

**TEORİK VE DENEYSEL KAZIK TAŞIMA GÜCÜ HESAP
YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ İHSAN TİKİT

Danışman
Prof. Dr. İsmail ZORLUER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2021

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEORİK VE DENEYSEL KAZIK TAŞIMA GÜCÜ HESAP
YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ALİ İHSAN TİKİT

Danışman

Prof. Dr. İsmail ZORLUER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2021

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TEORİK VE DENEYSEL KAZIK TAŞIMA GÜCÜ HESAP YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali İhsan TİKİT

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İsmail ZORLUER

Kazık taşıma gücü hesaplanmasında kullanılan çok sayıda teori vardır. Bu teorilerde önerilen formüller ile hesaplanan kazık taşıma gücü değerleri birbirinden farklı sonuçlar vermektedir. Bu durum projeyi yapan mühendislerde kafa karışıklığı oluşturmakta ve yüksek güvenlik sayıları ile projelendirmeye yönlendirmektedir. Böylece ekonomiklikten uzaklaşmaktadır. Ayrıca bu hesaplamada yeterli görülmediğinden kazık yükleme deneyleri ile kontrol yapılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında farklı zeminlerde imal edilmiş, farklı boy ve çapa sahip kazıkların kazık yükleme deneyine ve farklı teorilere dayanan kazık taşıma kapasiteleri incelenmiştir. İmalatı yapılmış olan kazıklara “Statik Kazık Yükleme” deneyi uygulanmış ve bu deneyden kazıkların “Nihai Kazık Taşıma Kapasiteleri” belirlenmiştir. Kazık yükleme deneyleri yetkili laboratuvar kuruluşları tarafından yapılmıştır. Daha sonra yükleme deneyi yapılan kazıkların bulunduğu zemin profilinde teorik yöntemlere göre taşıma kapasiteleri ve oturmalar hesaplanmıştır. Bu teorik formüller yardımıyla elde edilen taşıma kapasiteleri ve kazıkların yaptığı oturma ile yükleme deneyinden elde edilen taşıma gücü ve oturmalar karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda deneysel olarak elde edilen taşıma gücüne en yakın teorik taşıma gücü belirlenmiştir.

2021, xi + 97 sayfa

Anahtar Kelimeler: Fore Kazık, Taşıma Gücü, Uç Direnci, Çevre Sürtünme Direnci, Kazık Yükleme Deneyleri.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EVALUATION OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL PILE BEARING CAPACITY CALCULATION METHODS

Ali İhsan TİKİT

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Ismail ZORLUER

There are many theories used in calculating pile bearing capacity. The bearing capacity of a pile values calculated with the formulas suggested in these theories give different results from each other. This situation creates confusion in the engineers who make the project and direct then to the project with high safety factors. Thus, piles are not economically viable. In addition, since this calculation is not considered sufficient, control is made with pile loading tests.

In this study, pile-bearing capacities of piles with different lengths and diameters, manufactured on different soils, based on the pile-loading test and different theories were examined. The "Static Pile Loading" test was applied to the piles manufactured and the "Ultimate Pile Bearing Capacity" of the piles was determined from this test. Pile loading tests were carried out by authorized laboratory organizations. Then, the bearing capacities and settlements were calculated according to theoretical methods in the soil profile where the piles were loaded with the loading test. The bearing capacities obtained with the help of these theoretical formulas and the bearing capacity and settlements obtained from the settlement and loading test performed by the piles were compared. As a result of the comparison made, the theoretical bearing capacity closest to the experimental bearing capacity was determined.

2021, xi + 97 pages

Keywords: Bored Pile, Bearing Capacity, Point Bearing, Resistance to Lateral Friction, Pile Loading Tests.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmada birlikte çalışma imkânı vermesi, çalışma konusunun belirlenmesi ve sonucun hazırlanması konusunda yapmış olduğu katkılardan ötürü öncelikle tez danışmanım Prof. Dr. İsmail ZORLUER'e, yazım aşamasında verdiği maddi ve manevi desteklerden ötürü aileme teşekkür ediyorum.

Ali İhsan TİKİT
AFYONKARAHİSAR, 2021

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3. KAZIK TEMELLER	6
3.1 Kazık Uç Direnci	7
3.1.1 Çalışma Şekillerine Göre Kazıklar	7
3.1.2 Üretildikleri Malzemelere Göre Kazıklar.....	9
3.1.3 Zemine Yerleştirme Şekillerine Göre Kazıklar	12
3.2 Kazıkların Taşıma Gücü.....	13
3.2.1 Kazık Uç Direnci	14
3.2.1.1 Meyerhof Yöntemi.....	15
3.2.1.2 Vesic Yöntemi	16
3.2.1.3 Janbu Yöntemi	18
3.2.1.4 Coyle ve Castello Yöntemi.....	18
3.2.1.5 Kayaya Oturan Kazıkların Uç Direnci.....	19
3.2.1.6 Çeşitli Arazi Deneylerinden Kazık Uç Direncinin Hesaplanması.....	20
3.2.2 Kazık Çevre Sürtünme Direnci	21
3.2.2.1 Kohezyonsuz Zeminlerde Çevre Sürtünme Direnci	21
3.2.2.2 Kohezyonlu Zeminlerde Çevre Sürtünme Direnci	22
3.3 Emniyetli Kazık Taşıma Gücü.....	27
3.4 Kazık Yükleme Deneyleri	27
3.5 Kazık Yükleme Deney Teknikleri	29
3.5.1 Statik Yükleme Deneyleri	31

3.5.1.1 Eksenel Basınç Deneyi.....	31
3.5.1.2 Eksenel Çekme Deneyi	32
3.5.1.3 Yanal Yükleme Deneyi.....	33
3.5.1.4 Osterberg Hücresi	34
3.5.2 Yarı Statik Deneyler.....	37
3.5.2.1 Statnamic.....	37
3.5.2.2 Simbat	39
3.5.2.3 PSPLT	41
3.5.3 Dinamik Kazık Yükleme Deneyleri.....	42
3.5.4 Tahribatsız Dinamik Kazık Yükleme Deneyleri.....	45
3.5.4.1 Vibrasyon Deneyi	45
3.5.4.2 Sismik Süreklilik Deneyi	47
3.5.4.3 Sonik Süreklilik Deneyi	48
3.6 Statik Kazık Yükleme Deneyi Yapım Yöntemleri	50
3.6.1 Kademeli Yavaş Yükleme Deneyi.....	50
3.6.2 Sabit Penetrasyon Oranlı Yükleme Deneyi.....	50
3.6.3 Çevirmeli Yükleme Deneyi	51
3.6.4 Hızlı Kademeli Yükleme Deneyi.....	51
3.7 Deney Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	51
3.8 Kazık Yükleme Deneylerinden Taşıma Güçlerinin Hesaplanması	52
3.8.1 Brinch Hansen %80 Yöntemi	53
3.8.2 Mazurkiewicz Yöntemi	54
3.8.3 Decourt Yöntemi.....	54
3.8.4 Davisson Yöntemi.....	55
3.8.5 De Beer Yöntemi	56
3.9 Statik Kazık Yükleme Deney Yapılışı	57
4. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	61
4.1 Zeminlerin Özellikleri	61
4.2 Kazıkların Özellikleri	66
4.3 Kazık Taşıma Kapasitelerinin Hesaplanması	67
4.4 Kazık Oturmasının Teorik Formüllere Göre Hesaplanması.....	77
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	86

6. KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	92
EKLER	93

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

f	Birim Sürtünme Direnci
GW-GP	Çakıl
K ₀	Dengedeki Yanal Zemin Basıncı Katsayısı
γ_n	Doğal Birim Hacim Ağırlık
Cu	Drenajsız Kayma Mukavemeti
CL	Düşük Plastisiteli Kil
P	Kazık Çevresi
ΔL	Kazık Kesitinin Boyu
A _p	Kazık Ucu Alanı
σ'	Kazık Ucundaki Ortalama Efektif Gerilme
Q _p	Kazık Uç Direnci
Q _s	Kazık Sürtünme Direnci
Q _u	Kazığın Maksimum Taşıma Gücü
Δ	Kazığın Yaptığı Ortalama Oturma
SC	Killi Kum
kN	KiloNewton
SW-SP	Kum
C	Kohezyon Sabiti
LL	Likit Limit
m	Metre
PI	Plastisite İndeksi
μ_s	Poisson Oranı
I _r	Rijitlik İndeksi
SM	Siltli Kum
W _n	Su İçeriği
ϕ	Sürtünme Açısı
N _c , N _q	Taşıma Gücü Faktörleri
CH	Yüksek Plastisiteli Kil
E _s	Zeminin Elastisite Modülü
G _s	Zeminin Kayma Modülü

Kısaltmalar

AKO	Aşırı Konsolidasyon Oranı
CAPWAP	Case Pile Wave Analysis Program
FPDS	Foundation Pile Diagnostic
GS	Güvenlik Katsayısı
PDA	Pile Driving Analyzer
YSS	Yer Altı Su Seviyesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Kazık temellerin kullanıldığı durumlar	7
Şekil 3.2 Uç ve sürtünme kazığı örnekleri	8
Şekil 3.3 Kompaksiyon ve istinad kazığı	9
Şekil 3.4 Çarıklı ve Çariksız ahşap kazık.....	10
Şekil 3.5 Tipik beton kesitlerin enine kesiti.....	11
Şekil 3.6 Tipik geniş flanşlı (WF) ve H kazığı (HP) arasında bir karşılaştırma.....	12
Şekil 3.7 Kazık Kesiti.....	13
Şekil 3.8 Maksimum N_c ve N_q değerlerinin zemin sürtünme açısı ile değişimi.....	15
Şekil 3.9 N_q 'nın L/D değişimi.....	19
Şekil 3.10 Toprak basınç katsayısının gömülme oranına bağlı değişimi.....	22
Şekil 3.11 λ 'nın gömülü kazık boyuyla değişimi.....	24
Şekil 3.12 Tabakalı zemin durumunda λ yönteminin uygulanması.....	25
Şekil 3.13 α 'nın drenajsız kohezyon ile değişimi.....	26
Şekil 3.14 Kazık yükleme deney düzeneği.....	29
Şekil 3.15 Eksenel basınç deney düzeneği.....	32
Şekil 3.16 Eksenel çekme deney düzeneği.....	33
Şekil 3.17 Yanal yükleme deney düzeneği.....	34
Şekil 3.18 Klasik statik yükleme deneyi ile Osterberg Hücresi karşılaştırılması.....	35
Şekil 3.19 Osterberg hücresi deney düzeneği.....	36
Şekil 3.20 Statnamic deney sisteminin şematik görünümü.....	38
Şekil 3.21 Statnamic sinyalleri.....	38
Şekil 3.22 Simbat deney düzeneği.....	40
Şekil 3.23 Simbat deneyi öngörülen Yük-Oturma eğrisi.....	40
Şekil 3.24 PSPLT deney düzeneği.....	42
Şekil 3.25 Dinamik kazık yükleme deney düzeneği.....	43
Şekil 3.26 CAPWAP analiz yöntem gösterimi.....	44
Şekil 3.27 Vibrasyon deney düzeneği.....	45
Şekil 3.28 Sismik süreklilik deney düzeneği.....	47
Şekil 3.29 Sonik süreklilik deney düzeneği.....	49
Şekil 3.30 Brinch Hansen %80 yöntemi.....	53

Şekil 3.31 Mazurkiewicz yöntemi.....	52
Şekil 3.32 Davisson yöntemi.....	56
Şekil 3.33 De Beer yöntemi.....	57
Şekil 4.1 Z1 zemini sondaj logu ve K1, K2 kazıkları.....	62
Şekil 4.2 Z2 zemini sondaj logu ve K3, K4 kazıkları.....	63
Şekil 4.3 Z3 zemini sondaj logu ve K5, K6 kazıkları.....	64
Şekil 4.4 Zemin tabakaları ve zeminlerin doğal birim hacim ağırlıkları.....	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Irr değerleri.....	18
Çizelge 3.2 Kazık deney teknikleri.....	30
Çizelge 3.3 Yükleme deney kriterleri.....	37
Çizelge 4.1 Z1 zemininde imal edilen binanın ve temelin özellikleri.....	62
Çizelge 4.2 Z2 zemininde imal edilen binanın ve temelin özellikleri.....	64
Çizelge 4.3 Z3 zemininde imal edilen binanın ve temelin özellikleri.....	65
Çizelge 4.4 Kazıkların özellikleri.....	66
Çizelge 4.5 Meyerhof taşıma gücü faktörleri.....	69
Çizelge 4.6 λ katsayısının uzunlukla değişimi.....	74
Çizelge 4.7 Kazıkların taşıma güçleri.....	84
Çizelge 4.8 Kazıkların toplam oturmaları.....	84
Çizelge 4.9 Kazık yükleme deneyinde yüklenen toplam yük ve kazıkların oturması...	85

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Eksenel Basınç Deney Düzeneği.....	18
Resim 3.2 Eksenel Çekme Deney Düzeneği.....	30
Resim 3.3 Yanal Yükleme Deney Düzeneği.....	37
Resim 3.4 Osterberg Deney Yapılışı.....	62
Resim 3.5 Statnamic Deney Yapılışı.....	64
Resim 3.6 Simbat Deney Yapılışı.....	65
Resim 3.7 Dinamik Kazık Yükleme Deney Yapılışı.....	66
Resim 3.8 Vibrasyon Deney Yapılışı.....	69
Resim 3.9 Sismik Süreklilik Deney Yapılışı.....	74
Resim 3.10 Çapraz Sonik Süreklilik Testi.....	84
Resim 3.11 Deney Yardımcı Elemanları.....	84
Resim 3.12 Test Kazıklarına Hidrolik Kriko ve Saç Plaka Yerleştirilmesi.....	85
Resim 3.13 Reaskiyon Kiriş Örneği.....	85

1. GİRİŞ

Günümüzde binalara olan ihtiyacın artması ve dayanıklı temel zemini özelliği gösteren zeminlerin azalması sonucunda, taşıma kapasitesi düşük zeminler üzerinde mühendislik inşası zorunla hale gelmeye başlamıştır. İhtiyacın arttığı şehirlerde yeni imara açılacak yerler, sanayi bölgeleri ve üretim yapan fabrikalar için ihtiyacı karşılayabilecek büyük alanların bulunması hergün daha da zorlaşmaktadır. Bu ihtiyacın sonucu olarak, zayıf zemine sahip bölgeler kullanıma açılmak zorunda kalmıştır. Bu bölgelere kurulan yapılaşma ile birlikte birçok mühendislik problemi de gündeme gelmiştir. Yapılar projelendirilmeden önce zeminlerin iyi etüt edilmiş olması ve zemin özelliklerinin dikkate alınarak üst yapının bu özelliklere göre projelendirilmesi gerekmektedir. Zemin şartlarının şiddetli depremlerin sebep olduğu hasarı etkilediği uzun yıllardan beri bilinmektedir. Duke ve Wiggins'in çalışmaları (1964) genellikle yumuşak zeminlerdeki hasarın sert zeminlere oranla daha fazla olduğunu, vadilere yapılmış yapıların depremlerde daha çok zarar gördüğünü ortaya çıkarmıştır (Duke 1958). Yeni teknik ve yöntemler geliştirilip uygulanmaya başlanarak bu sorunların çözümü giderilmeye çalışılmıştır. Bu yöntemleri ülkemizde de kullanabileceğimiz alanlar bulunmaktadır. Mühendislik yapıları zeminin içerisine veya zeminin üzerine inşaa edilmek zorundadır. Zemin, inşaa edilen yapılardan dolayı oluşan büyük yükleri ve gerilmeleri büyük deformasyonlara uğramadan taşınmalıdır. Fakat yapının oturduğu zeminler her zaman istenilen şekilde bu yükleri karşılayamayabilir. Bu gibi durumlarla karşılaşıldığında aşağıdaki yollar izlenerek iyileştirme yapılması gerekebilir;

- Yapı temellerini mevcut zemini baz alarak projelendirmek,
- Zayıf zemin yerine daha yüksek taşıma gücüne sahip zeminler yerleştirmek,
- Zeminin taşıma gücünü yerinde uygulanacak zemin iyileştirme yöntemleri yardımıyla iyileştirmek.

Temel zemini taşıma gücü ve oturmalar açısından zayıf ise ilk akla gelen çözüm bu zemini en uygun yöntemle iyileştirmektir. Genelde bu şekilde zayıf zeminler üzerine radye temeller inşaa edilerek yapı yüklerinin yumuşak zemin tabakaları üzerine eşit yayılması sağlanabilir. Bu temel sistemi ile proje yükü karşılanmıyor ise farklı bir

uygulama olan kazıklı temel uygulamasına geçilmelidir. Kazıklı temeller kendini tutabilen ve tutamayan zeminlerde zeminin sismik hareketlerden etkilenmesini önlemek için kullanılan en etkili yöntemdir. Bu temel sistemleri zeminde yanal ötelenme ve bu ötelenme sonucunda komşu zeminde sıkışmaya sebep olmayan temel sistemleridir.

Derin temellerin taşıma kapasitelerini tahmin etmek ve güvenilirliğini test etmek oldukça zordur. Kazıklı temellerin tasarımı, kazık zemin etkileşimini birleştiren teorik analizlere ve ampirik bağlantılara dayanmaktadır. Kazıkların taşıma güçlerini hesaplamak için kullanılan birden fazla yöntem vardır. Bu yöntemlerin birbirinden farklı görüş ve varsayımları vardır. Yapılan hesaplamalar ışığında tüm yöntemler arasındaki kabul farklarından dolayı taşıma gücü değerlerinde de farklılıklar görülmüştür. Geoteknik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan, kazıklı temellerin taşıma gücünün yeterliliğini test etmek ve kazıkların davranışlarının tasarım aşamasındaki kabullerle bağdaşıp bağdaşmadığını ortaya koyan kazık yükleme deneyleri güvenilirliği kanıtlanmış bir deney yöntemidir (Wiggins 1964). Günümüzde, nüfus ve ihtiyaçların artması ile birlikte ortaya çıkan, küçük alanlara yüksek yapıların inşaa edilme zorunluluğu, daha az sayıda ve daha fazla taşıma gücüne sahip kazıkların imalatını zorunlu kılmıştır. Bu tür kazıkların ekonomik olarak tasarlanması göçme yüküne ulaşana kadar test edilmeleri lazımdır. Kazık yükleme deneylerini kazığın taşıma gücünü aştığı ana kadar yaptırabilmek, reaksiyon ve yük ölçüm mekanizmasının büyüklüğü ve yüksek maliyet nedeniyle her zaman uygulanamamaktadır. Yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı ekonomik kazığın tasarlanıp uygulanabilmesi için yükleme deneyinin göçme yüküne varmadan kazığın nihai kapasitesinin belirlenebilmesi için bir yöntemin geliştirilmesi gerekmektedir.

Kazık kapasitesi ve sağlamlığını belirlemek için bir çok deney geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin bir bölümü için deney yapım standartları geliştirilmiştir. Bir kısım deney yöntemi için ise standart bulunmamasına rağmen deney yapım ve değerlendirme şartları, deneyleri süren firmalar tarafından anlatılmaktadır.

Bu çalışmada yerinde dökme kazıkların taşıma güçlerini mevcut teorik yöntemlerle hesaplayıp, kazık yükleme deneylerinden elde edilen taşıma güçleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu sonuca göre hangi yöntemin kazık yükleme deney sonucunda elde edilen

taşıma gününe yakın bir değer verdiği araştırılmıştır. Bunun için 3 farklı zemin türünde imal edilmiş 6 farklı kazık üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde kazıkların nihai taşıma güçlerinin belirlenmesinde kullanılan “Statik Kazık Yükleme Deneyleri” ile kazıkların taşıma güçlerinin belirlenmesi üzerine yapılan benzer çalışmalar aşağıda gösterilmektedir. Yapılan araştırmalar incelendiğinde, daha önce yerinde yapılan fore kazıkların, ampirik formüllerle hesaplanan nihai kazık taşıma güçlerinin, deneysel yöntemlerin sonucunda elde edilen nihai kazık taşıma güçleri ve deney sonucunda kazıkların yaptığı toplam oturmaların kıyaslandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Düzceer (2002) tarafından yapılan çalışmada, fore ve çakma kazıklar için yapılmış olan 24 adet kazık yükleme deneyi sonuçları değerlendirilerek kazıklara ait nihai taşıma gücü 12 farklı yöntemle hesaplanmıştır. Kazıkların nihai taşıma güçleri statik yöntemlerle hesaplanarak sonuçlar yükleme deneyinden alınan sonuçlarla kıyaslanmıştır. Bu çalışmada kazıkların nihai taşıma gücü kapasiteleri sadece statik kazık yükleme deneyleri sonucunda matematiksel yöntemle dayalı hesap yöntemleri kullanılarak kıyaslanmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen verilerle karşılaştırmalar yapıldığında 12 adet farklı yöntemin birbirleriyle aralarında büyük farklar çıktığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda en yakın sonuçlar ve en uzak sonuçlar veren yöntemler elde edilmiştir. En yüksek kapasiteyi veren yöntem Chin-Konder yöntemi olmuştur. En düşük kapasiteyi veren yöntem ise De-Beer yöntemi olmuştur. Bu çalışmanın sonunda tavsiye edilen yöntemin herhangi bir kazık için kullanıldığında farklılık göstermediği de gözlemlenmiştir.

Yıldız (2011) tarafından yapılan çalışmada, on adet kayaya soketlenmiş kazığın düşey yük taşıma kapasiteleri yükleme deneyleri ve ampirik yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Kazık yükleme deneyinden elde edilen sonuçlar ile ampirik yöntemler karşılaştırıldığında birbirlerine yakın değerler elde edilmiştir.

Vural (2018) tarafından yapılan çalışmada, SPT deneyinden kazık nihai taşıma gücünü gösteren teorik yöntemler ile teorik yöntemle bağlı kazık yükleme deneyi değerlendirme yöntemleri kıyaslamıştır. 8 tane kazık yükleme deneyi; SPT deneyine bağlı teorik

yöntemler ve teorik yöntemle bağı kazık yükleme deneyi değerlendirme yöntemleri ile analiz edilmiştir. İncelemeler sonucunda, ince daneli zeminlere oturan kazıklarda birbirleri arasında ve ortalama ile en uyumlu yöntemlerin Bazaraa ve Kurkur (1986) ampirik yöntemi ile Özkan-Alku (2006) kazık yükleme deneyi değerlendirme yönteminin olduğu, iri daneli zeminlere oturan fore kazıklarda ise birbirleri arasında ve ortalama ile en uyumlu yöntemlerin Decourt (1995) yöntemi ile Decourt (1999) kazık yükleme deneyi değerlendirme yönteminin olduğundan bahsedilmiştir.

Çelik (2018) tarafında yapılan çalışmada, TOKİ tarafından Adana'nın Ceyhan ilçesinde yapılmış olan Z+7 katlı konut projesi için hesaplanmış olan fore kazık uygulamasında, tasarım yükünün denetlenmesi amacıyla, arazide statik kazık yükleme deney sonuçları temin edilmiştir. Bu deney yardımıyla ulaşılan sonuçlar doğrultusunda kazıkların tasarım yükleri tekrar hesaplanmıştır. İki boyutlu düzlemde sonlu elemanlar yöntemiyle ve yaygın olan iki farklı zemin modeli yardımıyla, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olarak bulunduğu ince daneli bir zeminde statik kazık yükleme deneyi bu çalışma içerisinde modellenmiş ve sonuçlar gerçek arazi deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Ve piyasada geoteknik mühendislerinin yaygın olarak kullandığı Plaxis-2D programı kullanılmıştır. Çelik (2018) tarafında yapılan incelemeler sonucunda, suya doymun sert kıvamda olan aşırı konsolide killerde Mohr Coulomb zemin modeliyle yapılan analizlerde temin edilecek verilerin gerçeği çok fazla yansıtmadığı ve taşıma güçlerinin mevcut taşıma güçlerinden daha yüksek çıkacağı belirlenmiştir.

