı güvenlik sayısı

ξ_6 : Dinamik yükleme deneyine bağlı güvenlik sayısı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Sondaj kazıklarının avantaj ve dezavantajları (Smolltczyk, 2003). 7
Çizelge 2.2 : Deplasman kazıklarının avantaj ve dezavantajları (Smolltczyk, 2003). 8
Çizelge 3.1 : Arazi deneylerine bağlı hesapta kullanılan güvenlik sayıları. 13
Çizelge 3.2 : Statik yükleme deneylerine bağlı hesapta kullanılan güvenlik sayıları 14
Çizelge 3.3 : Dinamik yükleme deneyine bağlı hesapta kullanılan güvenlik sayıları15
Çizelge 3.4 : Eurocode 7'de tasarım metotları için verilen kombinasyon setleri. 16
Çizelge 3.5 : Yapısal yükler için kısmi faktörler. 17
Çizelge 3.6 : Zemin parametreleri için kısmi faktörler. 17
Çizelge 3.7 : Kazık taşıma gücü için önerilen kısmi faktörler. 18
Çizelge 4.1 : SP 24'e göre deplasman kazıklarında birim uç mukavemeti R (MPa). 22
Çizelge 4.2 : SP 24'e göre deplasman kazıklarında birim çevre sürtünmesi fi (kPa) 23
Çizelge 4.3 : Kazık çakım yöntemine bağlı zemin servis faktörleri. 24
Çizelge 4.4 : Kazık tipi ve imal yöntemine bağlı zemin servis faktörleri. 26
Çizelge 4.5 : Kazık uç mukavemeti hesabı için boyutsuz faktörler. 27
Çizelge 4.6 : Kohezyonlu zeminde sondaj kazıklarının birim uç mukavemeti R. 28
Çizelge 5.1 : Kohezyonlu zeminde Ic ve cu ilişkisi (Reeves ve diğ., 2006). 34
Çizelge 5.2 : Kohezyonlu zeminlerde sondaj kazıkları için birim uç mukavemeti (DIN 1054:2003). 34
Çizelge 5.3 : Kohezyonlu zeminlerde sondaj kazıkları için birim çevre sürtünmesi (DIN 1054:2003). 34
Çizelge 5.4 : DIN 1054'e göre kil zeminde fore kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı. 35
Çizelge 5.5 : SP 24'e göre kil zeminde fore kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı 35
Çizelge 5.6 : İri daneli feldspat ve kuvars kumlarının rölatif sıkılık, içsel sürtünme açısı ve CPT koni uç direnci arasındaki ilişki (Bergdahl ve diğ., 1993).37
Çizelge 5.7 : Kohezyonsuz zeminde sondaj kazıklarının CPT koni uç direncine bağlı birim uç mukavemeti (DIN 1054:2003). 37
Çizelge 5.8 : Kohezyonsuz zeminde sondaj kazıklarının CPT koni uç direncine bağlı birim çevre sürtünmesi (DIN 1054:2003). 37
Çizelge 5.9 : DIN 1054:2003'e göre fore kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı. 38
Çizelge 5.10 : SP 24'e göre kum zeminde fore kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı. 38
Çizelge 5.11 : SP 24'e göre kum zeminde fore kazığın birim uç mukavemeti. 39
Çizelge 5.12 : Çakma kazıkların taşıma gücü analizi için Alman Normunda verilen birim çevre sürtünmesi (Smoltczyk, 2003). 40
Çizelge 5.13 : Çakma kazıkların taşıma gücü analizi için Alman Normunda verilen birim uç mukavemeti (Smoltczyk, 2003). 40

Çizelge 5.14 : SP 24'e göre kil zeminde prekast kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı. 41
Çizelge 5.15 : SP 24'e göre kum zeminde prekast kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı. 43
Çizelge B.1 : Örnek 1 hesap tablosu – Kil zeminde fore kazık taşıma gücü hesabı (Eurocode 7-DIN 1054). 64
Çizelge B.2 : Örnek 1 hesap tablosu – Kil zeminde fore kazık taşıma gücü hesabı (SP24.13330.211). 64
Çizelge B.3 : Örnek 2 hesap tablosu – Kum zeminde fore kazık taşıma gücü hesabı (Eurocode 7-DIN 1054). 65
Çizelge B.4 : Örnek 2 hesap tablosu – Kum zeminde fore kazık taşıma gücü hesabı (SP24.13330.2011). 65
Çizelge B.5 : Örnek 2 hesap tablosu – Kum zeminde fore kazık birim uç mukavemeti hesabı (SP24.13330.2011). 66
Çizelge B.6 : Örnek 3 hesap tablosu – Kil zeminde prekast kazık taşıma gücü hesabı (Eurocode 7-DIN1054). 66
Çizelge B.7 : Örnek 3 hesap tablosu – Kil zeminde prekast kazık taşıma gücü hesabı (SP24.13330.2011). 67
Çizelge B.8 : Örnek 4 hesap tablosu – Kum zeminde prekast kazık taşıma gücü hesabı (Eurocode 7-DIN1054). 67
Çizelge B.9 : Örnek 4 hesap tablosu – Kum zeminde prekast kazık taşıma gücü hesabı (SP24.13330.2011). 68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kullanım amaçlarına göre kazık tipleri (Toğrol ve Tan, 2009). 6
Şekil 5.1 : Örnek 1'de kullanılan zemin profili ve zemin özellikleri. 33
Şekil 5.2 : Örnek 2'de kullanılan zemin profili ve zemin özellikleri. 36
Şekil 5.3 : Örnek 3'te kullanılan zemin profili ve zemin özellikleri. 39
Şekil 5.4 : Örnek 4'te kullanılan zemin profili ve zemin özellikleri. 42
Şekil 6.1 : Çok katı kil zeminde sondaj kazıklarının birim uç mukavemeti. 45
Şekil 6.2 : Orta katı kil zeminde prekast kazıkların birim uç mukavemeti. 46
Şekil 6.3 : Katı –çok katı kil zeminde sondaj kazıkların birim çevre sürtünmesi. 47
Şekil 6.4 : Orta katı kil zeminde prekast kazıklar için birim çevre sürtünmesi. 47
Şekil 6.5 : Sıkı kum zeminde sondaj kazıklarının birim uç mukavemeti. 48
Şekil 6.6 : Orta sıkı kum zeminde prekast kazıkların birim uç mukavemeti. 48
Şekil 6.7 : Orta sıkı – sıkı kum zeminde sondaj kazıkları için elde edilen birim çevre sürtünmesi. 49
Şekil 6.8 : Orta sıkı kum zeminde prekast kazıkların birim çevre sürtünmesi. 50
Şekil 6.9 : Kil zeminde D=65 cm fore kazığın taşıma gücü. 51
Şekil 6.10 : Kil zeminde D=80 cm fore kazığın taşıma gücü. 51
Şekil 6.11 : Kil zeminde D=100 cm fore kazığın taşıma gücü. 51
Şekil 6.12 : Kil zeminde B=30 cm prekast kazığın taşıma gücü. 52
Şekil 6.13 : Kil zeminde B=35 cm prekast kazığın taşıma gücü. 52
Şekil 6.14 : Kil zeminde B=40 cm prekast kazığın taşıma gücü. 52
Şekil 6.15 : Kum zeminde D=65 cm fore kazığın taşıma gücü. 53
Şekil 6.16 : Kum zeminde D=80 cm fore kazığın taşıma gücü. 53
Şekil 6.17 : Kum zeminde D=100 cm fore kazığın taşıma gücü. 54
Şekil 6.18 : Kum zeminde B=30 cm prekast kazığın taşıma gücü. 54
Şekil 6.19 : Kum zeminde B=35 cm prekast kazığın taşıma gücü. 55
Şekil 6.20 : Kum zeminde B=40 cm prekast kazığın taşıma gücü. 55
Şekil A.1 : Orta sıkı kum zeminde deplasman kazıkları için birim uç mukavemeti (SP24.13330.2011). 62
Şekil A.2 : Kohezyonlu zeminde deplasman kazıkları için birim uç mukavemeti (SP24.13330.2011). 62
Şekil A.3 : Kohezyonlu zeminde deplasman ve sondaj kazıkları için birim çevre sürtünmesi (SP24.13330.2011). 63
Şekil A.4 : Kohezyonlu zeminde sondaj kazıkları için birim uç mukavemeti (SP24.13330.2011). 63

KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN EUROCODE 7 VE RUS KAZIKLI TEMELLER YÖNETMELİĞİNE GÖRE BELİRLENMESİ HAKKINDA BİR İNCELEME

ÖZET

Bu çalışmada Eurocode 7 ve Rus tasarım yönetmeliklerine göre kazık tasarımının genel esasları, kazık taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılan yöntemler incelenmiş ve çözülen örnek problemlerle kazık taşıma gücü hesap yöntemlerindeki benzerlik ve farklılıkların belirlenmesi amaçlanmıştır.

Avrupa Birliği ülkelerinde geoteknik mühendisliği uygulamalarında uyulması gereken genel kurallar 'Eurocode 7 Geoteknik Tasarım' başlıklı yönetmelikte verilmektedir. Eurocode 7'de değişik tipteki temellerden, istinat yapılarına kadar zeminle etkileşim halinde olan yapıların genel tasarım kuralları tanımlanmaktadır. Ülkemizde kullanılan tasarım yönetmeliği TSE EN 1997-1 de Eurocode 7 örnek alınarak oluşturulmuştur.

Günümüzde Türk inşaat firmalarının yoğun olarak faaliyet gösterdiği Rusya Federasyonu ve eski Sovyet Cumhuriyeti ülkelerinde ise geoteknik mühendisliği uygulamalarında SNIP olarak bilinen Rus yönetmelikleri kullanılmaktadır. Rusya kazıklı temeller yönetmeliğini revize ederek güncel tasarım yönetmeliği SP 24.13330.2011'i yayınlanmıştır.

Eurocode 7 kazık tasarımıyla ilgili olarak sınır durum tasarımı, tasarım yöntemleri, kazık yükleme deneyleri, eksenel ve yatay yüklü kazıklar, kazıkların yapısal tasarımı ve inşaatın kontrolü konularını ele almaktadır. Eurocode 7'ye göre kazık tasarımı taşıma gücü ve kullanılabilirlik sınır durumlarına göre kazık taşıma gücüne, zemin parametrelerine ve yüklere uygulanan kısmi faktörlerle yapılmaktadır. Tasarımda izlenmesi tavsiye edilen metotlar için kısmi faktörlerin ele alınış şekli incelenmiştir. Karakteristik taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılan güvenlik faktörleri kazık taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılan yönteme göre değişkenlik göstermektedir.

Rus kazıklı temel yönetmeliğinin genel tasarım esasları, kazık taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılan yöntemler, farklı kazık tipleri için verilen hesap yöntemleri, incelenmiştir.

Karşılaştırma yapmak amacıyla kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde farklı tipteki kazıkların her iki yönetmeliğe göre taşıma kapasitesi hesabı yapılmıştır. Öncelikle her iki hesap yönetmeliğine göre taşıma gücü hesabı için gereken zemin paramaterleri tespit edilmiş, seçilen zemin tabakaları için literatürde önerilen değerlerden yararlanarak zemin parametreleri belirlenmiştir. Hesaplar neticesinde elde edilen bulgularla hesap yöntemlerinin ve elde edilen sonuçların nerde birbirine yaklaşıp nerede farklılaştığı vurgulanmıştır.

Taşıma kapasitesi hesabında kullanılan, Eurocode 7'nin de önerdiği, DIN 1054 normu ve SP 24.13330.2011 yönetmeliği bazı noktalarda örtüşse de tasarım parametresi kabulleri ve elde edilen kapasiteler açısından birbirinden farklı sonuçlar verebilmektedir.

AN INVESTIGATION ON THE DETERMINATION OF PILE BEARING CAPACITY IN ACCORDANCE WITH EUROCODE 7 AND RUSSIAN PILE FOUNDATIONS DESIGN CODES

SUMMARY

In this study, the general principles of pile design according to Eurocode 7 and SP 24.13330.2011 regulations are investigated. It is intended to go through the basic methods used in order to determine the bearing capacity of a pile, and pinpoint their respective similarities and/or differences by introducing some design examples.

In European countries, general rules to abide by in geotechnical engineering applications are explicitly defined in 'Eurocode 7: Geotechnical Design'. General design rules are given for all types of structures interacting with soil, ranging from all types of foundations to retaining structures. Various design approaches, partial safety factors and other correlation factors described in Eurocode 7 are all mostly informative, and the utilization of these guidelines are left to the discretion of the member states of the European Union. This initiative has recently led to the formation of 'National Annexes to Eurocode'. Geotechnical design regulations in Turkey too, are basically constituted on their Eurocode 7 basis, in an attempt to keep up with the current design methodologies predominantly used abroad.

In most member states of the Russian Federation and the former Soviet Republic, where recently Turkish construction companies take up intense activity, Russian design codes (formerly known as SNIP) are in use for geotechnical engineering applications. Though not being a member state of the European Union, Russia too, has adopted the most basic concepts of the Eurocodes. Rules and specifications have been extracted, restructured and elaborated in accordance with the Russian engineering experience. Their design codes, which were in use for a vast time period of 25 years, have lately been revised, and the updated design code specifically attributed to the design of pile foundations has been reissued by the name of 'SP 24.13330.2011'.

The study consists of seven main chapters. The first chapter presents the goal and scope definition of the study, which in brief is the utilization of both design codes on specific examples that show variability in such parameters as soil type, pile type, pile length and diameter. Chapter two provides general information, which may as well be treated as conventional wisdom, on pile foundations.

The third chapter introduces Eurocode 7 for piled foundation design: design principles, limit states in pile design, the partial factors used in the design for actions, soil parameters, pile resistances, the methods used in pile bearing capacity determination and specific rules for pile design are given. The design approaches are introduced for the ultimate limit state design. The methods for determining pile bearing capacity is given; pile load test, determination of pile capacity based on in-situ test by the name model pile and characteristic value of pile skin and base resistance by alternative

procedure. Based on the methods for determining the pile bearing capacity, the calculation rules and partial factors related to chosen methods are given.

The next chapter focuses on the Russian design code for pile foundations: general design principles, methods for determining the bearing capacity of a pile, analysis and design methods for different pile types, methods for determining the pile bearing capacity according to static and dynamic load tests and/or similar field (in-situ) tests, and other specific rules for pile design are given. Design tables for skin friction and base resistance for different soil types and pile depths is used for the bearing capacity calculations. The limit states for the pile design are given; ultimate limit state (bearing capacity) and serviceability limit state. Ultimate limit state is provided by the condition that the design load transmitted to the pile for the most unfavorable condition should be lower then the pile capacity divided by the safety factors.

Chapter five presents design examples, performed in accordance with both design codes using bearing capacity formulas. The said examples vary by soil type, being cohesive cohesionless soils, and by pile type, being bored piles and precast concrete driven piles. In order to add further diversity to the examples, various lengths of piles are taken into account. The soil profile applied in the examples also adds to the variety. According to Eurocode 7 recommendations, 'DIN 1054: Subsoil - Verification of the safety of earthworks and foundations - Supplementary rules to DIN EN 1997-1' (namely, the German standard for geotechnical design) is used as a complementary reference in order to determine the charactersitics pile base and shaft resistance. Soil parameters for the requirements of the design codes is determined firstly, then the parameters are determined by using several correlations given in the literature. The design tables for pile bearing capacity given in the Russian Codes is generally based on the relative density and grain size of cohesionless soil and liquidity index of cohesive soils. Inspite of this, the characteristic values of pile skin and base resistance is determined by CPT cone resistance for bored and displacement piles in sand, undrained shear resistance for bored piles in clay, and liquidity index for displacement pile in clay given in German Design Code.

In the sixth chapter, obtained results are carefully organized so that findings can be tracked as effortlessly as possible. The similarities and differences between the design methods described in Eurocode 7 and SP 24.13330.2011 are emphasized by the computation results. Identified differences are interpreted with regards to causality. According to bearing capacity calculations, pile shaft friction and base resistance variability with depth have been identified. In brief, for the bearing capacity of bored piles in cohesive soil and driven piles in cohesionless soil, the pile bearing capacities for both methods is close to each other and the difference between codes is at the rate of 40% for bored piles in cohesionless soil . The big difference between pile capacities for precast driven pile in cohesive soil is determined as DIN 1054 and SP 24.13330.2011 both give different shaft friction and base resistance values for medium stiff clay.

As a result of the study, it can be easily concluded that Eurocode 7 and SP 24.13330.2011 codes show similarity in the sense that they both adopt the ultimate and serviceability limit states in the design of pile foundations, and that they both apply partial safety factors to loads and resistances for the ultimate limit state design. However, they visibly differ in terms of the number and content of the design checks, and in terms of the actual values of the partial safety factors.

Eurocode 7 avoids to provide a definitive design model, since the member states of the European Union all utilize different design methods. Nonetheless, design criteria to be followed are clearly defined, and the use of partial safety factors is obligatory. Hence, European countries prepare additional regulations (National Annexes) in order to clarify the partial safety factors and the attributions of design checks according to their needs. On the other hand, the Russian code explicitly defines the analysis and design methods to be used in determining the design loads and pile bearing capacity, and provides accurate calculations techniques for problematic site conditions as well.

For determining soil parameters to be used in pile design, Eurocode 7 allows for the use of a cautious estimate as well as the use of geological data based on previous experience. Statistical methods are also an option. SP 24.13330.2011 refers to a relevant code (GOST 20502-96) for the same purpose, thereby ensuring that soil parameters are determined according to the desired safety level, the number of soil tests and the variation factor(s) of the obtained results.

When it comes to the utilization of pile load tests and other related field tests in order to determine the pile bearing capacity, Eurocode 7 and SP 24.13330.2011 both use similar methods, which rely on the number of tests, and yet slightly differ in content.

The following conclusions can be drawn from the design examples provided in this study:

- The values of load bearing capacities for bored piles in cohesive soils calculated according to SP 24.13330.2011 are on average 20% higher than those calculated according to DIN 1054.

- For the depths used in the examples, the values of load bearing capacities for bored piles in cohesionless soils calculated according to DIN 1054 are on average 40% higher than those of SP 24.13330.2011 calculations. The reason for this difference is undoubtedly the fact that the shaft resistance defined in DIN 1054 is much higher. The tip resistance values obtained by both codes are relatively close for the depths used in the examples.

- The values of load bearing capacities for precast driven RC piles in sand are close according to both design codes.

- The values of the tip and shaft resistances for precast driven RC piles in medium-stiff clays calculated according to SP 24.13330.2011 are relatively higher than those of DIN 1054 calculations, for which the total difference is found to be approximately three times.

As a final word, it can be said that Eurocode 7 and SP 24.13330.2011 codes bear similarities with respect to the general principles of the ultimate limit state design. Having said that, SP 24.13330.2011 and DIN 1054 (which gets involved due to EC7 reference) still happen to yield slightly different results in terms of the adopted design parameters and the final capacity values.

1. GİRİŞ

Geoteknik mühendisliği uygulamalarından olan kazıklı temellerin tasarım ve inşaat yöntemleriyle ilgili olarak her ülke kendi tecrübeleri ışığında çeşitli standartlar, tasarım yönetmelikleri ve kurallar düzenlenmektedir. Bu yönetmelikler arasında Avrupa Birliği ülkelerinde geoteknik mühendisliği uygulamalarında uyulması gereken genel kuralları tanımlayan Eurocode 7 geoteknik tasarım yönetmeliği ilk sırada gelmektedir. Ülkemizde kullanılan tasarım yönetmeliği TSE EN 1997-1 de Eurocode 7 örnek alınarak oluşturulmuştur.

Günümüzde Türk inşaat firmalarının yoğun olarak faaliyet gösterdiği Rusya Federasyonu ve eski Sovyet Cumhuriyeti ülkelerinde ise geoteknik mühendisliği uygulamalarında SNIP olarak bilinen Rus yönetmelikleri kullanılmaktadır. Rusya, kendi tecrübeleri doğrultusunda oluşturduğu ve 25 seneyi aşkın süredir kullandığı tasarım kodlarını tasarım gereklilikleri ve inşaat teknolojilerindeki gelişmeler doğrultusunda revize ederek yeniden yayınlama sürecinden geçirmiş ve kazıklı temellerle ilgili güncel tasarım yönetmeliği SP 24.13330.2011'i yayınlanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Sunulan bu çalışmada kazıklı temellerin tasarımında kullanılan Eurocode 7 ve SP 24.13330.2011 yönetmeliklerinin genel tasarım esasları ve kazık taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılan yöntemler incelenerek, kazık taşıma gücü hesap yöntemlerindeki farklılıkların ve ortak özelliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.2 Tezin Kapsamı

Sunulan bu çalışma yedi ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmanın amaç ve kapsamından bahsedilmiştir. İkinci bölümde kazıklı temeller hakkında genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde Eurocode 7'ye göre kazık tasarımının genel esasları, taşıma gücünün belirlenmesinde kulllanılan yöntemler ve kazık tasarımı hakkında genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde Rus kazıklı temel

yönetmeliğinin genel tasarım esasları, kazık taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılan yöntemler, farklı kazık tipleri için verilen hesap yöntemleri, kazık taşıma gücünün statik ve dinamik kazık yükleme deneyine ve arazi deneylerine göre belirlenmesinde kullanılan metotlar ve kazık tasarımı hakkında bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde; kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde farklı tipteki kazıkların her iki yönetmeliğe göre örnek kazık taşıma kapasitesi hesabı yapılmıştır. Altıncı bölümde hesaplar neticesinde elde edilen bulgularla hesap yöntemlerinin ve elde edilen sonuçların nerde birbirine yaklaşıp nerede farklılaştığı vurgulanmıştır. Yedinci bölümde çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Konu ile ilgili geçmişte yapılan çalışmalar ile birlikte güncel gelişmeleri kapsayan kaynaklar taranmıştır.

Frank ve diğ. (2004) Eurocode 7 yönetmeliğinin yorumlanabilmesi ve anlaşılabilmesi için kazıklı temel tasarımı, taşıma gücü hesabı, kısmi faktörlerin kullanımı hakkında bilgiler ve örnek problem çözümleri sunmuşlardır.

Orr ve diğ. (2005) Eurocode 7'ye göre kazık tasarımı hakkında bilgiler vererek kazıklı temel tasarımıyla ilgili örnek problemler çözümleri göstermişlerdir.

Bond ve Harris (2008) Eurocode 7 hakkında ayrıntılı bir inceleme yaparak, açıklamalı örneklerle geoteknik tasarım hakkında kapsamlı bilgiler vermişlerdir.

Vardanega ve diğ. (2012) Londra kili içerisinde değişik çap ve uzunluktaki fore kazıkların Avustralya, Avrupa, Amerika ve Rusya tasarım yönetmeliklerine göre tasarım hesaplarını sunmuşlardır.

2. KAZIKLI TEMELLER

2.1 Giriş

Kazıklar genel olarak yüzeysel temellerin yeterli olmadığı durumlarda kullanılan, yapı yüklerini zeminin yüzeyinden aşağıdaki tabakalara aktaran ahşap, beton, betonarme veya çelikten imal edilmiş yapı elemanlarıdır.
Kazıkların yaygın olarak kullanıldığı durumlar aşağıda verilmektedir (Bowles,1966).

- Temelden zemine aktarılan yatay veya düşey yükleri zayıf veya gevşek zemin tabakalarının altında yer alan sağlam zemin veya kaya tabakasına aktarılması,
- Su seviyesi altındaki yapı temeline etkiyen kaldırma kuvvetinin karşılanması,
- Kule yapılarının temellerine etkiyen kuvvetlerin, döndürücü momentlerin ve çekme kuvvetlerinin veya yatay yüklerin karşılanmasında,
- Gevşek kohezyonsuz zeminlerin ötelenmesi ve çakım vibrasyonuyla sıkılaştırılması,
- Sıkışabilir zemin tabakalarına oturan yüzeysel temellerde oturmaların kontrol edilmesi,
- Makine temelleri altında yer alan zeminin sağlamlaştırılmasıyla titreşim genliği ve sistemin doğal frekansının kontrol edilmesi,
- Köprü ayaklarında olası oyulma sorununa karşı ek bir güvenlik faktörü olarak,
- Deniz yapılarına etkiyen düşey ve yatay yüklerin su seviyesi altındaki zemin tabakalarına intikal ettirilmesi

2.2 Kazık Tipleri

Kazık tipleri malzemesine, zemine yerleştirilme tekniğine, zeminde yaptığı yer değiştirmeye ve yük taşıma mekanizmasına göre değişmektedir.

