

**SUYA DOYGUN KİL ZEMİNLERDE KAZIKLI TEMELLERE ETKİ EDEN
DİNAMİK YÜKLERİN STATİK YÜKLER CİNSİNDEN
UYGULANABİLRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Hasan BOZKURT
Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ağustos-2011

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SUYA DOYGUN KİL ZEMİNLERDEKİ KAZIKLARA ETKİ EDEN DİNAMİK YÜKLERİN STATİK YÜKLER CİNSİNDEN UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Hasan BOZKURT

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN

2011, 157 sayfa

Bu çalışmada, Suya doygun kil zeminde inşa edilen yüzen kazık gruplarına etki eden dinamik yüklerin statik yükler cinsinden uygulanabilirliği incelenmiştir. Tez çalışmasında, Plaxis paket programı dinamik modülü yardımı ile dinamik etki altında kazık grubu deformasyonları belirlenmiş, bu deformasyonlardan geri hesap yapmak sureti ile kazık grubuna aynı deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik yükler bulunmuştur.

Sonuç olarak, dinamik etkilerin de hesaba katıldığı programların kullanılmadığı durumlarda, üst yapıdan gelecek yüklere göre kil zeminlerde kazık temel tasarımı için dinamik kuvvetler statik yük cinsinden uygulanabilirliği belirlenmiştir. Örneğin zemin mukavemeti $c_u=0,1$ kg/cm² olan zeminde 6,0 büyüklüğüne kadar olan depremler için kazık temele etkiyen statik düşey yük %120 arttırılarak kullanılabilir. Aynı şekilde zemin mukavemeti $c_u=0,8$ kg/cm² olan zeminde aletsel büyüklüğü 6,0 ve 8,0 arasında değişen depremler için kazık temele etkiyen düşey statik yük %280 arttırılarak dinamik etki statik yük cinsinden göz önüne alınmış olur.

Anahtar Kelimeler: Kazık Temeller, Sürtünme Kazıkları, Deprem, Kil zeminler
Plaxis

ABSTRACT

Master of Science Thesis

INVESTIGATION OF THE APPLICABILITY OF DYNAMIC LOADS ACTING ON PILE FOUNDATIONS AS STATIC LOADS IN SATURATED CLAY

Hasan BOZKURT

Anadolu University

Graduate School of Sciences

Civil Engineering Program

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN

2011, 157 pages

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

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

For example in saturated clay $c_u=100$ kPa Total vertical loads applied to the pile foundations can be increased 120% to consider the earthquakes up to magnitude of 6.0. And then $c_u=800$ kPa saturated clay soils. Total vertical static loads applied to the pile foundations can be increased 280% to consider earthquake loads between 6.0 and 8.0.

Key words: Pile Foundations, Friction Piles, Earthquake, Saturated clay, Plaxis

TEŞEKKÜR

Gerek yüksek lisans eğitimimin gerekse tez çalışmamın her aşamasında bana engin bilgi birikimi ile destek olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet TUNCAN'a ve Sayın hocam Prof. Dr. Mustafa TUNCAN'a, benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Mehmet İnanç ONUR'a ve yüksek lisans çalışması süresince verdikleri destekten dolayı Bozüyük-Mekece yolu İyileştirme projesinde görev yaptığım tüm arkadaşlarıma ve Bilecik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümündeki hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma her zaman desteklerinden dolayı canım aileme sonsuz teşekkürler.

Hasan BOZKURT

Ağustos-2011

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel.....	1
2. KAZIK TEMELLER	3
2.1. Tarihçe.....	3
2.2. Kullanım Amaçları ve Kullanım Alanları.....	4
2.3. Kazık Temel Çeşitleri.....	7
2.3.1. İmal edildikleri malzemeye göre kazık temeller.....	7
2.3.1.1. Çelik Kazıklar.....	7
2.3.1.2. Beton Kazıklar.....	8
2.3.1.3. Ahşap Kazıklar.....	8
2.3.1.4. Kompozit Kazıklar.....	9
2.3.2. Kullanım Amaçlarına göre Kazık Temeller.....	9
2.3.2.1. Uç kazıkları.....	10
2.3.2.2. Sürtünme kazıkları.....	10
2.3.2.3. Kompaksiyon kazıkları.....	10
2.3.2.4. Çekme kazıkları.....	11
2.3.2.5. Tampon kazıkları.....	11

2.3.2.6. Eğik Kazıklar.....	11
2.3.3. Zemine yerleştirilme şekillerine göre kazık temeller.....	11
2.3.3.1. Çakma kazıklar.....	11
2.3.3.2. Sondaj Kazıkları.....	12
3. DÜŞEY STATİK YÜKLER ALTINDAKİ TEKİL KAZIKLARIN TAŞIMA KAPASİTESİ	13
3.1. Kazıkların Zemine Yük Aktarma Mekanizmaları.....	13
3.2. Kazık Kapasitesinin Hesaplanması.....	15
3.2.1. Uç taşıma kapasitesinin hesabı.....	16
3.2.1.1. Meyerhof yöntemi.....	17
3.2.1.2. Vesic yöntemi.....	20
3.2.1.3. Coyle & Castello yöntemi.....	22
3.2.1.4. Hansen Yöntemi	23
3.2.1.5. Kaya üzerine oturan kazıklar.....	24
3.2.2. Sürtünme (yüzey) direncinin hesaplanması.....	25
3.2.2.1. Kumlarda sürtünme direnci.....	25
3.2.2.2. Killerde sürtünme direnci.....	28
3.2.3. İzin verilebilir kazık kapasitesi.....	31
4. YATAY STATİK YÜKLER ALTINDA TEKİL KAZIKLARIN TAŞIMA KAPASİTESİ	32
4.1. Granüler Zeminler İçin Yanal Yüklü Kazık Hesabı.....	33
4.2. Kohezyonlu Zeminler İçin Yanal Yüklü Kazık Hesabı.....	35
4.3. Dayanıma Bağlı Yanal Yük Kapasitesi.....	36
4.3.1. Kazıkların maksimum yanal direnci.....	36
4.3.1.1. Homojen kohezyonlu zeminlerdeki kazıklar.....	37
4.3.1.2. Kohezyonsuz zeminlerdeki kazıklar.....	41
4.4. Lineer elastik yöntem.....	45
4.4.1. Serbest uçlu (ankrajsız / konsol) kazıklar.....	46
4.4.2. Sabit uçlu (ankrajlı) kazıklar.....	49
4.4.2.1. Rijitlik matrisi çözüm yöntemi.....	50

4.4.2.2. Yanal basınç-deformasyon (p-y) yöntemi.....	51
4.4.2.3. p-y eğrilerinin birleştirilmesi.....	53
4.5. Yanal Yüklü Kazıklarda Yük ve Direnç Faktörüne Bağlı Tasarım.....	54
4.6. Su Jetinin Yanal Yük Kapasitesine Etkisi.....	54
4.7. Matkapla Kuyu Açılarak Yerleştirilen Kazıkların Yanal Yük Kapasiteleri.....	57

5. KAZIK GRUPLARI VE OTURMA KRİTERLERİ 58

5.1. Grup Kazıkların Verimliliği.....	58
5.1.1. Kumdaki kazık gruplarının verimliliği.....	59
5.1.2. Kildeki kazık gruplarının verimliliği.....	61
5.2. Kazık Gruplarının Konsolidasyon Oturması.....	61
5.3. Kazıkların Elastik Oturması.....	63
5.4 Kazık Gruplarının Taşıma Gücü.....	66
5.4.1. Temel bloğunun stabilitesi	66
5.4.2. Oturma kriteri	68
5.4.3. Kazık guruplarının emniyetli taşıma gücü.....	69
5.4.4. Yüzen temeller.....	69

6.KAZIK TEMEL TASARIMINA AİT DİNAMİK UYGULAMALAR 71

6.1 Hesaplarda Kullanılan Malzemelere Ait parametreler.....	71
6.2. Tekil Kazıkların Taşıma Kapasitesi Hesapları.....	74
6.2.1.Killi Zeminde $c_u=0,1\text{kg/cm}^2$ 0,60 m Kazık İçin Uç Taşıma Kapasitesi Hesabı.....	74
6.3.Tekil Kazıkların ve Kazık-Grubu Sistemlerinin Belirlenen İzin Verilebilir Taşıma gücü Altında düşey Deformasyon (Oturma) Hesapları.....	84
6.3.1.Killi Zeminde $c_u=0,1\text{kg/cm}^2$ 0,60 m Kazık İçin Elastik Oturma.....	84

7. PLAXİS PROGRAMI İLE SİSTEM MODELLEMESİ VE ÇÖZÜMLERİ	87
7.1. Belirlenen Düşey Statik Yükler ve Dinamik Etkiler Altında Plaxis Programından Elde Edilen Veriler.....	87
7.2. Dinamik Çözümler Sonucu Elde Edilen Düşey Deformasyonlardan Geri Hesap Yapılması Suretiyle Kazıklara Gelen Eşdeğer Düşey Statik Yüklerin Belirlenmesi.....	89
7.2.1. $c_u=10\text{kN/m}^2$ 0,6m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi için geri hesap.....	89
7.3. Dinamik Analiz Sonuçları.....	93
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	103
KAYNAKLAR	105
EKLER	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Kullanım amaçlarına göre kazık temeller.....	6
2.2. Kullanımdaki çelik kazıklar.....	7
2.3. Kullanımdaki betonarme kazıklar.....	8
2.4. Ahşap kazıklarda uç hazırlanması.....	9
2.5. Farklı tip ve büyüklüklerde fore kazıklar.....	12
3.1. Zemindeki taşıma kapasitesi göçmesi.....	13
3.2. Kazıkların maksimum yükle yüklenmesi.....	14
3.3. Kazık - zemin etkileşimleri.....	15
3.4. Uç taşıma kazıkları.....	17
3.5. Meyerhof'a göre uç direncinin derinlikle değişimi.....	17
3.6. Meyerhof yöntemiyle çözüm yaparken dayanma kapasitesi katsayılarını bulmak için gerekli grafik.....	19
3.7. Coyle&Castello yöntemiyle çözümde dayanma kapasitesi.....	21
3.8. Kumlarda sürtünme direncinin derinlikle değişimi.....	25
3.9. Toprak basınç katsayısının gömülme oranına bağlı değişimi.....	26
3.10. Tabakalı zemin durumunda λ yönteminin uygulanışı.....	28
3.11. λ katsayısının kazık gömülme boyuna bağlı değişimi.....	29
3.12. Drenajsız kohezyona bağlı α değerleri.....	29
4.1. Yanal yük etkisi altındaki kazıklarda ötelenmeler.....	32
4.2. Kohezyonlu zeminlerdeki yanal yüklü kısa kazıkların yer değiştirme.....	37
4.3. Kohezyonlu zeminlerdeki yanal yüklü uzun kazıkların yer değiştirme.....	38
4.4. Kohezyonlu ($c \neq 0$) zeminlerdeki yanal yüklü, ankrajlı kazıkların Göçme mekanizmaları.....	39
4.5. Kohezyonlu zeminlerdeki kısa kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yükler.....	40
4.6. Kohezyonlu zeminlerdeki uzun kazıkların taşıyabilecekleri maksimum Yanal yükler.....	41
4.7. Kohezyonsuz zeminlerdeki yanal yüklü kısa kazıkların göçme Mekanizması.....	42

4.8. Kohezyonsuz zeminlerdeki yanal yüklü uzun kazıkların göçme Mekanizması.....	42
4.9. Kohezyonsuz zeminlerdeki kısa kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanal yükler.....	43
4.10. Kohezyonsuz zeminlerde uzun kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanal yükler.....	44
4.11. H yanal yüküne maruz konsol kazık.....	48
4.12. M momentine maruz konsol kazık.....	49
4.13. Yanal yüklü kazıkların çözümü için rijitlik matrisi yöntemi.....	50
4.14. Yanal yüklü kazıkların çözümü için p-y eğrisi yöntemi.....	52
4.15. Kazıktaki eğilmenin yöntemi.....	52
4.16. Su jetinin K_{max} değerine etkisi.....	55
4.17. Su jetinin p_u değerine etkisi.....	56
5.1. Kazık grupları.....	58
5.2. Kazık gruplarının konsolidasyon oturması.....	63
5.3. Kazık şaftı boyunca çeşitli birim sürtünme mukavemetleri.....	64
5.4. Rijit temeller için azaltma faktörü.....	65
5.5. Kohezyonlu zeminde yüzen kazıklar.....	67
5.6. Kazıklı temeller altında basınç soğanları.....	69
6.1. Çeşitli zemin sürtünme açıları için kritik gömü oranı ve taşıma kapasitesi faktörleri.....	75
6.2. Eşdeğer statik yük hesaplama programı yardımı ile uç direnci ve sürtünme direnci taşıma gücü hesaplanması.....	80
6.3. 0,6 m çap için zemin mukavemetine göre müsaade edilebilir taşıma Güçleri.....	83
6.4. 0,8 m çap için zemin mukavemetine göre müsaade edilebilir taşıma Güçleri.....	83
6.5. 1,0 m çap için zemin mukavemetine göre müsaade edilebilir taşıma Güçleri.....	83
6.6. Eşdeğer statik yük hesaplama programı yardımı ile statik yükler etkisi ile tekil kazığın düşey deformasyonu (elastik oturma).....	85

6.7. Plaxis programı ve elle hesap yardımıyla elastik oturmalarının karşılaştırılması	85
7.1. Plaxis programı kullanılarak $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ 0,6m Mw=5 için düşey deformasyon.....	86
7.2. Plaxis programı kullanılarak $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ 0,6m Mw=5 için yatay deformasyon.....	89
7.3. $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ Mw=5 depreminde oluşan deformasyona göre hesaplanan eşdeğer statik yükler	92
7.4. Program sonuçlarının program ara yüzünde görünüşü.....	93
7.5. 0,6 m'lik kazıkların farklı zemin türünde eşdeğer statik yük % artış.....	94
7.6. 0,6 m'lik kazıkların farklı zemin türünde tekil kazığa düşen düşey deformasyonu(mm).....	97
7.7. 0,6 m'lik kazıkların farklı zemin türünde eşdeğer statik yük (ton).....	98
7.8. 0,6 m'lik kazıkların farklı zemin türünde statik yük (% artış).....	98
7.9. $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ zemin türünde 4 farklı deprem için 0,6 m kazık çapında tek kazığa düşen düşey deformasyonlar.....	99
7.10. $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ zemin türünde 4 farklı deprem için 0,6 m kazık çapında eşdeğer statik yükler.....	99
7.11. $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ zemin türünde 4 farklı deprem için 0,6 m kazık çapında statik yük (% artış).....	100
7.12. $c_u=0,2 \text{ kg/cm}^2$ zemin türünde 3 farklı kazık çapı için Mw=6 büyüklüğünde deprem etkisi sonucu oluşan Düşey deformasyon.....	100
7.13. $c_u=0,2 \text{ kg/cm}^2$ zemin türünde 3 farklı kazık çapı için Mw=6 büyüklüğünde deprem etkisi sonucu oluşan Eşdeğer statik yük(ton).....	101
7.14. $c_u=0,2 \text{ kg/cm}^2$ zemin türünde 3 farklı kazık çapı için Mw=6 büyüklüğünde deprem etkisi sonucu oluşan Statik yük(% artış).....	101

ÇİZELGELER DİZİNİ

3.1. Farklı zeminler için rijitlik indeksi (I_r) değerleri.....	21
3.2. Meyerhof, Hansen ve Vesic taşıma kapasitesi denklemleri için taşıma kapasitesi.....	23
4.1. Lineer çözüm için etki faktörleri.....	47
4.2. Su jetinin yanal yük kapasitesine etkisini belirlemek için kullanılan katsayılar.....	56
4.3. Matkapla kuyu açılarak yerleştirilen kazıkların yanal yük kapasitelerinin belirlenmesi için kullanılan katsayılar.....	57
5.1. Farklı zemin çeşitleri için poisson oranları.....	64
5.2. Tipik C_p değerleri.....	66
6.1. Hesaplarda kullanılan zemin özellikleri.....	72
6.2. Hesaplarda kullanılan kazık temellerin özellikleri.....	73
6.3. Kazık-grubuna etkiyen dinamik kuvvetler.....	74
6.4. Killi zeminde $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ $0,60 \text{ m}$ kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri.....	78
6.5. Taşıma gücü hesap Çizelgesi.....	82
6.6. Plaxis programı yardımıyla yapılan hesapta tekil kazığın statik yükler altında Elastik Oturması.....	86
7.1. Plaxis programı kullanılarak ve çeşitli yöntemlerle çözüm yapılarak sisteme etkiyen yükler ve bu yüklere bağlı olarak sistemin yaptığı düşey deformasyonlar.....	87
7.2. $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ için eşdeğer statik yük ve bunun % artış miktarı.....	92
7.3. $0,6 \text{ m}$ 'lik kazıkların farklı zemin türünde aynı deprem şartıyla Analiz sonuçları.....	94
7.4. $0,6 \text{ m}$ kazık çapında $M_w=7,9$ büyüklüğünde zemin şartlarına bağlı eşd. Yük artışı.....	95

7.5. Suyu doygun kil zeminlerde kazıklara etkiyen dinamik yüklerin eşdeğer statik yükler cinsinden değerleri.....	95
---	----

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

p : Kazık en kesitinin çevresi

Q_u : Maksimum taşıma kapasitesi

Q_p : Uç taşıma kapasitesi

Q_s : Sürtünme direnci (kazık üzerindeki yükün sürtünmeyle taşınan kısmı)

c : Kohezyon

q' : Düşey efektif gerilme

A_p : Kazık ucunun kesit alanı

N_c^* : Dayanma kapasitesi katsayısı

N_q^* : Dayanma kapasitesi katsayısı

ϕ : Zemin sürtünme açısı

L : Kazık boyu

L_b : Kazığın sağlam zemine gömülme derinliği

D : Kazık çapı

σ_0' : Kazık ucundaki ortalama efektif gerilme

K_0 : Sükûnetteki toprak basıncı

I_{rr} : Zeminin azaltılmış rijitlik indeksi

I_r : Zeminin rijitlik indeksi

Δ : Kazık altındaki plastik bölgede meydana gelen ortalama hacimsel şekil değiştirme

G_s : Zeminin kayma modülü

E_s : Zeminin Young modülü

μ_s : Zeminin Poisson oranı

q_{ur} : Kayanın tek eksenli basınç dayanımı

f : Birim sürtünme direnci

σ_v' : Düşey efektif gerilme

δ : Zemin-kazık sürtünme açısı

K : Toprak basınç katsayısı

γ : Birim hacim ağırlık

γ' : Efektif birim hacim ağırlık

N : SPT değeri

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

$k_{0,3}$: 30cm çapındaki deney plakası kullanılarak yapılan deneyde elde edilen yatak katsayısı

P_0 : Dilatometre deneyiyle elde edilen düzeltilmiş değer

k_p : Dinamik yatak katsayısı

$T_{u(\text{brüt})}$: Kazığın çekme kuvvetlerine karşı brüt taşıma kapasitesi

$T_{u(\text{net})}$: Kazığın çekme kuvvetlerine karşı net taşıma kapasitesi

α' : Adhezyon faktörü

K_u : Çekme dayanımı hesabı için kaldırma katsayısı

s : Toplam oturma

s_1 : Kazık malzemesinin şaft boyunca elastik kısalması

s_2 : Kazık ucunda aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma

s_3 : Kazık boyunca sürtünmeyle aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma

Q_{wp} : Çalışma yükü altında kazık ucunda taşınan yük

Q_{ws} : Çalışma yükü altında şaft boyunca taşınan yük

ξ : Birim çevre sürtünmesinin kazık boyunca dağılımına bağlı bir katsayı

q_{wp} : Kazık ucundaki gerilme

I_{wp} : Etki faktörü

C_p : Ampirik faktör

f_z : Negatif çevre sürtünmesi

Q_n : Negatif çevre sürtünmesine bağlı olarak kazığa aşağı yönde etkileyen toplam kuvvet

H_f : Dolgu yüksekliği

η : Grup etkisi

$Q_{g(u)}$: Kazık grubunun maksimum dayanma kapasitesi

f_{ort} : Ortalama birim sürtünme direnci

L_g : Kazık grubunun plandaki uzunluğu

B_g : Kazık grubunun plandaki genişliği

C_y : Yanal öteleme büyütme faktörü

C_u : Drenajsız kayma mukavemeti

C_m : Moment büyütme faktörü

Δp : Tabakanın orta noktasındaki basınç artışı

Δs : Konsolidasyon oturması

1.GİRİŞ

1.1.Genel

Geçmiş depremlerde meydana gelen hasarlar ve can kayıpları nedeniyle oluşan etkilerin azaltılması mühendisliğin asıl amaçlarındanıdır. Depremlerin kazıklarda meydana getirdiği hasarlar bu konu üzerinde yapılan çalışmaları yoğunlaştırmıştır. Çeşitli araştırmacıların kohezyonlu zeminlerdeki kazıklı temellerin davranışları ile ilgili olarak yaptıkları deneyler ve literatür çalışmaları analiz edilmiş ve konunun temel noktaları aydınlatılmaya çalışılmıştır.

Zemin mekanigi problemlerinde son yirmi yılda gelişen sayısal modelleme, geoteknik problemlerin çözümünde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Kohezyonlu zeminlerde kazıklı temellerin davranışını incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada sayısal bir modelleme türü olan Plaxis sonlu eleman analiz programı kullanılmıştır. Dinamik yüklemeler altında kohezyonlu zeminlerde, kazıklı temellerin davranışı bu sonlu eleman analiz programıyla incelenmiş, bu amaçla dört farklı zemin profili oluşturulmuş ve dört farklı deprem yükleri altında bu zemin profillerinde modellenen kazıkların davranışının hangi faktörlere bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir.

Aynı zamanda 3. Bölümde kazıkların taşıma gücü hesapları için gerekli yöntemler açıklanmıştır. 4. Bölümde yatay statik yükler altında tekil kazıkların taşıma kapasitesi, 5. Bölümde Kazık grupları ve oturma kriterleri açıklanmıştır.

6. Bölümde kazık temel tasarımına ait dinamik uygulamalar bölümünde modellerin açıklaması yapılmıştır. 7. Bölümde Plaxis programı yardımıyla sistem modellemesi ve çözümleri yapılmıştır. 48 farklı modelden elde edilen analiz sonuçları değerlendirilmiş ve bu sonuçlara göre çözüm metodları önerilmiştir.

Bunlara ait grafikler çizdirilmiş olup tüm hesapları yapan eşdeğer statik yük hesaplama programı yardımıyla hesaplar yapılmıştır. Önerilen çözüm metodlarına ek olarak, pratikte suya doymun kil zeminlerde uygulanacak kazıkların projelendirilmesi üzerine bazı öneriler sunulduktan sonra konu ile ilgili olarak gelecek çalışmalar üzerine bazı düşünceler dile getirilmiştir. Deprem etkilerine göre hesaplanan eşdeğer statik yükler ve taşıma gücüne göre % artış miktarları, kazık grubuna ait deformasyonlar, tekil kazığa düşen düşey

deformasyonlar, taşıma gücü hesapları yapılarak bütün modellere ait veriler hesaplanmıştır. Sonuç olarak, dinamik etkilerin de hesaba katıldığı programların kullanılmadığı durumlarda, üst yapıdan gelecek yüklere göre kil zeminlerde kazık temel tasarımı için dinamik kuvvetler statik yük cinsinden uygulanabilirliği belirlenmiştir.

Bu çalışmada suya doymun kil zeminlerde kazıklı temellere etki eden dinamik yüklerin statik yükler cinsinden uygulanması araştırılmaktadır. Kazıklara ait taşıma güçleri hesaplanmıştır. Hesaplanan taşıma gücüne göre elastik oturmalar bulunmuştur. Daha sonra Plaxis programı yardımıyla modelleme yapılmış bulunan analiz sonuçlarına göre eşdeğer statik yükler hesaplanmıştır. Ayrıca bütün bu hesapları yapması için C# programı yardımıyla eşdeğer statik yük hesaplama programı yapılmıştır. Analiz sonuçlarına ait grafikler ekler bölümünde yer almaktadır.

2. KAZIK TEMELLER

Kazık temeller, derinde sağlam zemin bulunması durumunda yükü bu sağlam zemine aktaran ya da yüzeyleri boyunca sürtünme yoluyla çevreleyen zemine ileterek ya da her iki şekilde zemine yük akatarabilirler. Kullanım amaçlarına ve zemine bağlı olarak farklı malzemelerden, farklı boyut ve şekillerde üretilirler.

2.1. Tarihçe

Yapıları desteklemek için taşıyıcı kazıkların çakılması inşaat mühendisliğinin ilk sanat ve bilim örneğidir. Britanya'da Romalılar tarafından inşa edilen nehir kıyısı yerleşimlerinde ve köprülerde sayısız ahşap kazık kullanımı örneği bulunmaktadır.

Kazık temeller yüzyıllardır insanoğlu tarafından yük taşıma ve iletme üniteleri olarak kullanılmaktadırlar. Uygarlık tarihinin ilk zamanlarında, gerek savunma gerek stratejik önem açısından yerleşim yerleri nehir ve göl kıyılarına yakın kesimlerde kurulmaktaydı. Bu kesimlerde zemine ahşap kazıklar yerleştirmek veya elle açılan derin çukurlara taş ve çakıl doldurularak zeminin kalitesi ve yük taşıma kapasitesi arttırılmaya çalışılmıştır.

Britanya'da Romalılar tarafından inşa edilen nehir kıyısı yerleşimlerinde ve köprülerde pek çok ahşap kazık kullanımı örneği bulunmaktadır. Çin'de Han Hanedanı zamanındaki köprü inşaatçıları ahşap kazıklar kullanmışlardır (M.Ö. 200 ~ M.S.200). İsviçre'de günümüzden 1200 yıl önce sığ göl tabanlarına ahşap kazıklar çakarak üzerlerine barınaklar inşa ettikleri belirlenmiştir (Çalışkan 2003). Ahşabın hafifliği ile birleşen dayanımı, kesme ve taşıma kolaylığı, son zamanlara kadar kazık işlerinde kullanılan tek malzeme olmasına neden olmuştur. Daha sonra bu malzeme beton ve çeliğe yerini bırakmıştır. Bunun nedeni ise aynı boyutlardaki ahşaba göre daha fazla basınç, eğilme ve çekme kuvvetlerini taşımaları ve fabrikada istenilen boyutlara getirilebilmeleridir. Yirminci yüzyılın başlarına kadar kazık elemanı olarak genellikle 30 cm çaplı, boyu 10 m'ye kadar

olan ağaç kütükleri kullanılmıştır. Bu kazıkların çakımı ise, ağır bir cismin kazık üzerine düşürülmesiyle yapılmaktadır.

19. yüzyılın sonları 20. yüzyılın başlarında yapısal bir ortam olarak gelişen betonarme, karadaki yüksek kapasiteli kazık işlerinde büyük oranda ahşabın yerini almıştır. Çok değişik zemin ve kaya ortamlarında kullanılabilirler ve büyük çaplarda imal edilebilirler. Sondaj delikleri açılarak, istenilen derinliğe kadar uygulanabilirler. 19. yüzyılın sonları 20. yüzyılın başlarında yapısal bir malzeme olarak gelişen betonarme, karadaki yüksek kapasiteli kazık işlerinde büyük oranda ahşabın yerini almıştır. Çok değişik zemin ve kaya ortamlarında kullanılabilirler ve büyük çaplarda imal edilebilirler. Sondaj delikleri açılarak, istenilen derinliğe kadar uygulanabilirler.

Kazık işlerinde çelik kullanımı ise yaygın olarak gerçekleşmektedir. Bu artan kullanım fabrikasyon ve taşıma kolaylığının yanı sıra çok zor şartlardaki çakma işlemlerinde uygulanabilmesi yüzündendir. Kıyı yapılarında, çelikteki korozyon probleminin üstesinden dayanıklı kaplamalarla gelinmektedir.

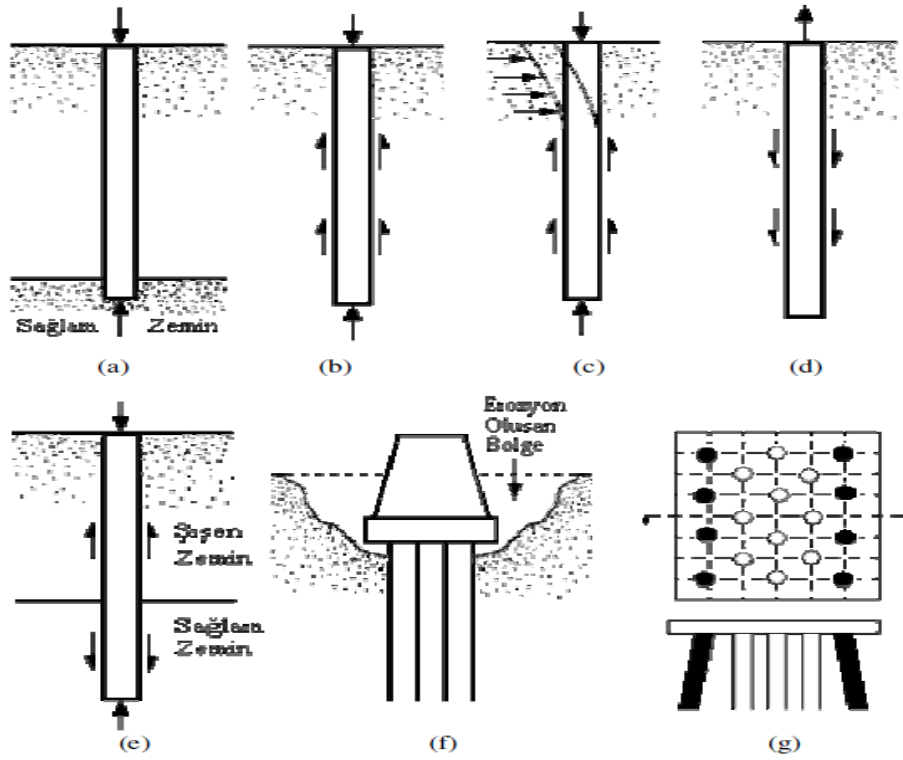
1740 yılında Christoffoer Polhem, günümüzde kullanılan kazık çakma tertibatına benzer bir mekanizma geliştirmiştir. Buna takiben 1800'lü yıllardan itibaren çelik, 1900'lü yıllardan itibaren de beton kazıklar kullanılmaya başlanmıştır. Endüstriyel gelişimin sonucu olan buharlı ve dizel kazık çakma makineleri,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

2.2. Kullanım Amaçları Ve Kullanım Alanları

Kazık temeller aşağıda belirtilen amaçlar doğrultusunda, ekonomik açıdan en uygun çözüm yöntemi oldukları takdirde inşa edilirler (Das 1984).

- Yüzeğe yakın zemin katmanlarının yüksek derecede sıkışabilir ve üstyapıdan gelen yükleri taşımak için yetersiz olduğu durumlarda veya sıvılaşma potansiyeli bulunan bölgelerde yükü alt katmanlardaki sağlam zemine iletmek amacıyla kazıklar kullanılır (Bkz. Şekil 2.1. (a)).

- Sağlam zeminin kazık yapımı için makul bir derinlikte olmaması durumunda, gelen yükü sürtünme vasıtasıyla kademeli olarak zemine aktarabilmek için kazıklar kullanılırlar (Bkz. Şekil 2.1. (b)).
- Yanal yüklere maruz kaldıklarında, kazık temeller, eğilme yoluyla yanal yüklere direnirken aynı zamanda düşey yükleri taşıyabilme kabiliyetine sahiptirler. Bu nedenle hem yatay, hem düşey yüklere maruz kesimlerde inşa edilmeleri uygundur (Bkz. Şekil 2.1. (c)).
- İletim hattı direkleri, açık deniz platformları, yeraltı su seviyesinin altında kalan bodrum zeminleri gibi bazı yapıların temelleri kaldırma kuvvetlerine maruzdurlar. Kazık temeller bu gibi durumlarda kaldırma kuvvetlerine direnebilmek için de inşa edilirler (Bkz. Şekil 2.1. (d)).
- Pek çok uygulamada, yüzeyden çok derinlere uzanan genişleyen veya çöken zeminlerle karşılaşılabilir. Şişen zeminler su muhtevsındaki artış durumunda şişer veya azalması halinde çatlarlar. Su eklendiğinde şişen ve su kaybıyla rötreye uğrayan pek çok plastik kil vardır. Bu zeminler üzerine inşa edilen temeller, şişmenin etkisiyle büyük kaldırma kuvvetlerine maruz kalırlar. Bu kuvvetler yapıda şişme, çatlama ve kırılmalara sebep olurlar. Kohezyon aynı zamanda yağmurdan süzülen kimyasal çökeltilerden de kaynaklanabilir. Zemin suya doyduğunda kil bağlayıcılar dayanımını kaybeder ve zeminde yapısal çökmeler meydana gelir. Bu tür zeminlerde sığ temel inşa edildiği takdirde büyük çaplı yapısal hasarlar meydana gelebilir. Bu tür zeminlerde, sağlam zemine ulaşan kazıklar yapılması gereklidir (Bkz. Şekil 2.1. (e)).
- Nehir yatakları gibi yüzey erozyonu görülen bölgelerde akışkanın hızı ve sürekliliği bir süre sonra temel altındaki zeminde hacim azalmasına ve buna bağlı olarak dayanım kaybına sebep olmaktadır. Bu tür bölgelerde kazık temel yapılarak bu tehlikenin önüne geçilmektedir (Bkz. Şekil 2.1.(f)).
- Büyük ölçekli düşey yüklerin yanında, önemli boyuttaki yatay yüklere de direnebilmeleri açısından bazen grup kazıkların bir kısmı eğik olarak inşa edilebilir (Bkz. Şekil 2.1. (g)).



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

- Çakma suretiyle gevşek granüler zeminleri sıkıştırarak stabilitelerini arttırmak amacıyla kompaksiyon kazıkları kullanılır.
- Kıyı yapılarında, deniz araçlarının ve dalgaların çarpmaları suretiyle meydana gelen ve yapılara zarar verebilecek boyutlara ulaşan enerjileri sönmölemek amacıyla tampon kazıklar inşa edilir.
- İstinat yapılarının stabilitelerini arttırmak veya tek başlarına istinat yapısı olarak kullanılmak amacıyla, yanal yüklere karşı ankraj kazıkları kullanılır.
- Şev stabilitesini sağlamak amacıyla, kayma yüzeyini kesecek şekilde bitişik düzende yerleştirilerek kullanılabilirler. Fakat bitişik inşa edildikleri takdirde yalnızca yatay yük taşıyabilirler.

2.3. Kazık Temel Çeşitleri

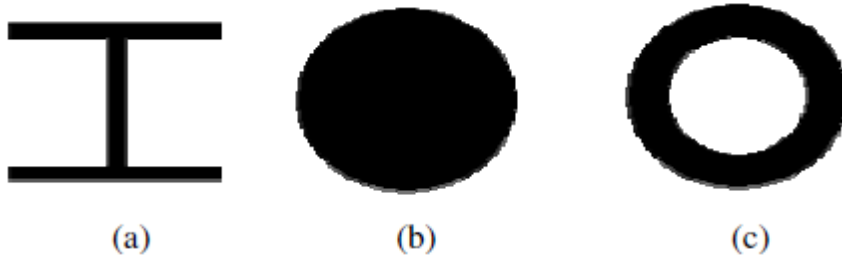
Kazıklı temeller üst yapıdan gelen yükleri daha derinlerdeki sağlam zemin tabakalarına taşıyan uzun ve genel olarak narin yapısal temel elemanlarıdır. Kazıklı temelleri yükleri taşıma ve iletme şekillerine, yapıldıkları malzemelere, zeminde yerleştirme tarzına, zeminde sebep oldukları deplasmanlar yönünden, yapıldıkları veya inşa edildikleri teknolojiye göre sınıflandırmak mümkündür.

2.3.1. İmal edildikleri malzemeye göre kazık temeller

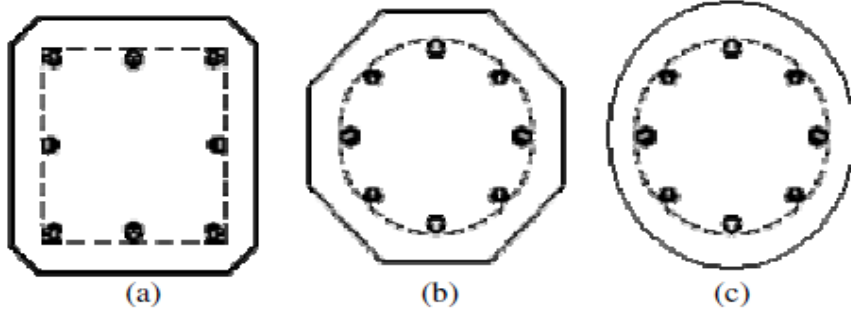
2.3.1.1. Çelik kazıklar

Çelik çakma kazıkların en çok kullanılan tipleri H profili ve boru en kesitli olanlarıdır. Bunlardan başka I profili de sıkça kullanılan bir tiptir. Çelik çakma kazıklarda boy sınırlandırılması yoktur. Ortalama boyları 12,0 m~30,0 m arasındadır. H profilleri sıkı ve sert çakımlarda oluşabilecek maksimum büyük çarpma kuvvetlerine dayanabilir. Boru kazıklar üniform kesitli olmanın yarattığı bir üstünlüğe sahiptirler. Bundan dolayı dik boru kazıklar deniz yapılarında öncelikle kullanılmaktadır.

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



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



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

2.3.1.2. Beton kazıklar

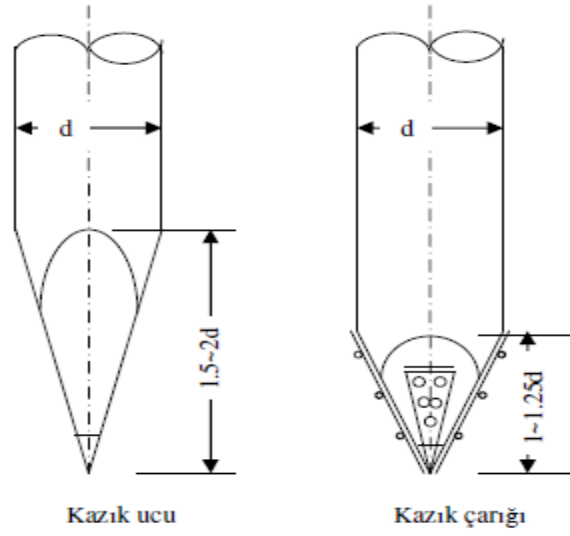
Beton kazıklar hazır döküm olabilecekleri gibi yerinde de imal edilebilirler. Hazır döküm kazıklarda boy değişimi yapılması güçtür. Ayrıca taşınma sırasında hasar görme ihtimalleri de vardır. Fakat kılıf gerektirmezler ve çakmayla yerleştirilebildikleri için gevşek granüler zeminlerde ek bir sıkıştırma sağlarlar.

Hazır döküm kazıklar kare veya sekizgen olabilir ve gerekli görülürse donatı kullanılabilir. Donatı kullanılması kazığın taşıma kapasitesini arttıracak gibi, taşınması sırasında zarar görmesini de önler. Donatılar ön gerilmeye maruz bırakılıp beton döküldükten sonra fazlalıklar kesilerek kazıkta ek bir sıkıştırma da sağlanabilir. Şekil 2.3’de sık kullanılan beton kazık tipleri verilmiştir.

Betonarme çakma kazıklar çakılma ve taşınma sırasında karşılaşacakları etkileri ve bu etkilerin oluşturacağı gerilmeleri güvenle taşıyabilecek ve temelde uzun süre görev yapabilecek nitelikte olmalıdırlar.

2.3.1.3. Ahşap kazıklar

Basınç dayanımları çok fazla olmadığı, su seviyesi değişimlerinden ve zemin içindeki zararlı organizmalardan dolayı dayanımları düştüğü için çok fazla kullanılmayan bir kazık türüdür. Fakat taşıma gücüne oranla ağırlığının az olması, taşıma kolaylığı, boy değişimlerinin kolayca yapılabilmesi gibi sebeplerle nadiren de olsa tercih edilmektedirler.



Şekil 2.4. Ahşap kazıklarda uç hazırlanması

2.3.1.4. Kompozit kazıklar

Mevcut kazık boyunun yeterli olmadığı durumlarda boy uzatmak için uygulanırlar. Çelik(alt)-beton(üst) veya ahşap(alt)-beton(üst) kazıklardır. Birleşim bölgelerinin özel koruma gerektirmesi ve bu kısımlarda ek gerilmeler oluşması sebebiyle kullanımları çok yaygın değildir.

2.4. Kullanım amaçlarına göre kazık temeller

2.4.1. Uç kazıkları

Sağlam zemin derinliği, kullanılabilen kazık uzunlukları kadar veya daha az ise ve sağlam zeminin üstünde yeterli kalınlıkta taşıyıcı zemin bulunmadığında veya sağlam zeminin üzerinde tamamen zayıf zemin bulunması halinde uç kazıklardan oluşan bir temel sistemi kullanılır. Uç mukavemetli kazıklar çok uygulanan ve çok tercih edilen kazıklardır.

Yapıdan gelen yükü alttaki sağlam zemine basınç yoluyla aktaran kazıklardır. Sağlam zemin çok derinde değilse uygulanır. Kazık sağlam zemine oturtulabilir veya gömülebilir. Bu tür kazıklar, taşıdıkları yüke ve yükü ilettikleri zeminin taşıma gücüne bağlı olarak iki şekilde imal edilebilirler:

- Ayaklı: Genelde yerinde dökme kazıklarda kullanılan bir yöntem olup, eğer kazığın ulaştığı sağlam zeminin emniyet gerilmesi yeterince büyük değilse bir ayak yardımıyla yük daha geniş alana yayılarak gerilme azaltılır. Bu yöntemle uç direncinde, ayaksız kazıklara oranla %50~100 oranında bir artış sağlanır.
- Ayaksız: Eğer kazığın sağlam zemine ileteceği yük çok büyük değilse ve zeminin taşıma kapasitesi yeterli güvenlikle kazığı taşıyabiliyorsa, ayak yapılması gerekli değildir.

2.4.2. Sürtünme kazıkları

Yapıdan gelen yükü zemine sürtünme yoluyla aktaran kazıklardır. Uç kazığı yapılması için gereken sağlam zemin makul bir derinlikte değilse uygulanır. Sağlam zeminin derinliği kullanılabilmesi mümkün bulunan kazık uzunluklarından fazla olduğunda ve sağlam zeminin üstünde yeterli kalınlıkta taşıyıcı zemin bulunduğu yüzen kazıklardan oluşan kazık temel sistemi kullanılır. Kohezyonsuz zeminlerde çakılan sürtünme kazıklarının ana kullanım amacı zeminlerin mukavemetini kompaksiyonla artırmak içindir. Çakım sırasında meydana gelen titreşim kumu sıkıştırır ve yeterince sıkışma olunca da kazıklarla kum zemin bir blok halinde birlikte davranırlar. Ancak meydana gelen sıkışma yandaki binaların temellerinin oturmasına neden olabilir.

2.4.3. Kompaksiyon kazıkları

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

2.4.4. Çekme kazıkları

Temelde çekme gerilmeleri veya üstyapıya gelen kuvvetler yüzünden döndürme etkileri meydana gelmesi durumunda, sürtünmeyle bu kuvveti zemine aktarmak ve çekme gerilmesini yenmek için kullanılır.

2.4.5. Tampon kazıklar

Gemilerin iskeleye çarpmasından, dalgalardan vb. oluşan yatay kuvvetleri almak için kullanılan kazıklardır. Kıyı yapılarını koruma amaçlı ya da kıyı yapılarının oluşumunda kullanılırlar.

2.4.6. Eğik kazıklar

Düşey yüklerin yanında yatay yükleri de emniyetli şekilde taşımak için yapılan kazık türüdür. Genel olarak düşeyle 20° açı yaparlar ve bu açının 26°'nin üzerine çıkması istenmez. Negatif çevre sürtünmesinin, ani ve büyük yüklerin ve deprem kuvvetlerinin etkimesinin muhtemel olduğu bölgelerde kullanılmaları tavsiye edilmez.

2.5. Zemine yerleştirilme şekillerine göre kazık temeller

2.5.1. Çakma kazıklar (Deplasman kazıkları)

Serbest düşüm yapan mekanik bir tokmak veya titreşim yaratan mekanik bir donanım vasıtasıyla zemine çakılırlar. Çakma, gevşek taneli zeminde mukavemeti arttırırken, kohezyonlu zemini örseleyerek geçici bir kayma mukavemeti düşüşü yaratabilir. Çakma sırasında kazığın zarar görmesini önlemek için kazığın ucuna ve üst kısmına koruyucu bir başlık yapılması uygundur. Daha çok sürtünme kazıklarında kullanılan bir yöntemdir.

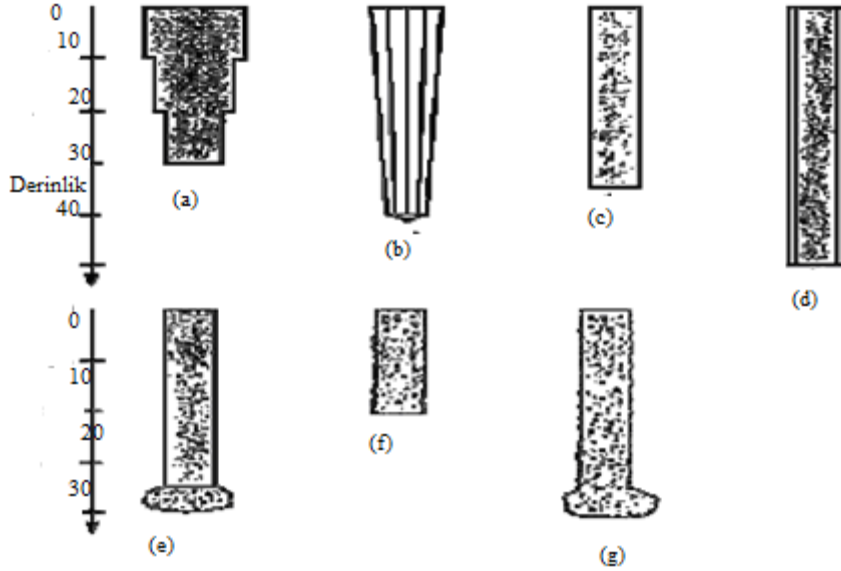
2.5.2. Fore kazıklar

Zeminde açılan çukurların içine donatı yerleştirilip üzerine beton dökülerek yapılan kazıklardır. Çakmanın zor olacağı sert kil, kaya parçaları, moloz ve kaba taneler ihtiva eden zeminlerde, aynı zamanda çakmadan dolayı oluşacak gürültü ve titreşimin sorun yaratacağı bölgelerde yapımları uygundur.

Daha çok uç kazıkları bu yöntemle yapılırlar. Ayak yapılarak zemine etkileyen basınç azaltılabilir. Bu tip kazıklar, yerleştirildikleri zemine göre iki şekilde imal edilebilir:

- Kılıflı: Eğer kazığın yapıldığı zemin kendini tutamayacak durumdaysa (genelde kohezyonsuz gevsek kum) bir kılıf vasıtasıyla çukurun zeminle dolması engellenir. Yapım sonrasında kılıf alınabileceği gibi, dayanımı arttırmak amacıyla yerinde de bırakılabilir fakat bu oldukça masraflıdır.
- Kılıfsız: Kendisini tutabilen (kohezyonlu) zeminlerde kılıfa ihtiyaç duyulmadan fore kazık inşa edilebilir.

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



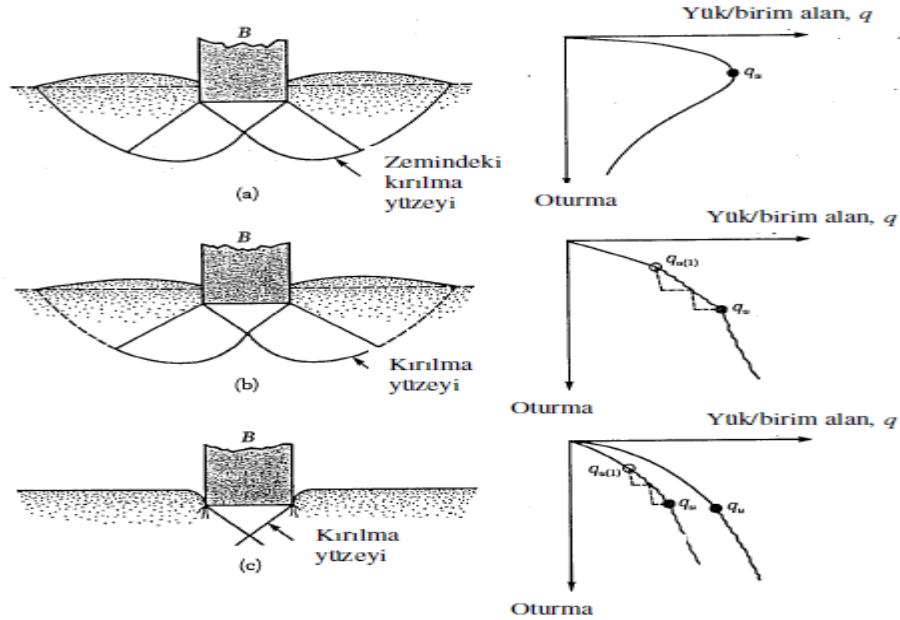
Şekil 2.5. Farklı tip ve büyüklüklerde fore kazıklar. (a), (b), (c), (d) kılıflı, ayaklı, (e) kılıflı ayaklı, (f) kılıfsız ayaklı, (g) kılıfsız ayaklı (Das 1984)

3. DÜŞEY STATİK YÜKLER ALTINDA TEKİL KAZIKLARIN TAŞIMA KAPASİTESİ

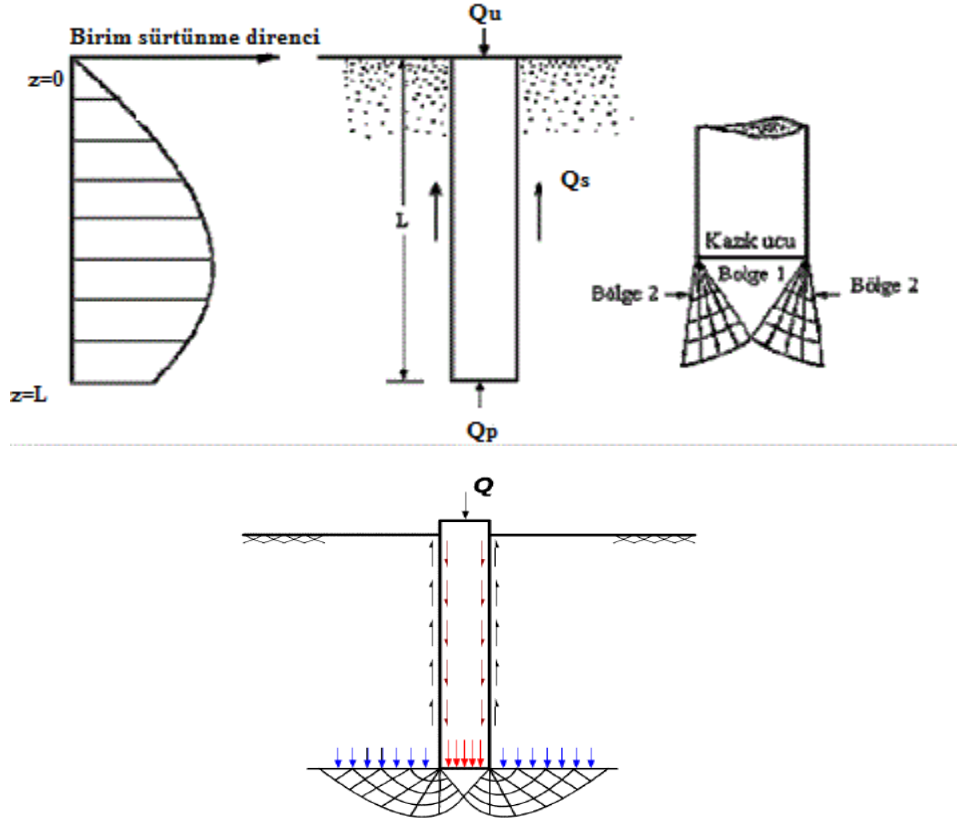
Kazık temeller değişik doğrultulardaki statik ve dinamik yükleri sürtünme yoluyla kazık boyunca çevreleyen zemine ve/veya uç direnci yoluyla sağlam zemine ileten taşıyıcı unsurlardır. Tek başlarına kullanılabilecekleri gibi (köprü ayakları) grup halinde kullanılmaları da mümkündür.

3.1. Kazıkların Zemine Yük Aktarması

Kazık üzerindeki Q_z yükü derinlik arttıkça azalmaktadır. Bunun sebebi, derinlik arttıkça kazık üzerindeki yükün çevre sürtünmesiyle zemine iletilen miktarının artmasıdır. Toplam yükün bir kısmı kazık çevresinde oluşan yüzey sürtünmesi (Q_1) ile karşılanırken, bir kısmı da uç direnci (Q_2) ile taşınmaktadır. Yük aktarma mekanizması, toplam yükün ne kadarının yüzey sürtünmesiyle, ne kadarının uç mukavemetiyle karşılanacağını belirler. Şekil 3.1’ de görüldüğü gibi genel kayma göçmesi, lokal kayma göçmesi, zımbalama kayma göçmesi şartları gözlenmektedir.



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



Şekil 3.2. Kazıkların maksimum yükle yüklenmesi

Herhangi bir “z” derinliğinde birim şaft alanına isabet eden yüzeysel sürtünme direnci aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

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

Burada p kazık en kesitinin çevresidir.

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

3.2. Kazık Kapasitesinin Hesaplanması

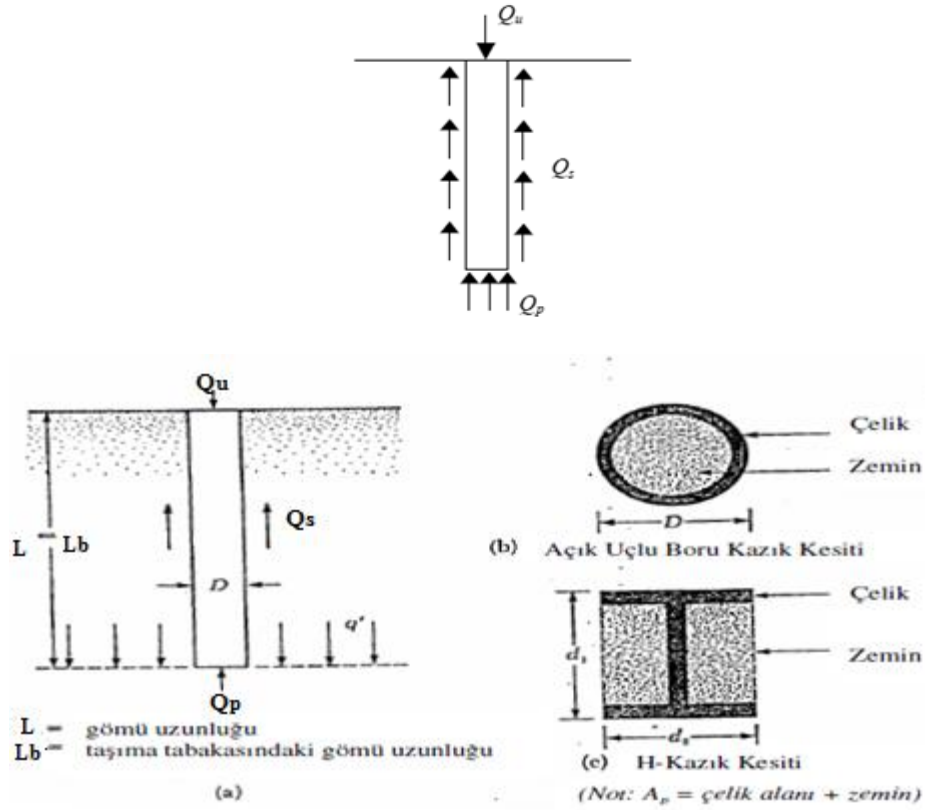
Kazıklarda toplam taşıma kapasitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunur:

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

Q_u : maksimum taşıma kapasitesi

Q_p : uç taşıma kapasitesi

Q_s : sürtünme direnci



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

3.2.1. Uç taşıma kapasitesinin (Q_p) Hesabı

Kazıklarda birim alanın uç taşıma kapasitesi aşağıdaki formülle bulunur:

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

Burada son terim diğerlerine nazaran çok küçük olduğu için ihmal edilir. Eşitlik efektif gerilmeler cinsinden aşağıdaki şekilde yazılır:

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

c: kohezyon

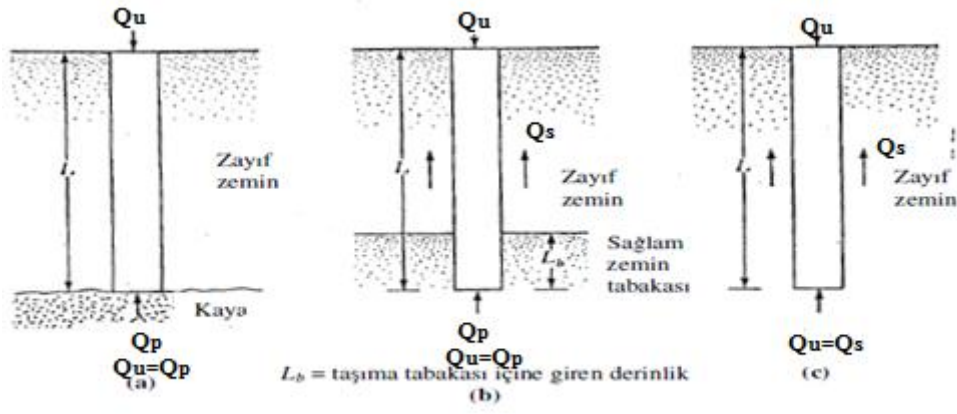
q': düşey efektif gerilme

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

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

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

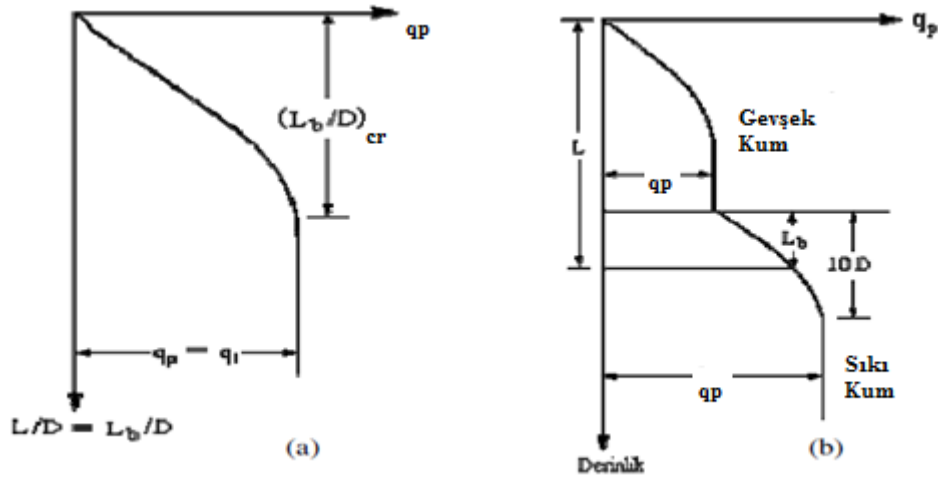
Burada A_p kazık ucunun kesit alanıdır. Kare ve sekizgen kesitli kazıklar için Çizelgeler yardımıyla bulunabileceği gibi hesaplama da elde edilebilir. Dairesel ve dikdörtgen kesitli kazıklar için hesap yapılır. N_c^* ve N_q^* değerleri ise Çizelgelerden elde edilen, kohezyona ve derinliğe bağlı dayanma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



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

3.2.1.1. Meyerhof yöntemi

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



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

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

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

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

Hangi Q_p değeri küçükse o hesaba esas alınır.