3. KAZIK TEMELLER

Kazık temeller geçmişten günümüze sıkça kullanılan bir temel çeşididir. Bu temellerin esas görevi yapıda oluşan yükleri sağlam olan zemin tabakalarına veya sürtünme etkisiyle bulunduğu zemine aktarmaktır. Eğer yapının toplam yükünü uygulanması düşünülen sığ temeller karşılayamıyor ve mevcuttaki zemin bu yükü taşıyamıyor ise yani istenilen oturma ve taşıma gücü elde edilemiyor ise bu durumda ya zeminlerin iyileştirilmesi ya da derin temel sistemi kullanımına gidilmelidir. Bu şartlar dışında kazık temeller yatayda çok fazla yüklere maruz kalan yapıların temellerinde de kullanılmaktadır. Ülkemizde kazık temellerin sıkça kullanıldığı durumlar aşağıda verilmiştir;

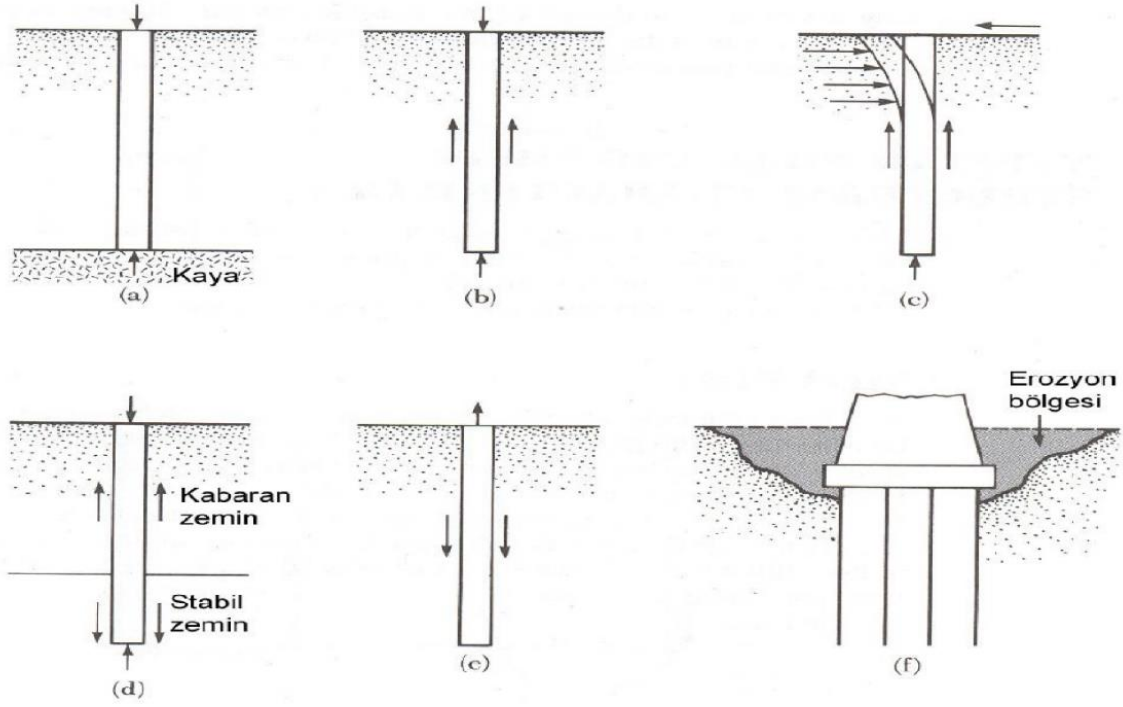
Yapının yapılacağı zemin tabakasının yumuşak olması durumunda ve yapının aşırı oturmaya maruz kalabileceği durumlarda kazıklı temeller hem taşıma gücünü artırmak hem de oturmaya kontrol altına almak için kullanılır (Şekil 3.1.b).

İnşaat alanında şişen ve çöken zemin türlerine rastlanıldığı durumlarda yapının güvenliği için kazıklı temeller kullanılır (Şekil 3.1.d).

Yanal yüklerin bulunduğu durumlarda (Şekil 3.1.c) yapıların sık bulunduğu şehir yerleşkelerinde derin kazıkların yapılmasının gerektiği durumlarda, yataydaki toprak itkisini tutarak yandaki yapıların ve kazının içerisindeki güvenliğin sağlanması için kazıklı temeller kullanılır. Yüksek binaların, gerilim hatlarının rüzgâr, deprem gibi yatay yükler nedeniyle dönmeye karşı dayanıklılıklarını artırmak amacı ile kazıklı temeller kullanılır.

Su içerisine inşa edilen yapıların (deniz platformları, kuleler vs.) tabanında oluşacak kaldırma kuvvetini karşılamak amacıyla kazıklı temeller kullanılır (Şekil 3.1.e).

Köprü temellerine meydana gelen su akışı sebebiyle oluşacak erozyondan dolayı meydana gelecek olan zemin taşıma gücü kaybını karşılamak için kazıklı temeller kullanılır (Şekil 3.1.f).



Şekil 3.1 Kazık temellerin kullanıldığı durumlar (Düzceer 2001).

3.1 Kazık Çeşitleri

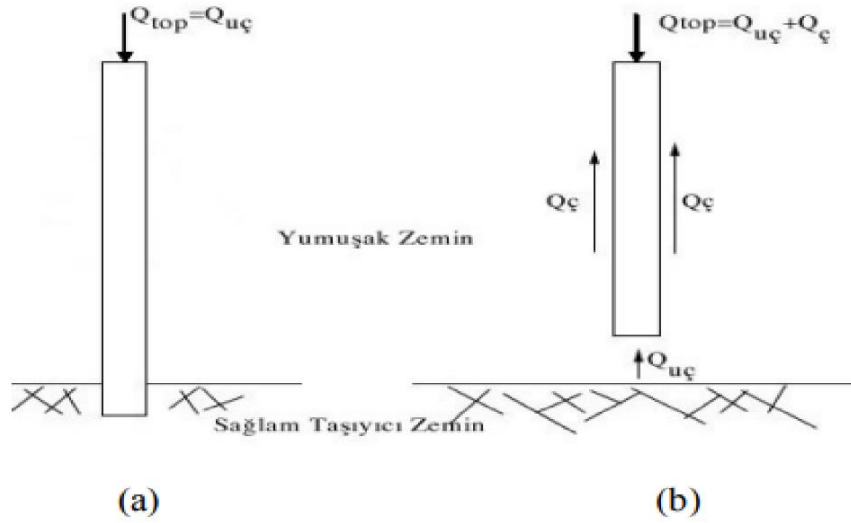
Kazıklar çalışma şekillerine, üretildikleri malzemelere ve zemine yerleştirme şekillerine göre sınıflandırılmaktadır.

3.1.1 Çalışma Şekillerine Göre Kazıklar

Kazıklar çalışma şekillerine göre Uç kazığı, Sürtünme kazığı, Çekme kazığı, İstinad kazığı, Kompaksiyon kazığı şeklinde 5 gruba ayrılmaktadır.

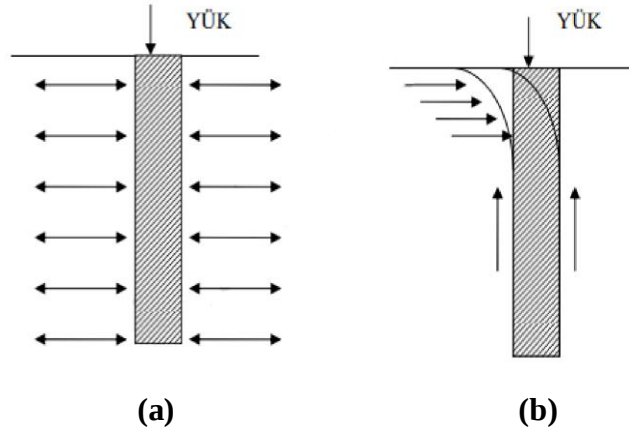
- a) Uç kazığı: Yapı yükü, derinlerdeki sağlam tabakaya aktarılarak taşıma gerçekleştiriliyorsa buna ‘‘Uç Kazığı’’ denir. Oluşan toplam yapı yükünü, taşıma gücüne sahip olan diğer tabakaya uç direnci ile aktarmaktadır. Kazığı çevreleyen tabakanın taşıma gücüne etkisi çok fazla değildir (Birand 2001). Uç kazıklarda üretilen kazığın boyu yapılan sondaj çalışmalarıyla belirlenmektedir (Şekil 3.2.a).

- b) Sürtünme Kazığı: Eğer ulaşılmak istenilen sağlam tabaka kazıklarla ulaşamayacak kadar derinde ise bu durumda kazıklar zayıf tabaka içerisinde yüzecek şekilde projelendirilmektedir. Bu sistemle çalışan kazıklara ‘‘Sürtünme Kazığı’’ denilir (Şekil 3.2.b). Burada yapı yükü kazıkla zemin arasında oluşan sürtünme kuvveti ile taşınır.



Şekil 3.2 Uç ve sürtünme kazığı.

- c) Çekme Kazığı: Suyun hareketinden dolayı oluşan ve kaldırma kuvvetine maruz kalan yapıları veya üstyapıdan aktarılan yanal kuvvetler nedeniyle moment etkisi altındaki temellerin taşıma gücünü artırmak amacıyla kullanılan kazıklardır.
- d) İstinad Kazığı: Oluşan yanal kuvvetlere karşı koyan kazıklardır (Şekil 3.3.b).
- e) Kompaksiyon Kazığı: Gevşek taneli zeminlerde oluşturulan kazığa ‘‘Kompaksiyon Kazığı’’ denir. Yanal kuvvetler var ise, kazıklı temeller eğilme ile yanal yüklere karşı koymaya çalışırlar (Şekil 3.3.a).

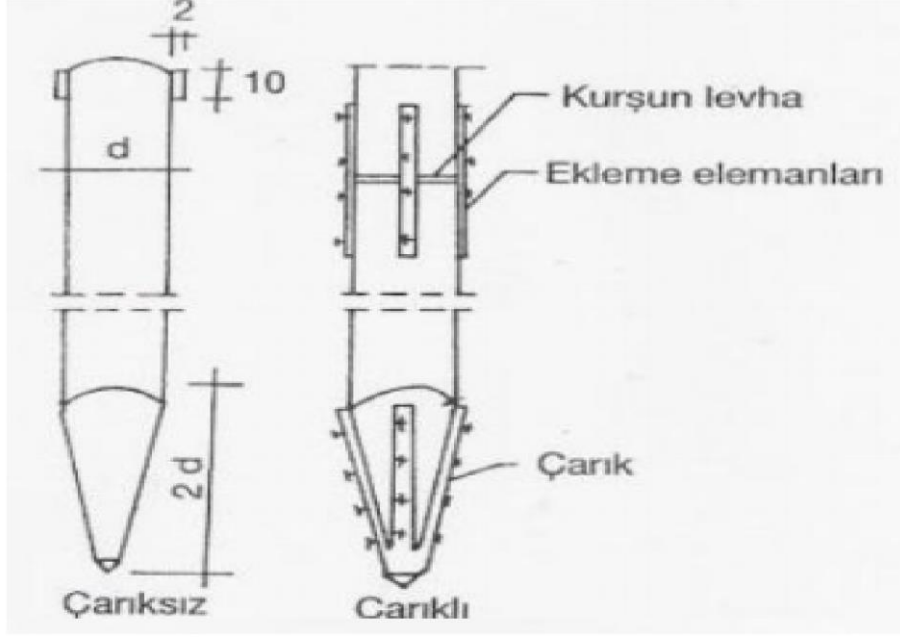


Şekil 3.3. Kompaksiyon ve istinad kazığı (Das 1999).

3.1.2 Üretildikleri Malzemelere Göre Kazıklar

Kazıklar, imal edildiği malzemenin cinsine göre Ahşap kazıklar, Betonarme kazıklar, Betonarme çakma kazıklar, Fore kazıklar, Kompozit kazıklar, Çelik kazıklar olmak üzere 6 gruba ayrılmaktadır.

- a) Ahşap Kazıklar: Ahşap en eski yapı malzemelerinden birisidir ve kazık yapımında da kullanılabilir. Ahşaplarla geçici ve kalıcı kazıklar olmak üzere 2 çeşit kazık oluşturulabilir. Ahşap kazıkların çevresel faktörlerden ve böcek, kurt gibi canlılardan da korunması gerekmektedir. Ahşaplar su içinde kullanılıyor ise çevresel etkilerden korumak için kimyasal maddeler kullanılmalıdır (Birand 2001). Çakma sırasında kullanılan metal başlık ve çarık Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Çarıklı ve çariksız ahşap kazık (Yüksel ve Güner 2001).

Kazıkta ekleme, ek yeri birbirine uygun ve kara şeklinde kesildikten sonra 4 taraftan çelik lama ile birleştirilmektedir.

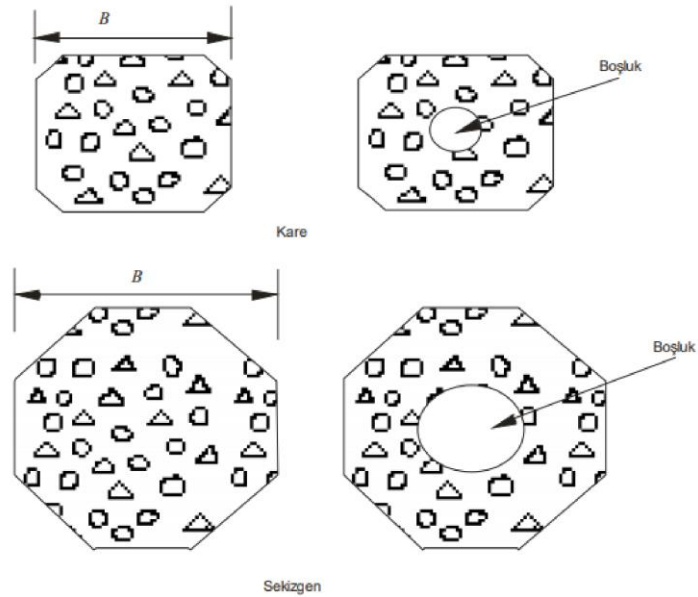
Ahşap kazıkların ideal boyu 10-20 m arasında olup çapları 15-30 cm arasındadır.

- b) Betonarme kazıklar: Bu kazıklar çakma ve fore kazıklar (yerinde dökme) olarak iki kısımda incelenir.
- c) Betonarme çakma kazıklar: Bu kazıklar fabrikalarda hazırlanır. Daha sonra uygulanacağı yere ulaştırılır. Kazıklar yerleştirilirken oluşacak eğilme momentlerine dayanıklı şekilde üretilmelidir.
- d) Fore (yerinde dökme) kazıklar: Uygun delme teknikleri kullanılarak veya boş bir boru çakarak zeminde açılan kuyunun içerisine donatı ve beton konularak üretilen kazıklardır. Kendini taşıyabilen zeminlerde farklı bir işleme gerek kalmadan fore kazık imalatı yapılabilir. Kendini taşıyamayan zeminlerde ise açılan kuyunun bozulmamasını ve şev stabilitesini sağlayabilmek için muhafaza boruları kullanılır. Fore kazık imalatı sona erince muhafaza borusu geri çekilir. Ancak yer altı suyunun fazla olduğu yerlerde betona etki edeceği düşünülerek muhafaza borusunun içine ince

bir boru ilave edilerek kuyu açılır ve muhafaza borusu diğer ince boruyu içeride bırakılarak çekilir. Ancak bu yöntem kullanılırsa kazığa etki eden çevre sürtünmesi de önemli ölçüde azalmaktadır.

TS EN 206 'ya göre en az C25 kalitesinde beton kullanılmalı ve su/çimento oranı ise 0,6 oranında olmak zorundadır. Bu şartnameye göre projede kalite kontrol için 35 kazıktan altışar adet numune alınır. Bunları üç tanesi 7 gün, diğer üç tanesi ise 28 gün sonunda kırılır. Betonun kalitesi küp dayanımlarından standart sapma yöntemiyle belirlenir.

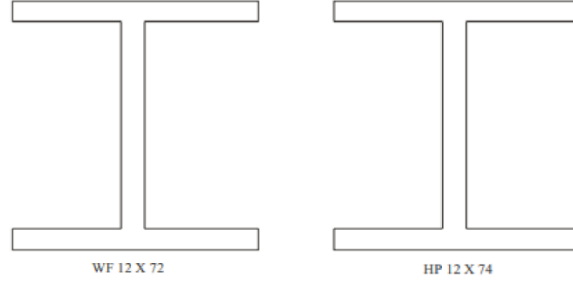
Fore kazıklar çakma kazıklara göre zeminde yanal bir öteleme veya komşu zeminlerde sıkışma yaratmamaktadır.



Şekil 3.5 Tipik beton kesitlerin enine kesiti (Cuduto 2011).

- e) Çelik Kazıklar: Bu kazıklar H profili, I profili veya dairesel şekilde olurlar ve fabrikalarda imal edilirler. Boru şeklinde imal edilen bu kazıklar yerleştirildikten sonra içerisine beton dökülür. Çelik kazıkların boyları uzatılmak istenirse perçin, bulon veya kaynak yapılır.

Ancak elik kazıklar korozyona uğrayabileceği için çakıllı-kumlu zeminlerde çok uzun soluklu olmamaktadır. Bu zararı onlemek için elik kazıklar betonlanır, bitümlü malzemeler ile kaplanır veya katodik koruma uygulanabilir.



Şekil 3.6 Tipik geniş flanşlı (WF) ve H kazığı (HP) arasında bir karşılaştırma (Cuduto 2001).

- f) Kompozit kazıklar: Hazır kazıklardan ahşap kazıklar çok yaygın kullanılmamaktadır. Ahşap kazıkların kullanabilmesi için sağlam tabakanın çok derinlerde olmaması gerekmektedir. Bunun sebebi ise bu kazıkların fazla uzun olmamasıdır. Ahşap kazıkların tüm yüzeyinin su ile temas etmesi gerekmektedir. Aksi taktirde su içerisinde kalmayan kısımlar mantarlaşma ve bakterilerin etkisiyle çürüyüp bozulmaktadır. Bu sebeplerden dolayı kombine kazık kullanımına gidilmektedir. Bu şartlarda alt kısımlarda ahşap üst kısımlarda betonarme kazık kullanılmaktadır.

3.1.3 Zemine Yerleştirme Şekillerine Göre Kazıklar

Kazıkların yerleştirilme tekniğine bağlı olarak zeminde meydana gelen yerdeğistirmelere göre kazıkları 3 gruba ayırabiliriz (Tomlinson 2008). Bunlar;

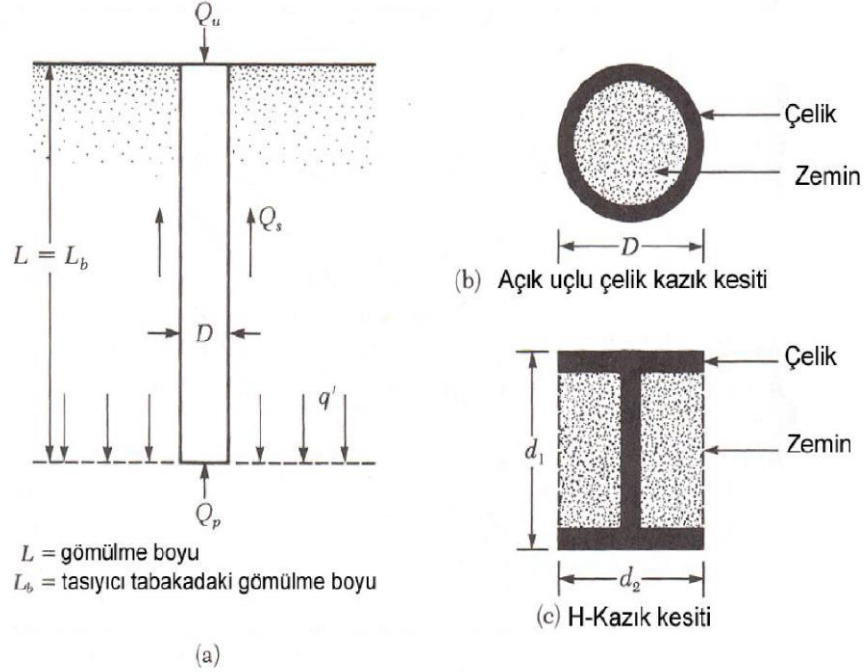
Geniş yerdeğistiren kazıklar: Bu kazıklar zemine yerleştirilirken zemin içerisinde ötenme ve sıkışmaya sebep olan dolu gövdeli ya da boru kesitli kapalı uçlu kazıklardır.

Küçük yerdeğistiren kazıklar: I ve H elik profil şeklinde kısmen küçük kesit alanına sahip olan kazıklardır.

Zeminde yer değistirmeyen kazıklar: Zeminde çeşitli yöntemler kullanılarak oluşturulan kazıklar zeminde sıkışma ve ötenmeye yol açmazlar.

3.2 Kazıkların Taşıma Gücü

Kazıkların nihai yük taşıma gücü, kazık ucunun taşıdığı yük ile zemin-kazık arasında meydana gelen toplam çevre sürtünmesinin toplamı olarak ifade edilebilir.



Şekil 3.7 Kazık kesiti.

Kazıkların nihai taşıma gücü;

Nihai kazık taşıma gücü kazık çevresinde oluşacak olan sürtünme direnci ile uç direncinin toplamına eşittir.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3.1)$$

Q_u = Nihai kazık taşıma gücü

Q_p = Kazığın uç direnci

Q_s = Kazığın çevre sürtünme direnci

Kazık taşıma gücü için önerilen birçok yöntem vardır. Yöntemlerin kendisine özgü ve birbirlerine göre bazı farkları vardır. Bu farklar ilgili teorilerde yapılan kabullerden

kaynaklanmaktadır. Bu nedenle elde edilen taşıma gücü değerlerinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Kazık taşıma gücü, kazık uç ve kazık sürtünme direncinin ayrı ayrı hesaplanıp toplanmasıyla bulunmaktadır. Kazık uç direncini hesaplayan bölüm 3.3.1'deki yöntemlerden yararlanılmaktadır.