2.2.1 İmal edildiği malzemeye göre kazıklar

İnşaat uygulamalarında kullanılan kazıklar taşıyacakları yüke, zemin koşullarına ve yer altı suyu seviyesinin durumuna bağlı olarak değişmektedir. İmal edildikleri

malzemeye göre ahşap, beton/ betonarme, çelik ve kompozit kazıklar olarak dört gruba ayrılabilirler.

a) Ahşap kazıklar: Hem geçici hem de devamlı olarak kullanılacak kazıkların yapımında kullanılabilmektedir. Sağladığı taşıma gücüne oranla hafif oluşu, taşınma kolaylığı, boyunun kolaylıkla ayarlanabilmesi ahşap kazıkların üstünlükleridir. Çürüme, mekanik aşınma, yangın gibi nedenlerle hasara uğrayabilir. Su içerisinde çakılmış kazıklarda çürüme, özel bir önlem alınmamış ise su seviyesi değişiminin olduğu kısımda meydana gelir. Sürekli olarak su seviyesi altında kalan ahşap kazıklar uzun ömürlüdür. Ahşapların cinsine bağlı olarak 4 – 6 N/mm² değerleri arasında basınç gerilmesi taşıdığı kabul edilmektedir (Toğrol ve Tan, 2009).

   Ahşap kazığı su seviyesi altında bırakıp, su seviyesinin üzerinde beton kazık veya kazık başlığı yapımı genelde uygulanan bir yöntemdir (Tomlinson, 2008).

b) Betonarme Kazıklar: Prekast ve yerinde dökme kazıklar olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Prekast kazıklar genelde kare veya sekizgen kesitli olarak, istenilen uzunlukta ve mukavemette fabrikada imal edilip zemine çakılarak yerleştirilirler. Kazık donatısı kazığın istiflenme ve taşınması sırasında oluşan momentleri, düşey yüklerin ve yatay yüklerin oluşturduğu momentlerin karşılanmasını sağlar. Prekast betonarme kazıklar oldukça büyük yükleri zayıf zemin tabakaları altındaki sağlam tabakalara taşımakta kullanılabilmektedir. Zemine çakılarak yerleştirildiğinden dolayı zemini sıkıştırırlar. Korozyona karşı dayanıklı olup betonarme üstyapı ile bağlantısı kolaylıkla yapılabilmektedir. Prekast kazıkların boyları değiştirilemez, ebatları genelde 25 – 45 cm arasında olup daha büyük ebatlar kullanılamamaktadır. Taşıyıcı tabaka derinliğinin farklılık gösterdiği durumlarda kazık boyunun ayarlanması zorluk yaratabilmektedir. Kazık çakımı esnasında çakım alanında zemin kabarması olabilir, kazık hasar görebilir, çakım işlemi yüksek titreşim ve gürültüye neden olur.

   Yerinde dökme betonarme kazıklar genelde zeminde dairesel kesitli sondaj deliği oluşturup daha sonra oluşturlan kısmın betonlanmasıyla imal edilirler. Yerinde dökme kazıkların imalatı için geliştirilmiş birçok teknik vardır. Genelde kaplama borusu mekanik veya hidrolik makinelerle zemine sürülür, daha sonra zemin çıkarılır. Oluşturulan boşluğa donatı yerleştirilir ve

betonlanarak yerinde dökme kazık imalatı tamamlanır. Sondaj kazıkları imalatı sırasında meydana gelen titreşim ve gürültü seviyesi çakma kazıklara göre düşük olduğundan şehir içinde tercih edilen bir yöntemdir. Delgi sırasında zemin profilinin takip edilmesi mümkündür. Özel ekipmanlarla kazık ucu genişletilebilir, böylelikle kazık kapasitesi artırılabilir. Büyük çaplarda kazıklar oluşturulabilir, kazık boyu değişen zemin koşullarına göre ayarlanabilir. Sondaj kazıklarının imalatında kazık bütünlüğünün ve beton kalitesinin sağlanması işçiliğe bağlıdır.

c) Çelik kazıklar: Genellikle boru kesitli ya da haddelenmiş H ve I profil kazıklardır. Yük taşıma kapasiteleri yüksektir. Boru kesitli kazıklar kapalı veya açık uçlu olarak zemine çakılabilir. Kazıkların taşınması kolaydır ve istenilen uzunlukta kesilebilir. Korozyona maruz kalabilirler bu nedenle çeşitli yöntemler kullanılarak korozyona karşı önlem alınması gereklidir.
d) Kompozit kazıklar: Özel saha ve zemin koşullarının üstesinden gelebilmek için değişik özellikteki kazıkların birarada kullanılmasıyla oluşturulur. Su seviyesinin zemin yüzeyinden düşük seviyelerde olduğu durumlarda ahşap kazıkların su seviyesi altında bırakılarak betonarme kazıklarla birlikte kullanılması kompozit kazıklara örnek gösterilebilir. Deniz yapılarında kompozit kazıklar deniz suyunun korozif etkisi nedeniyle üst kısımda prekast beton kazık ve zemin kısmında çelik kazık kombinasyonuyla da yapılabilmektedir. Diğer kazık tiplerine oranla yaygın ve ekonomik değillerdir (Tomlinson, 2008).

2.2.2 Kullanım amaçlarına göre kazıklar

Kullanım amaçlarına göre kazıklar beş gruba ayrılabilirler (Toğrol ve Tan, 2009).

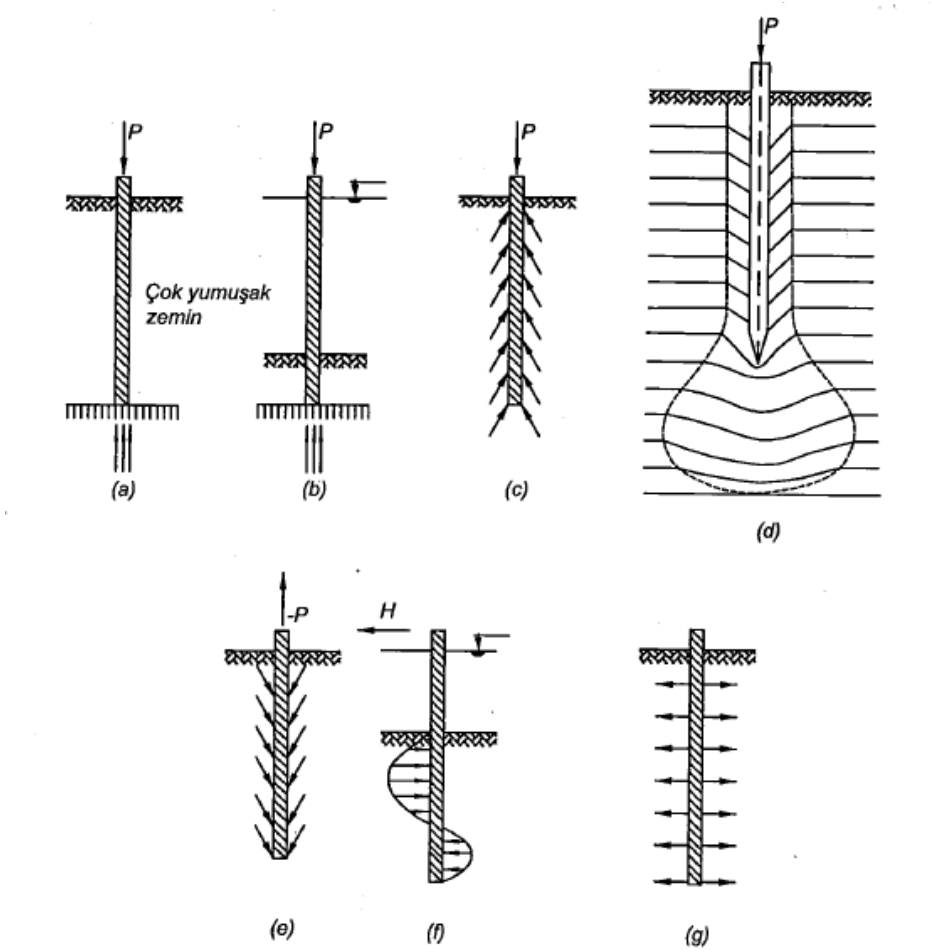
Uç kazıkları: Yapı temeli altındaki zeminin zayıf ve sıkışabilirliği yüksek tabakalardan meydana geldiği durumlarda, yapı temelinden zemine aktarılacak yüklerin kazıklar vasıtasıyla daha derindeki sağlam zemin tabakası veya kayaya aktarılması sağlanır. (Şekil 2.1a,b)

Sürtünme kazıkları: Yapı yükleri kazık çevresinde bulunan zemin sürtünmesi ile kısmen veya tamamen taşınmaktadır. (Şekil 2.1c,d)

Çekme kazıkları: Suyun kaldırma kuvvetine maruz kalan yapıları veya üstyapıya gelen yanal kuvvetler nedeniyle moment etkisi altındaki temellerin güvenilir bir şekilde zemine tesbit etmek için kullanılan kazıklardır. (Şekil 2.1e)

Ankraj kazığı: yatay kuvvetlere karşı koyan kazıklardır. Palplanş perdelerin yanal hareketinin önlenmesinde, gemi bağlama ve dolfen kazıkları yanal kuvvetlere karşı kullanılmaktadır (Şekil 2.1f).

Kompaksiyon kazıkları: İri daneli zeminlerin sıkıştırılması amacıyla kullanılmaktadır. (Şekil 2.1g)



Şekil 2.1 : Kullanım amaçlarına göre kazık tipleri (Toğrol ve Tan, 2009).

2.2.3 Zemine yerleştirilme tekniğine göre kazıklar

Kazıkların zemine yerleştirilme tekniğine bağlı olarak zeminde meydana gelen yerdeğiştirmelere kazıkları üç gruba ayrılabilir. (Tomlinson, 2008) Bunlar:

Geniş yerdeğiştirme kazıkları: Deplasman kazıkları olarak bilinen bu kazıklar zemine itilirken zemin içinde sıkışma ve ötelenmeye neden olan dolu gövdeli ya da boru kesitli kapalı uçlu kazıklardır.

Küçük yerdeğiştirme kazıkları: Deplasman kazıklarıdır, H ve I çelik profil şeklinde nisbeten küçük kesit alana sahip olan çakma kazıklar, açık uçlu boru ve kutu kesitli çakma kazıklar bu gruba girmektedir.

Zeminde yer değiştirmeye yol açmayan kazıklar: Zeminin çeşitli delgi yöntemleri kullanılarak dışarı çıkarılmasıyla imal edilen sondaj kazıkları zeminde sıkışma ve ötelenmeye neden olmazlar. Sondaj kazıkları, CFA kazıklar bu gruba giren kazıklardandır.

2.3 Kazık Tipi ve Uygulama Yönteminin Seçimi

Uygulanacak kazık tipi ve imalat yönteminin seçimi ekonomik şartların dışında zemin ve yer altı suyu koşulları, yapısal yükler, imalat için gerekli alan, mevcut yapılara olan mesafe ve yapının oturmalara karşı hassasiyetine göre belirlenmektedir. Çeşitli kazık tiplerinin olumlu ve olumsuz yönleri Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.1 : Sondaj kazıklarının avantaj ve dezavantajları (Smolltczyk, 2003).

Sondaj Kazıkları	Avantaj	Dezavantaj
Fore Kazıklar	Büyük oranda titreşimsiz ve gürültüsüz, delgi sırasında zemin koşullarının kontrol edilmesi bu sebeple kazık uzunluklarının uygun hale getirilme ihtimali, esnek çalışma yüksekliği (köprü veya çatı altında), büyük çap ve uzunluk imkanı genişletilmiş kazık ucu mümkün	Zeminin delgi yapılarak gevşetilmesi, kalite imalat süreci ve ekibine bağlı, su seviyesi altındaki küçük çaplı kazıkların betonlanmasında zorluklar, muhafaza borusunun çekilmesi sırasında titreşim yaratması veya donatının da çıkarılabilme riski, yüksek yer altı suyu seviyesinde hidrolik göçme tehlikesi, kaplamasız yapılan delgilerde kuyunun göçme riski, eğim 4:1 oranında sınırlı

Çizelge 2.2 : Deplasman kazıklarının avantaj ve dezavantajları (Smolltczyk, 2003).

Deplasman kazığı	Avantaj	Dezavantaj
Ahşap Kazık	Kolay çakılabilirlik, taşıma ve kesme kolaylığı, su altında uzun servis ömrü, nispeten ekonomik	Sınırlı taşıma kapasitesi ve uzunluk, sıkı zeminde çakılamama, havayla temas halinde hızla çürüme
Çelik Kazık	Yüksek malzeme dayanımı, yüksek elastisite, geniş aralıkta profil seçebilme, nakliye sırasında asgari hasar, kolaylıkla uzatılabilme, iyi sürülebilirlik, çakım esansında sınırlı vibrasyon, birleştirme kolaylığı, 1:1 eğime kadar çakılabilirlik	Nispeten yüksek malzeme maliyeti, korozyon, kumun aşındırma tehlikesi, H kesitli kazıkların çakım sırasında sapabilmesi ve bükülebilmesi
Betonarme Kazık	İstenilen uzunluk ve mukavemette üretilebilmesi, deniz suyuna dayanımı, çakım sırasında zemini sıkıştırması, bina ile birleşimi kolay, yüksek taşıma kapasitesi, 1'e 1 eğime kadar çakılabilirlik	Ağır ve nakliyesi zordur, nakliye ve çakım aşamalarında eğilmeye karşı hassastır, çatlak tehlikesi, ağır çakım makinası gerekli, çakım sırasında yüksek vibrasyon ve gürültü
Öngermeli Betonarme Kazık	Betonarme kazıklarla aynı, burkulma ve eğilme dayanımı	
Yerinde yapılan yerdeğiştirme kazığı	Kazık etrafindaki zeminin sıkıştırır böylelikle taşıma kapasitesi yüksek, düşük oturma, genişletilmiş uç yapılabilir, ihtiyaca göre uzunluk ayarlanabilir.	Çakım sırasında gürültü ve vibrasyon, daha önce çakılan kazıklara zarar verme riski, sınırlı eğim, kesme kuvvetlerine hassasiyet, kalitenin imalatı yapan ekibin tecrübesine bağlı olması, azami boy 25 m, eğim 4'e 1

3. EUROCODE 7'YE GÖRE KAZIK TASARIMI

3.1 Giriş

Yapı temellerinden istinat yapılarına kadar zeminle etkileşim halinde olan yapıların tasarımında kullanılan Eurocode 7 iki kısımdan oluşmaktadır;

- Geoteknik Tasarım – Bölüm 1: Genel Kurallar (2004)
- Geoteknik Tasarım – Bölüm 2: Zemin Araştırmaları ve Testler (2007)

Eurocode 7 tasarım yönetmeliği, sınır duruma göre tasarım yöntemlerinin genel çerçevesi kapsamında sadece geoteknik tasarım kurallarının verildiği genel bir doküman özelliğindedir. Bu prensipler, zeminle temas halindeki yapısal elemanlara (temeller, kazıklar, bodrum perdeleri vs.) etkiyen kuvvetlerin hesaplanmasıyla ilgili olduğu gibi, yapılardan zemine etkiyen yüklerin yarattığı deformasyonlar ve zeminin mukavemetinin hesaplanmasıyla da ilgilidir. Yönetmeliğin ekler bölümünde bazı ayrıntılı tasarım kuralları (kesinleşmiş formüller ve/veya tablolar) ve hesap modelleri verilmektedir.

Eurocode 7 yönetmeliğinde kazıklı temellerin tasarımıyla ilgili bilgiler Bölüm 7'de verilmektedir. Bu kısımda verilen hükümler kazık imalat yöntemlerinden bağımsız olarak (çakma, itme, burgu, enjeksiyonlu/enjeksiyonsuz sondaj kazıkları) uç kazıkları, sürtünme kazıkları, çekme kazıkları ve yatay yüklü kazıklar için geçerlidir. Eurocode 7'de kazıklı temel tasarımıyla ilgili bölüm; sınır durumlar, yükler, tasarım halleri, tasarım yöntemleri ve hususları, kazık yükleme deneyleri, eksenel yüklü kazıklar, yatay yüklü kazıklar, kazıkların yapısal tasarımı, inşaatın denetimi başlıklarına göre incelenmiştir.

Eurocode 7 yönetmeliği temellerin, istinat yapılarının ve başka geoteknik yapıların tasarımını ele almasına rağmen tasarımda kullanılacak zemin mekaniği teorilerini veya zemin davranış modelini belirtmemektedir. Ancak, hesaplarda kullanılacak tasarım kriterlerini belirlemekte ve kısmi güvenlik faktörleriyle kontrol biçimini zorunlu tutmaktadır. Kalıcı ve geçici tasarım koşulları (asli kombinasyonlar) için nihai sınır durum tasarımında kullanılan kısmi faktörlerin yanı sıra, kazık taşıma kapasitesinin

karakteristik değerleri için korelasyon faktörlerini vermesi açısından Eurocode 7 Bölüm1-Ek A önemlidir. Ancak korelasyon ya da kısmi faktörler için verilen sayısal değerler sadece tavsiye niteliğindedir. Bu değerler, her ülkeye göre basımı yapılan 'EN 1990-1 İçin Ulusal Ek'lerde farklılık gösterebilir. Diğer tüm ekler ise bilgilendirme amaçlıdır, başka bir deyişle, uygulama anlamında zorunlu değildir. Bununla birlikte bazıları, yakın gelecekte çoğu (AB) ülkesi tarafından kabul görebilecek bilgiler ihtiva etmektedir. Hesap modelleri ve tasarım kurallarını belirten ulusal uygulama standartları Eurocode 7'nin eklerinde verilen uygulamalarla ilgili seçimlere bağlıdır (Frank 2007).

3.2 Kazık Tasarım Esasları

Kazıklı temel tasarımında aşağıda verilen durumların aşılmadığının gösterilmesi gerekmektedir.

- Tekil kazığın basınç veya çekme yükü altında göçmesi,
- Kazıklı temelin basınç ve çekme yükü altında göçmesi,
- Kazıklı temeldeki aşırı oturma veya farklı oturmalar nedeniyle desteklenen yapının ağır hasar alması veya göçmesi
- Kazık deplasmanları nedeniyle kazıklarla desteklenen yapıda kullanılabilirlik sınır durumu

Bu kısımda ilk 3 maddede verilen durumlar taşıma kapasitesi (sınır durum 1), son maddede verilen kazık deplasmanlarının üstyapı için kabul edilen oturma limitini aşması durumu kullanılabilirlik durumu (sınır durum 2) kapsamında değerlendirilmektedir.

Eurocode 7'ye göre basınç veya çekme kazıkları için göçme durumu kazıklı temelin, taşıma kapasitesinde artış olmaksızın, önemli mertebede deplasman yaptığı durum olarak tanımlanmaktadır. Tasarımda basınç ve çekme yükü altında göçmeye karşı güvenlik payı bırakılması gerekmektedir.

Basınç etkisi altındaki kazıklarda sürekli bir eğrilik gösteren yük – oturma eğrisinden nihai sınır durumun tanımlanması genellikle zordur. Bu gibi durumlarda kazık başı oturmasının kazık taban çapının %10'una ulaştığı durum kazık göçme kriteri olarak kabul edilmektedir.

Basınç kazıklarının kullanılabilirlik durumu tasarımı Eurocode 7 - 7.6.4. Kazıklı Temellerin Düşey Deplasmanları (Taşınan Yapıda İşletme Koşulları)' bölümünde verilmiştir. Bu kısımda kullanılabilirlik durumu sınır koşulları altındaki düşey deplasmanların, adı geçen geçen bölümde tanımlı kuralları sağlayıp sağlamadığına yönelik kontroller ve diğer prensipler verilmektedir. Ancak kazık deplasmanları hesaplanırken hesap modeli ve zemin özelliklerinin tespitindeki belirsizlikler nedeniyle sonuçların kabaca tahmin edilebileceği hususu vurgulanmaktadır.

Eurocode 7 Madde 7.6.4.1(2)'de orta-sıkı ve sıkı zemine giren kazıklar ile çekme kazıkları için tanımlanmış olan nihai durum sınır koşullarına dair güvenlik kuralların (diğer bir deyişle 'kısmi faktörlerin'), taşınan yapıda kullanım durumu sınır koşullarının da sağlanması için çoğunlukla yeterli olabileceği belirtilmiştir.

Bir kazıklı temeldeki oturmaların belirlenmesi genellikle zor olduğundan, birçok ülke kazıklı temeller için bu endirekt tasarım yöntemini benimsemiş ve kazıkların nihai durum sınır koşullarına göre tasarımında kullanılan kısmi faktörleri arttırmış ya da her iki tip sınır koşulunu da karşılayacak bir 'model faktörü' tanımlamışlardır.

Tasarımda hesaba katılacak yükler kazıklı temel tipine ve tasarım koşullarına göre belirlenmektedir. Kazıklı temel tasarımında en sık kullanılan yükler yapıdan kaynaklanan sabit ve hareketli yükler, sürşarj ve trafik yükleri ve bunların yanında zemin hareketinden kaynaklanan yüklerdir.

Tasarımda kullanılacak zemin parametreleri, ele alınan sınır durumu etkileyen ihtiyatlı tahmini değer olarak seçilebilir ya da parametre seçiminde daha önceki tasarımlardan elde edilen jeolojik bilgiler ve tecrübelerden yararlanılabilir. Bunlara ek olarak, parametre seçiminde istatistiki metotlar da kullanılabilmektedir.

Eurocode 7'ye göre kazıklı temel tasarımında üstyapı yükleri haricinde dikkate alınması gereken yükler şu şekilde verilmektedir:

- Zemin hareketlerinden kaynaklanan yükler: Kazıkların içinde bulunduğu zeminde çeşitli sebeplerle (konsolidasyon, şişme, komşu yükler, zemin sünmesi, heyelan ve deprem) yerdeğiştirme meydana gelebilmektedir. Bu türde olaylar kazıklar üzerinde negatif sürtünme, şişme, yatay yük ve deformasyona neden olması nedeniyle tasarımda dikkate alınmalıdır. Bu gibi durumlarda, güvenli tarafta kalmak için hareket eden zeminin mukavemet ve rijitliğinin üst değerleri seçilmelidir. Tasarımda zemin yerdeğiştirmelerinin bir

eylem olarak seçildiği yöntem veya kazığa etkimesi beklenen yükün üst sınır seviyesinin bir tasarım yükü olarak belirlendiği yöntem kullanılmaktadır.

- Negatif Sürtünme: Negatif sürtünmeye maruz kalan kazıkların nihai sınır duruma göre tasarımında bu yükün en yüksek değeri hesaba katılmalıdır. Bu değerin hesaplanmasında kazık çevresi ve zemin arayüzeyindeki kayma dayanımı ve zemin ağırlığından veya yüzeye uygulanan yüklerden kaynaklanan aşağı doğru hareketi dikkate almalıdır.
- Şişme: Bu durumun etkisindeki kazıklarda kazık çevresi boyunca yukarı doğru etkimesi beklenen yük tasarım yükü olarak kabul edilir.
- Yatay Yükleme: Kazık etrafındaki zeminin hareketinden kaynaklanan yatay etkiler dikkate alınmalıdır. Kazık etrafında farklı sürşarj yüklerinin varlığı, kazıklı temelin çevresinde farklı seviylerde kazı yapılması hali, sismik bölgelerdeki kazıklarda vb. durumlarda kazığa etkiyen yatay yükler tasarımda dikkate alınmalıdır.

3.3 Kazık Taşıma Gücünün Belirlenmesi

Kazıkların taşıma gücünün belirlenmesi için Eurocode 7 tarafından tavsiye edilen yöntemler şu şekilde sıralanabilir;

- Statik kazık yükleme deneyleri,
- Ampirik veya analitik hesap yöntemleri, (geçerliliği statik kazık yükleme deneyiyle ispatlanmış olmak kaydıyla)
- Dinamik yükleme deneyleri (geçerliliği statik kazık yükleme deneyiyle ispatlanmış olmak kaydıyla),
- Zemin araştırması ve deneyleriyle desteklenen benzer koşullardaki kazıklı temelin gözlemlenen performasına dayalı yaklaşım.

3.3.1 Taşıma gücü hesabı

Zemin özelliklerine bağlı olarak, taşıma gücü formüllerine dayalı hesap yöntemi Frank ve diğ.(2004) tarafından ‘Alternatif Yöntem’ olarak tanımlanmıştır. Alternatif yöntemde karakteristik uç mukavemeti ve çevre sürtünmesi zemin parametrelerine bağlı olarak belirlenmektedir. Bu durumda karakteristik kazık taşıma gücü (3.1) denklemleriyle bulunabilmektedir.