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

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

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

Hangi q_p değeri küçükse, o hesaba esas alınır.

Üstte zayıf (loose), altta sıkı (dense) kuma giren kazık durumunda q_p aşağıdaki şekilde bulunur:

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

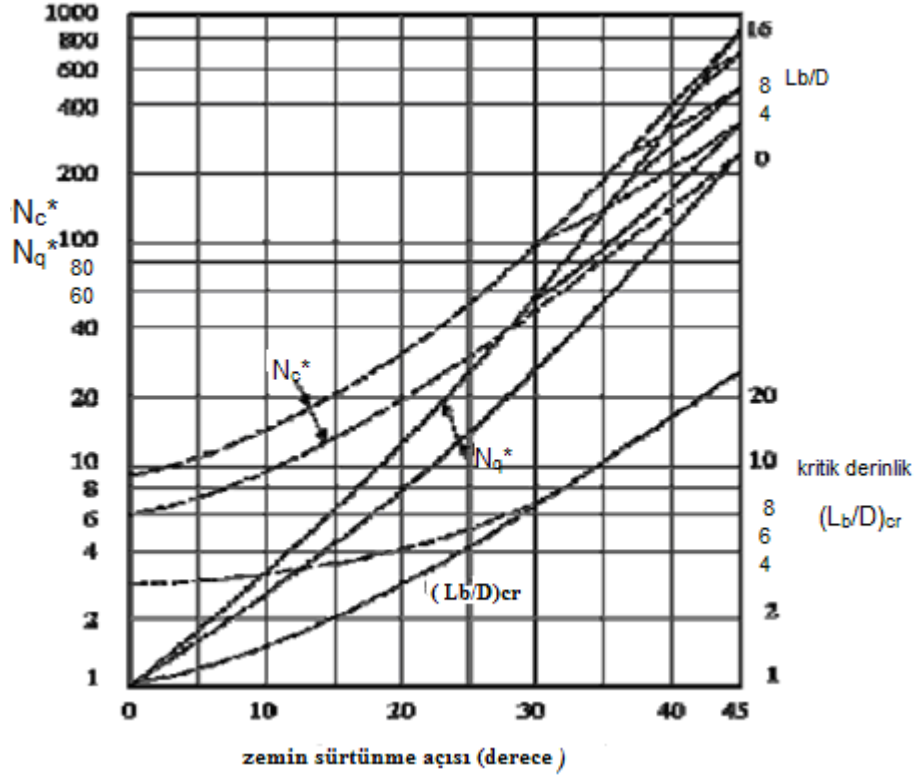
Suya doymun killerde drenajlı durumda ($\phi=0$) kazığın uç taşıma kapasitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunur:

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

Burada N_c^* degeri, Meyerhof yöntemi için verilen Çizelgeden alınır. Drenajsız durumdaki (c, ϕ) kilerde (3.12) eşitliği de kullanılabilir:

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

Burada da N_c^* ve N_q^* degerleri, Meyerhof tarafından verilen grafikten alınırlar. Şekil 3.6.'da bu grafik verilmiştir.



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

Grafiğin kullanılışı:

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

3.2.1.2 Vesic yöntemi

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

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

σ_0' : kazık ucundaki ortalama efektif gerilme

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

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

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

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

K_0 : sükûnetteki toprak basıncı

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

N_q^* : dayanma kapasitesi faktörü

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

I_{rr} : zeminin azaltılmış rijitlik indeksi

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

I_r : rijitlik indeksi

Δ : kazık altındaki plastik bölgede meydana gelen ortalama hacimsel şekil değiştirme

Farklı zeminler için rijitlik indeksi değerleri Çizelge 3.1 ile verilmiştir. Hacim değişimi yoksa $\Delta=0$ $I_{rr}=I_r$ olur. (Sıkı kum ve suya doymun kilde) Rijitlik indeksi aşağıdaki eşitlikten bulunabilir:

Çizelge 3.1. Farklı zeminler için rijitlik indeksi (I_r) degerleri

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

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

G_s : zeminin kayma modülü

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

E_s : zeminin Young modülü (σ/ϵ)

μ_s : zeminin Poisson oranı (eh/ev)

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

$$N_c^* = (4(\ln I_{rr} + 1) / 3 + (\pi/2) + 1) \quad (3.22)$$

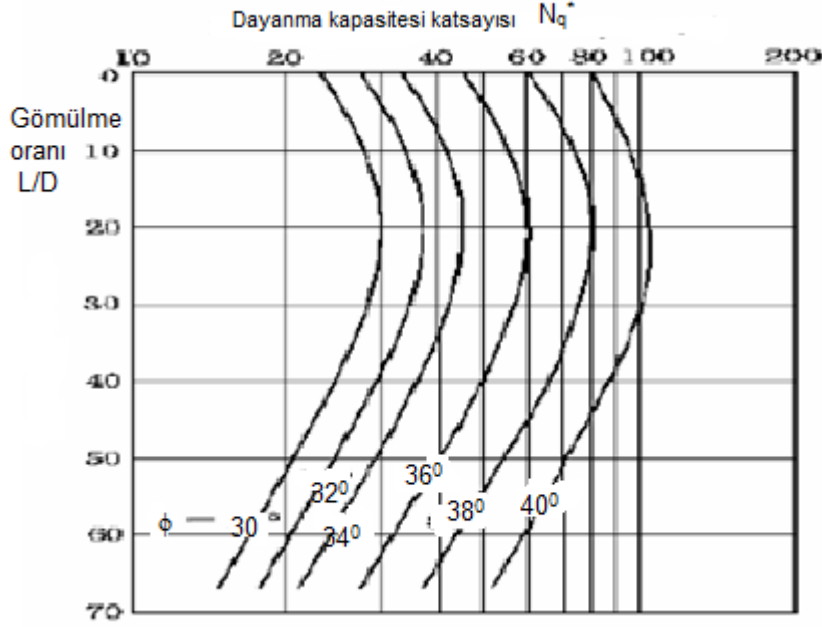
Yukarıdaki formüllerle azaltılmış rijitlik indeksi hesaplandıktan sonra, ilgili Çizelgelerden sürtünme açısına ve azaltılmış rijitlik indeksine (I_{rr}) bağlı olarak dayanma kapasitesi katsayıları doğrudan alınabilir.

3.2.1.3. Coyle & Castello yöntemi

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

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot (q^1 \cdot N_q^*) \quad (3.23)$$

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



Şekil 3.7. Coyle&Castello yöntemiyle çözümde dayanma kapasitesi katsayısı N_q^{*1} bulmak için geliştirilmiş grafik (Coyle&Castello, 1981)

3.2.1.4 Hansen Yöntemi

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

$$Q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c \cdot d_c + \eta \cdot q \cdot N_q \cdot d_q + 0,5 \cdot \gamma' B_p \cdot N_\gamma) \quad (3.24)$$

Hansen (1967) metodu için şekil faktörleri, d_c ve d_q uygun koşullar için aşağıdaki denklemlerden, N_c ve N_q değerleri de Çizelge 3.2'den elde edilmektedir. (3.24) eşitliğindeki η değeri, bu metot için 1'e eşittir (Bowles,1996)

$L/B < 1$ hali için;

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

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

$L/B > 1$ hali için;

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

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

Çizelge 3.2. Meyerhof, Hansen ve Vesic taşıma kapasitesi denklemleri için taşıma kapasitesi Faktörleri (N_c ve N_q üç metot için de aynıdır; N_γ alt indisleri yazarı belirtir.)

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

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

3.2.1.5. Kaya üzerine oturan kazıklar

Kaya üzerine oturan kazıklarda uç taşıma kapasitesi aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır:

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

$$Q_{p(all)} = [q_{u(tasarım)} (N_\phi + 1)] A_p / FS \quad (FS \geq 3) \quad (3.28)$$

q_{ur} : kayanın tek eksenli basınç dayanımı

ϕ : drenajsız sürtünme açısı

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

$$q_{ur(tasarım)} = q_{ur(laboratuar)}/5 \quad (3.29)$$

3.2.2. Sürtünme (yüzey) direncinin (Q_s) hesaplanması

Bir kazığın yüzey direnci, kazık yüzeyiyle zemin arasında meydana gelen ve kazığın taşıma kapasitesini arttıran bir faktör olup, aşağıdaki gibi yazılabilir:

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

p : kazık çevresi ($p = \pi D$)

L : kazık uzunluğu

f : verilen bir z derinliğindeki birim sürtünme direnci

Bu direnç zemin türüne göre değişiklik gösterdiği için, farklı zeminlerde farklı yöntemlerle hesaplanmaktadır.

3.2.2.1. Kumlarda sürtünme direnci

Kumlardaki sürtünme direnci aşağıda verilmiştir:

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

σ_v' : düşey efektif gerilme

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

K : toprak basınç katsayısı

Zeminle kazık arasındaki sürtünme açısı pratik amaçlarla ortalama bir değer olan $0,6\phi$ kabul edilebilir fakat detaylı çözüm gerektiren büyük çaplı ve önemli projelerin yapımı sırasında bu katsayıyı kesme kutusu deneyiyle belirlemek, daha gerçekçi sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

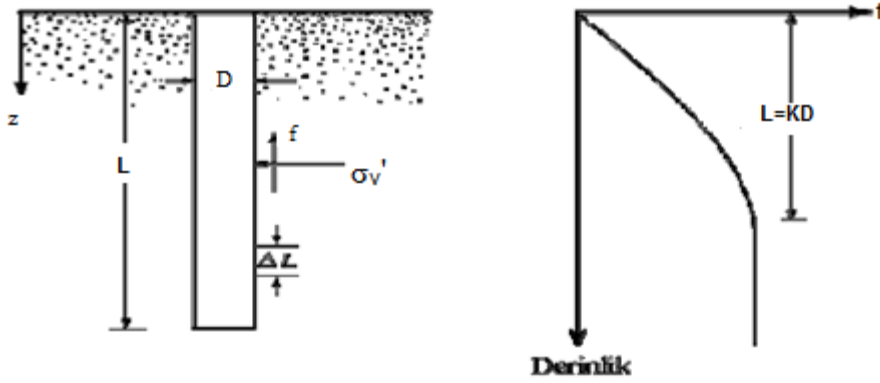
Kumlarda sürtünme direncinin derinlikle değişimi Şekil 3.6 ile verilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken, f hesabı yapılırken $L=15D$ derinliğine kadar σ_v' değerinin değişken olduğudur. Bu derinliğe kadar sürekli doğrusal bir artış gösteren sürtünme direncinin, bu derinlikten sonra sabit kaldığı varsayılır. Bu yüzden, σ_v' , (0~15D) ve (15D~L) arasında farklı hesaplanır:

(0~15D) arasında:

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

(15D~L) arasında:

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



Şekil 3.8. Kumlarda sürtünme direncinin derinlikle değişimi

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

Düşük yer değiştirmeli çakma kazıklarda:

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

Yüksek yer değiştirmeli çakma kazıklarda

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

Kazık çevresindeki toplam sürtünme direnci (3.36) eşitliğiyle belirlenir:

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

K (toprak basınc katsayısı) derinlikle değişir. Bu değişim Şekil 3.9 ile gösterilmiştir. Kazığın st kısmında pasif Rankine basınc katsayısına eşitken kazık ucunda sknnetteki toprak basınc katsayısından daha küçük olabilir. Fore ve çakma kazıklar için farklı Şekilde hesaplanır:

Fore kazıklarda:

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

Düşük yer değiştirmeli çakma kazıklarda:

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

Yüksek yer değiştirmeli çakma kazıklarda:

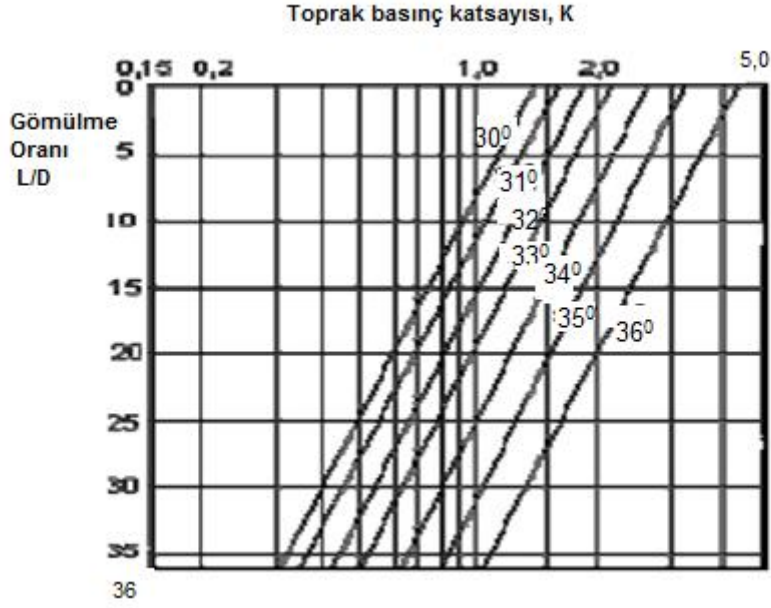
$$K= K_0 \text{ (alt limit)} \quad K=1,8 K_0 \text{ (st limit)} \quad (3.39)$$

Coyle&Castello ise, kumlarda sürtünme direncini farklı bir Şekilde hesaplamışlardır. Buna göre sürtünme direnci aşağıdaki Şekilde ifade edilebilir:

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

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

Yapılan deneyler sonucunda K değerinin L/D (boy/çap) oranına bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 3.9. Toprak basınç katsayısının gömülme oranına bağlı değişimi

3.2.2.2. Killerde sürtünme direnci

Killerde sürtünme direnci üç değişik yöntemle hesaplanır. Bu üç yöntemi birbirinden ayıran özellikler aşağıda kısaca verilmiş, arkasından da maddeler halinde bu üç yöntemin açıklaması yapılmıştır:

- λ Yöntemi: Sürtünme direnci efektif gerilme, drenajsız kayma mukavemeti ve derinlik faktörüne bağlı olarak hesaplanır.
- α Yöntemi: Sürtünme direnci drenajsız kohezyona ve adhezyona bağlı hesaplanır.
- β Yöntemi: Drenajlı durum ve yanal toprak basınçlarına bağlı olarak sürtünme direnci hesaplanır.

Aşağıda bu üç yöntem detaylarıyla açıklanmıştır.

λ Yöntemi: Kazık çakımından dolayı zeminde meydana gelen yer değiştirmenin, pasif yanal toprak basıncına sebep olduğu varsayımından yola çıkarak Vijayvergia ve Focht (1972) tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir. Birim yüzey dayanımı aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır:

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

Burada $\sigma_{v'(ort)}$ kazık boyunca etkiyen ortalama düşey efektif gerilmedir. Tek tabaka durumunda (3.43) eşitliğiyle bulunur:

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

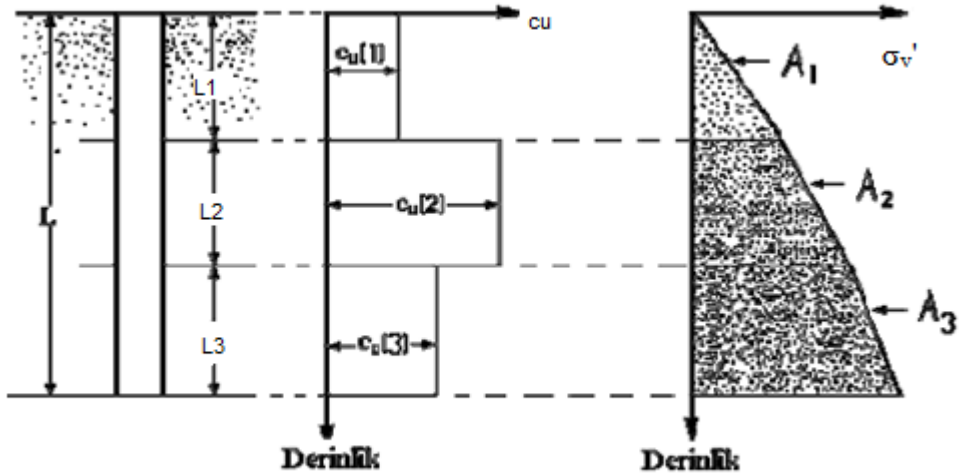
λ katsayısı ise, kazığın gömüldüğü derinliğe (L) bağlı olarak grafik yardımıyla bulunabilir. λ katsayısının kazık gömülme derinliğine bağlı değişimi Şekil 3.9 ile verilmiştir. Buna göre kazık çevresindeki (p) toplam sürtünme de aşağıda verildiği şekilde bulunur:

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

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

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

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



Şekil 3.10. Tabakalı zemin durumunda λ yönteminin uygulanışı

α Yöntemi: Bu yöntemde, Şekil 3.12 ile verilen drenajsız kohezyona bağlı grafikten α ampirik adhezyon katsayısı alınır ve (3.47) eşitliği ile sürtünme direnci hesaplanır:

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

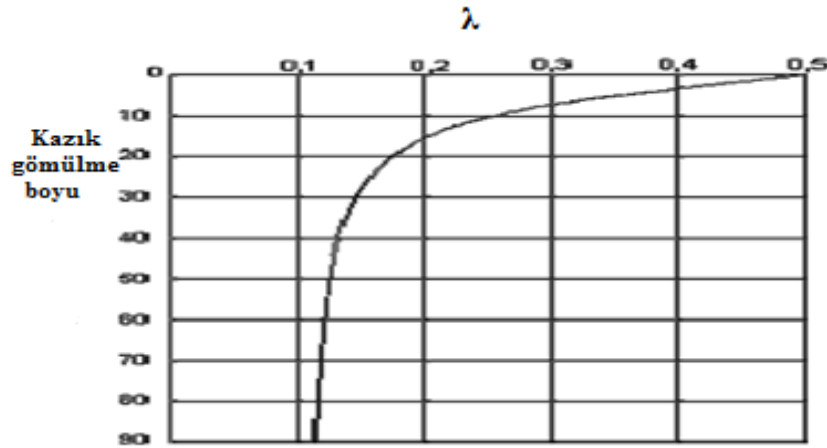
Buna bağlı olarak toplam sürtünme de aşağıda verilen eşitlikten bulunur:

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

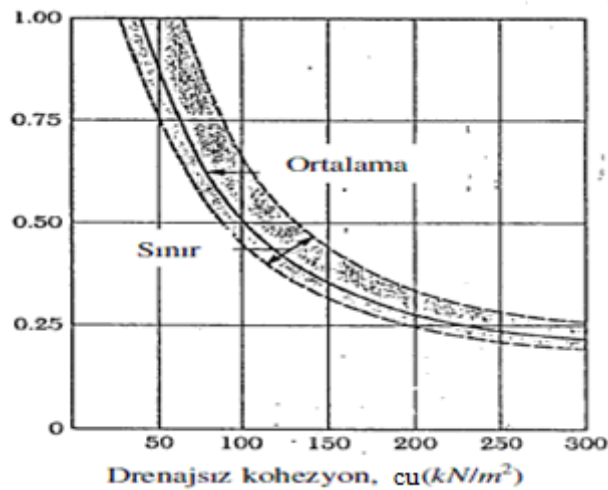
Tabakalı zemin durumunda ise çözüm (3.46)'da verildiği şekilde hesap yapılır:

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

p: kazık çevresi



Şekil 3.11. λ katsayısının kazık gömülme boyuna bağlı değişimi



Şekil 3.12. Drenajsız kohezyona bağlı α değerleri

β Yöntemi: Doygun kile kazık çakıldığı zaman kazık çevresindeki boşluk suyu basıncı yüksektir. Normal killerde bu aşırı boşluk suyu basıncının büyüklüğü, c_u 'nun 4 – 6 katıdır. Bununla birlikte, yaklaşık bir ay içerisinde bu basınç tamamen ortadan kaybolmaktadır. Bu durumda, kazık için birim sürtünme dayanımı, örselenmiş kilin efektif gerilme parametrelerine ($c = 0$ durumu) dayanarak, herhangi bir derinlikte su şeklinde ifade edilmektedir: Fakat birkaç ay içerisinde bu basınç düşer. Bu halde kazık için birim sürtünme direnci, örselenmiş durumdaki efektif gerilmeler cinsinden hesaplanabilir:

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

ϕ_R : örselenmiş kilin drenajlı sürtünme açısı

K: toprak basınç katsayısı

Toprak basınç katsayısı normal ve aşırı konsolide killer için farklı şekillerde belirlenir.

Normal konsolide killer için:

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

Aşırı konsolide killer için:

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

Toplam sürtünme ise aşağıda verildiği şekilde hesaplanır:

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

3.2.3. İzin verilebilir kazık kapasitesi

Maksimum kazık kapasitesi:

$$Q_u = O_p + Q_s \quad (3.54)$$

İzin verilebilir kazık kapasitesi:

$$Q_{all} = Q_u / G_s \quad (3.55)$$

Burada G_s güvenlik faktörüdür ve maksimum kazık kapasitesi hesaplarındaki verilerin ve hesapların güvenilirliğine bağlı olarak 2,5~4 arasında değişir. Aynı zamanda sürtünmenin sıfıra eşit alınabileceği, suya doymun kohezyonlu zeminlerde:

$$\phi = 0 \quad N_c^* = 9, \quad N_q^* = 1 \quad (3.56)$$

Buna bağlı olarak uç direnci:

$$q_{p(brüt)} = c_u \cdot N_c^* + q' \quad (3.57)$$

$$q_{p(net)} = (c_u \cdot N_c^* + q') \cdot q' = c_u \cdot N_c^* = 9 c_u = q_p \quad (3.58)$$

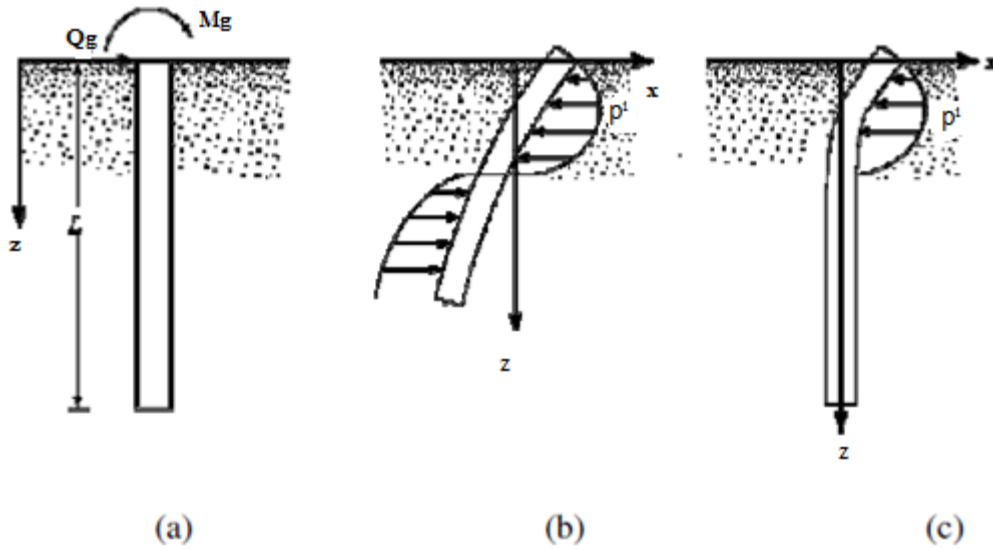
Burada q' kazık ağırlığıdır. Taneli zeminlerde bu azaltmaya gerek yoktur.

4. YATAY STATİK YÜKLER ALTINDA TEKİL KAZIKLARIN TAŞIMA KAPASİTESİ

Tekil ve grup kazıklar rüzgar yükü, dalga yükü, deprem yükü, yanal toprak basıncı, darbe ve çekme kuvvetleri gibi büyük boyutlu yanal yüklere maruz kalabilirler. Bu nedenle, kazık tasarımı yapılırken yanal yük kapasitesinin belirlenmesi büyük önem taşır.

Eksenel yük kapasitesi hesabından farklı olarak, yanal yük kapasitesi iki farklı göçme mekanizmasının değerlendirilmesiyle belirlenir:

- Aşırı yanal yüklemeye maruz kalan kazığın, taşıyıcı görevini meydana getiremeyecek duruma gelmesiyle oluşan çökme Her ne kadar potansiyel çökme durumu çevreleyen zeminin pasif çökmesi olsa da, bu tür çökmeler izin verilebilir hareketleri aşan oldukça büyük yer değiştirmelerde meydana gelir. Düşey bir kazık rijit bir başlıkla zemine tespit edilmemişse, kazığa gelen yata yükün tamamını zemin alır. Uzun kazıklarda ise alt kısım düşey olarak kalırken üst kısım ötelenir. Bu durumlar Şekil 4.1 ile verilmiştir.
- Kazık malzemesinin eğilmesine bağlı olarak kazığın yapısal çökmesi veya zeminin eğilmesine bağlı olarak çevreleyen zeminin kayarak çökmesi



Şekil 4.1. Yanal yük etkisi altındaki kazıklarda ötelenmeler (a) kazığa etkileyen yanal yük ve moment, (b) kısa kazıkta zemin çökmesi, (c) uzun kazıkta kazık çökmesi

Yanal yükler altında kazıkların davranışını incelerken proje yükleri altında kazığın eğilmesi ve kazığın nihai direnci ayrı ayrı göz önüne alınır. Her iki durum açısından da kazık güvende olmalıdır. Bu hesap için iki farklı yaklaşım yapılabilir:

- Zeminin davranışını temsil eden bir yatak katsayısı tanımlamak
- Zemini ideal elastik bir cisim olarak kabul etmek

Aşırı derecede basitleştirici bir kavram olan “yatak katsayısı”, herhangi bir noktadaki zemin direnci ile o noktadaki yer değiştirme arasındaki ilişkiyi verir. Fakat yatak katsayısının tayini zordur çünkü yatak katsayısı gerçek bir zemin sabiti olmayıp fiziksel bir özelliği tayin etmemektedir. Zemini homojen, izotrop, elastik yarı ortam; kazığı elastik bir cisim olarak kabul ederek yaklaşık bir çözüm elde edilmektedir. Bu ikinci yolda elastik sabitler E_s elastisite modülü ve μ_s Poisson oranı kullanılarak, üniform kohezyonlu zeminler için zemin davranışının bir ölçüde temsili mümkün kılınabilir. Kazığın nihai direncinin hesaplanabilmesi için mümkün kırılma mekanizmaları göz önüne alınır. Kırılma mekanizması kazık boyu, kazık başlığının rijitliği ve zemin cinsine bağlıdır.

4.1. Granüler Zeminler İçin Yanal Yüklü Kazık Hesabı

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

$$k=p'(kN/m^2)/x(m) \quad (4.1)$$

k: yatay yatak katsayısı

p': zemin üzerindeki basınç

x: çökme

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

$$k_z = n_h z \quad (4.2)$$

Burada n_h yatay yatak katsayısı sabitidir.

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

$$p^1 = (E_p I_p) (dx^4/dz^4) \quad (4.3)$$

E_p : kazık malzemesinin Young modülü

I_p : kazık kesitinin atalet momenti

Aynı zamanda Winkler modeline göre:

$$p^1 = -kx \quad (4.4)$$

olduğuna göre, bu iki denklemin birleşiminden (4.5) elde edilir:

$$[(E_p I_p) (dx^4/dz^4)] + kx = 0 \quad (4.5)$$

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

Kazığın herhangi bir z derinliğindeki dönmesi:

$$x_z(z) = [A_x Q_g T^3 / (E_p I_p)] + [B_x M_g T^2 / (E_p I_p)] \quad (4.6)$$

Kazığın herhangi bir z derinliğindeki eğimi:

$$\Theta_z(z) = [A_\Theta Q_g T^2 / (E_p I_p)] + [B_\Theta M_g T / (E_p I_p)] \quad (4.7)$$

Kazığa herhangi bir z derinliğinde etkiyen moment:

$$M_z(z) = [A_m Q_g T / (B_m M_g)] \quad (4.8)$$

Kazığa herhangi bir z derinliğinde etkiyen kesme kuvveti

$$V_z(z) = [A_v Q_g T] + [B_v M_g / T] \quad (4.9)$$

Herhangi bir z derinliğindeki zemin reaksiyonu:

$$p^1_z(z) = [A_{p_1} Q_g / T] + [B_{p^1} M_g T] \quad (4.10)$$

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

$$Z = z / T \quad (4.11)$$

T , zemin-kazık sisteminin karakteristik uzunluğu olup (4.12) eşitliği kullanılarak bulunur:

$$T = \sqrt[5]{(E_p I_p / n_h)} \quad (4.12)$$

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

$$L \geq 5T \quad (\text{Uzun kazık}) \quad L \leq 2T \quad (\text{Rijit kazık}) \quad (4.13)$$

4.2. Kohezyonlu Zeminler İçin Yanal Yüklü Kazık Hesabı

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

Kazığın herhangi bir z derinliğindeki dönmesi:

$$x_z(z) = [A'_x Q_g R^3 / (E_p I_p)] + [B'_x M_g R^2 / (E_p I_p)] \quad (4.14)$$

Kazığa herhangi bir z derinliğinde etkiyen moment:

$$M_z(z) = [A'_m Q_g R / (B'_m M_g)] \quad (4.15)$$

Bu formüllerde kullanılan A'_x , B'_x , A'_m ve B'_m yine Z' boyutsuz derinlik değerine bağlı katsayılar olup grafiklerden alınır. Bu Z' değeri ise (4.16) eşitliği kullanılarak bulunur:

$$Z' = z/R \quad Z'(\text{max}) = L/R \quad (4.16)$$

R ise (4.17) eşitliğiyle elde edilir:

$$R = (E_p I_p / k)^{1/4} \quad (4.17)$$

Kohezyonlu zeminlerde taban katsayısının derinlikle değişmediği varsayılarak (4.18) eşitliği verilmiştir(Vesic):

$$k = 0,65^{12} \sqrt{[E_s D^4 / (E_p I_p)] \cdot E_s / (1 - \mu_s^2)} \quad (4.18)$$

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

$$E_s = 3(1 - \mu_s) / \mu_v \quad (4.19)$$

μ_v : hacimsel sıkışabilirlik katsayısı

$$\mu_v = \Delta e / [\Delta p (1 + e_{ort})] \quad (4.20)$$

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

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

4.3. Dayanıma Bağlı Yanal Yük Kapasitesi

4.3.1. Kazıkların maksimum yanal direnci

Brooms (1964), zeminin maksimum dayanma kapasitesini ve kazık malzemesinin eğilme gerilmelerini göz önüne alarak, kazıkların maksimum yanal yük kapasitelerinin hesabı için kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için ayrı ayrı basitleştirilmiş çözümler geliştirmiştir (Gunaratne 2006).

4.3.1.1. Homojen kohezyonlu zeminlerdeki kazıklar

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

Kazığın, çevreleyen zemine göre rölatif sıkılığı: Eğer deformasyon durumunda zemin, kazık malzemesinden daha önce eğiliyorsa kazık “kısa kazık”

olarak kabul edilir. Benzer şekilde eğer önce kazık malzemesi eğiliyorsa, o zaman da kazık “uzun kazık” olarak kabul edilir.

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

Serbest uçlu (ankrajsız / konsol) kazıklar: Maksimum momentin olduğu noktada kesme kuvveti sıfır olduğuna göre, zemin reaksiyon eğrisinin alanından(6.21) eşitliği elde edilebilir:

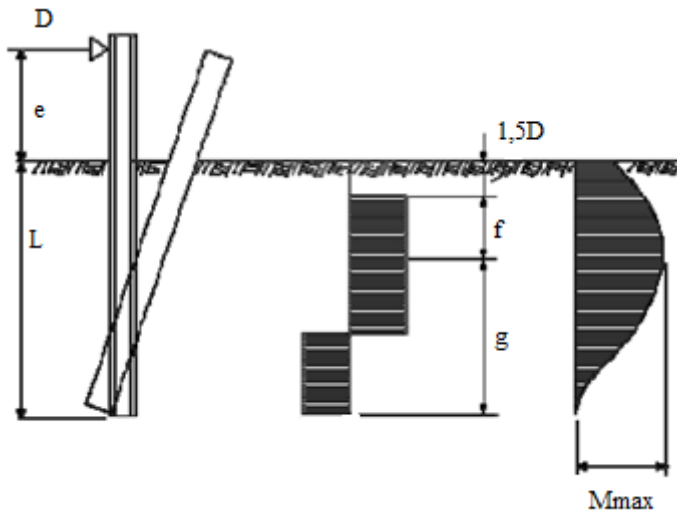
$$f = P_u / 9c_u D \quad (4.21)$$

Benzer biçimde, Şekil 4.2’deki eğilme noktasına göre birinci momentler alınarak aşağıdaki ifade elde edilir:

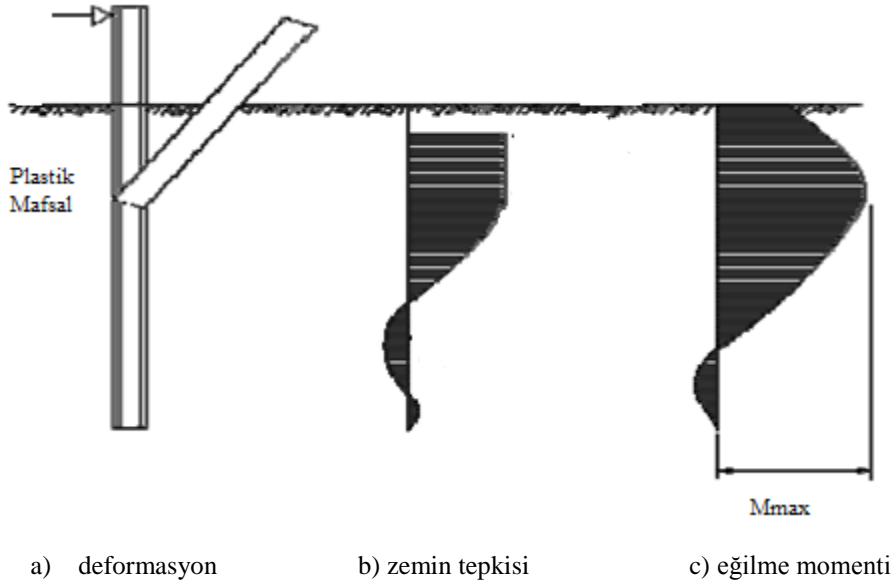
$$\begin{aligned} M_{\max} &= 2.25 Dg^2 c_u \\ M_{\max} &= H_u (e + 1,5D + 0,5f) \end{aligned} \quad (4.22)$$

Kazığın toplam boyu için de (4.23) eşitliği verilebilir:

$$L = g + 1,5D + f \quad (4.23)$$



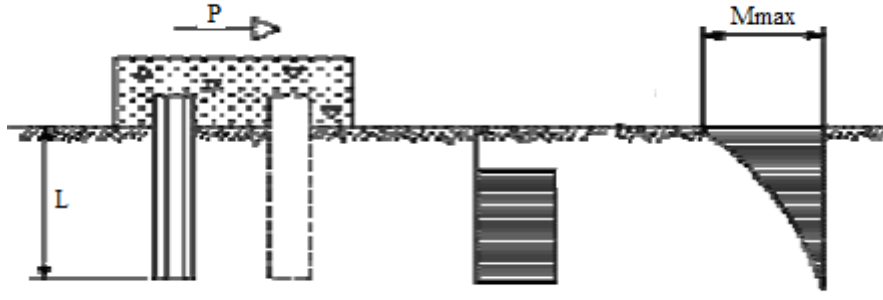
Şekil 4.2. Kohezyonlu zeminlerdeki yanal yüklü kısa kazıkların yer değiştirme, zemin reaksiyonu ve moment dağılımları



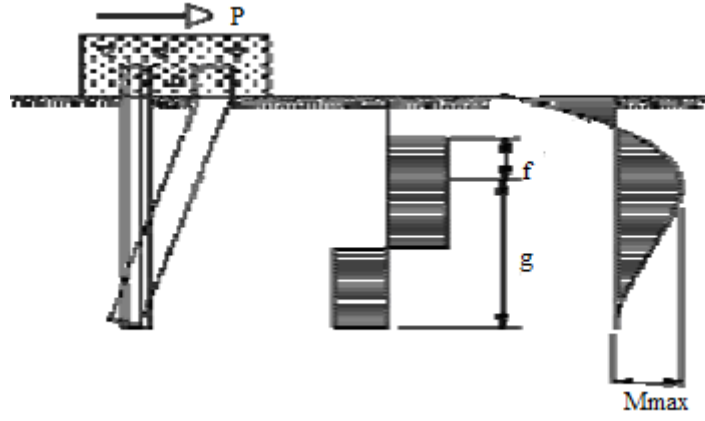
Şekil 4.3. Kohezyonlu zeminlerdeki yanal yüklü uzun kazıkların yer değiştirme, zemin reaksiyonu ve moment dağılımları

Kohezyonlu zeminlerdeki yanal yüklü kısa ve uzun kazıkların yer değiştirme, zemin reaksiyonu ve moment dağılımları sırasıyla Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ile verilmiştir.

Sabit uçlu (ankrajlı) kazıklar: Brooms formüllerine göre ankrajlı kazıklar, kısa kazıklar, orta boy kazıklar ve uzun kazıklar olmak üzere üç farklı mekanizmayla maksimum kapasitelerine ulaşırlar. Bu üç farklı durum Şekil 4.4 ile verilmiştir. Bu durumlar için geliştirilen analitik çözümler için yapılan varsayım ise, kazık başında (tepesinde) oluşan momentin, kazığın, tepedeki sınır koşullarını sağlayacak şekilde kazık başlığıyla ankrajlanarak sağlandığıdır. Kısa kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanal yükler (P_u), gömülme boyuna, kazık çapına ve kazık basının durumuna göre Şekil 4.5. yardımıyla doğrudan bulunabilirler.

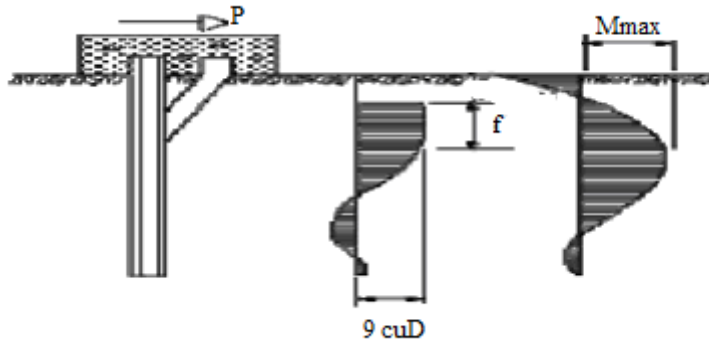


1) a) deformasyon b)zemin tepkisi c)Eğilme momenti



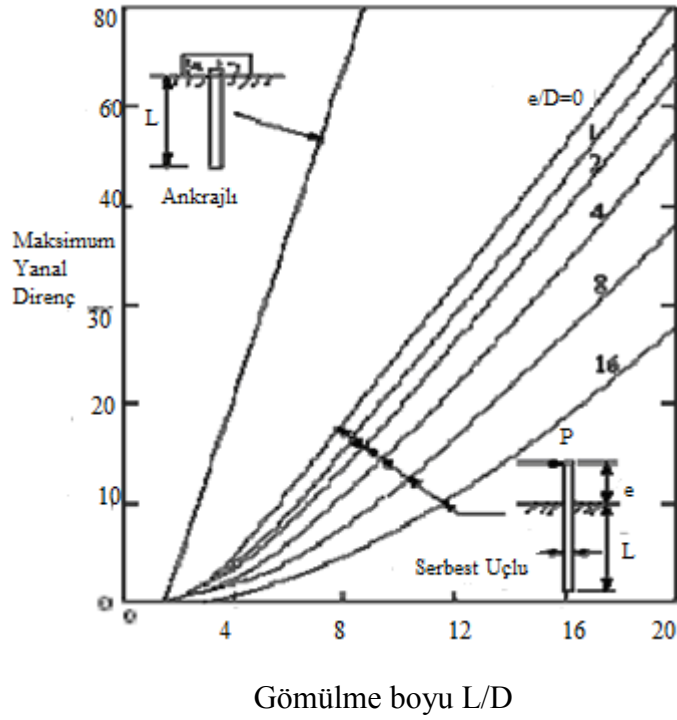
2) a)deformasyon b)zemin tepkisi c)eğilme momenti

Şekil 4.4. Kohezyonlu ($c \neq 0$) zeminlerdeki yanal yüklü, ankrajlı kazıkların göçme mekanizmaları
1)Kısa kazıklar 2) Orta boy kazıklar



a)deformasyon b)zemin tepkisi c)eğilme momenti

Şekil 4.4. Kohezyonlu ($c \neq 0$) zeminlerdeki yanal yüklü, ankrajlı kazıkların göçme mekanizmaları
3) Uzun kazıklar



Şekil 4.5. Kohezyonlu zeminlerdeki kısa kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yükler

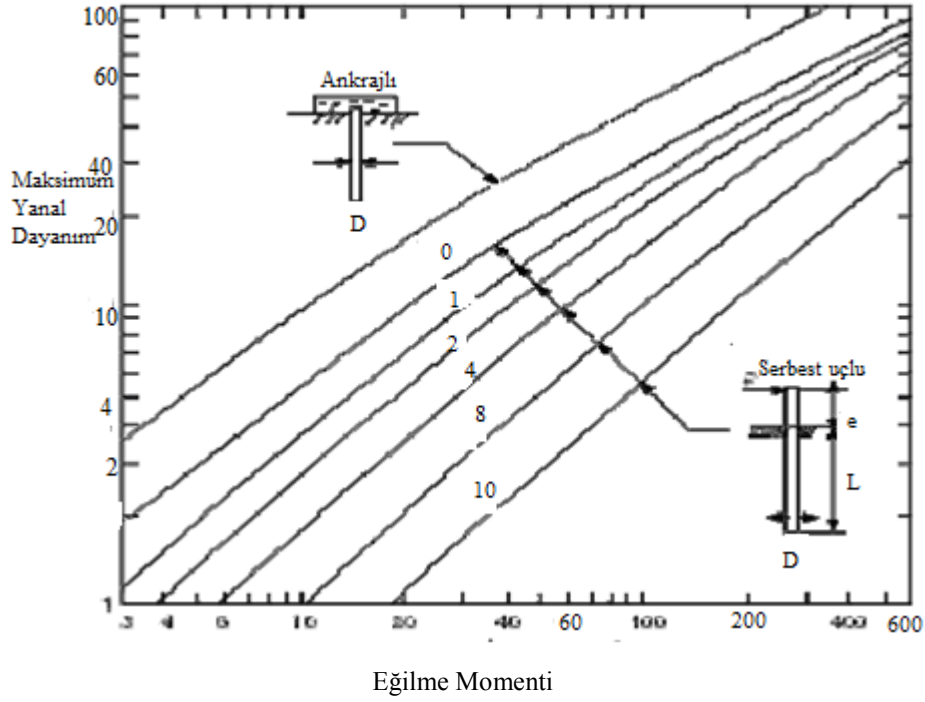
Kazığın dayanabileceği maksimum moment ve maksimum yanıl yük aşağıdaki eşitliklerle de hesaplanabilir:

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

$$M_{\max} = P_u (0,5L + 0,75D) \quad (4.24)$$

Uzun kazıklar için maksimum yanıl yük benzer biçimde Şekil 4.7 yardımıyla bulunup, aşağıdaki eşitlik kullanılarak f uzunluğu ve buna bağlı olarak kazığın eğilme noktası bulunabilir:

$$P_u = 2M_y / (1,5d + 0,5f) \quad (4.25)$$



Şekil 4.6. Kohezyonlu zeminlerdeki uzun kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanıl yükler.

Orta boy kazıklarda eğilme tepede meydana gelir (Şekil 4.4 3(b)) ve P_u 'yu elde etmek için aşağıdaki denklemler kullanılabilir:

$$f = P_u / (9c_u D) \quad (4.26)$$

$$M_y = 2,25 c_u D g^2 - 9c_u D f (1,5D + 0,5f) \quad (4.27)$$

$$L = g + 1,5 D + f \quad (4.28)$$

4.3.1.2. Kohezyonsuz zeminlerdeki kazıklar

Brooms, kohezyonsuz zeminlerdeki kazıklar için de, bir dizi varsayıma dayanarak maksimum yanıl yük kapasitesini formüleştirmiştir. En önemli varsayımlar şunlardır:

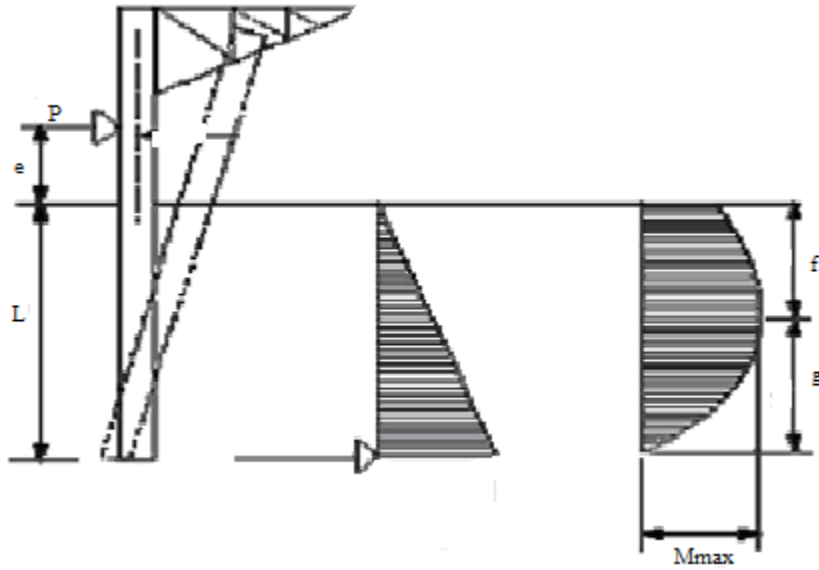
- Kazık ucunun öne doğru hareketinden dolayı kazığın arkasında meydana gelen aktif toprak basıncı ihmal edilmiştir.
- Kazığın üst ön kısmında üç kademeli pasif toprak basıncı meydana gelmektedir.

Bu varsayımlara bağılı olarak pasif itki (4.29) ile verilebilir:

$$P_p = 3\sigma_v^1 K_p \quad (4.29)$$

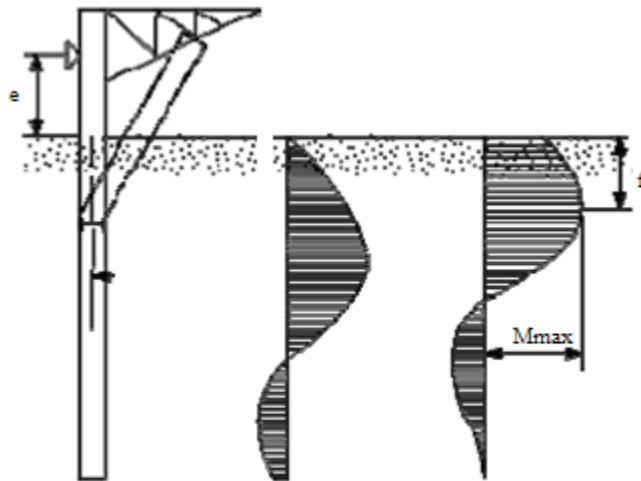
Serbest uçlu (ankrajsız / konsol) kazıklar: Kohezyonlu zeminlerde benzer şekilde, kısa ve uzun kazıkların göçme mekanizmaları Şekil 4.7 ve 4.8’de verilmiştir. Kısa kazıkların taşıyabileceği maksimum yanal yük aşağıda verilen denklem (4.30) yardımıyla hesaplanır veya Şekil 4.9 kullanılarak doğrudan bulunur:

$$P_u = (0,5\gamma DL^3 K_p)/(e+L) \quad (4.30)$$



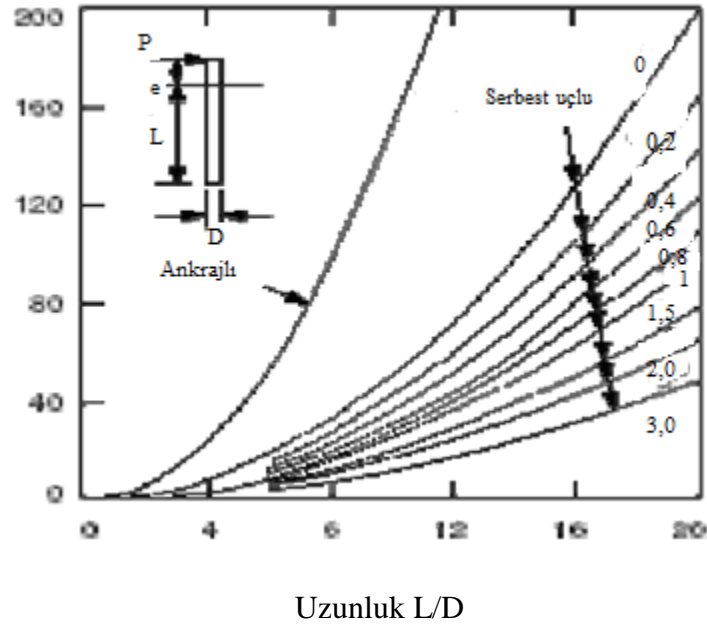
a) deformasyon b) zemin tepkisi c) eğilme momenti

Şekil 4.7. Kohezyonsuz zeminlerdeki yanal yüklü kısa kazıkların göçme mekanizması



a)deformasyon b)zemin tepkisi c)eğilme momenti

Şekil 4.8. Kohezyonsuz zeminlerdeki yanal yüklü uzun kazıkların göçme mekanizması



Şekil 4.9. Kohezyonsuz zeminlerdeki kısa kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanıl yükler

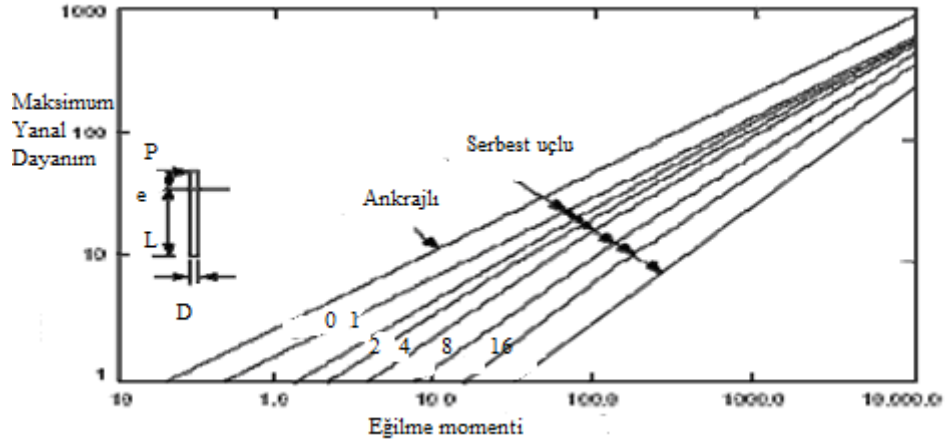
Maksimum momentin yerini belirlemek için gereken f mesafesi aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilir:

$$f = 0,82\sqrt{(P_u/DK_p\gamma)} \quad (4.31)$$

Sonuç olarak maksimum moment (4.32) denklemiyle bulunur:

$$M_{\max} = P_u(e + 0,67f) \quad (4.32)$$

Eğer hesapla bulunan M_{\max} değeri, kazık malzemesi için verilen $M_{\text{eğilme}}$ değerinden büyükse, kazık uzun kazık gibi davranır ve gerçek maksimum yanıl yük P_u , denklem (4.32)'de $M_{\max} = M_{\text{eğilme}}$ alınarak hesaplanır veya uzun kazıklar için verilen Çizelge yardımıyla doğrudan elde edilir.



Şekil 4.10. Kohezyonsuz zeminlerde uzun kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanıl yükler

Sabit uçlu (ankrajlı) kazıklar: Ankrajlı kısa kazıkların taşıyabilecekleri maksimum yanıl yük Şekil 4.9 yardımıyla doğrudan bulunabileceği gibi, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir:

$$P_u = 1,5\gamma DL^2DK_p \quad (4.33)$$

P_u değerine bağılı olarak maksimum moment (4.34) ile hesaplanabilir:

$$M_{\max} = (2/3)P_u L \quad (4.34)$$

Eğer hesapla bulunan M_{\max} değeri, kazık malzemesi için verilen $M_{\text{eğilme}}$ değerinden büyükse, bu durumda önce kazığın orta boy kazık gibi davrandığı düşünülerek bir kez daha hesap yapılır. Bu durumda maksimum yanıl yükün hesabı için, kazık alt ucundan (4.35) ifadesi kullanılarak moment alınır:

$$M_y = (0,5\gamma DL^3K_p) - P_u L \quad (4.35)$$

Eğer hala hesapla bulunan M_{\max} değeri, kazık malzemesi için verilen $M_{\text{eğilme}}$ değerinden büyükse, o zaman kazık uzun kazık gibi davranıyor demektir. Bu durumda kazığın taşıyabileceği maksimum yanıl yük ya Şekil 4.10 yardımıyla elde edilir, ya da aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$P_u(e+0,67f)=2M_y \quad (4.36)$$

4.4. Deformasyonlara Bağlı Yanal Yük Kapasitesi

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

4.4.1. Linear elastik yöntem

Yanal yüklü bir kazık, sonsuz elastik bir ortamda denklem (4.37) ile ifade edilen yatay deformasyonla, yanal deformasyona uğrayan sonsuz uzunlukta bir silindir gibi idealize edilebilir:

$$p=k_h \cdot y \quad (4.37)$$

Yayıllı yük ve moment bağıntılarından (4.38) elde edilir:

$$pB=(d^2M/dz^2)=- E_p I (d^2y/dz^2) \quad (4.38)$$

B: kazık genişliği

$E_p I$: kazığın rijitliği

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

$$E_p I (d^4y/dz^4)+Bk_h y =0 \quad (4.39)$$

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

$$\beta = (k_h D/4E_p I)^{1/4} \quad (4.40)$$

$1/\beta$: boyutsuz uzunluk

k_h : yatay zemin reaksiyon katsayısı

Brooms, β katsayısı 2'den az olduğu takdirde yanal yüklü kazığın sonsuz rijit davrandığını kanıtlamıştır β . $L \geq 4$ olduğu durumda ise kazık, maksimum

eğilme momenti kazık kesitinin eğilme dayanımına ulaştığı zaman çöken sonsuz uzun bir eleman gibi davranır.

Konunun alt bölümlerinde k_h kazık boyunca sabit kabul edilerek Hetenyi tarafından geliştirilmiş kapalı çözümler anlatılmaktadır.

