

**DÜŞEY YÜKLER ALTINDA KAZIK VE KUM
KOLONLARIN DAVRANIŞI**

Şöhrat BEGLİYEV

Yüksek Lisans Tezi

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Ekim – 2004

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Şöhrat Begliyev'in "Düşey Yükler Altında Kazık ve Kum Kolonların Davranışı" başlıklı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi ..25.10.2004.....tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Dr. Mustafa Tuncan

Üye : Doç. Dr. Bekir Karasu

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yücel Güney

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..10.10.2004.....tarih ve 38/1..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Altuğ İFTAR
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DÜŞEY YÜKLER ALTINDA KAZIK VE KUM KOLONLARIN DAVRANIŞI

Şöhrat BEGLİYEV

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimler Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa TUNCAN

2004, 156 sayfa

Kazıklı temeller, elverişsiz zemin koşulları altında üst yapı yükünün zemine güvenli bir şekilde iletilmesini sağlamak amacı ile günümüzde oldukça fazla kullanım alanına sahiptirler. Statik yükler altında kazıklı temellerin davranışlarının tespiti için günümüzde bir çok yöntem geliştirilmiştir. Kazıklı temellerin dizaynı, bu çözüm yöntemlerindeki kabullere, mühendislik muhakemesindeki doğru yaklaşımlara, ve karmaşık hesapların rahatlıkla yapılmasını sağlayan bilgisayar programı sonuçlarına bağlı olarak yapılmaktadır.

Bu çalışmada, önce literatür çalışması ve sonlu eleman metodu temeline dayanan PLAXIS programı verilmektedir ve daha sonra kazıklı temeller ve kum kolonların davranışı üzerindeki çalışma sonuçları sunulmuştur.

Bu çalışmadaki referans zemin profillerinden elde edilen durum çalışması, kazıklar ve kum kolonların oturma ve gerilme davranışını belirlemek için PLAXIS programı V8'in kullanılmasıyla yapılmıştır. Sonuç olarak, durum çalışmasının sonuçları, tartışması ve önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kazıklı temel, Oturma, Efektif gerilme, Plaxis programı.

ABSTRACT
Master of Science Thesis

**THE BEHAVIOUR OF PILE AND SAND COLUMNS
UNDER THE VERTICAL LOADS**

Şöhrat BEGLİYEV

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Engineering Program**

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa TUNCAN

2004, 156 pages

Pile foundations have a wide range of application as a soil improvement technique to transfer safely upper structure loads through weak soil to the stronger soil layer. A lot of methods have been developed to determine the behaviour of piles under the vertical loads. Pile foundation dizayns are made by means of assumption of solution methods, engineering judgement and computer programs.

In this study first literature review and PLAXIS program based on finite element methods are given and their the results of the study on behaviour of pile foundations and stone columns are presented.

Case studies obtained from referans soil profiles of this study were done by using PLAXIS program V8 to determine settlements and stress behaviour of piles and sand columns. Finally the results, discussion and proposol of the case studies were presented.

Keywords : Piles, Setteltment, Effective stress, PLAXIS programme.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, her türlü yardımını esirgemeyen Danışman hocam Prof. Dr. Mustafa TUNCAN'a ve tüm bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv

1.GİRİŞ.....	1
2. KAZIKLI TEMELLER.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Kazık Temel Çeşitleri.....	3
2.2.1. Ahşap Kazıklar.....	6
2.2.2. Betonarme Kazıklar.....	8
2.2.2.1. Betonarme Çakma Kazıklar.....	8
2.2.2.2. Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar.....	10
2.2.2.2.1. Soket Yapılması.....	14
2.2.2.2.2. Betonarme Kazıkların Karşılaştırılması.....	15
2.2.2.2.3. Betonarme Kazıkların Dayanıklılığı.....	16
2.2.3. Çelik Kazıklar.....	17
2.2.4. Kompozit Kazıklar.....	17
2.2.5. Sondaj Kazıkları (Fore Kazıklar).....	18
2.3. Kazık Taşıma Gücü.....	18
2.3.1. Statik Kazık Formülleri.....	19
2.3.1.1. Kohezyonsuz Zemin.....	19
2.3.1.2. Kohezyonlu Zemin.....	20
2.3.2. Dinamik Kazık Formülleri.....	21
2.3.3. Penetrasyon Deneyleri.....	22
2.4. Düşey Yükler Altında Tek Kazığın Davranışı.....	22

2.5. Düşey Yükler Altında Kazıkların Grup Davranışı.....	26
2.5.1. Kazıklı Temellerin Grup Davranışı.....	26
2.5.2. Hesap Metotları.....	27
2.5.3. Kazıkların Yerleştirilme Esasları.....	30
2.5.4. Kazık Gruplarının Altında Bulunan Zemin Tabakalarındaki Gerilmeler.....	33
2.5.5. Çeşitli Zeminlerde Kazık Gruplarının Davranışı.....	34
2.5.5.1. Kum İçindeki Sürtünme Kazıkları.....	34
2.5.5.2. Sıkışabilir Tabakalar Altındaki Kum veya Çakıla Oturan Kazık Grupları.....	35
2.5.5.3. Sıkışabilir Tabakalar Altındaki Kile Oturan Kazık Grupları.....	35
2.6. Kazık Yükleme Deneyleri.....	36
2.6.1. Giriş.....	36
2.6.2. Deneylerin Yapılması.....	38
2.6.3. Yükleme Düzenegi.....	38
2.6.4. Ölçümlerin Yapılması.....	40
2.6.5. Yükleme Programı.....	41
2.6.6. Göçme Yükü Tayini Yöntemleri.....	44
2.6.6.1. Terzaghi Yöntemi.....	46
2.6.6.2. Boston Şartnameleri.....	47
2.6.6.3. Kazık Çapının Yüzde On'u Kuralı.....	47
2.6.6.4. Brinch Hansen Yöntemi.....	47
2.6.6.5. Yük Oturma Eğrisi Yarıçapı.....	48
2.6.6.6. De Beer Yöntemi.....	48
2.6.6.7. Mazurkiewich Yöntemi.....	48
2.6.6.8. Fuller ve Hoy Yöntemi.....	50
2.6.6.9. Davisson Yöntemi.....	50
2.6.6.10. Chin Yöntemi.....	51
2.6.7. Kazıkların Bütünlük Deneyleri.....	52
2.6.7.1. Karot Alma.....	53
2.6.8.2. Kazi Yapararak Kontrol.....	53

3. KUM VE TAŞ KOLONLAR.....	54
3.1. Giriş.....	54
3.2. Kum KOLONlar.....	54
3.3. Taş KOLONlar.....	55
3.3.1. Yapım Metodları.....	55
3.3.1.1. Vibro – Yer Değiştire Metodu.....	56
3.3.1.2. Vibro – Öteleme Metodu.....	57
3.3.1.3. Alttan Beslemeli Yöntem.....	58
3.3.1.4. Diğer Metodlar.....	58
3.3.1.4.1. Tokmaklı Yöntem.....	59
3.3.1.4.2. Dinamik Yer Değiştirme Yöntemi.....	59
3.3.2. Taş KOLONların Özellikleri.....	61
3.3.2.1. Taş KOLON Çapı.....	61
3.3.2.2. Taş KOLONların Boyu.....	62
3.3.2.3. Taş KOLON Malzemesinin İçsel Sürtünme Açısı.....	62
3.3.3. Taş KOLONların Avantaj Ve Dezavantajları.....	62
3.3.3.1. Taş KOLON Uygulaması Fizibilitesi.....	62
3.3.3.2. Taş KOLON Kullanımının Avantajları.....	63
4. SONLU ELEMENLAR ANALİZİ İÇİN KULLANILAN PLAXİS	
PROGRAMININ TANITIML.....	65
4.1. Programın Genel Özellikleri.....	65
4.1.1. Noktalar.....	65
4.1.2. Çizgiler.....	65
4.1.3. Demetler.....	66
4.1.4. Elemanlar.....	66
4.1.5. Düğümler.....	66
4.1.6. Gerilme Noktaları.....	66
4.2. Girdi(Input).....	67
4.2.1. Noktalar ve Çizgiler.....	70
4.2.2. Kirişler.....	70
4.2.3. Kiriş Mafsalları.....	71

4.2.4. Geotekstiller.....	71
4.2.5. AraYüzeyler.....	71
4.2.6. Ankrajlar.....	71
4.2.7. Tüneller.....	72
4.2.8. Sabitlemeler.....	73
4.2.9. Önceden Tanımlanan Yer Değiştirmeler.....	73
4.2.10. Kuvvetler.....	74
4.2.11. Malzemelerin Tanımlanması.....	74
4.2.12. Ağın Oluşturulması.....	79
4.3. Hesaplamalar (Calculations).....	80
4.4. Çıktılar (Output).....	81
4.5. Eğriler (Curves).....	84
4.6. Avantajlar ve Dezavantajlar.....	85
5. EKSENEL YÜK ALTINDA KAZIKLI TEMELLERİN OTURMASI VE GERİLME DAĞILIMLARI.....	86
5.1. Kazıklı Temellerin Oturma Problemleri.....	86
5.1.1. Doğrusal Elastik Ortam Yaklaşımı.....	86
5.1.2. Oturma Hesabının Yay Modeli ile Yapılması.....	87
5.1.3. Birim Deformasyon Yöntemi ile Hesap.....	87
5.2. Kazıklı Temellerde Oluşan Gerilmeler.....	88
5.3. Yeraltı Su Seviyesinin Oturma ve Gerilmelerde Etkisi.....	89
5.4. Boşluk Suyu Basıncı.....	90
6. REFERANS OLARAK ALINAN GRAFİKLER.....	91
6.1. Kohezyonlu Zeminler İçin Grafikler.....	91
6.1.1. Kohezyonlu Zeminler İçin Seçilen Grafiklerin Tanıtımı ve Seçilme Nedeni.....	92
6.2. Kohezyonsuz Zeminler İçin Grafik.....	93
6.2.1. Kohezyonsuz Zeminler İçin Seçilen Grafiğin Tanıtımı ve Seçilme Nedeni.....	93

7. DRENAJSIZ KAYMA MUKAVEMETİ (C_u) VE RÖLATİF SIKILIK(D_r).....	95
7.1. C_u 'nun Bilimsel Tanımı.....	95
7.2. D_r 'nin Bilimsel Tanımı.....	95
7.3. Mühendislik Uygulamalarında Drenajsız Kayma Mukavemeti ve Rölâtif Sıkılığın Önemi ve Kullanımı.....	96
7.3.1. Drenajsız Kayma Mukavemeti.....	96
7.3.2. Rölâtif Sıkılık.....	97
7.4. Laboratuar ve Arazide Tayinleri.....	97
7.4.1. Drenajsız Kayma Mukavemetin Laboratuar ve Arazide Tayini....	97
7.4.2. Rölâtif Sıkılığın Laboratuvar ve Arazide Tayini.....	100
7.5. Kohezyonlu Zeminlerde C_u 'nun Değişimi.....	102
7.6. Kohezyonsuz Zeminlerde D_r 'nin Değişimi.....	103
 8. REFERANSA GÖRE SEÇİLEN ARALIK PARAMETRELERİ ÜZERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	 106
 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	 138
 KAYNAKLAR.....	 140
 EKLER.....	 142

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Kullanılma amaçlarına göre kazık tipleri; (a), (b) uç kazığı, (c), (d) sürtünme kazığı, (e) çekme kazığı, (f) ankraj kazığı, (g) sıkıştırma kazığı.....	5
2.2. Kazıkta yük aktarılışı.....	24
2.3. Sürtünme kazığını çevreleyen gerilmeler ve kazık grubunda bunların toplam etkisi.....	28
2.4. Tek kazık ve kazık grubu altında gerilmelerden etkilenen bölgelerin karşılaştırılması a) tek kazık b) kazık grubu.....	29
2.5. Kazık grubunun kayma göçmesi (a) Test yükü tekil kazığa uygulandığı zaman yumuşak kil gerilmelerden pek etkilenmiyor. (b) Kazık grubuna üst yapı etkidiği zaman yumuşak kil gerilmelerden çok fazla etkileniyor.....	29
2.6. Yüzeysel temel ve kazık gruplarının altındaki gerilme dağılımının karşılaştırılması a) Yüzeysel temel b) Mini sürtünme kazıkları c) Uzun sürtünme kazıkları.....	30
2.7. Tipik kazık grup örnekleri.....	31
2.8. Kazık gruplarının altında bulunan zemindeki gerilmelerin basit hesabı, (A) Sürtünme kazıklar, (B) Sürtünme kazıklar için alternatif metot, (C) Uç kazıkları.....	34
2.9. Genel bir yükleme testi düzeneği.....	38
2.10. Bir hidrolik test krikosu için tipik bir ölü ağırlık düzeneği.....	40
2.11. Tipik Yük-Oturma diyagramı.....	45
2.12. Brinch Hansen'in %90 Kriteri.....	48
2.13. De Beer yöntemine göre göçme yükünün saptanması.....	49
2.14. Mazurkiewich yöntemi'nin uygulanması.....	49
2.15. Fuller ve Hoy yöntemi.....	50
2.16. Davisson yönteminin uygulanması.....	51
2.17. Chin yönteminin uygulanması.....	52

3.1. Vibro – Yer değiştirme metoduyla taş kolon imali.....	57
3.2. Alttan beslemeli yöntem.....	58
3.3. Tokmaklı yöntemle taş kolon imali.....	59
3.4. Dinamik yer değiştirme yöntemi ile taş kolon imali.....	60
3.5. Kayma mukavemeti ile kolon çapı arasındaki ilişki.....	61
4.1. Genel ayarlar (model ve eleman tipinin seçimi).....	68
4.2. Genel ayarlar (birimlerin ve çizim alanı ölçülerinin seçimi).....	68
4.3. Ana pencere.....	69
4.4. Geometri araç çubuğu.....	69
4.5. Çizgiler ve demetler.....	70
4.6. Tünel tipi seçimi ve tünele ait aı, ve yarıçap gibi verilerin girdisi.....	72
4.7. Önceden tanımlanan yer değiştirme mns.....	73
4.8. Nokta ve yayılı yükler için girdi mönüleri.....	74
4.9. Malzeme tanımlama mns.....	75
4.10. Zeminler için data girdileri ve model seçimi.....	76
4.11. Mohr-Coulomb modelinin girdileri.....	77
4.12. Ara yüzey girdileri.....	78
4.13. Kiriş zellikleri girdileri.....	79
4.14. Başlangıç koşulları mns.....	80
4.15. Hesaplama mns ve hesap evreleri.....	81
4.16. ıktı mns ve ağın deforme olmuş hali.....	82
4.17. Eğri oluşturma mns.....	84
6.1. Yumuşak killi zeminler için (Randolph and Wroth, 1997).....	91
6.2. Sert killi zeminler için (Randolph and Wroth, 1997).....	91
6.3. Üç eksenli başınc deneyinden elde edilen efektif içsel sürtünme açısı ile kuru yoğunluk, rölatif sıklık ve zemin sınıflaması arasındaki korelasyonlar. (U.S.Navy, 1971).....	93
8.1. Yumuşak killi zeminlerde drenajsız kayma mukavemeti-oturma grafigi (L=10B).....	113
8.2. Yumuşak killi zeminlerde drenajsız kayma mukavemeti-oturma grafigi (L=20B).....	113

8.3. Yumuşak killi zeminlerde farklı Cu değerleri için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği (L=10B).....	114
8.4. Yumuşak killi zeminlerde farklı Cu değerleri için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği (L=20B).....	115
8.5. Yumuşak killi zeminlerde uzunluğa ve kazık çapına bağlı olarak drenajsız kayma mukavemeti – oturma grafiği.....	115
8.6. Yumuşak killi zeminlerde adezyon faktörü – oturma grafiği (L=10B).....	116
8.7. Yumuşak killi zeminlerde adezyon faktörü – oturma grafiği (L=20B).....	116
8.8. Sert killi zeminlerde drenajsız kayma mukavemeti – oturma grafiği (L=10B).....	117
8.9. Sert killi zeminlerde drenajsız kayma mukavemeti – oturma grafiği (L=40B).....	117
8.10. Sert killi zeminlerde farklı Cu değerleri için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği (L=10B).....	118
8.11. Sert killi zeminlerde farklı Cu değerleri için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği (L=40B).....	118
8.12. Sert killi zeminlerde kazık uzunluğuna ve çapına bağlı olarak drenajsız kayma mukavemeti – oturma ilişkisi.....	119
8.13. Sert killi zeminlerde adhezyon faktörü – oturma grafiği (L=10B).....	119
8.14. Sert killi zeminlerde adhezyon faktörü – oturma grafiği (L=40B).....	120
8.15. Kohezyonsuz zeminlerde rölatif sıkılık – oturma grafiği.....	123
8.16. Kohezyonsuz zeminlerde kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği.....	123
8.17. Kohezyonsuz zeminlerde efektif içsel sürtünme açısı – oturma grafiği....	124
8.18. Kohezyonsuz zeminlerde boşluk oranı – oturma grafiği.....	124
8.19. Kohezyonsuz zeminlerde farklı (Dr) için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği.....	125
8.20. Yumuşak killi zeminlerde YASS'nin değişimi ile oturmalar.....	129
8.21. Yumuşak killi zeminlerde YASS olduğu zaman kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği.....	129
8.22. Sert killi zeminlerde YASS'nin değişimi ile oturmalar.....	130

8.24. Killi zeminlerde YASS'nin olduğu durumdaki kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği.....	131
8.25. Kohezyonsuz zeminlerde YASS- Oturma grafiği ($D_r = \%25$).....	131
8.26. Kohezyonsuz zeminlerde YASS- Oturma grafiği ($D_r = \%50$).....	132
8.27. Kohezyonsuz zeminlerde YASS- Oturma grafiği ($D_r = \%75$).....	132
8.28. Kohezyonsuz zeminlerde YASS- Oturma grafiği ($D_r = \%100$).....	133
8.29. Kohezyonsuz zeminlerde farklı rölatif sıkılıklar için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği (YASS=16m).....	133
8.30. Kohezyonsuz zeminlerde farklı rölatif sıkılıklar için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği (YASS=12m).....	134
8.31. Kohezyonsuz zeminlerde kazık ucunda oluşan efektif gerilme – toplam gerilme grafiği ($D_r = \%25$).....	134
8.32. Kohezyonsuz zeminlerde kazık ucunda oluşan efektif gerilme – toplam gerilme grafiği ($D_r = \%50$).....	135
8.33. Kohezyonsuz zeminlerde kazık ucunda oluşan efektif gerilme – toplam gerilme grafiği ($D_r = \%75$).....	135
8.34. Kohezyonsuz zeminlerde kazık ucunda oluşan efektif gerilme – toplam gerilme grafiği ($D_r = \%100$).....	136
8.35. Killi zeminde YASS'nin olduğu durumdaki kum kolon ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği.....	137

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1. Betonarme çakma kazıkların boyutları ve servis yükleri.....	10
2.2. Yerinde dökülen betonarme kazıkların en küçük çapları.....	11
2.3. Beton karışımının özellikleri.....	14
2.4. Kazık taşıma güçleri için güvenlik sayıları (AASHTO, 1992).....	25
2.5. Kazık taşıma güçleri için güvenlik sayıları (ASCE, 1993).....	26
2.6. Kazık ara mesafeleri.....	32
2.7. Kazık ara mesafeleri (İsveç Şartnamesi).....	33
2.8. Örnek kazık yükleme deneyi planı.....	43
2.14. Yükleme deneyi kriterleri.....	46
7.1. Rölatif sıkılığa göre, zeminlerin sınıflandırılması.....	96
7.2. C_u 'yı tanımlamada kullanılan laboratuvar ve arazi deneyleri.....	99
7.3. Drenajsız kayma mukavemeti ve adhezyon katsayısı ilişkisi.....	103
7.4. Kazık tipine göre K değeri.....	104
7.5. Kohezyonsuz zeminler için efektif içsel sürtünme açıları.....	105
8.1. Yumuşak killi zeminlerde farklı C_u değerleri için oturma ve kazık ucunda oluşan gerilme değerleri.....	107
8.2. Yumuşak killi zeminlerde farklı C_u ve B değerleri için oturma ve kazık ucunda oluşan efektif gerilme değerleri.....	109
8.3. Sert killi zeminlerde farklı C_u ve B değerleri için oturma ve gerilme değerleri.....	111
8.4. Kohezyonsuz zeminlerde farklı D_r değerleri için oturma ve gerilme değerleri.....	121
8.5. Yumuşak killi zeminlerde YASS'i olduğu durumdaki düşey yük altında kazığın davranışı.....	126
8.6. Sert killi zeminlerde YASS'i olduğu durumdaki düşey yük altında kazığın davranışı.....	126
8.7. Kohezyonsuz zeminlerde YASS'i olduğu durumdaki düşey yük altında kazığın davranışı.....	127
8.8. Kum kolonların YASS'i olduğu durumdaki düşey yük altında davranışı ($L = 10m$).....	136
8.9. Kum kolonların YASS'i olduğu durumdaki düşey yük altında davranışı ($L = 15m$).....	137

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
α	: Adezyon faktörü
D_r	: Rölatif sıkılık
e	: Boşluk oranı
ϕ	: Efektif içsel sürtünme açısı
E	: Elastisite
EI	: Eğilme rijitliği
EA	: Eksenel rijitlik
L	: Boy
B	: Çap
τ	: Gerilme
ν	: Poisson oranı
γ	: Birim hacim ağırlık
k_x	: X yönündeki permeabilite
k_y	: Y yönündeki permeabilite
YASS	: Yeraltı su seviyesi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
α	: Adezyon faktörü
D_r	: Rölatif sıkılık
e	: Boşluk oranı
ϕ	: Efektif içsel sürtünme açısı
E	: Elastisite
EI	: Eğilme rijitliği
EA	: Eksenel rijitlik
L	: Boy
B	: Çap
τ	: Gerilme
ν	: Poisson oranı
γ	: Birim hacim ağırlık
k_x	: X yönündeki permeabilite
k_y	: Y yönündeki permeabilite
YASS	: Yeraltı su seviyesi

1. GİRİŞ

Mühendislik açısından yapılaşmaya başlamadan önce zemin özelliklerinin araştırılması gereklidir. Yapılaşmaya müsait olmayan zeminler, teknolojinin gerektirdiği önlemlerin uygulanması sonucunda üst yapıdan gelen yükleri güvenli bir şekilde taşıyabilecektir. Üst yapıdan gelen tüm yükler temelden zemine aktarılmaktadır. Yüzeydeki tüm mühendislik yapıları temel ya da altyapı denen bir elemanla taşınmak zorundadır. Temel, bir mühendislik yapısının kendi ağırlığının ve üzerindeki yükün sağlam zemine ya da kayaya iletilmesini sağlayan bir elemandır.

Uygulanacak temel çeşidinin seçiminde emniyet ve ekonomi kriterleri dikkate alınmalıdır. Yüzeysel temeller genellikle derin temellerden daha ekonomiktir. Bu nedendir ki temel projelendirilmesinde önce yüzeysel temel yapımının mümkün olup olmayacağı araştırılır. Bu araştırma sırasında zeminin zayıf olup taşıma gücünün aşıldığının saptandığı durumda yüzeysel temeller yeterli olmazlar. Diğer yandan, bir temel taşıma gücü açısından yeterli olabilir ancak, istenilenden fazla oturabilir. Bu hallerde, yükleri daha derine aktarmak ve oturmaların istenen sınırlar içinde kalmasını sağlamak için derin temeller inşa edilir. Yapı yüklerinden meydana gelen zemin gerilmeleri, zemin emniyet gerilmelerini geçmemelidir. Zeminde, şartnamelerde müsaade edilmeyen oturmalar olmamalıdır. Bu olumsuzluklarda inşaat yapılması kaçınılmazsa gerekli teknolojik önlemlerle olumsuzluklar yok edilebilir.

Bu çalışmadan önce yapılan bazı çalışmalar ise şöyledir:

Yong ve arkadaşları (1989), bir birleştirilmiş konsolidasyon sonlu eleman programı kullanarak, kildeki bir kazığın davranışını incelemişlerdir. Yong ve arkadaşlarının analizleri, bir kazığın altında negatif ilave boşluk suyu basınçları oluşturacağını ve bu ilave boşluk suyu basınçlarının dağılımının da pasif zemin direncinde kayba ve zamana bağlı olarak da kazığın deformasyonuna neden olacağını göstermiştir [1].

Ou ve Lai (1994), kazığın drenajsız ve birleştirilmiş sonlu eleman analizlerinden elde edilen sonuçları karşılaştırarak, konsolidasyonun , kazık deformasyonu ve zemin oturmaları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [2].

Kishnani ve Borja (1993), lineer olmayan bir sonlu eleman kodlaması kullanılarak, drenaj koşullarının ve kazık-zemin ara yüzeyinin, kazık basınçları ve kazık deformasyonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir [2].

Bu çalışmada ilk olarak 2. bölümde, kazıklı temeller hakkında genel bilgi verilmiştir. 3. bölümde ise kum ve taş kolonlar hakkında genel bilgi verilmiştir. 4. bölümde sonlu elemanlar analizi için kullanılan PLAXIS programının tanıtımı yapılmıştır. 5. bölümde eksenel yük altında kazıklı temellerin oturmaları ve gerilme dağılımları hakkında açıklamalar yapılmıştır. 6 ve 7. bölümlerde ise referans olarak seçtiğimiz grafikler ve o grafikte ele alınan ana parametreler hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak 8. bölümde kazıkların çeşitli zeminlerde oturma ve kazık ucunda oluşan efektif gerilmeleri PLAXIS programıyla çözülmüştür. Ve bu uygulama sonucu ortaya çıkan tablo ve grafikler hakkında yorumlar ve öneriler sunulmuştur.

2. KAZIKLI TEMELLER

2.1 Giriş

Bir temel yapısında aranan ana şart, yapıdan zemine aktarılacak yükün temel zemininde kayma göçmesi (kırılma) veya fazla oturma doğurmasıdır. Bir sığ temelin altındaki zeminin bu şartları sağlayabilecek mukavemette olmaması halinde iki değişik çözüm yöntemi uygulanabilir.

- 1- Yapı yükünü daha aşağı seviyelerdeki sağlam zemine aktaracak bir kazıklı temelin teşkili,
- 2- Yapı yükünün kısmen veya tamamen kazılan zemin ağırlığı ile dengelendiği yüzen temel teşkili.

Bu iki çözüm arasındaki tercih , büyük ölçüde ilgili zeminin profiline bağlı olmakla beraber , esas olarak pratik ve ekonomik görüşlere göre yapılır. Kazıklı temellerin projelendirilmesinde ilk karşılaşılan sorun , tek kazıklarla veya kazık gurupları ile taşınan emin yüklerin belirlenmesidir. Taşınacak yük, taşıyacak temel zemini tabakalarının özelliklerine uygun olacak şekilde zemin içinde yayılmalıdır.

Kazıkların emin taşıma gücünün belirlenmesinde zemin mekaniği prensipleri uygulamasının büyük önemi olmakla beraber, değerlendirmede yükleme deneylerine ve pratik tecrübeye dayanan ampirik yöntemlerden de faydalanılmalıdır.

2.2 Kazık Temel Çeşitleri

Yüklü bir kazığın mukavemeti iki büyüklüğün toplamından oluşur. Bunlar uç mukavemeti ile kazığın çevre yüzeyi boyunca adhezyon veya sürtünme nedeni ile yer alan sürtünme mukavemetidir.

Kazıklar pratikte genellikle ikiye ayrılır:

- 1- Yükün büyük kısmının sert/sıkı bir tabakaya aktarıldığı *uç kazıkları* ;

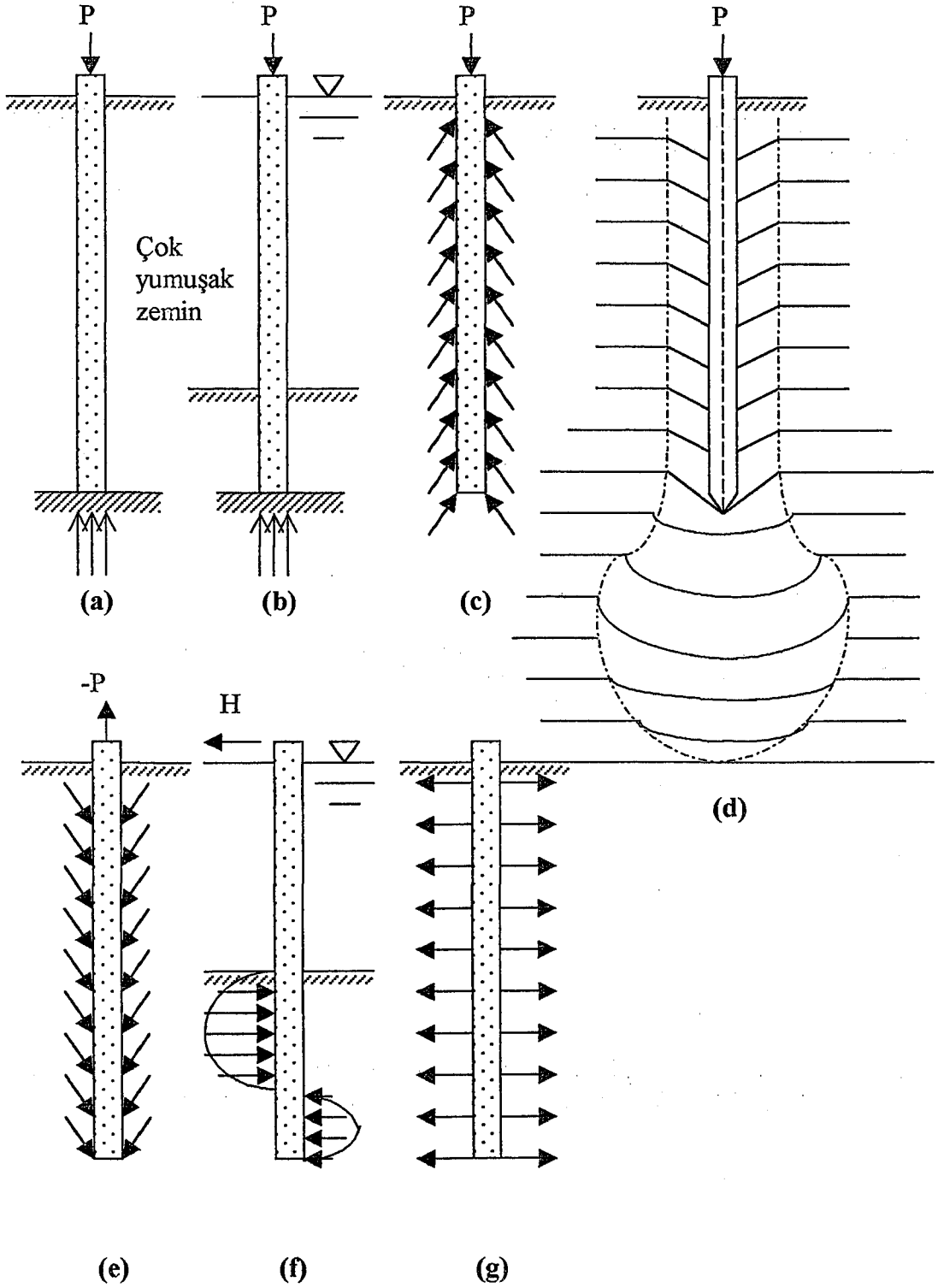
- 2- Uç mukavemetinin önemsiz mertebelerde olduğu ve yükün büyük ölçüde sürtünme mukavemeti ile taşındığı *sürtünme kazıkları* veya *yüzen kazıklar*.

Uç kazıklar kendi içinde de ikiye ayrılır;

- 1- Kayaya oturan kazıklar
- 2- Yükü nispeten sağlam tabakalara aktaran kazıklar

Önemli miktardaki basınç dağılımlarının ve dolayısı ile oturmaların büyük bir kısmının yer alacağı bölgeleri belirten basınç soğanı kavramı , kazık temellerin etkinliği konusunda karar vermede faydalı olur. Örneğin, yüksek sürtünme mukavemetine sahip taşıyıcı bir çakıl tabakası kalın bir kohezyonlu zemin tabakası üzerinde bulunabilir. Kazıklardan gelen basınç nedeni ile altındaki kohezyonlu tabakanın konsolidasyon ve oturması değişik faktörlere dayanır. Bunlardan en önemlisi, temel tarafından sıkışabilir tabakaya aktarılan basıncın şiddeti olmaktadır. Hesaplanabilecek bu basıncın değerlerinden meydana gelebilecek konsolidasyon ve oturmaların mertebeleri belirlenebilir. Diğer bir faktör, kil tabakasının arazide önceden maruz kaldığı ön konsolidasyon basıncıdır. Bu değer ödometre deneylerinden bulunabilir. Kil tabakasına uygulanan basıncın bu ön konsolidasyon basıncından büyük olmaması halinde meydana gelecek oturmalar çok küçük mertebelerde kalabilir. Kazıklar, herhangi bir yük taşıyamayacak bir zemin içinden geçebilir. Böyle bir tabakanın sonradan meydana gelecek konsolidasyonu, kazıklarda, temel projelendirilmesinde göz önüne alınmayan ek bir yük meydana gelmesine neden olacağından, bu tabakalar ayrıca incelenmelidir. Sürtünme kazıkları Şekil 2.1'de gösterildiği gibi yükün nispeten zayıf bir tabakanın içinden geçilerek daha sağlam kil tabakalarına aktarılmasında kullanılır. Büyük kalınlıktaki normal konsolide killerde kazıklar çoğunlukla, kayma mukavemetinin derinlikle artmasından faydalanmak için kullanılır. Basınç soğanının büyük mukavemetteki tabakalara kadar yayılması açısından, kazıkların nispeten uzun olması önem taşımaktadır. Kazıkların arasında kalan zemin kütlelerinin stabilitesi de bir bütün olarak göz önüne alınmalıdır.

Kohezyonsuz zeminlerde sürtünme kazıkları, bu çeşit zeminlerdeki kazıkların ana fonksiyonu zeminlerin mukavemeti kompaksiyonla arttırmaktır.



Şekil 2.1. Kullanılma amaçlarına göre kazık tipleri; (a), (b) uç kazığı, (c),(d) sürtünme kazığı, (e) çekme kazığı, (f) ankraj kazığı, (g)sıkıştırma kazığı

Kazık çakımı sırasındaki titreşim kum zemini sıkıştırır ve yeterince sıkışma sağlanınca kazıklarla kum zemini bir blok halinde birlikte davranırlar. Gevşek kumların kazıklarla sıkıştırılması temelin güçlendirilmesi açısından etkili olmakla beraber büyük bir olasılıkla yandaki benzer zeminin de sıkışmasına ve dolayısı ile komşu yapıların oturmasına da neden olur. Bu gibi kum zeminlerde, örselenmemiş ve sıkışmış birim hacim ağırlığı belirlenmeli ve bu birim hacim ağırlıklarından kayma mukavemetinin belirlenmesi için deneyler yapılmalıdır.

2.2.1 Ahşap Kazıklar

Ahşaptan, hem geçici hem de devamlı olarak kullanılacak kazıkların yapımında faydalanılabilir. Sağladığı taşıma gücüne oranla hafif oluşu, taşınma kolaylığı, boyunun kolayca ayarlanabilmesi, ahşap kazıkların üstünlükleridir.

Devamlı olarak kullanılacak ahşap kazıkların su seviyesi değişmesi veya sudaki burgu kurtlarının tahribatına karşı korunması için önlem alınması gerekir. Ahşap kazık imalinde kullanılacak ağaçlar dikkatle seçilmelidir. Ağaç üzerinde yarık, çatlak, büyük ve gevşemiş budaklar bulunmamalıdır. Kazık yapılmasında en çok kullanılan ağaç cinsleri, çam, köknar, sedir ve meşedir. TS3169 özel dayanıklılık sağlanması istenen işlerde meşe kullanılmasını tavsiye etmektedir.

Ahşap kazıklar, çürüme, böcek ve burgu kurtlarının tahribatı, mekanik aşınma, yangın gibi nedenlerle hasara uğrayabilir. Çürüme, mantar teşekkülü ile olur. Mantarın gelişmesi için rutubet, hava, besin, sıcaklık bakımından uygun şartlar bulunması gerekir. Öncelikle sıkı zemin içine çakılmış ahşap kazıkların zemin yüzünden 1.50 ~ 2.00 m.'den derin kısımları, bu kesimde yeterli hava bulunmadığı için mantar oluşumuna elverişli değildir. Çürüme, su içerisinde çakılmış kazıklarda, özel bir önlem alınmamış ise, kazığın alçak ve yüksek su seviyeleri arasındaki kısmında meydana gelir. Sürekli olarak su seviyesi altında kalan ahşap kazıkların yüzyıllarca sağlam kaldıkları görülmüştür.

Ahşap kazıklar, yer altı su seviyesinin alçalması durumunda kolayca tahrip olabilmektedir. Bu yüzden, nehir düzenlemesi, kurutma, büyük debi ile su çekilmesi gibi yer altı su seviyesinin değişmesine yol açan nedenlerin varlığı ahşap kazıkların ömrünü kısaltır. Kazıklar gerek mantar teşekkülünü önlemek

gerekse böcek ve burgu kurtlarına karşı, koruyucu bir kreozot tabakası ile kaplanır. Kreozot ahşaba iyice içirilmelidir. Koruyucu olarak bakır sülfat solüsyonu veya potasyum bikromat da kullanılabilir. [3]

Ahşap kazıkların çakım sırasında aşırı zorlanma nedeni ile kırılma veya kısmen tahrip olmasının önlenmesi için kazık başı ve kazık ucu çelik çarık ile takviye edilir. Sıkı kum, çakıl veya taşlı zeminlere çakılması sırasında ahşap kazıklarda tahribat meydana geldiği sıkça görülmektedir. Zemin koşulları dikkate alınarak ahşap kazık çakılmasının uygun olup olmayacağına karar verilmelidir. Kazıkta hasar meydana gelmesini önlemek için tokmağın düşme sayısı ve düşme yüksekliği azaltılabilir. Bu durumda tokmak ağırlığı artırılır. Çakma zorluğu olan yerlerde tokmak ağırlığı kazık ağırlığına eşit, kolay çakım yapılabilen yerlerde tokmak ağırlığı kazık ağırlığının yarısı olarak seçilebilir.

Kazık ucunun çakımı sırasında hasara uğramaması için demirden yapılmış bir çarık için kullanılır. Ahşap kazıkların mümkün olduğu kadar eksiksiz yapılması istenir. Yanal yük veya kaldırma kuvveti yoksa ek yapılabilir.

TS 3169 ahşap kazıkların ortalama çapları kazık boylarına göre tanımlanmıştır:

Boyu 6 m.' den kısa kazıklarda ortalama çap $D = 25 \text{ cm.} \pm 2 \text{ cm.}$; boyu 6 m.' den uzun kazıklarda ortalama çap $D = (20 + L) \text{ cm.} \pm 2 \text{ cm.}$ ' dir. Burada L metre cinsinden kazığın boyunu göstermektedir.

Ahşap kazıkların, ahşabın cinsine bağlı olarak Amerikan şartnamelerine göre 4 N/mm^2 - 6 N/mm^2 değerleri arasında bir basınç gerilmesi kabul edilmektedir. Building Code of the City of New York (1998) servis gerilmesi olarak bazı çam cinsleri ve meşe için 8.3 N/mm^2 , sedir ve başka cins çamlar için 5.9 N/mm^2 değerlerini tavsiye etmektedir.

2.2.2 Betonarme Kazıklar

Betonarme kazıkları, betonarme çakma kazıklar ve betonarme yerinde dökme kazıklar olarak ikiye ayırmak mümkündür.

2.2.2.1 Betonarme Çakma Kazıklar

Betonarme çakma kazıklar, kazık dökülmesine elverişli bir yerde hazırlanır ve çakılacakları yere nakledilir. İnşaat sahasının yeterli olması durumunda kazıklar şantiyede de dökülebilir. Betonarme çakma kazıklar, oldukça büyük yükleri, yumuşak veya gevşek zemin tabakaları altındaki sağlam tabakaya taşımakta son derece kullanışlıdır. Genellikle, kare, daire veya sekizgen kesitli olarak imal edilirler. Kazık boyu ve çapı, imal ve çakım olanaklarına bağlı olarak seçilmektedir. Kazık ağırlığından tasarruf sağlanması amacıyla bazen içi boş kesitli olarak imal edilmektedir. Building Code of the City of New York (1998), içi boş kesitli kazıkların et kalınlığının en az 100 mm. olmasını istemektedir. Betonarme çakma kazıkların kesitlerinin ve konulacak donatının miktarının hesaplanmasında, kazığın istiflenme ve taşınması sırasında maruz kalacağı gerilmeler rol oynar. Bu gerilmeler, kazığın kaldırma şekli ile ilgilidir. Kazığa konulacak donatı kazığın kaldırılması sırasında meydana gelecek eğilme momentini karşılayabilmelidir. [4]

Çeşitli ülkelerin standartlarında bu konuda hükümler bulunmaktadır. BS8004 ve DIN 4026, konulacak boyuna donatının kaldırma ve istifleme sırasında meydana gelen gerilmeler, yapı yüklerinden gelen kuvvetler ve zemin kabarmasından doğan çekme kuvvetlerine göre hesaplanmasını şart koşmaktadır. DIN 4026 beton basınç mukavemetinin kaldırma sırasında en az 22 N/mm^2 , çakma sırasında ise en az 34 N/mm^2 olmasını öngörmektedir. TS 3169 betonarme çakma kazık yapımında kullanılan betonun basınç mukavemetinin kalıptan çıkarılma sırasında 22.5 N/mm^2 , çakılma sırasında 35 N/mm^2 olmasını yeterli görmektedir. BS8004 zor çakma halinde betonun 28 günlük küp mukavemeti, σ_b 'nin 40 N/mm^2 olması gerektiğini, normal koşullarda ve kolay çakma halinde ise

mukavemetin 25 N/mm^2 olmasının yeterli olacağını söylemektedir. American Concrete Institute, basınç mukavemetinin $0.33 \times \sigma_b$, National Building Code (BOCA, 1999), $\sigma_b > 21 \text{ N/mm}^2$ olmak şartı ile basınç mukavemetinin $0.25 \times \sigma_b$ değerinden küçük olmaması gerektiğini kaydetmiştir.

Hava şartları elverişli ise yan kalıplar, beton dökülmesinden 24 saat sonra alınabilir. Kazık betonu kesintisiz dökülmelidir. Betonarme kazıklar döküldükten sonra 10 gün süre ile ısıtılmalıdır. Çabuk sertleşen beton kullanılması halinde bu süre 4 güne indirilebilir.

DIN 4026, 10 m.' den daha uzun kazıklarda boyuna donatı alanının kazık kesit alanının %0.8' inden daha az olmamasını, kare kesitli kazıklarda köşelerde çapı 14 mm.' den daha küçük olmayan 4 demir, daire kesitli kazıkların çevresinde 14 mm.' den küçük olmayan 5 demir konulmasını istemektedir. New York City Building Code (1999) boyuna donatı alanının kazık kesit alanının en az %0.2' si kadar ve en az 4 adet boyuna donatı konulması öngörülmüştür.

Canadian Manual on Foundation Engineering (NRC, 1975) ve Building Code of the City of New York (1998), etriye aralıklarının 100 ila 200 mm. arasında olabileceğini, kazığın çapında ve ucunda, kazık çapının üç katı kadar uzunlukta etriye aralıklarının 75 mm.' den daha büyük olamayacağını kaydetmiştir. DIN 4026 kazık gövdesindeki etriyeler arasında 120 mm. aralık olmasını gerekli görmüştür.

DIN 4026' da pas payı 30 mm., korozyona maruz ortamda 40 mm., New York City Building Code (1985) ise minimum 40 mm. olarak verilmiştir. BS8110' da zemine gömülü veya devamlı su altındaki kazıklarda, beton kalitesi ile azalmak üzere, pas payını 40 mm. ile 20 mm. arasında; deniz suyu etkisine maruz olması halinde 60 mm. ile 50 mm. arasında verilmektedir. Kare kesitli betonarme çakma kazıkların genellikle kullanılan boyutları ile taşımaları beklenen düşey servis yükleri tabloda verilmiştir. Çok sayıda kazık yapılmasının söz konusu olması ve zemin koşullarının elverişli bulunması halinde, donatı miktarının fazla olmasına rağmen, gerçekleştirilen çakım sürati sayesinde çakma kazıklar büyük ekonomi sağlar.

Çizelge 2.1. Betonarme çakma kazıkların boyutları ve servis yükleri

Kazık kenar uzunluğu (mm)	Servis yükü, Q_E (kN)	Maksimum kazık boyu (m)
250	200~300	12
300	300~450	15
350	350~600	18
400	450~750	21
450	500~900	25

Çakma kazıklar, ön gerilmeli olarak da yapılabilir. Diğer çakma kazıklara göre ön gerilmeli kazıkların avantajları;

- 1- Daha büyük mukavemet/ağırlık oranına sahip olmaları,
- 2- Taşıma ve çakma sırasında meydana gelebilecek çatlakların ön gerilme ile önlenebilmesi.

NAVFAC Design Manual 7.02 çakma betonarme kazıkların boyunun 12m.~15m. arasında, ön gerilmeli çakma betonarme kazıkların boyunun ise 18m.~30m. arasında olabileceğini belirtmiştir.

Çakma kazıkların sağlam zemine en az 3 m., yumuşak zemine en az 6 m. girmesi gerekir. Çakma sırasında su jeti (yıkama) kullanılıyorsa, genellikle, 18 mm.' lik (3/4") iki boru ucundan 7 bar basınçta su püskürtecek bir düzenek kullanılmalıdır.

2.2.2.2 Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar

Betonarme yerinde dökme kazıklar, kaplama borulu veya kaplama borusuz sondaj deliği içinde imal edilir. Ucu kapalı bir kaplama borusunun şahmerdan, hidrolik veya titreşimli bir çekiç vasıtası ile zemine sokulması ile yapılan kazıklara yerinde dökme betonarme çakma kazık adı verilir. Ucu açık bir kaplama

borusu zemine sokularak ve kaplama borusunun içi temizlenerek yeri hazırlanan kazıklara, kısaca sondaj kazığı veya fore kazık denilmektedir.

Yerinde dökme betonarme çakma kazıklar üç gruba ayrılır:

- 1- Kaplama borusuz kazıklar (zemin içinde silindirik bir çukur açan çelik bir çarığın çakılması ve meydana gelen çukurun veya kendini tutabilen çukurun betonlanması ile imal edilen kazıklar),
- 2- Kaplama borusu yerinde bırakılan kazıklar,
- 3- Kaplama borusu çıkarılan kazıklar.

Yerinde dökme kazıkların bir çok çeşidi vardır. Bunlar arasından birisinin seçilmesinde, kazık çakılacak arazinin geoteknik özellikleri ve o tip kazığın imal olanakları rol oynar.

TS3168 uzunluklarına göre betonarme yerinde dökme kazıkların çaplarının en küçük değerlerini vermektedir.

Çizelge 2.2. Yerinde dökülen betonarme kazıkların en küçük çapları.[3]

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

Betonlama işlemine başlamadan önce, önceden hazırlanmış donatı kafesi, kazık çukuruna yerleştirilir. Betonlama, tremi borusu ile kazık çukurunun altından başlanarak veya beton pompası ile yapılır. Betonun kazık çukurunu tamamen doldurması, ve araya yabancı madde karışmamasına dikkat edilmelidir.

Yerinde dökme betonarme kazıkların bütününe etkileyen nedenler şöyle sıralanabilir (Sliwinski, Fleming, 1983, Fleming, 1983):

- 1- Beton kalitesi yetersizdir. Dökülmesi sırasında beton segregasyona uğramış ve bu yüzden mukavemeti düşmüştür.
- 2- Ön görülen kazık kesiti sağlanamamıştır. Beton içine yabancı madde karışmış, kılıfın hızlı çekilmesi yüzünden kesiti su hücumu gibi nedenlerle istenilen kazık kesiti her derinlikte sağlanamamıştır.
- 3- Kazık ucunun oturduğu zeminde örselenme meydana gelmiştir. Kazık çukurunun açılması sırasında, kazık ucunun yerleştirileceği zemin örselenmiş veya kazık döküntüleri ile dolmuştur. Kazık ucu altındaki örselenme, geniş bir kesimi kapsıyor olabilir
- 4- Donatı kafesi yerinde değildir. Yerinde dökme betonarme kazıklarda imalat sırasında kullanılan kaplama borusu, bazı kazık tiplerinde zemin içerisinde bırakılır, bazı tiplerde ise kazık betonlandıktan sonra zeminden çıkarılır.

Yerinde dökme betonarme (fore) kazıkların yapımında dikkat edilecek hususlar şunlardır:

- 1- Kazık çukurunun çeperlerinin stabilitesi sağlanmalıdır. Özel olarak yer altı su seviyesi altındaki veya zeminde artezyen bulunması durumundaki kazık çukuru içinde, su doldurularak veya uygun başka sıvılar kullanarak en az 1.0 m.' lik bir hidrolik yük farkı oluşturulmalıdır.
- 2- Kazık çukuru betonlanmadan önce iyice temizlenmeli, zemin döküntüsü ve yabancı maddelerin betona karışması önlenmelidir.
- 3- Çukurun hazırlanması ile betonlama arasında geçen zaman en aza indirilmelidir.
- 4- Çukur kazısı kılıfın 1.00 m. altına kadar sürdürülür. Donatı kafesi, çukurun tabanına kadar indirilir, böylece kılıfın ucundan 1.00 m. aşağıya uzatılır. Betonlama sırasında bir yandan kılıf çekilirken çevreden zemin ve suyun girmesine engel olunurken bir yandan da kılıfın yukarı çekilmesi kolaylaştırılır.

- 5- Betonlamayı kolaylaştırmak için etriyeler arasındaki uzaklıklar, pas payları uygun değerlerde seçilmeli ve donatının kılıfa dokunmaması için pas payı takozları kullanılmalıdır.

Yerinde dökme betonarme kazıkların yapımında kullanılan başlıca yöntemlerde şöyle özetlenebilir:

- 1- Bir yöntem, kendini tutabilen kazık çukuruna donatı indirilmesi ve çukurun betonlanması ile kazık yapılmasıdır. Yer altı suyu bulunması veya çukur çeperlerinin kendinin tutamaması halinde bu yöntem uygulanamaz. Özellikle, kuyuya su sızması ve çukur dibinde birikmesi durumunda bu yöntemle yapılacak imalat ciddi mahzurlar ortaya çıkarır. Suyun içine dökülen beton segregasyona uğrar. Beton dökülmesine devam olunursa yukarıdaki beton alttaki betondan daha önce priz yapar. Aşağıdaki betonun kolayca sıkışıp oturması sonucu, kazığın alt kesimi ile daha yukarıdaki kesimi arasında boşluk oluşur.
- 2- Diğer bir yapım yöntemi, kazık çukurunun çeperlerinin stabilitesini sağlamak için kılıf kullanılmasıdır. Kılıf, çukur kazıldıkça aşağıya sızması, çoğu kere çeperlerden zemin parçalarının düşmesine ve betona karışmasına yol açar.sürülür.kılıf kullanılması halinde ortaya çıkabilecek sorunlar, betonlama sırasında kılıfın hızlı çekilmesi ve bu yüzden suyun veya zemin parçalarının betona karışması, öngörülen kazık kesitinin elde edilememesidir. Kalıcı kılıf kullanılması ise, ekonomik nedenlerle, genellikle başvurulmuş son çaredir.
- 3- Başka bir yapım yöntemi, bentonit süspansiyonu kullanılarak çukur çeperlerinin stabilitesinin bozulmasının önlenmesidir. Özellikle geniş çaplı kazıkların yapımında yararlanılan bir yöntemdir. Kazık başının üst kısmına bir yaka kılıfı yerleştirilir. Kuyu içindeki bentonit seviyesi, zemin yüzüne yakın ve herhalde yer altı su seviyesinden 1.00 ~ 1.50 m. daha yukarıda tutulur. Bu yöntemle çalışılırken çukur tabanın iyice temizlenmesine dikkat edilmelidir. Beton tremi borusu ile dipten başlanarak dökülüyorsa,

süspansiyon ile birlikte gelen zemin parçaları ve yabancı maddelerin kazığın üst tarafında betona karışması önlenmelidir.

- 2- Burgu ile yapılan kazıklarda çukur istenilen derinliğe kadar açıldıktan sonra burgu geri alınırken beton dökülür. Bu yöntemde, burgunun geri alınması ile beton dökülmesinin eş zamanlı olmasına dikkat edilmelidir.

Çizelge 2.3. Beton karışımının özellikleri

Çimento miktarı	
Kuruda dökülüyorsa :	$\geq 325 \text{ kg/m}^3$
Su altında dökülüyorsa :	$\geq 325 \text{ kg/m}^3$
Su çimento oranı (w/c)	< 0.6
d < 0.125mm ince malzeme miktarı :	
Kaba agrega d > 8mm	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$
Kaba agrega d $\leq$ 8mm	$\geq 450 \text{ kg/m}^3$

2.2.2.2.1 Soket Yapılması

Yerinde dökme betonarme kazıkların çukurunun kazılması sırasında döküntü zemin veya taban kabarması ile ortaya çıkan zayıf zeminin dışarı çıkarılmasında güçlük olabilir, ya da kazığın uç mukavemetinden tam olarak yararlanılması istenebilir. Bu gibi durumlarda, kazı ucuna *soket* yapılması düşünülebilir. Soket yapılması için uygun bir yöntem, donatı kafesi içine çimento enjeksiyonu yapılmasına elverişli borular monte edilmesi, kazığın betonlanması tamamlandıktan sonra bu borulardan basınçlı harç püskürtülerek soket yapılmasıdır. Enjeksiyon boruları yerine, günümüzde yaygın bir kullanıma alanı bulmuş olan “*tube a machettes*” kullanılarak da soket betonu püskürtülür.

Kazık gövdesinin betonlanmasından en az sekiz gün geçtikten sonra enjeksiyon borularından su/çimento oranı 3/5 olan harç basılır. Soketli kazıklarda yüksek uç

mukavemeti, uçtaki zeminin sıkıştırılması ile sağlanmaktadır. Bu yüzden enjeksiyon basıncının doğru seçilmesi önemlidir. Çok yüksek basınçlar uygulanması halinde zemin bozulabilir (hydrofracture) ve bu durum enjeksiyon basıncının ani düşmesi ile anlaşılır. Tecrübe, sıkı kumlarda, dakikada 1 – 2 litre enjeksiyon yapılmasını sağlayacak basıncın uygun olduğunu göstermiştir.

2.2.2.2.2 Betonarme Kazıkların Karşılaştırılması

Yerinde dökme çakma betonarme kazıklar ile sondaj kazıklarını birbirleriyle karşılaştırdığımızda, sondaj kazıkların üstünlükleri şöyledir;

- 1- Sondaj kazıklarının yapımı sırasında çevrede genellikle büyük sarsıntılar meydana gelmez.
- 2- Kazık çukurunun açılması sırasında numune almak mümkün olduğu için geçilen tabakaların mükemmel bir profilinin elde edilmesi mümkündür.
- 3- Çatı altı, vs. gibi çalışma yüksekliği az olan yerlerde dahi imal edilebilir.
- 4- Kazık uzunluğu zemin koşullarına göre ayarlanabilir.
- 5- Yalnız kaplama borusu çakılması gibi nispeten küçük bir kuvvet tatbiki gerektiği için kolayca büyük derinliklere ulaşılabilir.

Bu üstünlüklerine karşılık, sondaj kazıklarının şu sakıncaları da vardır:

- 1- Kazık yeri zeminin oyulup çıkarılması ile hazırlandığı için kaplama borusu çevresindeki zeminlerde gevşeme olabilir. Kazma işlemi, kaplama borusunun alt ucundan 0.3 m. ~ 0.5 m. daha derine kadar sürdürülmektedir ve bu yüzden killi zeminlerde dahi bir miktar ferahlama meydana gelir.
- 2- Küçük kesitli sondaj kazıklarının yer altı su seviyesi altında dökülmesinde güçlükler vardır.
- 3- Muhafaza borusu çıkarılan sondaj kazıklarda taze betonun da çekilmesi ihtimali vardır.