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = q_{b,k} A_{b,k} + \sum q_{s,k} A_{s;i} \quad (3.1)$$

Burada, $R_{b,k}$ ve $R_{s,k}$ karakteristik uç ve çevre taşıma gücü, $q_{b,k}$ ve $q_{s,k}$ sırasıyla kazıkların karakteristik birim uç mukavemeti ve çevre sürtünmesi, $A_{b,k}$ kazık taban kesit alanı, $A_{s;i}$ ilgili zemin tabakası için kazık çevre alanı olarak verilmektedir.

Bu yöntemde $q_{b,k}$ ve $q_{s,k}$'nın zemin parametrelerinin uygun değerleriyle hesapla bulunan karakteristik değerler olması beklenebilmektedir.

3.3.2 Taşıma gücünün arazi deneyleriyle belirlenmesi

Eurocode 7'ye göre kazık taşıma gücünün belirlenmesinde arazi deneyleri (CPT, SPT, MPT vb.) kullanılmaktadır. Bu kısımda verilen hesap yöntemi Frank ve diğ. (2004) tarafından 'Model Kazık' yöntemi olarak tanımlanmıştır. Alternatif yöntemle karakteristik taşıma gücü (3.2) ve (3.3) denklemiyle bulunabilmektedir.

$$R_{c,k} = (R_{b,cal} + R_{s,cal})/\xi = R_{c,cal}/\xi \quad (3.2)$$

$$R_{c,k} = \text{Min}\{(R_{c,cal})_{mean}/\xi_3 ; (R_{c,cal})_{min}/\xi_4\} \quad (3.3)$$

Burada; $R_{b,cal}$ ve $R_{s,cal}$ arazi deneylerine bağlı olarak belirlenen kazık uç ve çevre taşıma gücü, $R_{c,cal}$ arazi deneylerine bağlı kazık taşıma gücü, $(R_{c,cal})_{mean}$ ve $(R_{c,cal})_{min}$ kazık taşıma gücünün sırasıyla ortalama ve en düşük değerleri, ξ_3 ve ξ_4 Çizelge 3.1'de verilen n deney sayısına bağlı güvenlik sayılarıdır.

Çizelge 3.1 : Arazi deneylerine bağlı hesapta kullanılan güvenlik sayıları.

n	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1.40	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25
ξ_4	1.40	1.27	1.23	1.20	1.15	1.12	1.08

Eurocode 7 – Bölüm 2'de verilen ekler arasında, arazi deneylerinden geoteknik parametrelerin türetilmesine ve korelasyonuna ilişkin bilgilendirme amaçlı örnekler sunulmaktadır. Örnekler ek numaralarına göre şu şekilde özetlenebilir;

D.6 Tekil kazığın taşıma gücü ve zeminin koni penetrasyon direnci arasındaki bağıntı: Kazık uç mukavemetinin CPT koni penetrasyon

direnci q_c ve kazık başı oturmasına s/d göre değişimi, kazık çevre sürtünmesinin qc'ye bağlı değerleri tablolar halinde verilmiştir.

D.7 Tekil kazığın taşıma gücünün belirlenmesine ait örnek: Kazık uç mukavemeti ve çevre sürtünmesinin CPT verileri kullanılarak hesaplanmasına ait örnek hesap adımları gösterilmiştir.

E.3 Tekil kazığın taşıma gücünün belirlenmesine ait örnek: Kazık taşıma kapasitesinin MPT verileri kullanılarak hesaplanmasına ait örnek hesap adımları gösterilmiştir.

3.3.3 Taşıma gücünün statik kazık yükleme deneyleriyle belirlenmesi

Eurocode 7'de karakteristik kazık kapasitesi, statik yükleme deneyleriyle ölçülen kazık kapasitelerine bağlı olarak belirlenebilmektedir. Statik yükleme deneyiyle belirlenen taşıma gücünden karakteristik taşıma gücü (3.4) denklemiyle bulunabilmektedir.

$$R_{c,k}=\text{Min}\{(R_{c,m})_{mean}/\xi_1;(R_{c,m})_{min}/\xi_2\} \quad (3.4)$$

Burada; $R_{c,m}$ deneyle ölçülen kazık taşıma gücü, $(R_{c,m})_{mean}$ ve $(R_{c,m})_{min}$ deneyle ölçülen kazık taşıma gücü değerlerinin sırasıyla ortalama ve en düşük değerleri, ξ_1 ve ξ_2 Çizelge 3.2'de verilen deney sayısına bağlı güvenlik sayılarıdır.

Çizelge 3.2 : Statik yükleme deneylerine bağlı hesapta kullanılan güvenlik sayıları.

n	1	2	3	4	≥5
ξ_1	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00
ξ_2	1.40	1.20	1.05	1.00	1.00

Eurocode 7'ye göre basınç veya çekme kazıkları için göçme durumu kazıklı temelin, taşıma kapasitesinde artış olmaksızın, önemli mertebede deplasman yaptığı durum olarak tanımlanmaktadır. Kazığın yük – oturma eğrisinde kazık başı oturmasının kazık taban çapının %10'una ulaştığı durum kazık göçme kriteri olarak kabul edilmektedir.

3.3.4 Taşıma gücünün dinamik kazık yükleme deneyleriyle belirlenmesi

Kazık kapasitesinin belirlenmesinde dinamik etki testi, kazık çakım formülü ve dalga denklemleri kullanılmaktadır.

Kazığın dinamik yükleme deneyi sonuçlarına göre taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılan yöntemler üç deney yöntemi içinde aynıdır. Dinamik test sonuçlarına göre karakteristik kazık kapasitesi (3.5) denklemi yardımıyla bulunmaktadır.

$$R_{c,k}=\text{Min}\{(R_{c,m})_{mean}/\xi_5;(R_{c,m})_{min}/\xi_6\} \quad (3.5)$$

Burada ξ_5 ve ξ_6 deney sayısına bağlı güvenlik sayıları, $(R_{c,m})_{mean}$ ve $(R_{c,m})_{min}$ ölçülen taşıma gücü değerlerinin sırasıyla ortalama ve en düşük değerleridir. Güvenlik sayıları Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : Dinamik yükleme deneyine bağlı hesapta kullanılan güvenlik sayıları.

n	≥2	≥5	≥10	≥15	≥20
ξ_5	1.60	1.50	1.45	1.42	1.40
ξ_6	1.50	1.35	1.30	1.25	1.25

Çizelge 3.3'te verilen güvenlik sayıları dinamik yükleme testleri için geçerli olup kullanılan deney türüne bağlı olarak aşağıda verilen model faktörleriyle çarpılması gerekmektedir.

- Dinamik etki testi için 0.85,
- Kazık çakım formüllerinin kullanıldığı ve yarı elastik kazık başı deformasyonunun ölçüldüğü durumda 1.10, ölçülmediği durumda 1.20 alınmalıdır.

Temellerin farklı kazıklardan oluşması durumunda kazık test sayısı belirlenirken benzer kazık grupları birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmektedir.

Ek olarak, kazıkların yeniden çakım sonuçlarına bağlı olarak kazık kapasitesi tanımlanabilmektedir. Yeniden çakım sonucunda daha düşük kazık kapasitesinin elde edildiği durumda, düşük değer dikkate alınmaktadır. Yeniden çakım sonrasında elde edilen kapasitenin ilk değerde yüksek olması halinde, bu durum dikkate alınabilmektedir.

Dinamik yükleme deneylerinden elde edilen kazık kapasitelerinin statik kazık yükleme deneyleriyle kanıtlanması gereklidir.

3.4 Kazık Tasarım Yükünün Belirlenmesi

Eurocode 7'de nihai sınır durum tasarım yaklaşımına göre (3.6) denkleminde verilen koşulun sağlaması gerekmektedir.

$$F_{c,d} \leq R_{c,d} \tag{3.6}$$

Burada $F_{c,d}$ kazığa etkiyen eksenel tasarım yükünü, $R_{c,d}$ ise tekil kazığın tasarım taşıma gücünü ifade etmektedir.

Eurocode 7'ye göre üstyapı ve kazıklar arasındaki ilişki üstyapıdan gelen yüklere, zemin parametrelerine ve kazık taşıma gücüne uygulanan kısmi faktörlerle sağlanmaktadır. Kazık tasarımında yapısal yükler için (A), zemin parametreleri için (M), kazık taşıma gücü için (R) sembolüyle gösterilen kısmi güvenlik faktörleri kullanılmaktadır.

Eurocode 7 nihai sınır durum tasarımı için DA1, DA2 ve DA3 adı verilen üç farklı tasarım metodu önermektedir. Tasarım metotlarına göre kısmi güvenlik faktörlerinin kullanımına yönelik kombinasyon setleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. Tasarım metotlarından DA1'de güvenilirlik kısmi faktörlerin iki ayrı kombinasyonla kontrol edilmesiyle yapılmaktadır. Bunlar kombinasyon 1'de yüklere, kombinasyon 2'de malzemeye ya da kazık taşıma gücüne uygulanmaktadır. Kısmı güvenlik faktörleri DA2 tasarım metodunda aynı anda yük ve kazık taşıma gücüne, DA3'te yük ve malzeme özelliklerine uygulamaktadır.

Çizelge 3.4 : Eurocode 7'de tasarım metotları için verilen kombinasyon setleri.

Tasarım Metodu	Yapısal Yük	Zemin Parametresi	Kazık Taşıma Gücü
DA1-C1:	A1	M1	R1
DA1-C2:	A2	M1	R4
DA2	A1	M1	R2
DA3	A1* ya da A2†	M2	R3

DA3 için verilen kombinasyon setinde * yapısal etkilere, † geoteknik etkilere (negatif sürtünme, yanal yükleme vb.) uygulanacak kısmi faktörleri ifade etmektedir.

Eurocode 7 kullanılan ülkeler kazık tasarımı için gereken kısmi faktörleri belirlemekte ve kendi ulusal eklerinde tanımlanmaktadır. Bu nedenle ulusal eklerde kısmi güvenlik faktörleri, model faktörleri ve/veya kullanılan tasarım metotları farklı olabilmektedir.

Örneğin, Avrupa bölgesinde yer alan ülkelerin yarısından fazlasında temel tasarımında DA2, Birleşik Krallık Ulusal Ek'inde DA1 kullanılmaktadır.

Tasarım eksenel yükü $F_{c,d}$ (3.7) denkleminde verilen şekilde sabit ve hareketli yüklerin (G ve Q) kısmı güvenlik faktörleri (γ_G ve γ_Q) ile çarpılmasından elde edilmektedir.

$$F_{c,d} = \gamma_G G + \gamma_Q Q \tag{3.7}$$

Yapısal yüklerin, zemin parametrelerinin tanımlanması için gereken kısmi faktörler Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da verilmektedir.

Çizelge 3.5 : Yapısal yükler için kısmi faktörler.

Etki		Sembol	A1	A2
Sabit	Elverişsiz	γ_G	1.35	1.00
	Elverişli		1.00	1.00
Hareketli	Elverişsiz	γ_Q	1.50	1.30
	Elverişli		0.00	0.00

Çizelge 3.6 : Zemin parametreleri için kısmi faktörler.

Zemin Parametresi	Sembol	Kısmi Faktör	
		M1	M2
Kayma dayanımı açısı (tanϕ' değerine uygulanacak)	$\gamma_{\phi'}$	1.00	1.25
Kohezyon (efektif)	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Drenajsız kayma mukavemeti	γ_{cu}	1.00	1.40
Basınç dayanımı	γ_{qu}	1.00	1.40
Yoğunluk	γ_γ	1.00	1.00

Kazık taşıma gücünün tasarım değeri $R_{c,d}$, toplam kapasite veya uç ve sürtünme kapasitelerinin karakteristik değerlerinin ayrı ayrı ele alınmasıyla (3.8) denklemiyle bulunabilmektedir.

$$R_{c,d}=R_{c,k}/\gamma_t = R_{b,k}/\gamma_b+R_{s,k}/\gamma_s \tag{3.8}$$

Burada verilen γ_t, γ_b, γ_s kazık tipine bağlı kısmi taşıma gücü faktörleri olup Çizelge 3.7'de verilmektedir. Eurocode 7 – Bölüm 1 Madde 7.6.2.3 uyarınca kazık taşıma gücünün alternatif yöntemle bulunması durumunda kısmi güvenlik faktörleri γ_b ve γ_s'nin 1,0'den büyük bir model faktörü γ_{Rd} ile düzeltilerek kullanılması tavsiye edilmektedir. Model faktörünün sayısal değeri Eurocode 7'de verilmediğinden, model faktörü ülkelerin kendi tasarım eklerinde bulunmaktadır.

Çizelge 3.7 : Kazık taşıma gücü için önerilen kısmi faktörler.

Kazık Tipi	Dayanım	Sembol	Kısmi Faktör R1	R2	R3	R4
Çakma Kazık	Uç	γ_b	1.00	1.10	1.00	1.30
	Sürtünme	γ_s	1.00	1.10	1.00	1.30
	Toplam (basınç)	γ_t	1.00	1.10	1.00	1.30
	Çekme	$\gamma_{s;t}$	1.25	1.15	1.10	1.60
Sondaj Kazığı	Uç	γ_b	1.25	1.10	1.00	1.60
	Sürtünme	γ_s	1.00	1.10	1.00	1.30
	Toplam (basınç)	γ_t	1.15	1.10	1.00	1.50
	Çekme	$\gamma_{s;t}$	1.25	1.15	1.10	1.60
CFA Kazık	Uç	γ_b	1.10	1.10	1.00	1.45
	Sürtünme	γ_s	1.00	1.10	1.00	1.30
	Toplam (basınç)	γ_t	1.10	1.10	1.00	1.40
	Çekme	$\gamma_{s;t}$	1.25	1.15	1.10	1.60

4. SP 24.13330.2011'E GÖRE KAZIK TASARIMI

4.1 Giriş

SP24.13330.2011 yönetmeliği değişik zemin koşullarında farklı tiplerdeki kazıkların tasarımında izlenecek kuralları içermektedir. Yönetmelikte geçen kurallar yeni yapılan ve restorasyona uğrayan yapılar için geçerli olup, yönetmelik hükümleri kalıcı olarak donmuş zeminlerdeki yapı temellerinde, dinamik yükler etkisi altındaki makine temellerinde, deniz üstü petrol yapılarında ve kıyı şeridine inşa edilen diğer tüm yapılar için geçerli değildir. Kazıklı temeller yönetmeliğinin bölümleri ve kısaca içerikleri aşağıda verilmektedir.

Temel hükümler, zemin araştırmaları ve denetim; tasarımda esas alınması gereken hususlar (zemin araştırmaları, bölgenin sismik bilgileri, inşaatın ve çalışma koşullarının fonksiyonel, yapısal ve teknolojik özellikleri, yapı temeline etkimesi beklenen yükler, mevcut inşaat sahasının özellikleri ve yapılacak inşaatın sahaya etkisi, ekolojik etkiler, mühendislik çözümlerinin ekonomik açıdan mukayese edilmesi) verilmektedir. Tasarımda esas alınacak zemin araştırma çalışmaları ve kazıklı temeller için zemin koşullarına bağlı denetimlerin tarifi yapılmaktadır.

Kazık tipleri; zemine yerleştirilme tekniğine, kazık ve zemin arasındaki etkileşime göre (sürtünme kazığı, uç kazığı), betonarme çakma kazıklar donatı ve şekillerine bağlı olarak, yerinde dökme kazıklar imalat yöntemlerine göre alt gruplar halinde tanımlanmaktadır.

Kazık tasarımı; değişik tipteki kazıkların nihai sınır durum (taşıma gücü) ve kullanılabilirlik sınır durumu tasarım esasları bu kısımda verilmektedir.

Problemli zemin koşullarında (çöken, şişen zeminler) kazık tasarım esasları; maden sahaları üzerindeki bölgelerde, sismik bölgelerde, karstik bölgelerde kazıklı temellerin tasarımı, iletim kulelerinde kazıklı temellerin tasarım esasları ve alçak katlı binalarda kazıklı temellerin tasarım esasları ayrı bölümler halinde verilmektedir.

4.2 Kazıklı Temel Tasarım Esasları

SP24.13330.2011'e göre kazık tasarımı sınır durum tasarım ilkelerine uygun olarak yapılmaktadır. Kazıklı temellerin tasarımı taşıma kapasitesi (nihai sınır durum) ve kullanılabilirlik sınır durumu olarak tanımlanan bir dizi sınır durumun getirdiği şartları sağlamalıdır. Sınır durumlar şu şekildedir;

1. Grup: Taşıma Kapasitesi (sınır durum 1) analizi aşağıda verilen durumlara karşı emniyetin sağlanması için gerekmektedir: Kazık ve kazık başlığı malzeme dayanımı, kazık nihai taşıma kapasitesine, yatay yük etkisindeki kazıkların burkulması, sismik etkiler dahil, yapının yamaç yakınında bulunması veya dik eğimli zemin katmalarından olması durumu, bu hesaplamalar tasarımı yapılan temelin yerdeğiştirmesini önlemek için alınan tedbirler dikkate alınarak yapılmalıdır.

2. Grup: Kullanılabilirlik sınır durumu (sınır durum 2) analizi aşağıda verilen durumlara karşı emniyetin sağlanması için gerekmektedir. Düşey yük etkisi altındaki kazık ve kazıklı temellerin oturması, yatay yük ve moment etkisi altındaki kazık ve zemininin deplasmanı, kazıklı temellerin betonarme elamanlarında çatlak oluşumu ve çatlak gelişimi.

Rus yönetmeliğinde kazıkların kullanılabilirlik durumu analizi SP 24.13330.2011 Bölüm 4'te verilmektedir. Bu kısımda tekil kazık, kazık grubu ve kazıklı temellerin oturma analizleriyle ilgili hesap yöntemleri verilmektedir. Kullanılabilirlik sınır durumunun sağlanması için hesaplamalardan elde edilen oturmaların nihai sınırları aşmaması gerekmektedir.

Rus kazıklı temel şartnamesine göre kuvvet faktörleri ve olumsuz çevresel etkilerin (örneğin yer altı suyunun etkisi ve bunun zeminin fiziksel ve mukavemet özellikleri üzerindeki etkisi vb.) arasındaki etkileşim kazıklı temel tasarımında dikkate alınmalıdır. Kazıklı temellerin tasarımı taşıma kapasitesi ve kullanılabilirlik sınır durumlarına göre kazıklı temelin davranışını tanımlayan matematiksel modellerle yapılmaktadır. Tasarım modeli, analitik veya nümerik görünümde sunulabilmektedir. Kazığın taşıma kapasitesinin belirlenmesinde ve kazık oturmasında SP24.13330.2011'de verilen tablolar ve analitik yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Büyük boyutlu kazık grupları ve kazıklı radye temellerin tasarımında nümerik analiz yardımıyla yapılabilmektedir.

Kazıklı temellerin bilgisayarla yapılan analizlerinde, tasarım modelinin amacı ve zeminin deformasyon ve mukavemet parametrelerinin seçimiyle bağlantılı muhtemel belirsizlikleri dikkate almak gerekmektedir. Bu nedenle numerik yöntemlerle yapılan tekil kazık, kazık grubu ve kazıklı temel analiz sonuçlarının analitik yöntemlerle elde edilen sonuçlarla veya çeşitli geoteknik hesap programlarıyla elde edilen alternatif sonuçların karşılaştırılması tavsiye edilmektedir.

SP 24.13330.2011'de sınır durumuna göre tasarım yapılırken yükler, yük faktörleri ve yük kombinasyonlarının SP 20.13330 – Yükler ve Etkiler ve SP22.13330 – Yapı ve Bina Temelleri yönetmeliğinde uygun olarak belirlenmesi gerekmektedir. Köprüler ve su yapılarının tasarımında kullanılacak yük faktörleri sözkonusu yapılar için geçerli yönetmeliklere göre belirlenmektedir.

Kazıklı temellerin nihai sınır tasarımı için gerekli zemin parametreleri zemin araştırmalarıyla tespit edilmektedir. Zemin parametreleri GOST 20522'ye uygun olarak istatistiki işlemlerle tanımlanmaktadır.

4.3 Kazık Taşıma Gücünün Belirlenmesi

Rus kazıklı temeller yönetmeliğinde kazık kapasitesinin belirlenmesinde taşıma gücü analizi ve arazi deneyleri kullanılmaktadır. Bu kısımda verilen arazi deneyleri kapsamına kazık yükleme deneyleri ve arazi de yapılan çeşitli zemin deneyleri girmektedir.

4.3.1 Taşıma gücü hesabı

4.3.1.1 Deplasman kazıklarının taşıma gücü hesabı

Deplasman kazıklarının taşıma gücü, uç ve sürtünme mukavemetleri esas alınarak (4.1) denklemiyle hesaplanmaktadır.

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u\Sigma \gamma_{cf} f_i h_i) \quad (4.1)$$

Burada; γ_c kazık servis faktörü (γ_c =1), A kazık ucunun kesit alanı, u kazık çevresi, R Çizelge 4.1'de verilen kazık birim uç mukavemeti, f_i Çizelge 4.2'de verilen kazık birim çevre sürtünmesi, h_i kazıkla temas halinde olan zemin tabakasının kalınlığı, γ_{cR} ve γ_{cf} kazık çakım yöntemine bağlı olarak Çizelge 4.3'te verilen sırasıyla uç mukavemeti ve çevre sürtünmesi için zemin servis faktörü olarak verilmektedir.

Çizelge 4.1 : SP 24'e göre deplasman kazıklarında birim uç mukavemeti R (MPa).

Kazık alt ucunun penetrasyon derinliği, m	Çakma kazıklar için tasarım kazık uç direnci R, MPa						
	Orta sıkı kumlar						
	Çakıllı	Kaba	-	Orta	İnce	Siltli	-
	Killer						
	Likidite indisi I_L						
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
3	7.50	6.60 / 4.40	3.00	3.10 / 2.00	2.00 / 1.20	1.10	0.60
4	8.30	6.80 / 5.10	3.80	3.20 / 2.50	2.10 / 1.60	1.25	0.70
5	8.80	7.00 / 6.20	4.00	3.40 / 2.80	2.20 / 2.00	1.30	0.80
7	9.70	7.30 / 6.90	4.30	3.70 / 3.30	2.40 / 2.20	1.40	0.85
10	10.50	7.70 / 7.30	5.00	4.00 / 3.50	2.60 / 2.40	1.50	0.90
15	11.70	8.20 / 7.50	5.60	4.40 / 4.00	2.90	1.65	1.00
20	12.60	8.50	6.20	4.80 / 4.50	3.20	1.80	1.10
25	13.40	9.00	6.80	5.20	3.50	1.95	1.20
30	14.00	9.5	7.40	5.60	3.80	2.10	1.30
≥35	15.00	10.00	8.00	6.00	4.10	2.25	1.40

Çizelge 4.1'de;

1) Altı çizgili olarak verilen değerlerde çizginin üzerindeki R değerleri kumlar için, altındaki değerler killer içindir.
2) Kazık penetrasyon derinliği ve likidite indisinin ara değerleri için R değeri doğrusal interpolasyonla bulunmalıdır.
3) Sıkılığı statik sonda deneyiyle belirlenen sıkı kumlarda, su jeti ya da pilot delgi yapılmadan çakılacak kazıklar için tabloda verilen R değerleri %100 oranında artırılacaktır.Eğer zeminin sıkılığı başka mühendislik araştırmalarıyla belirlenmişse tabloda verilen R değerleri 20 MPa'ı geçmemek kaydıyla %60 oranında artırılacaktır.
4) Çizelgede verilen uç mukavemetleri su jeti kullanılmadan ve delgi yapılmadan yapılan kazıklarda, penetrasyon değerlerinin en az köprüler ve hidro-teknik yapılarında 4.0 m, binalar ve diğer yapılarda 3.0 m olduğu durumlarda geçerlidir.

5) Tek katlı üretim binalarının iç bölümlerindeki temellerinde boyutları 15cmx15cm ve daha küçük olan çakma kazıklarda uç direnci değeri %20 oranında artırılmasına izin verilir.
6) Plastisite indisi Ip≤4 ve porozitesi e<0.8 olan kumlu siltlerde R ve f_i değerleri siltli orta sıkı kuma göre belirlenmelidir.
7) Hesaplamalarda likidite indeksi tasarımı yapılan bina ve yapıların işletme koşulları altındaki durumuna göre dikkate alınmalıdır.