4.4.1.1. Serbest uçlu (ankrajsız / konsol) kazıklar

1. Durum: H yanal yüküne bağlı deformasyon:

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

Yatay yer değiştirme:

$$\Delta = ((2H\beta^3)/k_h d) K_{\Delta H} \quad (4.41)$$

Eğim:

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

Moment:

$$M = -(H/\beta) K_{MH} \quad (4.43)$$

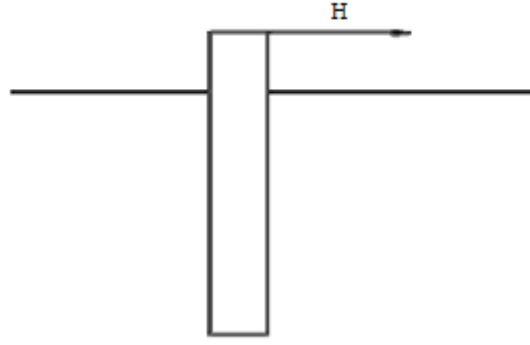
Kesme kuvveti:

$$V = -H K_{VH} \quad (4.44)$$

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

Çizelge 4.1. Lineer çözüm için etki faktörleri

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



Şekil 4.11. H yanal yüküne maruz konsol kazık

2. Durum: M_0 momentine bağlı yanal deformasyon:

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

Yatay yer değiştirme:

$$\Delta = ((2M_0\beta^2)/k_h d) K_{\Delta M} \quad (4.45)$$

Eğim:

$$\Theta = ((2M_0\beta^3)/k_h d) K_{\Theta m} \quad (4.46)$$

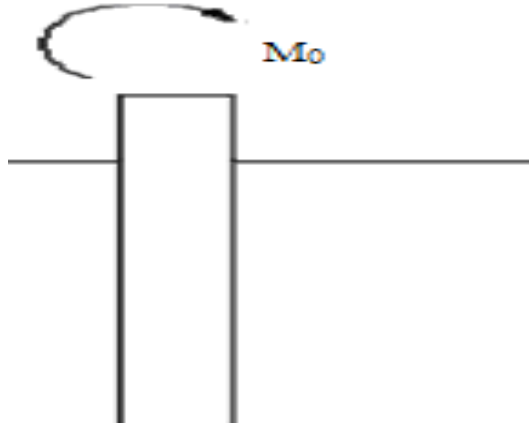
Moment:

$$M = M_0 K_{MM} \quad (4.47)$$

Kesme kuvveti:

$$V = -2M_0\beta K_{VM} \quad (4.48)$$

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



Şekil 4.12. M_0 momentine maruz konsol kazık

4.4.1.2. Sabit uçlu (ankrajlı) kazıklar

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

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

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

4.4.2. Lineer olmayan yöntemler

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

4.4.2.1. Rijitlik matrisi çözüm yöntemi

Bu yöntem, klasik sonlu elemanlar ve rijitlik matrisi yöntemlerinin temel formülasyonları arasındaki benzerliklerden ötürü “sonlu elemanlar yöntemi” olarak da adlandırılmaktadır. İlk olarak kazık belli sayıda bir boyutlu kiriş elemanlarına bölünür. Şekil 4.13’de bu durum gösterilmiştir. Şekildeki ifadeleri açıklamak gerekirse:

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

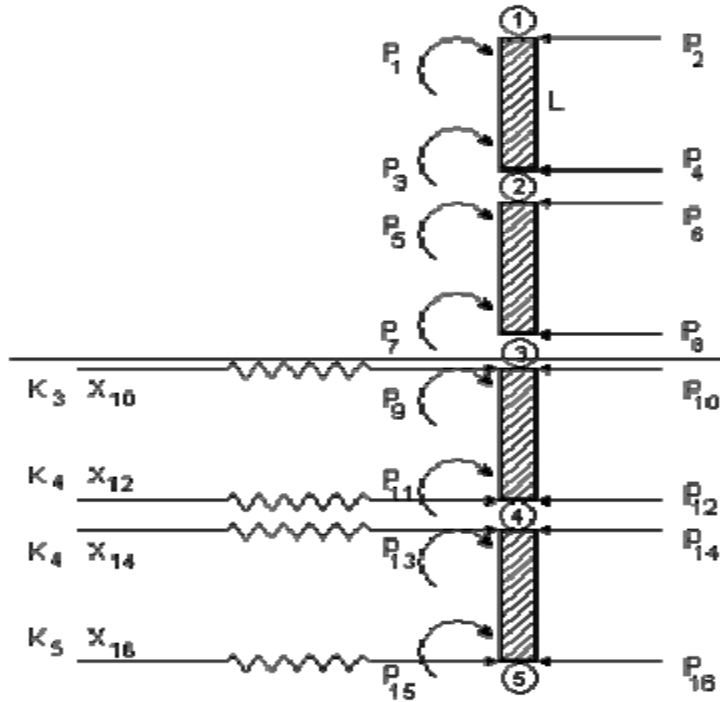
P_i (i çift) : kazıkta düğüm noktalarında toplanmış yanal yükler

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

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

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

K_j : eşdeğer bir yay rijitliğiyle ifade edilen yanal zemin direnci



Şekil 4.13. Yanal yüklü kazıkların çözümü için rijitlik matrisi yöntemi

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

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4EI/L & 6EI/L^2 & 2EI/L & -6EI/L^2 \\ 6EI/L^2 & 12EI/L^2 & 6EI/L^2 & -12EI/L^3 \\ 2EI/L & 6EI/L^2 & 4EI/L & -6EI/L^2 \\ -6EI/L^2 & -12EI/L^3 & -6EI/L^2 & 12EI/L^3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix}^T \quad (4.49)$$

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

$$p = k_h y \quad (4.50)$$

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

Gömülü düğüm noktaları için:

$$K_j = LBk_h \quad (4.51)$$

Zemin yüzeyinin üstünde kalan düğüm noktaları için:

$$K_j = 0,5LBk_h \quad (4.52)$$

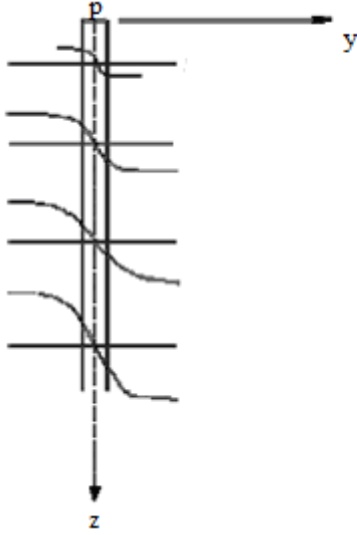
Burada B kazık genişliği veya çapıdır.

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

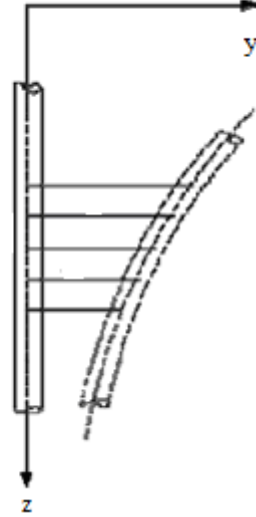
Lineer elastik yöntemde kullanılan yayılı yük-moment bağıntısının aşağıdaki hali Reese tarafından p-y eğrisi yaklaşımına uyarlanmıştır:

$$(d^2M)/(dz^2) + P_{(z)}(d^2y)/(dz^2) - p^1 = 0 \quad (4.53)$$

Burada p' kazığın birim uzunluğuna gelen zemin tepkisidir. Bu denklemden dolayı kazıkta meydana gelen sonlu eğilmeye bağlı olarak $P(z)$ aksel yükünün sebep olduğu kesme ve moment etkileri de göz önüne alınmaktadır. (Şekil 4.14 ve 4.15)



Şekil 4.14. Yanal yüklü kazıkların Çözümü için p-y eğrisi yöntemi



Şekil 4.15. Kazıktaki eğilmenin yöntemi

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

$$S = EI (d^3y)/(dz^3) + P_{(z)}(dy)(dz) \quad (4.54)$$

$$p' = EI (d^4y)/(dz^4) + P_{(z)}(d^2y)(dz^2) \quad (4.55)$$

Yukarıdaki denklemin sonlu farklar (Finite differences:FD) formu (4.56) ifadesiyle verilmiştir:

$$y_{m-2}R_{m-1} + y_{m-1}(-2R_{m-1}2R_m + P_2h^2) + y_m(R_{m1} + 4R_m + R_{m+1}2P_2h^2 + k_mh^4) + y_{m+1}(-2R_m - 2R_{m+1} + P_2h^2) + y_{m+2}R_{m+1} = 0 \quad (4.56)$$

Burada:

$$R_m = E_m I_m \quad (4.57)$$

Bu denklemden kullanılan ifadelerin anlamlarını açıklamak gerekirse:

R_m : m'inci düğüm noktasının rijitliği

y_m : m'inci düğüm noktasındaki yatay deformasyon

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

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

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

$$p^l = k_m y \quad (4.58)$$

Sonuç olarak, aşağıdaki sınır koşulları kullanılır:

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

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

4.4.2.3. p - y eğrilerinin birleştirilmesi

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

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

$$(d^2y)/(dz^2) = (\epsilon/h) \quad (4.59)$$

y : yanal deformasyon

z : kazık üzerinde düşey koordinat

h : kazık kesitinin tarafsız eksenine göre gerilme sayacı arasındaki mesafe

ϵ : z'deki gerilme sayacı okuması

Böylece yanal deformasyon (y) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$Y = \int \int \frac{1}{h} \epsilon dz \quad (4.60)$$

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

$$p = - (E_p I d^3 \epsilon) / (h B d z^2) \quad (4.61)$$

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

4.5. Yanal Yüklü Kazıklarda Yük ve Direnç Faktörüne Bağlı Tasarım

FHWA verilerine göre, kazıkların yanal yüklere göre tasarımında, seçilen kazık kesitinin zemine yerleştirilme yöntemi göz önüne alınarak tekil kazık için “servis limit durumu”nda maksimum yanal zemin çizgisi deformasyonlarının ve “dayanım limit durumu”nda maksimum momentin belirlenmesi ve bunların, her iki limit durumu da asılmayacak şekilde, sırasıyla, izin verilebilir deformasyonlarla ve kazığın maksimum aksenal direnciyle kıyaslanması gerekmektedir.

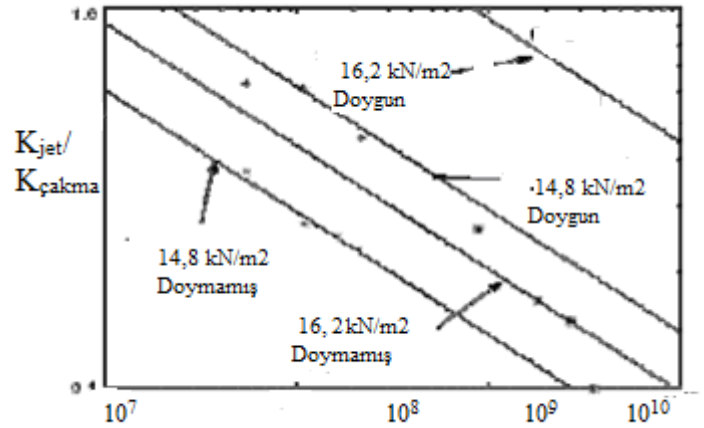
4.6. Su Jetinin Yanal Yük Kapasitesine Etkisi

Su jeti, kazık uç seviyesinin üzerinde sert bir katmanla karşılaştığı takdirde kazık yerleştirme etkisini güçlendiren bir uygulamadır. Su jeti uygulanması sırasında ilk olarak kazığın yakın çevresindeki zemin su jeti etkisiyle oluşan yüksek boşluk suyu basıncı nedeniyle sıvılaşır, ardından bu basıncın dağılmasıyla ani bir yoğunlaşma görülür. Ek olarak, sızan su, kazıktan daha

uzakta bir süzme bölgesi oluşturur. Bu nedenlerle su jeti, çevreleyen zeminde önemli örselenmeler meydana getirerek zeminin yanal yüke karşı davranışında değişikliklere sebep olur.

Tsinker ve Hameed aynı zemine biri çakılarak diğeri su jetiyle yerleştirilen iki kazığın düzenlenmiş p-y eğrilerini kıyaslayarak bu iki tür kazığın yanal yük performanslarını incelemişlerdir. Aynı zamanda jet suyu basıncının, zeminin birim hacim ağırlığının ve yeraltı suyu durumunun p-y eğrileri üzerindeki etkilerini de belirlemişlerdir. Yukarıdaki çalışmaları ışığında Hameed, çakma kazıklar için yanal yük davranışını temel alarak, aynı tür zeminlere su jetiyle yerleştirilen kazıklar için bir kılavuz geliştirmiştir.

Bu çalışmada model deney programından elde edilen K_{max} ($K_{jet}/K_{çakma}$) ve bentonit kilidir. Su jetinin K_{max} ve p_u değerlerine etkisi sırasıyla Şekil 4.16 ve 4.17 ile verilmiştir.



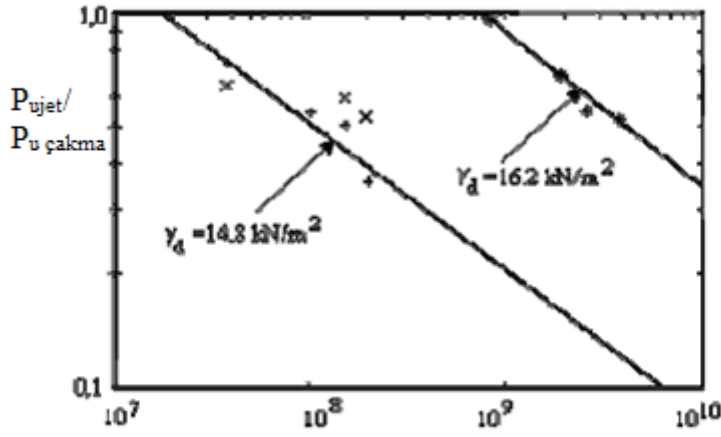
Şekil 4.16. Su jetinin K_{max} değerine etkisi

K ve p_u oranları, aşağıdaki denklemler vasıtasıyla boyutsuz jet basıncıyla ilişkilendirilebilir:

$$(K_{jet}/K_{çakma}) = \alpha_1 (P_0/k^2\gamma)^{\beta_1} \quad (4.62)$$

$$(P_{ujet}/P_{u çakma}) = \alpha_2 (P_0/k^2\gamma)^{\beta_2} \quad (4.63)$$

Burada α_1 , α_2 , β_1 ve β_2 zemin türüne bağlı parametreler olup Çizelge 4.2'den alınabilirler.



Şekil 4.17: Su jetinin p_u değerine etkisi

Çizelge 4.2: Su jetinin yanal yük kapasitesine etkisini belirlemek için kullanılan katsayılar

Sabit	$\gamma=16,2 \text{ kN/m}^2$		$\gamma=16,2 \text{ kN/m}^2$	
	Doygun değil	Doygun	Doygun değil	Doygun
α_1	165,32	748,82	110,8	237,42
β_1	-0,323	-0,323	-0,323	-0,323
α_2	3509,67	797,02		
β_2	-0,4	-0,4		

Çizelge 4.2'den de görülebileceği gibi, β_1 ve β_2 temel zemininin birim hacim ağırlığından ve yeraltı suyu durumundan bağımsızken α_1 , α_2 değerleri temel zemininin birim hacim ağırlığı arttıkça artmaktadır. Bu nedenle, α_1 , α_2 değerlerinin temel zemininin birim hacim ağırlığıyla doğru orantılı değiştikleri düşünülerek, verilmeyen γ değerleri için tahmini yaklaşımlar yapmak mümkündür.

4.7. Matkapla Kuyu Açılarak Yerleştirilen Kazıkların Yanal Yük Kapasiteleri

Hameed bu durum için de yine p-y eğrilerinin parametreleri arasında benzer bağıntılar kurarak aşağıdaki eşitlikleri geliştirmiştir:

$$(K_{\text{ön}}/K_{\text{çakma}}) = \alpha_3 (d/D)^{\beta_3} \quad (4.64)$$

$$(P_{u \text{ ön}}/P_{u \text{ çakma}}) = \alpha_4 (P_0/k^2\gamma)^{\beta_4} \quad (4.65)$$

Burada α_3 , α_4 , β_3 ve β_4 zemin türüne bağlı parametreler olup Çizelge 4.3'den alınabilirler.

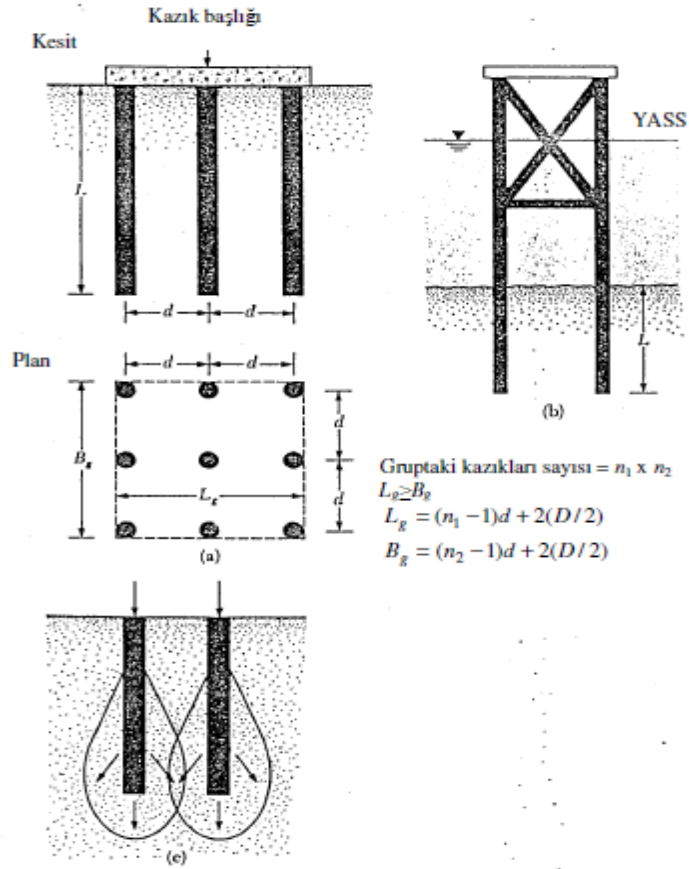
Çizelge 4.3: Matkapla kuyu açılarak yerleştirilen kazıkların yanal yük kapasitelerinin belirlenmesi için kullanılan katsayılar

Sabit	$\gamma=16,2 \text{ kN/m}^2$		$\gamma=16,2 \text{ kN/m}^2$	
	Doymun değil	Doymun	Doymun değil	Doymun
α_3	0,14	0,69	0,38	0,69
β_3	-1,17	-1,17	-1,17	-1,17
α_4	0,64	0,39		
β_4	-0,68	-0,68		

5. KAZIK GRUPLARI VE OTURMA KRİTERLERİ

5.1. Grup Kazıkların Verimliliği

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



Şekil 5.1 Kazık grupları

Tek bir kazığın yük taşıma kapasitesi 3. bölümde açıklanmıştır. Grup kazıkların yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesi oldukça karışık bir problemdir ve henüz tam olarak netleştirilip çözüme ulaşılamamıştır. Kazıklar birbirlerine yakın olarak yerleştirildiğinde, kazıklar tarafından zemin tabakasına aktarılan

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

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

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

burada η = grup verimliliği

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

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

5.1.1. Kumdaki kazık gruplarının verimliliği

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

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

Böylece;

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

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

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

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

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

$\eta \geq 1$ ise,

$$Q_{g(u)} = Q_u$$

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

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

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

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

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

5.1.2. Kildeki kazık gruplarının verimliliği

Killerdeki kazık gruplarının yük taşıma kapasiteleri aşağıdaki şekilde belirlenebilir:

- $Q_u = n_1 \cdot n_2 (Q_p + Q_s)$
 $Q_p = A_p [9c_{u(p)}]$
 $Q_s = \sum pc_u \Delta L$
Böylece; $\sum Q_u = n_1 n_2 (A_p [9c_{u(p)}] + \sum pc_u \Delta L)$ (5.6)

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

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

Uç taşıma kapasitesi;

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

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

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

5.2. Kazık Gruplarının Konsolidasyon Oturması

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

- Kazık gömü derinliğinin L olduğu kabul edilir. Grup, Q_g toplam yüküne maruzdur. Eğer kazık başlığı orijinal zemin yüzeyinden aşağıdaysa, Q_g , kazıklar üzerindeki toplam yapı yükünden kazık grubunun üzerindeki kazılan zeminin efektif ağırlığının çıkarılmasıyla bulunur.

- Q_g yükünün, Şekil 5.2' de gösterildiği gibi, kazık üzerinden $2L/3$ derinlikte zemine yük aktarımına başladığı varsayılır. Şekildeki bu derinlik $z=0$ 'dır. Q_g yükü düşeyde 2, yatayda 1 olacak şekilde derinlikle çizgi çizer. aa' ve bb' çizgileri 2 :1 çizgileridir.
- Q_g yükünden dolayı, her bir zemin tabakasının ortasında oluşan gerilmenin hesabı;

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

burada Δp_i = i tabakasının ortasındaki gerilme artışı

L_g, B_g = kazık grubu planının uzunluk ve genişliği

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

- Artan gerilmeden dolayı oluşan oturmanın hesaplanması:

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

burada Δs_i = i tabakasının konsolidasyon oturması

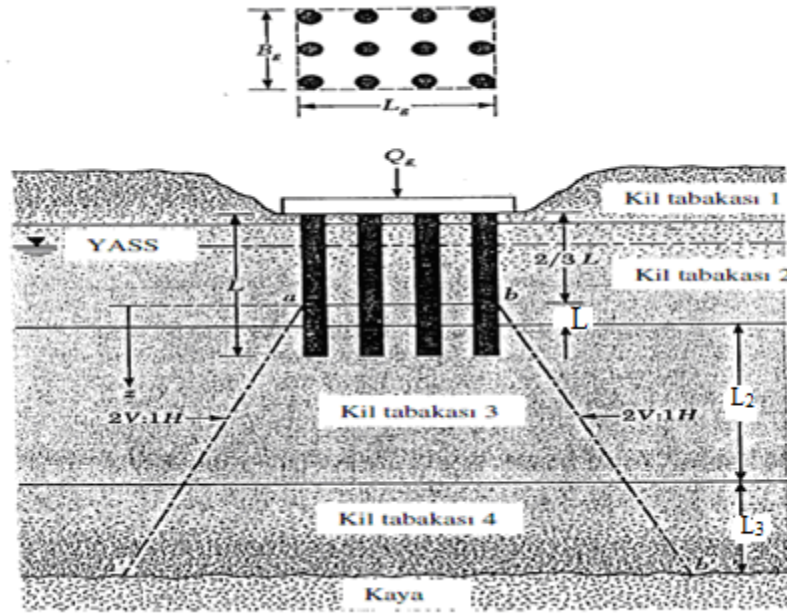
$\Delta e_{(i)}$ = gerilme artısına bağlı olarak i tabakasındaki boşluk oranı değişimi

e_o = i tabakasının başlangıç boşluk oranı

H_i = i tabakasının kalınlığı

- Toplam kazık grubu oturması;

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



Şekil 5.2. Kazık gruplarının konsolidasyon oturması

5.3. Kazıkların Elastik Oturması

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

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

burada s = toplam kazık oturması

s_1 = kazık şaftının oturması

s_2 = kazığın ucundaki yüke bağlı kazık oturması

s_3 = kazık saftı boyunca karşılanan yüke bağlı kazık oturmasıdır.

Kazık oturmasının bu üç elemanını belirlemek için aşağıdaki prosedür uygulanmaktadır:

s_1 'in belirlenmesi;

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

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

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

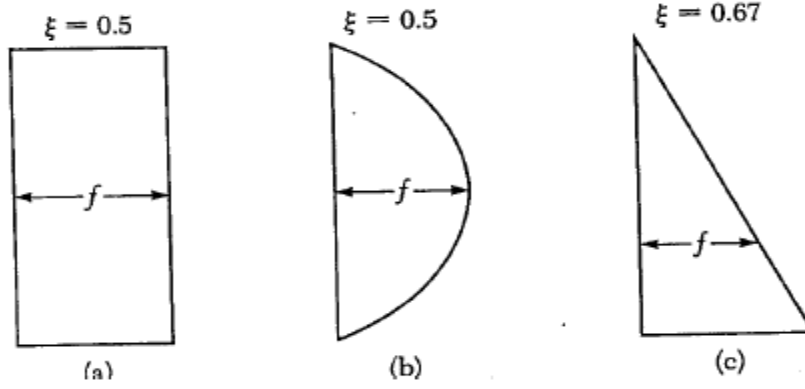
Q_{ws} = çalışan yük durumunda yüzey sürtünmesi ile taşınan yük

A_p = kazık en kesitinin alanı

L = kazık uzunluğu

E_p = kazık malzemesinin Young modülüdür.

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



Şekil.5.3. Kazık shaftı boyunca çeşitli birim sürtünme mukavemetleri

s_2 'nin belirlenmesi;

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

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

burada ; D = kazığın genişliği ya da çapı

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

μ_s = zeminin poisson oranı

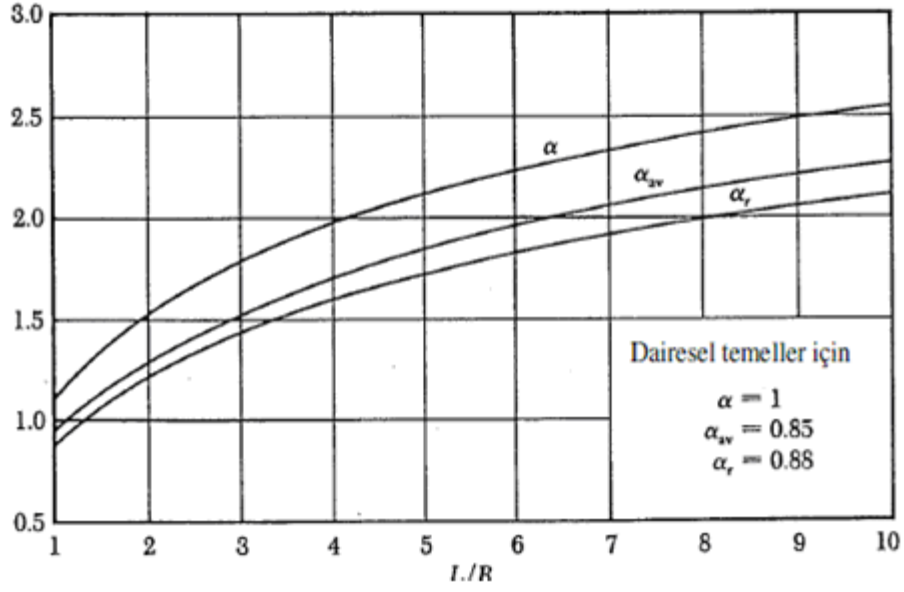
I_{wp} = azaltma faktörüdür.

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

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

Çizelge 5.1 Farklı zemin çeşitleri için poisson oranları

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



Şekil 5.4. Rijit temeller için azaltma faktörü

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

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

burada q_p = kazığın nihai uç mukavemeti

Cp = ampirik bir katsayıdır.

s_3 'ün belirlenmesi;

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

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

burada p = kazığın çevresi

L = kazığın gömü uzunluğu

I_{ws} = azaltma faktörüdür.

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

Azaltma faktörü I_{ws} , şu şekilde belirlenir:

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

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

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

burada C_s = ampirik bir katsayıdır.

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

Çizelge 5.2 Tipik C_p değerleri

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

5.4. Kazık Gruplarının Taşıma Gücü

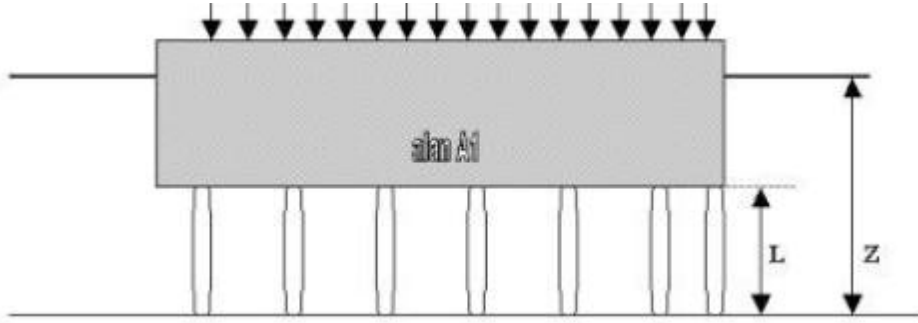
Kazıklı bir temelin, özellikle sürtünme kazıklarına oturan bir temelin, projelendirilmesinde tek bir kazığa ait emniyetli yükün kazık gruplarındaki kazık sayısı ile çarpılması ile kazık gurubunun emniyetle taşıyabileceği yükün bulunması emin bir çözüm değildir. Bunun nedeni kısmen, toplam yükün kazıklara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

5.4.1. Temel bloğunun stabilitesi

Bir kazık gurubunun taşıyabileceği yükün azaltılmasının en önemli nedenlerinden biri kazıklar ile aralarındaki zeminin oluşturduğu bloğun oturmasıdır. Şekilde de yükün alt seviyelerine aktarılmasında kazıklar ile bunlar arasındaki zeminin tek bir kütle olarak etkilediği kabul edilmektedir. Bu durumda zemin bloğu, çevresi boyunca bir sürtünme mukavemetine maruz kalmaktadır.

Kazık uçları seviyelerindeki zemine aktarılan yük, temelin taşıdığı yükten blok çevresinde etkiyen kayma mukavemetinin çıkarılmasına eşittir.

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



Şekil.5.5. Kohezyonlu zeminde yüzen kazıklar

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

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

Yukarıda verilen ifadede kullanılan c' nin değerinin seçilmesi bir kabul işidir. Ekseriye normal deneylerden elde edilen kohezyona eşit veya ondan bir miktar ufak alınır. Kohezyonlu zeminlere çakılan kazıkların meydana getirdiği yoğurma

genellikle zemin özelliklerini büyük miktarda değiştirir. akılmış bir kazığın çekilmesi için gerekli kuvvetin ölçülmesinden, bu değişmiş kohezyon mukavemeti hakkında bazı fikirler edinilebilir. Zamanın tesiri önemlidir. akılmanın hemen sonrasındaki mukavemet çakılma bittikten bir müddet sonra olandan çok daha az olabilir.

5.4.2. Oturma kriteri

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

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

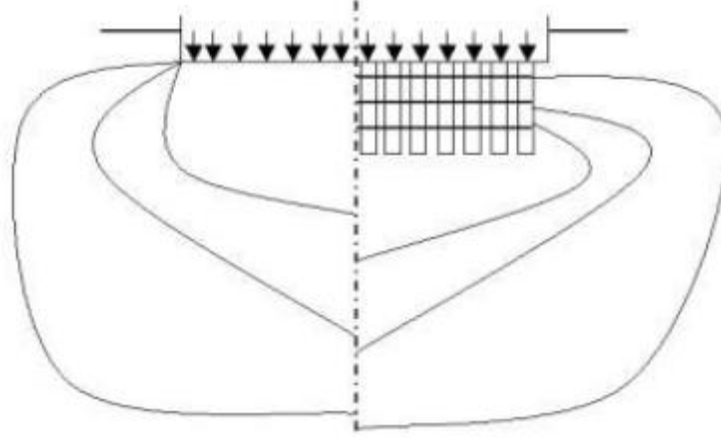
Bu sebepten, belli bir oturma için hesaplanan tekil bir kazığa ait emniyet yükünün, bir kazık gurubunun yük/oturma bağıntısıyla az bir ilgisi vardır. Dahası bir sürtünme kazığı boyunca yük, iyi bir şekilde dağılır ve zeminde meydana gelen en yüksek gerilme normal bir sömelden doğandan daha az olabilir.

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

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

5.4.3. Kazık guruplarının emniyetli taşıma gücü

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



Şekil 5.6. Kazıklı temeller altında basınç soğanları

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

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

5.4.4. Yüzen kazık temeller

Kazıklı temeller, zayıf temel zemini için her zaman bir çözüm olamazlar. Çok sıkışabilir ve zayıf bir zemin üstündeki tabaka ağırlıklarının bir kısmının kaldırılması ile dış yükleri taşıyabilecek duruma getirilebilir. Toplam dengelenme

durumunda kazılan toprak ağırlığı yapının toplam ağırlığına eşit olacak derinliğine kadar zemin kütlesi kazılır ve yerine rijit bir kutu temel inşa edilir. Bu durumda yapı ağırlığının tam olarak hesaplanabilmesi halinde yapı ile çevresindeki zemin arasındaki farklı oturma meydana gelmeyecek veya çok az gelecektir. Bu şekilde toplam dengelenme her zaman sağlanamaz. Bu bakımdan kısmi dengelenme durumu ile karşılaştırılır. Bu dengelenmede yapı yükünün bir kısmı kazılan zemin ağırlığı ile karşılanır ve bir miktar oturmanın meydana gelmesi kabul edilir. Bu oturma, yapı yüküyle kazılan toprak ağırlığı arasındaki farktan ileri gelir. Böyle durumlarda bile oturmalar, Gonzales Flores tarafından geliştirilen ve Mexico City'deki yapılarda kullanılan kontrol kazıkları gibi önlemlerle durdurulabilir.

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

6. KAZIK TEMEL TASARIMINA AİT DİNAMİK UYGULAMALAR

Bu tasarımda suya doygun kil zeminlerde 4 farklı zemin türünde (Çok Yumuşak kil ($c_u=10\text{kN/m}^2$), Yumuşak kil ($c_u=20\text{kN/m}^2$), Orta Sert kil ($c_u=40\text{kN/m}^2$), Sert kil ($c_u=80\text{kN/m}^2$)) 3 farklı kazık çapı ile (0,60m), (0,80m) ve (1,00m) sürtünme kazıklarının 5 (Mw5), 6 (Mw6) , 7,10 (Mw7), 7,9 (Mw8) büyüklüğündeki dört depremde yaptıkları oturmalar Plaxis programıyla belirlenmiştir. Daha sonra kazıklara bu yer değiştirmeleri yaptıracak statik yükler çeşitli hesap yöntemleriyle (Vesic, Meyerhof, Janbu, (SPT-N)),Sürtünme kuvveti,kazık grubunun oturması,grup oturmasından tekil kazıkların oturmaları bulunmuştur.

6.1 Hesaplarda Kullanılan Malzemelere Ait parametreler

Bu bölümde, Plaxis programında ve çeşitli yöntemlerle yapılan hesaplamalar için kullanılan parametreler Çizelgeler halinde belirtilmiştir. Hesaplarda kullanılan zeminin ve kazık temellerin özellikleri sırasıyla Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2 ile verilmiştir. Deprem ivme kayıtları Çizelge 6.3'de verilmiş olup Uscs strong motion (smc) formatında veriler kullanılmıştır.

Çizelge 6.1: Hesaplarda kullanılan zemin özellikleri (Das 1984)

Çok Yumuşak kil $q_u=20 \text{ kN/m}^2$ $c_u=10 \text{ kN/m}^2$	Yumuşak kil $q_u=40 \text{ kN/m}^2$ $c_u=20 \text{ kN/m}^2$	Orta Sert kil $q_u=80 \text{ kN/m}^2$ $c_u=40 \text{ kN/m}^2$	Sert kil $q_u=160 \text{ kN/m}^2$ $c_u=80 \text{ kN/m}^2$
SPT(N= 1)	SPT (N= 4)	SPT(N= 8)	SPT (N= 16)
Elastisite Modülü 4560 kN/m^2	Elastisite Modülü 6560 kN/m^2	Elastisite Modülü 8970 kN/m^2	Elastisite Modülü 13110 kN/m^2
Poisson oranı $\nu =0,2$	Poisson oranı $\nu =0,2375$	Poisson oranı $\nu =0,275$	Poisson oranı $\nu =0,35$
$\gamma_{\text{doygun BHA}}$ $\gamma_{\text{doy}}=18 \text{ kN/m}^2$	$\gamma_{\text{doygun BHA}}$ $\gamma_{\text{doy}} =18,5 \text{ kN/m}^2$	$\gamma_{\text{doygun BHA}}$ $\gamma_{\text{doy}} =19,36 \text{ kN/m}^2$	$\gamma_{\text{doygun BHA}}$ $\gamma_{\text{doy}} =20,05 \text{ kN/m}^2$
$\gamma_{\text{kuru BHA}}$ $\gamma_k=12 \text{ kN/m}^2$	$\gamma_{\text{kuru BHA}}$ $\gamma_k =14,5 \text{ kN/m}^2$	$\gamma_{\text{kuru BHA}}$ $\gamma_k =16 \text{ kN/m}^2$	$\gamma_{\text{kuru BHA}}$ $\gamma_k =17 \text{ kN/m}^2$
su muhtevası $w = \%50$	su muhtevası $w = \%30$	su muhtevası $w = \%21$	su muhtevası $w = \%21$
boşluk oranı $e =1,3$	boşluk oranı $e =0,9$	boşluk oranı $e =0,75$	boşluk oranı $e =0,6$
Permeabilite katsayısı $k_x, k_y=10^{-7}, 10^{-8}$	Permeabilite katsayısı $k_x, = 5 \times 10^{-8}$ $k_y =5 \times 10^{-9}$	Permeabilite katsayısı $k_x, k_y= 7 \times 10^{-8}$	Permeabilite katsayısı $k_x, k_y=10^{-9}$
Yatak katsayısı $k= 0,01 \text{ N/mm}^3$	Yatak katsayısı $k=0,0125 \text{ N/mm}^3$	Yatak katsayısı $k= 0,015 \text{ N/mm}^3$	Yatak katsayısı $k=0,02 \text{ N/mm}^3$

Çizelge 6.2. Hesaplarda kullanılan kazık temellerin özellikleri

Çap (D) (m)	0,6	0,8	1,0
Malzeme Modeli	Elastik	Elastik	Elastik
$L=L_b$ (m)	15	15	15
EA (kN/m)	$1,08 \times 10^7$	$1,92 \times 10^7$	$6,48 \times 10^8$
EI (kN/m ² /m)	$3,24 \times 10^5$	$1,02 \times 10^6$	$2,50 \times 10^6$
Poisson oranı ν	0,2	0,2	0,2
Alan (A)(m ²)	0,2827	0,5027	0,7854
w_{ort} (kN/m ²) $c_u=0,1$ kg/cm ²	3,48	4,64	5,8
w_{ort} (kN/m ²) $c_u=0,2$ kg/cm ²	3,3	4,4	5,5
w_{ort} (kN/m ²) $c_u=0,4$ kg/cm ²	2,78	3,72	4,64
w_{ort} (kN/m ²) $c_u=0,8$ kg/cm ²	2,37	3,16	3,95

Çizelge 6.3. Kazık-grubuna etkitilen dinamik kuvvetler

Dinamik kuvvetlerin sembolü	Mw=5	Mw=6	Mw=7	Mw=8
Magnitüd	4,7	6,0	7,2	7,9
Episantr mesafesi(km)	47,20	65,60	68,81	55,2
Meydana geldiği tarih	26 Mart 1992	1 Mayıs 2003	12 Kasım 1999	26 Aralık 1939
Meydana geldiği yer	ANTALYA TÜRKİYE	BİNGÖL TÜRKİYE	DÜZCE TÜRKİYE	ERZİNCAN TÜRKİYE

6.2. Tekil Kazıkların Taşıma Kapasitesi Hesapları

6.2.1. Killi Zeminde $c_u=0,1\text{kg/cm}^2$ 0,60 m Kazık İçin Uç Taşıma Kapasitesi Hesabı

Kazık grubu yüzen kazık olarak modellenmiştir. Bu yüzden uç taşıma gücü hesaplarda kullanılmamıştır. İzin verilebilir taşıma gücü yalnızca Sürtünme kuvvetinin güvenlik sayısına bölünmesi yardımıyla bulunmuştur. Burada hesaplanan uç taşıma kuvveti $\theta = 0^\circ$ olduğu için çok küçük değerler hesaplanmıştır. Kazığa yüklenen statik yük hesaplarda bulduğumuz izin verilebilir taşıma gücü olarak yüklenmiştir.

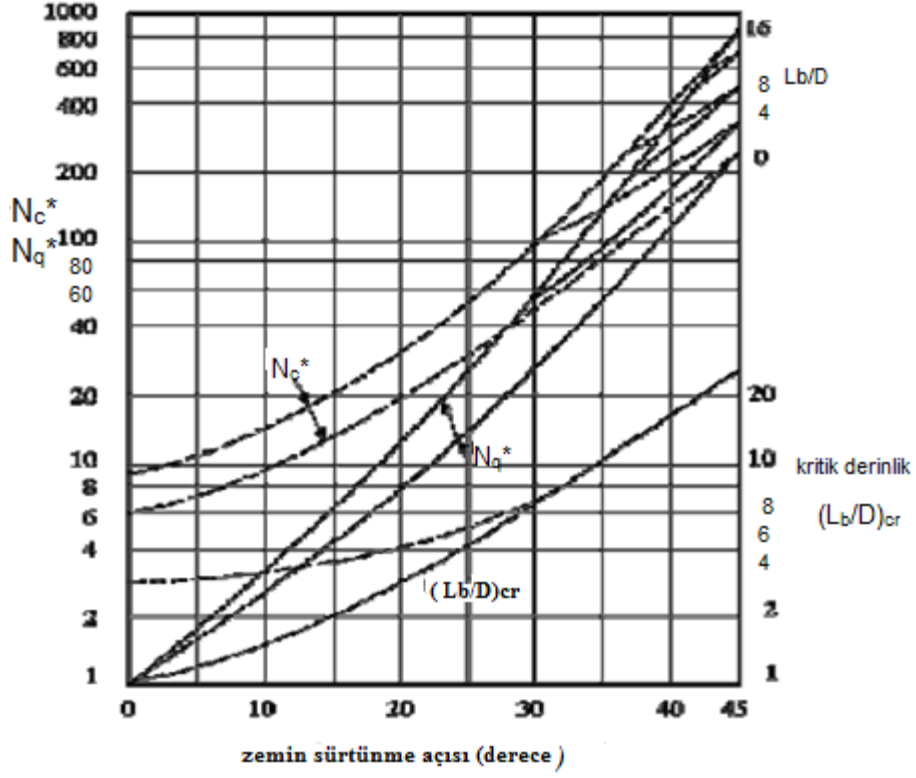
$$L = 15 \text{ m} \quad \theta = 5^\circ \quad \theta = 0^\circ \quad A_p = \pi \cdot D^2/4 = 0,2827$$

$$D = 0,60 \text{ m} \quad c_u = 10,00 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p' = 18,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,5 \text{ m} + (18,0 \text{ kN/m}^3 - 9,81 \text{ kN/m}^3) \cdot 14,5 \text{ m} = 127,755 \text{ kN/m}^2$$

a) Meyerhof Metodu

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



Şekil 6.1. Çeşitli zemin sürtünme açıları için kritik gömü oranı ve taşıma kapasitesi faktörleri, (Meyerhof, 1976)

$$L_b/D = 15/0,60 = 25 \quad \text{Şekil.6.1'den; } \phi = 5^\circ \quad N_q^* = 1,8 \quad N_c^* = 11$$

$$\phi = 0^\circ \quad N_q^* = 1 \quad N_c^* = 9$$

$$Q_p = 0,2827 \cdot (10 \cdot 9 + 127,755 \cdot 1) = 61,55 \text{ kN } (\phi = 0^\circ)$$

$$Q_p = 0,2827 \cdot (10 \cdot 11 + 127,755 \cdot 1,8) = 96,106 \text{ kN } (\phi = 5^\circ)$$

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

$$q_l = 50 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi = 50 \cdot 1,5 \cdot \tan 5^\circ = 6,561 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot q_l = 0,2827 \cdot 6,561 = \mathbf{1,854 \text{ kN}}$$

$$A_p \cdot q_p < A_p \cdot q_l \text{ olması gerekir; } 1,854 < 96,106 \quad \mathbf{Q_p = 1,854 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{Q_p = N_c \cdot c_u \cdot A_p = 9c_u \cdot A_p = 50,886 \text{ kN}} \quad (\phi = 0 \text{ için doymun killerde})$$

SPT N Degerlerine Göre;

$$q_p = 40 \cdot N \cdot (L/D) \leq 400N \quad N = 1$$

$$Q_{p \text{ ult}} = A_p \cdot q_p = 0,2827 \cdot 40 \cdot 1 \cdot 25 = \mathbf{282,7 \text{ kN}}$$

$$\text{Limit Degeri; } Q_p = A_p \cdot 400N = 0,2827 \cdot 400 \cdot 1 = \mathbf{113,08 \text{ kN}}$$

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

$$\mathbf{113,08 < 282,7} \quad \mathbf{Q_p = 113,08 \text{ kN}}$$

b) Hansen Metodu

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

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} L/B = 1,22 \quad \text{Çizelge 3.2. 'den } N'_q = 1,60$$

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

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

$$Q_p = 0,2827 \cdot (10 \cdot 6,49 \cdot 1,61 + 1 \cdot 127,755 \cdot 1,6 \cdot 1,22 + 0,5 \cdot (18,0 - 9,81) \cdot 0,60 \cdot 0,1)$$

$$Q_p = \mathbf{100,179 \text{ kN}}$$

c) Vesic Metodu

N_{σ}^* ve N_c^* değerlerine göre; (ağırlığa bağlı katsayı ihmal edilmiştir.)

Çizelge 3.1 'den; $I_{rr} = I_r = 60$ $\theta = 5^\circ$ $N_{\sigma}^* = 2,16$ $N_c^* = 13,30$

$\theta = 0^\circ$ $N_{\sigma}^* = 1$ $N_c^* = 9,36$

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

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

$$\sigma_o' = 135,26 \cdot (1 + 2 \cdot 0,913) / 3 = 127,42$$

$$Q_p = 0,2827 \cdot (10 \cdot 13,30 + 127,42 \cdot 2,16) = \mathbf{115,61 \text{ kN}} \quad (\theta = 5^\circ)$$

$$Q_p = 0,2827 \cdot (10 \cdot 9,36 + 127,755 \cdot 1) = \mathbf{62,577 \text{ kN}} \quad (\theta = 0^\circ)$$

d) Terzaghi Metodu

$$Q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c \cdot s_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot N_{\gamma} \cdot s \cdot \gamma) \quad \theta = 5^\circ; \quad \text{Çizelge 3.2 'den; } N_q = 1,60$$

$$N_c = 7,30$$

$$N_{\gamma} = 0,50$$

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

$$Q_p = 0,2827 \cdot (10 \cdot 7,30 \cdot 1,3 + 127,755 \cdot 1,60 + 0,5 \cdot (18,0 - 9,81) \cdot 0,60 \cdot 0,50)$$

$$Q_p = \mathbf{84,755 \text{ kN}}$$

e) Janbu Metodu

$$Q_p = A_p \cdot (c \cdot N_c \cdot dc + \eta \cdot q \cdot N_q^1 \cdot dq + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B_p \cdot N_\gamma)$$

$$\phi = 5^\circ; \Psi = 75^\circ; \quad \text{Çizelge 3.2 'den; } N_q = 1,50$$

$$\text{Hansen Metodu'ndan; } dq = 1,22 \quad N_c = 6,5$$

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

$$\phi = 0^\circ; \Psi = 75^\circ \quad N_q^* = 1 \quad N_c^* = 6$$

$$Q_p = 0,2827 \cdot (10 \cdot 6,5 \cdot 1,61 + 1 \cdot 127,755 \cdot 1,50 \cdot 1,22 + 0,5 \cdot (18,0 - 9,81) \cdot 0,60 \cdot 0,1)$$

$$Q_p = \mathbf{95,81 \text{ kN}} (\phi = 5^\circ)$$

$$Q_p = 0,2827 \cdot (10 \cdot 6 \cdot 1,61 + 1 \cdot 127,755 \cdot 1 \cdot 1,22 + 0,5 \cdot (18,0 - 9,81) \cdot 0,60 \cdot 0,1)$$

$$Q_p = \mathbf{71,52 \text{ kN}} (\phi = 0^\circ)$$

Çizelge.6.4 Killi zeminde $c_u=10\text{kN/m}^2$ 0,60 m kazık için uç taşıma kapasitesi dizayn değeri

Kullanılan Metotlar	Uç Direnci $Q_p(kN)$	Ortalama Uç Değeri (kN) =$Q_{p\text{ortalama}}$
Meyerhof	96,10	100,8
SPT (N)	113,0	
Hansen	100,1	
Vesic	115,6	
Terzaghi	84,15	
Janbu	95,80	

0.6 m kazık $(100,823 + 399,45)/G_s = 3$ iz verilen =166.75kN

Yüzen kazık grubu olarak hesaplanırsa uç taşıma değeri göz önüne alınmadan sürtünme mukavemeti ile oluşan taşıma gücünün güvenlik sayısına bölünmesi sonucu

$c_u = 10 \text{ kN/m}^2$ 0,6 m kazık için izin verilebilir taşıma gücü: 133,15 kN =13,6 ton

Kazık grubuna statik olarak etkiyen yük 13,6 ton alınmıştır.

0.8m kazık $(171,298 + 630,45) / G_s = 3$ iz verilen =267,25kN

Yüzen kazık grubu olarak hesaplanırsa uç taşıma değeri göz önüne alınmadan sürtünme mukavemeti ile oluşan taşıma gücünün güvenlik sayısına bölünmesi sonucu

$c_u = 10 \text{ kN/m}^2$ 0,8 m kazık için izin verilebilir taşıma gücü: 210,15 kN =21,45 ton

Kazık grubuna statik olarak etkiyen yük 21,45 ton alınmıştır.

1 m kazık $(278,44 + 897,714) / G_s = 3$ iz verilen =392,05 kN

Yüzen kazık grubu olarak hesaplanırsa uç taşıma değeri göz önüne alınmadan sürtünme mukavemeti ile oluşan taşıma gücünün güvenlik sayısına bölünmesi sonucu

$c_u = 10 \text{ kN/m}^2$ 1,0 m kazık için izin verilebilir taşıma gücü: 300 kN =30,6 ton

Kazık grubuna statik olarak etkiyen yük 30,6 ton alınmıştır.

Hesapların kolayca yapılabilmesi için uç taşıma gücünü ve sürtünme kuvvetini hesaplamak için bir program yardımı ile hesaplanmıştır. Eşdeğer statik yük hesaplama programı yardımıyla uç direnci, sürtünme direnci buna bağlı taşıma gücü hesabı yapılmıştır.

Şekil 6.2. Eşdeğer statik yük hesaplama programı yardımı ile uç direnci ve sürtünme direnci taşıma gücü hesaplanması

İZİN VERİLEBİLİR TAŞIMA GÜÇLERİ

$$c_u = 10 \text{ kN/m}^2$$

Güvenlik sayısı G.S.=3 alınıp hesap yapılmıştır.

$$0.6 \text{ m kazık : } (399,45 \text{ kN}/3) \quad Q_a = 133,15 \text{ kN } (c_u = 10 \text{ kN/m}^2)$$

$$0.8 \text{ m kazık } (630,45 \text{ kN}/3) \quad Q_a = 210,15 \text{ kN } (c_u = 10 \text{ kN/m}^2)$$

$$1 \text{ m kazık } (897,714 \text{ kN}/3) \quad Q_a = 299,05 \text{ kN } (c_u = 10 \text{ kN/m}^2)$$

$$c_u = 20 \text{ kN/m}^2$$

$$0.6 \text{ m kazık : } (549,6 \text{ kN}/3) \quad Q_a = 183,2 \text{ kN } (c_u = 20 \text{ kN/m}^2)$$

$$0.8 \text{ m kazık } (630,45 \text{ kN}/3) \quad Q_a = 282,1 \text{ kN } (c_u = 20 \text{ kN/m}^2)$$

1 m kazık (1041,3kN/3) $Q_a = 347,1 \text{ kN}$ ($c_u = 20 \text{ kN/m}^2$)

$c_u = 40 \text{ kN/m}^2$

0.6 m kazık : (811,5kN/3) $Q_a = 270,5 \text{ kN}$ ($c_u = 40 \text{ kN/m}^2$)

0.8m kazık (1225kN/3) $Q_a = 408,3 \text{ kN}$ ($c_u = 40 \text{ kN/m}^2$)

1 m kazık (1710kN/3) $Q_a = 570 \text{ kN}$ ($c_u = 40 \text{ kN/m}^2$)

$c_u = 80 \text{ kN/m}^2$

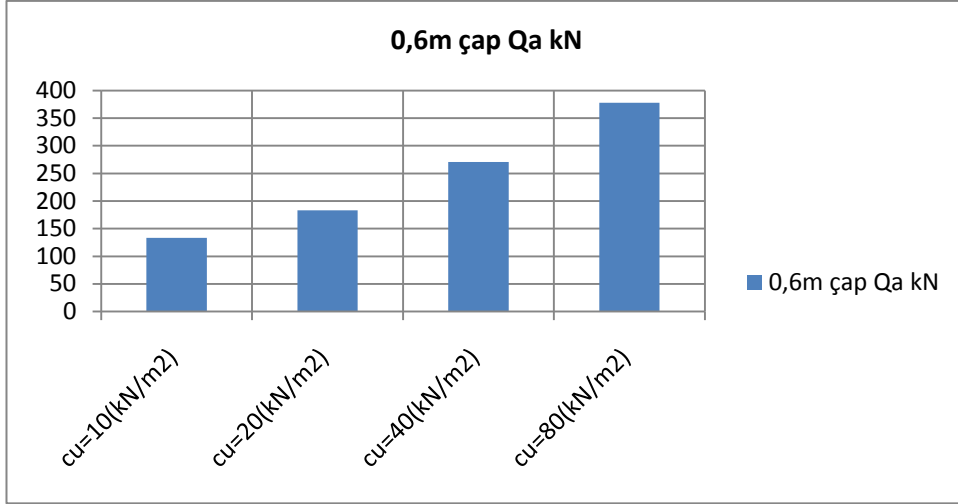
0.6 m kazık : (1133kN/3) $Q_a = 377,6 \text{ kN}$ ($c_u = 80 \text{ kN/m}^2$)

0.8m kazık (1710kN/3) $Q_a = 570 \text{ kN}$ ($c_u = 80 \text{ kN/m}^2$)

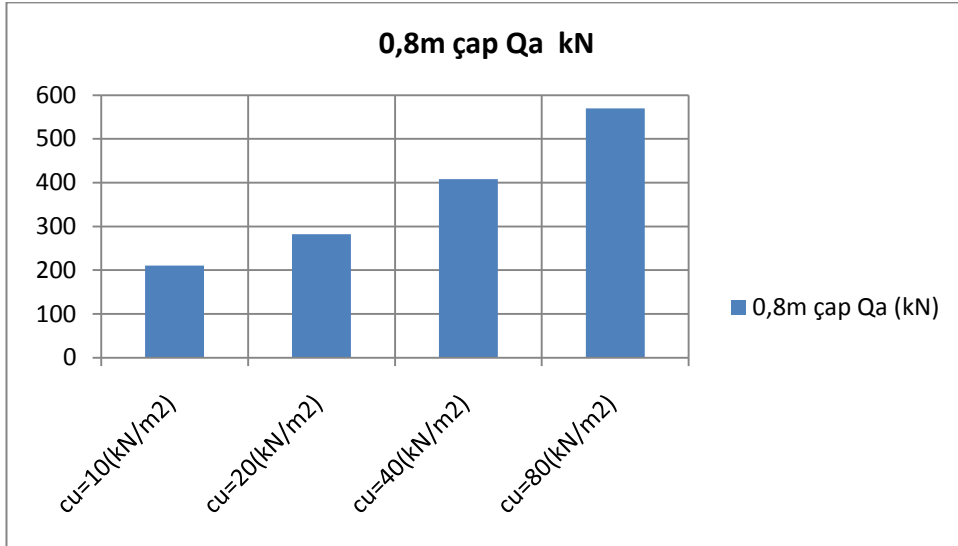
1 m kazık (2387kN/3) $Q_a = 795,6 \text{ kN}$ ($c_u = 80 \text{ kN/m}^2$)

Çizelge 6.5.Taşıma gücü hesap Çizelgesi

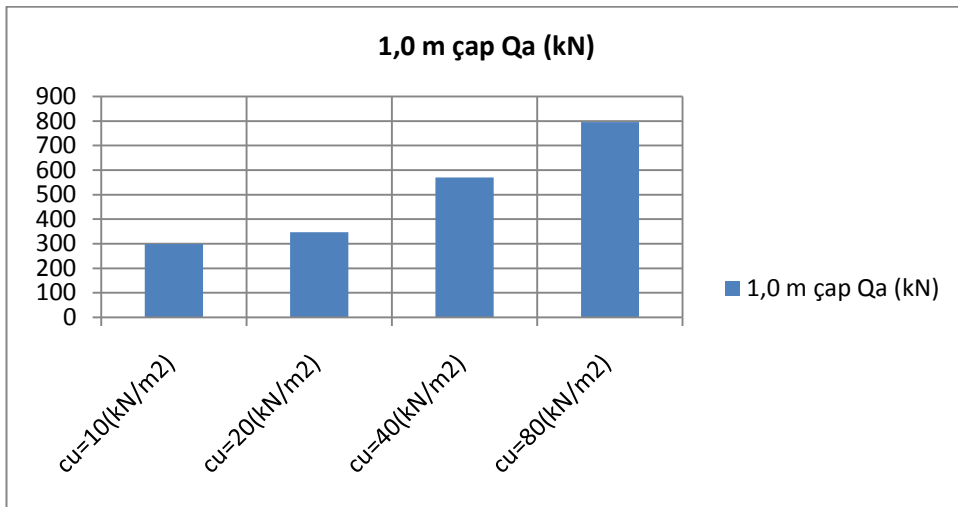
Zemin mukavemeti $C_u(kN/m^2)$	Kazık çapı (D) m	Uç taşıma gücü (Q_u) kN	Sürtünme taşıma gücü (Q_s)kN	İzin verilebilir taşıma gücü (Q_a) kN
10	0,6	100,82	399,45	133,15
10	0,8	171,29	630,45	210,15
10	1	278,44	897,71	299,05
20	0,6	180,97	549,61	183,2
20	0,8	332,38	846,23	282,1
20	1	516,92	1041,39	347,1
40	0,6	320,02	811,52	270,5
40	0,8	564,31	1225,01	408,3
40	1	853,30	1710,44	570
80	0,6	539,63	1133,05	377,6
80	0,8	931,00	1710,2	570
80	1	1454,57	2387,11	795,6



Şekil 6.3. 0,6 m çap için zemin mukavemetine göre müsaade edilebilir taşıma güçleri



Şekil 6.4. 0,8 m çap için zemin mukavemetine göre müsaade edilebilir taşıma güçleri



Şekil 6.5. 1,0 m çap için zemin mukavemetine göre müsaade edilebilir taşıma güçleri

6.3. Tekil Kazıkların ve Kazık-Grubu Sistemlerinin Belirlenen İzin Verilebilir Taşıma gücü altında düşey Deformasyon (Oturma) Hesapları

6.3.1 Killi Zeminde $c_u=0,1\text{kg/cm}^2$ 0,60 m Kazık İçin Elastik Oturma

$$Q_u=133,15 \text{ kN izin verilebilir taşıma gücü} \quad Q_u= Q_{wp} + Q_{ws}$$

$$Q_{wp}=26,85 \text{ kN uç mukavemeti ile karşılanan taşıma gücü}$$

$$Q_{ws}=106,3 \text{ kN sürtünme ile karşılanan taşıma gücü}$$

$$\xi = 0,67$$

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

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

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

$$q_{wp}=Q_{wp}/A_p=26,85/0,2827=94,9 \text{ kN/ m}^2$$

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

$$C_s=(0,93+0,16\sqrt{(15/0,6)})C_p=0,0865$$

$$s_1=(26,85 +0,67 \times 106,3 \times 0,2827 \cdot 1,08 \times 10^7) \times 15 =0,6\text{mm}$$

$$s_2=(26,85 \times 0,05)/(0,6 \times 94,9)= 23,55\text{mm}$$

$$s_3=(106,3 \times 0,0865)/(15 \times 94,9)= 6,45\text{mm}$$

$$S=s_1+ s_2+ s_3 \quad S= 0,6\text{mm} + 23,55\text{mm} +6,45\text{mm} \quad S= 30,6\text{mm}$$

Eşdeğer Statik Yük Hesaplama

ZEMİN MUKAVEMETİ:	KAZIK ÇAPI:	DEPREM BOYKLOĞU:
cu=0.1 kg/cm ²	0.6 m	Mw=5
cu=0.2 kg/cm ²	0.8 m	Mw=6
cu=0.4 kg/cm ²	1.0 m	Mw=7
cu=0.8 kg/cm ²		Mw=8

EŞDEĞER STATİK YÜK: 178.87 ton

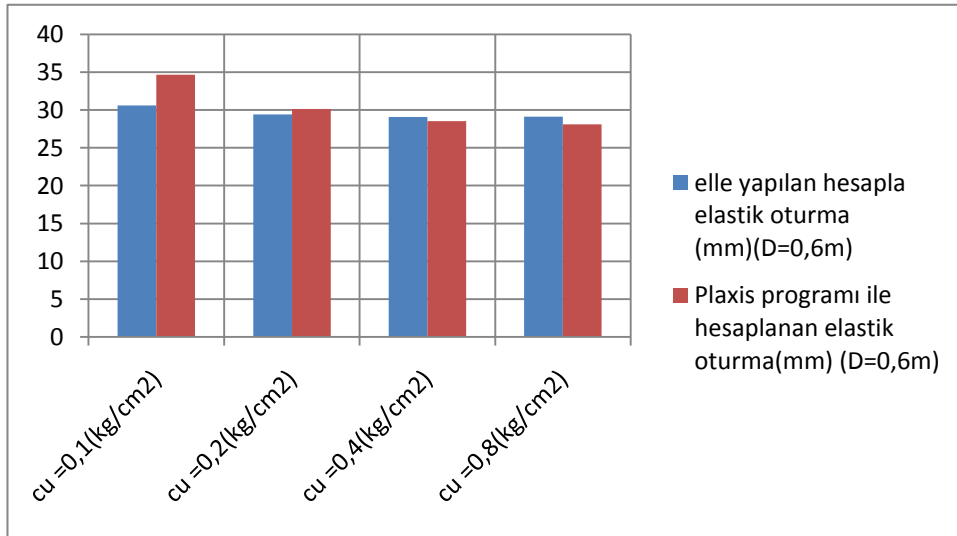
YÜZDE ARTIŞ: 674.9 %

HESAPLA

Dinamik Analiz Sonucu	Statik Yüklere Etkisi Sonucu
Tekil Kazığa Düşen Düşey Deformasyon: 522.56 mm	Tekil Kazığın Düşey Deformasyonu: 41.72 mm

Şekil 6.6 Eşdeğer statik yük hesaplama programı yardımı ile statik yükler etkisi ile tekil kazığın düşey deformasyonu (elastik oturma)

Suya doymuş kil zeminlerde kazıklara etkileyen statik yükler hesaplanmıştır. Elle yapılan hesaplarla program hesapları karşılaştırılmıştır. Program ile aynı sonuçlar bulunmuştur. Bulunan statik yükler için kazıklara ait elastik oturmalar hesaplanmıştır. Hesapların tamamı çözülmüştür ancak örnek olarak bir modelin çözümü elle yapılmıştır. Elle yapılan hesap ve Plaxis programı ile kıyaslama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar arasında çok küçük farklılıklar bulunmaktadır.