- 4- Muhafaza borusunun çekilmesi sırasında gerekli itina gösterilmezse, zeminin çukura hücumu ile kazık kesitinin daralması sonucu boğulma meydana gelebilir.
- 5- Beton dökülmesi sırasında tremi borusu kullanılmaması halinde beton içindeki iri malzeme ile ince malzeme ayrılır, ve bunun sonucunda kötü bir beton meydana gelir.

Sondaj kazıkları genellikle uç kazığı olarak kullanılırlar. Gevşek zeminlerde, akıcı kumlarda, basınçlı yer altı suyu bulunması halinde mümkün olduğu kadar sondaj kazığı yapılmasından kaçınılmalıdır. Yerinde dökülen çakma kazıklar sondaj kazıklarına göre genellikle daha çok yük taşırlar. Bununla beraber, yerinde dökülen çakma kazıklar belli tiplerle sınırlı kalırken sondaj kazığı tipleri her gün gelişmekte, sayıları artmaktadır.

2.2.2.2.3 Betonarme Kazıkların Dayanıklılığı

Şartnamelere uygun olarak imal edilen betonarme kazıklar en dayanıklı inşaat elemanlarından birisidir. Bununla birlikte, zeminde doğal olarak mevcut olan sülfat betonun bozulmasına yol açabilir. Betondaki hidrate kalsiyum alüminat, sülfat ile reaksiyona girerek kalsiyum sülfat alüminat meydana getirir. Moleküler düzeyde hacim artışına yol açan bu değişiklik sonucunda beton dağılır. Çözülebilir sülfatların beton üzerinde etkili olup olmadığını anlamak için zemindeki sülfat miktarının ve mevcut katyonlarının belirlenmesi gerekir. Numunedeki sülfat konsantrasyonu %0.5'i geçiyorsa, zeminde sülfat analizi yapılmalıdır. Sülfatın etkisinden kurtulmak için kazığa bitüm veya katran sürülmesi yeterli olmayabilir. Bitüm veya katran çakım sırasında sıyrılır ve fazla yararlı olmaz. Buna karşılık, yoğun, iyi sıkıştırılmış, su/çimento oranı küçük olan beton sülfata dayanıklı kabul edilir. Yapısal olarak pas paylarının arttırması, sivri köşeler teşkilinden kaçınılması gibi önlemler de alınabilir.

2.2.3 Çelik Kazıklar

Çok kullanılan çelik kazıklar, boru, kutu, H-kesitli kazıklardır. Geniş flanşlı H-kesitli veya I profili kazıklar da kullanılmaktadır. Uçları açık çakılan kutu ve boru kesitli kazıkların çakılmasını kolaylaştırmak amacı ile tabanın zeminin kazılması veya ters su sirkülasyonu ile temizlenmesi çarelerine başvurulur.

Kutu veya boru tipi çelik kazıkların ağır yükleri taşımaları istendiği zaman uçları kapalı olarak çakılmaları mümkündür. Kazığın derine çakılması durumunda ucu açık bırakılır, fakat kazık ucundan belli bir uzunluk yukarıda ortası delik bir plaka ile uç mukavemeti sağlanır. Plakanın ortasındaki delik, çakım sırasında kazık ucunda sıkışan su, silt veya yumuşak kilin kaçması için bırakılmalıdır.

Çakma sırasında tahrip olmaması için kazık uçları takviye edilir. Çelik kazıklar, örselenmemiş tabii zeminlere çakıldığı zaman korozyona uğrama tehlikesi azdır. Buna karşılık, örselenmiş veya dolgu zeminlerde korozyon önemlidir. Bunun nedeni, örselenmiş zeminde daha çok oksijen bulunmasıdır. Örselenmemiş zeminlerde, zemin yüzünden bir iki metre daha derinde oksijen çok azdır.

Çelik kazıkların çakma boyu, kaynak ile ek yapılmak suretiyle arttırılabilir. Açık deniz yapılarında, uzun çelik kazıkların oluşturulması bu yolla yapılmaktadır. Kutu çelik kazıklar, palplanşların kaynaklanması ile elde edildiği gibi, boru kazıklarda olduğu gibi çelik levhalardan da yapılabilir. [3]

2.2.4 Kompozit Kazıklar

Karşılaşılan zemin koşulları ve yapı gereklerinin karşılanması için çeşitli malzemeden yapılan çakma kazıklar veya yerinde dökme kazıklar ile çakma kazıklar birlikte kullanılır.

2.2.5 Sondaj Kazıkları (Fore Kazıklar)

Yerinde imal edilen sondaj kazıklar, genellikle sağlam kil zeminlerdeki yapı temellerinde kullanılmaktadır. Bunlar genellikle 40 ile 60 cm. çapında ve 6 ile 15 m.'ye kadar uzunlukta olmakla beraber, bazen daha geniş çapta ve boyda da imal edilmektedir (Halen yurdumuzda 150 cm. kadar fore kazıklar yapılmaktadır. Fore kazıklar 60 m. derinliğe kadar teşkil olunmuştur). Bu kazıkların imali; ucu açık bir kaplama borusu sondaj yoluyla zemine sokulur ve içindeki zemin tamamen çıkartıldıktan sonra yerine beton doldurulur. Bu şekilde imal olunan kazıklar küçük bir ayak temel gibi düşünülebilir.

2.3 Kazık Taşıma Gücü

Sığ temellerde olduğu gibi bu temellerde de iki çeşit göçmeye karşı önlem alınması gereklidir. Bunlar zemin kayma göçmesi ile fazla oturmadır .Bunlardan birincisinde kazıkların taşıma gücünün bilinmesi ve buna yeterli bir güvenlik sayısının uygulanmasına gerek vardır. İkincisinin belirlenmesi ise daha güçtür. Oturmanın hesaplanması için temel altındaki zemin profilinin, zeminin konsolidasyon özelliklerinin ve kazıklardan zemin tabakalarının ne şekilde yük aktarıldığının bilinmesi gereklidir.

Bir kazık gurubunun taşıma gücünün kazıklar arasındaki girişim nedeniyle, kazıkların tek tek taşıma güçleri toplamından genellikle az olduğu çok iyi bilinmektedir. Gerek teori ve gerekse tecrübe ile belirlenmiş olan bu durum bu bölümün ileriki kısımlarında söz konusu edilmektedir. Bu duruma bir istisna olarak, bazı hallerde, kohezyonsuz zemin içine çakılan kazıklar gösterilebilir. Kompaksiyonla zeminin sıkıştırıldığı bu durumda kazıklar arasındaki girişimin toplam mukavemeti arttırması ihtimali vardır.

Önce tek bir kazığın taşıma gücünün göz önüne alınıp tespit edilmesi gerekmektedir. Kazık taşıma gücü, yük sabit kaldığı halde kazığın zemine girmesinin devam ettiği yüküdür. Bazı şartnamelerde bu yük kazık çapını en az

%10'u mertebesinde oturmaya sebep olan yük olarak tarif olur. Emin taşıma gücü veya maksimum servis yükü, kazık taşıma gücüne göre yeterli bir güvenlik sayısı olan ve en fazla müsaade edilen oturmaya sebep olan yükür. Bu her iki değır kazık ağırlığı üzerine eklenecek yükü göstermektedir. Bu değır aşığıdaki yöntemlerden biri ile belirlenir:

- 1- Zemin mekanığı prensiplerine dayanan statik formüller.
- 2- Kazık çakımı sırasında zemin mukavemetine karşı yapılan işe dayanan dinamik formüller.
- 3- Penetrasyon deneyleri.
- 4- Arazide yapılan kazık yükleme deneyleri.

Swedish Committee for Pile Research' tarafından yapılmış araştırmalara dayanan kazıkların taşıma gücünün belirlenmesindeki metotları geniş bir şekilde kapsayan bir makale Broms tarafından hazırlanmıştır.

2.3.1 Statik Kazık Formülleri

Bir kazığın Q_d taşıma gücü (toplam mukavemeti)

$$Q_d + W = Q_u + Q_f \quad (2.1)$$

ile verilir burada Q_u uç mukavemeti; Q_f kazık yüzeyi boyunca yer alan sürtünme ve adhezyondan ileri gelen sürtünme mukavemeti; W kazık ağırlığıdır.

2.3.1.1 Kohezyonsuz Zemin

Uç mukavemetini veren bir bağıntı Terzaghi'nin taşıma gücü formülünden türetilir:

$$Q_p = A_p q_p \quad (2.2)$$

2.3.1.2 Kohezyonlu Zemin

Doygun killerde derin temellerde uç taşıma gücü çoğu kere kohezyon mukavemetinin dokuz katı olarak alınır. Çevre sürtünme mukavemeti;

$$Q_s = A_s f_s \Delta L \text{ dir.} \quad (2.3)$$

$$f_s = c_a \quad (2.4)$$

$$c_a = \alpha c_u \quad (2.5)$$

Burada c_a kazık yüzeyinin birim alanına gelen ortalama adhezyondur. Bu adhezyon daima zeminin örselenmemiş kayma mukavemetinden azdır. Arazideki incelemeler bunun $0.5 c_u$ civarında olduğunu göstermiştir. Katı killerde ($c_u > 0.5 \text{ kg/cm}^2$) kazık çakımı sırasında meydana gelebilecek bir boşluğun daha yumuşak zeminlerdeki gibi hızla kapanamaması göz önünde tutularak c_a 'nın belirlenmesinde ihtiyatlı davranılmalıdır. Hassas killerde kazık çakımı nedeni ile zeminin yoğrulması çoğu kere, adhezyonda önemli azalmalara yol acar. Fakat genellikle, kazık çakımından sonra zamanla mukavemette tekrar artma olur. [5]

İdeal bir kohezyonlu zemindeki sıkışmayan kazıkların davranışları matematiksel olarak , Poulos , Davis ve arkadaşları tarafından araştırılmıştır. Kazık uzunluğu boyunca kayma gerilmesi dağılımı, Mindlin denklemlerinden faydalanılarak çıkartılmıştır. Mindlin'in denklemlerine göre kısa kazıkların ucuna yakın kısımlarda gerilme birikimi olur. Uzun kazıkların tepeye yakın kısımlarında gerilmeler en düşük değerlerini alır. Bu değerler uç kısma doğru bir maksimum değere yükselirler. Kazık üzerindeki yük artarken en yüksek gerilmeye maruz kısımdaki gerilme, kaymanın başlattığı bir maksimum değere ulaşılır. Yükün daha da artması ile kazığın diğer bölgelerinde de sınır değerlere ulaşılır.

2.3.2 Dinamik Kazık Formülleri

Tek bir kazığın emniyette taşıyabileceği yük, genellikle kazık çakımı için hazırlanan enerjinin kazığın zemine girmesi ile yapılan işe eşit olması esassından türetilen dinamik formüllerle belirlenebilir. Meydana geldiği bilinen fakat değeri ancak tahmin edilebilen enerji kayıpları güz önünde tutulmalıdır. Zemin özellikleri kazık çakımı sırasında ölçülen penetrasyon değerleri veya rüfû ile iyi bir şekilde belirlenemez . Bu formüllerin kazıklara verebilecek yüklerin hesabında güvenilir olduğu söylenemez. Formüllerin yanında verdiği sonuçlar arsında büyük farklar yanında belirsizlikler de mevcuttur. Bir çok dinamik kazık formülleri arasında tek önemli fark, enerji kayıpları için yapılan kabullerin sınıf ve değerlerindendir. Tokmak darbesinin yaptığı faydalı iş, kazığın zemine batması için gerekli olan kuvvet veya direncin çarpımı olarak gösterilir. Bu direnç, uygulanan çakma enerjisinden, çeşitli kayıpların çıkarılması ile bulunur. Genellikle bu kayıpların aşağıdaki sebeplerden doğduğu üzerinde bir fikir birliği vardır: [5]

- a- Darbe (Tokmağın kazığa çarpması)
- b- Çakma işinde kullanılan kazık çakma başlığının sıkışması
- c- Kazığın sıkışması
- d- Zeminin deformasyonu

Bazı dinamik kazık formüllerinde bütün enerji kayıpları hep birden hesaba alınmaz. Örneğin, basit formüllerde kazık ağırlığının ihmali, uygulanan çakma enerjisinin ufak olduğu hallerde ,direnç değerlerinin hatalı olarak bulunmasına sebep olur.Diğer bazı formüllerde ise kazık tarafından alınan enerji ihmal edildiğinden, hafif bir tokmakla çakılan ağır kazıklarda Rüfû oldukça küçük olacağından, hesaplanacak direnç yanlış olacaktır. Bu tip formüllerin tam bir şekli aşağıda verilmiştir:

$$\text{Tatbik olunan enerji} = \text{Faydalı iş} + \text{Çarpımdan doğan kayıp} + \text{Kazık başlığındaki kayıp} + \text{Kazıktaki kayıp} + \text{Zemindeki kayıp} \quad (2.6)$$

Bu tip formüller, kohezyonsuz zeminlerde, çakılan kazıklarda kullanılabilir formüllerden bulunan tek kazık taşıma gücünden emin taşıma gücüne geçmek için Q_u ' nun bir güvenlik sayısı ile bölünmesi gerekir. Buna bir örnek Hilley formülü olup bu formülde hesap edilen taşıma gücü ile deney sonuçları vasıtasıyla bulunanlar arasında iyi bir yakınlık vardır. Kohezyonlu zeminlerde bir kazığın emniyetle taşıyacağı yükün hesabı için ölçülen refüyu kullanan hiçbir formüle, bu tip bir zemindeki bir kazığın emniyetle taşıyacağı yükü tahmin için güvenilemez. Dinamik bir darbeye karşı kohezyonlu bir zeminin gösterdiği direnç, kazığın statik yük altındaki direnci hakkında bir fikir vermediği gibi, muhtemel oturmalarına ait bir bilgi de şüphesiz sağlanamaz.

Dinamik kazık formüllerinin ayrıntılı olarak incelenmesi Zemin Mekaniği alanı dışındadır.

2.3.3 Penetrasyon Deneyleri

Hollanda sondası (Derin sonda) çelik bir tüp içinden geçen çubuğun ucuna takılmış konik bir başlıktan oluşan bir alet olup, zemin mukavemetini iki ayrı bileşen (çevre ve uç) halinde belirlemek için belirlenmiştir .

Standart penetrasyon deneyi bazen, kohezyonsuz zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesinde de kullanılır . Meyerhof tarafından yapılan deneyler bir kazığın Q_u mukavemetinin yaklaşık olarak $4.N \text{ kg/cm}^2$ olduğunu göstermiştir. Burada N, standart penetrasyon darbe sayısıdır. Bu deneylere ait sonuçlar dağınık bir görünümde olup $Q_u = 2,5 N$ kabul edilebilir bir alt sınırı belirlenmektedir.[18]

2.4 Düşey Yükler Altında Tek Kazığın Davranışı

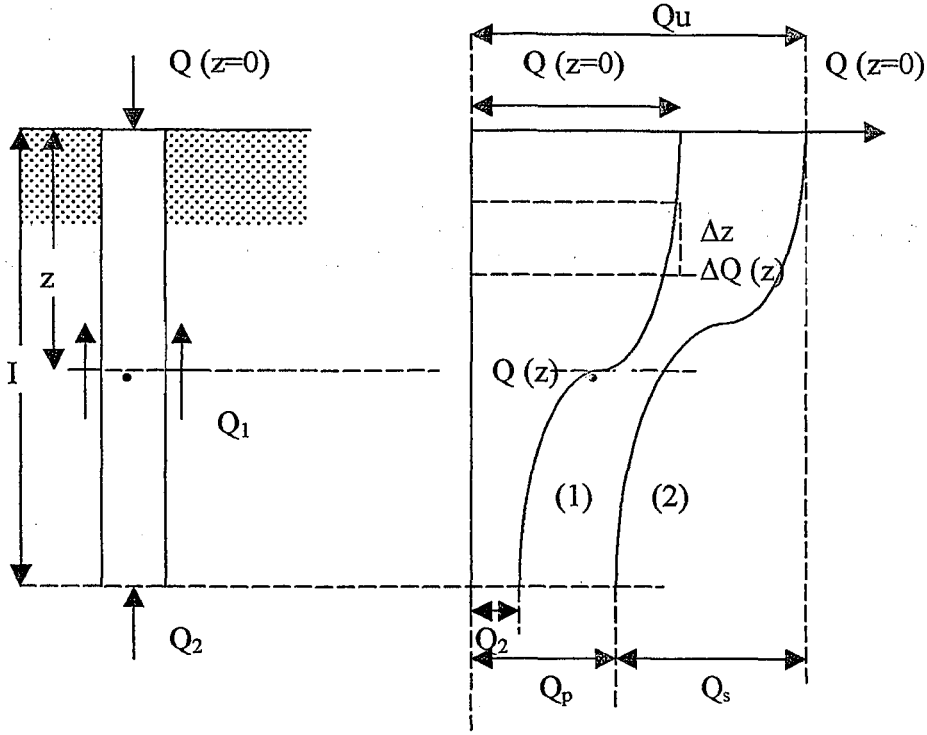
Bir kazıktan zemine yük aktarılması oldukça karmaşıktır. Yükün zemine aktarılışı aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilmektedir. Kazık tepesine etkiyen yük başlangıçta Q iken bu yük çevrede Q_1 ve uçta taşınan Q_2 olarak paylaşılacaktır. Kazık yükü arttırılırsa kazığın çevre zemine karşı göreceli olarak

hareketi 5-10 mm.'yi bulduğunda çevrede taşınabilecek yükün maksimumu mobilize olmuş olacaktır. Buna karşı tabanda taşınabilecek yükün maksimum değerine ulaşabilmesi için, kazık tabanının çakma kazıklarda çapın %10'u, fore kazıklarda %30'u kadar hareket etmesi gerekecektir. Kazık tepesine etkiyen yükün göçme yükü Q_u değerine ulaşması durumunda hem çevrede, hem uçta taşınabilecek maksimum yüklere ulaşılmış olacaktır. Daha büyük yüklerde zeminde kesme göçmesi meydana gelir. Kazık zemine gömülür ve sonuçta farklı gömülülükte farklı zemin koşullarında yeni bir kazık meydana gelmiş olur. Kazığın boyutuna, şekline, türüne ve zemin özelliklerine bağlı olarak maksimum taşıma gücüne uçta ve çevrede aynı anda ulaşıldığı varsayılarak yazılabilir. Burada Q_u : bir kazığın taşıyabileceği maksimum yük, Q_s : bir kazığın çevrede taşıyabileceği maksimum yük, Q_p : bir kazığın ucunda taşıyabileceği maksimum yüküdür. Q_s bileşeni sonradan ayrıntılı olarak inceleneceği üzere bazı durumlarda kazığa ters yönde etkiyebilir (Negatif çevre sürtünmesi).

$$Q_u = Q_s + Q_p \quad (2.7)$$

Düşey yük altında bir kazığın taşıyabileceği maksimum yükün bulunuşu için ampirik ve yarı ampirik değişik yöntemler bulunmakla birlikte genelde uygulama alanı bulanlar aşağıda sunulmaktadır.

- 1- Zemin kayma mukavemetini kullanan statik analizler.
- 2- Arazi deneyi sonuçlarını kullanarak ampirik analizler (SPT, CPT, MPT, vb.)
- 3- Dinamik çakma direnci analizleri (kazık çakma eşitlikleri, dalga yayılma eşitlikleri vb.)
- 4- Kazık yükleme deneyi analizleri.



Şekil 2.2 Kazıkta yük aktarılışı

Önceden değinildiği gibi zemin-kazık ilişkisi ve etkileşimi son derece karmaşık olup kazığın taşıyabileceği yükün zemin verileri veya diğer yarı ampirik-ampirik yöntemlere bağlı olarak bulunuşu bir tahminden öteye geçemez. Önemli her işte bu tahminin tam ölçekli bir yükleme deneyi ile kontrol edilmesi önerilmektedir.

Kazığın taşıyabileceği tahmin edilen maksimum yük bir güvenlik sayısına bölünerek güvenli taşıyabileceği yük bulunabilir.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} \quad (2.8)$$

Burada Q_{all} : güvenli kazık yükü, FS : göçmeye karşı güvenlik sayısıdır.

Çizelge 2.4 Kazık taşıma güçleri için güvenlik sayıları (AASHTO, 1992)

Kontrol ve Tahmin ⁽¹⁾	Artan Yapım Kontrolü				
Zemin İncelemesi	X	X	X	X	X
Statik Analiz	X	X	X	X	X
Çakma Eşitlikleri	X	-	-	-	-
Dalga Yayılma Analizi	-	X	X	X	X
Dinamik Ölçüm	-	-	X	-	X
Yükleme Deneyi	-	-	-	X	X
FS	3.50	2.75	2.25	2.00	1.90
				0 ⁽²⁾	

Not: ⁽¹⁾ Adı geçen kontrat belgelerinde tanımlanmalıdır.

⁽²⁾ Yüklemeye deneyinin yapıldığı herhangi bir kontrol şeklinde FS=2.00 alınabilir.

Güvenli kazık yükünün çalışma yükü, servis yükü, olarak da nitelendirilebilmesi için bu yük altında kazık malzemesinde doğacak gerilmelerin izin verilebilir değerleri aşmaması gerektiği ve beklenen oturmaların izin verilebilir sınırlar içerisinde kalacağını gösterilmesi gerektiği açıktır. Uygulanacak güvenlik sayısı maksimum yük tahminindeki güvenilirlik ve kazığın inşaatı sırasındaki denetime bağlı olarak değişecektir. AASHTO (1992) tarafından önerilen değerler yukarıda verilmektedir:

Yukarıda verilen güvenlik sayıları normal yükler altında önerilen değerler olup, ASCE (1993) yaklaşımında yüklemenin olağan, seyrek beklenen ve çok seyrek beklenen durumlar için farklı güvenlik sayıları önerilmektedir. Bunlardan olağan yüklemeye onarım, çok seyrek taşkın durumu, çarpma ve yapım sırası yüklerini kapsamaktadır. Bu durumda kazıkta izin verilebilir malzeme gerilmeleri %33 arttırılabilir. Çok seyrek beklenen yüklemeye ise kaza ya da doğal afet gibi olma olasılığı çok az yüklemeye durumunu kapsar. İzin verilebilir gerilmeler %75 arttırılabilir. Bu son yüklemeye durumunda bir yapıda bazı kazıkların pik ya da

kalıcı, rezidüel, değerlere kadar yüklenmeleri halinde denge koşullarının sağlandığı gösterilmeli, bu yükleme de birden ve toptan göçme olmayacağından emin olmak için gerekiyorsa aletlendirme, sık ya da sürekli ölçüm, kullanım kısaltmaları gibi önlemlere başvurulmalıdır. Aşağıda önerilen güvenlik sayıları standart uygulama ve arazi araştırmaları sonucunda belirlenmiştir. Önerilenler dışındaki değerler ancak çok ayrıntılı araştırma ve deneyle parametrelerdeki belirsizliklerin en aza indirilmesi sonucunda kabul edilebilir. Önerilen kazık yapımı sırasındaki kazık taşıma gücünü etkileyen belirsizlikleri de içermekte ve olağan servis yük düzeylerinde kazığın doğrusal olmayan davranışının çok az tutulmasını da sağlamaktadır.

Çizelge 2.5 Kazık taşıma güçleri için güvenlik sayıları (ASCE, 1993)

Taşıma Gücü Tahmini ve Denetim	Yük Koşulu	Min FS	
		Basınçta	Çekmede
Kazık yükleme deneyi ile doğrulanan kurumsal veya ampirik tahmin	Olağan	2	2
	Seyrek	1.5	1.5
	Çok Seyrek	1.15	1.15
Kazık çakma analizi ile doğrulanan kurumsal veya ampirik tahmin	Olağan	2.5	3.0
	Seyrek	1.9	2.25
	Çok Seyrek	1.4	1.7
Yükleme deneyi ile doğrulanmayan kurumsal veya ampirik tahmin	Olağan	3.0	3.0
	Seyrek	2.25	2.25
	Çok Seyrek	1.7	1.7

2.5 Düşey Yükler Altında Kazıkların Grup Davranışı

2.5.1 Kazıklı Temellerin Grup Davranışı

Düşey yük altında kazık grubunun taşıma kapasitesi, grubu oluşturan kazıkların tekil taşıma kapasitelerinin toplamından daha az olmaktadır. Bunun

nedeni ise grup etkileşimidir. Ve bu durum Şekil 2.3'te görülmektedir. Bunun dışında elastik ve konsolidasyon oturmaları kazık gruplarında, tek kazıklara göre her zaman daha büyüktür. Bunun nedeni de kazık grubunun altındaki zemin ya da kayada oluşan gerilme etki bölgesi genişlik ve derinlik alanı çok geniş alana yayılmaktadır (Şekil 2.4). Görüldüğü gibi kazık gruplarının taşıma gücü oldukça karmaşık bir konudur. Kazıkların sık olması halinde zemine aktarılan gerilmelerin çakışacağı (Şekil 2.3) ve bu nedenle taşıma gücünün azalacağı söylenebilir.

Kazıkların ideal olarak kazık başlıklarının ekonomik olarak çözülebileceği kadar yakın, birbirlerine etkiyip taşıma gücünün düşmeyeceği kadar uzakta olmasına çalışılmalıdır. Ayrıca, killi zeminlerde kazık grupları blok göçmesine karşı tahkik edilmelidir. Şekil 2.5b'de tipik bir kazık grubu göçmesi görülmektedir. Şekil 2.5a'da tek kazık sağlam yada sıkı bir tabakaya yeteri kadar çakılmakta, sıkı tabakanın altında da yumuşak kil tabakası bulunmaktadır ve bu durumda yükleme yapıldığında yatay tabakalar oluşan gerilmelerden etkilenmektedir. Ancak, aynı ortamdaki kazık grubuna üstyapı yükü etkidiğinde, oluşan gerilmeler yumuşak kil tabakasına ulaşacaktır ve aşırı oturmalar veya toptan göçme oluşur.

Daha önce bahsedildiği gibi kazıklar, üstyapı yükünü alttaki sağlam zemin tabakalarına aktarmak için kullanılan temel çeşitleridir. Yüzeysel temeller ile aralarındaki bu temel fark, gerilme dağılışıyla dikkati çekmektedir (Şekil 2.6). Burda radyenin hemen altındaki zemin örselenmediği için, aynı yük etkisindeki kazık gruba göre daha az oturabilir.

2.5.2 Hesap Metotları

Üst yapıdan gelen belli yüklerin belirli bir emniyetle kazıklara ve sonuç olarak zemine aktarılması kazıklı temel hesabını oluşturur. Yapılan hesapla,

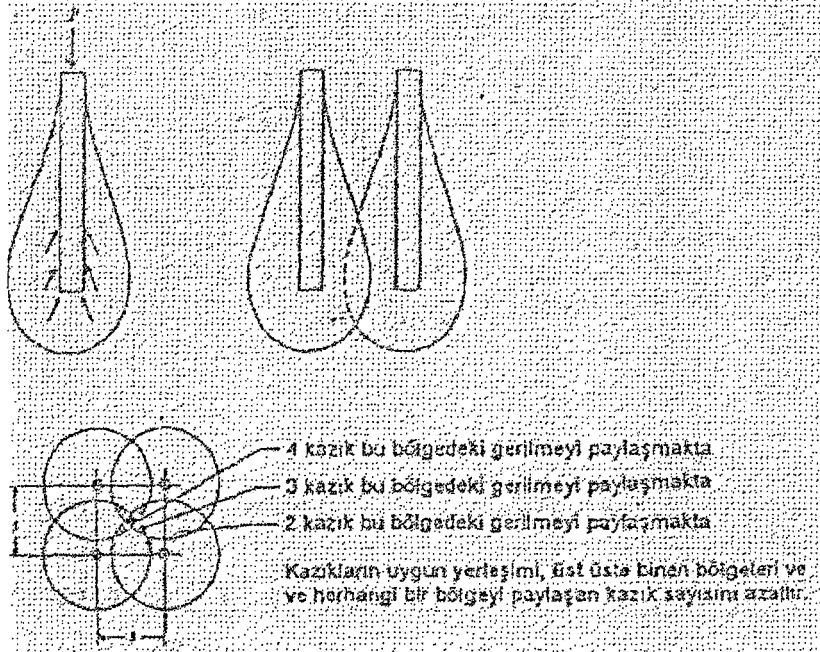
- Kazık grubunda her kazığa gelen yük bulunur.
- Maksimum kazık yükünün, kazığın servis yüküne uygun olduğu gösterilir.
- Kazık başlığı boyutlandırılır.
- Kazık grubunu stabilitesi irdelenir.

- Meydana gelebilecek oturmaların müsaade edilen değerlerde olduğu gösterilir.

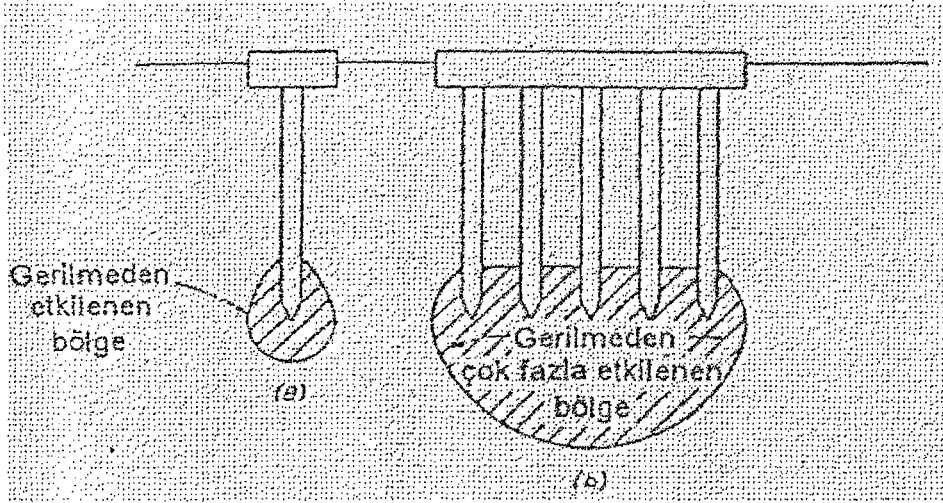
Kazık yüklerinin belirlenmesinde şu hususlar etkilidir:

- Zemin özellikleri.
- Kazık tipi.
- Yükün çevre sürtünmesi veya uç mukavemetiyle iletilmesi.

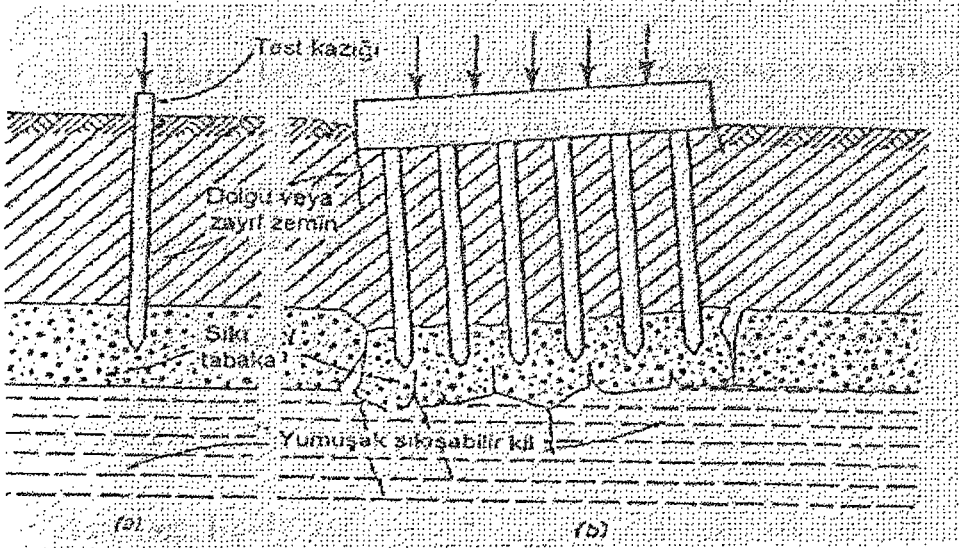
Kazık grubuna etkiyen yatay yük, düşey yükün %3'den az ve en fazla %5'ini geçmiyorsa, bu yatay yük düşey kazıklar tarafından alınabilir, eğik kazığa gerek yoktur (Alman Şartnamesi). Düşey kazığın taşıyabileceği yatay yük hesapla gösterilmelidir. Kazıklar taşıyıcı zemine 3m girmelidir. Uç kazıklarda kayaya girme miktarı 3D kadardır (D kazık çapı).



Şekil 2.3 Sürtünme kazığının çevreleyen gerilmeler ve kazık grubunda bunların toplam etkisi



Şekil 2.4 Tek kazık ve kazık grubu altında gerilmeden etkilenen bölgelerin karşılaştırılması a) tek kazık b) kazık grubu

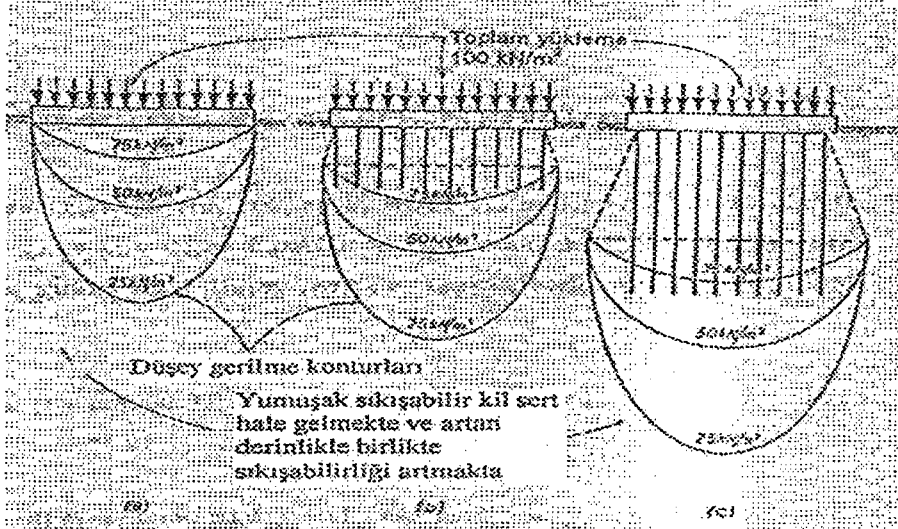


Şekil 2.5. Kazık grubunun kayma göçmesi

- (a) Test yükü tekil kazığa uygulandığı zaman yumuşak kil gerilmelerden pek etkilenmiyor.
- (b) Kazık grubuna üst yapı etkidiği zaman yumuşak kil gerilmelerden çok fazla etkileniyor

Kazıkların taşıma gücünü etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir.

- Taşım gücü büyük ölçüde çevre sürtünmesinden oluşuyorsa, bu tür çakma kazıkların taşıyabilecekleri yük, ince kum, silt ve killi zeminlerde çakma işleminden sonra uzun bir süre artabilir.
- Kazıklar üstteki zemin tabakalarının oturması halinde, ilave negatif çevre sürtünmesiyle yüklenir (kazıkların uygun teşkili ve daha büyük kazık aralığı seçimi ile bu etki azaltılabilir).
- Kazıklı temel çevresinde yüzeysel yayılı yük bulunması halinde yumuşak zeminlerde yatay hareketler olabilir ve kazıklarda ilave eğilme zorlamaları ortaya çıkabilir.
- Büyük sallantı ve titreşimler gibi dinamik zorlamaların tesiri, kazık gücünün azalmasına neden olabilir.



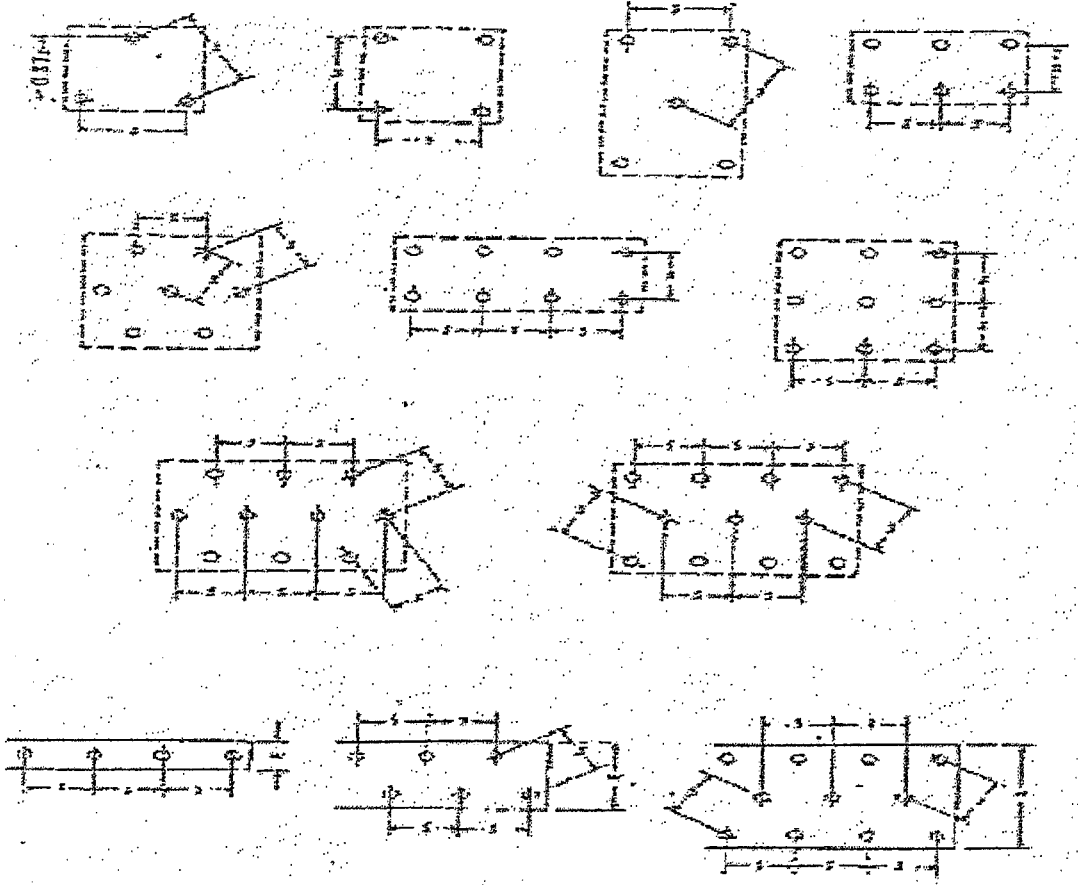
Şekil 2.6. Yüzeysel temel ve kazık gruplarının altındaki gerilme dağılımının karşılaştırılması a) Yüzeysel temel b) Mini sürtünme kazıkları c) Uzun sürtünme kazıkları

2.5.3 Kazıkların Yerleştirilme Esasları

Kazıkların yerleştirilmesiyle ilgili esaslar aşağıda verilmektedir:

- Grup halinde teşkilde, plandaki küçük alan boşluk maliyetini azaltır ve büyük yük halinde gerekli kazık miktarının yerleştirilebilmesine olanak sağlar.

- Zemin açısından mesafenin küçülmesi zararlıdır.
- İmalat esnasında kazıklar plandaki yerlerinden sapabilir. Bu durum müsaade edilmemelidir.
- Bir veya iki kazıklı gruplarda eksantrisite önemli boyuta ulaşabilir, grubun en az üç kazıktan oluşması tercih edilmelidir. Şekil 2.7’de tipik kazık grupları yerleşimleri ve örnekleri görülmektedir.
- Normal yükleme halinde, grupta bir kenarda basınç, diğer kenarda çekme kazığı olmasından sakınılmalıdır.
- Oturma yönünden, uç kazıklarında farklı yükler önemli değil, yumuşak zeminlerdeki sürtünme kazıklarında kazık yükleri arasındaki eşitsizlik minimumda tutulmalıdır.



Şekil 2.7. Tipik kazık grup örnekleri

Grup içerisindeki kazıkların ara mesafeleri Çizelge 2.6'da çeşitli şartnamelerde verilmektedir.

Çizelge 2.6 Kazık ara mesafeleri.[3]

Şartname		Sürtünme Kazıkları	Uç Kazıkları
Amerikan Şartnamesi	Dairesel Kazık Köşeli Kazık s(min)	s=2D s=2*köşegen uzunl. ≥76 cm	s=D+30 cm s=köşegen uzunl.+30
İngiliz Şartnamesi	Dairesel Kazık Köşeli Kazık s(min)	s=3D s=4*kenar uzunl. ≥106 cm	s=2D ≥76 cm
Alman Şartnamesi	Bütün Kazıklarda Sınır Değer	s≥4D s=3D	s=2D

Japon şartnamesine göre:

Çakma kazıklarda $s=2.5D$ ve $\min s \geq 60$ cm

Foraj kazıklarda $s=2.5D$ ve $\min s \geq 90$ cm olmaktadır. Konuyla ilgili bağlantılar ise aşağıdadır:

$$s=(2.5P/100)^{1/2} \quad P(t), s(\text{cm}) \quad (2.9)$$

$$s=1.08(LD)^{1/2} \quad L(\text{kazık boyu}) \quad (2.10)$$

$$s=L/10 \quad (2.11)$$

$$s=(\text{kazık yükü/kayma emniyet gerilmesi})^{1/2} \quad (2.12)$$

İsveç kazık şartnamesine göre kazıkların merkez-merkez mesafeleri Çizelge 2.7'de verilmektedir.

Çizelge 2.7 İsveç kazık ara mesafeleri

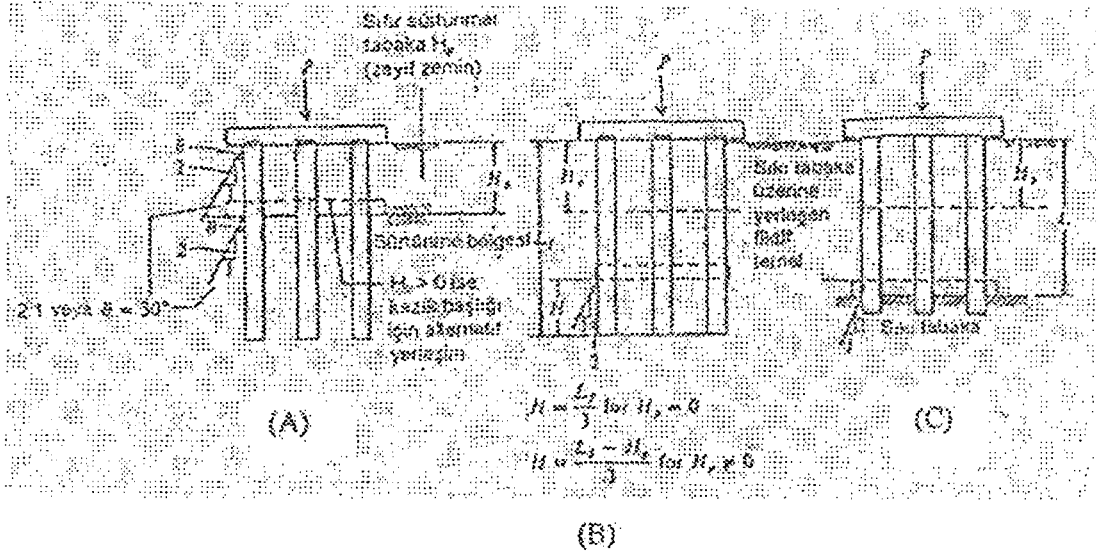
Temin edilen kazık boyu	Uç ve Sürtünme kazıklar		Kohezyon kazıkları	
	Dairesel	Kare	Dairesel	Kare
<10 m	3D	3.4B	4D	4.5B
10-25 m	4D	4.5B	5D	4.5B
<25 m	5D	5.6B	6D	6.8B

2.5.4 Kazık Gruplarının Altında Bulunan Zemin Tabakalarındaki Gerilmeler

Kazık gruplarının altındaki zeminlerin dayanımı ve oturmalarını tahmin etmek gerçekten çok zordur. Bunun nedenlerini şöyle sıralayabiliriz.

- Kazık başlığının etkisi genellikle şişen zeminler hariç zemin ile direkt temas halindedir. Bu temas, kazık-zemin etkileşimini oldukça belirsiz hale getirmektedir.
- Kazık boyunca oluşan sürtünme etkisinin tam bilinmemesi, bu yüzden de kazık ucundaki yükün bulunamaması.
- Komşu kazıkların gerilmelerinin çakışmaları değerlendirmeyi güçleştirir.
- Çakma kazıkların çevre zemini etkilemeler
- Konsolidasyon, tiksotropi, değişken yükler ve yer altı suyu seviyesinin değişimi gibi zamana bağlı etkilerin oluşması. Kazık gruplarının altındaki zeminde oluşan gerilmelerin hesaplanması için bir analitik metot Geddes tarafından önerilmiştir. Geddes bu metodu Mindlin'in elastik katılar içindeki tekil yük çözümünün üzerine adapte ederek bulmuştur. Boussinesq analizindeki gibi bu metot, zemin yarı sonsuz, izotrop, homojen ve elastik varsaymaktadır. Geddes bu metot için 3 durum geliştirmiştir. Burada gerilme katsayıları elektronik hesap makineleri ile

hesaplanabilir. Her durum için dört gerilme elde edilebilir (düşey, kayma, yanal ve çevresel). [3]



Şekil 2. 8. Kazık gruplarının altında bulunan zemindeki gerilmelerin basit hesabı, (A) Sürtünme kazıklar, (B) Sürtünme kazıklar için alternatif metot, (C) Uç kazıkları

2.5.5 Çeşitli Zeminlerde Kazık Gruplarının Davranışı

2.5.5.1 Kum İçindeki Sürtünme Kazıkları

Sıkı kum içine kazık çakılması sırasında kolaylık sağlamak için, kazık ucu önündeki zemin su jeti ile gevşetilir. Kazıklar arasında merkezden merkeze uzaklığın en az kazık başındaki kazık çapının 3 katı olması istenir.

Gevşek kumlarda yapılan yükleme deneylerinde, kazık çakılması sırasında zeminin sıklığının arttığı görülmüştür. Nitekim büyük çaplı kazık deneyleri ile kazık çakılmasından komşu kazığın taşıma gücünün etkilenmemesi için ara mesafenin en az kazık çapının 5 katı olması gerektiği bulunmuştur (Petrasovits, 1973).

Oturmalar bakımından durum karışıktır. Bir kere, gevşek kumlarda oluşturulan kazık grupları zeminin sıkışmasına yol açar. İkincisi, blok olarak daha derin tabakalar ve daha geniş bir alan etkilenir ve genel olarak derine gidildikçe zemin

deformasyon modülü artar. Bu yüzden münferit bir kazığın oturması ile grup içindeki bir kazığın oturması birbirleriyle kolayca ilişkilendirilemez.. [3]

2.5.5.2 Sıkışabilir Tabakalar Altındaki Kum veya Çakıla Oturan Kazık Grupları

Sıkışabilir tabakanın, genellikle kazık taşıma gücüne etkisinin az olduğu durumlarda, kazık uç kazığı olarak tasarlanır. Bazı yerlerde, ana kaya ayrışmış veya bozulmuş bir zemin tabakası ile örtülüdür. Kazık gruplarının teşkili sırasında, kazıkların çakımında farklı refü değerleri elde ediliyorsa, nedeninin araştırılması gerekir. Bu amaçla, o kesimde zemin inceleme sondajı yapılmalıdır. İnceleme sonunda, farklı boydaki kazıkların altında yumuşak kil veya silt cepleri bulunduğu belirlenirse, kısa çakılmış kazıkların daha güçlü bir tokmakla tekrar çakılması gerekebilir (Terzaghi, Peck, Mesri, 1995).

Arazi kazılarak veya doldurularak elde edilen alanlarda dolgu altında gevşek kum tabakaları bulunuyorsa, dolgunun etkisi ihmal edilebilir. Bununla beraber gevşek kumun sıvılaşma potansiyeli araştırılmalıdır. Dolgu alanlarının altında sıkışabilir zeminler varsa, bu zeminlerin konsolidasyonu sonucu kazıklara etkiyecek negatif sürtünme dikkate alınmalıdır. Yeni dolgular veya yumuşak tabakalar geçilerek kuma oturan kazık gruplarında kazık uçlarına gelen nihai yük,

$$Q_F = Q + Q_1 + Q_{11} \quad (2.13)$$

olarak yazılabilir. Burada Q yapı yükünü, Q_1 kazıklar arasında kalan zeminin ağırlığını, Q_{11} kazıkların içinden geçtiği sıkışabilir tabakaların blok çevresindeki toplam kayma gerilmesini göstermektedir.

2.5.5.3 Sıkışabilir Tabakalar Altındaki Kile Oturan Kazık Grupları

Bu durumda, kazığa etkiyen kuvvetler kazığın ucu çevresindeki kilde oluşan gerilmeler ile karşılanır. Sıkışabilir tabakaların zamanla oturması sonucunda meydana gelen negatif sürtünme kazıklara etkiyen kuvvetlerin artmasına yol açar.

Sıkışabilir tabakalar altındaki kil tabakalarına oturan kazıklar arasındaki uzaklık kazık çapının 3 katından daha az olmamalıdır (Terzaghi, Peck, Mesri 1995), bu aralığın çapın 3.5 katı olmasının tercih edilmesini önermektedir.

2.6 Kazık Yükleme Deneyleri

2.6.1 Giriş

Kazıkların taşıma gücünü doğru olarak tahmin edebilmek için kazık yükleme deneyi yapılır. Bu deneyde kazık uygun bir düzeneyle yüklenir ve kazık başının yer değiştirmesi ölçülür. Yükleme, oturmaların hızla artan bir seviyeye ulaşması, yani göçme halinde son verilir. Böylece kazığın maksimum yükü, taşıma gücü bulunmuş olur. Tasarım yükü olarak maksimum yükün bir yüzdesi ya da şartnamelerde belirtilmiş bir oturmaya karşı gelen yük dikkate alınır. Kazık yükleme deneyleri, genellikle *sabit yükleme deneyi* veya *sabit hızlı deney* olarak yapılır. Deney yüklerinin mertebesi ve sistemin maruz kalacağı yüksek deformasyon enerjisi göz önünde tutularak deney sisteminin çok dikkatle hazırlanması gerekir. Kazık yükleme deneylerinin düzenlenmesi, yapılması, ve sonuçlarının değerlendirilmesi, bilgi ve tecrübeyle gerçekleştirilebilir. Deney yapılacak yerdeki zemin özellikleri, zemin inceleme sondajları ile, SPT, CPT, presiyometre, vane gibi arazi deneyleri ve zeminden alınan numuneler üzerinde yapılan zemin mekaniği laboratuvar deneyleri ile belirlenmiş olmalıdır.

Kazık yükleme deneylerinin temel amacı, kazığın taşıyabileceği maksimum yükü belirlemektir. Kazığın oturması bu deneyle bulunamaz. Killi zeminlerde oturma (konsolidasyon), yükün uygulanma süresine bağlıdır. Eğer yük, kazık yükleme deneylerinde olduğu gibi, daha kısa bir süre için uygulanıp kaldırılıyorsa, bu yoldan zeminin maksimum oturması hakkında yararlı bir sonuç çıkarılamaz. Ayrık daneli zeminlerde, her ne kadar oturma ani olarak meydana gelse de tekil bir kazığın oturmasından faydalanılarak kazık grubunun değerce daha büyük olan oturması tahmin edilemez. Bütün çakma kazıklar, çevrelerindeki zeminin bir miktar örselenmesine sebep olurlar. Zeminin tiksotropi veya konsolidasyon ile

toparlanması, direncinin artması, yani taşıma gücünün maksimum değerine varabilmesi için, kazık çakıldıktan sonra bir süre geçmesi gerekir. Bu yüzden, deneye tabi tutulacak kazıkların çakılmaları ile deneye başlaması arasında, geçirimli zeminler için 5-7 gün, silt ve kil zeminler içine çakılan kazıklar için 4 hafta, silt ve kil zeminlerde imal edilen yerinde dökme betonarme kazıklar için 2 hafta beklenmelidir (ISSMFE Subcomitee,1983).

Killi zeminlere çakılan kazıklar çevrelerindeki zeminde boşluk suyu basıncının artmasına neden olur. Böylece oluşan ilave boşluk suyu basıncı, efektif jeolojik yük değerine kadar artabilir. Boşluk suyu basıncının arttığı bölgenin kazık çapının 10 katına kadar genişlediği belirlenmiştir. Randolph ve arkadaşları (1979), boşluk suyu basıncının artışını $\Delta u = 4s_u - \Delta p'$ olarak vermektedir. Bu ifadede, s_u zeminin drenajsız kayma mukavemeti, $\Delta p'$ kazık çevresindeki zeminin yoğrulması nedeni ile meydana gelen ortalama efektif gerilme artışıdır. Normal ve az aşırı killerde $\Delta p'$ negatif olabilir ve hassas killerde değeri $2s_u$ veya $3s_u$ değerine ulaşabilir. $\Delta p'$ çok aşırı konsolide killerde pozitif olur. Kazık çakılması sırasında olduğu gibi kayma deformasyonuna maruz kalan bazı killi zeminler, çakım sırasında zeminin yoğrulması sonucu, kayma mukavemetlerinin önemli bir kısmını kaybeder. Kayma deformasyonunu ortaya çıkaran kuvvetler kalkar ve aradan bir süre geçerse bu zeminler, eski mukavemetlerinin büyük bir kısmını tekrar kazanır. Zamana bağlı olarak bu mukavemet kazanma veya toparlanma özelliğine *tiksotropi* denir. [15]

Kazık yükleme deneyleri başlıca şu amaçlar için yapılmaktadır:

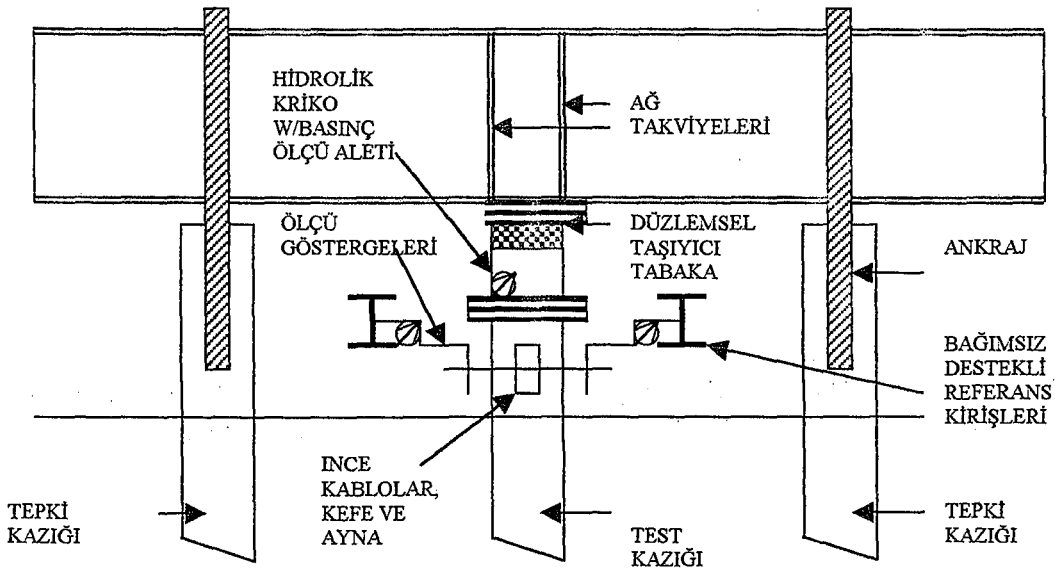
- 1- Kazığın taşıyabileceği en büyük yükü (göçme yükünü) bulmak.
- 2- Yük-Ötelenme ilişkisini saptamak.
- 3- Kazığın, imalatından sonra kabulünü yapmak.

2.6.2 Deneylerin Yapılması

Deneylerin yapılması için yük uygulanmasını sağlayacak ve oturma miktarlarının ölçülmesine el verecek bir düzeneğe gereklidir. Aynı zamanda, deneylerde yüklemenin yapılması, zamana bağlı bir programa uygun olarak düzenlenmelidir.