Çizelge 4.2 : SP 24'e göre deplasman kazıklarında birim çevre sürtünmesi f_i (kPa).

Zemin tabakası derinliği (ortalama), m	Orta sıkı kumlar								
	iri ve orta	ince	siltli	-	-	-	-	-	-
	Killer Likidite indisi I_L								
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	35	23	15	12	8	4	4	3	2
2	42	30	21	17	12	7	5	4	4
3	48	35	25	20	14	8	7	6	5
4	53	38	27	22	16	9	8	7	5
5	56	40	29	24	17	10	8	7	6
6	58	42	31	25	18	10	8	7	6
8	62	44	33	26	19	10	8	7	6
10	65	46	34	27	19	10	8	7	6
15	72	51	38	28	20	11	8	7	6
20	79	56	41	30	20	12	8	7	6
25	86	61	44	32	20	12	8	7	6
30	93	66	47	34	21	12	9	8	7
≥35	100	70	50	36	22	13	9	8	7

Çizelge 4.2'de;

1) Penetrasyon derinliği ve I_L'nin ara değerleri için f_i değeri doğrusal interpolasyonla bulunmalıdır.
2) Kazık çevre sürtünmesi belirlenirken zemin tabakaları 2 m'yi geçmeyen kalınlıkta homojen tabakalar halinde bölünmelidir.
3) Sıkı kumlarda yer alan kazıklar için tasarımda kullanılacak çevre sürtünmesi değeri tabloda verilen değerlere kıyasla %30 oranında artırılacaktır.
4) Porozite indisi e<0.5 olan kumlu silt ve killi siltlerle, porozite indisi e<0.6 olan killerde çevre sürtünmesi için tabloda likidite indisine bağlı olarak verilen değerler %15 artırılacaktır.

5) Hesaplamalarda likidite indeksi tasarımı yapılan bina ve yapıların işletme koşulları altındaki durumuna göre dikkate alınacaktır.

Deplasman kazıkları için Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilen birim uç mukavemeti ve birim sürtünme direnci değerleri grafikler halinde Ek A'da verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Kazık çakım yöntemine bağlı zemin servis faktörleri.

Kazık çakım yöntemi ve zemin tipine göre	Zemin servis faktörleri	
	γ_{cR}	γ_{cf}
1. Dolu kesit, kapalı uçlu boru kesit kazıkların mekanik, buharlı ya da basınçlı hidrolik çekiçle çakılması	1.0	1.0
2. Kazığın daha önceden öngörülerek kazılmış kılavuz kazık çukuruna kazık ucunun en az 1m çakılarak çukurun altına batırıldığı zaman çapı:		
a) kare kazığın kenar uzunluğuna eşitse	1.0	0.5
b) kazığın kenar uzunluğundan 0.05 m küçükse	1.0	0.6
c) kazığın kenar uzunluğundan veya çapından 0.15m küçükse (enerji iletim hattı desteklerinde)	1.0	1.0
3. Kum zeminde su jeti kullanılarak çakılan kazıklarda son penetrasyon aşamasında en az 1 m boyunca su jeti kullanılmadığı durumlarda	1.0	0.9
4. Aşağıdaki zemin tiplerinde titreşimle sürülen kazıklarda,		
a) orta sıkı kumlarda		
kaba ve orta kumlar	1.2	1.0
ince kumlar	1.0	1.0
siltli kumlar	1.0	1.0
b) killer, likidite indisi I_L=0.5		
kumlu silt	0.9	0.9
killi silt	0.8	0.9
killi	0.7	0.9
c) killer, likidite indisi $I_L \leq 0$	1.0	1.0
5. İçi boş, açık uçlu betonarme kazıkların çekiçle yerleştirlmesi		
a) kazık boşluk çapı 0.4 m den küçükse	1.0	1.0
b)kazık boşluk çapı 0.4 - 0.8 m aralığındaysa	0.7	1.0
6. Orta sıkı kumda ve likidite indisi $I_L \leq 0.5$ olan killerde 10 m'derinliğe kadar çakılan kapalı uçlu dairesel boru kazıkların ucunda genişletme yapılması durumunda, genişleme çapına göre		
a) 1 m, zemin tipine bakılmaksızın	0.9	1.0
b. Kum ve kumlu silt 1.5 m	0.8	1.0
c. Killi silt ve kil 1.5 m	0.7	1.0
7. İttirmeli yöntemle kazık çakımı		
a) kaba-orta ve ince kumlarda	1.1	1.0
b) siltli kum	1.1	0.8
c) killer, likidite indisi IL<0.5	1.1	1.0
d) killer, likidite indisi IL≥0.5	1.0	1.0

Deplasman kazıklarının çekme kapasitesi F_{tu} (4.2) denklemiyle hesaplanmaktadır.

$$F_{tu} = \gamma_c u \Sigma \gamma_{cf} f_i h_i \qquad (4.2)$$

Burada; γ_{cf}, f_i , h_i, u denklem (4.1) de verilenlerle aynı, γ_c kazık servis faktörü olup, enerji hatları haricindeki yapılarda, taşıyıcı zemine 4m'den kısa çakılan kazıklar için 0.6, en az 4m çakılan kazıklar için 0.8'dir.

4.3.1.2 Sondaj kazıklarının taşıma gücü hesabı

Sondaj kazıklarının taşıma gücü (4.3) denklemiyle hesaplanmaktadır.

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + \gamma_{cf} u \Sigma f_i h_i) \qquad (4.3)$$

(4.3) denkleminde; γ_c doygunluk derecesi S_r<0.85 olan killerde 0.85, löslerde 0.80, diğer durumlarda 1.00'e eşit olan kazık servis faktörü,

γ_{cR} kazık tabanındaki zemin için servis faktörü;

- ucu genişletilen kazıklarda γ_{cR} =1.30,
- su altında betonlanan kazıklarda γ_{cR} =0.9,
- diğer durumlarda enerji hatları yapıları haricindeki yapılarda γ_{cR} =1.00

A kazık ucunun kesit alanı, u kazık çevresi,

R kazık birim uç mukavemeti,

f_i Çizelge 4.2'de verilen kazık birim çevre sürtünmesi,

h_i kazıkla temas halinde olan zemin tabakasının kalınlığı,

γ_{cf} Çizelge 4.4'te verilen, kazık imalat ve betonlama yöntemine bağlı olarak tanımlanan, çevre sürtünmesi için zemin servis faktörü olarak verilmektedir.

Sondaj kazıklarında kazık uç mukavemeti zemin tipine bağlı olarak aşağıda verilen yöntemlerle belirlenmektedir.

a) Kum dolgulu iri daneli zeminlerde ve kumlarda yapılan sondaj kazıklarında; taban genişlemesi yapılan sondaj kazıklarında ve delgi yapılarak imal edilen boru kazıklarda kazık birim uç mukavemeti (4.4) denklemiyle hesaplanabilmektedir.

$$R = 0.75 \alpha_4 (\alpha_1 \gamma_1 d + \alpha_2 \alpha_3 \gamma_1 h) \qquad (4.4)$$

Burada;

α_1, α_2, α_3, α_4 zemin içsel sürtünme açısına 0.90 azaltma faktörü uygulanarak elde edilen, Çizelge 4.5'te verilen boyutsuz faktörler,

γ_1' ve γ_1 sırasıyla kazık tabanındaki ve çevresindeki zemin birim hacim ağırlığı, suya doygun zeminlerde suya doygun birim hacim ağırlık,

d kazık çapı, h gömülme derinliği olarak verilmektedir.

Çizelge 4.4 : Kazık tipi ve imal yöntemine bağlı zemin servis faktörleri.

Kazık tipleri ve imalat yöntemleri	γ_{cf}			
	kumlar	kumlu siltler	killi siltler	killer
1.Zemine çakma, vidalama yöntemiyle, kapalı uçlu muhafaza borusuyla imal edilen yerinde dökme kazıklar	0.8	0.8	0.8	0.7
2. Vibro çakıcıyla imal edilen kazıklar	0.9	0.9	0.9	0.9
3. Fore kazıklar ve ucu genişletilen fore kazıklar				
a. Yer altı suyunun olmadığı durumda (kuruda), muhafaza borusu kullanıldığında, CFA kazıklarında	0.7	0.7	0.7	0.6
b. Su jeti veya grouting yapılıyorsa	0.6	0.6	0.6	0.6
c. Katı beton karışımının derin vibrasyonla yapılması durumunda (kuru metot)	0.8	0.8	0.8	0.7
4. Baretler	0.5	0.5	0.5	0.5
5. Vibrasyon ve delgiyle yapılan boru kazıklar	1.0	0.9	0.7	0.6
6. Kazıklar-ayaklar	0.7	0.7	0.7	0.6
7. Muhafaza borusu ya da 2-4 atm basınçlı enjeksiyonla üretilen enjeksiyon kazıklarında ve bunların CFA yöntemiyle yapıldığı durumlarda	0.9	0.8	0.8	0.8

Çizelge 4.5 : Kazık uç mukavemeti hesabı için boyutsuz faktörler.

Faktörler	İçsel sürtünme açısı, ϕ (tasarım değeri)								
	23	25	27	29	31	33	35	37	39
α_1	9.5	12.6	17.3	24.4	34.6	48.6	71.3	108.0	163.0
α_2	18.6	24.8	32.8	45.5	64.0	87.6	127.0	185.0	260.0
α_3 (h/d oranına göre)									
4.0	0.78	0.79	0.80	0.82	0.84	0.85	0.85	0.85	0.87
5.0	0.75	0.76	0.77	0.79	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85
7.5	0.68	0.70	0.71	0.74	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84
10.0	0.62	0.65	0.67	0.70	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81
12.5	0.58	0.61	0.63	0.67	0.70	0.73	0.75	0.78	0.80
15.0	0.55	0.58	0.61	0.65	0.68	0.71	0.73	0.76	0.79
17.5	0.51	0.55	0.58	0.62	0.66	0.69	0.72	0.75	0.78
20.0	0.49	0.53	0.57	0.61	0.65	0.68	0.72	0.75	0.78
22.5	0.46	0.51	0.55	0.60	0.64	0.67	0.71	0.74	0.77
≥25.0	0.44	0.49	0.54	0.59	0.63	0.67	0.70	0.74	0.77
α_4 (d'ye göre)									
≤0.80m	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22
4.00 m	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17

Çizelge 4.5'te içsel sürtünme değerlerinin ara değerleri için boyutsuz faktörler doğrusal interpolasyonla bulunmalıdır.

b) Kil zeminlerde sondaj kazıklarının birim uç mukavemeti Çizelge 4.6'ya göre belirlenmektedir.

Çizelge 4.6 : Kohezyonlu zeminde sondaj kazıklarının birim uç mukavemeti R.

Kazık ucu derinliği h, (m)	Kil zeminlerde yapılan yerinde dökme kazıkların likidite indisine bağlı birim uç mukavemeti, (çöken zeminler hariç) R (MPa)						
	I_L=0.0	I_L=0.1	I_L=0.2	I_L=0.3	I_L=0.4	I_L=0.5	I_L=0.6
3	0.85	0.75	0.65	0.50	0.40	0.30	0.25
5	1.00	0.85	0.75	0.65	0.50	0.40	0.35
7	1.15	1.00	0.85	0.75	0.60	0.50	0.45
10	1.35	1.20	1.02	0.95	0.80	0.70	0.60
12	1.55	1.40	1.25	1.10	0.95	0.80	0.70
15	1.80	1.65	1.50	1.30	1.10	1.00	0.80
18	2.10	1.90	1.70	1.50	1.30	1.15	0.95
20	2.30	2.10	1.90	1.65	1.45	1.25	1.05
30	3.30	3.00	2.60	2.30	2.00	-	-
≥40	4.50	4.00	3.50	3.00	2.50	-	-

Çizelge 4.6'da;

- Kazık ucu derinliği ve likidite indisinin ara değerleri için R değeri doğrusal interpolasyonla bulunmalıdır.
- Hesaplamalarda likidite indeksi tasarımı yapılan bina ve yapıların işletme koşulları altındaki durumuna göre dikkate alınacaktır.

Kum ve kil zeminlerde sondaj kazıklarının birim uç mukavemetinin belirlenmesine yönelik yukarıda verilen prensipler taşıyıcı zemin olarak belirlenen zemin tabakasına en az 1 kazık çapı ve 2m'den az olmayacak şekilde giren kazıklar için geçerlidir. Bu kısımda tariflenen şekilde belirlecek olan kazık uç mukavemeti, aynı boylarda ve aynı zemin koşullarındaki deplasman kazıkları için verilen değerlerden büyük olmamalıdır.

Sondaj kazıklarının çekme kapasitesi F_{tu} (4.5) denklemiyle hesaplanmaktadır.

$$F_{tu} = \gamma_c u \Sigma \gamma_{cf} f_i h_i \qquad (4.5)$$

Burada; γ_{cf}, f_i , h_i, u denklem (4.3) de verilenlerle aynı, γ_c kazık servis faktörü olup, enerji hatları haricindeki yapılarda, zemine 4m'den az giren kazıklar için 0.6, en az 4m giren kazıklar için 0.8'dir.

Sondaj kazıkları için Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.2'de verilen birim uç mukavemeti ve birim çevre sürtünmesi değerleri grafikler halinde Ek A'da verilmiştir.

4.3.2 Taşıma gücünün arazi deneyleriyle belirlenmesi

Kazıkların taşıma gücünün belirlenmesinde statik ve dinamik kazık yükleme deneyi, referans kazık deneyi ve statik sonda deneyi kullanılmaktadır. Arazi deneylerine bağlı olarak kazık taşıma gücünün belirlenmesinde izlenecek yola ait detaylar SP 24.13330.2011 Bölüm 7.3'de verilmektedir.

4.3.2.1 Statik ve dinamik kazık yükleme deneyine bağlı taşıma gücü

Rus kazıklı temel yönetmeliğinde statik ve dinamik kazık yükleme deneyine bağlı olarak kazık taşıma gücü (4.6) denklemiyle belirlenebilmektedir.

$$F_d = \gamma_c F_{u,n} / \gamma_g \tag{4.6}$$

Burada, γ_c kazık servis faktörü, $F_{u,n}$ karakteristik kazık taşıma gücü, γ_g zemin güvenlik faktörüdür.

Değişik tipteki kazıklar için kazık servis faktörleri aşağıda verilmektedir.

- Düşey ve yatay yüklü kazıklarda $\gamma_c = 1.0$,
- Çekme kazıklarında (zemine 4m'ye kadar giren kazıklarda) $\gamma_c = 0.6$,
- Çekme kazıklarında (zemine en az 4m giren kazıklarda) $\gamma_c = 0.8$,

Aynı zemin koşulları altında yapılan deney sayısı n olmak üzere;

- $n<6$ için $F_{u,n} = F_{u,min}$ ve $\gamma_g = 1.0$,
- $n\geq6$ için için $F_{u,n}$ ve γ_g kazık yükleme deneyinden elde edilen sonuçların GOST 20522-75'te verilen istatistiki analiz sonuçlarına dayanarak 0.95 güvenilirlik düzeyine uygun olarak belirlenebilmektedir.

Kazık taşıma gücünün belirlenmesi için burada verilen yöntem, yatay kazık yükleme deneyi ve kazık çekme deneyinin kullanıldığı durumlar için de geçerlidir.

Statik kazık yükleme deneyinden elde edilen yük - oturma verilerine göre kazık nihai kapasitesi şu şekilde tanımlanmaktadır:

Statik kazık yükleme deneyinin bir aşamasında yük artışı olmaksızın kazık oturmaları düzgün bir şekilde arttıyorsa ($s\leq20$mm), bu kademeden önceki yükleme

kademesindeki yük kazığın nihai kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Bunun dışındaki durumlarda bina ve yapı temelleri (köprü ve su yapıları hariç) için taşıma kapasitesi (4.7) denkleminde verilen oturma değeri s'e karşılık gelen yük değeri olarak verilmektedir.

$$s=\zeta s_{u,mt} \tag{4.7}$$

Burada, $s_{u,mt}$ SP 22.13330 yönetmeliğinde tanımlanan yapı için izin verilen oturma değeri, ζ oturma dönüşüm faktörü olup kazık ilerlemesine bağlı olarak 0.2 alınabilmektedir. (4.7) denklemiyle elde edilen oturma değerinin 40 mm'den fazla olması durumunda, s=40 mm oturmaya karşılık gelen yük değeri kazık taşıma gücü olarak kabul edilmektedir.

Rus kazıklı temel yönetmeliği statik kazık yükleme deneyi için GOST 5686-94 yönetmeliğine atıfta bulunmaktadır. Kazık yükleme deneyleriyle ilgili yürürlükte olan bu yönetmelik dinamik ve statik kazık yükleme deney metotlarını içermektedir.

Kazık yükleme deneylerinin sayısıyla ilgili değerlendirme zemin koşulları ve yapının önem derecesine göre belirlenmektedir.

4.3.2.2 Referans kazık deneyi ve statik sonda deneyine bağlı taşıma gücü

Referans kazık yükleme deneyine ve statik sonda deneyine bağlı olarak çakma kazıkların taşıma gücü F_d (4.8) denklemiyle belirlenebilmektedir.

$$F_d = F_{u,n} / \gamma_g \tag{4.8}$$

Burada, $F_{u,n}$ referans kazık deneyine bağlı karakteristik kazık taşıma gücü, γ_g zemin güvenlik faktörüdür. Karakteristik taşıma gücü aşağıda verilen şekilde bulunmaktadır.

Aynı zemin koşulları altında yapılan deney sayısı n olmak üzere;

- $n<6$ için $F_{u,n} = F_{u,min}$ ve $\gamma_g = 1.0$,
- $n\geq6$ için için $F_{u,n}$ ve γ_g kazık yükleme deneyinden elde edilen sonuçların GOST 20522-75'te verilen istatistiki analiz sonuçlarına dayanarak 0.95 güvenilirlik düzeyine uygun olarak belirlenebilmektedir.

Koni penetrasyon deneyine bağlı olarak fore kazıkların taşıma gücü, tüm deney noktaları için hesaplanan kısmi taşıma gücü değerlerinin ortalaması alınarak bulunmaktadır.

4.4 Kazıkların Tasarım Yükünün Belirlenmesi

Tekil ya da kazık grubunda yer alan bir kazığın (4.9) denkleminde verilen koşulu sağlaması gerekmektedir.

$$N \leq \gamma_0 F_d / \gamma_n \gamma_k \tag{4.9}$$

Burada;

N kazığa etkiyen tasarım yükü (en olumsuz durumda etkimesi beklenen tasarım yüküne göre belirlenmiş),

F_d kazık taşıma gücü,

γ_0 servis faktörü (tekil kazık için $\gamma_0 = 1$, kazık grupları için $\gamma_0 = 1.15$),

γ_n yapı önem derecesine bağlı katsayı (1, 2 ve 3. Grup yapılar için sırasıyla 1.20, 1.15, 1.10),

γ_k kazık taşıma kapasitesinin belirlendiği yönteme bağlı zemin güvenlik faktörü;

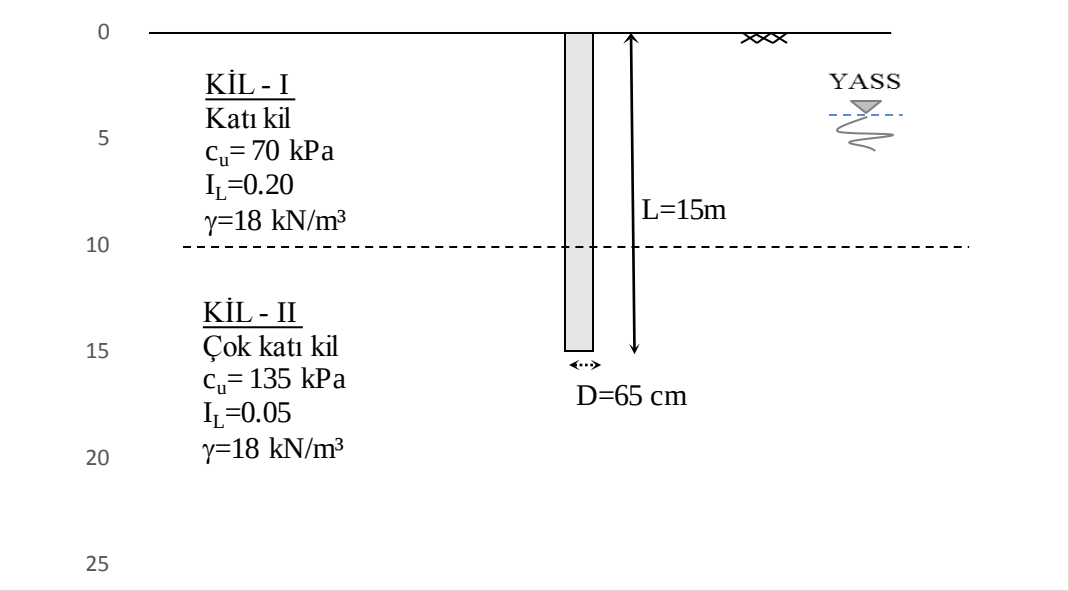
- Taşıma gücü statik kazık yükleme deneyine göre bulunuyorsa $\gamma_k = 1.20$,
- Taşıma gücü statik sonda deneyine, zeminin elastik deformasyonlarını hesaba katan dinamik kazık deneyleri veya referans kazık deneyine göre bulunuyorsa $\gamma_k = 1.25$,
- Taşıma gücü hesapla veya elastik zemin deformasyonlarını göz ardı eden dinamik yükleme deneyine göre belirleniyorsa $\gamma_k = 1.40$ alınmaktadır.

5. ÖRNEK KAZIK TAŞIMA GÜCÜ HESAPLARI

Bu kısımda Eurocode 7 ve SP 24.13330.2011 yönetmeliklerine göre taşıma gücü formüllerine dayalı hesap yöntemiyle aynı koşullardaki kazıkların taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Hesaplar, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerdeki fore kazık ve prekast çakma kazık tipleri için yapılmıştır. Eurocode 7 yönetmeliğine göre kazık taşıma kapasitesi hesabında kazıkların uç mukavemeti ve çevre sürtünmesinin karakteristik değeri DIN 1054 normundan yararlanılarak belirlenmiştir. Her iki hesap yönetmeliğine göre taşıma gücü hesabı için gereken zemin paramaterleri tespit edilmiş, seçilen zemin tabakaları için literatürde önerilen değerlerden yararlanarak zemin parametreleri belirlenmiştir.

5.1 Kohezyonlu Zeminde Fore Kazık Taşıma Gücü

Kohezyonlu zeminde fore kazık taşıma gücü hesabı için Şekil 5.1'de verilen zemin profili ve zemin özellikleri esas alınmıştır. D=65 cm çapında, L= 15m uzunluğundaki fore kazığın taşıma gücü hesaplanmıştır. Farklı çap ve uzunluktaki fore kazıklar için hesaplar tekrar edilmiş, hesap detayları Ek B'de sunulmuştur.



Şekil 5.1 : Örnek 1'de kullanılan zemin profili ve zemin özellikleri.

Hesap yönetmeliklerinde kohezyonlu zeminlerde drenajsız kayma mukavemeti ve likidite indeksi gibi farklı zemin parametrelerinin kullanılması nedeniyle, parametre seçiminde Muir Wood (1983) tarafından verilen (5.1) denkleminden ve Çizelge 5.1'den yararlanılmıştır.

$$c_u \approx 170 \exp(-4.6\, I_L) \qquad (5.1)$$

Çizelge 5.1 : Kohezyonlu zeminde I_c ve c_u ilişkisi (Reeves ve diğ., 2006).

Tanımlama	Kıvam İndisi I_c	c_u (kPa)
Çok yumuşak	0.00-0.25	<20
Yumuşak	0.25-0.50	20-40
Orta katı	0.50-0.75	40-75
Katı	0.75-1.00	75-150
Çok katı veya sert	>1.00	150-300
Sert veya çok sert	>1.00	>300

5.1.1 Eurocode 7'ye göre taşıma gücü hesabı

Fore kazığın taşıma gücü (3.1) denklemiyle hesaplanmıştır. Kazıkların birim uç mukavemeti ve birim çevre sürtünmesi Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'ten yararlanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.2 : Kohezyonlu zeminlerde sondaj kazıkları için birim uç mukavemeti (DIN 1054:2003).

Rölatif kazık başı oturması s/D	Uç mukavemeti $q_{b,k}$ (MN/m²) c_u değerlerine bağlı olarak	
	c_u=100 kN/m²	c_u=200 kN/m²
0.02	0.35	0.90
0.03	0.45	1.10
0.10	0.80	1.50

Çizelge 5.3 : Kohezyonlu zeminlerde sondaj kazıkları için birim çevre sürtünmesi (DIN 1054:2003).