3.2.1 Kazık Uç Direnci

Kazık ucunun yenilmesi sıg temellerin yenilmesine benzediği için kazık uç direnci belirlenirken derin temellerde de kullanılan Terzaghi taşıma gücü teorisinden yararlanılır. Terzaghi taşıma gücü formülünde B (temelin kısa kenarı) yerine, D (kazık çapı) konulursa aşağıdaki bağıntı elde edilir;

$$q_u = cN_c + q'N_q + \gamma DN_\gamma \quad (3.2)$$

N_c , N_q , N_γ kazık temeller için taşıma gücü faktörlerini belirtmektedir.

q' : Kazık ucu seviyesindeki düşey efektif gerilmeyi,

c : Kohezyonu (kazık ucunun oturduğu seviyedeki tabaka için)

q_u belirlendikten sonra kazık uç direnci aşağıdaki gibi belirlenir;

$$Q_p = q_u \cdot A_p \quad (3.3)$$

$$Q_p = A_p \cdot (cN_c + q'N_q + \gamma DN_\gamma) \quad (3.4)$$

Bağıntı sadeleştirmek istenirse, kazık çapı (D) küçük bir rakam olduğu için γDN_γ terimi 0 kabul edilebilir ve bağıntı aşağıdaki şekilde olur;

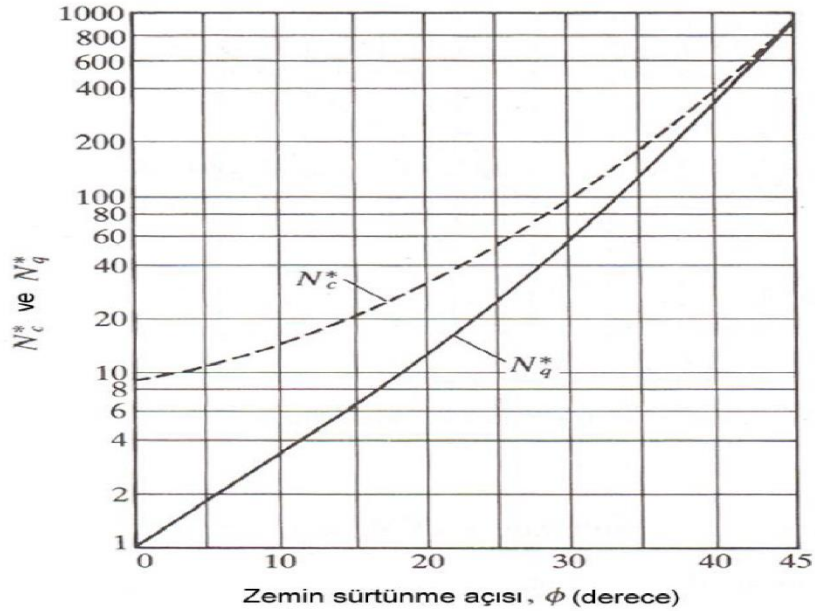
$$Q_p = A_p \cdot (cN_c + q'N_q) \quad (3.5)$$

Kazık uç direncini belirlemek için bazı yöntemler;

3.2.1.1 Meyerhof Yöntemi

a) Kumlarda Q_p 'nin tayini:

Kazık uç direnci derinlikle birlikte artış göstermekte, fakat L_b/D (L_b : kazık soket boyu) kritik orana ulaştığında ise sabit kalmaktadır. Homojen bir zeminde L_b , kazık uzunluğuna “ L ” eşit olmaktadır. Kazık daha sağlam bir zemine oturuyor ise L_b , L 'den daha küçük olmaktadır. Meyerhof (1976)'a göre taşıma gücü faktörleri, L_b/D artışıyla doğru orantılı olarak artmaktadır ve $L_b/D=0,5$ (L_b/D) kritik değere ulaştığında taşıma gücü faktörleri maksimuma ulaşmaktadır. Zeminin içsel sürtünme açısı 43 olduğunda (L_b/D) kritik değer, 20 olmaktadır. Bu durumda $0,5$ (L_b/D) kritik değer 10 'a eşit olmaktadır. Birden fazla durumda kazığın L_b/D 'si $0,5$ (L_b/D) kritikten daha yüksek olmaktadır. Şekil 3.8'de görülen grafik taşıma gücü faktörlerinin maksimum değerlerinin içsel sürtünme açısı ile değişimi görülmektedir.



Şekil 3.8 Maksimum N_c^* ve N_q^* değerlerinin zemin sürtünme açısı ile değişimi (Meyerhof 1976).

b) Killerde($\phi=0$) Q_p 'nin tayini:

$$Q_p = A_p \cdot C_u \cdot N_c' = 9 \cdot A_p \cdot C_u \quad (3.6)$$

C_u = Direnajsız kayma mukavemeti

A_p : Kazık ucu alanı

Burada $\phi=0$ olduğu için $N_c'=9$ kabul edilmektedir (Şekil 3.8).

3.2.1.2 Vesic Yöntemi

Vesic (1979) ye göre kazıkların uç direncinin hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır.

a) Kumlarda Q_p 'nin tayini:

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot \sigma' N_\sigma \quad (3.7)$$

σ' = kazık ucundaki ortalama efektif gerilme

$$\sigma' = \left(1 + \frac{2K_0}{3}\right) \cdot q' \quad (3.8)$$

K_0 = dengedeki yanal zemin basıncı katsayısıdır

$$K_0 = 1 - \sin\phi' \quad (3.9)$$

N_σ = taşıma gücü katsayıları

$$N_\sigma' = 3N_q'/(1 + 2K_0) \quad (3.10)$$

Vesic yöntemine göre,

$$N_\sigma = f(I_{rr}) \quad (3.11)$$

I_{rr} = zeminin azaltılmış rijitlik endeksidir ve aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1+I_r\Delta} \quad (3.12)$$

I_r = rijitlik indeksidir.

$$I_r = \frac{E_s}{2(1+\mu_s)} \times q \cdot \tan\phi' = \frac{G_s}{q \cdot \tan\phi'} \quad (3.13)$$

E_s = Zeminin elastisite modülü

μ_s = Zeminin Poisson oranı

G_s = Zeminin kayma modülü

Δ = Kazık ucu altındaki plastik bölgedeki kazığın yaptığı ortalama oturma değeri

b) Killerde ($\phi=0$) Q_p 'nin tayini:

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p C_u N_c \quad (3.14)$$

C_u = Direnajsız kayma mukavemeti

Vesic (1979) ye göre,

$$N_c' = \frac{4}{3} (\ln I_{rr} + 1) + \left(\frac{\pi}{2}\right) + 1 \quad (3.15)$$

$\phi=0$ için,

$$I_r = \frac{E_s}{3C_u} \quad (3.16)$$

Hacim değişiminin görülmediği durumlarda $\Delta=0$, $I_{rr}=I_r$

I_r değerleri doğru gerilme seviyelerine karşılık gelen konsolidasyon ve üç eksenli basınç deneylerinde aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

Çizelge 3.1 Irr değerleri.

Zemin Tipi	I_r
Kum	70-150
Silt ve Kil (Drenajlı Durum)	50-100
Kil (Drenajsız Durum)	100-200

3.2.1.3 Janbu Yöntemi

Janbu yöntemine göre kazık uç direnci aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır.

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p (C N_c + q' \cdot N_q) \quad (3.17)$$

Bu denklem Meyerhof (1976) denklemiyle aynıdır. Ancak N_c , N_q aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$N_q = (\tan \phi + 1 + \tan^2 \phi)^2 e^{2\mu \tan \phi} \quad (3.18)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (3.19)$$

μ açısı yumuşak killerde 70° , sert kumlarda 105° arasında değişmektedir.

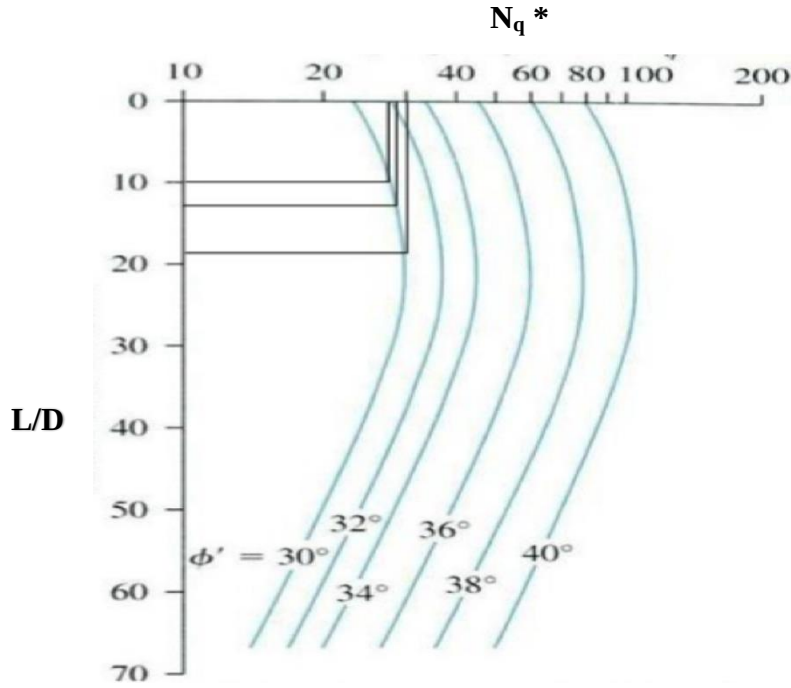
3.2.1.4 Coyle ve Castello Yöntemi (Kum)

Coyle ve Castello (1981), kum zeminlerde 24 tane geniş ölçekli çakma kazık arazi deneyleri incelenmiştir.

$$Q_p = q' A_p N_q \quad (3.20)$$

q' = kazık ucu seviyesindeki düşey efektif gerilmeyi

N_q^* = Taşıma gücü faktör



Şekil 3.9 N_q^* 'nin L/D ile değişimi (Coyle ve Castello 1981).

Bu yöntemlerden Meyerhof Yöntemi ve Janbu Yöntemi arasındaki farklardan aşağıda kısa bir şekilde bahsedilmiştir.

Her iki yöntem de temel olarak aynı şekilde hesaplanmaktadır. Aralarındaki farklı " N_q " formülündeki kabullerden kaynaklanmaktadır. Meyerhof Yöntemi N_q hesabında pasif durum yatay toprak basınç katsayısını esas almaktadır. Ayrıca Meyerhof Yönteminde statik içsel sürtünme direnç açısı 90° olarak kabul görmüştür. Ancak bu Janbu yönteminde 60° - 90° derece arasında değişmektedir. Bu nedenle yapılan hesaplamalarda Meyerhof ve Janbu metotları arasında farklar meydana gelmektedir.

3.2.1.5 Kayaya Oturan Kazıkların Uç Direnci

Bazı durumlarda kazıkların uçları sağlam kayaya çakılır. Böyle durumlarda kayanın uç direncinin hesaplanması gerekmektedir.

Goodman (1980)'a göre uç direnci,

$Q_p = q_u \cdot (N\phi + 1)$, formülü ile hesaplanır. Burada;

q_u = kayanın tek eksenli mukavemetini

$$N\phi = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \quad (3.21)$$

3.2.1.6 Çeşitli Arazi Deneylerinden Kazık Uç Direncinin Hesaplanması

a) Meyerhof Yöntemi;

Kohezyonsuz zeminlerde kazıkların uç direnci SPT deneyinden elde edilen sonuçlar kullanılarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$Q_p = A_p \cdot q_p \quad (3.22)$$

$$q_p = 0.4 \text{ Pa} \cdot N_{60} \cdot \frac{L}{D} \leq 4 \text{ Pa} \cdot N_{60}$$

$$Q_p = A_p \cdot 0.4 \text{ Pa} \cdot N_{60} \cdot \frac{L}{D} \leq 4 \text{ Pa} \cdot N_{60}$$

Burada;

N_{60} = Kazık uç noktasının 3D aşağısındaki ve 8D yukarısındaki düzeltilmiş N_{60} değerleri ortalamasını,

L_b = Kazık uç direncini sağlayan tabakadaki soketlenmiş miktarını göstermektedir.

(Homojen zeminlerde $L_b=L$ 'ye eşittir) gösterir.

b) CPT'den Kazık Uç Direnci Hesaplanması;

CPT deneyinin yapılış tarzı ile kazıkların çalışma şekline benzemektedir. Bu nedenle aşağıdaki bağıntı ile hesaplandığı tahmin edilmektedir.

$$Q = q_c \cdot A_p \quad (3.23)$$

Formülde;

q_c =Kazık ucunun bir çap altındaki, üç çap üzerinde olan bölgedeki ortalama CPT uç direncini göstermektedir.

3.2.2 Kazık Çevre Sürtünme Direnci

Kazıklarda sürtünme direnci aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$Q_s = \sum P. \Delta L. f \quad (3.24)$$

Formülde;

p = kazık çevresini,

ΔL = kazık kesitinin boyunu,

F = birim sürtünme direncini ifade etmektedir.

3.2.2.1 Kohezyonsuz Zeminlerde (Kumlarda) Çevre Sürtünme Direnci

Kohezyonsuz zeminlerde sürtünme direnci aşağıdaki formülle belirlenmektedir.

$$f = K \sigma'_0. \tan \phi \quad (3.25)$$

K = yanal zemin basıncı katsayısı $f = K \sigma'_0. \tan \phi$

σ'_0 = belirli bir derinlikteki efektif gerilme

ϕ = kazık zemin sürtünme açısı

Yanal zemin basıncı katsayısı “ K ” derinliğin değişmesiyle birlikte değişmektedir. Das, 1999’a göre K , kazıkların üst ucunda bulunan yaklaşık pasif yanal zemin basıncı katsayısına, alt ucunda bulunan ise dengede olan yanal zemin basıncı katsayısına eşittir.

Sondaj kazıkları için kullanılan bağıntı:

$$K = K_0 = 1 - \sin \phi$$

Düşük yer değiştirmeli Çakma Kazıkları için kullanılan bağıntı:

$$K=K_0 \text{ ile } K=1,4K_0 \text{ arasında}$$

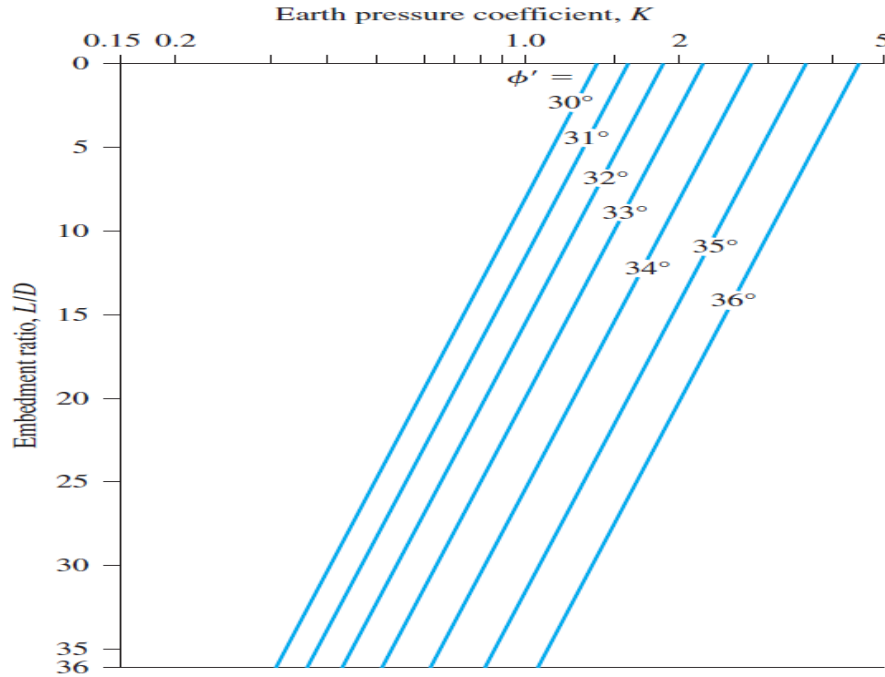
Yüksek yer değiştirmeli Çakma Kazıkları için kullanılan bağıntı:

$$K=K_0 \text{ ile } K=1,8K_0 \text{ arası}$$

Coyle ve Castello'ya göre;

$$Q_s = k\sigma'_{o. \tan. (0.8\phi') \cdot p \cdot L \quad (3.26)$$

Burada k değeri Grafik 3.10'dan belirlenir.



Şekil 3.10 Toprak basınç katsayısının gömülme oranına bağlı değişimi (Das 1999).

3.2.2.2 Kohezyonlu Zeminlerde (Killerde) Çevre Sürtünme Direnci

Killerde çevre sürtünme direncinin hesaplanması, ölçülemeyen değişik değerlerden dolayı daha zordur. Kohezyonlu zeminlerde sürtünme direncini hesaplayabilmek için birden fazla yöntem mevcuttur. Bu yöntemlerden iki tanesi drenajsız dayanım parametreleri, bir tanesi ise drenajlı dayanım parametrelerini esas alarak

hesaplanmaktadır. Sonuç olarak sürtüne dirençlerinin uzun süreli değişim değerinin hesaplanmasında kullanılabilir.

λ Yöntemi: Sürtünme direnci, derinlik, efektif gerilme ve drenajsız kayma mukavemeti değişkenlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır.

α Yöntemi: Sürtünme direnci, adezyon ve drenajsız kohezyona bağlı olarak hesaplanmaktadır.

β Yöntemi: Sürtünme direnci, yanal toprak basıncı ve drenajlı duruma bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Bu üç farklı yöntem aşağıda ayrıntılarıyla birlikte açıklanmıştır.

a) λ Yöntemi

Vijayvergia ve Focht (1972) tarafından ortaya çıkarılan metottur. Kazık çakımı sebebiyle zeminde meydana gelen yer değiştirmenin, pasif yanal toprak basıncına sebep olduğu durumlardan yola çıkarak meydana getirilen bir yöntemdir. Birim yüzey dayanımı aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$f_{av} = \lambda (\sigma_v' + 2c_u) \quad (3.27)$$

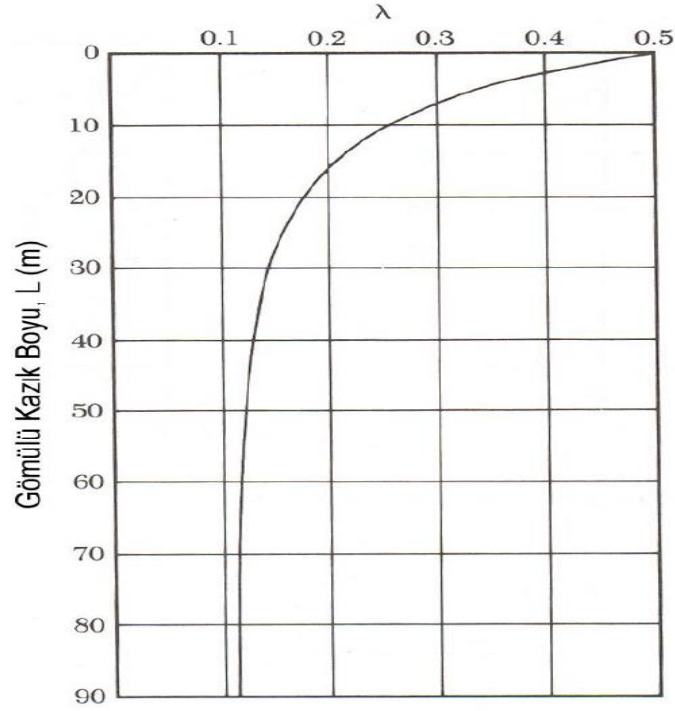
Burada;

σ_v' = Kazık boyunca etki eden ortalama düşey efektif gerilme

Tek tabaka durumunda (kazık ucundaki düşey gerilme)/2 formülüyle hesaplanmaktadır.

c_u = Ortalama drenajsız kayma mukavemeti ($\phi=0$)

λ Katsayısının değeri kazığın gömülü boyuna bağlı olarak değişmektedir. Aşağıdaki grafik yardımı ile saptanabilir.



Şekil 3.11 λ 'nın gömülü kazık boyuyla değişimi.

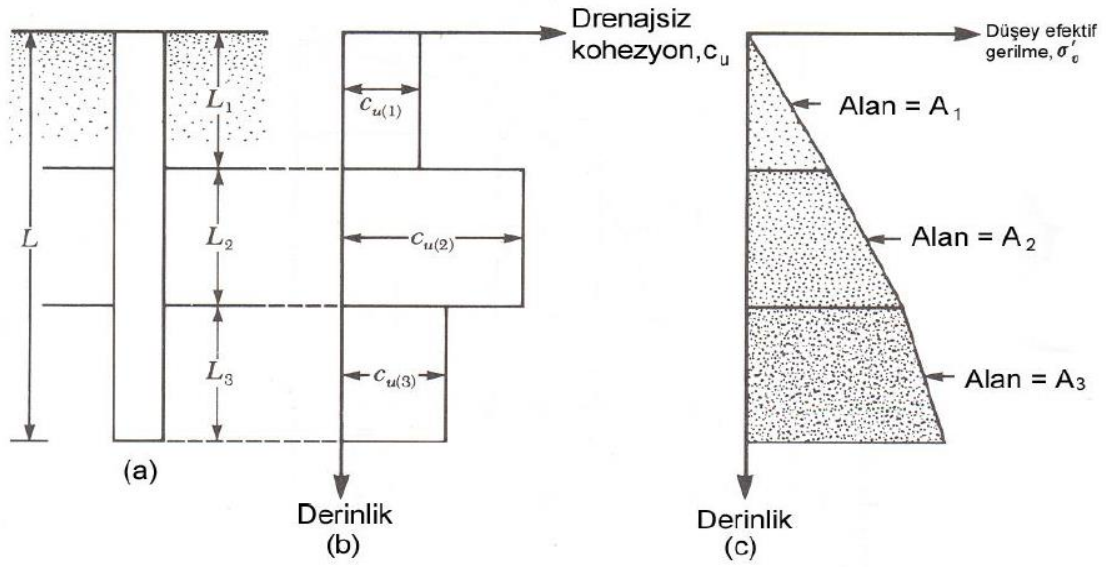
Bu grafik yardımıyla kazık çevresinde meydana gelen toplam sürtünme ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_s = pL_{fav} \quad (3.28)$$

Tabakalı zeminlerde ise farklı olan her bir tabaka için düşey efektif gerilme ve kohezyon değerleri ayrı ayrı hesaplanır ve bu durumların ortalama değerleri alınarak denklemde yerine konur.

$$c_u = \frac{c_{u1} L_1 + c_{u2} L_2 + \dots}{L} \quad (3.29)$$

$$\sigma_v' = \frac{A_1 + A_2 + \dots}{L} \quad (3.30)$$



Şekil 3.12 Tabakalı zemin durumunda λ yönteminin uygulanması.

b) ∞ Yöntemi

Bu metoda göre çevre sürtünme direnci aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$f = \infty \cdot c_u \quad (3.31)$$

α : ampirik adezyon çarpımı

α 'nın grafiklerle değişimi aşağıda şekil 3.13'de gösterilmiştir.

$$c_u < 50 \text{ kN/m}^2 \text{ ise; } \alpha = 1.0$$

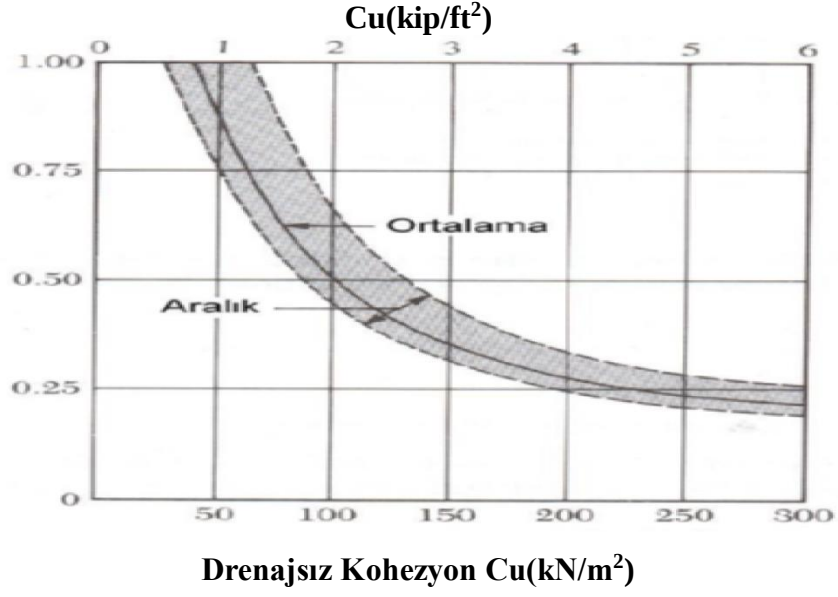
$$c_u > 50 \text{ kN/m}^2 \text{ ise; } \alpha = 0.5$$

Toplam sürtünme ise bu değişkenlere bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$Q_s = \sum f_s \cdot pL = \sum \alpha \cdot c_u \cdot p \cdot L \quad (3.32)$$

Tabakalı zemin durumunda ise;

$$Q_s = \sum f_s \cdot pL = \alpha_1 \cdot c_{u1} \cdot p \cdot L_1 + \alpha_2 \cdot c_{u2} \cdot p \cdot L_2 + \dots \quad (3.33)$$



Şekil 3.13 α 'nın drenajsız kohezyon ile değişimi.

c) β Yöntemi

Kazık etrafındaki mevcut boşluk suyu basıncı doymun olan kile kazık çakıldığı zaman yüksektir. Normal killerdeki bu aşırı boşluk suyu basıncının değeri, c_u 'nun 4 ila 6 katı arasında değişmektedir. Mevcut boşluk suyu basıncının tamamıyla kaybolması yaklaşık olarak bir ay sürmektedir. Bu nedenle kazık çevre sürtünme dayanımı, örselenmiş kilin efektif gerilme değişkenlerine ($c=0$) dayanarak hesaplanmaktadır.

$$f_s = \beta \sigma_v \quad (3.34)$$

$$\beta = K \tan \phi_R \quad (3.35)$$

$$\sigma_v' = \gamma' L \quad (3.36)$$

ϕ_R : örselenmiş kilin drenajlı kayma mukavemeti

K: toprak basıncı katsayısı

Toprak basıncı katsayısının hesaplanması normal ve aşırı konsolide killerde farklı yöntemlerle hesaplanmaktadır

Normal konsolide killeri için;

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

Aşırı konsolide killeri için;

$$K = (1 - \sin \phi R)(A. K. O_2^{\frac{1}{2}}) \quad (3.38)$$

Toplam sürtünme ise;

$$Q_s = \Sigma f_s. pL \quad (3.39)$$

3.3 Emniyetli Kazık Taşıma Gücü

$$Q_{em} = \frac{Q_u - W}{G.S} = \frac{Q_u - W}{3} \quad (3.40)$$

Q_u : Kazığın maksimum taşıma gücü

W : Kazık ağırlığı

$Q_u - W$: Bir kazık üzerindeki yük

$G.S$: Güvenlik katsayısı (3 veya 4 alınabilir)

3.4 Kazık Yükleme Deneyleri

Kazık taşıma gücü hangi yöntemle hesaplanırsa hesaplansın, içindeki ortamla olan değişken ilişkisi sebebiyle elde edilen değerler hep kuşkuyla karşılanmaktadır. Bu sebeple projelerde yeterli sayıda kazık çakılıp/üretildikten sonra bunların belirli bir miktarının taşıma gücü kapasiteleri statik veya dinamik yükleme yöntemleriyle birlikte kontrol edilmektedir. İdeal ve önerilen uygulama ise tüm bu işlemlerin kazık imalatına başlamadan önceki süreçte tamamlanmasıdır. Türkiye’deki mevcut uygulama, genelde deneylerin kazıkların üretimi ile aynı vakitte, hatta üretim sonrası şeklinde gerçekleştirilmesidir.