2.6.3 Yükleme Düzeneği

Bu deneylerin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle bir yükleme aracına ve yükleme sırasındaki reaksiyon kuvvetini karşılayabilecek düzeneğe ihtiyaç vardır. Şekil 2.9'da genel bir yükleme testi düzeneği görülürken, Şekil 2.10'da da ölü yük kullanılarak kazık yükleme deneyi yapılması gösterilmektedir. Bu amaçlara yönelik olarak kullanılan bazı yöntemler ölü yük kullanılarak kazık yükleme deneyi yapılması ve germe kabloları kullanılarak yükleme deneyi yapılması durumudur.



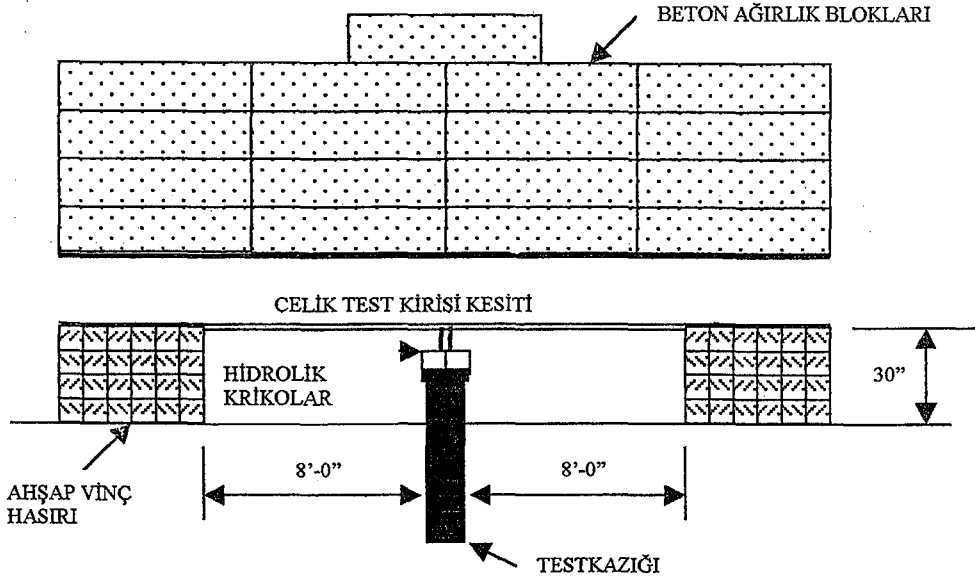
Şekil 2.9. Genel bir yükleme testi düzeneği. [10]

Ölü yük kullanılarak kazık yükleme deneyi yapılması durumunda reaksiyon kuvvetlerinin çok fazla olmayabileceği bir durumda bir platform kullanılarak, bu platform üzerine ölü yük konulması, örneğin çimento torbalarının yığılması ile oluşturulan bir düzeneğe vardır. Ölü yük ile yaklaşık 5000 kN değerine kadar yükleme yapılabilir. Yükleme dengeli olmalı, yatay hareketler önlenmelidir. Eğimli kazıkların yükleme deneyleri ölü yük ile gerçekleştirilemez. Çekme kazıkları kullanılarak yükleme deneyi yapılması ve germe kabloları kullanılarak yükleme deneyi yapılması durumunda ise, krika kullanılarak yük uygulanan ve deney kazığının çevresindeki çekme kazıklarından (veya çekmeye çalışan ankrajlardan) dayanak alan bir yükleme düzeneği bulunmaktadır. Literatürde, çekme kazıkları kullanılması halinde 15000 kN kademesine kadar yükleme yapılabildiği bildirilmektedir. İki kazığın yetmediği durumlarda üç veya dört çekme kazığı kullanılabilir. Çekme kazıkları kullanarak yapılan deneyler ölü yük ile yapılanlara göre daha ekonomiktir. Bu tür deneyler sırasında aşağıdaki hususlara özen gösterilmelidir:

1- Deneyde çekme kazıkları, deney kazığından yeterli uzaklıkta olmalıdır.

Bu mesafe en az 1,25 m olarak düşünülmelidir.

2- Yüğü uygulamakta kullanılan krika, hesaplanan maksimum taşıma gücünden 1,5 ila 2,0 katı fazla yük uygulayabilecek kapasitede olmalıdır. Bu nedenle, deneylere geçilmeden önce, deney kazığının taşıma gücünün teorik yöntemlerle saptanması uygun olur. Deney sırasında yer alan oturma miktarları, çok sağlıklı ölçümlerle kayda geçirilmelidir.



Şekil 2.10. Bir hidrolik test krikosu için tipik bir ölü ağırlık düzeneği. [10]

2.6.4 Ölçümlerin Yapılması

Kazık deneyleri sırasında oturma ölçümleri aşağıdaki yöntemlerden birisi ile yapılabilir:

- Nivelman aleti ve ölçekli cetvel kullanılarak kazık başının hareketi sabit bir röpere göre ölçüm yapılır. Ölçümün sağlıklı olabilmesi için ikinci bir kontrol röper de kullanılır. Okumalarda en az 1 mm.'lik bir hassasiyet gereklidir.
- Oturma, okuma saati (komparatör) ve iki ayak üzerine oturan referans kirişleri kullanılarak ölçülebilir. Bu yöntemde, okuma saatinin çubuğu kazık başına yük uygulamak için yerleştirilen çelik levhaya değil, kazık başına özellikle monte edilmiş olan platform levhalara dayandırılmalıdır. Referans kirişinin oturduğu dayanaklar kazığın hareketinden etkilenmeyecek kadar uzakta, en az üç kazık çapı veya en az 2 m uzaklığın büyük olanı seçilerek yerleştirilmelidir. Okumalar 2.02 mm.'lik

duyarlılıkla alınabilmeli, kazığın olası yana yatma durumunu kontrol edebilmek için en az 2, tercihen 4 noktada okuma yapılmalıdır.

- c) Kazık üzerine tespit edilmiş ölçekli bir cetvele karşı yerleştirilen ön gerilme uygulanmış çelik bir tel kullanılarak kazığın çelik tele göre hareketi ölçülebilir.

Yukarıdaki (b) ve (c) şıklarında sözü edilen yöntemlerin uygulanması sırasında, ölçüm sistemi güneş ve yağmur etkisinden korunmalı, hava sıcaklığı deney süresince ölçülmelidir.

2.6.5 Yükleme Programı

Kazık yükleme deneyleri, kademeli yükleme deneyleri, kademeli çubuk deneyler ve sabit hızda delme olarak üç şekilde yapılır. Bunlardan kademeli yükleme deneyleri, uzun süren fakat maksimum taşıma gücü yanında oturma miktarlarının da saptanmasının istendiği durumlarda tercih edilir. Adından da anlaşılacağı gibi deneyde belirli yükler kademeli olarak yüklenir, yine kademeli olarak boşaltılır. Her yük kademesinde oturma hızı belirli bir miktara düşünceye kadar beklenir. Bu deneylerde yükleme ve yükü boşaltma sırasında uygulanacak yükler ve her kademede uygulanacak bekleme süreleri önceden tespit edilmelidir. Her kademede yük mümkün olduğunca darbesiz, yumuşak bir tarzda uygulanmalı ve belirli zaman aralıklarında hem yük hem de oturma değerleri ilgili yük ve ötelenme göstergelerinden alınmalıdır. Kademeli yükleme deneylerinde yük her an sabit olmalıdır. Bunun için bir yükün bir krika ile tatbik edildiği deneylerde yük göstergesi sürekli olarak izlenmeli ve bir yük azalması durumunda bu azalma pompa çalıştırılarak giderilmelidir. Her kademede oturma okumaları başlangıçta daha sık, deney ilerledikçe daha uzun süreli zaman aralıkları ile yapılır. Her yük kademesinde oturma hızı 20 dakikada 0.1 mm.'ye düşünceye kadar deneye devam edilir. Deneyler sırasında bir çok şartnameye göre boşaltma kademelerine de yer verilir ve kazığın emniyetli çalışma yüküne varıldığında son bir boşaltma gerçekleştirilir. Bir kademedan bir sonraki kademeye geçişte uygulanacak artışlar

çoğu kez güvenli çalışma yükünün %25'i kadar alınmaktadır. Aşağıda Çizelge 2.8'de tipik bir kazık yükleme deneyi planı gösterilmektedir. Bu programdan görüleceği gibi deney, yükleme-boşaltma ve tekrar yükleme kademelerinden oluşmaktadır. Ayrıca kademeli kazık yükleme deneylerinde oturmaların kabul edilebilir bir hıza kadar düşmesini beklemek gerekmektedir. Bu nedenle bu kategorideki deneyler uzun süre alırlar. Bu deneyden elde edilerek kaydedilen değerler, yük-oturma-zaman diyagramları şeklinde gösterilir. Kademeli kazık yükleme deneylerinin uygulamasına ilişkin detaylar TS 3176'da (Kazık Temellerin Hesap ve Düzenlenmesinde Genel Kurallar, 1978) verilmektedir. Buna göre, deneyler sırasında ölçülen yük, oturma değerleri ve ölçümlerin alındığı zaman ilgili forma kaydedilmelidir.

Daha kısa sürede sonuç almak istendiği durumlarda, daha hızlı olan kademeli çubuk yükleme deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerde yükler hesaplara bulunan servis yükünün %200'üne çıkılacak şekilde 30-40 kademe halinde ve 5, 10, 15 dakikalık zaman aralıklarında uygulanır. Bu tip bir deney 2-4 saat içinde bitirilebilir ve maksimum taşıma gücü sağlıklı olarak tespit edilebilir. Bu yöntemle okumaların da saptandığı söylenilir. Ancak bulgular ilk yöntem ile bulunanlar kadar gerçekçi olmayabilir.

Sabit hızda delme deneylerinde ise kazığın krikolar yardımı ile yüklenerek zemine belli bir hızda batırılması sağlanır. Batıran kuvvet ve batma miktarı gözlenir. Bu gözlem sonucu elde edilen yük oturma diyagramında oturma değerleri belli bir yükte aşırı oturma gösterirler ve eğri keskin bir dönüş yaparak belli bir yük değerini asimptot kabul etme durumuna gelir. Göçme yükü bu yük olarak alınabileceği gibi, aşağıda verilecek olan diğer bir kriterin kabulü ile de saptanabilir. [3]

Çizelge 2.8. Örnek kazık yükleme deneyi planı

Servis Yükünün Yüzdesi Olarak Deney Yüğü	Zaman Aralığı	Yükleme Kademesi
25	1 saat	
50	1 saat	
100	1 saat	
75	10 dakika	Boşaltma
50	10 dakika	Kademesi
25	10 dakika	
0	1 saat	
100	6 saat	Yükleme
125	1 saat	Kademesi
150	6 saat	
125	10 dakika	Boşaltma
100	10 dakika	Kademesi
75	10 dakika	
50	10 dakika	
25	10 dakika	
0	1 saat	

Deneyde kullanılan yükleme krikosunun aksının hareket uzunluğu, deney sonunda ulaşılacak oturma miktarı ile krikonun kuvvet aldığı dayanak sisteminin deney sırasında yapacağı yukarı doğru kabarmasının toplamından az olmamalıdır. Bu hareketin büyüklüğüne bir açıklık getirebilmek amacı ile reaksiyon sisteminin hareketinin, ölü yük kullanarak reaksiyon alınan deneylerde 75 mm., çekme kazıkları kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde ise 25 mm. dolayında olacağı söylenebilir. Göçme için gerekli penetrasyon (zemine giriş) sürtünme kazıklarında ise en kesit boyutunun %10'una kadar varabilir. Killi zeminlerdeki sürtünme kazıklarında göçme sırasındaki oturma 25 mm.'den az ise 0.75 mm./dak. Civarında bir giriş hızı; granüler zeminlerdeki bir uç kazığında ise daha büyük hareketler beklendiği göz önüne alınarak 1.50 mm/dak.'lık bir giriş hızı

düşünülebilir. Batırma hızının sabit tutulması kaydı ile yukarıda verilen değerlerin yarısından iki katına kadar olan bir aralıkta, deney sonuçlarının çok değişmeyeceği bilinmektedir. Bu sabit hızın sağlanabilmesi için ise durum deney süresince sürekli şekilde gözlenir. Gerekirse kazığa yüklenen yük pompa ayarları ile değiştirilir. Maksimum taşıma gücünün saptanmasında kullanılan bu deneyin avantajı çabukluğudur. Deneylerin boşaltma kademelerinde zeminin doğrusal elastik davranış göstermemesi nedeni ile bir miktar “kalıcı oturma” olmaktadır. Her kademede görülen bu kalıcı veya plastik oturmalar ile toplam oturmalar arasındaki fark ve/veya bu farkın yük ile değişim hızı, kazık yükleme deneylerinin değerlendirilmesi için kullanılan bazı kriterlerde önemli rol üstlenmektedirler.

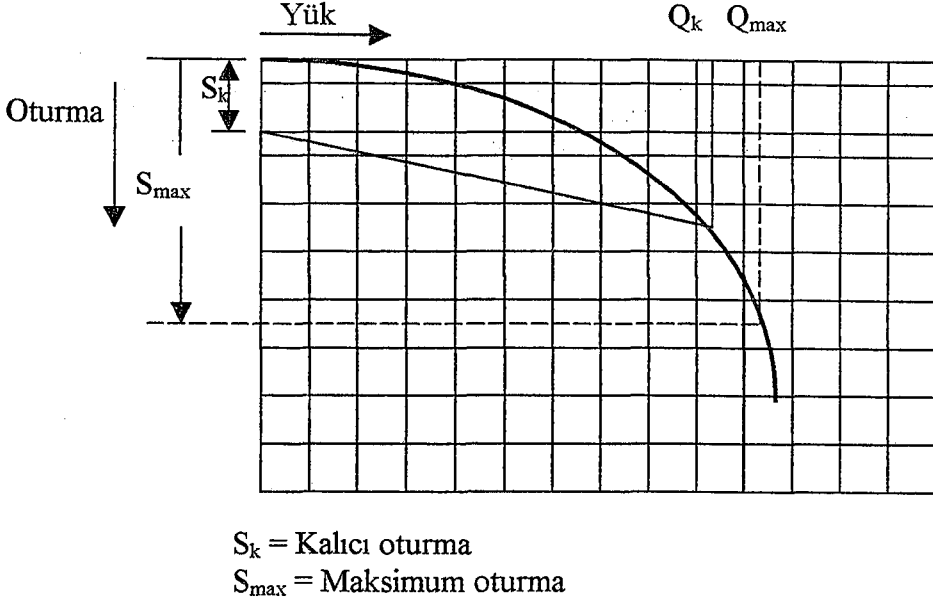
Deney kazıkları projede kullanılacak kazıkları yeterli bir şekilde örnekleyebilmeli, gerek malzeme gerekse yapım açısından onlardan farklı imal edilmemelidir. Kazık yükleme deneylerinin değerlendirilmesinde zemin koşullarının kısa mesafeleri içinde farklılıklar gösterebileceği de dikkate alınmalıdır. Diğer önemli bir husus zaman faktörüdür. Kazık yükleme deneyleri kazığın yapımından belli bir süre geçtikten sonra; örneğin TS 3167 uyarınca çakma kazıklarda çakılma işleminin bitmesinden sonra kohezyonsuz zeminlerde en az 3 gün, kohezyonlu zeminlerde ise en az 3 hafta geçtikten sonra yapılmalıdır.

2.6.6 Göçme Yüğü Tayini Yöntemleri

Şekil 2.11’de yükleme deneyi sonunda elde edilebilecek tipik bir yük-oturma eğrisi verilmektedir. Bu eğri kullanılarak kazığın taşıyabileceği en büyük yük olan “göçme yüğü” bulunur.

Bu eğrinin gösterdiği deneyde kazık, Q_k yüküne kadar yüklenmiş sonra yük tamamen boşaltılmıştır. Bu durumda bir “kalıcı veya plastik oturma, S_k ” görülmüştür. Kazık, şekilde gösterilmemekle beraber Q_k yüküne kadar tekrar yüklenmiş ve bu yüklenme sonucunda Q_{max} ile gösterilen noktada göçmüştür. Bu Q_{max} yüğü kazığın “göçme yüğü” veya “maksimum taşıma gücü” olmaktadır.

Görüldüğü gibi bu yük altındaki oturma, küçük yük kademeleri altında gittikçe daha fazla artarak “akma” ya dönüşmüş bulunmaktadır.



Şekil 2.11 Tipik Yük-Oturma diyagramı.[3]

Böylece Q_{max} yükü seviyesindeki oturma da S_{max} olur ve maksimum taşıma gücü Q_{max} bir güvenlik sayısına bölünerek “güvenli yük” veya “servis yükü” elde edilir. Pek çok araştırmacı göçme yükünün saptanması için uzun deneyimler sonucunda çeşitli “göçme yükü” tanımları ve/veya grafik yöntemleri önermişlerdir. Q_{max} yükünün saptanmasında bu önerilerden biri veya bir kaç kullanılmalıdır. Araştırmacılar tanımladıkları göçme kriterlerinde kazanılabilir (elastik) veya kalıcı (plastik) oturmalar ile bunların toplamı olan toplam oturma miktarı, oturmanın yük ile artış hızı ve benzeri bulguları baz olarak alırlar.

Aşağıda taşıma gücünün saptanması için bazı araştırmacılar tarafından önerilmiş olan yöntemler ele alınacaktır. Bununla beraber, dünyada kullanılmakta olan belli başlı bazı kriterlerin bilinmesi de mühendisin değişik yaklaşımlarla sonuca gitmesini sağlayacağından yararlı olacaktır. Bu nedenle, önce bu “göçme yükü” kriterleri aşağıda Çizelge 2.9’da verilmiştir. Belirgin yükleme deney yöntemleri aşağıda verilmektedir:

Çizelge 2.9 Yükleme deneyi kriterleri

Kriterin Tanımı	Kriter / Kullanan
Toplam Oturma Sınırlaması	En fazla 25 mm. (Hollanda)
Plastik Oturma Sınırlaması	6,30 mm. (AASHO)
Plastik Oturma Sınırlaması	8,40 mm. (Magnet)
Plastik Oturma Sınırlaması	12,70 mm. (Boston)
Sınır = (Plastik Oturma / Elastik Oturma)	max. 1,50 (Cristiani-Nielsen)
Toplam Oturma / Yük Sınırlaması	6,35 mm/ton (California, Chicago)
(Toplam Oturma / Yük) Sınırlaması	0,76 mm/ton (Ohio)
(Toplam Oturma / Yük) Sınırlaması	1,27 mm/ton (Raymond)
(Kademedeki Elastik Oturma / Kademedeki Plastik Oturma) Oranı	max. değer (Szhecy)
(Toplam Plastik Oturma / Yük) Oranı	1,5 mm/ton (Raymond)
Kademe: (Plastik Oturma / Yük) Oranı	4,5 mm/ton (Raymond)

2.6.6.1 Terzaghi Yöntemi

Bu yöntem, pek çok kuruluş tarafından benimsenmiştir ve geniş uygulama alanı vardır. Terzaghi güvenli yükün tanımını aşağıdaki şekilde yapmıştır:

- a- Kazık güvenli yükün iki katı yükü göçme olmaksızın taşıyabilmelidir.
- b- Bu yükün %50 fazlası altındaki kalıcı oturma ton başına 0,25 mm.' den büyük olmamalıdır.

Bu durumda servis yükünün bulunabilmesi için önce göçme yüküne en az 2,0 olan bir güvenlik sayısı uygulanır. Bunu takiben; ikinci şartın sağlanabilmesi için yükleme eğrisi üzerinde servis yükü x1,5 değerinden boşaltma eğrisine bir paralel çizilirse 0 yük seviyesinde bulunacak olan kalıcı oturma görülerek seçilen servis yükünün yeterliliği irdelenebilir.

2.6.6.2 Boston Şartnameleri

Bu şartname kademeli yükleme deneylerinin yapılmasını öngörür. Bu deney sonuçlarından 24 saatte 5 mm.'den küçük oturma yaptırılan yük bulunur. Bu yükün yarısı kazığın servis yükü olarak kabul edilir.

Diğer bir Boston şartnamesine göre ise yük-oturma eğrisinin “kalıcı oturma” dışlanarak bulunan eğiminin 0.025 mm/kN olduğu noktanın gösterdiği yük göçme yükü olarak kabul edilir.

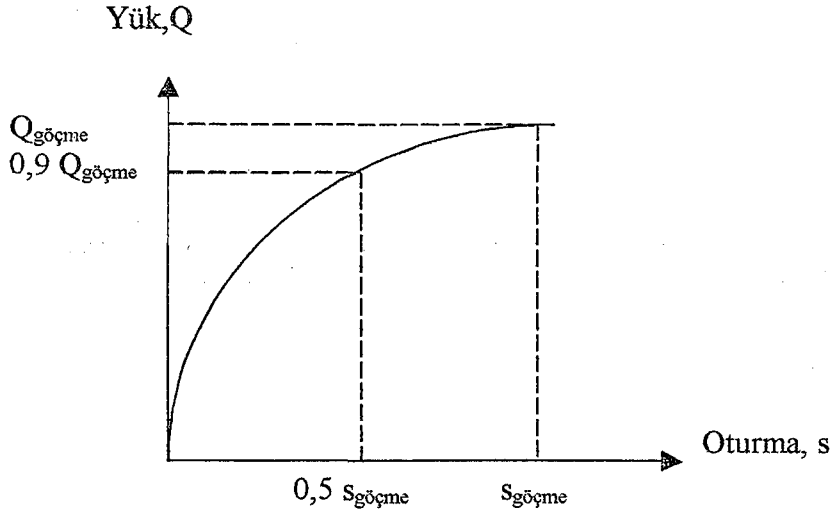
2.6.6.3 Kazık Çapının Yüzde On'u Kuralı

İngiliz şartnamelerinde görülen bu uygulamada önce kazığın elastik oturması hesaplanır. Yük-oturma eğrisi üzerinde; hesaplanan elastik oturma çıkarılmak kaydı ile kazık çapının %10'u kadar bir oturmaya rastlayan bir yük bulunur ve göçme yükü olarak alınır.

2.6.6.4 Brinch Hansen Yöntemi

Sabit hızda delme yöntemi ile denenen kazıklar için kullanılan bu kriter ile göçme yükünün bulunması için aşağıda verilen yöntem uygulanır;

- a- Şekil 2.12'de gösterildiği gibi yük-oturma eğrisinin incelenmesi ile belirlenen göçme yükünün %90'ına karşılık gelen yük bulunur.
- b- Yükte gerçekleşen oturma miktarı gözlenir ve bu oturma miktarı iki ile çarpılır.
- c- (b) adımında bulunan oturmaya neden olan yük göçme yükü olarak kabul edilir.



Şekil 2.12. Brinch Hansen'in %90 Kriteri

2.6.6.5 Yük-Oturma Eğrisi Yarıçapı

Göçme yükü, yük-oturma eğrisinin en küçük eğrilik yarıçapına sahip olduğu noktaya karşılık gelen yük olarak alınabilir.

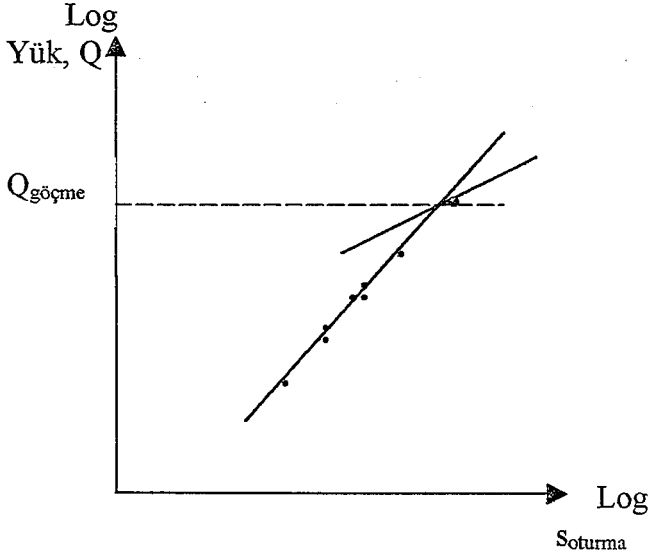
2.6.6.6 De Beer Yöntemi

De Beer yönteminde kademeli yükleme deneyinde bulunan yük-oturma değerleri Şekil 2.13'de görüntülediği gibi log - log ölçekte çizilir ve iki doğru elde edilir. Bu doğruların kesişme noktası göçme yükünü verir.

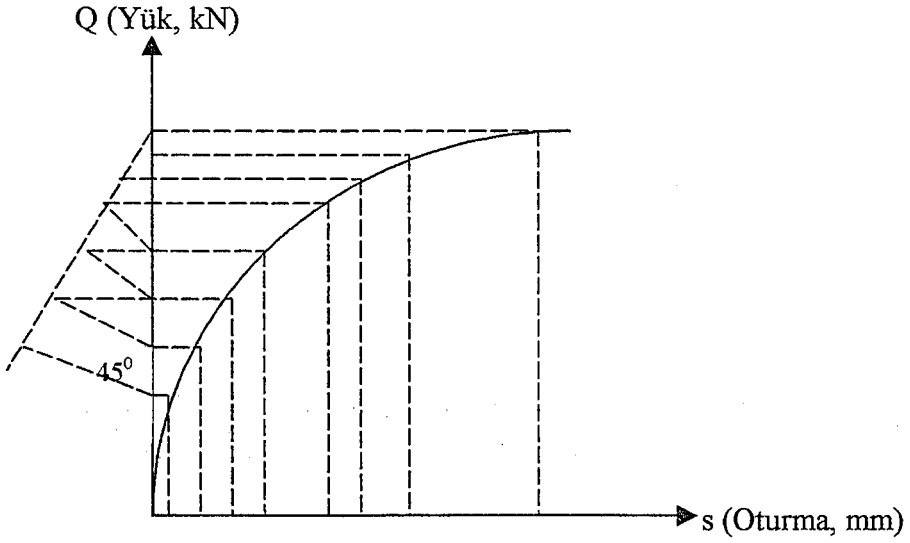
4.6.6.7 Mazurkiewich Yöntemi

Mazurkiewich yönteminde, yük-oturma diyagramının oturma eksenini eşit aralıklarla noktalanır. Bu noktalardan yük eksenine paraleller çizilir. Bu paralel çizgilerin yük-oturma eğrisini kestiği yerlerden, oturma eğrisine paralel doğrular çizilir. Bu doğruların yük eksenini kestiği noktalardan, yük eksenini 45 derece açı yapan doğrular çizilir ve oturma eksenine paralel çizilmiş olan bir sonraki doğru ile kesiştirilir. Bu kesişme noktalarını birleştirerek elde edilen doğrunun

yük eksenini kestiği yer “göçme yükü” olarak alınır. Bu yöntem Şekil 2.14’de verilmektedir.



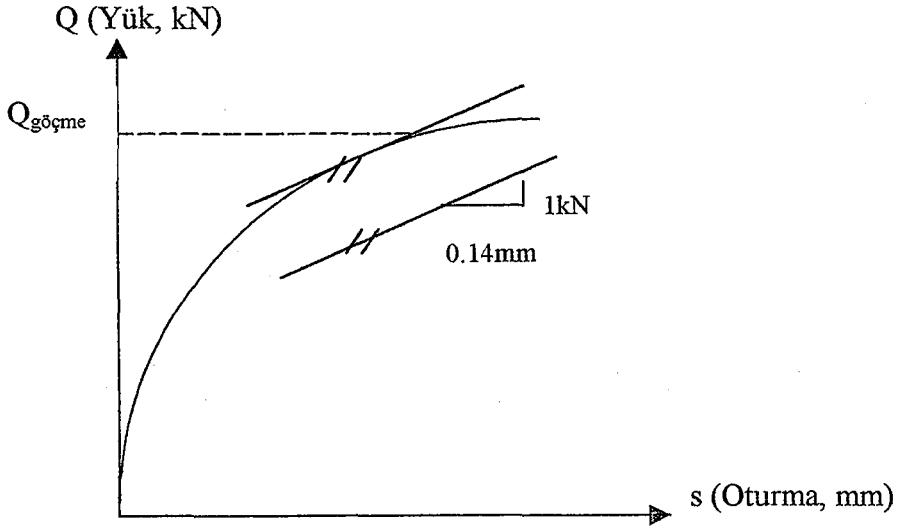
Şekil 2.13. De Beer yöntemine göre göçme yükünün saptanması



Şekil 2.14. Mazurkiewich yöntemi'nin uygulanması

2.6.6.8 Fuller ve Hoy Yöntemi

Fuller ve Hoy yöntemi, oturma miktarlarının yük miktarına karşı değişim oranı kavramını esas alan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde göçme yükü, yük oturma eğrisinin eğiminin 0.14 mm/kN olduğu noktanın gösterdiği yük olarak alınır (Şekil 2.15). Bu yöntemde uzun kazıklarda büyük olan elastik boy kısalması nedeni ile 0.14mm/kN'luk eğim kısa kazıklara göre daha çabuk oluşabilmektedir.[3]



Şekil 2.15. Fuller ve Hoy yöntemi

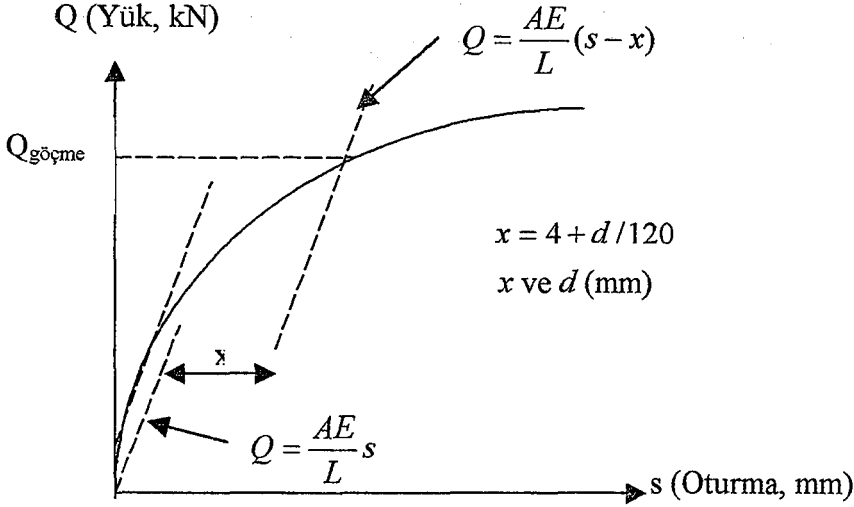
2.6.6.9 Davisson Yöntemi

Kademeli çabuk yükleme yöntemi ile denenen kazıkların deney sonuçlarının irdelenmesi için önerilen bu yöntem Şekil 2.16 yardımı ile açıklanmaktadır.

Yük- oturma grafiğinin başlangıcına çizilen bir teğette $x = 4 + (D / 120)$ mm ofset ile çizilen ve:

$$Q = \frac{AE}{L}(s - x) \quad (2.14)$$

denklemleri ile ifade edilen doğru ile bu grafiğin kesiştiği yere karşı gelen yük “göçme yükü” (offset limit yük) olarak tanımlanmıştır. Burada:



Şekil 2.16. Davisson yönteminin uygulanması

E = kazık malzemesinin elastisite modülü,

L = kazık boyu

s = oturma miktarı,

D = kazığın uç çapıdır.

Ucu genişletilmiş kazıklarda genişletilmiş çap olarak alınır. Bu yöntemde tanımlanan ofset yükünün göçme yükü olarak alınması halinde, güvenli tarafta kalan bir değer kabul edileceği bilinmektedir. Diğer taraftan ofset yükü, çakma kazıklar için önerilmiş olup, delme kazıklarda pratik olmayacak yüksek ve güvenli değerler vermekte olduğu bilinmektedir.

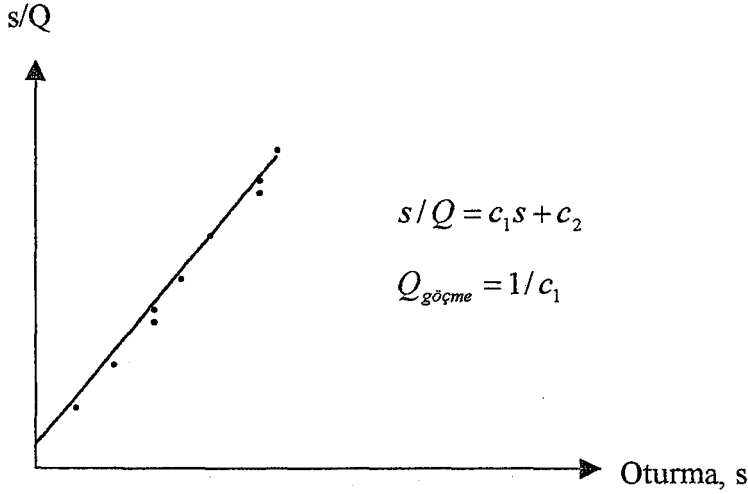
2.6.6.10 Chin Yöntemi

Chin yönteminde, yük-oturma eğrisinin bir hiperbol ile temsil edildiği varsayımından yola çıkılmaktadır. Bu varsayım matematiksel olarak (oturma/yük) değerlerinin (oturma) değerlerini ilişkisinin bir doğru ile ifade edilmesi sonucunu

doğrudur. Bu doğrunun eğimi hesaplanarak tersi alınırsa göçme değeri bulunur. Doğrunun denklemi (2.15), göçme yükü ise (2.16) bağıntıları ile verilmektedir.

$$\frac{s}{Q} = c_1 s + c_2 \quad (2.15)$$

$$Q_{göçme} = \frac{1}{c_1} \quad (2.16)$$



Şekil 2.17. Chin yönteminin uygulanması [10]

Bu yöntem, kademeli yükleme ve sabit hızla yükleme deneylerinde, oturma okumalarının eşit zaman aralıklarında alınması halinde kullanılabilir. Bu nedenle standart yükleme planlarından elde edilen verilere genellikle uygulanmamaktadır.

2.6.7 Kazıkların Bütünlük Deneyleri

Kazıkların yapımları, yerinde dökümleri ve/veya çakımları sırasında standartlara uygun imal edilmemiş veya hasara uğramış olmaları her zaman bir olasılıktır. Bütünlük deneyleri kazıkların hangi yöntemle olursa olsun, imalatları sırasında hasar görüp görmediklerinin anlaşılması için yapılır. Bir çok şartname

bu tür deneyi kabul koşulu olarak görmektedir. Bu durumda deney, grup kazıkları içinden şartnamede belirtilen sayıdaki ve yerdeki kazık üzerinde yapılır. Aşağıda, bu tür deneyler kısaca verilmektedir.

2.6.7.1 Karot Alma

Kazıkların hasarlı olup olmadığını anlamanın bir yolu kazıktan elmas uçlu karotiyer ile karot almaktır. Karotlar kazık eksenini boyunca alınır ve bu şekilde kazık boyunca yapısal homojenlik incelenir. Bu karotlar, şartnamelerde uygun görülen kimyasal veya fiziksel deneylerle değerlendirilir. Diğer bir yöntem ise kazık içine darbeli bir sistemle delik açıp buradan gözlem yapılabilecek bir araç (örneğin TV kamerası veya video) yardımı ile kazık iç yapısının incelenmesidir. Bunun için 100 mm çaplı bir deliğe ihtiyaç vardır.

2.6.7.2 Kazı Yapararak Kontrol

Temel altına açılan küçük çaplı tünellerden yararlanarak kazıkların durumunu gözlemlemek mümkündür. Bu işlem sırasında kazığın hasar görmemesine dikkat edilmelidir. Burada önemli bir kısıtlama yer altı su seviyesi altında yöntemin uygulama olanağı bulunmamasından doğacaktır. Yer altı suyunun indirilmesi düşünülürse bunun kazıkta yaratacağı negatif sürtünme göz önüne alınmalıdır.

3. KUM VE TAŞ KOLONLAR

3.1 Giriş

Zemin mekaniği ile uğraşan tüm mühendisler, yumuşak zeminler üzerinde inşa edilecek temellerin tasarımı ve uygulamasını yapmak ve dolayısıyla bu zeminlerin iyileştirilmeleri için çözümler üretmek durumundadırlar. Ancak bu tip zemin koşullarında verimliliği kanıtlanmış veya yaygın olarak kullanılan yöntemlerin sayısı oldukça kısıtlıdır. Söz konusu zemin iyileştirme yöntemleri;

- Sıkışabilir tabakanın kalınlığına bağlı olarak uç mukavemetli yada sadece çevre sürtünmeli kazık imali
- Zemin sıklık ve mukavemetinin artırılmasıyla inşaat sonrasında oturmaların azaltılması amacıyla ön yükleme yapılması
- Oturmaların hızlandırılması amacıyla kum yada fitil (wick) dren imali
- Yumuşak zeminin mühendislik özellikleri daha iyi olan bir malzeme ile değiştirilmesi yada yüzen temel imali
- Kum ve taş kolonları imali olarak sıralanabilir.

3.2 Kum Kolonlar

Kum kolonlar, zemin iyileştirmesinde kullanılan, fore kazık veya çakma kazık tekniği ile imal edilen ancak demir ve betonun kullanılmadığı tipte kazıklardır. Yumuşak killerde 70-80 cm çaplı, 2-3 m aralıkla yerleştirilen bu kazıklar hem zemin taşıma gücünü arttırmakta hem de oturmaları azaltmaktadır. Zemin iyileştirmesi için ön yükleme yapılması halinde bu kazıklar zeminin geçirgenliğini artırarak oturmanın hızlanmasını sağlarlar. Kazıkta kullanılacak granüler malzemenin içine kil tanelerinin girerek özelliğini bozmaması için kazık yapımında kullanılacak kumun dane dağılımı ayarlanmalıdır. Ancak son

zamanlarda Geodren fitillerin daha ekonomik olmaları ve daha kısa sürede çakılmaları nedeni ile bu tür kazıkların uygulanması çok azalmıştır.

3.3 Taş Kolonlar

Taş kolon tekniği inşası planlanan yapı için mühendislik özellikleri yeterli olmayan gevşek ve yumuşak zeminlerin esas itibariyle taşıma güçlerinin ve oturma özelliklerinin iyileştirilmesini amaçlayan bir iyileştirme yöntemi olarak tanımlanabilir. Taş kolonların uygulama prosedürü; zeminde jetli yada jetsiz yöntem ve bir delik oluşturulması, ardından da bu deliğe kademeler halinde doldurulan taşın vibrasyon yada darbe etkisi ile düşey ve radyal yönde sıkıştırılması adımlarından oluşur. Taş kolonların ilk uygulaması, 1835 yılında Fransız Ordusunun mühendisleri tarafından ağır silah fabrikası ve mühimmat deposundan oluşan tesisin yapı ve makine temellerinin altındaki zeminin güçlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Kolonlar 2 m boyunda, 10 kN yük taşıma kapasitesinde, zemine kazıklar sokulup ardından geri çekilip oluşan deliğe kırılmış kireç taşı doldurmak suretiyle imal edilmişlerdir. Ancak, taş kolonlar bu uygulamanın ardından uzun yıllar unutulmuş 1940'lı yıllarda ise yeniden uygulanmaya başlanmış ve özellikle son otuz yıldır tüm dünyada yeniden yaygın olarak kullanılır olmuştur.

3.3.1 Yapım Metotları

Taş kolon tekniğinde dolgu malzemesi olarak taş, çakıl yada beton, briket ve tuğla kırıkları kullanılabilir ancak tüm bu dolgu malzemeleri “taş” olarak isimlendirilir.

Taş kolonların imalatındaki temel kademeler;

- Penetrasyon ya da delgi
- Doldurma
- Sıkıştırma

şeklinde sıralanabilir. Günümüzde bu imalat kademelerinde farklı teknikler ve ekipmanların kullanılmasıyla taş kolonların imalat metotları çeşitlendirilmiş,

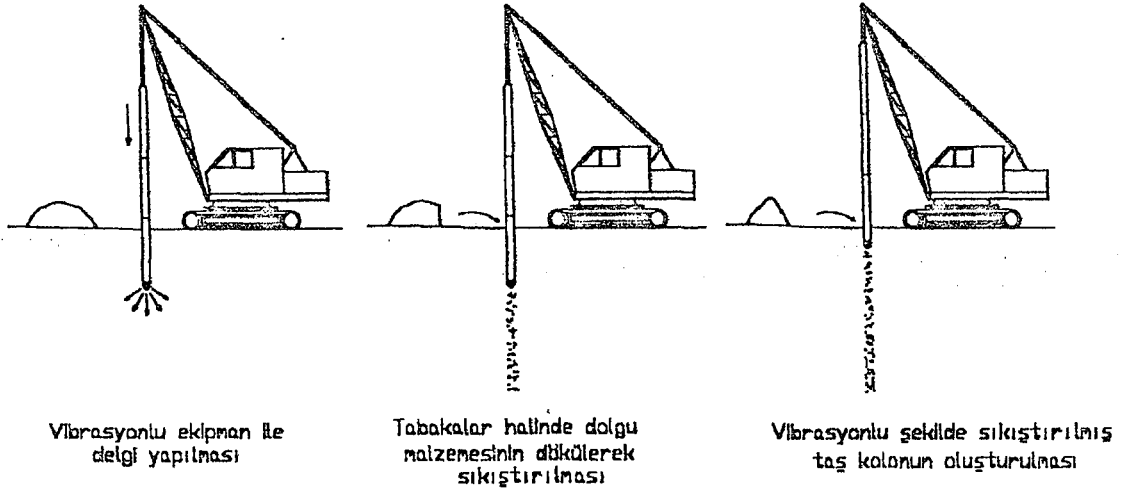
temel seçim kriterleri iyileştirmeden beklenen sonuç ve uygulamanın yapılacağı zeminin özellikleri olmak üzere burada detayları ile açıklanacak her metodun uygulama alanları bir anlamda özelleşmiştir. Belirtilen bu kriterlere bağlı olarak taş kolonların imalat metotları temel olarak;

- Vibro- yer değiştirme metodu (ıslak metot)
- Vibro- öteleme metodu (kuru metot)
- Diğer metotlar

şeklinde üç ana grupta toplanabilir.

3.3.1.1 Vibro – Yer Değiştire Metodu

Vibro – yer değiştirme metodunda (ıslak metot), 30 – 46 cm çapında dönel bir sondanın kendi ağırlığı, uygulanan vibrasyonun etkisi ve su jeti yardımıyla zeminde istenilen derinliğe kadar bir delik açılır. İstenilen derinliğe ulaşılmasının ardından kılıflanmış olan delik, su jeti ile yıkanarak 40-80 cm'lik tabakalar halinde kolon malzemesi (taş) ile doldurulur ve bu malzeme sondanın kısa boylu alçaltılıp yükseltirme hareketi ve vibrasyon ile sıkıştırılır .Bu hareket malzemede bir tokmaklama etkisi oluşturur ve malzeme delik çeperine doğru itilir. Vibro – yer değiştirme metodu ile taş kolon imali Şekil 3.1'de görülmektedir. İmalat sırasında oluşan kayma gerilmeleri zeminin koparak delik içine düşmesine yol açacak, yüksekse yüzeye doğru olan su akımı ile dökülen bu zemin parçaları yüzeye taşınır. Malzemenin tabakalar halinde sıkıştırılması sebebi ile kolon, delik çeperinde dengeye ulaşana kadar genişler. Bu sebeple kolon çapı derinlikle değişir. Çap genellikle kolon başı, kolon sonu ve yumuşak zemin tabakalarının geçildiği derinliklerde geniş olur. Bu metodun başarıyla uygulanmasında rol oynayan en önemli etken, yerel zeminin ince tanelerinin çepere sıkışarak taş kolonu geçirimsiz hale getirmesini engelleyen ve delik çeperlerinin imalat sırasında stabilizemesini sağlayan su jetidir.



Şekil 3.1. Vibro – Yer değiştirme metoduyla taş kolon imali

Bu yöntemin en önemli dezavantajı çevreye olan etkisidir. Yöntemde büyük miktarlarda su kullanılmakta ve imalat sonrasında yüzeye çıkacak olan bu suyun, çevreye zarar vermeyecek şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir.

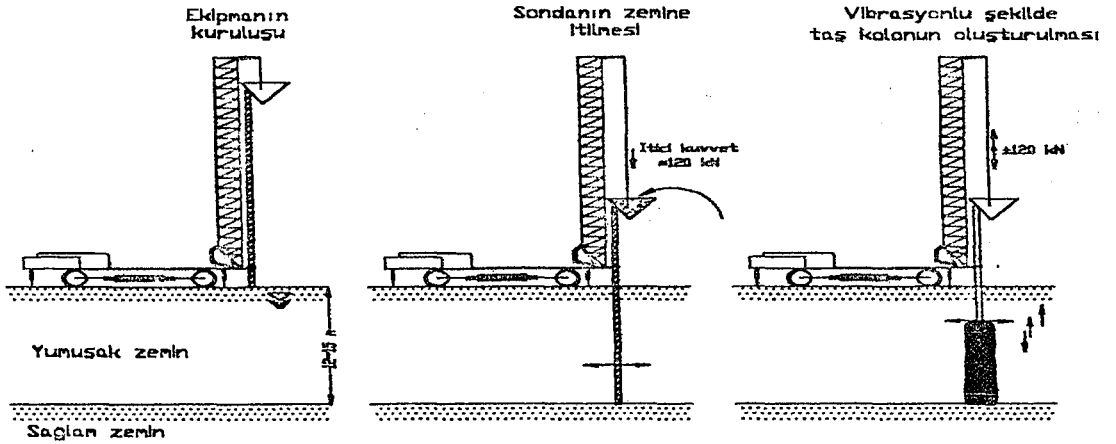
3.3.1.2 Vibro – Öteleme Metodu

Vibro – öteleme metodunda (kuru metot) sondanın zemine sokulmasıyla zemin yanal bir ötelenme hareketi yapar. Vibro-öteleme metodunun, vibro – yer değiştirme metodundan en önemli farklılığı penetrasyon aşamasında su jeti kullanılmamasıdır. Bu metodun seçilmesi, çevresel koşullar yada kullanım suyu eksikliği sebebiyle gerekli olabilir. Zemin özellikleri sebebiyle sondanın zemine penetrasyonun zorluklar yaşanması muhtemel ise, penetrasyonu kolaylaştırmak için tepesinden basınçlı hava verilir. Vibro – öteleme metodu ile imal edilen taş kolonların çapları genellikle vibro- yer değiştirme metodu ile imal edilenlerden küçük olmaktadır. Çapı bu şekilde küçük olmasının sebebi olarak imalatın yukarıda belirtildiği gibi dışarıya zemin alınmadan yapılması ve metodun genellikle nispeten daha sert zemin koşullarında uygulanır olması gösterilebilir. Vibro-öteleme metodu, ıslak yöntemle göre daha sağlam sensitivitesi düşük ve yeraltı su seviyesinin daha derinlerde olduğu zemin koşullarında uygundur.

3.3.1.3 Alttan Beslemeli Yöntem

Sondanın delikten geri çekilmesi gereğini ve dolayısıyla delik çeperinin malzeme doldurulana kadarki stabilite problemini ortadan kaldıran ve alttan beslemeli yöntem olarak adlandırılan bir yöntem, vibro – öteleme metodunun bir modifikasyonu olarak 1970’lerin sonunda Almanya’da geliştirilmiştir.

Yöntemde zemine sokulmuş olan sonda deliğin içinde kalmakta, içi boş boru şeklinde olan bu sondanın tepesinden boşaltılan taş kolon malzemesi sondanın “timsah ağzı” tabir edilen alt ucundan deliğe boşalmaktadır. Timsah ağzı olarak adlandırılır bu uç, sonda geri çekilirken açılıp malzemeyi boşaltan, aşağı itilirken ise kapanıp malzemeyi sıkıştıran bir tasarıma sahiptir. Bu şekilde bir boşaltma tertibatına sahip olması dolayısıyla klasik kuru yöntemden modifiye edilmiş olan bu yöneme alttan besleme vibratörlü vibro-öteleme metodu denilmektedir. Yönetimin şematik gösterimi Şekil 3.2’de.



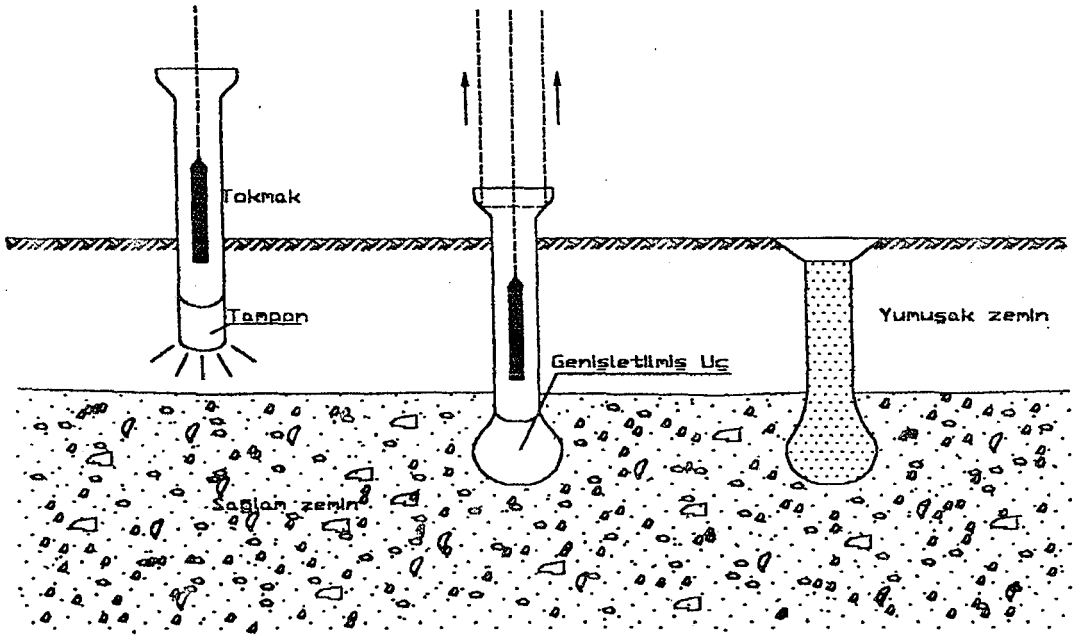
Şekil 3.2. Altan beslemeli yöntem

3.3.1.4 Diğer Metotlar

Taş kolon uygulamalarına ilişkin kayıtlar göstermektedir ki dünya genelinde yapılan taş kolon uygulamalarının % 90’a yakın bölümünde, yukarıda belirtilen yöntemler (vibro–yer değiştirme, vibro–öteleme ve alttan beslemeli yöntem) kullanılmıştır ve kullanılmaktadır. Ancak bu yaygın olarak bilinen ve uygulanan yöntemlerin yanı sıra diğer bazı yöntemlerde geliştirilmiştir.

3.3.1.4.1 Tokmaklı Yöntem

İlk olarak Belçika’da kullanılan bu yöntemde taş kolon ucu açık yada kapalı bir kılıfın (casing) zemine sokulması ve ya herhangi bir sondaj ekipmanı ile bir delik açılması yoluyla imal edilir. Yöntemde taş kolon malzemesi delik içerisine tabakalar halinde dökülür ve her tabakanın doldurulmasının ardından kılıf düşük hızla geri çekilir ve aynı zamanda bu tabaka, üzerine düşürülen tokmağın etkisiyle kılıf altına doğru sıkışır. Yöntemde kılıfın imalat başında zemine sokulması sebebiyle deliğin stabilitesi açısından bir problem oluşmaz. Yöntemin şematik gösterimi Şekil 3.3’de görülmektedir.

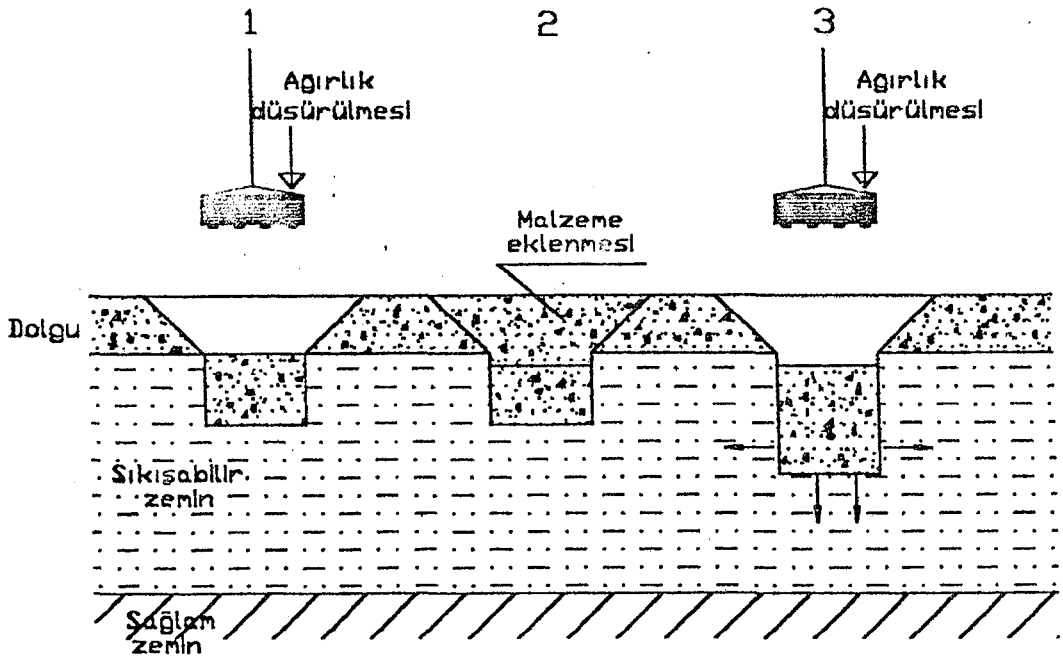


Şekil 3.3. Tokmaklı yöntemle taş kolon imali

3.3.1.4.2 Dinamik Yer Değiştirme Yöntemi

Dinamik konsolidasyon ve taş kolon tekniklerinin bir araya getirilmesi şeklinde ortaya çıkmış olan ve dinamik yer değiştirme yöntemi olarak adlandırılan bu yöntem ile, direkt olarak temel altındaki zeminlerin yanı sıra tekil temeller arasında kalan zeminlerin de iyileştirilmesi gerçekleştirilmektedir. İlk olarak

Fransa'da 1980'li yılların başında uygulanan bu yöntemde sıkışabilir zemin tabakası üzerinde imal edilen stabilize dolgu üzerine, dinamik konsolidasyon yönteminde olduğu gibi ağırlık düşürülerek bu stabilize malzemenin sıkışabilir zemin tabakasına doğru ilerlemesi sağlanır. Stabilize malzemenin bu şekilde düşey yönde sıkışması sonucunda yüzeyde oluşan boşluk yeniden aynı malzeme ile doldurulur, ardından ağırlıkla sıkıştırma işlemine devam edilir ve istenilen derinliğe ulaşana kadar bu adımlar tekrarlanır. Yöntem ile çok derin olmamakla birlikte oldukça iyi sıkışmış kolonlar elde edilir ve ayrıca kolon malzemesinin üzerine düşürülen ağırlık sebebiyle kolon altındaki zemin de oldukça iyi sıkıştırılmış olur. Yöntemin şematik gösterimi Şekil 3.4'de görülmektedir.