Drenajsız kayma mukavemeti $c_{u,k}$ (kN/m²)	Birim çevre sürtünmesi $q_{s,k}$ (MN/m²)
0.025	0.025
0.10	0.040
≥0.20	0.060

Kazık ucu seviyesindeki zeminin drenajsız kayma mukavemetine göre kazık birim uç mukavemetinin karakteristik değeri $q_{b,k}$=1045 kPa, bu durumda kazığın uç mukavemetiyle taşıdığı yük $R_{b,k}=q_{b,k}A_b$ = 1045x0.33 = 347 kN'dur.

Kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı Çizelge 5.4'te verilmektedir.

Çizelge 5.4 : DIN 1054'e göre kil zeminde fore kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı.

Derinlik (m)	$A_{s,i}$ (kPa)	c_u (kPa)	Birim Çevre Sürtünmesi $q_{s,k}$ (kPa)	Çevre Sürtünmesi $R_{s,k}$ (kN)
0-10	20.4	70	34	694
10-15	10.2	135	47	479
				$R_{s,k}$=1174 kN

D=65 cm L= 15 m fore kazığın taşıma gücü $R_{c,k}$= 347 + 1174= 1521 kN'dur.

5.1.2 SP 24.13330.2011'e göre taşıma gücü hesabı

Fore kazıklar için taşıma gücü (4.3) denklemiyle hesaplanmıştır. Kazık birim uç mukavemeti ve birim çevre sürtünmesi Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.2'ye göre belirlenmiştir. Kazık yapım yöntemine ve zemin tipine bağlı olarak tanımlanan sevis faktörü Çizelge 4.4'ten (γ_{cf}=0.6) alınmıştır.

Kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı Çizelge 5.5'te verilmektedir.

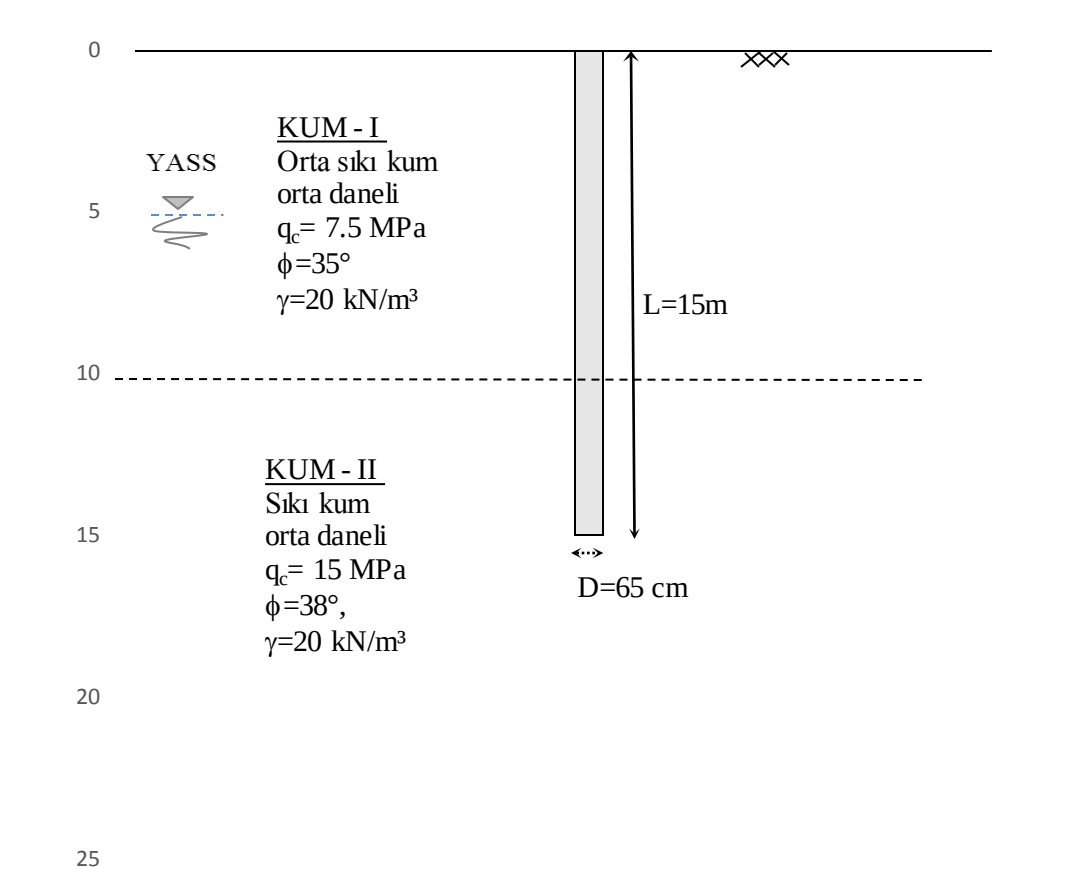
Çizelge 5.5 : SP 24'e göre kil zeminde fore kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı.

Zemin Tipi	Likidite İndisi (I_L)	Tabaka Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	γ_{cf}	f_i (kPa)	$\gamma_{cf}\, f_i\, h_i$ (kN)
Kil I	0.20	0.5	1.0	0.6	32	19
Kil I	0.20	1.5	1.0	0.6	39	23
Kil I	0.20	2.5	1.0	0.6	45	27
Kil I	0.20	3.5	1.0	0.6	51	30
Kil I	0.20	4.5	1.0	0.6	55	33
Kil I	0.20	5.5	1.0	0.6	57	34
Kil I	0.20	6.5	1.0	0.6	59	35
Kil I	0.20	7.5	1.0	0.6	61	36
Kil I	0.20	8.5	1.0	0.6	63	38
Kil I	0.20	9.5	1.0	0.6	64	39
Kil II	10.5	10.5	1.0	0.6	66	39
Kil II	11.5	11.5	1.0	0.6	67	40
Kil II	12.5	12.5	1.0	0.6	69	41
Kil II	13.5	13.5	1.0	0.6	70	42
Kil II	14.5	14.5	1.0	0.6	71	43

Kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yük $u\gamma_{cf}\,\Sigma f_i h_i$=1062kN, uç mukavemetiyle taşıdığı yük RA = 1725x0.33 = 572 kN'dur. D=65 cm L= 15 m fore kazığın taşıma gücü F_d= 572 + 1062 = 1634 kN'dur.

5.2 Kohezyonsuz Zeminde Fore Kazık Taşıma Gücü

Kohezyonsuz zeminde kazık taşıma gücü hesabı için Şekil 5.2'de verilen zemin profili ve zemin özellikleri esas alınmıştır. D=65 cm çapında, L= 15m uzunluğundaki fore kazığın taşıma gücü SP 24 ve Eurocode 7'ye göre hesaplanmıştır. Farklı çap ve uzunluktaki fore kazıklar için hesaplar tekrar edilmiş, hesap detayları Ek B'de sunulmuştur.



Şekil 5.2 : Örnek 2'de kullanılan zemin profili ve zemin özellikleri.

Eurocode 7'ye göre taşıma gücü hesabında başvurulan DIN 1054 yönetmeliği, karakteristik kazık uç mukavemeti ve çevre sürtünmesini kumun CPT koni uç mukavemetine bağlı olarak tanımlamaktadır. SP 24.13330.2011 ise kum zeminlerdeki kazıkların birim çevre sürtünmesi ve birim uç mukavemeti; zeminin sıkılığına, dane boyutuna ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak verilmektedir.

Her iki yönetmelikte de taşıma gücü hesabı için gerekli parametrelerin elde edilmesi amacıyla CPT koni uç mukavemeti ve içsel sürtünme açısı Çizelge 5.6'dan yararlanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.6 : İri daneli feldspat ve kuvars kumlarının rölatif sıkılık, içsel sürtünme açısı ve CPT koni uç direnci arasındaki ilişki (Bergdahl ve diğ., 1993).

Sıkılık	CPT koni uçdirenci q_c (MPa)	İçsel sürtünme açısı Φ (°)	Drenajlı Young modülü E',(MPa)
Çok gevşek	0.0 – 2.5	29 - 32	< 10
Gevşek	2.5 – 5.0	32 - 35	10 - 20
Orta sıkı	5.0 – 10.0	35 - 37	20 - 30
Sıkı	10.0 – 20.0	37 - 40	30 - 60
Çok sıkı	> 20.0	40 - 42	60 - 90

5.2.1 Eurocode 7'ye göre taşıma gücü hesabı

Fore kazığın taşıma gücü (3.1) denklemiyle hesaplanmıştır. Kazıkların birim uç mukavemeti ve birim çevre sürtünmesi Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8'den yararlanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.7 : Kohezyonsuz zeminde sondaj kazıklarının CPT koni uç direncine bağlı birim uç mukavemeti (DIN 1054:2003).

Rölatif kazık başı oturması s/D	Birim uç mukavemeti $q_{b,k}$ (MN/m²) CPT q_c (MN/m²) değerlerine bağlı olarak			
	q_c=10	q_c=15	q_c=20	q_c=25
0.02	0.70	1.05	1.40	1.75
0.03	0.90	1.35	1.80	2.25
0.10	2.00	3.00	3.50	4.00

Çizelge 5.8 : Kohezyonsuz zeminde sondaj kazıklarının CPT koni uç direncine bağlı birim çevre sürtünmesi (DIN 1054:2003).

Ortalama CPT koni penetrasyon mukavemeti q_c (MN/m²)	Birim çevre sürtünmesi $q_{s,k}$ (MN/m²)
0	0
5	0.040
10	0.080
≥15	0.120

Kazık ucu seviyesindeki zeminin koni uç mukavemetine göre birim uç mukavemetinin karakteristik değeri $q_{b,k}$=3000 kPa, bu durumda kazığın uç mukavemetiyle taşıdığı

yük $R_{b,k}=q_{b,k}A_b$ = 3000x0.33 = 995 kN'dur. Kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı Çizelge 5.9'da verilmektedir.

Çizelge 5.9 : DIN 1054:2003'e göre fore kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı.

Derinlik (m)	$A_{s,i}$ (kPa)	qc (MN/m²)	Birim çevre sürtünmesi $q_{s,k,i}$ (kPa)	Çevre Sürtünmesi $R_{s,k,i}$ (kN)
0-10	20.4	7.50	60	1225
10-15	10.2	15.0	120	1225
				$R_{s,k}$=2450 kN

D=65 cm L= 15 m fore kazığın taşıma gücü $R_{c,k}$= 995 + 2450= 3446 kN'dur.

5.2.2 SP 24.13330.2011'e göre taşıma gücü hesabı

Fore kazıklar için taşıma gücü (4.3) denklemiyle hesaplanmıştır. Kazıkların birim çevre sürtünmesi Çizelge 4.2'ye göre belirlenmiş, kazık yapım yöntemine ve zemin tipine bağlı olarak tanımlanan sevis faktörü Tablo 4.4'ten (γ_{cf}=0.7) alınmıştır. Kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı Çizelge 5.10'da verilmektedir.

Çizelge 5.10 : SP 24'e göre kum zeminde fore kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı.

Zemin Tipi	Tabaka Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	γ_{cf}	f_i (kPa)	γ_{cf} f_i hi (kN)
Kum I	0.5	1.0	0.7	30	21
Kum I	1.5	1.0	0.7	39	27
Kum I	2.5	1.0	0.7	45	32
Kum I	3.5	1.0	0.7	51	35
Kum I	4.5	1.0	0.7	55	38
Kum I	5.5	1.0	0.7	57	40
Kum I	6.5	1.0	0.7	59	41
Kum I	7.5	1.0	0.7	61	43
Kum I	8.5	1.0	0.7	63	44
Kum I	9.5	1.0	0.7	64	45
Kum II	10.5	1.0	0.7	85	60
Kum II	11.5	1.0	0.7	87	61
Kum II	12.5	1.0	0.7	89	62
Kum II	13.5	1.0	0.7	91	64
Kum II	14.5	1.0	0.7	93	65

Kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yük uγ_{cf} $\Sigma f_i h_i$=1383kN'dur. Sıkı kum zemindeki fore kazık için hesaplanan birim uç mukavemeti Çizelge 5.11'de verilmiştir.

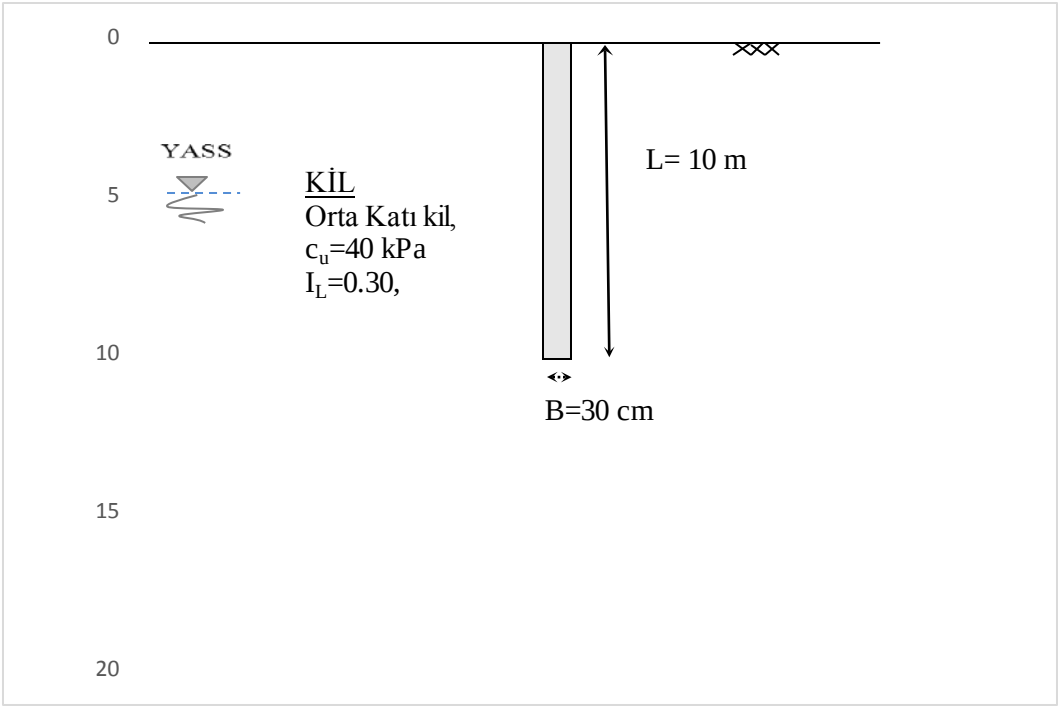
Çizelge 5.11 : SP 24'e göre kum zeminde fore kazığın birim uç mukavemeti.

Kazık Geometrisi			Taşıma Gücü Faktörleri				
Çap D (cm)	Boy L (m)	L/B	α_1	α_2	α_3	α_4	R (kPa)
65	15	23	62	111	0.69	0.24	2617

Kazığın uç mukavemetiyle taşıdığı yük RA = 2617x0.33 = 868 kN, D=65 cm L= 15 m fore kazığın taşıma gücü F_d= 868+ 1383 = 2252 kN'dur.

5.3 Kohezyonlu Zeminde Çakma Kazığın Taşıma Gücü

Kohezyonlu zeminde kazık taşıma gücü hesabı için Şekil 5.3'te verilen zemin profili ve zemin özellikleri esas alınmıştır. Kare kesitli, B=30 cm genişliğinde, L= 10m uzunluğundaki prekast betonarme kazığın taşıma gücü hesaplanmıştır. Farklı ebat ve uzunluktaki prekast kazıklar için hesaplar tekrar edilmiş, hesap detayları Ek B'de sunulmuştur.



Şekil 5.3 : Örnek 3'te kullanılan zemin profili ve zemin özellikleri.

5.3.1 Eurocode 7'ye göre taşıma gücü hesabı

Çakma kazığın taşıma gücü (3.1) denklemiyle hesaplanmıştır. Kohezyonlu zeminlerdeki prekast kazığın taşıma gücü hesabı için kazık uç mukavemeti ve çevre sürtünmesi Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13'e göre belirlenmiştir.

Çizelge 5.12 : Çakma kazıkların taşıma gücü analizi için Alman Normunda verilen birim çevre sürtünmesi (Smoltczyk, 2003).

Zemin Tipi	Taşıyıcı tabakadaki kazık derinliği [1] (m)	Ortalama sürtünme direnci $q_{s1,k}$ (kN/m²)			
		Ahşap kazık	Betonarme kazık	Çelik boru, kutu kesitli, açık	H kesitli çelik
Granüler zemin[7]	≤5.0	20-45	20-45	20-35	20-30
	5.0-10.0	40-65	40-65	35-55	30-50
	>10.0		60	50-75	40-75
Kohezif zemin [5] I_L=0.25-0.50				5-20	
[5] I_L=0-0.25				20-45	
Sert kil (till) katı - sert[6]	≤5.0		50-80	40-70	30-50
	5.0-10.0			60-90	40-70
	>10.0		80-100	80-100	50-80

Çizelge 5.13 : Çakma kazıkların taşıma gücü analizi için Alman Normunda verilen birim uç mukavemeti (Smoltczyk, 2003).

Zemin Tipi	Taşıyıcı tabakadaki kazık derinliği [1] (m)	Ortalama uç direnci $q_{b1,k}$ (MN/m²)			
		Ahşap kazık	Betonarme kazık	Çelik boru, kutu kesitli, açık uçlu kazık[3]	H kesitli çelik[4]
Granüler zemin[7]	≤5.0	2.0-3.5	2.0-5.0	1.5-4.0	1.5-3.0
	5.0-10.0		3.5-6.5	3.0-6.0	2.5-5.0
	>10.0	3.0-7.5	4.0-8.0	3.5-7.5	3.0-6.0
Kohezif zemin [5] I_L=0.25-0.50				-	
[5] I_L=0-0.25				0-2	
Sert kil (till) katı - sert[6]	≤5.0		2.0-6.0	1.5-5.0	1.5-4.0
	5.0-10.0		5.0-9.0	4.0-9.0	3.0-7.5
	>10.0		8.0-10.0	8.0-10.0	6.0-9.0

Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13'te;

1) Uç direnci için taşıyıcı tabakadaki kazık gömme derinliği, sürtünme direnci için kazık boyunu ifade etmktedir.
2) Kapalı uçlu çelik kazıklar için betonarme kazıklar için verilen değerler kullanılmalıdır.

3) Kutu kazık genişliği veya boru çapı ≤500 mm'dir.
4) Flanş genişliği ≤350 mm'dir.
5) Likidite İndisi IL=(wn-wp)/Ip
6) Sert kil için likidite indisi iri daneli kısımlar nedeniyle belirlenemediyse, bu durumda yerel deneyimlere göre belirlenmelidir.
7) Aralığın düşük değerleri için konik penetrasyon değeri qc≈7.5 MN/m², yüksek değerleri için qc≈15 MN/m² 'dir.

Çizelge 5.12'den I_L=0.3 için çevre sürtünmesi $q_{s,k}$=20 kPa, uç mukavemeti $q_{b,k}$=0 olarak belirlenmiştir.

Kazığın uç mukavemetiyle taşıdığı yük $R_{b,k}=q_{b,k}A_b = 0$

Kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yük $R_{s,k}=q_{s,k}A_s$ = 240 kN

B=30 cm L= 10m prekast kazığın taşıma gücü $R_{c,k}$= 240 kN'dur.

5.3.2 SP 24.13330.2011'e göre taşıma gücü hesabı

Çakma kazıklar için taşıma gücü (4.1) denklemiyle hesaplanmıştır. Kohezyonlu zeminde prekast çakma kazıklar için uç mukavemeti ve çevre sürtünmesi Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'ye göre belirlenmiştir. Kazık yapım yöntemine ve zemin tipine bağlı olarak tanımlanan sevis faktörü Çizelge 4.3'ten (γ_{cf}=1.0) alınmıştır.

Kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı Çizelge 5.14'te verilmektedir.

Çizelge 5.14 : SP 24'e göre kil zeminde prekast kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı.

Zemin Tipi	Likidite İndisi (I_L)	Tabaka Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	γ_{cf}	f_i (kPa)	$\gamma_{cf} f_i h_i$ (kN)	$\Sigma\gamma_{cf} f_i h_i$ (kN)
Orta Katı Kil	0.30	0.5	1.0	1.0	20	20	371
		1.5	1.0	1.0	27	27	
		2.5	1.0	1.0	33	33	
		3.5	1.0	1.0	37	37	
		4.5	1.0	1.0	39	39	
		5.5	1.0	1.0	41	41	
		6.5	1.0	1.0	43	43	
		7.5	1.0	1.0	43	43	
		8.5	1.0	1.0	45	45	
		9.5	1.0	1.0	46	46	

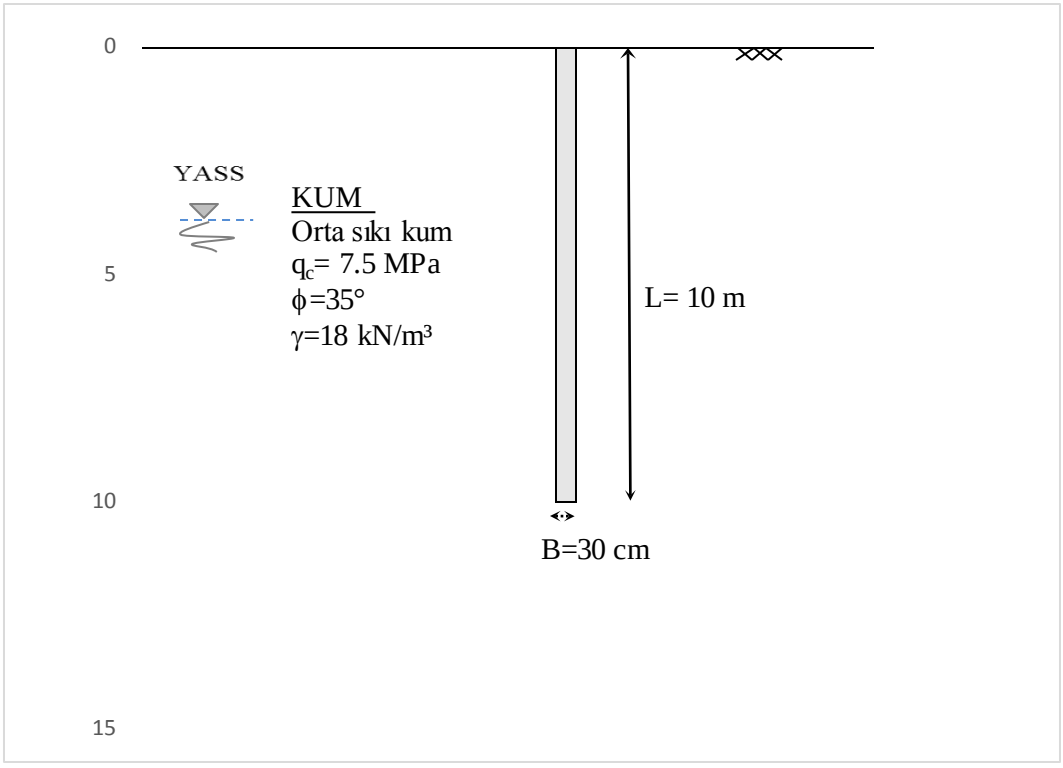
Kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yük $u\Sigma\gamma_{cf}\, f_i\, h_i$= 445 kN, uç mukavemetiyle taşıdığı yük (R=3500 kPa) RA = 3500x0.30² = 315 kN'dur.

B=30 cm L= 10 m prekast kazığın taşıma gücü F_d= 315+ 445 = 760 kN'dur.

5.4 Kohezyonsuz Zeminde Çakma Kazığın Taşıma Gücü

Kohezyonsuz zeminde kazık taşıma gücü hesabı için Şekil 5.4'de verilen zemin profili ve zemin özellikleri esas alınmıştır. Kare kesitli, B=30 cm genişliğinde, L= 10m uzunluğundaki prekast betonarme kazığın taşıma gücü hesaplanmıştır.

Farklı ebat ve uzunluktaki prekast çakma kazıklar için hesaplar tekrar edilmiş, hesap detayları Ek B'de sunulmuştur.



Şekil 5.4 : Örnek 4'te kullanılan zemin profili ve zemin özellikleri.

5.4.1 Eurocode 7'ye göre taşıma gücü hesabı

Çakma kazığın taşıma gücü (4.1) denklemiyle hesaplanmıştır. Kohezyonsuz zeminlerdeki prekast kazığın taşıma gücü hesabı için birim uç mukavemeti ve birim çevre sürtünmesi Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13'e göre belirlenmiştir.

Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13'ten kazık ucu derinliğine bağlı olarak, orta sıkı kum için elde edilen birim çevre sürtünmesi $q_{s,k}$=60 kPa, birim uç mukavemeti $q_{b,k}$=4000 kPa'dır.

Kazığın uç mukavemetiyle taşıdığı yük $R_b=q_{b,k}A_b$ = 4000x0.3²=360 kN

Kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yük (As=12 m²) $R_s=q_{s,k}A_s$ =60x12=720 kN kN

B=30 cm L= 10m prekast kazığın taşıma gücü $R_{c,k}$= 360+720=1080 kN'dur.

5.4.2 SP 24.13330.2011'e göre taşıma gücü hesabı

Çakma kazıklar için taşıma gücü (4.1) denklemiyle hesaplanmıştır. Kohezyonsuz zeminde prekast çakma kazıklar için birim uç mukavemeti ve birim çevre sürtünmesi Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'ye göre belirlenmiştir. Kazık yapım yöntemine ve zemin tipine bağlı olarak tanımlanan sevis faktörü Çizelge 4.3'ten (γ_{cf}=1.0) alınmıştır.

Kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı Çizelge 5.15'te verilmektedir.

Çizelge 5.15 : SP 24'e göre kum zeminde prekast kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yükün hesabı.

Zemin Tipi	Dane Boyutu	Tabaka Derinliği (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	γ_{cf}	f_i (kPa)	$\gamma_{cf} f_i h_i$ (kN)	$\Sigma\gamma_{cf} f_i h_i$ (kN)
Orta sıkı kum	Orta	0.5	1.0	1.0	33	33	526
		1.5	1.0	1.0	39	39	
		2.5	1.0	1.0	45	45	
		3.5	1.0	1.0	51	51	
		4.5	1.0	1.0	55	55	
		5.5	1.0	1.0	57	57	
		6.5	1.0	1.0	59	59	
		7.5	1.0	1.0	61	61	
		8.5	1.0	1.0	63	63	
		9.5	1.0	1.0	64	64	

Kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yük u$\Sigma\gamma_{cf}$ f_i h_i=631 kN, uç mukavemetiyle taşıdığı yük (R=4000 kPa) RA = 4000x0.3² = 360 kN'dur. B=30 cm L= 10 m prekast betonarme kazığın taşıma gücü F_d= 360 + 631= 991 kN'dur.

6. HESAP SONUÇLARI VE BULGULAR

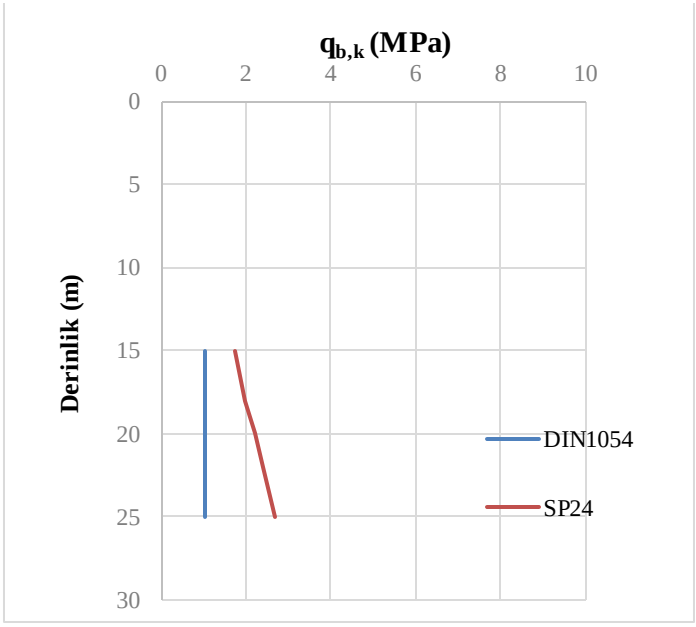
Eurocode 7 ve SP 24.13330.2011 yönetmeliklerine göre kazık taşıma gücü hesap yöntemlerinin incelenmesi amacıyla kil ve kum zeminlerdeki kazıkların taşıma gücü hesapları yapıldı. Bu kısımda, yapılan taşıma gücü hesaplarından elde edilen bulgular verilmektedir.

Kazıkların uç mukavemeti, çevre sürtünmesi ve taşıma gücü Eurocode 7 ve SP 24 yönetmeliğinde farklı sembollerle ifade edildiğinden bu kısımda yapılacak karşılaştırmada adı geçen ifadeler sırasıyla $q_{b,k}$, $q_{s,k}$ ve Q_{ult} sembolüyle gösterilmiştir.

6.1 Kohezyonlu Zeminde Birim Uç Mukavemeti ve Birim Çevre Sürtünmesinin Karşılaştırılması

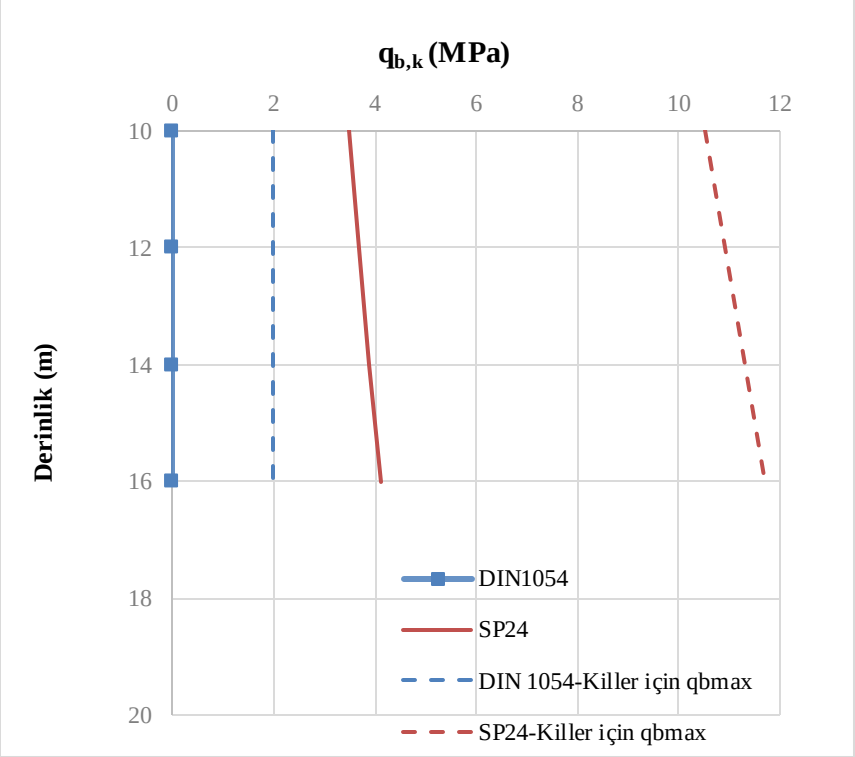
6.1.1 Birim Uç Mukavemeti

Kil zeminde yapılan örnek hesaplar sonucunda, hesap derinlikleri boyunca fore kazık ve prekast kazık için elde edilen birim uç mukavemeti Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de gösterilmektedir.



Şekil 6.1 : Çok katı kil zeminde sondaj kazıklarının birim uç mukavemeti.

Fore kazıklar için (Şekil 6.1) çok katı kil zeminde, SP24'e göre elde edilen birim uç mukavemeti DIN 1054'e göre bulunan değerden yüksektir.



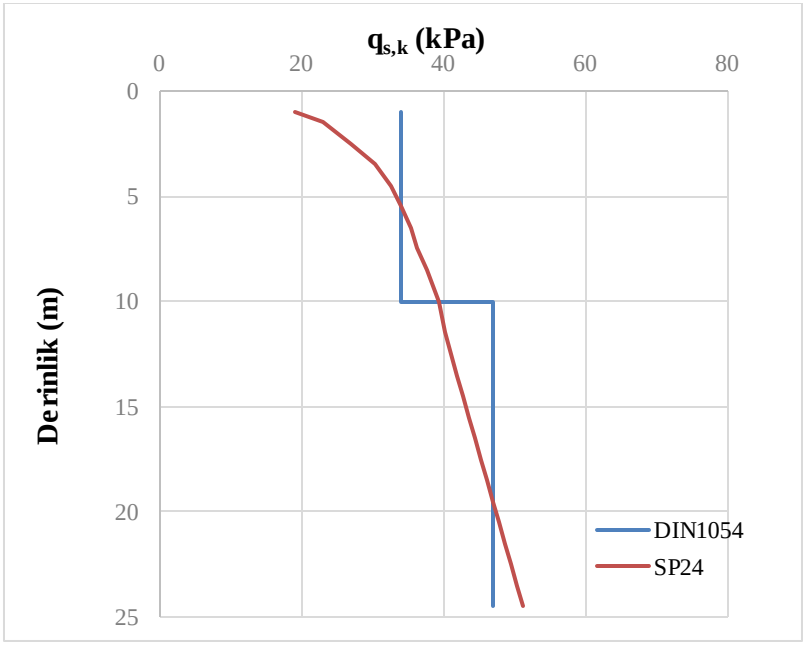
Şekil 6.2 : Orta katı kil zeminde prekast kazıkların birim uç mukavemeti.

Prekast kazıkların uç mukavemeti değerlerine bakıldığında (Şekil 6.2) katı kil zeminde, SP24'e göre bulunan değerin DIN 1054'e göre bulunan birim uç mukavemetinden yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Grafikte (Şekil 6.2), her iki yöntemde I_L=0 olan kil zemin için tavsiye edilen birim uç mukavemeti değerleri kesikli çizgiyle gösterilmektedir. Her iki yöntemin likidite indisine bağlı olarak verdiği birim uç mukavemeti değerlei arasında önemli bir fark olduğu anlaşılmaktadır.

6.1.2 Birim Çevre Sürtünmesi

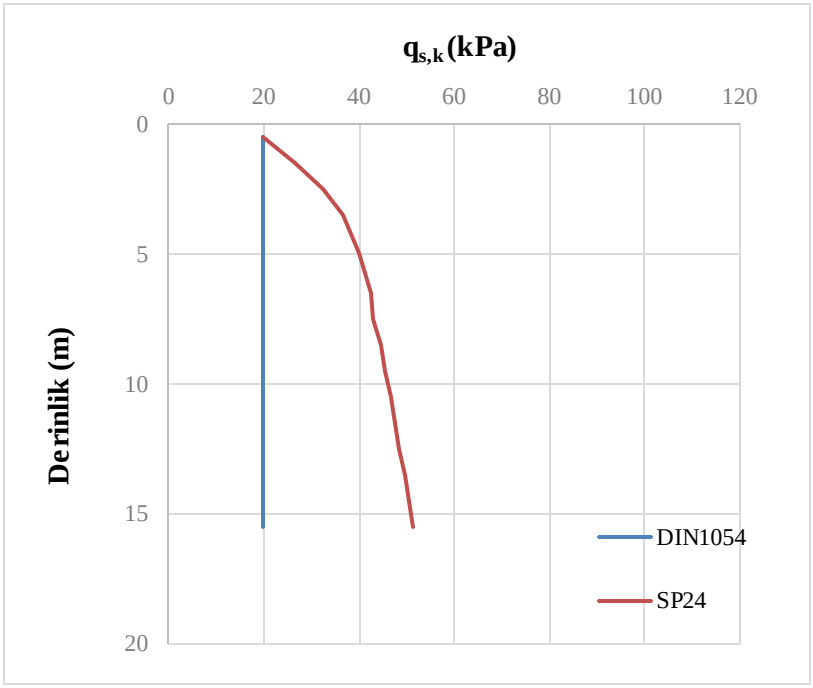
Kil zeminde yapılan örnek hesaplar sonucunda, hesap derinlikleri boyunca fore kazık ve prekast kazık için DIN 1054 ve SP 24'e göre elde edilen birim çevre sürtünmesinin derinlikle değişim grafiği Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te verilmektedir.

- Fore kazıklar için (Şekil 6.3) SP24 ve DIN 1054'e göre bulunan birim sürtünme değerleri yakındır. Çevre sürtünmeleri, zemin tabakası boyunca SP24'e göre derinlikle artmakta, DIN 1054'e göre aynı tabaka boyunca sabit kalmaktadır.



Şekil 6.3 : Katı –çok katı kil zeminde sondaj kazıkların birim çevre sürtünmesi.

- Prekast kazıklar için (Şekil 6.4) SP 24'e göre elde edilen birim çevre sürtünmesinin DIN1054'e göre bulunan değerlerden yüksek olduğu görülmektedir. Hesap derinliği boyunca, SP 24'e göre elde edilen ortalama birim çevre sürtünmesi DIN 1054'e göre belirlenen ortalama sürtünmenin yaklaşık 2 katıdır.

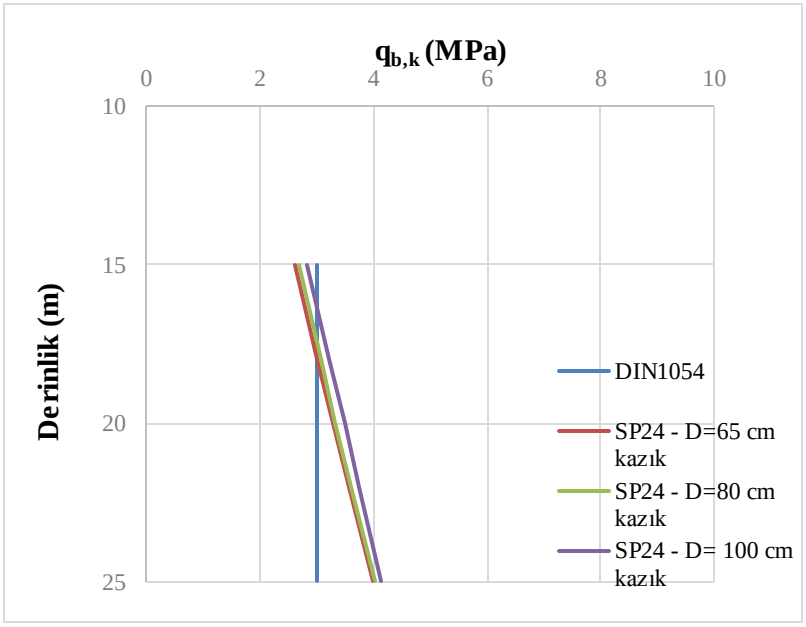


Şekil 6.4 : Orta katı kil zeminde prekast kazıklar için birim çevre sürtünmesi.

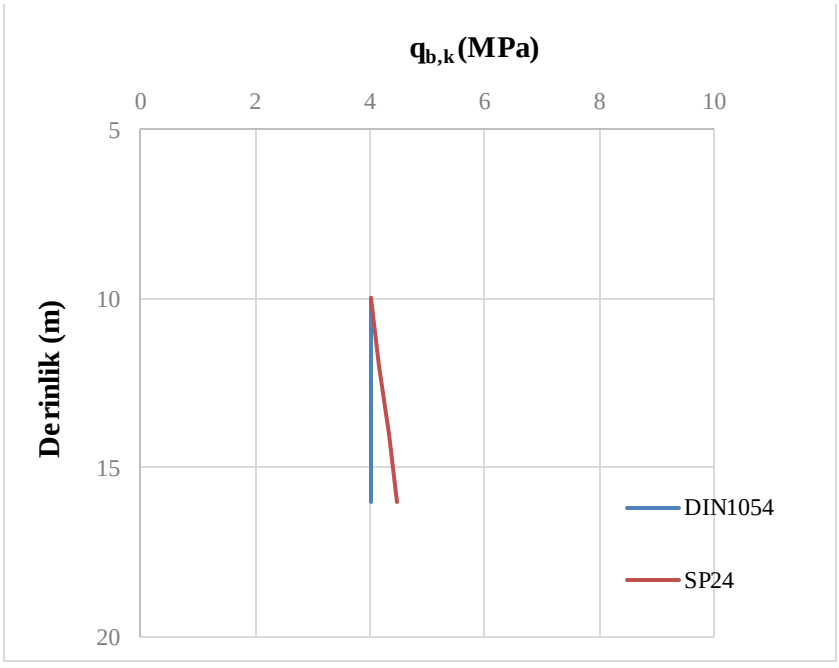
6.2 Kohezyonsuz Zeminde Birim Uç Mukavemeti ve Birim Çevre Sürtünmesinin Karşılaştırılması

6.2.1 Birim Uç Mukavemeti

Kum zeminde yapılan örnek hesaplar sonucunda, hesap derinlikleri boyunca fore kazık ve prekast kazık için elde edilen birim uç mukavemeti Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'de gösterilmektedir.



Şekil 6.5 : Sıkı kum zeminde sondaj kazıklarının birim uç mukavemeti.

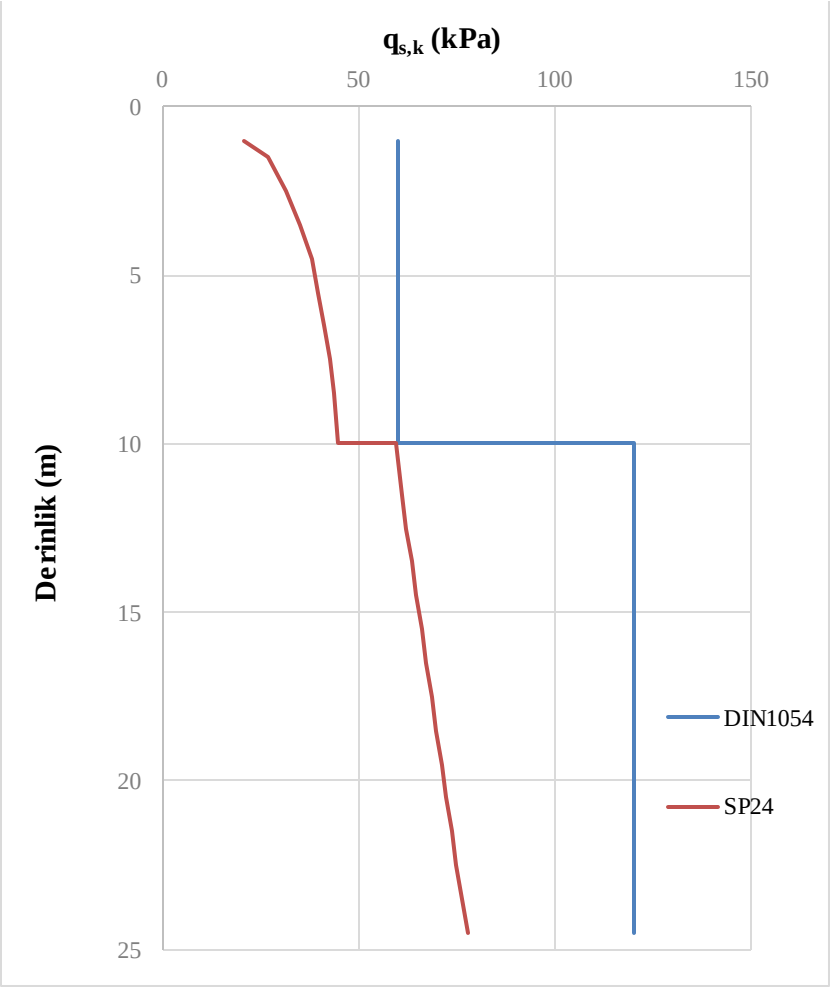


Şekil 6.6 : Orta sıkı kum zeminde prekast kazıkların birim uç mukavemeti.

Hesap derinlikleri boyunca fore kazıklar için (Şekil 6.5) SP24 ve DIN 1054'e göre elde edilen birim uç mukavemetinin, prekast kazıklar için (Şekil 6.6) SP24 ve DIN 1054'e göre elde edilen birim uç mukavemetinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

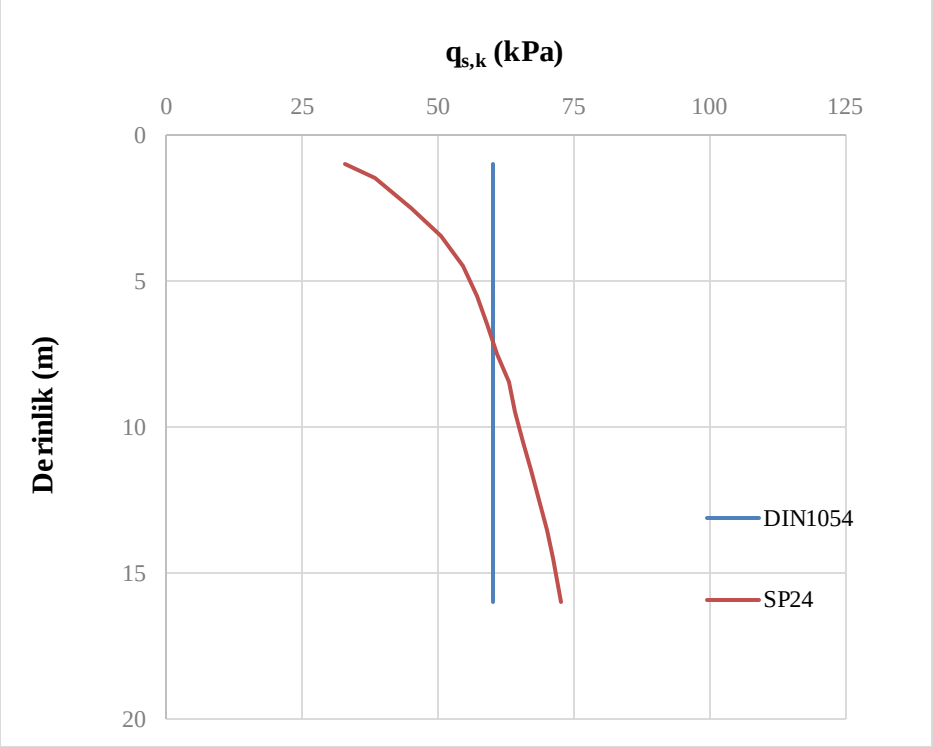
6.2.2 Birim Çevre Sürtünmesi

Orta sıkı kum zeminde, hesap derinlikleri boyunca fore kazık ve prekast kazık için DIN 1054 ve SP 24'e göre elde edilen birim çevre sürtünmesinin derinlikle değişim grafiği Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de verilmektedir.



Şekil 6.7 : Orta sıkı – sıkı kum zeminde sondaj kazıkları için elde edilen birim çevre sürtünmesi.

Fore kazıklar için (Şekil 6.7) SP24'e göre bulunan birim çevre sürtünmesi DIN 1054'e göre bulunan sürtünmelerden düşüktür. Birim çevre sürtünmeleri, zemin tabakası boyunca SP24'e göre derinlikle artmakta, DIN 1054'e göre aynı tabaka boyunca sabit kalmaktadır.



Şekil 6.8 : Orta sıkı kum zeminde prekast kazıkların birim çevre sürtünmesi.

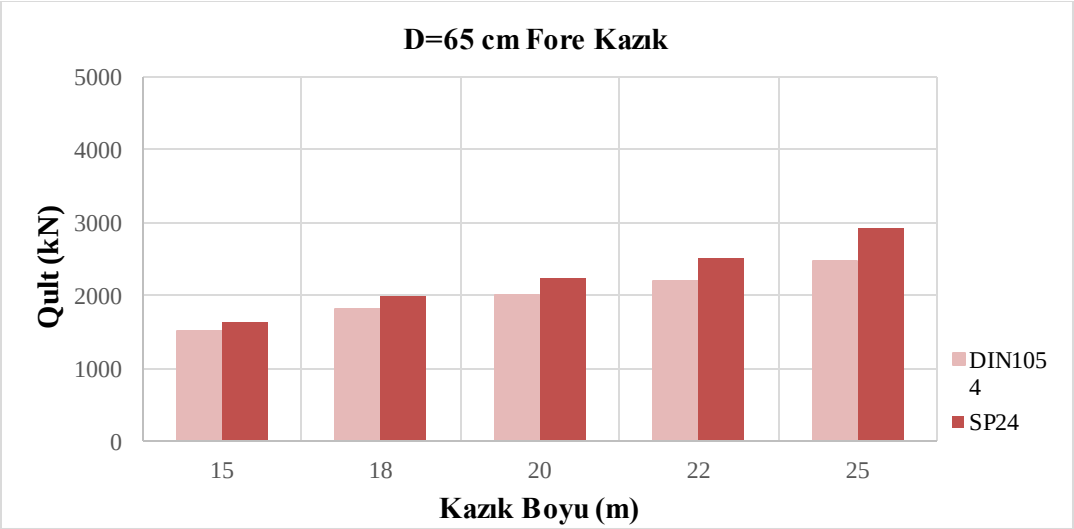
Prekast kazık için (Şekil 6.8) orta sıkı kum tabakasında SP 24'e göre bulunan birim ççevre sürtünmeleri 7m'den sığ derinliklerde DIN 1054'e göre düşük, 7m'den daha derinde DIN 1054'e göre yüksek çıkmıştır.