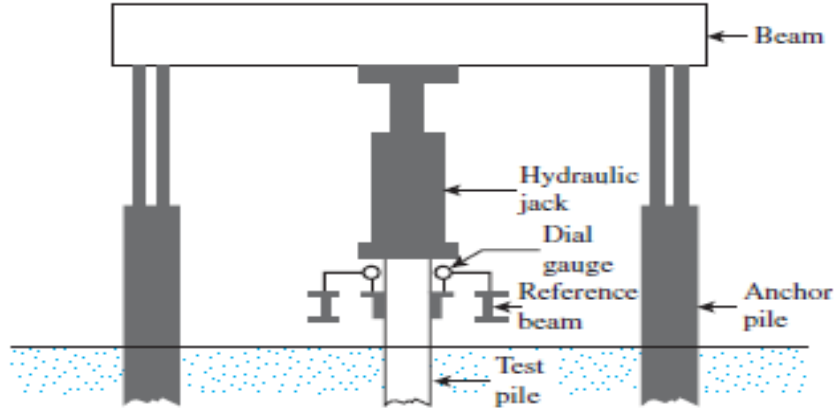
Türkiye’de kazık yükleme deneyi yapılırken TS 3169’da gösterilen standartlara uyulmaktadır. Eksenel yükleme deneyinde yüklenen toplam yük ile kazık başı çökme eğrisi elde edilerek kazığın ‘‘Geoteknik taşıma gücü’’ hesaplanır. Bu yöntemle projelerde

kabul edilebilir eksenel yük ve çökme değerleri saptanabilir. Kazık üzerine yüklenilecek minimum göçme yükü kazık üzerine gelen toplam yükün en az 2 katı olmak zorundadır. Yüklenen yük-çökme grafikleri yardımıyla maksimum kayma, uç kapasite değerleri ve yerinde elastik modül hesaplanabilir.

Kazığın taşıma gücünün belirlenmesinde en etkili ve güvenilir yöntem kazık yükleme deneyleridir. Yükleme deneyi sonrasında saptanan yük-oturma eğrisinin yorumlanması için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlar Terzaghi yöntemi, Boston şartnameleri, %10 kuralı, Brinch Hansen yöntemi, De Beer yöntemi, Fuller ve Hoy yöntemi, Davisson yöntemi, Mazurkiewicz yöntemi, Chin yöntemidir.

Kazık yükleme deneylerinin yapılması ile aşağıda belirtilen bilgilerin biri veya birkaçının saptanması hedeflenmektedir.

- Öğörülen bir zemin içerisinde ve belirlenen bir çap, boy ve yöntem ile üretilen bir kazığın, oluşacak olan proje yükünü taşıyıp taşıyamayacağını belirlenmesi;
- Statik yükleme deneyinin sonucunda saptanan kazığın taşıma gücü kapasitesi ile kazığın statik ve dinamik formüllerle bulunan kapasitesi arasında bir bağlantı saptanması;
- Kazığın yapısal sağlamlığının saptanması;
- Kazığın yük-oturma grafiğı oluşturulup projede oluşan yükün kazık gruplarının oturmasında daha yakın olarak tahmin edilebilmesi;
- Daha sonraki projelerde kullanılabilmesi amacıyla farklı zeminler için yeni korelasyon faktörlerinin saptanması.



Şekil 3.14 Kazık yükleme deney düzeneği (Das 1999).

3.5 Kazık Yükleme Deney Teknikleri

Kazığın dayanıklılığını ve taşıma gücü kapasitesini saptamak için çeşitli deney yöntemleri vardır. Bu yöntemlerden bir kısmı için deney yapım standartları oluşturulmuştur. Birkaç deney yöntemi için ise standart oluşturulmamasına rağmen deneyi uygulama ve analiz kriterleri, deneyleri yapan şirketler tarafından oluşturulmuştur. Deney yöntemleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kazık deney teknikleri.

No	YÖNTEM	UYGULAMA ALANI	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
1	Staik Yükleme Deneyi -Eksenel Basınç -Eksenel Çekme Yanal Yükleme	Bütün Kazıklar	-Kantılanmış. -Yorumu genelde kolaydır.	-Deneyin uygulandığı kazık miktarı azdır. Küçük projeler için pahalıdır. Hazırlanma süresi uzundur.
2	Osterberg Hücresi	H çelik çakma kazıklar ile ahşap kazık dışındaki bütün kazıklar	-Uç ve çevre direncinin ayrı ayrı ölçülebilmesi. -Hazırlanma süresinin kısa olması -Reaksiyon sistemine ihtiyaç yoktur.	-Test edilecek kazık önceden bilinmeli -Orta pahalılıkta
3	Dinamik Kazık Deneyi	Çakma kazıklar, Güçlendirilmiş fore kazıklar	-Ekonomik. -Yüksek oranda kazık deneyi yapılabilmesi, -Yük oturma tahmini yapılabilmesi. -Kanıtlanmış.	-Statik deneylerle test edilmesi gerekli -Yorumlamak için tecrübe gerektirir. -Zaman faktörü
4	Yarı-statik Deneyler -Simbat -Statnamic	Bütün Kazıklar	-Yük oturma tahmini -Orta pahalılıktadır. -Deneyin uygulanma zamanı kısadır.	-Sonuçların yorumu için uzmanlık gerektirir.
5	Süreklilik Deneyleri	Bütün Kazıklar	-Hızlı, ekonomik	-Kazık kapasitesi hakkında bilgi vermez
6	Sonik Süreklilik Deneyleri	Fore kazıklar, Baret kazıklar	-Hızlı ekonomik -Boy sınırı yoktur	-Kazık kapasitesi hakkında bilgi vermez.
7	Enstrümantasyonlu Deneyler	Bütün kazıklar	Sürtünmenin derinlikle değişimi	-Orta pahalılıkta

3.5.1 Statik Yükleme Deneyleri

Statik yükleme deneyleri, kazıkların taşıma kapasiteleri tayininde kullanılan en önemli yöntemlerdendir. Statik yükleme deneyi, belirli zamanlarda kazığın yüklenerek kazıkta oluşan yer değiştirmelerin tespit edilmesi şeklinde uygulanır.

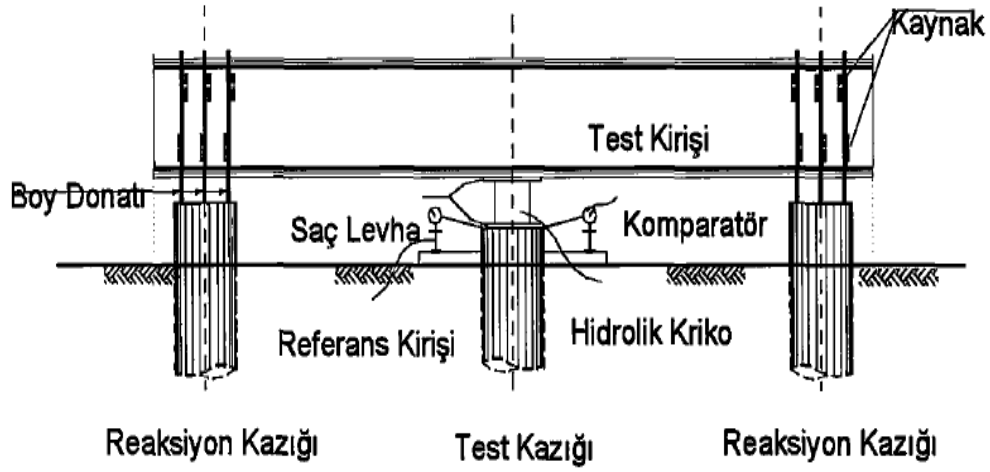
Statik yükleme deneyleri iki farklı grupta incelenebilir. Göçme yükleme deneyleri, kazığın göçtüğü zamana kadar sürdürülen deneylerdir ve kazığa uygulanan yükün artırılmasıyla veya yük artırımını olmadan oluşan aşırı yer değiştirmelerin olduğu göçme yükünün saptanması esasına dayanır. Bu yükleme deneyi pahalı ve zaman alan bir deney olduğu için tercih edilmemektedir.

Statik yükleme kanıtlama deneyi, kazığın proje yükünü taşımadaki performansını saptamak için uygulanır ve kazık proje yükünün 1.5-2.0 katına kadar yük uygulanır. Bu deney kazığın göçtüğü süreye kadar uygulanmadığı için maliyet olarak düşüktür ve pratikte daha uygulanabilir bir yöntemdir.

Statik kazık yükleme deneyleri yükün uygulanma yöntemlerine göre üç farklı grupta toplanır.

3.5.1.1 Eksenel Basınç Deneyi

Kazıklara düşey taşıma güçleri tayininin yapılabilmesi için eksenel basınç deneyi uygulanır. Eksenel basınç etkisi altındaki kazık yükleme deney yöntemleri ASTM D-1143'te detaylı olarak verilmiştir. Tipik basınç yükleme deney düzeneği şekil 3.15'de verilmektedir.



Şekil 3.15 Eksenel basınç deney düzeneği.

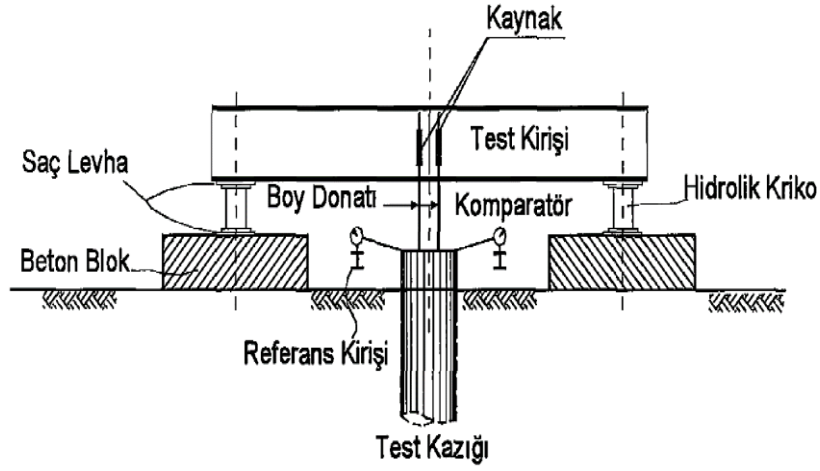


Resim 3.1 Eksenel basınç deney düzeneği.

3.5.1.2 Eksenel Çekme Deneyi

Eksenel çekme deneylerinin yapılış amacı kazıkların maksimum çekme kapasitelerinin tayini için yapılmaktadır. Yüksek devrilme momentine maruz kalan baca, kule gibi yapıların altındaki kazıklarda büyük ölçüde çekme kuvveti oluşmaktadır. Son zamanlarda deprem bölgelerinde yer alan yapıların temellerindeki kazıklara çekme deneyi

uygulanmaktadır. Yapım teknikleri ASTM D-3689’da verilmiştir. Çekme deney düzeneği Şekil 3.16’da verilmektedir.



Şekil 3.16 Eksenel çekme deney düzeneği.

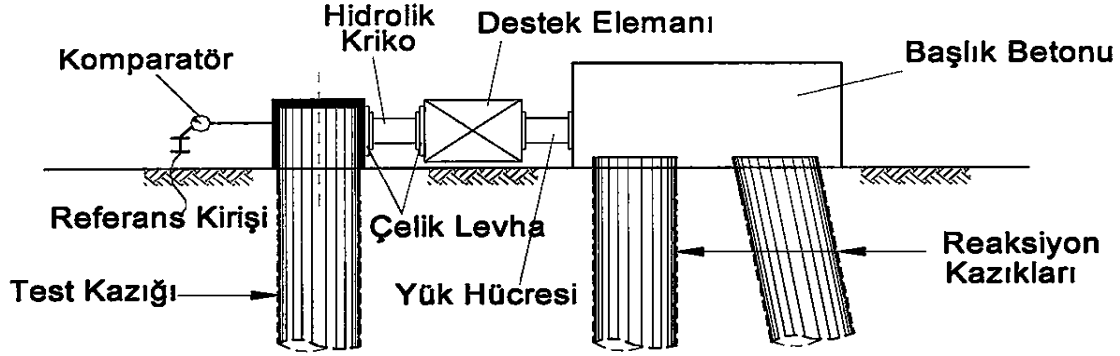


Resim 3.2 Eksenel çekme deney düzeneği.

3.5.1.3 Yanal Yükleme Deneyi

Yanal yükleme deneyleri; deprem kuvveti, gemi çarpma ve çekme yükü gibi yüksek derecede yanal yükler etkisi altında kalan kazıklara yapılmaktadır. Yanal yükleme deneylerinin yapılmasındaki amaç proje tasarımında kullanılacak olan p-y grafiklerinin

oluşturulması ve bu grafiklerin geçerliliğinin kontrol edilmesidir. Yanal yükleme deneyinin yapım yöntemleri ASTM D-3966'da verilmiştir. Yanal yükleme deney düzeneği Şekil 3.17'de verilmektedir.



Şekil 3.17 Yanal yükleme deney düzeneği.

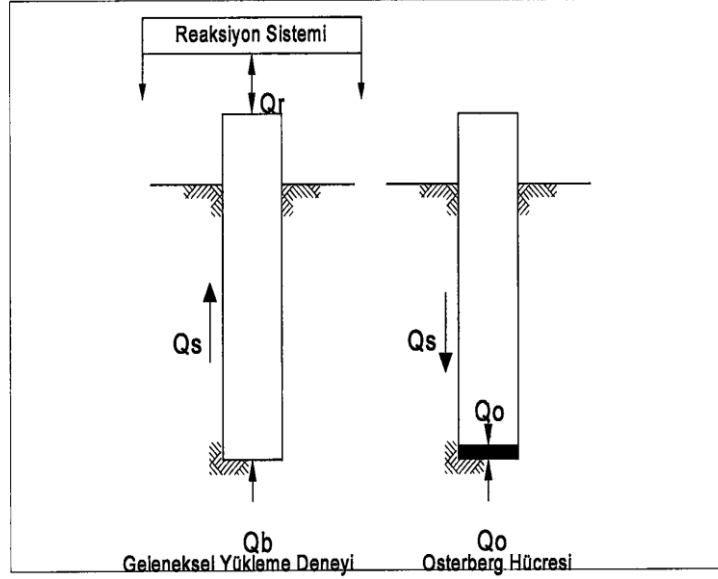


Resim 3.3 Yanal yükleme deney düzeneği.

3.5.1.4 Osterberg Hücresi

Osterberg hücresi (Osterberg 1995), fore kazıkların statik açıdan testlerinin yapılabilmesi için son zamanlarda geliştirilen bir yöntemdir. Kullanılmakta olan deney düzeneği ile

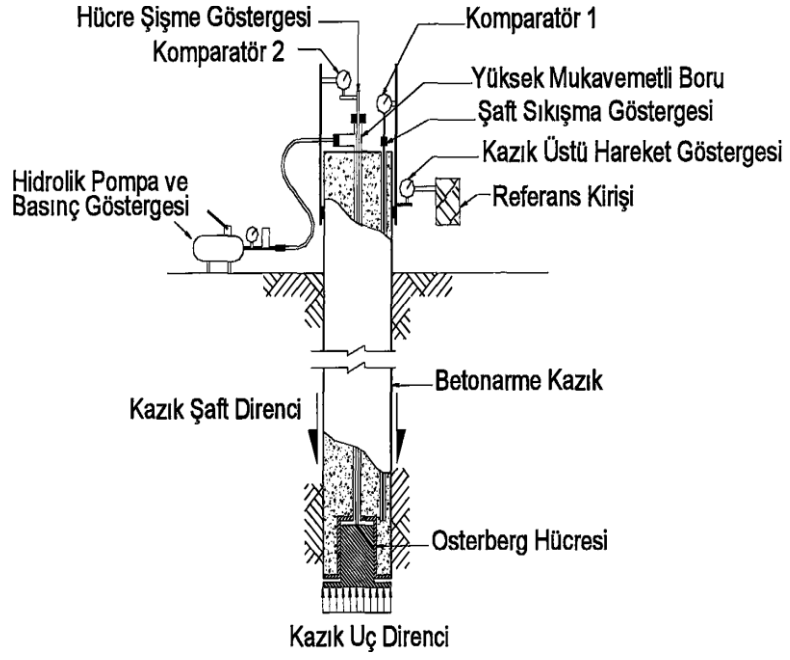
yüklemeye deney reaksiyon sistemine gerek duymaksızın uygulanabilir. Şekil 3.18’de klasik statik kazık yüklemeye deneyi ile Osterberg hücresi arasındaki farklar verilmiştir.



Şekil 3.18 Klasik statik yüklemeye deneyi ile osterberg hücresi karşılaştırılması.

Klasik yöntemlerle uygulanan statik yüklemeye deneylerinde, deney yükü bir tepki sistemiyle kazık başlığına iletilir. Burada kazık çevre sürtünmesi ve uç direncinin okunabilmesi sadece gerinim ölçerler aracılığıyla olmaktadır.

Osterberg hücresiyle yapılan statik kazık yüklemeye deneyinde ise, yük kazığın alt tarafından etkileşim sağlamaktadır (Şekil 3.19). Deney kazık çevre sürtünmesi veya uç direncinden bir tanesi nihai sınıra ulaştıktan sonra tamamlanmaktadır.



Şekil 3.19 Osterberg hücresi deney düzeneği.



Resim 3.4 Osterberg deney yapılışı.

Statik kazık yükleme deneylerinde göz önünde bulundurulacak göçme yükü kriterleri aşağıdaki gibi verilmektedir.

Çizelge 3.3 Yükleme deney kriterleri.

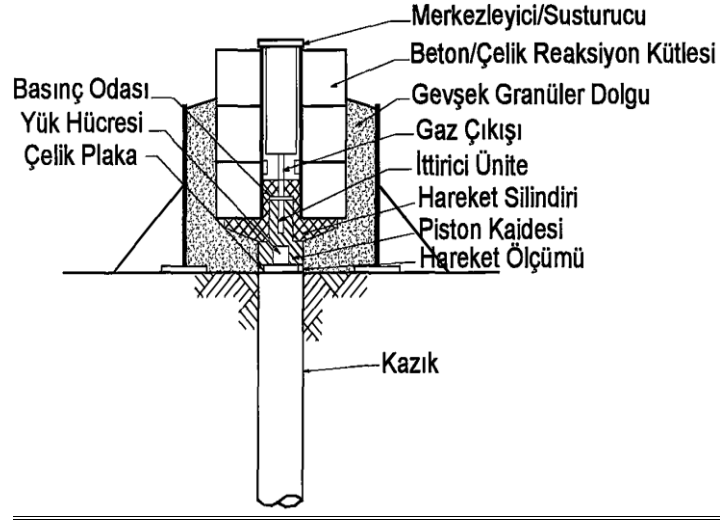
Tanım	Kullanılan Kriter
Toplam Oturma Sınırlaması	Max. 25 mm (Hollanda)
Plastik Oturma Sınırlaması	6,30 mm (AASHO)
Plastik Oturma Sınırlaması	8,40 mm (magnet)
Plastik Oturma Sınırlaması	12,70 mm (Boston)
Sınır(Plastik Oturma / Elastik Oturma)	Max. 1,50 (Cristiani-Nielsen)
Toplam Oturma / Yük Sınırlaması	6,35 mm / ton (California, Chicago)
Toplam Oturma / Yük Sınırlaması	0,76 mm / ton (Ohio)
Toplam Oturma / Yük Sınırlaması	1,27 mm / ton (Raymond)
Toplam Plastik Oturma / Yük Oranı	1,5 mm / ton (Raymond)
Kademeli Plastik Oturma / Yük Oranı	4,5 mm / ton (Raymond)

3.5.2 Yarı Statik Deneyler

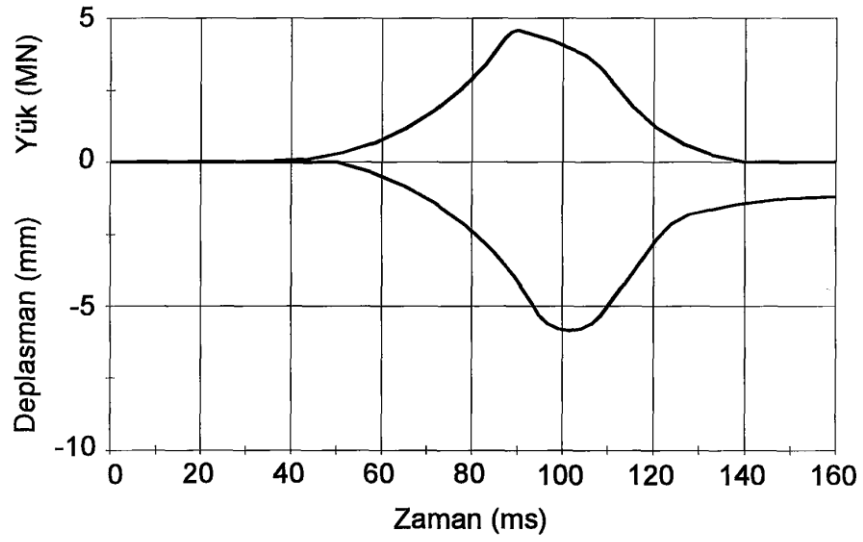
3.5.2.1 Statnamic

Bu yöntem kazık taşıma gücü kapasitesinin tayini için son zamanlarda geliştirilen bir deney yöntemidir (Birmingham 1989). İçerisinde katı yakıt bulunan bir basınç odası içerisinde, yakıtın ateşlenmesiyle oluşan basıncın yükselerek tepki kütlesiyle etkileşimde bulunan kaldırma kuvvetinin zıt kutuplarında ve aynı değerdeki bir kuvvet ile birlikte kazığın aşağı doğru hareket edilmesini sağlar. Gaz basıncının azalması ile kazık yükü dışarıya atılmış olur. İvme ölçer yük hücresi ve lazer sensörü yardımıyla ivme, yük ve kazığın yaptığı mesafe ölçülür.

Statnamic deney düzeneği Şekil 3.20’de gösterilmektedir. Gösterilecek yükün değeri ve süresi; piston, yakıt boyutu, reaksiyon kütlesi ile ilişkilidir. Deneyin sonucunda okunan yük – deplasman kayıtlarını işaret eden sinyaller Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20 Statnamic deney sisteminin şematik görünümü.



