



**FARKLI ÇAPTA, DERİNLİKTE VE SAYIDAKİ
KAZIKLARIN GRUP DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mikail YEĞİT

Danışman

Doç. Dr. İsmail ZORLUER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2017

Bu tez çalışması 14.FEN.BİL.14 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI ÇAPTA, DERİNLİKTE VE SAYIDAKİ KAZIKLARIN
GRUP DAVRANIŞI

Mikail YEĞİT

DANIŞMAN

Doç. Dr. İsmail ZORLUER

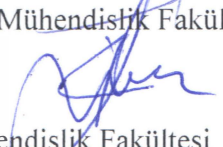
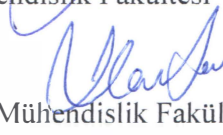
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2017

TEZ ONAY SAYFASI

Mikail YEĞİT tarafından hazırlanan “**FARKLI ÇAPTA, DERİNLİKTE VE SAYIDAKİ KAZIKLARIN GRUP DAVRANIŞI**” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 06/02/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. İsmail ZORLUER

Başkan	: Doç. Dr. Murat TÜRKÖZ		İmza
	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi		
Üye	: Doç. Dr. İsmail ZORLUER		İmza
	Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi		
Üye	: Doç. Dr. Hasan SAVAŞ		İmza
	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi		

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

06/02/2017

İmza

Mikail YEĞİT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI ÇAPTA, DERİNLİKTE VE SAYIDAKİ KAZIKLARIN GRUP DAVRANIŞI

Mikail YEĞİT

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İsmail ZORLUER

Son yıllarda denetleyici ve yapı izinlerini düzenleyen kamu kurumlarının müteahhitler üzerinde zemin iyileştirme konusundaki baskıları artmaktadır. Proje müellifi mühendisler zemin emniyet gerilmesinin daha düşük kabul edilmesi konusu dikte edilmektedir. Bu durum da, özellikle kat sayısının yükselmesi durumunda zemin iyileştirmesini kaçınılmaz hale getirmektedir.

Ülkemizde özellikle jet grout ve fore kazık uygulaması yapan firma sayısı çoğalmış, piyasa rekabeti ile uygulama maliyetleri küçük projelerde de uygulanabilir hale gelmiştir. Konut yapıp satan yüklenici firmalar için ise kazıklı temeller bir pazarlama aracı haline de dönüşmüştür. Bu nedenle geoteknik tasarım sayısında büyük bir artış olmuş, doğru sayıda ve derinlikte kazık sayısının en ekonomik şekilde çözümü de önem kazanmıştır. Bu nedenle bu tez çalışmasında değişik çap, sayı ve derinlikteki kazık gruplarının verimliliği ve ekonomikliği araştırılmıştır.

Bu çalışmada; aynı yapı altında ve aynı zeminde, farklı çapta, farklı derinlik ve farklı uzunluktaki kazıkların oluşturduğu kazık grupları incelenmiş; kazık oturmaları, kazık grubu verimlilikleri ve maliyetleri de dikkate alınarak, optimum sonuca ulaşılması amaçlanmıştır.

2017, xiv + 104 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kazık, kazıklı temeller, kazık grupları, kazık oturması, kazık grubu verimliliği, kazık maliyeti

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

GROUP BEHAVIOUR OF DIFFERENT DIAMETER, DEPTH AND NUMBER OF
PILES

Mikail YEĞİT

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. İsmail ZORLUER

In the recent years, the supervisory and the construction permitting agencies increased pressure on the contractors for soil improvements. It is being dictated to the design engineers to consider lower bearing capacities. Hereby soil improvement becomes inevitable especially with the increasing floor numbers.

In our country, especially jet-grouting and bore piling companies increased; together with the market competition, building costs became applicable even for the small scaled projects. For the companies, producing and selling flats, pile foundations became an instrument for marketing. Therefore pile groups are researched in this thesis.

In this research; in the same soil conditions with the same superstructure, different pile groups with the different number, size and length are researched, it is aimed to obtain an optimum pile group considering the pile settlements, the pile group efficiencies and the costs.

2017, xiv + 104 pages

Keywords: Pile, pile foundations, group piles, pile settlement, group pile efficiency, pile cost

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimde, çalışmalarımın yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım değerli hocam Sayın Doç. Dr. İsmail ZORLUER 'e, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Afyon Kocatepe Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmam, BAPK tarafından 14.FEN.BİL.14 numaralı proje ile desteklenmiştir, desteğinden dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında bana desteğini esirgemeyen başta sevgili eşime ve tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mikail YEĞİT

AFYONKARAHİSAR, 2017

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
RESİMLER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAZIKLAR, KAZIKLI TEMELLER VE ÖZELLİKLERİ	2
3. KAZIKLARIN SINIFLANDIRILMASI	4
3.1 Ahşap Kazıklar	4
3.2 Betonarme Kazıklar	5
3.2.1 Çakma Betonarme Kazıklar.....	5
3.2.2 Yerinde Dökme Kazıklar.....	6
3.2.2.1 Yerinde Dökme Betonarme Çakma Kazıklar	6
3.2.2.2 Fore Kazıklar (Sondaj Kazıkları/Delme Kazıklar)	6
3.3 Çelik Kazıklar	8
3.4 Kompozit Kazıklar.....	9
4. KAZIKLARIN TAŞIMA GÜCÜ	10
4.1 Kazık Uç Direnci Q_p 'nin Belirlenmesi	11
4.1.1 Meyerhof Metodu	11
4.1.1.1 Kumda Kazık Uç Direncinin Meyerhof Metodu ile Belirlenmesi.....	11
4.1.1.2 Kilde Kazık Uç Direncinin Meyerhof Metodu ile Belirlenmesi.....	13
4.1.2 Vesic Metodu.....	14
4.1.2.1 Kumda Kazık Uç Direncinin Vesic Metodu ile Belirlenmesi	14
4.1.2.2 Kilde Kazık Uç Direncinin Vesic Metodu ile Belirlenmesi	16
4.1.3 Coyle ve Castello Metodu	17
4.1.3.1 Kumda Kazık Uç Direncinin Coyle ve Castello Metodu ile Belirlenmesi	17
4.1.4 Q_p 'nin SPT ve CPT Korelasyonları ile Hesaplanması.....	18
4.2 Kazık Sürtünme Direnci Q_s 'nin Belirlenmesi.....	19

4.2.1 Kumda Sürtünme Direnci Q_s 'nin Belirlenmesi	19
4.2.1.1 Kumda Q_s 'nin SPT Korelasyonu ile Hesaplanması	21
4.2.2 Kilde Sürtünme Direnci Q_s 'nin Belirlenmesi	21
4.2.2.1 λ Metodu	21
4.2.2.2 α Metodu	23
4.2.2.3 β Metodu	24
4.3 Kaya Zemine Oturan Kazıkların Taşıma Gücü	25
4.4 Dinamik Kazık Formülleri	26
4.5 Negatif Çevre Sürtünmesi	27
4.5.1 Granüler Zemin Üzerine Kil Dolgu Yapılması Durumu	28
4.5.2 Kil Üzerine Granüler Dolgu Yapılması Durumu	29
4.6 Kazık Yükleme Deneyleri	30
4.7 Kazıkların Elastik Oturması	32
5. KAZIK GRUPLARI	35
5.1 Grup Verimliliği	35
5.2 Kazık Gruplarının Doymuş Killerde Taşıma Gücü	38
5.3 Kazık Gruplarının Oturması	40
5.3.1 Kazık Gruplarının Elastik Oturması	40
5.3.2 Kazık Gruplarının Konsolidasyon Oturması	41
6. YANAL YÜKLÜ KAZIKLAR	44
6.1 Elastik Çözüm	44
6.2 Broms Metodu	50
7. STANDART PENETRASYON DENEYİ	56
7.1 N_{60} Düzeltmesi	56
7.2 SPT-N ile Zemin Parametrelerinin Elde Edilmesi	58
7.2.1 SPT-N ile Efektif Kayma Mukavemeti Açısı ϕ' 'nin Elde Edilmesi	58
7.2.2 SPT-N ile Bağıl Yoğunluk (Dr)'nin Elde Edilmesi	60
7.2.3 SPT-N ile Zeminin Elastisite Modülünün Elde Edilmesi	61
7.2.4 SPT-N ile Serbest Basın Mukavemeti qu 'nun Elde Edilmesi	61
7.2.5 SPT-N ile Drenajsız Kayma Mukavemeti c_u 'nun Elde Edilmesi	62
8. YAPI ÖZELLİKLERİ ve ZEMİN PARAMETRELERİ	63
8.1 Arazi İle İlgili Bilgiler	63
8.2 Yapı İle İlgili Bilgiler	63
8.3 Yapıdan Temele İletilen Yükler	66
8.4 Zemin Profili	67

9. FARKLI ÇAP ve UZUNLUKTA KAZIKLARLA, KAZIK HESABI YAPILMASI	71
9.1 Kazık Hesabı.....	71
9.1.1 80 cm Çap 20 m Derinlik İçin Hesap	71
9.2 Kazık Grubu.....	77
9.2.1 80 cm Çap ve 20 m Boy İçin Kazık Sayısı Hesabı, Kazık Yerleşimi, Kazık Grubu Verimliliği	77
9.3 Tek Kazık ve Kazık Grubu Elastik Oturma Hesabı.....	80
9.3.1 Tek Kazığın Oturma Hesabı	80
9.3.2 Kazık Grubunun Oturması.....	80
9.4 Kazık Maliyet Analizi İçin Betonarme Hesap	81
10. SAP 2000 PROGRAMI İLE ANALİZLER.....	82
11. PLAXIS 3D FOUNDATION PROGRAMI İLE ANALİZLER	88
12. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
12.1 SAP2000 ve Plaxis 3D Foundation Sonuçları	91
12.2 Kazık Hesaplarının Toplu Sonuçları.....	93
12.2.1 Maliyet Karşılaştırması.....	94
12.3 Grafikler	94
12.4 Sonuçlar	99
13. KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	104

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

a	Ortalama değer (0,3) (SPT-N bağıl yoğunluk ilişkisi)
A_p	Kazık uç alanı
A_1, A_2, A_3	Düşey efektif gerilme diyagramı alanları
A_m	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
A'_m	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
A_v	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
A_x	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
A'_x	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
A_θ	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
A'_p	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
b	Ortalama değer (0,3) (SPT-N bağıl yoğunluk ilişkisi)
B_m	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
B'_m	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
B_g	Kazık grubunun genişliği
B_v	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
B_x	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
B'_x	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
B_θ	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
B'_p	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
c	Kazığın elastik boy değiştirmesi
c'	Kohezyon
c_u	Drenajsız kohezyon
$c_{u(p)}$	Kazık ucundaki drenajsız kohezyon
C_p	Ampirik katsayı
C_E	Enerji düzeltme faktörü
C_f	K_0 ve K_{ONC} 'ye bağlı katsayı
D	Kazık çapı
D_r	Referans kazık çapı
D_r	Bağıl yoğunluk
$e_{0(i)}$	i tabakasındaki yükleme öncesi boşluk oranı
E_s	Zeminin elastisite modülü
E_p	Kazığın elastisite modülü
ER	Tokmağın düşürülmesi ile tijlerde oluşan enerjinin teorik enerjiye oranı
f	Herhangi bir z derinliğindeki birim sürtünme
f_{av}	Ortalama birim sürtünme direnci
f_n	Kazıktaki negatif çevre gerilmesi
FS	Güvenlik sayısı
F_y	Kazığın yapıldığı malzemenin akma dayanımı
G_s	Zeminin kayma modülü
H	Tokmağın düşüş yüksekliği
H_f	Kil dolgu yüksekliği
H_i	i tabakasının kalınlığı

Simgeler (Devam)

I	Ekli faktörü
I_p	Kazık kesitinin atalet momenti
I_r	Rijitlik endeksi
I_{rr}	Azaltılmış rijitlik endeksi
I_{wp}	Etki faktörü
I_{ws}	Etki faktörü
k	Yatak katsayısı
k_z	z derinliğindeki yatak katsayısı
K	Efektif zemin basınç sabiti
K'	Toprak basınç katsayısı
K_0	Sükûnetteki zeminin basınç katsayısı
K_0	Aşırı konsolide kumun, efektif yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı
K_{ONC}	Normal konsolide kumun efektif yatay geriliminin düşey gerilimine oranı
K_p	Rankine pasif toprak basınç katsayısı
L	Kazık boyu (m)
ΔL	Kazığın herhangi bir tabaka içindeki uzunluğu
L_g	Kazık grubunun boyu
m	Zemin elastisite modülüne bağlı bir katsayı
M_g	Kazığa etkiyen moment
$M_z(z)$	Kazığın herhangi bir derinlikteki momenti
M_y	Akma momenti
n_h	Zeminin yatay yatak katsayısı sabiti
n_1	Kazık grubunda grup boyundaki kazık sayısı
n_2	Kazık grubunda grup enindeki kazık sayısı
N_{arazi}	Arazi deneyinden elde edilen SPT, N vuruş sayısı
N_c^*	Taşıma gücü faktörü
N_q^*	Taşıma gücü faktörü
N'_σ	Taşıma gücü faktörü
$N_\emptyset$	Drenajlı içsel sürtünme açısına bağlı katsayı
N_{60}	Kazık ucunun 10D üst 4D altındaki SPT sayı ortalaması (Coyle ve Castello)
N_{60}	Teorik serbest düşme enerjisinin %60'ına göre düzeltilmiş hali
$\bar{N}_{60}$	Standart penetrasyon direnci ortalama değeri
$N_{1,60}$	SPT-N'in Liao ve Whitman bağıntısına göre 100 kPa jeolojik basınçla normalize edilmiş hali
p'	Zemine etkiyen basınç
p	Kazık kesit çevresi
p_a	Atmosferik basınç
p_g	Kazık grup kesit çevresi
$p'_z(z)$	Kazığın herhangi bir derinlikteki zemin reaksiyonu
R	Katsayı (Yanal yüklü kazık elastik çözümü)
q'	Efektif gerilme
q_c	Koni penetrasyon direnci
q_p	Kazık uç direnci (gerilme cinsinden)

Simgeler (Devam)

q_1	Kazık uç direnci limit değeri
q_u	Kayanın serbest basınç mukavemeti
q_{wp}	Kazık ucundaki gerilme
Q_{all}	Tek kazığın müsaade edilebilir yükü
Q_F	Dinamik kazık taşıma gücü
Q_g	Kazık yanal yükü
$Q_{g(u)}$	Kazık grubunun nihai taşıma gücü kapasitesi
Q_n	Kazığa etkiyen aşağı yönlü kuvvet
Q_u	Bir kazığın nihai taşıma gücü
Q_p	Kazık uç direnci
Q_s	Kazık çevre sürtünme direnci
Q_{wp}	Servis yükü durumunda kazık uç noktasında taşınan yük
Q_{ws}	Servis yükü durumunda kazık çevresinin taşıdığı yük
S	Kazığın kesit modülü
S	Refü, darbe başına kazığın zemine giriş miktarı
S_e	Kazık oturması
$S_{e(1)}$	Kazığın kendi elastik oturması
$S_{e(2)}$	Kazık ucundan kaynaklanan oturma
$S_{e(3)}$	Kazık çevresinden kaynaklanan oturma
$S_{g(e)}$	Kazık grubunun elastik oturması
S_{net}	Net oturma
S_t	Toplam oturma
T	Kazık-zemin sistemi karakteristik uzunluğu
$V_z(z)$	Kazığın herhangi bir derinlikteki kesme kuvveti
UD	Örselenmemiş numune
W	Tokmak ağırlığı
x	Deplasman
$x_z(z)$	Kazığın herhangi bir derinlikteki deplasmanı
z	Derinlik
z_i	0 noktasından i kil tabaka merkezine olan mesafe
Z	z' ye bağlı katsayı
α	Ampirik adezyon faktörü
β	Drenajlı içsel sürtünme katsayısına bağlı katsayı
γ'	Dolgu altındaki kilin efektif birim hacim ağırlığı
γ'_f	Dolgunun efektif birim ağırlığı
δ'	Zemin-kazık sürtünme açısı
Δ	Kazık ucundaki plastik bölgenin ortalama volumatik gerilmesi
$\Delta e_{(i)}$	i tabakasındaki gerilme artışı nedeniyle boşluk oran değişimi
ΔE	Enerji kayıpları
$\Delta s_{c(g)}$	Kazık grubunun toplam konsolidasyon oturması
$\Delta s_{c(i)}$	i tabakası için konsolidasyon oturması
Δ'_σ	i tabakasının merkezindeki efektif gerilme artışı
η	Verim katsayısı, grup verimliliği
$\theta_z(z)$	Kazığın herhangi bir derinlikteki dönmesi
λ	Kazık gömülü derinliğine bağlı katsayı

Simgeler (Devam)

μ_s	Zeminin poisson oranı
ξ	Çevre sürtünme direncine bağlı katsayı
σ'_0	Efektif düşey gerilme
$\bar{\sigma}'_0$	Efektif normal gerilme
σ'_V	Düşey efektif gerilme
ϕ'	Efektif içsel sürtünme açısı
ϕ'_R	Örselenmiş kilin drenajlı içsel sürtünme açısı

Kısaltmalar

CH	Yüksek plastisiteli kil (USC sınıflandırma sistemi)
CL	Düşük plastisiteli kil (USC sınıflandırma sistemi)
CPT	Koni penetrasyon deneyi
GC	Killi çakıl (USC sınıflandırma sistemi)
GM	Siltli çakıl (USC sınıflandırma sistemi)
GP	Kötü derecelenmiş çakıl (USC sınıflandırma sistemi)
GW	İyi derecelenmiş çakıl (USC sınıflandırma sistemi)
SC	Killi kum (USC sınıflandırma sistemi)
SM	Siltli kum (USC sınıflandırma sistemi)
SP	Kötü derecelenmiş kum (USC sınıflandırma sistemi)
SPT	Standart penetrasyon deneyi
SW	İyi derecelenmiş kum (USC sınıflandırma sistemi)
OCR	Aşırı konsolidasyon oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kazıklı temellerin gerekli olduğu durumlar.....	3
Şekil 3.1 Ahşap kazık ucu.....	4
Şekil 4.1 Bir kazığın toplam taşıma gücü.....	10
Şekil 4.2 N_q^* 'nın, L/D ve içsel sürtünme açısı ϕ' ile değişimi.....	18
Şekil 4.3 λ Metodunun tabakalı zeminde uygulanması.....	23
Şekil 4.4 Negatif çevre sürtünmesi.....	28
Şekil 4.5 a) Kazık eksenel yükleme deneyi şematik gösterimi b) Yük-oturma grafiği c) Yük-net oturma grafiği.....	31
Şekil 5.1 Kazık grubu.....	36
Şekil 5.2 Kazık gruplarının doymuş killerde nihai taşıma gücü.....	38
Şekil 5.3 N_c^* 'nin Lg/Bg ve L/Bg ile değişimi.....	40
Şekil 5.4 Kazık gruplarının konsolidasyon oturması.....	42
Şekil 6.1 Rijit kazık (a) ve elastik kazık (b) için kesme ve moment diyagramları.....	44
Şekil 6.2 A_x , B_x' , $A'm$ ve $B'm$ 'nin Z ile değişimi.....	49
Şekil 6.3a Brooms metoduna göre kumda kısa kazıklar için nihai yanal direnç.....	50
Şekil 6.3b Brooms metoduna göre kilde kısa kazıklar için nihai yanal direnç.....	51
Şekil 6.4 Brooms metoduna göre kumda (a) ve kilde (b) uzun kazıklar için nihai yanal direnç.....	52
Şekil 6.5 Kumda (a) ve kilde (b) kazık başlığı deplasmanı için Brooms metodu.....	54
Şekil 7.1 Drenajsız kayma mukavemeti ile SPT-N arasındaki ilişki.....	62
Şekil 8.1 Yapı kat planı.....	64
Şekil 8.2 Yapı SAP 2000 modeli.....	65
Şekil 8.3 Kolon alt uç mesnet reaksiyonları.....	67
Şekil 8.4 Zemin Profili.....	70
Şekil 9.1a Kazık hesabı excel 1.sayfası.....	74
Şekil 9.1b Kazık hesabı excel 2.sayfası.....	75
Şekil 9.1c Kazık hesabı excel 3.sayfası.....	76
Şekil 9.1d Kazık hesabı excel 4.sayfası.....	77

Şekil 9.2	Kazık sayısı hesabı, kazık yerleşim planlaması, kazık verimliliği.....	78
Şekil 9.3	80 cm çap 20 m derinlik için kazık yerleşim planı.....	79
Şekil 9.4	Tek kazığın oturması.....	80
Şekil 9.5	Kazık grubunun oturması.....	80
Şekil 9.6	Kazık betonarme hesabı ve metrajı.....	81
Şekil 10.1	SAP2000 modeli zemin özelliklerinin tanımlanması.....	82
Şekil 10.2	SAP2000 modeli Solid özelliklerinin tanımlanması.....	83
Şekil 10.3a	Zemin-kazık SAP 2000 modeli (Gösterim şekli: Section).....	84
Şekil 10.3b	Zemin-kazık SAP 2000 modeli (Gösterim şekli: Extruded View).....	85
Şekil 10.3c	Zemin-kazık SAP 2000 modeli (Yalnızca kazıklar ve radye).....	86
Şekil 10.4	Model yükleme durumu.....	87
Şekil 11.1	Plaxis 3D Foundation ara yüzü.....	88
Şekil 11.2	Plaxis 3D Foundation zemin özelliklerinin tanımlanması ve tabakalara atanması.....	89
Şekil 11.3	Plaxis 3D Foundation hesap fazlarının tanımlanması.....	89
Şekil 11.4	Analiz sonrası kazık grubunda çökme.....	90
Şekil 12.1	Kazık konumları için X ve Y koordinat yönü.....	91
Şekil 12.2	SAP 2000, Plaxis 3D Foundation ve kazık grubu oturması.....	95
Şekil 12.3	Tek kazığın oturması.....	95
Şekil 12.4	Kazık grubu verimliliği.....	96
Şekil 12.5	Kazık maliyeti.....	97
Şekil 12.6	Verimlilik ve oturma karşılaştırması.....	97
Şekil 12.7	Maliyet ve oturma karşılaştırması.....	98
Şekil 12.8	Maliyet ve verimlilik karşılaştırması.....	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Yerinde dökme betonarme kazıkların en küçük çapları..... 7
Çizelge 4.1	Meyerhof Metoduna göre enterpolasyonla elde edilmiş N_q^* değerleri.. 13
Çizelge 4.2	Boşlukların genişlemesi teorisine N_σ^* taşıma gücü kapasitesi faktörleri..... 16
Çizelge 4.3	Vesic teorisine göre N_c^* 'nin $\emptyset = 0$ durumunda I_{rr} ile değişimi..... 17
Çizelge 4.4	Efektif zemin basınç sabiti değerleri..... 20
Çizelge 4.5	λ değerinin kazık gömülü derinliği L ile değişimi..... 22
Çizelge 4.6	α değerinin değişimi..... 24
Çizelge 4.7	Kayaların tipik serbest basınç mukavemetleri..... 26
Çizelge 4.8	Kayaların tipik içsel sürtünme açıları..... 26
Çizelge 4.9	Değişik zeminler için C_p değerleri..... 33
Çizelge 5.1	Sürtünme kazıklarında grup verimliliği denklemleri..... 37
Çizelge 6.1	Uzun kazıklar için katsayılar..... 47
Çizelge 6.2	n_h değerleri..... 53
Çizelge 6.3	Killer için K değerleri..... 55
Çizelge 7.1	C_E ve ER 'nin değişimi..... 58
Çizelge 7.2	SPT-N ile efektif kayma mukavemeti açısı arasındaki ilişkiler..... 59
Çizelge 7.3	SPT-N ile bağlı yoğunluk arasındaki ilişkiler..... 60
Çizelge 7.4	SPT-N ile zemin elastisite modülü arasındaki ilişkiler..... 61
Çizelge 7.5	Zemin cinsine göre SPT-N ile serbest basınç mukavemeti q_u ilişkisi.. 61
Çizelge 8.1	Sondaj kuyularından alınan numunelere ait derinlikler..... 68
Çizelge 8.2	SK2 'den alınan numuneler üzerine yapılan deneylerin sonuçları..... 68
Çizelge 8.3	SK2 Sondaj kuyusu SPT deney sonuçları..... 69
Çizelge 8.4	Zemin profili..... 70
Çizelge 12.1	SAP 2000 ve Plaxis 3D Foundation oturma sonuçları..... 92
Çizelge 12.2	Kazık hesapları toplu sonuçları..... 93
Çizelge 12.3	Maliyet analizi karşılaştırma tablosu..... 94

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 3.1	Ahşap kazıklar.....	5
Resim 3.2	Çakma betonarme kazık.	5
Resim 3.3	Yerinde dökme betonarme çakma kazık.....	6
Resim 3.4	Fore kazıklar.....	8
Resim 3.5	Çelik kazıklar.....	8
Resim 3.6	Kompozit kazıklar.....	9



1. GİRİŞ

Geoteknik mühendisliğinde; zeminin taşıma gücünün artırılmasında, şevlerin stabilitesinde, kazıların desteklenmesinde, köprü ayaklarında, liman yapılarında, deniz yapılarında ve birçok alanda kazıklar kullanılır.

Yapı yüklerinin sığ temeller ile zemin tarafından taşınamaması durumunda, yapı yükleri zeminin daha derinlerdeki tabakalarına derin temeller aracılığıyla aktarılır. Derin temellerin de başlıca türü, kazıklı temellerdir (Uzuner 2000). Kazıklı temeller birçok kazığın bir araya gelmesi ve yapı temelinin kazıkların üzerine oturması ile teşkil edilen temellerdir. Kazıklı temellerde birden çok sayıdaki kazığa, kazık grubu adı verilir.

Ülkemizde, her çeşit zeminde inşa edilebilmesi, yapımı sırasında gürültü ve titreşime neden olmamaları, her kazık için kazı yapılması sırasında zeminin düşey kesitinin öğrenilebilmesine olanak sağladığı için en çok tercih edilen kazık çeşidi fore kazıklardır.

Bu çalışmada; aynı arazide, aynı yapının altında, farkı çapta ve farklı sayıdaki kazıkların meydana getirdiği kazık grupları incelenmiştir. 60 cm, 80 cm ve 100 cm çapındaki kazıkların; 10 m, 15 m ve 20 m derinlikte olması durumu (toplam 9 farklı durum) incelenmiştir. Kazık sayıları elle hesaplanmış, kazıklar temel altına uygulamaya dönük olacak şekilde yerleştirilmiş, her durum için kazık grup verimliliği hesaplanmıştır. Elle yapılan hesaplamalarda Microsoft Office Excel programı kullanılmıştır. Kazık grupları ile ilgili yapılan çalışmalara ayrıca 2016 yılı piyasa ortalama fiyatları üzerinden maliyet analizi de çalışmaya dâhil edilmiştir. Kazık gruplarının davranışlarını incelemek üzere kazık grupları SAP 2000 ve Plaxis 3D Foundation programları kullanılarak modellenmiştir. Modelleme sonucunda her kazık grubunda başta ortada ve sonda olacak şekilde kazık uç oturma miktarları bir tabloda derlenmiştir.

2. KAZIKLAR, KAZIKLI TEMELLER VE ÖZELLİKLERİ

Kazıklar; beton, çelik ve ahşaptan imal edilen yapı elemanlarıdır. Kazıklar, sığ temellere göre daha derin ve maliyetli olan kazıklı temellerin oluşturulmasında kullanılırlar (Das 2007). Kazıklı temellerin gerekli olduğu durumlar aşağıdaki gibi özetlenebilir (Vesic 1977):

1) Üst yapıdan gelen yüklerin, zeminin kolaylıkla sıkışabilen bir ya da birkaç üst tabakası tarafından taşınamayacak kadar yumuşak olması durumunda, kazıklar üst yapıdan gelen yükü Şekil 2.1a'da gösterildiği gibi daha derindeki kaya ya da daha sert bir zemin tabasına aktarmakta kullanılırlar. Zemin yüzeyinin makul bir derinliğinde kaya tabakasının bulunmaması durumunda, kazıklar yapısal yükü zemine kademeli olarak aktarmakta kullanılırlar. Uygulanan yapısal yüke direnç, ağırlıklı olarak zemin-kazık ara yüzeyindeki çevre sürtünmesi ile sağlanmaktadır (Şekil 2.1b),

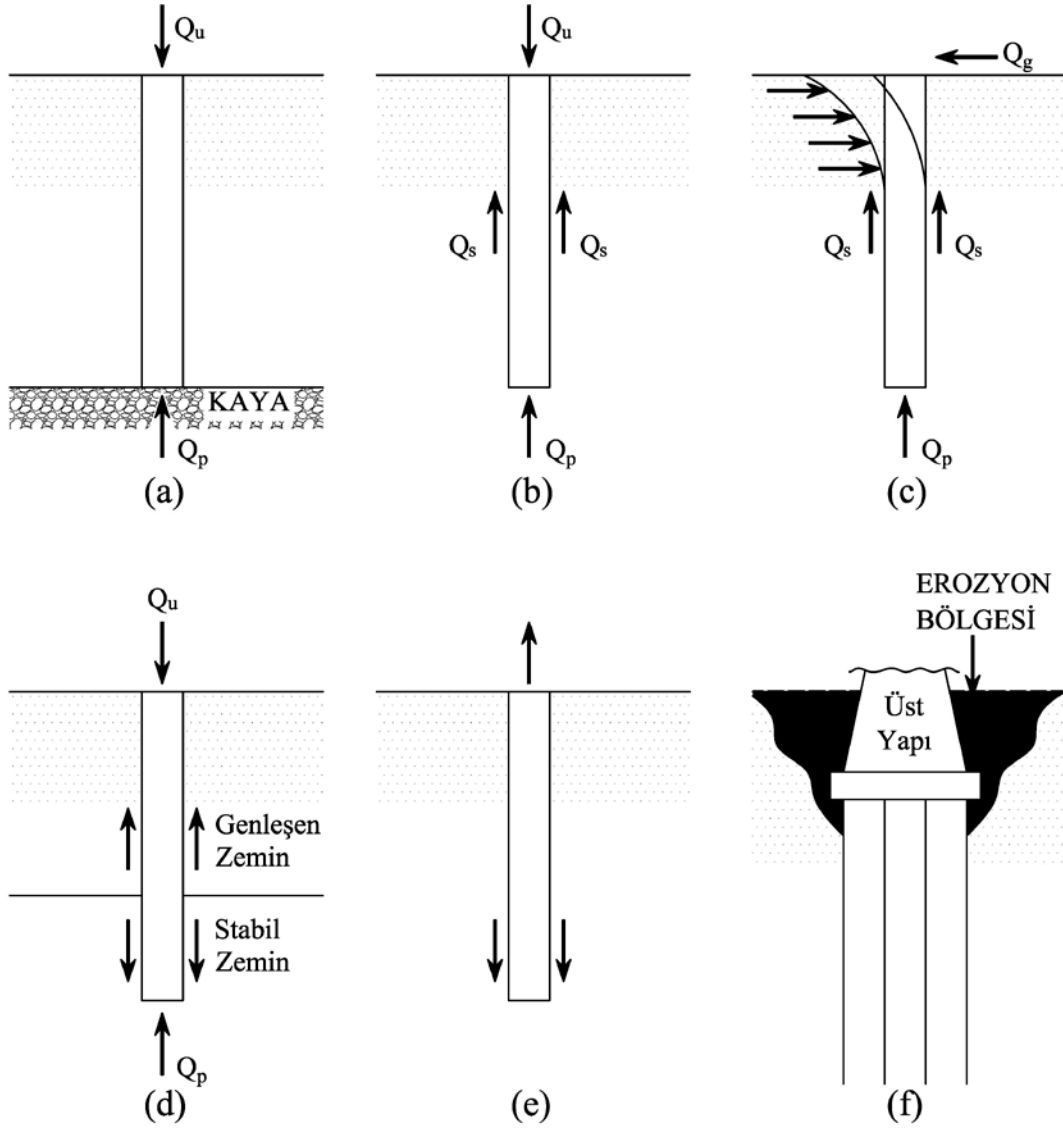
2) Şekil 2.1c'de görüldüğü gibi, yatay yüklenen kazıklar, üst yapıdan gelen yükleri taşıdıkları gibi aynı zamanda eğilmeye maruz kalırlar. Bu tip durumlarla genellikle yanal toprak basıncına maruz yapıların ve rüzgâr ve deprem etkisindeki yüksek katlı yapıların tasarım ve yapımında karşılaşılmaktadır,

3) Birçok durumda, yapımı planlanan yapının bulunduğu alanda, genleşen ve çökme eğiliminde olan zeminle karşılaşılabilir. Bu tür zeminler zemin yüzeyinden çok derinlere kadar inebilmektedir. Genleşme eğiliminde olan zeminler, su muhtevalarının artması veya azalmasıyla kabarmaya ya da büzülebilmektedir, kabarmaya neden olacağı gerilmeler dikkate alınmayı gerektirecek kadar yüksek olabilir. Bu tip durumlarda sığ temellerin kullanılması durumunda, üst yapıda ciddi hasarlar meydana gelebilir. Ancak, kazıklı temeller, kazıkların kabarmaya ya da çökmeye neden olacak tabakaların daha altındaki tabakalara uzatılması durumunda alternatif bir seçecek olarak düşünülebilirler (Şekil 2.1d),

4) Yüksek gerilim direkleri, deniz üstü platformlar, yer altı su seviyesi altındaki radyeler gibi bazı yapıların temelleri, taban kaldırma kuvvetlerine maruz kalmaktadırlar. Bu tip durumlarda yapı temellerinin kaldırma kuvvetlerine karşı koymasını sağlamak

amacıyla kazıklı temeller kullanılabilmektedir (Şekil 2.1e),

5) Köprü ayakları ve iskeleler, temel altındaki erozyondan kaynaklı taşıma gücünün kaybının engellenmesi için genellikle kazıklı temeller üzerine inşa edilirler (Şekil 2.1f).

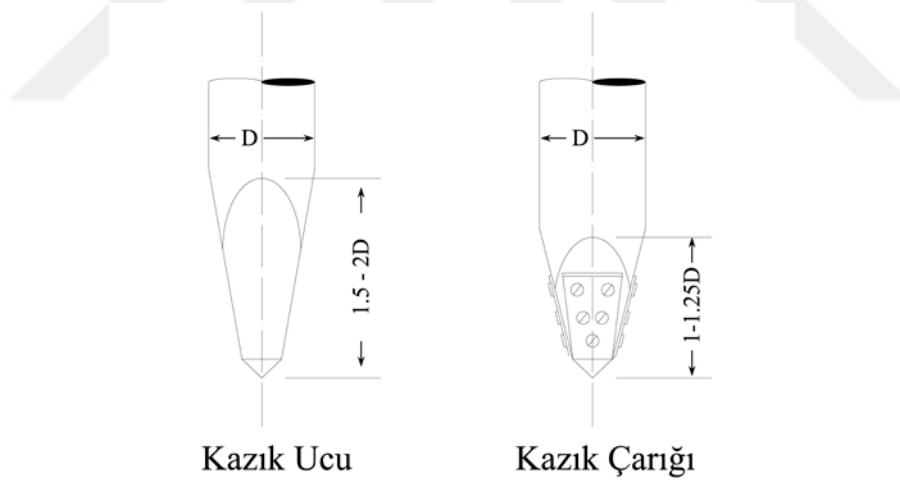


Şekil 2.1 Kazıklı temellerin gerekli olduğu durumlar.

3. KAZIKLARIN SINIFLANDIRILMASI

3.1 Ahşap Kazıklar

Bilinen en eski kazıklar ahşaptan imal edilmiştir. Doğrudan zemine çakılarak uygulanırlar. Avantajları; hafif olması, uygulama esnasında boyunun kolaylıkla kısaltılabilmesi ve hafif olmasıdır. Dezavantajları ise; ahşabın mantar nedeniyle çürümesi, böcek ve kurtlar tarafından kemirilmesidir. Ahşap kazıkların çürüme riskinin en yüksek olduğu kısımları, zemin yüzeyi ile 2 m 'lik derinlik arasındaki kısım ile yeraltı suyunun yükselip alçalması nedeni ile ıslanma-kurumaya maruz olan kısmıdır. Ahşap kazıkları çürümeye, mantarlanmaya ve böcekler tarafından kemirilmeye karşı korumak için emprenye etmek gerekir. Ahşap kazıkların çakılması esnasında uç kısımlarının zarar görmesine engellemek için kazık ucuna metal yüksük takılır ve bu yüksük kazık çarığı olarak adlandırılır (Şekil 3.1), üst kısmına ise, çakma sırasında dağılmayı önlemek için metal başlık yapılır.



Şekil 3.1 Ahşap Kazık Ucu.



Resim 3.1 Ahşap kazıklar.

3.2 Betonarme Kazıklar

3.2.1 Çakma Betonarme Kazıklar

Çakma betonarme kazıklar, prefabrik betonarme kazıklardır. Şantiye sahasında ya da prefabrik eleman üretim tesislerinde; kare, dairesel, sekizgen ve içi boş kesitli olacak şekilde üretilirler. Zemine, üzerlerine yük düşürülerek çakılırlar. Şahmerdan adı verilen makineler ile çakma işlemi gerçekleştirilir.



Resim 3.2 Çakma betonarme kazık.

3.2.2 Yerinde Dökme Kazıklar

Yerinde dökme kazıklar ikiye ayrılırlar:

3.2.2.1 Yerinde Dökme Betonarme Çakma Kazıklar

Üç şekilde teşkil edilebilirler:

- 1) Zemine bir boru çakılması, borunun çıkarılmasının ardından oluşan boşluğun betonlanmasıyla,
- 2) Zemine ucu kapalı bir borunun çakılması ve borunun olduğu gibi bırakılarak iinin betonlanmasıyla,
- 3) Zemine ucu geçici kapalı bir borunun çakılması ve borunun betonlama ile birlikte çıkarılmasıyla.



Resim 3.3 Yerinde dökme betonarme çakma kazık.

3.2.2.2 Fore Kazıklar (Sondaj Kazıkları/Delme Kazıklar)

Fore kazıklar, sondaj kazıkları veya delme kazıklar olarak da adlandırılırlar. Zemine açılan bir sondaj kuyusunun içine donatı indirilerek, boşluğun betonlanması ile teşkil

edilen kazıklardır. Her çeşit zeminde uygulanmasının mümkün olması, kazık çakma işleminin oluşturduğu titreşim ve gürültüsünün olmaması ve sondaj sırasında zemin profilinin kazık kesiti boyunca öğrenilmesine olanak vermesinden dolayı ülkemizde en çok tercih edilen kazık çeşididir.

Ülkemizde TS 3168'e göre fore kazık uygulamasındaki, kazık boyuna göre en küçük kazık çapları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çapı 300 mm'den küçük olan kazıklar ise "mini kazık" olarak adlandırılır.

Çizelge 3.1 Yerinde dökme betonarme kazıkların en küçük çapları.

Kazık Boyu, L(m)	En küçük kazık çapı, D (mm)
$L \leq 10$	300
$10 < L \leq 15$	350
$15 < L \leq 20$	400
$20 < L \leq 30$	500

Fore kazıklar şu şekilde inşa edilirler:

1) Kaplama borusuz olarak: Kendini tutabilen zeminlerde, sondajın (delginin) herhangi bir muhafaza borusu kullanılmadan yapılması, donatının indirilerek tremi borusu (betonun yüksekten düşmesini engellemek için kazık tabanına kadar uzatılan boru) ile beton dökülmesi ile inşa edilir,

2) Kaplama borusu ile: Kazık sondajının, delgi yapılan zeminde kendini tutamaması, yeraltı suyu gibi nedenlerden dolayı, kazık sondaj kuyusunun çökmesine engel olmak için kazı geçici bir muhafaza borusu (kılıfı) ile yapılır. Kazı sonrası donatı indirilir ve tremi borusu ile beton dökülür, muhafaza borusu beton dökülürken çıkarılır,

3) Bentonit çamuru ile: Kendini tutamayan zeminlerde, muhafaza borusunun yeterli olmadığı durumlarda, doğal veya sentetik bentonit çözeltisi yardımı ile kazı yapılır. Donatı indirilmesinin ardından, yine tremi borusu ile kazık tabanından itibaren beton dökülür, yoğunluğu daha düşük olan bentonit çamuru kazık üstünden tahliye edilir.



Resim 3.4 Fore kazıklar.

3.3 Çelik Kazıklar

Çelik kazıklar zemine çakılarak uygulanan kazıklardır. Çok kullanılan çelik kazıklar, boru, kutu, H-kesitli kazıklardır. Geniş flanşlı H-kesitli veya “I” profilli kazıklar da kullanılmaktadır (Toğrol ve Tan 2002).



Resim 3.5 Çelik kazıklar.

3.4 Kompozit Kazıklar

Kompozit kazıklar, birden fazla yapı malzemesinden oluşup tek kazık fonksiyonunu yerine getiren kazıklardır. Ahşap-betonarme, ahşap-çelik, çelik-beton şeklinde kompozisyonları bulunmaktadır. Zemine çakılarak veya betonarme kompozit kazıklarda yerinde dökme ile teşkil edilebilirler.



Resim 3.6 Kompozit kazıklar.

4. KAZIKLARIN TAŞIMA GÜCÜ

- 1) Tek bir kazığın taşıma gücünün belirlenmesi, Nihai taşıma gücü formülleri ile
- 2) Dinamik kazık çakma formülleri ile
- 3) Arazide kazığa yapılan yükleme deneyleri ile
- 4) Standart arazi deneyleri (SPT, CPT vs.) ile yapılır.

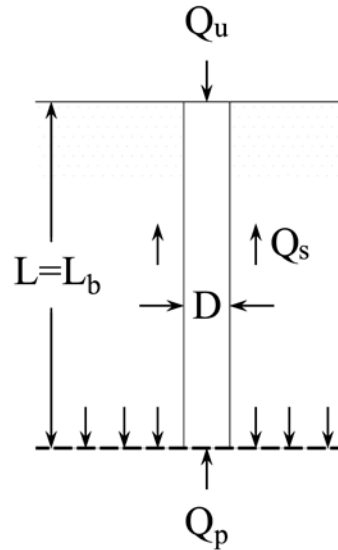
En genel durumda, bir kazığın taşıma gücü için aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (4.1)$$

Q_u = Bir kazığın nihai taşıma gücü

Q_p = Kazık uç direnci

Q_s = Toplam kazık çevre sürtünme direnci (bk. Şekil 4.1)



L = Gömülü derinlik

L_b = Yük taşınan bölgedeki gömülü derinlik

Şekil 4.1 Bir kazığın toplam taşıma gücü.

Kazık uç direnci genel bir ifadeyle aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Q_p = A_p q_p = A_p (c' N_c^* + q' N_q^*) \quad (4.2)$$

A_p = Kazık uç kesit alanı

c' = Kazık ucunun oturduğu zeminin kohezyonu

q_p = Kazık uç taşıma gücü (gerilme cinsinden)

q' = Kazık uç seviyesindeki düşey efektif gerilme

N_c^*, N_q^* = Taşıma gücü faktörleri

Kazık çevre sürtünme direnci de genel bir ifade ile aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Q_s = \sum p \Delta L f \quad (4.3)$$

p = Kazık kesit çevresi

ΔL = Kazığın herhangi bir tabaka içindeki uzunluğu (p ve f sabit kalmak üzere)

f = Herhangi bir z derinliğindeki birim sürtünme

Tek kazığın müsaade edilebilir yükü de aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} \quad (4.4)$$

Q_{all} = Tek kazığın müsaade edilebilir yükü

FS = Güvenlik sayısı

4.1 Kazık Uç Direnci Q_p 'nin Belirlenmesi

4.1.1 Meyerhof Metodu

4.1.1.1 Kumda Kazık Uç Direncinin Meyerhof Metodu ile Belirlenmesi

Meyerhof metoduna göre kumda kazık uç direnci aşağıdaki gibi verilir:

$$Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_l \quad (4.5)$$

q_l = Kazık uç direnci limit değeridir ve aşağıdaki eşitlik ile gösterilir:

$$q_l = 0.5 p_a N_q^* \tan \phi' \quad (4.6)$$

p_a = Atmosferik basınç ($\approx 100 \text{ kN/m}^2$)

ϕ' = Kazık ucunun oturduğu zemin tabakasının efektif içsel sürtünme açısı

N_q^* taşıma gücü faktörleri çizelge 4.1 ile aşağıda verilmiştir.



Çizelge 4.1 Meyerhof Metoduna göre enterpolasyonla elde edilmiş N_q^* değerleri.

İçsel Sürtünme Açısı, ϕ (derece)	N_q^*
20	12.4
21	13.8
22	15.5
23	17.9
24	21.4
25	26.0
26	29.5
27	34.0
28	39.7
29	46.5
30	56.7
31	68.2
32	91.0
33	96.0
34	115.0
35	143.0
36	168.0
37	194.0
38	231.0
39	276.0
40	346.0
41	420.0
42	525.0
43	650.0
44	780.0
45	930.0

4.1.1.2 Kilde Kazık Uç Direncinin Meyerhof Metodu ile Belirlenmesi

Meyerhof metoduna göre kilde kazık uç direnci aşağıdaki gibidir:

$$Q_p \approx N_c^* c_u A_p = 9 c_u A_p \quad (4.7)$$

c_u = Kazık ucunun oturduğu zeminin drenajsız kohezyonu

4.1.2 Vesic Metodu

4.1.2.1 Kumda Kazık Uç Direncinin Vesic Metodu ile Belirlenmesi

Vesic (1977) boşlukların genişlemesi teorisine dayanarak, kazık uç direncinin belirlenmesi için bir yöntem önermiştir. Efektif gerilme parametresi temel alınarak bu teoriye göre uç direnci aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Q_p = A_p q_p = A_p \bar{\sigma}_0' N_\sigma^* \quad (4.8)$$

$\bar{\sigma}_0'$ = Kazık uç noktasındaki efektif normal gerilme şu şekildedir:

$$\bar{\sigma}_0' = \left(\frac{1+2K_0}{3} \right) q' \quad (4.9)$$

K_0 = Sükûnetteki zeminin basınç katsayısıdır ve $= 1 - \sin \phi'$ ile ifade edilir (4.10)

N_σ^* = Taşıma gücü kapasitesi faktörüdür ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$N_\sigma^* = \frac{3N_q^*}{(1+2K_0)} \quad (4.11)$$

Vesic teorisine göre $N_\sigma^* = f(I_{rr})$ 'dir. (4.12)

I_{rr} = Azaltılmış rijitlik endeksidir ve şu şekilde gösterilir:

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1+I_r \Delta} \quad (4.13)$$

I_r = Rijitlik endeksidir ve $= \frac{E_s}{2(1+\mu_s)q' \tan \phi'}$ $= \frac{G_s}{q' \tan \phi'}$ ile gösterilir.

E_s = Zeminin elastisite modülü

μ_s = Zeminin poisson oranı

G_s = Zeminin kayma modülü

Δ = Kazık ucu altında plastik bölgenin ortalama volumatik gerilmesi

I_r 'ye bağlı olarak I_{rr} 'nin yaklaşık olarak bulunması için aşağıdaki yaklaşımlar kullanılabilir (Chen ve Kullhawy, 1994)

$$\frac{E_s}{P_a} = m \quad (4.14)$$

P_a = Atmosferik basınç ($\approx 100 \text{ kN/m}^2$)

$$m = \begin{cases} 100 - 200 & (\text{gevşek zemin için}) \\ 200 - 500 & (\text{orta sertlikte zemin için}) \\ 500 - 1000 & (\text{sert zemin için}) \end{cases}$$

$$\mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi' - 25}{20} \right) \quad (25^\circ \leq \phi' \leq 45^\circ \text{ için}) \quad (4.15)$$

$$\Delta = 0.005 \left(1 - \frac{\phi' - 25}{20} \right) \frac{q'}{P_a} \quad (4.16)$$

Çizelge 4.2 'de I_{rr} ve ϕ' değerlerine karşılık gelen N_σ^* değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 Boşlukların Genişlemesi Teorisine N_{σ}^* taşıma gücü kapasitesi faktörleri.

ϕ'	I_{rr}									
	10	20	40	60	80	100	200	300	400	500
25	12.12	15.95	20.98	24.64	27.61	30.16	39.70	46.61	52.24	57.06
26	13.18	17.47	23.15	27.30	30.69	33.60	44.53	52.51	59.02	64.62
27	14.33	19.12	25.52	30.21	34.06	37.37	49.88	59.045	66.56	73.04
28	15.57	20.91	28.10	33.40	37.75	41.51	55.77	66.29	74.93	82.40
29	16.90	22.85	30.90	36.87	41.79	46.05	62.27	74.30	84.21	92.80
30	18.24	24.95	33.95	40.66	46.21	51.02	69.43	83.14	94.48	104.33
31	19.88	27.22	37.27	44.79	51.03	56.46	77.31	92.90	105.84	117.11
32	21.55	29.68	40.88	49.30	56.30	62.41	85.96	103.66	118.39	131.24
33	23.34	32.34	44.80	54.20	62.05	68.92	95.46	115.51	132.24	146.87
34	25.28	35.21	49.05	59.54	68.33	76.02	105.90	128.55	147.51	164.12
35	27.36	38.32	53.67	65.36	75.17	83.78	117.33	142.89	164.33	183.16
36	29.60	41.68	58.68	71.69	82.62	92.24	129.87	159.65	182.85	204.14
37	32.02	45.31	64.13	78.57	90.75	101.48	143.61	175.95	203.23	227.26
38	34.63	49.24	70.03	86.05	99.60	111.56	158.65	194.94	225.62	252.71
39	37.44	53.50	76.45	94.20	109.24	122.54	175.11	215.78	250.23	280.71
40	40.47	58.10	83.40	103.05	119.74	134.52	193.13	238.62	277.26	311.50
41	43.74	63.07	90.96	112.68	131.18	147.59	212.84	263.67	306.94	345.34
42	47.27	68.46	99.16	123.16	143.64	161.83	234.40	291.13	339.52	382.53
43	51.08	74.30	108.08	134.56	157.21	177.36	257.99	321.22	375.28	423.39
44	55.20	80.62	117.76	146.97	172.00	194.31	283.80	354.20	414.51	468.28
45	59.66	87.48	128.28	160.48	188.12	212.79	312.03	390.35	457.57	517.58

Vesic A.S., "Design of Pile Foundations" SYNTHESIS OF HIGHWAY PRACTICE by AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORT.

4.1.2.2 Kilde Kazık Uç Direncinin Vesic Metodu ile Belirlenmesi

Suya doymun killerde, kazık ucu taşıma gücü kapasitesi aşağıdaki eşitlik ile gösterilir:

$$Q_p = A_p q_p = A_p c_u N_c^* \quad (4.17)$$

Boşlukların genişlemesi teorisine göre (Vesic,1977):

$$N_c^* = \frac{4}{3}(\ln I_{rr} + 1) + \frac{\pi}{2} + 1 \quad (4.18)$$

4.13 eşitliği, doymuş kil zemin için hiç hacim değişikliği olmayacağı dikkate alındığında $\Delta = 0$ olur ve böylelikle:

$$I_{rr} = I_r \quad (4.19)$$

Yaklaşık olarak:

$$I_r = 347 \left(\frac{c_u}{p_a} \right) - 33 \leq 300$$

şeklinde gösterilebilir. (4.20)

N_c^* 'nin $\phi = 0$ durumunda I_{rr} ile değişimi Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Vesic Teorisine göre N_c^* 'nin $\phi = 0$ durumunda I_{rr} ile değişimi.

I_{rr}	N_c^*
10	6.97
20	7.90
40	8.82
60	9.36
80	9.75
100	10.04
200	10.97
300	11.51
400	11.89
500	12.19

4.1.3 Coyle ve Castello Metodu

4.1.3.1 Kumda Kazık Uç Direncinin Coyle ve Castello Metodu ile Belirlenmesi

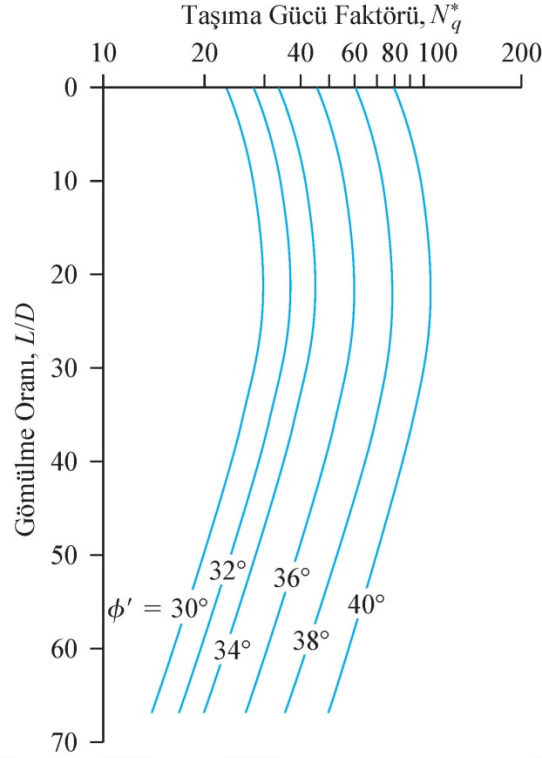
Coyle ve Castello (1981), kum zeminde uygulanmış 24 büyük ölçekli kazık yükleme testini analiz etmiş ve bu testlerin sonuçlarına göre kumlar için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir:

$$Q_p = q' N_q^* A_p \quad (4.21)$$

q' = Kazık uç noktasındaki efektif düşey gerilme

N_q^* = Taşıma gücü faktörü

Şekil 4.2 'de N_q^* 'nın, L/D ve içsel sürtünme açısı ϕ' ile değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.2 N_q^* 'nın, L/D ve içsel sürtünme açısı ϕ' ile değişimi.

4.1.4 Q_p 'nin SPT ve CPT Korelasyonları ile Hesaplanması

Meyerhof (1976), homojen granüler bir zeminde nihai kazık uç direncinin ($L = L_b$) standart penetrasyon deneyi, test darbe sayılarından elde edilebileceğini önermiştir:

$$q_p = 0.4p_a N_{60} \frac{L}{D} \leq 4p_a N_{60} \quad (4.22)$$

q_p = Nihai kazık uç direnci

N_{60} = Kazık uç noktasının, 10D üstünde ve 4D altındaki SPT darbe sayılarının ortalaması

p_a = Atmosferik basınç ($\approx 100 \text{ kN/m}^2$)

Briaud et al. (1985) de nihai kazık uç direncinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitliği önermiştir:

$$q_p = 19.7p_a(N_{60})^{0.36} \quad (4.23)$$

Meyerhof (1956) ayrıca granüler zeminlerde koni penetrasyon direncinin nihai kazık uç direncine yaklaşık olarak aynı alınabileceğini belirtmiştir:

$$q_p \approx q_c \text{ (Granüler zeminde)} \quad (4.24)$$

q_c = Koni penetrasyon direnci

4.2 Kazık Sürtünme Direnci Q_s 'nin Belirlenmesi

4.2.1 Kumda Sürtünme Direnci Q_s 'nin Belirlenmesi

Denklem 4.3'te kazık çevre sürtünme direnci ile ilgili $Q_s = \sum p \Delta L f$ eşitliği verilmişti. Genellikle yapılan gözlemlerde, f değerinin kazık çapının 15 ile 20 katına kadar artış gösterdiği, bu derinlikten sonra da lineer olarak devam ettiği görülmüştür. Bu derinlik şöyle gösterilebilir:

$$L' \approx 15D \quad (4.25)$$

$z = 0$ 'dan L' derinliğine kadar olan birim sürtünme direnci ise şu eşitlikle gösterilebilir:

$$f = K\sigma'_0 \tan \delta' \quad (4.26)$$

K = Efektif zemin basınç sabiti

σ'_0 = Dikkate alınan derinlikteki efektif düşey gerilme

δ' = Zemin-kazık sürtünme açısı

ve $z = L'$ 'den L derinliğine kadar, şu eşitlik verilebilir:

$$f = f_{z=L'} \quad (4.27)$$

Gerçekte K değerinin büyüklüğü derinlikle birlikte değişiklik göstermektedir; ancak kazık başına yakın kısımlarda Rankine pasif toprak basınç katsayısı K_p 'ye, derinlerde ise sükûnetteki toprak basınç katsayısı K_0 'a yaklaşık olarak eşittir. K değerleri Çizelge 4.4 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Efektif zemin basınç sabiti değerleri.

Kazık Tipi	K
Fore ya da Su Jeti	$\approx K_0 = 1 - \sin\phi'$
Düşük Deplasmanlı Çakma Kazıklar	$\approx K_0 = 1 - \sin\phi'$ ile $1.4K_0 = 1.4(1 - \sin\phi')$ aralığında
Büyük Deplasmanlı Çakma Kazıklar	$\approx K_0 = 1 - \sin\phi'$ ile $1.8K_0 = 1.8(1 - \sin\phi')$ aralığında

Coyle ve Castello (1981), kumda kazık sürtünme direnci ile ilgili şu eşitliği önermiştir:

$$Q_s = f_{av}pL = (K\bar{\sigma}'_0 \tan\delta')pL \quad (4.28)$$

$\bar{\sigma}'_0$ = Ortalama efektif jeolojik yük

δ' = Kazık-zemin sürtünme açısı = $0.8\phi'$

Böylelikle eşitlik şu şekilde yazılabilir:

$$Q_s = K\bar{\sigma}'_0 \tan(0.8\phi') pL \quad (4.29)$$

4.2.1.1 Kumda Q_s 'nin SPT Korelasyonu ile Hesaplanması

Meyerhof (1976) büyük deplasmanlı çakma kazıklarda ortalama birim sürtünme direncinin standart penetrasyon direnç değerleri ile elde edilebileceğini göstermiştir:

$$f_{av} = 0.02p_a(\bar{N}_{60}) \quad (4.30)$$

$(\bar{N}_{60})$ = Standart penetrasyon direnci ortalama değeri

p_a = Atmosferik basınç ($\approx 100 \text{ kN/m}^2$)

Düşük deplasmanlı çakma kazıklarda ise:

$$f_{av} = 0.01p_a(\bar{N}_{60}) \quad (4.31)$$

Briaud et al. (1985) ise aşağıdaki eşitliği önermiştir:

$$f_{av} \approx 0.224p_a(\bar{N}_{60})^{0.29} \quad (4.32)$$

Buradan:

$$Q_s = pL f_{av} \quad (4.33)$$

4.2.2 Kilde Sürtünme Direnci Q_s 'nin Belirlenmesi

4.2.2.1 λ Metodu

Bu metot, Vijayvergiya ve Focht (1972) tarafından, kazık çakma neticesinde herhangi bir derinlikte zeminin deplasmanından dolayı pasif yanal basıncın oluştuğu varsayımı ile önerilmiştir, ortalama birim sürtünme direnci ise şu şekilde gösterilir:

$$f_{av} = \lambda(\bar{\sigma}'_0 + 2c_u) \quad (4.34)$$

$\bar{\sigma}'_0$ = Kazığın gömülü olduğu derinlikteki ortalama efektif düşey gerilme

c_u = Drenajsız kayma mukavemeti ($\phi = 0$)

λ değeri kazığın indiği derinlikle birlikte değişiklik gösterir (bk. Çizelge 4.5)

Çizelge 4.5 λ değerinin kazık gömülü derinliği L ile değişimi.

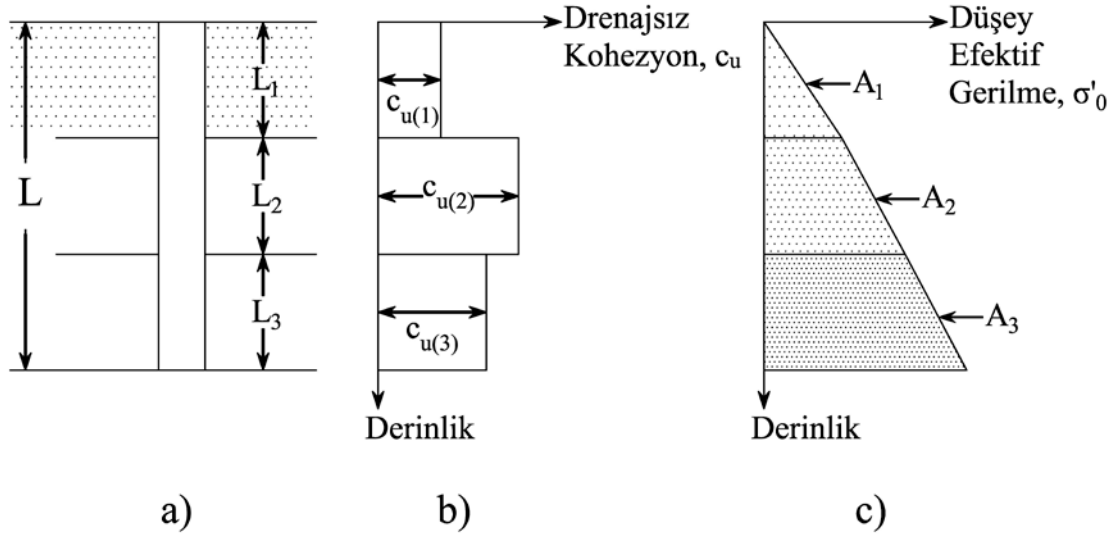
Kazık Gömülü Derinliği L(m)	λ
0	0.5
5	0.336
10	0.245
15	0.200
20	0.173
25	0.150
30	0.136
35	0.132
40	0.127
50	0.118
60	0.113
70	0.110
80	0.110
90	0.110

Kazığın toplam sürtünme direnci ise 4.29'daki eşitlik ile hesaplanır.

Tabakalı zeminlerde $\bar{\sigma}'_0$ ve c_u değerleri elde edilirken dikkatli olmak gerekmektedir. Şekil 4.3a'da üç kil tabakasından meydana gelen zemindeki bir kazık gösterilmektedir. Şekil 4.3b c_u 'yu $(c_{u(1)}L_1 + c_{u(2)}L_2 + \dots)/L$ göstermekte, Şekil 4.3c ise efektif gerilmenin derinlikle değişimini alanlar cinsinden göstermektedir, efektif gerilme ise:

$$\bar{\sigma}'_0 = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots}{L} \quad (4.35)$$

İfadesi ile gösterilmiş, $A_1, A_2, A_3, \dots$ = düşey efektif gerilme diyagramlarının alanlarıdır.



Şekil 4.3 λ Metodunun tabakalı zeminde uygulanması.

4.2.2.2 α Metodu

Bu metoda göre killerde birim çevre sürtünme değeri şu eşitlik ile gösterilir:

$$f = \alpha c_u \quad (4.36)$$

α = Ampirik adezyon faktörüdür. α değerinin yaklaşık değişimi Çizelge 4.5'te verilmektedir.

Çizelge 4.6 α değerinin değişimi (Terzaghi, Peck ve Mesri, 1996).

c_u/p_a	α
≤ 0.1	1.00
0.2	0.92
0.3	0.82
0.4	0.74
0.6	0.62
0.8	0.54
1.0	0.48
1.2	0.42
1.4	0.40
1.6	0.38
1.8	0.36
2.0	0.35
2.4	0.34
2.8	0.34

Nihai kazık çevre sürtünme direnci de aşağıdaki eşitlik ile gösterilir:

$$Q_s = \sum f p \Delta L = \sum \alpha c_u p \Delta L \quad (4.37)$$

4.2.2.3 β Metodu

Herhangi bir derinlikte çevre sürtünmesinin efektif gerilmelere göre hesabı aşağıdaki eşitlik ile verilir:

$$f = \beta \sigma'_0 \quad (4.38)$$

σ'_0 = Düşey efektif gerilme

$$\beta = K \tan \phi'_R \quad (4.39)$$

ϕ'_R = Örselenmiş kilin drenajlı içsel sürtünme açısı

K = Toprak basınç sabiti

Sükûnetteki toprak basınç katsayısı K 'nın büyüklüğü şu şekilde verilir:

$$\text{Normal konsolide killerde; } K = 1 - \sin\phi'_R \quad (4.40)$$

$$\text{Aşırı konsolide killerde; } K = (1 - \sin\phi'_R)\sqrt{OCR} \quad (4.41)$$

OCR= Aşırı konsolidasyon oranıdır.

4.38, 4.39, 4.40 ve 4.41 eşitlikleri bir araya getirilecek olursa:

$$\text{Normal konsolide killer için; } f = (1 - \sin\phi'_R)\tan\phi'_R\sigma'_0 \quad (4.42)$$

$$\text{Aşırı konsolide killer için de: } f = (1 - \sin\phi'_R)\tan\phi'_R\sqrt{OCR}\sigma'_0 \quad (4.43)$$

eşitlikleri elde edilir. Toplam çevre sürtünme direnci ise:

$$Q_s = \sum fp\Delta L \quad (4.44)$$

eşitliği ile hesaplanır.

4.3 Kaya Zemine Oturan Kazıkların Taşıma Gücü

Kazıklı temellerin bir amacı da eğer ekonomik derinlikte ise, yapı yükünün kaya zemine aktarılmasıdır. Bu durumda kaya zeminin de taşıma gücü kapasitesinin dikkate alınması gerekir. Kaya zeminin nihai taşıma gücü aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Goodman, 1980):

$$q_p = q_u(N_\phi + 1) \quad (4.45)$$

$$N_\phi = \tan^2(45 + \frac{\phi'}{2})$$

q_u = Kayanın serbest basınç mukavemeti

ϕ' = Drenajlı içsel sürtünme açısı

q_u genellikle araziden alınan kaya numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar testleri ile bulunur. Ancak alınan numuneler çap olarak küçük olduğu ve kayanın büyümesi ile serbest basınç mukavemetinin azalmasından dolayı her zaman aşağıdaki azaltma önerilir:

$$q_{u(tasarım)} = \frac{q_{u(lab)}}{5} \quad (4.46)$$

Çizelge 4.6’da kayaların serbest basınç mukavemetinin laboratuvar koşullarındaki değerleri verilmiştir. Yine kayaların içsel sürtünme açıları da Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Genellikle kayanın taşıma gücünün belirlenmesinde, güvenlik sayısı FS’nin en az 3 alınması gerekmektedir. Böylelikle:

$$Q_{p(all)} = \frac{[q_u(tasarım)(N_{\phi}+1)]A_p}{FS} \quad (4.47)$$

şeklini alır.

Çizelge 4.7 Kayaların tipik serbest basınç mukavemetleri.

Kaya Tipi	q_u MN/m^2
Kumtaşı	70-140
Kireçtaşı	105-210
Şeyl	35-70
Granit	140-210
Mermer	60-70

Çizelge 4.8 Kayaların tipik içsel sürtünme açıları.

Kaya Tipi	İçsel Sürtünme Açı, ϕ' Derece
Kumtaşı	27-45
Kireçtaşı	30-40
Şeyl	10-20
Granit	40-50
Mermer	25-30

4.4 Dinamik Kazık Formülleri

Dinamik kazık formülleri çakma kazıkların nihai taşıma güçlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Kazıkların çakma kayıtlarına dayanan, çok sayıda dinamik çakma formülü önerilmiştir. Bu formüller esas olarak fiziğin çarpışma temel problemine dayanır. Çakma sırasında kazığın, darbe başına giriş miktarı “refü” esas alınır (Toğrol ve Tan 2002).

$$\eta WH = Q_F s \quad (4.48)$$

$$WH = Q_F s + \Delta E \quad (4.49)$$

Q_F = Kazık taşıma gücü (dinamik)

W = Tokmak ağırlığı

H = Tokmanın düşüş yüksekliği

S = Refü, darbe başına giriş miktarı

η = Verim katsayısı

ΔE = Enerji kayıpları

Temel dinamik kazık formülleri de şu şekilde verilir:

$$Q_F = \frac{\eta WH}{s + \frac{c}{2}} \quad (4.50)$$

Q_F = Kazık direnci, dinamik taşıma gücü

η = Çarpışmada enerji kayıplarını temsil eden, tokmak verim katsayısı

W = Tokmak ağırlığı

H = Tokmanın düşüş yüksekliği

S = Refü, darbe başına giriş miktarı

c = Kazığın elastik (geri dönen) boy değiştirmesi

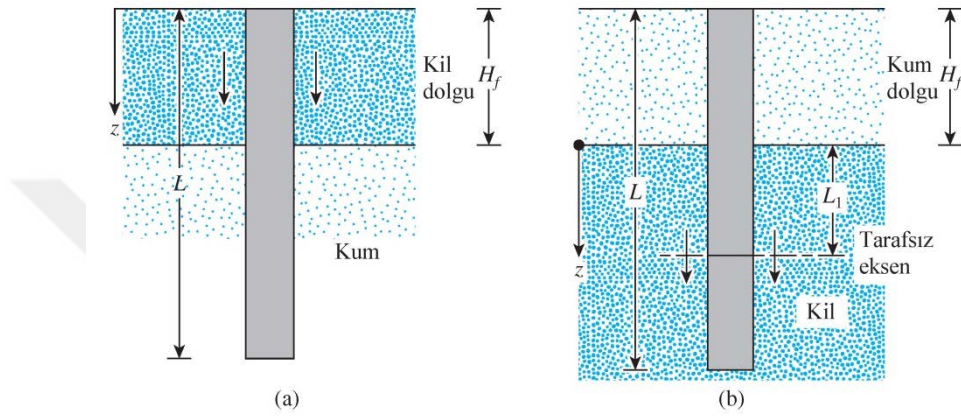
4.5 Negatif Çevre Sürtünmesi

Negatif çevre sürtünmesi, kazığı saran zeminin kazığı aşağı doğru çeken bir sürtünme kuvvetidir. Negatif çevre sürtünmesi genellikle aşağıdaki durumlarda ortaya çıkar:

1) Granüler zemine yerleştirilen bir kazığın üst kısmına, kazığın üst kısmını

çevreleyecek şekilde bir kil dolgu yapılması durumunda, kilin konsolide olması ile kazıkta aşağı yönlü bir kuvvet doğar. Bakınız Şekil 4.4a,

2) Şekil 4.4b’de gösterildiği gibi, yumuşak bir kildeki kazık etrafına, kilin üstüne gelecek şekilde, granüler bir dolgu yapılsa, granüler dolgu kilin konsolide olmasına neden olacak ve bu da kazıkta aşağı yönlü bir kuvvete neden olacaktır,



Şekil 4.4 Negatif çevre sürtünmesi.

3) Yer altı su seviyesindeki düşme, düşey efektif gerilmeyi artıracığından, kil tabakasında konsolidasyon oturmasına yol açacaktır. Bu durum da kazıkta aşağı yönlü bir kuvvet doğuracaktır.

Bazı durumlarda negatif çevre sürtünmesi temelin göçmesine neden olabilir, bu nedenle negatif çevre sürtünmesinin hesaplanması gerekir.

4.5.1 Granüler Zemin Üzerine Kil Dolgu Yapılması Durumu

4.2.2.3 numaralı bölümdeki β metoduna benzer bir şekilde, kazıktaki negatif çevre gerilmesi şu şekilde hesaplanabilir:

$$f_n = K' \sigma'_0 \tan \delta' \quad (4.51)$$

$K' = \text{Toprak basınç katsayısı} = K_0 = 1 - \sin \phi'$

σ'_0 = Herhangi bir derinlikteki düşey efektif gerilme $z = \gamma'_f z$

γ'_f = Dolgunun efektif birim ağırlığı

δ' = Kazık-zemin sürtünme açısı $\approx 0.5 - 0.7\phi'$

Böylelikle kazıkta ortaya çıkacak olan toplam aşağı yönlü kuvvet şu şekilde ortaya çıkar:

$$Q_n = \int_0^{H_f} (pK'\gamma'_f \tan\delta') z \, dz = \frac{pK'\gamma'_f H_f^2 \tan\delta'}{2} \quad (4.52)$$

H_f = Kil dolgu yüksekliği. Eğer dolgu yer altı su seviyesinin üzerindeyse, efektif birim ağırlık γ'_f , doygun birim hacim ağırlıkla değiştirilmelidir.

4.5.2 Kil Üzerine Granüler Dolgu Yapılması Durumu

Bu durumda kazık üzerindeki negatif çevre sürtünmesi $z = 0$ 'dan $z = L_1$ 'e kadar bulunur ve nötr derinlik olarak adlandırılır (Vesic 1977). Nötr derinlik aşağıdaki gibi verilebilir (Bowles 1982):

$$L_1 = \frac{(L-H_f)}{L_1} \left[\frac{L-H_f}{2} + \frac{\gamma'_f H_f}{\gamma'} \right] - \frac{2\gamma'_f H_f}{\gamma'} \quad (4.53)$$

γ'_f = Dolgunun efektif birim hacim ağırlığı

γ' = Dolgu altındaki kil tabakasının efektif birim hacim ağırlığı

Uç kazıklarında, nötr derinlik kazığın dolgu hariç zemin içindeki yüksekliği olarak kabul edilebilir: ($L_1 = L - H_f$).

$z = 0$ 'dan $z = L_1$ 'e kadar olan birim negatif çevre sürtünmesi şu şekilde gösterilir:

$$f_n = K'\sigma'_0 \tan\delta' \quad (4.54)$$

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

$$\sigma'_0 = \gamma'_f H_f + \gamma' z$$

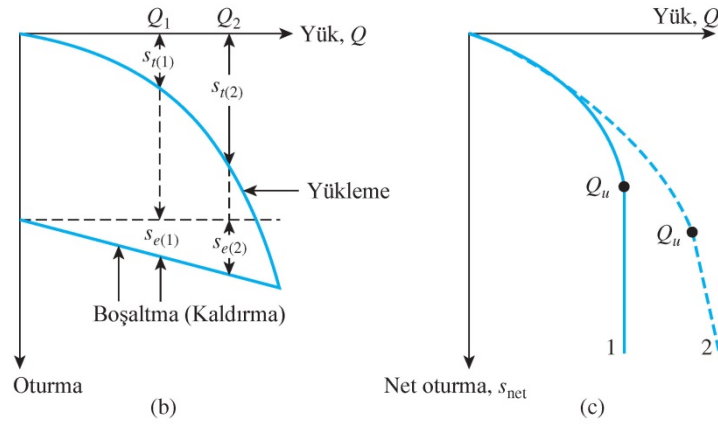
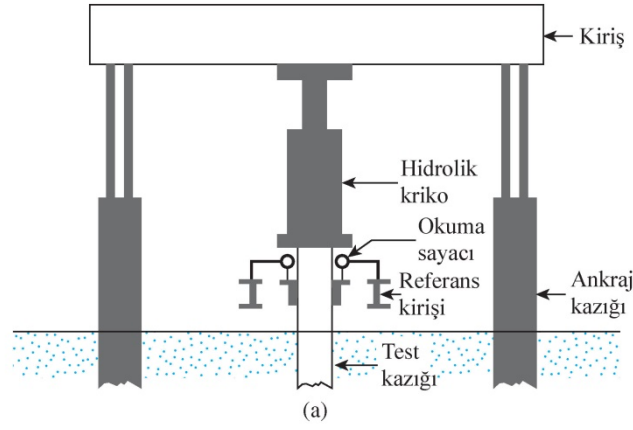
$$\delta' = 0.5 - 0.7\phi'$$

Toplam aşağı çeken kuvvet de şu şekilde gösterilir:

$$\begin{aligned} Q_n &= \int_0^{L_1} p f_n dz \\ &= \int_0^{L_1} p K' (\gamma'_f H_f + \gamma' z) \tan \delta' dz = (p K' \gamma'_f H_f \tan \delta') L_1 + \frac{L_1^2 p K' \gamma' \tan \delta'}{2} \end{aligned} \quad (4.55)$$

4.6 Kazık Yükleme Deneyleri

Büyük ölçekli projelerin tamamında kazık yükleme deneyleri zorunlu tutulmaktadır. Bunun ana nedeni tahmin metotlarının güvenilir olmamasıdır. Kazıkların yatay ve düşey taşıma güçleri sahada test edilebilir. Şekil 4.5a bir kazığın eksenel yükleme deneyini şematik olarak göstermektedir. Eksenel yükleme deneyinde yük kazığa adım adım uygulanmakta ve her yük adımı arasında oturma yapılabilmesi için yeteri kadar zaman tanınmaktadır. Yükün her adımda ne kadar uygulanacağı yerel şartnamelere göre değişiklik göstermesine rağmen, genellikle servis (hesap) yükünün dörtte biri kadar olan yük adımları ile kazıklar servis yükünün iki katına kadar yüklenmektedirler. Yüklemenin tamamlanmasının ardından yük aşamalı olarak kaldırılır.



Şekil 4.5 a) Kazık eksenel yükleme deneyi şematik gösterimi b) Yükleme-oturma grafiği c) Yükleme-net oturma grafiği.

Şekil 4.5b’de saha kazık yükleme deneyinden elde edilen yükleme-oturma eğrisi verilmektedir. Buna göre

$$Q = Q_1 \text{ olduğunda, net oturma } s_{net(1)} = s_{t(1)} - s_{e(1)}$$

$$Q = Q_2 \text{ olduğunda, net oturma } s_{net(2)} = s_{t(2)} - s_{e(2)} \text{ ‘dir.}$$

$$s_{net} = \text{Net oturma}$$

$$s_e = \text{Kazığın kendi elastik oturması}$$

$$s_t = \text{Toplam oturma}$$

Kazık nihai taşıma gücünün kazık yükleme deneyi, yükleme-oturma grafiği ile elde edilmesindeki yöntemlerden biri Davisson (1973) tarafından önerilmiştir. Bu yöntem genellikle sahada yapılan yükleme deneylerinde en çok kullanılan yöntemdir. Şekil

4.5c'de de görülebileceği üzere, nihai yük s_u oturma seviyesinde meydana gelir, buna göre:

$$s_u(mm) = 0.012D_r + 0.1 \left(\frac{D}{D_r} \right) + \frac{Q_u L}{A_p E_p} \quad (4.56)$$

Q_u = Nihai yük (kN)

D = Kazık çapı (mm)

D_r = Referans kazık çapı ya da genişlik (=300 mm)

L = Kazık uzunluğu (mm)

A_p = Kazık kesit alanı (mm²)

E_p = Kazık malzemesinin elastisite modülü (kN/mm²)

4.7 Kazıkların Elastik Oturması

Bir kazığın düşey bir servis (hesap) yükü (Q_w) altındaki toplam oturması şu eşitlik ile gösterilir:

$$s_e = s_{e(1)} + s_{e(2)} + s_{e(3)} \quad (4.57)$$

$s_{e(1)}$ = Kazığın elastik oturması

$s_{e(2)}$ = Kazık ucundan kaynaklanan oturma

$s_{e(3)}$ = Kazık çevresinin aktardığı yükten dolayı meydana gelen oturma

Kazığın elastik oturması aşağıdaki eşitlik ile gösterilebilir:

$$s_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \quad (4.58)$$

Q_{wp} = Servis yükü durumunda kazık uç noktasında taşınan yük

Q_{ws} = Servis yükü durumunda kazık çevresi tarafından taşınan yük

A_p = Kazık enkesit alanı

L = Kazık uzunluğu

E_p = Kazığın elastisite modülü

ξ 'nin büyüklüğü birim çevre sürtünme direncinin (f) dağılımına bağlı olarak 0.5 ile 0.67 arasında değişen değerler alır.

Kazık ucunda, kazık ucu tarafından taşınan servis yükü nedeni ile oluşan oturma da şu şekilde gösterilebilir:

$$s_{e(2)} = \frac{q_{wp}D}{E_s} (1 - \mu^2) I_{wp} \quad (4.59)$$

D = Kazık genişliği veya çapı

q_{wp} = Kazık ucundaki gerilme = Q_{wp}/A_p

E_s = Kazık ucunun oturduğu zeminin elastisite modülü

μ_s = Zeminin elastisite modülü

I_{wp} = Etki faktörü ≈ 0.85

Vesic (1977), $s_{e(2)}$ oturmasının elde edilmesinde yarı ampirik bir metot önermiştir, buna göre:

$$s_{e(2)} = \frac{Q_{wp}C_p}{Dq_p} \quad (4.60)$$

q_p = Kazığın nihai uç direnci

C_p = Ampirik katsayıdır. Değişik zeminler için C_p katsayıları çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.9 Değişik zeminler için C_p değerleri.

Zemin Tipi	Çakma Kazık	Sondaj Kazığı
Kum (Yoğundan gevşeye)	0.02-0.04	0.09-0.18
Kil (Sertten yumuşağa)	0.02-0.04	0.03-0.06
Silt (Yoğundan gevşeye)	0.03-0.05	0.09-0.12

Vesic A.S., "Design of Pile Foundations" SYNTHESIS OF HIGHWAY PRACTICE by AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORT.

Kazık çevresi tarafından taşınan yük nedeni ile kazığın oturması da şu şekilde gösterilebilir:

$$s_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu^2) I_{ws} \quad (4.61)$$

p = Kazığın çevresi

L = Kazığın gömülü derinliği

I_{ws} = Etki faktörü. Vesic (1977) tarafından I_{ws} etki faktörü için basit bir ampirik bağıntı verilmiştir:

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (4.62)$$

Vesic (1977) yine $s_{e(3)}$ için basit bir ampirik bağıntı vermiştir:

$$s_{e(3)} = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} \quad (4.63)$$

$$C_s = \text{Ampirik bir katsayıdır ve } C_s = (0.93 + 0.16 \sqrt{L/D}) C_p \quad (4.64)$$

C_p değerleri Çizelge 4.8'den alınabilir.

5. KAZIK GRUPLARI

5.1 Grup Verimliliği

Yapısal yükü zemine aktarmak için kazıklar çoğunlukla kazık grupları halinde kullanılırlar. Kazık grubunun üzerine ise kazık başlığı yapılır. Kazık başlığı radye temeller gibi temel sistemlerinde zeminle temas halindedirler, ancak deniz üstü yapıları gibi yapılarda başlık zemine temas etmeyebilir.

Kazık gruplarının taşıma gücünün belirlenmesi oldukça karmaşıktır ve halen tamamen aydınlatılamamıştır. Kazıkların birbirine yakın olarak yerleştirildiği durumlarda, kazıklardan zemine aktarılan gerilmelerin birbiriyle çakıştığını kabul etmek gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Genellikle kazıkları belirli bir aralıkta yerleştirip, kazıkların her birinin aktardığı yükün toplamının kazık grubunun aktardığı yükten az olmamasına özen gösterilir. Uygulamada, kazıkların merkezden merkeze olan mesafesi d minimum kazık çapının 2.5 katı ($2.5D$) olmalıdır, normal durumlarda ise $3D$ ile $3.5D$ olacak şekilde yerleştirilmelidir.

Bir kazık grubunun taşıma gücü kapasite verimliliği aşağıdaki gibi verilebilir:

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

η = Grup verimliliği

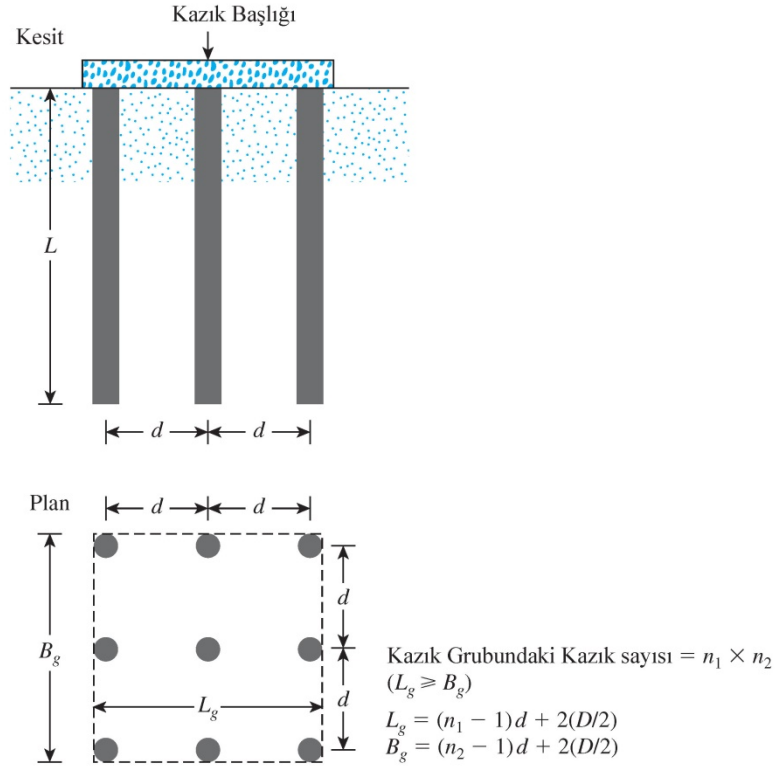
$Q_{g(u)}$ = Kazık grubunun nihai taşıma gücü kapasitesi

Q_u = Her bir kazığın grup etkisi olmaksızın nihai taşıma gücü kapasitesi

Mühendislikte, özellikle kumda sürtünme kazıklarındaki grup verimliliğini elde etmek için basitleştirilmiş analizler kullanılır. Bu tip bir analiz şekil 5.1'in yardımı ile açıklanabilir. Kazık aralarındaki mesafelere bağlı olarak, kazıklar iki şekilde davranabilirler:

1) Blok olarak (blok davranışı), $L_g \times B_g \times L$ ölçüleri blok ölçüleridir.

2) Bağımsız kazıklar olarak.



Şekil 5.1 Kazık Grubu.

Eğer kazıklar blok olarak davranırlarsa, bloğun sürtünme kapasitesi:

$$f_{av} p_g L \approx Q_{g(u)} \quad (5.2)$$

$$p_g = \text{Kazık grup kesitinin çevresi} = 2(n_1 + n_2 - 2)d + 4D$$

$$f_{av} = \text{Ortalama birim sürtünme direnci}$$

5.2'ye benzer olarak, eğer kazıklar bağımsız davranırlarsa, 4.29 ile aynı eşitlikle:

$$Q_u \approx p L f_{av}$$

p = Her bir kazığın kesitinin çevresidir. Böylelikle şu eşitlik verilebilir:

$$\eta = \frac{Q_{g(u)}}{\sum Q_u} = \frac{f_{av}[2(n_1+n_2-2)d+4D]L}{n_1n_2pLf_{av}} = \frac{2(n_1+n_2-2)d+4D}{pn_1n_2} \quad (5.3)$$

Buradan:

$$Q_{g(u)} = \left[\frac{2(n_1+n_2-2)d+4D}{pn_1n_2} \right] \sum Q_u \quad (5.4)$$

Eğer kazık merkezinden merkezine olan mesafe yani d yeterince büyük olursa $\eta > 1$, bu durumda kazıklar bağımsız olarak davranacaklardır.

Eğer $\eta < 1$; bu durumda $Q_{g(u)} = \eta \sum Q_u$

Eğer $\eta \geq 1$; bu durumda $Q_{g(u)} = \sum Q_u$ şeklinde gösterilir.

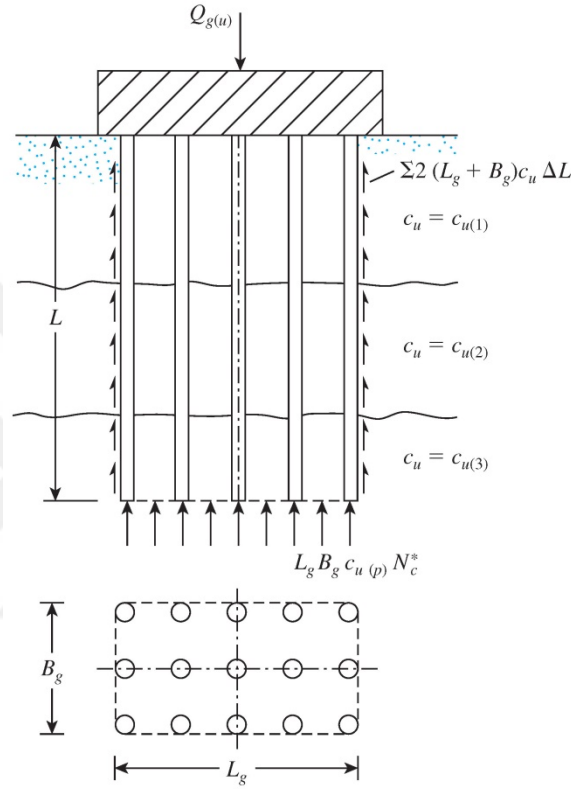
Sürtünme kazıklardan birçok eşitlik ile grup verimliliğini hesaplamak mümkündür. Bunlardan bazıları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Sürtünme kazıklarında grup verimliliği denklemleri.

İsim	Denklem
Converse-Labarre Denklemi	$\eta = 1 - \left[\frac{(n_1 - 1)n_2 + (n_2 - 1)n_1}{90n_1n_2} \right] \theta$ $\theta(derece) = \tan^{-1}(D/d)$
Los Angeles Grup Etkisi Denklemi	$\eta = 1 - \frac{D}{\pi dn_1n_2} [n_1(n_2 - 1) + n_2(n_1 - 1) + \sqrt{2}(n_1 - 1)(n_2 - 1)]$
Seiler-Keeney Denklemi (Seiler ve Keeney, 1944)	$\eta = \left\{ 1 - \left[\frac{11d}{7(d^2 - 1)} \right] \left[\frac{n_1 + n_2 - 2}{n_1 + n_2 - 1} \right] \right\} + \frac{0.3}{n_1 + n_2}$ d'nin birimi feet

5.2 Kazık Gruplarının Doymuş Killerde Taşıma Gücü

Kazık gruplarının doymuş bir kil tabakasındaki taşıma gücünün belirlenmesinde üç aşamalı bir yol izlenecektir. Kazık grubunun daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 5.2'ye bakınız.



Şekil 5.2 Kazık gruplarının doymuş killerde nihai taşıma gücü.

Adım 1:

5.3'teki eşitlikten yararlanılarak $\sum Q_u = n_1 n_2 (Q_p + Q_s)$ 'nın belirlenmesi

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

$c_{u(p)}$ = Kazık ucundaki kilin drenajsız kohezyonu

$$Q_s = \sum \alpha c_u p \Delta L \text{ (4.33 eşitliğinden)}$$

yerine konularak şu eşitliğe ulaşılır:

$$\sum Q_u = n_1 n_2 [9A_p c_{u(p)} + \sum \alpha c_u p \Delta L] \quad (5.5)$$

Adım 2:

Kazıkların grup olarak davrandıklarını varsayarak nihai taşıma kapasitesinin hesaplanması. Kazık grup ölçüleri: $L_g \times B_g \times L$

Kazığın sürtünme direnci şekil 5.2 dikkate alındığında şu şekildedir:

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

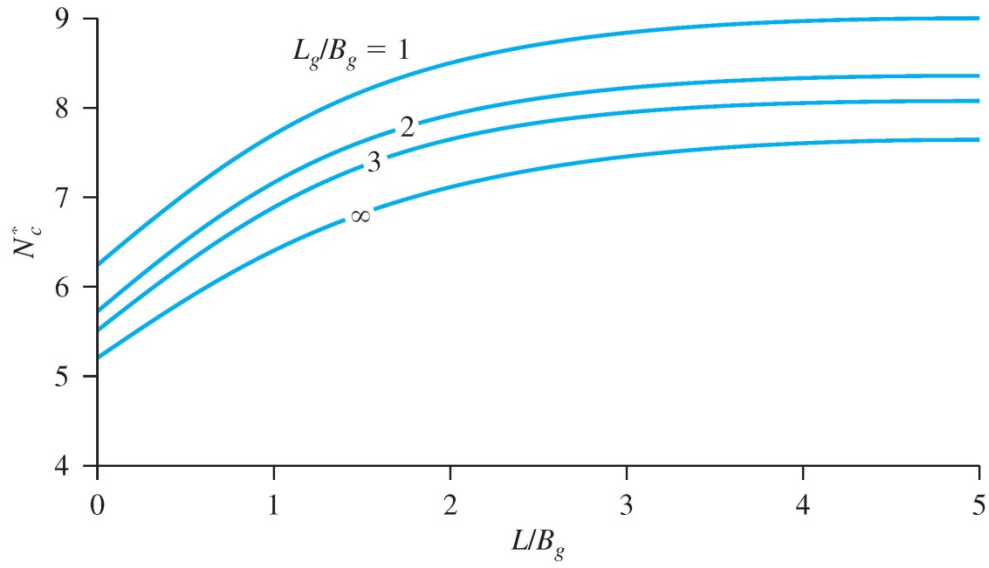
Kazık uç taşıma gücü:

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

Şekil 5.3'ten taşıma gücü faktörü olan N_c^* alınır ve böylelikle:

$$\sum Q_u = L_g B_g c_{u(p)} N_c^* + \sum 2(L_g + B_g) c_u \Delta L \quad (5.6)$$

eşitliği elde edilir.



Şekil 5.3 N_c^* 'nin L_g/B_g ve L/B_g ile değişimi.

Adım 3:

1.Adımdaki 5.5 eşitliği ile 2.Adımdaki 5.6 eşitliğinde değerler kıyaslanır ve bu değerlerden küçük olanı $Q_{g(u)}$ olarak alınır.

5.3 Kazık Gruplarının Oturması

5.3.1 Kazık Gruplarının Elastik Oturması

Genellikle, kazık gruplarının kazık başına servis yükü altındaki oturmaları, kazık genişliği (B_g)'nin ve kazık merkezinden merkezine mesafe d'nin artması ile artmaktadır. Literatürde kazık gruplarının oturması ile ilgili sayısız çalışma olmasına rağmen sonuçlar büyük oranda çelişmektedir. Kazık gruplarının oturması ile ilgili en basit ilişki Vesic (1969) tarafından verilmiştir:

$$s_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} s_e \quad (5.7)$$

$s_{g(e)}$ = Kazık grubunun elastik oturması

B_g = Kazık grubunun genişliği

D = Kazık grubundaki her kazığın genişliği ya da çapı

s_e = Servis yükü altındaki tekil kazığın elastik oturması (bk. Bölüm 4.7)

Kum ve çakıllarda kazık gruplarının elastik oturması için Meyerhof (1976) ampirik bir ilişki önermiştir:

$$s_{g(e)}(mm) = \frac{0.96q\sqrt{B_g I}}{N_{60}} \quad (5.8)$$

$$q = Q_g / (L_g B_g) \text{ (birimi kN/m}^2\text{)} \quad (5.9)$$

L_g ve B_g = Kazık grubunun uzunluğu ve genişliği (m)

N_{60} = Kazık uç oturma noktası civarındaki ortalama standart penetrasyon sayısı ($\approx B_g$ kazık uç noktasının altında)

$$I = \text{Etki faktörü} = 1 - L/8B_g \geq 0.5 \quad (5.10)$$

L = Kazıkların gömülü derinliği (m)

5.3.2 Kazık Gruplarının Konsolidasyon Oturması

Kazık gruplarının killerde konsolidasyon oturmaları 2:1 Gerilme Dağıtma Yöntemi ile belirlenebilir. Hesaplama aşağıdaki adımlar ile yapılır (Bakınız Şekil 5.4):

L_g, B_g = Kazık grubunun sırasıyla uzunluk ve genişliği

$z_i = z = 0$ noktasından i kil tabakası merkezine olan mesafe

Örneğin, şekil 5.4'te, tabaka 2 için, $z_i = L_1/2$; tabaka 3 için, $z_i = L_1 + L_2/2$; tabaka 4 için de $z_i = L_1 + L_2 + L_3/2$ şeklindedir. Ancak tabaka 1, gerilme dağılımının başladığı yatay $z=0$ düzleminin üzerinde olduğu için bu tabakada gerilme artışı olmayacaktır.

Adım 4: Her tabakadaki gerilme artışı nedeniyle oluşan konsolidasyon oturması hesaplanır:

$$\Delta s_{c(i)} = \left[\frac{\Delta e_{(i)}}{1 + e_{0(i)}} \right] H_i \quad (5.12)$$

$\Delta s_{c(i)}$ = i tabakası için konsolidasyon oturması

$\Delta e_{(i)}$ = i tabakasındaki gerilme artışı nedeniyle boşluk oranındaki değişme

$e_{0(i)}$ = i tabakasındaki yükleme öncesi (yapım öncesi) boşluk oranı

H_i = i tabakasının kalınlığı (Şekil 5.4 için tabaka 2'deki $H_i = L_1$; tabaka 3 için $H_i = L_2$; ve tabaka 4 için $H_i = L_3$ 'tür)

Adım 5: Kazık grubundaki toplam konsolidasyon oturması hesaplanır:

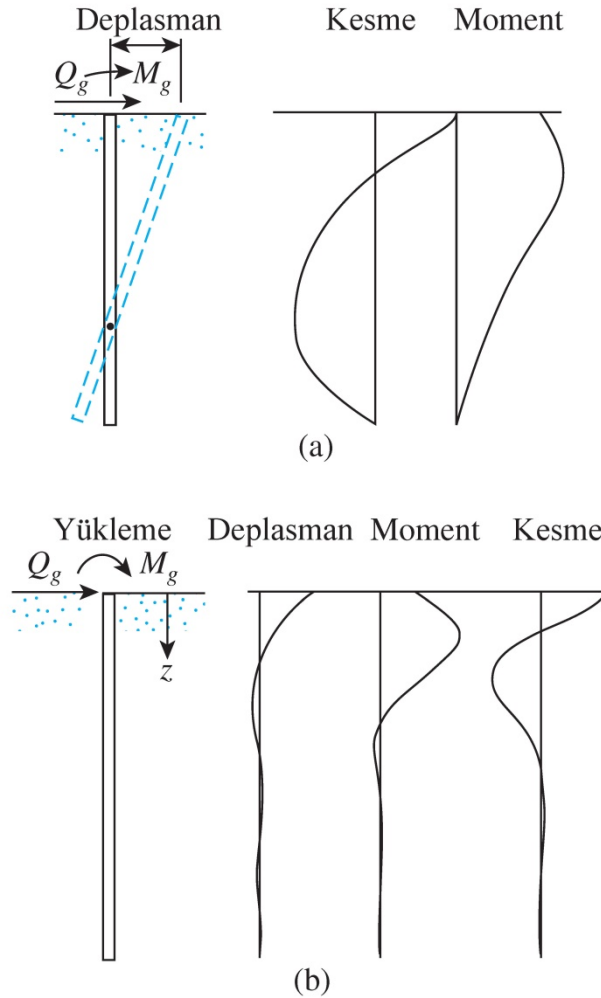
$$\Delta s_{c(g)} = \sum \Delta s_{c(i)} \quad (5.13)$$

6. YANAL YÜKLÜ KAZIKLAR

Temel kazıkları, üst yapıdan kaynaklanan eğik statik yükler, deprem, rüzgâr, toprak basıncı, su basıncı gibi yükler sebebiyle yanal yüke maruz kalırlar. Temel kazıkları yanal yükleri de taşıyabilecek şekilde teşkil edilirler.

6.1 Elastik Çözüm

Zemin seviyesinde yatay bir yüke ve momente maruz kalmış, granüler bir zemin içindeki düşey bir kazığın moment ve deplasmanlarının hesaplanmasında Matlock ve Reese (1960) tarafından genel bir yöntem önerilmiştir. L uzunluğunda, zemin seviyesinde ($z=0$), Q_g yanal yükü ve M_g momenti ile yüklenmiş bir kazığın, şekil değiştirmiş şekli ve zeminde oluşan direnç Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Rijit kazık (a) ve elastik kazık (b) için kesme ve moment diyagramları.

Winkler modeline göre:

$$k = \frac{p'(kN/m)}{x(m)} \quad (6.1)$$

k = Yatak katsayısı

p' = Zemindeki basınç

x = Deplasman

Granüler zeminlerin z derinliğindeki yatak katsayıları şu şekilde verilir:

$$k_z = n_h z \quad (6.2)$$

n_h = Zeminin yatay yatak katsayısı sabiti

Elastik zeminler üzerindeki kiriş teorisi dikkate alınarak, aşağıdaki eşitliği yazılabilir:

$$E_p I_p \frac{d^4 x}{dz^4} = p' \quad (6.3)$$

E_p = Kazığın elastisite modülü

I_p = Kazık kesitinin atalet momenti

Yine Winkler modeline göre:

$$p' = -kx \quad (6.4)$$

6.3 ve 6.4'teki eşitlikler bir araya getirildiğinde:

$$E_p I_p \frac{d^4 x}{dz^4} + kx = 0 \quad (6.5)$$

6.5 eşitliğinin çözümü ile aşağıdaki eşitlikler ortaya çıkar:

Kazığın herhangi bir derinlikteki deplasmanı $[x_z(z)]$:

$$x_z(z) = A_x \frac{Q_g T^3}{E_p I_p} + B_x \frac{M_g T^2}{E_p I_p} \quad (6.6)$$

Kazığın herhangi bir derinlikteki dönmesi $[\theta_z(z)]$:

$$\theta_z(z) = A_\theta \frac{Q_g T^2}{E_p I_p} + B_\theta \frac{M_g T}{E_p I_p} \quad (6.7)$$

Kazığın herhangi bir derinlikteki momenti $[M_z(z)]$:

$$M_z(z) = A_m Q_g T + B_m M_g \quad (6.8)$$

Kazığın herhangi bir derinliğindeki kesme kuvveti $[V_z(z)]$:

$$V_z(z) = A_v Q_g + B_v \frac{M_g}{T} \quad (6.9)$$

Kazığın herhangi bir derinliğindeki zemin reaksiyonu $[p'_z(z)]$:

$$p'_z(z) = A'_p \frac{Q_g}{T} + B'_p \frac{M_g}{T^2} \quad (6.10)$$

$A_x, B_x, A_\theta, B_\theta, A_m, B_m, A_v, B_v, A'_p$ ve B'_p katsayılarıdır.

T = Kazık-zemin sisteminin karakteristik uzunluğudur ve şu şekilde gösterilir:

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{n_h}} \quad (6.11)$$

$L \geq 5T$, olan durumlarda kazık, uzun kazık olarak dikkate alınır. $L \leq 2T$ olan durumlarda ise kazık rijit kazık olarak dikkate alınır. Çizelge 6.1'de eşitlik 6.6'dan 6.10'a kadar olan katsayıları verilmiştir. Çizelge 6.1'deki ilk kolondaki Z şu şekilde bulunur:

$$Z = \frac{z}{T} \quad (6.12)$$

Çizelge 6.1 Uzun kazıklar için katsayılar, $k_z = n_h z$.

Z	A_x	A_θ	A_m	A_v	A'_p	B_x	B_θ	B_m	B_v	B'_p
0.0	2.435	-1.623	0.000	1.000	0.000	1.623	-1.750	1.000	0.000	0.000
0.1	2.273	-1.618	0.100	0.989	-0.227	1.453	-1.650	1.000	-0.007	-0.145
0.2	2.112	-1.603	0.198	0.956	-0.422	1.293	-1.550	0.999	-0.028	-0.259
0.3	1.952	-1.578	0.291	0.906	-0.586	1.143	-1.450	0.994	-0.058	-0.343
0.4	1.796	-1.545	0.379	0.840	-0.718	1.003	-1.351	0.987	-0.095	-0.401
0.5	1.644	-1.503	0.459	0.764	-0.822	0.873	-1.253	0.976	-0.137	-0.436
0.6	1.496	-1.454	0.532	0.677	-0.897	0.752	-1.156	0.960	-0.181	-0.451
0.7	1.353	-1.397	0.595	0.585	-0.947	0.642	-1.061	0.939	-0.226	-0.449
0.8	1.216	-1.335	0.649	0.489	-0.973	0.540	-0.968	0.914	-0.270	-0.432
0.9	1.086	-1.268	0.693	0.392	-0.977	0.448	-0.878	0.885	-0.312	-0.403
1.0	0.962	-1.197	0.727	0.295	-0.962	0.364	-0.792	0.852	-0.350	-0.364
1.2	0.738	-1.047	0.767	0.109	-0.885	0.223	-0.629	0.775	-0.414	-0.268
1.4	0.544	-0.893	0.772	-0.056	-0.761	0.112	-0.482	0.688	-0.456	-0.157
1.6	0.381	-0.741	0.746	-0.193	-0.609	0.029	-0.354	0.594	-0.477	-0.047
1.8	0.247	-0.596	0.696	-0.298	-0.445	-0.030	-0.245	0.498	-0.476	0.054
2.0	0.142	-0.464	0.628	-0.371	-0.283	-0.070	-0.155	0.404	-0.456	0.140
3.0	-0.075	-0.040	0.225	-0.349	0.226	-0.089	0.057	0.059	-0.213	0.268
4.0	-0.050	0.052	0.000	-0.106	0.201	-0.028	0.049	-0.042	0.017	0.112
5.0	-0.009	0.025	-0.033	0.015	0.046	0.000	-0.011	-0.026	0.029	-0.002

R.J.Woodward, W.S.Gardner, D.M.Greer, Drilled Pier Foundations, 1972

İfade 6.6'dan 6.10'a kadar verilen çözümler Davisson ve Gill (1963) tarafından kohezyonlu zeminler için geliştirilmiştir. Bunlar:

$$x_{z(z)} = A'_x \frac{Q_g R^3}{E_p I_p} + B'_x \frac{M_g R^2}{E_p I_p} \quad (6.13)$$

$$M_z(z) = A'_m Q_g R + B'_m M_g \quad (6.14)$$

şeklindedir.

A'_x, B'_x, A'_m ve B'_m katsayılarıdır ve:

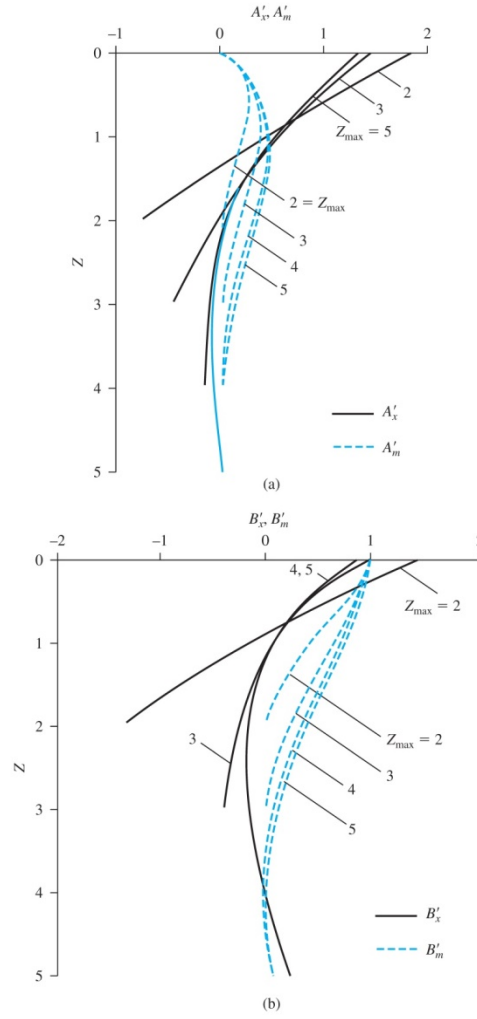
$$R = \sqrt[4]{\frac{E_p I_p}{k}} \quad (6.15)$$

Şekil 6.2'de verilen A' ve B' sabitleri için:

$$Z = \frac{z}{R} \quad (6.16)$$

$$Z_{max} = \frac{L}{R} \quad (6.17)$$

verilmiştir.



Şekil 6.2 A'_x , B'_x , A'_m ve B'_m 'nin Z ile değişimi.

6.13 ve 6.14 eşitliğini kullanmak için karakteristik R uzunluğunun büyüklüğünün bilinmesi gerekmektedir. Bu değer 6.15 eşitliği ile yatak katsayısı bilindiği için hesaplanabilir. Kumlarda, derinlikle lineer olarak değişen yatak katsayısının hesabı 6.2 eşitliğinde verilmiştir. Ancak kohezyonlu zeminlerde zemin yatak katsayısı yaklaşık olarak derinlikle birlikte sabit kalır. Vesic (1961) yatak katsayısı için aşağıdaki eşitliği önermiştir:

$$k = 0.65 \sqrt[12]{\frac{E_s D^4}{E_p I_p}} \frac{E_s}{1-\mu^2} \quad (6.18)$$

E_s = Zeminin elastisite modülü

D = Kazık genişliği veya çapı

$\mu_s =$ Zeminin poisson oranı

Bu eşitlik (6.18) daha kolay kullanım için şu şekilde sadeleştirilebilir:

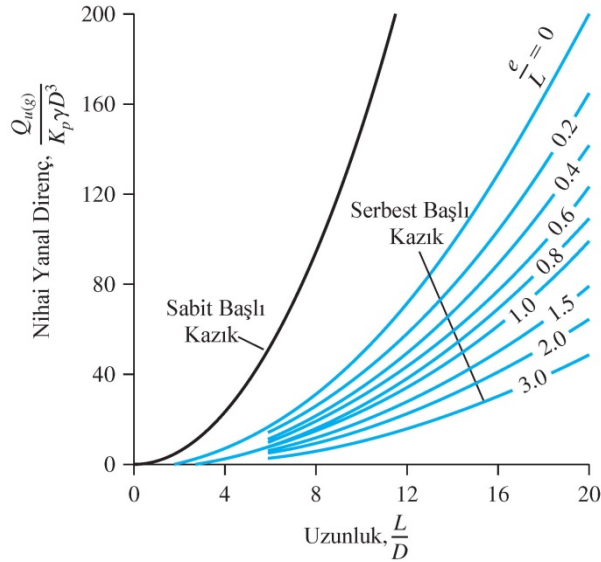
$$k \approx \frac{E_s}{1-\mu^2} \quad (6.19)$$

6.2 Broms Metodu

Yanal yüklü kazıklar için Broms (1965); kısa kazıklar için kesme göçmesi, uzun kazıklar için de kazık kesitinin plastik akma dayanımı vasıtasıyla kazığın eğilmesi kabulleri ile basitleştirilmiş bir çözüm geliştirmiştir. Broms metoduna göre kısa kazıklar için, kumda nihai yanal yük $Q_{u(g)}$ 'nin bulunması Şekil 6.3a'da, kilde nihai yanal yük $Q_{u(g)}$ 'nin bulunması Şekil 6.3b'de gösterilmiştir.

Şekil 6.3a için:

$$K_p = \text{Rankine pasif toprak basınç katsayısı} = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (6.20)$$



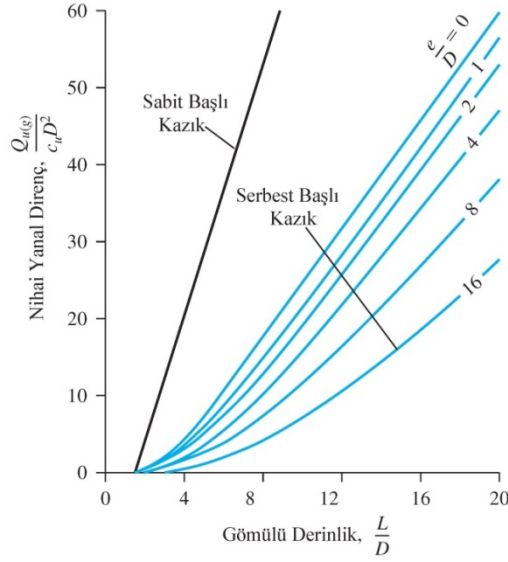
Şekil 6.3a Broms metoduna göre kumda kısa kazıklar için nihai yanal direnç.

Şekil 6.3b için:

$$c_u = \text{Drenajsız kohezyon} \approx \frac{0.75q_u}{FS} = \frac{0.75q_u}{2} = 0.375q_u \quad (6.21)$$

FS = Güvenlik sayısı

q_u = Serbest basınç mukavemeti



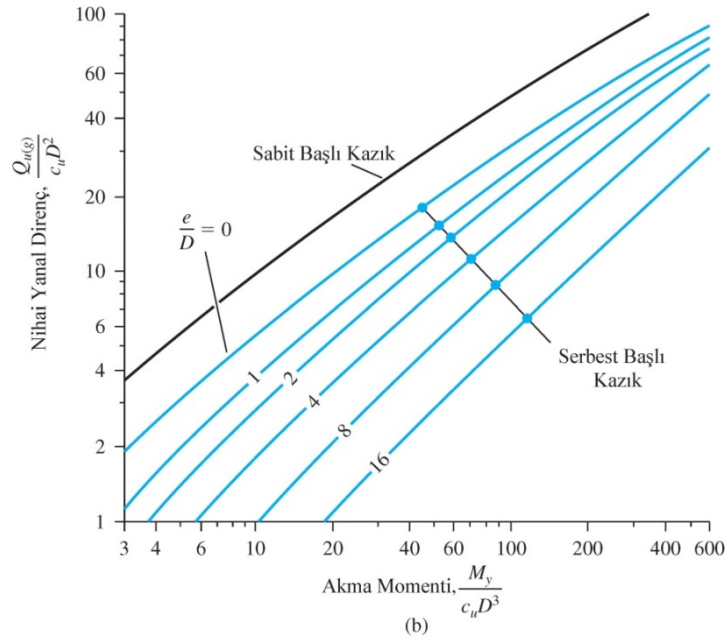
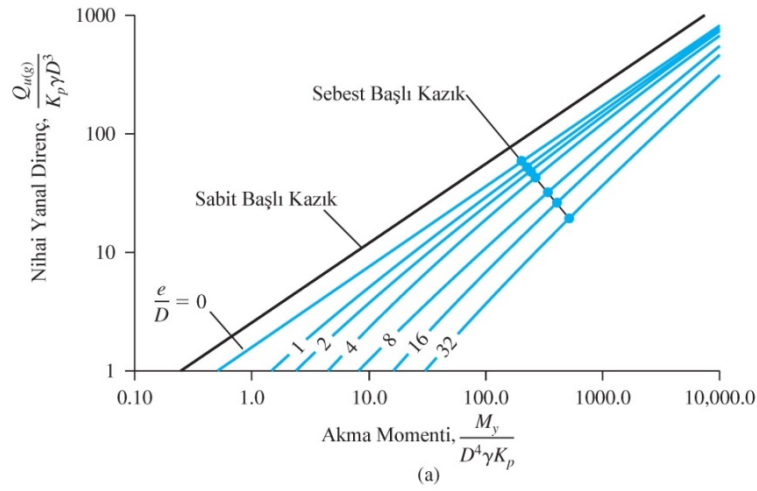
Şekil 6.3b Broms metoduna göre kilde kısa kazıklar için nihai yanal direnç.

Şekil 6.4 uzun kazıkların nihai yanal yükünün bulunması için Broms metodunu göstermektedir, burada verilen akma momenti:

$$M_y = SF_y \quad (6.22)$$

S = Kazığın kesit modülü

F_y = Kazığın yapıldığı malzemenin akma dayanımı



Şekil 6.4 Broms metoduna göre kumda (a) ve kilde (b) uzun kazıklar için nihai yanıl direnç.

Herhangi bir çözümde, hem Şekil 6.3(a-b) hem de Şekil 6.4'deki durumlar kontrol edilmelidir.

Servis yüklemesi koşullarında kazık başlığının deplasmanı $x_z(z = 0)$ 'nın bulunması için Şekil 6.5'e bakınız. Şekil 6.5a'da η :

$$\eta = \sqrt[5]{\frac{n_h}{E_p I_p}} \quad (6.23)$$

Granüler zeminler için n_h değerleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 n_h değerleri.

Zemin	n_h kN/m³
Kuru veya nemli kum	
Gevşek	1800-2200
Orta Sert	5500-7000
Sert	15,000-18,000
Su altında kum	
Gevşek	1000-1400
Orta Sert	3500-4500
Sert	9000-12,000

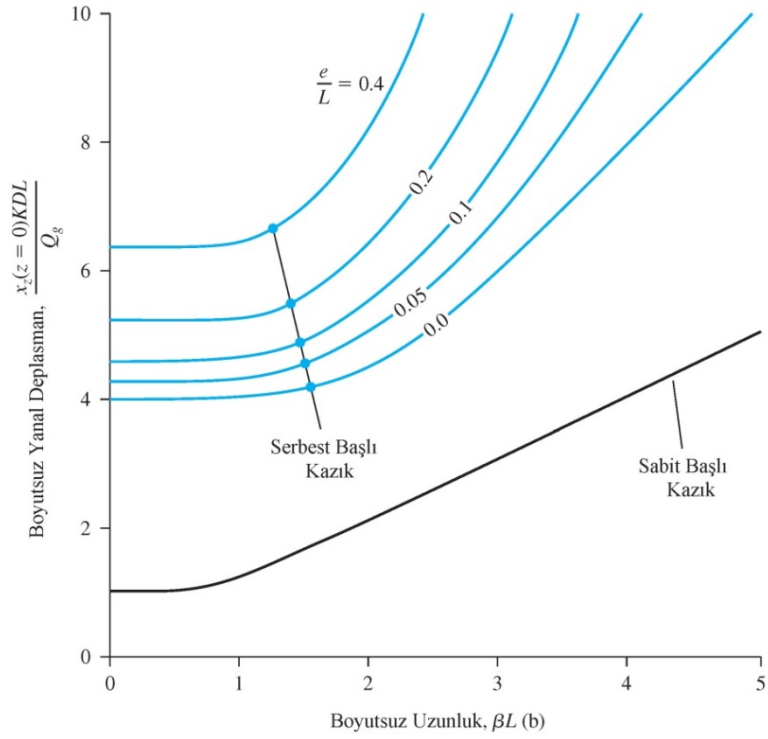
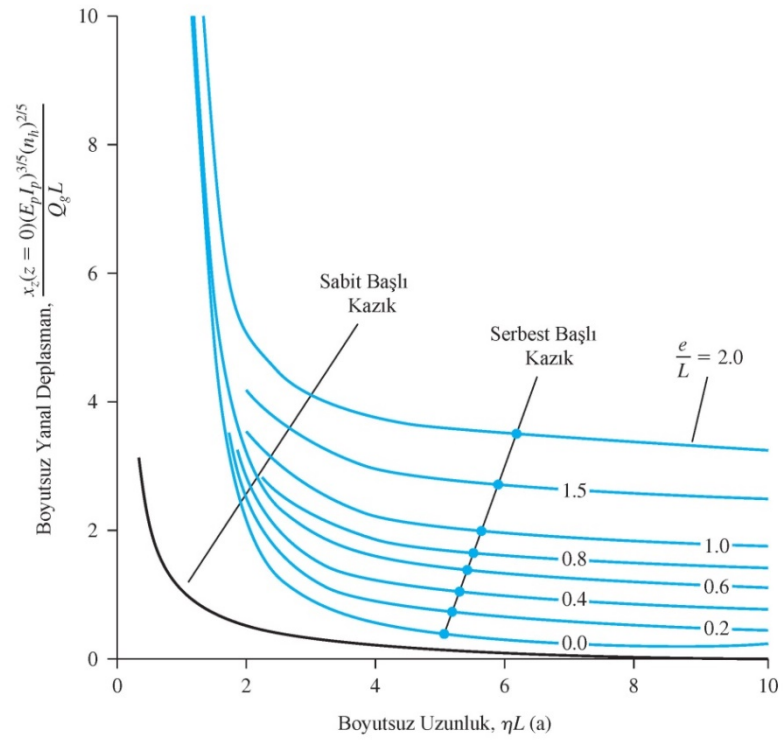
Killer için verilen Şekil 6.5b’de verilen K terimi yatay zemin modülüdür ve şu eşitlikle gösterilir:

$$K = \frac{\text{Basınç (kN/m}^2\text{)}}{\text{Deplasman (m)}} \quad (6.24)$$

Ayrıca, β terimi de:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{KD}{4E_p I_p}} \quad (6.25)$$

şeklinde verilir. Şekil 6.5’de Q_g ’nin servis (hesap) yükü olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 6.5 Kumda (a) ve kilde (b) kazık başlığı deplasmanı için Broms metodu.

Çizelge 6.3'te kil zeminler için K değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.3 Killer için K değerleri.

Serbest Basınc Mukavemeti kN/m^2	K kN/m^3
200	10,000-20,000
200-800	20,000-40,000
>800	>40,000



7. STANDART PENETRASYON DENEYİ

Standart penetrasyon deneyi yani SPT, geoteknik inceleme yapmak için kullanılan bir arazi deneyidir.

Standart penetrasyon deneyi, 1927 yılında geliştirilmiş bir deneydir (Öner 2003).

Deney, 63.5 kg ağırlığındaki bir tokmağın, 762 mm yükseklikten düşürülerek, numune kaşığının zemine 305 mm çakılması ile yapılır. Numune kaşığı çakılmadan önce, öncelikle örselendiği zemini geçmek için 15 cm çakılır ve ardından 305 mm çakılır. Numune kaşığının 305 mm çakılması için tokmağın düşüş sayısı deneyin sonucudur. Bu düşüş sayısına N değeri denir. SPT deneyinde genellikle; halka tip (donut), güvenli tip, otomatik tip, trip tipi ve iğne tipi tokmaklar kullanılır. Ülkemizde en çok halka ve güvenli tip tokmaklar kullanılır.

SPT deneyi genellikle arazi kotundan itibaren her 1.5 m 'lik derinliklerde yapılır. SPT deneyi genellikle arazi kotundan 20 m derinliğe kadar yapılır.

7.1 N_{60} Düzeltmesi

SPT deneyi sonuçları değerlendirilirken, sonuçları etkileyen birçok nedenin bulunduğu bilinmesi ve bu nedenlerin dikkate alınması gerekmektedir. SPT-N değerini; derinlik, tij uzunluğu, sondaj çapı, vuruş sayısı sıklığı, yer altı su seviyesi gibi nedenler etkilemektedir.

Ölçülen darbe sayıları (SPT-N), N_{60} veya $N_{1,60}$ şeklinde normalize edilebilir. N_{60} veya $N_{1,60}$ için en genel formül şu şekildedir:

$$N_{60} = N_{arazi} C_E C_R C_B C_S C_A C_{BF} C_C \quad (7.1)$$

$$N_{1,60} = N_{60} C_N \quad (7.2)$$

N_{60} = Teorik serbest düşme tokmak enerjisinin %60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı

N_{arazi} = Arazi deneyinden elde edilen N vuruş sayısı

C_N = Derinlik düzeltme faktörü

C_E = Enerji düzeltme faktörü

C_R = Tij uzunluğu düzeltme faktörü

C_B = Sondaj çapı düzeltme faktörü

C_S = Numune alıcı kılıf (liner) düzeltme faktörü

C_A = Çakma başlığı düzeltme faktörü

C_{BF} = Tokmak düşürülme sıklığı (hızı) düzeltme faktörü

C_C = Tokmak yastığı düzeltme faktörü

Geoteknik mühendisliğinde yukarıda sıralanan son altı düzeltme faktörü çoğunlukla kullanılmamaktadır. Birçok durumda, N_{60} aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$N_{60} = N_{arazi} C_E \quad (7.3)$$

Burada C_E = şu şekilde gösterilebilir:

$$C_E = \frac{ER}{60} \quad (7.4)$$

ER = Tokmağın düşürülmesi ile tijlerde oluşan enerjinin teorik enerjiye oranı

C_E ve ER 'nin değişimi çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 C_E ve ER 'nin değişimi.

Referans	Tokmak Tipi	ER(%)	C_E
Seed ve diğerleri (1984)	Otomatik	78	1.3
	Güvenli	60	1.0
	Halka	45	0.75
Seed ve diğerleri (1985)	Halka	45	0.75
	Güvenli	60	1.00
	Trip	100	1.67
Youd ve Idriss (1997)	Halka	30-60	0.50-1.00
	Güvenli	42-72	0.70-1.20
	Otomatik-trip halka	48-78	0.80-1.30
Dursunoğlu ve diğerleri (2000)	Güvenli	52-60	0.87-1.00

Sivrikaya O., Toğrol E., 2009, Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımlarda Kullanımları s.3-25

7.2 SPT-N ile Zemin Parametrelerinin Elde Edilmesi

SPT deneyi ile elde edilen N değeri ile birçok zemin parametresi elde edilebilir. Her ne kadar halen daha bu konuda araştırmalar devam ediyor ve bazı çevrelerde, parametrelerle elde edilecek sonuçların güvenilirliği tartışılıyor olsa da, kısıtlı verilerin bulunduğu durumlarda, SPT-N değerleri ile aşağıdaki zemin parametreleri elde edilebilir.

7.2.1 SPT-N ile Efektif Kayma Mukavemeti Açısı ϕ' 'nin Elde Edilmesi

Kumların ve siltlerin efektif kayma mukavemeti açısı ile SPT-N değerleri arasındaki ilişkiler çizelge 7.2'dedir:

Çizelge 7.2 SPT-N ile efektif kayma mukavemeti açısı arasındaki ilişkiler.

Zemin Türü	ϕ' (Derece)	Referans
Köşeli ve iyi derecelenmiş zemin daneleri	$\phi' = (12N_{60})^{0.5} + 25$	Dunham (1954)
Yuvarlak ve iyi derecelenmiş veya köşeli ve üniform derecelenmiş zemin daneleri	$\phi' = (12N_{60})^{0.5} + 20$	Dunham (1954)
Yuvarlak ve üniform derecelenmiş zemin daneleri	$\phi' = (12N_{60})^{0.5} + 15$	Dunham (1954)
Kumlu ve kumlu ince çakıl zemin daneleri	$\phi' = 28^\circ + (N_{60}/4)$	Peck ve diğerleri (1957)
Kumlu	$\phi' = (20N_{60})^{0.5} + 15$	Ohsaki ve diğerleri (1959)
Kaba daneli	$\phi' = 3.5(N_{60})^{0.5} + 20$	Muromachi ve diğerleri (1974)
Kumlu	$\phi' = (12N_{60})^{0.5} + 15 \leq 45$ (N>5)	Japan Road Association (1990)
Kumlu	$\phi' = (20N_{1,60})^{0.5} + 20$ $N_{1,60}$ = SPT-N'nin Liao ve Whitman (1986) bağıntısını kullanarak, 100 kPa jeolojik basınçla normalize edilmiş şekli.	Hatanaka ve Uchido (1996)

McGREGOR, J.A. and DUNCAN J. M., 1998; "Performance and Use of the Standard Penetration Test in Geotechnical Engineering Practice", Center for Geotechnical Practice and Research, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA.

7.2.2 SPT-N ile Bağıl Yoğunluk (D_r)'nin Elde Edilmesi

Bağıl yoğunluk ile SPT-N arasındaki ilişkiler için çizelge 7.3'de verilmiştir.

Çizelge 7.3 SPT-N ile bağıl yoğunluk arasındaki ilişkiler.

Zemin Türü	Bağıl Yoğunluk (D_r)	Parametreler ve Birimleri	Referans
Normal konsolide kum	$D_r = \left(\frac{N_{60}}{1.7(10 + 0.15\sigma'_v)} \right)^{0.5}$	σ'_v = Düşey efektif gerilme (kPa)	Gibbs ve Holtz (1957)
Normal konsolide silis kumu	$D_r = \left(\frac{N_{60}}{16 + 0.234\sigma'_v} \right)^{0.5}$	σ'_v = Deney derinliğindeki efektif jeolojik gerilme (kPa)	Meyerhof (1956)
Kaba kum	$D_r = \left(\frac{N_{60}}{22 + 0.773\sigma'_v} \right)^{0.5} \quad \sigma'_v < 75 \text{ kPa}$	σ'_v = Deney derinliğindeki efektif jeolojik gerilme (kPa)	Peck ve Bazaraa (1969)
	$D_r = \left(\frac{N_{60}}{66 + 0.193\sigma'_v} \right)^{0.5} \quad \sigma'_v \geq 75 \text{ kPa}$		
	$D_r = \left(\frac{N_{60}}{b + a\sigma'_v} \right)^{0.5}$		
	Kum aşırı konsolide ise b değeri C_f kadar artırılır.	N_{60} = %60 teorik enerjiye göre düzeltilmiş N sayısı	
Normal konsolide kum	$C_f = \left(\frac{1 + 2K_0}{1 + 2K_{0NC}} \right)$ K_0 = aşırı konsolide kumun, efektif yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı K_{0NC} = normal konsolide kumun efektif yatay gerilimin düşey gerilime oranı ($\approx 1 - \sin\phi$)	a=0.3 (ortalama değer) b=30 (ortalama değer)	Skempton (1986)
Çakıllı zeminler	$D_r = 22(N_{60})^{0.57} \sigma_v'^{-0.14}$ (ince kum) $D_r = 18(N_{60})^{0.57} \sigma_v'^{-0.14}$ (çakıl %25) $D_r = 25(N_{60})^{0.44} \sigma_v'^{-0.13}$ (çakıl %50) $D_r = 25(N_{60})^{0.46} \sigma_v'^{-0.12}$ (kum)	σ'_v = Efektif düşey gerilme (kPa)	Yoshida ve Ikemi (1988)

McGREGOR, J.A. and DUNCAN J.M., 1998

7.2.3 SPT-N ile Zeminin Elastisite Modülünün Elde Edilmesi

SPT-N değerleri ile zeminin elastisite modülünün arasındaki ilişkiler çizelge 7.4’de verilmiştir:

Çizelge 7.4 SPT-N ile zemin elastisite modülü arasındaki ilişkiler.

Zemin Cinsi	Elastisite Modülü (kPa)
Normal konsolide kum (SW, SP)	$E_s = 500(N_{60} + 15)$ $E_s = (15000 \sim 22000) \ln N_{60}$
Aşırı konsolide kum	$E_s = 18000 + 750N_{60}$
Çakıllı kum ve çakıl (GW, GP, GM, GC)	$E_s = 600(N_{60} + 6)$ $N_{60} \leq 15$ $E_s = 600(N_{60} + 6) + 2000$ $N_{60} > 15$
Killi kum (SC)	$E_s = 320(N_{60} + 15)$
Siltli kum (SM)	$E_s = 300(N_{60} + 6)$

McGREGOR, J.A. and DUNCAN J. M., 1998; “Performance and Use of the Standard Penetration Test in Geotechnical Engineering Practice”, Center for Geotechnical Practice and Research, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA

7.2.4 SPT-N ile Serbest Basın Mukavemeti q_u ’nun Elde Edilmesi

Serbest basınç mukavemetinin elde edilmesi ile ilgili çizelge 7.5 verilebilir:

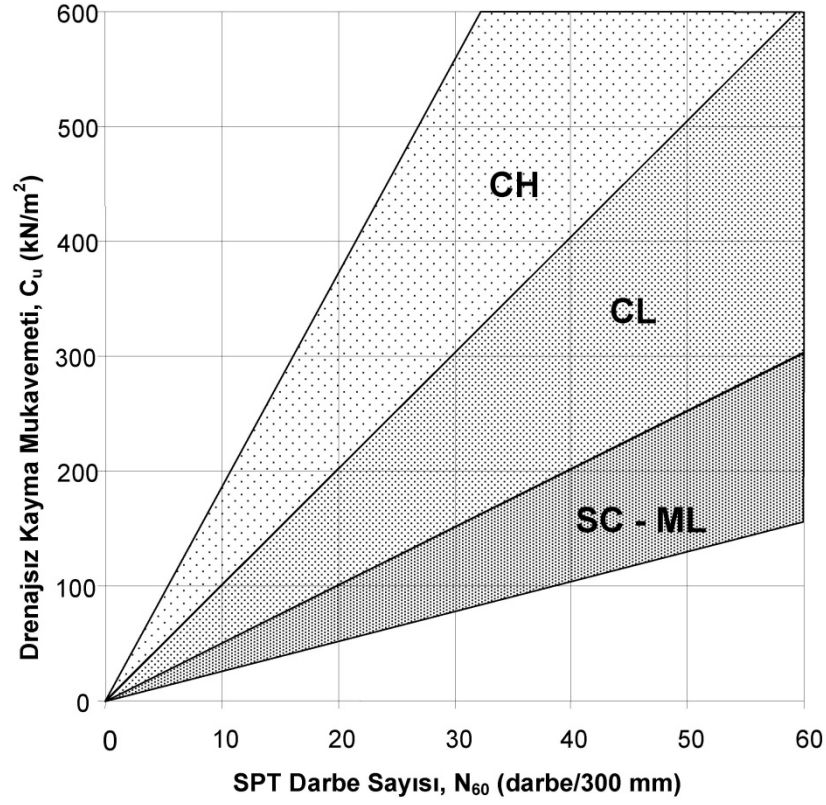
Çizelge 7.5 Zemin cinsine göre SPT-N ile serbest basınç mukavemeti q_u ilişkisi.

Referans	Zemin Cinsi	q_u (kPa)
Sanglerat (1972) ve Tomlinson (1986)	Kil	25N
	Siltli Kil	20N
	Yüksek Plastisiteli Kil	25N
Sowers (1979)	Orta Plastisiteli Kil	15N
	Düşük Plastisiteli Kil	7.5N
Nixon (1982)	Kil	24N
Kulhawy ve Mayne (1990)	Killi zemin	$58N^{0.72}$

SİVRİKAYA O., TOĞROL E., 2009; Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımlarda Kullanımları, 3-43 s.

7.2.5 SPT-N ile Drenajsız Kayma Mukavemeti c_u 'nın Elde Edilmesi

Drenajsız kayma mukavemeti ile SPT-N arasındaki ilişki şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1 Drenajsız kayma mukavemeti ile SPT-N arasındaki ilişki (Sowers 1979).

8. YAPI ÖZELLİKLERİ ve ZEMİN PARAMETRELERİ

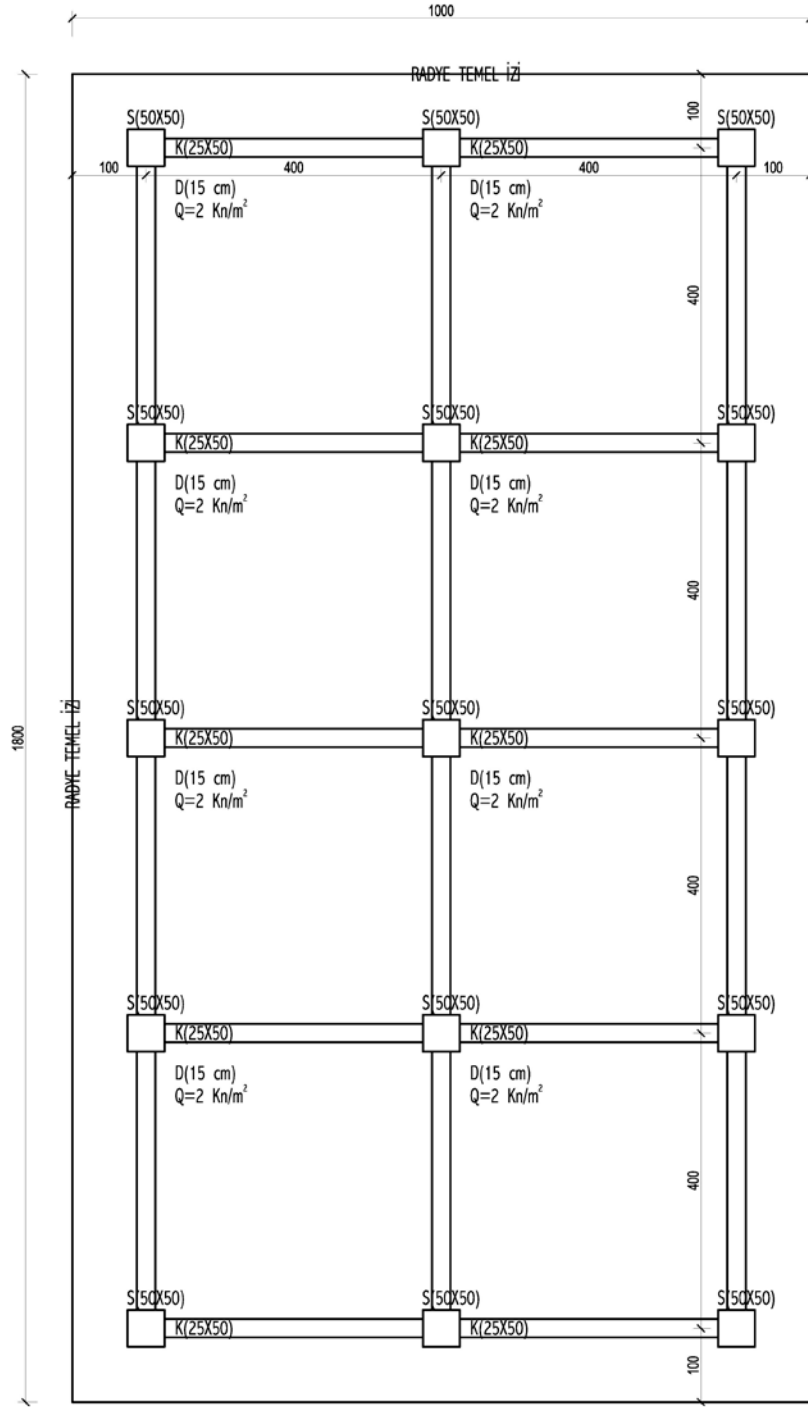
8.1 Arazi İle İlgili Bilgiler

Çalışmada kullanılan zemin için; Afyonkarahisar ili, Merkez ilçesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi karşısında, etrafındaki binaların büyük çoğunluğunun apart dairelerin bulunduğu apartmanlardan oluşan, Erenler mahallesinde, bodrum üzerine 5 katlı bir apartman yapılmış olan bir arazi seçilmiştir. Araziye ait tapu bilgileri şu şekildedir: Afyonkarahisar İli, Merkez İlçesi, Erenler Köyü, 22K-1B Pafta, 127 Ada, 19 Parsel.

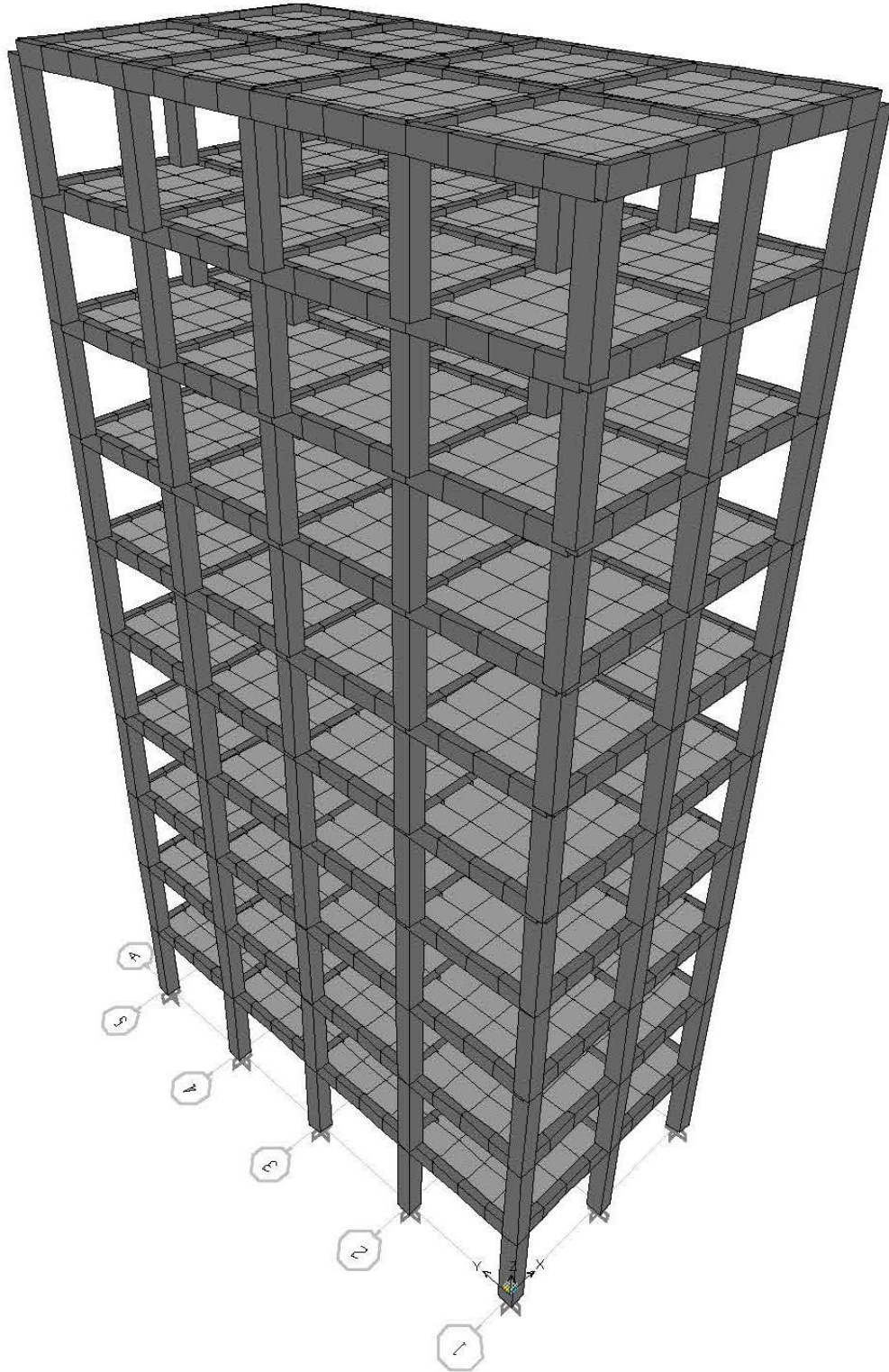
Zemin ile ilgili parametreler ise; 07.03.2014 tarihinde Jeoloji mühendisi Sedat EFE'ye ait, EFEM Mühendislik tarafından yapılmış olan zemin etüdünden alınmıştır.

8.2 Yapı İle İlgili Bilgiler

Her ne kadar bölgenin imar durumu bodrum kat üzerine 5 normal kata izin verse de, bu tez kapsamında, arazi üzerine şekil 8.1'de kat planı ve şekil 8.2'de SAP 2000 modeli gösterilen 10 katlı bir yapı tasarlanmıştır. Yapının temel alt seviyesi olarak, arazinin üst kotu kabul edilmiştir. Radye temel kalınlığı 80 cm olarak alınmıştır.



Şekil 8.1 Yapı kat planı (Plan ölçüleri birimi cm'dir)..



Şekil 8.2 Yapı SAP 2000 Modeli.

8.3 Yapıdan Temele İletilen Yükler

SAP 2000 programı ile elde edilen, şekil 8.3’de gösterilen en alt kattaki kolon alt uç mesnet reaksiyonları ile geleneksel yöntem kullanılarak, radye temelde oluşan maksimum gerilme aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\sigma_{max,min} = \frac{N}{A} \pm \frac{M_{x-x}}{W_{x-x}} \pm \frac{M_{y-y}}{W_{y-y}} \quad (8.1)$$

$$\sum M_{x-x} = 159.87 \text{ kNm} \quad (8.2)$$

$$\sum M_{y-y} = 157,46 \text{ kNm} \quad (8.3)$$

$$\sum N = (1794.79)(4) + (2281.43)(2) + (2367.38)(4) + 3196.51(2) + (2446.40)(2) + (3293.57) + (0.8)(18)(10)(25) = 39390.93 \text{ kN} \quad (8.4)$$

$$A = 180 \text{ m}^2 \quad (8.5)$$

$$W_{x-x} = 540 \text{ m}^3 \quad (8.6)$$

$$W_{y-y} = 300 \text{ m}^3 \quad (8.7)$$

Bu durumda;

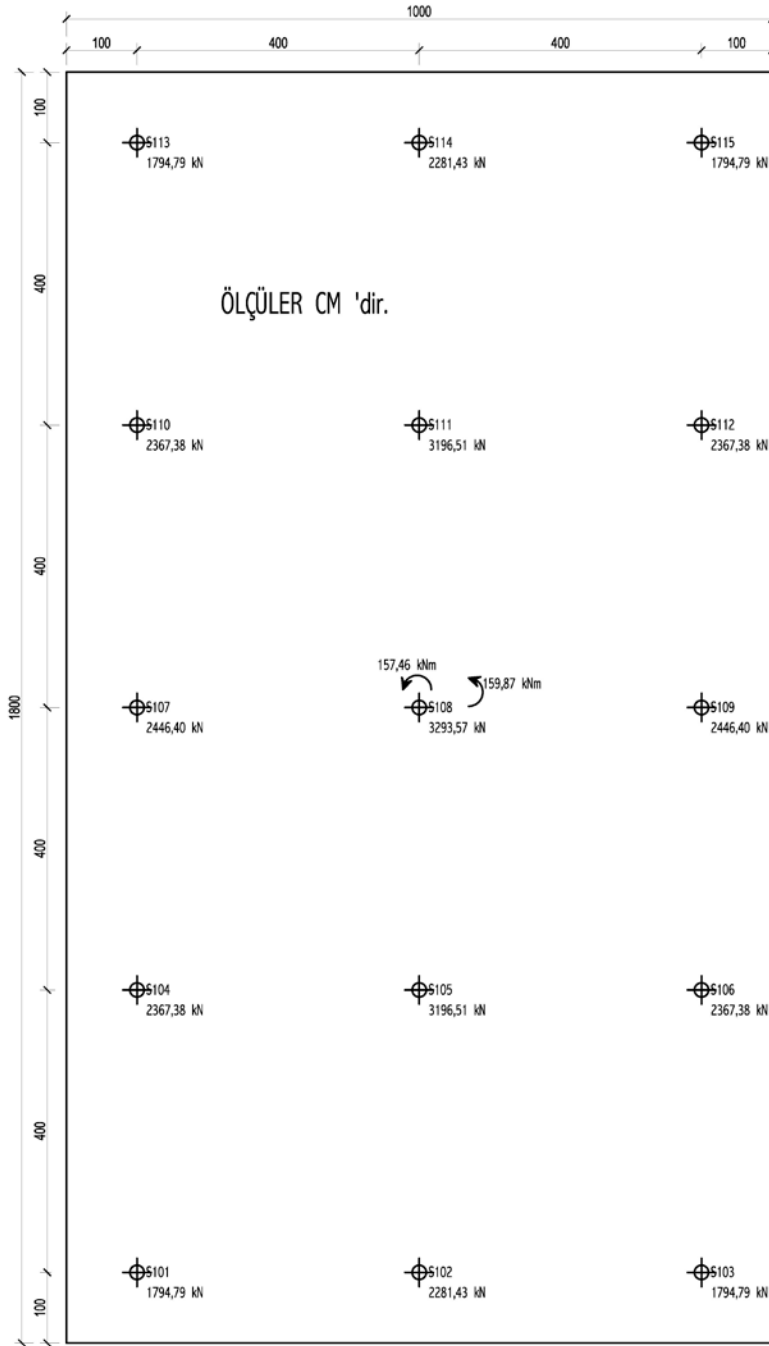
$$\sigma_{max} = 219.66 \text{ kN/m}^2 \quad (8.8)$$

$$\sigma_{min} = 218.02 \text{ kN/m}^2 \quad (8.9)$$

şeklinde olur ve böylelikle;

$$\sigma_{min} = 218.02 \text{ kN/m}^2 > \sigma_{emin} = 110 \text{ kN/m}^2 \quad (8.10)$$

emin taşıma gücü aşıldığı için derin temel gerekliliği ortaya konulur.



Şekil 8.3 Kolon alt uç mesnet reaksiyonları.

8.4 Zemin Profili

Arazide yapılan çalışmalarda; iki ayrı sondaj kuyusunda, her kuyu için 17.5 m derinlikte olacak şekilde sondaj yapılmıştır. Her 1.5 m’de bir SPT yapılmış, SPT numuneleri ve ayrıca örselenmemiş UD numuneleri alınmıştır. Sondaj kuyularından alınan numunelere ilişkin derinlikler ve numune tipi çizelge 8.1’de verilmektedir.

Çizelge 8.1 Sondaj kuyularından alınan numunelere ait derinlikler.

Sondaj Kuyu No	Numune Cinsi	Derinlik (m)
SK1	UD	3.00-3.45
SK1	SPT	4.50-5.00
SK1	UD	6.00-6.45
SK1	SPT	9.00-9.50
SK1	SPT	16.50-17.00
SK2	SPT	3.00-3.50
SK2	UD	4.50-4.95
SK2	UD	7.50-7.95
SK2	SPT	10.50-11.00
SK2	SPT	15.00-15.50

Çalışmada yalnızca SK2'den elde edilen veriler kullanılmıştır. SK2 sondaj kuyusundan alınan numunelerden elde edilen sonuçlar çizelge 8.2'de verilmiştir.

Çizelge 8.2 SK2 'den alınan numuneler üzerine yapılan deneylerin sonuçları.

Numune Tipi	Derinlik (m)	Doğal Su Muhtevası (%)	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			USCS	Üç Eksenli Basınç Dayanımı (UU)		Şişme Yüzdesi	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)
			#4 Kalan (%)	#200 Kalan (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)		C (kN/m ²)	Φ		
SPT	3.00-3.45	26	2.80	87.40	42	35	30	CH	-	-	-	-
UD	4.50-5.00	23	1.90	87.30	24	20	16	CL	51	3	2.2	19
UD	7.50-8.00	28	2.60	88.90	42	36	31	CH	57	2	-	19
SPT	10.50-10.95	27	7.80	33.00	NP	NP	NP	SC	-	-	-	-
SPT	15.00-15.45	28	9.10	35.40	NP	NP	NP	SC	-	-	-	-

Zemin parametrelerinin elde edilmesinde kullanılacak SPT sayılarına ilişkin veriler ise çizelge 8.3'te verilmiştir.

Çizelge 8.3 SK2 Sondaj kuyusu SPT deney sonuçları.

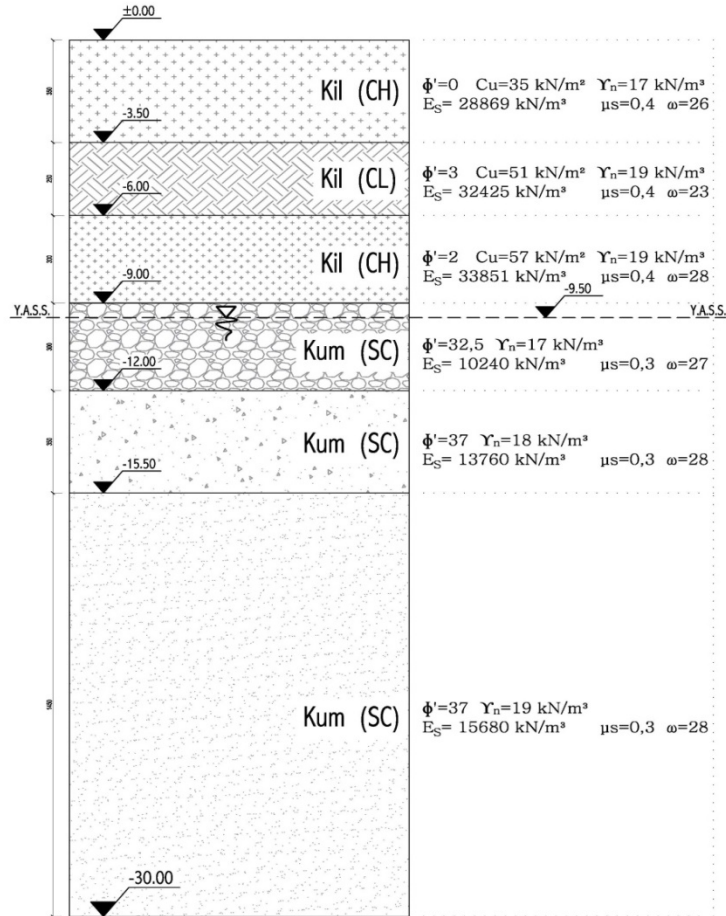
Manevra Boyu (m)	Darbe Sayısı			N
	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	
1.5	7	8	11	19
3	9	10	14	24
4.5	11	12	15	27
6	13	14	16	30
7.5	13	15	19	34
9	10	13	17	30
10.5	7	9	12	21
12	8	10	14	24
13.5	10	15	18	33
15	13	16	25	41
16.5	15	19	26	45

Çalışmada kazık hesabında kullanılacak olan zemin parametreleri, zemin etüdünde her derinlik için bulunmamaktadır. Zemin etüdünde sondaj kuyusu 17.5 m’de sonlandırılmış olup, çalışmadaki daha derin noktalarda, zeminin 17.5 m derinlikten sonra özellikleri değişmediği kabul edilmiştir.

Zeminin profilinin elde edilmesindeki en önemli parametre olan N_{60} düzeltmesi için 7.1 eşitliğindeki yalnız C_E katsayısı kullanılmış, diğer katsayılar kullanılmamıştır. Böylelikle $N_{60} = N_{arazi} C_E$ eşitliğinde C_E değeri SPT deneyinde kullanılan tokmağın halka tipi olması nedeniyle çizelge 7.1’den 0,75 olarak alınmıştır. C_E katsayısı ile bulunan N_{60} değerleri ile bölüm 7.2’deki bağıntılar ve çizelgeler kullanılarak çizelge 8.4’deki ve şekil 8.4’deki zemin profili elde edilmiştir.

Çizelge 8.4 Zemin Profili.

Tipi	Derinlik (m)	ΔL (m)	Doğal Su Muhtevası (%)	USCS	C_u (kN/m ²)	ϕ'	γ_n (kN/m ³)	N	N_{60}	E_s (kN/m ²)	E_s - Ort (kN/m ²)	μ_s
	1.50	1.50		CH			17	19	15	27810		0.4
SPT	3.00-3.45	1.95	26	CH				24	18	29928	28869	0.4
UD	4.50-5.00	1.55	23	CL	51	3	19	27	21	31834	32425	0.4
	6.00	1.00		CL				30	23	33016		0.4
UD	7.50-8.00	2.00	28	CH	57	2	19	34	26	34686	33851	0.4
	9.00	1.00		CH				30	23	33016		0.4
SPT	10.50-10.95	1.95	27	SC			17	21	16	9920	10240	0.3
	12.00	1.05		SC				24	18	10560		0.3
	13.50	1.50		SC			18	33	25	12800	13760	0.3
SPT	15.00-15.45	1.95	28	SC				41	31	14720		0.3
	16.50	1.05		SC			19	45	34	15680	15680	0.3
	30.00	13.5		SC				45	34	15680		0.3



Şekil 8.4 Zemin profili.

9. FARKLI ÇAP ve UZUNLUKTA KAZIKLARLA, KAZIK HESABI YAPILMASI

60 cm, 80 cm ve 100 cm çapındaki; 10 m, 15 m ve 20 m derinliğindeki kazıklar için toplam dokuz kazık grubu olacak şekilde hesap yapılmıştır.

Her kazık grubu için elle yapılan hesaplamalarda kazık sayısı belirlenmiş, kazıklar radye temele yerleştirilmiş, kazık yerleşim planı hazırlanmış ve her durum için kazık grubunun verimliliği hesaplanmıştır. Aynı kazık grupları, aynı kazık yerleşim planı dikkate alınarak, SAP 2000 ve Plaxis 3D Foundation programları ile de modellenmiştir.

Kazık sayıları, uygulamaya dönük olacak şekilde; emniyet katsayısı da dikkate alınarak, orantılı ve simetrik bir yerleşim için gerektiğinde yukarı veya aşağı yuvarlanmıştır.

Kazık grubunun verimliliğinin yanında, her kazık grubu için betonarme hesap yapılarak; işçilik, donatı ve beton maliyeti ile kazık grupları kendi aralarında ekonomikliği yönü ile de irdelenmiştir.

9.1 Kazık Hesabı

Kazık hesabı Microsoft Excel® programı ile yapılmıştır. Toplam dokuz çalışmadaki üç farklı kazık uzunluğu için üç ayrı excel çalışma sayfası kullanılmış olup, çalışma sayfalarındaki elle girilen veriler koyu renkli mavi ile boyanmıştır. Çalışmaya yalnızca tüm farklı zeminlerden geçen 20 m uzunluğundaki ve 80 cm çapındaki kazık grubunun hesabı konulmuştur. Elle yapılan hesaplamalar çalışmada gösterilmiş ayrıca excel çalışma sayfaları görüntüsü de eklenmiştir.

9.1.1 80 cm Çap 20 m Derinlik İçin Hesap

$$L = 20 \text{ m} \quad D = 0,80 \text{ m} \quad A_p = \pi D^2 / 4 = 0,503 \text{ m}^2 \quad P = \pi D = 2,51 \text{ m}$$

Q_p 'nin Belirlenmesi:**Meyerhof Metodu:**

$$Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p (0.5 p_a N_q^* \tan \phi')$$

$$q' = 17.3,5 + 19.2,5 + 19.3 + 17.0,5 + (17 - 9,81) \cdot 2,5 + (18 - 9,81) \cdot 3,5 + (19 - 9,81) \cdot 4,5 = 260,50 \text{ kN/m}^2$$

$$N_q^* \approx 240 \quad \phi' = 37^\circ$$

$$Q_p = 0,503 \cdot 260,50 \cdot 240 = 31425,38 \text{ kN}$$

$$Q_p = 0,503 \cdot 260,50 \cdot 0,5 \cdot 100 \cdot \tan 37 = 9042,65 \text{ kN (Limit değeri kıyaslama)}$$

$$Q_p = 9042,65 \text{ kN}$$

Vesic Metodu:

$$Q_p = A_p \bar{\sigma}'_0 N_\sigma^*$$

$$q' = 260,50 \text{ kN/m}^2 \quad \phi' = 37^\circ \quad m = 400$$

$$\sigma'_0 = \left(\frac{1+2(1-\sin \phi')}{3} \right) q' \quad \sigma'_0 = \left(\frac{1+2(1-\sin 37)}{3} \right) 260,50 = 155,98 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,1 + 0,3 \left(\frac{\phi' - 25}{20} \right) \quad \mu_s = 0,1 + 0,3 \left(\frac{37 - 25}{20} \right) = 0,28$$

$$\Delta = 0,005 \left(1 - \frac{\phi' - 25}{20} \right) \left(\frac{q'}{p_a} \right) \quad \Delta = 0,005 \left(1 - \frac{37 - 25}{20} \right) \left(\frac{260,50}{100} \right) = 0,005$$

$$I_r = \frac{E_s}{2(1+\mu_s)q' \tan \phi'} \quad I_r = \frac{21654,85}{2(1+0,28)260,50 \cdot \tan 37} = 43,39$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1+I_r \Delta} \quad I_{rr} = \frac{43,09}{1+43,09 \cdot 0,005} = 35,19 \quad N_\sigma^* = 60$$

$$Q_p = 0,503 \cdot 155,98 \cdot 60 = 4704,30 \text{ kN}$$

Coyle ve Castello Metodu:

$$Q_p = q' N_q^* A_p$$

$$N_q^* = 100 \quad Q_p = 260,50 \cdot 100 \cdot 0,503 = 13093,91 \text{ kN}$$

SPT Korelasyonu:

$$Q_p = A_p q_p = A_p \left[0.4 P_a N_{60} \left(\frac{L}{D} \right) \right] \leq A_p (4 P_a N_{60})$$

Kazık ucunun 10D üstü ve 4D altındaki N_{60} değerleri ortalaması: $N_{60} = 34$

$$Q_p = 0,503 \cdot 0,4 \cdot 100 \cdot 34 \cdot \frac{20}{0,8} = 17090,26 \text{ kN}$$

$$Q_p = 0,503 \cdot 4 \cdot 100 \cdot 34 = 6836,11 \text{ kN (Limit değeri kıyaslama)}$$

$$Q_p = 6836,11 \text{ kN}$$

Q _p Sonuçları (kN)			
Meyerhof	Vesic	Coyle&Castello	SPT&CPT
9042,65	4704,30	13093,91	6836,11

Maksimum ve minimum sonuçlarının çıkarılarak ortalaması alındığında;

$Q_p = 7939,38 \text{ kN}$ olarak elde edilir.

Q_s 'nin Belirlenmesi:

α Metodu (Kilde):

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

$$Q_{s(Kil)} = 0,78.35.2,51.3,5 + 0,67.51.2,51.2,5 + 0,64.57.2,51.3 = 729,89 \text{ kN}$$

β Metodu (Kilde):

$$Q_s = \sum f p \Delta L \quad f = (1 - \sin \phi'_R) \tan \phi'_R \sigma'_0$$

$$Q_s = 4,135.2,51.2,5 + 4,567.2,51.3 = 60,41 \text{ kN}$$

Kilde Q_s Sonuçları (kN)

α Metodu	Vesic
729,89	60,41

α ve β metodu ortalaması alınarak:

$$Q_{s(Kil)} = 395,15 \text{ kN bulunur.}$$

Coyle ve Castello 1 Metodu (Kumda):

$$Q_s = K \bar{\sigma}'_0 \tan(0,8\delta') pL$$

$$Q_s = 0,463.85. \tan 26.2,51.0,5 + 0,463.45,99. \tan 26.2,51.2,5 + 0,398.22,23. \tan 29,6.3,5 + 0,398.8,98. \tan 29,6.4,5 = 156,53 \text{ kN}$$

Coyle ve Castello 2 Metodu (Kumda):

$$Q_s = K \bar{\sigma}'_0 \tan(0,8\phi') pL$$

$$Q_s = 0,7.168,3. \tan(0,8.32,5) . 2,51.0,5 + 0,7.181,5. \tan(0,8.32,5) . 2,51.2,5 + 0,7.204,8. \tan(0,8.37) . 2,51.3,5 + 0,7.239,8. \tan(0,8.37) . 2,51.4,5 = 2256,46 \text{ kN}$$

Coyle ve Castello metotları ortalaması olarak $Q_{s(COYLE\&CAST)} = 1206,50 \text{ kN}$

SPT Korelasyonu(Kum):

$$Q_s = pL f_{av}$$

$$\text{Meyerhof eşitliği ile } f_{av} = 0,02 P_a(N_{60}) = 0,02.100.25 = 50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Briaud eşitliği ile } f_{av} = 0,224 P_a(N_{60})^{0,29} = 0,224.100. (25)^{0,29} = 56,97 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{S(MEY)} = 2,51.12.50 = 1507,96 \text{ kN}$$

$$Q_{S(BRİ)} = 2,51.12.56,97 = 1718,19 \text{ kN} \text{ iki sonucun ortalaması ile:}$$

$$Q_{S(KUM SPT)} = 1613,08 \text{ kN}$$

Coyle ve Castello metotları ortalaması ve SPT korelasyonu ortalamasının, yine ortalaması alınarak:

$$Q_s = 1804,94 \text{ kN} \text{ olarak bululur.}$$

Tek Kazığın Taşıma Gücü:

$$Q_{ALL} = \frac{Q_p + Q_s}{FS} = \frac{7939,38 + 1804,94}{3} = 3248,11 \text{ kN} \text{ olarak hesaplanır.}$$

SK2 D=0,8 m L=20 m Kazık Hesabı													
Kazık Derinliği	L=	20,00	m	Kazık Uç Alanı	A _p =	0,50	m ²						
Kazık Çapı	D=	0,80	m	Kazık Çevresi	P=	2,51	m						
Q_p'NİN BELİRLENMESİ													
Meyerhof Metodu (Kil için)													
C _u =	kN/m ²			Q _p =	0,00	kN							
Meyerhof Metodu (Kum için)													
Tabaka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Y (kN/m ³)=	17,00	19,00	19,00	17,00	17,00	18,00	19,00						
D _f (m)=	3,5	2,5	3	0,5	2,5	3,5	4,5						
Y _w (kN/m ³)*=					9,81	9,81	9,81						
*Su varsa													
q' ₁ =	260,50	kN/m ²			N _q *=	240	(Tablodan)		φ' ₁ =	37			
Q _p =	31425,38	kN											
Q _p =	9042,65	kN/m ²	(Limit Değer Kıyaslama)										
Q _p =	9042,65	kN/m ²	(Seçilen Değer)										
Vesic Metodu (Kil için)													
C _u =	kN/m ²		I _r =I _{rr} =	-33	N _c *=	(Tablodan)							
Q _p =	0,00	kN											
Vesic Metodu (Kum için)													
Tabaka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Y (kN/m ³)=	17,00	19,00	19,00	17,00	17,00	18,00	19,00						
D _f (m)=	3,5	2,5	3	0,5	2,5	3,5	4,5						
Y _w (kN/m ³)=					9,81	9,81	9,81						
q' ₁ =	260,50	kN/m ²		φ' ₁ =	37	m=	400	(Vesic Metodundan)					
σ ₀ ' ₁ =	155,98	kN/m ²	E _s =	21654,85	kN/m ²								
μ _s =	0,28	Δ=	0,005	I _r =	43,09	I _{rr} =	35,19	N _c *=	60	(Tablo)			
Q _p =	4704,30	kN											

Şekil 9.1a Kazık hesabı excel 1. çalışma sayfası.

Coyle ve Castello (Kum İçin)

Tabaka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
γ (kN/m ³)=	17,00	19,00	19,00	17,00	17,00	18,00	19,00						
D_f (m)=	3,5	2,5	3	0,5	2,5	3,5	4,5						
γ_w (kN/m ³)=					9,81	9,81	9,81						

$q' = 260,50$ kN/m²
 $Q_p = 13093,91$ kN

$N_q^* = 100$ (Tablodan)

SPT ve CPT Korelasyonu İle Belirlenmesi (Kil ve Kum için)

Kazık ucu **8 m üstü** ile **4 m altı** arasındaki N_{60} değerleri toplamının ortalaması

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
N_{60}	30,75	33,75	33,75	33,75	33,75	33,75								

$N_{60} = 34$

$Q_p = 17090,26$ kN

$Q_p = 6836,11$ kN

Min Değer Karşılaştırması

$Q_p = 6836,11$ kN

Q_p Sonuçları (kN)

Meyerhof	Vesic	Coyle&Castello	SPT&CPT
9042,65	4704,30	13093,91	6836,11

$Q_p = 7939,38$ kN (Maksimum ve minimum ortalamadan çıkarılmıştır)

KAZIK YANAL SÜRTÜNMESİ Q_s 'NİN BELİRLENMESİ

KİL TABAKASINDA SÜRTÜNME

α Metodu

S/N	Derinlik	ΔL	C_u	α	$\alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L$
1	0,00	3,50	35	0,78	240,14
2	3,50	6,00	51	0,67	214,70
3	6,00	9,00	57	0,64	275,05
4		0,00			0,00
5		0,00			0,00
6		0,00			0,00
7		0,00			0,00
8		0,00			0,00
9		0,00			0,00
10		0,00			0,00

$Q_{s \text{ kil}} = 729,89$ kN

Şekil 9.1b Kazık hesabı excel 2.çalışma sayfası.

	0	KUM?					
L ₁ =	3,5						
γ ₁ =	17	σ ₀ '=	59,5		γ _w =	0	φ _R '= 0 f= 0
L ₂ =	6						
γ ₂ =	19	σ ₀ '=	107		γ _w =	0	φ _R '= 3 f= 4,135
L ₃ =	9						
γ ₃ =	19	σ ₀ '=	164		γ _w =	0	φ _R '= 2 f= 4,567
L ₄ =							
γ ₄ =		σ ₀ '=	164		γ _w =	0	φ _R '= f= 0
L ₅ =							
γ ₅ =		σ ₀ '=	164		γ _w =	0	φ _R '= f= 0
L ₆ =							
γ ₆ =		σ ₀ '=	164	γ _w =	0	φ _R '= f= 0	
L ₇ =							
γ ₇ =		σ ₀ '=	164	γ _w =	0	φ _R '= f= 0	

$Q_{s\text{ KİL}} = 395,15 \text{ kN}$ α ve β metodunun ortalaması

Coyle ve Castello 1 ile Belirlenmesi

Coyle ve Castello 1 ile Belirlenmesi

$$Q_{sCoy1} = 156,53 \text{ kN}$$

L/D= 25													
Tabaka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\phi' =$				32,5	32,5	37	37						
K=				0,7	0,7	0,7	0,7						
Kum?				Evet	Evet	Evet	Evet						
γ (kN/m ³)=	17,00	19,00	19,00	17,00	17,00	18,00	19,00						

76

D _f (m)=	3,5	2,5	3	0,5	2,5	3,5	4,5						
γ _w (kN/m ³)=					9,81	9,81	9,81						
σ' ₀ (kN/m ²)	0	0	0	168,3	181,5	204,8	239,8	0	0	0	0	0	0
Q _s (kN/m ²)	0	0	0	72,18	389,3	716,4	1079	0	0	0	0	0	0

Q_{sCOY2}= 2256,46 kN Q_{sCOY}= 1206,50 kN

SPT Korelasyonu İle Belirlenmesi

Kum tabakalarındaki N₆₀ değerleri, ΔL her tabakanın kalınlığı

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
N ₆₀	22,5	15,75	18	24,75	30,75	33,75								
ΔL	1,5	1,5	1,5	1,5	1	5								

N₆₀= 25 Meyerhof f_{av}= 50,00 kN/m²
 Briaud f_{av}= 56,97 kN/m²

Q_{s KUM Mey}= 1507,96 kN Q_{s KUM Bria}= 1718,19 kN Q_{s KUM SPT}= 1613,08 kN
 Q_{s KUM}= 1409,79 kN

Q_s= 1804,94 kN

TEK KAZIĞIN TAŞIMA GÜCÜ

$Q_{ALL} = \frac{Q_p + Q_s}{FS}$ Q_p= 7939,38 kN FS= 3
 Q_s= 1804,94 kN
 Q_{ALL}= 3248,11 kN

Şekil 9.1d Kazık hesabı excel 4.çalışma sayfası.

9.2 Kazık Grubu

Tek kazığın taşıma gücünün hesaplanmasının ardından, yine Microsoft Excel® 'de üst yapıdan gelen toplam yükün kazık taşıma gücüne bölünmesi ile kazık sayısı hesaplanmıştır. Kazıkların uygulamaya yönelik olarak yerleştirilebilmesi için hesapta çıkan kazık sayıları, temel kenar uzunlukları ile orantılı olacak şekilde, aşağı ya da yukarı yuvarlanmıştır. Kazık planının oluşması ile birlikte, bölüm 5.1'deki kazık grup verimliliği yine excel ile hesaplanmıştır. Kazık grubunda da yine 80 cm çapında 20 m derinliğinde olan kazık grubunun elle hesabı ve excel çalışma sayfası görüntüleri yer almaktadır.

9.2.1 80 cm Çap ve 20 m Boy İçin Kazık Sayısı Hesabı, Kazık Yerleşimi, Kazık Grubu Verimliliği

Kazık Sayısı Hesabı:

Üst yapıdan gelen yüklerin tek kazığın taşıma gücüne bölünmesi ile:

$$n_{kazık} = \frac{39390,93}{3248,11} = 13 \text{ Kazık}$$

Orantılı yerleşim için seçilen kazık sayısı: 12 Kazık

Kazıklar iki doğrultuda $n_1 = 4$ (Uzun kenar doğrultusu)

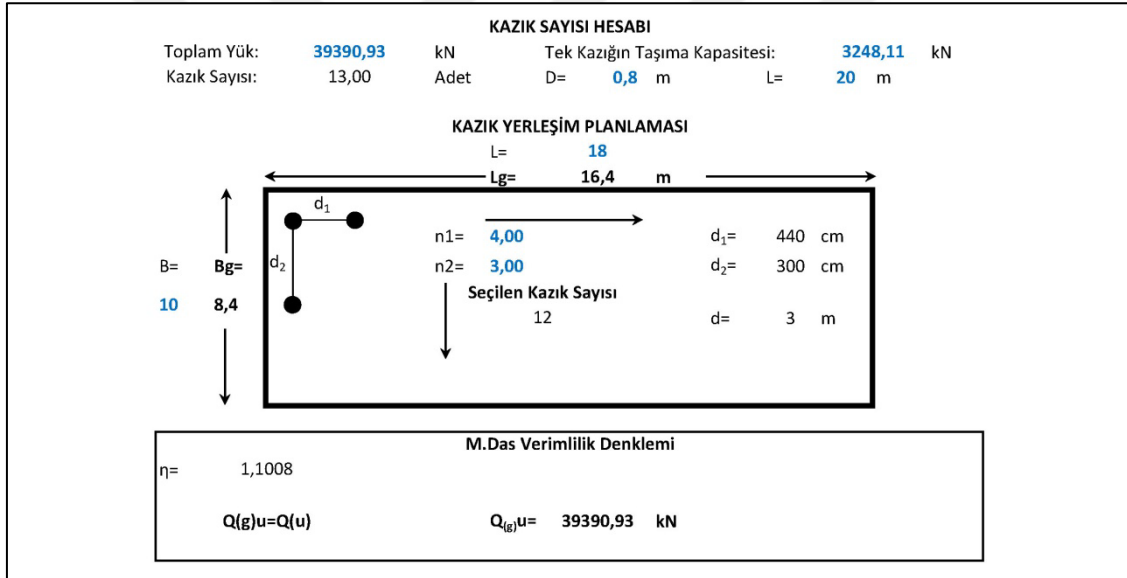
$n_2 = 3$ (Kısa kenar doğrultusu) olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Kazık Grubu Verimi Hesaplanması:

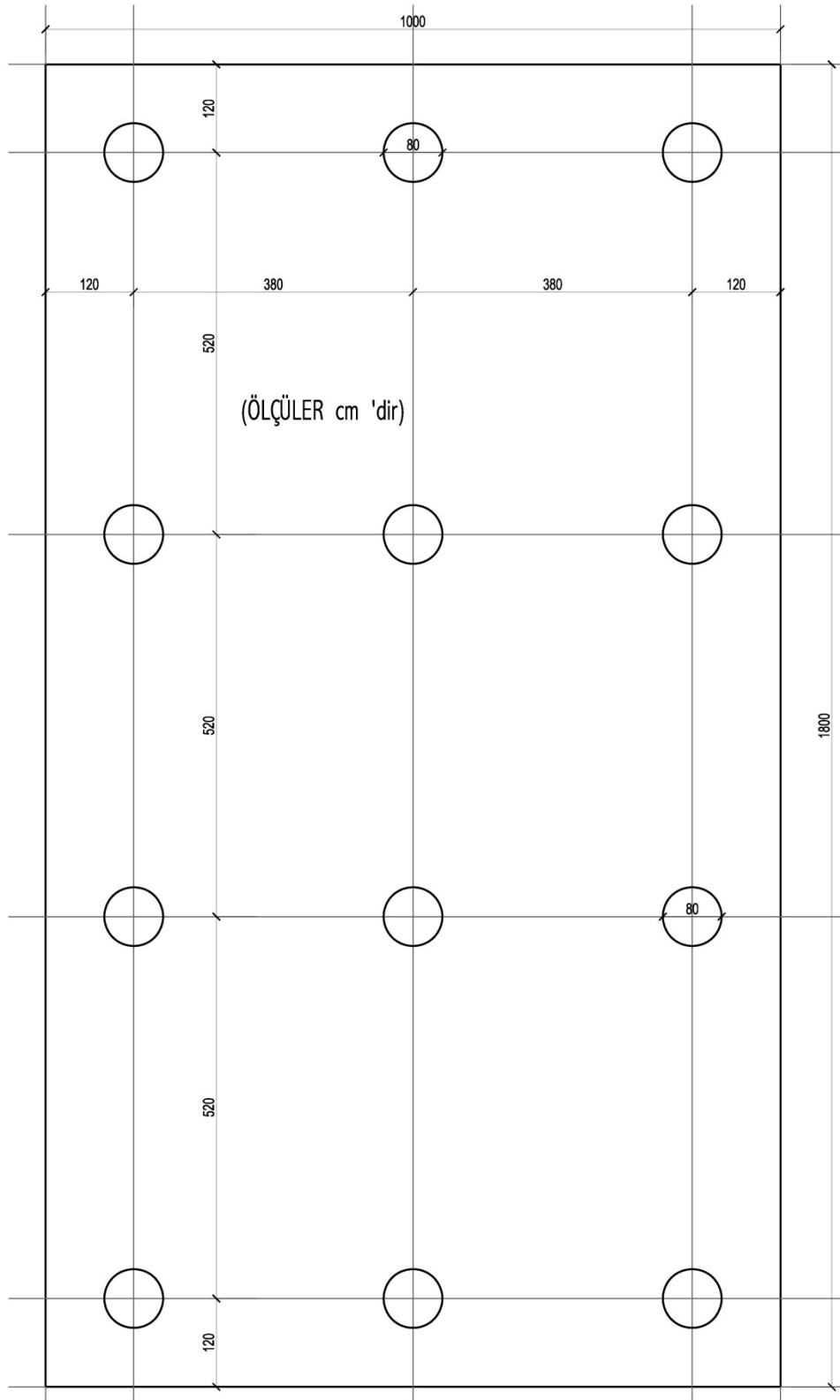
Das verimlilik eşitliği kullanılarak, verimlilik;

$$\eta = \frac{2(n_1+n_2-2)d+4D}{pn_1n_2}$$

$$\eta = \frac{2(4+3-2)3+4 \cdot 0,8}{2,51 \cdot 4 \cdot 3} = 1,1008$$



Şekil 9.2 Kazık sayısı hesabı, kazık yerleşim planlaması, kazık verimliliği.



Şekil 9.3 80 cm çap 20 m derinlik için kazık yerleşim planı.

9.3 Tek Kazık ve Kazık Grubu Elastik Oturma Hesabı

Kazık sayısının belirlenmesi ve kazık grubunun oluşturulmasının ardından, hem tek kazığın hem de kazık grubunun elastik oturma hesabı yine Microsoft Excel® ile yapılmıştır. Oturma hesapları yine 80 cm çap ve 20 m derinliğindeki kazık ve kazık grubu için verilmiştir.

9.3.1 Tek Kazığın Oturma Hesabı

$$E_p = 300000000 \text{ kN/m}^2 \quad E_s = 15680 \text{ kN/m}^2 \quad \mu_s = 0,3 \quad \xi = 0,5$$

$$I_{wp} = 0,85 \quad C_p = 0,05 \quad C_s = \left(0,93 + 0,16 \sqrt{L/D}\right) C_p = \left(0,93 + 0,16 \sqrt{20/0,8}\right) \cdot 0,05$$

$$Q_{wp} = 2646,46 \text{ kN} \quad Q_{ws} = 601,65 \text{ kN}$$

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} = \frac{(300000000 + 0,5 \cdot 601,65)20}{2,51 \cdot 15680} = 0,0039 \text{ m}$$

$$S_{e(2)} = \frac{Q_{wp} C_p}{D q_p} = \frac{2646,46 \cdot 0,05}{0,8 \cdot 3248,11} = 0,0256 \text{ m}$$

$$S_{e(3)} = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} = \frac{601,65 \cdot 0,97}{20 \cdot 3248,11} = 0,0045 \text{ m}$$

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} = 0,039 + 0,0256 + 0,0045 = 0,0340 \text{ m}$$

KAZIK OTURMA HESABI							
Vesic							
$E_p =$	300000000	kN/m ²	$E_s =$	15680	kN/m ²	$\mu_s =$	0,4
						$C_s =$	0,97
$\xi =$	0,5					$C_p =$	0,05
$I_{wp} =$	0,85		$I_{ws} =$	3,75		$Q_{wp} =$	2646,46 kN
						$Q_{ws} =$	601,65 kN
$S_{e(1)} =$	0,0039	m					
$S_{e(2)} =$	0,0256	m	$S_e =$	0,0340	m		
$S_{e(3)} =$	0,0045	m					

Şekil 9.4 Tek kazığın oturması.

9.3.2 Kazık Grubunun Oturması

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e = \sqrt{\frac{8,4}{0,8}} \cdot 0,0340 = 0,1102 \text{ m}$$

KAZIK GRUBU OTURMASI			
$B_g =$	8,4	m	$S_{e(g)} =$
			0,1102 m

Şekil 9.5 Kazık grubunun oturması.

9.4 Kazık Maliyet Analizi İçin Betonarme Hesap

Kazık maliyetinin hesaplanması için kullanılacak donatı miktarı ve beton metrajı da yine excel ile yapılmıştır. Betonarme hesap için excel çalışma sayfası görüntüsü verilmiştir.

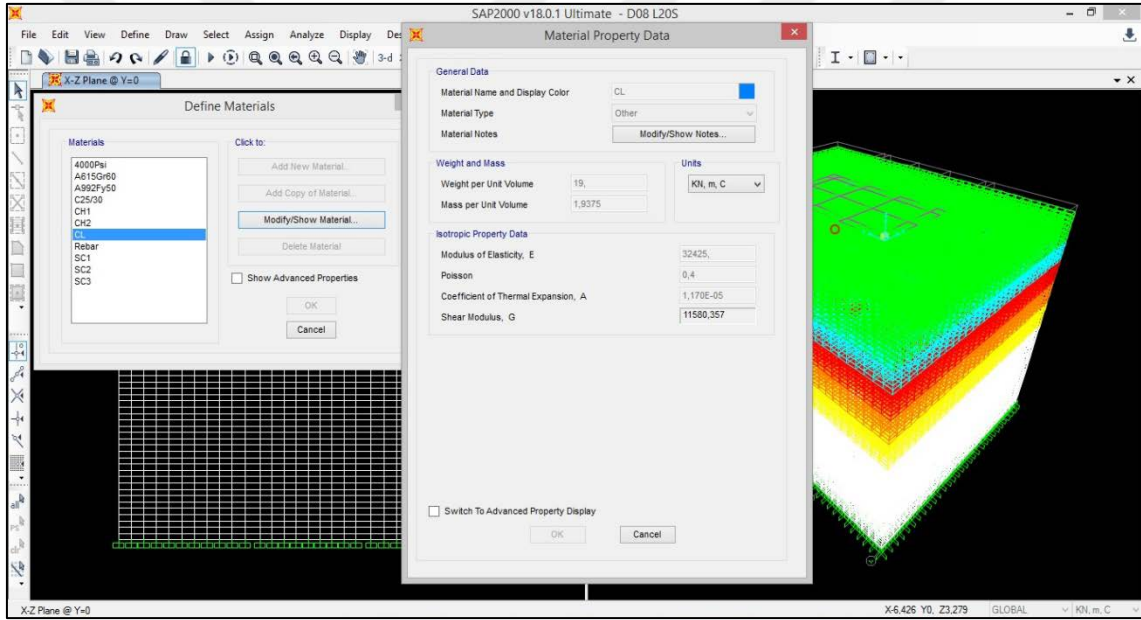
BETONARME HESAP									
$N_g =$	3248,11	kN		$N_{em} =$	4547,35	kN		$A_p =$	5026,55 cm ²
Beton Sınıfı	C25	$f_{cd} =$	16,7	MPa	$f_{ck} =$	25	MPa		
Donatı Sınıfı	S420	$f_{yd} =$	365,22	MPa	$f_{yk} =$	420	MPa		
Taşıma Gücü									
$N_c =$	7135,19	kN	>	4547,35	kN			min donatı yeterlidir.	
$N =$	7135,19	kN				$\phi =$	1,1		
Düşey Donatı									
$A_s =$	-17,76	cm ²	<	0	min Donatı Kullanılır			$\rho_{min} =$	0,01
$A_s =$	50,27	cm ²			Kullanılacak Boyuna Donatı=				
								0,79	Ton
Fret Hesabı									
min $\rho_s =$	0,00911			$s =$	6,27	$\cdot A_0$	Donatı Çapı=	10	mm
							$A_0 =$	0,785	
				$s =$	4,92	cm	Kullanılacak Fret=		
								0,549	Ton
Toplam Donatı									
Toplam Donatı:	1,34	Ton							
Toplam Beton									
Toplam Beton:	10,05	m ³							

Şekil 9.6 Kazık betonarme hesabı ve metrajı.

10. SAP 2000 PROGRAMI İLE ANALİZLER

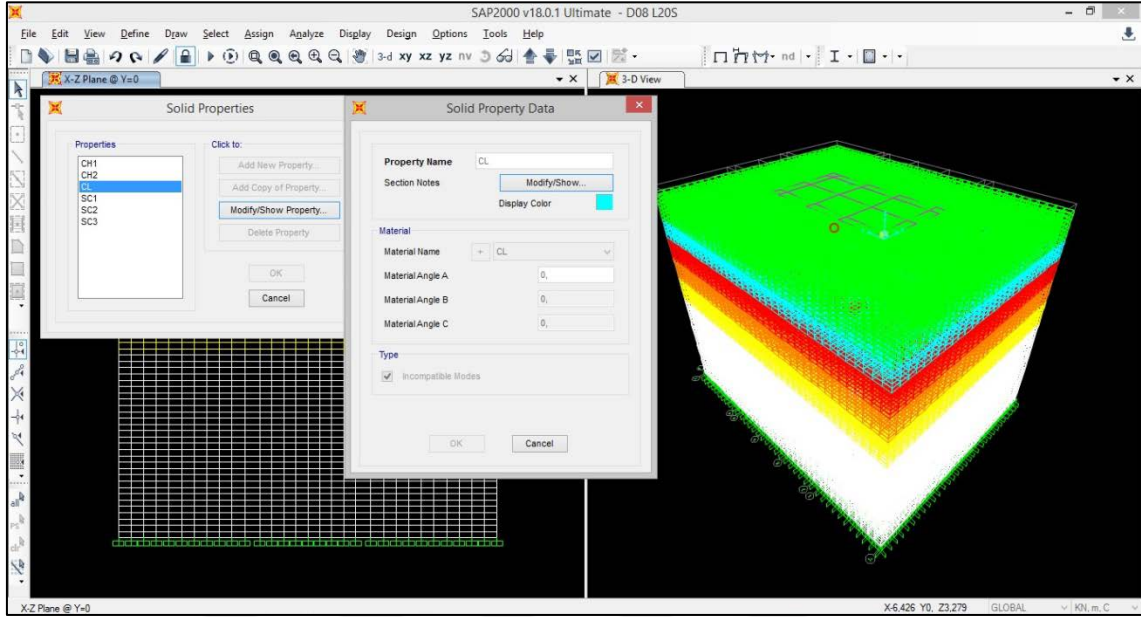
Sap2000 programı ile oluşturulan sonlu elemanlar modelinde zemin solid (katı) olarak modellenmiştir. Zeminin modellenmesinde Çizelge 8.4’de verilen zemine ait özellikleri kullanılmıştır.

Çizelge 8.4’den alınan zemine ait olan özellikler, programın malzeme tanımlama menüsü kullanılarak; hem Plaxis 3D Foundation programında, hem de SAP2000 programında aynı özelliklere sahip olacak şekilde tanımlanmıştır. Ayrıca zemin özellikleri her iki programda da aynı renkler ile temsil edilmiştir.



Şekil 10.1 SAP2000 modeli zemin özelliklerinin tanımlanması.

Tanımlanan zemine ait malzeme özellikleri ise, katı (solid) cisimlere atanmıştır.



Şekil 10.2 SAP2000 modeli Solid özelliklerinin tanımlanması.

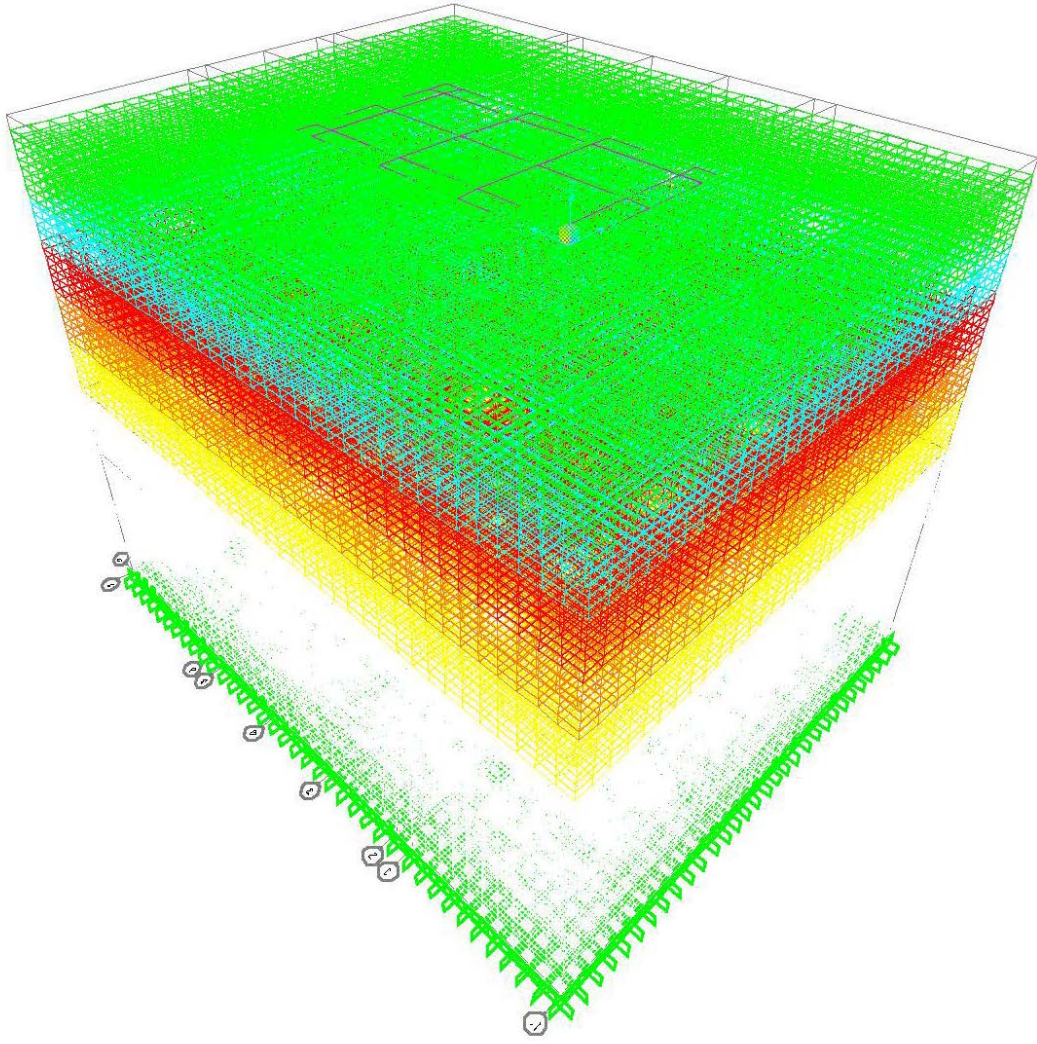
Zemin radye temelin X ve Y yönü doğrultusunda 10'ar metre, kazıkların düşey Y doğrultusunda ise yine 10 metre daha derin olacak şekilde modellenmiştir. Zemin modeli tabanında ankastre mesnetler atanarak zeminin ana kaya bağlantısı temsil edilmiştir.

Kazıklar frame (çubuk) olarak modellenmiş, kazık başlığını temsil eden radye temel de area-shell (kabuk) olarak modellenmiştir. Kazıklarda ve radyede beton sınıfı olarak C25/30 kullanılmış olup, kullanılan betona ait özellikler şu şekildedir:

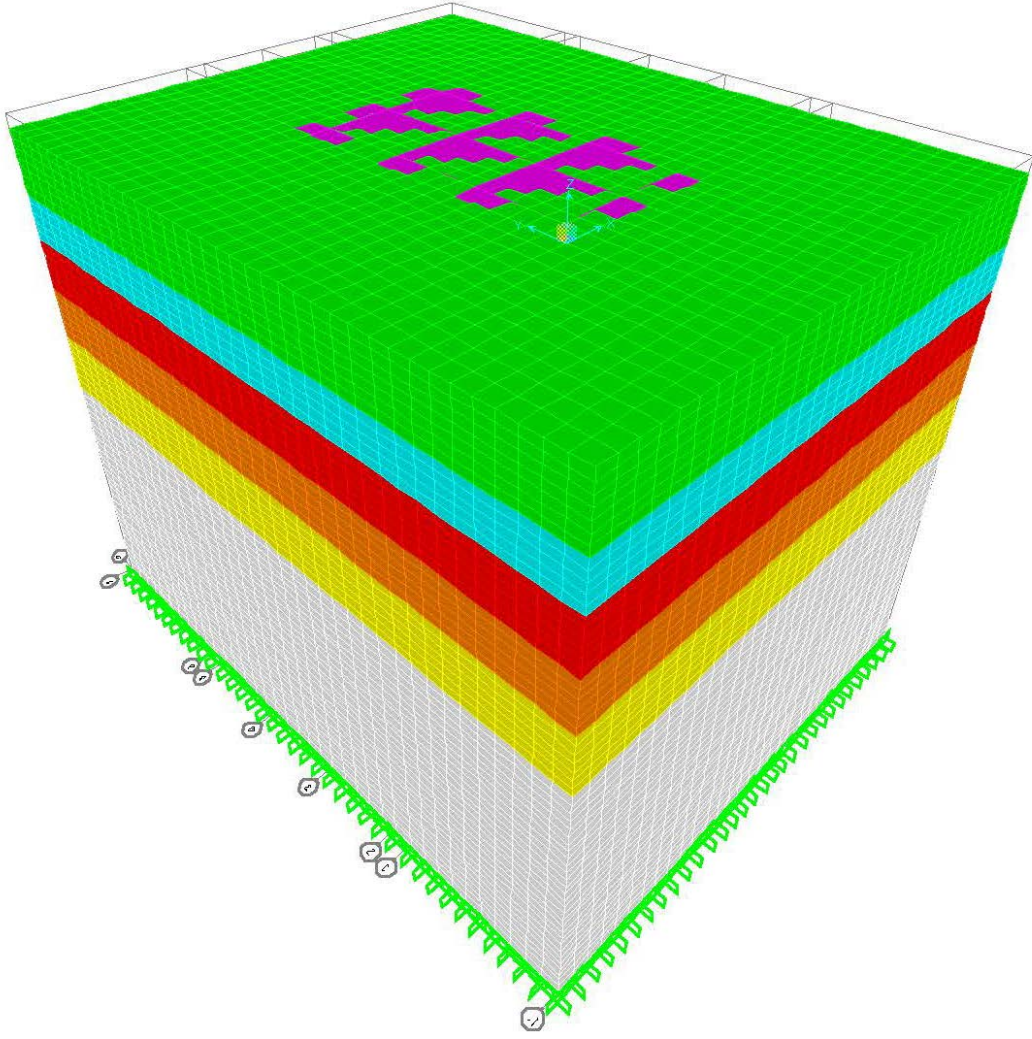
Birim Hacim Ağırlık: 24.99 kN/m^3

Elastisite Modülü: 31000000 kN/m^2

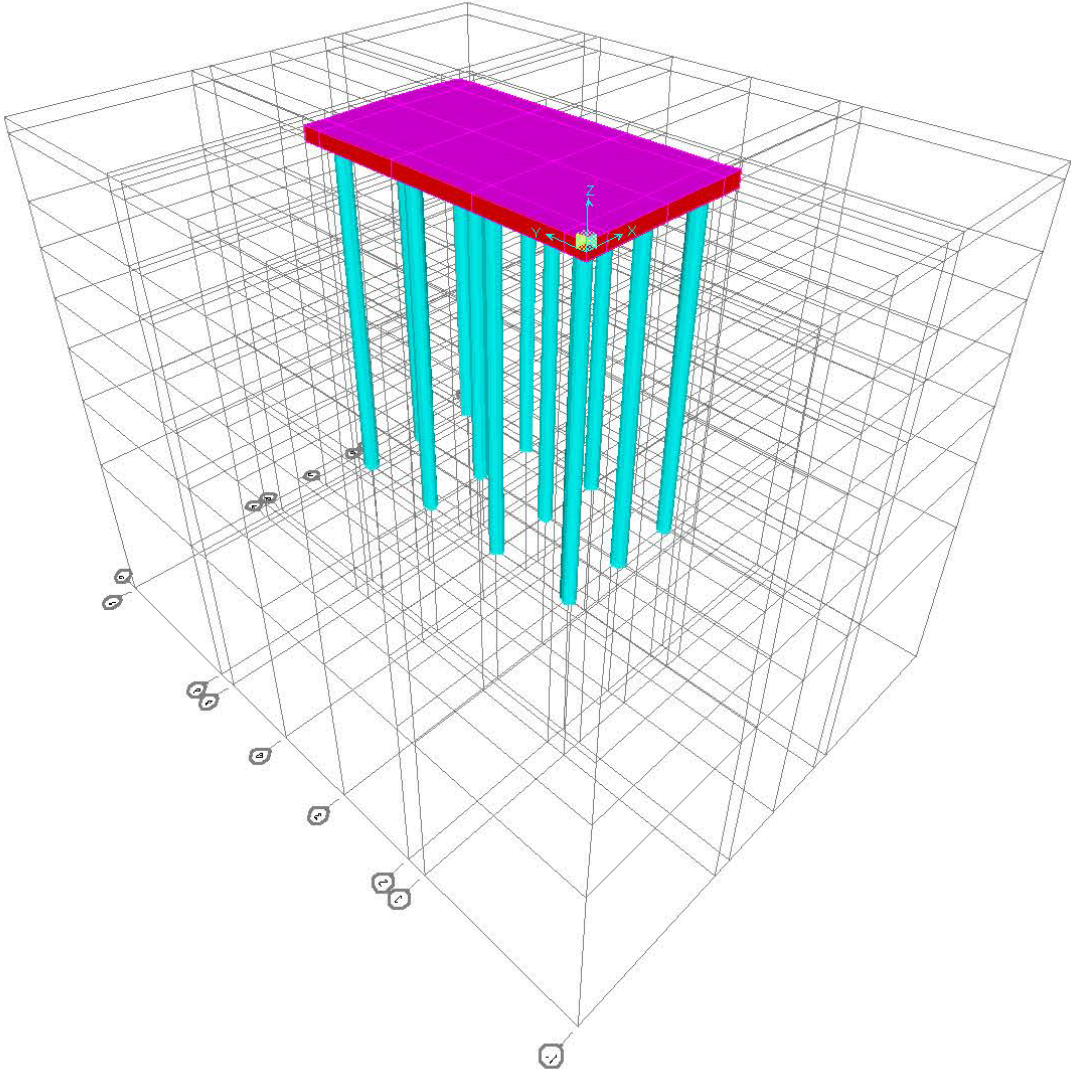
Poisson Oranı: 0.2



Şekil 10.3a Zemin-kazık SAP2000 modeli (Gösterim şekli: Section).

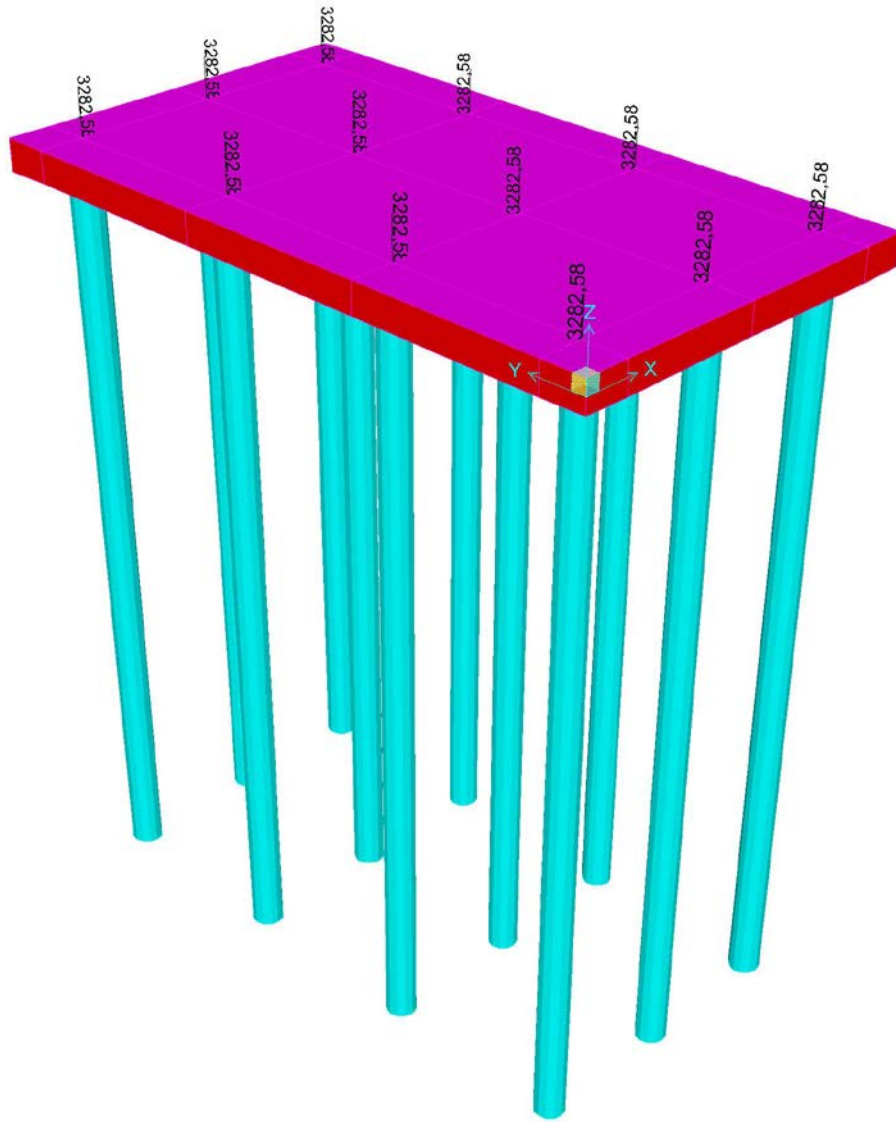


Şekil 10.3b Zemin-kazık SAP2000 modeli (Gösterim şekli: Extruded View).



Şekil 10.3c Zemin-kazık SAP2000 modeli (Yalnızca kazıklar ve radye).

Oluşturulan modelde, üst yapıdan gelen toplam yükler, kazık grubuna her kazığın başına eşit şekilde etkiyecek şekilde uygulanmıştır.

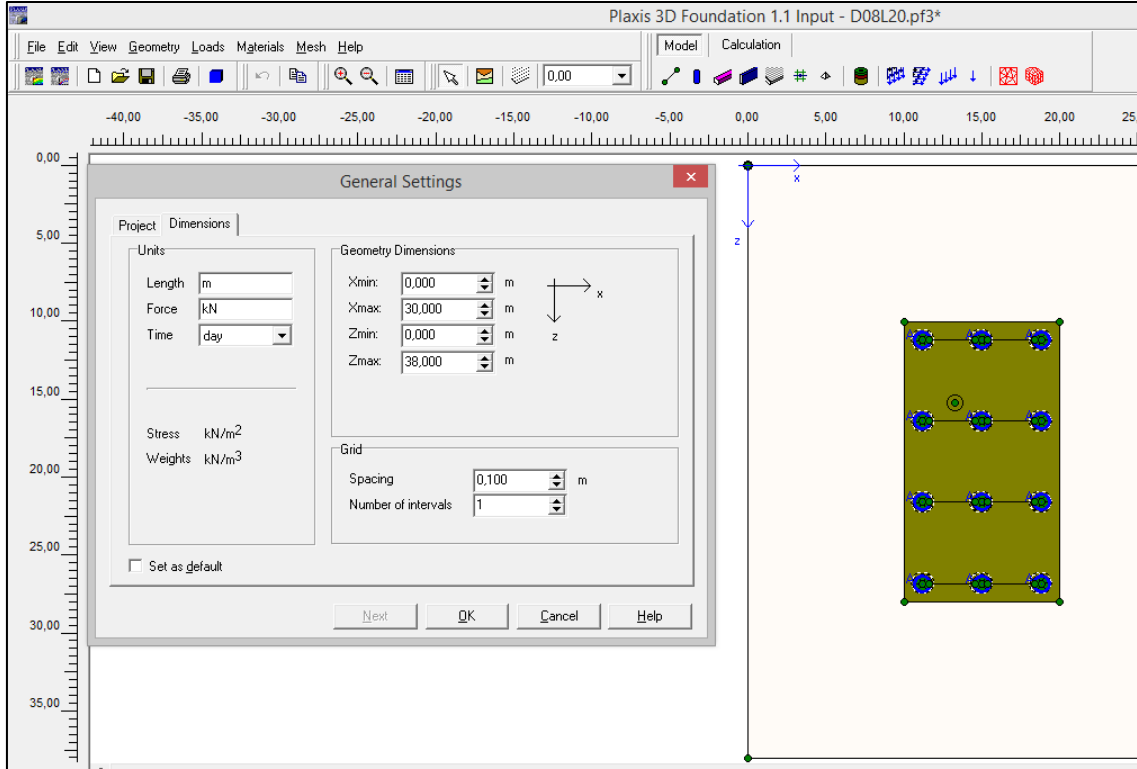


Şekil 10.4 Model yükleme durumu.

Program analizi yürütülüp, kazık en üst noktalarında meydana gelen çökmeler tablodan alınarak kaydedilmiştir.

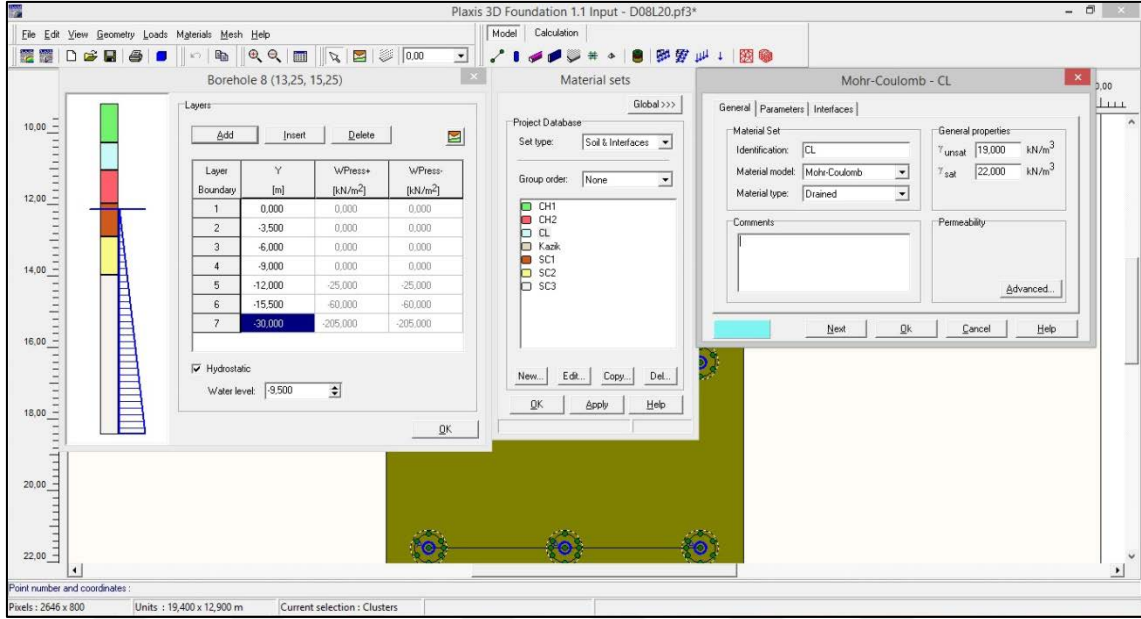
11.PLAXIS 3D FOUNDATION PROGRAMI İLE ANALİZLER

Plaxis 3D Foundation modellemesinde de, yine SAP 2000'deki zemin modeline benzer şekilde; zemin, radye temelin her iki yönünden de 10 m daha geniş olacak şekilde modellenmiştir. Yine düşeyde SAP 2000'deki modelleme ile benzer olması için 30 m'lik bir derinliğe kadar zemin modellenmiştir.

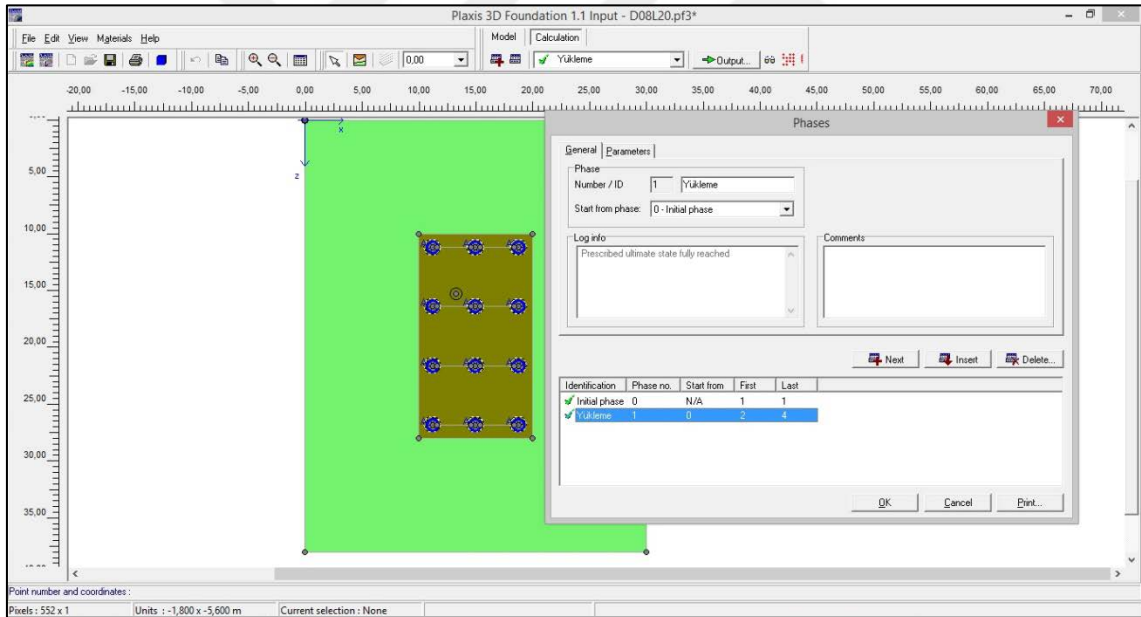


Şekil 11.1 Plaxis 3D Foundation ara yüzü.

Programda temel ve kazık bölgesinde tanımlanan sondaj kuyusu (Borehole) ile zemine ait olan özellikler zemine yüklenmiştir. Çizelge 8.4'deki zemin özellikleri, zeminin her tabakasındaki özellikler, SAP2000'deki benzer renkler ile temsil edilerek tanımlanmıştır. Yer altı su seviyesinin de eklenmesi ve hesap ağı oluşturulmasının ardından, programın hesap fazları oluşturulmuştur.

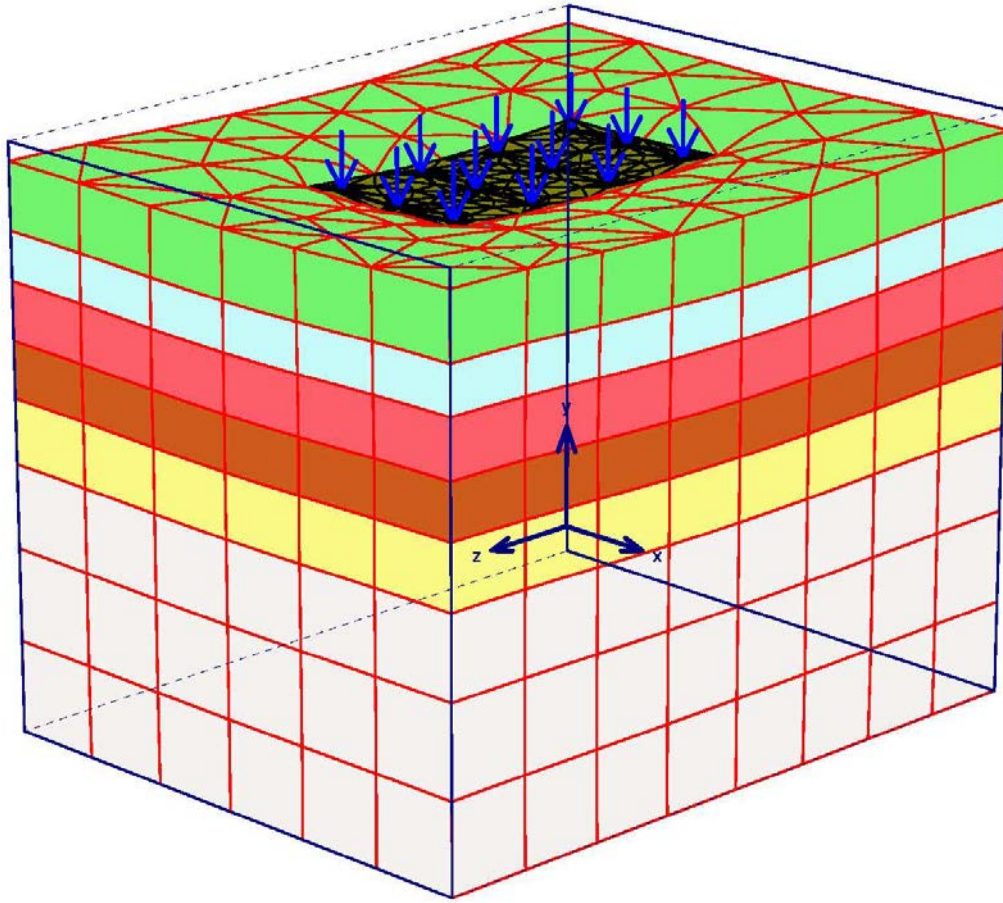


Şekil 11.2 Plaxis 3D Zemin özelliklerinin tanımlanması ve tabakalara atanması.



Şekil 11.3 Plaxis 3D Foundation hesap fazlarının tanımlanması.

Kazıklara yükleme, yine 10'uncu bölümde yapıldığı gibi her bir kazığa, yapıdan gelen yükler eşit olarak aktarılmıştır. Analizler yapılarak, kazık üst noktalarında oluşan çökmeler tablodan alınarak kaydedilmiştir.



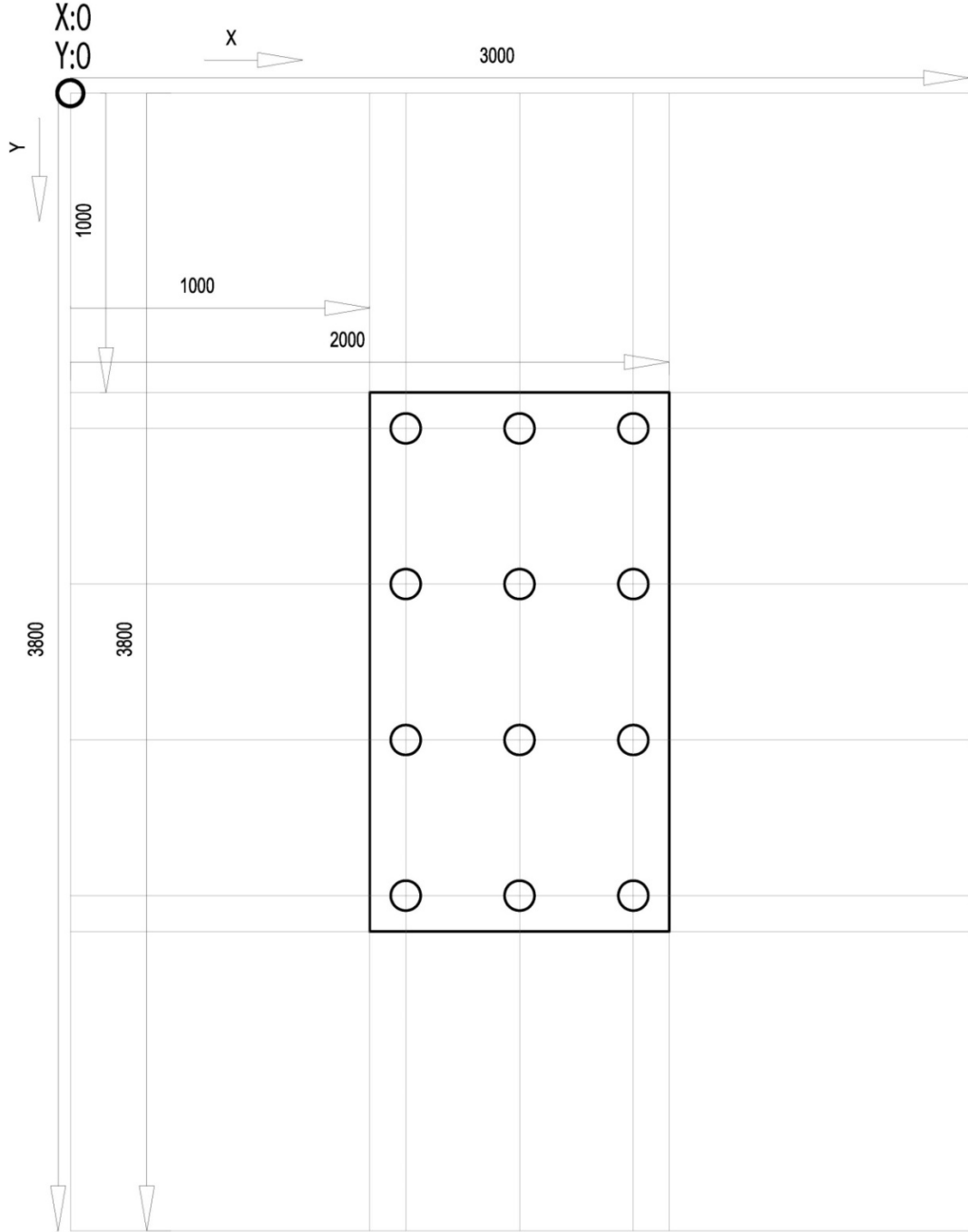
Deformed Mesh
Extreme total displacement $53,90 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
(displacements scaled up 50,00 times)

Şekil 11.4 Analiz sonrası kazık grubunda çökme.

12. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

12.1 SAP2000 ve Plaxis 3D Foundation Sonuçları

Her bir kazık grubunda, plan dikkate alındığında sol üst, orta ve sağ alttaki kazıkların en üst noktalarındaki oturmalar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Kazık konumları için X ve Y koordinatı şekil 12.1'deki gibidir.



Şekil 12.1 Kazık konumları için X ve Y koordinat yönü.

Her bir kazık grubundaki SAP2000 ve Plaxis 3D Foundation oturma sonuçları çizelge 12.1’de verilmiştir.

Çizelge 12.1 Sap2000 ve Plaxis 3D Foundation oturma sonuçları.

Çap (cm)	Derinlik (m)	Kazık Konumu (m)			Düşey Oturma (m)	
		Konum	X	Y	Sap2000	Plaxis
60	10,00	Sol Üst	10,90	10,90	-0,0487	-0,0683
	10,00	Orta	14,18	19,00	-0,0587	-0,0838
	10,00	Sağ Alt	19,10	27,10	-0,0488	-0,0681
	15,00	Sol Üst	10,90	10,90	-0,0464	-0,0513
	15,00	Orta	13,63	19,00	-0,0594	-0,0701
	15,00	Sağ Alt	19,10	27,10	-0,0464	-0,0535
	20,00	Sol Üst	10,90	10,90	-0,0476	-0,0474
	20,00	Orta	13,63	21,70	-0,0522	-0,0537
	20,00	Sağ Alt	19,10	27,10	-0,0476	-0,0490
80	10,00	Sol Üst	11,20	11,20	-0,0511	-0,0716
	10,00	Orta	13,73	20,56	-0,0597	-0,0852
	10,00	Sağ Alt	18,80	26,80	-0,0511	-0,0713
	15,00	Sol Üst	11,20	11,20	-0,0550	-0,0615
	15,00	Orta	15,00	19,00	-0,0625	-0,0697
	15,00	Sağ Alt	18,80	26,80	-0,0550	-0,0625
	20,00	Sol Üst	11,20	11,20	-0,0545	-0,0484
	20,00	Orta	15,00	21,60	-0,0596	-0,0536
	20,00	Sağ Alt	18,80	26,80	-0,0545	-0,0486
100	10,00	Sol Üst	11,50	11,50	-0,0538	-0,0818
	10,00	Orta	13,83	19,00	-0,0618	-0,0901
	10,00	Sağ Alt	18,50	26,50	-0,0538	-0,0827
	15,00	Sol Üst	11,50	11,50	-0,0577	-0,0629
	15,00	Orta	15,00	21,50	-0,0638	-0,0678
	15,00	Sağ Alt	18,50	26,50	-0,0577	-0,0622
	20,00	Sol Üst	11,50	11,50	-0,0577	-0,0526
	20,00	Orta	15,00	19,00	-0,0622	-0,0571
	20,00	Sağ Alt	18,50	26,50	-0,0577	-0,0529

Her ne kadar yükleme durumunda temel ve kazık grubundaki kazıklar simetrik olsa da, Plaxis 3D Foundation yazılımının oluşturduğu hesap ağırları simetrik olmadığı için, sol üst ve sağ alt konumunda (simetrik konum) bulunan kazık sonuçlarında küçük farklar bulunmaktadır.

12.2 Kazık Hesaplarının Toplu Sonuçları

Çizelge 12.1’de SAP 2000 ve Plaxis 3D Foundation sonuçları, her kazık grubunda üçer kazığın sonucu olacak şekilde verilmiştir. Excelde yapılan hesaplar ile birlikte, SAP 2000 ve Plaxis 3D Foundation sonuçlarından elde edilen veriler çizelge 12.2 ’dedir.

Çap (cm)	Derinlik (m)	Hesap Kazık Sayısı	Seçilen Kazık Sayısı	Q _p (kN)	Q _s (kN)	Q _{ALL} (kN)	F _s	Q _{ALL} /F _s (kN)	VERİM (DAS)	OTURMALAR (m)		
										Sap 2000	Plax. Kazık	Grup Oturma
60	10	39	42	2593,54	391,41	2984,95	3	994,98	0,32	0,0587	0,0838	0,0251 0,0963
60	15	22	20	4532,85	826,87	5359,72	3	1786,57	0,85	0,0594	0,0701	0,0257 0,0982
60	20	18	16	5605,32	1277,96	6883,28	3	2294,43	0,93	0,0522	0,0537	0,0267 0,1020
80	10	26	24	4022,36	533,68	4556,04	3	1518,68	0,51	0,0597	0,0852	0,0343 0,1112
80	15	14	15	7175,06	1258,70	8433,76	3	2811,25	1,04	0,0625	0,0697	0,0341 0,1106
80	20	13	12	7939,38	1804,94	9744,32	3	3248,11	1,10	0,0596	0,0536	0,0340 0,1102
100	10	19	20	5179,00	673,67	6392,67	3	2130,89	0,36	0,0618	0,0901	0,0439 0,1241
100	15	12	12	8667,79	1699,28	10367,06	3	3455,69	0,77	0,0638	0,0678	0,0431 0,1219
100	20	10	9	10336,53	2538,92	12902,45	3	4300,82	0,85	0,0622	0,0571	0,0423 0,1196

Çizelge 12.2 Kazık hesapları toplu sonuçları.

12.2.1 Maliyet Karşılaştırması

Kazık maliyet hesabında, 2016 yılı Ağustos ayı itibarı ile demir ve beton fiyatları dikkate alınmıştır. Kazık sondajı ve işçilik maliyeti için ileri gelen kazık taahhüt firmalarından teklif alınmış ve ortalaması alınmıştır. Kullanılan fiyatlar şu şekildedir. C25/30 Beton: 115 TL/m³, S420 Donatı: 1450 TL/Ton, 60 cm kazık sondaj ve işçilik fiyatı: 40 TL/m, 80 cm kazık sondaj ve işçilik fiyatı: 50 TL/m, 100 cm kazık sondaj ve işçilik fiyatı: 60 TL/m. Maliyet analizi karşılaştırma tablosu çizelge 12.3'deki gibidir.

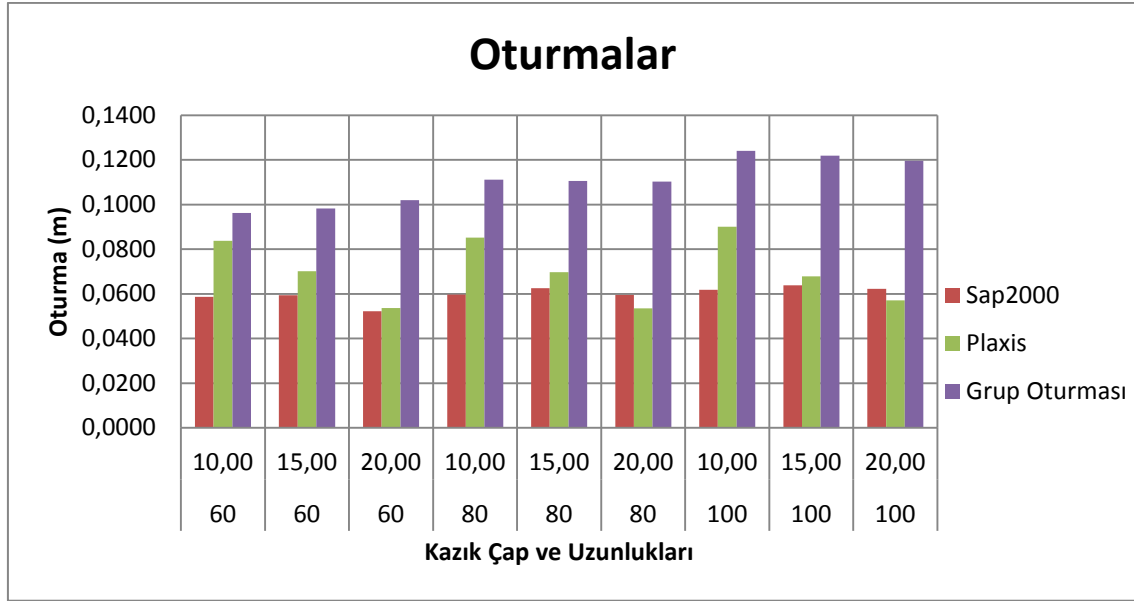
Kazık maliyet karşılaştırmasında; kazık grubu verimliliği çok düşük olan 10 m derinliğinde kazıklar, uygulamaya dönük olmadığı için alınmamıştır.

Çizelge 12.3 Maliyet analizi karşılaştırma tablosu.

Çap (cm)	Derinlik (m)	Seçilen Kazık	Beton (m ³)	Donatı (Ton)	Kazı Maliyet (TL)	Malzeme (TL)	Toplam (TL)
60	15,00	20	84,82	12,69	12.000,00 TL	28.152,64 TL	40.152,64 TL
60	20,00	16	90,48	13,55	12.800,00 TL	30.046,84 TL	42.846,84 TL
80	15,00	15	113,10	15,05	11.250,00 TL	34.823,04 TL	46.073,04 TL
80	20,00	12	120,64	16,06	12.000,00 TL	37.162,86 TL	49.162,86 TL
100	15,00	12	141,37	17,35	10.800,00 TL	41.414,01 TL	52.214,01 TL
100	20,00	9	141,37	17,36	10.800,00 TL	41.431,88 TL	52.231,88 TL

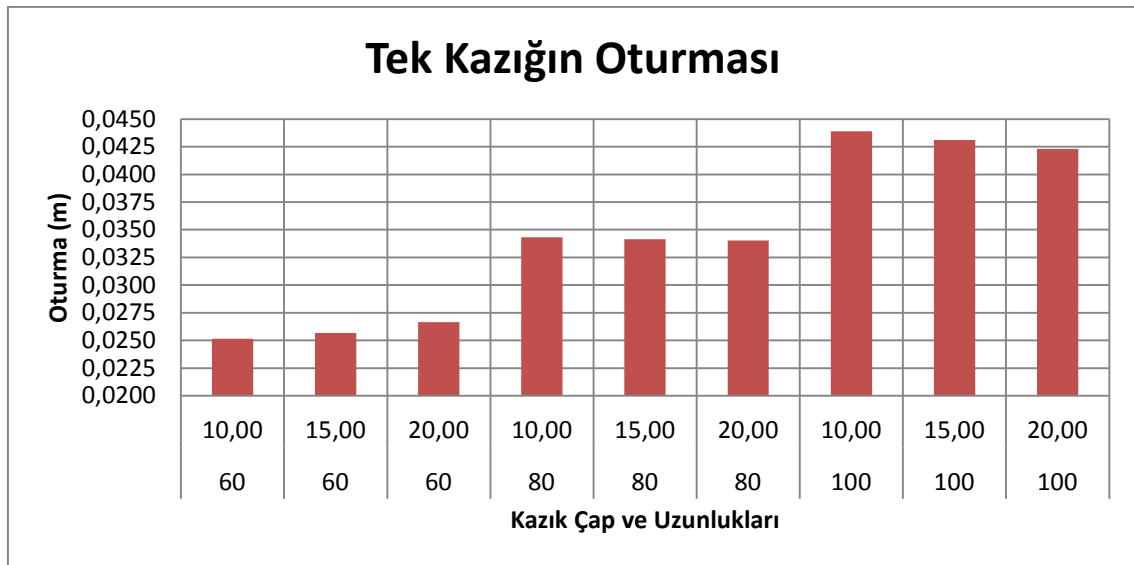
12.3 Grafikler

Çizelge 12.2'de de verilen sonuçlardan elde edilen grafikler bu bölümde verilmiştir.



Şekil 12.2 Sap2000, Plaxis 3D Foundation ve kazık grubu oturması.

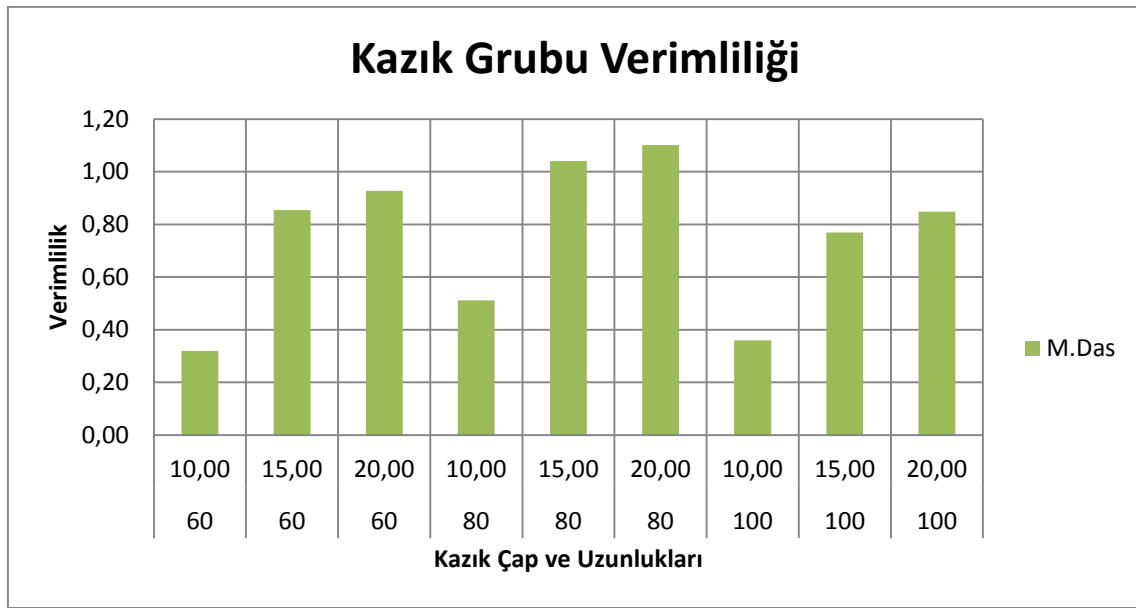
Şekil 12.2’de excelde yapılan el hesaplamalarında kazık grubunda oluşan oturmalar ile, Sap2000 ve Plaxis 3D Foundation programındaki analizlerde, kazık grubunun ortasında oluşan oturmalar karşılaştırılmıştır. Sap2000 programında ve excelde yapılan hesaplamalarda yatay seyir görülürken, Plaxis 3D Foundation hesaplamalarında; aynı kazık boyu için kazık çapı büyüdükçe oturma artmakta ve yine aynı kazık çapı kazık uzunluğu arttıkça oturmalar azalmaktadır.



Şekil 12.3 Tek kazığın oturması.

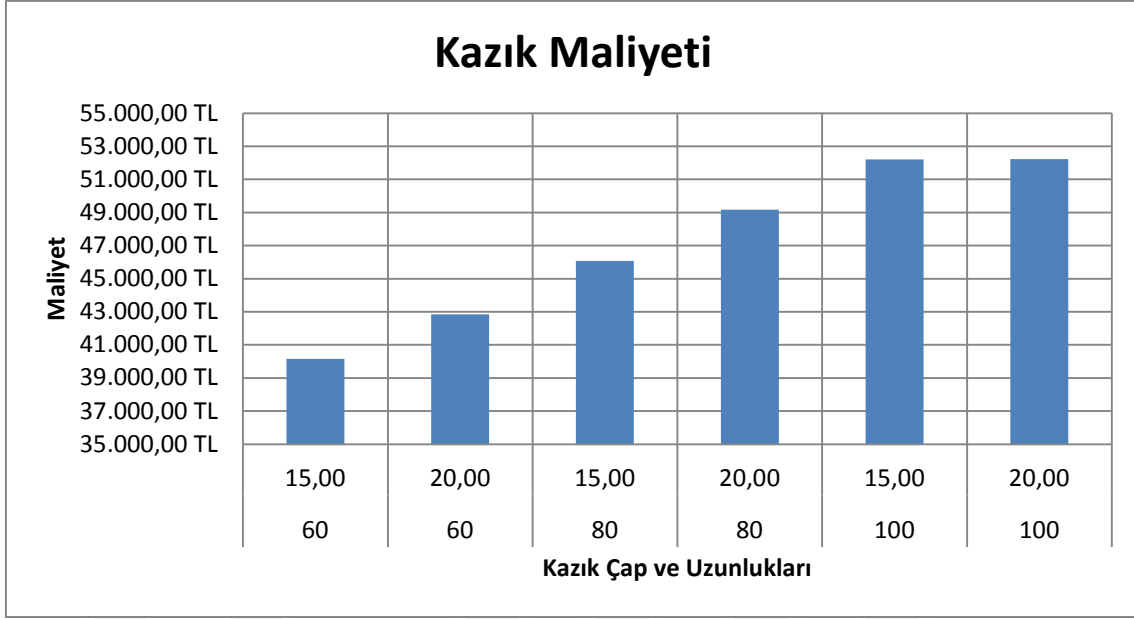
Şekil 12.3’de ise, excelde yapılan hesaplamalardaki tek kazığın oturması karşılaştırılmıştır. Grafikten de okunabileceği gibi, oturma miktarı kazık çapı ile ters orantılı olarak artmakta, 80 ve 100 cm çapındaki kazılarda ise kazık derinliğiyle orantılı olarak azalmaktadır. Bu sonuç kazık sayısının artması ile tek kazığa düşen düşey yükün azalması neticesi olarak değerlendirilebilir.

Şekil 12.2’deki kazık gruplarının oturması ile, şekil 12.3’de verilen tek kazığın oturması arasındaki farkın nedeni, kazık grubundaki kazıkların blok olarak davranışdır.



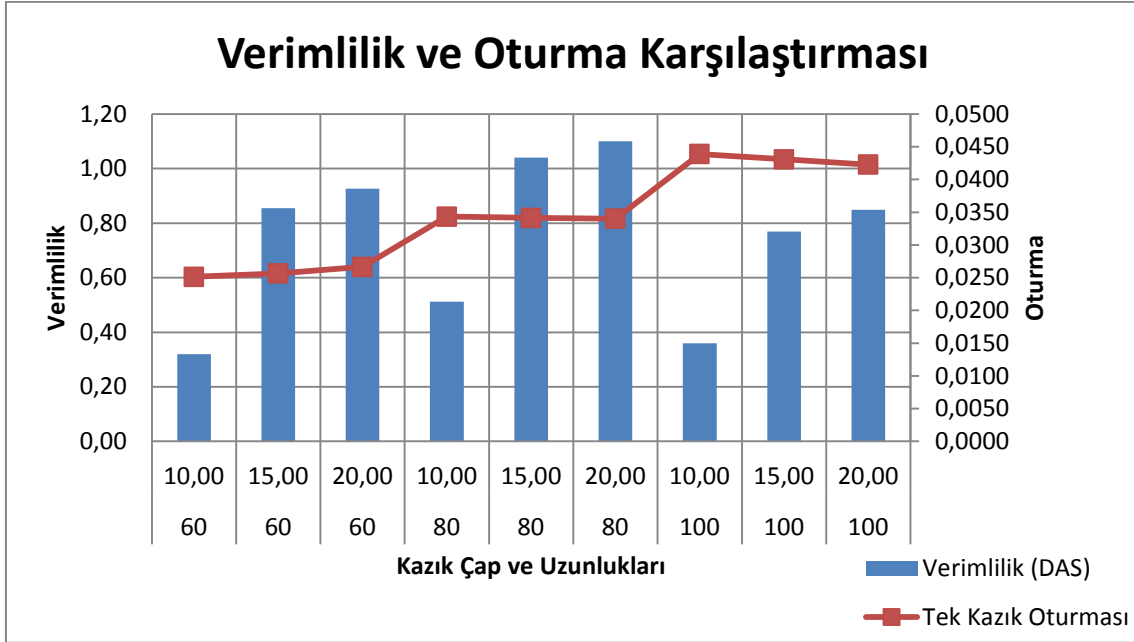
Şekil 12.4 Kazık grubu verimliliği.

Şekil 12.4’de verilen grafikte, kazık grubu verimlilikleri excelde yapılan hesaplamalardaki verilerle oluşturulmuştur. Verimlilik hesaplamalarında ise, en yüksek verimlilik 80 cm çaplı 15 ve 20 m derinliğindeki kazılarda bulunmuştur. Kazık derinliğinin 10 m olduğu kazık gruplarında verimliliğin düşük olmasının nedeni, kazık sayısının artması ile kazıkların birbiri ile etkileşiminin artmasıdır. 20 m derinliğindeki kazıklar dikkate alındığında, 80 cm çap ve 100 cm çaplı kazık gruplarından, 80 cm çaplı grubun verimliliğin yüksek olmasının nedeni, kazık çaplarının azalması ile kazık etkileşiminin azalması olarak değerlendirilebilir. Bölüm 5.1’de de anlatıldığı gibi, kazıklar arasındaki verimliliği yüksek tutmak için 3-3,5 D mesafe bırakmak gerekliliği ortaya konulmuştur.



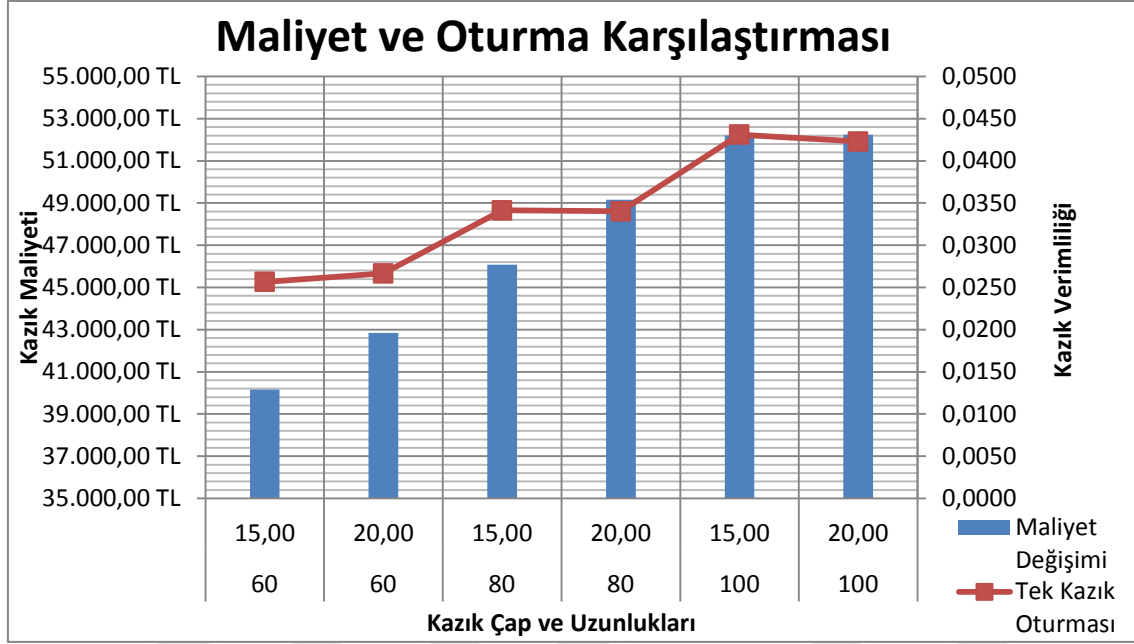
Şekil 12.5 Kazık maliyeti.

Şekil 12.5’de kazık grubunun tamamının işçilik ve malzemesi ile birlikte komple maliyeti dikkate alınmıştır. En uygun kazık maliyeti 60 cm çaplı, 15 m derinliğindeki kazık grubunda ortaya çıkmıştır. En yüksek kazık maliyeti ise; 100 cm çapında 20 m derinliğindeki kazık grubunda ortaya çıkmıştır.

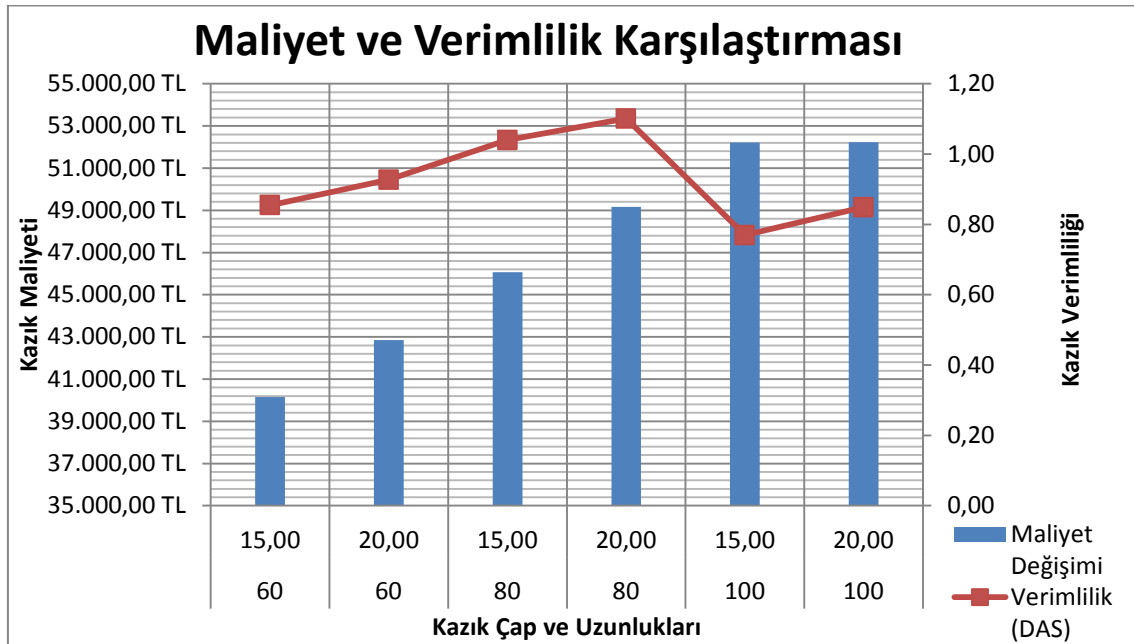


Şekil 12.6 Verimlilik ve oturma karşılaştırması.

Şekil 12.6’da excelde yapılan hesaplamalarda bulunan her kazık grubundaki tek kazığın oturması ile DAS eşitliğine göre kazık gruplarının oturması karşılaştırılmıştır. Bu grafiğe göre en yüksek verimlilik 80 cm çap ve 20 m derinlikte, en düşük verimlilik ise 60 cm çap ve 10 m’lik kazık grubundadır.



Şekil 12.7 Maliyet ve oturma karşılaştırması.



Şekil 12.8 Maliyet ve verimlilik karşılaştırması.

Kazık maliyeti hesabında, 12.2.1’de verilen birim fiyatlar üzerinden maliyet hesabı yapılmış, Şekil 12.7 ve 12.8’de de kazık grubu maliyetleri sırasıyla excelde hesaplanan tek kazığın oturması ve DAS formülüne göre kazık verimliliği ile karşılaştırılmıştır.

12.4 Sonuçlar

Dokuz ayrı kazık grubu için yapılan çalışmada, her kazık grubu için farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Kazıklı temel tasarımı, kazık çap ve uzunluğu belli olduğu sürece, kazık hesabındaki adımlar takip edilerek nispeten kolayca yapılabilir. Ancak bu çalışmadan da görülebileceği üzere; kazık grubu tasarımında maliyetin yanında, kazık grubu verimliliği ve oturmalar dikkate alındığında tasarım karmaşık bir hal almaktadır. Uygulamaya yönelik olarak değerlendirildiğinde; yüklenici için ekonomik, proje müellifi için emniyetli tarafta olacak şekilde seçim yapabilmenin, proje müellifinin tecrübesi ile mümkün olabileceği söylenebilir.

Kazık tasarımında, kazık çapı sabit tutularak farklı derinliklerde yapılan hesaplarda kazık ucunun farklı zeminlere oturabilme ihtimalinden dolayı homojen sonuçlar elde edilemeyebilir.

Kazık derinliğinin sabit tutularak, çap değişimi ile homojen bir hesap yapılmaya çalışılması da yine homojen bir sonuç vermeyebilir. Bu çalışmada sabit uzunlukta büyük çaplarda, kazıklardaki oturma artarken; küçük çaplarda, fazla kazık nedeniyle kazık grubundaki verimlilik düşmektedir. Yine tasarımın ekonomik boyutu dikkate alındığında, en büyük kazık maliyetleri düşük çaplarda ortaya çıkmaktadır.

Hesap ve grafik sonuçlarından da görülebileceği üzere, en düşük kazık maliyeti 60 cm çap ve 15 m derinlik için çıkarken, en yüksek maliyet 1 m çapındaki kazık gruplarında görülmektedir.

Kazık oturmalarının kıyaslanmasında, her ne kadar 10 m ve 15 m’ye göre büyük avantajlar sağladığı söylenemese de, tüm hesap yöntemlerinde 20 m derinliğindeki

kazıklarda oturmanın daha az olduğu söylenebilir.

Kazık grup davranışında, en verimli sonuçlar 80 cm çap ile 15 m ve 20 m derinliğindeki kazık gruplarında görölmektedir. Kazık grubunun en verimli olduğu durum ise 80 cm çap ile 20 m derinliktir. Her türlü durumda da 10 m derinliğindeki kazık gruplarının, kazık grubundaki kazık sayısının çokluğundan dolayı verimi düşürdüğü görölmektedir.

Oturmalar, kazık verimliliği ve kazık maliyetinin üçünün de önemli parametre olarak kabul edildiği durumda, 60 cm çap 20 m derinlik seçilebilir. Ancak yaklaşık aynı kazık sayısı ve küçük bir maliyet farkı ile en verimli olan seçenek 80 cm çap 15 m derinlik seçilebilir. Dolayısıyla emniyet ve maliyet faktörü göz önüne alındığında, bu tez çalışmasına göre verimliliği ve maliyeti optimum olan kazık grubu; 80 cm çap ve 15 m derinliktir.

Sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde ise; kazık sayısındaki artışın kazık grubundaki verimliliği düşürdüğü, kazık çapının büyük seçilmesinin yine kazıklar arası mesafenin azalmasından dolayı verimi düşürdüğü, kazık oturmalarında kazık ucunun oturduğu zeminin oturmayı etkilediği söylenebilir. Kazıklı temel hesaplamalarında mühendisler genellikle oturma hesabı yapmamaktadırlar, temelin taşıma gücünün teyidi için sahada kazık yükleme deneyi yapılmaktadır. Ancak oturmalarda kazıkların blok davranışının olduğu dikkate alınmalıdır.

Kazıklı temeller ile ilgili projelendirmelerde; her proje için bu tez çalışmasındaki gibi dokuz ayrı çalışma yapılamayacağından, kazık çapı ve sayısı dikkate alınırken öncelikle emniyetli sonuçlara önem verilmelidir.

13. KAYNAKLAR

- Akgüner, C. (2007). Elastic Analysis of Axial Load-Displacement Behaviour of Single Driven Piles, PhD Thesis, The University of Texas Austin.
- Bayar, T. (2011). Kazıklı Temel Sistemlerinin Sonlu Elemanlarla Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Birand, A. (2005). Kazık Tasarımında Yatak Modüllerinin Düzeltilerek Kullanılması, *İMO Teknik Dergi*, Yazı **232**: 3487-3496.
- Carlberg, C. (2011). Statistical Analysis, Microsoft® Excel 2010, Indianapolis, Indiana, USA, April 2011.
- Çalışkan, Ö. (2003). Kazıklı Temellerin Analitik Yöntemlerle Statik ve Betonarme Çözümleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, 144-156, 161-167.
- Celep, Z. (2007). TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yapı Tasarım Kursları, Yapı Elemanı Olarak Yerde Dökme Betonarme Kazıklar.
- Das, M.B. (2007). Principles of Foundation Engineering, Global Engineering Publishing Company, Seventh Edition Stamford USA.
- Erdemir, N.S. (2010). Sismik Yükler Altında Kazıkların Grup Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Fleming, W.G.K. (1992). A new method for single pile settlement prediction and analysis, *Géotechnique* 42, 3, 411-425
- Gabrielaitis, L. and Papinigis, V. and Zarzojus, G. (2013) Estimation of Settlements of Bored Piles Foundation, 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2013.
- Gök, S. (2007) Kazıklı Radye Temellerin Tasarımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Gök, S. ve Toğrol, E. (2009) Basitleştirilmiş kazıklı radye hesabı, *itüdergisi/d mühendislik*, Ekim 2009, Cilt:8, 5: 149-156.
- Gündüz, Z. (2015-2016). İnş 304, Zemin Mekaniği Ders Notları.

- Gürkan Yazıcı, A. (2013). Kazıklar Arası Mesafenin Kazıklı Radye Temel Sisteminde Etkisinin İki ve Üç Boyutlu Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi.
- Horikoshi, K. (1995). Optimum Design of Pile Raft Foundations, PhD thesis, University of Western Australia, Perth.
- Karaca, D. (2008). Kazıkların Yatay ve Düşey Yükler Altındaki Davranışı Kazıklı Temeller ve Örnek Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Karaca, Z. ve Kasımcı, A.A. ve Ak, M. (2007). Zemin fiziksel parametreleri ile zemin yatak katsayısı arasındaki bağlantı ve zemin yapı etkileşiminde uygulama, Kasım 2007, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Katzenbach, R. and Moorman, Chr. (2001). Recommendations for the design and construction of pile rafts, Proceedings, 15th ICSMFE, Istanbul, Turkey, 2: 927-930.
- Kuruoğlu, Ö. ve Horoz, A. ve Erol, O. (2011). Sert Killerde Tekrarlı Deprem Yükleri Altında Kazık-Zemin Etkileşiminin Modellenmesi: P-Y Eğrileri, 1. Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ekim 2011, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Kın, A.S. ve Yasa, B. ve Ansal, A.M. (1991). Yatay Yükler Altındaki Kazıkların Hesabında Kullanılan Yatay Yatak Katsayılarının Belirlenmesi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İnşaat Mühendisliği Zemin Sempozyumu, Kasım 1991, İzmir.
- Özkan, H. Standart Penetrasyon Deneyi, Hidroline Mühendislik ve Danışmanlık.
- Özmen, G. ve Orakdöğen, E. ve Darılmaz, K. (2012). Örneklerle Sap2000 v15, İstanbul.
- Öner, E. (2003). Alüvyal Ortamlarda Standart Penetrasyon ve Koni Penetrasyon Deneyi, *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7.Cilt, 1.Sayı.
- T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Demiryolları, Limanlar, Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Yüksel Proje (2007). Geoteknik Tasarım Esasları, Ankara.
- Toğrol, E. ve Sivrikaya, O. (2009). Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımlarda Kullanımları, İstanbul, Haziran 2009, 3(1-94) s.
- Toğrol, E. ve Tan, O. (2003). Kazıklı Temeller, Birsan Yayınevi, İstanbul.

Türk Standartları Enstitüsü (2001). Türk Standardı TS 3168 EN 1536, Özel Jeoteknik Uygulamalar Delme (Fore)- Kazıklar – (Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar), Kasım 2001, Ankara.

Uzuner, B.A. (2000). Temel Mühendisliğine Giriş, Trabzon, Turkey, 107.

Vesic, A.S. (1977) Design of Pile Foundations, Washington, DC, United States.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mikail YEĞİT
Doğum Yeri ve Tarihi : 14.02.1981 / Lindenberg-ALMANYA
Yabancı Dili : İngilizce, Farsça, Almanca
İletişim (Telefon/e-posta) : +90 554 582 63 60 / mikail.yegit@myapi.com.tr

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyon Kocatepe Anadolu Lisesi (1992-1999)
Lisans : Selçuk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği (1999-2004)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı (2013-2017)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Zafer Taahhüt İnşaat ve Ticaret A.Ş. (2005-2011)
M.Yeğit İnşaat Taahhüt Mim.Müh.San. ve Tic.Ltd.Şti. (2011-Halen)