6.3 Kazık Taşıma Gücü Hesap Sonuçları

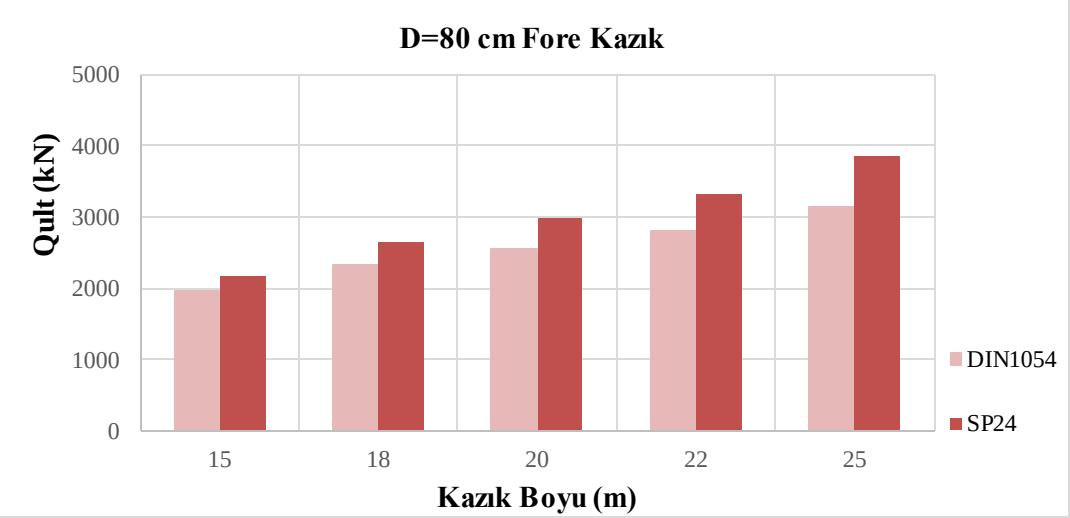
6.3.1 Kohezyonlu zeminde kazık taşıma gücü hesap sonuçları

Kil zeminde 65cm, 80cm ve 100cm çaplarında, uzunlukları 15m ila 25m arasında değişen fore kazıkların taşıma gücü hesabı Eurocode 7'ye göre DIN 1054'te verilen karakteristik uç ve sürtünme direnci esas alınarak ve SP 24 yönetmeliklerine göre yapıldı.

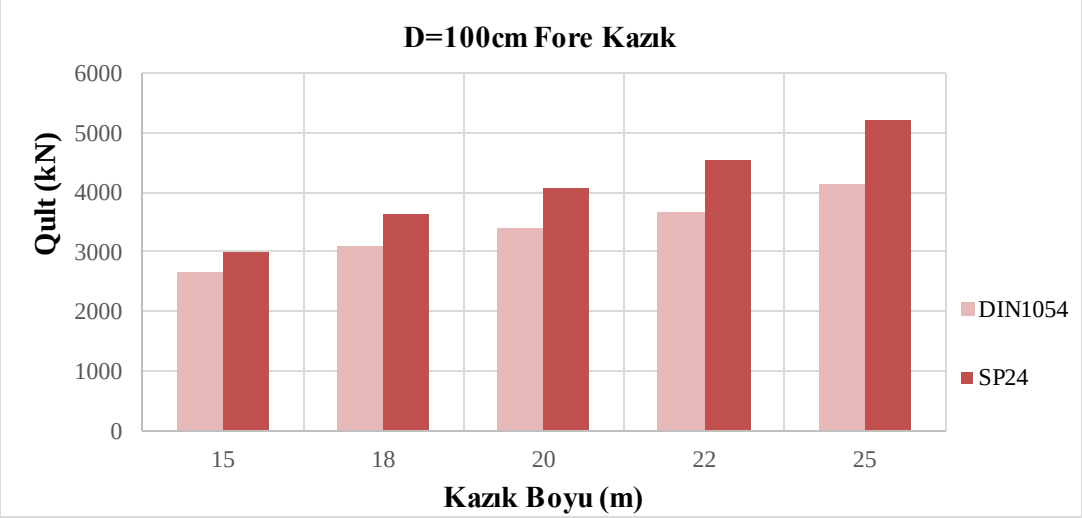
Seçilen kazık çaplarına göre her iki yönetmeliğe göre elde edilen taşıma gücü değerlerinin kazık uzunluğuna göre değişimi Şekil 6.9 Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de gösterilmektedir. Örnek taşıma gücü hesabının sonuçlarına göre; kil zeminde 15m – 25m uzunluğundaki fore kazıklar için SP 24'e göre elde edilen taşıma gücü DIN 1054'e göre bulunan değerlerden ortalama olarak %20 oranında yüksektir. Elde edilen fark, kazık uç derinliklerinde SP 24'e göre bulunan birim uç mukavemetinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.9 : Kil zeminde D=65 cm fore kazığın taşıma gücü.

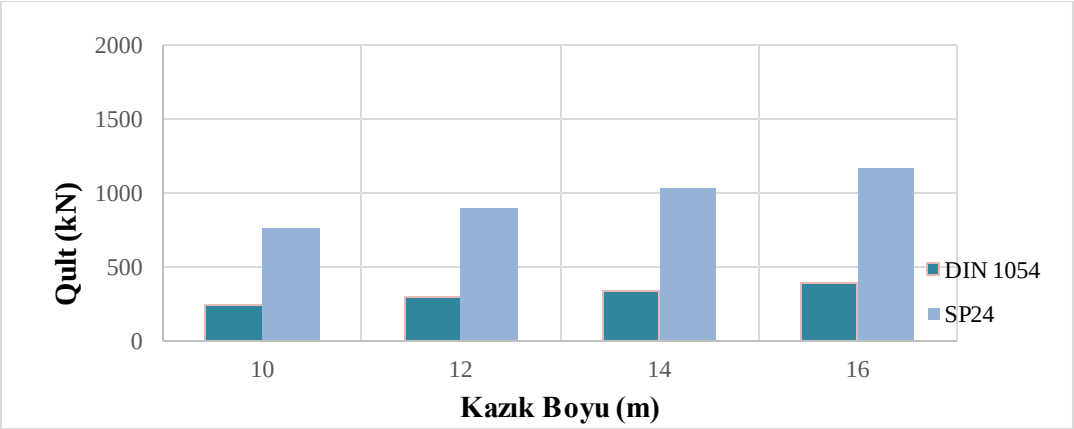


Şekil 6.10 : Kil zeminde D=80 cm fore kazığın taşıma gücü.

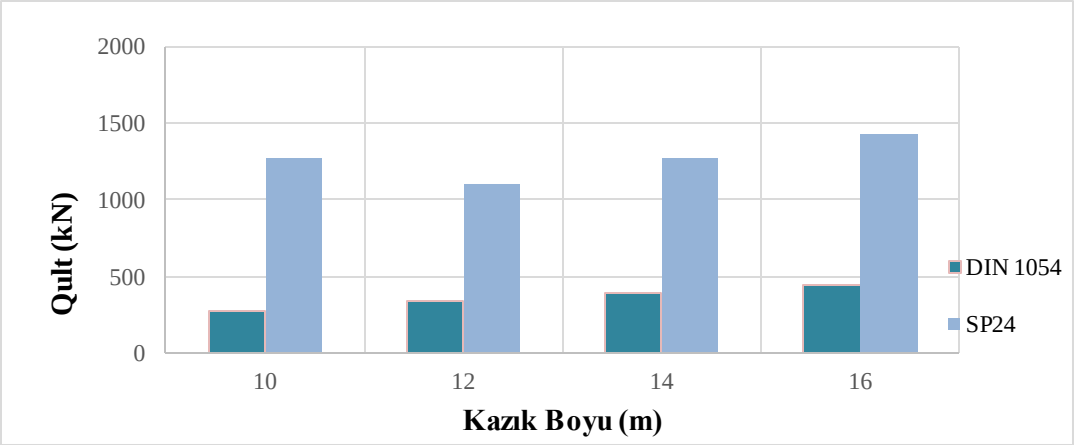


Şekil 6.11 : Kil zeminde D=100 cm fore kazığın taşıma gücü.

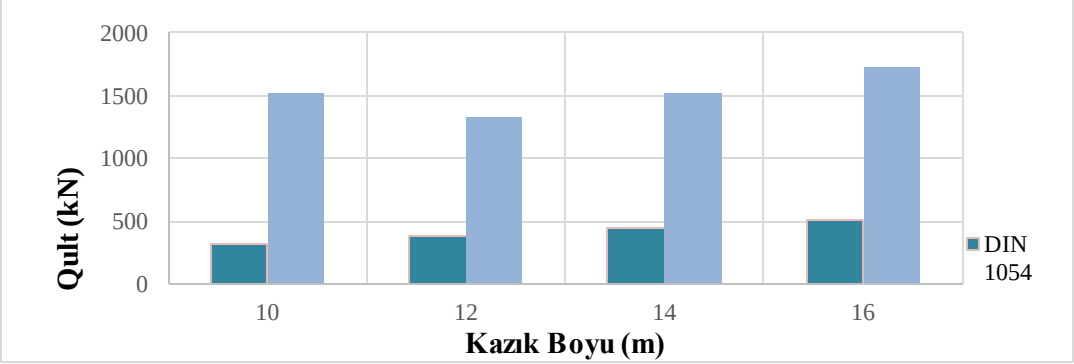
Orta katı kil zeminde 30cm, 35cm ve 40cm genişliğinde, uzunlukları 10m ila 16m arasında değişen prekast betonarme kazıkların taşıma gücü DIN 1054 ve SP 24 yönetmeliklerine göre hesaplandı. Hesaplardan elde edilen taşıma gücünün kazık uzunluğuna göre değişimi Şekil 6.12, Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'te gösterilmektedir.



Şekil 6.12 : Kil zeminde B=30 cm prekast kazığın taşıma gücü.



Şekil 6.13 : Kil zeminde B=35 cm prekast kazığın taşıma gücü.



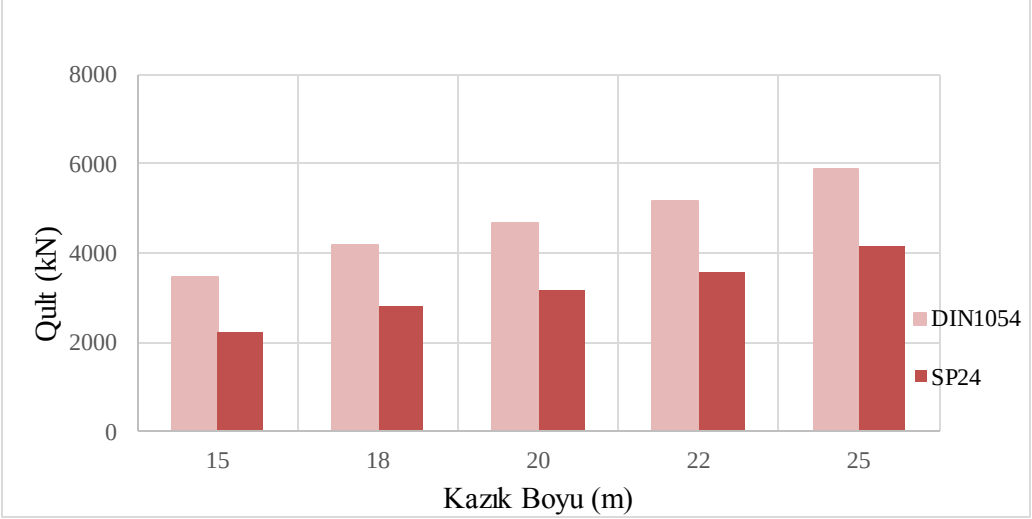
Şekil 6.14 : Kil zeminde B=40 cm prekast kazığın taşıma gücü.

Orta katı kil zemindeki betonarme çakma kazıklar için yapılan taşıma gücü hesabı sonucunda SP 24'e göre elde edilen taşıma kapasitelerinin, DIN 1054'e göre bulunan

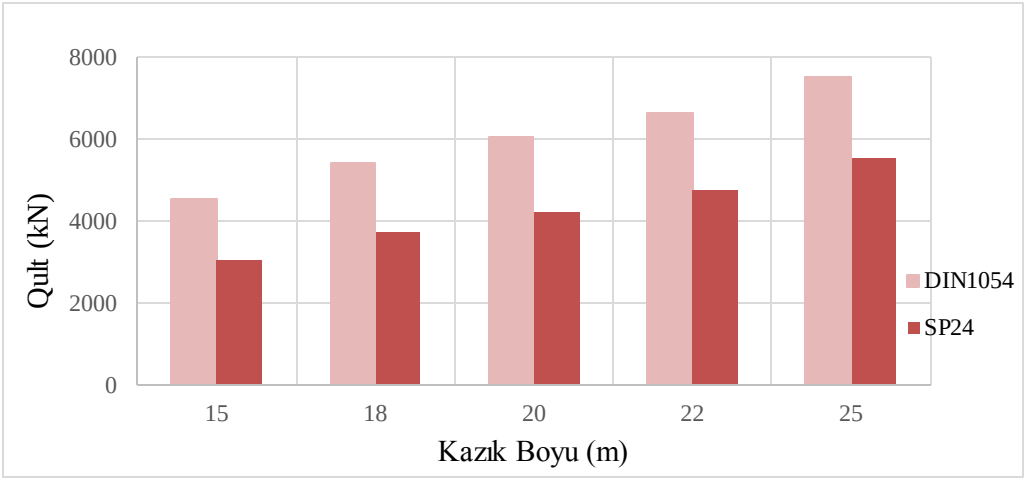
değerlerin yaklaşık olarak 3.5 katı mertebesinde olduğu görülmüştür. Bu durum hesapta kullanılan derinliklerdeki prekast kazık tipi için SP 24'e göre bulunan birim çevre sürtünmesi ve birim uç mukavemetinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

6.3.2 Kohezyonsuz zeminde kazık taşıma gücü hesap sonuçları

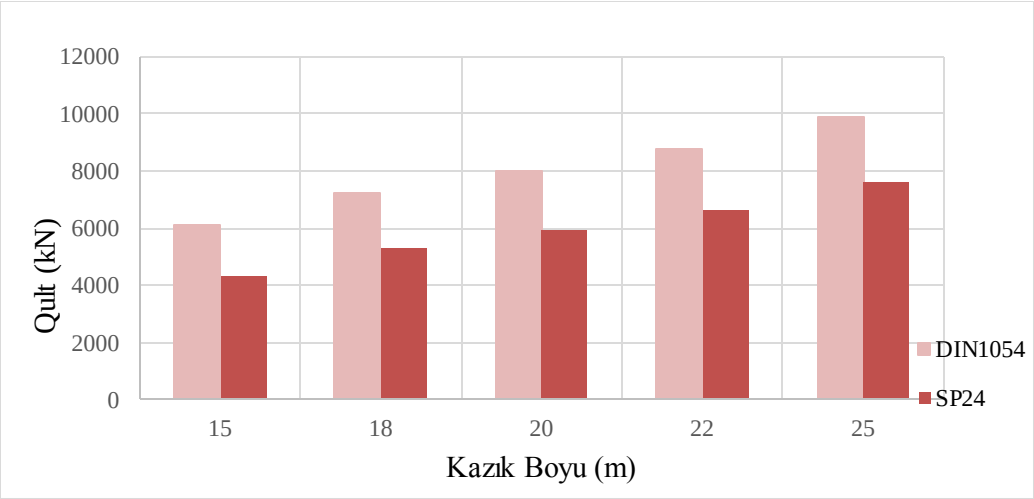
Orta sıkı – sıkı kum zeminde 65cm, 80cm ve 100cm çaplarında, uzunlukları 15m ila 25m arasında değişen fore kazıkların taşıma gücü hesabı DIN 1054 ve SP 24 yönetmeliklerine göre yapıldı. Seçilen kazık çaplarına göre her iki yönetmeliğe göre elde edilen taşıma gücünün kazık uzunluğuna göre değişimi Şekil 6.15 Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de gösterilmektedir.



Şekil 6.15 : Kum zeminde D=65 cm fore kazığın taşıma gücü.



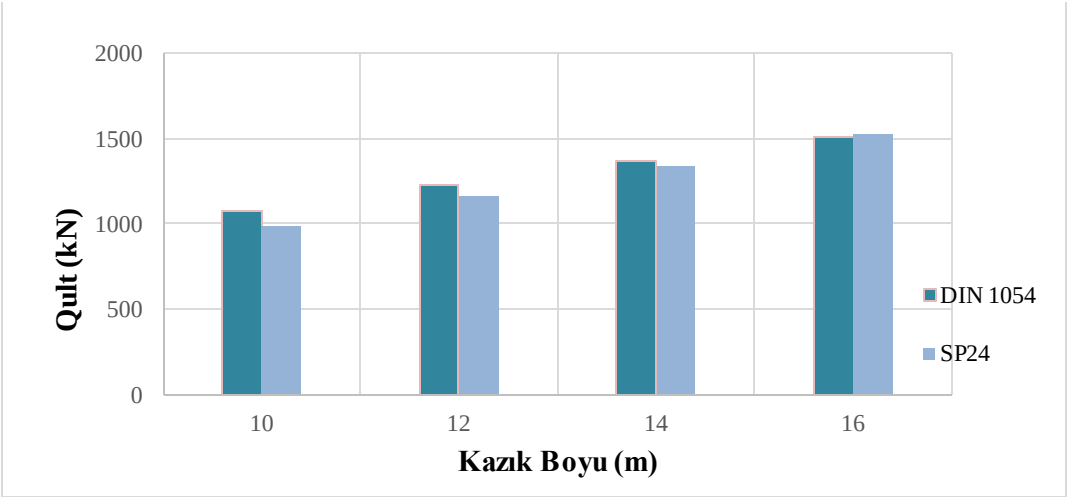
Şekil 6.16 : Kum zeminde D=80 cm fore kazığın taşıma gücü.



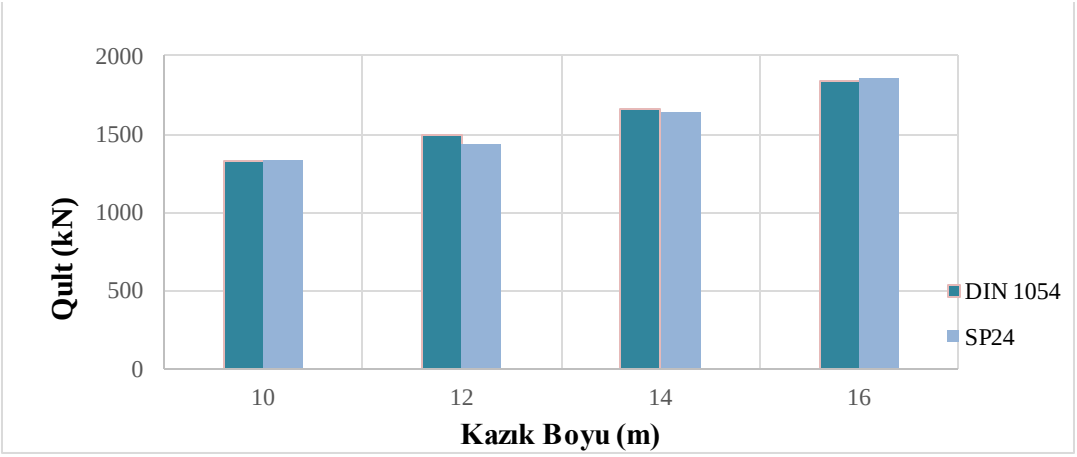
Şekil 6.17 : Kum zeminde D=100 cm fore kazığın taşıma gücü.

Orta sıkı-sıkı kum zeminde fore kazıklar için yapılan taşıma gücü hesapları sonucunda DIN 1054'e göre elde edilen taşıma gücü SP 24'e göre hesaplanan değerlerden ortalama olarak %40 oranında yüksek çıkmıştır. Bu durum, her iki yönetmelikle elde edilen birim uç mukavemetinin yakın olmasına rağmen, DIN 1054'e göre elde edilen birim çevre sürtünmesinin SP 24'e göre yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

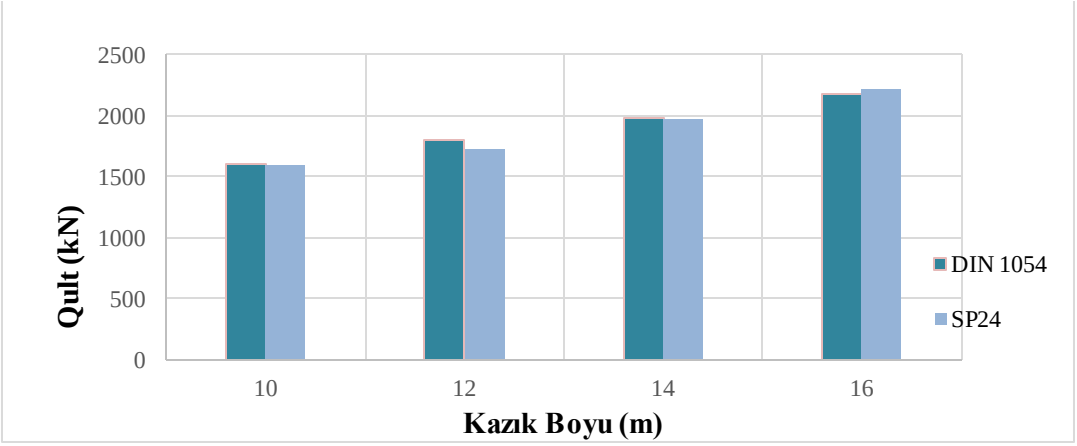
Orta sıkı kum zeminde 30cm, 35cm ve 40cm genişliğinde, uzunlukları 12m ila 16m arasında değişen prekast betonarme kazıkların taşıma kapasiteleri SP24 ve DIN 1054'e göre hesaplandı. Seçilen kazık ebatlarına göre her iki yönetmeliğe göre elde edilen kazık taşıma gücünün kazık uzunluğuna göre değişimi Şekil 6.18, Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de gösterilmektedir.



Şekil 6.18 : Kum zeminde B=30 cm prekast kazığın taşıma gücü.



Şekil 6.19 : Kum zeminde B=35 cm prekast kazığın taşıma gücü.



Şekil 6.20 : Kum zeminde B=40 cm prekast kazığın taşıma gücü.

Kum zeminde 10m – 16m uzunluğundaki prekast kazıklar için her iki yönetmelikle elde edilen kazık taşıma gücü birbirine yakındır.

7. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında kazıklı temellerin tasarımında kullanılan Eurocode 7 ve SP 24.13330.2011 kazıklı temeller yönetmelikleri genel tasarım esasları ve kazık taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılan yöntemler itibariyle incelenerek, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde farklı tipteki kazıkların taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır:

Eurocode 7 ve Rus kazıklı temel yönetmelikleri tasarımda, üstyapı tasarımında olduğu gibi taşıma kapasitesi (nihai sınır durum) ve kullanılabilirlik sınır durumu olarak tanımlanan sınır durumlara karşı emniyetin sağlanması bakımından benzerlik göstermektedir. Her iki yönetmelik de taşıma kapasitesine göre tasarımda yapısal yüklere ve kazık taşıma gücüne kısmi faktörler uygulayarak tasarımı kontrol etmektedir. Ancak Eurocode 7 ve SP 24.13330.2011 yapılan kontrollerin sayısı ve kullanılan kısmi faktörler bakımından birbirinden farklıdır.

Eurocode 7 Avrupa Birliği üyesi ülkeler arasında birçok farklı hesap yöntemi kullanılması nedeniyle kesin bir hesap modeli tariflememektedir. Ancak, hesaplarda kullanılacak tasarım kriterlerini tanımlayıp, kısmi güvenlik faktörleriyle kontrol biçimini zorunlu tutmaktadır. Avrupa Birliği ülkeleri Eurocode 7'nin kendi ülkelerinde kullanımı için ek yönetmelikler hazırlayarak kontrol sayısı, kontrol metodu ve kısmi faktörleri kendi istek ve ihtiyaçları doğrultusunda düzenlemektedirler. Rus yönetmeliğinde kazık taşıma gücünün belirlenmesinde, tasarım yüklerinin hesaplanmasında, problemli zemin koşullarında kazık tasarımıyla ilgili kesin hesap yöntemleri ve analiz tarifleri vermektedir.