Şekil 3.21 Statnamic sinyalleri.



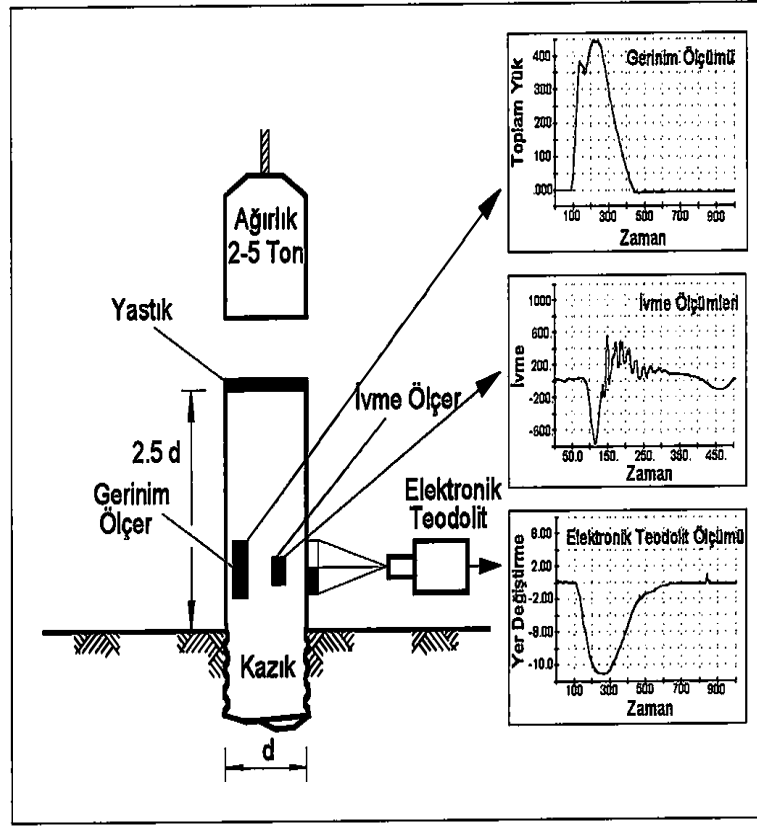
Resim 3.5 Statnamic deney yapılışı.

Kazıkların statik taşıma gücünü saptamak amacıyla yapılan Statnamic Deneyi, çelik, beton ve ahşap kazıklar üzerine uygulanan basınç ve yanal yükleme deneylerinde kullanılmaktadır.

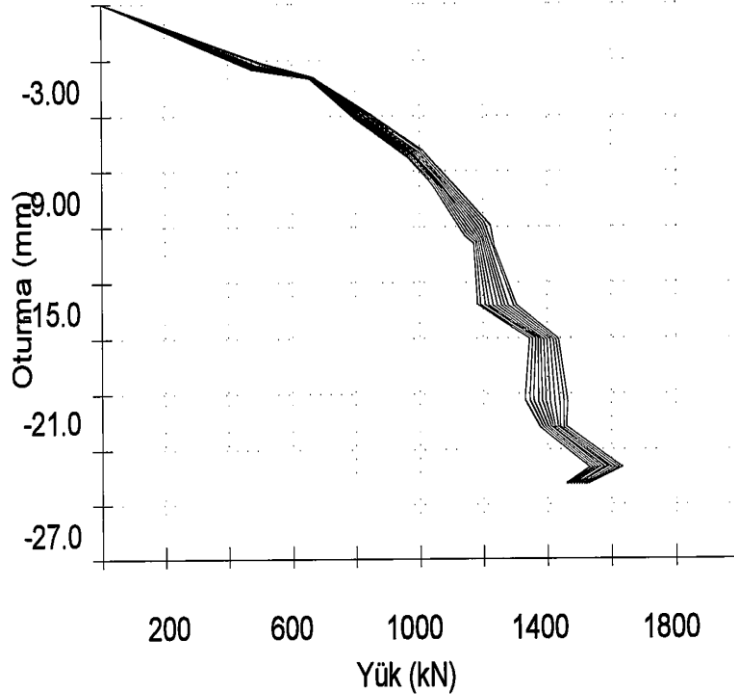
3.5.2.2 Simbat

Fransız bir firma olan CEBTP tarafından piyasaya sürülen ve kazıkların yük-oturma hareketlerini dinamik okumalarla saptamaya çalışan statik bir deneydir (Stain 1992).

Üretilen kazık çapının yaklaşık olarak 2-2.5 katı yüksekliğinde donatılı bir kazık başlığı oluşturulmaktadır. Üretilen bu kazık başlığının üst kısmına 2 tane ivme ölçer ve 2 tane de gerinim ölçer koyulmaktadır. Farklı mesafelerden serbest düşmeye bırakılan ağırlıklar sebebiyle oluşan ivme, deplasman ve gerinim değerleri saptanmaktadır.



Şekil 3.22 Simbat deney düzeneği.



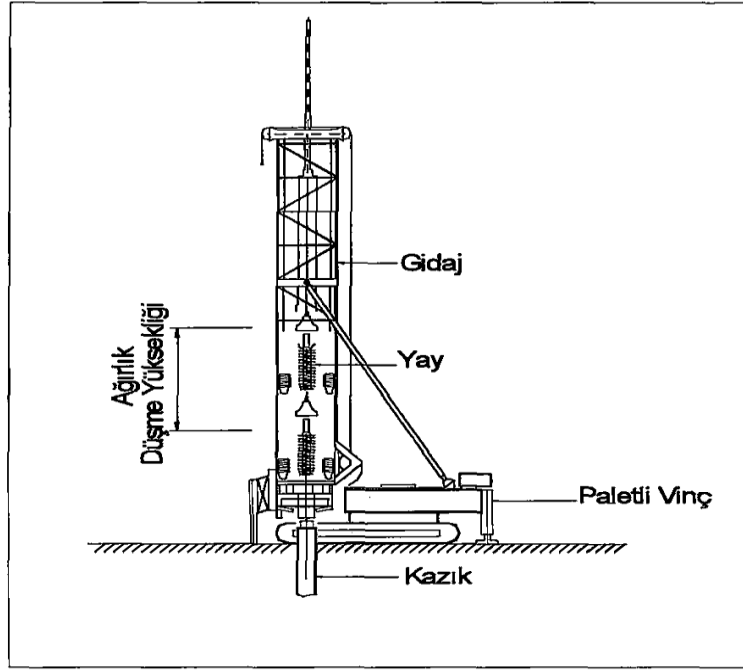
Şekil 3.23 Simbat deneyi öngörülen yük-oturma eğrisi.



Resim 3.6 Simbat deneyinin yapılışı.

3.5.2.3 PSPLT

Fundex ve İfco'nun bulduğu, kazıkların yarı statik deneyleri için geliştirilen bir yöntemdir (Schellingerhout 1996). Deneyin sistem hareketi, Şekil 3.24'de verilen düzenekte görülebileceği üzere çakma gıdajın üst kısmına yerleştirilen ağırlığın yaylı bir mekanizma vasıtasıyla sık tekrarlarla belirli bir mesafeden düşürülmesine dayanır. Deney yapılırken kazığın üst tarafına yerleştirilen yük hücresi yardımıyla ölçüm yapılır. Kazığın hareketliliği ise kazıklar arasında 10 m mesafe olacak şekilde konumlandırılan optik seviye ölçerler sayesinde yapılmaktadır. Tüm bu ölçümlerin sonucunda yük-oturma grafiği elde edilmektedir.



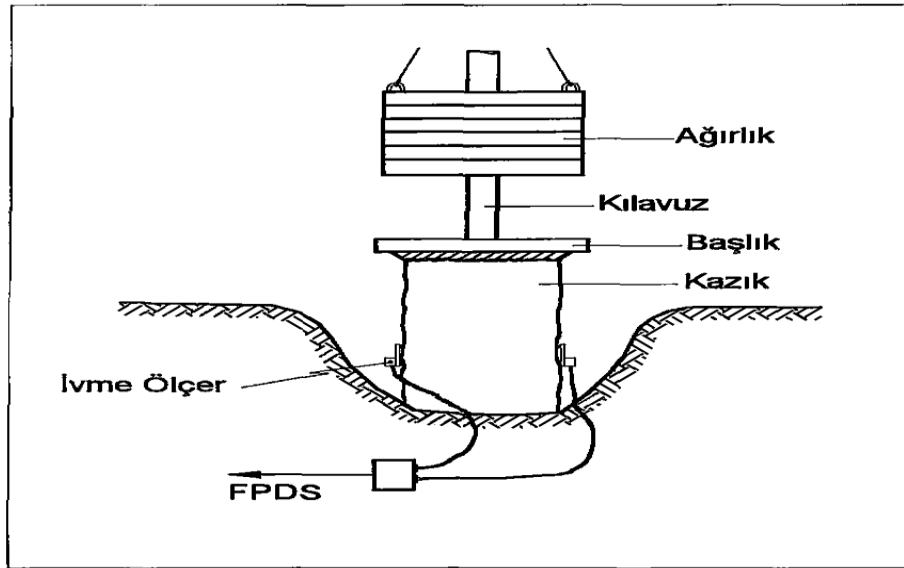
Şekil 3.24 PSPLT deney düzeneği.

3.5.3 Dinamik Kazık Yükleme Deneyleri

Bu deneyler, kazıklar yerine çakılırken veya çakıldıktan sonra kazığın başlık bölgesine yakın bir noktaya konumlandırılan ivme ve gerinim ölçerler yardımıyla kazıkta oluşan gerilmeleri, kazığın dayanıklılığını, dayanıklılığını ve statik kazık kapasitesini saptamak için kullanılmaktadır.



Resim 3.7 Dinamik kazık yükleme deney yapılışı.

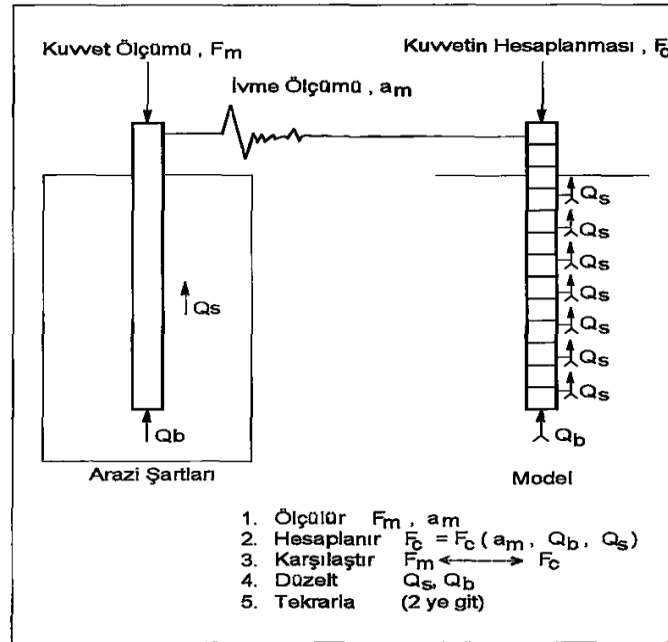


Şekil 3.25 Dinamik kazık yükleme deney düzeneği.

Her iki yöntem için de kazıkların çakılmasında kullanılan çekiç yardımıyla meydana gelen basınç dalgalarının üst taraflara doğru yansımalarının ölçülmesi esasına dayanır.

Dünyada yaygın olarak kullanılan 2 adet yöntem vardır.

Birinci yöntemde ABD Pile Dynamics Inc. Tarafından piyasaya sürülen ve PDA (Pile Driving Analyzer) cihazı ile okunan gerinim ve ivme büyüklükleri CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program) bilgisayar programı yoluyla taşıma güçleri hesaplanmaktadır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 CAPWAP analiz yöntem gösterimi.

Diğer bir yöntem ise Hollanda Menşei TNO tarafından piyasaya sürülmüş FPDS (Foundation Pile Diagnostic) ile kazığın başlık bölgesine koyulan cihazlar aracılığıyla okunan dalgalar saklanır. TNOWAVE bilgisayar yazılımı yardımıyla da kazık taşıma gücü hesaplanmaktadır.

Statik kazıkların hareketlerinin ispat edilebilirliğini saptamak için statik ve dinamik kazık taşıma güçleri arasında bir bağlantı olmalıdır. Bu bağlantıyı saptayabilmek için statik yükleme deneyinin yapılması gerekir. Ancak birbirine yakın değerlere sahip zeminler ve

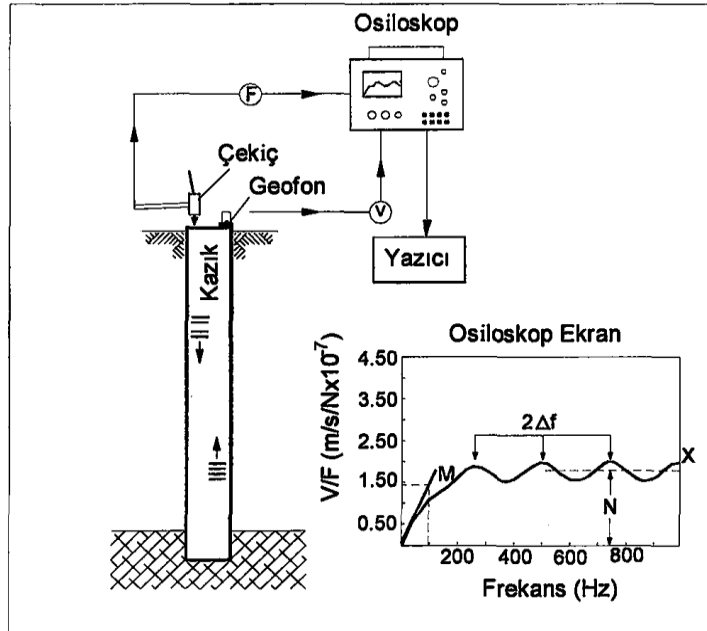
kazıklar için bu deneylere ihtiyaç duyulmaksızın tecrübelerle dayalı olarak değerler atanabilir.

3.5.4 Tahribatsız Dinamik Kazık Deneyleri

Tahribatsız dinamik kazık deneyleri beton veya için betonlu çelik kazık gibi yüksek dayanımlı kazıkların uzunluğunu veya devamlılığını saptamak için kullanılmaktadır. Bu deneyler iki farklı gruba ayrılmaktadır.

3.5.4.1 Vibrasyon Deneyi

Kazıkta meydana gelen dinamik kuvvetin miktarını saptamak amacıyla yük hücresi içersine yerleştirilmiş çekiç ile kazık başlığına kuvvet uygulanır. Dalga geriye dönüş hızı geofon ile okunur. Okunan değerlerin sonucunda Frekans-Hız / Kuvvet grafikleri elde edilir. Bu grafikler yardımıyla kazığın uzunluğu, kalitesi ve kesit alanı hakkında bilgiler toplanır. Kazığın uzunluğu 3.41 bağıntısı yardımıyla, kazık kesit alanı ise 3.42 yardımıyla bulunur (Reese 1988).



Şekil 3.27 Vibrasyon deney düzeneği.

$$L = V_c / 2\Delta f \quad (3.41)$$

Burada:

L: Kazık Boyu

V_c : Dalga Hızı

$2\Delta f$: Frekans Değişim Aralığı

$$N = \frac{L}{\gamma_c} \cdot V_c \cdot A_c \quad (3.42)$$

Burada:

γ_c : Betonun Birim Hacim Ağırlığı

V_c : Kazık Kesit Alanı

N: Ortalama V/F Değeri



Resim 3.8 Vibrasyon deney yapılışı.

3.5.4.2 Sismik Süreklilik Deneyi

Bu deneyde kazığın başlık bölgesinin çekiç yardımıyla uygulanan kuvvetin meydana getirdiği basınç dalgalarının beton içerisinde hareket ederek kazığın uç kısmından yansıyor geri gelmesine kadar geçen sürenin hesaplanması esasına dayanmaktadır (İnt.Kyn.1).

Eğer kazık boyu biliniyorsa dalganın yayılma hızı:

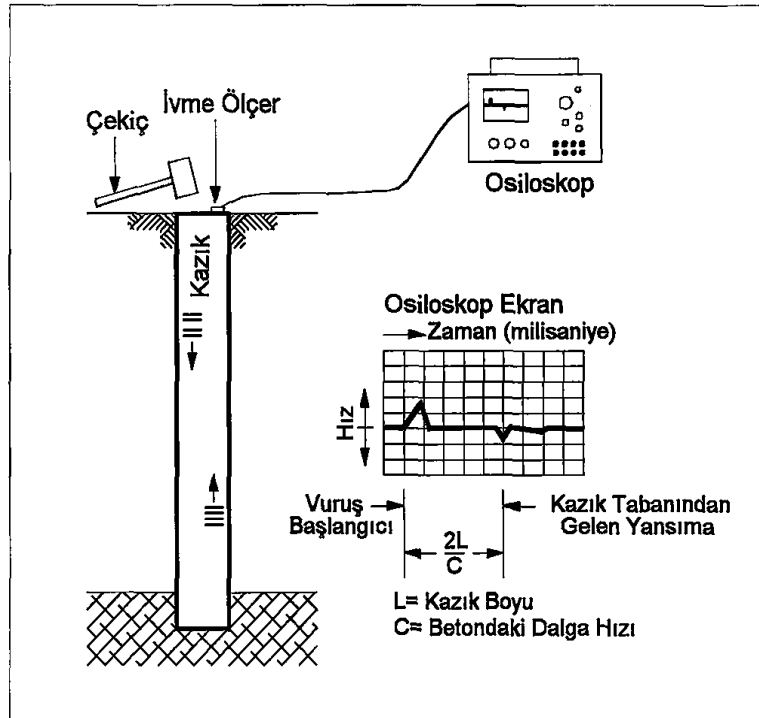
$$V_c = 2L/\Delta t \quad (3.43)$$

V_c : Ses dalgasının beton içinde yayılma hızı

Δt : Geçen süre

L : Kazık boyu

Betonun kalitesine göre dalga hızı ile bağlantı kurularak betonun içerisinde bozukluk olup olmadığı saptanabilmektedir. Aynı şekilde kazık beton kalitesinin farklılık göstermediği durumlarda da kazığın uzunluğu belirlenmiş olur.



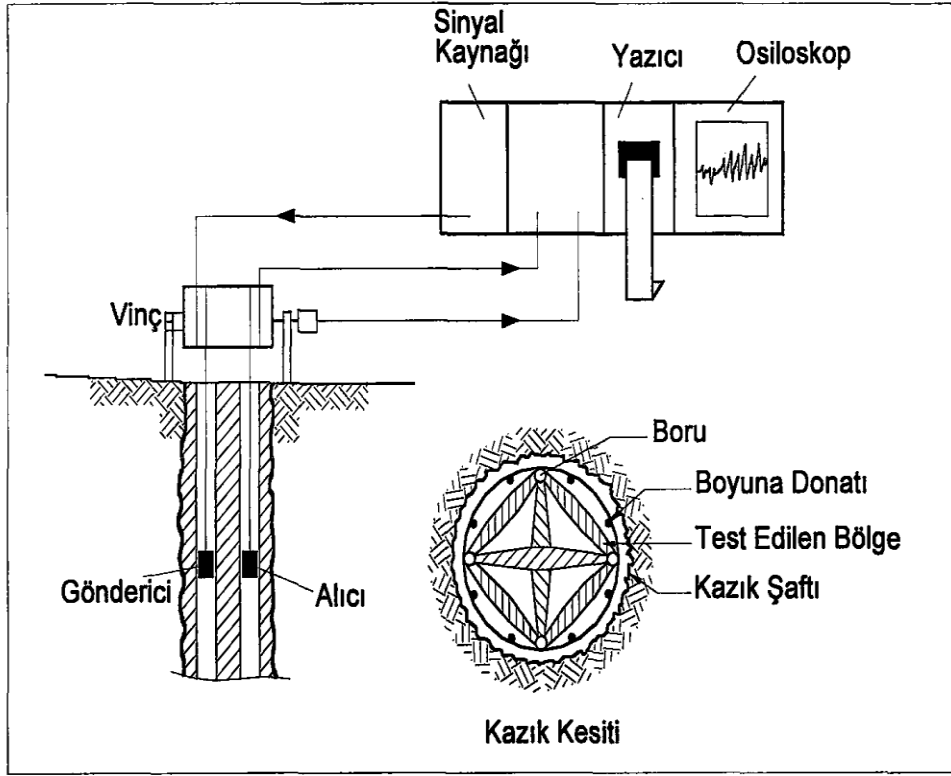
Şekil 3.28 Sismik süreklilik deney düzeneği.



Resim 3.9 Sismik süreklilik deney yapılışı.

3.5.4.3 Sonik Süreklilik Deneyi

Boş kazığın içine konumlandırılan kılavuz borulardan alınan ses kaynağı aracılığıyla gönderilen sinyallerin diğer borulardan alınan alıcı yardımıyla kaydedilir. Bu ses dalgalarının hızının saptanabilmesi beton kalitesi hakkında bilgi vermektedir. Bu deneyin diğerlerine göre avantajı kazık boyunca kazık kesitinin taranabilmesidir (İnt.Kyn.2). Deney düzeneği ve kazık kesitinin taranan kısmı Şekil 3.29’da verilmiştir.



Şekil 3.29 Sonik süreklilik deneyi.



Resim 3.10 Çapraz sonik süreklilik testi.

3.6 Statik Yükleme Deneyi Yapım Yöntemleri

Mevcut statik yükleme deney çeşitleri olarak uygulanan birden fazla yöntem bulunmaktadır. ASTM’ de belirtilen yavaş kademeli yükleme deneyi en yaygın olarak kullanılan deney yöntemlerindendir. Bu çalışmada kullanılan kazık nihai taşıma güç değerlerinin alındığı kazık yükleme deneylerinde de yavaş kademeli yükleme deneyi kullanılmıştır. Bir diğeri ise sabit hızlı penatrasyon deneyidir. Bu diğeri yöntemlere göre daha az yaygındır. Üçüncü olarak ise çevrimsel deney yöntemi vardır. Bu 3 yöntem ana yöntemlerdir. Bunların dışında kullanılan ve bu yöntemlerle ilişkili olarak elde edilmiş olan birçok yan yöntem bulunmaktadır.

3.6.1 Kademeli Yavaş Yükleme Deneyi (SML)

Bu deney, temel yer değiştirmesini bitirene kadar veya yer değiştirmenin hızı kabul edilebilir miktarlar arasında kalıncaya kadar uygulanan yükler artırılarak devam etmektedir.

ASTM D1143-07 numaralı şartnameye göre kademeli yavaş yükleme deneyinde projedeki toplam yükün %200’ üne sekiz eşit kademede yüklenmektedir. Yüklendikten sonra yük dört eşit kademede boşaltılır. Her farklı seviye kademesinde oturmadaki yükselme oranı 0.25 mm/saat olana kadar veya maksimum 2 saat beklenir. Deney sonundaki kademede ise 24 saat beklenilmektedir. Deney, ortalama olarak 48-72 saat gibi bir zamanda bitmektedir. Burada verilen 0.25 mm/saat oranındaki oturma değeri sıfır oturma olarak isimlendirilmektedir.

3.6.2 Sabit Penatrasyon Oranlı Yükleme Deneyi (CRP)

Bu deney, çalışma prensibi olarak kademeli yavaş yükleme deneyinin tam zıttı mantıkla çalışmaktadır. Bu deneyde kazığa yük uygulanarak daha önceden hesaplanan bir oranda oturtulmaktadır. Bu oran çoğunlukla 0.5 mm/dakikadır. Kazığın oturmasına eşdeğer gelen yük kademeleri saklanır. Kazık 50-75 mm arasında yer değiştirene kadar veya

maksimum kazık taşıma gücü aşıldığında durdurulur. Deney ortalama olarak 2-3 saat arasında sürmektedir.

Bu deneyden kazık ile ilgili bazı bilgiler edinilmektedir. Bu şartlarda kazığın, uç kazığı veya sürtünme kazığı olup olmadığını anlaşılabilmektedir.

3.6.3 Çevirmeli Yükleme Deneyi (CL)

Yüklemeli deney yöntemlerinden çoğu çevirmeli yükleme deneyi olarak adlandırılır. Yükleme boşaltma prosedürü hedeflenen maksimum değere ulaşıncaya kadar servis yükünün yarısına eşdeğer yükler için tekrarlanmaktadır.

3.6.4 Hızlı Kademeli Yükleme Deneyi (QML)

Bu deney yönteminin CRP deney yöntemiyle benzer olan tarafı oturmanın zamana göre değişkenlerini göz önünde bulundurmamasıdır. QML yönteminde ise kazık, proje yükünün %300'üne kadar yüklenmektedir. Toplamda servis yükünün %15'ine eşdeğer olacak 20 tane yük kademesiyle yüklenir. Her bir kademedeki arası 15 dakikadır ve toplamda 3 dakikalık okumalar alınır. Deney toplamda 3-5 saat arasında tamamlanmaktadır.

Elde edilen bulgulara göre CRP ve QML deneylerinden oluşturulan grafikler benzer olmaktadır.

Deney ekonomik ve hızlıdır ancak oturma tahmini yapmaya elverişli değildir.

3.7 Deney Yöntemlerinin Karşılaştırılması

SML ile CL deney yöntemleri diğer yöntemlere göre daha fazla vakit almaktadır. Bu deney yöntemlerine karar vermeden önce yöntemlerin neden tercih edileceğinin kararı verilmelidir. Çünkü bu deneyler diğerlerine kıyasla daha fazla vakit almaktadır ve ekonomik değildir.

QML deney yöntemiyle CRP deney yöntemi kıyaslandığına birbirine benzer grafikler elde edildiği gözlemlenmiştir. QML yöntemiyle oluşturulan grafik çoğunlukla kohezyonlu zeminlerde kazık davranışını göstermektedir.

CL deney yöntemi diğer yöntemi diğer yöntemlere kıyasla ekonomik değildir ve daha uzun zaman alır. Bu yöntem genellikle kazıkların tasarımlarında tekrar eden yüklemeler söz konusu ile uygulanmaktadır.

3.8 Kazık Yükleme Deneylerinden Taşıma Gücü Hesaplanması

Kazıkların maksimum taşıyabileceği kapasiteyi saptayabilmek için kazık yükleme deneyleri yapılmaktadır. Kazığın taşıyacağı emniyetli yükü bulabilmek için bir güvenlik katsayısı belirleyip, kazık taşıma gücünün o değere bölünmesiyle elde edilir. Literatürde Tomlinson (2004) ve Fleming (2008) aracılığıyla ortaya atılan kazığın göçme yükünün tayini için belirtilen maddeler şunlardır;

- 1- Oturmanın sonlanmaması fakat uygulanan yükün artmaması,
 - 2- Aşırı oturmaların çok az yük artışlarıyla meydana gelmesi,
 - 3- Kazığın çapının 10'da 1 i oturmaya,
- Sebepler olarak belirtilmiştir.

Deney sonuçları eğer düzgün bir şekilde yorumlanırsa kullanılan teorik göçme yükü betimlemeleri yeterli olmaktadır. Göçme tayininin en net şekilde bulunabilmesi için kazığın büyük miktarda hareket etmesi gerekmektedir. Kaba daneli zeminlere uygulanan yükleme deneylerinde, kazığın 10'da 1 oranda yer değiştirmesine veya zeminin içerisindeki hareketine sebep olacak yükün uygulanması pratikte çok fazla kolay değildir.

3.8.1 Brinch Hansen %80 Yöntemi

Brinch Hansenin kabulüne göre %80'deki oturmanın 4 kat büyüklüğündeki oturmaya sebep olan yük büyüklüğü göçme yükünün tanımıdır (Brinch Hansen 1963).

Bu yöntemle göre her kırılma noktasındaki değerin kareköküne eşdeğer gelen yük değerine oranından saptanan değer ile kazığının hareket büyüklüğünün grafiği oluşturulur. Belli bi değerden sonra sabit gitmektedir (Bearing Capacity of Soils 1993). Bu grafik Şekil 3.30'da verilmiştir. Ampirik yöntemlerle ise şu şekilde belirlenmektedir.

$$Q_{ult} = \frac{1}{2\sqrt{C_1 C_2}} \quad (3.44)$$

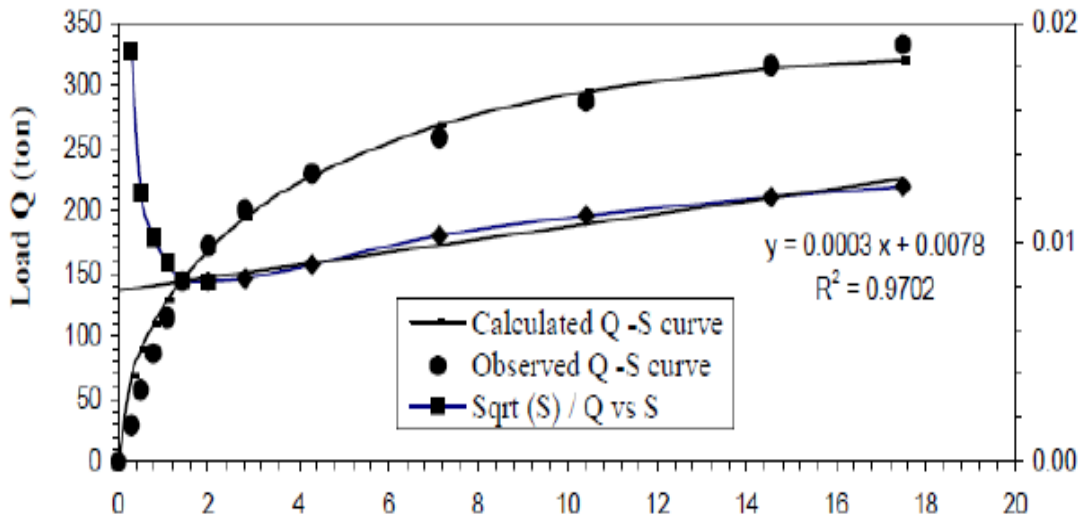
$$\gamma_{ult} = \frac{C_2}{C_1} \quad (3.45)$$

Q_{ult} : Göçme yükü,

γ_{ult} : Göçme yükünde oluşan deplasman

C_1 : Doğrunun eğimi,

C_2 : Doğrunun y ekseninin kestiği nokta.

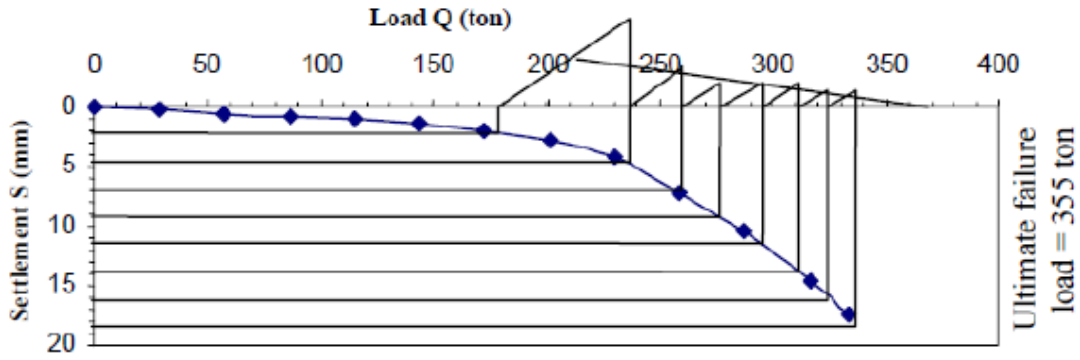


Şekil 3.30 Brinch Hansen %80 yöntemi.

Yükleme deney yöntemlerinden olan yavaş ve hızlı kademeli yüklemeye deneyleri için bu yöntem önerilmektedir.

3.8.2 Mazurkiewicz Yöntemi

Mazurkiewicz'in (1972) kabulüne göre, yük-oturma grafiğinin oturma eksenini eşit parçalara ayrılarak yük eksenine doğru eşit doğrular çizilir. Bu parçaların yük-oturma eksenine birleştiği noktalar dikmeler atılır bunlar birleştirilerek yeni doğrular oluşturulur (Fellini 1975). Bu doğrunun yük eğrisiyle kesiştiği bölgeler göçme yükünü ifade etmektedir. Şekil 3.31'de gösterilmiştir.



Şekil 3.31 Mazurkiewicz yöntemi.

3.8.3 Decourt Yöntemi

Bu yöntemin kabulüne göre, yük-oturma grafiği her yükün ona karşılık gelen oturma değerine oranı yardımıyla oluşturulmaktadır. Eğri absise yakın değerler almaya başladığında sabitleşir ve absis noktası ile birleşir. Bu noktalara lineer regresyon yöntemi uygulanır ve bu doğrunun absisteki noktalara eşdeğer yük değerine Decourt limit değeri adı verilir (Decourt 1999).

Göçme yükünün belirlenmesi ise aşağıdaki amprik formül yardımıyla belirlenmektedir.

$$Q_{ult} = \frac{C_2}{C_1} \quad 3.46$$

İdeal eğrinin formülü ise;

$$Q = \frac{C_2 \gamma}{1 - C_1 \gamma} \quad 3.47$$

Q_{ult} : Göçme yükü,

Q : Uygulanan yük,

γ : Oturma,

C_1 : Regresyon doğrusunun eğimi

C_2 : Regresyon doğrusunun düşey eksenin kestiği değer.

3.8.4 Davisson Yöntemi

Davisson kabulüne göre göçme yükünün saptanması için, belirtilen oturma değerine eşdeğer yük göçme yükü olarak belirtilir (Leonards and Lovel 1978).

Oturmayı belirleyen formül 3.48'de verilmiştir.

$$\gamma_c = QL/AE \quad (3.48)$$

$$x = 3.81 + D/120 \quad (3.49)$$

γ_c : Kazığın elastik boy kısalması (mm),

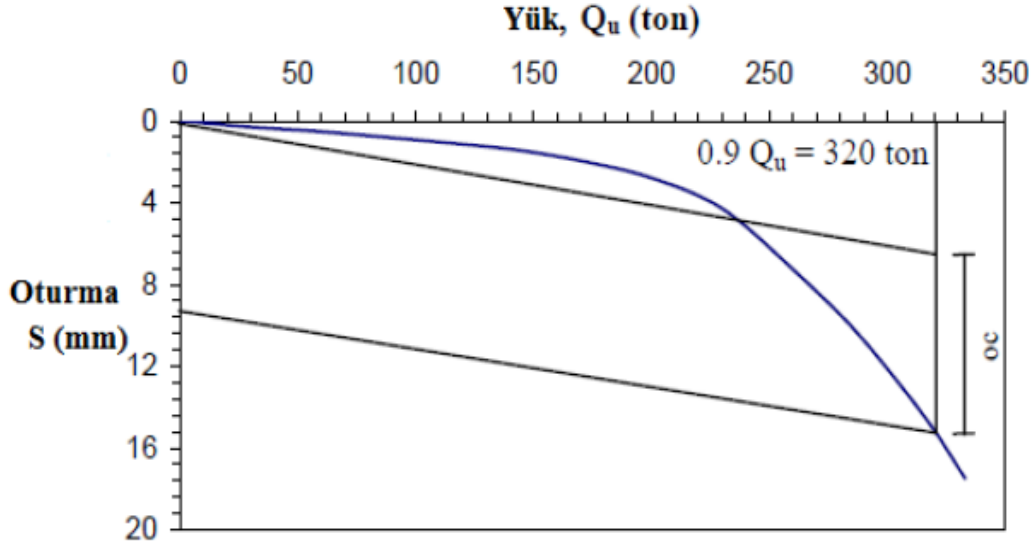
Q : Kazığa uygulanan yük,

L : Kazık boyu,

A : Kazık kesit alanı,

E : Kazığın elastisite modülü.

Davisson yöntemine göre göçme yükü tayini için ilk olarak elastik boy kısalması (γ_c) belirlenmelidir. Daha sonra sıfır noktasına yer değiştirme noktasına doğru paralel bir eksen çizilir. (Şekil 3.32). Çizilen bu eksene x mesafeden bir eksen daha çizilir. Ve bu ekseni oturma eğrisiyle birleştiği noktadır.

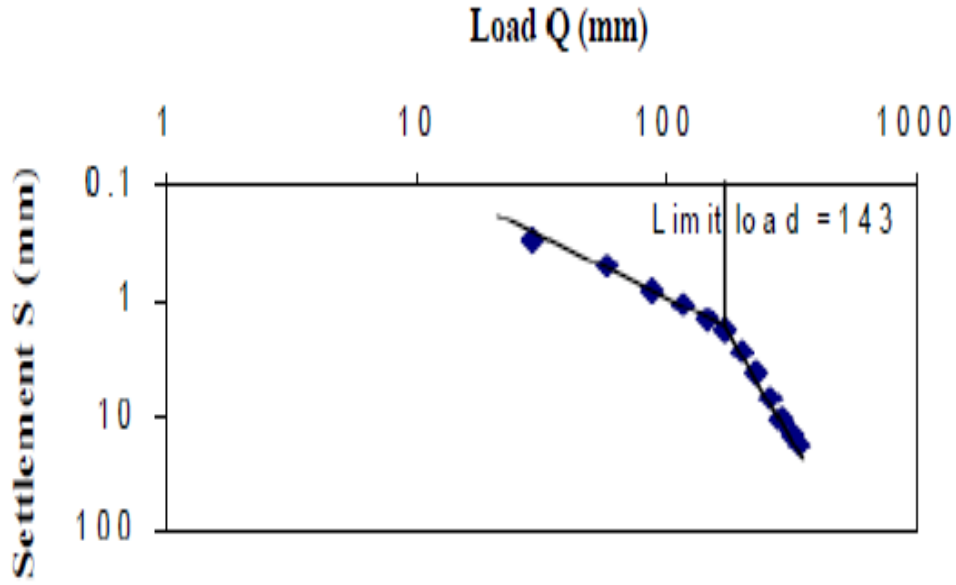


Şekil 3.32 Davisson yöntemi.

Genellikle çakma kazıklar ve yavaş kademeli yükleme deneyleri için tavsiye edilen bir yöntemdir. Yöntem kazığın fiziksel durumunu esas alarak değerlendirdiği için diğer yöntemlere göre avantajlıdır. Elastisite modülü kazığın bölgelerinde aynı değere sahip olmadığı için, imalattan kaynaklı bu durum da göz önüne alınır ve diğer yöntemlere göre dezavantaj olarak görülmektedir.

3.8.5 De Beer Yöntemi

De Beer kabulüne göre yük-oturma grafiğine tüm değerler logaritmik eksenle işlenir. Deneyde göçme yükünün aşılması durumunda iki adet düz doğru belirlemektedir. Ve bu doğruların kesişme noktası da göçme yükünü verir (Fellenius 1975). Şekil 3.33’de gösterilmektedir.



Şekil 3.33 De Beer yöntemi.

SML deneyi için önerilen bir yöntemdir.

3.9 Statik Kazık Yükleme Deney Yapılışı

Statik kazık yükleme deneyleri kazığa uygulanması planlanan yük çeşitleri olarak iki farklı şekilde yapılabilmektedir.

- Ölü yük (beton blok, inşaat demiri vb.) kullanarak
- Çekme kazıkları kullanarak.

Yukarıdaki yöntemlerden herhangi bir tanesi ile sağlanmaya çalışılan düşey deney yükü hidrolik krik o veya krikolar yardımıyla deney kazığına kazıkta esnemeye yol açmayacak şekilde yüklenir. Hidrolik krik o, elektrikli pompa ve manometreden oluşan sistem deney kazığına yerleştirilir. Deney yardımcı elamanları Resim 3.11’de gösterilmiştir.



Resim 3.11 Deney yardımcı elemanları.

Deney için kazıkta deney başlık bölgesi oluşturulmalıdır. Kazık imalatından sonra kazığın üst bölgesinde prizini tamamlayamamış zayıf beton var ise temizlenir. Ve yeni betonarme kazık kafası hazırlanır. Kazık kafasının üst kısmına kazığa yükü eşit miktarda iletebilmek amacıyla yeterli kalınlıklarda saç plaka ve yeterli miktarda hidrolik krikolar yerleştirilmektedir.



Resim 3.12 Test kazıklarına hidrolik krikolar ve saç plakalar yerleştirilmesi.

Statik kazık yükleme deneyinde dikkat edilmesi gereken hususlardan birkaçından aşağıda bahsedilmiştir;

- a) Reaksiyon kirişlerinin, çekme kazığı kiriş bağlantı elemanlarını taşıyabilecek büyüklükte olması,
- b) Reaksiyon kirişlerinin, kazığın maruz kalacağı basınç ve yüke dayanabilecek ebatlarda olması gerekmektedir.

Çekme kazıkları içinde yeterli sayıda donatı kullanılmak zorundadır. Ve bu kazıklar test kirişine bağlantıları kaynak ile yapılmaktadır. Resim 3.13’de gösterilmiştir.



Resim 3.13 Reaksiyon kiriş örneği.

Ölü kiriş yükü kullanılarak yapılan testlerde ölü yük, deney yükünün %10’undan fazla olmalıdır. Ve ölü yükün kazığa uygulanması sırasında sistemin stabilitesine dikkat edilmelidir.

Deney kazığında meydana gelen deformasyonları, kazığın iki tarafına konumlandırılan ve kazıktan en az 2.5 m mesafeye sabitlenen referans kirişlerinden ölçülmektedir.

Referans kirişleri, rijit çelik kirişler olup kirişin bir ucu sıcaklık değişimlerinden dolayı oluşacak boy değişimi nedeniyle hareketli mesnet yapılır.

Standart yükleme prosedürüne göre;

Kazıkta herhangi bir yer değiştirme ve göçme meydana gelmezse tekil kazıklar proje yükünün %200'üne kadar, kazık grupları ise %150'sine kadar yüklenmektedir.

Yükler kademe kademe yüklenir. Ve bu kademelerin büyüklükleri proje yükünün %25'i kadardır. Yük maksimum 2 saat boyunca sabit tutulmaktadır. Her kademe geçişlerinde kazığın yer değiştirme hızı 0.25 mm/saat'in altına düşene kadar yük sabit tutulmaktadır. Kazık veya kazık gruplarında uygulanan toplam yük göçme ve saatlik oturmanın 0.25 mm'den fazla olmaması durumunda 12 saat sonra kaldırılır. Toplamda 24 saat uygulanmış olur. Ve belirli sürülerden sonra %25 azalacak şekilde kademelerle yük boşaltılmaya başlanır. Toplamda kazık tahmini çapının %15'ine kadar müsaade edilmektedir.

4. YAPILAN ÇALIŞMALAR

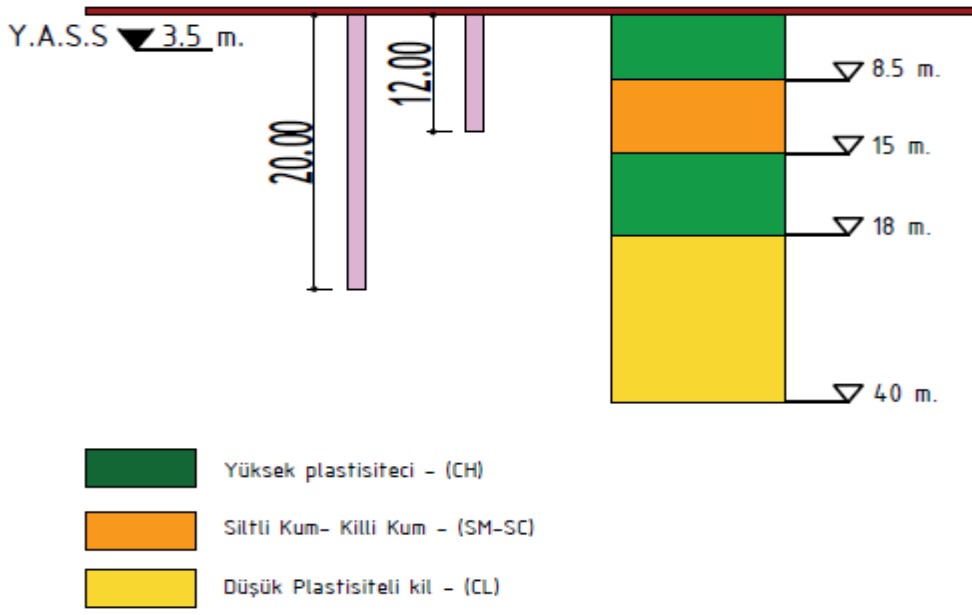
Çalışma kapsamında imalatı yapılmış olan 6 adet fore kazıktan yararlanılmıştır. Bu kazıklar 4 tanesi Afyonkarahisar Merkez Uydukent bölgesinde, 2 tanesi de Güvenevler mahalesinde 10 katın üzerindeki yapı temellerine uygulanmıştır. Kazıkların imal edilmeleri sırasında yapılan kazık yükleme deneylerinin sonuçları ilgili firmalardan temin edilmiştir.

4.1 Zeminlerin Özellikleri

Kazıkların imal edildiği 3 farklı noktada bulunan zemin özellikleri aşağıda verilmiştir. Bu zeminler üç farklı noktayı belirtmek için Z1, Z2, Z3 olarak adlandırılmışlardır.

Z1 Zemini;

K1 ve K2 kazıklarının bulunduğu zemininin özelliklerinden aşağıda bahsedilmektedir; Yapılan sondaj çalışmalarının sonucunda; Zemin geneli (0,00-40,00) m. derinlikleri arasında düşük plastisiteli kil (CL), Yüksek plastisiteli yağlı kil (CH), Siltli kum (SM), ve Kum (SW-SP) birimden oluşmaktadır. Düşük plastisiteli kil (CL), Yüksek plastisiteli yağlı kil (CH) birimi üstlerde açık gri, sarı renkli, Siltli Kum (SM) ve Kum (SW-SP), birimi dere yatağı taşıyıp getirdiği çakıllar bazalt, tüf, trakit gibi volkanik kökenli yer yer kuvarsit içermektedir. Bu zeminin sondaj logu aşağıdaki şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Z1 zemini sondaj logu ve K1, K2 kazıkları.

- (0,00-8,50) m. derinlikleri arasında Yüksek plastisiteli yağlı kil (CH) birimi Katı-Çok Katı kıvamlı,
- (8,50-15,00) m. derinlikleri arasında SM (Siltli Kum), SC (Killi Kum) yer yer ve Kum (SW-SP) birimi, Gevşek-Orta sıkı sıkılık,
- (15,00-18,00) m. derinlikleri arasında Yüksek plastisiteli yağlı kil (CH) birimi, Katı-Çok Katı kıvamlı,
- (18,00-20,00) m. derinlikleri arasında CL (Düşük Plastisiteli Kıl) Orta-Katı-Çok Katı kıvamlı,
- (20,00-40,00) m. derinlikleri arasında CL(Düşük Plastisiteli Kıl), Katı-Çok Katı kıvamlıdır.