Şekil 6.7 Plaxis programı ve elle hesap yardımıyla elastik oturmalarının karşılaştırılması (D=0,6m)

Çizelge 6.6. Plaxis programı yardımıyla yapılan hesapta tekil kazığın statik yükler altında Elastik Oturması ve Elle yapılan hesaplarda Tekil kazığın statik yükler altında Elastik Oturması karşılaştırması

Zemin Mukavemeti $c_u=(\text{kg}/\text{cm}^2)$	Tekil kazığın Elastik oturması (mm)					
	Kazık Çapı (m) 0,6		Kazık Çapı (m) 0,8		Kazık Çapı (m) 1	
	Plaxis hesap	Elle hesap	Plaxis hesap	Elle hesap	Plaxis hesap	Elle hesap
0,1	34,64 mm	30,6 mm	41,7 mm	41,72 mm	56,45 mm	52,38 mm
0,2	30,12 mm	29,4 mm	34,01 mm	38,77 mm	44,83 mm	47,62 mm
0,4	28,54 mm	29,09 mm	32,96 mm	38,05 mm	43,92 mm	47,82 mm
0,8	28,1 mm	29,1 mm	30,4 mm	37,4 mm	41,08 mm	46,5 mm

7. PLAXİS PROGRAMI İLE SİSTEM MODELLEMESİ VE ÇÖZÜMLERİ

7.1. Belirlenen Düşey Statik Yükler ve Dinamik Etkiler Altında Plaxis Programından Elde Edilen Veriler

Bu bölümde, bölüm 6'da belirlenen izin verilebilir taşıma gücü statik düşey yükler olarak Plaxis programında kazıklara yüklenmiştir. Bu düşey yükler ve sırasıyla Mw5, Mw6, Mw7, Mw8 depremleri etkisinde kazık grupları çözümlenmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 7.1'de verilmiştir.

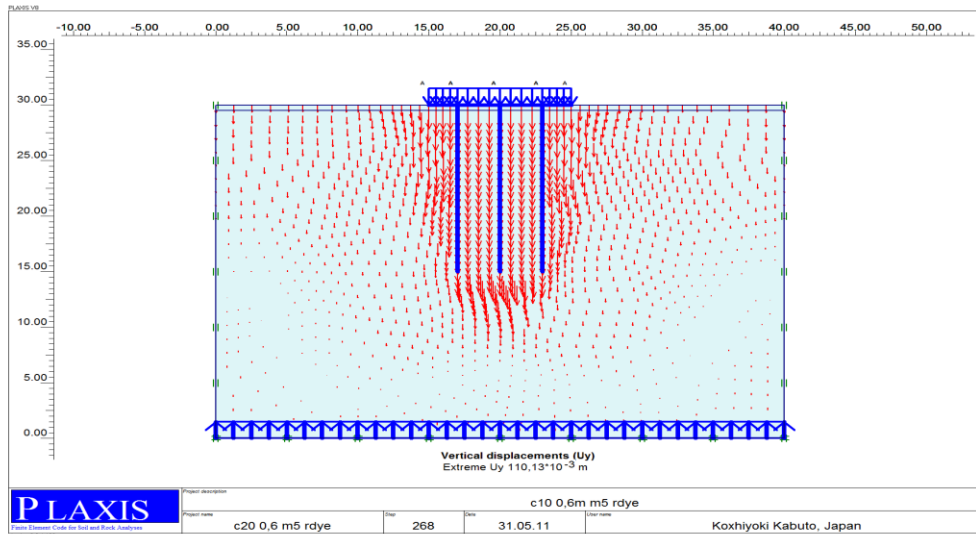
Çizelge 7.1 Plaxis programı kullanılarak ve çeşitli yöntemlerle çözüm yapılarak sisteme etkitilen yükler ve bu yüklerle bağlı olarak sistemin yaptığı düşey deformasyonlar

Zemin mukavemeti ($c_u=kN/m^2$)	Kazık çapı (D)m	Magnitüd (Mw)	Kazık grubu düşey deformasyon (mm)	Kazık grubu yatay deformasyon (mm)	Kazık grubundan tek kazığa düşen düşey deformasyon (mm)
10	0,6	5	106	26,47	44,32
		6	134,47	55,3	97,44
		7	613,25	57,63	444,38
		7,9	865,19	59,98	626,95
	0,8	5	73,75	30,57	44,16
		6	134,47	63,19	80,52
		7	872,68	67,79	522,56
		7,9	1027	84,1	614,97
	1,0	5	109,44	39,05	55,84
		6	198,23	77,17	101,14
		7	873,15	78,32	445,48
		7,9	1183	95,32	603,57
20	0,6	5	72,14	33,67	52,28
		6	166,53	68,92	120,67
		7	774	78,47	560,87
		7,9	892,6	85,2	646,81
	0,8	5	65,97	32,47	39,50
		6	147,10	58,6	88,08
		7	502,02	60,63	300,61
		7,9	577,60	65,4	345,87
	1,0	5	63,52	33,57	32,41
		6	148,30	68,19	75,66
		7	592,39	71,4	302,24
		7,9	602,90	84,2	307,60
40	0,6	5	89,26	44,05	64,68
		6	218,34	77,17	158,22
		7	494,14	78,32	358,07
		7,9	529,58	95,32	383,75

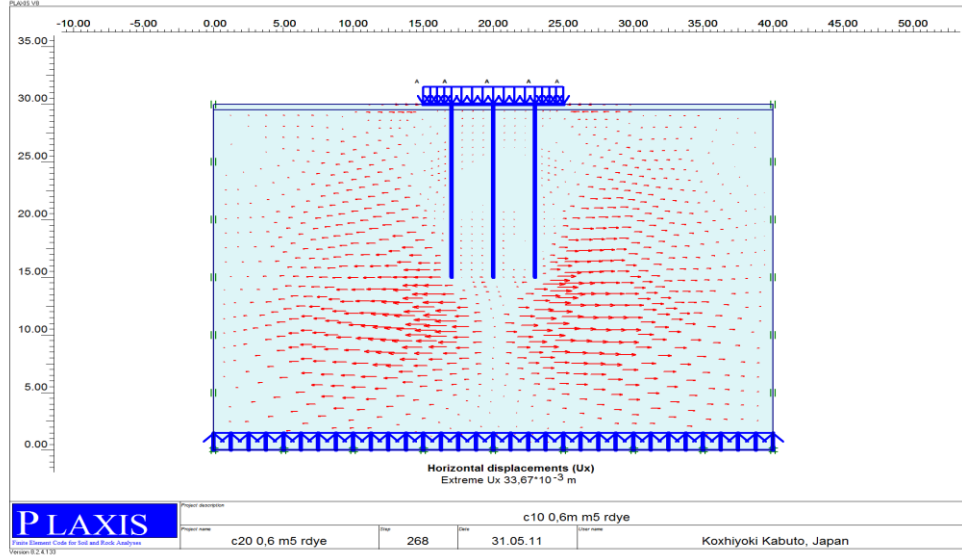
40	0,8	5	99,93	33,67	59,84
		6	169,54	68,92	101,52
		7	455,00	78,47	272,46
		7,9	557,00	85,2	333,53
	1,0	5	107,75	26,47	54,98
		6	147,83	55,3	75,42
		7	407,98	57,63	208,15
		7,9	585,92	59,98	298,94
80	0,6	5	100,79	30,57	73,03
		6	142,77	63,19	103,46
		7	502,02	67,79	363,78
		7,9	582,24	84,1	421,91
	0,8	5	97,99	39,05	58,68
		6	141,21	67,2	84,56
		7	472,50	75,4	282,93
		7,9	550,20	89,3	329,46
	1,0	5	97,56	25,9	49,77
		6	207,66	45,5	105,95
		7	458,31	47,3	233,83
		7,9	531,52	60,8	271,18

Çizelge 7.1 Plaxis programı kullanılarak ve çeşitli yöntemlerle çözüm yapılarak sisteme etkitilen yükler ve bu yüklerle bağlı olarak sistemin yaptığı düşey deformasyonlar (devamı)

NOT: Çizelgeden de görüleceği gibi yatay deformasyonlar düşey deformasyonlara oranla çok küçük olduğu için hesaplarda düşey deformasyonlar kullanılmış, yatay deformasyonlar için geri hesap yapılmamıştır. Ayrıca kazık grubuna düşen düşey deformasyondan tek kazığa düşen deformasyona geçiş Skempton yöntemi ile yapılmıştır. Plaxis Programı yardımıyla hesaplanan bir modele ait düşey ve yatay deformasyonlar Şekil 7.1 ve 7.2’de görülmektedir.



Şekil 7.1 Plaxis programı kullanılarak $c_u=0,1\text{kg/cm}^2$ 0,6m $M_w=5$ için düşey deformasyon



Şekil 7.2. Plaxis programı kullanılarak $c_u=0,1\text{kg/cm}^2$ 0,6m $M_w=5$ için yatay deformasyon

7.2 Dinamik Çözümler Sonucu Elde Edilen Düşey Deformasyonlardan Geri Hesap Yapılması Suretiyle Kazıklara Gelen Eşdeğer Düşey Statik Yüklerin Belirlenmesi

Sistem modellerinin tamamının çözümü elle yapılmıştır fakat tüm hesapların tekrar yazılması sonucu işlem fazlalığını azaltmak için tek bir modelin hesap yöntemi örnek olarak konulmuştur. Hesaplarda eşdeğer statik yük hesaplama programı kullanılmıştır. Programla ilgili bilgiler ek 1 bölümünde mevcuttur.

7.2.1 $c_u=10\text{kN/m}^2$ 0,6m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi için geri hesap

Bu modelde $c_u=10\text{kN/m}^2$ 0,6m kazığına uygulanan $M_w=5$ dinamik yüklemesi 0,6m kazığının düşey deformasyonu 3 kazıktan oluşan kazık grubu için bulunmuştur. Bu bölümde, 0,6 m kazığına bu düşey deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik düşey yükler hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken Q_{us} sürtünme direncinin, taşıma kapasitesi hesabında bulunan Q_s sürtünme direncine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

$c_u = 10 \text{ kN/m}^2$ 0,6m kazığının tekil oturması

Bu bölümde 3 kazıktan oluşan 0,6m kazık grubunun $M_w=5$ dinamik yüklemesi altında yaptığı grup oturmasından geri hesap yöntemiyle tekil kazığın oturması belirlenmiştir.

$$s_g(e) = s (4D+3/D+4)^2 = 10,6 \text{ cm}$$

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

$$s = ?$$

$$s_g(e) = s ((4 \times 0,6 + 3) / (0,6 + 4))^2 = 0,106 \text{ m} \quad s = 0,04432 \text{ m}$$

0,6m tekil kazığına etkiyen eşdeğer statik yük

Bu bölümde 0,6m tekil kazığına $s=0,04432$ m oturma yaptıracak eşdeğer statik yük belirlenmiştir. Oturma hesaplarında en büyük oturmanın s_2 olduğu görülüyor. Bu nedenle s_2 oturmasından başlanarak geri hesap yapılmış, s_1 ve s_3 oturmaları da sonraki adımlarda kontrol edilmiştir.

s_2 oturması

$$s_2 = (Q_{up} \cdot D) (1 - \mu s^2) I_{wp} / (A_p \cdot E_s) = 0,04432 \text{ m}$$

$$Q_{up} = ?$$

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

$$\mu s = 0,2$$

$$I_{wp} = \alpha r = 0,88$$

$$A_p = 0,283 \text{ m}^2$$

$$E_s = 463,8 \text{ t/m}^2$$

$$s_2 = (Q_{up} \times 0,6) (1 - 0,2^2) (0,88) / (0,283 \times 463,8) = 0,0443 \quad Q_{up} = 11,5 \text{ t}$$

s_1 oturması

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

$$Q_{up} = 11,5 \text{ t}$$

$$Q_{us} = Q_s = 399,45 \text{ kN} = 40,7 \text{ t}$$

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

$$\xi = 0,6$$

$$EA = 1,8 \times 10^6 \text{ t}$$

$$s_1 = (11,5 + 0,6 \times 40,7) (15) / (1,8 \times 10^6) = 2,993 \times 10^{-4} \text{ m}$$

s₃ oturması

$$s_3 = (Q_{us}) / (p \cdot L) (D/E_s) (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{us} = 40,7 \text{ t}$$

$$p = 1,885 \text{ m}$$

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

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

$$E_s = 463,8 \text{ t/m}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

$$I_{ws} = 3,75$$

$$s_3 = (40,7) / (1,885 \times 15) (0,6 / 463,8) (1 - 0,2^2) (3,75) = 1,436 \times 10^{-3} \text{ m}$$

s toplam oturması

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,0002993 + 0,0443 + 0,00143 = 0,0460 \text{ m} \approx 0,0462 \text{ m}$$

Bu durumda 0,6m kazığına uygulanan Mw=5 dinamik yüklemesi ile aynı düşey deformasyonu yaptıran eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up} = 11,5 \text{ t}$$

Kazık grubuna etkiyen toplam eşdeğer statik düşey yük:

$$Q_{up(g)} = 11,5 \times 3 = 34,5 \text{ t}$$

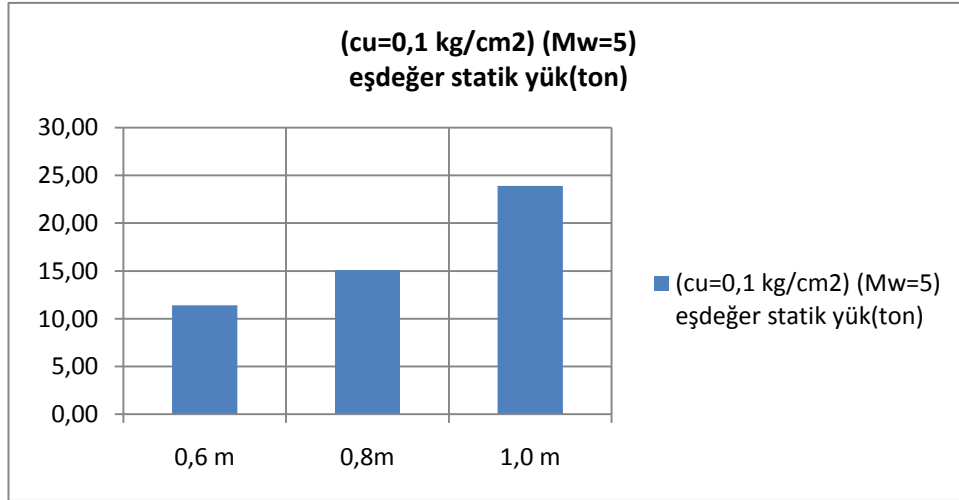
$c_u = 10 \text{ kN/m}^2$ için 3 farklı kazık çapı ve 4 ayrı deprem kaydı için bulunan eşdeğer statik yükler ve bunların kazıklara yüklenen statik yüklere göre % artış değerleri bulunmuştur.

Çizelge 7.2. $c_u=10 \text{ kN/m}^2$ için eşdeğer statik yük ve bunun % artış miktarı

Zemin mukavemeti $c_u=(\text{kN/m}^2)$	Kazık çapı (D) m	Deprem magnitud (Mw)	Eşdeğer statik yük(ton)	Statik yük (%artış)
		5	11,5	70,51
10	0,6	6	25,2	154,51
		7	113,9	698,35
		7,9	161	987,13
		5	14,5	54,71
10	0,8	6	24,85	93,76
		7	176,7	666,70
		7,9	208,5	786,69
		5	29,35	71,98
10	1,0	6	47,2	115,76
		7	186	456,17
		7,9	254	622,94

Statik yük artış= (eşdeğer statik yük/kazık taşıma gücü)*100

Statik yük artışının hesaplanması ile herhangi bir zemin türü veya kazık çapında deprem etkisinin hesaba katılması için gereken artış miktarını bulunur.



Şekil 7.3. $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ Mw=5 depreminde oluşan deformasyona göre hesaplanan eşdeğer statik yükler

Geri kalan zeminler ve onlara ait hesaplamaların hepsi yapılmıştır. Ancak burada bunların hepsine yer vermek yerine bunlara ait sonuçların

değerlendirilmesi daha fazla gereklidir. Ayrıca bütün hesaplar eşdeğer statik yük hesaplama programı yardımı ile hesaplanmıştır.

7.3. Dinamik Analiz Sonuçları

Bu bölümde, önceki bölümlerde elde edilen sayısal değerler, Çizelgeler ve grafikler vasıtasıyla özetlenmiş ve yorumlanmıştır. Dinamik kuvvetlerle aynı düşey deformasyonları yaptıran statik kuvvetler Çizelge 7.5 ile verilmiştir. Kazık gruplarına ilave olarak gelen yükler ise Çizelge 7.5’de verilmiştir. Çizelge 7.6 ise kazık gruplarında deprem nedeniyle oluşan yük artış yüzdelerini vermektedir.

Eşdeğer statik yük hesaplama için visual basic yardımıyla bir program yardımıyla çözümlenmiştir. Programın yapımı ile ilgili teknik kılavuz kısmından ek 1 bölümünde bahsedilmiştir.

ZEMİN MUKAVEMETİ:
cu=0.1 kg/cm²
cu=0.2 kg/cm²
cu=0.4 kg/cm²
cu=0.8 kg/cm²

KAZIK ÇAPİ:
0.6 m
0.8 m
1.0 m

DEPREM BOYUKLOĞU:
Mw=5
Mw=6
Mw=7
Mw=8

EŞDEĞER STATİK YÜK: 190.5 ton
YÜZDE ARTIŞ: 311.5 %

HESAPLA

Dinamik Analiz Sonucu
Tekil Kazığa Düşen Düşey Deformasyon: 272.45 mm

Statik Yükler Etkisi Sonucu
Tekil Kazığın Düşey Deformasyonu: 38.05 mm

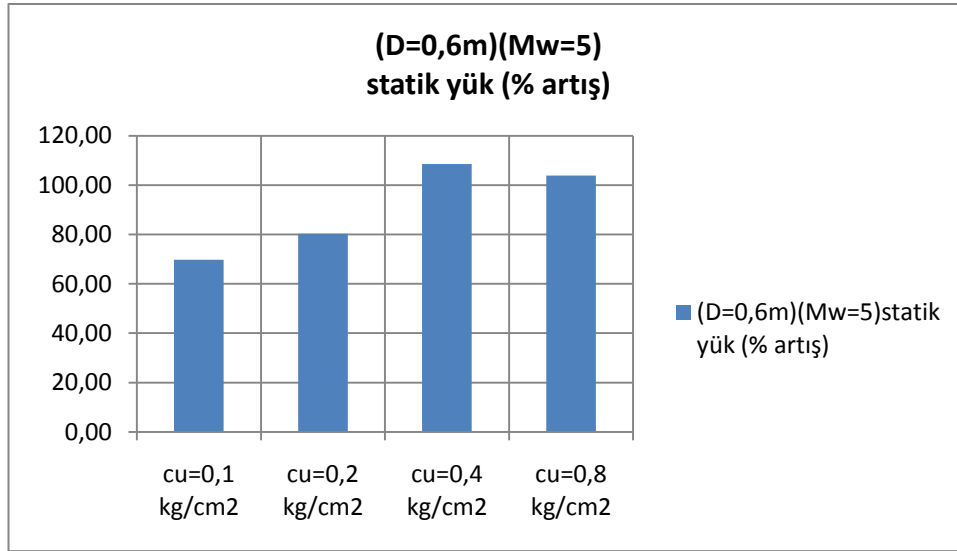
Uç Direnci Taşma Gücü + Sürtünme Direnci Taşma Gücü / 3 = TAŞIMA GÜCÜ
[564.3 KN + 1225.0 KN] / 3 = 596.43 KN

Şekil 7.4. Program sonuçlarının program arayüzünde görüntüsü

Örneğin 0,6m çaplı kazık için 4 farklı zeminde $M_w=5$ büyüklüğünde bir depremin meydana getirdiği etkiye ait Çizelge ve grafik şu şekildedir:

Çizelge 7.3. 0,6 m'lik kazıkların farklı zemin türünde aynı deprem şartıyla analiz sonuçları

Kazık Çapı (m)	($c_u=kN/m^2$)	Magnitüd (M_w)	Eşdeğer statik yük(ton)	Kazık grubu deformasyon(mm)	Eşdeğer statik yük(% artış)
0,6	10	5	11,5	44,32	70,51
	20	5	17,45	79,81	71,33
	40	5	30,75	64,68	79,38
	80	5	54,7	39,82	95,82



Şekil 7.5. 0,6 m'lik kazıkların farklı zemin türünde eşdeğer statik yük % artış

Örneğin bu çalışmada 0,6m'lik kazıklarda deprem etkisi sabit kaldığında zemin şartlarının yumuşaktan serteye doğru değişmesi durumunda eşdeğer statik yükte ve % artış miktarı da artmaktadır. Bundan da anlaşılacağı üzere zemin özelliklerindeki iyileşme orta şiddetteki deprem etkisinde zemine etkiyen kuvvetlerde artışa sebep olmaktadır. Aynı çapta daha büyük deprem etkilerinde durum farklıdır.

Çizelge 7.4. 0,6m kazık çapında Mw=7,9 büyüklüğünde zemin şartlarına bağlı eşd. Yük artışı

Kazık çapı (m)	Zemin mukavemeti $c_u=(kN/m^2)$	Deprem Magnitüd (Mw)	Eşdeğer statik yük (ton)	Statik yük (% artış)
0,6	10	7,9	161,8	992,03
	20	7,9	242	989,17
	40	7,9	258,6	745,70
	80	7,9	335	586,84

Çizelgeden de anlaşılacağı üzere kazık çapı sabit kalıp şiddetli deprem etkisi altında eşdeğer statik yükte artış olmasına rağmen taşıma gücüne oranla % cinsinden artış azalmaktadır. Bu şekilde farklı incelemelerle kazık çapı, deprem etkisi, zemin sınıfı şartları değiştirilerek birçok farklı sonuç ve bağıntı yapılabilir. Çalışmada 48 adet farklı model çözümü yapılmıştır. 3 kazıktan oluşan kazık grubu dışında tekil olarak da kazık modelleri çözülmüştür fakat tek kazıktan elde edilecek veriler sağlıklı olmayacağı için hesaplarda kazık grubu sonuçlarına göre hesap yapılmıştır.

Çizelge.7.5. Suya doymun kil zeminlerde kazıklara etkiyen dinamik yüklerin eşdeğer statik yükler cinsinden değerleri

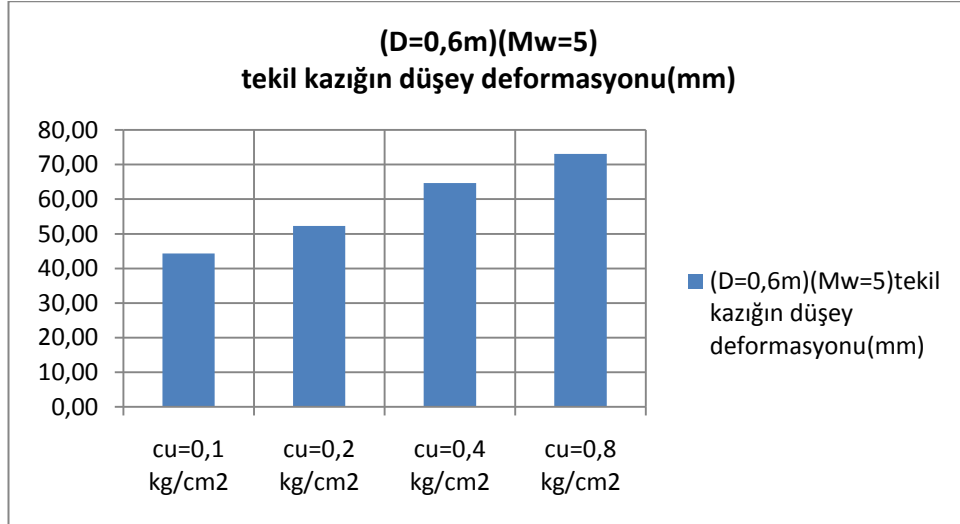
Zemin mukavemeti ($c_u=kN/m^2$)	Kazık çapı (D)m	Magnitüd (Mw)	Tekil kazığa düşen def.(mm)	Eşdeğer statik yük (ton)	Eşd.statik yük(% artış)
10	0,6	5	44,32	11,5	70,51
		6	97,44	25,22	154,63
		7	444,38	113,9	698,35
		7,9	626,95	161,8	992,04
	0,8	5	44,16	14,5	54,71
		6	80,52	24,85	93,76
		7	522,56	176,7	666,70
		7,9	614,97	208,5	786,69
10	1,0	5	55,84	29,35	71,98
		6	101,14	47,2	115,76
		7	445,48	186	456,17

10	1,0	7,9	603,57	254	622,94
20	0,6	5	79,81	17,45	71,33
		6	120,67	43,1	176,17
		7	560,87	210,05	858,58
		7,9	646,81	242	989,18
	0,8	5	21,54	15,4	38,74
		6	88,08	39,9	100,36
		7	300,61	147	369,76
		7,9	345,87	169,2	425,60
	1,0	5	22,2	13,76	25,96
		6	75,66	41	77,35
		7	302,24	184	347,12
		7,9	307,6	187	352,78
40	0,6	5	64,68	30,75	79,38
		6	158,22	80,4	207,56
		7	358,07	185,8	479,66
		7,9	383,75	198,6	512,70
	0,8	5	91,35	57,9	94,67
		6	101,52	64,6	105,62
		7	272,46	183,9	300,68
		7,9	333,53	227	371,15
	1,0	5	29,97	37,07	42,78
		6	75,42	55,2	63,71
		7	208,15	172,55	199,14
		7,9	298,94	250,66	289,29
80	0,6	5	39,82	54,7	95,82
		6	103,46	78,7	137,87
		7	363,78	290	508,02
		7,9	421,91	335	586,85
	0,8	5	40,2	52,23	58,22
		6	84,56	81	90,30
		7	354,72	294	327,74

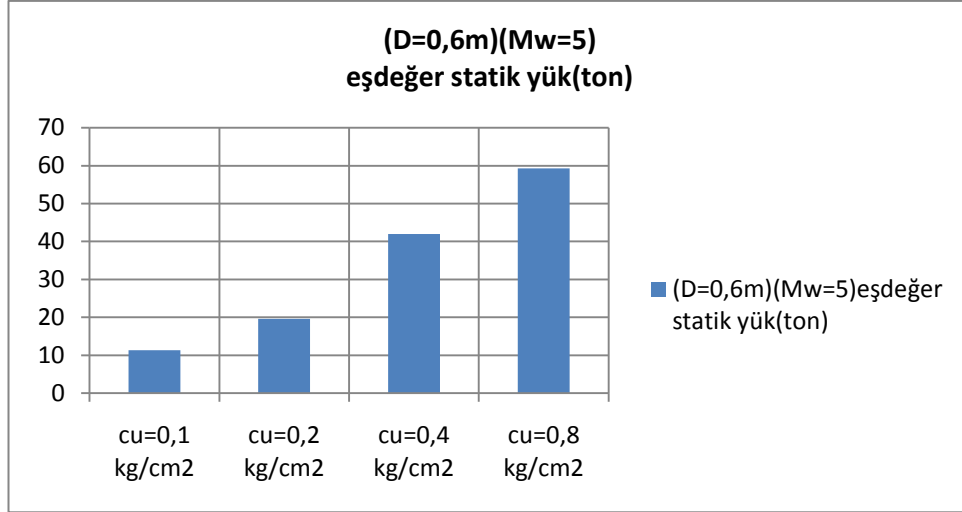
80	0,8	7,9	364,19	345	384,60
80	1,0	5	49,77	47,55	36,44
		6	105,95	127,5	97,72
		7	233,83	298,9	229,08
		7,9	271,18	349,6	267,94

Çizelge.7.5. Suya doymun kil zeminlerde kazıklara etkiyen dinamik yüklerin eşdeğer statik yükler cinsinden değerleri(devamı)

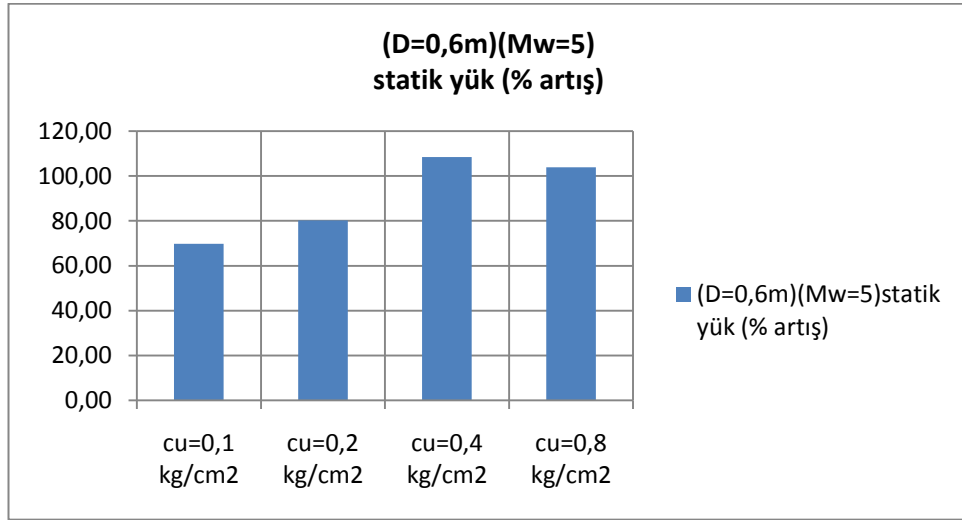
Örneğin bu model çalışmalarına ait grafiklerin farklı şekilde değerlendirilmesi mümkündür. Ancak bütün grafiklerin gösterilmesi yerine bu modellerden birkaçına ait grafikler şu şekildedir:



Şekil 7.6. 0,6 m'lik kazıkların farklı zemin mukavemetlerinde tekil kazığa düşen düşey deformasyonu (mm)

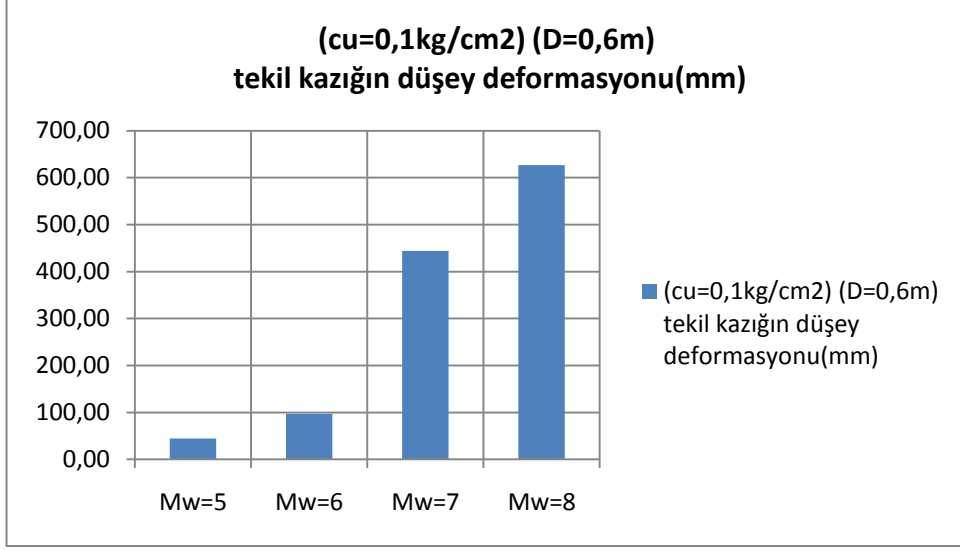


Şekil 7.7. 0,6 m'lik kazıkların farklı zemin mukavemetinde eşdeğer statik yük (ton)

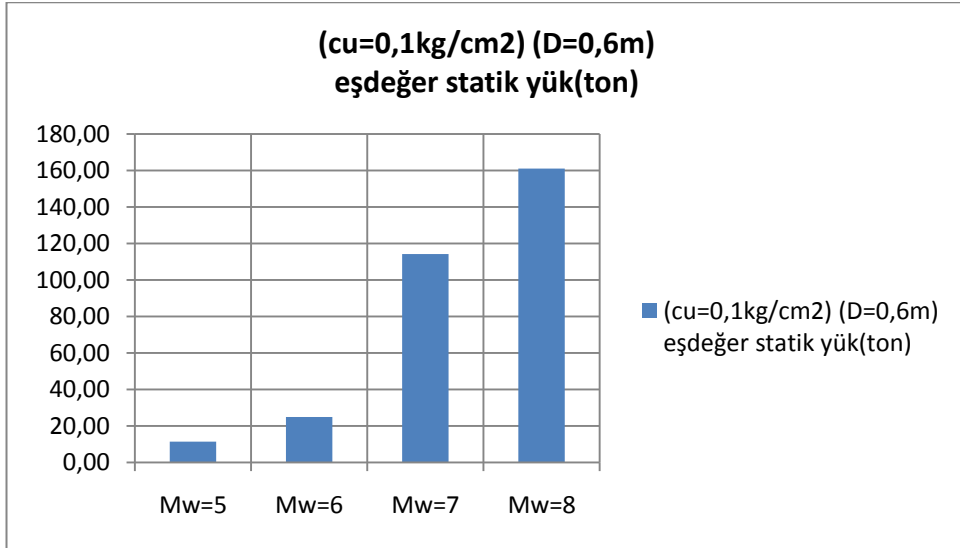


Şekil 7.8. 0,6 m'lik kazıkların farklı zemin mukavemetinde statik yük artışı (% artış)

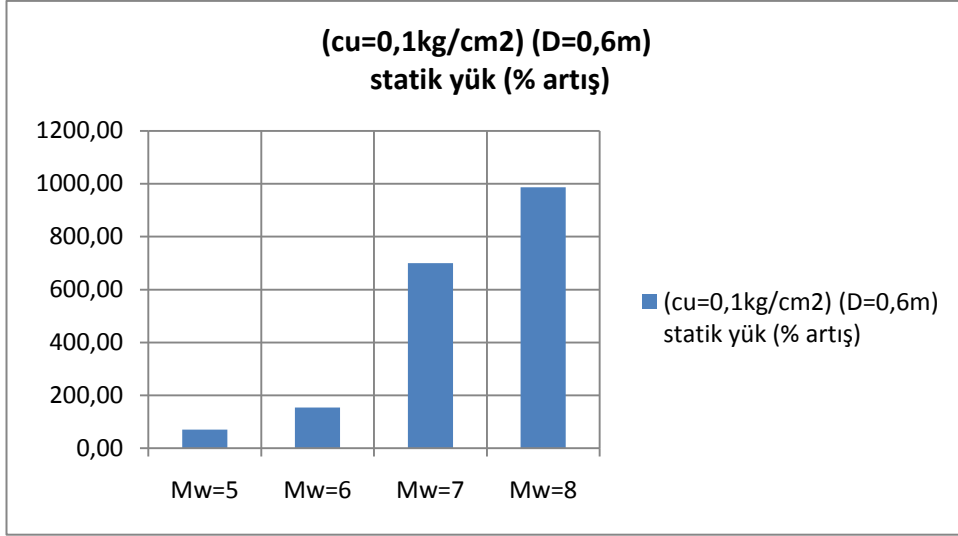
Bir model olarak $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ zemin türünde 4 farklı deprem için 0,6 m kazık çapında tek kazığa düşen düşey deformasyonlar ve eşdeğer statik yük ve statik (% artış) grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 7.9. $c_u=0,1\text{ kg/cm}^2$ zemin türünde 4 farklı deprem için 0,6 m kazık çapında tek kazığa düşen düşey deformasyonlar

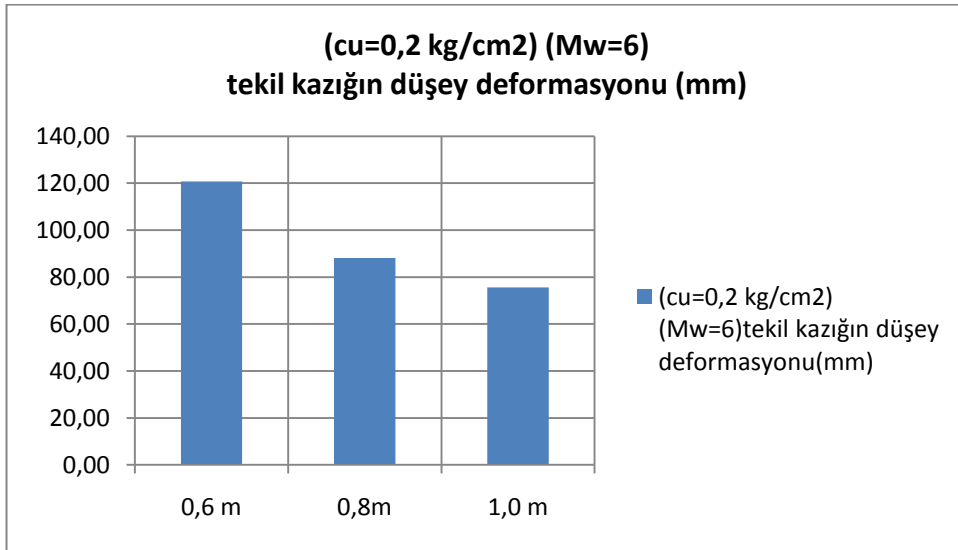


Şekil 7.10. $c_u=0,1\text{ kg/cm}^2$ zemin türünde 4 farklı deprem için 0,6 m kazık çapında eşdeğer statik yükler

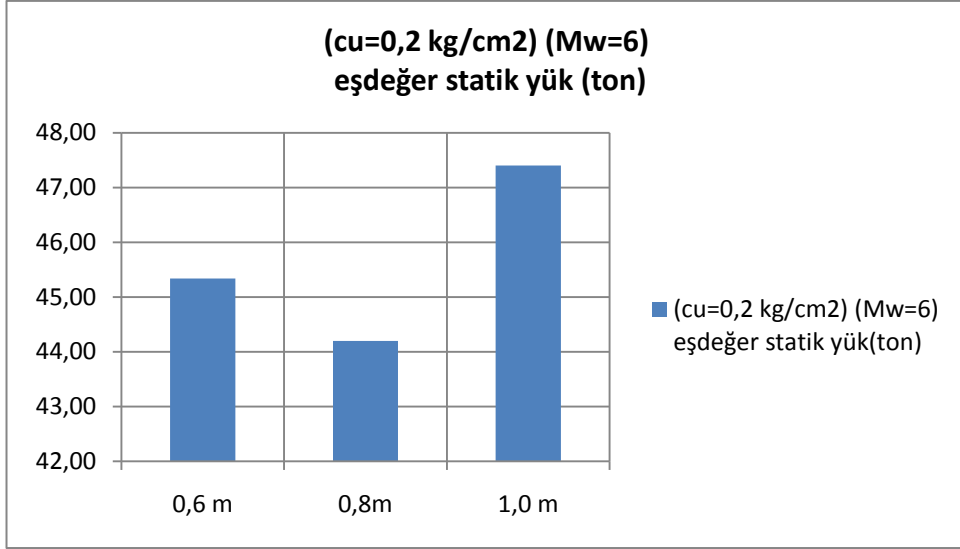


Şekil 7.11. $c_u=0,1\text{ kg/cm}^2$ zemin türünde 4 farklı deprem için 0,6 m kazık çapında statik yük (% artış)

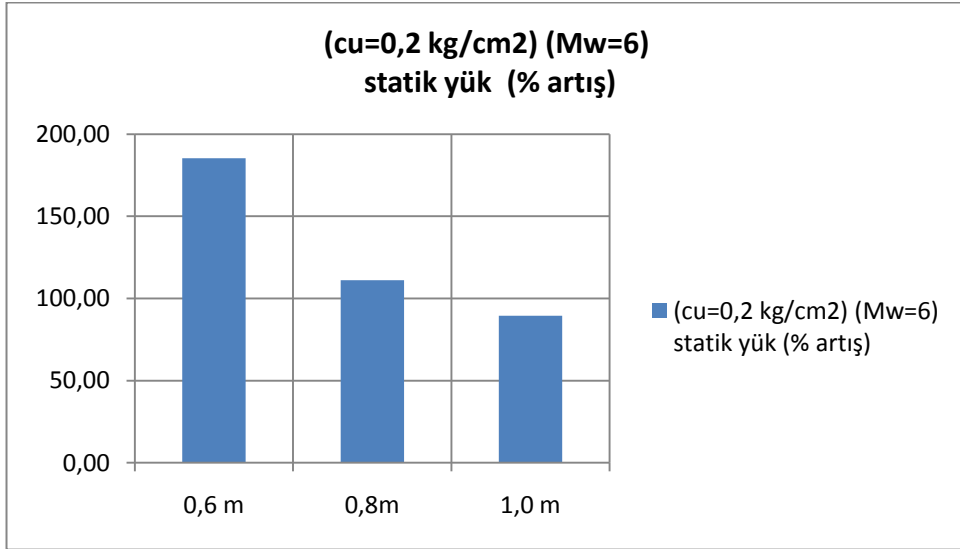
Mw=6 büyüklüğünde bir depremde $c_u=0,2\text{ kg/cm}^2$ olan bir zeminde bulunan kazıklara ait grafikler şu şekildedir:



Şekil 7.12. $c_u=0,2\text{ kg/cm}^2$ zemin türünde 3 farklı kazık çapı için Mw=6 büyüklüğünde deprem etkisi sonucu oluşan düşey deformasyon



Şekil 7.13. $c_u=0,2 \text{ kg/cm}^2$ zemin türünde 3 farklı kazık çapı için $M_w=6$ büyüklüğünde deprem etkisi sonucu oluşan eşdeğer statik yük(ton)



Şekil 7.14. $c_u=0,2 \text{ kg/cm}^2$ zemin türünde 3 farklı kazık çapı için $M_w=6$ büyüklüğünde deprem etkisi sonucu oluşan statik yük (% artış)

Bu çalışmada gerek deformasyonlar gerekse eşdeğer statik kuvvetler açısından dikkat çeken bir özellik de, $M_w=5$ ve $M_w=6$ depremleri kıyaslandığında, söz konusu değerler arasında çok fazla fark gözlenmezken, $M_w=7$ depreminde ve $M_w=7,9$ depreminde fark açılmaktadır. Bu durum deprem magnitüdlerinin Richter ölçeğine göre logaritmik olarak hesaplanmasından kaynaklanmaktadır. Yani depremin magnitüdündeki 1 birimlik artış, (örneğin magnitüdün 5,0'dan 6,0'a çıkması) istasyonlarda kaydedilen sismogramların

genliğinin 10 kat, depremde açığa çıkan gerilme enerjisi miktarının ise 30 kat artmasına karşılık gelir. Magnitudün 5,0'dan 7,9'a çıkması ise (ki bu çalışmada M8 ile belirtilen depremin magnitudü 7,90'dır.) sismogram genliğinin $10 \times 10 \times 10 = 1000$ kat, gerilme enerjisi miktarının ise $30 \times 30 \times 30 = 27000$ kat artması anlamına gelmektedir. Bu çalışmadan çıkarılabilecek bir diğer sonuç ise, sabit statik düşey yükler ve dinamik yükler arasındaki bağlantılarla ilgilidir.

Buna göre, suya doymun kil zeminde yapılan 0,60m, 0,80m ve 1,00m çaplarındaki sürtünme kazıklarında 6,0 büyüklüğünde depremler de dahil olmak üzere sistem üzerine gelen toplam statik yük zeminin mukavemetine göre örneğin $c_u = 0,1 \text{ kg/cm}^2$ için %120 arttırılarak kullanılırsa bu büyüklükteki deprem etkisi de göz önüne alınmış olur. Aynı şekilde $c_u = 0,1 \text{ kg/cm}^2$ zemin mukavemetinde 3 farklı kazık çapı için $M_w = 8$ deprem büyüklüğü için statik yükler %800 arttırılırsa deprem etkisi bu kazıklar için göz önüne alınmış olur. Aletsel büyüklüğü 6,0 'dan büyük, 8 'e kadar depremler için sistem üzerine gelen toplam statik düşey yük örneğin $c_u = 0,8 \text{ kg/cm}^2$ zemin mukavemeti için %380 arttırılarak kullanılırsa bu büyüklükte depremlerin etkisi de göz önüne alınmış olur.

48 ayrı model için taşıma güçleri hesaplanmış ve program yardımıyla karşılaştırılmıştır. Hesaplanan taşıma güçleri sisteme statik yükler olarak etkililmiş ve Plaxis Programının dinamik analiz Modülü sayesinde deprem etkisi sonucu kazık grubuna ait yatay ve düşey deformasyonlar hesaplanmıştır. Bu hesaplardan tek kazığa düşen düşey deformasyon için bu oturmayı oluşturacak statik yükler ve statik yük (% artış) miktarları bulunmuştur.

Sonuç olarak Plaxis programı gibi dinamik etkilerin de hesaba katıldığı programların kullanılmadığı durumlarda, üst yapıdan gelecek yüklere göre dizayn edilen kazık temellerde, üst yapıdan gelen bu yükler yukarıda bahsedilen deprem durumlarına göre belirtilen oranlarda arttırılarak kazık taşıma kapasitesi ve deformasyonlar kolaylıkla elde edilebilir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kazık temellerin çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmaları, kullanım amaçları, avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

Sonraki bölümlerde düşey ve yatay statik yükler altında tekil ve grup kazıkların davranışlarından bahsedilmiş, ilgili yüklere göre taşıma kapasitesi ve deformasyon hesapları verilmiştir. Statik yükler altında kazıkların taşıma kapasitesini ve deformasyon miktarlarını hesaplamak için Plaxis Paket Programı yardımıyla çözüm yapılmıştır.

Uygulama kısmında ise suya doymun 4 farklı kil zemin içerisindeki, sabit boyutlarda bir radye plağa bağlı farklı çaplarda ki yüzen kazık grupları, radye plağa gelen toplam statik düşey yük sabit kalacak şekilde statik ve dinamik yükler altında çözümlenmiştir. Elde ve Plaxis programında yapılan çözümler sonucunda kazık gruplarının dinamik yükler etkisinde yaptıkları deformasyonlar ve kazık gruplarına bu deformasyonları yaptıracak eşdeğer statik yükler belirlenmiş, elde edilen veriler detaylı olarak anlatılıp yorumlanmıştır.

Söz konusu çalışma sonucunda ulaşılan sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmıştır:

Suya doymun kil zeminlerde yapılan sürtünme kazıklarında, kazıklar arası minimum mesafe ve taşıma kapasitesi koşulları sağlandığı takdirde, radye plağa gelen toplam yük ve kazık çapı değişmeksizin kazık adedinin artırılması, gerek statik gerek dinamik yüklemelerde düşey deformasyonları azaltırken stabiliteyi arttırmaktadır. Fakat bu stabilite artışının mali açıdan getireceği yük de hesaba katılarak tasarım yapılmalıdır.

Suya doymun kil zeminde yapılan sürtünme kazıklarında, kazıklar arası minimum mesafe ve taşıma kapasitesi koşulları sağlandığı takdirde, kazık grubuna gelen toplam yük ve deprem etkisi sabit kalmak şartıyla kazık çapının artırılması, (beklenenin aksine) statik ve dinamik yüklemelerde sistemin yaptığı deformasyonları arttırarak stabiliteyi azaltmaktadır. Aynı şekilde bu deformasyon artışı sebebiyle eşdeğer statik yük miktarında da artış görülmektedir. Bunun sebebi olarak kazıkların yüzen kazık olarak inşa edilmiş olması gösterilmiş ve bu durum bölüm 7.'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Deprem magnitüdüleri Richter ölçeğine göre logaritmik olarak hesaplandığı için, deprem magnitüdündeki 1 birimlik artış, sismogram genliğinde 10 kat, gerilme enerjisinde 30 kat artışa tekabül etmektedir. Bu da, deprem magnitüdüdeki doğrusal artışa karşılık deformasyonların ve eşdeğer ilave yüklerin neden ani artışlar yaptığını açıklamaktadır (bkz. Bölüm 7).

Buna göre, suya doymuş kil zeminde yapılan 0,60m, 0,80m ve 1,00m çaplarındaki sürtünme kazıklarında 6,0 büyüklüğündeki depremler de dahil olmak üzere sistem üzerine gelen toplam statik zemin şartlarına göre örneğin $c_u=10$ kN/m² için %120 arttırılarak kullanılırsa bu büyüklükte deprem etkisi de göz önüne alınmış olur. Aletsel büyüklüğü 6,0 'dan büyük, 8'e kadar depremler için sistem üzerine gelen toplam statik düşey yük örneğin $c_u=80$ kN/m² için %380 arttırılarak kullanılırsa bu büyüklükteki depremlerin etkisi de göz önüne alınmış olur.

Tez çalışması kapsamında hazırlanan eşdeğer statik yük hesaplama programı geliştirilerek daha çok zemin şartına, kazık çapına, deprem büyüklüğüne göre geliştirilerek hesaplamalar yapılabilir. Ayrıca kohezyonlu zeminler için yapılan bu çalışma kohezyonsuz zeminlerde, sıvılaşma potansiyeli yüksek zeminlerde de kullanılacak şekilde geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

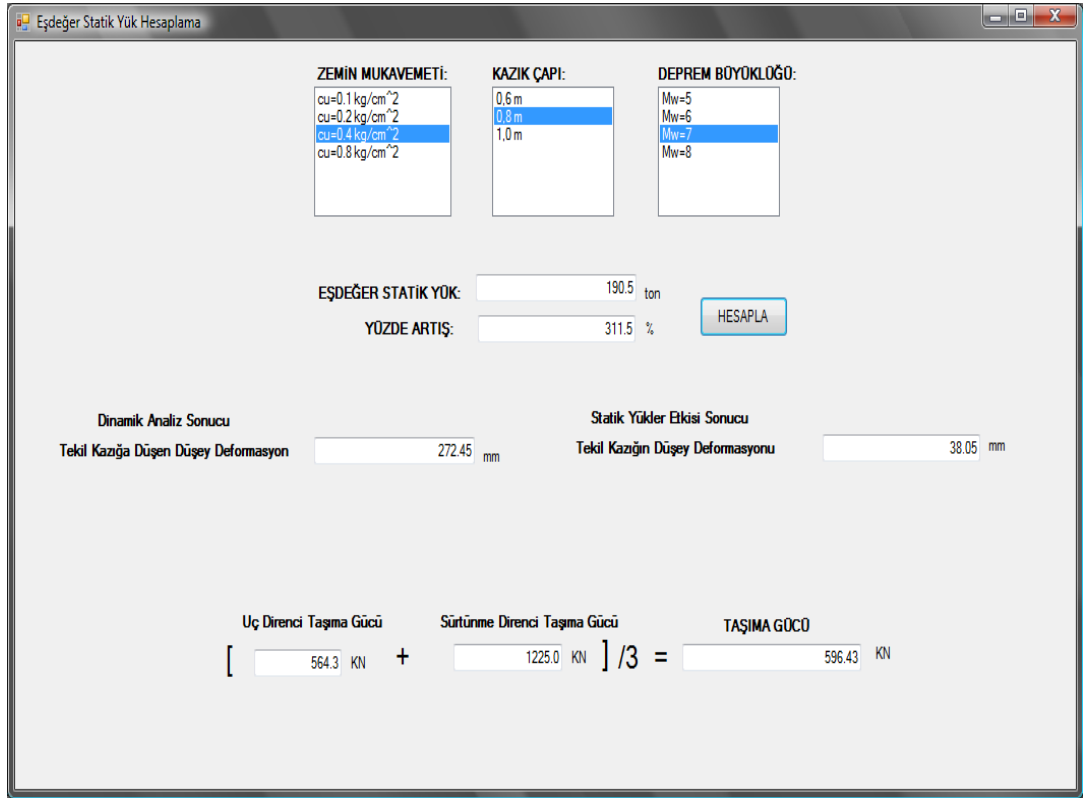
- Avcı, G. (2008), “Kazıklı temellere etki eden dinamik yüklerin statik yükler cinsinden uygulanabilirliğinin araştırılması” (Yüksek Lisans Tezi) Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir
- Abebe A., Dr. Smith I.G. “Pile Foundation Design: A Student Guide”
<http://www.sbe.napier.ac.uk/projects/piledesign/guide/index.htm>
- Bobet A.,(2001) Salgado R., Loukidis D., “Seismic Design of Deep Foundations” Joint Transportation Research Program Final Report,Purdue University, India,
- Berilgen,M., (2004) Plaxis ile Hesaplamalı Geoteknik Kursu Notları,Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Birand, A.A., (2001) Kazıklı Temeller, Teknik Yayınevi, ODTÜ, Ankara
- Bowles, J.E., (1996) Foundation Analysis and Design, 5. Baskı,Mc Graw Hill Companies, Inc., USA
- Celep, Z. ve Kumbasar,N. (1998) *Betonarme Yapılar*, Sema Matbaacılık, İstanbul
- Das, B.M.,(1984) Principles of Foundation Engineering, Wadsworth, Inc., California, USA
- Çalışkan,Ö.(2003)“Kazıklı Temellerin Analitik Yöntemlerle Statik ve Betonarme Çözümleri”(Yüksek Lisans Tezi) Anadolu Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Das B. M.(1987)“Advanced Soil Mechanics”, Hemisphere Publishing Corporation, Washington / New York / London, Das B.M., “Principles of Foundation Engineering” (Ed: Kingman R.) WadsworthInc, California, USA, 1984
- Das B. M. (1993) “Principles of Soil Dynamics”, PWS-KENT Publishing Company,
- Dash S. R., Jain S. K., (2005)“Guidelines for Seismic Design of Bruid Pipelines”, Indian Institute of Technology, Civil Engineering Department, Kanpur,
- Elçik, K., (1994). Kazıklı Temellerin Projelendirilmesi, Anadolu Üniversitesi, Lisans Tezi, Eskişehir
- Gunaratne M. (2006) “Foundation Engineering Handbook” CRC, London, New York,

- Hanavdeloğulları,Z.,(1998). Kazıkların Davranışlarının Sonlu Elemanlar Metodu ile Belirlenmesi, İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Ishihara K. (2003) “Soil Behavior in Earthquake Geotechnics”, Clarendon Pres, Oxford, New York,
- Lıu, C., Evett, J.B., (1987) *Soils and Foundations*, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey
- Mollamahmutoglu, M. ve Kayabalı, K.,(2005) Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar, 2. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara
- Odbay, O.,(1995) Kazıklı Temeller ve Düşey Yükler Altında Kazıklı Temel Sistemlerinin Hesap ve Analiz Yöntemlerinin Rasyonelleştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Özaydın K., “Zemin Dinamiği”, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi
- Prakash S., Sharma H. D.(1989) “Pile Foundations In Engineering Practice”, Wilry-Interscience Publication, New York / Chichester Brisbane / Toronto/ Singapore,
- Potts, D.M.,C. ve Zdravkovic, L., (1999) Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering, Thomas Telford, London
- Teng, W. C., (1982). Foundation Design, Prentice-Hall, New Jersey
- Toğrol, E. ve Tan, O., (2003) Kazıklı Temeller, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Tomlinson, M.J.,(1994) Pile Design and Construction Practice, 4. Baskı, Chapman
- US Army Corps of Engineers, (1991) “Design of Pile Foundations”, Washington DC,

EK:1

EŞDEĞER STATİK YÜK PROGRAMI TEKNİK KULLANIM KLAVUZU

Programın çalışması aşağıda görüldüğü şekilde olmaktadır. Program yardımıyla 3 parametre'ye bağlı 7 adet sonuç verilmiştir.



ZEMİN MUKAVEMETİ:
cu=0.1 kg/cm²
cu=0.2 kg/cm²
cu=0.4 kg/cm²
cu=0.8 kg/cm²

KAZIK ÇAPİ:
0.6 m
0.8 m
1.0 m

DEPREM BOYOKLOĞU:
Mw=5
Mw=6
Mw=7
Mw=8

EŞDEĞER STATİK YÜK: 190.5 ton
YÜZDE ARTIŞ: 311.5 %

HESAPLA

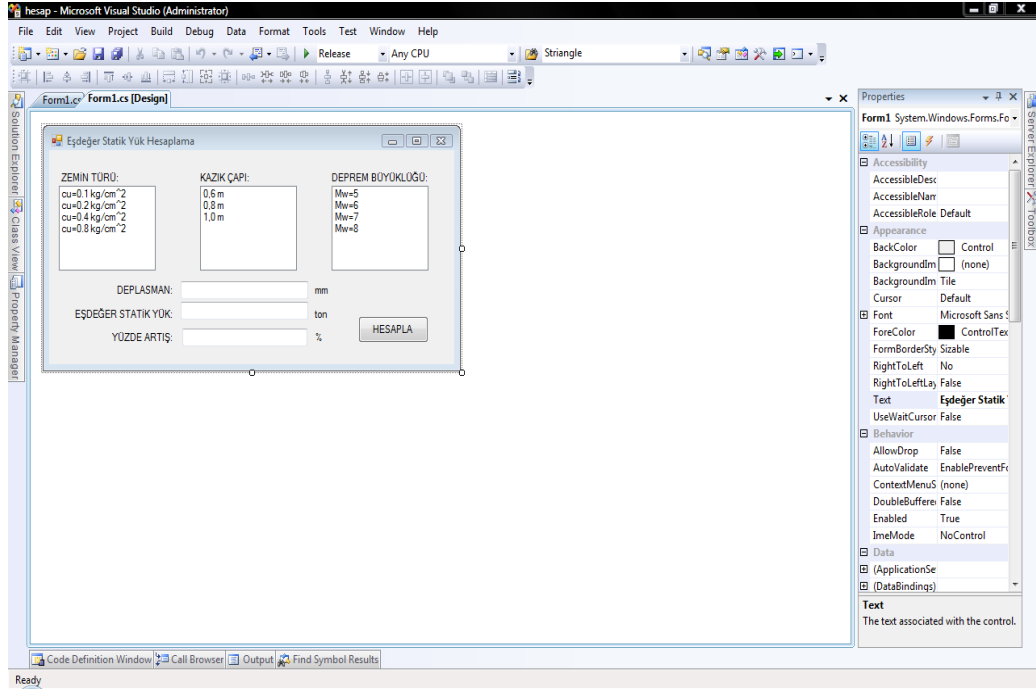
Dinamik Analiz Sonucu
Tekil Kazığa Düşen Düşey Deformasyon: 272.45 mm

Statik Yüklere Etkisi Sonucu
Tekil Kazığın Düşey Deformasyonu: 38.05 mm

Uç Direnci Taşıma Gücü: 564.3 KN
Sürtünme Direnci Taşıma Gücü: 1225.0 KN
TAŞIMA GÜCÜ: 596.43 KN

$$[564.3 \text{ KN} + 1225.0 \text{ KN}] / 3 = 596.43 \text{ KN}$$

Programın yazılım aşamasında C# programlama dili kullanılmıştır. Yazılım geliştirme ortamı olarak Visual Studio kullanılmış olup tasarım ekranı aşağıda görüldüğü gibidir. Program çıktısı olarak sisteme ait eşdeğer statik yük, yüzde artış, dinamik analiz sonucu tekil kazığa düşen düşey deformasyon, statik yükler etkisi sonucu tekil kazığın düşey deformasyonu, uç direnci taşıma gücü, sürtünme direnci taşıma gücü, Q_a taşıma gücü hesaplanabilmektedir.



Görsel arayüzün oluşturulması esnasında ToolBox menüsünde bulunan Label, ListBox, TextBox ve Button elemanları kullanılmıştır.

Tasarım aşaması tamamlandıktan sonra 1.Formumuzun (Tasarım yaptığımız form) üzerindeki “HESAPLA” yazılı butonuna tıkladığımızda gerçekleştirilecek (event) olay için Form1.cs kaynak kod dosyamızda gerekli veriler girilmiştir.

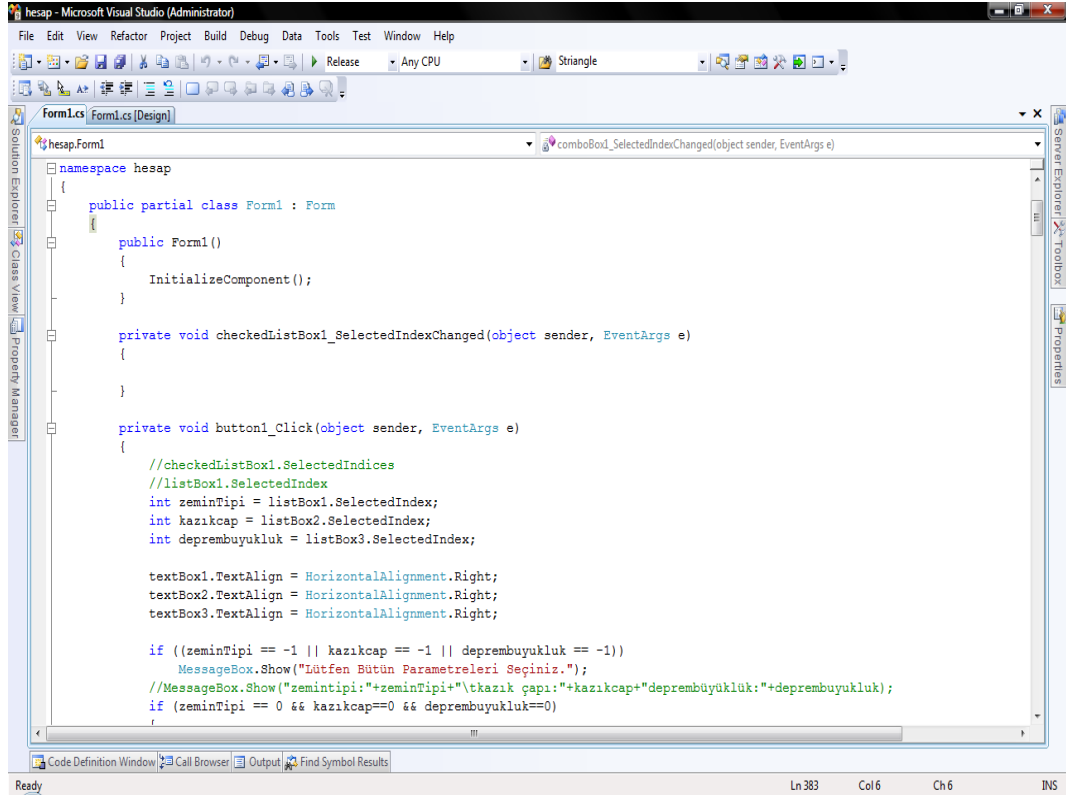
```
public partial class Form1 : Form
{
    public Form1()
    {
        InitializeComponent();
    }

    private void checkedListBox1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
    {
    }

    private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        //checkedListBox1.SelectedIndices
        //listBox1.SelectedIndex
        int zeminTipi = listBox1.SelectedIndex;
        int kazıkcapi = listBox2.SelectedIndex;
        int deprembuyukluk = listBox3.SelectedIndex;

        textBox1.TextAlign = HorizontalAlignment.Right;
        textBox2.TextAlign = HorizontalAlignment.Right;
        textBox3.TextAlign = HorizontalAlignment.Right;

        if ((zeminTipi == -1 || kazıkcapi == -1 || deprembuyukluk == -1))
            MessageBox.Show("Lütfen Bütün Parametreleri Seçiniz.");
        //MessageBox.Show("zemin tipi: "+zeminTipi+"\tkazık çapı: "+kazıkcapi+"deprembüyükük: "+deprembuyukluk);
        if (zeminTipi == 0 && kazıkcapi==0 && deprembuyukluk==0)
        {
        }
    }
}
```



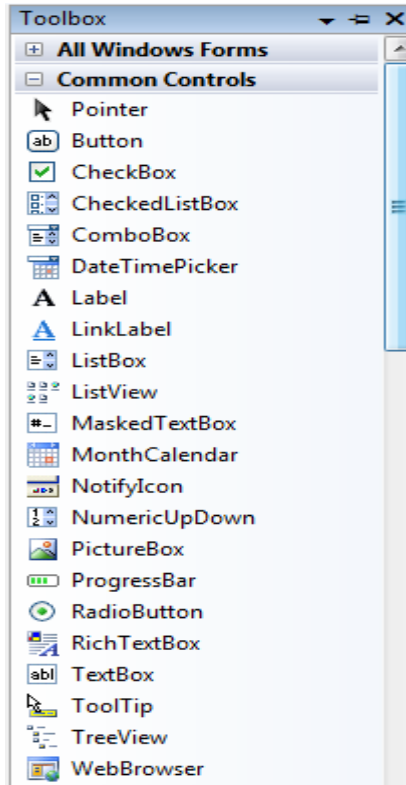
```
namespace hesap
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void checkedListBox1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
        {
        }

        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            //checkedListBox1.SelectedIndices
            //listBox1.SelectedIndex
            int zeminTipi = listBox1.SelectedIndex;
            int kazikcap = listBox2.SelectedIndex;
            int deprembuyukluk = listBox3.SelectedIndex;

            textBox1.TextAlign = HorizontalAlignment.Right;
            textBox2.TextAlign = HorizontalAlignment.Right;
            textBox3.TextAlign = HorizontalAlignment.Right;

            if ((zeminTipi == -1 || kazikcap == -1 || deprembuyukluk == -1))
                MessageBox.Show("Lütfen Bütün Parametreleri Seçiniz.");
            //MessageBox.Show("zeminTipi:"+zeminTipi+"\tkazık çapı:"+kazikcap+"deprembüyükük:"+deprembuyukluk);
            if (zeminTipi == 0 && kazikcap==0 && deprembuyukluk==0)
            {
            }
        }
    }
}
```



Yukarıdaki kod yazım ekranında zemin tipi, kazık çapı ve deprem büyüklüğü değişkenleri kullanılarak kullanıcıdan seçilmesi istenen değerler ListBox yapısından alınıp işlenerek eşdeğer statik yük, yüzde artış, dinamik analiz sonucu tekil kazığa düşen düşey deformasyon, statik yükler etkisi sonucu tekil kazığın düşey deformasyonu, uç direnci taşıma gücü, sürtünme direnci taşıma gücü, Q_a taşıma gücü kullanıcıya TextBoxlar yardımıyla kullanıcı arabiriminde (User Interface) gösterilmektedir.

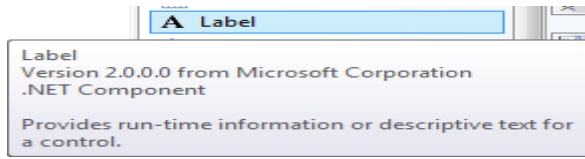
Görsel Arabirim Tasarımında Kullanılan Elemanlar

Görsel Arabirim üzerinde programın görselliği ve kullanımı için seçilen elemanlar Toolbox sekmesinden seçilmektedir.

Toolbox bir araç çubuğu olarak Visual C#'ta sunulmakla birlikte kullanılmak istenilen eleman sürükleyip bırak yöntemiyle programımızın görsel bölümünün oluşturulduğu bölgeye eklenebilir. Form1.cs[Design] sayfasında istenilen elemanlar yerleştirildikten sonra yazılım üzerinde yapılması istenen işlemler Form1.cs kod ekranında belirtilmelidir.

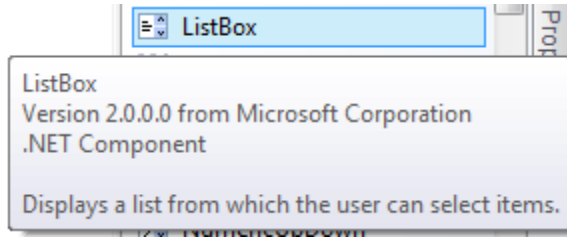
Programımızda kullandığımız elemanları inceleyecek olursak:

Label: Kullanıcı arabirimi üzerinde yazı yazma ya da kullanıcıya bilgi iletme için kullanabileceğimiz elemandır.

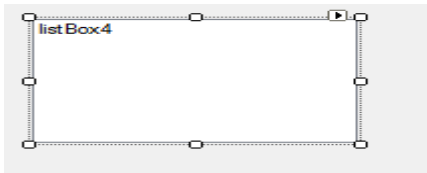


ListBox:

ListBox, içerisine String formatında yazı ekleyebildiğimiz gibi istenilen değer ya da yapıları görsel olarak kullanıcıya sunmak için kullanılabilir.

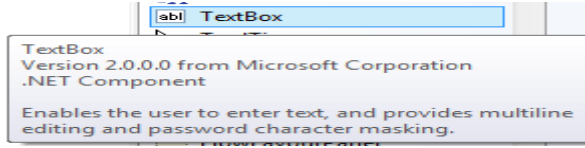


Form Üzerinde Görünümü

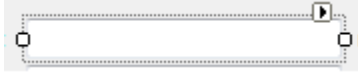


TextBox:

Kullanıcı giriş-çıkış işlemleri için kullanılabilir bir yapıdır. Programımızda hesaplanan sonuçların gösterimi için kullanılmıştır.

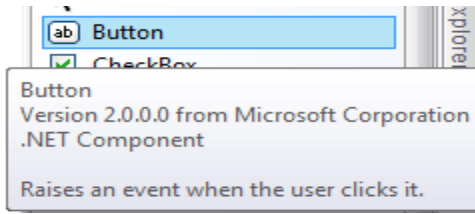


Form Üzerinde Görünümü



Button:

Görsel arayüz üzerinde işlem yapmak için kullanıcının fare kullanarak tıklaması ile oluşturulan eylem ya da eylemler dizisini tetikleyen birimdir.



Form Üzerinde Görünümü,



Program kullanımı için öncelikle hesaplamak istediğimiz zemin mukavemeti, kazık çapı, Deprem magnitudü seçilmesi gereklidir. Daha sonra program üstünde HESAPLA komutuna basarak program çıktısı olarak 7 adet sonuç bulunmaktadır.

Eşdeğer statik yük Hesaplama programı için örnek bir hesaplama şu şekildedir:

ZEMİN MUKAVEMETİ: cu=0.1 kg/cm ² cu=0.2 kg/cm ² cu=0.4 kg/cm ² cu=0.8 kg/cm ²	KAZIK ÇAPİ: 0,6 m 0,8 m 1,0 m	DEPREM BÜYÜKLÜĞÜ: Mw=5 Mw=6 Mw=7 Mw=8
EŞDEĞER STATİK YÜK:	11,4 ton	HESAPLA
YÜZDE ARTIŞ:	69,8 %	
Dinamik Analiz Sonucu Tekil Kazığa Düşen Düşey Deformasyon	44,32 mm	Statik Yüklere Etkisi Sonucu Tekil Kazığın Düşey Deformasyonu
		30,6 mm
Uç Direnci Taşıma Gücü	Sürtünme Direnci Taşıma Gücü	TAŞIMA GÜCÜ
[100,82 KN + 399,45 KN] / 3 =		166,76 KN

Hesaplama işlemleri plaxis programından hesapladığımız düşey deformasyonlardan geri hesap yapmak suretiyle eşdeğer statik yük hesaplanır. Aynı zamanda bu zemin şartları ve kazık çapları için taşıma güçleri hesaplanır. Eşdeğer statik yükün taşıma gücüne oranına bağlı bir şekilde statik yük artışı bulunur. Bunlar modelimize ait sonuçlardan şunlardır:

Eşdeğer statik yük

Statik yük (% artış)

Dinamik analiz sonucu tekil kazığa düşen düşey deformasyon

Statik yükler sonucu tekil kazığın düşey deformasyonu

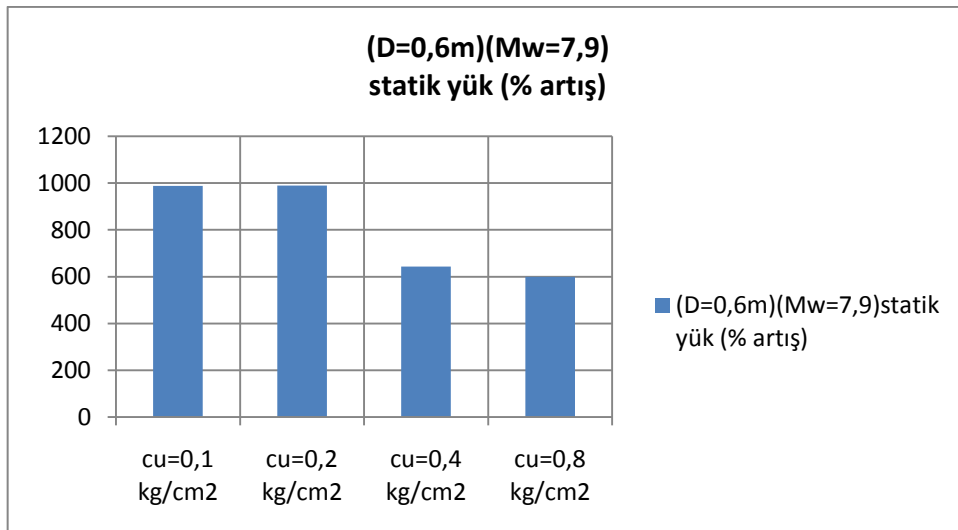
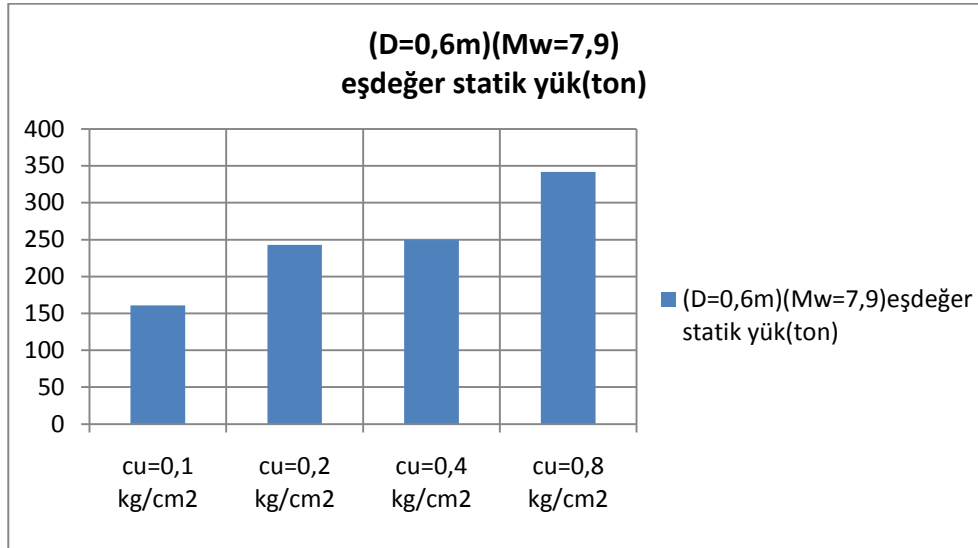
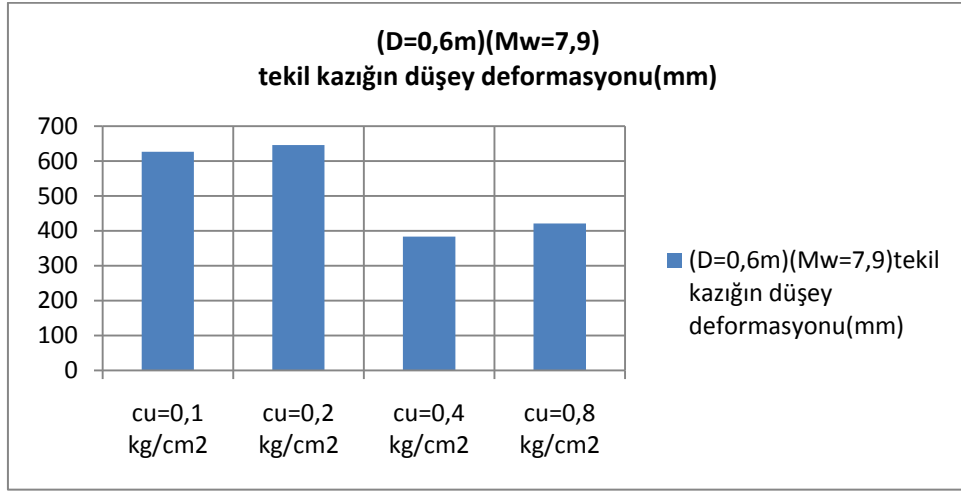
Uç direnci taşıma gücü

Sürtünme direnci taşıma gücü

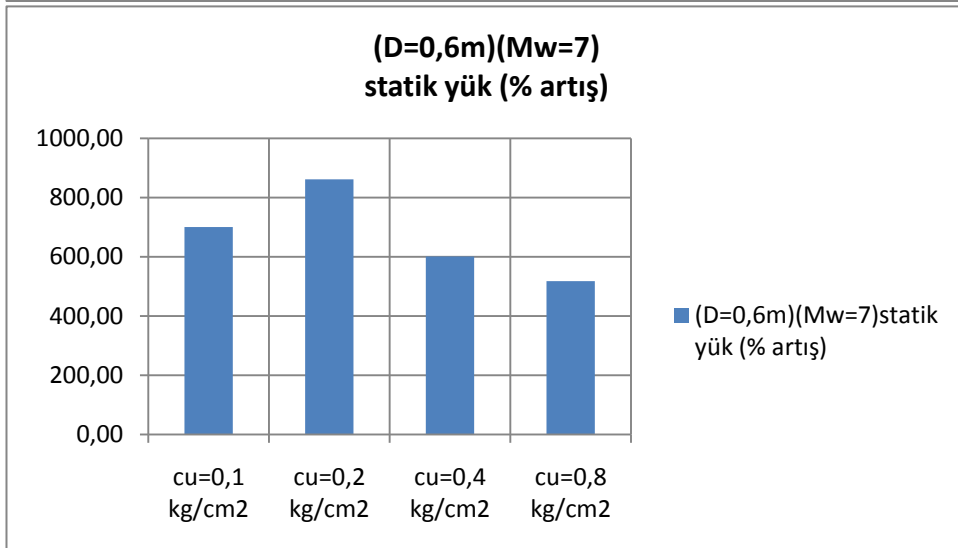
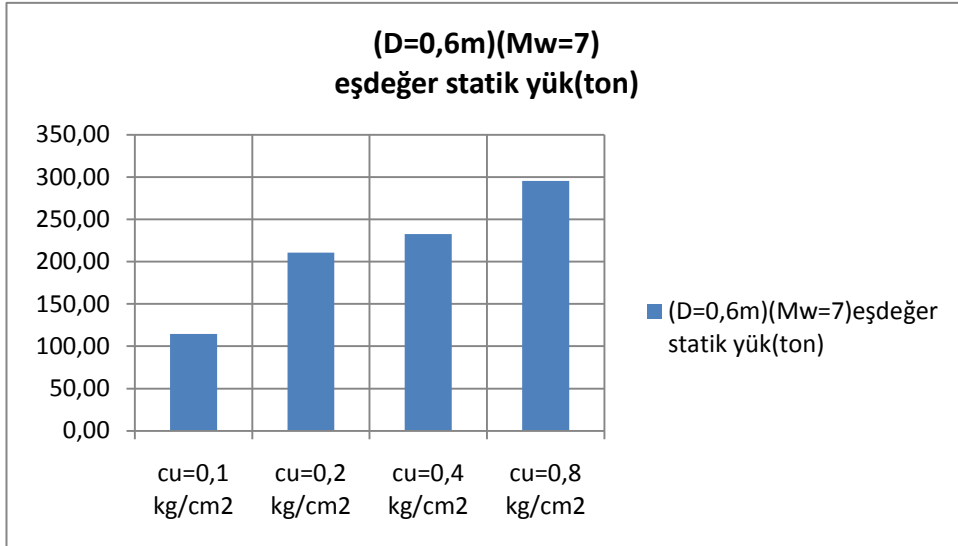
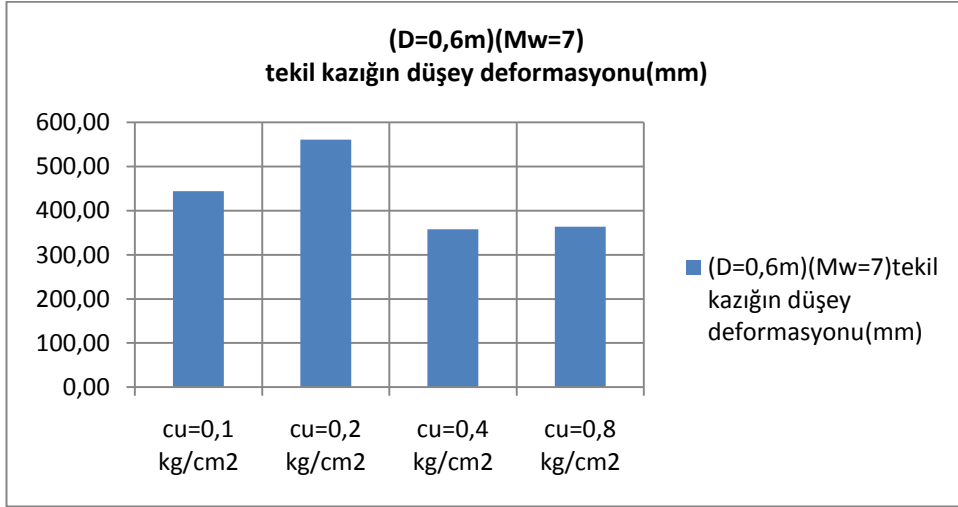
Qa izin verilebilir taşıma gücü

Programın hesap kısmının geliştirilmesi ve grafik çizdirme fonksiyonlarının da ileri çalışmalarda eklenmesi durumunda daha faydalı yöntemler geliştirilecektir.

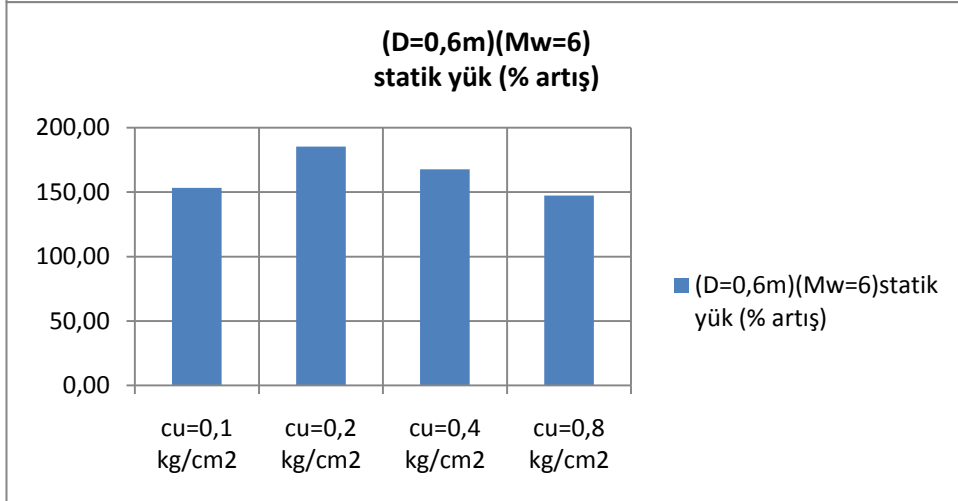
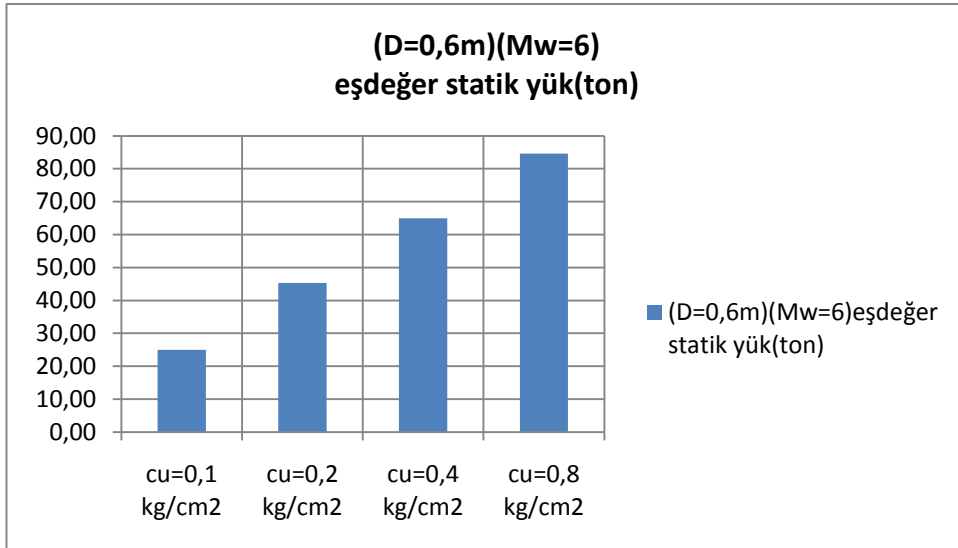
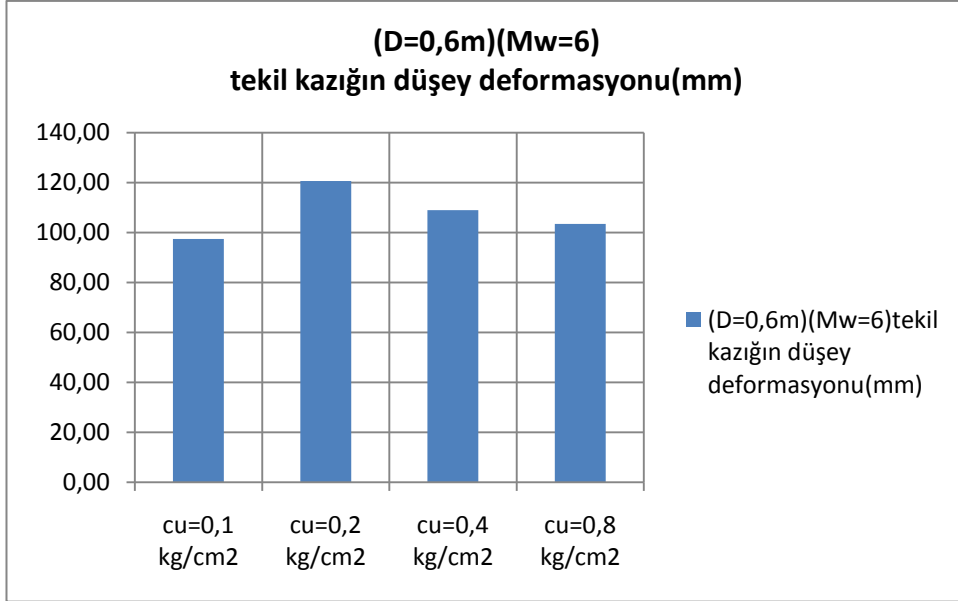
EK:2 0,6m Mw:7,9 büyüklüğünde zemin mukavemetine göre grafikler



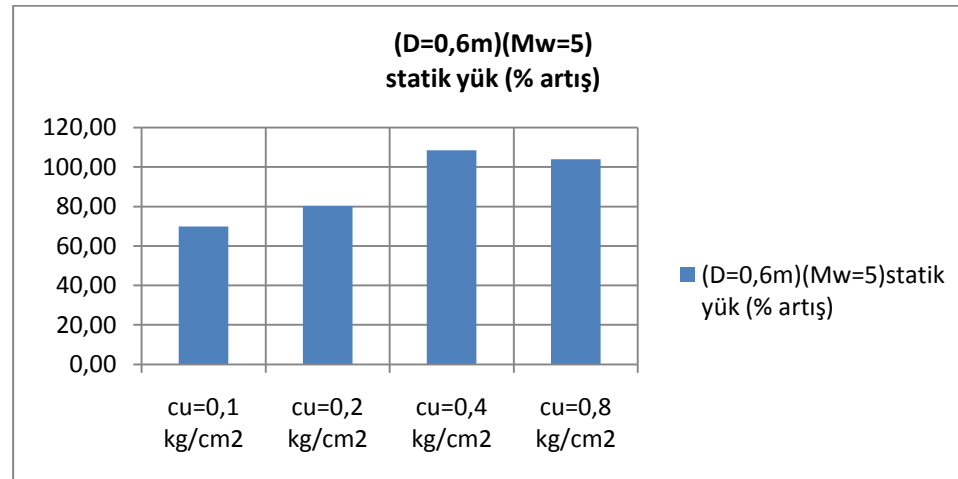
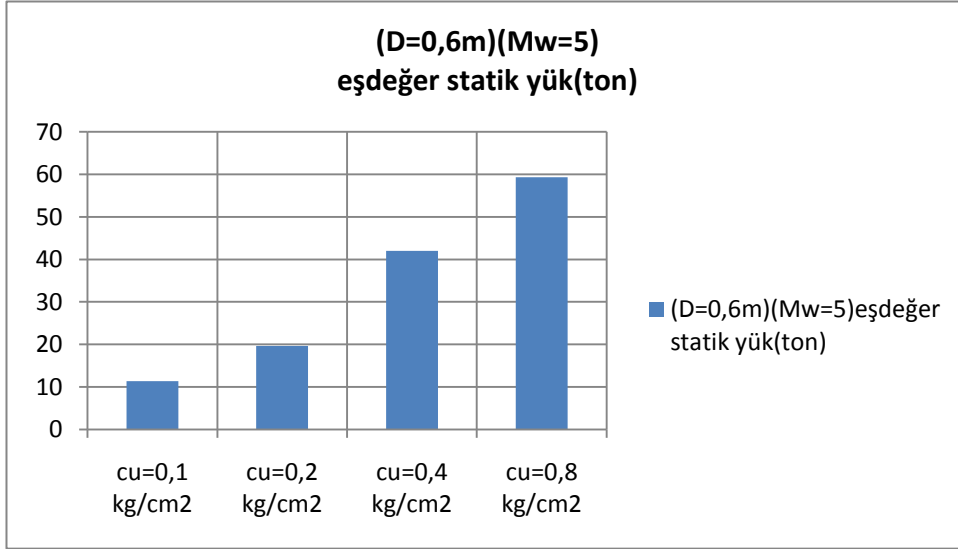
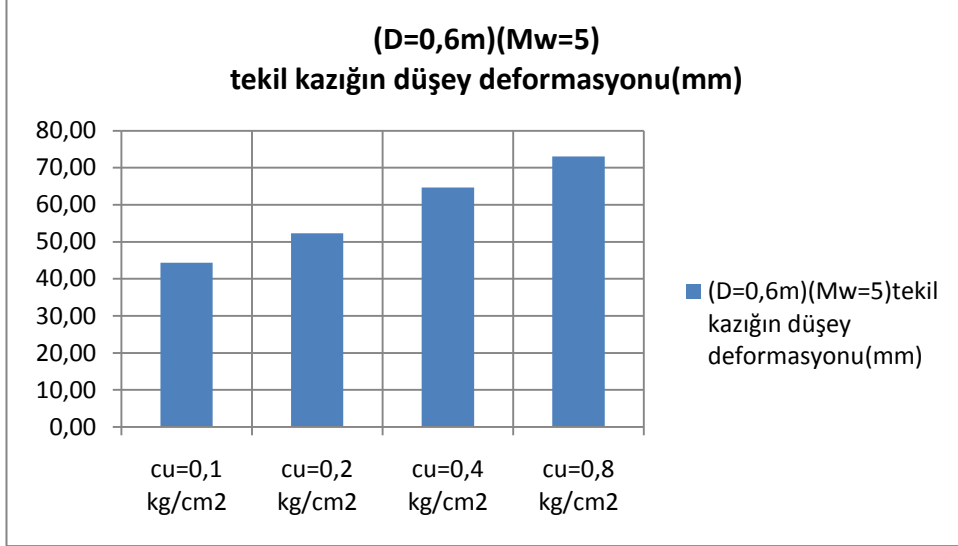
EK:3 0,6m Mw:7 büyüklüğünde zemin mukavemetine göre grafikler



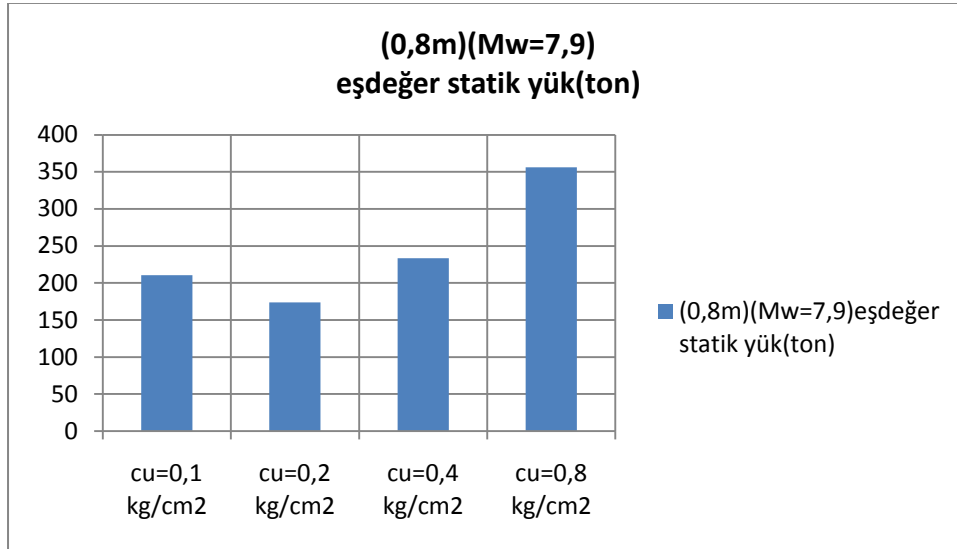
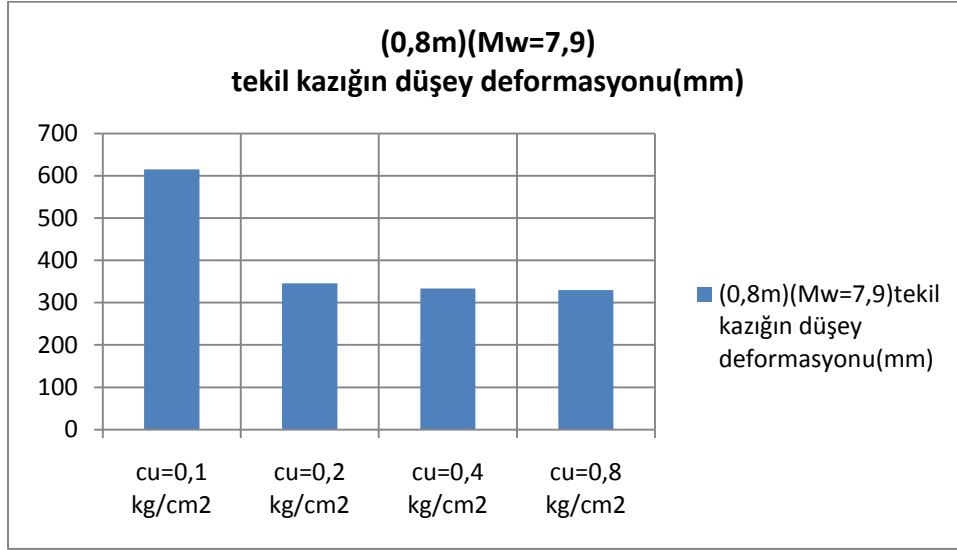
EK:4 0,6m Mw:6 büyüklüğünde zemin mukavemetine göre grafikler

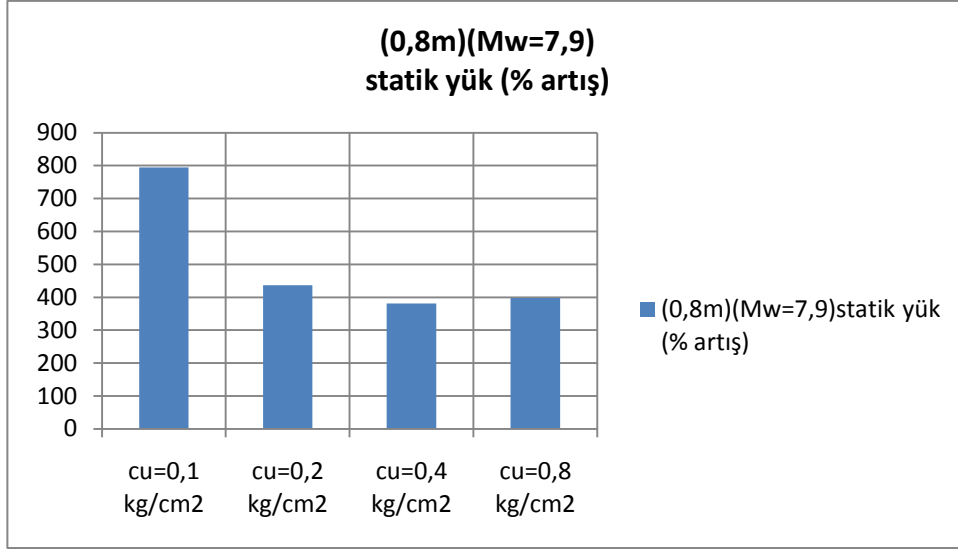


EK:5 0,6m Mw:5 büyüklüğünde zemin mukavemetine göre grafikler

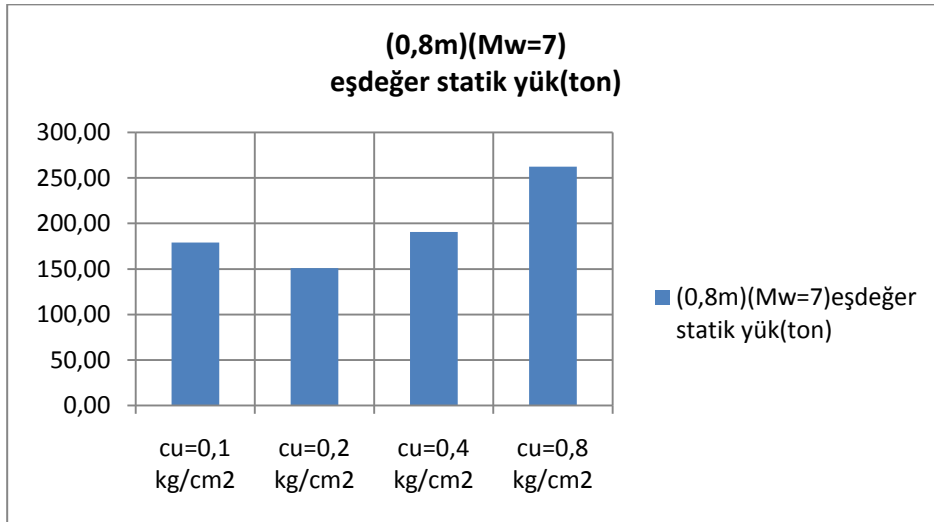
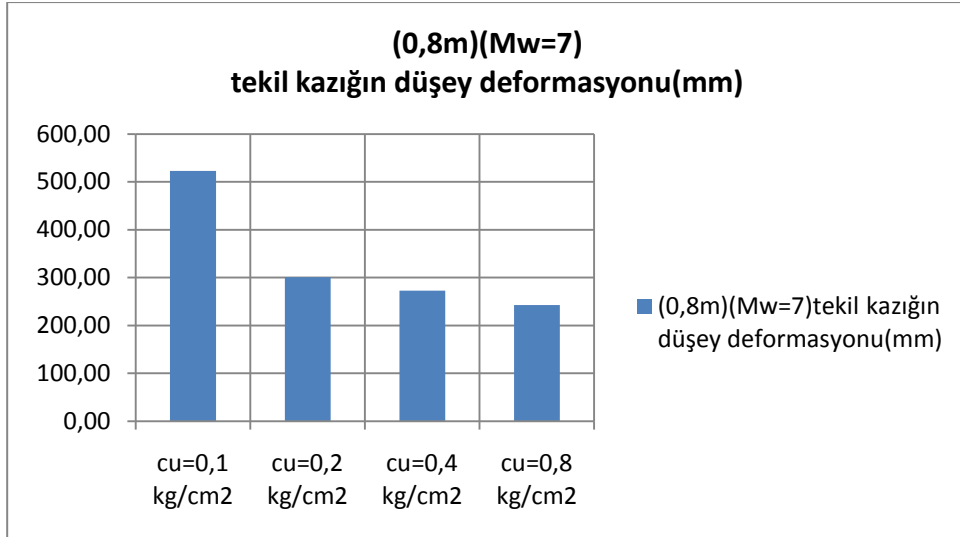


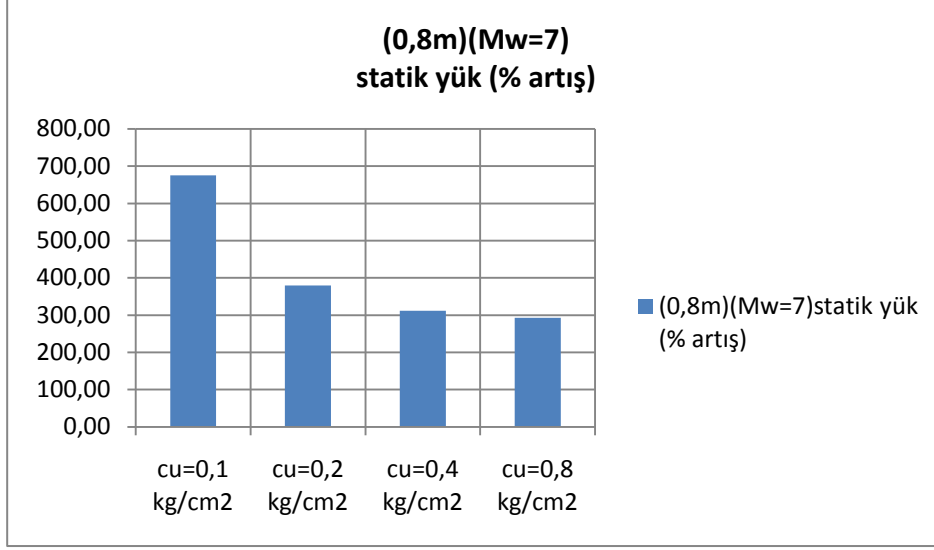
EK:6 0,8m Mw:7,9 büyüklüğünde zemin mukavemetine göre grafikler



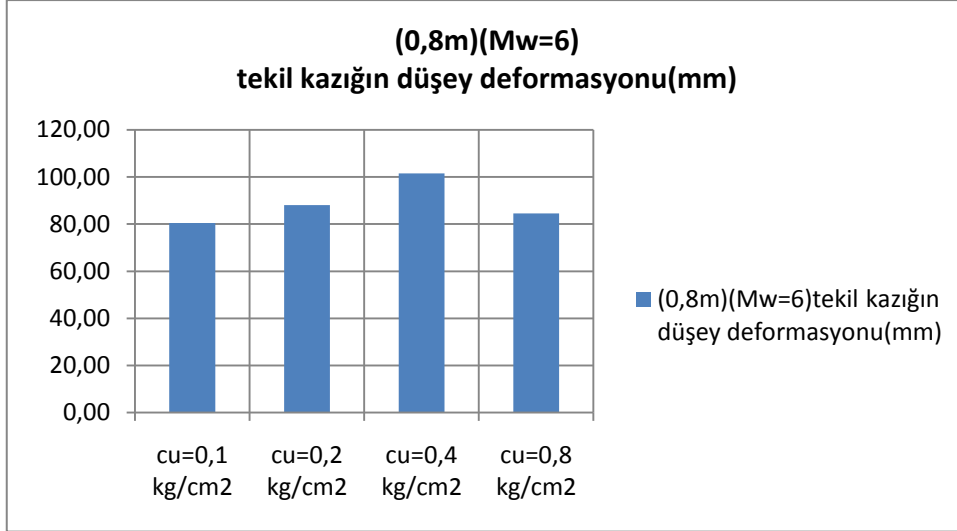


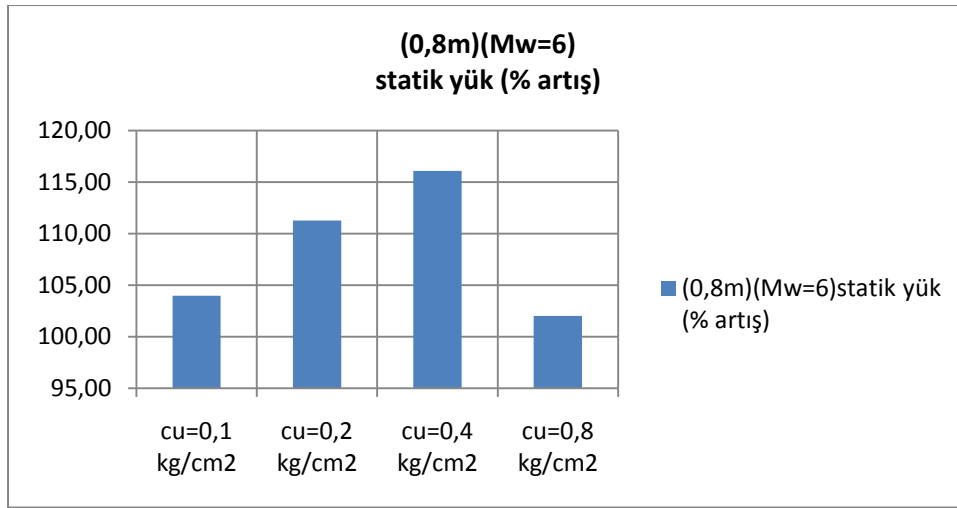
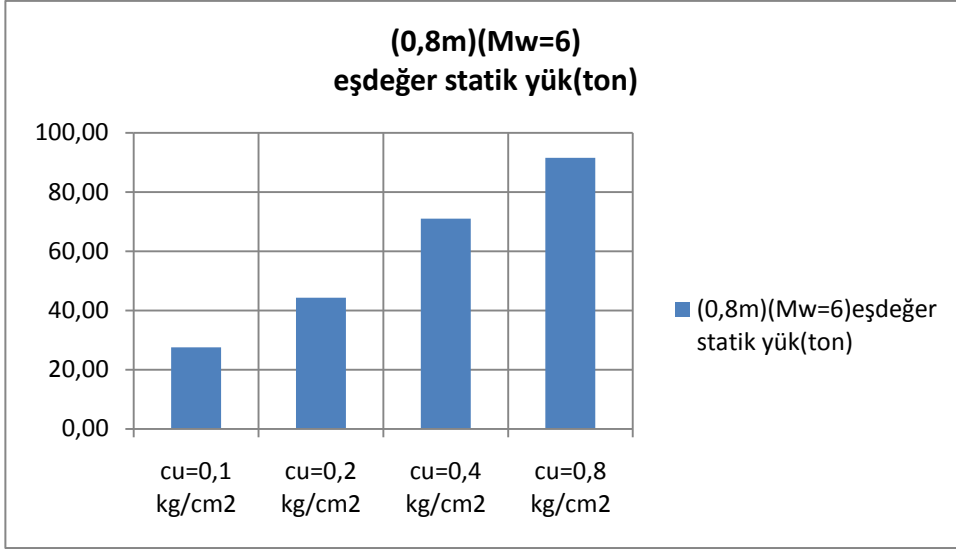
EK:7 0,8m Mw:7 büyüklüğünde zemin mukavemetine göre grafikler



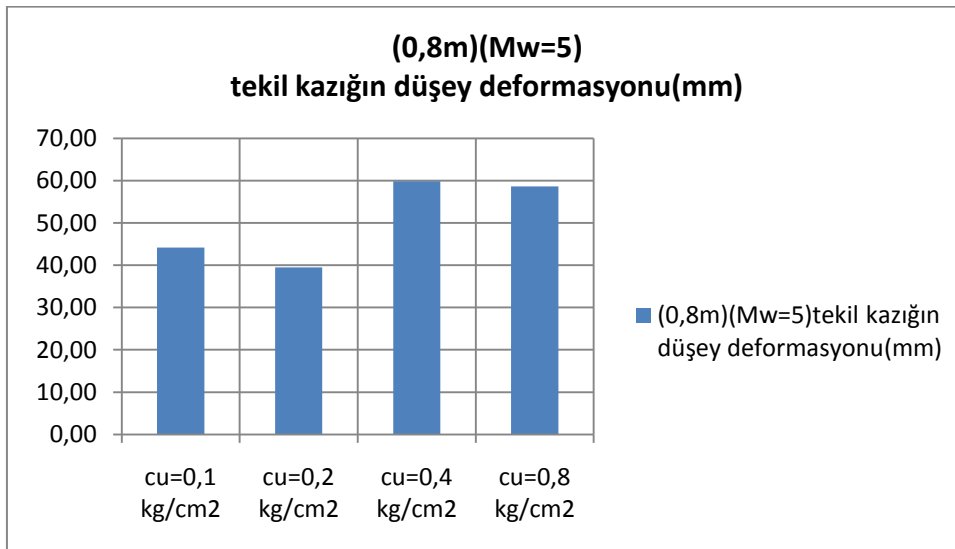


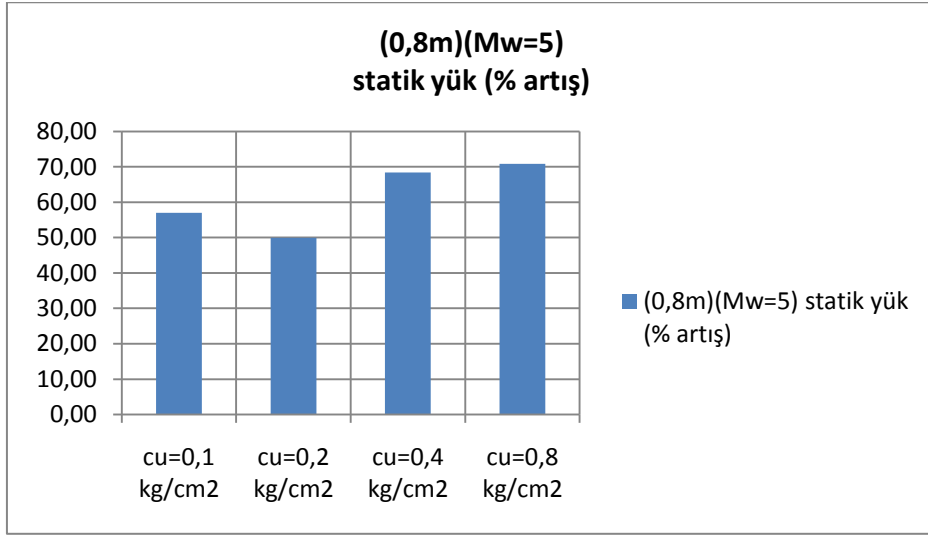
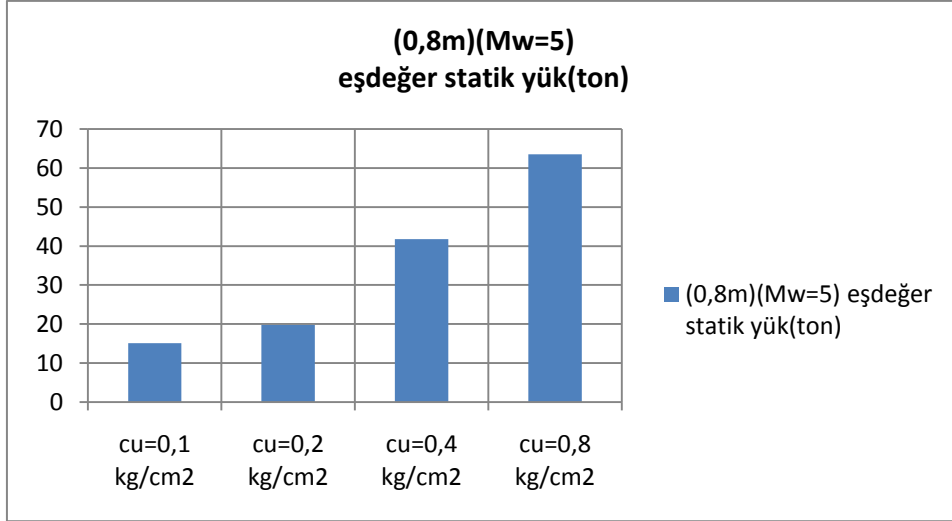
Ek:8 0,8m Mw:6 büyüklüğünde zemin mukavemetine göre grafikler



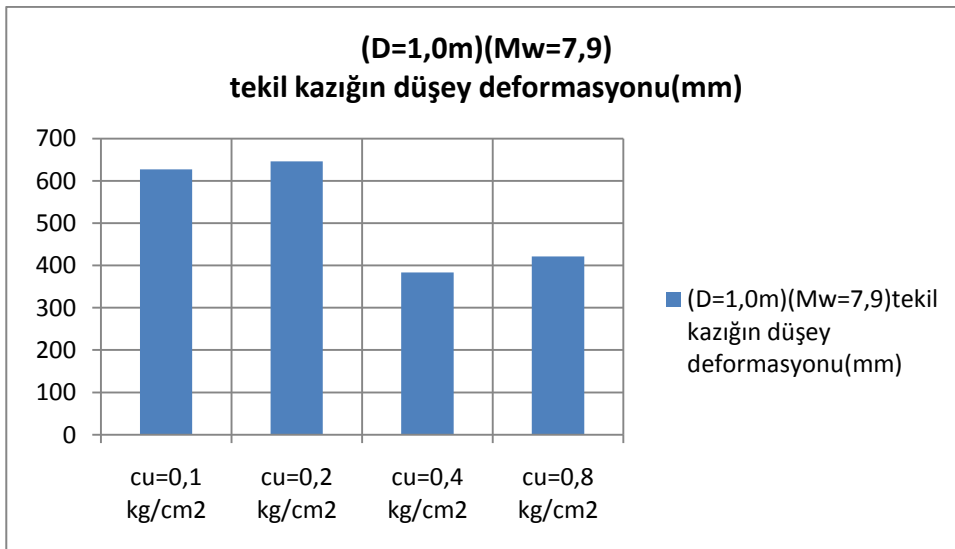


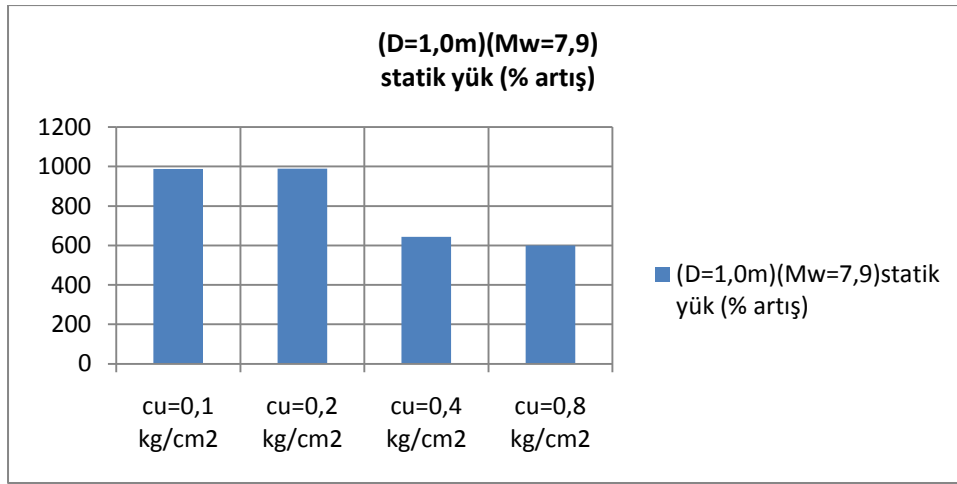
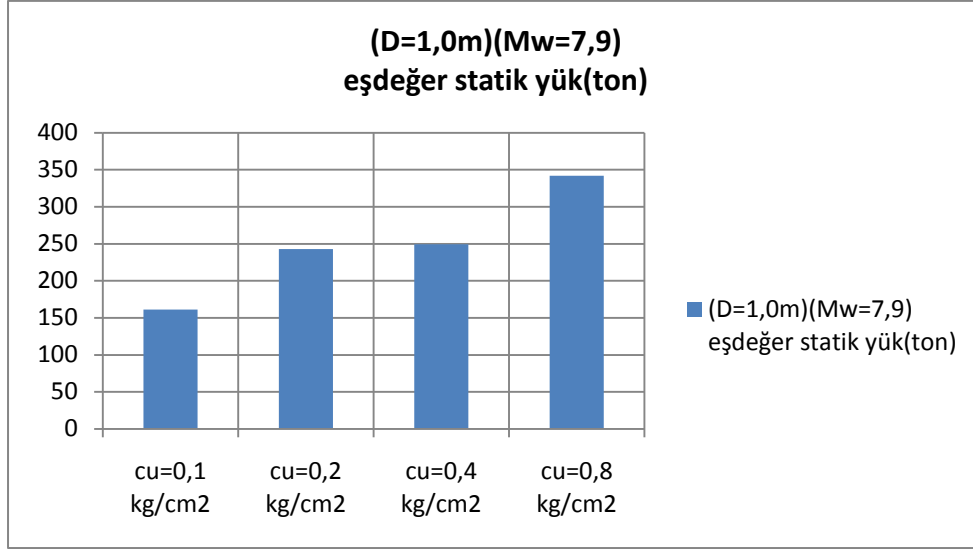
Ek:9 0,8m Mw:5 büyüklüğünde zemin mukavemetine göre grafikler



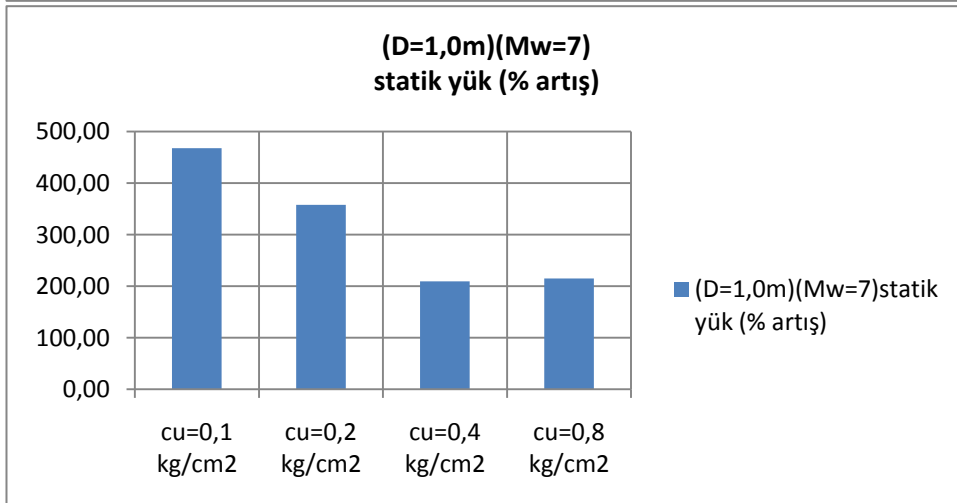
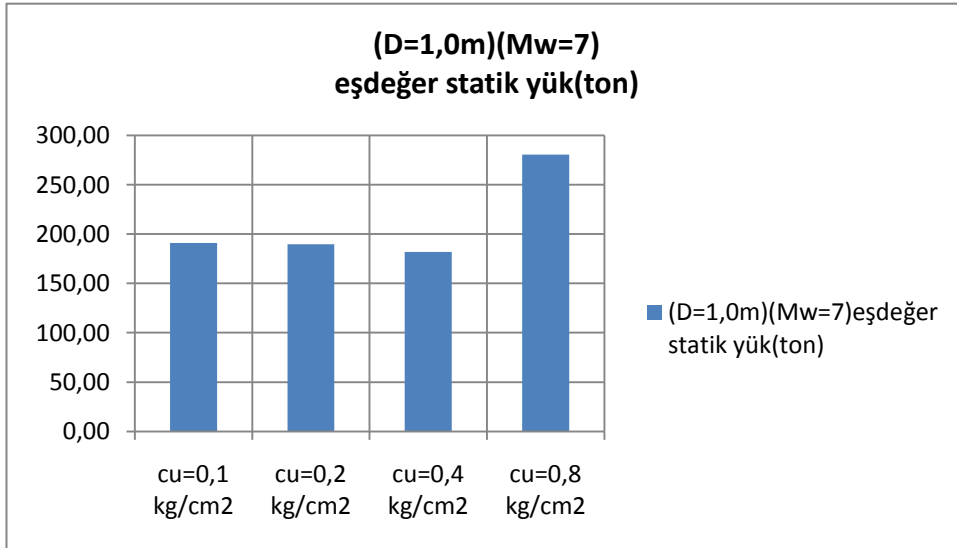
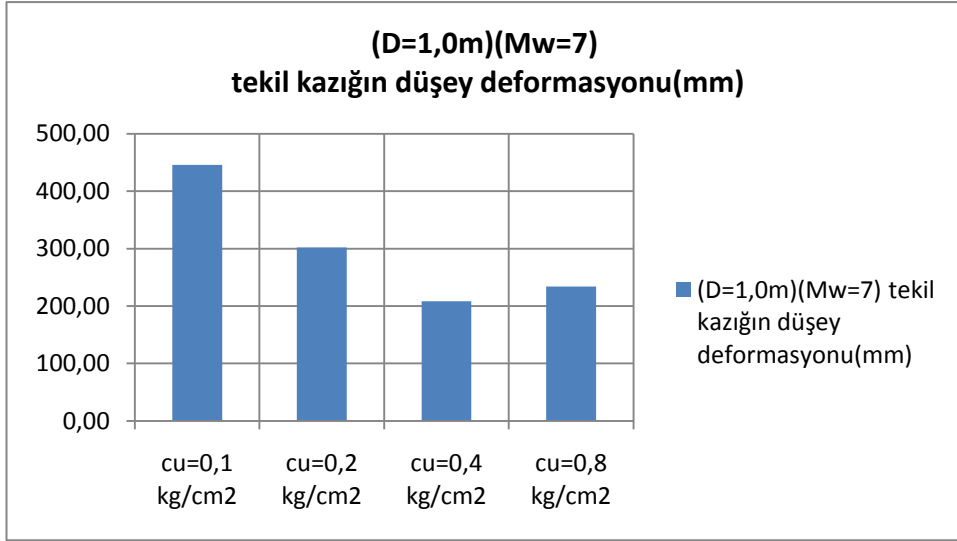


Ek:10 1,0m Mw:7,9 büyüklüğünde zemin mukavemetine göre grafikler

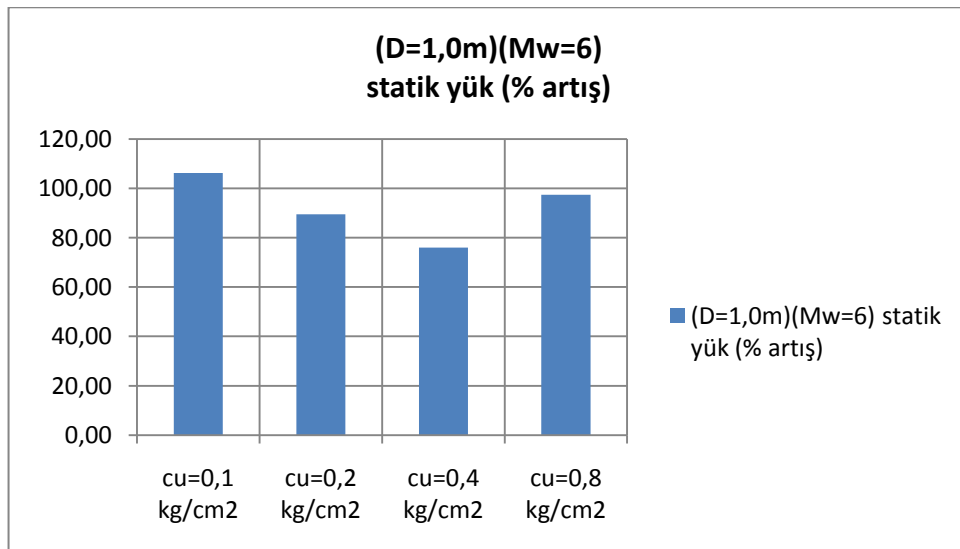
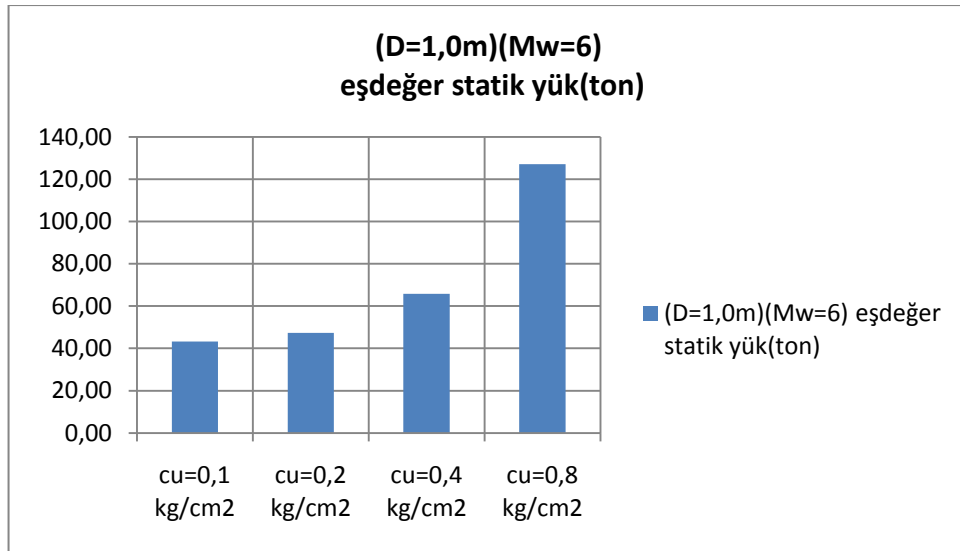
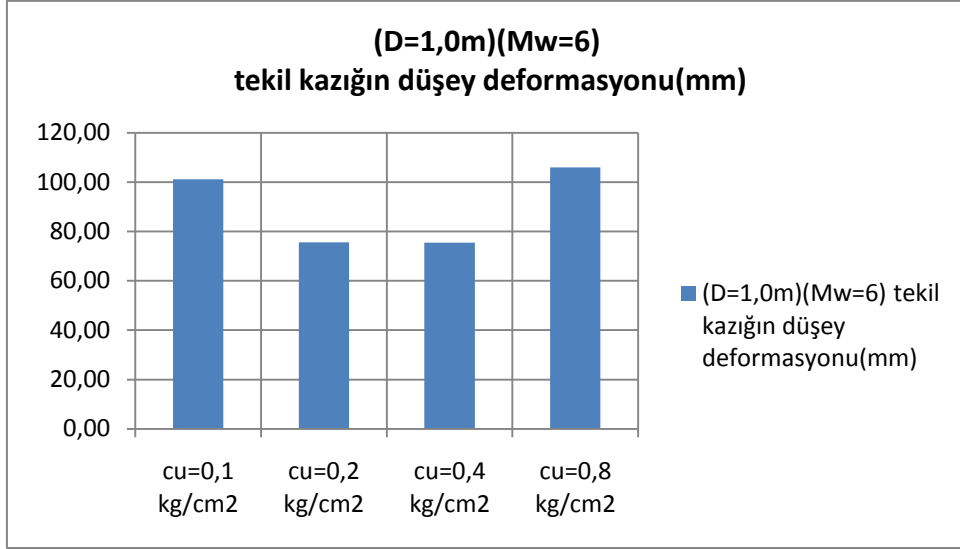




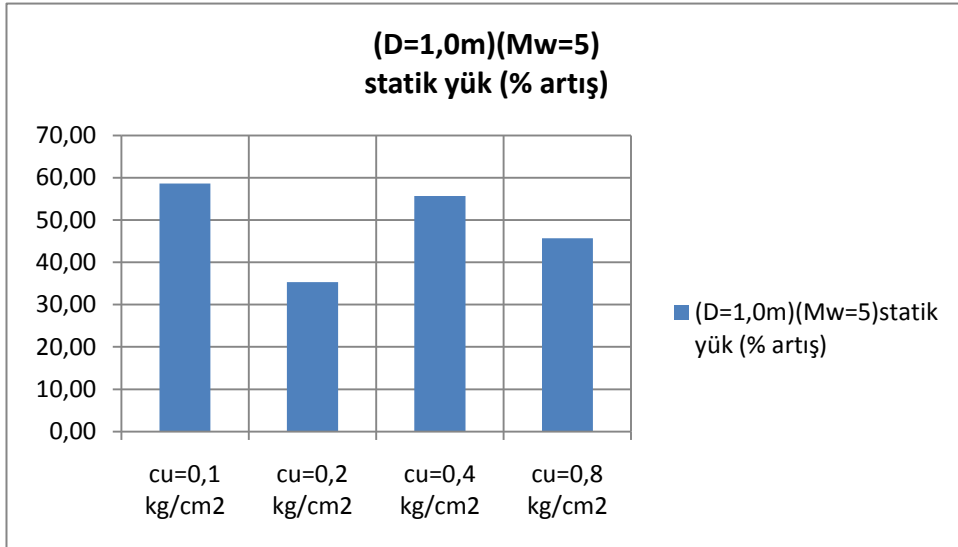
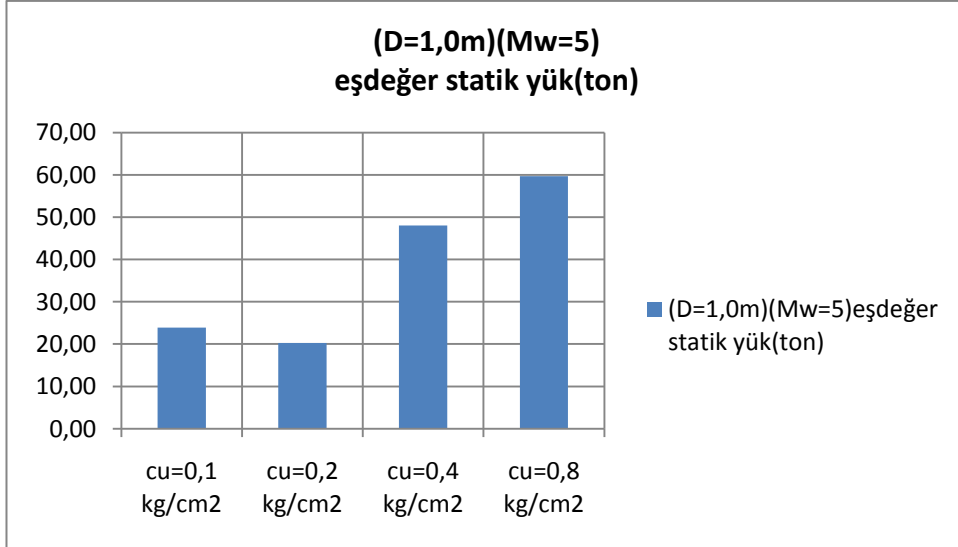
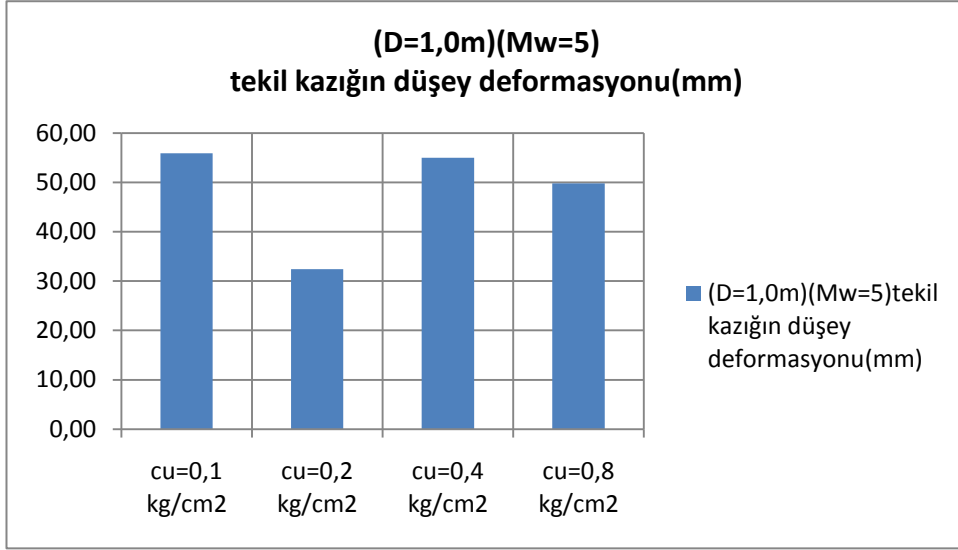
Ek:11 1,0m Mw:7 büyüklüğünde zemin mukavemetine göre grafikler



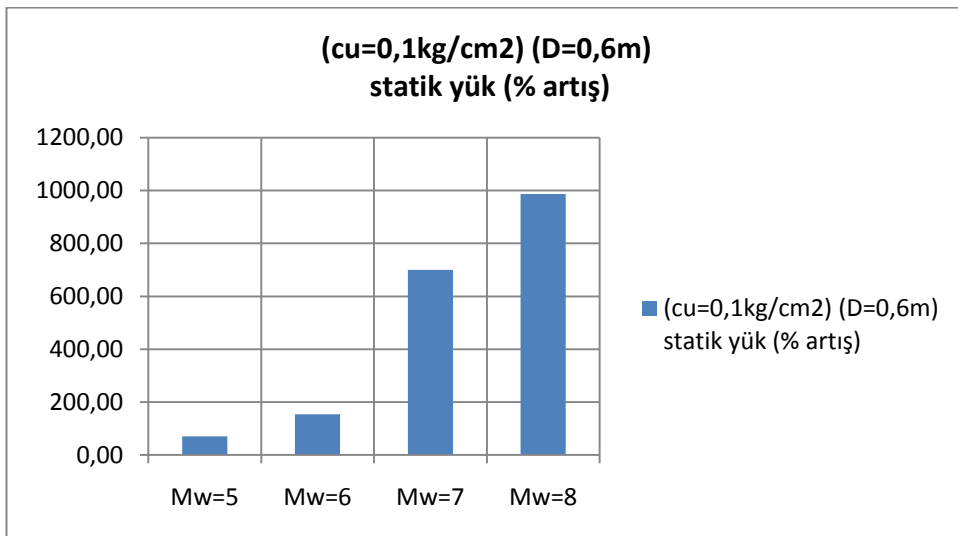
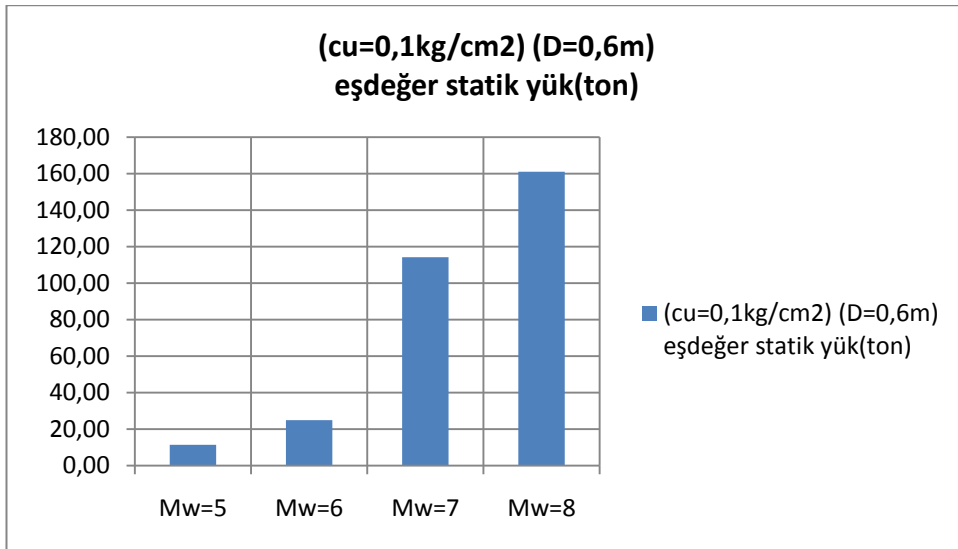
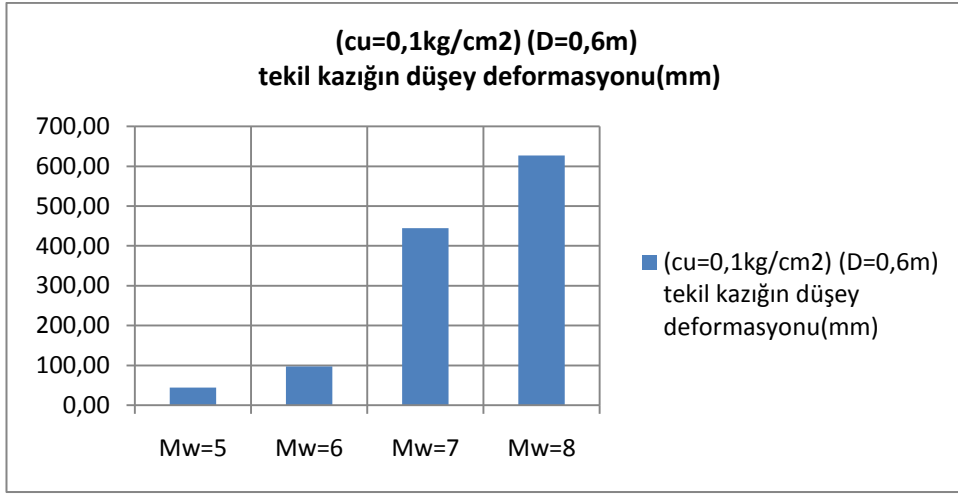
Ek:12 1,0m Mw:6 büyüklüğünde zemin mukavemetine göre grafikler



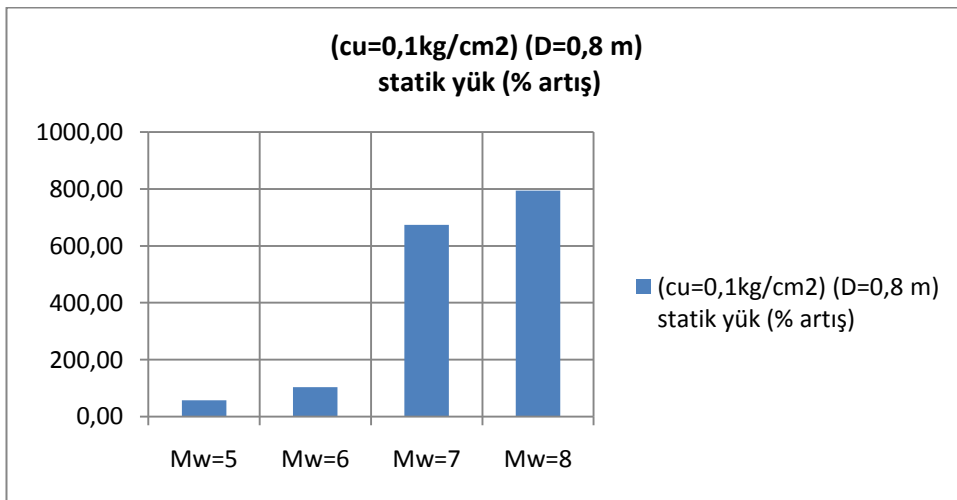
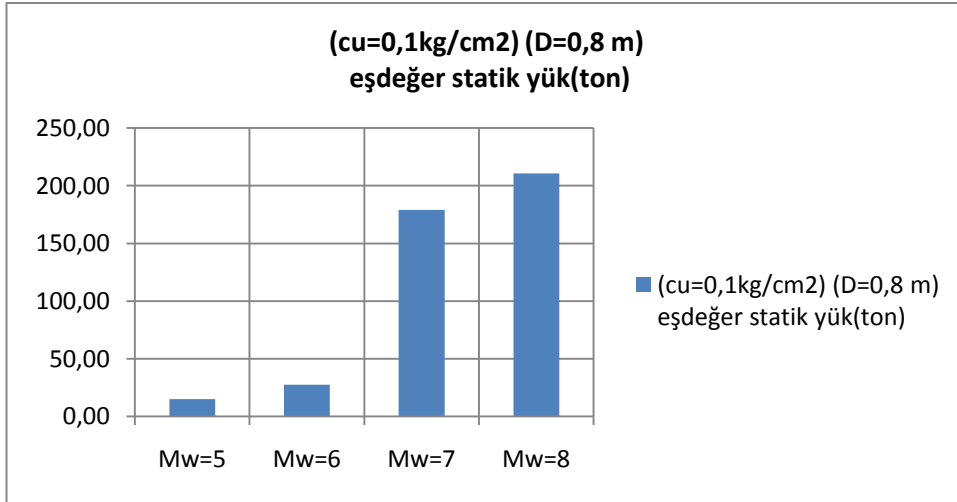
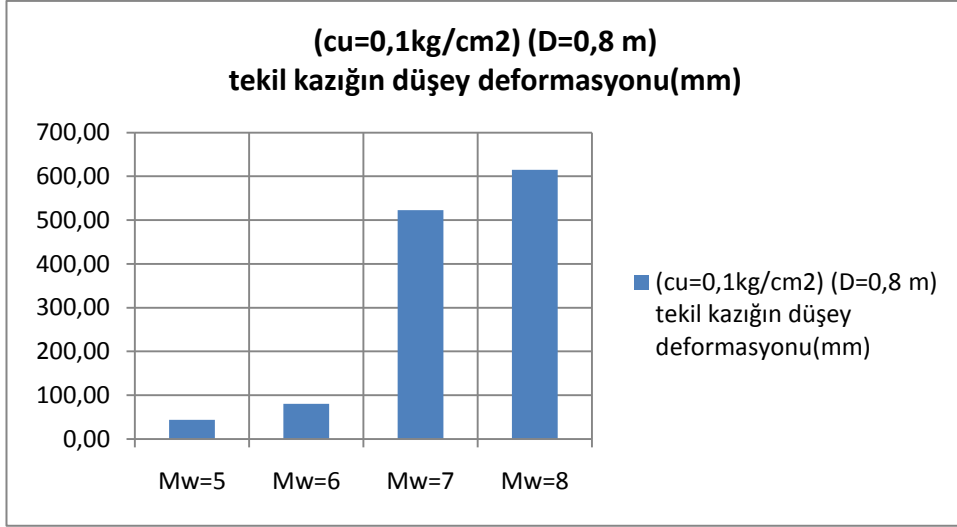
Ek:13 1,0m Mw:5 büyüklüğünde zemin mukavemetine göre grafikler



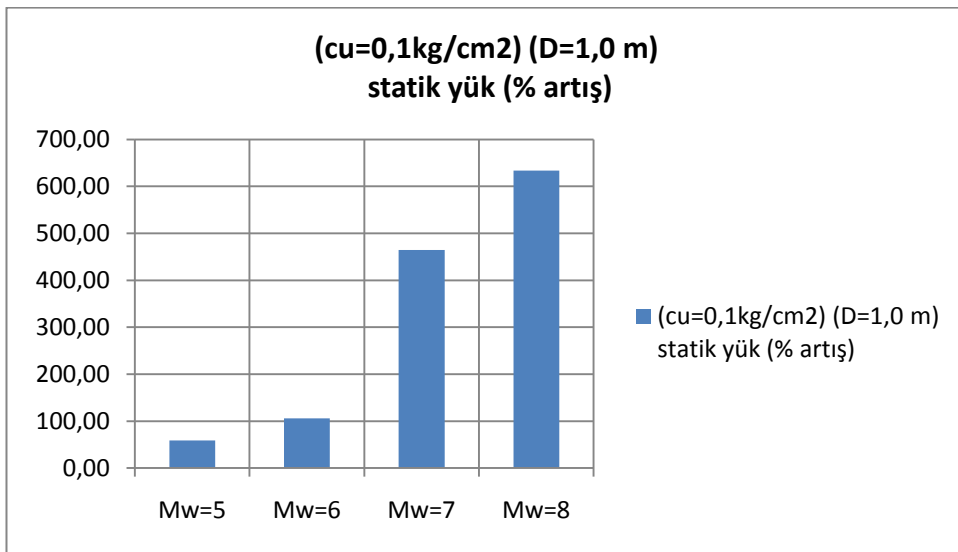
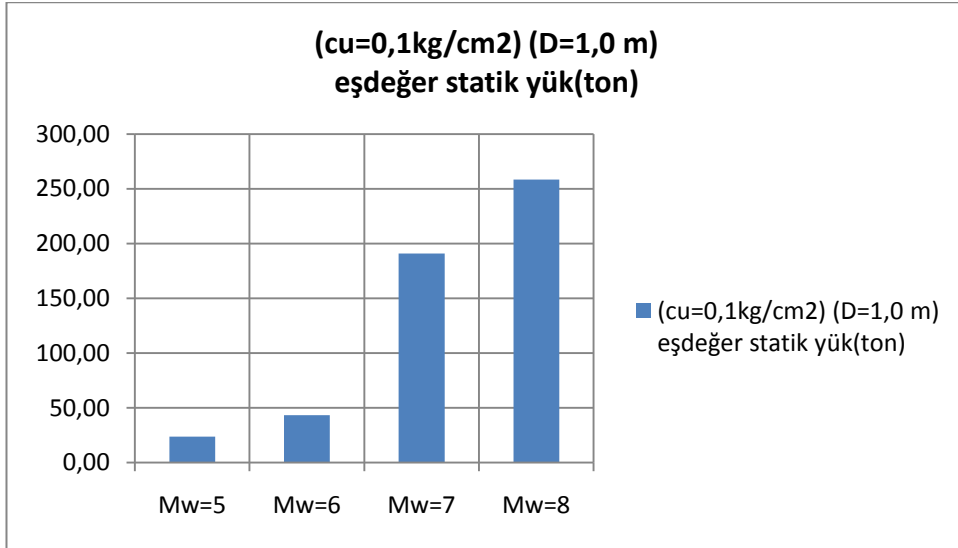
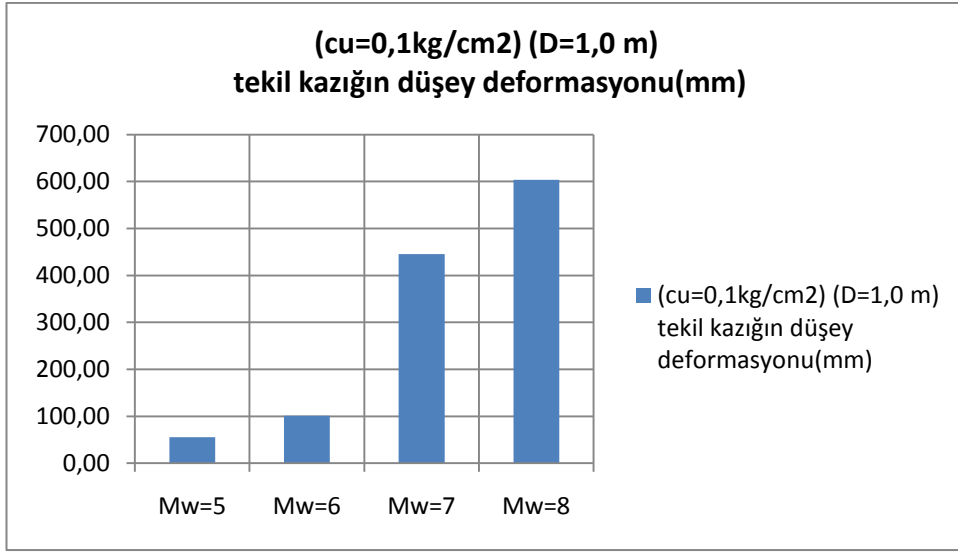
Ek:14 $c_u=0,1\text{kg/cm}^2$ 0,6m kazık çapında deprem büyüklüğüne göre grafikler



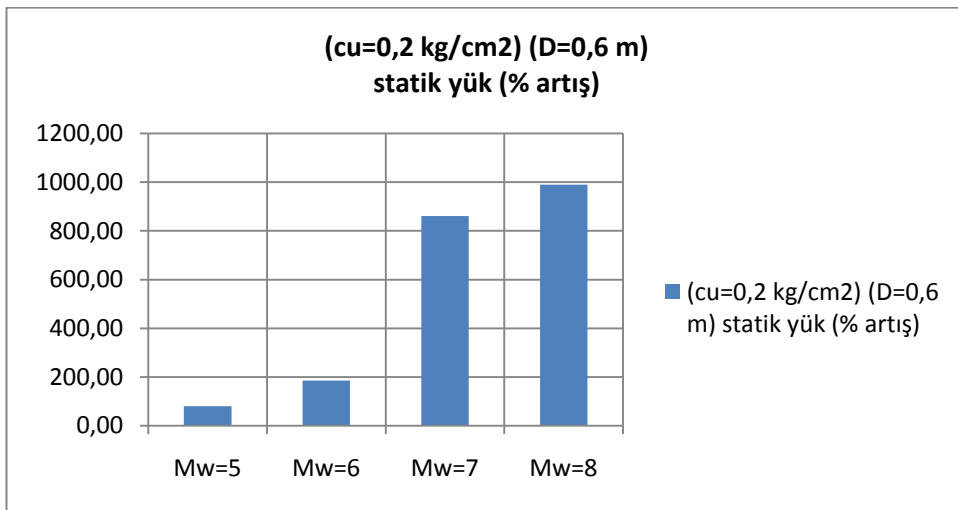
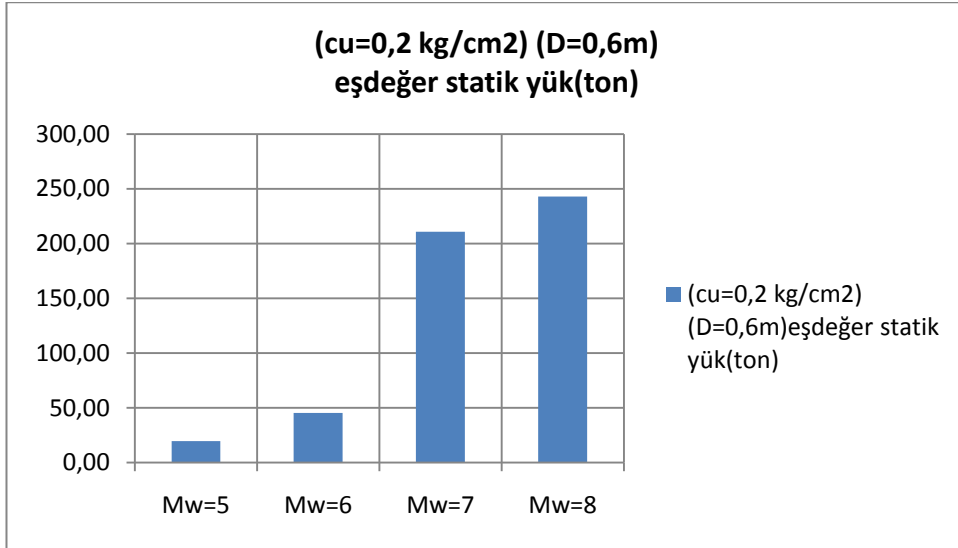
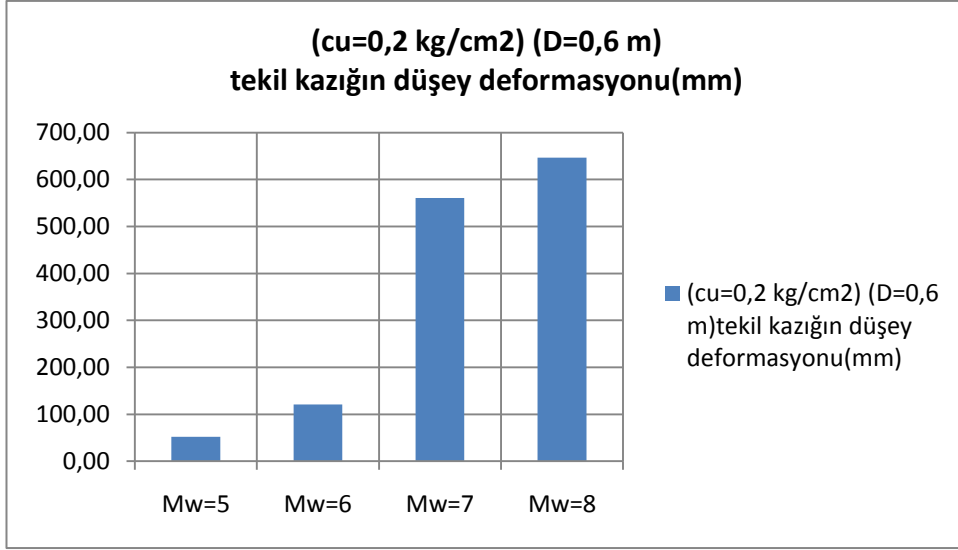
Ek:15 $c_u=0,1\text{kg/cm}^2$ 0,8m kazık çapında deprem büyüklüğüne göre grafikler



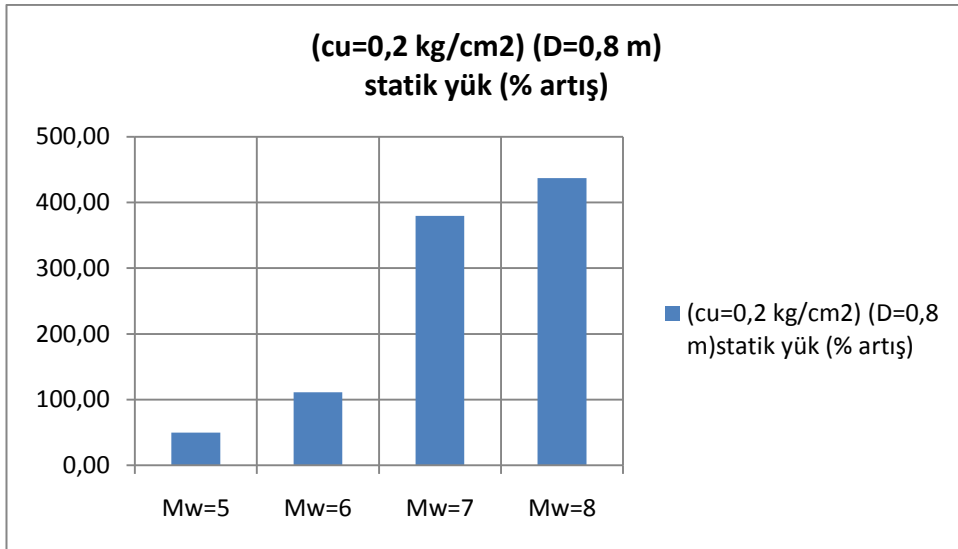
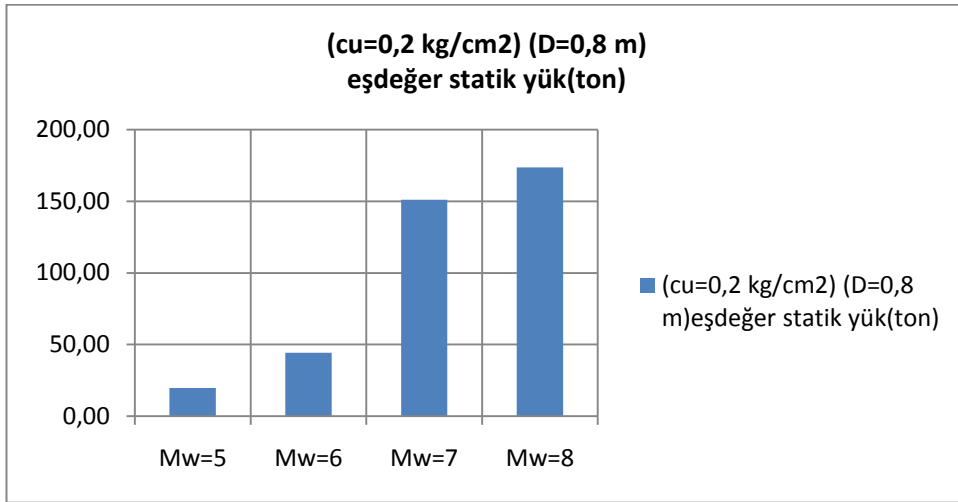
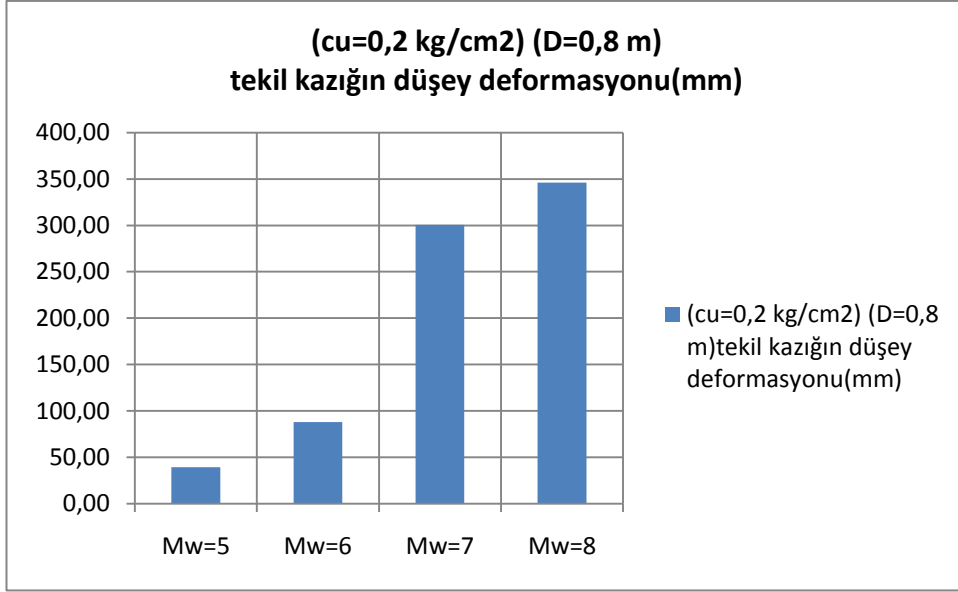
Ek:16 $c_u=0,1\text{kg/cm}^2$ 1,0m kazık çapında deprem büyüklüğüne göre grafikler



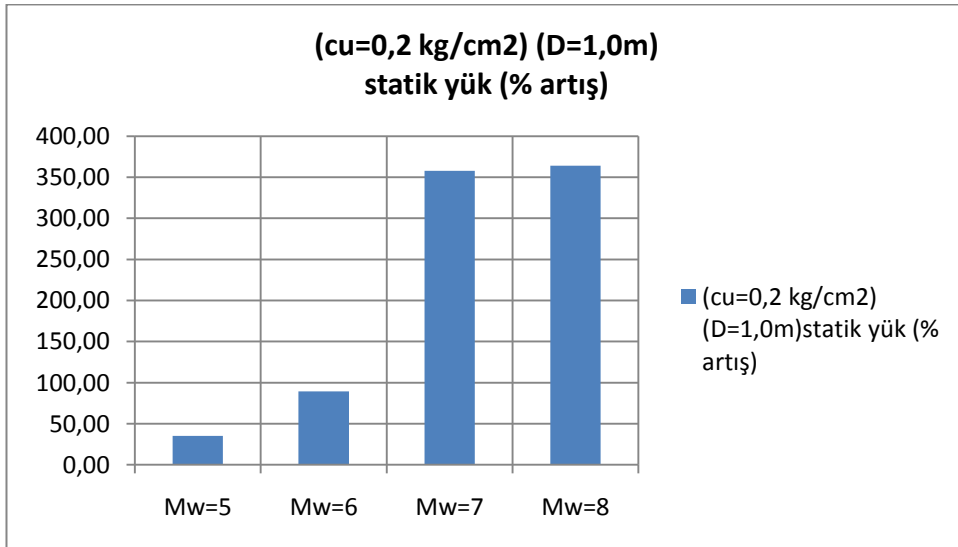
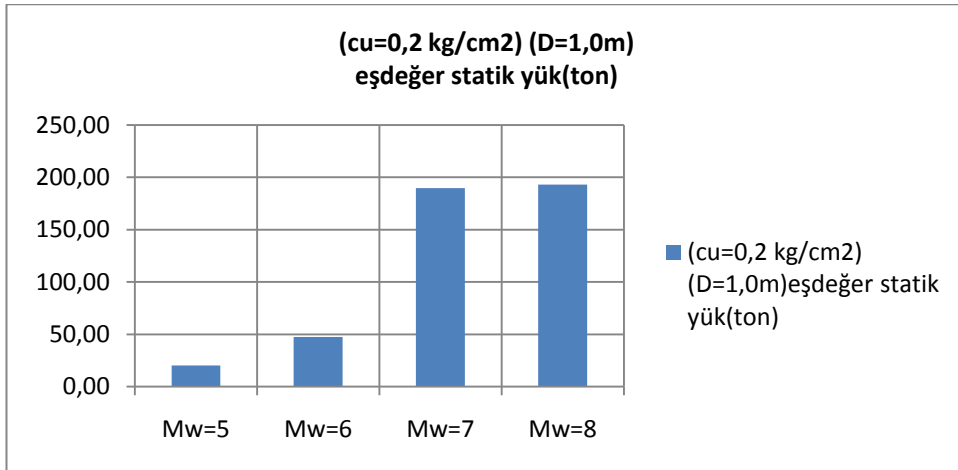
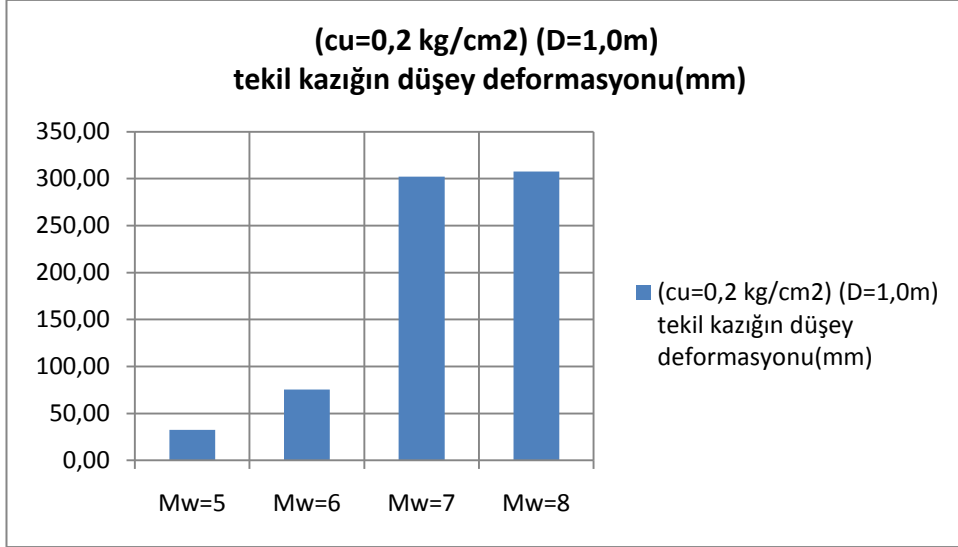
Ek:17 $c_u=0,2 \text{ kg/cm}^2$ 0,6m kazık çapında deprem büyüklüğüne göre grafikler



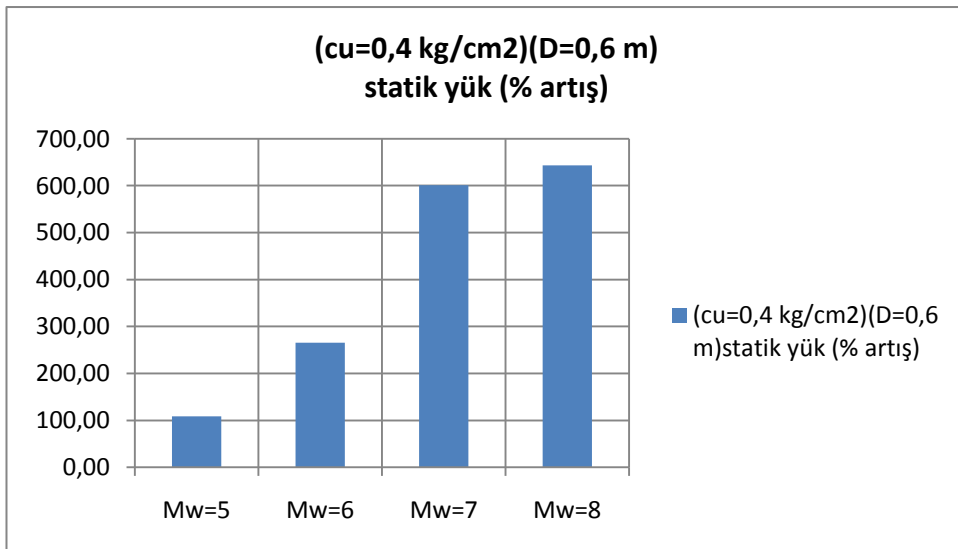
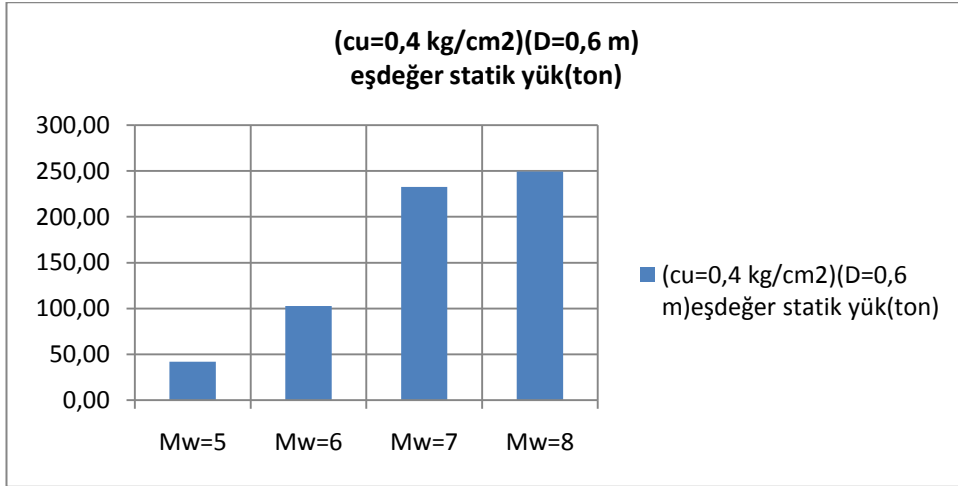
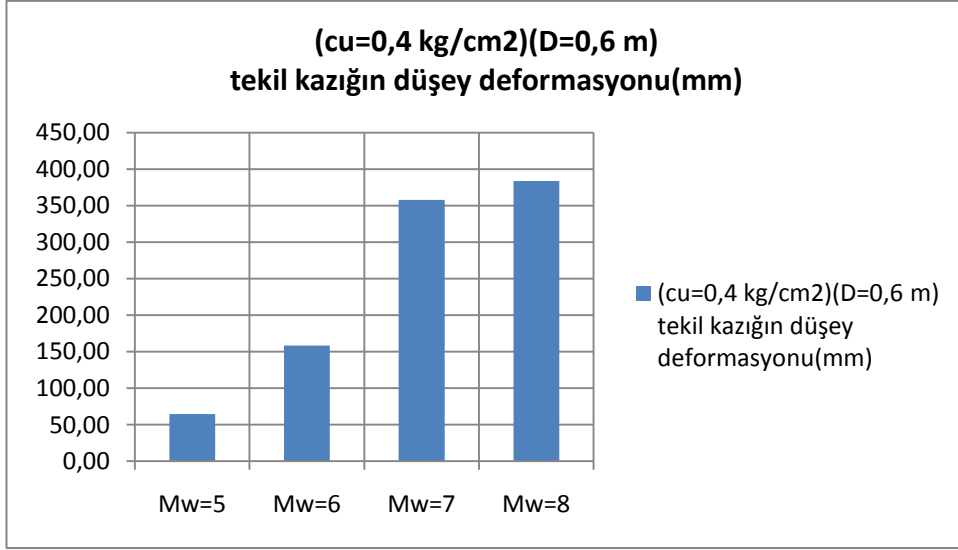
Ek:18 $c_u=0,2 \text{ kg/cm}^2$ 0,8m kazık çapında deprem büyüklüğüne göre grafikler



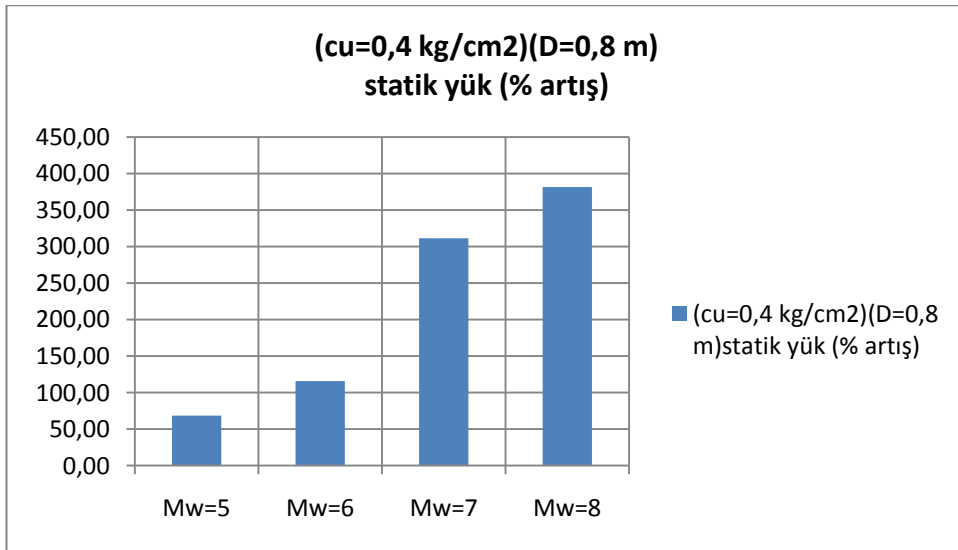
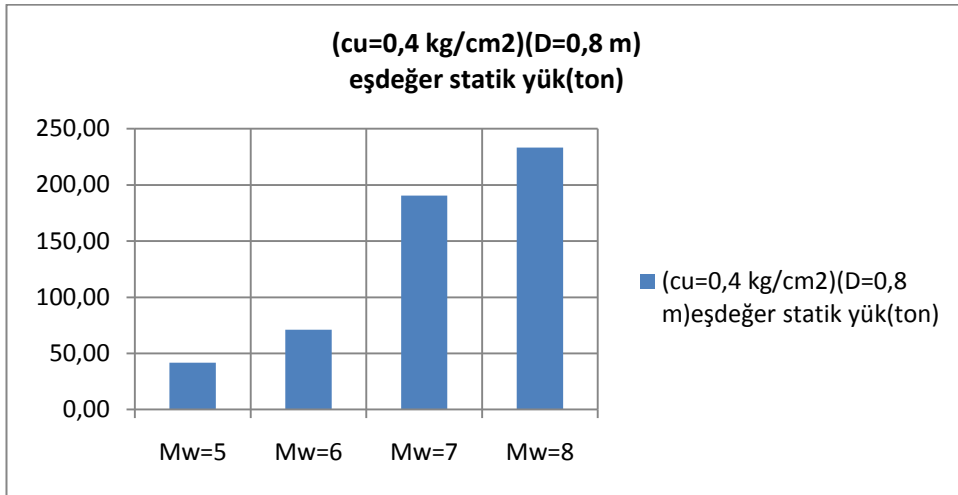
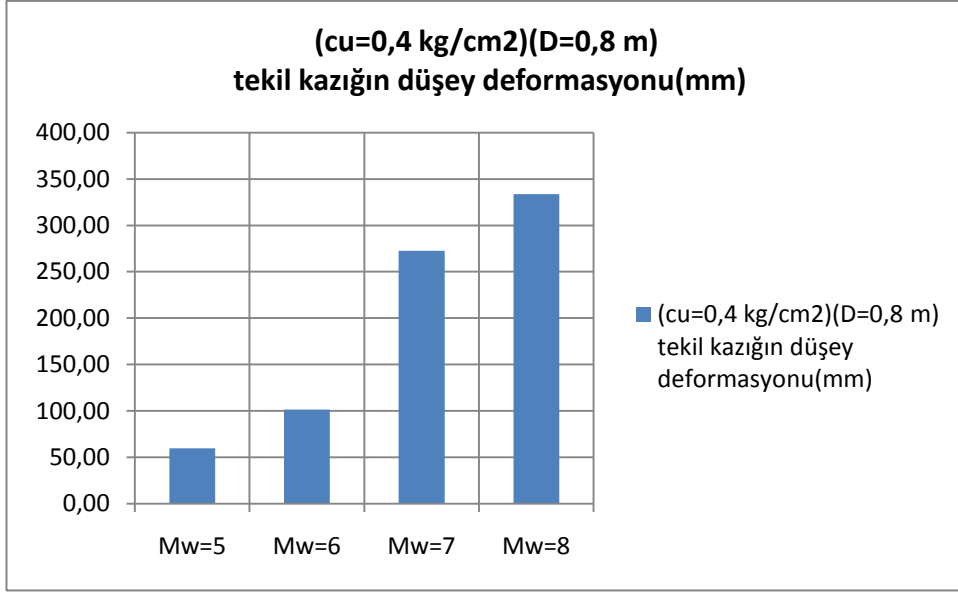
Ek:19 $c_u=0,2 \text{ kg/cm}^2$ 1,0m kazık çapında deprem büyüklüğüne göre grafikler



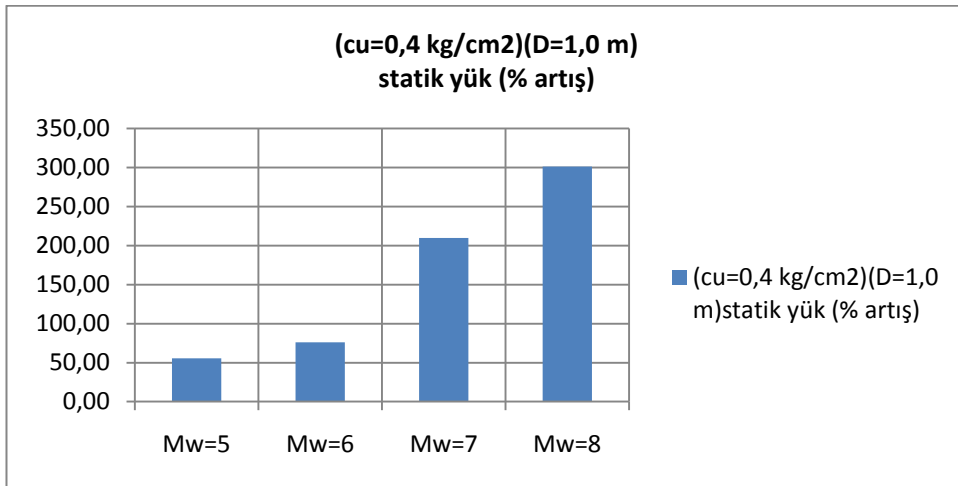
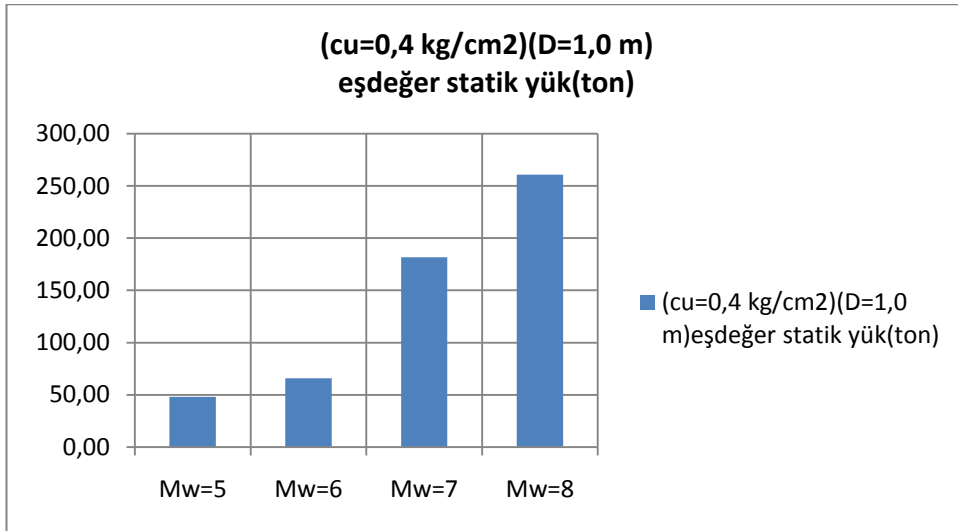
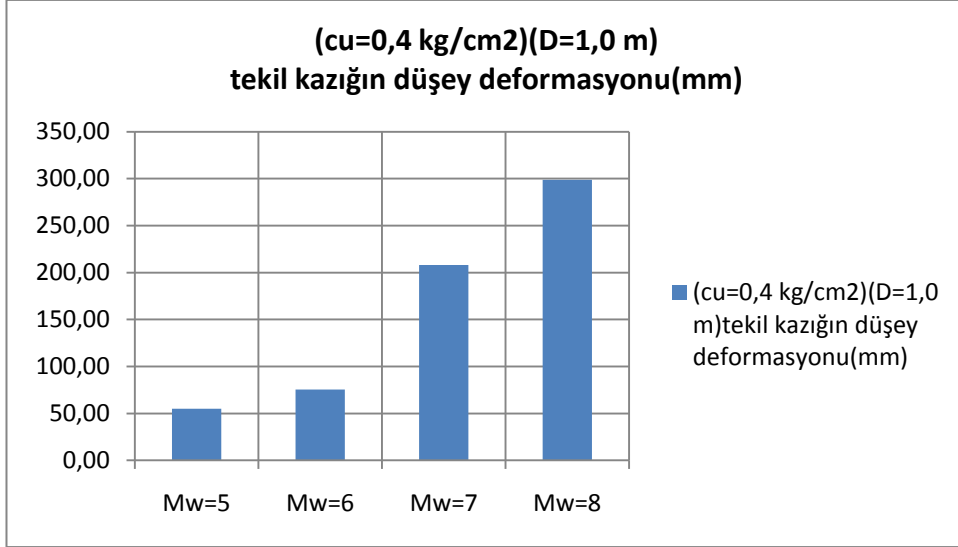
Ek:20 $c_u=0,4 \text{ kg/cm}^2$ 0,6m kazık çapında deprem büyüklüğüne göre grafikler



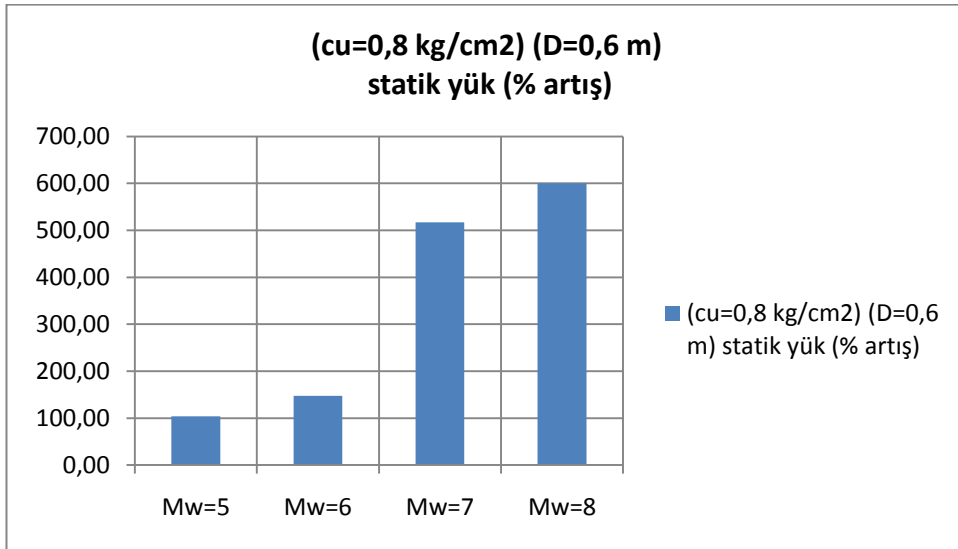
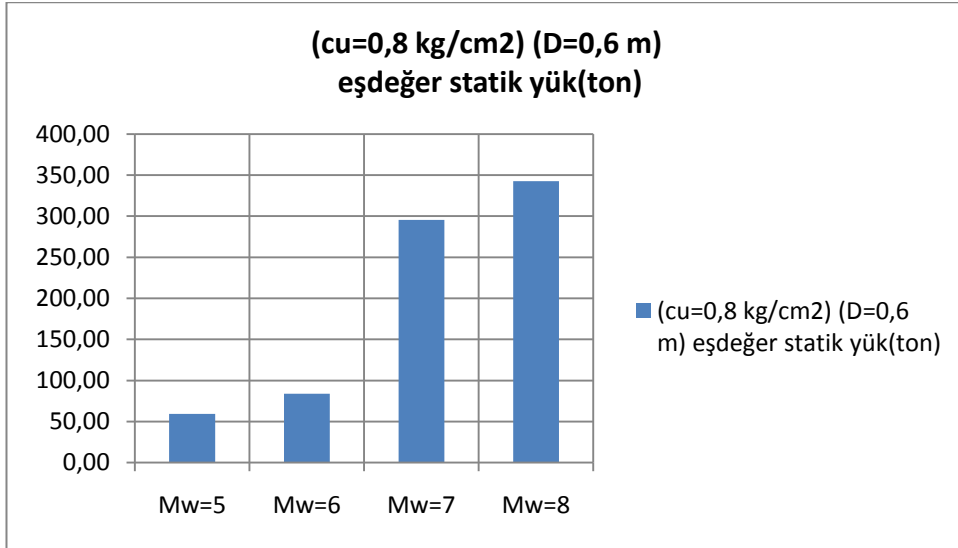
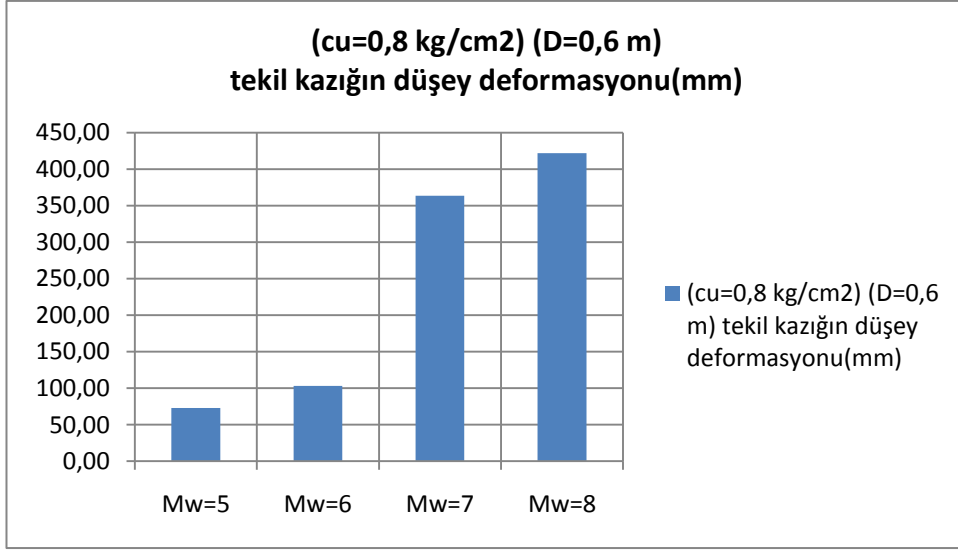
Ek:21 $c_u=0,4 \text{ kg/cm}^2$ 0,8m kazık çapında deprem büyüklüğüne göre grafikler



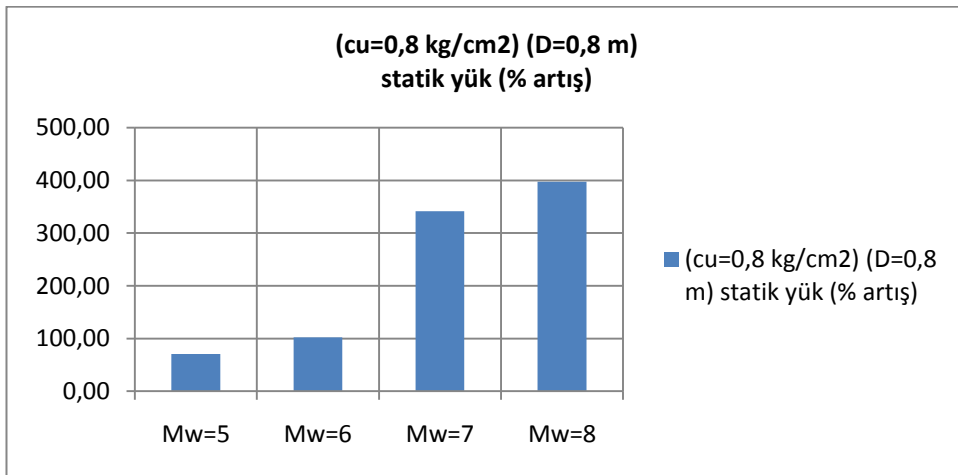
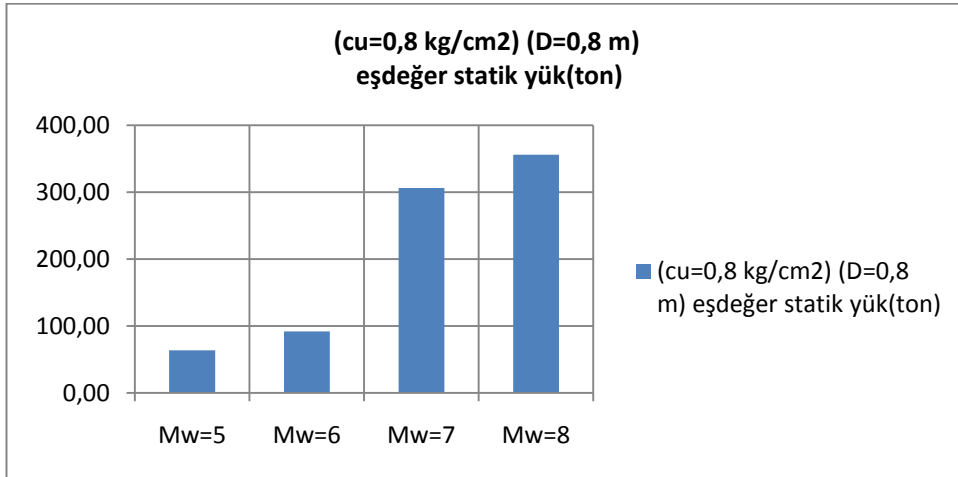
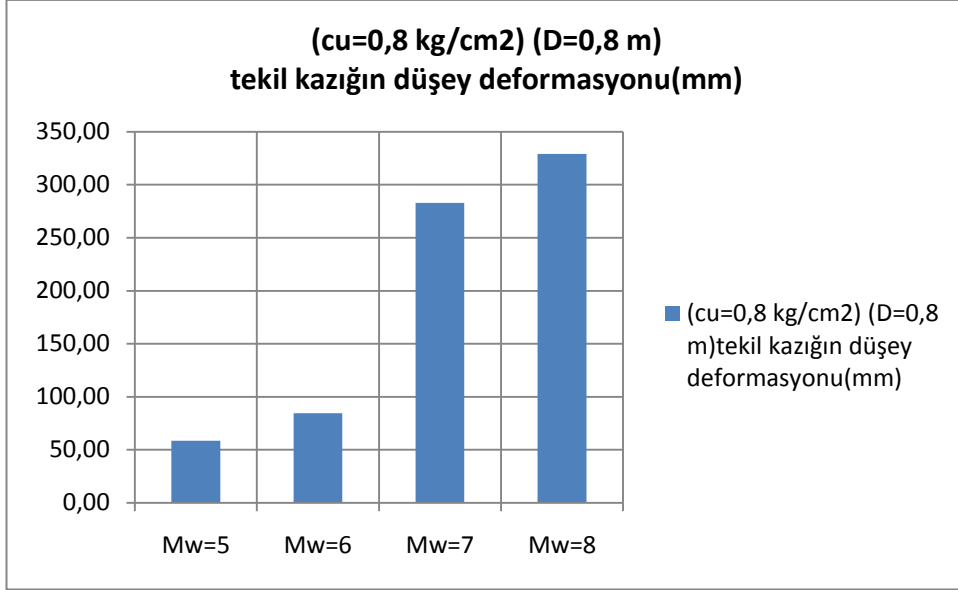
Ek:22 $c_u=0,4 \text{ kg/cm}^2$ 1,0m kazık çapında deprem büyüklüğüne göre grafikler



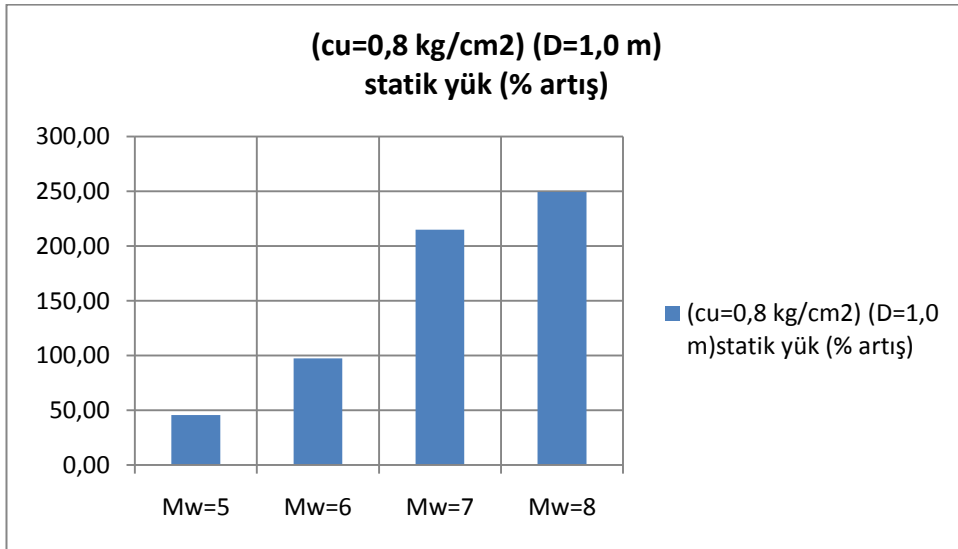
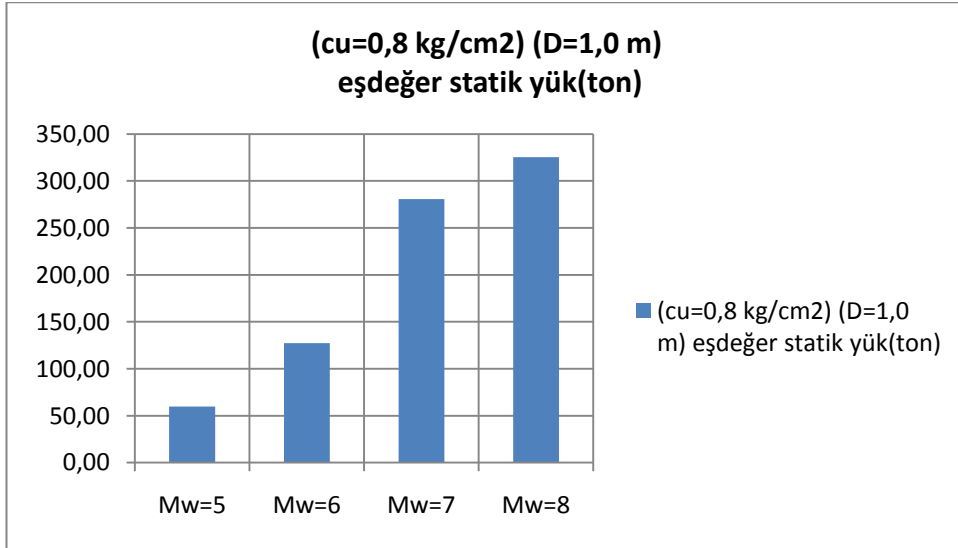
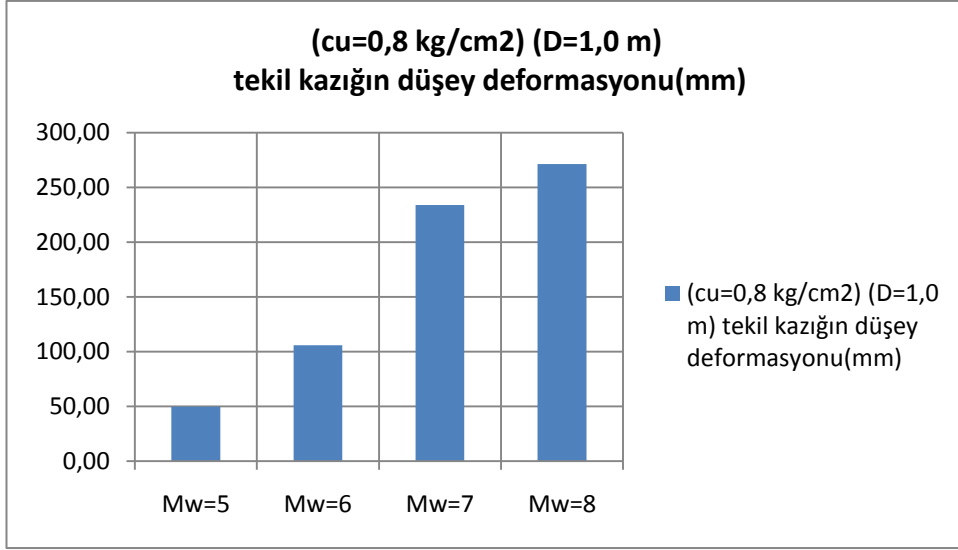
Ek:23 $c_u=0,8 \text{ kg/cm}^2$ 0,6m kazık çapında deprem büyüklüğüne göre grafikler



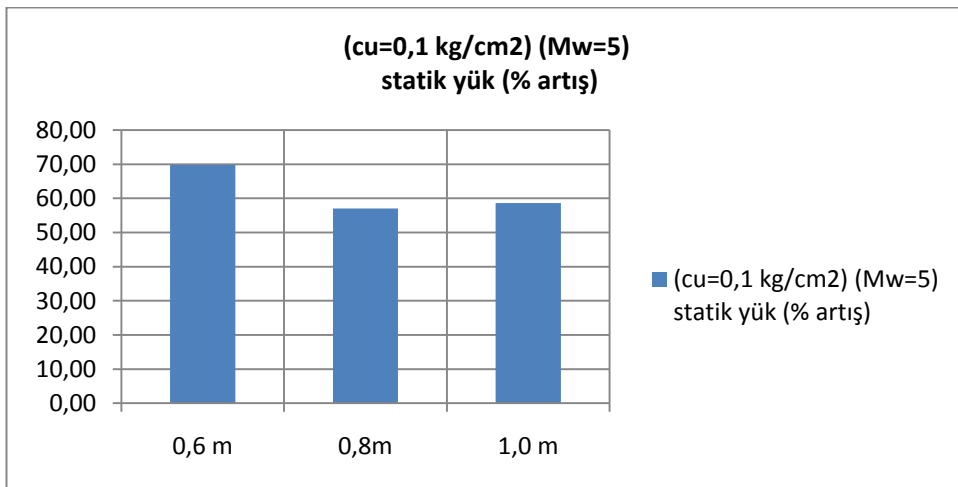
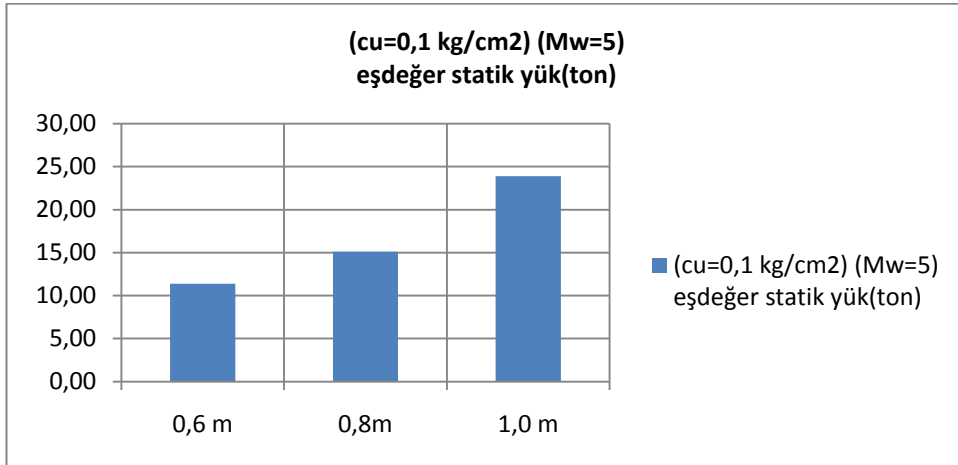
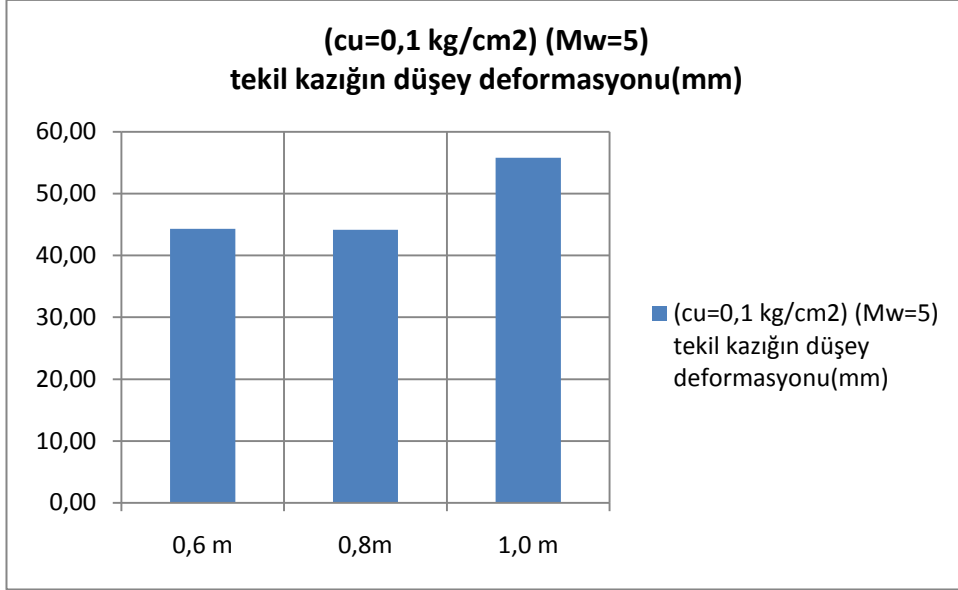
Ek:24 $c_u=0,8 \text{ kg/cm}^2$ 0,8m kazık çapında deprem büyüklüğüne göre grafikler



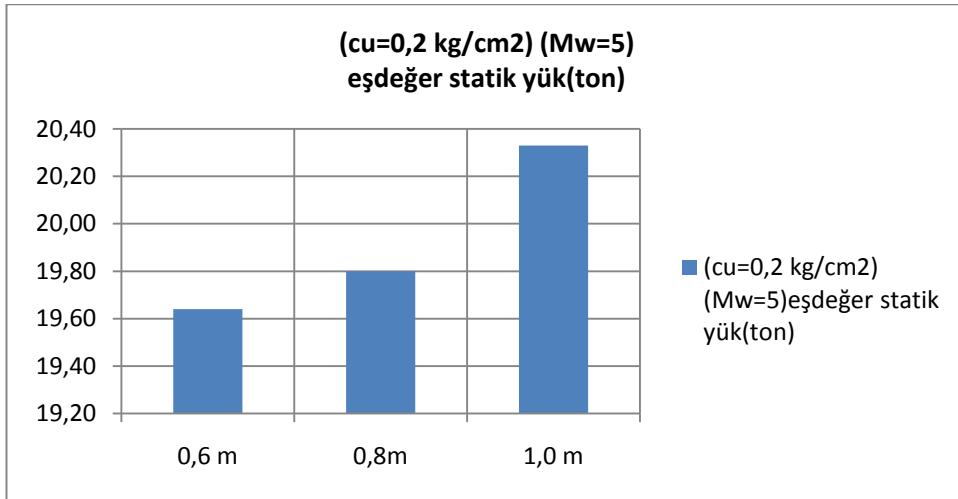
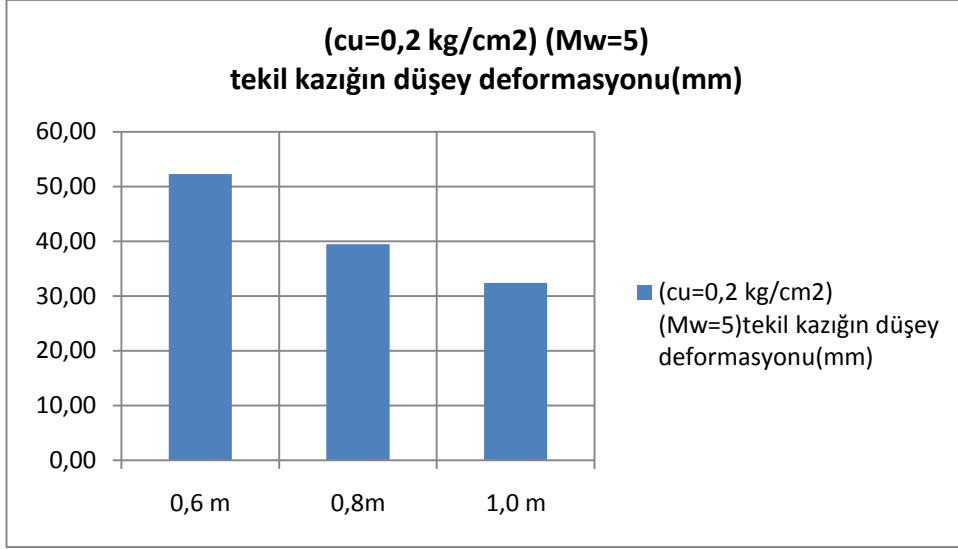
Ek:25 $c_u=0,8 \text{ kg/cm}^2$ 1,0m kazık çapında deprem büyüklüğüne göre grafikler

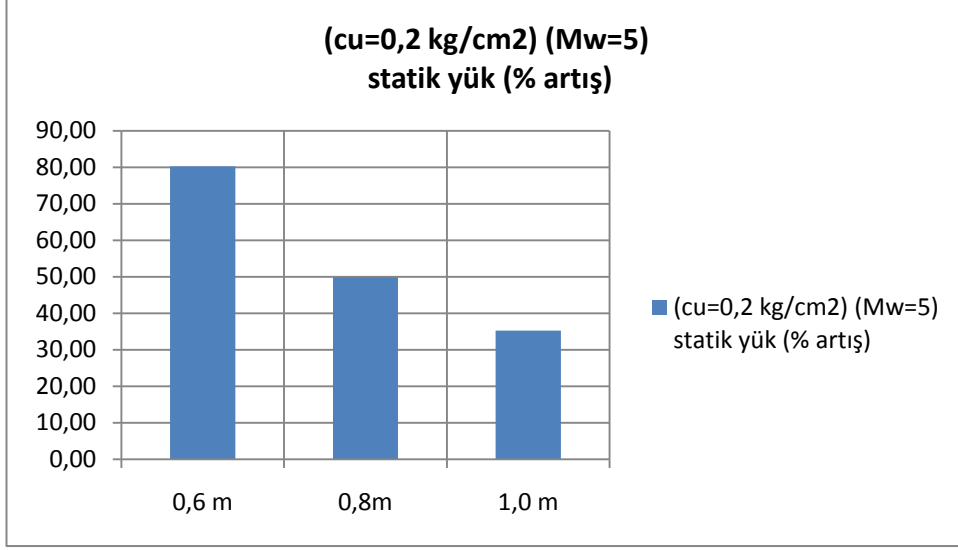


Ek:26 $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ $M_w=5$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler

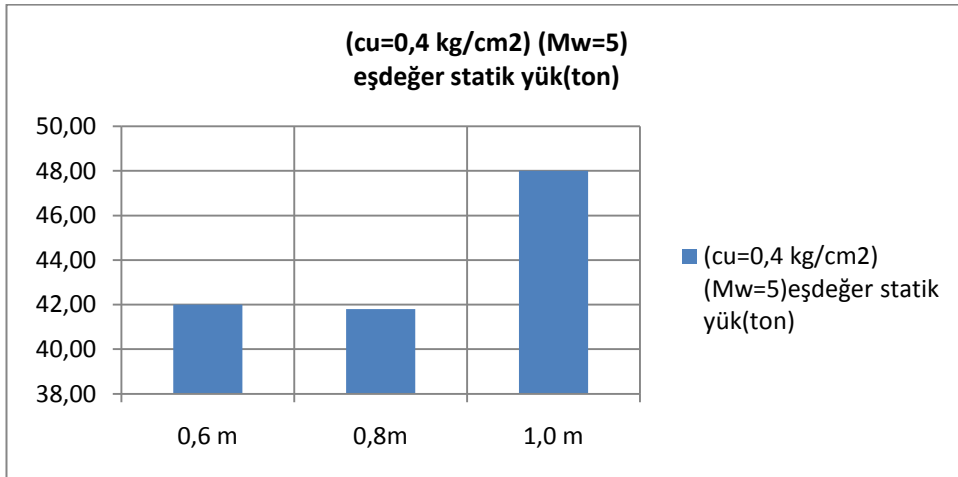
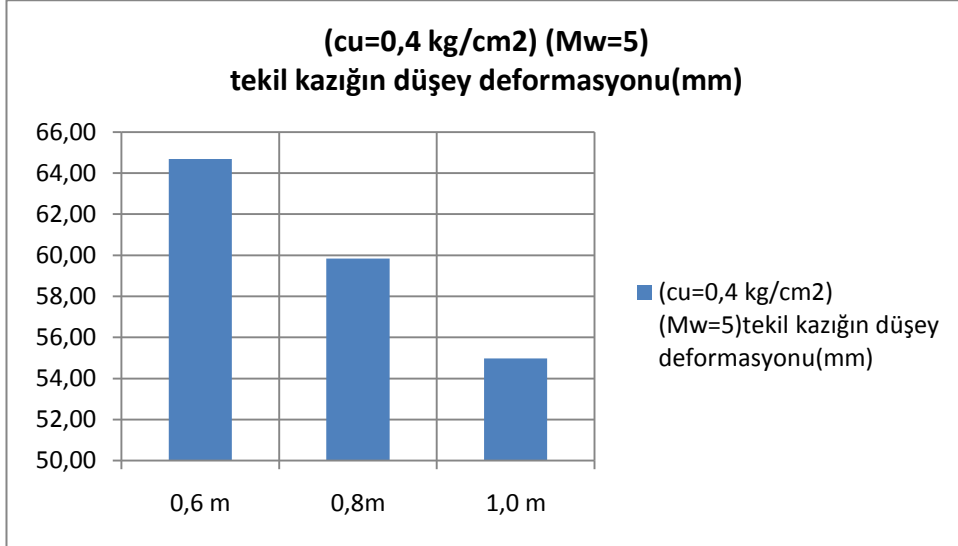


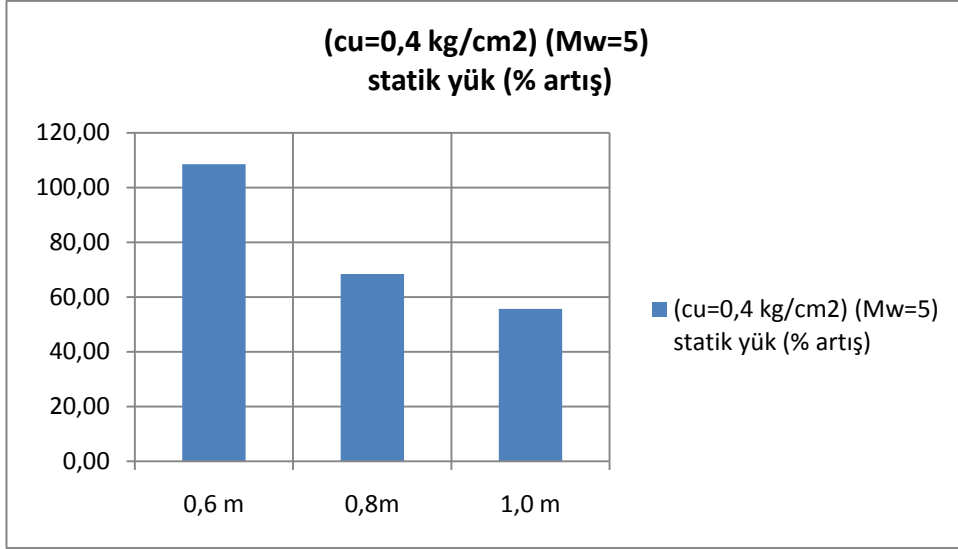
Ek:27 $c_u=0,2 \text{ kg/cm}^2$ $M_w=5$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



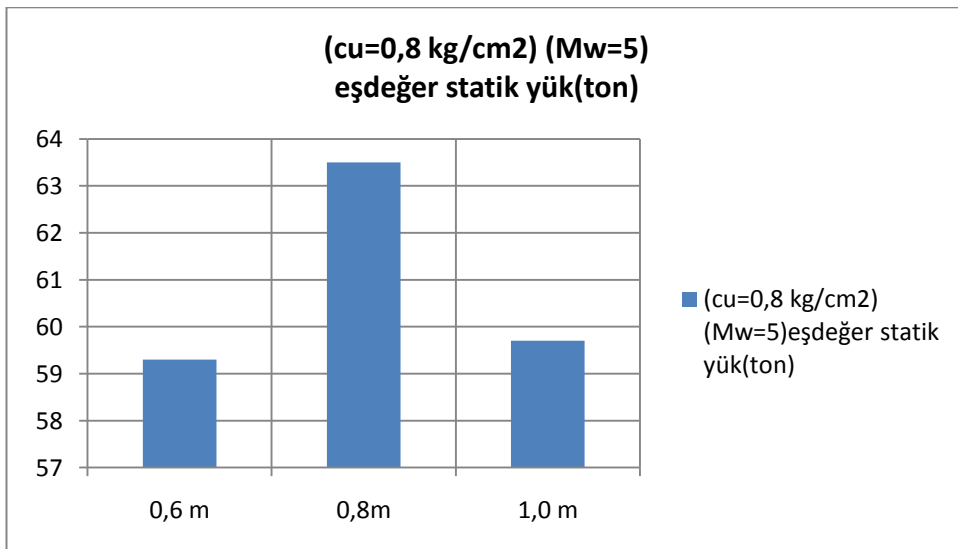
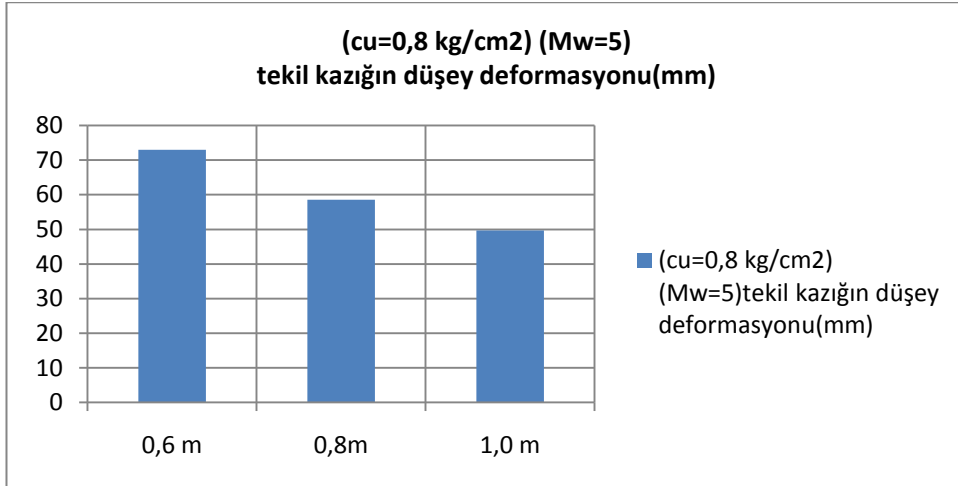


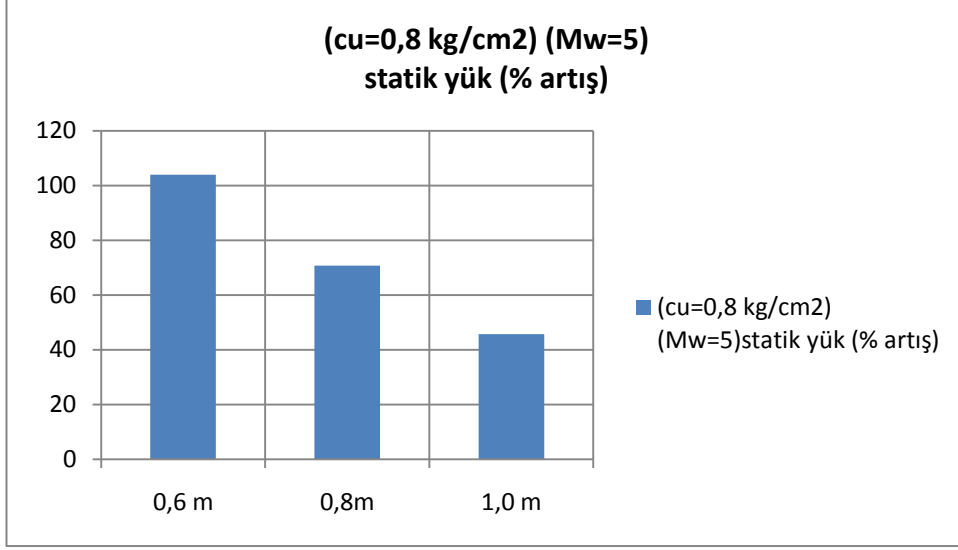
Ek:28 $c_u=0,4 \text{ kg/cm}^2$ $M_w=5$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



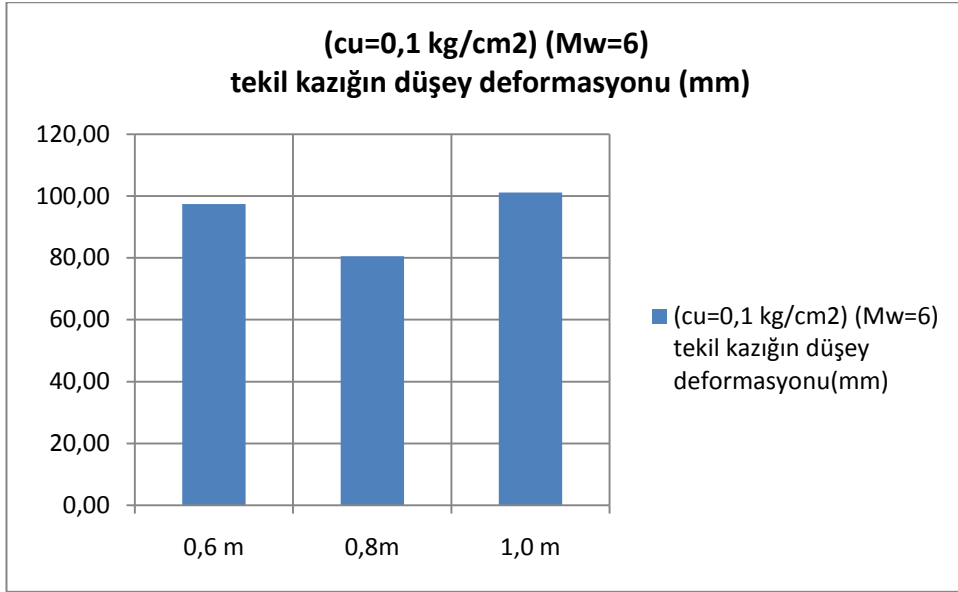


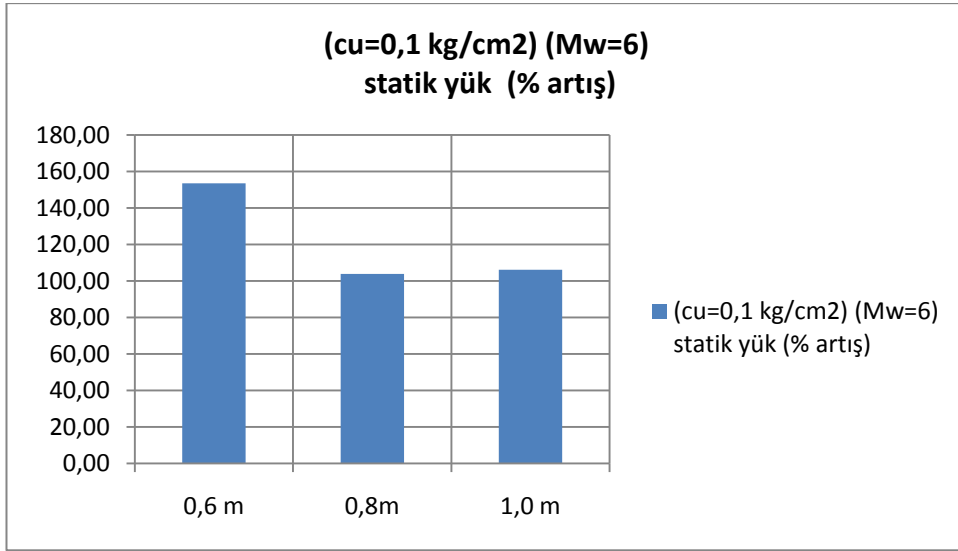
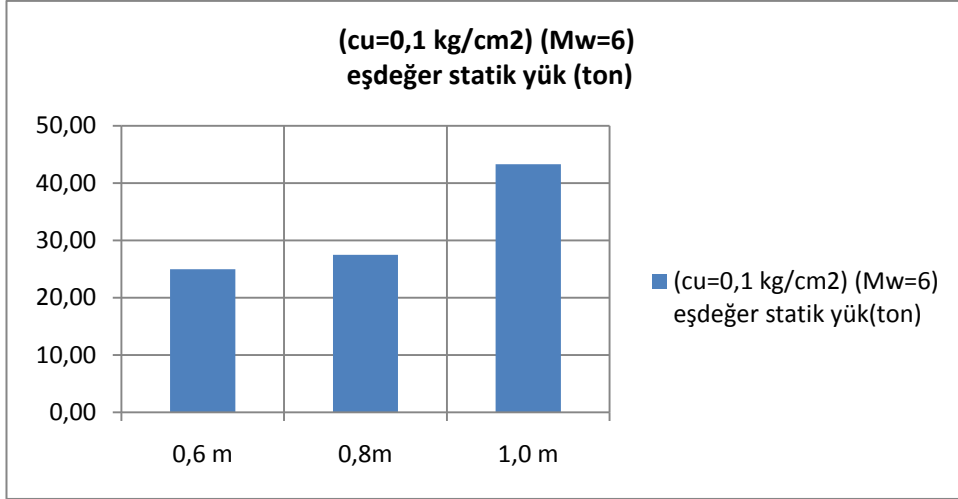
Ek:29 $c_u=0,8 \text{ kg/cm}^2$ $M_w=5$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



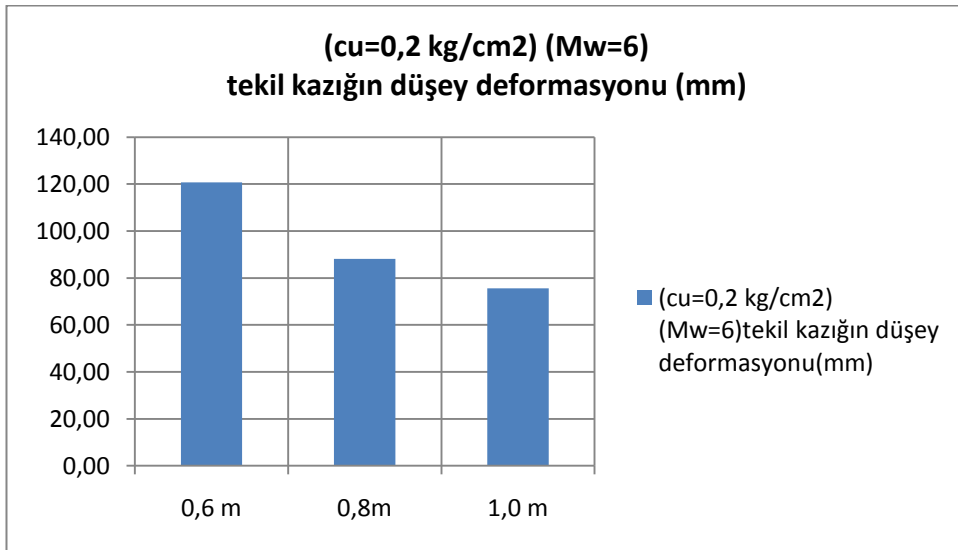


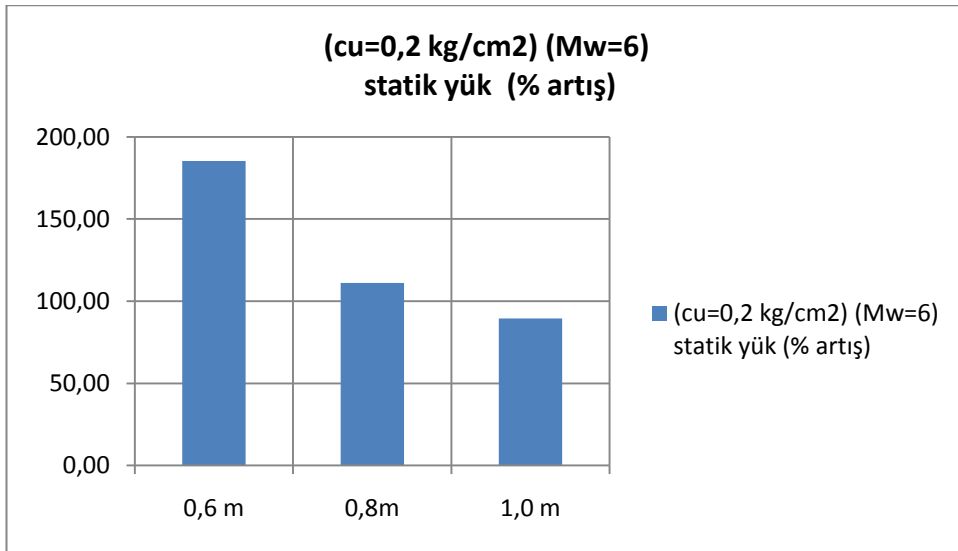
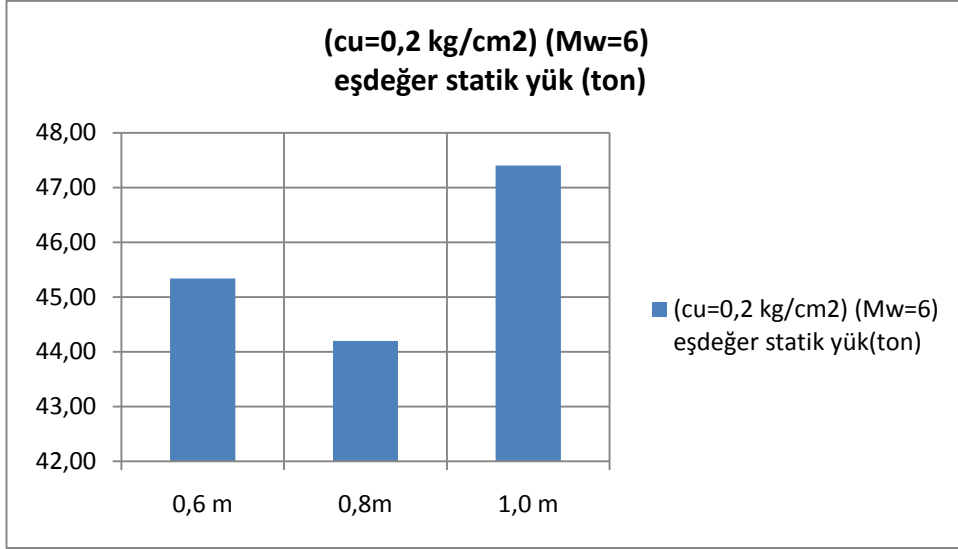
Ek:30 $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ $M_w=6$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



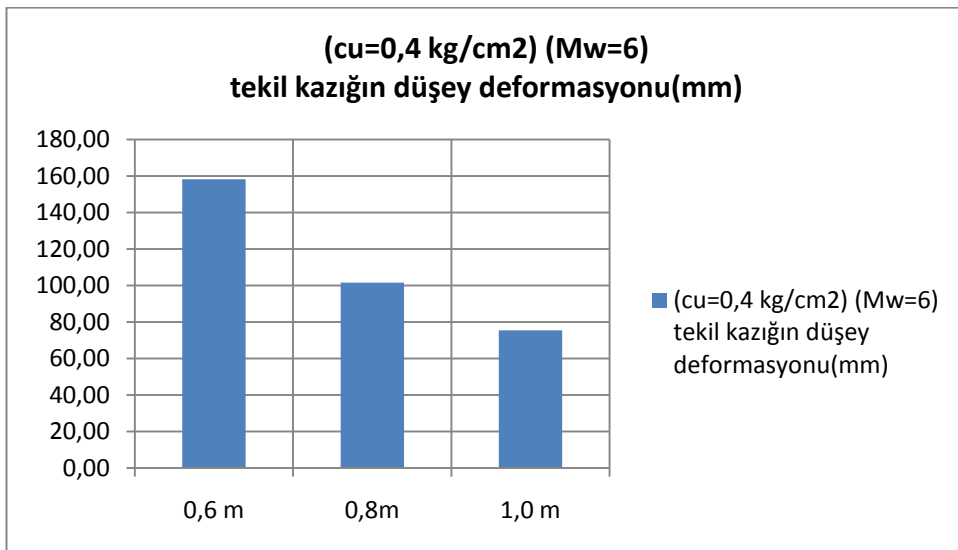


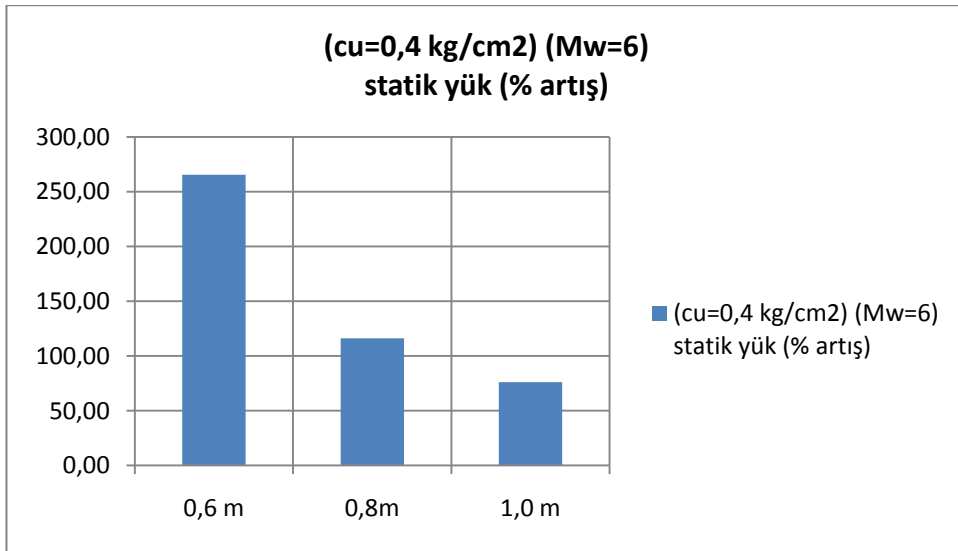
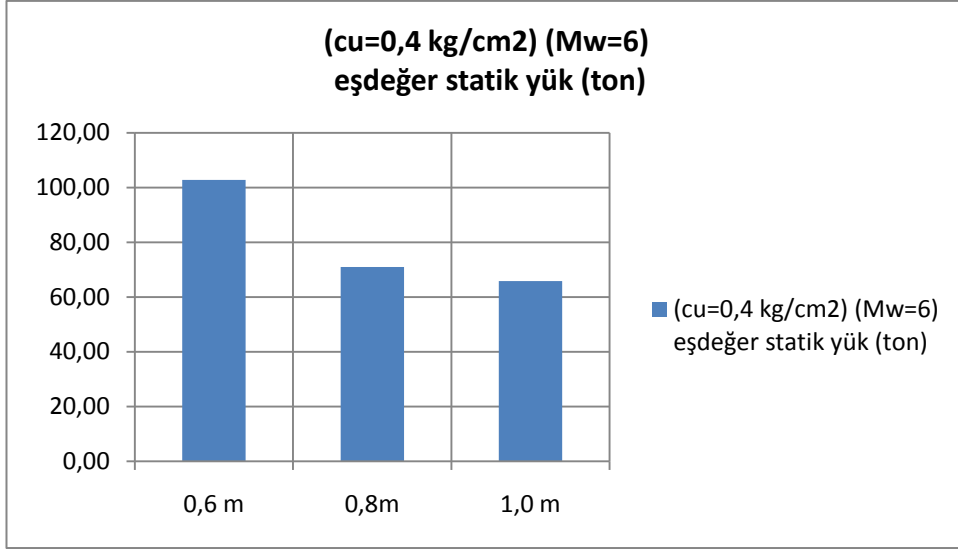
Ek:31 $c_u=0,2 \text{ kg/cm}^2$ $M_w=6$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



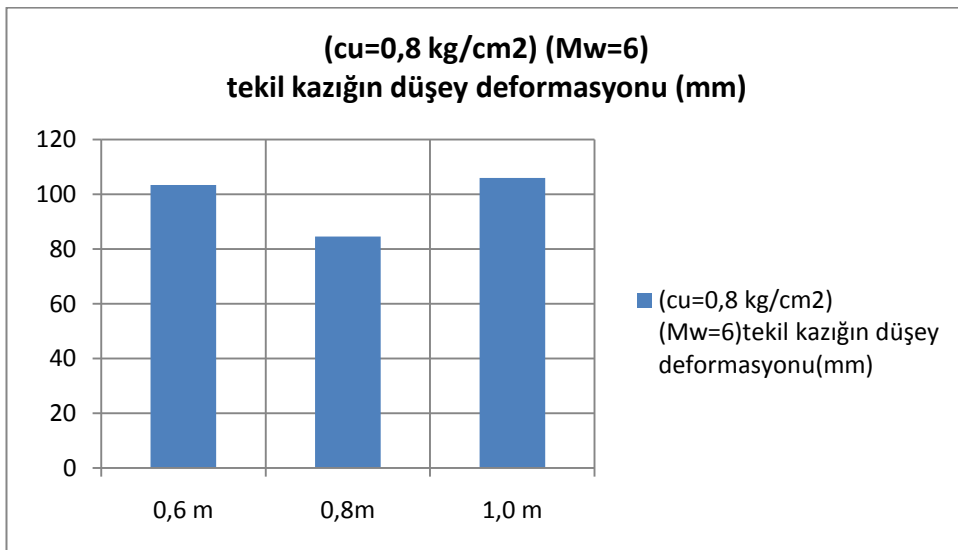


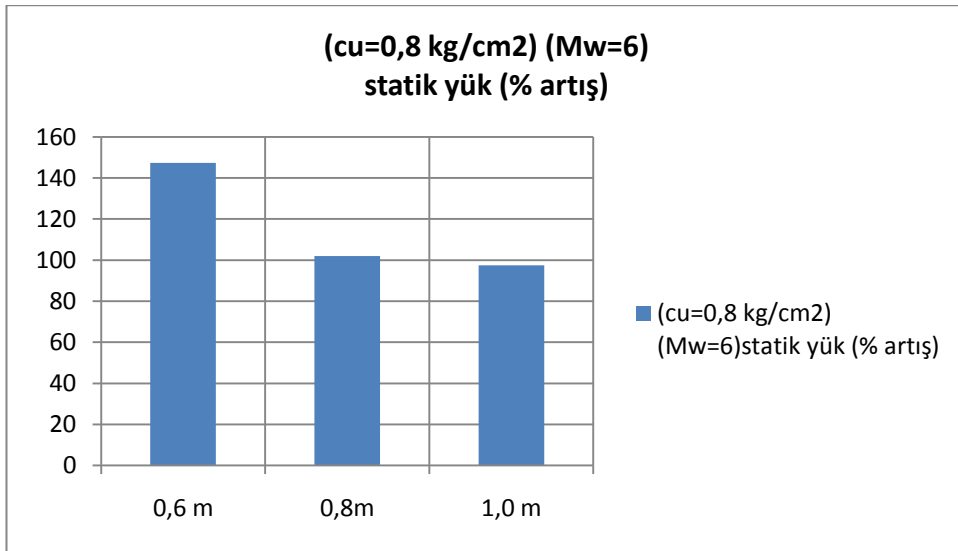
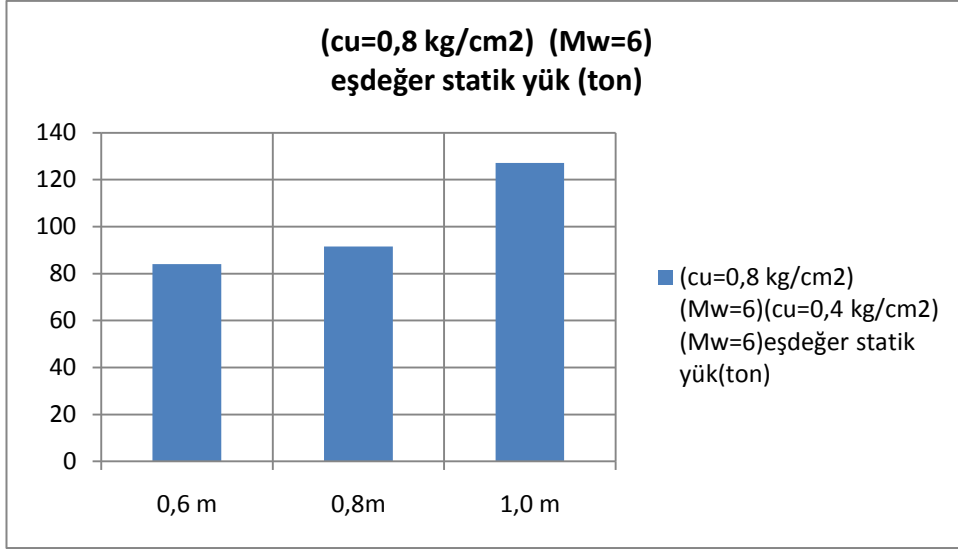
Ek:32 $c_u=0,4 \text{ kg/cm}^2$ $M_w=6$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



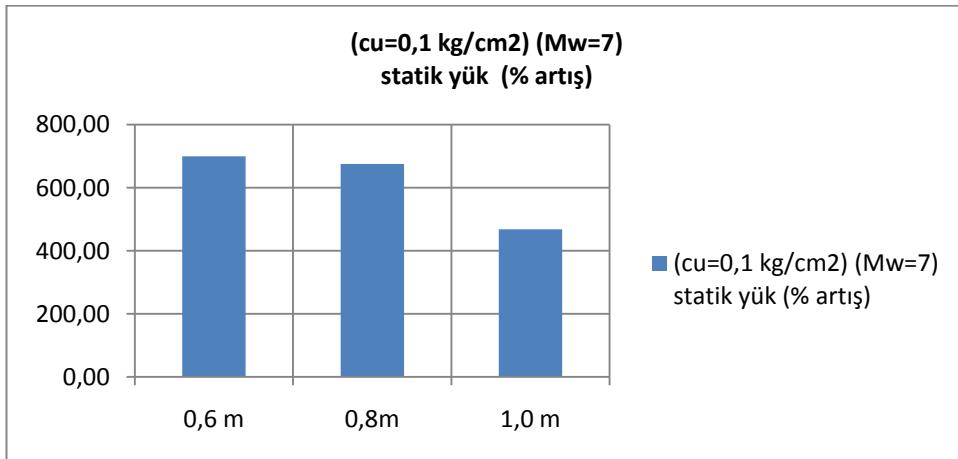
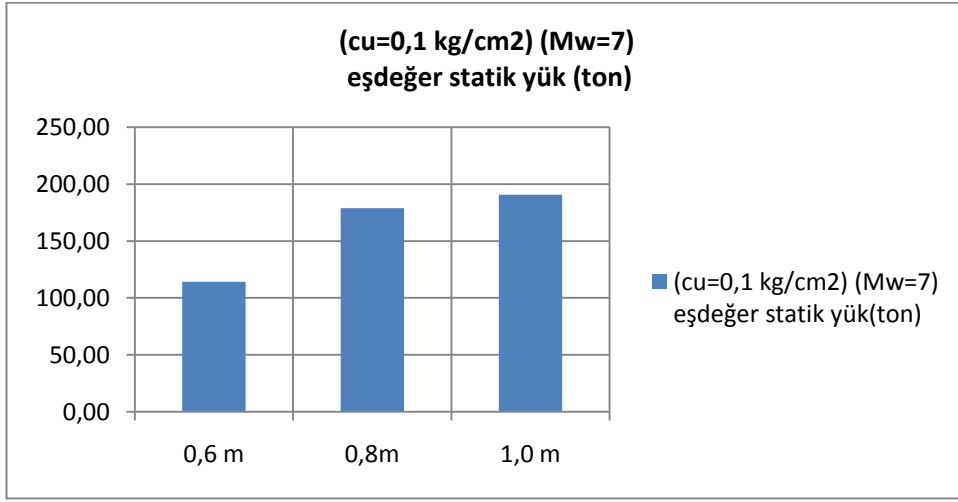
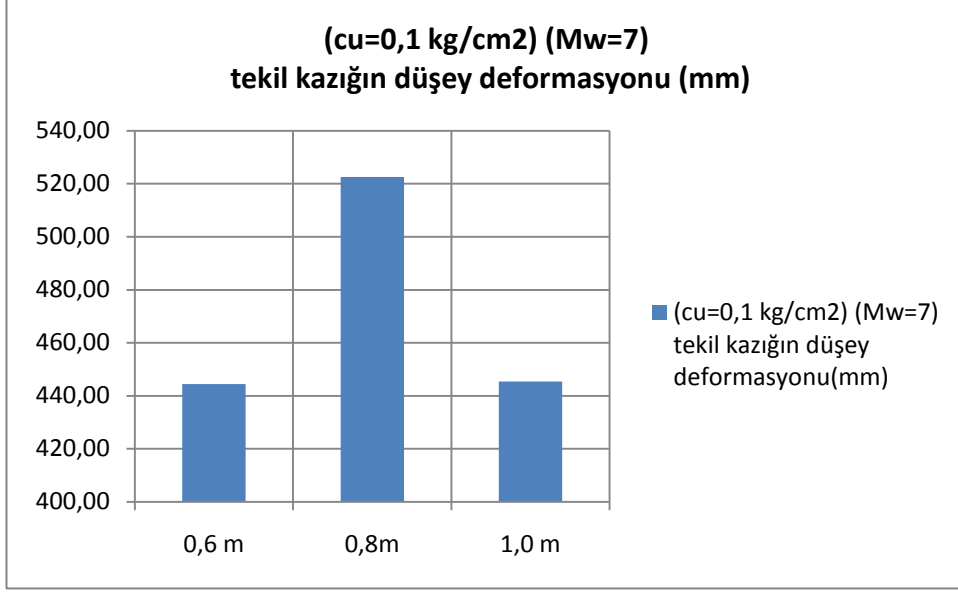


Ek:33 $c_u=0,8 \text{ kg/cm}^2$ $M_w=6$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler

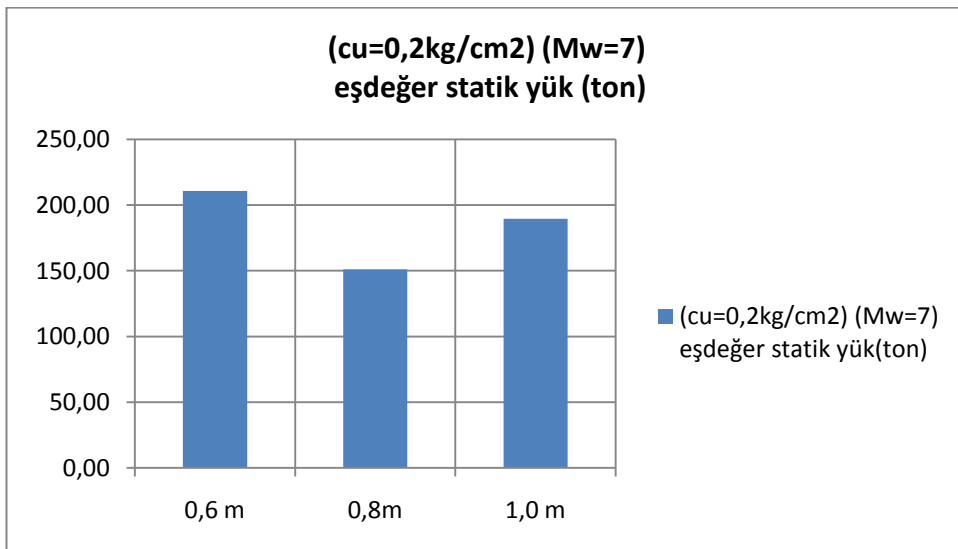
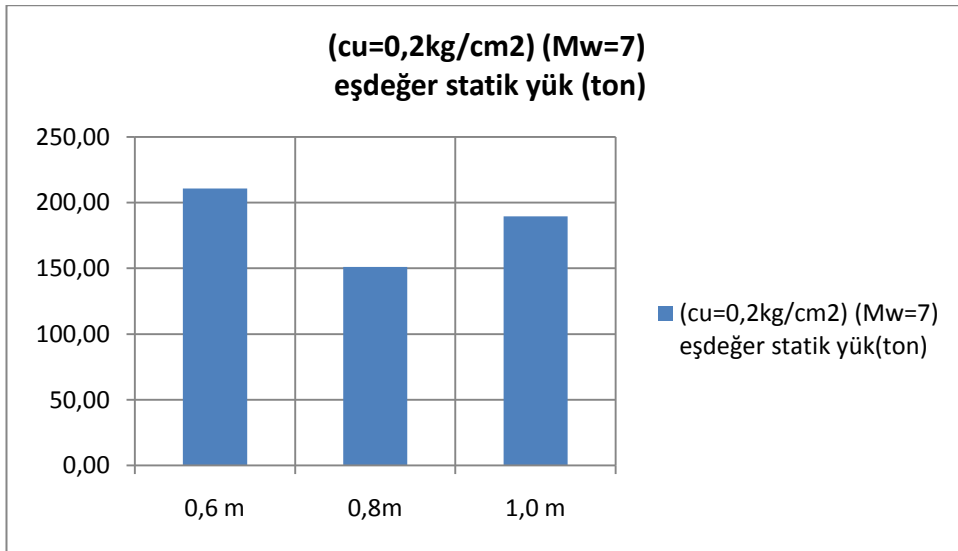
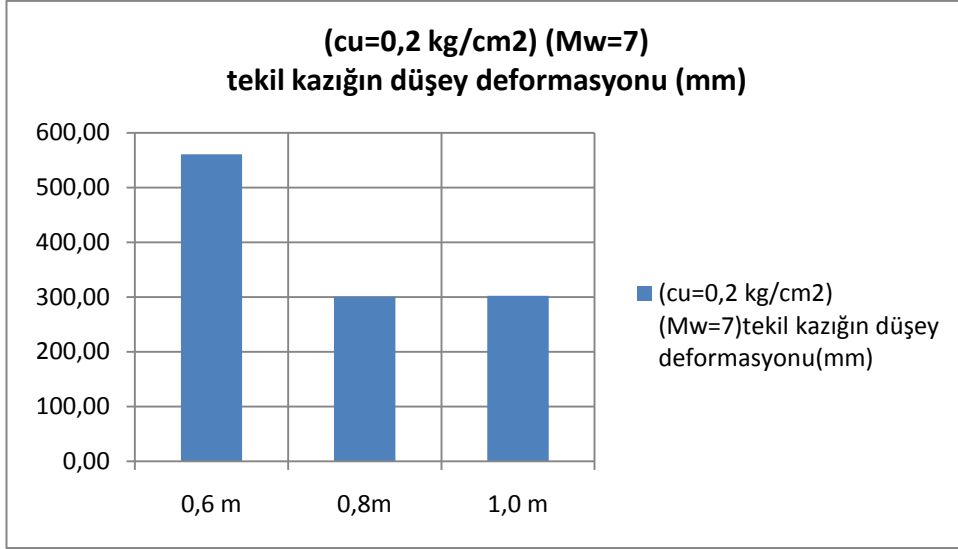




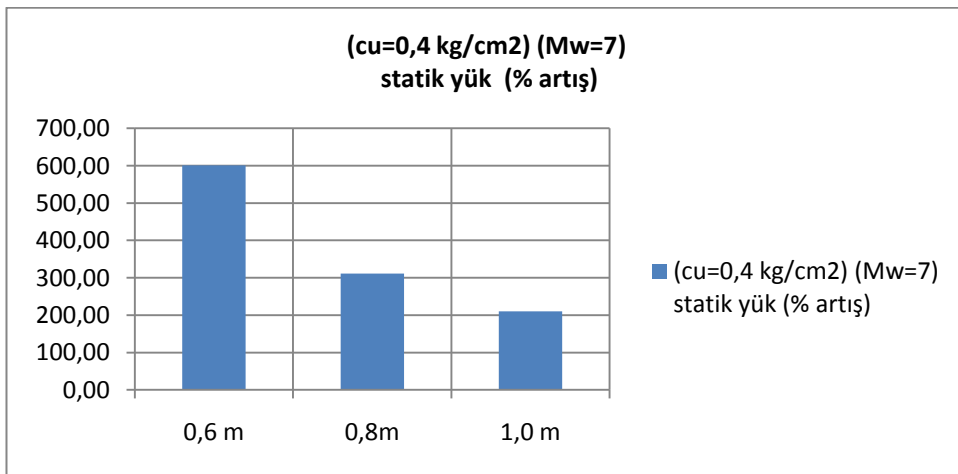
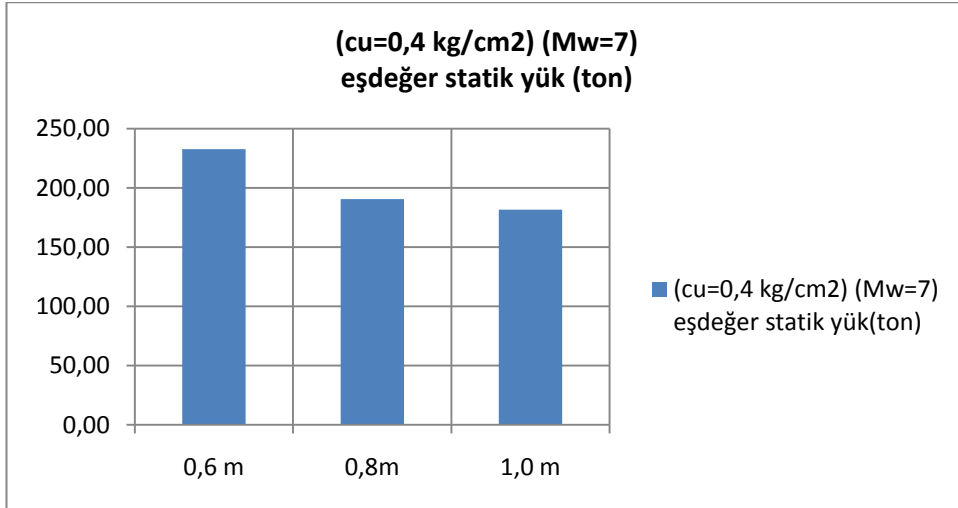
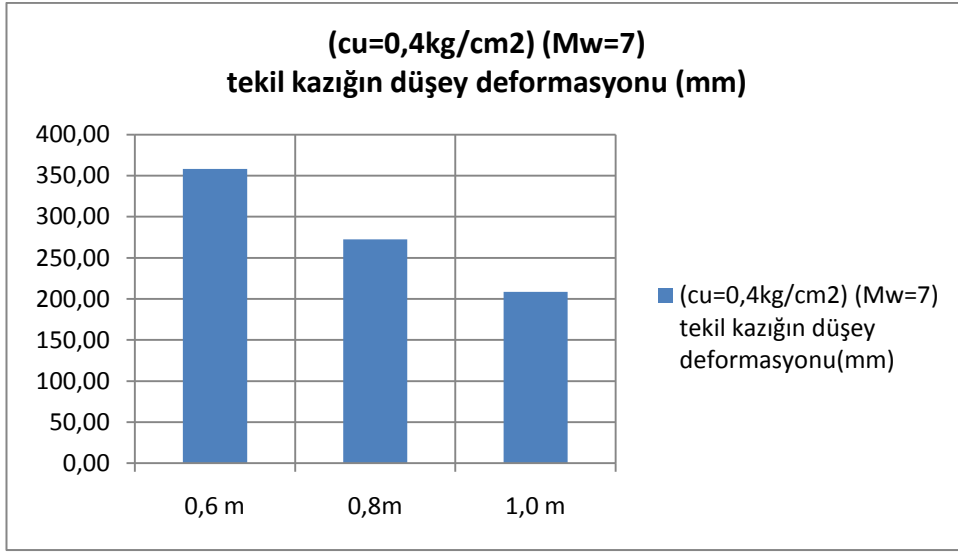
Ek:34 $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ $M_w=7$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



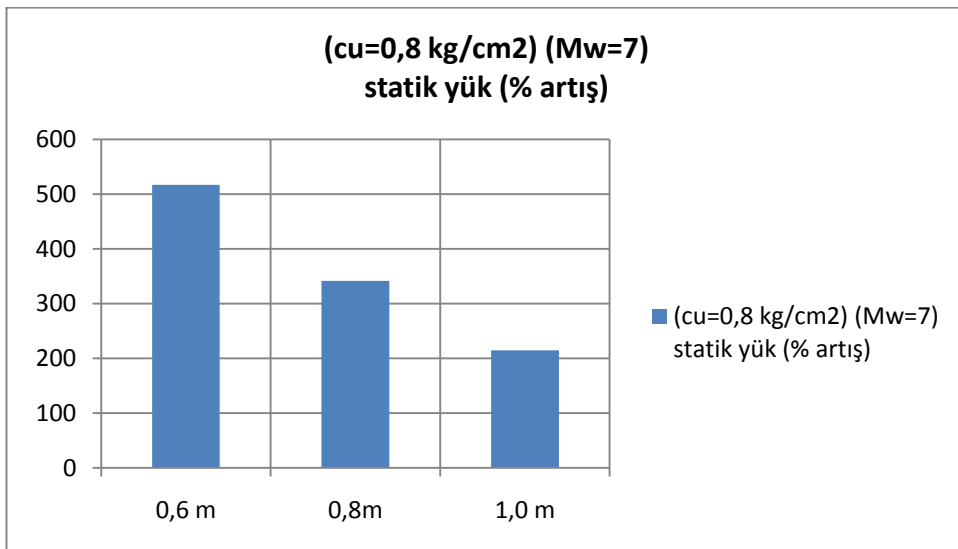
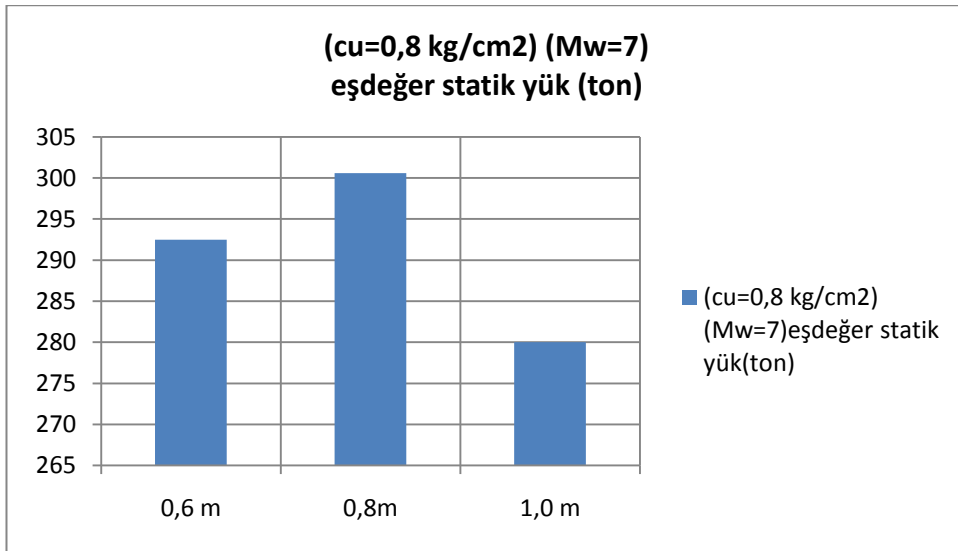
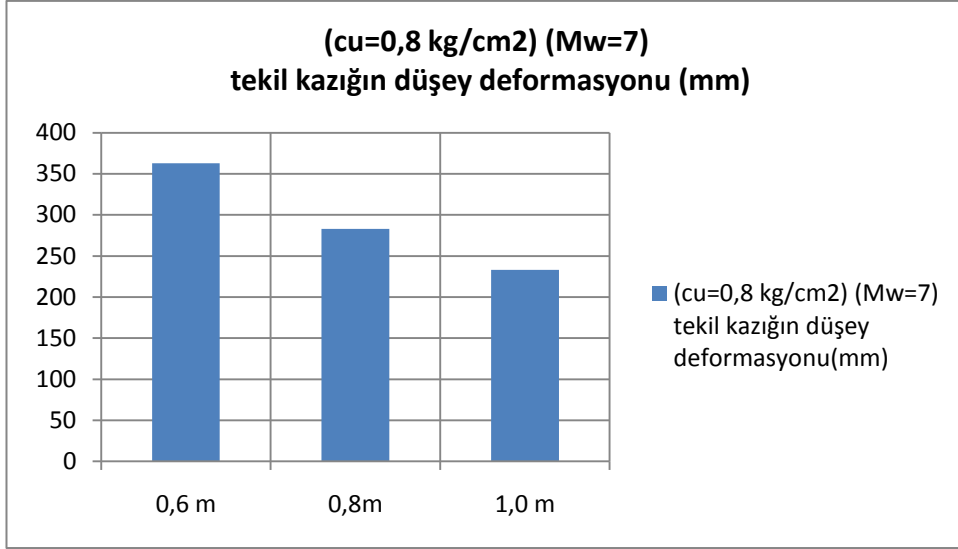
Ek:35 $c_u=0,2 \text{ kg/cm}^2$ $M_w=7$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



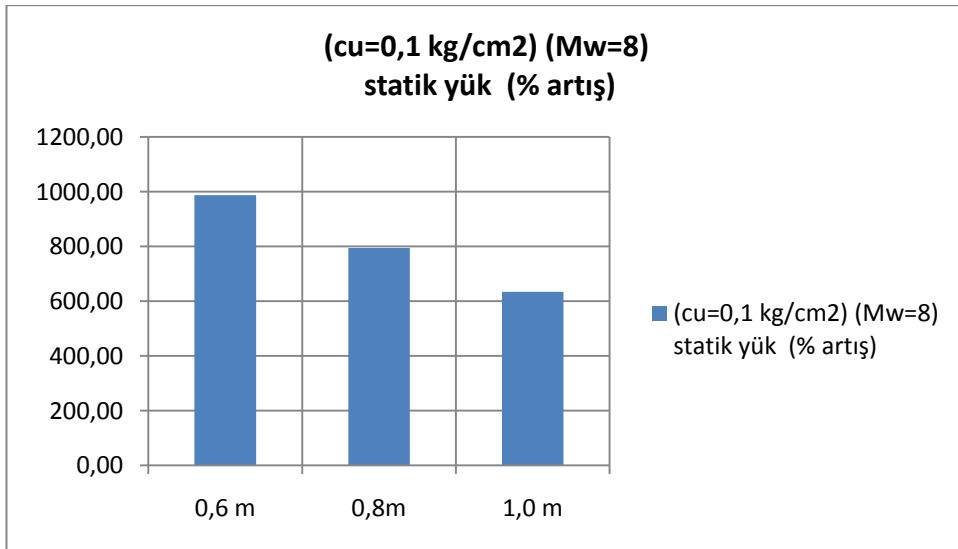
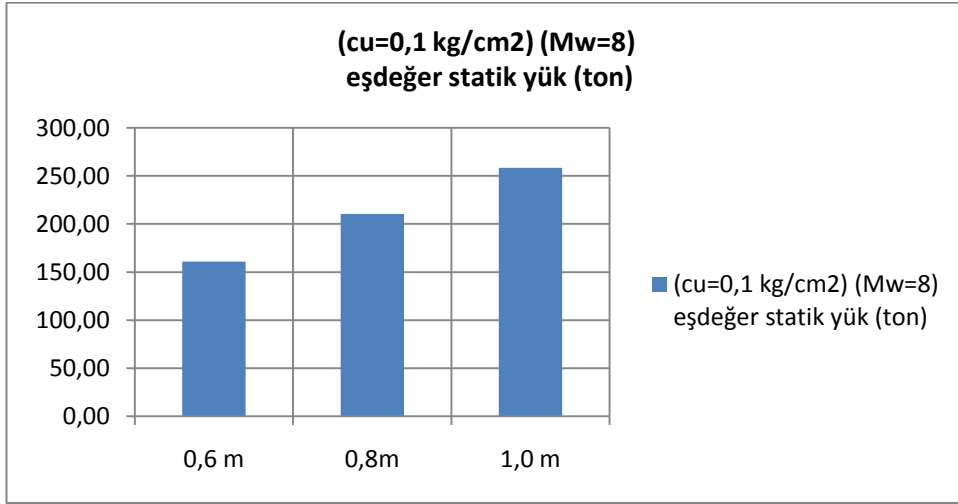
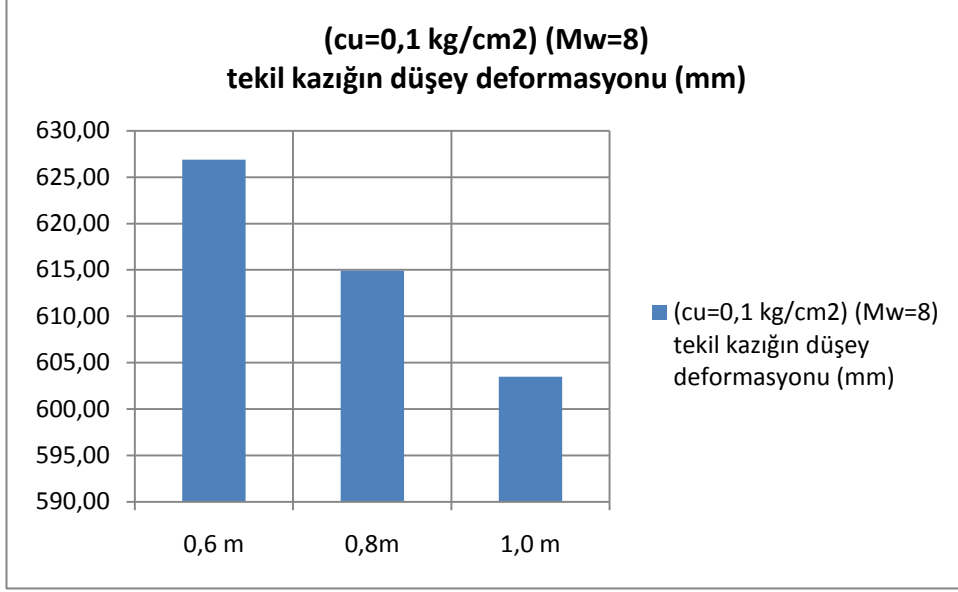
Ek:36 $c_u=0,4\text{kg/cm}^2$ $M_w=7$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



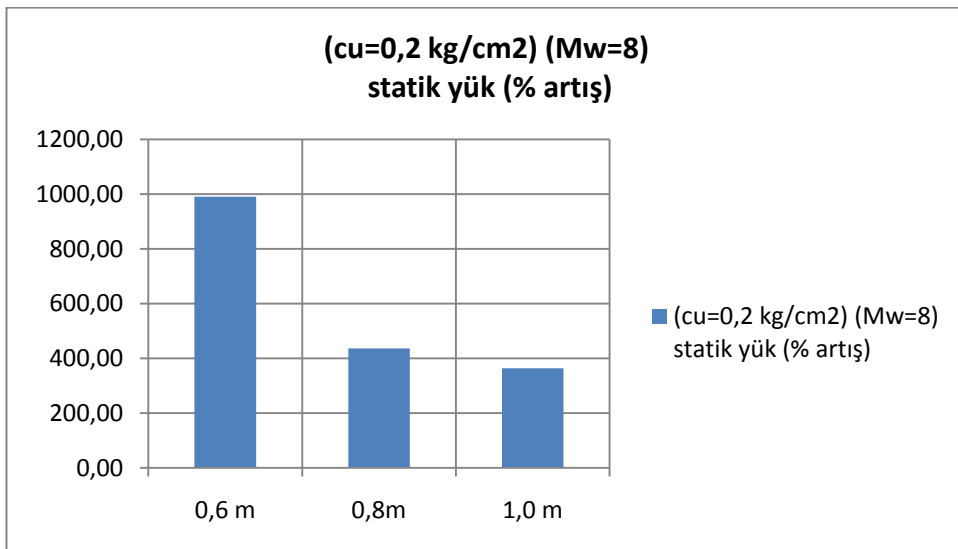
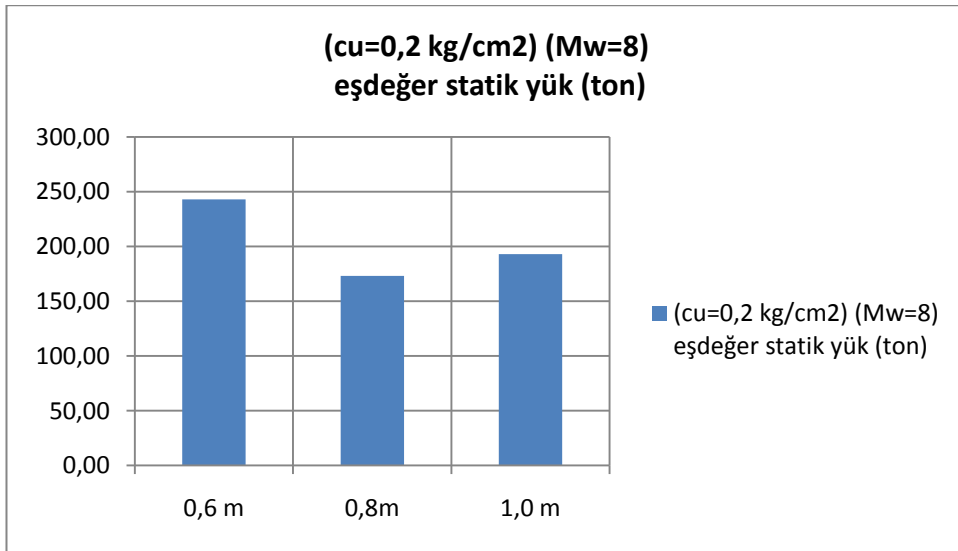
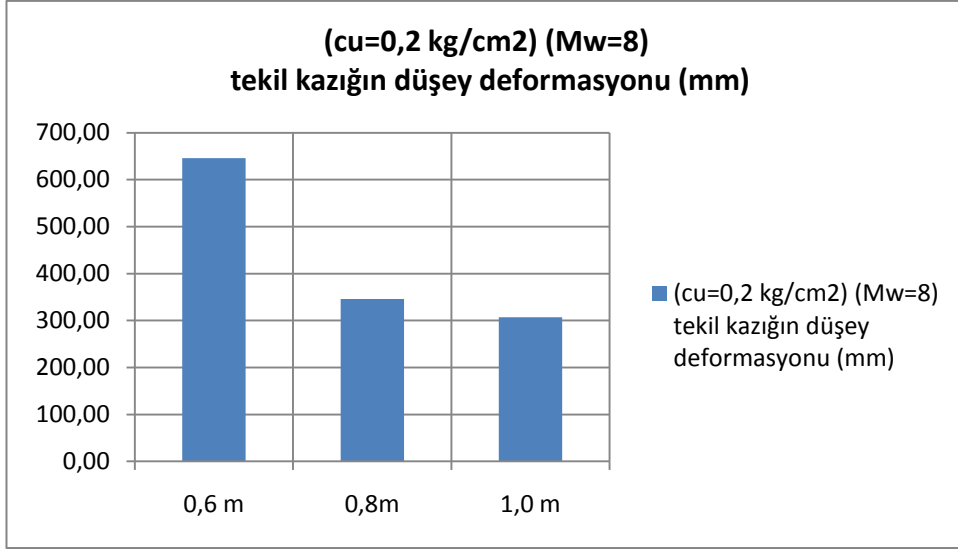
Ek:37 $c_u=0,8\text{kg/cm}^2$ $M_w=7$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



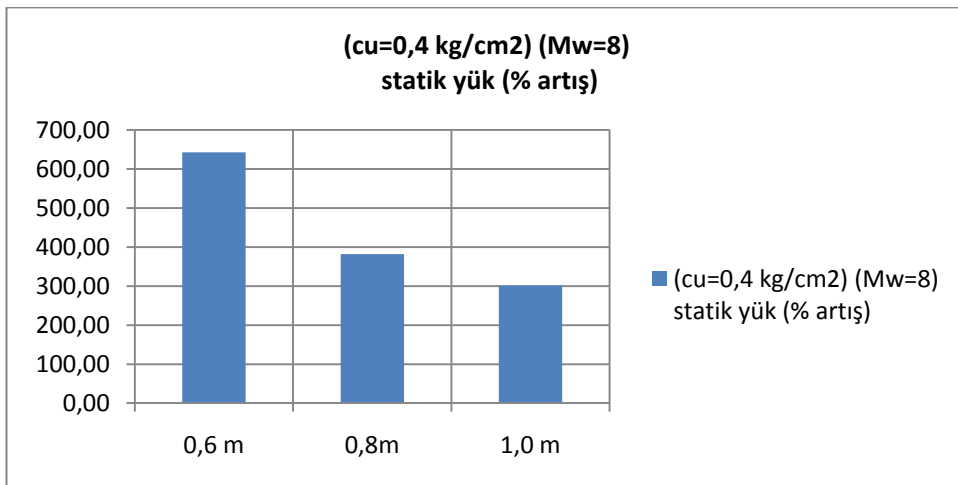
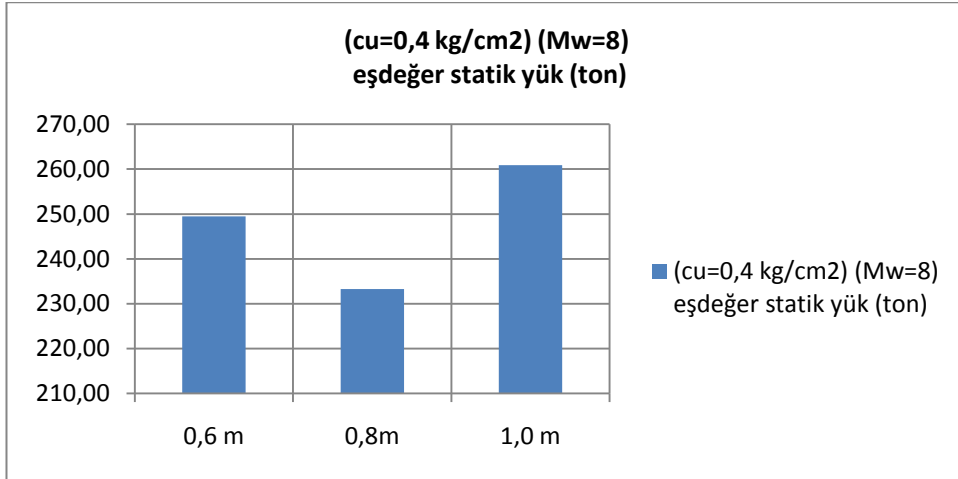
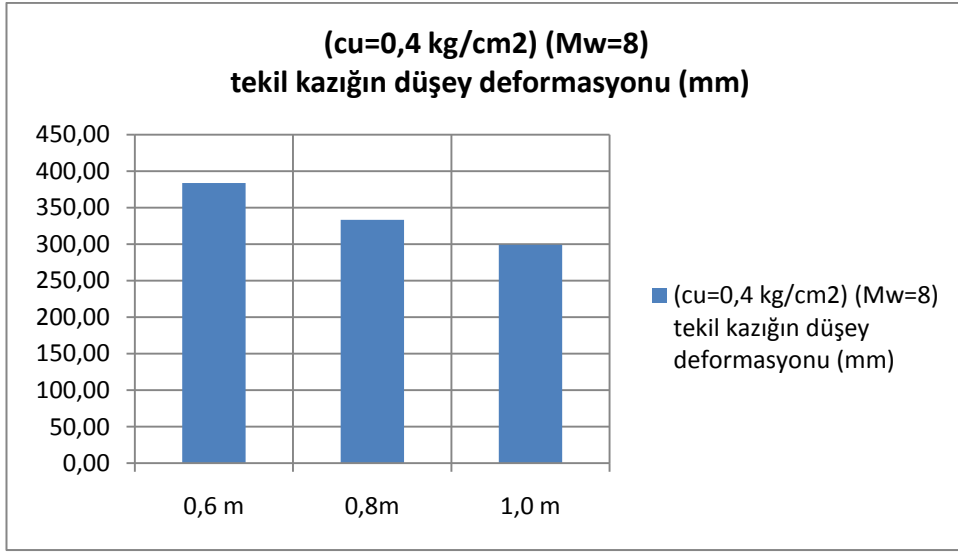
Ek:38 $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ $M_w=8$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



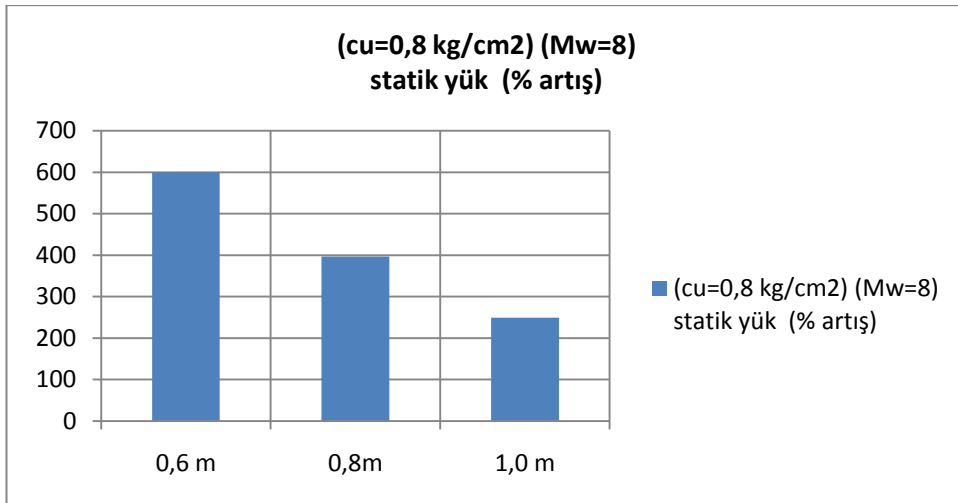
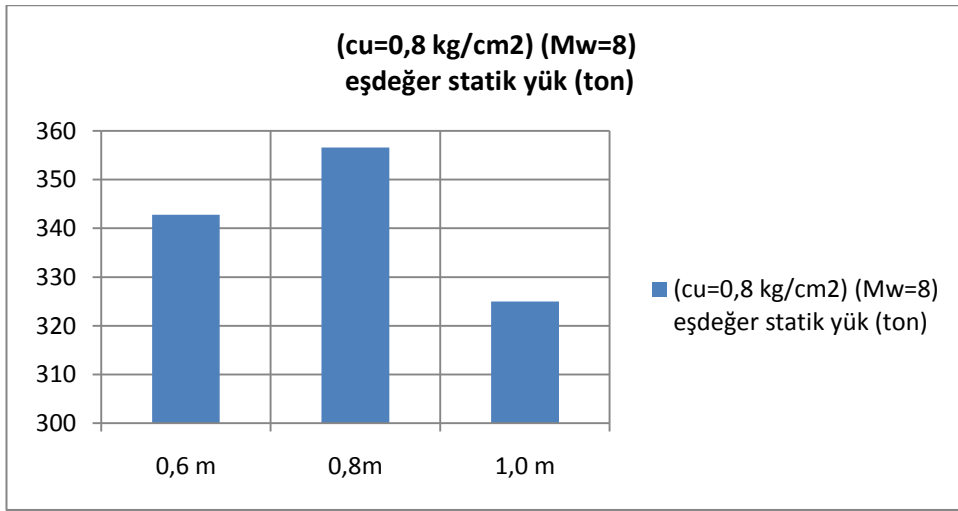
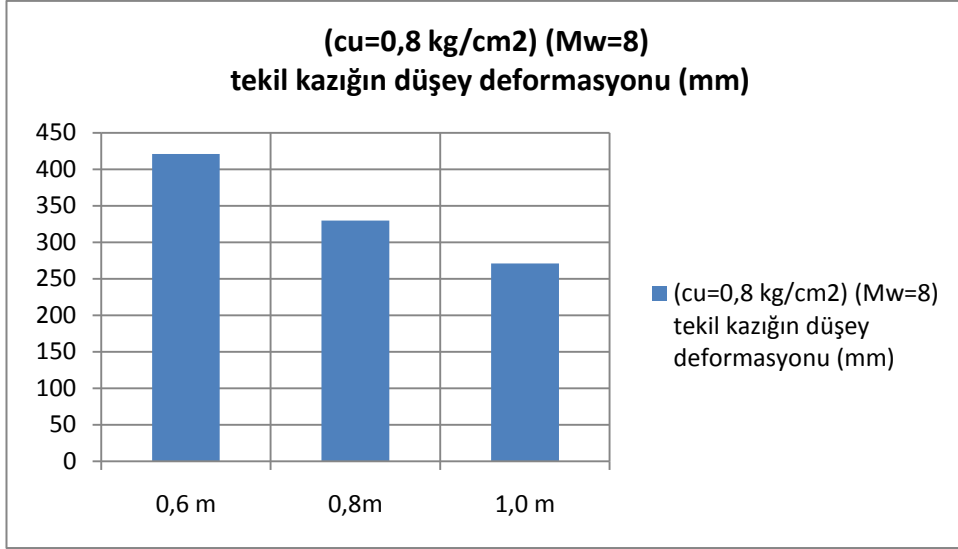
Ek:39 $c_u=0,2 \text{ kg/cm}^2$ $M_w=8$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



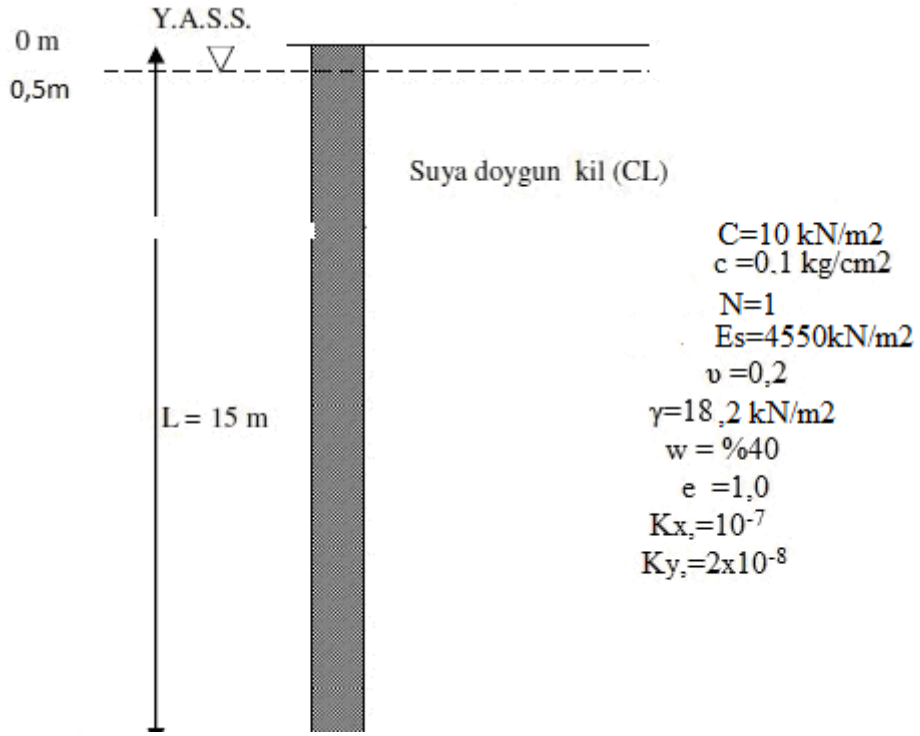
Ek:40 $c_u=0,4\text{kg/cm}^2$ $M_w=8$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



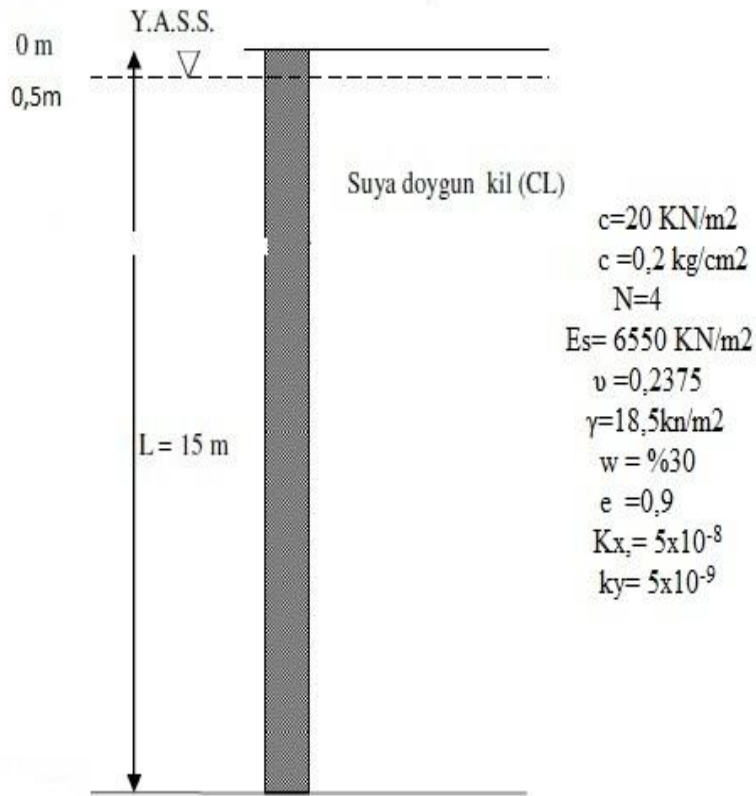
Ek:41 $c_u=0,8\text{kg/cm}^2$ $M_w=8$ deprem büyüklüğünde kazık çapına göre grafikler



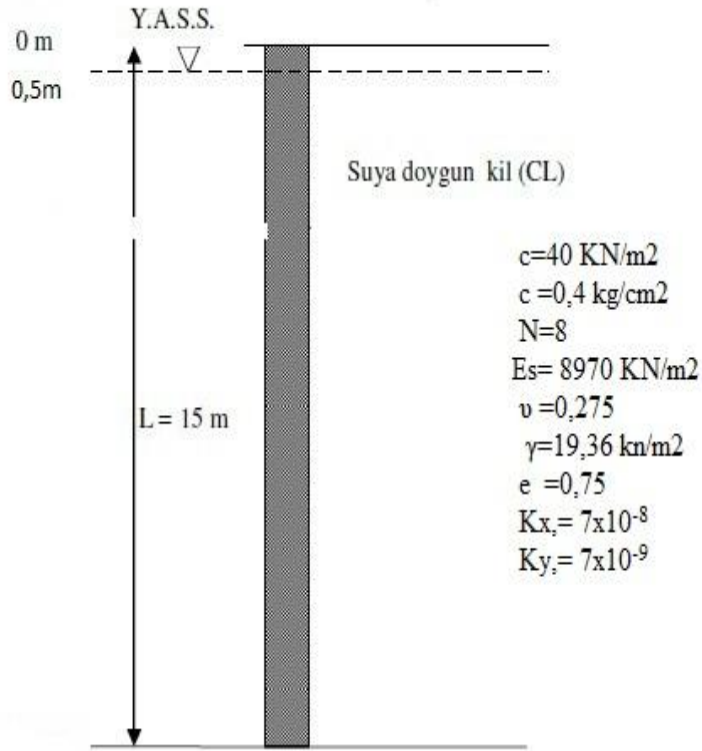
Ek:42 $c_u=0,1 \text{ kg/cm}^2$ kayma direncine sahip zemin profili



Ek:43 $c_u = 0,2 \text{ kg/cm}^2$ kayma direncine sahip zemin profili



Ek:44 $c_u=0,4\text{kg/cm}^2$ kayma direncine sahip zemin profili



Ek:45 $c_u=0,8\text{kg/cm}^2$ kayma direncine sahip zemin profili