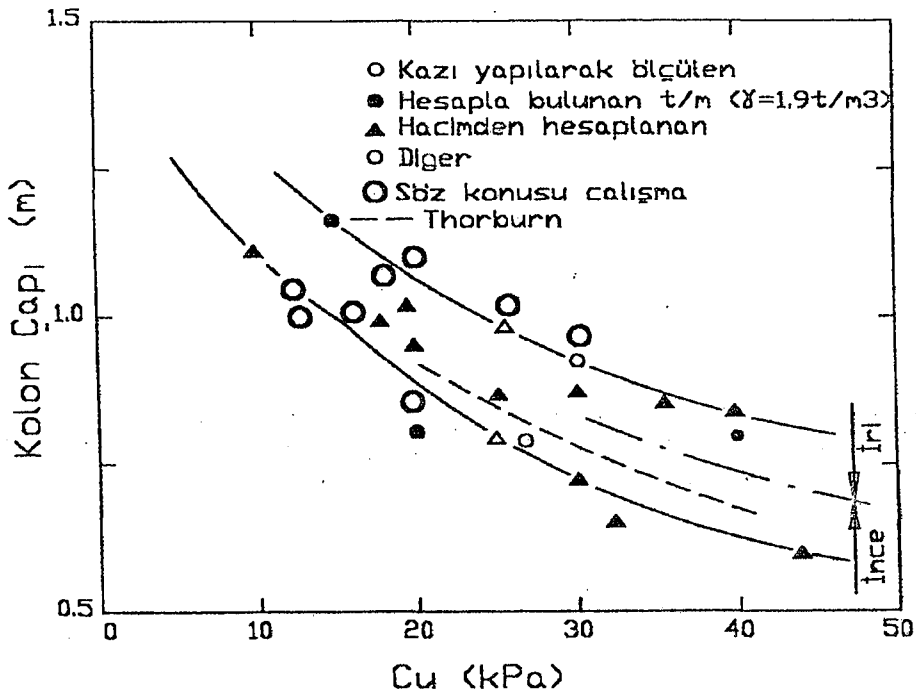


Şekil 3.4. Dinamik yer değiştirme yöntemi ile taş kolon imali

3.3.2 Taş Kolonların Özellikleri

3.3.2.1 Taş Kolon Çapı

Taş kolonların etkili çaplarının net olarak belirlenmesi zordur ve ancak yaklaşık olarak tahmin edilebilmesi için kullanılan bazı yöntemler mevcuttur. Taş kolonların çapları genellikle imal edilmiş olan birkaç kolonun kazılarak açığa çıkartılıp gözlenmesi ile belirlenir ancak kolonun imali için sarf edilen taş miktarından da tahmin edilebilir. Besacon gerçekleştirilmiş olan bazı uygulamaların kayıtlarını derlediği bir çalışmada etkili kolon çapı ile killi zeminin kayma mukavemeti arasında bir ilişki ortaya koymuştur. Bu çalışmanın grafik gösterimi Şekil 3.5’de verilmiştir. Oluşturulan taş kolonun çapı uygulama yapılan zeminin sıklığı ile mukavemet özelliklerine, imalat tekniğine ve uygulanan sıkıştırma enerjisine bağlıdır. Vibro-öteleme ve vibro-yerdeğiştirme metotları ile imal edilen taş kolonların çapları genellikle 100 cm civarında olmaktadır. Tokmaklı yöntem ile imal edilen taş kolonların çapları ise 80 cm veya daha küçük çapta olmaktadır.



Şekil 3.5. Kayma mukavemeti ile kolon çapı arasındaki ilişki

3.3.2.2 Taş Kolonların Boyu

Taş kolonların, oturmaların azaltılabilmesi, yüksek mukavemet ve taşıma gücüne ulaşılabilmesi amacıyla genellikle yumuşak zemin tabakalarına geçerek daha sağlam zemin tabakalarına oturtulması ve dolayısıyla uç kazığı özelliği kazandırılması genel bir kural olarak benimsenmiştir. Sağlam zemin tabakasının, taş kolonun uzatılamayacağı kadar derinlerde olması durumunda taş kolonlar yumuşak zemin tabakası içinde de sona erdirilir. Ancak bu durumda taş kolon herhangi bir uç mukavemetine sahip olmayacak ve yüzen kolon davranışı gösterecektir. Yüzen kolon şeklinde imal edilmiş olan taş kolonlar sağlam zemine soketlenen taş kolonlar kadar yüksek taşıma gücüne sahip olamamakta ve oturmaların miktarındaki azalmada (sağlam zemin tabakasının kotuna bağlı olarak) imal edilirlse ekonomik bir çözüme ulaşılmış olur ki bu güne kadar yapılmış olan uygulamalar ile ilgili kayıtlar taş kolon boylarının 5-10 m arasında olduğu göstermektedir.

3.3.2.3 Taş Kolon Malzemesinin İçsel Sürtünme Açısı

İçsel sürtünme açısı taş kolonların tasarımında önemli bir parametre olmasına karşı genellikle ampirik olarak tahmin edilir ya da gerçekleştirilmiş olan benzer uygulamalardan yararlanılarak seçilir. Bu güne kadar yapılmış olan uygulamalar ile ilgili olarak 40-45 arasında kum kolonlar ve drenlerde kullanılan dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısının ise 35-40 arasında olduğunu göstermektedir.

3.3.3 Taş Kolonların Avantaj Ve Dezavantajları

3.3.3.1 Taş Kolon Uygulaması Fizibilitesi

Taş kolon yöntemi özellikle Avrupa'da yumuşak zeminlerin ekonomik iyileştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Taş kolon konusunda çalışan önemli müteahhit firmalar ile bu konuda çalışan mühendislerin edindikleri

tecrübeler sonucunda ortaya çıkan taş kolonları ve temel sistemlerindeki uygulanabilirliği, fizibilitesi ve karşılaşılabilecek kısıtlamaları içeren bazı esaslar aşağıda sıralanmıştır:

- Yöntem ile yapılan iyileştirmelerde en iyi sonuçlar, zemin yüzeyine yakın, kayma mukavemeti 15-50kPa arasında olan sıkışabilir silt ve killerde elde edilmektedir. En ekonomik iyileştirme ise sağlam zemin tabakasının 6-10 m. derinlikte olması durumunda sağlanır.
- Taş kolonların en verimli olarak kullanıldığı alanlar; baraj gövdesi, batardo, sedde gibi geniş yükleme alanları, dolguların, tank sahalarının zeminlerinin iyileştirilmesi, toplam ve farklı oturumların kontrol edilmesidir.
- Taş kolonun tasarım yükü, yerel zeminin sıklığına da bağlı olmak kaydıyla üniform dağılmalı ve 20-50ton arasında tutulmalıdır.

3.3.3.2 Taş Kolon Kullanımının Avantajları

Bir zemin iyileştirme yöntemi olarak taş kolon tekniğinin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Daha öncede belirtilmiş olan ideal zemin koşullarında uygulanması durumunda, özellikle imalatın yapılacağı bölgede kullanılacak dolgu malzemesinin (taş, çakıl, kum) ekonomik olması durumunda geleneksel iyileştirme yöntemlerine (fore ve çakma kazık, tamamen değiştirme, enjeksiyon, v.s.) oldukça ekonomik çözümler sunmaktadır.
- Taş kolon tekniği, tüm dünyada oldukça yaygın olan düşey kum dren imaline oldukça benzer bir yöntemdir, dolayısıyla kum drenler konusunda tecrübe sahibi uygulayıcılar, küçük adaptasyonlar ve modifikasyonlarla taş kolon imalatı gerçekleştirebilirler.

- Taş kolon yöntemi, kum dren prensibi ile çalışarak konsolidasyon süresini kısaltma etkisi ile birlikte yumuşak zeminin mukavemet ve sıklığını arttıran tek yöntemdir.
- İmalatta kullanılan malzeme doğal zemin olduğundan yöntemin kirletici bir etkisi (ıslak yöntemdeki yoğun kullanma suyu deşarjı dışında) yoktur.

4. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İÇİN KULLANILAN PLAXİS PROGRAMININ TANITIMI

4.1 Programın Genel Özellikleri

PLAXİS'in gelişimi ilk olarak 1987'de Delft Teknik Üniversitesinde başlamıştır. PLAXİS, ille de sayısal uzman olması gerekmeyen geoteknik mühendisleri tarafından kullanılması için pratik analiz sağlayan bir araç olarak tasarlanmıştır. PLAXİS, geoteknik mühendislik projelerinde, özellikle deformasyon ve stabilite analizleri için geliştirilmiş bir sonlu eleman paketidir. PLAXİS, basit grafiksel girdi işlemleri, karışık sonlu eleman modellerinin çabuk bir şekilde oluşturulmasını olanaklı kılmaktadır.

Her yeni proje için ilk olarak bir model oluşturmak önemlidir. Bir modelin, alttaki doğal zemin tabakalarını, yapısal objelerini, inşa aşamalarını ve yükleri temsil edecek bir çerçevede olması gerekir. Bir model geometrisinde bulunan üç tip ana bileşen vardır. Bunlar noktalar, çizgiler ve demetlerdir. [16]

4.1.1 Noktalar

Noktalar çizgilerin başlangıcını ve sonunu şekillendirirler. Noktalar aynı zamanda ankrajların, nokta yüklerinin, nokta sabitlerinin konumlandırılmasında ve sonlu eleman ağının lokal saflaştırmasında da kullanılabilirler.

4.1.2 Çizgiler

Çizgiler, geometrinin fiziksel sınırlarının, model sınırlarının ve geometrideki palplanş duvarlar, farklı zemin tabakalarının veya inşa aşamalarının ayrılması gibi süreksizliklerin tamamlanması için kullanılırlar. Bir çizgi birçok fonksiyona veya özelliğe sahip olabilir.

4.1.3 Demetler

Demetler tamamen çizgilerle kapalı alanlardır. PLAXİS, geometri çizgilerine göre demetleri otomatik olarak algılamaktadır. Bir demet içindeki zemin homojendir. Model geometrisi oluşturulduktan sonra, modeldeki demetlere ve çizgilere dayanarak, bir sonlu eleman modeli otomatik olarak oluşturulabilir. Bir sonlu eleman ağında, elemanlar, düğümler ve gerilme noktaları olmak üzere üç tip bileşen bulunmaktadır.

4.1.4 Elemanlar

Ağın oluşturulması esnasında demetler üçgen elemanlara bölünürler. Standart üçgen elemanı 6 düğümlü bir elemandır. İlave olarak, gerilmelerin ve çökme yüklerinin daha doğru hesaplanmasına olanak veren (özellikle asimetric geometriler) 15-düğümlü üçgenlerde kullanılabilir. Aynı geometride düşündüğümüzde 15-düğümlü elemanlarla oluşturulan ağlar daha iyi ve çok daha esnektir, fakat 6-düğümlü ağlara göre de hesaplamaları daha fazla zaman almaktadır.

4.1.5 Düğümler

15- düğümlü bir üçgen 15 tane düğüm ve 6- düğümlü bir üçgen de 6 tane düğüm içermektedir. Düğümlerin elemanlar üzerindeki dağılımı Bir sonlu eleman hesaplaması esnasında, yer değiştirmeler düğümlerde hesaplanır. Yük-yer değiştirme eğrilerinin oluşturulması için düğümler yeniden seçilebilir.

4.1.6 Gerilme Noktaları

Yer değiştirmelerin aksine, gerilmeler özel Gaussian integrasyon noktalarında hesaplanır. Yukarıdaki şekilde de görülebileceği gibi, 15- düğümlü bir üçgen 12, 6- düğümlü bir üçgen 3 gerilme noktası içermektedir. PLAXİS esas olarak 4 ana bölümden oluşmaktadır:

- INPUT (GİRDİ)
- CALCULATION (HESAPLAMA)
- OUTPUT (ÇIKTI)
- CURVES (GRAFİKLER)

4.2 Girdi (Input)

Bir sonlu eleman modelini oluşturulmasının ilk adımı bir geometri modelinin oluşturulmasıdır. Bir geometri modeli noktalar, çizgiler ve demetlerden oluşur. PLAXİS’de, zemin tabakalarının, yapılarının, inşa aşamalarının, yüklerin ve sınır koşullarının girdisi gerçek durumların detaylı ve doğru modellenmesini sağlayan uygun çizim işlemlerine dayanarak yapılmaktadır. Yeni bir proje için girdi olarak öncelikle genel ayarların seçilmesi gerekmektedir. İlk olarak Şekil 4.1’de görüleceği gibi, proje adının girilmesini, çözümün hangi modelle yapılacağını seçimi (düzlem deformasyon ya da asimetri) ve 6 veya 15-düğümli mü elemanların kullanılacağını seçimi yapılmalıdır.

Bir sonraki adımda Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, kullanılacak birimlerin seçilmesi ve çizim alanı ölçülerinin ve gridlerin sıklığının belirlenmesi gerekmektedir. Bu adımlar tamamlandıktan sonra karşımıza ana pencere gelmektedir. Ana pencere (Şekil 4.3), ana menüyü, genel ve geometri araç çubuklarını, cetveli, çizim alanını, orijin noktasını, klavyeyle girdi bölümünü ve koordinatları gösteren bölümü içermektedir. Ana menü “file, edit, view, geometry, loads, materials, mesh, initial ve help” menülerini ve bunların alt menülerini içermektedir.

General settings

Project **Dimensions**

Project

Filename: <NoName>

Directory: .

Title: <NoName>

Comments:

General

Model: Plane strain

Elements: 15-Node

Acceleration

Gravity angle: -90° 1.0 G

x-acceleration: 0.000 G

y-acceleration: 0.000 G

Earth gravity: 9.800 m/s²

Set as default

Next OK Cancel Help

Şekil 4.1. Genel ayarlar (model ve eleman tipinin seçimi)

General settings

Project **Dimensions**

Units

Length: m

Force: kN

Time: day

Stress: kN/m²

Weights: kN/m³

Geometry dimensions

Left: 0.000 m

Right: 50.000 m

Bottom: 0.000 m

Top: 25.000 m

Grid

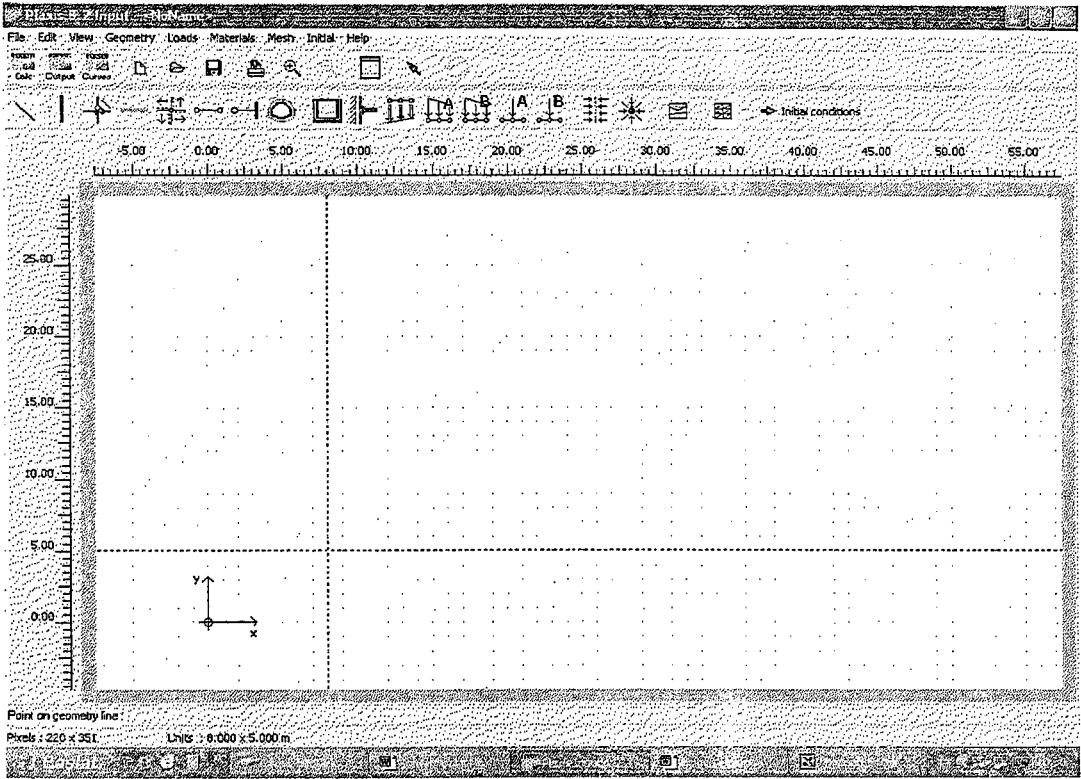
Spacing: 1.000 m

Number of intervals: 1

Set as default

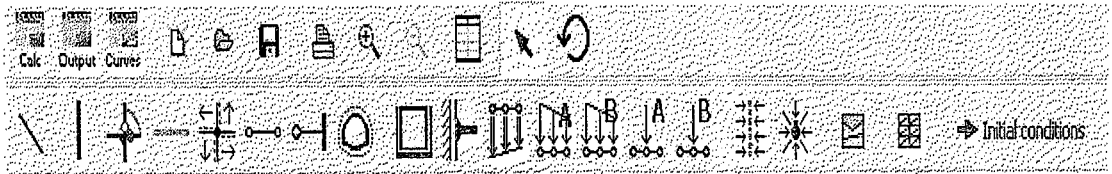
Next OK Cancel Help

Şekil 4.2. Genel ayarlar (birimlerin ve çizim alanı ölçülerinin seçimi)



Şekil 4.3. Ana pencere

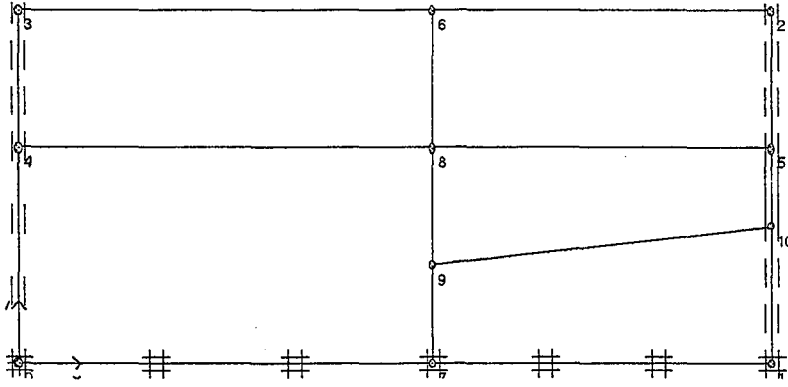
Geometri araç çubuğu ise Şekil 4.4'den de görülebileceği gibi geometrinin oluşturulması için gerekli işlemleri içermektedir. Bu elemanların işlevleri aşağıda özetlenerek açıklanmıştır.



Şekil 4.4. Geometri araç çubuğu

4.2.1 Noktalar ve Çizgiler

Mönüden geometri çizgisi seçildiğinde, çizim alanı içerisinde çizgiler oluşturulabilir. Bu çizgiler kullanılarak geometri modelinin zemin tabakaları, inşaat aşamaları gibi ana hatlar oluşturulur. PLAXIS her tarafı çizgilerle kapalı alanları otomatik “demet” olarak algılayacaktır.



Şekil 4.5. Çizgiler ve demetler

4.2.2 Kirişler

Kirişler, dayanma duvarları, kazıklar gibi yapıların ve diğer narin yapıların modellenmesi için kullanılırlar. Bu elemanların davranışı bir eğilme rijitliği(EI) ve bir normal rijitlik(EA) kullanılarak tanımlanır. Kirişler, birçok geoteknik yapının analizlerini çok gerçekçi bir şekilde gerçekleştirmek için ara yüzeylerle birlikte kullanılabilirler. PLAXIS’deki kiriş elemanları, Mindlin’in kiriş teorisine dayanmaktadır. Bu teori, hem eğilme hem de kesmeden dolayı kiriş deformasyonlarına olanak vermektedir. Ayrıca kirişler tünellerde de dış yüzey için kullanılabilir.

4.2.3 Kiriş Mafsalları

Standart kırış birleşimleri rijittir. Kiriş mafsalları, kırışlerin bittiği noktalarda serbestçe dönmeyi sağlayacağı birleşimler oluşturmak için kullanılırlar.

4.2.4 Geotekstiller

Geotekstiller veya geogridler sık olarak donatılı dolguların veya dayanma yapılarının inşaat uygulamalarında kullanılırlar. Bu elemanlar PLAXIS'de özel çekme elemanları kullanılarak simule edilirler. Bu elemanları, etraftaki zeminle etkileşimini de modelleyebilmek için ara yüzey elemanlarıyla birleştirmek uygundur. PLAXIS'de bu elemanlar için kullanılan tek malzeme özelliği normal rijitliktir (EA). Geotekstiller aynı zamanda zemin ankrajları uygulamalarında, ankrajın harçlı kısmının modellenmesi için de kullanılır.

4.2.5 Ara Yüzeyler

Ara yüzeyler yapılar ve zemin arasındaki etkileşimi modellemek için kullanılırlar. Bu yapısal objeler ve çevreleyen zemin arasında tam bir etkileşime olanak vermektedir. Ara yüzeylerin tipik bir uygulaması bir palplanjla zemin arasındaki etkileşimin modellenmesi olabilir.

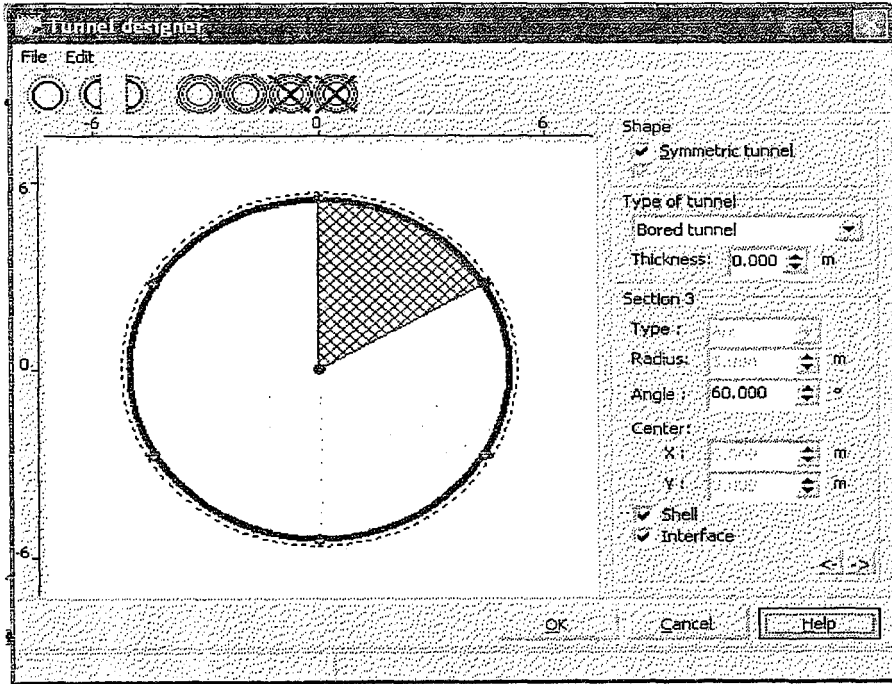
4.2.6 Ankrajlar

Ankrajlar ve yatay destekleri modellemek için elasto-plastik yay elemanları kullanılmıştır. PLAXIS'de düğümden-düğümüne ankrajlar ve sabit uçlu ankrajlar olmak üzere iki tip ankraj modellenmektedir. Düğümde- düğümüne ankraj, sabit bir yay rijitliğine sahip, iki nokta arasındaki bağları modellemek için kullanılan yaylardır. Bu eleman hem çekme kuvvetlerine (ankraj) hem de basınç kuvvetlerine (yatay destek) maruz kalabilmektedir. Sabit uçlu ankrajlar ise tek bir noktanın bağlanmasını modelleyen yaylardır. Ankrajlar için açılı girdisi saat

yönünün ters yönde tamamlamıştır. Açıya ilave olarak, ankrajın eşdeğer uzunluğunun da özellikler penceresinde girilmesi gerekir. PLAXIS'de ön gerilmeli ankrajların da modellenmesi için özel bir opsiyon vardır. Eşdeğer uzunluk, ankrajın bağlantı noktası ile yer değiştirmenin sıfır kabul edildiği sabit ucu arasındaki mesafedir.

4.2.7 Tüneller

Tünel opsiyonu geometri içerisine ilave edilmek üzere, dairesel ve dairesel olmayan tüneller oluşturma için kullanılabilir. Tüneller yaylarını bir kompozisyonudur ve bir yarıçap ve bir radyal çap ile tanımlanırlar. Tünel imgesine tıklandığında karşımıza Şekil 4.6'daki gibi ne tür bir tünel modeli oluşturmak istediğimiz soran pencere çıkmaktadır. Buradan bütün bir tünel, yarım tünel-sol yarı ve yarım tünel-sağ yarı seçeneklerinden birisini seçip tüneli modellemeye başlayabiliriz. Tünelin dış yüzeyinin modellenmesi için kirişler ve zeminle etkileşiminin modellenmesi için de ara yüzeyler kullanılmaktadır.



Şekil 4.6 Tünel tipi seçimi ve tünele ait açı, ve yarıçap gibi verilerin girdisi

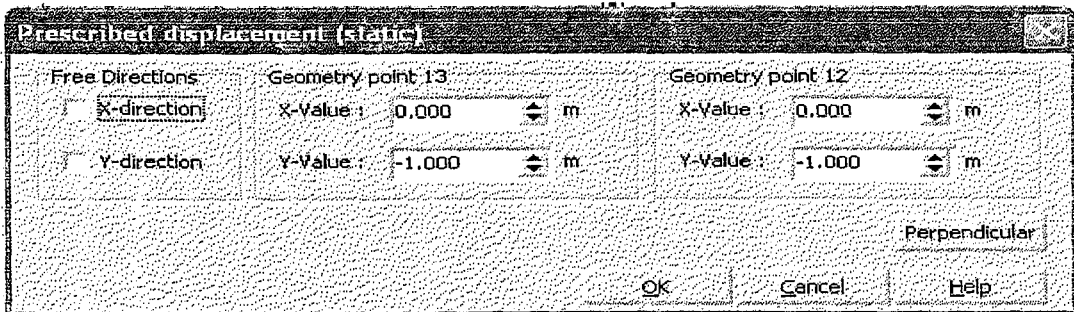
4.2.8 Sabitlemeler

Sabitlemeler hem noktalara hem de çizgilere uygulanabilmektedir. PLAXIS'de beş çeşit sabitleme seçeneği vardır. Bunlardan dördü, “yatay sabitleme ($u_x=0$)”, “dikey sabitleme ($u_y=0$)”, “toplam sabitleme ($u_x= u_y=0$)” ve “moment sabitlemesi” dir. Beşinci sabitleme ise standart sabitlemedir. Standart sabitlemenin kullanılması halinde PLAXIS geometri modeline bir dizi genel sınır şart uygulanmaktadır. Bu şartla aşağıdaki uygulamalara göre uygulanmaktadır;

- Modelde, x koordinatında en düşük ve yüksek x koordinatına sahip düşey geometri çizgileri için yatay sabitleme ($u_x=0$) elde edilir.
- Modelde, y koordinatında en düşük y koordinatına sahip yatay geometri çizgisi için tam sabitleme ($u_x= u_y=0$) elde edilir.
- Geometri modelinin sınırına uzanan kirişler, eğer o noktadaki yer değiştirme önlerinden en az birisi sabitlendiyse, sınırdaki noktada sabit bir dönme ($\varphi_z=0$) elde edilir.

4.2.9 Önceden Tanımlanan Yer Değiştirmeler

Önceden tanımlanan yer değiştirmeler, geometri çizgilerine uygulanabilen ve bu çizgilerin yer değiştirmelerini kontrol eden özel durumlardır. Önceden tanımlanan yer değiştirmeler uygulandığında standart ilk yatay yer değiştirme değeri sıfır ($u_x=0$) ve düşey yer değiştirme değeri de negatif düşey yönde bir birimdir ($u_y=-1$). Bu değerler istenirse girdi penceresinde, istenirse de hesaplamalar esnasında değiştirilebilmekte ve istenen yer değiştirmeler girilebilmektedir.



Şekil 4.7 Önceden tanımlanan yer değiştirme mönüsü

4.2.10 Kuvvetler

Hem nokta yükler hem de yayılı yüklerin uygulanabilmesi için, iki bağımsız yük sistemi kullanılabilir (A ve B). Nokta kuvvetler geometri noktalarına, yayılı kuvvetler çizgiler üstünde uygulanmaktadır. Hem nokta hem de yayılı yükler yatay ve düşey bileşenler içerebilirler. Yayılı yükler her biri birim alan için (kN/m^2), nokta yüklere ise her biri birim uzunluk (kN/m) için değerler girilir.

Point load - static load system A

Geometry point 4

X-Value : 1.000 kN/m

Y-Value : -1.000 kN/m

OK Cancel

Distributed load - static load system A

Geometry point 11

X-Value : 1.000 kN/m²

Y-Value : -1.000 kN/m²

Geometry point 10

X-Value : 0.000 kN/m²

Y-Value : -1.000 kN/m²

Perpendicular

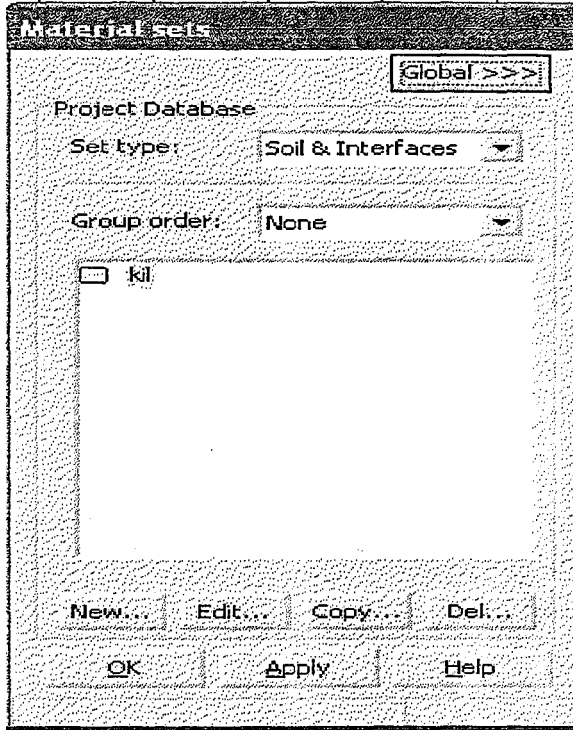
OK Cancel Help

Şekil 4.8 Nokta ve yayılı yükler için girdi möntüleri.

4.2.11 Malzemelerin Tanımlanması

Yukarıdaki işlemlerle modelin çizimi gerçekleştirildikten sonra malzemelerin özelliklerinin tanımlanmasına geçilmektedir. Bunun için Şekil

4.10'daki m n den yararlanılır. M n  ana olarak dört malzeme tanımılamasını içermektedir. Bunlar zemin ve ara yüzeyler, (soil & interfaces), kirişler (beams), geotekstilller (geotextiles) ve ankrajlar (anchors) için tanımlamalardır. Bu dört malzeme için hafızaya kayıtlı elemanlar kullanılabileceği gibi yeni elemanlar da oluşturulabilir.



Şekil 4.9 Malzeme tanımlama m n s 

Zeminler için ilk olarak drenajlı, drenajsız veya geçirimsiz malzeme özelliklerinden birinin seçilmesi ve γ_d , γ_w , k_x , k_y değerlerinin girilmesi gerekmektedir. İlave olarak istenirse geli mi  e_{init} , e_{min} , e_{max} ve c_k parametreleri de kullanılabilir.

Mohr-Coulomb GW

General Parameters Interfaces

Material Set

Identification:

Material model: **Mohr-Coulomb**

Material type: **Drained**

General properties

γ_{unsat} 23.700 kN/m³

γ_{sat} 24.000 kN/m³

Permeability

k_x : 0.000 m/day

k_y : 0.000 m/day

Comments

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Şekil 4.10 Zeminler için data girdileri ve model seçimi

“Drenajlı” seçilmesiyle hiç ilave boşluk suyu basıncı oluşturulmamış olur. Bu durum kuru zeminler ve yüksek permeabiliteden dolayı (kumlar) tam drenaj için kullanılır. “Drenajsız” davranışın seçilmesi de ilave boşluk suyu basınçlarının bütünüyle geliştirilmesi için kullanılır. “Gözeneksiz” davranışın seçilmesi de, ne başlangıç ne de ilave boşluk suyu basınçlarının hesaba alınmamasını sağlar. Bu tarz uygulamalar beton veya kayanın modellenmesinde kullanılabilirler. Geçirimsiz davranış genellikle lineer elastik modelle birlikte kullanılmaktadır. En önemli seçim ise malzeme modelinin ne olacağı ve bu modellerin parametreleridir. Zeminler için PLAXIS’de 5 farklı modelleme seçeneği vardır:

- Lineer elastik model
- Mohr-Coulomb modeli
- Pekleşen zemin modeli
- Yumuşak zemin modeli
- Yumuşak zemin sünme modeli

Mohr Coulomb GW

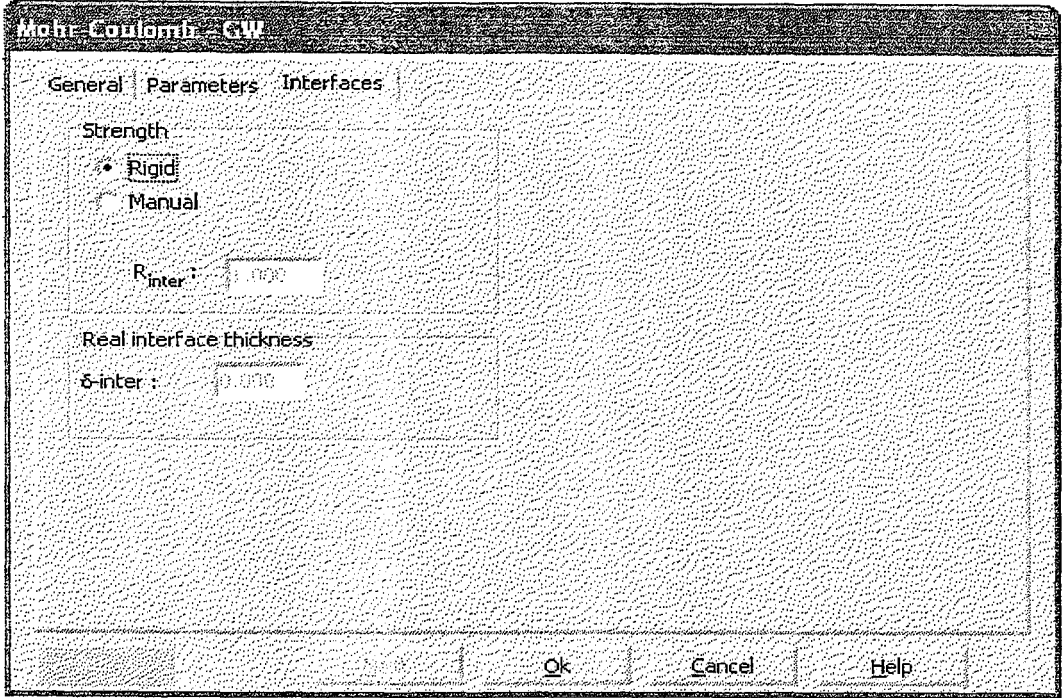
General Parameters Interfaces

Stiffness		Strength	
E_{ref} :	5.556E+04 kN/m ²	C_{ref} :	1.000E-03 kN/m ²
ν (nu) :	0.350	ϕ (phi) :	44.000 °
		ψ (psi) :	14.000 °
Alternatives		Velocities	
G_{ref} :	5.556E+04 kN/m ²	v_s :	151.600 m/s
E_{oed} :	2.407E+05 kN/m ²	v_p :	315.500 m/s
		Advanced...	
Next		OK	Cancel
		Help	

Şekil 4.11 Mohr-Coulomb modelinin girdileri

Bir sonraki aşama ise ara yüzey için parametrelerin seçilmesidir. İlk yapılması gereken seçim ara yüzey “dayanım” değeridir (R_{inter}). Ara yüzey dayanımı için “rigid” opsiyonu ($R_{inter}=1$), ara yüzey çevresindeki zeminin dayanımını etkilemeyecekse kullanılır. Genelde, gerçek zemin-yapı etkileşimi zeminden daha zayıf daha esnektir. Bu durumda R_{inter} değeri “manuel” olarak girilebilir.

Ara yüzey için yapılması gereken diğer seçim de “permeabilite” içindir. Ara yüzeyler, ara yüzeye dik akış için bir permeabiliteye (k_n) ve ara yüzeye paralel akış için ayrı bir permeabiliteye (k_s) sahiptirler.



Şekil 4.12 Ara yüzey girdileri

Ara yüzey için “geçirimsiz” seçeneği, ara yüzeye dik akışı sınırlandırılmak istendiğinde kullanılır. Örnek olarak, palplanj duvar modellenirken kullanılan kirişler aslında geçirimlidir. Duvarı su geçirmez yapmak içinse ara yüzeylere “geçirimsiz” özelliği verilebilir. Bu durum seçildiğinde düşük bir k_n değeri (zemin permeabilitesinin 0.001’i) ve k_s için de sıfır değeri elde edilecektir. Ara yüzey için “drenajlı” seçeneği, suyun ara yüzey içinde paralel olarak serbestçe akışına izin vermek için yapılır.

Zeminlerin ve ara yüzeylerin özellikleri tanımlandıktan sonra sıra “kirişler”in özelliklerinin tanımlanmasındadır. Kirişler için girdi parametreleri de Şekil 4.13’de görüldüğü gibidir. Kirişler için ilk olarak “plastik” ve “elasto-plastik” malzeme tiplerinden birisi seçilmelidir. Elastik tip seçilmesi durumunda, modellemeye gerekli parametreler, eksenel rijitlik, eğilme rijitliği, ağırlık ve poisson oranıdır. Maksimum eğilme momenti ve maksimum eksenel yük değerleri (M_p ve N_p) otomatik olarak hesaplanır. Elasto-plastik model kullanıldığında ise maksimum eğilme momenti değeri manuel olarak girilebilir ve plastisite de

hesaplara katılmış olur. Eğer tanımlanan değerler aşırsa gerilmeler plastisite teorisine göre yeniden dağıtılır ve tersine döndürülemez deformasyonlara yol açar.

Plate properties	
Material set Identification: 1994 Material type: Elastic Comments:	
Properties EA: 2.350E+07 kN/m EI: 1.960E+06 kNm²/m d: 1.000 m w: 0.000 kN/m/m v: 0.200 p: 1.000E+16 kN/m² N: 1.000E+16 kN/m Rayleigh α: 0.000 Rayleigh β: 0.000	
Ok Cancel Help	

Şekil 4.13 Kiriş özellikleri girdileri

Tanımlanması gereken üçüncü malzeme de “geotekstiller”dir. Geotekstiller için tek parametre eksenel rijitliktir (EA). EA değer, düzlem içine doğru bir birim uzunluk için gerilmelidir. “Geotekstiller” basınç kuvvetlerini çekemezler.

“Ankrajlar” için ana parametre EA, eksenel rijitliktir ve değeri her bir ankraj için girilmelidir. Ayrıca ankrajların düzlem içine doğru yatay aralıklarının (L_s) da belirtilmesi gerekmektedir.

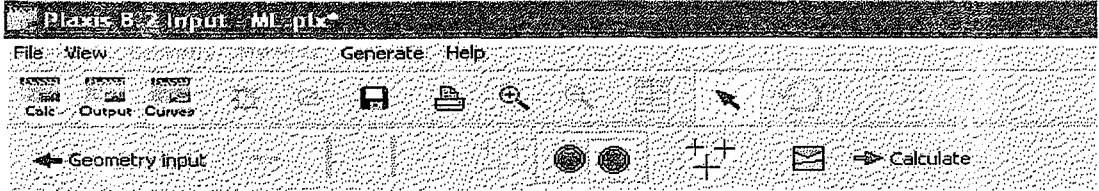
4.2.12 Ağın Oluşturulması

Bütün malzemeler tanımlandıktan sonra artık sıra ağın oluşturulmasına gelmiştir. Sonlu eleman hesaplamalarında, geometri elemanları bölünmek zorundadır. Sonlu elemanların bileşenine de sonlu eleman ağı denmektedir. PLAXIS tam otomatik ağ oluşturma işlemine olanak vermektedir. Ağ otomatik oluşturulmadan önce ağın sıklığının da seçilmesi durumu vardır. “Çok kaba, kaba, orta, çok iyi” seçeneklerinden birisi seçilerek yaklaşık aynı sırayla 25, 50,

100, 200, 400 elemanlı ağlar oluşturulabilir. Eğer bir seçim yapılmazsa PLAXIS otomatik olarak “orta” seçeneğine göre ağı oluşturacaktır. Böylece geometri tamamlanmış ve sonlu eleman ağı da oluşturulmuş oldu. Şimdi de “başlangıç koşulları” seçeneği kullanılarak, başlangıç su basınçlarının ve zemin gerilmelerinin oluşturulması gerekmektedir. [16]

Boşluk suyu basınçlarının oluşturulması için iki alternatif bulunmaktadır. Birincisi “yer altı suyu seviyeleri” seçeneğinde, “Genel yer altı su seviyesi” tanımlanabileceği gibi, süreksiz bir boşluk suyu basıncı dağılımına imkan vermek için “her bir demet için yer altı su seviyesi” ayrı ayrı tanımlanabilir.

İkinci seçenek, “yer altı suyu akış analizi” de iki boyutlu yer altı akış analizini esas alarak kompleks boşluk suyu basıncı dağılımlarına imkan vermektedir. Yer altı suyu akış hesaplamaları ile gerçekleştirilen su basınçlarının oluşturulması, demetlerdeki permeabiliteleri, oluşturulan ağı ve girilen sınır koşullarını (kapalı akış sınırı ve kapalı konsolidasyon sınırı) kullanan sonlu eleman hesaplamasına dayanmaktadır.



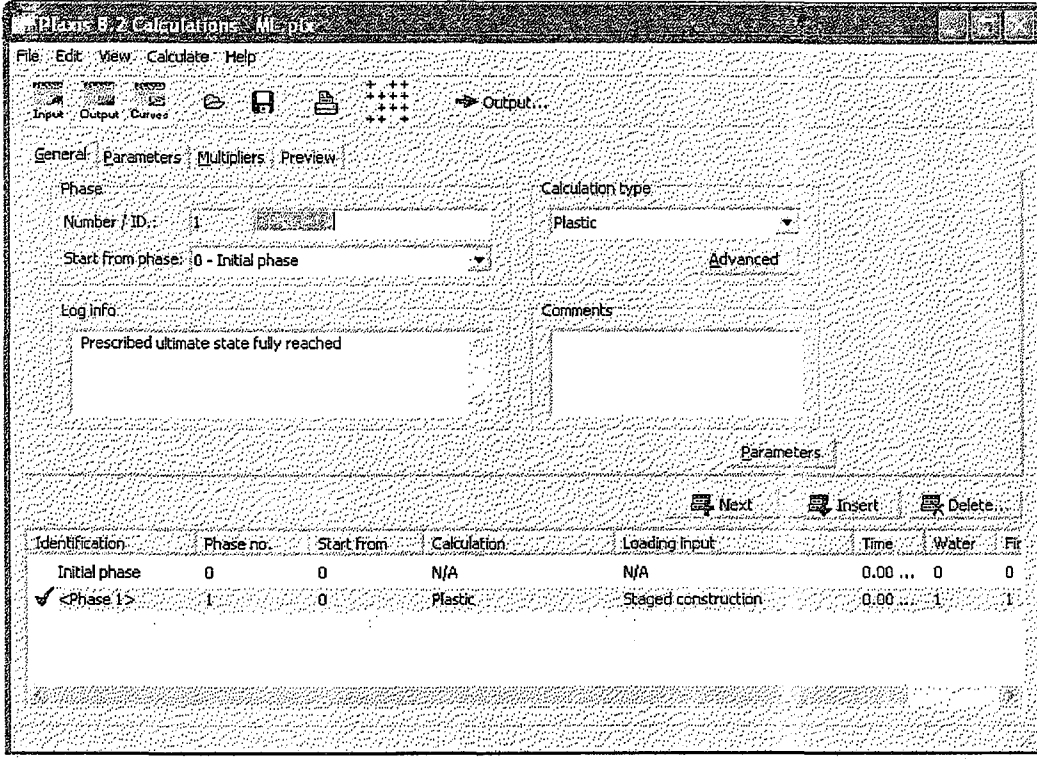
Şekil 4.14 Başlangıç koşulları mönüsü

Bütün bu yukarıda anlatılan ve “girdi” bölümüne ait olan parametreler tanımlandıktan sonra artık hesaplamalar kısmına geçilebilir.

4.3 Hesaplamalar (Calculations)

Hesaplamalar bölümü “plastik analiz”, “konsolidasyon analiz”, “güncelleştirilmiş ağ analizi” ve “dinamik analiz” olmak üzere dört tip analize imkan vermektedir. Şekil 4.15’de görülen mönüden, bu analizlerden birisi

seçilebilmektedir. Her proje için, hesaplamanın özelliğine göre birçok hesaplama evresi belirtilebilmektedir.

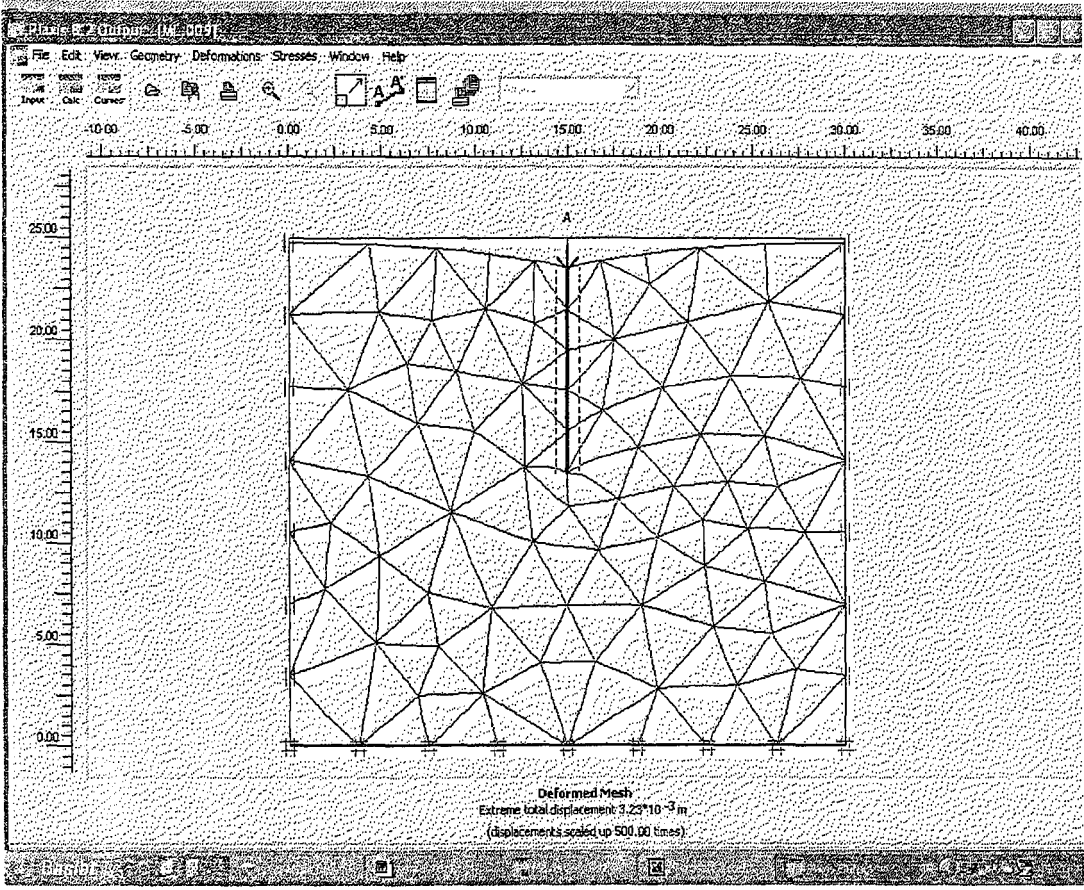


Şekil 4.15 Hesaplama mönüsü ve hesap evreleri

Son olarak hesaplama kısmında, eğriler-grafikler elde edebilmek için geometri üstünde noktalar seçilmelidir.

4.4 Çıktılar (Output)

PLAXIS işlemcisi, hesap sonuçlarını göstermek için grafiksel özelliklere sahiptir. Yer değiştirmelerin, gerilmelerin ve yapısal yüklerin kesin değerleri çıktı tablolarından elde edilebilmektedir.



Şekil 4.16 Çıktı mönüsü ve ağın deforme olmuş hali

Çıktı mönüsünden zeminlerin, kirişlerin ve geotekstillerin malzeme özellikleri tablo olarak elde edilebilmektedir. Mönüden zeminler için, hem grafiksel hem de tablo olarak elde edilebilecek çıktılar ise şunlardır:

- Deformasyonlar
 1. Deforme olmuş ağ
 2. Toplam yer değiştirmeler
 3. Yatay yer değiştirmeler
 4. Düşey yer değiştirmeler
 5. Toplam birim deformasyonlar
 6. Artışsal birim deformasyonlar

- Gerilmeler

1. Efektif gerilmeler
2. Toplam gerilmeler
3. Aşırı konsolidasyon oranı
4. Aktif boşluk suyu basınçları
5. Yer altı su seviyesi
6. Akış sahası

Kirişler için grafiksel ve tablosal çıktı seçenekleri şunlardır:

- Deformasyonlar

1. Toplam yer değiştirmeler
2. Yatay yer değiştirmeler
3. Düşey yer değiştirmeler
4. Toplam artımlar
5. Düşey artımlar
6. Yatay artımlar

- Kuvvetler

1. Eksenel
2. Kesme
3. Eğilme momenti

Geotekstiller için grafiksel ve tablosal çıktı seçenekleri şunlardır:

- Deformasyonlar

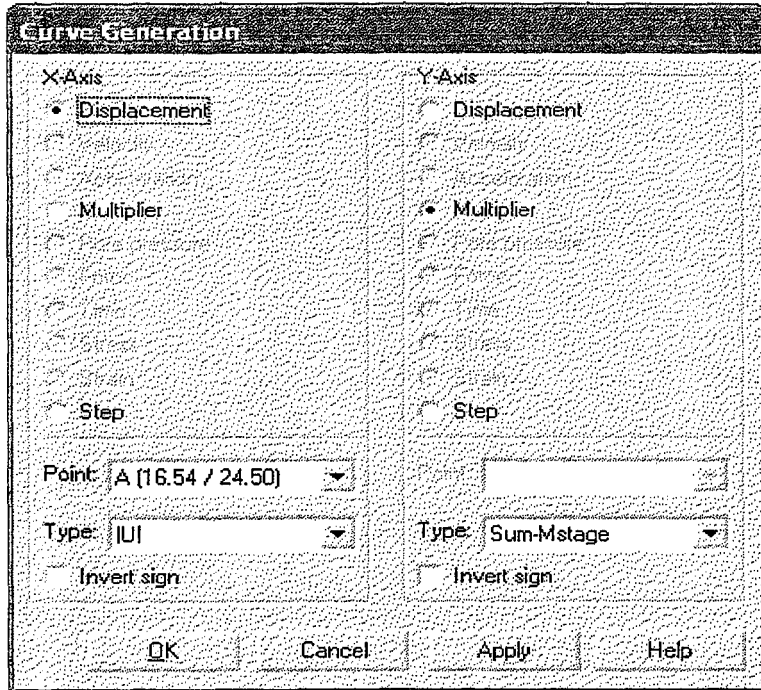
1. Toplam yer değiştirmeler
2. Yatay yer değiştirmeler
3. Düşey yer değiştirmeler

- Kuvvetler

1. Eksenel
2. Çember kuvvetleri (sadece asimetrik modelde)

4.5 Eğriler (Curves)

Eğriler opsiyonu, geometride önceden seçilen noktaların, yük-yer değiştirme veya zaman-yer değiştirme diyagramlarını, gerilme- deformasyon diyagramlarını ve gerilme veya deformasyon izlerini çizmek için kullanılabilir. Genelde düğümler yük-yer değiştirme eğrilerinin oluşturulması için kullanılırken, gerilme noktaları da gerilme- deformasyon diyagramları ve gerilme izleri için kullanılmaktadır. Eğri oluşturma” opsiyonu seçildiğinde, karşımıza Şekil 4.17’deki “eğri oluşturma” mönüsü çıkmaktadır. Ayrıca eğrilerin renk, stil vb. özelliklerini değiştirmek için “eğri ayarları” opsiyonu da bulunmaktadır. Oluşturulan eğrilerin tablosal görünüşleri de “tablo” seçeneğinden elde edilebilmektedir.



Şekil 4.17 Eğri oluşturma mönüsü

4.6 Avantajlar ve Dezavantajlar

Avantajlar:

- Güçlü ve kolay kullanışlı grafiksel girdi ve çıktı olanağı, kullanıcının çok hızlı bir şekilde problemi saptaması ve sonuçları görmesini sağlamaktadır.
- Otomatik ağ oluşturma: Etkili, otomatik üçgen ağ oluşturunucusu, gerilme yoğunluğuna bağlı olarak ağı lokal ve global olarak düzenleyebilir.
- Lineer olmayan zemin davranışı olanağı: PLAXIS içerisinde, lineer olmayan zemin davranışının hesaplara katılabilmesine yarayan, gelişmiş zemin modelleri de mevcuttur.
- Uygun deprem simülasyonu: Standart SMC formatı yer hareketi, PLAXIS tarafından okunabilir ve yorumlanabilir. Bu da depremin sisteme etkilerini simüle etmek için uygun bir yol sağlamaktadır.
- Mükemmel kullanıcı servisi: PLAXIS web sayfasında, teknik problemlerinin tartışılması için forum sağlanmakta ve sorular zaman içinde program yöneticisi tarafından cevaplanmaktadır.

Dezavantajlar

- Program, ABAQUS ve ANSYS gibi kullanıcıya açık değildir. Kullanıcı yazılımın içinde çalışmamaktadır. PLAXIS içinde, zemin ve kazık arasında yeni bir ilişki modelinin göz önüne alınmasına olanak verecek veya saha analizlerine uygun yeni bir lineer olmayan modelin göz önüne alınmasına olanak verecek yeni elemanlar kullanılamamaktadır.
- Dinamik analiz için sınırlama: PLAXIS’de “Lagrangian Updated Mesh” ve “Dinamik” analiz aynı zamanda seçilmemektedir. Bu da, yumuşak killerde veya büyük değerlerdeki yer hareketlerinde meydana gelebilecek büyük deformasyonlar için dinamik analizin tamamlanmaması demektir.
- Sıvılaşma bu versiyonda göz önüne alınmamaktadır.

5. EKSENEL YÜK ALTINDA KAZIKLI TEMELLERİ OTURMASI VE GERİLME DAĞILIMLARI

5.1 Kazıklı Temellerin Oturma Problemleri

Kazıklı bir temelin oturması, taşıma gücü kadar önemlidir. Zira bir temelin güvenliği; göçme güvenliğinin sağlanması yanında, izin verilebilir miktarların ötesinde oturmamasını gerektirir. Kazıkların oturma teorileri; kazık-zemin ortamının matematiksel olarak modellenmesine dayanırlar. Bu modellerde kazığı çevreleyen zeminin davranışı için aşağıdaki kabullerden biri geçerli olmuştur: [3]

- Doğrusal elastik davranış gösteren ortam,
- Zemini temsil eden bir “Yaylar Sistemi”,
- Ortamın birim deformasyon enerjisi.

Üçüncü gruptaki varsayımlara dayanan yöntemler son yıllarda gelişme göstermektedir. Ayrıca, oturma hesapları için geçmiş gözlemlere dayanarak geliştirilmiş ampirik hesap yöntemleri de vardır. Ancak günümüzde mühendislik uygulamaları ilk iki grupta tanımlanan bulunan çözümleri kullanmaktadır.

5.1.1 Doğrusal Elastik Ortam Yaklaşımı

Yukarıda, bir kazığın güvenliğinin sağlanabilmesi için göçme ve oturma sorunlarının beraberce ele alınması konusuna dikkat çekilmiş idi. Zeminin içinde bulunan bir cisme kuvvet uygulandığında bu kuvvete karşı bir reaksiyon doğması, cisim ile zemin arasında rölatif bir hareketin meydana gelmesine bağlı bulunmaktadır. “Doğrusal elastik-plastik sürekli ortam” teorisinin kullanılması halinde; kazıkların uç ve çevre dirençlerinin yukarıdaki ilke doğrultusunda doğması ve gelişmesi ile oturma miktarları arasındaki ilişkiyi yansıtan yük-oturma eğrileri bulunur ve bu eğrilerin süperpozisyonu ile toplam yük-oturma eğrisi elde edilerek kullanılır. Göçme ve oturma davranışının beraberce ele alınması için güvenlik sayılarının seçiminde bu tür eğrilerin kullanımı ön planda yer

almaktadır. Kazıkların yük altında oturma davranışı, göçme yükü sınırına kadar doğrusal elastik davranış ve takiben plastik davranış varsayımı ile oldukça sağlıklı bir şekilde yansıtılabilmektedir. Bu yaklaşım; konuya eğilen bir çok ilim adamı arasında özellikle araştırmacılar Paulos, Davis ve Mattes tarafından sonlu elemanlar metodu kullanılarak, pek çok değişkenin incelemeye alındığı çok sayıdaki sistematik çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlara dayanmaktadır.

5.1.2 Oturma Hesabının Yay Modeli ile Yapılması

Bu yöntemin esası; kazık çevresindeki zeminin gerilme-ötelenme davranışını yaylar ile temsil ederek tanımlamaktadır. Ötelenmenin yük ile değişimini doğrusal veya doğrusal olmayan davranış biçimi ile tarif edecek şekilde tanımlanabilirler. Kazıklı temellerin davranışına bu tür bir çözüm yaklaşımı; yüzeysel temellerin yapı-zemin etkileşimi problemini çözmek için çalışan Winkler adlı bir bilim adamı tarafından ortaya atılmıştır. Bu nedenle modele “Winkler Modeli” de denir. Yaklaşımında eksenel yük altındaki tek kazığın rijit davrandığı kabulü yapılır. Kazık ucuna gelen yükler ihmal edilir ve kazık yükünün yalnızca çevre sürtünmesi ile karşılandığı varsayılır.

5.1.3 Birim Deformasyon Yöntemi ile Hesap

Schmertman, yarı sonsuz bir elastik zemin üzerine oturan bir temelin simetri eksenini boyunca derinlikle değişen düşey birim deformasyon eğrisini basitleştirerek vermiştir. Burada birim deformasyon etki katsayısını zemin yüzeyinde 0.5, grup ızgarasının küçük boyutunun yüzde 40 derinliğinde 0.78 ve küçük boyut derinliğinde ise 0 olacak şekilde göstermiştir. Birim deformasyon tesir katsayısı diyagramı alanı ile dağılı yükün çarpımı ve sonucun zeminin elastik modülüne bölünmesi ile toplam oturma hesaplanır.

Bu yöntemlerden başka da birkaç oturma hesabı yöntemleri bulunmaktadır:

- Skempton
- Paulos-Davis
- Rus şartnamesi

- Gerilme dağılımı
- Meyerhof
- Vesic
- Butterfield-Dauglas

5.2 Kazıklı Temelerde Oluşan Gerilmeler

Zemin mekaniğinde çok büyük önem taşıyan kriterlerden biri de gerilmelerdir. Birçok problemde (deformasyon problemlerinde, özellikle de oturma hesaplarında), kırılmadan önceki safhalarda yüzeye yakın yüklerden, zemin ortamda oluşan gerilmelerin, yer değiştirmelerin(deformasyonların) bilinmesi gerekir.zemin karmaşık olmasından dolayı zemin için gerçekçi gerilme-deformasyon analizleri yapmak oldukça zordur. Bu yüzden yaklaşık olasına rağmen genellikle Elastisite Teorisi kullanılır. Bu teori kullanılırken basitleştirici kabuller yapılır:

1. Zemin elastik olup gerilme-deformasyon ilişkisi doğrusaldır
2. Zemin ortamı homojendir
3. Zemin ortamı izotroptur
4. Zemin ortamı yarı sonsuzdur.

Gerilmeler toplam gerilme ve efektif gerilme olarak ikiye ayrılmaktadır. Aynı zamanda zeminde oluşan diğer bir kriterde boşluk suyu basıncıdır. Bu konuya ilerki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde değineceğiz. Ama, şunu bilmemiz gerekirkı gerilme boşluk suyu basıncı ile alakalıdır. En çok kullandığımız gerilme türü de efektif gerilmedir. σ' ile gösterilmektedir. Efektif gerilme (etkin gerilme), toplam gerilme ile boşluk suyu basıncının farkına eşittir.

$$\sigma' = \sigma - u = q + h_1 \gamma_n + h_2 \gamma_d - h_2 \gamma_{su} \quad (5.1)$$

Efektif gerilme, taneler arasındaki temas nokta veya alanlarıyla taşınan ortalama gerilme olarak düşünülür. Bu gerilme taneler arasındaki gerçek temas (değme) gerilmelerinden daha küçüktür. Birçok durumda; zemin davranışında (oturma, kayma direnci) toplam değil, efektif gerilme rol oynar. Zemin yüzünde, sonsuz büyüklükteki bir alana yayılı üniform bir yük, gerilme hesaplarında, bir tabaka gibi dikkate alınır, etkisi derinlikle değişmez (sabit kalır). Zemin yüzünde etkiyen tekil yük veya sınırlı alan yüklerinden, zemin ortamda oluşan ek düşey gerilmeler derinlikle azalır. Bir çok temel tiplerinde temel altında gerilmeler olduğu gibi kazıklı temellerde de gerilme dağılımları mevcuttur. Uygulama bölümünde bunu daha ayrıntılı bir şekilde inceleyeceğiz.

5.3 Yeraltı Su Seviyesinin Oturma ve Gerilmelerde Etkisi

Su çöl gibi özel çevre koşulları dışındaki her durumda zeminlerin ayrılmaz bir parçası ve ortamda kütle olarak %0'dan %1000'e değişebilen oranlarda bulunabileceği belirtmek mümkündür. Geoteknik mühendisliğinde yüzeyden zemine giren suyun etkileri ve hareketi daha yakından incelenir. Yeraltında sürekli hacimlerde birikmiş su, yeraltı suyu olarak tanımlanır. Yeraltı suyu atmosfer basıncıyla statik dengeye gelmişse bunun üst düzeyi yeraltı suyu seviyesi olarak adlandırılır. Genel kural olarak YASS altındaki tüm zeminler doymun kabul edilirler. Zeminler suyla karşılaştıklarında farklı davranışlar gösterir. Kuruyken katı olan kil suya batırıldığında yumuşama, şişme, hatta dağılma gösterir. Doymun killerden önemli bir bölümü su muhtevasını yitirdiğinde büzülüp çatlamaktadır. Genelde suyun kumda killerdeki gibi önemli bir ölçüde etkin olmadığını gösterir. YASS'nin oturma ve gerilmelerde ise etkisi şöyledir. YASS'i arttıkça oturma ve gerilmeler artmaktadır. Bunun nedeni YASS'nin bulunduğu yerde ilave olarak boşluk suyu basıncı oluşmaktadır, bu ise oturma ve gerilmelere önemli bir miktarda etkisi vardır. Çünkü kazıklı temele dışarıdan gelen yükten başka da ilave olarak boşluk suyu basıncın yapmış olduğu etki oturma ve gerilmeyi önemli bir miktarda etkilemektedir.

5.4 Boşluk Suyu Basıncı

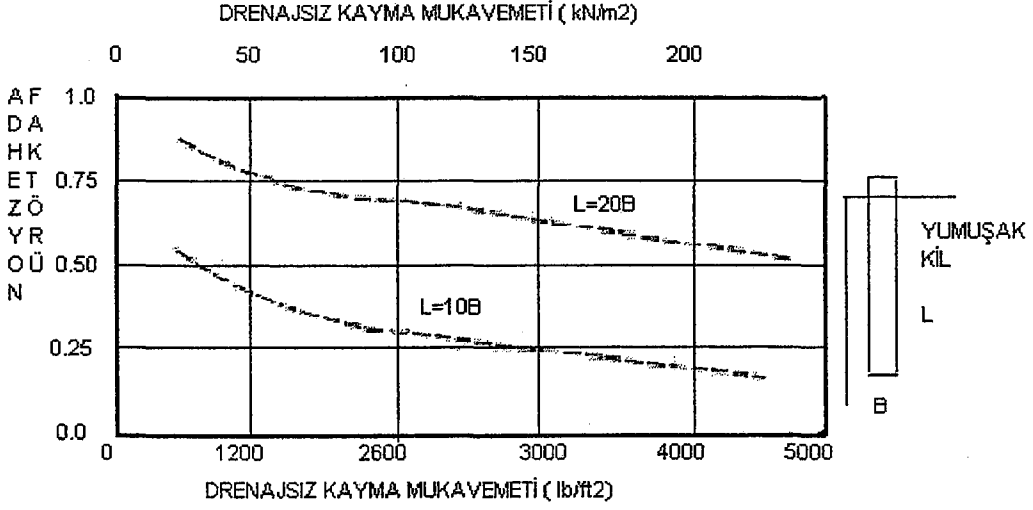
YASS'den dolayı oluşan boşluk suyu basıncı şu şekilde tanımlanır. Herhangi bir derinlikteki boşluk suyu basıncı, u ; o nokta üzerindeki piyezometrik yükseklik (serbest su yüksekliği) ile suyun birim hacim ağırlığının çarpımı boşluk suyu basıncı olarak bilinmektedir.

$$U_A = h_{su} \cdot \gamma_{su} = h_2 \cdot \gamma_{su} \quad (5.2)$$

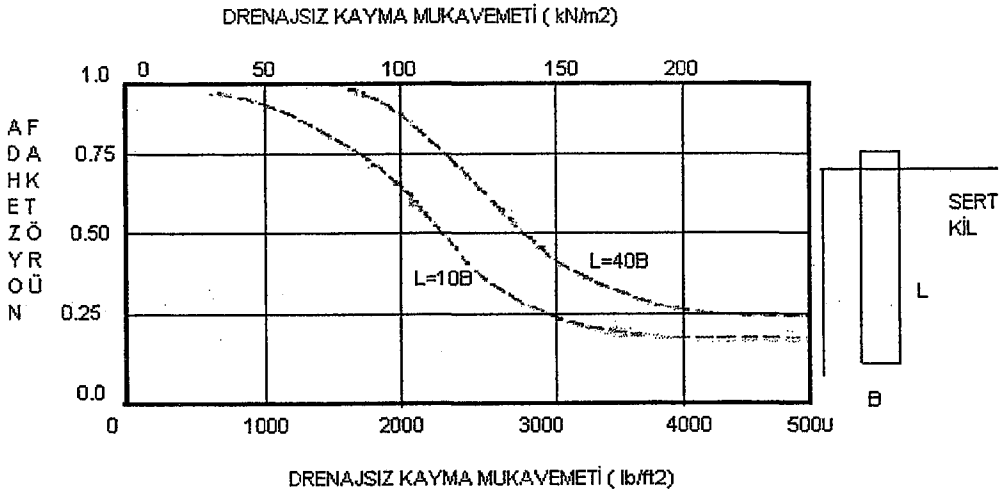
Doygun zeminler yüklendiği zaman boşluk suyu basıncının gelişeceği artık iyice anlaşılmıştır. Bir boyutlu yükleme durumunda başlangıçta gelişen boşluk suyu basıncı uygulanan düşey gerilmenin büyüklüğüne eşittir. Üç boyutlu veya üç eksenli yüklemelerde de boşluk suyu basıncı gelişir fakat bunun gerçek büyüklüğü zemin cinsine ve gerilmeye bağlıdır. Elbette ki yükleme oranı ve zemin türü, yaptığımız deneyin drenajlı veya drenajsız oluşunu tayin eder. Mühendislik uygulamalarında bazen drenajsız yükleme şartlarına uygulanan gerilme değişimleri karşısında ne kadar boşluk suyu basıncının gelişeceğini tahmin etmek gerekli olur. Bu gerilme değişimlerinin toplam gerilmeler cinsinden hidrostatik veya hidrostatik olmayan türde olabileceğine dikkat edilmelidir. Boşluk suyu basıncı Δu 'nun bu değişimlere toplam gerilmeler $\Delta \sigma_1$, $\Delta \sigma_2$ ve $\Delta \sigma_3$ 'de verdiği tepki bizim için önemli olduğundan bu değişimleri boşluk suyu basınç katsayıları veya parametreleri cinsinden ifade etmek daha uygun olacaktır (ilk kez İmperial College, İngiltere'de 1954 yılında Prof. W.Skempton tarafından takdim edilmiştir). Genelde zemin kütlesini, hava ve boşluklarındaki su ile birlikte sıkışabilir bir iskelet olarak düşünebiliriz. Zemin elemanı üzerine etkiyen asal gerilmeler üç eksenli basınç deneyi örneğinde olduğu gibi arttırılırsa zemin elemanının hacminde bir azalma, boşluk suyu basıncında ise bir artma meydana gelir. Skempton boşluk suyu basınç katsayıları, toplam gerilmelerin bilindiği veya tahmin edilebildiği durumlarda gelişen boşluk suyu basıncını bulmamızı sağladığı için mühendislik uygulamalarında çok faydalıdır. Sonuç olarak, gelişen boşluk suyu basıncı çok yüksek ise inşaat aşamalı olarak yapılmalıdır. Bu halde boşluk suyu basıncının gözlenmesi tavsiye edilir.

6. REFERANS OLARAK ALINAN GRAFİKLER

6.1 Kohezyonlu Zeminler İçin Grafikler



Şekil 6.1 Yumuşak killi zeminler için (Randolph and Wroth, 1997).



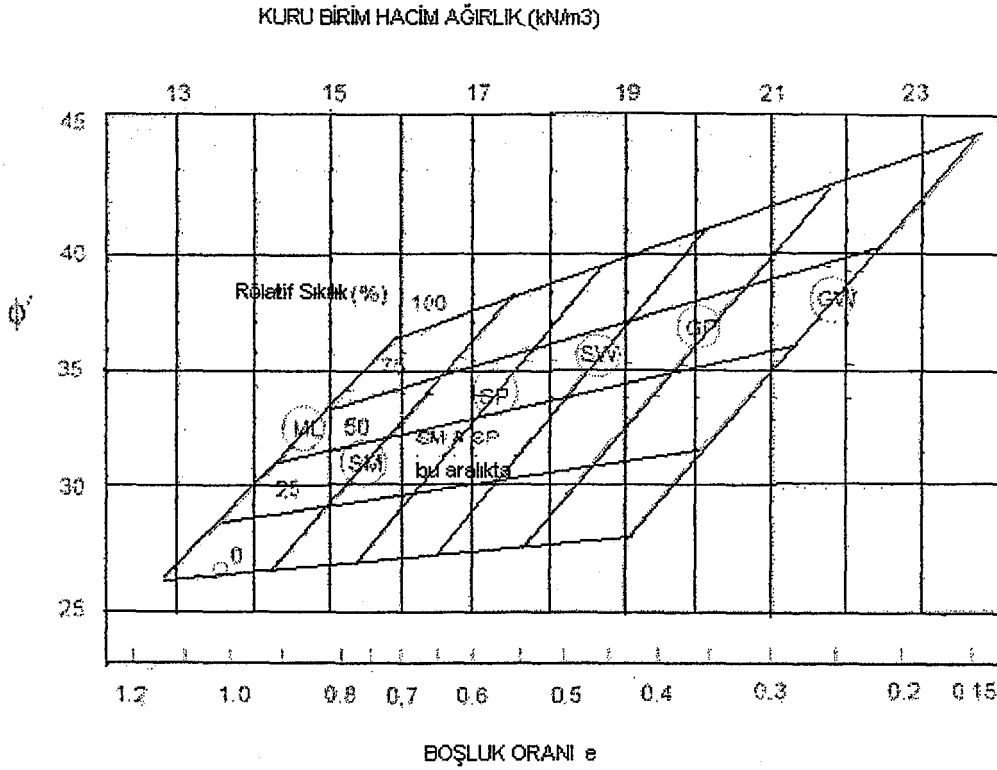
Şekil 6.2 Sert killi zeminler için (Randolph and Wroth, 1997).

6.1.1 Kohezyonlu Zeminler İçin Seçilen Grafiklerin Tanıtımı ve Seçilme Nedeni

Bu zemin logu yumuşak ve sert killi zeminler için Randolph ve Wroth tarafında yapılmış olan çalışmadır. Bu zemin logu aslında London killeri için hazırlanmaya başlanmışken bu ilim adamları bunu daha da geniş kapsamlı olarak bu tür zeminlerin iyileştirilmesinde en yaygın olarak kullanılan kazıkların davranışını incelemek olmuştur. Bunlar ilk olarak kazıkların drenajsız kayma mukavemeti ile adhezyon faktörü arasındaki ilişkiyi incelemişler. Acaba drenajsız kayma mukavemeti arttıkça adhezyon faktörünün değişimi nasıl olur diye. Ve deneylerinden çıkan sonuçlar neticesinde adhezyon faktörünün azaldığını görmüşler. Buna ilave olarak kazık boyu ile kazık çapı arasındaki ilişkiyi de inceleyerek referans aldığımız eğriler ortaya çıkmıştır.

Kazık oturma ve gerilme problemlerinde drenajsız kayma mukavemeti, kazık boyu ve çapı büyük rol oynamaktadır. Bu nedenle kazık oturma ve gerilme problemlerinde adhezyon faktörü de dahil olmak üzere yukarıda kazık oturma gerilme problemlerinde bu parametrelerin etkisinin ne derecede etkili olacağı araştırılacaktır.

6.2 Kohezyonsuz Zeminler İçin Grafik



Şekil 6.3 Üç eksenli basınç deneyinden elde edilen efektif içsel sürtünme açısı ile kuru yoğunluk, rölatif sıklık ve zemin sınıflaması arasındaki korelasyonlar. (U.S.Navy, 1971). [1]

6.2.1 Kohezyonsuz Zeminler İçin Seçilen Grafiğin Tanıtımı ve Seçilme Nedeni

Bu zemin logu kohezyonsuz zeminler için üç eksenli basınç deneyinde Casagrande ve arkadaşları tarafından hazırlanmıştır. Casagrande ve arkadaşları kendi araştırmaları sonucunda kumun efektif içsel sürtünme açısının rölatif sıklık (D_r), kuru birim hacim ağırlık (γ_k), boşluk oranı (e) ve zemin türü gibi parametrelere bağlı olarak 27-45 derece arasında değiştiğini bulmuşlar.

Bu parametreler başta rölatif sıklık (D_r) olmak üzere hepsi de kazıklı temellerin oturmasında ve gerilme dağılışımda etkin parametrelerdir. Bu yüzden birbirlerine bağlı olarak değişen bu parametreler kazık oturmasında ve gerilme dağılışımda

sağlıklı sonuç vereceği ümidiyle kohezyonsuz zeminlerde bu zemin logunun seçimi, PLAXIS programında sonlu elemanlar metoduyla modelleyerek kazıkların oturma ve gerilme dağılımını incelemek için uygun görülmüştür. Bu parametrelerin, kazıkların oturma ve gerilme dağılışına nasıl bir etki edeceğini uygulama bölümünde tablo ve grafiksel olarak inceleyeceğiz.

7. DRENAJSIZ KAYMA MUKAVEMETİ (C_u) VE RÖLATİF SIKILIK (D_r)

7.1 C_u 'nın Bilimsel Tanımı

Kayma mukavemeti, zeminin göçmeye meydan vermeden karşı koyabileceği en büyük kayma gerilmesidir. [4]

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (7.1)$$

c- kohezyon

ϕ - içsel sürtünme açısı

Zeminlerin kayma mukavemeti olası bir göçme düzlem boyunca kaymaya karşı oluşan dirençten kaynaklanmaktadır. Bu direnç o düzlem boyunca oluşan sürtünmeden kaynaklanmaktadır.

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \tan \phi', \quad (7.2)$$

Drenajsız kayma durumunda, zemin hacim değiştirmeye izin verilmez ve zemin suyunun dışarı çıkması engellenerek göçme boyunca oluşan kayma direnci uygulanan normal gerilmeden bağımsız olmaktadır. Drenajsız kayma mukavemeti değişik metotlarla elde edilebilir (Serbest basınç deneyi, Üç eksenli basınç deneyi).

7.2 D_r 'nin Bilimsel Tanımı

Kum, çakıl gibi ayrık taneli (kohezyonsuz) zeminlerde, zeminin sıklık durumunu yansıtan terime **rölatif sıklık** adı verilir. Bu terim aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$D_r = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min}) \quad (7.3)$$

e_{max} (maksimum boşluk oranı) : Zeminin en gevşek (en çok boşluklu) durumundaki boşluk oranı.

e_{min} (minimum boşluk oranı) : Zeminin en sıkı (en az boşluklu) durumundaki boşluk oranı.

e : Zeminin, rölatif sıklığının belirlenmek istendiği durumuna ait boşluk oranı.

Birimsiz olan D_r ondalık veya yüzde bir sayı olarak ifade edilir. En sıkı durumda 1(%100) ve en gevşek durumda 0 (%0) sınır değerlerini alır. Zeminler, D_r değerlerine göre sınıflandırılabilir.

Çizelge 7.1 Rölatif sıklığa göre, zeminlerin sınıflandırılması.[4]

Rölatif sıklık(D_r), %	Sıklık durumunun adı	
0-15	Çok gevşek	Gevşek
15-35	Gevşek	
35-65	Orta sıkı	Orta
65-85	Sıkı	Sıkı
85-100	Çok sıkı	

7.3 Mühendislik Uygulamalarında Drenajsız Kayma Mukavemeti ve Rölatif Sıklığın Önemi ve Kullanımı

7.3.1 Drenajsız Kayma Mukavemeti

CD ve CU deneyleri gibi drenajsız veya UU mukavemeti de mühendislik uygulamalarında bazı kritik tasarımlara uygulanabilmektedir. Bu uygulamalar mühendislik yüklemesinin, zeminde oluşacak boşluk suyu basıncının sönmölenemeyeceği veya yükleme sırasında konsolidasyonun olmayacağı şekilde, çabuk yapıldığı yerlerdir. Ayrıca inşaat sırasında oluşan toplam gerilme değişiminin arazideki drenajsız kayma mukavemetini etkilemediğini kabul ediyoruz (Ladd, 1971)

Yapılan uygulamadan örnekler içinde toprak dolgu barajı inşaatı sonu ve dolgu temelleri, kazıklar ve normal konsolide killerdeki sömeller bulunmaktadır. Bu durumlar için en kritik dizayn şartları çoğu zaman, gelişen boşluk suyu basıncının maksimum ve konsolidasyondan önce olduğu, yükün uygulanmasından hemen sonraki şartlardır. Konsolidasyonun başlamasıyla su muhtevası ve boşluk oranı doğal olarak azalacak ve dayanım da artacaktır. Böylece dolgu veya temel zamana bağlı olarak artan şekilde daha güvenli olur.

Drenajsız kayma mukavemetini ifade etmede oldukça faydalı yöntemlerden biri de normal konsolide killeri için C_u/σ_{v0} oranıdır. Doğal çökel halindeki sedimentler killerde drenajsız kayma mukavemetinin derinlikle arttığı ve bundan dolayı da derinlikle artan efektif gerilmesi ile orantılı olduğu tespit edilmiştir. İlk olarak Skempton ve Henkel (1953) tarafından gözlenmiş ve Bjerrum (1954) da C_u/σ_{v0} oranının plastisite indisi ile arttığını teyid etmiştir.

7.3.2 Rölatif Sıklık

Rölatif sıklık, kohezyonsuz zeminlerde kullanılan en önemli parametredir. Bu parametre zemin özelliğine, taneler arasındaki içsel sürtünme açısına, zeminin boşluk oranına bağlı olarak değişmektedir. Bu parametre zeminin (özellikle kumların) rölatif sıklık yüzdesini göstermektedir ve zeminler bu parametreye göre sınıflandırılırlar (Çizelge 7.1). Bunun için kohezyonsuz zeminlerde D_r çok önemlidir.

7.4 Laboratuvar ve Arazide Tayinleri

7.4.1 Drenajsız Kayma Mukavemetin Laboratuvar ve Arazide Tayini

Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemede laboratuvar ortamında serbest basınç deneyi veya UU türü üç eksenli basınç deneyleri ile rahatça bulabilme imkanlarımız vardır. Bu deneylerden başka da drenajsız kayma mukavemetinin laboratuvar ve arazide belirlenebilen başka yöntemler de mevcuttur. Örnekleme ve laboratuvar deneylerinden kaynaklanan

birçok problemden dolayı dayanımın bazen arazide ölçülmesi tercih edilmektedir. Yumuşak killer için en yaygın olarak kullanılan arazi deneyleri “kanatlı kesme deneyi ve konik penetrasyon deneyidir”. Bunlardan ikincisi özellikle taneli zeminlerde daha iyi sonuçlar vermektedir. Standart penetrasyon deneyi (SPT) çoğu zaman taneli, bazen de kohezyonlu zeminler için kullanılmaktadır. Özellikle yumuşak killerde verdiği sonuçlar daha az sağlıklıdır. Diğer yöntemler laboratuarda örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan özel deneylerdir. Tüm yöntemlerde yenilmeye giden yüklemenin, numunede drenajsız şartların oluşması için hızlıca yapıldığı kabul edilir. Deneyde elde edilen sonuç daha sonra drenajsız kayma mukavemeti ile denestirilir. Çizelge 7.2’de drenajsız kayma mukavemetini belirlemede yaygın olarak kullanılan yöntemler sergilenmiştir. SPT hariç Çizelge 7.2’de listesi verilen arazi yöntemleri Avrupa’da geliştirilmiş fakat bu deneyler son zamanlarda Kuzey Amerika’da artan bir ilgi görmüştür (Ladd vd., 1977).

Güvenilir bir serbest basınç deneyi için gerekli şartları çoğu zaman sağlanmamaktadır. Daha gelişmiş laboratuvar deney teknikleri cazip fakat maliyetleri yüksektir. Fisürlü katı killer gibi bazı zeminlerin örneklenmesi imkansız değilse de zordur. Arazide kısa zamanda ve düşük maliyetle elde edilen dolaylı bilgilerin laboratuardaki birkaç pahalı deney sonucu ile karşılaştırılarak kullanılması gibi bazı istatistiksel avantajlar da vardır. Arazi yöntemlerinin en önemli dezavantajı C_u ’nın laboratuvar deneyleri ile korelasyon yapılmak suretiyle dolaylı olarak veya gerçek yenilme teorilerinden geri hesaplama yöntemiyle bulunmasıdır.

Çizelge 7.2 C_u 'yı tanımlamada kullanılan laboratuvar ve arazi deneyleri.[4]

No.	Deney	Kullanım	Açıklamalar	En iyi kullanım
1	Torveyn(TV)	Lab., arazi	Elle kullanılır. Kalibre edilmiş yayı vardır. Çabuktur. Tüp örnekleri veya araştırma çukuru yan yüzeylerinde kullanılır. Test edilen numune görülür.	Çok yumuşak killerden katı killere
2	Cep penetrometresi (PP)	Lab., arazi	Serbest basınç dayanımı yayın kalibre edilmesi durumu hariç yukarıdaki ile aynıdır ($=2C_u$).	Çok yumuşak killerden katı killere
3	İsveç düşen koni deneyi (SFC)	Arazi	Çabuktur. Test edilen numune görülür. Tüp örnekleri üzerinde kullanılır. C_u koni açısına ve kütleye bağlıdır.	Çok yumuşak ve yumuşak killer
4	Kanatlı kesme deneyi (VCT)	Lab., arazi	Laboratuvar ve arazi için değişik boy ve konfigürasyonlar mevcuttur. Arazi tipleri için yükseklik/çap oranı (H/D)=2, Lab.tipleri için (H/D)=1 dir. Sadece Lab. örneği görülür.	Yumuşak killerden katı killere
5	Standart penetrasyon deneyi (SPT)	Arazi	Standart bir "ayrık kaşık" 0.76 m'den düşen 63.5 kg'lık bir çekiç ile zemine sürülür. Numune alıcıyı zemine 30 cm çakmak için gerekli darbe sayısına standart penetrasyon direnci veya darbe sayısı, N denir. Örselenmiş numuneler alınır.	Granüle zeminler
6	Konik penetrasyon deneyi (CPT)	Arazi	Kesit alanı 10 cm^2 olan 69° açık bir konik prob zemine dakikada 1-2 m hızla sürülür. Uçdaki direnç q_c ve yan yüzeydeki sürtünme f_s ya mekanik veya elektrik olarak kaydedilir.	Çok kaba taneli zeminler hariç tüm zeminler

Çizelge 7.2 (Devam) C_u 'yı tanımlamada kullanılan laboratuvar ve arazi deneyleri

7	Presiyometre (PMT)	Arazi	Silindrik bir prob sondaj kuyusuna yerleştirilir. Kuyu çeperine giderek artan yatay basınç uygulanır.	Tüm zeminler
8	Burgulu plaka kompresometresi (SPC)	Arazi	Plaka arzu edilen deliğe burgulanır. Hidrolik basınç artan şekilde uygulanır. Ve oturma kaydedilir. Zeminin taşıma kapasitesine ulaşılan kadar devam edilir.	Çok kaba taneli zeminler hariç tüm zeminler
9	Lowa kuyu kesme deneyi (BST)	Arazi	Alet kuyu içine indirilir ve kuyu çeperine karşı şişirilir. Sonra, tük ekipman yukarı doğru çekilirken maksimum yük ölçülür. Aşamalı deney sonuçları CD deneylerinin Mohr diyagramını çizmek için kullanılır. Şişirme aralığı 30-100kPa arasındadır.	(siltli) Lös zeminler

7.4.2 Rölatif Sıkılığın Laboratuvar ve Arazide Tayini

Temel özelliklerin hepsi, deneysel olarak belirlenemezler. Bazıları belirlenir, diğerleri bunlar cinsinden hesaplanırlar. Bunlardan birisi de “rölatif sıkılık”. Taneli bir zeminin rölatif sıkılığını belirlemek için, o zemine ait bir tür sabitler olan, minimum ve maksimum boşluk oranlarının belirlenmesi gerekir.

- Maksimum boşluk oranının (e_{max}) belirlenmesi.

Bilindiği üzere e_{max} , taneli zeminin en gevşek durumundaki boşluk oranıdır. En gevşek durumda, zemin minimum kuru birim hacim ağırlığa (γ_{kmin}) sahiptir. e_{max} 'ı belirlemek için kullanılan yöntemlerden birisi şudur. Ağırlığı belli (0.5-1

kg) bir miktar kuru kum, 1 litrelik hacim bölümlü cam silindire konulur. Elin içi ile üstü iyice kapatılarak, silindir iki el arasında yavaşça birkaç kez alt-üst edilir. En sonunda silindir yavaşça ve sarsmadan normal konumuna getirilerek, kumun hacmi okunur. Bu işlem ile kumun en gevşek duruma geldiği deneysel çalışmalarla bulunmuştur (Kolbuszewski, 1948). Zeminin tane birim hacim ağırlığı bilinirse bağıntı 9.4'den e_{max} hesaplanır.

$$e_{max} = \gamma_s / (\gamma_{kmin} - 1) \quad (7.4)$$

- Minimum boşluk oranının belirlenmesi

Kuru kum, yakalı bir metal silindire tabaka tabaka konulup, tokmakla sıkıştırılarak veya titreşim, sarsma uygulanarak yerleştirilir. Bu ve benzeri işlemlerle, kuru taneli zeminin en sıkı duruma kelimesi sağlanır. Yaka çakılarak, kabın üzeri düzlenir. Bilinen ağırlık ve hacim değerlerinden maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) hesaplanır. Zeminin tane birim hacim ağırlığı bilinirse bağıntı 7.5'den e_{min} hesaplanır.

$$e_{min} = \gamma_s / (\gamma_{kmax} - 1) \quad (7.5)$$

Bu değerler deneysel olarak hesaplandıktan sonra bulunması istediğimiz “rölatif sıkılık” şu bağıntılarla hesaplanabilir.

$$D_r = (e_{max} - e) / (e_{max} - e_{min}), \quad e = (\gamma_s / \gamma_k) - 1 \quad (7.6)$$

$$D_r = \gamma_{kmax} / \gamma_k \left[(\gamma_k - \gamma_{kmax}) / (\gamma_{kmax} - \gamma_{kmin}) \right] \quad (7.7)$$

$$D_r = \left[(n_{max} - n) / (n_{max} - n_{min}) \right] \times \left[(1 - n_{min}) / (1 - n) \right] \quad (7.8)$$

n_{max} - maksimum porozite

n_{min} - minimum porozite

7.5 Kohezyonlu Zeminlerde C_u 'nun Değişimi

Kohezyonlu zeminlerde drenajsız kayma mukavemetinin değişimi bir çok parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Granüler zeminlerde zemin ile kazık arasında fiziksel sürtünme, killi zeminlerde ise adhezyon hareketlenmesi nedeniyle çevre sürtünmesi oluşur. Bu direnç birim alanda oluşan direncin kazığın çevre yüzeyi ile çarpılması sonucu bir toplam taşıma gücü değerine ulaşır. Bu direnç genelde kilin drenajsız kayma mukavemetine, efektif düşey gerilme, kazık kesidinin şekli, kazık uzunluğu, kazık malzemesi gibi etkenlerin bir fonksiyonudur. Killi zeminlerde yüzeysel sürtünme rolü, adhezyon tarafından üstlenilmektedir. Çevre zemini ile kazık çeperi arasındaki çevre sürtünmesinden doğan bu taşıma gücü bileşeni; kazığın içinde bulunduğu her tabakanın çevre sürtünmesi ayrı ayrı hesaplanıp toplanmak suretiyle bulunur. Bu anlatım, aşağıdaki ifade ile tanımlanabilir: [3]

$$Q_f = \sum \pi d \Delta L_i \alpha_i c_i \quad (7.9)$$

Burda;

ΔL_i - Kazığın değişik zemin tabakaları içindeki uzunluğu

d – Kazık çapı

α_i – Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının adhezyon katsayısı

c_i - Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının drenajsız kayma mukavemetini göstermektedir.

Adhezyon katsayısı α_i aşağıda görüleceği gibi çoğu kez drenajsız kayma mukavemetinin bir fonksiyonu olmaktadır.

$$f_{si} = \alpha_i c_{ui} \quad (7.10)$$

Adhezyon katsayısı kohezyonun (c_{ui}) ; $25 < c_{ui} < 90$ (kN/m²) sınırları içinde kalan değerler için aşağıdaki ifade ile hesaplanır:

$$\alpha_i = 1 - 0.00615(c_{ui} - 25) \quad (7.11)$$

Kohezyonun sınır değeri üstündeki; ($c_{ui} > 90 \text{ kN/m}^2$) değerleri için aşağıdaki Çizelge 7.3'de bulunan adhezyon katsayıları kullanılabilir.

Çizelge 7.3 Drenajsız kayma mukavemeti ve adhezyon katsayısı ilişkisi [3]

$C_u \text{ (kN/m}^2\text{)}$	α
90	0.60
100	0.58
150	0.42
200	0.35

Görüldüğü gibi drenajsız kayma mukavemeti birçok parametrelerden (kazık uzunluğu, kazık çapı ve adhezyon faktörüne) bağlı olarak değişmektedir. Bu parametrelerin hepsi kazıkların oturma problemlerinde çok büyük etkileri vardır.

7.6 Kohezyonsuz Zeminlerde D_r 'nin Değişimi

Kohezyonsuz zeminlerde de kohezyonlu zeminlerde olduğu gibi önemli bir parametre olan Rölatif Sıkılık da belli başlı parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Kazık yapımı esnasında dikkat edilmesi gereken bir husus da zeminin birim çevre sürtünmesidir. Kohezyonsuz zeminlerde bu değer hesaplanması sırasında göz önünde tutulması gereken bazı özellikler vardır:

1. Kazık yapım yöntemi: Çakma kazıklarda zemin sıkışacağından içsel sürtünme açısının değeri artar.
2. (f_i) değeri kritik bir L derinliğine kadar doğrusal şekilde artar ve bu derinlikten sonra sabit kalır. Bu L- kazık boyu , d- kazık çapı olmak üzere aşağıdaki gibi alınabilir.

L = Gevşek kumlar için 10d

L = Orta sıkılıktaki kumlar için 15d

L = Sıkı kumlar için 20d.

3. Eşdeğer derinliklerde fore kazıkların çevresinde, çakma kazıklara nazaran daha düşük sürtünme değerleri oluşur.

Bu özellikler dikkate alınarak birim çevre sürtünmesi için derinlik (z) boyunca aşağıdaki hesap kriterleri verilebilir.

$$L' > z > 0 \quad \text{için} \quad f_i = K_i \sigma_{vi} \tan \delta_i \quad (7.12)$$

$$L > z > L' \quad \text{için} \quad f_i = (f_i)_{z=1} \quad (7.13)$$

Burada :

K_i = Zemin tabakasının efektif yanal toprak basıncı katsayısı

σ_{vi} = Zemin tabakasında efektif düşey gerilme

δ_i = Zemin tabakasında kazık-zemin arası sürtünme açısıdır.

Zemin tabakasının efektif yanal toprak basıncı katsayısı değeri kazık imal tarzına göre Çizelge 7.4'de verilmiştir.

Çizelge 7.4 Kazık tipine göre K değeri

Kazık tipi	K
Fore kazıklar	$K_0 = 1 - \sin \phi$
Az deplasman yapan çakma kazıklar	K_0 ile $1.4 K_0$
Yüksek deplasman yapan çakma kazıklar	K_0 ile $1.8 K_0$

Yüksek deplasman yapan kazıklar için ayrıca aşağıdaki formüller önerilmektedir:

$$K \tan \delta = 0.18 + 0.0065 D_r \quad (7.14)$$

$$K = 0.5 + 0.008 D_r \quad (7.15)$$

Burada D_r , Rölatif Sıkılık derecesidir (%)

Rölatif sıklık veya boşluk oranı, tane şekli, tane boyu dağılımı ve tane boyutunun ϕ üzerindeki etkileri Casagrande tarafından Çizelge 7.5’de özetlenmiştir. Bu tablodaki değerler, doymun kumlar üzerinde orta derecede hücre basınçlarının uygulandığı üç eksenli basınç deneylerinden tanımlanmıştır. Genel olarak, diğer tüm faktörler sabit iken tane şeklinin köşelileşmesi ile ϕ artmaktadır. İki kum örneğinin aynı rölatif sıklığa sahip olması durumunda daha iyi derecelenmiş olanın (mesela bir SP zeminin zıddı olarak SW zemin) ϕ açısı daha büyüktür (aynı boşluk oranındaki iki kum aynı rölatif sıklığa sahip olmayabilir). Sabit boşluk oranındaki tane boyutunun ϕ üzerinde önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle, aynı boşluk oranındaki kaba bir kum ile ince bir kumun ϕ açıları yaklaşık aynı olacaktır. [4]

Çizelge 7.5 Kohezyonsuz zeminler için efektif içsel sürtünme açıları.[4]

No.	Genel tanımlama	Tane şekli	$D_{10}(\text{mm})$	C_u	Gevşek		Sıkı	
					e	ϕ	e	ϕ
1	Ottava standart kum	İyi yuvarlaklaşmış	0.56	1.2	0.7	28	0.53	35
2	St.Peter kumtaşından alınan kım	yuvarlaklaşmış	0.16	1.7	0.69	31	0.47	37
3	Franklin Falls Baraj yerinden (NH)siltli kum	Yarı yuvarlaklaşmış	0.03	2.1	0.85	33	0.65	37
4	Elenmiş buzul kumu Manchester, (NH)	Yarı köşeli	0.22	1.4	0.85	33	0.60	43
5	İyi derecelenmiş çakıl	Yarı köşeli-yarı yuvarlaklaşmış	0.16	68	0.41	42	0.12	57
6	İyi derecelenmiş, sıkıştırılmış kırma taş	Köşeli	-	-	-	-	0.18	60

8. REFERANSA GÖRE SEÇİLEN ARALIK PARAMETRELERİ ÜZERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada yumuşak ve sert killi zeminlerde tek kazığın oturma ve kazık ucunda oluşan efektif gerilmeleri sonlu elemanlar modeline dayanan PLAXİS bilgisayar programıyla çözülmüştür. Kohezyonlu zeminler için alınan zemin loglarında drenajsız kayma mukavemeti, adhezyon faktörü, kazık boyu ve kazık çapı arasında bir ilişki kurulmuştur. Bu parametrelere bağlı olarak yumuşak ve sert killi zeminlerde farklı çaplarda, farklı boylarda ve farklı drenajsız kayma mukavemetlerde oturma ve kazık ucunda oluşan efektif gerilmeler incelenmiştir. Bu çalışmada tek kazık üzerine gelen yük 500 kN/m^2 olarak alınmıştır. Tek bir kazığın oturma ve kazık ucunda oluşan efektif gerime değerleri ve grafikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 8.1. Yumuşak killi zeminlerde farklı C_u değerleri için oturma ve kazık ucunda oluşan gerilme değerleri

L=10B, B=0.6m					
$C_u(kN/m^2)$	Adhezyon faktörü	Yük (kN)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m^2)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m^2)
50	0.4	500	65.05×10^{-3}	-86.72	-302.77
100	0.3	500	51.67×10^{-3}	-89.42	-312.02
150	0.25	500	44.63×10^{-3}	-92.12	-322.05
200	0.2	500	39.34×10^{-3}	-95.22	-331.09
L=10B, B=0.8m					
$C_u(kN/m^2)$	Adhezyon faktörü	Yük (kN)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m^2)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m^2)
50	0.4	500	49.77×10^{-3}	-107.66	-302.82
100	0.3	500	40.77×10^{-3}	-111.28	-312.01
150	0.25	500	35.21×10^{-3}	-114.88	-322.08
200	0.2	500	31.05×10^{-3}	-118.49	-331.14
L=10B, B=1.0m					
$C_u(kN/m^2)$	Adhezyon faktörü	Yük (kN)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m^2)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m^2)
50	0.4	500	41.19×10^{-3}	-150.78	-303.54
100	0.3	500	34.60×10^{-3}	-156.00	-313.68
150	0.25	500	29.89×10^{-3}	-160.90	-323.71
200	0.2	500	24.35×10^{-3}	-166.10	-332.74

Çizelge 8.1. (Devam) Yumuşak killi zeminlerde farklı C_u değerleri için oturma ve gerilme değerleri

L=20B, B=0.6m					
$C_u(kN/m^2)$	Adhezyon faktörü	Yük (kN)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m^2)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m^2)
50	0.75	500	37.64×10^{-3}	-179.234	-375.81
100	0.675	500	31.93×10^{-3}	-182.25	-385.91
150	0.6	500	26.61×10^{-3}	-185.63	-395.93
200	0.55	500	21.37×10^{-3}	-189.02	-405.97
L=20B, B=0.8m					
$C_u(kN/m^2)$	Adhezyon faktörü	Yük (kN)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m^2)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m^2)
50	0.75	500	28.92×10^{-3}	-237.86	-378.10
100	0.675	500	23.57×10^{-3}	-240.74	-388.21
150	0.6	500	18.24×10^{-3}	-243.06	-398.26
200	0.55	500	13.75×10^{-3}	-247.02	-408.28
L=20B, B=1.0m					
$C_u(kN/m^2)$	Adhezyon faktörü	Yük (kN)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m^2)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m^2)
50	0.75	500	21.83×10^{-3}	-295.85	-379.5
100	0.675	500	17.51×10^{-3}	-298.77	-389.68
150	0.6	500	13.01×10^{-3}	-302.01	-399.70
200	0.55	500	8.14×10^{-3}	-305.24	-409.74

Çizelge 3.2. Yumuşak killi zeminlerde farklı C_u ve B değerleri için oturma ve Kazık ucunda oluşan efektif gerilme değerleri

L=10B (Uygulanan Yük 500 kN/m ²)					
C_u (kN/m ²)	Adhezyon faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m ²)
50	0.4	60	65.05x10 ⁻³	-86.72	-302.77
	0.4	80	49.77x10 ⁻³	-107.66	-302.82
	0.4	100	41.19x10 ⁻³	-150.78	-303.54
C_u (kN/m ²)	Adhezyon faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m ²)
100	0.3	60	51.67x10 ⁻³	-89.42	-312.02
	0.3	80	40.77x10 ⁻³	-111.28	-312.01
	0.3	100	34.60x10 ⁻³	-156.00	-313.68
C_u (kN/m ²)	Adhezyon faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m ²)
150	0.25	60	44.63x10 ⁻³	-92.12	-322.05
	0.25	80	35.21x10 ⁻³	-114.88	-322.08
	0.25	100	29.89x10 ⁻³	-160.90	-323.71
C_u (kN/m ²)	Adhezyon faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m ²)
200	0.2	60	39.34x10 ⁻³	-95.22	-331.09
	0.2	80	31.05x10 ⁻³	-118.49	-332.14
	0.2	100	24.35x10 ⁻³	-166.10	-332.74

Çizelge 8.2. (Devam) Yumuşak killi zeminlerde farklı C_u ve B değerleri için oturma ve kazık ucunda oluşan efektif gerilme değerleri

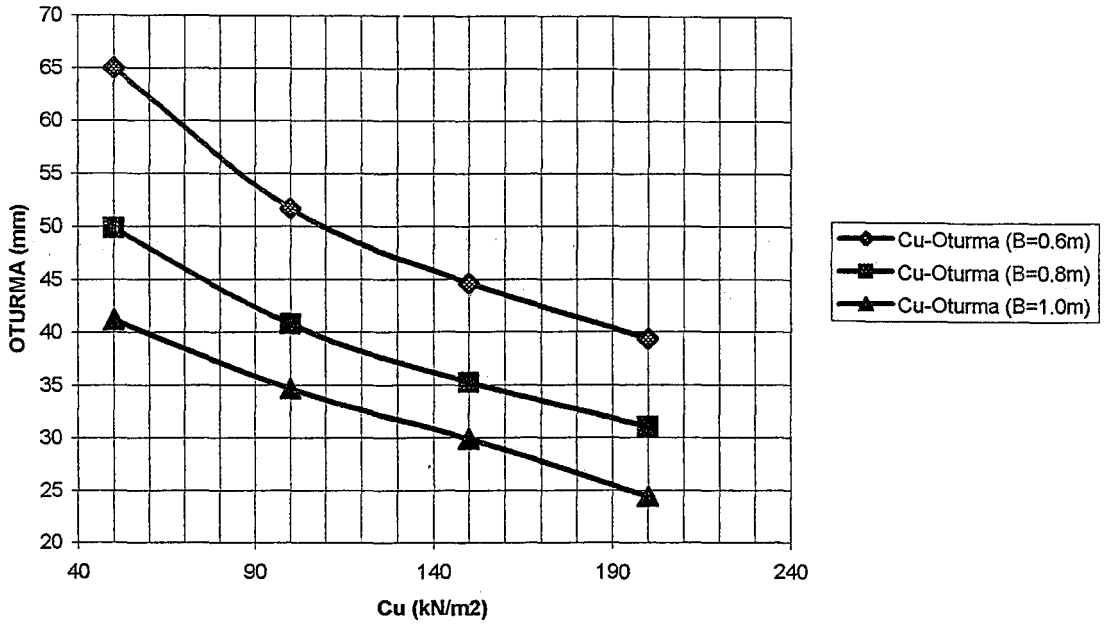
L=20B (Uygulanan Yük 500 kN/m ²)					
C_u (kN/m ²)	Adhezyon faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşangerilme (kN/m ²)
50	0.75	60	37.64×10^{-3}	-179.234	-375.81
	0.75	80	28.92×10^{-3}	-237.86	-378.10
	0.75	100	21.83×10^{-3}	-295.85	-379.5
C_u (kN/m ²)	Adhezyon faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşangerilme (kN/m ²)
100	0.675	60	31.93×10^{-3}	-182.25	-385.91
	0.675	80	23.57×10^{-3}	-240.74	-388.21
	0.675	100	17.51×10^{-3}	-298.77	-389.68
C_u (kN/m ²)	Adhezyon Faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşangerilme (kN/m ²)
150	0.6	60	26.61×10^{-3}	-185.63	-395.93
	0.6	80	18.24×10^{-3}	-243.06	-398.26
	0.6	100	13.01×10^{-3}	-302.01	-399.70
C_u (kN/m ²)	Adhezyon faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşangerilme (kN/m ²)
200	0.55	60	21.37×10^{-3}	-189.02	-405.97
	0.55	80	13.75×10^{-3}	-247.02	-408.28
	0.55	100	8.14×10^{-3}	-305.24	-409.74

Çizelge 8.3. Sert killi zeminlerde farklı C_u ve B değerleri için oturma ve ve kazık ucunda oluşan efektif gerilme değerleri

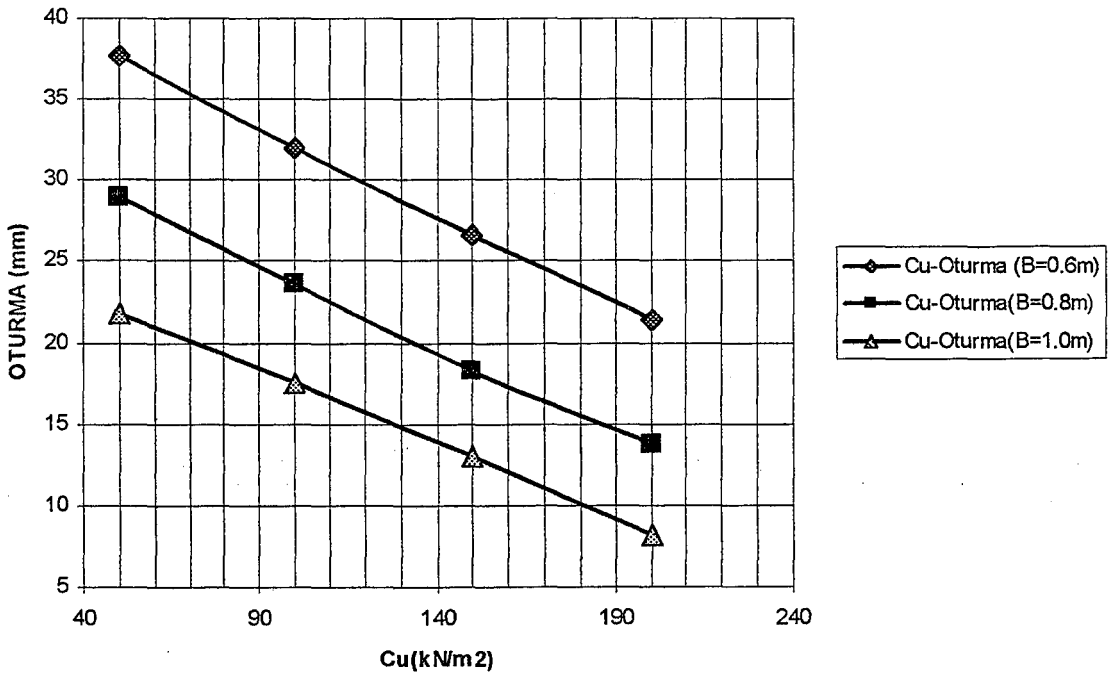
L=10B (Uygulanan Yük 500 kN/m ²)					
C_u (kN/m ²)	Adhezyon faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşangerilme (kN/m ²)
50	0.925	60	30.79x10 ⁻³	-109.17	-381.65
	0.925	80	24.90x10 ⁻³	-148.96	-381.84
	0.925	100	20.67x10 ⁻³	-190.73	-382.51
C_u (kN/m ²)	Adhezyon faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşangerilme (kN/m ²)
100	0.675	60	24.68x10 ⁻³	-111.21	-388.91
	0.675	80	20.42x10 ⁻³	-151.63	-389.08
	0.675	100	17.39x10 ⁻³	-193.61	-389.70
C_u (kN/m ²)	Adhezyon faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşangerilme (kN/m ²)
150	0.275	60	21.33x10 ⁻³	-114.35	-397.94
	0.275	80	17.65x10 ⁻³	-154.22	-398.11
	0.275	100	15.03x10 ⁻³	-196.77	-399.73
C_u (kN/m ²)	Adhezyon faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşangerilme (kN/m ²)
200	0.2	60	18.37x10 ⁻³	-118.00	-408.97
	0.2	80	15.57x10 ⁻³	-158.01	-409.15
	0.2	100	13.17x10 ⁻³	-199.23	-409.73

Çizelge 8.3. (Devam) Sert killi zeminlerde farklı C_u ve B değerleri için oturma ve kazık ucunda oluşan efektif gerilme değerleri

L=40B (Uygulanan Yük 500 kN/m ²)					
C_u (kN/m ²)	Adhezyon faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşangerilme (kN/m ²)
100	0.875	60	17.68x10 ⁻³	-451.21	-944.80
	0.875	80	13.03x10 ⁻³	-603.48	-947.11
	0.875	100	10.23x10 ⁻³	-755.72	-948.81
C_u (kN/m ²)	Adhezyon Faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşangerilme (kN/m ²)
150	0.45	60	14.67x10 ⁻³	-454.33	-970.85
	0.45	80	10.15x10 ⁻³	-606.21	-971.16
	0.45	100	8.78x10 ⁻³	-758.23	-972.89
C_u (kN/m ²)	Adhezyon faktörü	Kazık çapı (B) (cm)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
			Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşangerilme (kN/m ²)
200	0.275	60	11.30x10 ⁻³	-457.00	-996.87
	0.275	80	8.07x10 ⁻³	-609.04	-997.18
	0.275	100	6.27x10 ⁻³	-761.43	-998.93

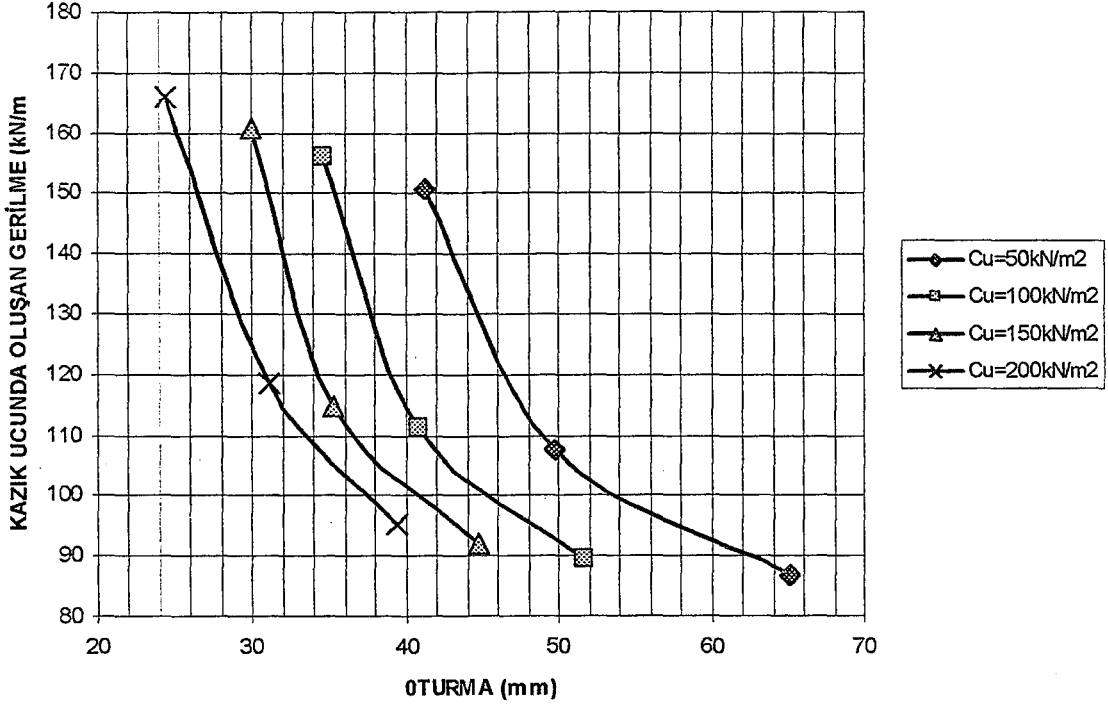


Şekil 8.1. Yumuşak killi zeminlerde drenajsız kayma mukavemeti-oturma grafiği ($L=10B$)

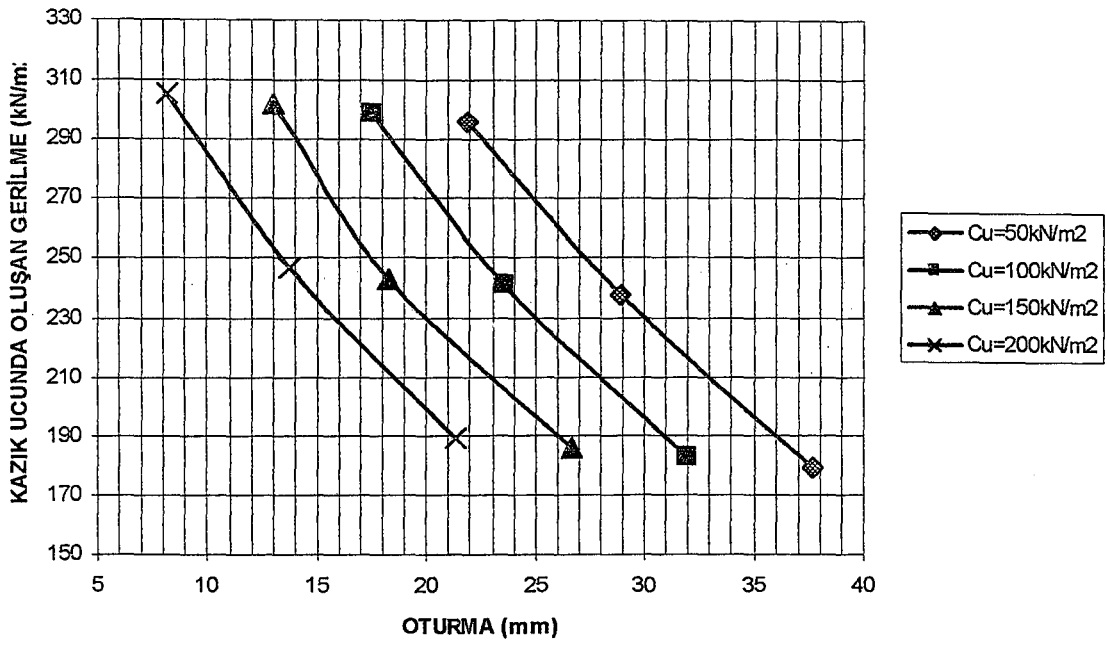


Şekil 8.2. Yumuşak killi zeminlerde drenajsız kayma mukavemeti-oturma grafiği ($L=20B$)

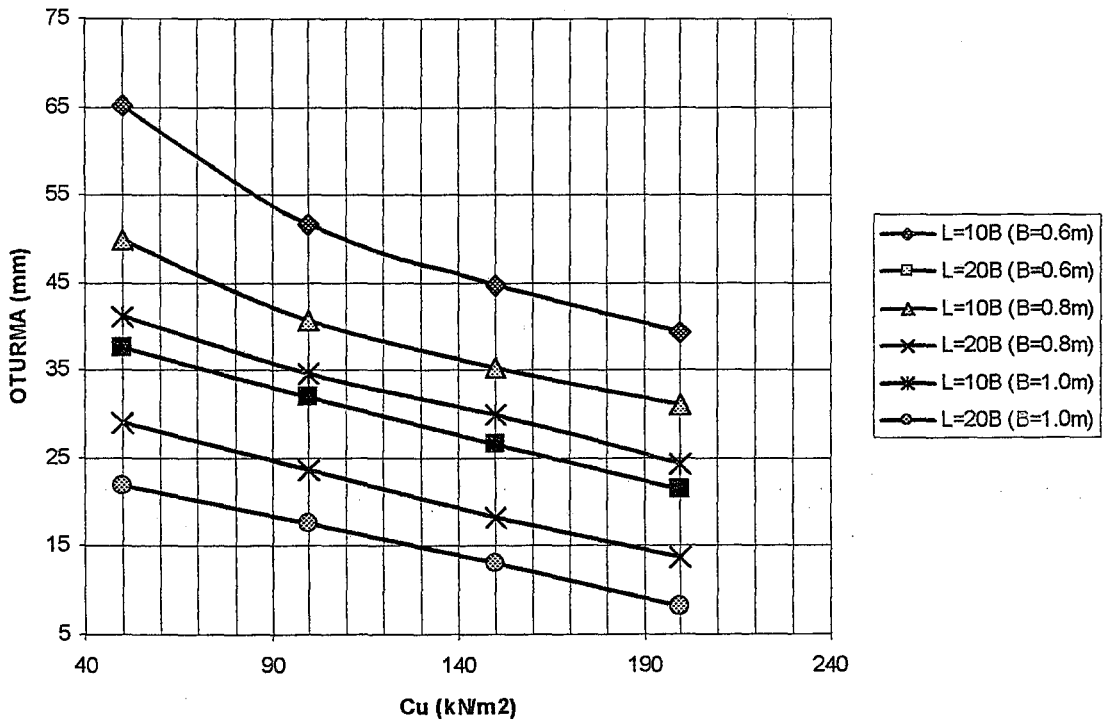
Çalışma esnasında , PLAXİS programında oluşturulan zemin profilleri (PLAXİS’de çalışma alanı olarak adlandırılır) aynı olsa da kazık ve zemin özelliklerine bağlı olarak kazık ucunda oluşan efektif gerilmeler farklıdır.



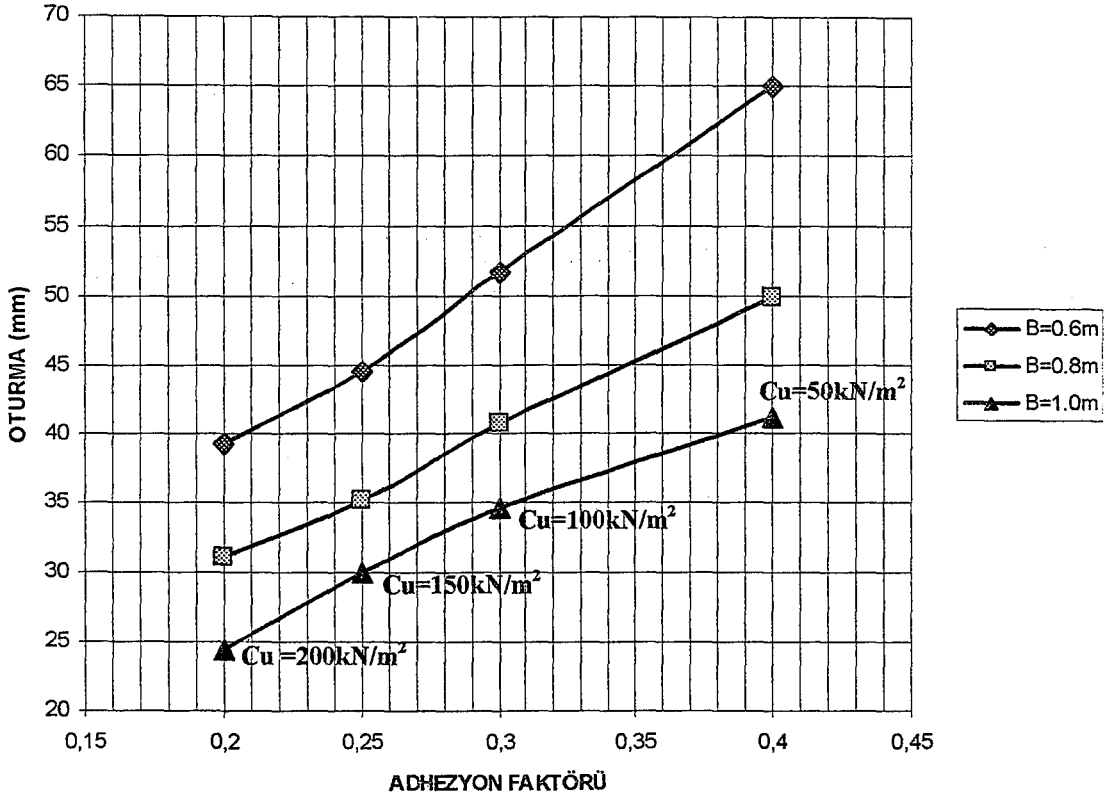
Şekil 8.3. Yumuşak killi zeminlerde farklı C_u değerleri için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği ($L=10B$)



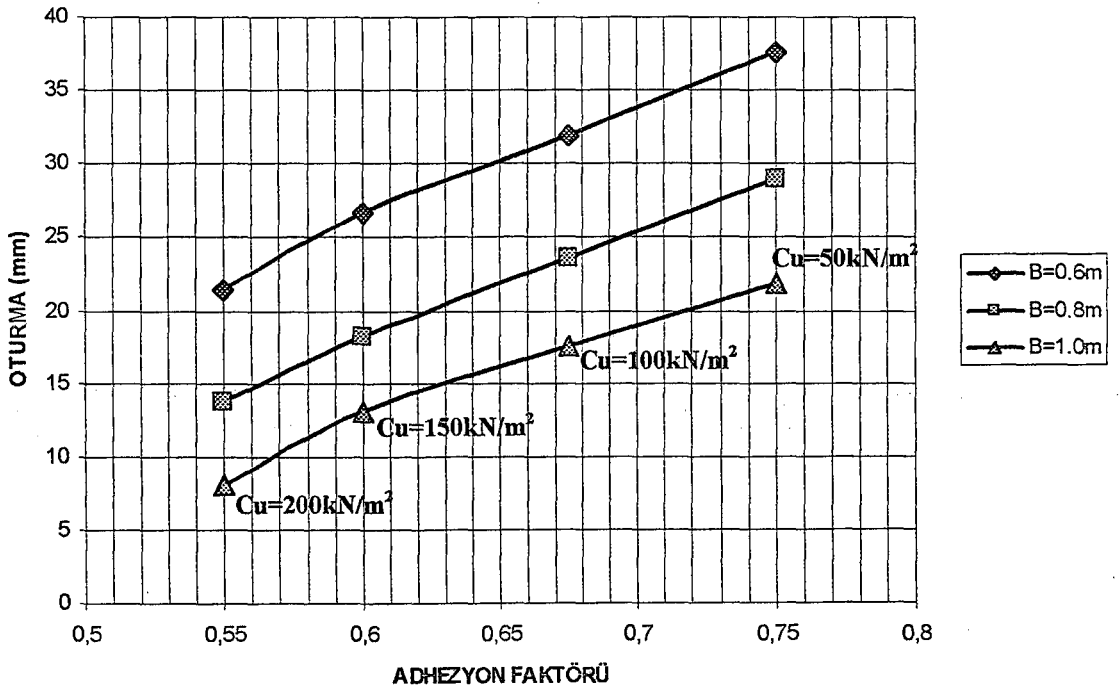
Şekil 8.4. Yumuşak killi zeminlerde farklı C_u değerleri için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği ($L=20B$)



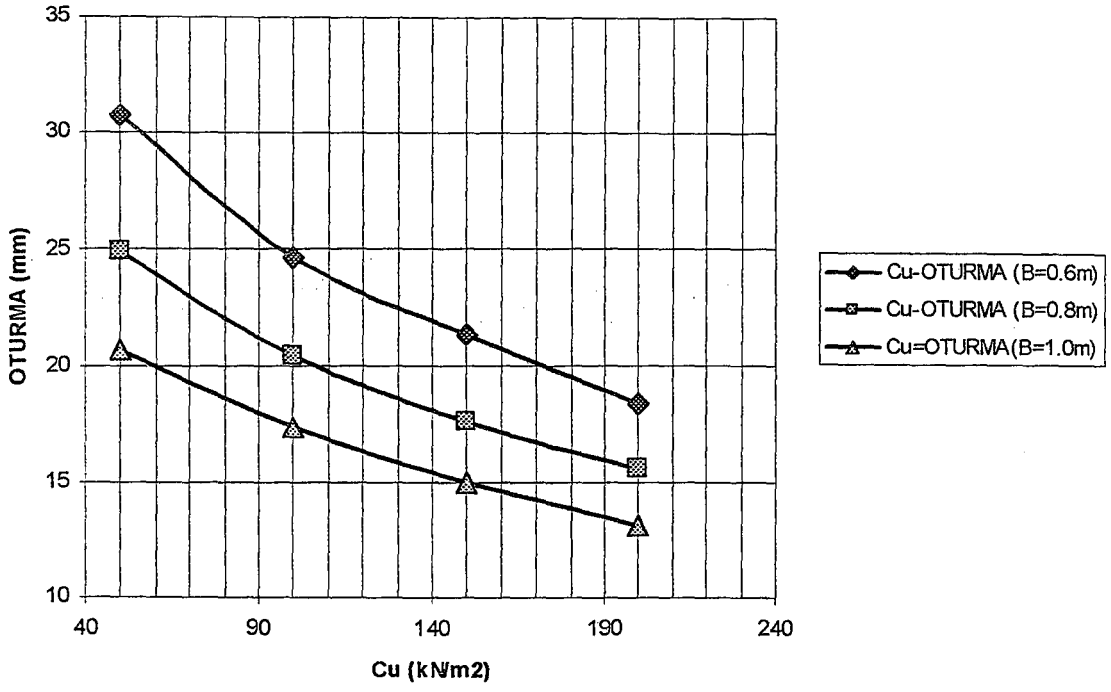
Şekil 8.5. Yumuşak killi zeminlerde uzunluğa ve kazık çapına bağlı olarak drenajsız kayma mukavemeti – oturma grafiği



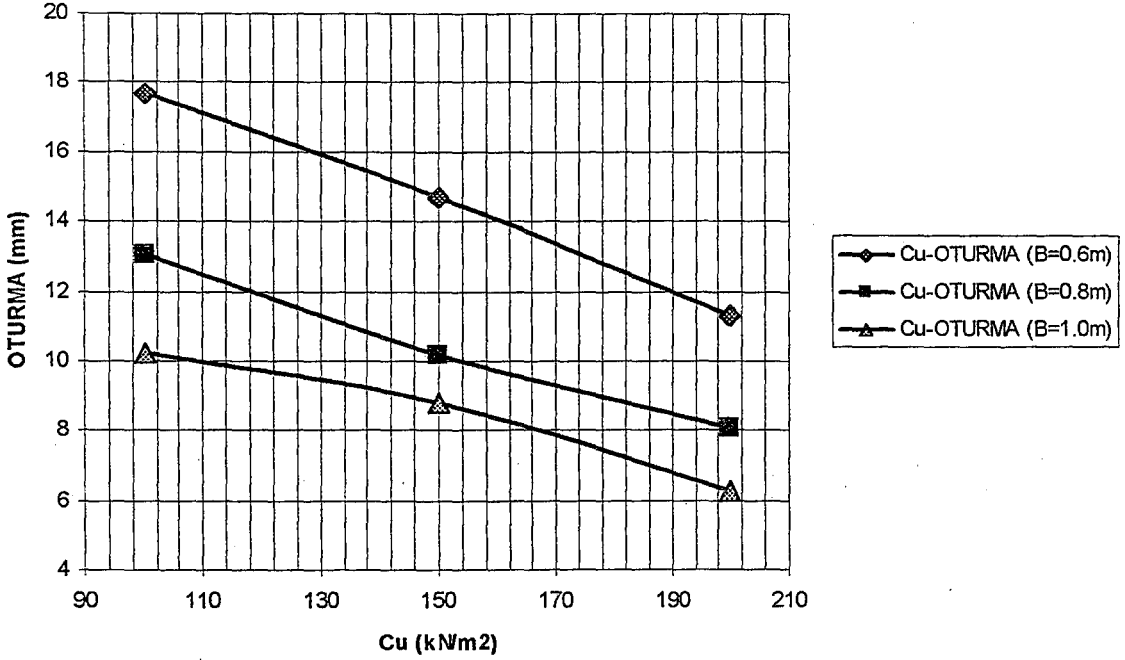
Şekil 8.6. Yumuşak killi zeminlerde adhezyon faktörü – oturma grafiği (L=10B)



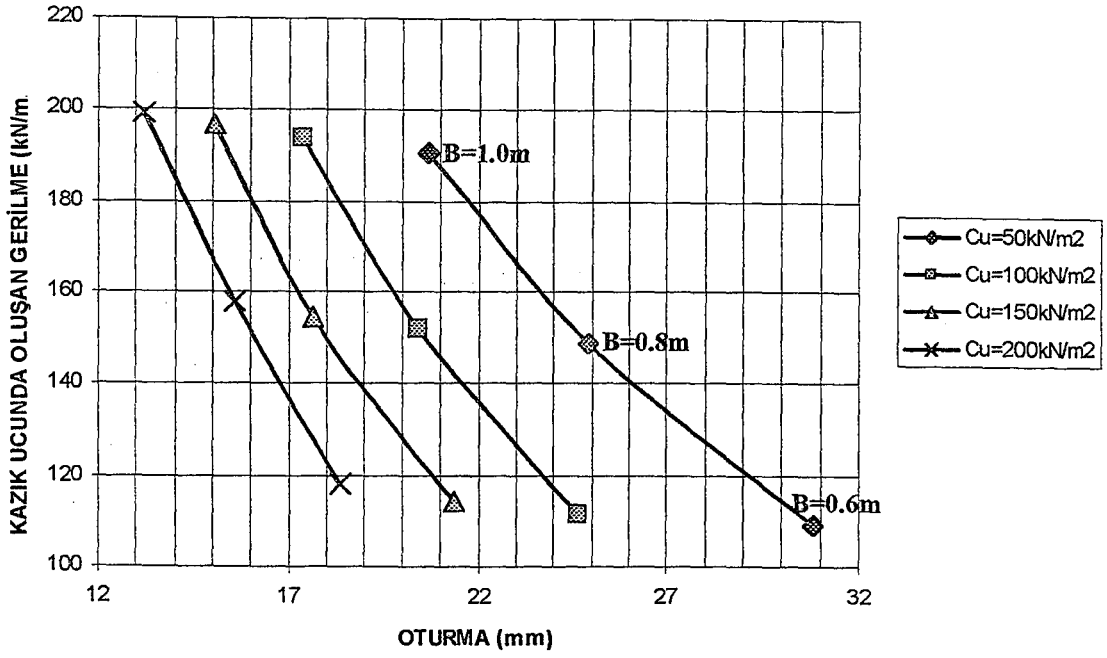
Şekil 8.7. Yumuşak killi zeminlerde adhezyon faktörü – oturma grafiği (L=20B)



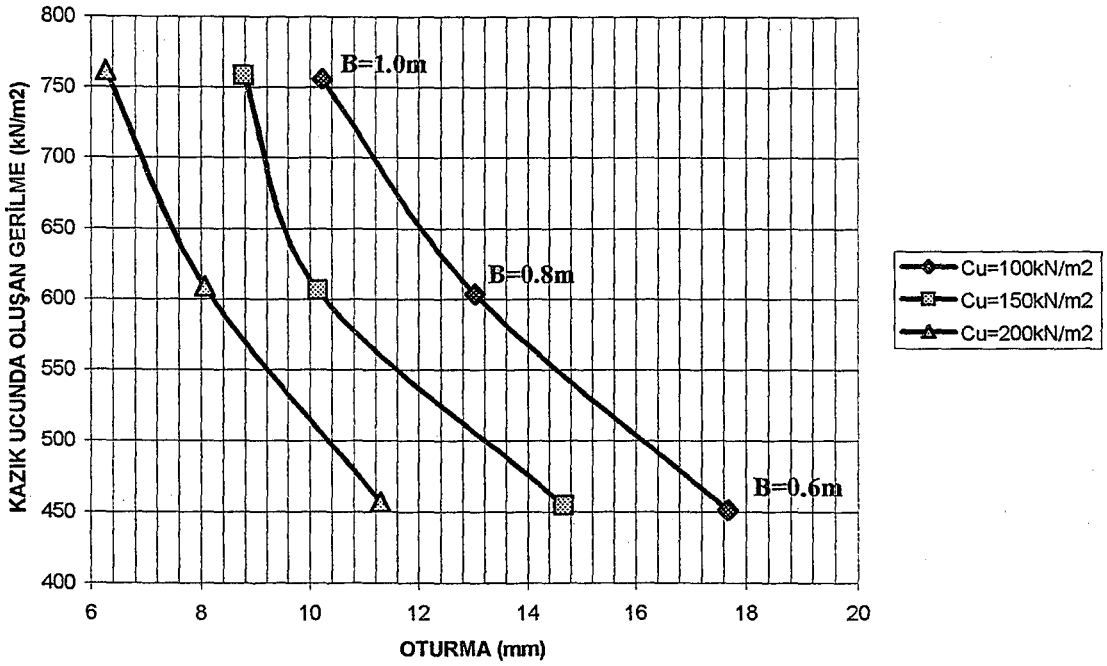
Şekil 8.8. Sert killi zeminlerde drenajsız kayma mukavemeti – oturma grafiği ($L=10B$)



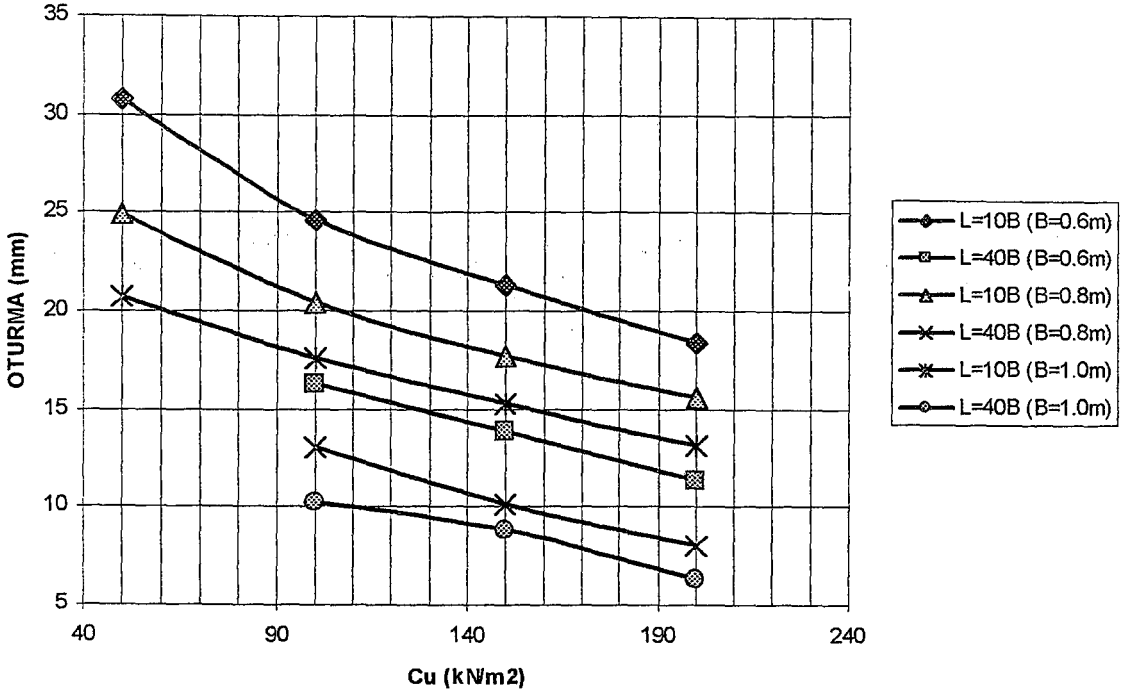
Şekil 8.9. Sert killi zeminlerde drenajsız kayma mukavemeti – oturma grafiği ($L=40B$)



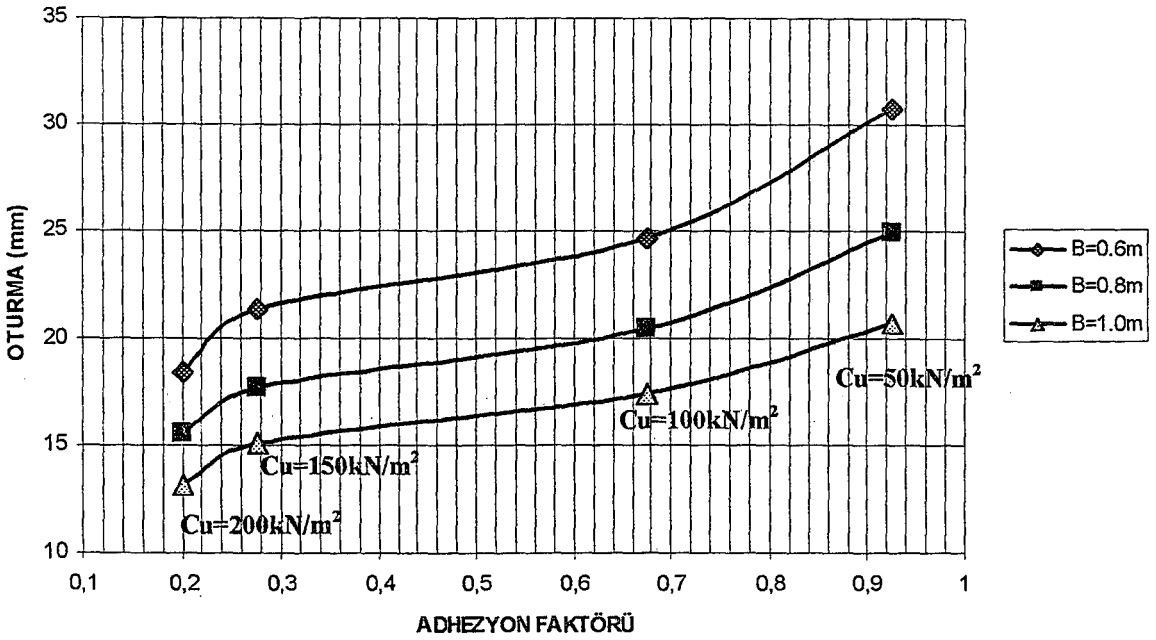
Şekil 8.10. Sert killi zeminlerde farklı Cu değerleri için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği ($L=10B$)



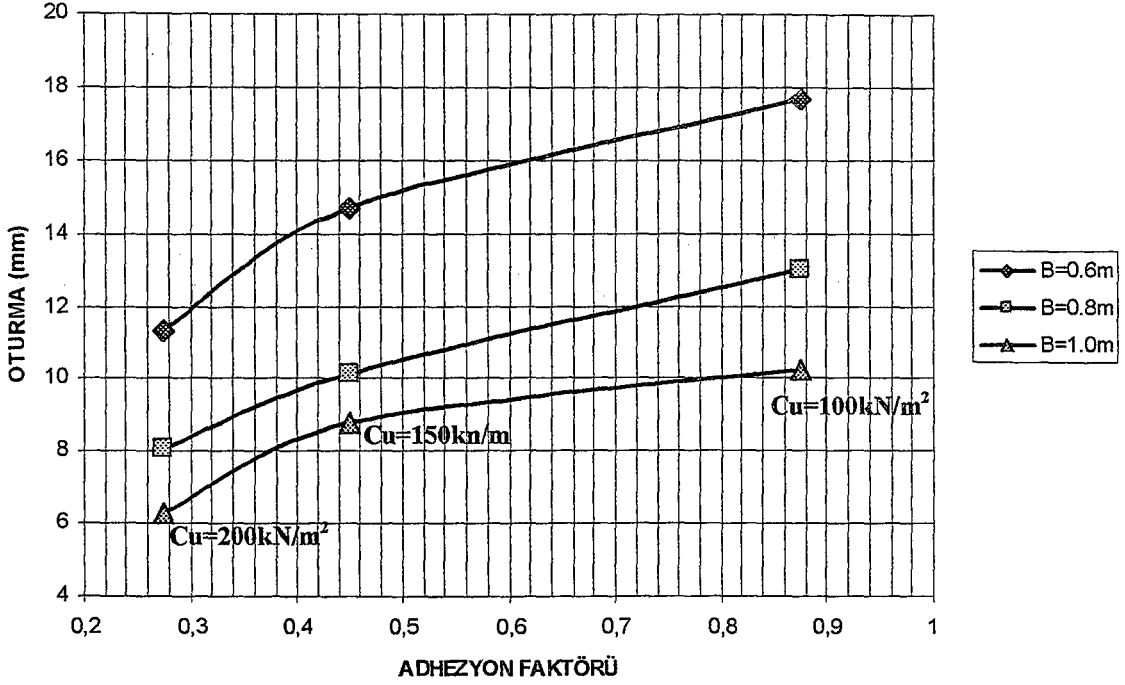
Şekil 8.11. Sert killi zeminlerde farklı Cu değerleri için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği ($L=40B$)



Şekil 8.12. Sert killi zeminlerde kazık uzunluğuna ve çapına bağlı olarak drenajsız kayma mukavemeti – oturma ilişkisi



Şekil 8.13. Sert killi zeminlerde adhezyon faktörü – oturma grafiği ($L=10B$)



Şekil 8.14. Sert killi zeminlerde adhezyon faktörü – oturma grafiği ($L=40B$)

Kohezyonlu zeminlerden sonra kohezyonsuz zeminlerde tek kazığın oturma ve kazık ucunda oluşan efektif gerilmeleri incelenmiştir. Bunda ise referans aldığımız logdan rölatif sıkılık, efektif içsel sürtünme açısı, kuru birim hacim ağırlık ve boşluk oranı arasındaki ilişkiden yararlanarak tek bir kazığın farklı zeminlerde oturma ve kazık ucunda oluşan efektif gerilmelerine bakılmıştır. Bu çalışmada kazık üzerine gelen yük de 500 kN/m^2 olarak alınmıştır. Çalışma ile ilgili değerler ve grafikler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 8.4. Kohezyonsuz zeminlerde farklı D_r değerleri için oturma ve gerilme değerleri

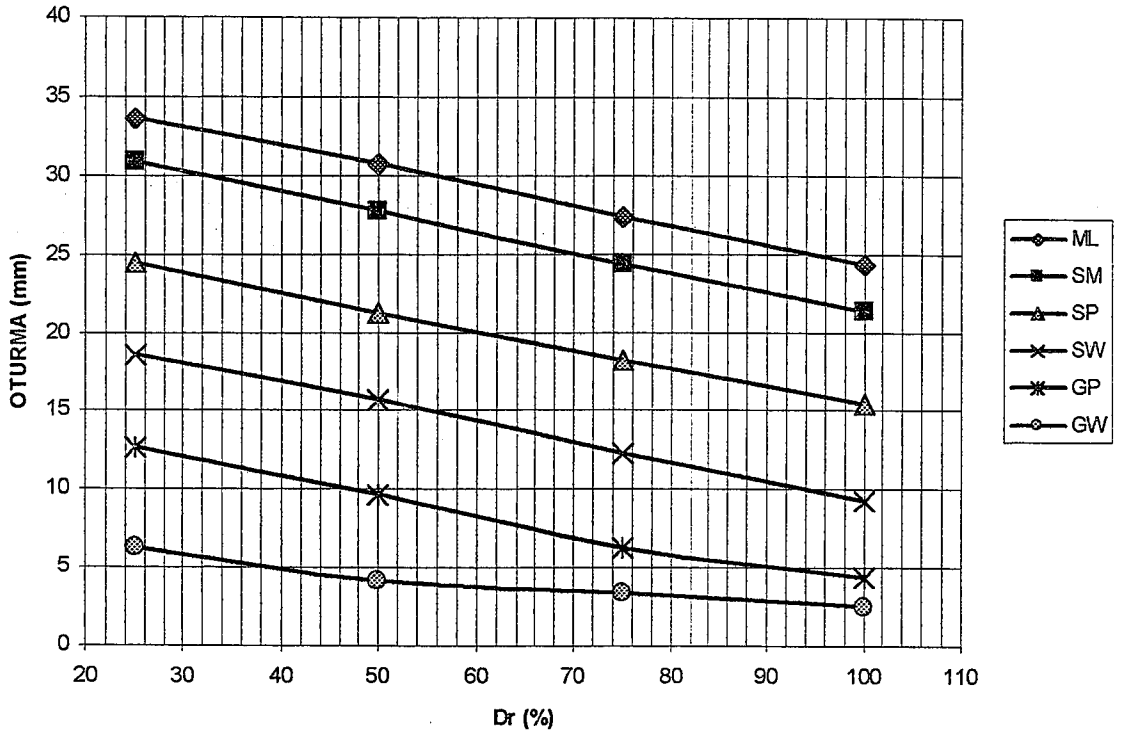
ML L=10m, B=1.0m (Uygulanan Yük- 500kN/m ²)						
$D_r(\%)$	Efektif içsel sürtünme açısı $\phi(^{\circ})$	Boşluk Oranı (e)	Kuru birim hacim ağırlık γ_k (kN/m ³)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
				Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m ²)
25	28	1.0	13.7	33.60×10^{-3}	-135.94	-272.68
50	31	0.9	14.3	30.68×10^{-3}	-141.33	-284.66
75	33	0.81	15	27.33×10^{-3}	-148.42	-298.07
100	35	0.73	15.8	24.37×10^{-3}	-156.03	-314.97
SM L=10m, B=1.0m (Uygulanan Yük- 500kN/m ²)						
$D_r(\%)$	Efektif içsel sürtünme açısı $\phi(^{\circ})$	Boşluk Oranı (e)	Kuru birim hacim ağırlık γ_k (kN/m ³)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla Çözüm		
				Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m ²)
25	29	0.82	15	30.90×10^{-3}	-148.23	-298.24
50	32	0.73	15.8	27.68×10^{-3}	-156.13	-314.61
75	35	0.65	16.7	24.33×10^{-3}	-165.42	-332.05
100	37	0.55	17.5	21.37×10^{-3}	-173.03	-348.27
SP L=10m, B=1.0m (Uygulanan Yük- 500kN/m ²)						
$D_r(\%)$	Efektif içsel sürtünme açısı $\phi(^{\circ})$	Boşluk Oranı (e)	Kuru birim hacim ağırlık γ_k (kN/m ³)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla Çözüm		
				Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m ²)
25	29.5	0.68	16.2	24.47×10^{-3}	-160.15	-322.91
50	33	0.6	17	21.16×10^{-3}	-168.78	-338.11
75	36	0.53	17.8	18.22×10^{-3}	-176.03	-354.21
100	39	0.45	18.7	15.37×10^{-3}	-185.66	-372.47

Çizelge 8.4. (Devam) Kohezyonsuz zeminlerde farklı D_r değerleri için oturma ve gerilme değerleri

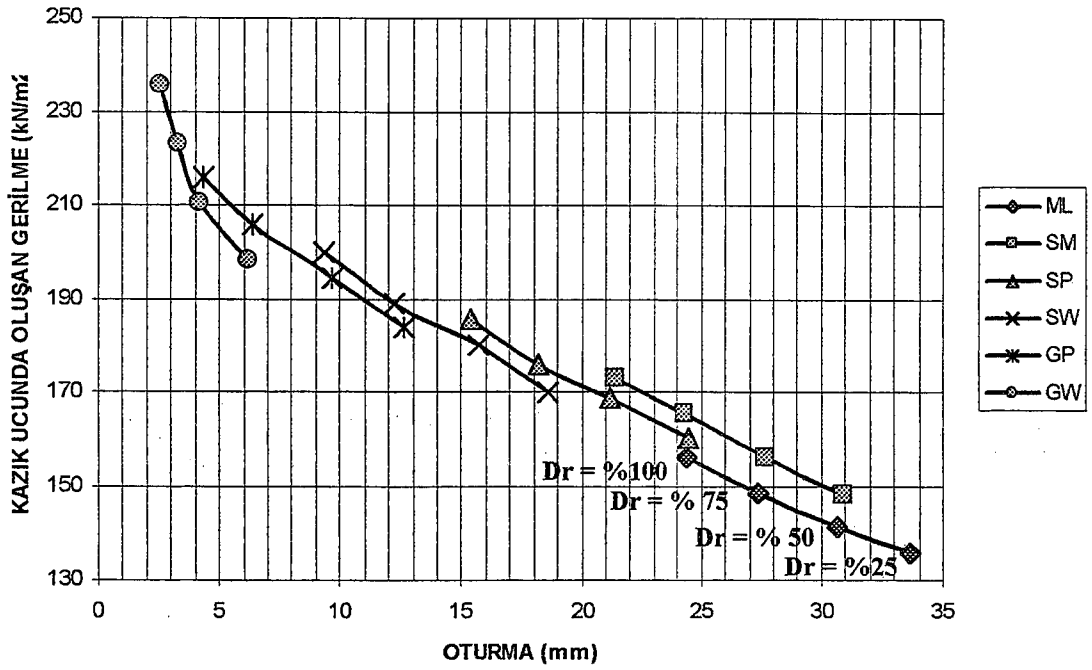
SW L=10m, B=1.0m (Uygulanan Yük- 500kN/m ²)						
$D_r(\%)$	Efektif içsel sürtünme açısı $\varphi(^{\circ})$	Boşluk Oranı (e)	Kuru birim hacim ağırlık γ_k (kN/m ³)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla Çözüm		
				Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m ²)
25	30.5	0.57	17.2	18.62x10 ⁻³	-170.17	-342.12
50	34	0.5	18.2	15.68x10 ⁻³	-180.19	-362.34
75	37	0.42	19.1	12.24x10 ⁻³	-189.001	-380.56
100	41	0.35	20.1	9.34x10 ⁻³	-199.78	-400.45

GP L=10m, B=1.0m (Uygulanan Yük- 500kN/m ²)						
$D_r(\%)$	Efektif içsel sürtünme açısı $\varphi(^{\circ})$	Boşluk Oranı (e)	Kuru birim hacim ağırlık γ_k (kN/m ³)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
				Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m ²)
25	31	0.47	18.5	12.61x10 ⁻³	-183.94	-368.54
50	35	0.38	19.6	9.68x10 ⁻³	-194.31	-390.78
75	38	0.32	20.7	6.33x10 ⁻³	-205.92	-412.44
100	42	0.26	21.8	4.37x10 ⁻³	-216.03	-434.77

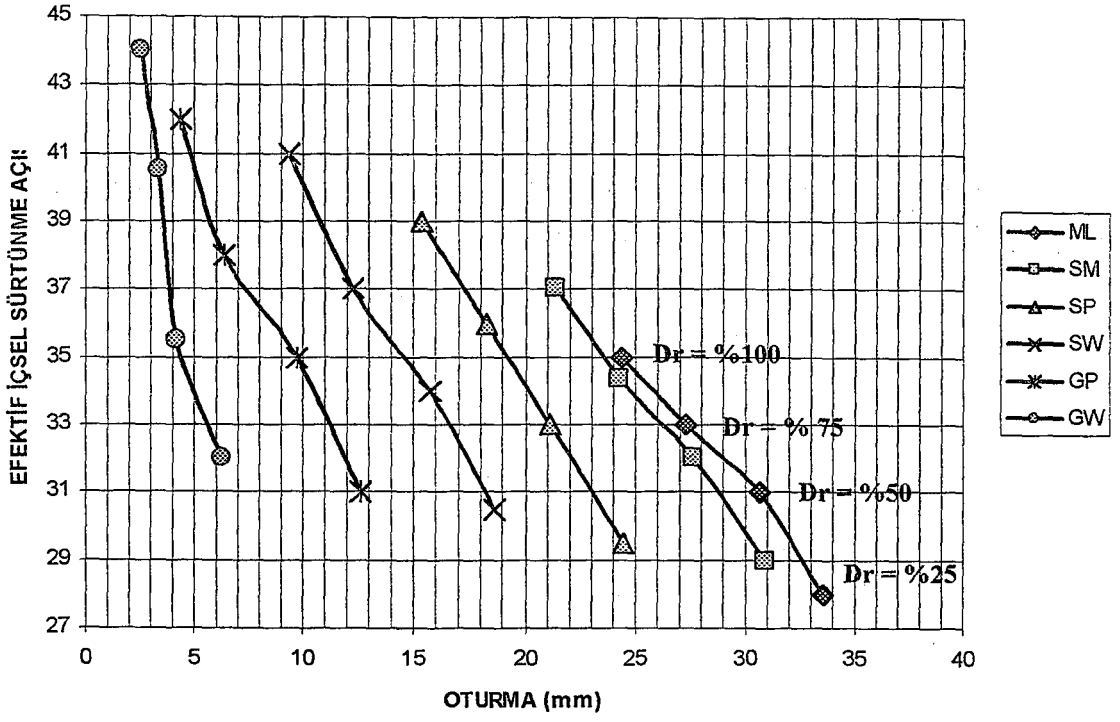
GW L=10m, B=1.0m (Uygulanan Yük- 500kN/m ²)						
$D_r(\%)$	Efektif içsel sürtünme açısı $\varphi(^{\circ})$	Boşluk Oranı (e)	Kuru birim hacim ağırlık γ_k (kN/m ³)	PLAXİS sonlu elemanlar metoduyla çözüm		
				Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan gerilme (kN/m ²)	Zeminde oluşan gerilme (kN/m ²)
25	32	0.36	20	6.23x10 ⁻³	-198.23	-398.14
50	35.5	0.28	21.2	4.18x10 ⁻³	-210.53	-422.51
75	40.5	0.21	22.5	3.33x10 ⁻³	-223.12	-448.05
100	44	0.15	23.7	2.57x10 ⁻³	-235.55	-472.27



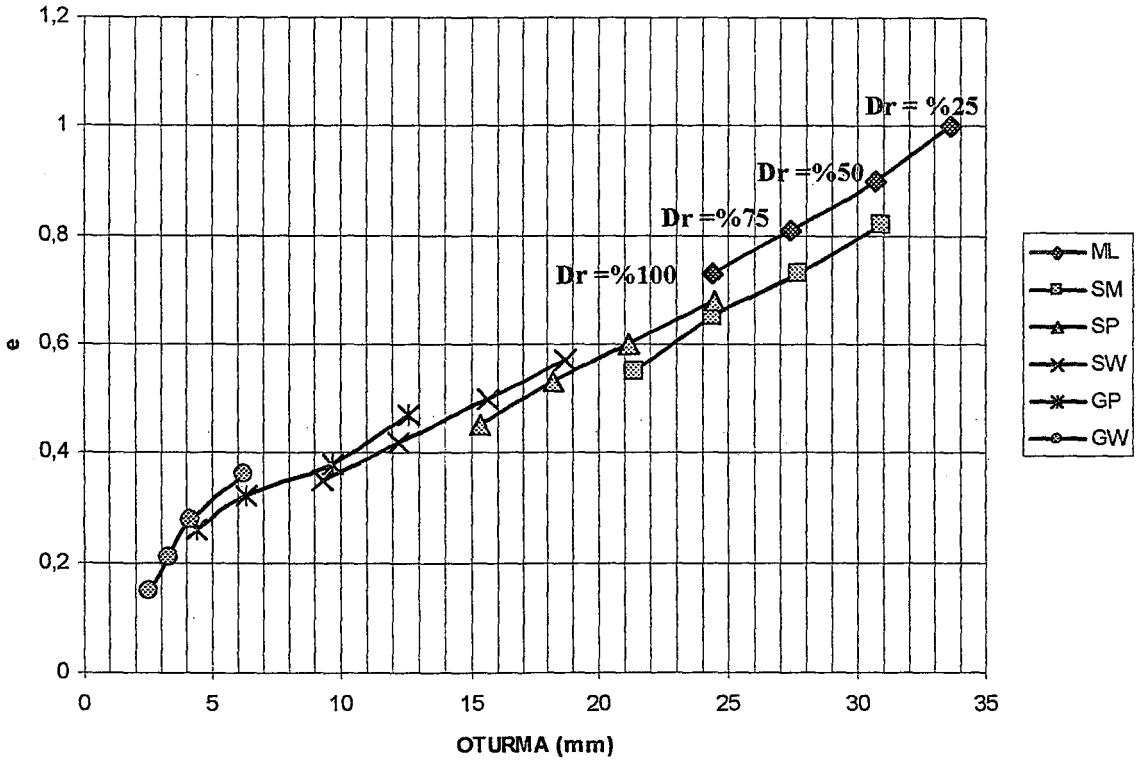
Şekil 8.15. Kohezyonsuz zeminlerde rölatif sıkılık – oturma grafiği



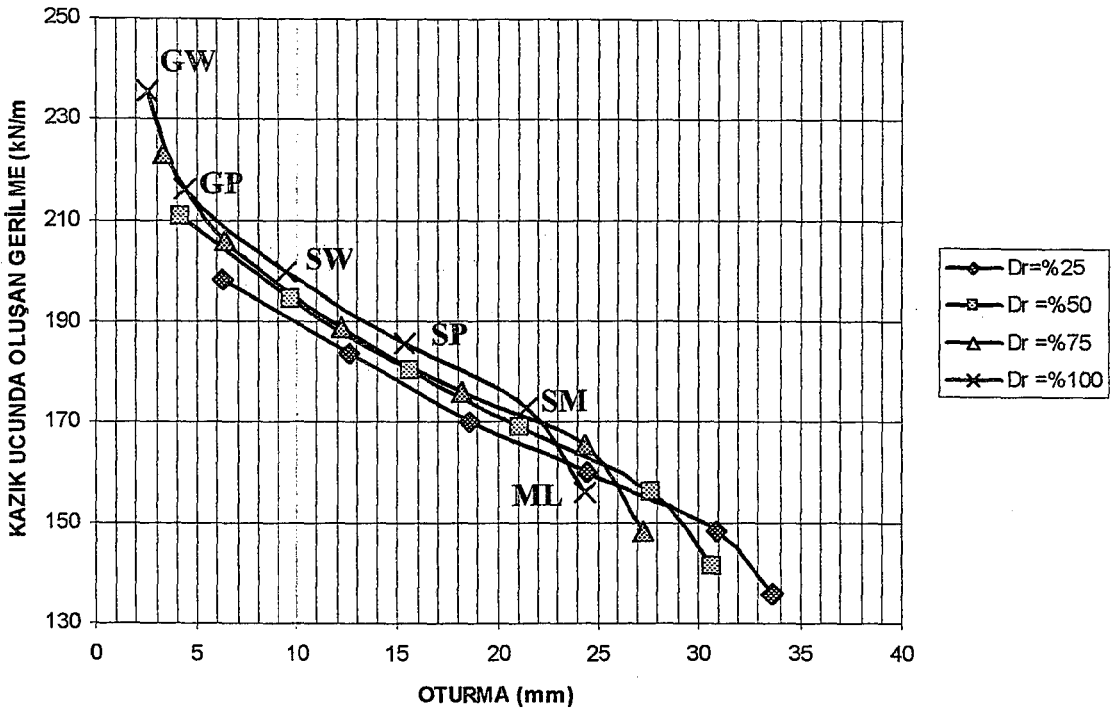
Şekil 8.16. Kohezyonsuz zeminlerde kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği



Şekil 8.17. Kohezyonsuz zeminlerde efektif içsel sürtünme açısı – oturma grafiği



Şekil 8.18. Kohezyonsuz zeminlerde boşluk oranı – oturma grafiği



Şekil 8.19. Kohezyonsuz zeminlerde farklı (D_r) için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği

Çalışmanın son aşaması olarak da tek bir kazığın YASS olması durumunda ve YASS'nin değişmesiyle yumuşak kil, sert kil ve kohezyonsuz zeminlerde kazığın oturması ve kazık ucunda oluşan efektif gerilme ele alınarak incelenmiştir. Aynı zamanda boşluk suyu basıncına, YASS'i 4'er metre indirilerek 16m ve 12m'lerde YASS'nin kazık üzerindeki etkisine bakılmıştır. Çalışma sonucu ortaya çıkan tablo ve grafikler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 8.5. Yumuşak killi zeminlerde YASS'î olduğu durumdaki düşey yük altında kazığın davranışı

L = 10m, B = 1.0m (Uygulanan yük 500 kN/m ²)					
Cu (kN/m ²)	YASS (m)	Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan efektif gerilme (kN/m ²)	Kazık ucunda oluşan toplam gerilme (kN/m ²)	Boşluk suyu basıncı (kN/m ²)
50	16	69.64x10 ⁻³	-145.83	-205.45	-59.62
	12	54.89x10 ⁻³	-178.02	-197.64	-19.62
100	16	56.61x10 ⁻³	-138.59	-198.21	-59.62
	12	45.18x10 ⁻³	-175.82	-195.44	-19.62
150	16	48.43x10 ⁻³	-138.30	-197.92	-59.62
	12	38.74x10 ⁻³	-175.82	-195.44	-19.62
200	16	42.39x10 ⁻³	-136.17	-195.79	-59.62
	12	33.90x10 ⁻³	-172.11	-191.73	-19.62

Çizelge 8.6. Sert killi zeminlerde YASS'î olduğu durumdaki düşey yük altında kazığın davranışı

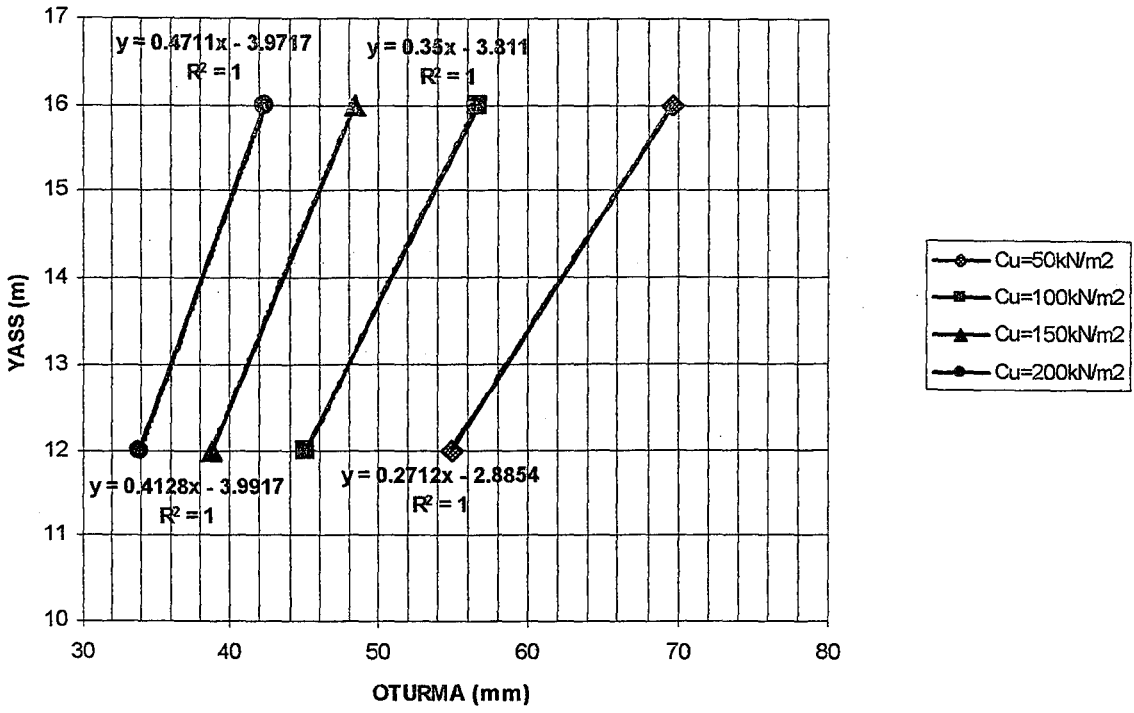
L = 10m, B = 1.0m (Uygulanan yük 500 kN/m ²)					
Cu (kN/m ²)	YASS (m)	Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan efektif gerilme (kN/m ²)	Kazık ucunda oluşan toplam gerilme (kN/m ²)	Boşluk suyu basıncı (kN/m ²)
50	16	46.86x10 ⁻³	-155.63	-215.25	-59.62
	12	38.48x10 ⁻³	-187.80	-207.43	-19.62
100	16	39.35x10 ⁻³	-148.44	-208.06	-59.62
	12	31.63x10 ⁻³	-185.67	-205.29	-19.62
150	16	32.27x10 ⁻³	-148.15	-207.78	-59.62
	12	26.41x10 ⁻³	-185.14	-205.28	-19.62
200	16	27.25x10 ⁻³	-146.19	-205.81	-59.62
	12	22.90x10 ⁻³	-183.13	-202.75	-19.62

Çizelge 8.7. Kohezyonsuz zeminlerde YASS'î olduğu durumdaki düşey yük altında kazığın davranışı

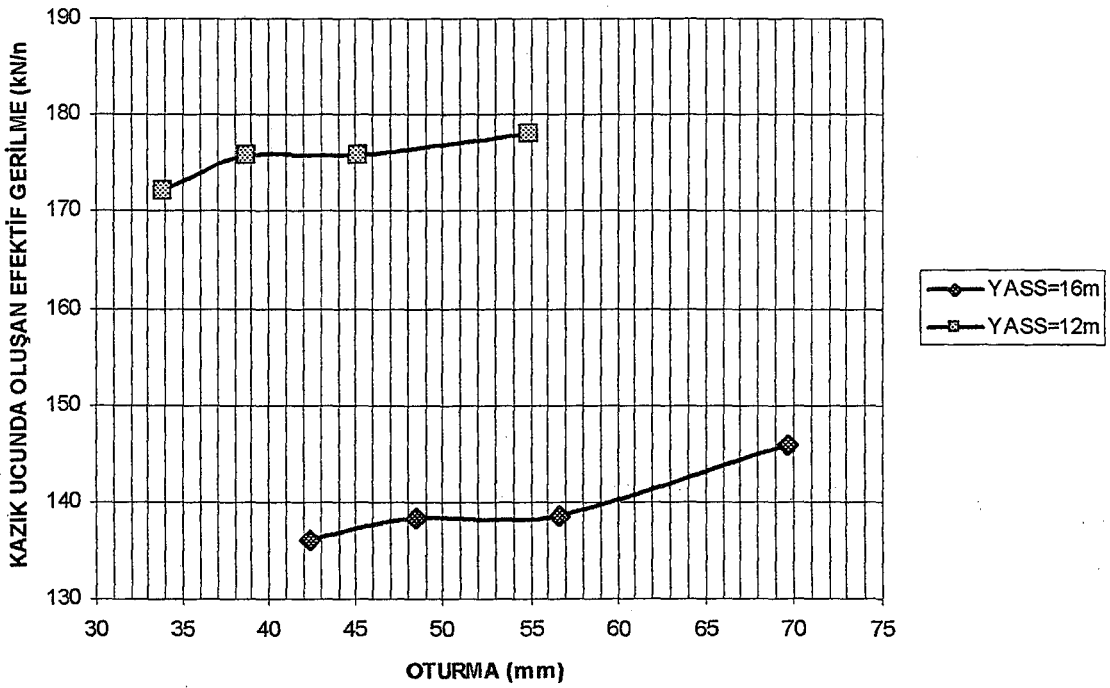
ML L = 10m, B = 1.0m (Uygulanan yük 500kN/m ²)					
D _r (%)	YASS (m)	Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan efektif gerilme (kN/m ²)	Kazık ucunda oluşan toplam gerilme (kN/m ²)	Boşluk suyu basıncı (kN/m ²)
25	16	54.56x10 ⁻³	-76.88	-136.51	-59.62
	12	42.21x10 ⁻³	-100.13	-119.75	-19.62
50	16	47.39x10 ⁻³	-75.30	-134.93	-59.62
	12	38.43x10 ⁻³	-96.90	-116.52	-19.62
75	16	41.22x10 ⁻³	-74.51	-134.13	-59.62
	12	32.11x10 ⁻³	-91.15	-110.77	-19.62
100	16	35.15x10 ⁻³	-72.17	-131.79	-59.62
	12	27.20x10 ⁻³	-87.63	-107.25	-19.62
SM L = 10m, B = 1.0m (Uygulanan yük 500 kN/m ²)					
D _r (%)	YASS (m)	Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan efektif gerilme (kN/m ²)	Kazık ucunda oluşan toplam gerilme (kN/m ²)	Boşluk suyu basıncı (kN/m ²)
25	16	40.21x10 ⁻³	-89.11	-148.73	-59.62
	12	34.25x10 ⁻³	-121.61	-141.23	-19.62
50	16	35.32x10 ⁻³	-85.72	-145.34	-59.62
	12	29.23x10 ⁻³	-118.71	-138.33	-19.62
75	16	30.42x10 ⁻³	-83.23	-142.85	-59.62
	12	24.11x10 ⁻³	-115.21	-134.83	-19.62
100	16	25.15x10 ⁻³	-81.52	-141.14	-59.62
	12	20.20x10 ⁻³	-111.54	-131.16	-19.62
SP L = 10m, B = 1.0m (Uygulanan yük 500 kN/m ²)					
D _r (%)	YASS (m)	Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan efektif gerilme (kN/m ²)	Kazık ucunda oluşan toplam gerilme (kN/m ²)	Boşluk suyu basıncı (kN/m ²)
25	16	36.11x10 ⁻³	-95.16	-154.78	-59.62
	12	31.45x10 ⁻³	-130.12	-149.74	-19.62
50	16	30.22x10 ⁻³	-92.27	-151.89	-59.62
	12	26.13x10 ⁻³	-126.13	-145.75	-19.62
75	16	26.42x10 ⁻³	-90.63	-150.23	-59.62
	12	21.11x10 ⁻³	-120.13	-139.75	-19.62
100	16	21.25x10 ⁻³	-88.55	-148.17	-59.62
	12	17.82x10 ⁻³	-116.24	-135.86	-19.62

Çizelge 8.7. (Devam) Kohezyonsuz zeminlerde YASS'î olduğu durumdaki düşey yük altında kazığın davranışı

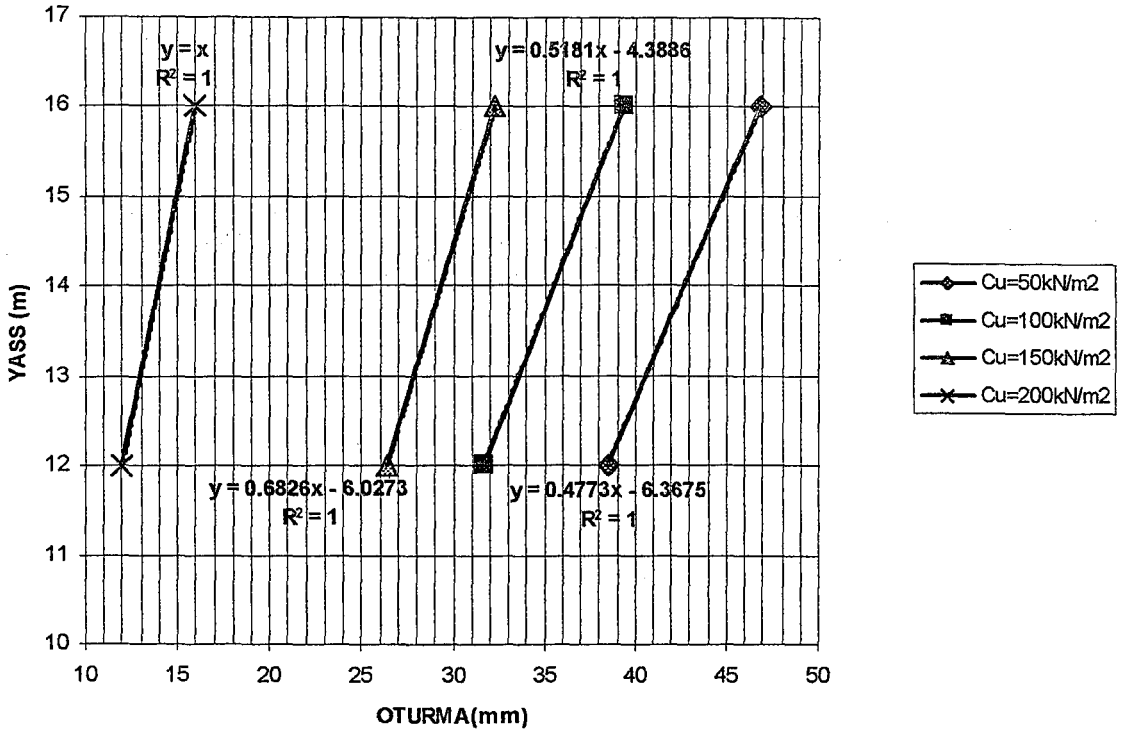
SW L = 10m, B = 1.0m (Uygulanan yük 500 kN/m ²)					
D _r (%)	YASS (m)	Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan efektif gerilme (kN/m ²)	Kazık ucunda oluşan toplam gerilme (kN/m ²)	Boşluk suyu basıncı (kN/m ²)
25	16	32.15x10 ⁻³	-108.61	-168.23	-59.62
	12	27.11x10 ⁻³	-138.23	-157.85	-19.62
50	16	26.64x10 ⁻³	-105.14	-164.76	-59.62
	12	21.18x10 ⁻³	-135.27	-154.76	-19.62
75	16	21.84x10 ⁻³	-101.78	-161.40	-59.62
	12	16.53x10 ⁻³	-131.21	-150.83	-19.62
100	16	15.26x10 ⁻³	-98.12	-157.74	-59.62
	12	12.29x10 ⁻³	-127.63	-147.25	-19.62
GP L = 10m, B = 1.0m (Uygulanan yük 500 kN/m ²)					
D _r (%)	YASS (m)	Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan efektif gerilme (kN/m ²)	Kazık ucunda oluşan toplam gerilme (kN/m ²)	Boşluk suyu basıncı (kN/m ²)
25	16	24.12x10 ⁻³	-117.21	-176.83	-59.62
	12	20.01x10 ⁻³	-145.64	-165.26	-19.62
50	16	19.21x10 ⁻³	-114.15	-173.77	-59.62
	12	14.11x10 ⁻³	-142.52	-162.14	-19.62
75	16	15.28x10 ⁻³	-110.23	-169.85	-59.62
	12	11.14x10 ⁻³	-138.63	-158.25	-19.62
100	16	11.25x10 ⁻³	-106.23	-165.85	-59.62
	12	7.14x10 ⁻³	-134.28	-153.9	-19.62
GW L = 10m, B = 1.0m (Uygulanan yük 500 kN/m ²)					
D _r (%)	YASS (m)	Oturma (m)	Kazık ucunda oluşan efektif gerilme (kN/m ²)	Kazık ucunda oluşan toplam gerilme (kN/m ²)	Boşluk suyu basıncı (kN/m ²)
25	16	16.24x10 ⁻³	-125.14	-184.76	-59.62
	12	11.61x10 ⁻³	-156.25	-175.87	-19.62
50	16	11.64x10 ⁻³	-121.15	-180.77	-59.62
	12	7.24x10 ⁻³	-151.28	-170.9	-19.62
75	16	12.8x10 ⁻³	-119.43	-179.05	-59.62
	12	6.25x10 ⁻³	-147.15	-166.77	-19.62
100	16	8.23x10 ⁻³	-115.24	-174.86	-59.62
	12	4.28x10 ⁻³	-144.27	-163.89	-19.62



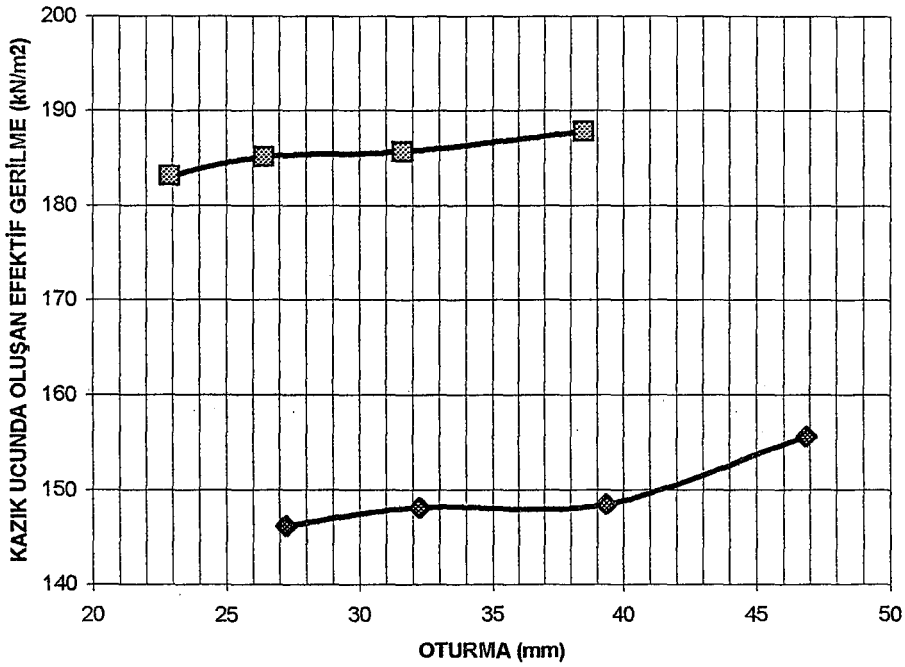
Şekil 8.20. Yumuşak killi zeminlerde YASS'nin değışimi ile oturmalar



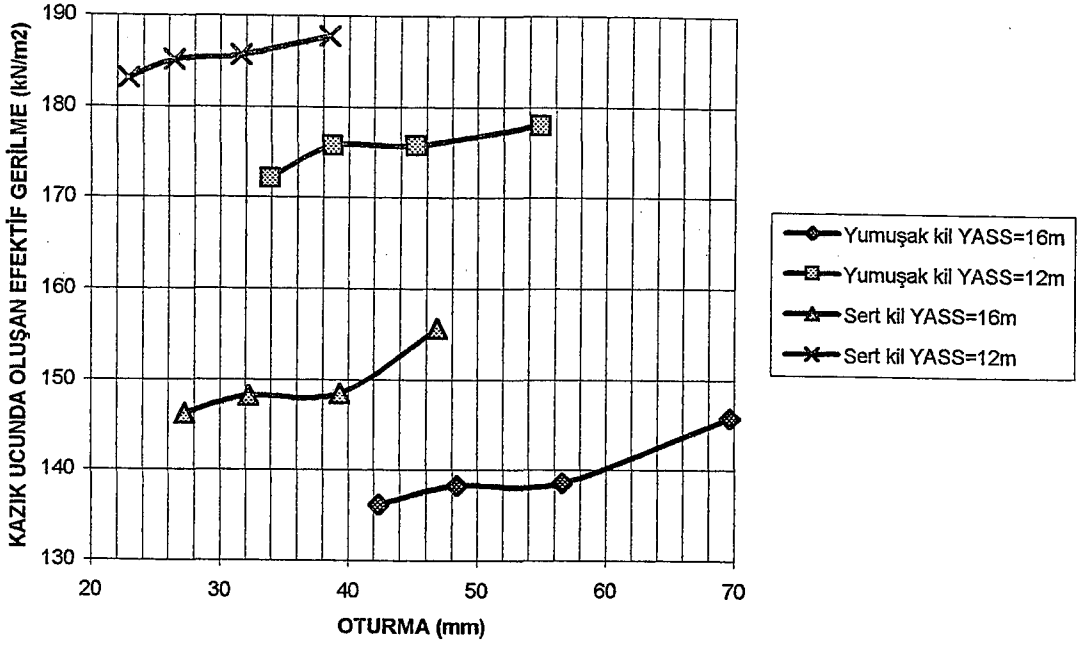
Şekil 8.21. Yumuşak killi zeminlerde YASS olduğu zaman kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiğı



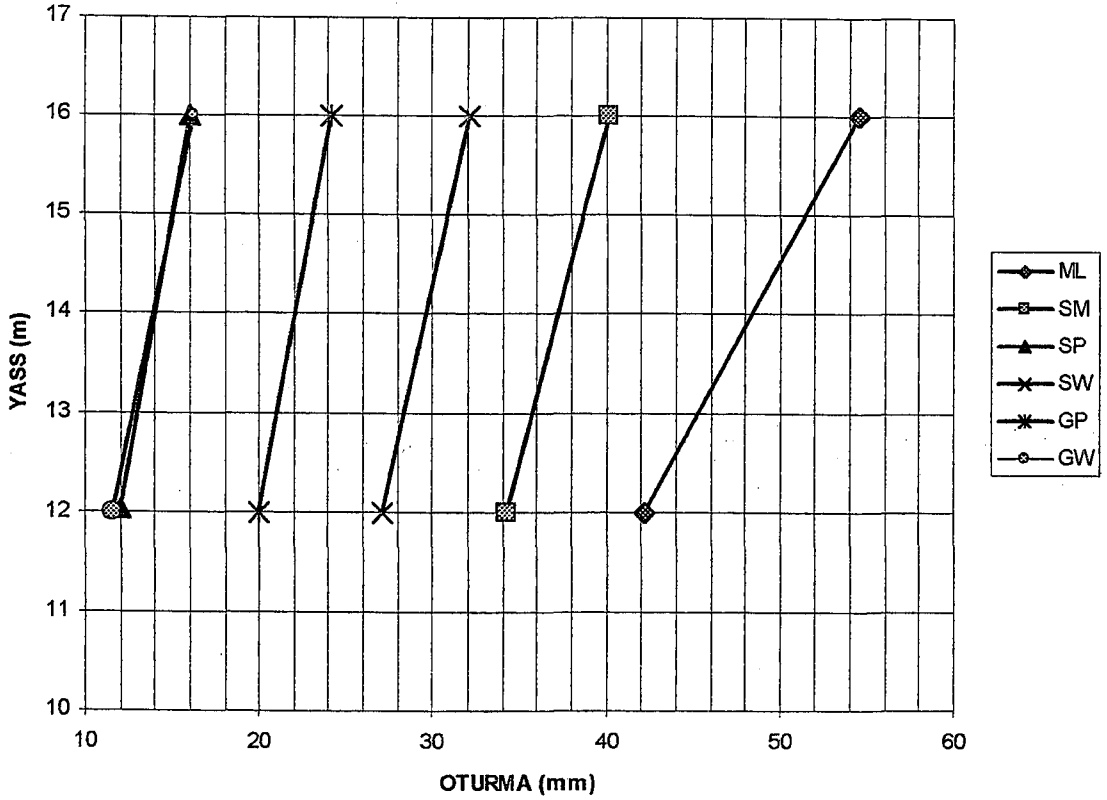
Şekil 8.22. Sert killi zeminlerde YASS'nin değişimi ile oturmalar

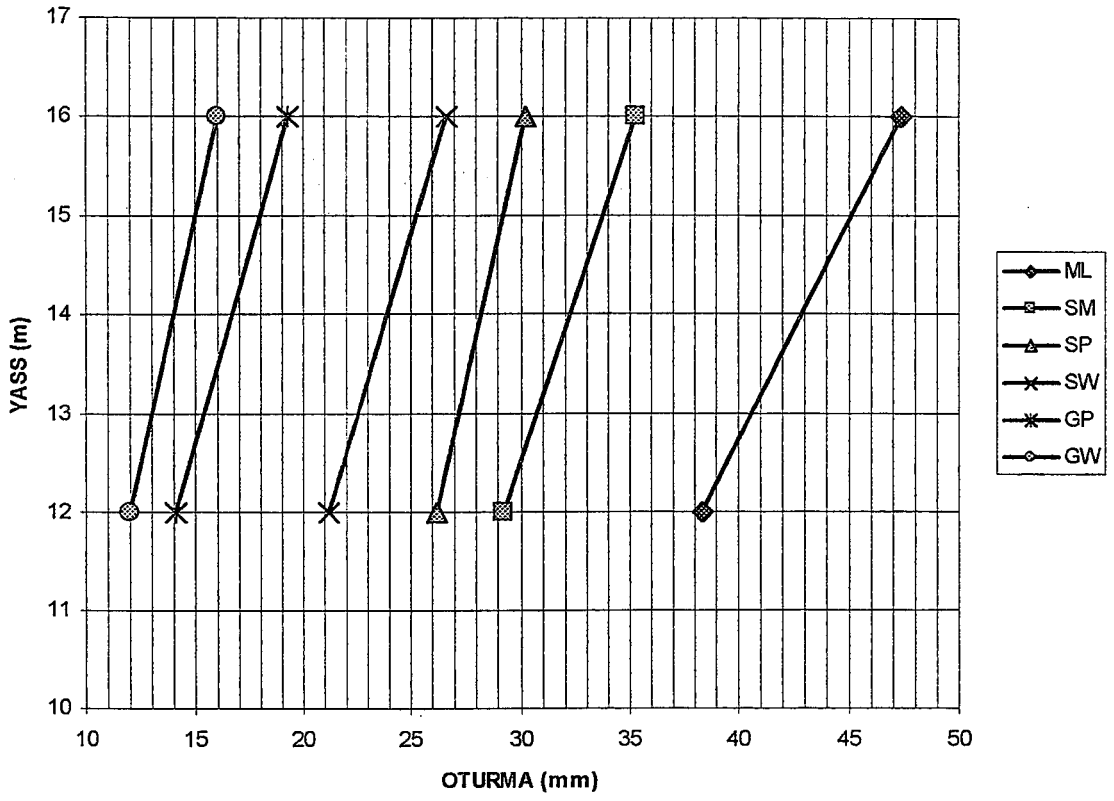
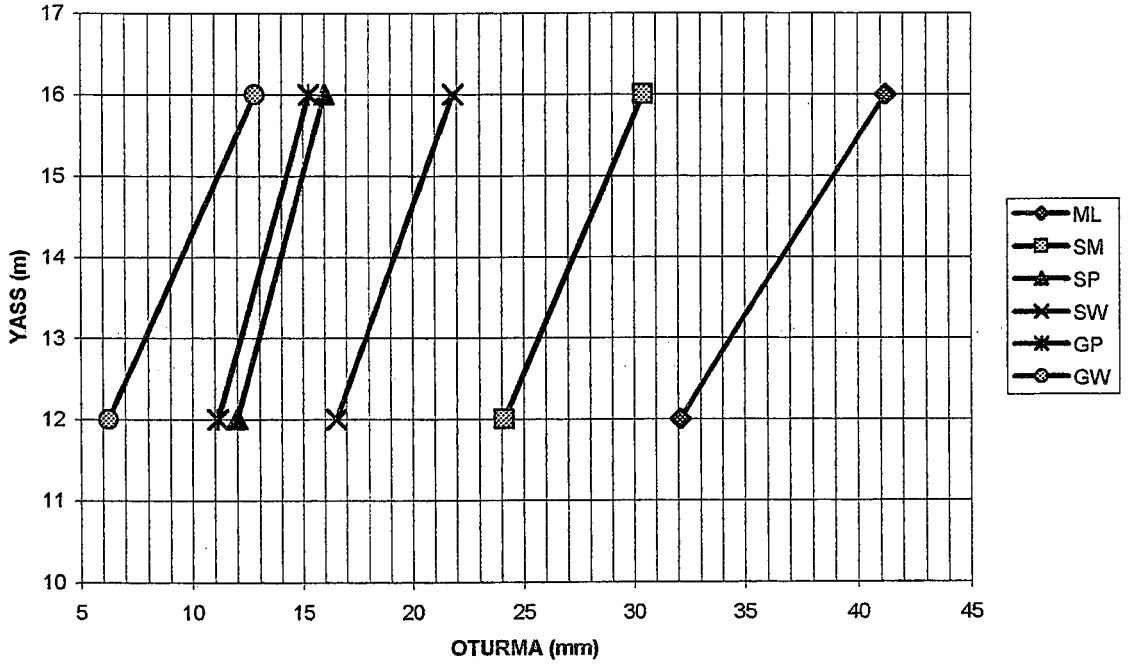


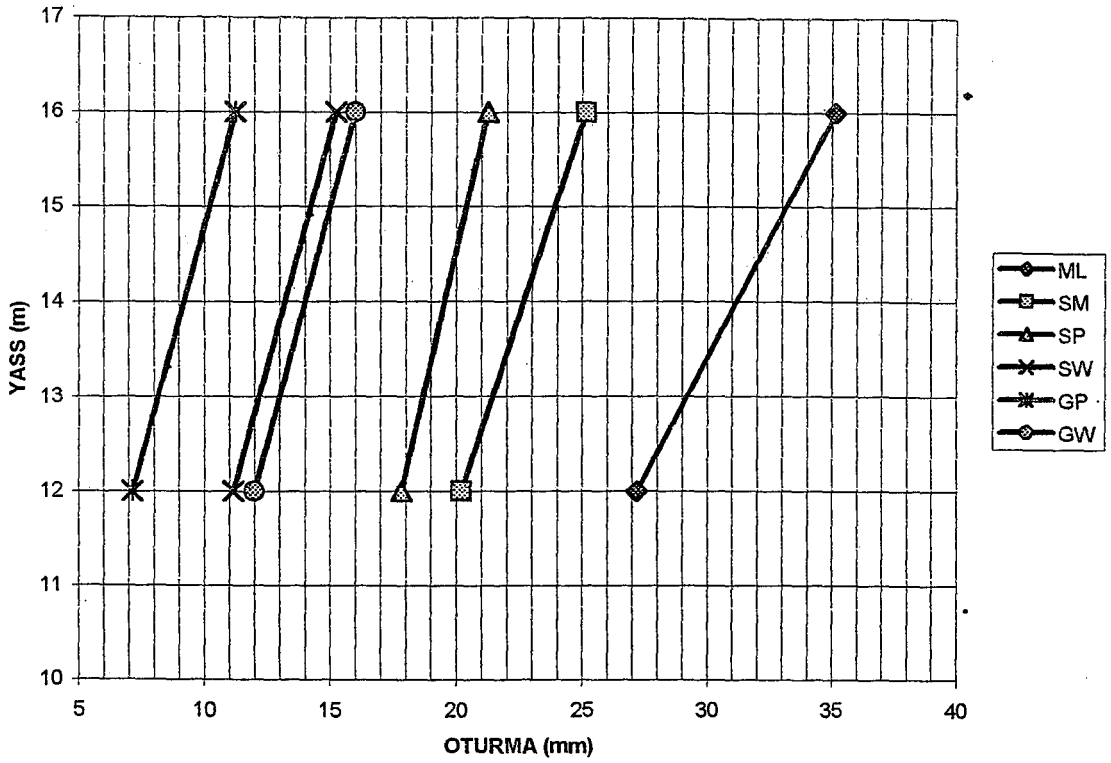
Şekil 8.23. Sert killi zeminlerde YASS olduğu zaman kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği



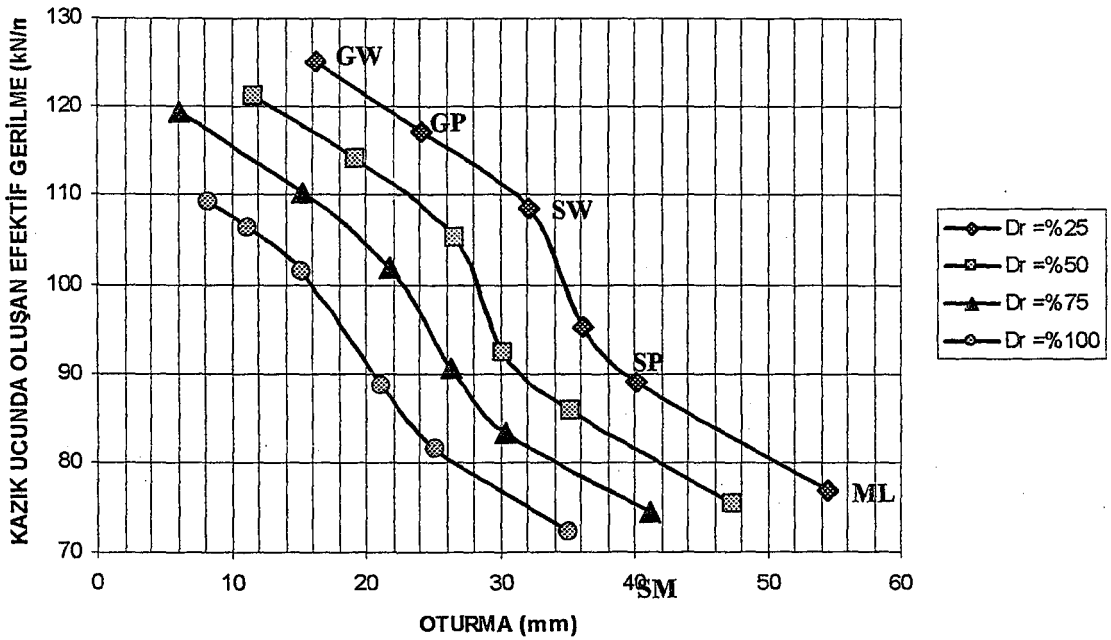
Şekil 8.24. Killi zeminlerde YASS'nin olduğu durumdaki kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği



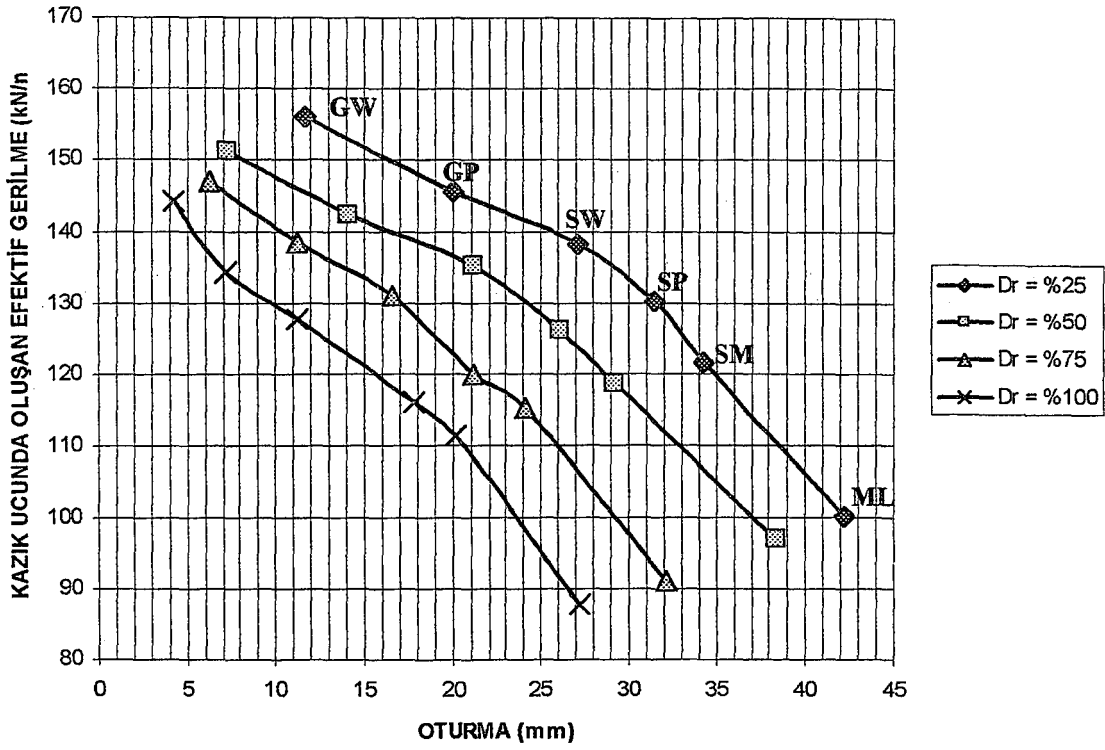
Şekil 8.25. Kohezyonsuz zeminlerde YASS- Oturma grafiği ($D_r = \%25$)Şekil 8.26. Kohezyonsuz zeminlerde YASS- Oturma grafiği ($D_r = \%50$)Şekil 8.27. Kohezyonsuz zeminlerde YASS- Oturma grafiği ($D_r = \%75$)



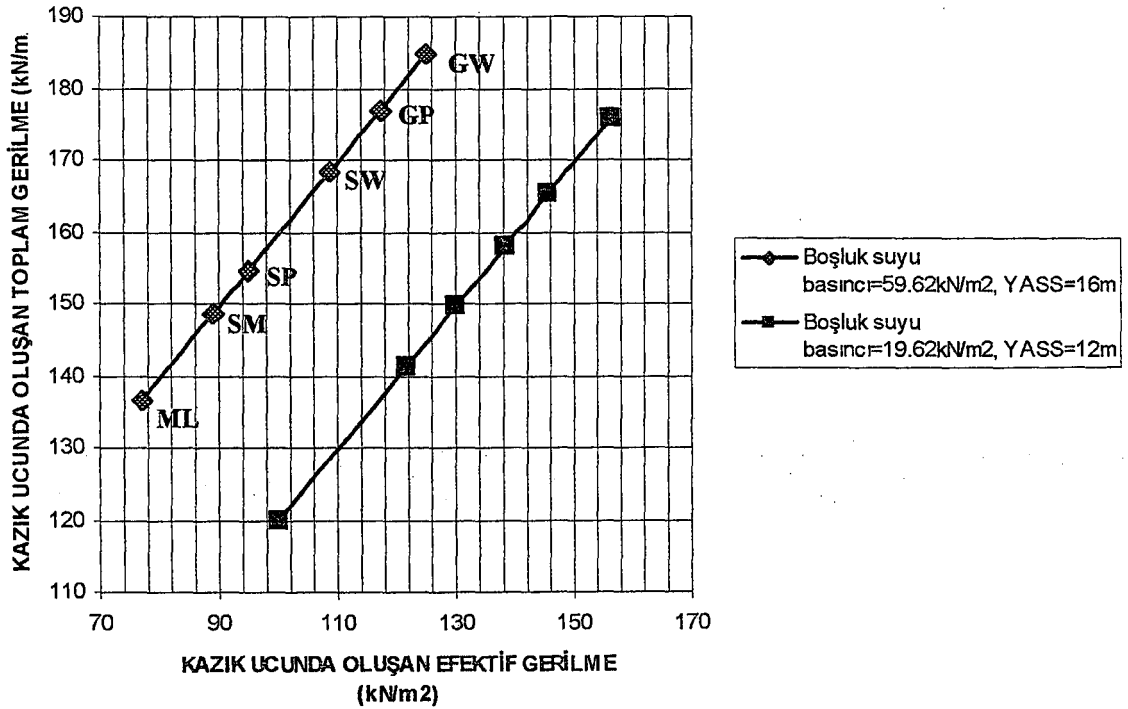
Şekil 8.28. Kohezyonsuz zeminlerde YASS- Oturma grafiği (Dr =%100)



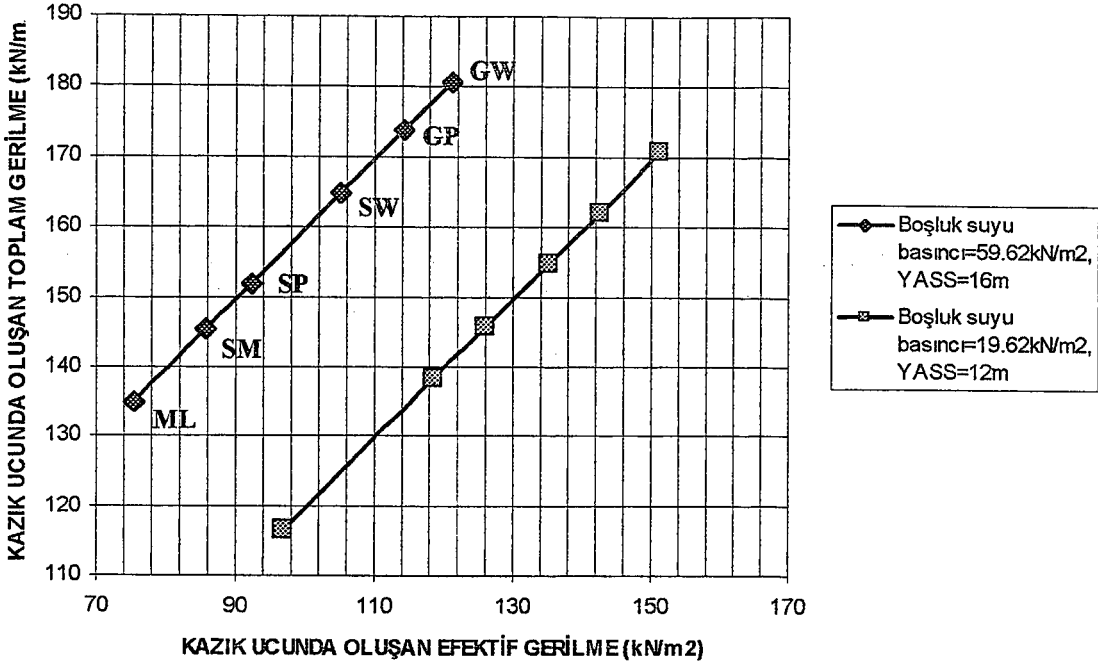
Şekil 8.29. Kohezyonsuz zeminlerde farklı rölatif sıkılıklar için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği (YASS=16m)



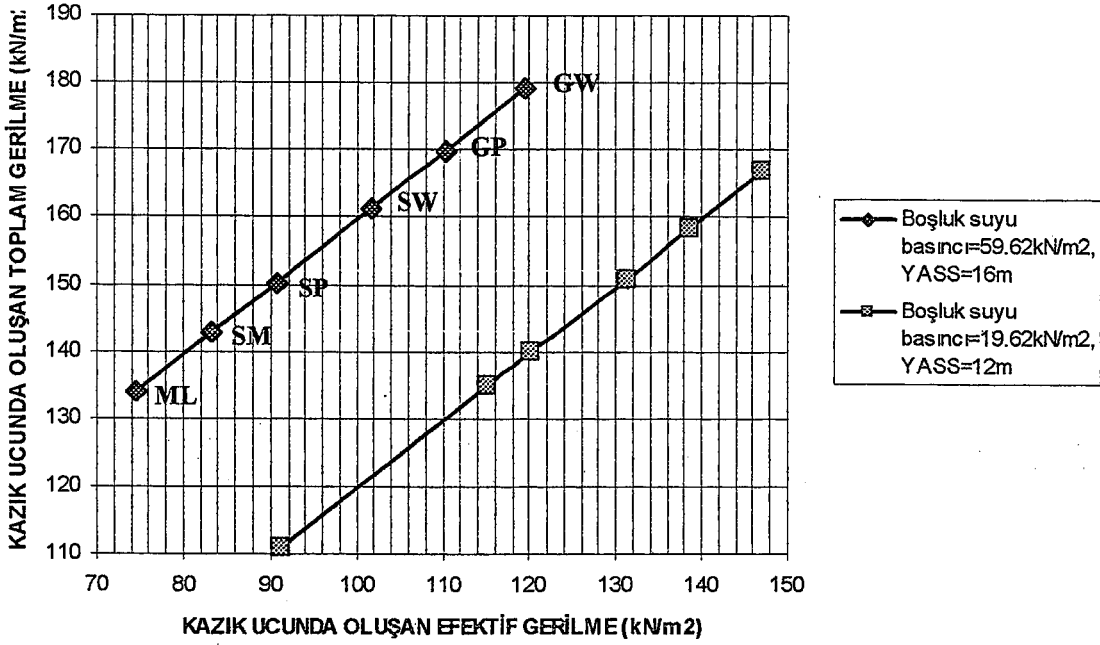
Şekil 8.30. Kohezyonsuz zeminlerde farklı rölatif sıkılıklar için kazık ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği (YASS=12m)



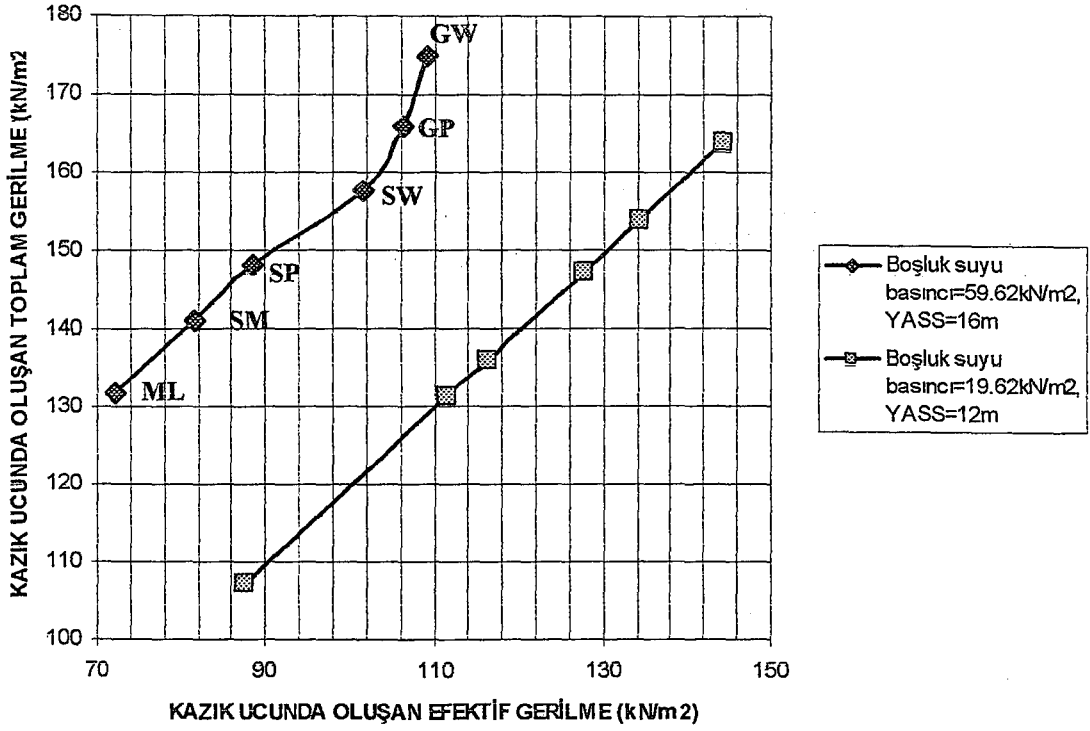
Şekil 8.31. Kohezyonsuz zeminlerde kazık ucunda oluşan efektif gerilme – toplam gerilme grafiği (Dr = %25)



Şekil 8.32. Kohezyonsuz zeminlerde kazık ucunda oluşan efektif gerilme – toplam gerilme grafiği ($D_r = 50\%$)



Şekil 8.33. Kohezyonsuz zeminlerde kazık ucunda oluşan efektif gerilme – toplam gerilme grafiği ($D_r = 75\%$)



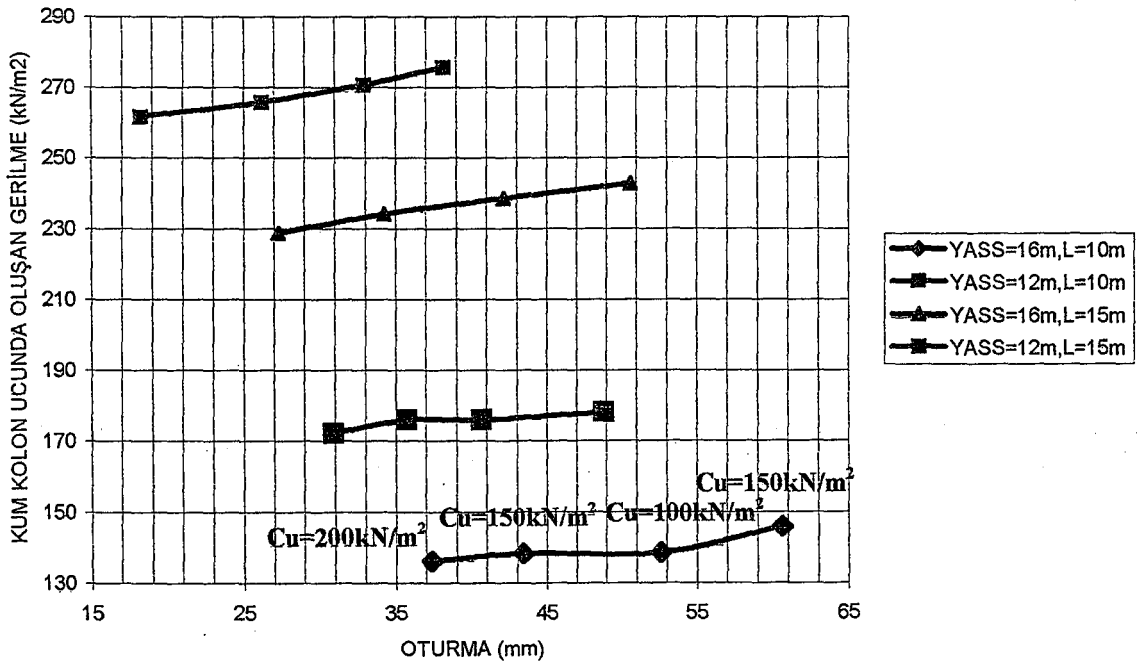
Şekil 8.34. Kohezyonsuz zeminlerde kazık ucunda oluşan efektif gerilme – toplam gerilme grafiği ($D_r = \%100$)

Çizelge 8.8. Kum kolonların YASS'î olduğu durumdaki düşey yük altında davranışı ($L = 10m$)

L = 10m, B = 0.8m (Uygulanan yük 500 kN/m ²)					
Cu (kN/m ²)	YASS (m)	Oturma (m)	Kum kolon ucunda oluşan efektif gerilme (kN/m ²)	Kum kolon ucunda oluşan toplam gerilme (kN/m ²)	Boşluk suyu basıncı (kN/m ²)
50	16	60.61x10 ⁻³	-145.83	-205.45	-59.62
	12	48.83x10 ⁻³	-178.02	-197.64	-19.62
100	16	52.61x10 ⁻³	-138.59	-198.21	-59.62
	12	40.68x10 ⁻³	-175.82	-195.44	-19.62
150	16	43.43x10 ⁻³	-138.30	-197.92	-59.62
	12	35.74x10 ⁻³	-175.82	-195.44	-19.62
200	16	37.39x10 ⁻³	-136.17	-195.79	-59.62
	12	30.90x10 ⁻³	-172.11	-191.73	-19.62

Çizelge 8.9. Kum kolonların YASS'î olduğu durumdaki düşey yük altında davranışı ($L = 15\text{m}$)

$L = 15\text{m}$, $B = 0.8\text{m}$ (Uygulanan yük 500 kN/m^2)					
Cu (kN/m^2)	YASS (m)	Oturma (m)	Kum kolon ucunda oluşan efektif gerilme (kN/m^2)	Kum kolon ucunda oluşan toplam gerilme (kN/m^2)	Boşluk suyu basıncı (kN/m^2)
50	16	50.64×10^{-3}	-242.73	-302.35	-59.62
	12	38.12×10^{-3}	-275.52	-295.14	-19.62
100	16	42.11×10^{-3}	-238.49	-298.11	-59.62
	12	32.88×10^{-3}	-270.62	-290.24	-19.62
150	16	34.23×10^{-3}	-234.03	-293.65	-59.62
	12	26.15×10^{-3}	-265.60	-285.22	-19.62
200	16	27.31×10^{-3}	-228.67	-288.29	-59.62
	12	18.24×10^{-3}	-261.61	-281.23	-19.62



Şekil 8.35. Killi zeminde YASS'nin olduğu durumdaki kum kolon ucunda oluşan efektif gerilme – oturma grafiği

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yaptığımız bütün bu çalışmalar sonucunda kazıkların performansını etkileyen önemli faktörlerin aşağıda sıralanan etkenler olduğunu göstermiştir:

1. Zemin cinsi
2. Drenajsız kayma mukavemeti
3. Rölatif sıkılık
4. Kazık çapı ve uzunluğu
5. Yeraltı suyu koşulları
6. İnşa metodu ve sırası

Bu çalışmada kullandığımız sonlu elemanlar analizine dayanan PLAXIS programı, kazık performansını etkileyen faktörlerin incelenmesi için yapılan parametrik çalışmaları kolaylaştırmaktadır. Bir kazığın sonlu eleman analizlerini paket programlarda gerçekleştirmek, normal inşa sahasında başında durarak gözetlenmesinden daha kolaydır. Ama analizde kullandığımız varsayımlar ve modelleme yaklaşımları sonlu eleman analizinin doğruluğunu sınırlandırmaktadır. İşte kazıkların yapımı esnasında yapılan gözlemler, yapmış olduğumuz yaklaşım ve varsayımlardan dolayı eksik kalan sonlu eleman analizlerini tamamlamaktadır. Sahadaki gözlemlerin dezavantajı, maliyetlerin yüksek olmasından dolayı hareket ve boşluk suyu basıncı bilgilerinin birkaç noktada toplanmasıdır. Sonlu elemanlar analizi ise, analizi yapılan tüm alan üzerindeki deformasyon ve gerilmeleri vermektedir.

Yukarıda sıralamış olduğumuz faktörler kazıkların oturmasını önemli bir derecede etkilemektedir. Çünkü zeminlerde siltin kuru birim hacim ağırlığı kumunkine nazaran düşüktür. Örneğin düşük plastisiteli siltte (ML) $\gamma_k=14.3\text{kN/m}^3$ iyi derecelenmiş kumda (SW) $\gamma_k=23.7\text{kN/m}^3$ 'dir. Bu da kazıkların oturmasını önemli bir miktarda etkilemektedir. Bunun gibi, drenajsız kayma mukavemeti ve rölatif sıkılık da oturmalar üzerinde etkilidir. Drenajsız kayma mukavemeti ve rölatif sıkılık arttıkça oturma azalmaktadır. Bu çalışmada dikkat edilmesi gereken diğer husus da şudur, zemin özelliklerinin değişimi oturma ve gerilmeleri önemli

bir miktarda etkilediği gibi, aynen öylede kazık boyu ve kazık çapı da, kazık oturmalarını önemli bir derece etkilemektedir.

Ortaya çıkan grafiklerden de görüldüğü gibi yumuşak killi zeminlerde kazığın oturması sert killerininkine nazaran iki katı kadar bir oturma yapmış, bu da başta söylediğimiz gibi zemin özelliklerine ve kazığın boy ve çapına bağlıdır. Aynı çap ve boy uzunluklarına sahip kazıklarda zemin özelliklerine bağlı olarak oturmaların değiştiği görülmüştür. YASS'nin olması durumunda ise beklendiği gibi oturmaları, efektif gerilmeleri arttırıcı bir etki yapmıştır, bu da boşluk suyu basıncının oluşmasından dolayı ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak kazıkların çap ve boyunun arttırılması oturmaların azalmasına etki yapmaktadır.

Bu çalışma PLAXİS sonlu elemanlar modelini kullanmadan, elde edilen tablo ve grafiklerden yararlanarak değişik zemin tiplerinde YASS yokken ve YASS' varken tek bir kazığın düşey yükler altında bazı zemin ve kazık parametrelerine bağlı olarak oturma, efektif gerilme ve kazık ucunda oluşan boşluk suyu basıncını bulmakta yararlanabilir.

Öneri olarak:

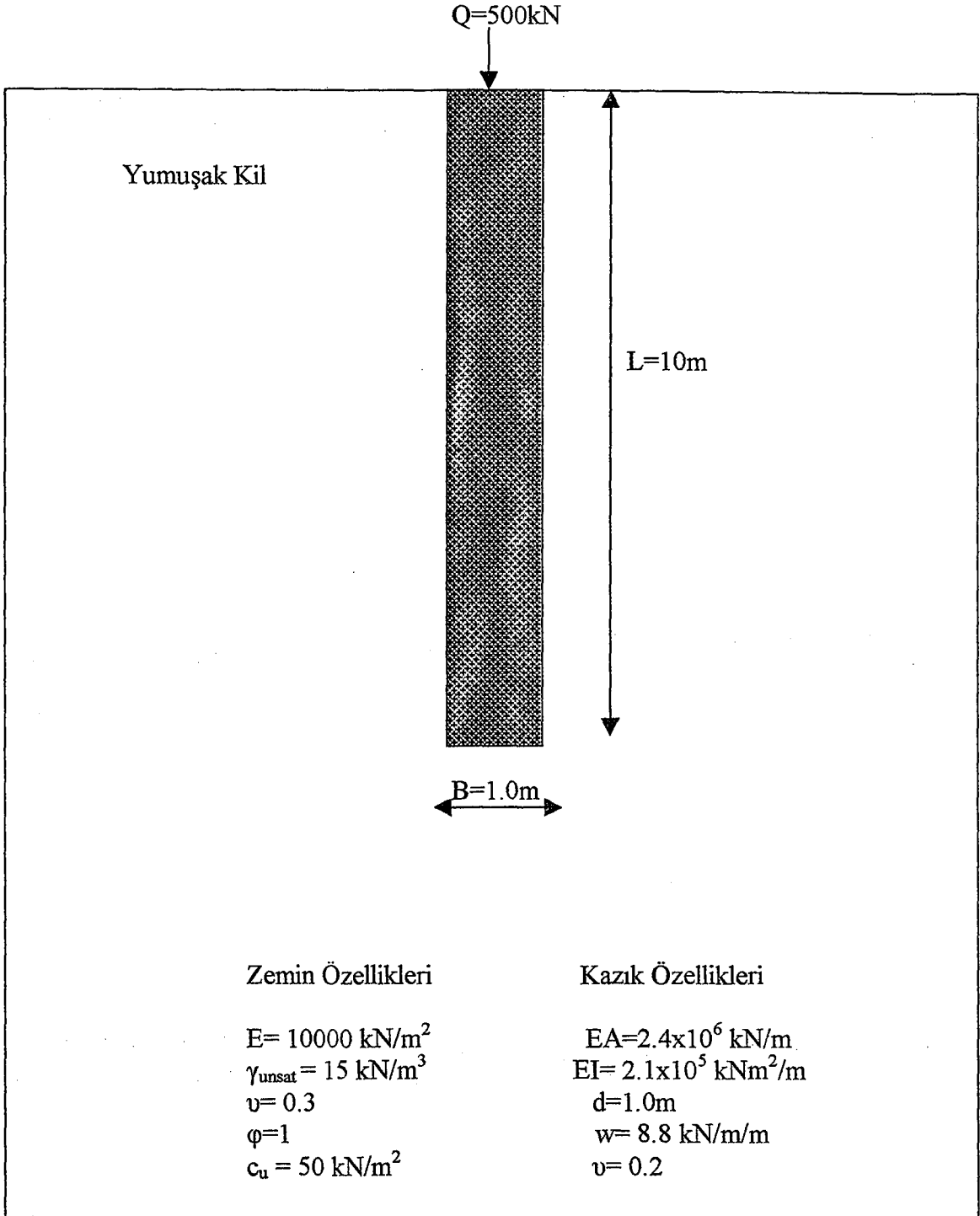
- Bu paket programıyla tek bir kazığın yatay yükler altında davranışları incelenebilir.
- Farklı uygulama yükleri kullanarak oturma ve kazık ucunda oluşan gerilmeler incelenebilir.
- Tek bir kazığın veya kazık gruplarının düşey ve yatay yükler altında davranışları modellenerek inceleme yapılabilir.
- Literatürde iki kazık arasındaki mesafeden dolayı kazık etkileşimi konusu ile ilgili bir çok açıklamalar ve makaleler bulunmaktadır. Bunlardan yararlanarak PLAXİS programında iki kazık arasındaki mesafeleri literatürde verilen değerleri ele alarak (Örneğin 2.5D, 3D, Kazık boyunun 8 katı) iki kazık arasındaki etkileşim modellenerek literatürdeki değerlerle karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

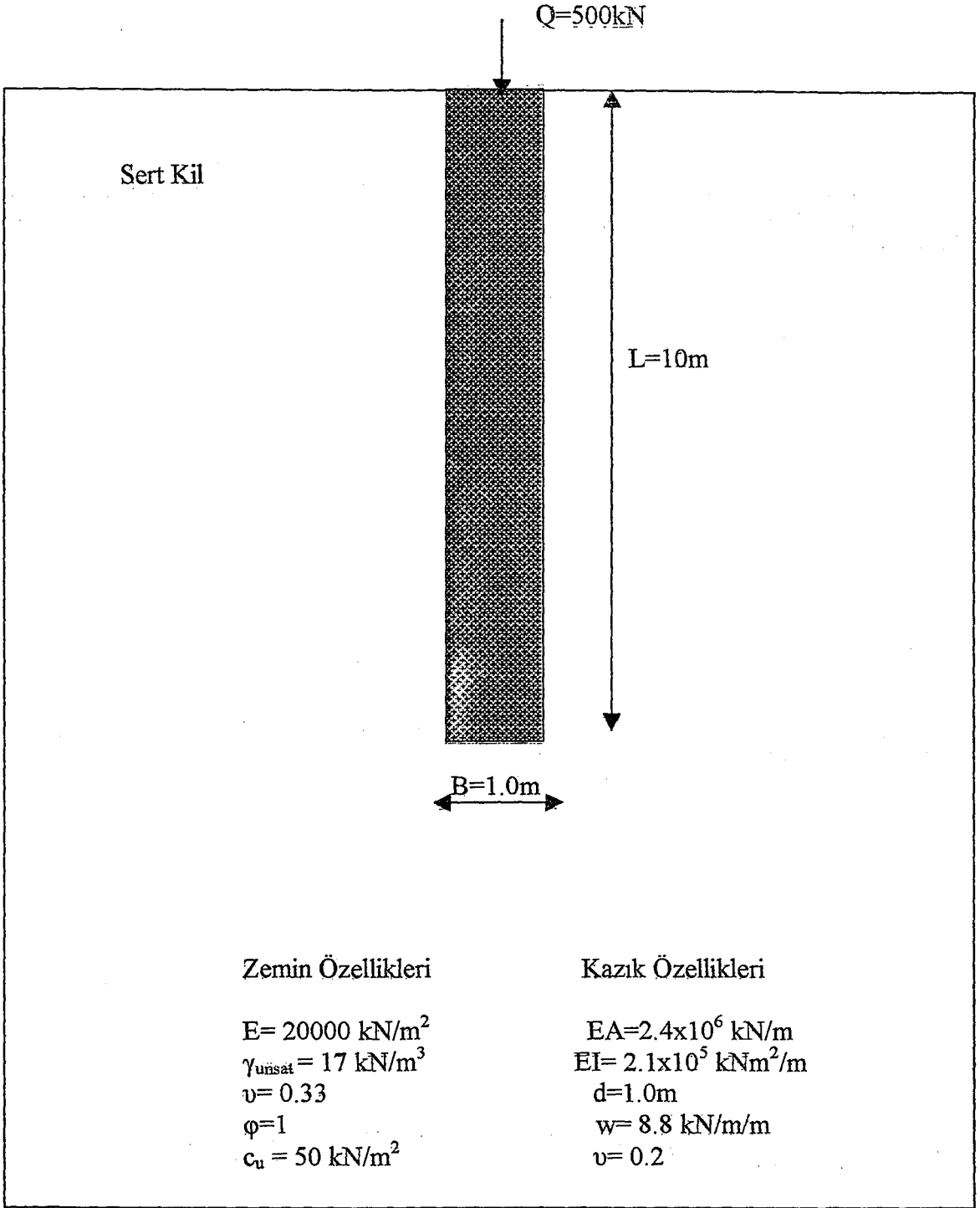
- [1] ORTİGAO, J.A.R., *Soil mechanics in the light of critical state theories*, FederalUniversity of Rio de Janeiro, Brazil (1995).
- [2] BOWLES, J.E., *Foundation Analysis and Design*, Fifth Edition, Mc Hill Companies, Inc., USA (1996).
- [3] BİRAND, A.A., *Kazıklı Temeller*, Teknik Yayınevi, ODTÜ (2001).
- [4] HOLTZ, R.D. ve KOVACS, W.D., Çeviren Doç. Dr. Kayabalı K., *Geoteknik mühendisliğine giriş*, Gazi Kitabevi (2002).
- [5] TOĞROL, E., Tan, O., *Kazıklı temeller*, Birsen Yayınevi (2003).
- [6] CROWTHER, C.L., *Load Testing of Deep Foundations*, John Wiley & Sons, Inc.,Canada (1988).
- [7] DAS, B.M., *Principles of Foundation Engineering*, Wadsworth, Inc., USA (California) (1984).
- [8] ELÇİK, K., *Kazıklı Temellerin Projelendirilmesi*, A.Ü., Lisans Tezi (1994).
- [9] HANEVDELOĞULLARI, Z., *Kazıkların Davranışlarının Sonlu Elemanlar Metodu ile Belirlenmesi*, İTÜ, Yüksek Lisans Tezi (1998).
- [10] TURAN, E., *Yatay ve düşey yükler altında kazık temel dizaynı*, A.Ü.LisansTezi (1994).
- [11] LİU, C., ve Evett, J.B., *Soils and Foundations*, Second Edition, Prentice Hall,New Jersey (1987).

- [12] TOMLINSON, M.J., *Pile Design and Construction Practice*, Fourth Edition, Chapman & Hall (1993).
- [13] ÖNALP, A., Geoteknik bilgisi I Zeminler ve mekaniği, Sakarya Üniversitesi (1997)
- [14] OU, C.Y. ve Lai, C.H., *Finite element analysis of deep excavation in layered sandy and clayey soil deposits*, Canadian Geotechnical Journal, 30, 204-214 (1994).
- [15] MCCARTHY, D.F, *Essentials of soil mechanics and foundations: basic geotechnics*, Prentice Hall Career & Technology, New Jersey, USA (1996).
- [16] www.plaxis.nl
- [17] ANALAY, B., *Lateral Resistance of a Rigid Socketed Single Model Pile, Fixed at Head, in a Cohesionless Soil*, ODTÜ, Yüksek Lisans Tezi (1999)
- [18] UZUNER, B.Ali., *Temel mühendisliğine giriş*, Derya Kitabevi, Trabzon (2000)

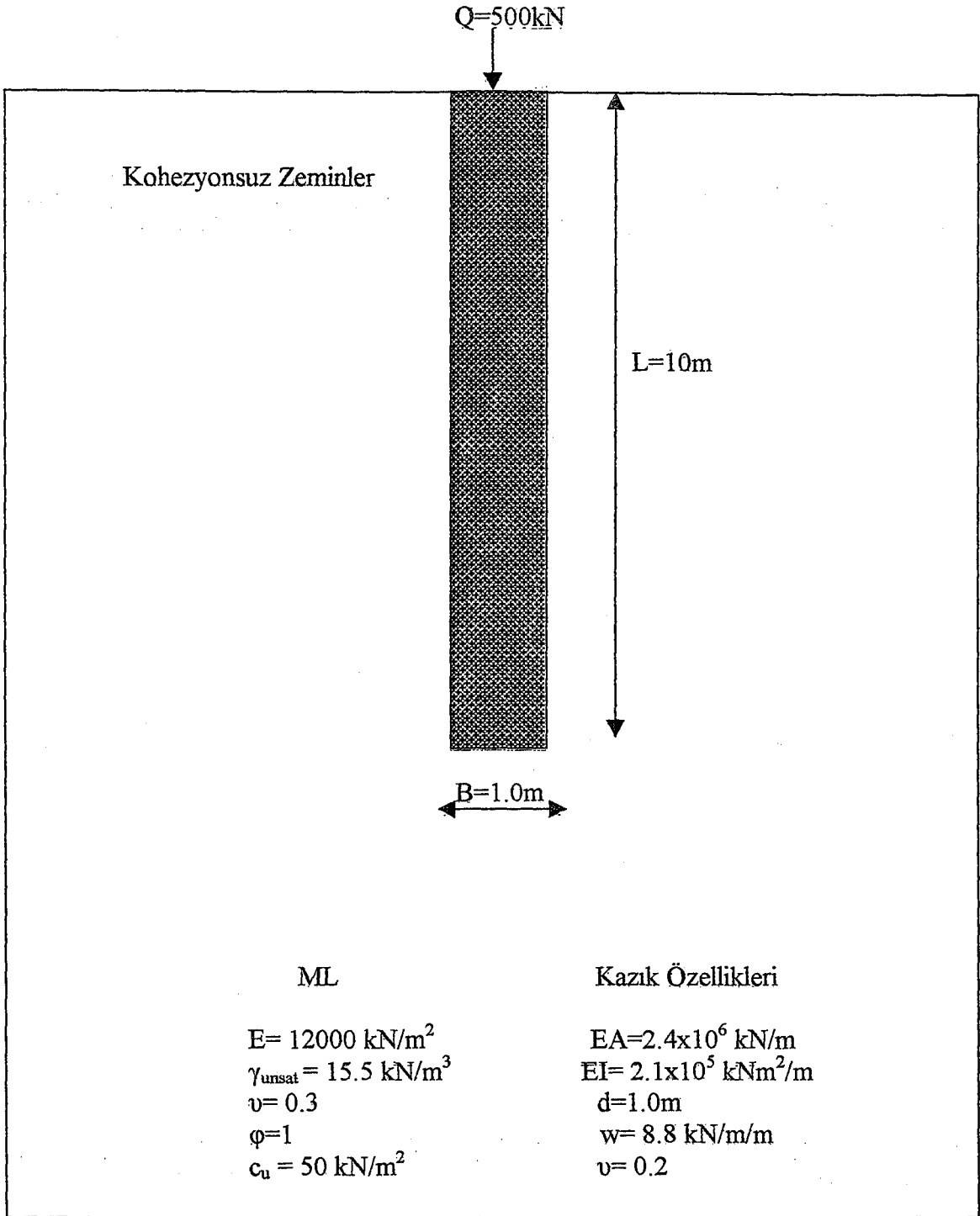
EKLER



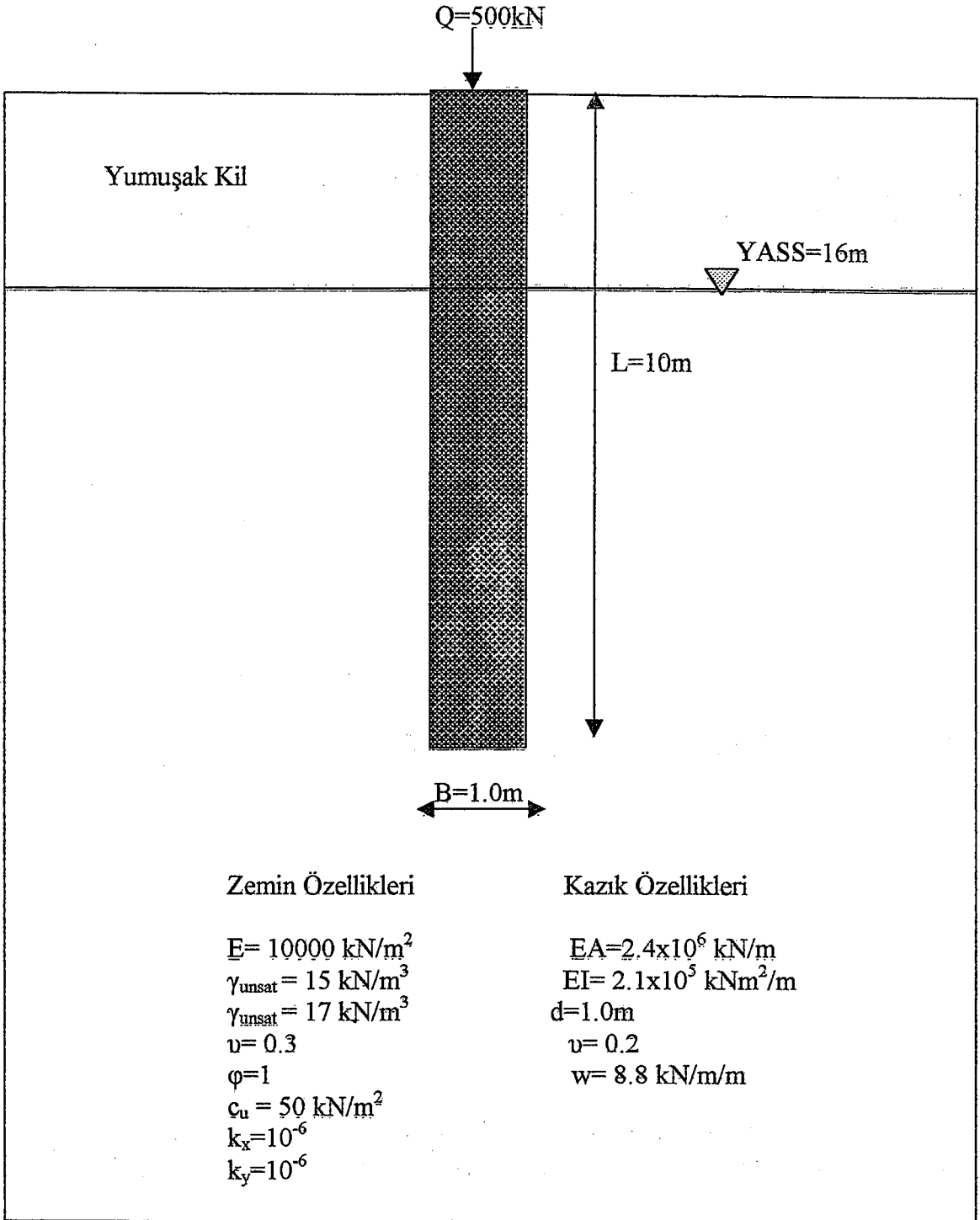
Bu zemin profili yumuşak killi zeminlerin bütün uygulamasında kullanılmıştır. Bir tek farkı kazık çapına ve uzunluğuna bağlı olarak eğilme ve eksenel rijitlikler ve zemindeki drenajsız kayma mukavemeti değişmektedir.



Bu zemin profili de sert killi zeminlerin bütün uygulamasında kullanılmıştır. Bir tek farkı kazık çapına ve uzunluğuna bağlı olarak eğilme ve eksenel rijitlikler ve zemindeki drenajsız kayma mukavemeti değişmektedir.

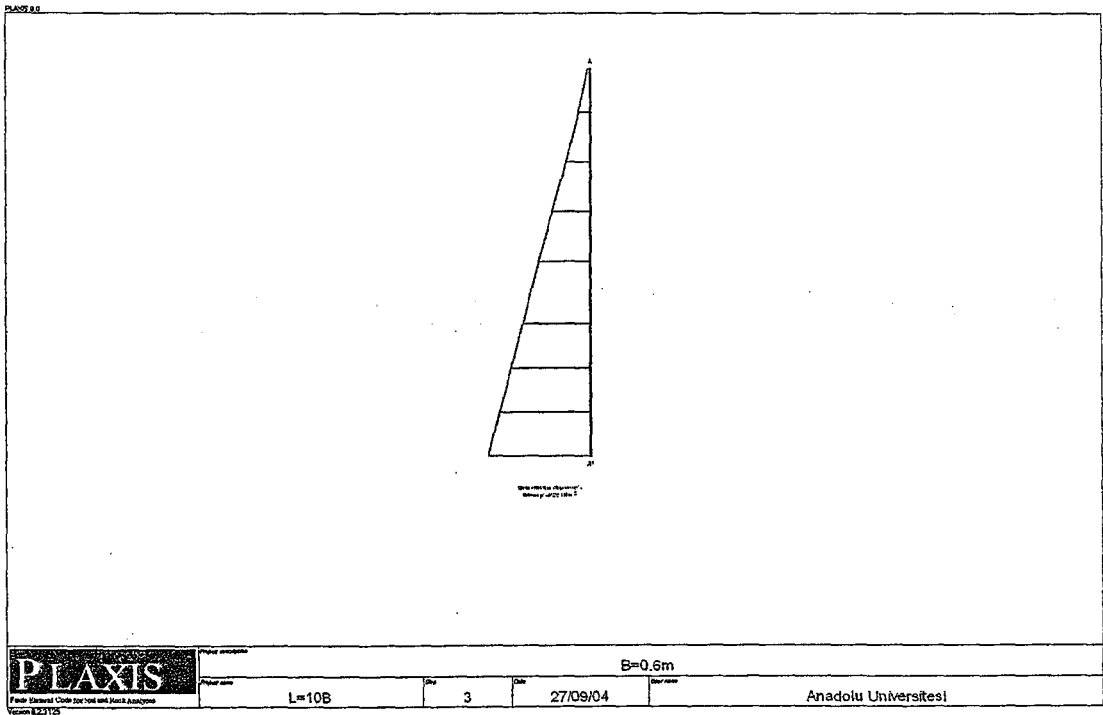
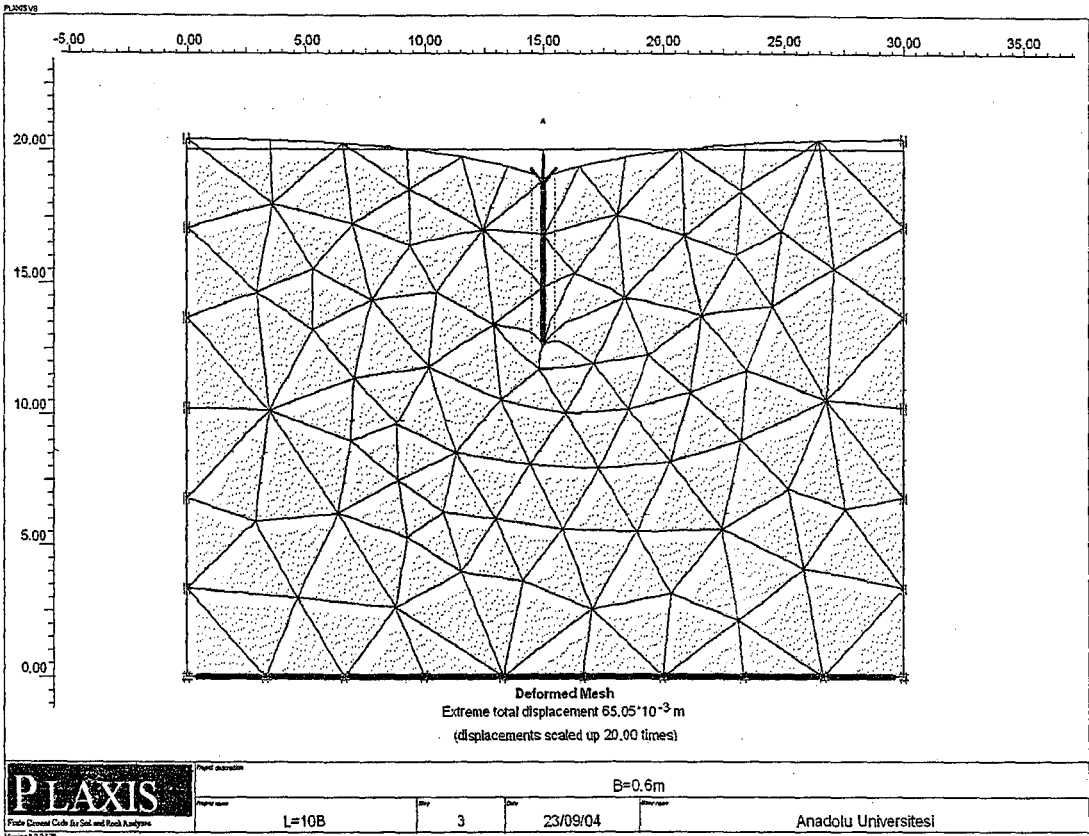


Bu zemin profili kohezyonsuz zeminlerin bütün uygulamasında kullanılmıştır. Zemin özelliklerine bağlı olarak referans aldığımız logdan yararlanarak efektif içsel sürtünme açısı, kuru birim hacim ağırlık, boşluk oranı ve rölatif sıkılık değerlerinden yararlanılmıştır. Ve ek olarak da literatür araştırması sonucu bazı abak ve tablolardan yararlanmıştır.

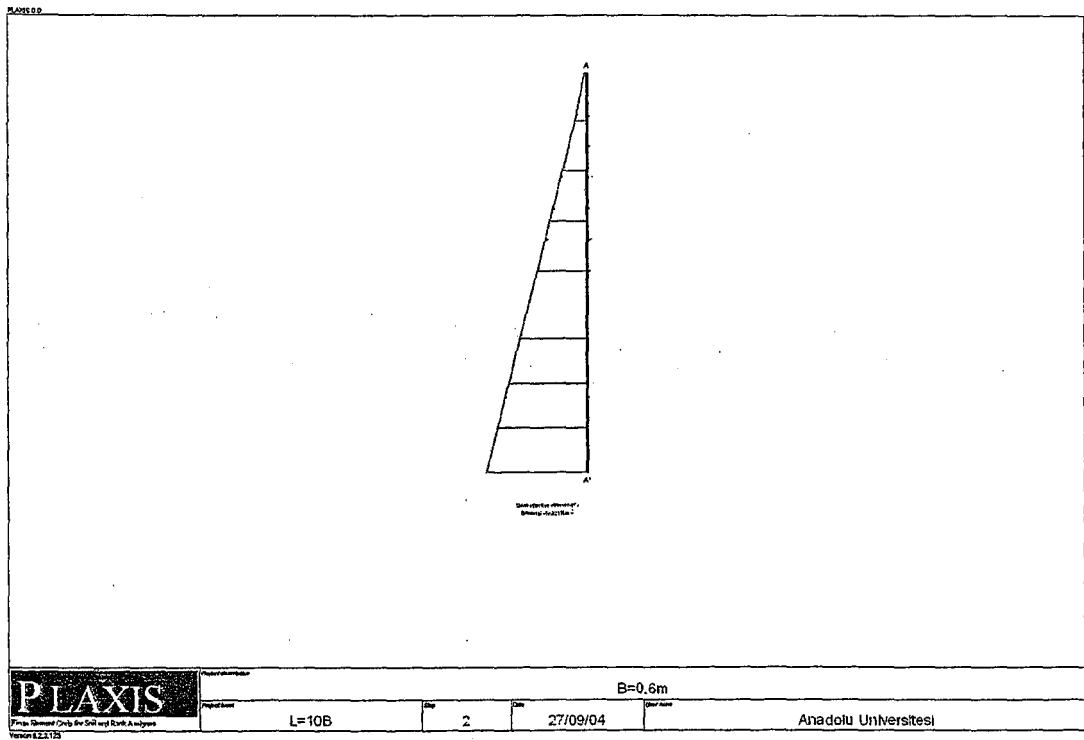
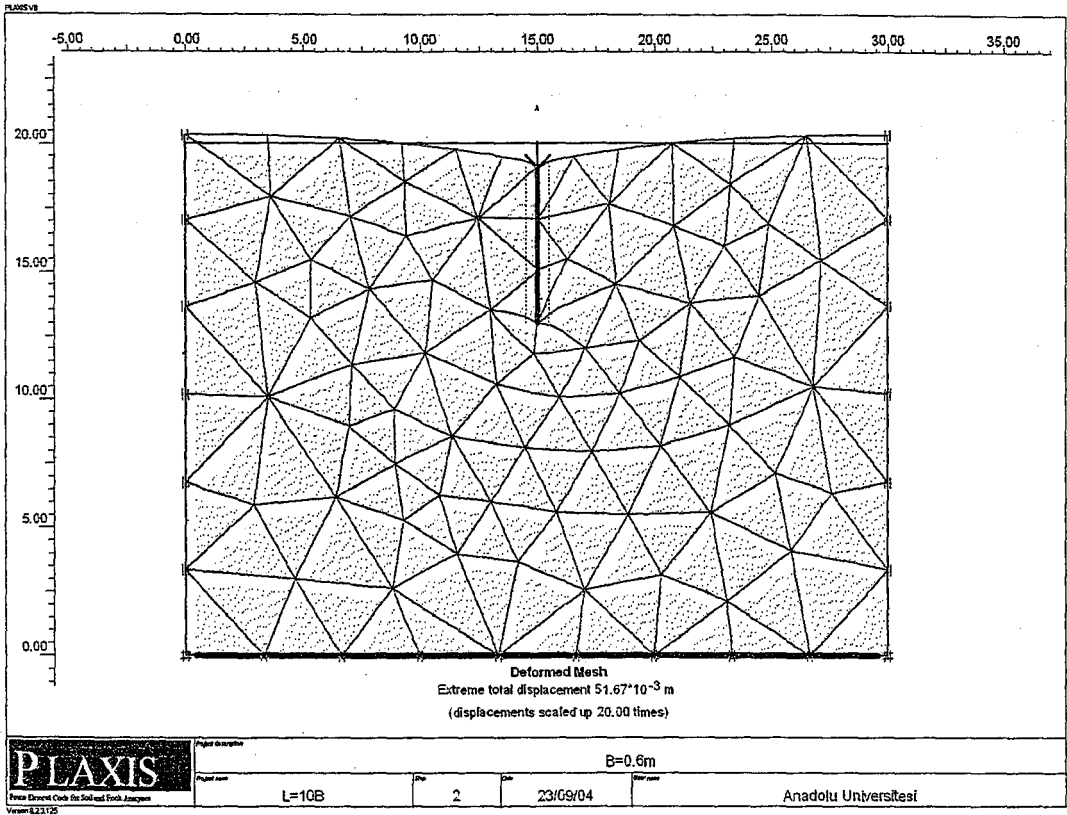


YASS'i kazık başlığından 4'er metre düşürülerek kazığın oturmasını, kazık ucunda oluşan efektif gerilmeleri ve boşluk suyu basıncı yumuşak ve sert killi zeminlerde ve kohezyonsuz zeminlerde bulunmuştur. Bunlardan bazılarının deforme olmuş ağırları aşağıda gösterilmiştir.

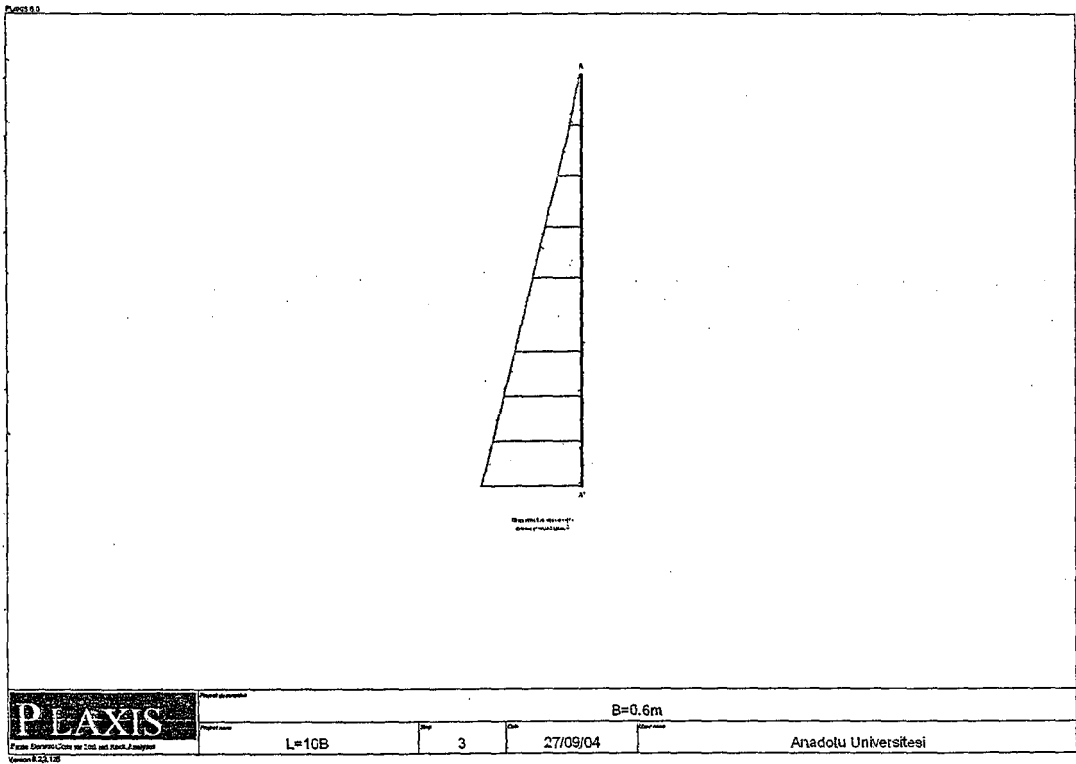
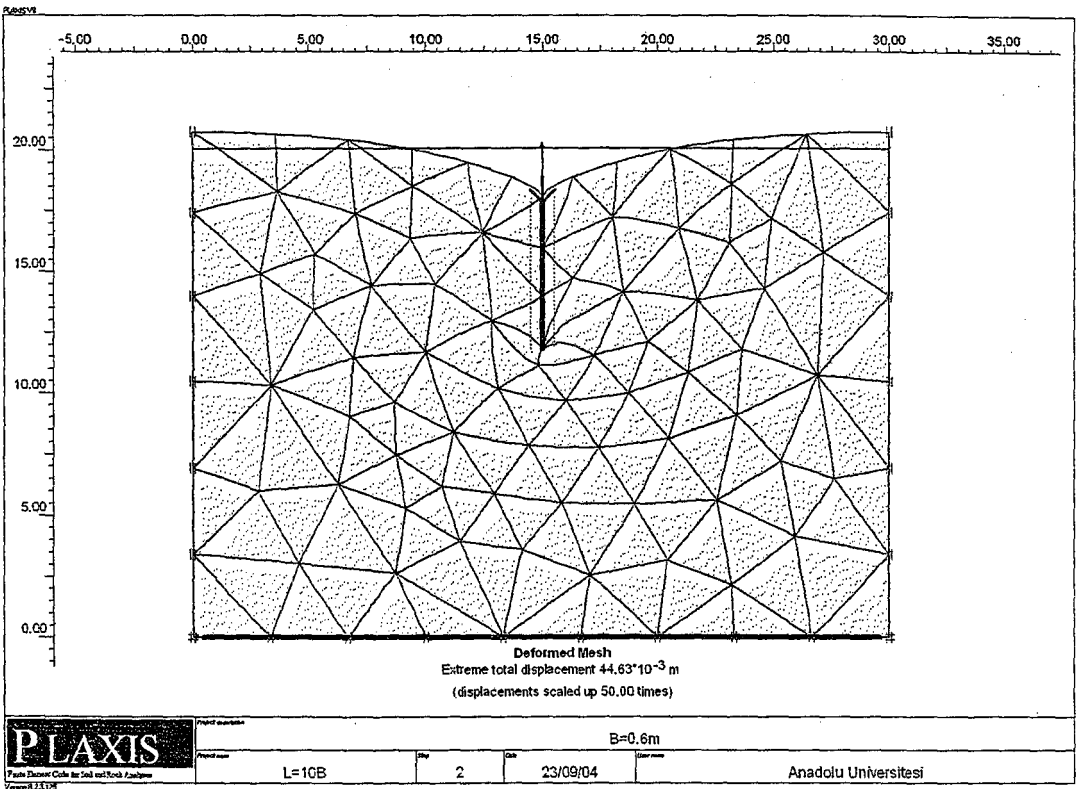
$L=10B$ ($B=0.6$)
 $C_u=50\text{kN/m}^2$



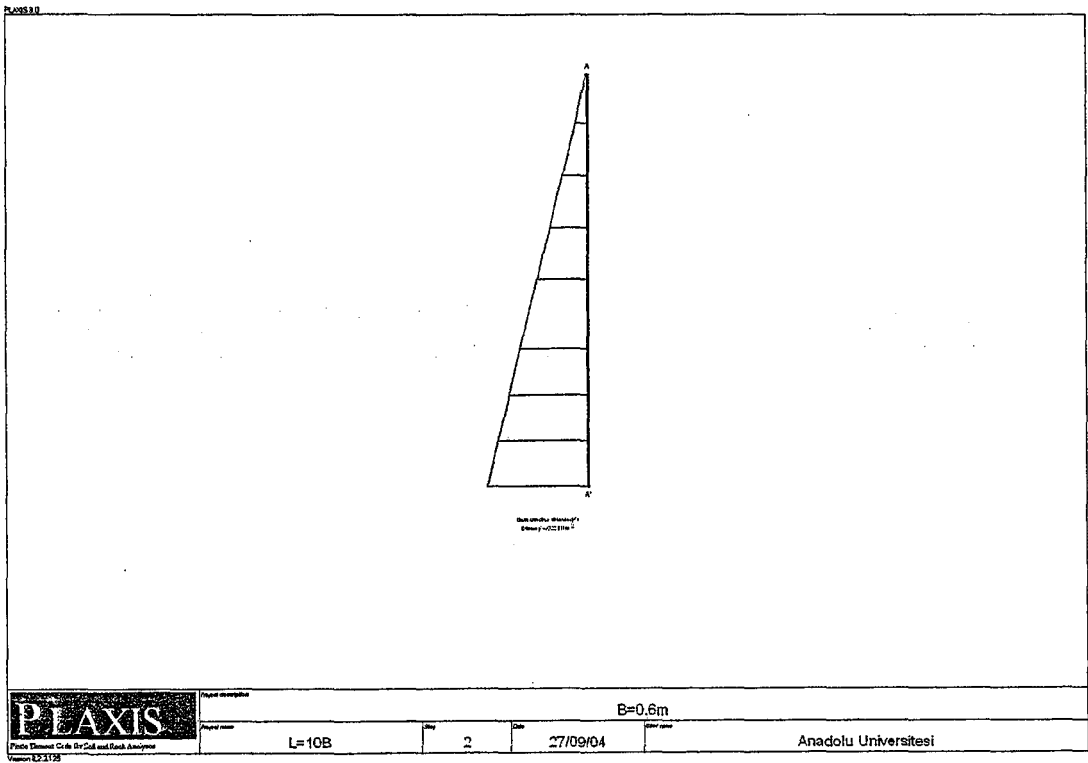
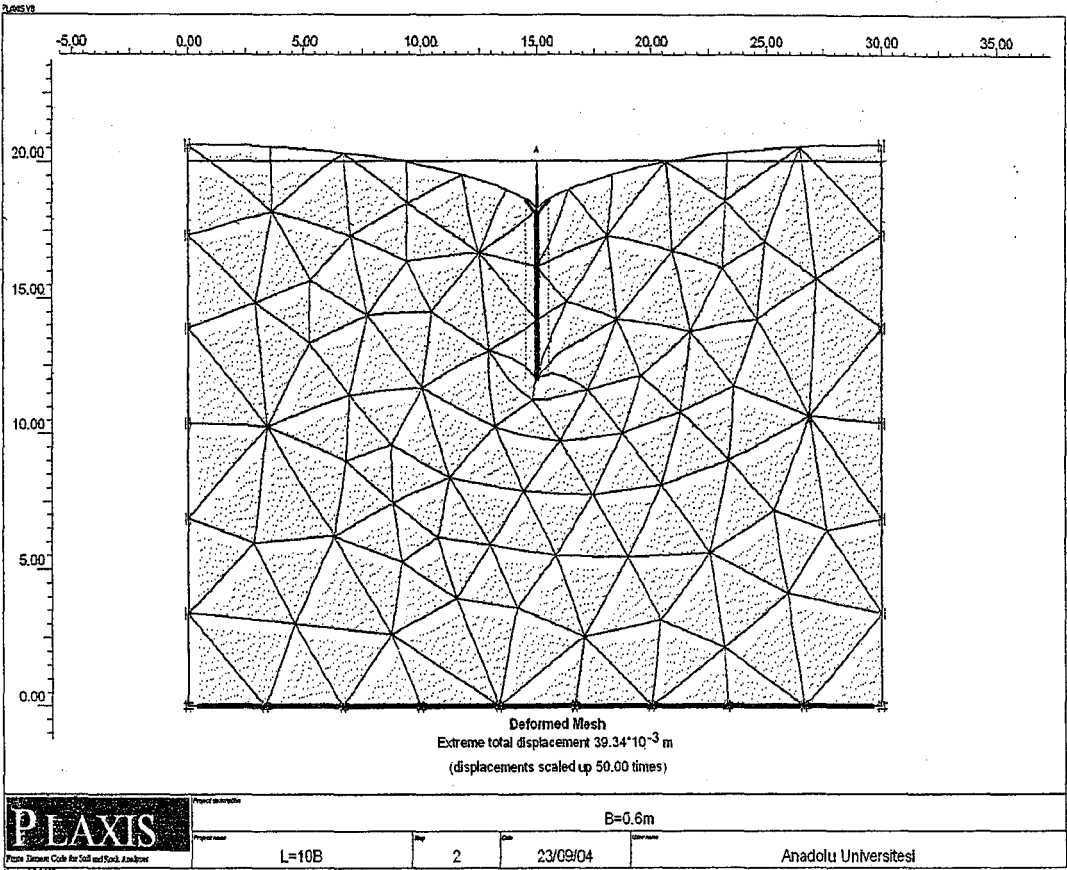
$C_u=100\text{kN/m}^2$



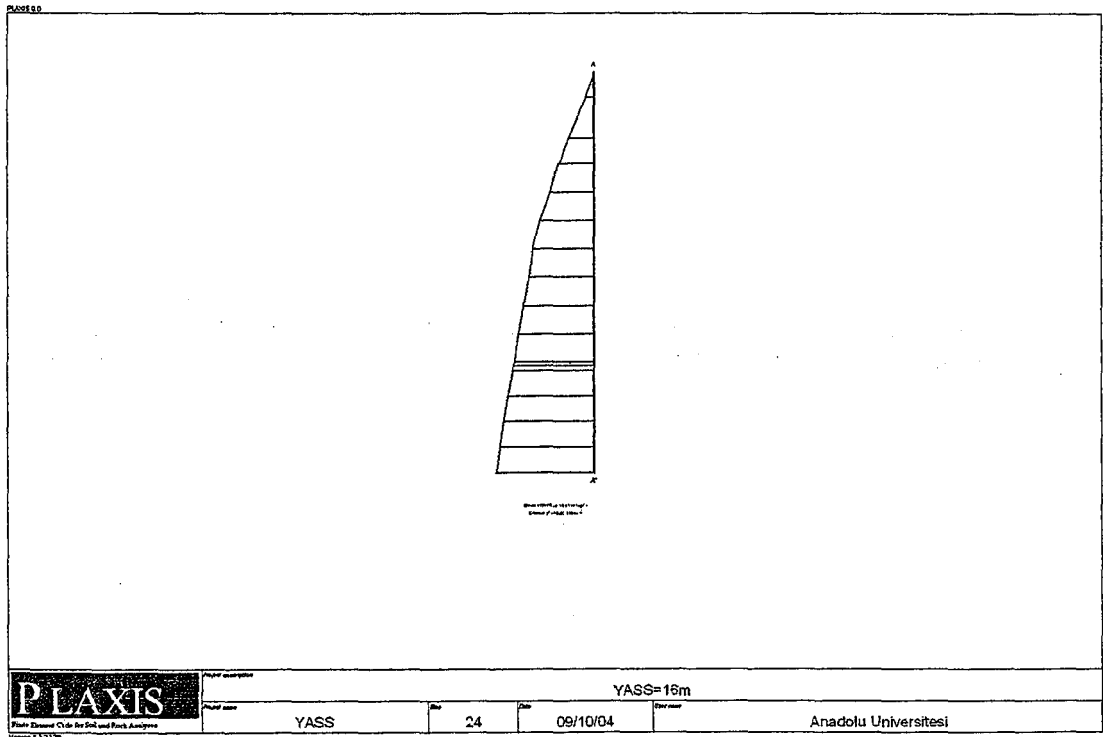
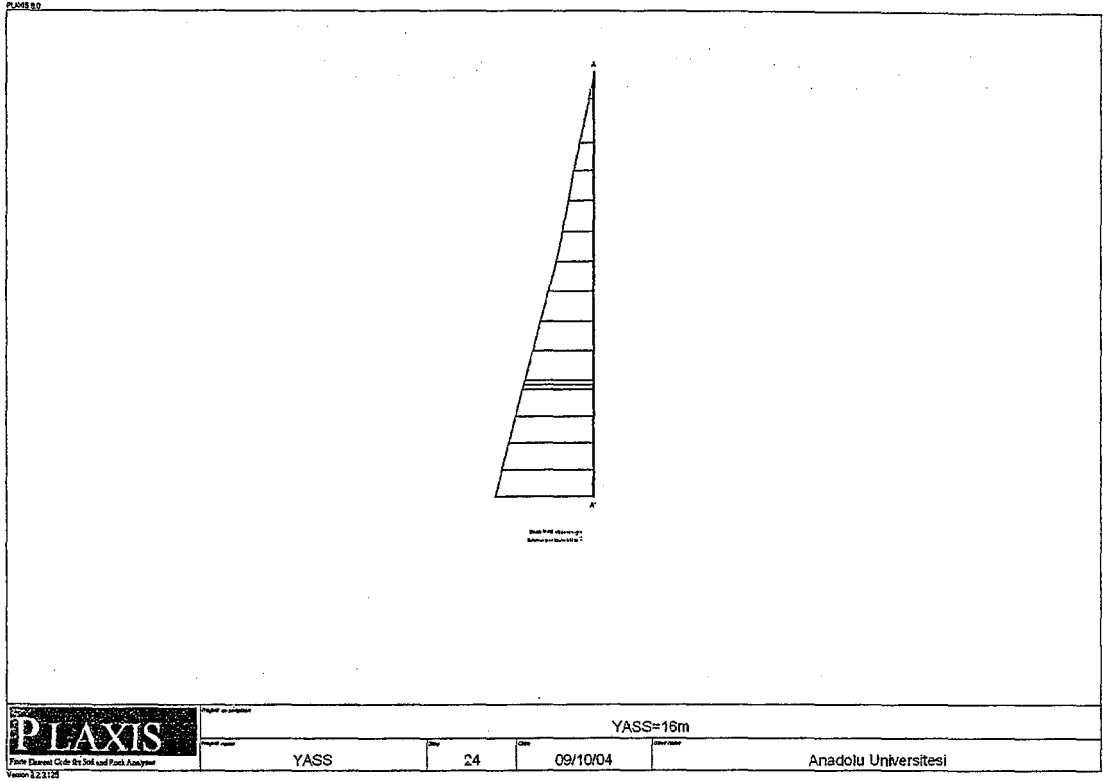
$Cu=150kN/m^2$

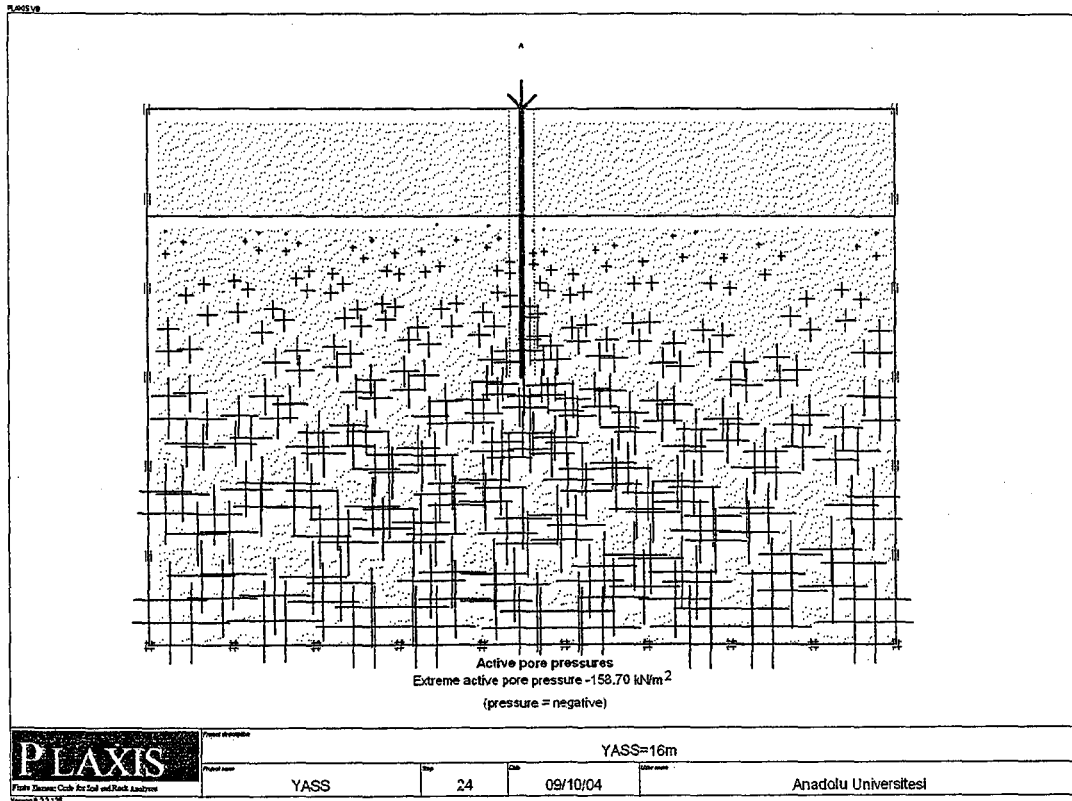
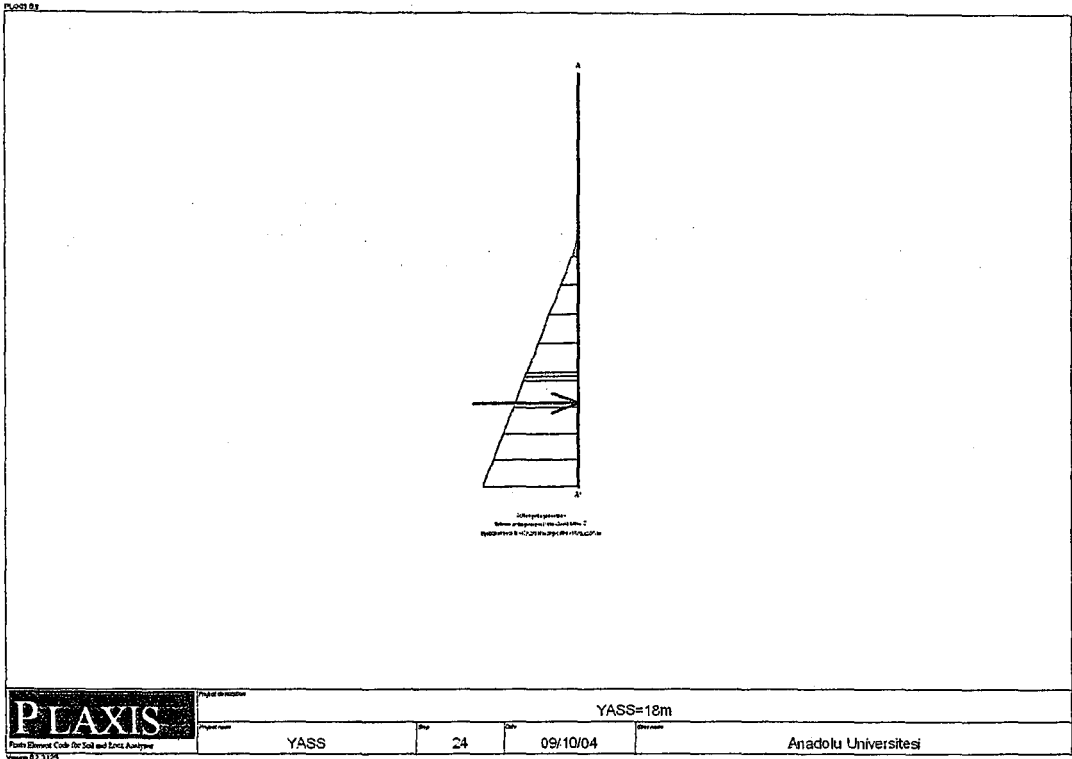


$Cu=200kN/m^2$



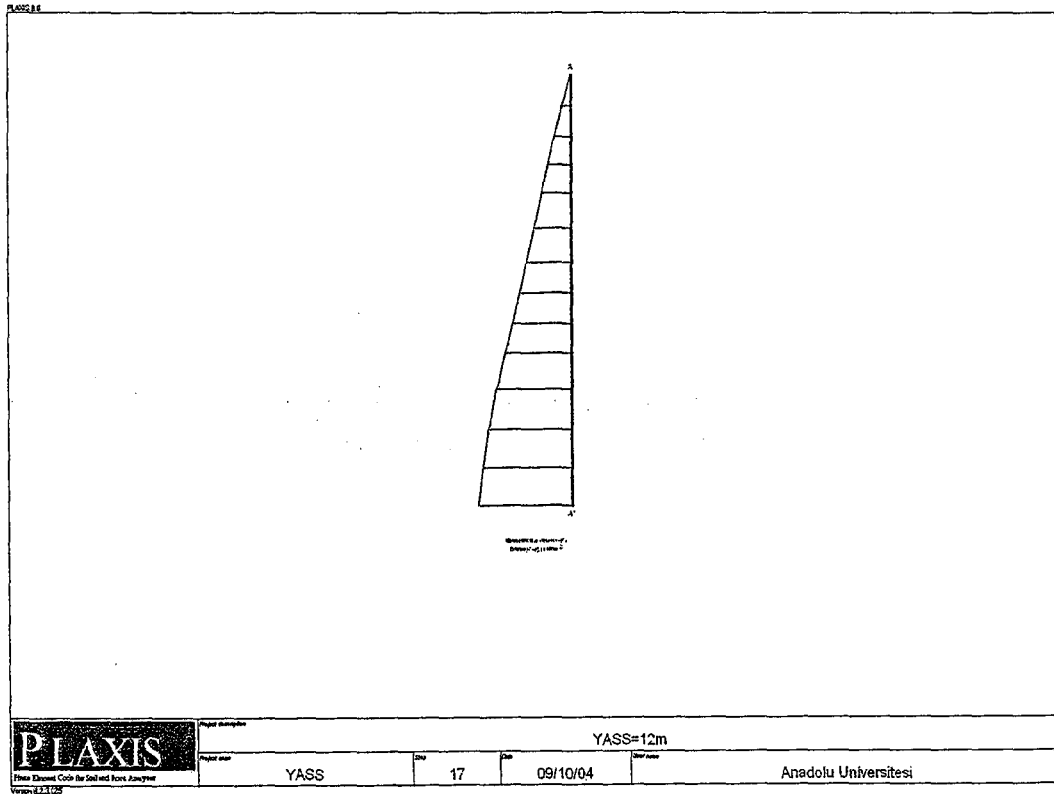
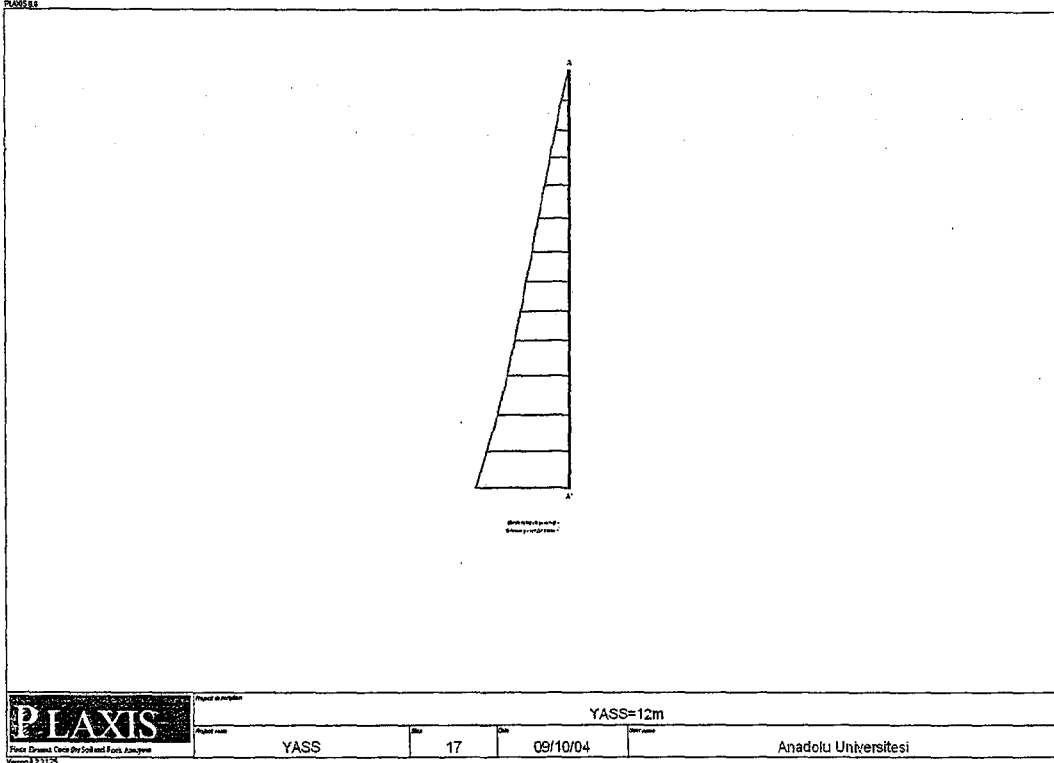
YASS'ı 16m iken yumuşak killerde kazığın toplam gerilme, efektif gerilme ve boşluk suyu basıncının PLAXIS programında çözüm sonuçları.

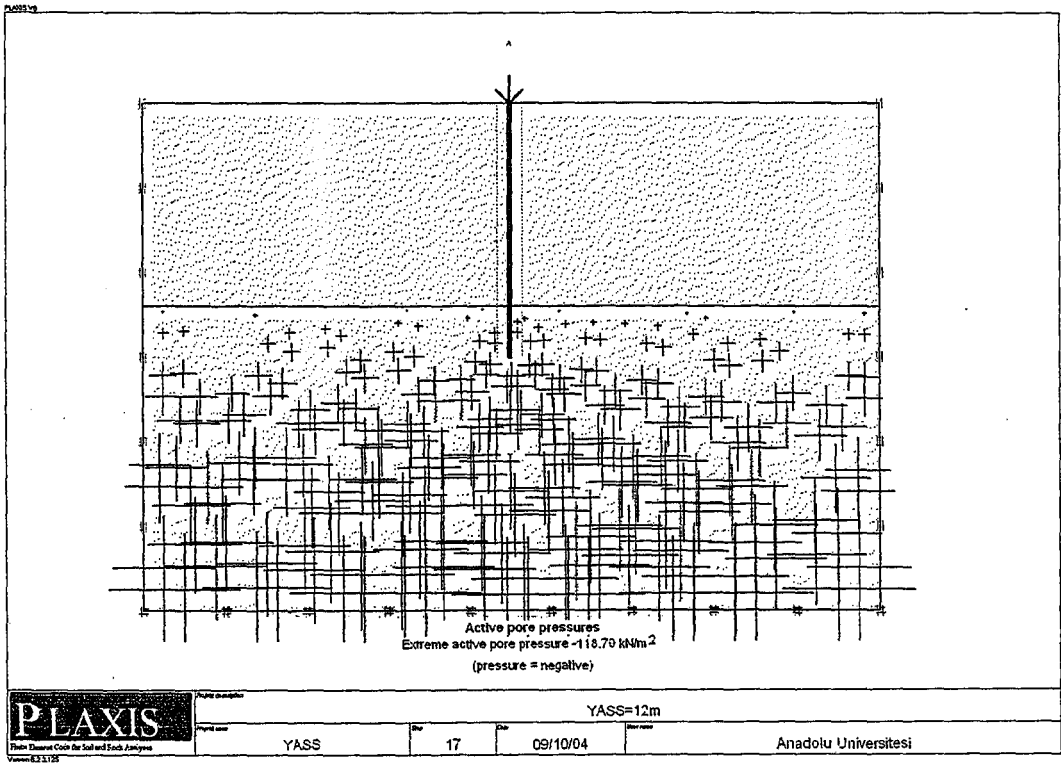
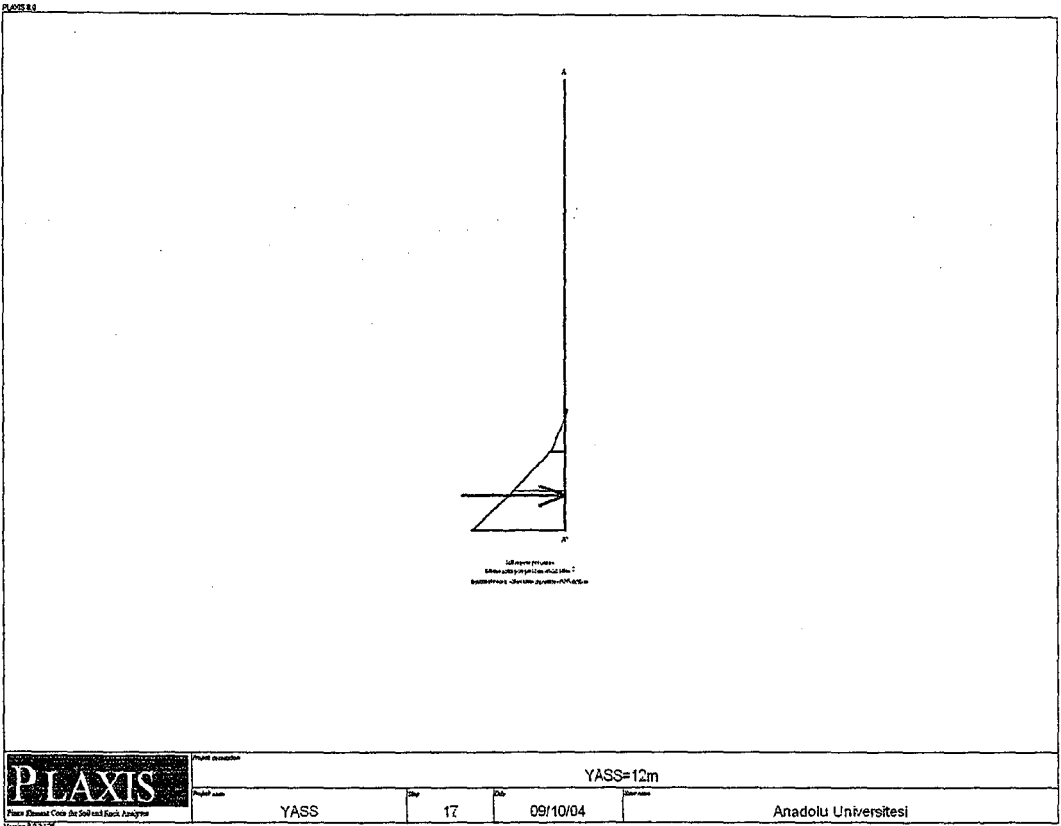




Şekil: Zeminde oluşan boşluk suyu basınç ağı

YASS'ı 12m iken yumuşak killerde kazığın toplam gerilme, efektif gerilme ve boşluk suyu basıncının PLAXIS programında çözüm sonuçları.





Şekil: Zeminde oluşan boşluk suyu basınç ağı

ÇALIŞMADA YARARLANILAN TABLO VE ABAKLAR

Bütün zemin tipleri için Elastisite modülü (E) ve Poisson oranı(v) değerleri

Soil type	Modulus of elasticity, E	
	ksf	kN/m ²
Sand, loose	200-500	9,000-25,000
Sand, dense	1,000-1,700	45,000-80,000
Sand, silty	150-450	7,000-21,000
Sand and gravel, loose	1,000-3,000	45,000-145,000
Sand and gravel, dense	2,000-4,000	90,000-180,000
Silt	50-400	2,400-20,000
Loess	300-1,100	13,000-50,000
Clay, soft	10-100	500-5,000
Clay, medium	100-200	4,000-10,000
Clay, firm	150-400	7,000-20,000
Clay, sandy	550-850	25,000-40,000

Soil type	Poisson's ratio, ν
Sand, loose	0.10-0.30
Sand, dense	0.30-0.40
Silt	0.30-0.40
Loess	0.20-0.40
Clay, saturated	0.40-0.50
Clay, partially saturated	0.30-0.40
Clay, with sand and silt	0.20-0.40

Zeminlerin Permeabilite Değerleri

Soil	Permeability	Soil type	k
Free draining soils	high	gravels	$>10^{-3}$
	high	sands	10^{-3} to 10^{-5}
	low	silts and clays	10^{-5} to 10^{-7}
Impervious soils	very low	clay	10^{-7} to 10^{-9}
	Practically impervious	clay	$<10^{-9}$

TSE'de kohezyonsuz zeminlerin hesap değerleri

Zemin türü	Sembol	Sıklık	Birim Hacim Ağırlık			Kayma direnci ϕ
			Tabii γ_n	Doygun γ_{dry}	Batık γ_{wet}	
			kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³	Derece
İyi derecelenmiş kum, az siltli kum, kum-çakıl	$C_u < 6$ olan SW, SM	Gevşek	17	19	9	30
		Orta sıkı	18	20	10	32.5
		Sıkı	19	21	11	35
İyi derecelenmiş az kumlu çakıl, yassı çakıl ve taş	GW	Gevşek	17	19	9	32.5
		Orta sıkı	18	20	10	35
		Sıkı	19	21	11	37.5
Kötü derecelenmiş kum, kum-çakıl ve çakıl	$6 < C_u < 15$ SP, SM, GP	Gevşek	18	20	10	30
		Orta sıkı	19	21	11	32.5
		Sıkı	20	22	12	35
Kötü derecelenmiş kum, kum-çakıl, az siltli çakıl	$C_u > 15$ olan SP, SM, GP veya GM	Gevşek	18	20	10	30
		Orta sıkı	20	22	12	32.5
		Sıkı	22	24	14	35

Gevşek $0.15 < D_r < 0.3$
Orta sıkı $0.30 < D_r < 0.50$
Sıkı $0.50 < D_r < 0.75$

$C_u = D_{60} / D_{10}$ Uniformluk katsayısı

TSE'den kohezyonlu ve organik zeminlerin hesap değerleri.

Zemin türü	Sembol	Kıvamı	Birim Hacim Ağırlık		Kayma direnci ϕ Derece	Kohezyon	
			Doygun γ_{dry} kN/m ³	Batık γ_{wet} kN/m ³		c kN/m ²	c_u N/m ²
Yüksek plastisiteli inorgank kohezyonlu zeminler ($w_L > \% 50$)	CH	Yumuşak	18	8	17.5	0	50
	MH	Katı	19	9	17.5	10	35
		Ortasert	20	10	17.5	25	75
Orta plastisiteli inorgank kohezyonlu zeminler ($\% 50 > w_L > \% 35$)	CL	Yumuşak	19	9	22.5	0	5
		Katı	19.5	9.5	22.5	5	25
	ML	Ortasert	20.5	10.5	22.5	10	60
Düşük plastisiteli inorgank kohezyonlu zeminler ($w_L < \% 35$)	OL	Yumuşak	20	10	27.5	0	0
	CL	Katı	20.5	10.5	27.5	2	15
	ML	Ortasert	21.5	11	27.5	5	40
Organik kil, Organik silt	OH	Yumuşak	14	4	15	0	10
	OL	Katı	17	7	15	0	20