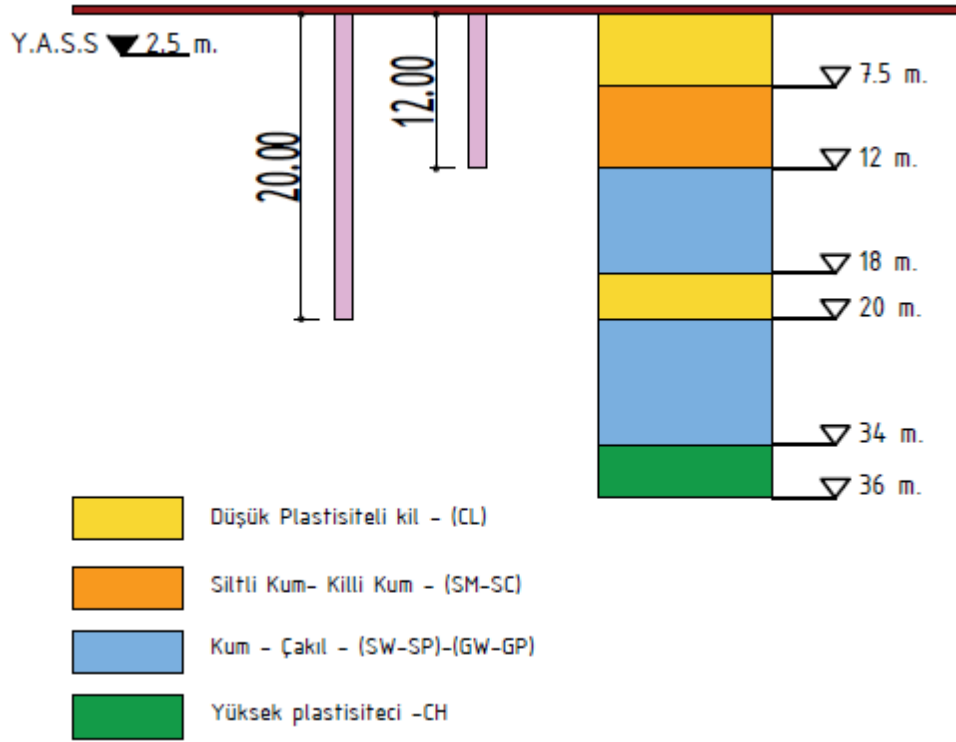
Z1 zeminde imal edilen, K1 ve K2 kazıklarının taşıdığı yapılması planlanan temel ve binanın özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Z1 zemininde imal edilen binanın ve temelin özellikleri.

Bina Kat Adedi	Temel Tipi	B (m) (Temel Genişliği)	L(m) (Temel Genişliği)	Df (m) (Temel Derinliği)	YSS (m)
15 Kat	Radye	17,90	26,10	5	3.50

Z2 Zemini;

K3 ve K4 kazıklarının bulunduğu zeminin özelliklerinden aşağıda bahsedilmektedir; Yapılan sondaj çalışmalarının sonucunda; Zemin geneli (0,00-40,00) m. derinlikleri arasında düşük plastisiteli kil (CL), Yüksek plastisiteli yağlı kil (CH), Siltli kum (SM), killi kum (SC), Çakıl (GW-GP) ve Kum (SW-SP) birimden oluşmaktadır. Düşük plastisiteli kil (CL), Yüksek plastisiteli yağlı kil (CH) birimi üstlerde açık gri, sarı renkli, Siltli Kum (SM) ve Kum (SW-SP), Çakıl (GW-GP) birimi dere yatağı taşıyıp getirdiği çakıllar bazalt, tüf, trakit gibi volkanik kökenli yer yer kuvarsit içermektedir. Z2 zeminin sondaj logu aşağıdaki Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Z2 zeminin sondaj logu ve K3, K4 kazıkları.

- (0,00-7,50) m. derinlikleri arasında CL (Düşük Plastiseli Kil) Yüksek plastisiteli yağlı kil (CH) birimi, Katı-Çok Katı kıvrımlı,
- (7,50-12,00) m. derinlikleri arasında SM (Siltli Kum), SC (Killi Kum) yer yer ve Kum (SW-SP) birimi, Gevşek-Orta sıkı sıkılık,

- (12,00-18,00) m. derinlikleri arasında Kum (SW-SP), Çakıl (GW-GP) yer yer SM (Siltli Kum), SC (Killi Kum) birimi, Gevşek-Orta sıkı sıkılık,
- (18,00-20,00) m. derinlikleri arasında CL (Düşük Plastisiteli Kil) Orta-Katı-Çok Katı kıvamlı,
- (20,00-30,00) m. derinlikleri arasında kum (SW-SP), çakıl (GW-GP) birimi, Gevşek-Orta sıkı sıkılık,
- (30,00-34,00) m. derinlikleri arasında kum (SW-SP) birimi, Gevşek-Orta sıkı sıkılık,
- (34,00-36,00) m. derinlikleri arasında CH (Yüksek Plastisiteli Kil) orta kıvamlı,
- (36,00-41,00) m. derinlikleri arasında SW-SP (Kum) birimi, Gevşek-Orta sıkı sıkılıktan oluşmaktadır.

Düşük plastisiteli kil (CL) ve Yüksek plastisiteli yağlı kil (CH) birimlerde elde edilen sınıflama deneyi değerlerine (LL (Likit Limit), PI (Plastisite İndeksi), Wn (Su İçeriği)) göre zeminin kıvamlilik İndeksi (Ic) Sıkı-Sert şeklindedir.

Z2 zeminde imal edilen, K3 ve K4 kazıklarının taşıdığı yapılması planlanan temel ve binanın özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

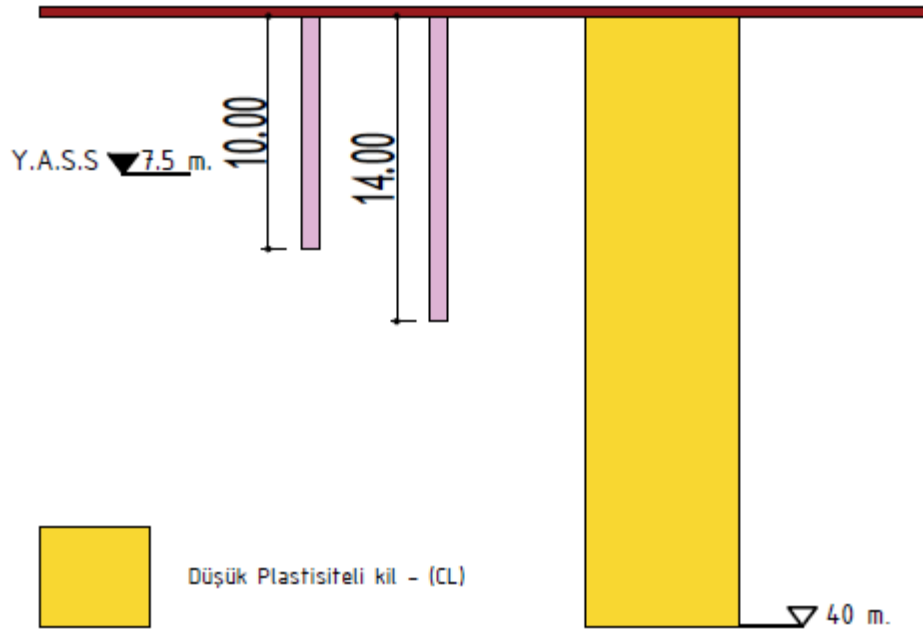
Çizelge 4.2 Z2 zemininde imal edilen bina ve temel özellikleri.

Bina Kat Adedi	Temel Tipi	B (m) (Temel Genişliği)	L(m) (Temel Genişliği)	Df (m) (Temel Derinliği)	YSS (m)
11 Kat	Radye	25	26	4.20	2.50

Z3 Zemini;

K5 ve K6 kazıklarının bulunduğu zeminin özelliklerinden aşağıda bahsedilmektedir;

Yapılan sondaj çalışmalarının sonucunda; zemin geneli (0,00-40,00)m. derinlikleri arasında sadece düşük plastisiteli kil (CL) görülmektedir. Z3 zeminin sondaj logu aşağıdaki şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3 Z3 zemini sondaj logu ve K5, K6 kazıkları.

- (0,00-25,50) m. derinlikleri arasında CL (Düşük Plastiseli Siltli Kil) birimi, Çok Katı kıvamlı,
- (25,50-40,00) m. derinlikleri arasında CL (Düşük Plastiseli Siltli Kil) birimi, Katı kıvamlı.

Düşük plastisiteli kil (CL) birimlerde elde edilen sınıflama deneyi değerlerine (LL (Likit Limit), PI (Plastisite İndeksi), W_n (Su İçeriği)) göre zeminin kıvamlılık İndeksi (I_c) Katı – Çok katı kıvam aralığındadır.

Z3 zeminde imal edilen, K5 ve K6 kazıklarının taşıdığı yapılması planlanan temel ve binanın özellikleri Çizelge 4.3’de verilmiştir;

Çizelge 4.3 Z3 zemininde imal edilen bina ve temel özellikleri.

Bina Kat Adedi	Temel Tipi	B (m) (Temel Genişliği)	L(m) (Temel Genişliği)	D _f (m) (Temel Derinliği)	YSS (m)
11 Kat	Radye	20	48	4,50	7,50

4.2 Kazıkların Özellikleri

Çalışma kapsamında analizi yapılan kazıklara K1, K2, K3, K4, K5, K6 olarak isimlendirme yapılmıştır. Kazıkların özellikleri ve hangi zeminde imalatının yapıldığı Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Analiz edilecek kazıklar seçilirken bazı kriterler dikkate alınmıştır;

- Yükleme deney raporlarının iyi dökümente edilmiş olması;
- Yükleme deneyi yapılacak olan zeminin araştırılmış olması ve bu araştırmalarda asgari olarak standart penetrasyon (SPT) veya konik penetrasyon (CPT) deneylerinden birinin yapılmış olması;
- Minimum kazık çap ve genişliğinin 400 mm'den büyük olması;
- Kazık boyunun 8.0 m'den az olmaması;
- Kazık imalat kalitelerinin belirli standartlarda olması.

Çizelge 4.4 Kazıkların özellikleri.

Kazıkların Özellikleri						
Kazık Numarası	D (m)	L (m)	Ep (kN)	Beton	Çelik	Kazığın bulunduğu zemin
K1	0,6	12	3.2×10^5	>C25	B420C	Z1
K2	0,8	20	3.2×10^5	>C25	B420C	Z1
K3	0,8	20	3.2×10^5	>C25	B420C	Z2
K4	0,45	12	3.2×10^5	>C25	B420C	Z2
K5	0,6	10	3.2×10^5	>C25	B420C	Z3
K6	0,6	14	3.2×10^5	>C25	B420C	Z3

Çalışmada kullanılan kazıkların taşıma kapasitelerinin hesabı yaygın kullanılan hesaplama yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Kazık taşıma gücü, kazık uç direnci ve kazık sürtünme direncinin toplamı ile elde edildiği daha önce belirtilmişti. Bu amaçla kazık uç dirençlerinin hesabında tüm zemin tipleri için ; Meyerhof metodu, Janbu metodu, kaba daneli zeminler için ise Coyle and Castello metodu kullanılırken, sürtünme dirençleri ise kaba daneli zeminlerde birim sürtünme direncine göre ince daneli zeminlerde ise λ

metotu, α metotu, β metotu kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalardan sonra bütün metotların birbirleri arasındaki korelasyon ele alınmıştır.

4.3 Kazık Taşıma Gücünün Hesaplanması

Tüm kazıklar için yapılan hesaplamalardan örnek teşkil etmesi için sadece K3 kazığına ait hesaplamalar aşağıda sırasıyla verilmiştir. Diğer kazıklarla birlikte tüm kazıklar için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de görülmektedir.

Kazık Uç Direnci (Q_p) Hesabı

Kaba daneli zeminlerde Janbu Metodu ile Kazık Uç Direnci (Q_p) Hesabı;

$$Q_p = A_p(cN_c + q'N_q)$$

$$N_q = (\tan\phi + \sqrt{1} + \tan^2\phi) \cdot e^{2.100\tan\phi} \quad (4.1)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot\phi \quad (4.2)$$

Buradan N_q ;

$$N_q = (\tan 17 + \sqrt{1} + \tan^2 17) \cdot e^{2.100\tan 17}$$

$$N_q = 7,50$$

Buradan N_c ;

$$N_c = (7,50 - 1) \cdot \cot 18$$

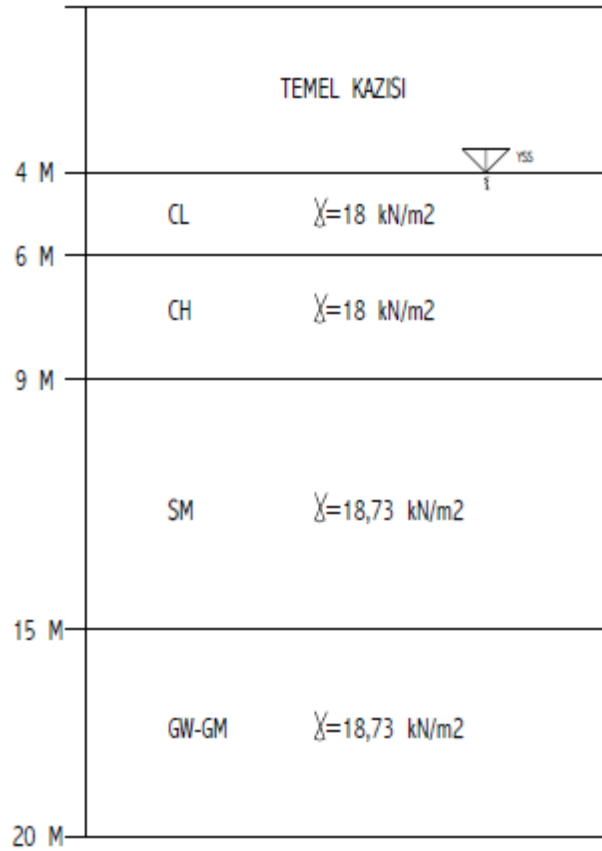
$$N_c = 20$$

Kazık Kesitinin Alanı;

$$A_p = \pi \frac{D^2}{4} \quad (4.3)$$

$$A_p = 0,502 \text{ m}^2.$$

Ortalama efektif gerilme (q') hesabı yapılırken Şekil 4.4'de verilen zemin tabakalarındaki efektif gerilmelerin ortalaması alınmıştır;



Şekil 4.4 Zemin tabakaları ve zeminlerin doğal birim hacim ağırlığı.

Buradan q' ;

$$q' = \gamma h_1 + \gamma h_2 + \gamma h_3 \quad (4.4)$$

$$2 \times (18 - 9,81) + 3 \times (18 - 9,81) + 6 \times (18,73 - 9,81) + 9 \times (18,73 - 9,81)$$

$$q' = 174,73 \text{ kN}$$

Buradan Kazık uç kapasitesi;

$$Q_p = 0,502(8,82 \times 20 + 174,73 \times 7,50)$$

$$Q_p=746,41 \text{ kN}$$

Kaba daneli zeminlerde Meyerhof Metodu ile Kazık Uç Direnci (Q_p) Hesabı;

$$Q_p = A_p(cN_c + q'N_q)$$

Burada N_c ve N_q Çizelge 4.5’de verilen Meyerhof Taşıma Gücü Çizelgesinden alınmıştır.

Çizelge 4.5 Meyerhof taşıma gücü faktörleri.

ϕ	N'_c	N'_q	N'_γ	ϕ	N'_c	N'_q	N'_γ	ϕ	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5.70	1.00	0.00	17	10.47	3.13	0.76	34	23.72	11.67	7.22
1	5.90	1.07	0.005	18	10.90	3.36	0.88	35	25.18	12.75	8.35
2	6.10	1.14	0.02	19	11.36	3.61	1.03	36	26.77	13.97	9.41
3	6.30	1.22	0.04	20	11.85	3.88	1.12	37	28.51	15.32	10.90
4	6.51	1.30	0.055	21	12.37	4.17	1.35	38	30.43	16.85	12.75
5	6.74	1.39	0.074	22	12.92	4.48	1.55	39	32.53	18.56	14.71
6	6.97	1.49	0.10	23	13.51	4.82	1.74	40	34.87	20.50	17.22
7	7.22	1.59	0.128	24	14.14	5.20	1.97	41	37.45	22.70	19.75
8	7.47	1.70	0.16	25	14.80	5.60	2.25	42	40.33	25.21	22.50
9	7.74	1.82	0.20	26	15.53	6.05	2.59	43	43.54	28.06	26.25
10	8.02	1.94	0.24	27	16.03	6.54	2.88	44	47.13	31.34	30.40
11	8.32	2.08	0.30	28	17.13	7.07	3.29	45	51.17	35.11	36.00
12	8.63	2.22	0.35	29	18.03	7.66	3.76	46	55.73	39.48	41.70
13	8.96	2.38	0.42	30	18.99	8.31	4.39	47	60.91	44.54	49.30
14	9.31	2.55	0.48	31	20.03	9.03	4.83	48	66.80	50.46	59.25
15	9.67	2.73	0.57	32	21.16	9.82	5.51	49	73.55	57.41	71.45
16	10.06	2.92	0.67	33	22.39	10.69	6.32	50	81.31	65.60	85.75

$\phi=17$ için;

$$N_c= 14,6 \quad N_q= 5,45$$

A_p formül 4.3’de hesaplanmıştır;

$$A_p=0,502 \text{ m}^2$$

q' formül 4.4'de hesaplanmıştır;

$$q'=174,73 \text{ kN}$$

Buradan Meyerhof'a göre kazık uç kapasitesi Qp;

$$Q_p = 0,502(8,82 \times 14,6 + 174,73 \times 5,45)$$

$$Q_p=542,68 \text{ kN}$$

Kaba daneli zeminlerde Coyle and Castello Metodu ile Kazık Uç Direnci Hesabı;

Coyle and Castello Metodu'nun kabulüne göre kaba daneli zeminlerde kohezyon (c) "0" a eşit kabul edildiği için Qp;

$$Q_p = A_p(cN_c + q'N_q)$$

$$Q_p = A_p(0 * N_c + q'N_q)$$

Buradan Qp;

$$Q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q \quad (4.5)$$

Ap formül 4.3'de hesaplanmıştır;

$$A_p=0,502 \text{ m}^2$$

q' formül 4.4'de hesaplanmıştır;

$$q'=174,73 \text{ kN/m}^2$$

Nq ise Şekil 3.9'da verilen Coyle and Castello Taşıma Gücü Faktörlerinden elde edilmiştir;

$$N_q=10$$

Buradan Coyle and Castello'ya göre kazık uç kapasitesi Q_p ;

$$Q_p = 0,502 \times 10 \times 174,73$$

$$Q_p=877,14 \text{ kN}$$

Kazık Sürtünme Direnci (Q_s) Hesabı

$$Q_s = \Sigma(p. f. \Delta L) \quad (4.6)$$

Kazık sürtünme direnci ince daneli zeminlerde ve kaba daneli zeminlerde farklı yöntemlerle hesaplanmaktadır. İnce daneli zeminlerde λ metodu, ∞ metodu, β metodu kullanılırken kaba daneli zeminlerde ise formül 4.7'da verilen birim sürtünme direnci yöntemi kullanılmıştır. K3 kazığının imal edildiği Z2 zemininde, ince daneli ve kaba daneli zeminler bulunmaktadır. K3 kazığı için kazık sürtünme direnci hesaplanırken, aşağıda hesaplanan kaba daneli zeminlerin sürtünme direnci, λ metodu, ∞ metodu, β metodu ile hesaplanan sürtünme dirençleri ile 4.6'daki formül yardımıyla toplam kazık sürtünme direnci hesaplanmıştır.

Kaba daneli zeminler için sürtünme direnci;

$$f_{kaba} = K. \sigma'. \tan \delta' \quad (4.7)$$

Buradan;

$$\sigma' = L'. \gamma \quad (4.8)$$

$$L'=15D \quad L'=15 \times 0,8 \quad L'=12 \text{ m.}$$

$$\sigma' = 12. (18,73 - 9,81)$$

$$\sigma' = 107,04 \text{ kN/m}^2$$

Buradan K ise formül 4.9’da verildiği gibi hesaplanmaktadır;

$$K = 1 - \sin\phi \quad (4.9)$$

$$K = 1 - \sin 17$$

$$K = 1,3$$

δ' ise;

$$\delta' = 0,8\phi \quad (4.10)$$

$$\delta' = 13,6$$

$$f_{kaba} = 1,3 \times 107,04 \times \tan 13,6$$

$$f_{kaba} = 33,66$$

İnce Daneli Zeminlerde Kazık Sürtünme Direnci (Q_s) Hesabı

α Metodu;

$$f = \alpha \cdot C \quad (4.11)$$

Buradan ampirik α katsayısı;

$$\alpha = C \cdot \left(\frac{\sigma'}{C_u} \right)^{0.45} \quad (4.12)$$

$$\alpha = 0,68 \cdot \left(\frac{40,95}{58,83} \right)^{0.45}$$

$$\alpha = 0,577$$

$$\sigma' = h \cdot \gamma \quad (4.13)$$

$$\sigma' = 5 \cdot (18 - 9,81)$$

$$\sigma' = 40,95 \text{ kN/m}^2$$

Buradan ince daneli zeminlerde sürtünme direnci katsayısı;

$$f = 0,577 \cdot 58,83$$

$$f_{\text{ince}} = 33,98$$

Buradan Q_s ;

$$Q_s = \Sigma p \Delta L f$$

$$Q_s = (f_{\text{ince}} \times 0,8\pi \times 5) + \left(\left(\frac{f_{\text{kaba}}}{2} \right) \times 0,8\pi \times 12 \right) + (f_{\text{kaba}} \times 0,8\pi \times 3)$$

$$Q_s = (33,98 \times 0,8\pi \times 5) + (16,8 \times 0,8\pi \times 12) + (33,6 \times 0,8\pi \times 3)$$

$$Q_s = 1187 \text{ kN}$$

λ Metodu;

$$f = \lambda(\sigma' + 2C) \quad (4.14)$$

λ Çizelge 4.6'da verilen çizelgeden iterasyon yöntemiyle hesaplanmıştır

Çizelge 4.6 λ katsayısının uzunlukla değişimi (Das 1999).

Embedment length, L (m)	λ
0	0.5
5	0.336
10	0.245
15	0.200
20	0.173
25	0.150
30	0.136
35	0.132
40	0.127
50	0.118
60	0.113
70	0.110
80	0.110
90	0.110

Buradan $\lambda = 0,335$ olarak hesaplanmıştır.

σ' formül 4.12 'de $40,95 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

$$f_{\text{ince}} = 0,35(40,95 + 117,66)$$

$$f_{\text{ince}} = 53,13$$

$$Q_s = (f_{\text{ince}} \times 0,8\pi \times 5) + \left(\left(\frac{f_{\text{kaba}}}{2}\right) \times 0,8\pi \times 12\right) + (f_{\text{kaba}} \times 0,8\pi \times 3)$$

$$Q_s = (53,13 \times 0,8\pi \times 5) + (16,8 \times 0,8\pi \times 12) + (33,6 \times 0,8\pi \times 3)$$

$$Q_s = 1429 \text{ kN}$$

β Metodu;

$$f = \beta \cdot \sigma' \quad (4.15)$$

β katsayısı ise aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır;

$$\beta = K. \tan\phi \quad (4.16)$$

$$\beta = 0,717. \tan 17$$

$$\beta = 0,216$$

σ' formül 4.13'de hesaplanmıştır;

$$\sigma' = 40,95 \text{ kN/m}^2$$

Buradan ince daneli zeminlerde sürtünme direnci katsayısı;

$$f = 0,216 \times 40,95$$

$$f = 8,85$$

Buradan Q_s ;

$$Q_s = \Sigma p \Delta L f$$

$$Q_s = (f_{ince} \times 0,8\pi \times 5) + \left(\left(\frac{f_{kaba}}{2}\right) \times 0,8\pi \times 12\right) + (f_{kaba} \times 0,8\pi \times 3)$$

$$Q_s = (8,85 \times 0,8\pi \times 5) + (16,8 \times 0,8\pi \times 12) + (33,6 \times 0,8\pi \times 3)$$

$$Q_s = 872,13 \text{ kN}$$

Yukarıda K3 kazığının, kazık uç direnci ve kazık sürtünme direnci farklı metotlara göre hesaplanmıştır. Hesaplanan bu metotların birbirleri arasında korelasyonları yapılarak toplam kazık taşıma gücü aşağıda 4.17'da verilen formülle hesaplanacaktır.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (4.17)$$

Meyerhof - λ korelasyonu için;

$$\begin{aligned}Q_p &= 542,68 \text{ kN} & Q_s &= 1429 \text{ kN} \\Q_u &= 19716 \text{ kN}\end{aligned}$$

Meyerhof - ∞ korelasyonu için;

$$\begin{aligned}Q_p &= 542,68 \text{ kN} & Q_s &= 1187 \text{ kN} \\Q_u &= 1729,68 \text{ kN}\end{aligned}$$

Meyerhof - β korelasyonu için;

$$\begin{aligned}Q_p &= 542,68 \text{ kN} & Q_s &= 872,13 \text{ kN} \\Q_u &= 1414,8 \text{ kN}\end{aligned}$$

Janbu - λ korelasyonu için;

$$\begin{aligned}Q_p &= 746,41 \text{ kN} & Q_s &= 1429 \text{ kN} \\Q_u &= 2175,4 \text{ kN}\end{aligned}$$

Janbu - ∞ korelasyonu için;

$$\begin{aligned}Q_p &= 746,41 \text{ kN} & Q_s &= 1187 \text{ kN} \\Q_u &= 1933,4 \text{ kN}\end{aligned}$$

Janbu - β korelasyonu için;

$$\begin{aligned}Q_p &= 746,41 \text{ kN} & Q_s &= 872,13 \text{ kN} \\Q_u &= 1618,5 \text{ kN}\end{aligned}$$

Coyle and Castello - λ korelasyonu için;

$$\begin{aligned} Q_p &= 877,14 \text{ kN} & Q_s &= 1429 \text{ kN} \\ Q_u &= 2306,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

Coyle and Castello - ∞ korelasyonu için;

$$\begin{aligned} Q_p &= 877,14 \text{ kN} & Q_s &= 1187 \text{ kN} \\ Q_u &= 2064,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

Coyle and Castello - β korelasyonu için;

$$\begin{aligned} Q_p &= 877,14 \text{ kN} & Q_s &= 872,13 \text{ kN} \\ Q_u &= 1749,27 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.4 Kazıkların Oturmasının Teorik Formüllere Göre Hesaplanması

Yüklere maruz kalan kazıkların oturması 3 ana sebepten dolayı olmaktadır. Bunlar; kazık çevresinde oluşan sürtünme kuvveti, kazık ucunda oluşan kuvvet ve kazığının kendi ağırlığından dolayı meydana gelen deformasyondur. Aşağıda bu oturmaların denklemleri verilmiştir ve S1, S2, S3 olarak isimlendirilmektedir. Tüm korelasyonlara göre oturma hesabı yapılacaktır.

$$S1 = \frac{(Q_p + \mu Q_s) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \quad (4.18)$$

$$S2 = \frac{Q_p \cdot D}{E_s} (1 - \mu s^2) \cdot l_{wp} \quad (4.19)$$

$$S3 = \frac{Q_s \cdot D}{E_{sp} \cdot L} (1 - \mu s^2) \cdot I_{ws} \quad (4.20)$$

Buradan K3 kazığının oturması Meyerhof - λ korelasyonu için;

$$Q_p = 542,68 \text{ kN} \quad Q_s = 1429 \text{ kN}$$

$$S_1 = \frac{(542,68 + 0,5 \times 1429) \cdot 20}{0,502 \times 32 \text{E}6}$$

$$S_1: 1,31 \text{ mm.}$$

$$S_2 = \frac{542,68 \times 0,8}{288119} (1 - 0,49^2) \cdot 0,85$$

$$S_2: 0,97 \text{ mm.}$$

$$S_3 = \frac{1429 \times 0,8}{20 \times 0,8 \pi \times 288119} (1 - 0,49^2) \cdot 2,356$$

$$S_3: 0,14 \text{ mm.}$$

$$\text{Toplam Oturma } (1,31 + 0,97 + 0,14): 2,14 \text{ mm}$$

Meyerhof - ∞ korelasyonu için;

$$Q_p = 542,68 \text{ kN} \quad Q_s = 1187 \text{ kN}$$

$$S_1 = \frac{(542,68 + 0,5 \times 1187) \cdot 20}{0,502 \times 32 \text{E}6}$$

$$S_1: 1,41 \text{ mm.}$$

$$S_2 = \frac{542,68 \times 0,8}{288119} (1 - 0,49^2) \cdot 0,85$$

$$S_2: 0,97 \text{ mm.}$$

$$S3 = \frac{1187 \times 0,8}{20 \times 0,8 \pi \times 288119} (1 - 0,49^2) \cdot 2,356$$

S3: 0,11 mm.

Toplam Oturma (1,41+0,97+0,11): 2,49 mm

Meyerhof - β korelasyonu için;

$$Q_p = 542,68 \text{ kN} \quad Q_s = 872,13 \text{ kN}$$

$$S1 = \frac{(542,68 + 0,5 \times 872,13) \cdot 20}{0,502 \times 32 \text{ E}6}$$

S1: 1,21 mm.

$$S2 = \frac{542,68 \times 0,8}{288119} (1 - 0,49^2) \cdot 0,85$$

S2: 0,97 mm.

$$S3 = \frac{872,13 \times 0,8}{20 \times 0,8 \pi \times 288119} (1 - 0,49^2) \cdot 2,356$$

S3: 0,08 mm.

Toplam Oturma (1,21+0,97+0,08): 2,26 mm

Janbu - λ korelasyonu için;

$$Q_p = 746,41 \text{ kN} \quad Q_s = 1429 \text{ kN}$$

$$S_1 = \frac{(746,41 + 0,5 \times 1429) \cdot 20}{0,502 \times 32 \text{E}6}$$

$$S_1: 1,81 \text{ mm.}$$

$$S_2 = \frac{746,41 \times 0,8}{288119} (1 - 0,49^2) \cdot 0,85$$

$$S_2: 1,33 \text{ mm.}$$

$$S_3 = \frac{1429 \times 0,8}{20 \times 0,8 \pi \times 288119} (1 - 0,49^2) \cdot 2,356$$

$$S_3: 0,14 \text{ mm.}$$

$$\text{Toplam Oturma } (1,81 + 1,33 + 0,14): 3,28 \text{ mm}$$

Janbu - ∞ korelasyonu için;

$$Q_p = 746,41 \text{ kN} \quad Q_s = 1187 \text{ kN}$$

$$S_1 = \frac{(746,41 + 0,5 \times 1187) \cdot 20}{0,502 \times 32 \text{E}6}$$

$$S_1: 1,66 \text{ mm.}$$

$$S_2 = \frac{746,41 \times 0,8}{288119} (1 - 0,49^2) \cdot 0,85$$

S2: 1,33 mm.

$$S3 = \frac{1187 \times 0,8}{20 \times 0,8 \pi \times 288119} (1 - 0,49^2) \cdot 2,356$$

S3: 0,25 mm.

Toplam Oturma (1,66+1,33+0,25): 3,19 mm

Janbu - β korelasyonu için;

$$Q_p = 746,41 \text{ kN} \quad Q_s = 872,13 \text{ kN}$$

$$S1 = \frac{(746,41 + 0,5 \times 872,13) \cdot 20}{0,502 \times 32 \text{E}6}$$

S1: 1,47 mm.

$$S2 = \frac{746,41 \times 0,8}{288119} (1 - 0,49^2) \cdot 0,85$$

S2: 1,33 mm.

$$S3 = \frac{872,13 \times 0,8}{20 \times 0,8 \pi \times 288119} (1 - 0,49^2) \cdot 2,356$$

S3: 0,1 mm.

Toplam Oturma (1,47+1,33+0,1): 2,9 mm

Coyle and Castello - λ korelasyonu için;

$$Q_p = 877,14 \text{ kN} \quad Q_s = 1429 \text{ kN}$$

$$S1 = \frac{(877,14 + 0,5 \times 1429) \cdot 20}{0,502 \times 32 \text{E}6}$$

S1: 1,98 mm.

$$S2 = \frac{877,14 \times 0,8}{288119} (1 - 0,49^2) \cdot 0,85$$

S2: 1,57 mm.

$$S3 = \frac{1429 \times 0,8}{20 \times 0,8 \pi \times 288119} (1 - 0,49^2) \cdot 2,356$$

S3: 0,14 mm.

Toplam Oturma (1,98+1,57+0,14): 3,69 mm.

Coyle and Castello - ∞ korelasyonu için;

$$Q_p = 877,14 \text{ kN} \quad Q_s = 1187 \text{ kN}$$

$$S1 = \frac{(877,14 + 0,5 \times 1187) \cdot 20}{0,502 \times 32 \text{E}6}$$

S1: 1,83 mm.

$$S2 = \frac{877,14 \times 0,8}{288119} (1 - 0,49^2) \cdot 0,85$$

S2: 1,57 mm.

$$S3 = \frac{1187 \times 0,8}{20 \times 0,8 \pi \times 288119} (1 - 0,49^2) \cdot 2,35$$

S3: 0,11 mm.

Toplam Oturma (1,83+1,57+0,11): 3,51 mm.

Coyle and Castello - β korelasyonu için;

$$Q_p = 877,14 \text{ kN} \quad Q_s = 872,13 \text{ kN}$$

$$S_1 = \frac{(877,14 + 0,5 \times 872,13) \cdot 20}{0,502 \times 32 \text{E}6}$$

$$S_1: 1,63 \text{ mm.}$$

$$S_2 = \frac{877,14 \times 0,8}{288119} (1 - 0,49^2) \cdot 0,85$$

$$S_2: 1,57 \text{ mm.}$$

$$S_3 = \frac{872,13 \times 0,8}{20 \times 0,8 \pi \times 288119} (1 - 0,49^2) \cdot 2,356$$

$$S_3: 0,08 \text{ mm.}$$

Toplam Oturma (1,63+1,57+0,08): 3,28 mm.

Yukarıda taşıma gücü ve oturma hesapları yapılan K3 kazığı örnek olarak verilmiştir. Diğer kazıkların taşıma gücü ve oturma eğilimleri Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8 'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Kazıkların taşıma güçleri.

KAZIK NO	Mayerhof- λ (kN)	Mayerhof- ∞ (kN)	Mayerhof- β (kN)	Janbu- λ (kN)	Janbu- ∞ (kN)	Janbu- β (kN)	CaC- λ (kN)	CaC- ∞ (kN)	CaC- β (kN)
K1	1668,3	1323,4	823,9	1820,7	1475,8	976,3	1905,5	1560,5	1061,1
K2	2159,9	1876,8	1030,4	2713,9	2430,8	1584,3	-	-	-
K3	1971,6	1729,6	1414,8	2175,4	1933,4	1618,5	2306,1	2064,1	1749,2
K4	1123,6	882,9	567,1	1164,3	923,7	607,9	1177,4	936,7	620,9
K5	1084,6	906,7	380,1	1282,3	1104,4	577,7	-	-	-
K6	1073,8	1107,3	435,7	1223,3	1256,7	585,1	-	-	-

Çizelge 4.8 Kazıkların toplam oturmaları.

KAZIK NO	Mayerhof- λ (mm)	Mayerhof- ∞ (mm)	Mayerhof- β (mm)	Janbu- λ (mm)	Janbu- ∞ (mm)	Janbu- β (mm)	CaC- λ (mm)	CaC- ∞ (mm)	CaC- β (mm)
K1	2,04	1,85	1,52	2,45	2,22	2,61	3,3	2,43	2,12
K2	2,68	2,47	1,81	4,38	4,17	3,51	-	-	-
K3	2,14	2,49	2,26	3,28	3,19	2,9	3,69	3,51	3,28
K4	0,79	0,68	0,51	0,92	0,79	0,62	0,95	0,82	0,66
K5	1,53	1,38	0,9	2,23	2,06	1,52	-	-	-
K6	1,96	2,00	1,07	2,56	2,61	1,68	-	-	-

Kazık yükleme deneyleri, aynı zemin içerisinde bulunan kazıklar arasından bir adet test kazığı seçilerek uygulanmıştır. Seçilen kazıklara yüklenen toplam yük değerleri ve o yük eşiğindeki kazıkların oturması aşağıdaki Çizelge 4.9’da gösterilmiştir. Ayrıca bu deneylerden elde edilen kazıkların toplam taşıma güçleri, yük-deplasman grafikleri, kazık yükleme deney sonuç föyleri, kazıkların yaptığı toplam oturma değer föyleri Ek 1’de verilmiştir.

Çizelge 4.9 Kazık yükleme deneyinde kazıklara yüklenen toplam yük ve kazıkların oturması.

KAZIK NO	Kazığa Yüklenen Toplam Yük (kN)	Kazığın Oturması (mm)	Kazığın Bulunduğu Zemin
K2	2941,8	4,56	Z1
K3	2206,3	3,10	Z2
K5	1431,6	2,34	Z3

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Derin temellerin taşıma gücü ve güvenilirliğini test etmek oldukça zordur. Kazıklı temellerin tasarımı yapılırken kullanılan birçok teorik yöntem vardır. Bu yöntemlerin birbirleri arasında da birçok farklılık göstermektedir. Bu verilerdeki belirsizlikler ve tasarımların hassasiyetleri arzu edilen düzeyde olmadığı için bu temel tasarımlarının arazi deneyleri ile doğrulanmasını zorunlu kılmaktadır. Statik kazık yükleme deneyleri ülkemizde yaygın olarak kullanılan kazık yükleme deneyleridir.

Statik kazık yükleme deneyi, belirli zaman aralıklarında kazığın yüklenerek kazıkta meydana gelen yer değiştirmelerin ölçülmesi şeklindedir. Statik kazık yükleme deneyinin kısıtlı bir formu olan kanıtlama deneyi, kazığın servis yükünü taşıyabilme performansını belirlemek için yapılmaktadır ve çoğunlukla kazık, tasarım yükünün 1.5 – 2.0 katına kadar yüklenmektedir. Kanıtlama deneyi, kazık taşıma gücünü aşana kadar devam ettirilmediği için maliyeti daha düşüktür ve pratikte daha çok uygulanmaktadır.

İncelenen Z1 zemininde imal edilmiş olan ve kazık yükleme testine tabi tutulan K2 kazığının yapılan statik hesaplarda temelin rijit kabul edilmesi durumunda yapı bloğunda kazıklara gelen en büyük yük 1961,2 kN olarak öngörülmüştür. Yapılan deney hızlı adımlı deneydir. Yükleme deneyinde iki grup yükleme yapılmıştır. Birinci grup yüklemede; kazık proje yükünün %12.5'ine karşı gelen yük artırımıyla proje yüküne kadar yüklenmiştir. Proje yükünde 30 dk bekletildikten sonra yük iki kademedede boşaltılmıştır. İkinci grup yüklemede; kazık proje yükünün %12.5'ine karşılık gelen yük artırımıyla proje yükünün 1.5 katı olan $Q_u = 2941,8$ kN yük uygulanmış ve toplam deplasman 4.56 mm. olarak ölçülmüştür. K1 ve K2 kazığı için yapılan hesaplamalarda bu değere en yakın değeri Janbu- λ korelasyonu vermektedir. Toplam taşıma gücü 2713,96 kN olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7). Bu değerde kazığın yaptığı oturma 4,38 mm. olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.8). Kazık yükleme deneyinden elde edilen oturma miktarı- kazık taşıma gücü ilişkisi bu korelasyonda daha yakın değerler vermiştir. Aynı zamanda Janbu metotla yapılan korelasyonlardaki taşıma gücü değerleri de yakın çıkmaktadır. Fakat en yakın değeri Janbu- λ korelasyonu vermektedir.

İncelenen Z2 zemininde imal edilmiş ve kazık yükleme testine tabi tutulan K3 kazığının, yapılan statik hesaplarda temel rijit kabul edilmesi durumunda yapı bloğunda kazıklara gelen en büyük yük 980,6 kN olarak belirlenmiştir. Yapılan uygulama sonucunda imal edilen kazıkların taşıma gücü kapasitelerini belirlemek amacıyla hızlı adımlı kazık yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney hızlı adımlı deney olup ASTM 1143 ile tanımlanmaktadır. Bu tür yükleme deneyinde kazıklar tasarım yükünün genellikle %300'üne kadar yüklenir. Uygulanacak yük, tasarım yükünün yaklaşık %15'ine denk gelecek şekilde arttırılır. Deney ortalama 2-3 saat içerisinde bitirilir. Kazık yükleme deneyini yorumlamak için ise Chin-Konder yöntemi kullanılmaktadır. İkinci grup yüklemede proje yükünün 2 katı olan $Q_u = 2206,35$ kN'luk yük 20 dakika içerisinde uygulanmıştır ve toplam deplasman 3,10 mm. olarak ölçülmüştür. K3 ve K4 kazığı için yapılan hesaplamalarda bu değere en yakın değeri Janbu- λ korelasyonu vermektedir. Toplam taşıma gücü 2175,4 kN olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7). Bu değerde kazığın yaptığı oturma 3,28 mm. olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.8). Kazık yükleme deneyinden elde edilen oturma miktarı- kazık taşıma gücü ilişkisi bu korelasyonda daha yakın değerler vermiştir. Aynı zamanda Janbu metotla yapılan korelasyonlardaki taşıma gücü değerleri de yakın çıkmaktadır. Fakat en yakın değeri Janbu- λ korelasyonu vermektedir.

İncelenen Z3 zemininde imal edilmiş ve hızlı adımlı kazık yükleme deneyine tabi tutulan K5 kazığının, yapılan statik hesaplarda temel rijit kabul edilmesi durumunda yapı bloğunda kazıklara gelen toplam yük 715,83 kN olarak kabul edilmiştir. Deney maksimum projedeki test yükü olan 1431,6 kN'a kadar devam ettirilmiştir. Deneyde yük proje yükünün %25'i baz alınarak kademeli olarak uygulanmıştır. Maksimum yük projenin %200'ü olarak kabul edilmiştir. Toplam 24 saat süren kazık yükleme deneyinden kazık yükleme test sonuçları elde edilmiştir. Yükleme deneyinde %100 proje yükü olan 715,83 kN'a çıkarıldığında 0,96 mm. deplasman ölçülmüştür. Proje yükünün %200'ü olan 1431,6 kN test yüküne ulaşıldığında ise ortalama 2,34 mm. deplasmana ulaşmıştır. K4 ve K5 kazığı için yapılan hesaplamalarda bu değere en yakın değeri Janbu- λ korelasyonu vermektedir. Toplam taşıma gücü 1282,3 kN olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7). Bu değerde kazığın yaptığı oturma 2,23 mm. olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.8). Kazık yükleme deneyinden elde edilen oturma miktarı- kazık taşıma gücü ilişkisi bu korelasyonda daha yakın değerler vermiştir. Aynı zamanda Janbu metotla

yapılan korelasyonlardaki taşıma gücü değerleri de yakın çıkmaktadır. Fakat en yakın değeri Janbu- λ korelasyonu vermektedir.

İncelenen kazıkların, imal edildikleri zeminde tabi tutuldukları kazık yükleme deneyinden elde edilen taşıma gücü ve oturma sonuçları ile teorik olarak hesaplanan taşıma gücü ve oturma sonuçları karşılaştırılmıştır. Kazık yükleme deneyinden elde edilen ve EK 1’de verilen Deplasman-Yük/Deplasman grafiklerinden yola çıkarak kazıkların göçme yükleri bulunmuştur.

Z1 zemininde yer alan kazıkların taşıma gücü hesapları yapıp, kazık yükleme deneyinden elde edilen oturma değerleri ve taşıma kapasiteleri ile karşılaştırıldığında en yakın sonuçları veren korelasyondan ve taşıma gücü değerlerinden yukarıda bahsedilmiştir. Kazık yükleme deneylerinden elde edilen Deplasman-Yük/Deplasman grafiklerinden çıkarılan göçme yükü değeri ise 6128,75 kN olarak belirlenmiştir. Buradan da görüldüğü üzere proje yükleri baz alınarak tasarlanan kazıkların göçme yükleri, kazıkların taşıma gücünden 2-3 kat daha büyük çıkmaktadır. K1 ve K2 kazıkları için yapılan hesaplamalar 2.25 kat daha güvenli tarafta kalmıştır.

Z2 zemininde ise kazık yükleme deneylerinden elde edilen Deplasman-Yük/Deplasman grafiklerinden çıkarılan göçme yükü değeri ise 4669,6 kN olarak belirlenmiştir. Buradan da görüldüğü üzere K3 ve K4 kazıkları için yapılan hesaplamalar 2.15 kat daha güvenli tarafta kalmıştır.

Z3 zemininde ise kazık yükleme deneylerinden elde edilen Deplasman-Yük/Deplasman grafiklerinden çıkarılan göçme yükü değeri ise 2167,12 kN olarak belirlenmiştir. Buradan da görüldüğü üzere K5 ve K6 kazıkları için yapılan hesaplamalar 1.7 kat daha güvenli tarafta kalmıştır.

İncelenen çalışmalar sonucunda, teorik yöntemlerle hesaplanan kazık taşıma gücü ve oturma değerleri ile kazık yükleme deneylerinden elde edilen kazık taşıma gücü ve oturma değerler kıyaslandığında en yakın değeri veren yöntem korelasyonu Janbu- λ korelasyonu olmuştur. En yakın ikinci değeri veren yöntem korelasyonu ise Janbu- ∞ korelasyonu olmuştur. Genel olarak Janbu yöntemiyle yapılan korelasyonlardan hepsi kazık yükleme deneylerinden elde edilen sonuçlara yakın değerler vermiştir. Dolayısıyla

bu tür zeminlerde kazık taşıma gücü hesapları yapılırken gerçeğe daha yakın değerler verdiği için Janbu- λ yöntem korelasyonunun kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

6.KAYNAKLAR

- ASTM D 1143-81, 1989, Standart Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Loads, ASTM, Philadelphia.
- ASTM D 3689, 1989, The Standart Method of Testing Individual Piles Under Static Axial Tensile Load, ASTM, Philadelphia.
- ASTM D 3966, 1989, The Standart Method of Testing Piles Under Lateral Load, ASTM, Philadelphia.
- Bermingham P, 1989, An Innovative approach to load testing of high capacity piles, Proceedings of the International Conference on Piling and Deep Foundations, Rotterdam.
- Birand A, 2001, Kazıklı Temeller, Teknik Yayınevi, 398, Ankara.
- Celik F, 2018, Statik Kazık Yükleme Deneyinin Farklı Zemin Modellerinde Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Modellenmesi ve Arazi Bulgularıyla Karşılaştırılması, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, 182-192.
- Das M, 1999, Principles of Foundation Engineering, PWS Publishing, 562, California.
- Duke C, 1958, Effects of Ground on Destructiveness of Large Earthquakes, CRDU Publishing, 256, Washington.
- Düzceer İ, 2002, Kazık Yükleme Deneyleri İle Nihai Kazık Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 174, İstanbul.
- Fellenius B, 1975, Test Loading of Piles and New Proof Testing Procedure, ASCE J.G.E Vol. 101, 855-869.
- Leonards G, Lovell D, 1978, Interpretation of Load Test on High Capacity Driven Piles, Behaviour of Deep Foundations, 514, Philadelphia.
- Osterberg J, 1995, The Osterberg Cell for Load Testing Drilled Shafts and Driven Piles, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration Office of Technology Applications, Report no. FHWA-SA-94-035, Washington, D.C.

- Reese L, 1988, Construction Procedures and Design Methods. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration Office of Implementation, Report No. FHWA-HI-88042, Virginia.
- Schellingerhout G, 1996, Pseudo Static Pile Load Tester, Fifth International Conference on the Application of Stress-wave Theory to Piles, September 11-13, Orlando, Florida, USA, 1031-1037.
- Stain T, 1992, Simbat – A dynamic load test for bored piles, Piling: European Practice and Worldwide Trends, London, 198-205.
- TS-EN 206-1, 2002, Beton Standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3169, 1978, Çakma Kazıklar Tasarım Yapım ve Uygulama Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Vural İ, 2018, Teorik Nihai Kazık Taşıma Gücü Hesaplamaları İle Kazık Yükleme Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi, International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Eylül 10-13, Antalya, 17-19.
- Wiggins J, 1964, Effects of Site Conditions on Earthquake Intensity, Jour. ASSCE ST, 256, Philadelphia.
- Yıldız K, 2011, Baret Kazıklı Temellerde Düşey Taşıma Kapasitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 146, İstanbul.
- Yüksel A, Güner S, 2001, Yapı Bilgisi, Aktif Yayınevi, Erzurum.

İnternet Kaynakları

- 1- http://www.zeminarastirma.net/deneyler/kazik_sureklilik_pile_integrity_pit_test_i.html, 24.6.2020
- 2- <http://www.zeminarastirma.com/crosshole-sonic-logging/>, 13.4.2020