Eurocode 7 ve SP24.13330.2011 yönetmelikleri tasarımda kullanılacak zemin parametrelerinin belirlenmesinde kullanılacak yöntemi tarif etmektedir. Eurocode 7'de tasarımda kullanılacak zemin parametreleri ele alınan sınır durum için ihtiyatlı tahmini değer olarak seçilebilir, parametre seçiminde daha önceki tasarımlardan elde edilen jeolojik bilgiler ve tecrübelerden yararlanılabilir ve/veya parametre seçiminde istatistiki metotlar da kullanılabilir. SP24.13330.2011 yönetmeliğine göre zemin parametresinin belirlenmesinde ilgili şartname (GOST 20502-96) referans olarak

gösterilmekte, buna göre zemin parametreleri deney sayısı, sonuçların varyasyon katsayısı ve istenilen güvenilirlik düzeyine göre belirlenebilmektedir.

Eurocode 7 ve SP 24.13330.2011 yönetmelikleri kazık taşıma gücünün belirlenmesinde kazık yükleme ve arazi deneyi sonuçlarını kullanmaktadır. Her iki yönetmelik de deney sayısına bağlı olarak taşıma gücünün belirlenmesinde benzer yöntemleri kullanmalarına rağmen, içerikleri birbiriyle tam olarak örtüşmemektedir.

SP 24.13330.2011 ve Eurocode 7'de kazık taşıma gücü hesap yöntemlerinin incelenmesi ve karşılaştırılması için taşıma gücü analizleri yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda ele alınan zemin ve derinlikler için elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir;

- Kohezyonlu zeminde yer alan fore kazıklar için SP 24.13330.2011'e göre hesaplanan kapasitelerin DIN 1054'e göre ortalama %20 oranında yüksek olduğu anlaşılmaktadır.
- Hesapta kullanılan derinlikler boyunca, kum zeminde fore kazıklar için DIN 1054 daha yüksek birim sürtünme direnci verdiğinden, SP 24.13330.2011 yönetmeliğine oranla ortalama olarak %40 oranında yüksek kazık kapasitesi elde edilmiştir. Ele alınan hesap derinlikleri için, iki yönetmelikle bulunan birim uç mukavetleri yakındır.
- Kum zeminde prekast betonarme kazıklar için her iki yöntemle hesaplanan taşıma gücü yakın sonuçlar vermiştir.
- Orta katı kil zemindeki prekast çakma kazıklar için yapılan taşıma gücü analizine göre SP 24'e göre elde edilen uç mukavemetinin ve çevre sürtünmesinin DIN 1054'e göre elde edilen değerlerden yüksek olduğu görülmektedir. Kazıkların birim uç mukavemeti ve birim çevre sürtünmesindeki fark nedeniyle SP 24.13330.2011'e göre hesaplanan kazık taşıma gücü DIN 1054'e göre bulunan taşıma gücünün yaklaşık olarak 3.5 katı seviyesindedir.

SP 24.13330.2011 ve Eurocode 7 yönetmeliği nihai sınır durum tasarımının genel hükümleri itibariyle ile benzerlik gösterse de, Eurocode 7'ye göre kazık taşıma gücü hesabında başvurulan DIN 1054 yönetmeliği ve SP 24.13330.2011 tasarım parametresi kabulleri ve elde edilen kapasiteler açısından birbirinden farklı sonuçlar verebilmektedir.

KAYNAKLAR

Bergdahl, U., Ottosson, E., Malmborg, B.S. (1993). Plattgrundläggning (Spread foundations) (in Swedish AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, 282 pages.

Bond, A. ve Harris, A. (2008). Decoding Eurocode 7.

DIN 1054:2003. (2003). Baugrund.

Eurocode 7: (2004) Geotechnical design - Part 1 General Rules, EN 1997-1.

Frank, R. (2007) Basic principles of Eurocode 7 on 'Geotechnical design', 18th EYGEC, Ancona (Italy), 17-20 June.

Frank, R., Bauduin,C., Driscoll, R., Kavvadas, M., Krebs Ovesen, N., Orr, T.L.L., Schuppener, B. (2004). Designers' Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design - General Rules.

GOST 5686-94. (1994). Soils-Field Test Methods by Piles

GOST 20522-96. (1996). Soils-Statistical Treatment of Test Results

Muir Wood, D. (1983). Index properties and critical state soil mechanics. InProceedings of the Symposium on Recent Developments in Laboratory and Field Tests and Analysis of Geotechnical Problems, Bangkok, 6–9 December 1983.

Orr, T.L.L. (2005). Design examples for the Eurocode 7 Workshop, Proceedings of International Workshop on Evaluation of Eurocode 7, Dublin March-April 2005, Department of Civil, Structural and Environmental Engineering, Trinity College Dublin.

Reeves, G.M., Sims, I. Ve Cripps, J.C. (2006) Clay Materials Used in Construction

Smoltczyk, U. (2003). Geotechnical Engineering Handbook, Volume 3, Elements and Structures.

SNIP 2.02.03-85. (1985). Set of Rules for Pile Foundations.

SP 20.13330.2011. (2011). Loads and Actions.

SP 22.13330.2011. (2011). Set of Rules for Foundation Beds.

SP 24.13330.2011. (2011). Set of Rules for Pile Foundations.

Toğrol, E. ve Tan, O. (2009). Kazıklı Temeller, Birsen Yaynevi, İstanbul.

Tomlinson, M. J. ve Woodward, J. (2008). Pile Design and Construction Practice 5th Ed, Taylor & Francis Group.

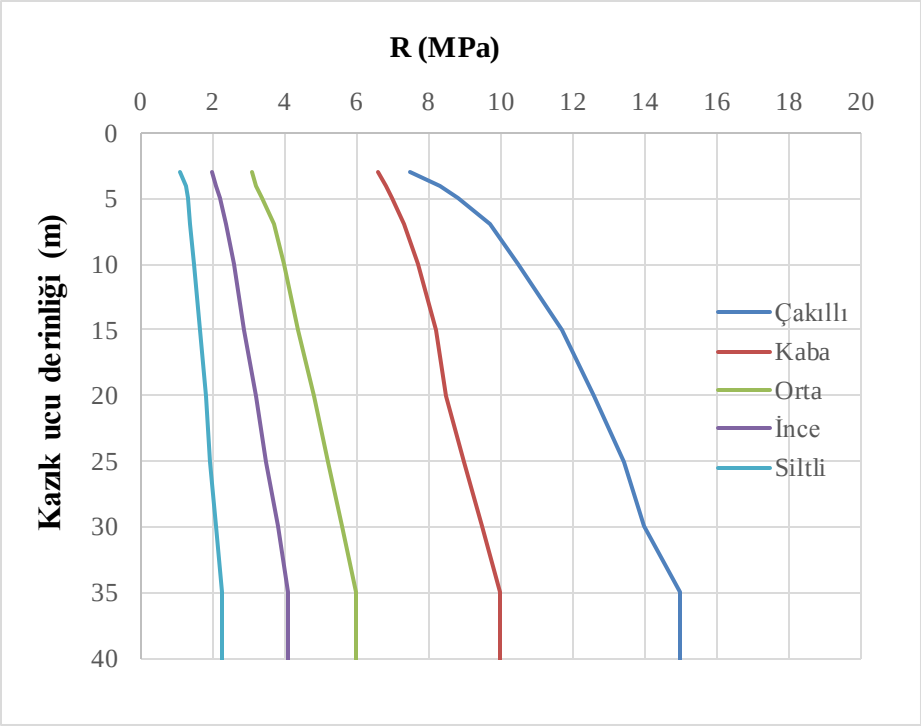
Vardanega, P.J., Pennington, S.P., Kolody, E., Morrison, P.R.J. and Simpson, B. (2012). Bored pile design in stiff clay I: codes of practice. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering 165(4):213-232.

EKLER

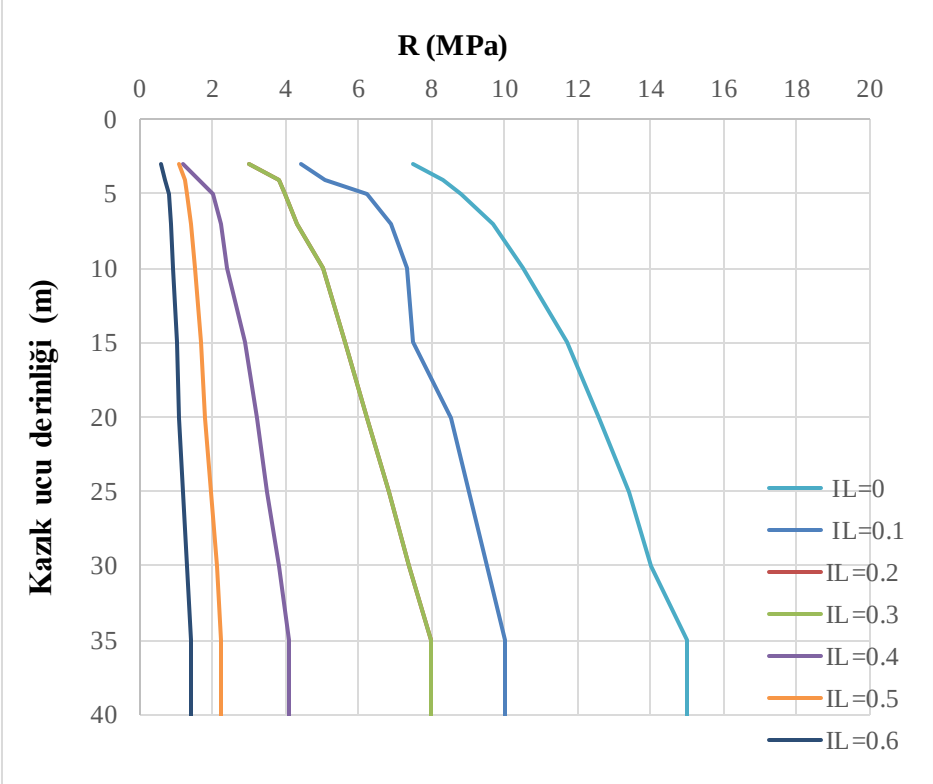
EK A: SP 24.13330.2011 Kazık Taşıma Gücü Hesaplarına Ait Grafikler

EK B: Örnek Taşıma Gücü Hesaplarına Ait Tablolar

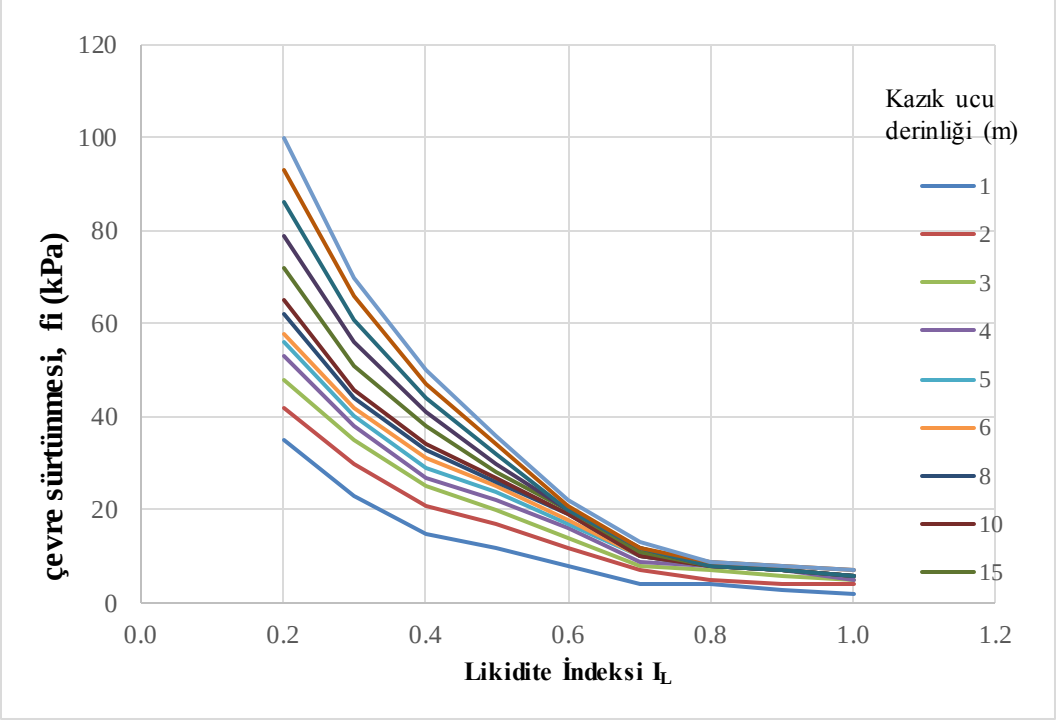
EK A



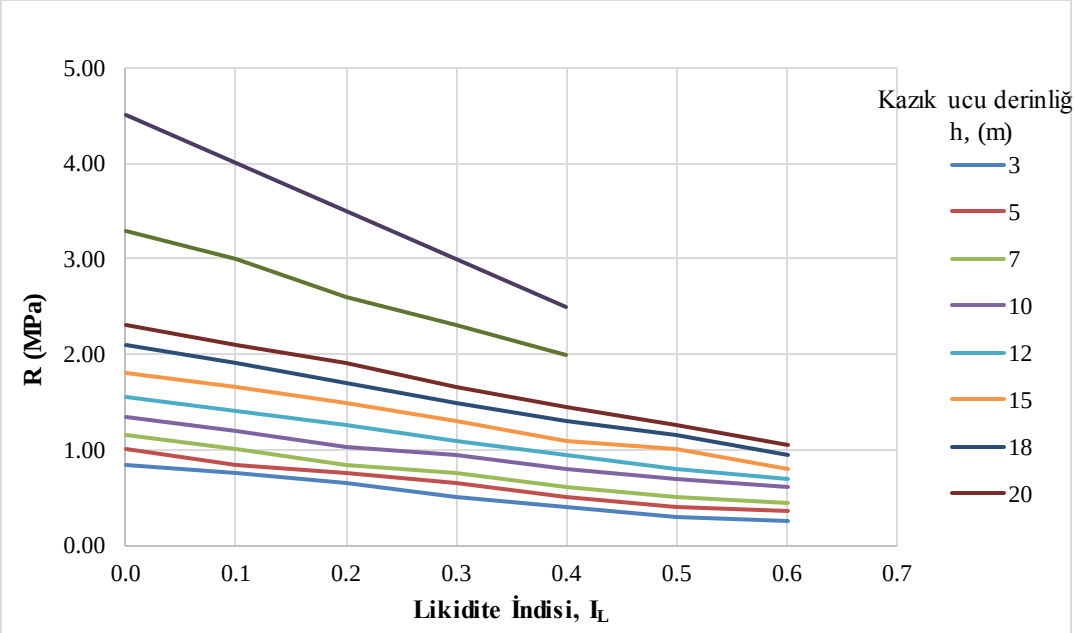
Şekil A.1 : Orta sıkı kum zeminde deplasman kazıkları için birim uç mukavemeti (SP24.13330.2011).



Şekil A.2 : Kohezyonlu zeminde deplasman kazıkları için birim uç mukavemeti (SP24.13330.2011).



Şekil A.3 : Kohezyonlu zeminde deplasman ve sondaj kazıkları için birim çevre sürtünmesi (SP24.13330.2011).



Şekil A.4 : Kohezyonlu zeminde sondaj kazıkları için birim uç mukavemeti (SP24.13330.2011).

EK B

Çizelge B.1 : Örnek 1 hesap tablosu – Kil zeminde fore kazık taşıma gücü hesabı (Eurocode 7-DIN 1054).

Kazık Geometrisi		$q_{s,k}$ (kPa)					
Çap D (cm)	Boy L (m)	1. Tabaka	2. Tabaka	$q_{b,k}$ (kPa)	$R_{b,k}$ (kN)	$R_{s,k}$ (kN)	$R_{c,k}$ (kN)
65	15	34	47	1045	347	1174	1521
65	18	34	47	1045	347	1462	1809
65	20	34	47	1045	347	1654	2001
65	22	34	47	1045	347	1846	2193
65	25	34	47	1045	347	2134	2481
80	15	34	47	1045	525	1445	1970
80	18	34	47	1045	525	1800	2325
80	20	34	47	1045	525	2036	2561
80	22	34	47	1045	525	2272	2797
80	25	34	47	1045	525	2626	3152
100	15	34	47	1045	821	1806	2627
100	18	34	47	1045	821	2249	3070
100	20	34	47	1045	821	2545	3365
100	22	34	47	1045	821	2840	3661
100	25	34	47	1045	821	3283	4104

Çizelge B.2 : Örnek 1 hesap tablosu – Kil zeminde fore kazık taşıma gücü hesabı (SP24.13330.211).

Kazık Geometrisi		f_i (kPa)	R (kPa)	RA (kN)	$\Sigma\gamma_{cf}\, f_i\, h_i$ (kN)	F_d (kN)
Çap D (cm)	Boy L (m)					
65	15	35	1725	572	1062	1634
65	18	36	2000	664	1334	1998
65	20	37	2200	730	1524	2254
65	22	38	2390	793	1721	2514
65	25	40	2675	888	2030	2917
80	15	35	1725	867	1307	2174
80	18	36	2000	1005	1642	2647
80	20	37	2200	1106	1876	2982
80	22	38	2390	1201	2118	3320
80	25	40	2675	1345	2498	3843
100	15	35	1725	1355	1633	2988
100	18	36	2000	1571	2052	3623
100	20	37	2200	1728	2345	4073
100	22	38	2390	1877	2648	4525
100	25	40	2675	2101	3122	5223

Çizelge B.3 : Örnek 2 hesap tablosu – Kum zeminde fore kazık taşıma gücü hesabı (Eurocode 7-DIN 1054).

Kazık Geometrisi		$q_{s,k}$ (kPa)					
Çap D (cm)	Boy L (m)	1. Tabaka	2. Tabaka	$q_{b,k}$ (kPa)	$R_{b,k}$ (kN)	$R_{s,k}$ (kN)	$R_{c,k}$ (kN)
65	15	60	120	3000	995	2450	3446
65	18	60	120	3000	995	3186	4181
65	20	60	120	3000	995	3676	4671
65	22	60	120	3000	995	4166	5161
65	25	60	120	3000	995	4901	5896
80	15	60	120	3000	1508	3016	4524
80	18	60	120	3000	1508	3921	5429
80	20	60	120	3000	1508	4524	6032
80	22	60	120	3000	1508	5127	6635
80	25	60	120	3000	1508	6032	7540
100	15	60	120	3000	2356	3770	6126
100	18	60	120	3000	2356	4901	7257
100	20	60	120	3000	2356	5655	8011
100	22	60	120	3000	2356	6409	8765
100	25	60	120	3000	2356	7540	9896

Çizelge B.4 : Örnek 2 hesap tablosu – Kum zeminde fore kazık taşıma gücü hesabı (SP24.13330.2011).

Kazık Geometrisi						
Çap D (cm)	Boy L (m)	f_s (kPa)	R (kPa)	RA (kN)	$\Sigma\gamma_{cf}\, f_i\, h_i$ (kN)	F_d (kN)
65	15	45	2617	868	1383	2252
65	18	49	3015	1001	1796	2797
65	20	51	3295	1093	2085	3178
65	22	53	3575	1186	2384	3570
65	25	56	3996	1326	2851	4177
80	15	45	2677	1345	1703	3048
80	18	49	3058	1537	2211	3748
80	20	51	3312	1665	2566	4231
80	22	53	3592	1806	2934	4739
80	25	56	4013	2017	3509	5526
100	15	45	2830	2222	2128	4351
100	18	49	3221	2529	2764	5293
100	20	51	3497	2746	3207	5954
100	22	53	3738	2936	3667	6603
100	25	56	4138	3250	4387	7637

Çizelge B.5 : Örnek 2 hesap tablosu – Kum zeminde fore kazık birim uç mukavemeti hesabı (SP24.13330.2011).

Kazık Geometrisi			Taşıma Gücü Faktörleri				
Çap D (cm)	Boy L (m)	L/B	α_1	α_2	α_3	α_4	R (kPa)
65	15	23	62	111	0,69	0,24	2617
65	18	28	62	111	0,69	0,24	3015
65	20	31	62	111	0,69	0,24	3295
65	22	34	62	111	0,69	0,24	3575
65	25	38	62	111	0,69	0,24	3996
80	15	19	62	111	0,71	0,24	2677
80	18	23	62	111	0,69	0,24	3058
80	20	25	62	111	0,69	0,24	3312
80	22	28	62	111	0,69	0,24	3592
80	25	31	62	111	0,69	0,24	4013
100	15	15	62	111	0,72	0,25	2830
100	18	18	62	111	0,71	0,25	3221
100	20	20	62	111	0,70	0,25	3497
100	22	22	62	111	0,69	0,25	3738
100	25	25	62	111	0,69	0,25	4138

Çizelge B.6 : Örnek 3 hesap tablosu – Kil zeminde prekast kazık taşıma gücü hesabı (Eurocode 7-DIN1054).

Kazık Genişliği B(cm)	Kazık Boyu L (m)	$q_{s,i}$ (kPa)	$q_{b,k}$(kPa)	$R_{b,k}$ (kN)	$R_{s,k}$ (kN)	$R_{c,k}$ (kN)
30	10	20	0	0	240	240
30	12	20	0	0	288	288
30	14	20	0	0	336	336
30	16	20	0	0	384	384
35	10	20	0	0	280	280
35	12	20	0	0	336	336
35	14	20	0	0	392	392
35	16	20	0	0	448	448
40	10	20	0	0	320	320
40	12	20	0	0	384	384
40	14	20	0	0	448	448
40	16	20	0	0	512	512

Çizelge B.7 : Örnek 3 hesap tablosu – Kil zeminde prekast kazık taşıma gücü hesabı (SP24.13330.2011).

Kazık Geometrisi						
Kazık Genişliği B(cm)	Boy L (m)	Ortalama $f_{s,i}$ (kPa)	R (kPa)	RA (kN)	$u\Sigma\gamma_{cf}f_ih_i$ (kN)	F_d (kN)
30	10	37	3500	315	445	760
30	12	39	3700	333	558	891
30	14	40	3900	351	676	1027
30	16	42	4100	369	798	1167
35	10	60	3500	429	840	1269
35	12	39	3700	453	651	1104
35	14	40	3900	478	788	1266
35	16	42	4100	502	931	1433
40	10	60	3500	560	960	1520
40	12	39	3700	592	744	1336
40	14	40	3900	624	901	1525
40	16	42	4100	656	1064	1720

Çizelge B.8 : Örnek 4 hesap tablosu – Kum zeminde prekast kazık taşıma gücü hesabı (Eurocode 7-DIN1054).

Kazık Geometrisi						
Kazık Genişliği B(cm)	Boy L (m)	$q_{s,i}$ (kPa)	$q_{b,k}$(kPa)	$R_{b,k}$ (kN)	$R_{s,k}$ (kN)	$R_{c,k}$ (kN)
30	10	60	4000	360	720	1080
30	12	60	4000	360	864	1224
30	14	60	4000	360	1008	1368
30	16	60	4000	360	1152	1512
35	10	60	4000	490	840	1330
35	12	60	4000	490	1008	1498
35	14	60	4000	490	1176	1666
35	16	60	4000	490	1344	1834
40	10	60	4000	640	960	1600
40	12	60	4000	640	1152	1792
40	14	60	4000	640	1344	1984
40	16	60	4000	640	1536	2176

Çizelge B.9 : Örnek 4 hesap tablosu – Kum zeminde prekast kazık taşıma gücü hesabı (SP24.13330.2011).

Kazık Geometrisi						
Kazık Genişliği B(cm)	Boy L (m)	Ortalama $f_{s,i}$ (kPa)	R (kPa)	RA (kN)	$u\Sigma\gamma_{cf}f_ih_i$ (kN)	F_d (kN)
30	10	53	4000	360	631	991
30	12	55	4160	374	790	1164
30	14	57	4320	389	956	1345
30	16	59	4480	403	1129	1532
35	10	60	4000	490	840	1330
35	12	55	4160	510	922	1431
35	14	57	4320	529	1115	1645
35	16	59	4480	549	1317	1866
40	10	60	4000	640	960	1600
40	12	55	4160	666	1053	1719
40	14	57	4320	691	1275	1966
40	16	59	4480	717	1505	2222

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **: Eda Çelik Yurtsever**

Doğum Tarihi ve Yeri **: 1980 - Sorgun**

E-posta **:** edacelik2@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2006, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü