

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TAŞ KOLONUN MEKANİK DAVRANIŞ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KALTOUM ABDİLLAHI AHMED

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Mühendisliği Program

Haziran, 2019

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TAŞ KOLONUN MEKANİK DAVRANIŞ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KALTOUM ABDILLAHI AHMED
(Y1613.090014)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Mühendisliği Program

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi. Dr. KAVEH DEGHANIAN

Haziran, 2019

ONAY FORMU



T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1613.090014 numaralı öğrencisi KALTOUM ABDILLAHİ AHMED ' ın "TAŞ KOLONUN MEKANİK DAVRANIŞ ANALİZİ" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 12.06.2019 tarih ve 2019/12 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarakedilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 05/07/2019

1)Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Kaveh DEGHANIAN

2) Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Saed MOGHIMI

3) Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Ali ETEMADI

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.



YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi Olarak Sunduğum ‘‘Taş Kolonun Mekanik Davranış Analizi’’ adlı çalışmamda, tezimin proje kısmından sonuçlandığı zamana kadar tüm süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterildiği gibi olduğunu, bunlara atıf yaparak yararlanılmış olduğunu belirtir ve beyan ederim.
(05/07/2019)

KALTOUM ABDILLAHI AHMED



ÖNSÖZ

Bu araştırmaya çokca zaman ve çaba harcayan tez danışmanım Dr. KAVEH DEHGHANIAN'a içten teşekkürlerimi ve minnettarlığımı belirtmek isterim. Çalışmalarım boyunca verdiği tüm destek, teşvik ve tavsiyeler için müteşekkirim. Son olarak, en son ve en önemli minnettarlığım aileme ve kardeşlerime gidiyor. Bana sağlanan ve tüm fedakarlıklar verdiği sonsuz desteğiniz için size teşekkür ederim.

Haziran, 2019

KALTOUM ABDILLAHI



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
ABSTRACT	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	1
1.2 Tezın Amacı	2
2. LİTERATÜR ÖZETİ	5
2.1 Genel	5
2.2 Zemin iyileştirme tanımı ve Süreçler	6
2.2.1 Vibro-kompaksiyon yöntemi	6
2.2.2 Dinamik Derin Sıkıştırma	9
2.2.3 Vibro-değiştirme Yöntemi: Taş kolonlar	10
2.3 Davranış ve boyutlandırma mekanizmaları.....	17
2.3.1 Kolonların düzenlenmesi ve yenilme mekanizmaları.....	17
2.3.2 Tekil taş kolon.....	17
2.3.3 Taş kolon gruplar	18
2.4 Taş kolon tasarımı	20
2.4.1 Birim hücre prensipi.....	20
2.4.2 Gerilme dağılım katsayısı (n).....	23
2.5 Taş Kolonlarda oturma tahmin yöntemleri	27
2.5.1 Denge Metodu	27
2.5.2 Priebe Metodu	29
2.5.3 Kavite genişleme teorisi yaklaşımları	31
2.5.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi	34
2.6 Seçilmiş taş kolon örnek olayın tarihleri.....	36
2.6.1 Rijit taş kolonları ile dolguların doldurulması	36
3. SONLU ELEMANLAR MODELLEMESİ	39
3.1 PLAXIS programı	39
3.2 Sonlu elemanlar ve düğümler.....	40
3.2.1 Zemin elemanı.....	40
3.3 Giriş programı	41
3.3.1 Zemin davranışının modellenmesi	41
3.3.2 Zeminin davranış çeşitleri	51
3.3.3 Model Oluşturma	52
3.4 Hesaplama	55
3.4.1 Hesaplama türleri	55

3.4.2 Yükleme türleri	56
3.5 Çıktı	58
3.6 Eğriler	59
4. SONLU ELEMANLAR ANALİZİNİN SONUÇLARI: OTURMA PERFORMANSI, DEFORMASYON DAVRANIŞI.....	61
4.1 Giriş	61
4.2 Sayısal Model	63
4.2.1 Zemin davranış modeli.....	64
4.3 Sayısal Analiz.....	66
4.3.1 Taş kolonların deformasyon davranışları.....	67
4.3.2 Yatay yer değiştirme davranışı.....	70
4.3.3 Oturma analizi	76
4.3.4 Düşey deplasmanlar	80
4.4 Duyarlılık analizi	85
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
5.1 Sonuç	89
5.2 Öneriler.....	92
KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	97

KISALTMALAR

μ_s	: Sırasıyla, kil ve taştaki gerilmelerin oranını
μ_c	: Taşta artan oturma oranlarıdır
A	: Tek kum kazığının etkili olduğu zemin alanı
A_c	: Taş kolonun alanı
a_r	: Alan yerdeğiştirme oranı
a_s	: Taşın alan değiştirme
c	: (Etkili) kohezyon
C	: Geometri katsayısı
c'	: Çevredeki zeminin kohezyonu
C_c	: Tek boyutlu konsolidasyon testinden sıkıştırma indeksi,
c_c	: Sıkıştırma indeksi
c_s	: Şişirme indeksi veya yeniden yükleme indeksi
c_u	: Drenajsız kayma dayanımının
D	: Taş kolon çapı
De	: Birim hücre alanının çapı
E	: Young modülü,
E_{50}	: Parametresi, birincil yükleme için sınırlayıcı gerilmeye bağlı olan ve denklemden verilen sertlik modülüdür
E_{ref}^{50}	: Birincil deviatorik yüklemeden dolayı plastik gerinim
E_c	: Zeminin elastik modülü
e_{init}	: İlk boşluk oranı
e_o	: Doğal zeminin e_o olan boşluk
e_o	: İlk boşluk oranı
E_{ref}^{oed}	: Birincil sıkıştırma nedeniyle Plastik gerinim
$E_{s'}$: Çevreleyen zemin elastik modülü
E_{ref}^{ur}	: Elastik boşaltma / yeniden yükleme
F_c' ve F_q'	: Kavite genişleme faktörleri
F_d	: Derinlik faktörü,
H_t	: Oturmanın hesaplandığı taş kolon ile güçlendirilmiş zeminin dikey yüksekliği,
I_r	: Rijitlik İndeksinin
k	: Cam-Clay şişme indeksi
k^*	: Değiştirilmiş şişme indeksi
K_0	: Zeminin basıncı katsayısı
K_p	: Taş kolonun pasif dirençinin katsayısına eşittir,
m	: Bir güç yasasına göre gerilmeye bağlı sertlik
M_c/M_s	: Ödometrik modül oranına bağlı olarak
n	: Gerilme dağılım katsayısı
p	: Yenilme bölgesinde ortalama gerilme
p_{ref}	: Referans basınçtır
q	: Deviatorik gerilme
Q	: Birim hücreye etkiyen toplam yük

q	: Eşdeğer yenilme derinliğinde ortalama (izotropik) gerilme
q_a	: Kesme kuvvetinin asimptotik ve , başlangıç sertliğinin değeridir
q_{ult}	: Nihai taşıma gücünü
S	: Kolonlar arası merkezden merkeze mesafedir
β	: Derinlik oranı
ST / S	: Örselenmemiş örselenmiş zeminin oturma oranına
ST	: Örselenmemiş zeminin oturması
St	: Taş kolon ile güçlendirilmiş zeminin bir mesafe H_t üzerinden oluşan birincil konsolidasyon oturması
ν	: Çevredeki zeminin Poisson oranı,
γ	: Etki faktörü
γ_s	: Zeminin birim hacim ağırlığı
Δd	: Zemin tabakasının kalınlığı
Δe	: Hacmine eşdeğer miktarda kum
$\Delta \sigma$: Dışarıdan uygulanan yükleme nedeniyle kil tabakasında gerilme değişimi,
κ^*	: Değiştirilmiş şişme endeksi
λ^*	: Değiştirilmiş sıkıştırma endeksi
λ	: Standart Cam-Clay sabitleme indeksine
λ^*	: Modifiye edilmiş sıkıştırma indeksine
μ	: Değiştirilmiş ikincil sıkıştırma endeksi
ν	: Poisson Oranı
P	: Sahada yoğunluğu
σ	: Yüzeydeki düşey gerilmedir
σ_1 / σ_2	: Gerilme oranı
σ_1	: Nihai dikey gerilme
σ_3'	: Üç eksenli bir testte sınırlayıcı basınçısıdır.
σ_3	: Nihai drenajsız yanal gerilme
σ_{3maks}	: Uygulanan çevre basınçlarının maksimum değerleri
σ_{3min}	: Uygulanan çevre basınçlarının minimum değerleri
σ_c	: Etrafındaki kohezyonlu zeminde düşey gerilme
σ_{ro}	: Yerinde toplam yanal gerilme (başlangıç)
σ_s	: Birim hücre içerisindeki zemine aktarılan gerilme ,
σ_{vo}'	: Kil tabakasında ortalama efektif gerilme
ψ	: Genleşme Açısı
ϵ_1	: Dikey gerinim
Φ	: İçsel sürtünme açısı
Φ_{maks}	: Ölçülen kayma direnci açılarının maksimum değerleridir.
Φ_{min}	: Ölçülen kayma direnci açılarının maksimum değerleridir.
ϕ_s	: İç sürtünme açısı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Uygulamada yaygın olarak kullanılan taş kolon gradasyonlar	16
Çizelge 2.2: Farklı kolon malzemeleri ölçülmüş kayma direnci açıları	17
Çizelge 3.1: Mohr-Coulomb modelindeki gibi yenilme parametreleri	45
Çizelge 3.2: Zemin sertliği için temel parametreler	45
Çizelge 3.3: Zemin sertliği için temel parametrelerin girilmesi yerine alternatif parametreler girilebilir..	45
Çizelge 4.1: Modeller için Pekleşen zemin modelinin malzeme özellikleri.	64
Çizelge 4.2: Modeller için Mohr- Coulomb modelinin malzeme özellikleri.	66



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Uç taşıyıcı kolonlarla desteklenen temeli göstermektedir.....	2
Şekil 2.1: Vibro-sıkıştırma ve vibro-yerdeğiştirme yöntemlerinin uygulanabildiği çeşitli zeminlerin gradasyon özellikleri (Barksdale ve Bachus, 1983).....	6
Şekil 2.2: Vibro-sıkıştırma işleminde zemin iyileştirme mekanizması (Besancon, 1982).....	7
Şekil 2.3: Vibro-sıkıştırma yöntemi için uygun zemin gradasyonları (Degen, 1977).	8
Şekil 2.4: Kum kazıkların Sıkıştırma prensibi (Besancon, 1982)	9
Şekil 2.5: Kum kazıkların değişik yerleşimleri (Mitchell, 1991)	9
Şekil 2.6: Dinamik kompaksiyon uygulama yöntemi	10
Şekil 2.7: Eğim stabilitesinde taş kolonların kayma direnci (Mitchell, 1981)	12
Şekil 2.8: Üstten beslemeli ıslak vibro-yerdeğiştirme yönteminin uygulaması (Keller Grubu, 2015).....	13
Şekil 2.9: Dipten beslemeli kuru vibro-yerdeğiştirme yöntemi (Keller Grubu, 2015)	15
Şekil 2.10: Tekil Kolonlarda olası yenilme mekanizmaları (Barksdale ve Bachus, 1983).....	18
Şekil 2.11: (a)Yanal Yayılma - Geniş Dolgu Yüklemesi (b)Genel Dairesel Göçme (c)Kabarma Göçmesi – Küçük Grup.Taş kolon gruplarının yenilme mekanizmaları (Barksdale ve Bachus , 1983).	19
Şekil 2.12: Sürjarj yüklemesi sonunda dolgu altında oluşan yanal yer değiştirme (Parsons – Brinkerhoff, Quade ve Douglas ,1980).....	20
Şekil 2.13: Jourdan terminal – taş kolonla güçlendirilmiş zemin üzerindeki donatılı istinat duvarı altında yenilmeden sonraki durum (Parsons – Brinkerhoff, Quade ve Douglas ,1980).	20
Şekil 2.14: Birim hücre prensipi (Kirsch ve Kirsch , 2010)	21
Şekil 2.15: Farklı kolon yerleşimleri (a) üçgen , (b) kare ve (c) altıgen (Balaam ve Booker, 1981)	22
Şekil 2.16: Lineer elastik analizler sonucunda elde edilen n ve E_c/E_s arasındaki ilişki (Barksdale ve Bachus, 1983).....	25
Şekil 2.17: Gerilme dağılım katsayısı faktörünün değişimi n, (Bachus, 1989).	26
Şekil 2.18: Oturma iyileşme oranının alan yerdeğiştirme oranı ve gerilme dağılım katsayısına bağlı olarak değişimi (Barksdale ve Bachus, 1983)	29
Şekil 2.19: Oturma iyileşme oranı Priebe ve Denge metodları (Barksdale ve Bachus , 1983).....	30
Şekil 2.20: Kolon sıkışabilirliğinin alan yerdeğiştirme oranına etkisi (Priebe, 1995)	30
Şekil 2.21: Derinlik faktörünün belirlenmesi (Priebe, 1995)	31
Şekil 2.22: Model testlerinde, kolon üzerine rijit bir plaka ile yüklenen tek bir taş kolon için görülen göbelenme yenilmesi (Hughes, Withers,1974).	33
Şekil 2.23: Kavite genleşme faktörleri (Vesic , 1972).....	34

Şekil 2.24: Elastik oturmasındaki taş kolon penetrasyon uzunluğu etkisi (Goughnour, R. R. and A. A. Bayuk, 1979).....	35
Şekil 2.25: Hampton, Virginia'da seçilmiş yeraltı koşulları (Webb, D. L. 2nd R. I. V. Hall, 1969).....	37
Şekil 3.1: Zemin elemanındaki düğümlerin ve gerilme noktalarının dağılımı (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)	41
Şekil 3.2: Standart drenajlı üç eksenli test için birincil yüklemde hiperbolik gerilme - gerinim ilişkisi (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu).....	44
Şekil 3.3: Pekleşen zemin modelinin parametresi (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)	44
Şekil 3.4: Drenajlı üç eksenli test sonuçları için E_{ur}^{ref} , E_{50}^{ref} 'un tanımı (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)	46
Şekil 3.5: Mohr Coulomb modelinin parametresi (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)	47
Şekil 3.6: Standart süzölmüş üç eksenli test sonuçları için E_0 ve E_{50} 'nin tanımı (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)	48
Şekil 3.7: Bir Mohr yenilme dairesi ile Mohr coulomb yenilme kabuğu (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)	49
Şekil 3.8: Elastik ve sürünme bileşenine gerilme artışlarının bölünmesiyle oedometre testinden idealleştirilmiş gerilme-gerinim eğrisi (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)	51
Şekil 3.9: Standart oedometre testinde konsolidasyon ve sünme davranışı, (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)	51
Şekil 3.10: Giriş penceresindeki geometri modeli.....	53
Şekil 3.11: Geometrinin aksenal simetrik sonlu eleman ağı.....	54
Şekil 3.12: Başlangıç durumu giriş penceresi.....	55
Şekil 3.13: Hesaplama türleri giriş penceresi	56
Şekil 3.14: Yükleme türleri giriş penceresi	57
Şekil 3.15: Toplam yer değiştirme giriş penceresi	58
Şekil 3.16: Yatay Faz yer değiştirme giriş penceresi.....	58
Şekil 3.17: Etkili gerilmeler giriş penceresi.....	59
Şekil 3.18: Toplam gerilmeler giriş penceresi	59
Şekil 4.1: Aksenal Simetrik Birim Hücre Modeli (100, 1000 kPa Yük)	65
Şekil 4.2: Sonlu eleman model ağı	65
Şekil 4.3 : Kenardaki taş kolon deforme ağı (a) Pekleşen zemin modeli (b) Mohr coulomb modeli	68
Şekil 4.4: Orta bir taş kolonun deforme ağı (a) Pekleşen zemin modeli ve (b) Mohr coulomb modeli,	69
Şekil 4.5: Taş kolon grup için deforme ağı Mohr Columb modeli.....	70
Şekil 4.6: Kenar taş kolonu için yatay yer değiştirme grafikleri(a) Mohr-columb modeli ve (b) Pekleşen Zemin modeli	71
Şekil 4.7: Orta taş kolonu için yatay yer değiştirme grafikleri (a) Mohr-columb modeli ve (b) Pekleşen Zemin modeli	72
Şekil 4.8: Grup taş kolon için yatay yer değiştirme grafiği Mohr-columb modeli....	72
Şekil 4.9: Kenar taş kolonu için yatay yer değiştirme grafikleri (a) Mohr-columb modeli ve (b) Pekleşen Zemin modeli	73
Şekil 4.10: Orta taş kolonu için yatay yer değiştirme grafikleri (a) Mohr-columb modeli ve (b) Pekleşen Zemin modeli	73
Şekil 4.11: Grup taş kolon için yatay yer değiştirme grafiği (a) Mohr-columb modeli	73
Şekil 4.12: Kenar taş kolon ve yumuşak zeminin yatay yer değiştirme davranışı(a) Mohr-columb modeli ve (b) Pekleşen Zemin modeli.....	74

Şekil 4.13: Orta taş kolon ve yumuşak zeminin yatay yer değiştirme davranışı (a) Mohr-columb modeli ve (b) Pekleşen Zemin modeli.....	75
Şekil 4.14: Grup taş kolon ve yumuşak zeminin yatay yer değiştirme davranışı Mohr columb	75
Şekil 4.15: Kenar taş kolonu için oturma grafikleri (a) Mohr columb modeli (b) Pekleşen zemin modeli	77
Şekil 4.16: Orta taş kolonu için oturma grafikleri (a) Mohr columb modeli (b) Pekleşen zemin modeli	78
Şekil 4.17: Grup kolon için oturma grafiği Mohr columb modeli.....	79
Şekil 4.19: Orta taş kolonu için oturma grafikleri (a) Mohr columb modeli (b) Pekleşen zemin modeli	80
Şekil 4.20: Grup kolon için oturma grafiği(a) Mohr columb modeli	80
Şekil 4.21: Kenar taş kolon ve yumuşak zeminin düşey yer değiştirme davranışı (a) Mohr columb modeli (b) Pekleşen zemin modeli	81
Şekil 4.22: Orta taş kolon ve yumuşak zeminin düşey yer değiştirme davranışı(a) Mohr columb modeli (b) Pekleşen zemin modeli	82
Şekil 4.23: Grup taş kolon ve yumuşak zeminin düşey yer değiştirme davranışı Mohr columb modeli	82
Şekil 4.24: Pekleşen Zemin modeli kullanarak arazi şartlarına uygun modellemenin deforme ağı.....	83
Şekil 4.25: Pekleşen Zemin modeli kullanarak arazi şartlarına uygun modellemenin düşey yer değiştirmesi	84
Şekil 4.26: Pekleşen Zemin modeli kullanarak arazi şartlarına uygun modellemenin yatay yer değiştirmesi.....	84
Şekil 4.27: Mohr Columb modeli kullanarak arazi şartlarına uygun modellemenin deforme ağı.....	84
Şekil 4.28 : Mohr modeli kullanarak arazi şartlarına uygun modellemenin düşey yer değiştirmesi.....	85
Şekil 4.29: Mohr columb modeli kullanarak arazi şartlarına uygun modellemenin yatay yer değiştirmesi.....	86



TAŞ KOLONUN MEKANİK DAVRANIŞ ANALİZİ

ÖZET

Taş kolonlar yapıların temel taşıma gücünün iyileştirilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok taş kolon tasarımı birim hücre kavramına dayanmaktadır. Bu araştırmada, birim hücre kavramındaki yenilme mekanizmasının (deformasyon), yer değiştirmelerinin ve taşların deformasyon davranışlarının önemli özellikleri sunulmaktadır. Bu çalışmada, 100 kPa ve 1000 kPa yük altında yumuşak zemindeki ve taş kolonların davranışlarını incelemesi için sayısal hesaplamalar yapıp, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak en uygun model araştırılmıştır. Ayrıca, ilgili parametre seçimi için ek bir geri analizi yapılmıştır. Taş kolonun ve yumuşak zeminin oturma simülasyonu için doğrusal olmayan bir hesaplama gereklidir. Bu çalışmada birim hücresinde deformasyon modu ve oturma tahmini önemli parametrelerdir. Analizler için sonlu elemanlar yazılımı PLAXIS kullanılmıştır. Birim hücre, sayısal analizde iki boyutlu (2D) bir simetrik model olarak simüle edilmiştir. Zeminin yavaş aşırı boşluk basınç artışı ile inşa edildiği varsayılan bu çalışmada drene yükleme koşulu analiz edilmiştir. PLAXIS 2D'deki Pekleşen zemin ve Mohr-Coulomb modeli, hem granüler kolon malzemesinin hem de örselenmiş yumuşak zeminin davranışını modellemek için kullanılmıştır. Genel olarak, birim hücrede bulunan taş kolon, kolon derinliği boyunca çevredeki zeminlerden yaklaşık 4-5 kat daha fazla yük taşımıştır.

Anahtar Kelimeler: *Taş kolon, deformasyon davranışı, oturma tahmini, sayısal analiz*



MECHANICAL BEHAVIOUR STUDY OF STONE COLUMN

ABSTRACT

Stone columns have been used extensively to improve the foundation bearing capacity of many structures. Basically countless design of stone columns are based on the concept of unit cell. This research presents the important properties of deformational behavior of stone columns, soft soil and settlement in the concept of unit cell. A numerical analysis have been performed to evaluate the behavior of stone columns in soft clay under 100 kPa and 1000 kPa load. In this study an additional back analysis has been taken using the Finite Element method in research for the most suitable model, and also the associated choice of parameters. In conclusion to the simulation of the settlement of the stone column and soft soil a plastic analysis will be required. The deformation and the settlement prediction of stone column together in the unit cell are the main focus of this research. Finite element software PLAXIS was used to examine these properties. Moreover, unit cell was simulated as a two-dimensional (2D) axisymmetrical model in the numerical analysis. Drained-loading condition was analyzed in this process as the soil is assumed to be loaded slowly with no excessive pore pressure build-up. The Hardening Soil and Mohr-Columb models in PLAXIS 2-D have been used to model the behavior of both the granular-column material and the treated-soft soil. Generally, the load capacity of stone columns in the unit cell was 4–5 times of the the surrounding soils, throughout the column's depth.

Key Words: *Stone column, Settlement prediction, Deformational behavior, Numerical analysis*



1. GİRİŞ

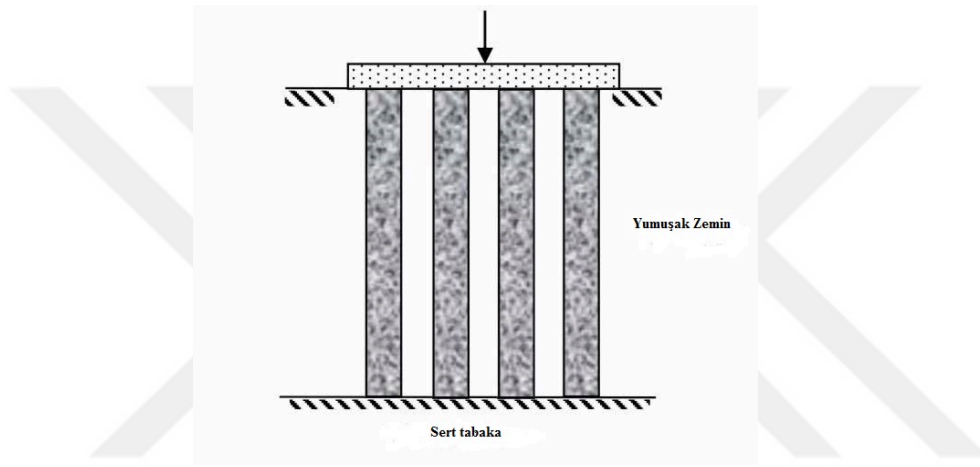
1.1 Literatür Araştırması

Vibro yer-değiştirme, yumuşak zeminlerin oturmaları ve taşıma kapasitesini arttırmak için kullanılan iyi bilinen bir zemin iyileştirme yöntemidir. Sıkı dikey taşlı kolonlar, üst veya alt besleme sistemlerini kullanarak zemini oluşturmaktadır. Vibro-yerdeğiştirmeyöntemi genel anlamda, yerinde yapım zeminin % 10-35'ini kırmataş çakıl ile değiştirmeyi içermektedir. Kırmataşın yüksek sertliği özellikleri, örselenmiş zeminin genel ve farklı oturmalarını azalmaktadır. Kırmataşın yüksek geçirgenliği nedeniyle konsolidasyon süresini de azalmaktadır. Taş kolonlar, küçük temellerden (tekil / mütemadi temelleri) geniş alan yüklemelerine (dolgu ve geniş döşeme levhaları) kadar çeşitli yüklemeler için destek sağlamak üzere kullanılabilir. Yumuşak zeminlerdeki temellerin tasarımı, genellikle yüksek sıkıştırılabilirlikleri nedeniyle taşıma kapasitesi yerine oturma kriterleri ile yönetilir. Bugüne kadar geliştirilen analitik tasarım yöntemlerinin çoğunluğu, sonsuz geniş bir yükleme alanı destekleyen sonsuz bir kolonun kabul eden, birim hücre prensipi gibi birçok basitleştirilmiş varsayımlar içermektedir.

Yumuşak zemin profili genellikle aşırı oturma özellikleri gösterir ve düşük bir taşıma kapasitesine sahiptir. Bu problemleri önlemek için, herhangi bir inşaat faaliyetine devam edilmeden önce mevcut yumuşak zeminin iyileştirilmesi gerekmektedir. Literatürde kompaksiyon, dinamik sıkıştırma, derin karıştırma, ve zemin iyileştirmesini içeren birçok önlem önerilmiştir. Bu yöntemler zemin iyileştirme teknikleri olarak kabul edilmektedir. Bunların arasında, taş kolon (aynı zamanda Vibro-yerdeğiştirme, veya granüler kazık olarak adlandırılır), zayıf zeminin iyileştirilmesi için genellikle yararlı bir teknik olarak kabul edilmiştir. Bu teknik, çevredeki zeminlerle daha sert bir kompozit yapı oluşturmak için özel vibratörler (veya diğer inşaat yöntemleri) vasıtasıyla zemine sokulacak olan geniş boyutlu granüler malzeme kolonları gerektirir.

Hızlı konsolidasyon süresine bağlı olarak taşıma kapasitesindeki artış, kesme mukavemeti ve toplam oturmalar azalması yumuşak zeminlerde taş kolonun yararlı etkileri vardır (Sondermann & Wehr, 2004). Taş kolonlar dünyadaki birçok siteye başarıyla uygulanmıştır. Yol dolgu, hava alanı, konut, hafif ticari ve endüstriyel yapıların güvenli ve ekonomik bir şekilde yapılmasına izin veren yumuşak zemini geliştirme yeteneği ile ün kazanır.

Taş kolonlar normalde yumuşak zemin katmanına nüfuz edecek şekilde inşa edilir ve daha dayanımlı zemin katmanına yerleştirilir. Bunlar tam nüfuziyetli kolonlar veya uç taşıyıcı kolonlar olarak adlandırılır.



Şekil 1.1: Uç taşıyıcı kolonlarla desteklenen temeli göstermektedir

Marjinal zeminlerin mekanik özelliklerini geliştirmek için taş kolonların tekniği iyi belirlenmiştir. Taş kolonların taşıma kapasitesi esas olarak yanal desteklere bağlıdır. Yanal destek doğal yumuşak zemin tarafından sağlanmaktadır ve kesme dayanımına bağlıdır. Taş kolonun sertliği aynı zamanda, kolon içindeki gerilme dağılımının artmasında önemli bir rol oynar ve bu da geliştirilmiş zeminin taşıma kapasitesini artırır.

1.2 Tezın Amacı

Mühendislik ve ekonomik amaçlara ulaşmak için, taş kolon ile güçlendirilmiş yumuşak zemin tekniği üzerine yapılan araştırmalar, son yıllarda büyük bir ilgi yaratmıştır. Çalışmanın temel amacı, taş kolonun mühendislik bilgisindeki boşlukları azaltmaktır. Bu çalışma, taş kolonların oturmaları ve deformasyonları azaltma yeteneğini araştırmıştır.

Yumuşak zeminde tekil ve bir grup taş kolonunun oturma tahminleri ve deformasyon davranışlarını incelemek için bir dizi iki boyutlu sonlu eleman analizi kullanılmıştır. PLAXIS 2D, geoteknik mühendisliği için özel olarak geliştirilmiş ve bu tezde sayısal çalışma için uygulanan bir programdır. 2D boyutlu analizde bir taş kolon ile güçlendirilmiş zeminin modellenmesinde birim hücre idealizasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Bu çalışmanın amaçlarından biri, taş kolonların pozisyonunun ve oturma performansı üzerine yumuşak bir zeminin varlığı, ve taş kolonların deformasyon davranışlarına etkisini incelenmesidir. Zemin ve taş kolonların davranışı, gelişmiş yapısal modeller kullanılarak simüle edildi. Çalışma ayrıca, basit bir elastik ve elastik-mükemmel plastik model kullanarak taş kolon ile güçlendirilmiş zeminler için eşdeğer sertlik ve geçirgenlik geliştirmeyi amaçlanmıştır. Kolon ve çevredeki zemin boyunca toplam yer değiştirmenin dağılımı da incelenmiştir. Mevcut sayısal çalışma, taş kolon için yükleme işlemini dikkate alınmamaktadır.

Bu çalışma aşağıdaki bölümleri içermektedir:

Bölüm 1'de araştırmanın pratik bağlamı, kapsamı ve amacı kısaca özetlenmiştir. Bölüm 2, vibro yer-değiştirme tekniğinin detaylı bir açıklama sağlamaktadır. Deformasyon davranışı ve boyutlandırma mekanizmaları, taş kolonlarda oturma tahmin yöntemleri kapsamlı bir inceleme sunulmaktadır. Mevcut tasarım uygulamasında ya da sayısal analizde kullanılan teoriler ve yaklaşımlar değerlendirilmektedir. Sonlu elemanlar analizinin bağlamı Bölüm 3'te sunulmuştur. PLAXIS 2D 'da kullanılan malzeme modelleri tanımlanmış ve ağ duyarlılığı ve sınır etkileri ile ilgili ön çalışmaların sonuçları sunulmuştur. Bu çalışmanın birincil analizinden elde edilen, oturma tahmini, tekil ve grup taş kolonlar için deformasyon davranışı ile ilgili sonuçlar Bölüm 4'te sunulmuş ve yorumlanmıştır. Tezin sonunda referans listesi verilmiştir.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

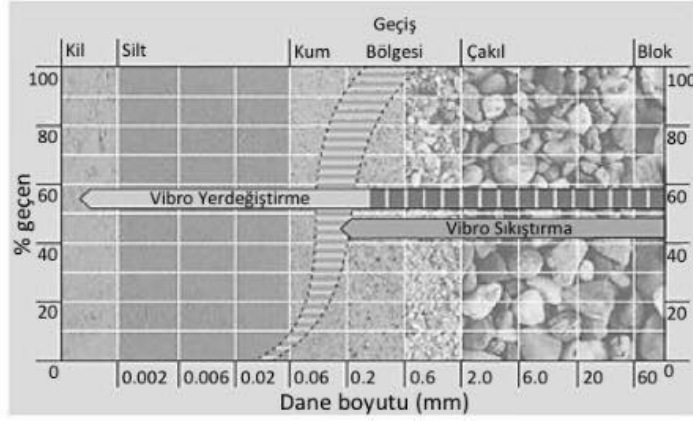
2.1 Genel

Vibro sıkıştırma ve vibro değiştirme gibi derin titreşimli vibratörlü teknikler, zayıf zeminlerin taşıma kapasitesini ve oturma özelliklerini arttırmak için kullanılan zemin iyileştirme tekniğidir. İlk uygulamaların (Vibro sıkıştırma - vibro kompaksiyon) 1936 yılında kohezyonsuz zeminleri sıkıştırmak için Keller grubu tarafından geliştirilmiştir daha sonra 1940'larda ABD'de vibro sistemi kullanılmıştır. Vibro-sıkıştırma tekniğinin sınırlamasını aşmak için, taş kolon tekniğinin inşaatı 1956 yılında kohezyonlu zemini güçlendirmek amacıyla yapıldı, tekniği yaygın olarak birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde uygulanır ve bazı oturmalara tolere edilebilen düşük ve orta yükleme koşullarını desteklemek için geniş bir inşaat işlerinde kullanılmıştır. Bu teknik zeminlerin stabilizasyonu, bentler, köprü dayanakları, destekleyici yapılar, heyelan stabilizasyonu, fabrikalar ve ince kumların sıvılaşma potansiyelini azaltılmaktadır.

Derinlik vibratörü hem zemin iyileştirilmesinde hem de yük transfer mekanizmalarında farklılık gösteren iki teknik için kullanılmaktadır:

- Kohezyonsuz zeminlerde : Vibro Sıkıştırma (vibro kompaksiyon)
- Kohezyonlu zeminlerde : Vibro - yerdeğiştirme (taş kolon)

Vibro Sıkıştırma yöntemi, zemin parçacıklarını daha yoğun bir duruma yeniden düzenleyerek ince taneli ve granüller malzemelerle sıkıştırmaktadır. Vibro-yerdeğiştirme “Taş Kolonlar” olarak bilinen bir yöntemdir. Bu yöntemde, derinlik vibratörü kullanılarak boşluğa seçilmiş granüller malzeme doldurularak yoğun bir şekilde sıkıştırılıyor. Bu yöntemlerin uygulanabileceği çeşitli zemin türleri “**Şekil 2.1**” de gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Vibro-sıkıştırma ve vibro-yerdeğiştirme yöntemlerinin uygulanabildiği çeşitli zeminlerin gradasyon özellikleri (Barksdale ve Bachus, 1983).

Sonuç olarak zemin iyileştirme teknikleri temel olarak, toprak parçacıkları, yoğunlaşma ve takviye arasında artan yapışmanın, aşağıdakilerden biri veya daha fazlasına ulaşmak için etkilerini kullanır: Stabilitayı arttırmak için güç artışı, zemin kütlelerinin sıkışabilirliği nedeniyle düşük deformasyon, sıvılaşmaya karşı düşük duyarlılık ve zeminlerin doğal değişkenliği azalmaktadır.

2.2 Zemin iyileştirme tanımı ve Süreçler

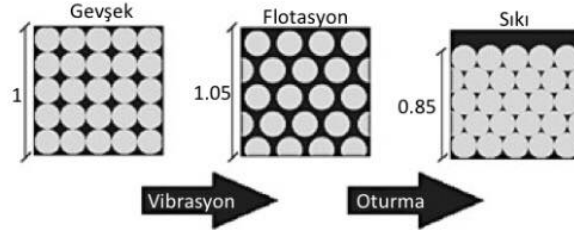
2.2.1 Vibro-kompaksiyon yöntemi

Vibro-kompaksiyon veya vibroflotasyon olarak isimlendirilen bu yöntemde, vibrasyon ile istenilen derinliğe kadar granüller zeminin yerinde sıkıştırılması zorunludur. Zemin mekaniği alanında, vibro-sıkıştırma gibi derin bir titreşim işlemi, temel mühendisliğinde önemli olan geoteknik özelliklerin bir düzelme sağlanmış olmaktadır. Bu özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Besancon, 1982):

- - Sahada yoğunluğu (ρ)
- - İçsel sürtünme açısı (ϕ)
- - Elastik modülü (E)

Vibro-sıkıştırma, kohezyonsuz granüller zeminlerde gerçekleştirilen işlem için belirtilen terimdir. Kohezyonsuz zeminler arasındaki taneler arasında kuvvetleri titreşimin etkisiyle aşılabileceği gerçeğine dayanır.

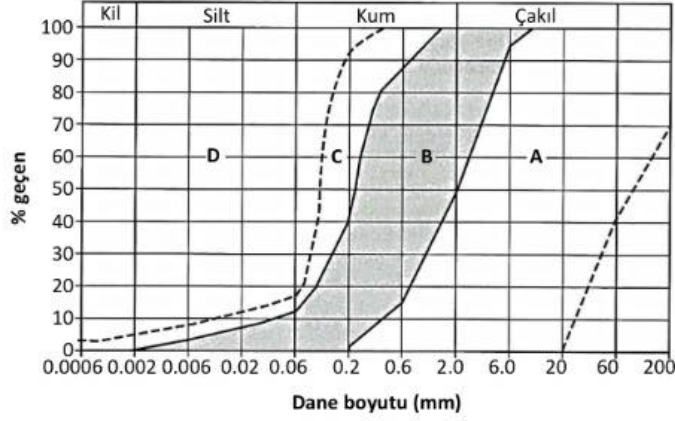
Zemin tanelerinin yerçekimi etkisi altında yeniden düzenlenebilir, ve nispi yoğunluk testinde maksimum yoğunluklara ulaşır. Vibro sıkıştırmanın zemin parçacıkları üzerindeki etkilerinin aşırı basitleştirilmiş bir durumunu şematik olarak “Şekil. 2.2” de gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Vibro-sıkıştırma işleminde zemin iyileştirme mekanizması (Besancon, 1982)

Şekilde görüldüğü gibi, titreşime maruz kalan tabakadaki boşluk oranı düşürmektedir. Boşluk oranındaki bu düşüş, yukarıdaki katmanlarda oturmalara neden olmaktadır. Vibroflot yüzeye ulaşıncaya kadar bu süreç tekrar oluşur. Vibro-kompaksiyon, %20'ye kadar ince taneli (tercihen en fazla% 10), fakat %2-3'den az kil zeminleri ile kohezyonsuz malzemeleri derin birikimlerini yoğunlaştırmak için uygundur. %20 limiti, titreşim öncesi ve sonrası alan değerlendirmesine dayalı olarak geliştirilmiştir.

Ancak, aşağıdaki şekilde, vibro-kompaksiyon için uygun veya uygun olmayan zeminleri göstermektedir. En uygun bölge, ince kumlardan ince çakıllara kadar uzanan **B** bölgesidir. Ayrıca **A** bölgesinde uygundur fakat büyük çakıl parçacıkları nedeniyle zor olabilir, **C** bölgesi uygulanabilir olabilir, ancak doygun olmayan zeminler için belirgin bir kohezyon olması gerektirir veya doygun olan zemin için nispeten düşük geçirgenlik nedeniyle yoğunlaşmak için daha uzun süre gereklidir. **D** bölgesinde ince taneli zemin yoğunlaşmayı imkansız kılar, bu nedenle taş kolonlar gibi derin bir değiştirme yöntemi kullanılmalıdır. Zeminin inceliğini ve plastisitesini artışı, vibro-sıkıştırmanın etkinliğini azaltır.



Şekil 2.3: Vibro-sıkıştırma yöntemi için uygun zemin gradasyonları (Degen, 1977)

Tasarım yöntemi ince malzeme oranı %20 ' den az olan kumlu zeminler için geliştirilmiştir. Tasarıma esas alan yerdeğiştirme oranları (a_r), kum kazıklarının “Şekil. 2.3” de gösterilen değişik yerleşimleri için deklem 2.1.de hesaplanabilmektedir.

Kare yerleşim için alan yerdeğiştirme oranı " a_r ":

$$a_r = A_c / A = A_c / s^2 \quad (2.1a)$$

Üçgen yerleşim için alan yerdeğiştirme oran " a_r ":

$$a_r = A_c / A = 2A_c / (\sqrt{3}s^2) = 1.15A_c / s^2 \quad (2.1b)$$

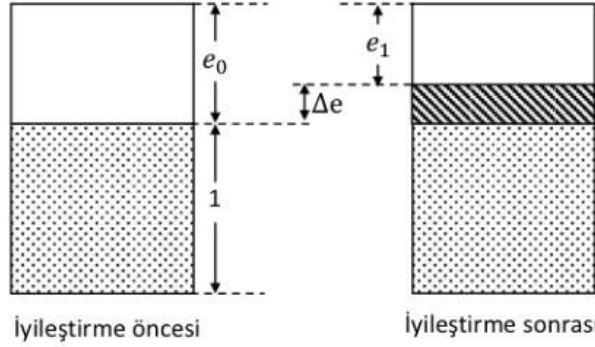
Denklem “2.1”de A_c : kum kazığının kesit alanı ($A_c = \pi D^2 / 4$); A : tek kum kazığının etkili olduğu zemin alanı; D : tek kum kazığının çapı ve s : merkezden merkeze kazıklar arası mesafedir.

Sıkıştırma prensibi “Şekil 2.4” de açıklanmaktadır. İyileştirme sonunda, Δ_e hacmine eşdeğer miktarda kum, başlangıçtaki hacmi $1 + e_0$ olan zemin içerisine yerleştirilmiş olmaktadır. Dolayısıyla, doğal zeminin e_0 olan boşluk oranı e_1 değerine düşürülmüştür, Alan yer değiştirme oranı (a_r) boşluk oranı cinsinden Denklem 2.2'teki gibi hesaplanabilmektedir.

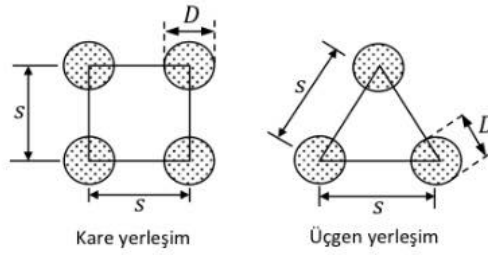
$$a_r = \Delta_e / (1 + e_0) = (e_0 - e_1) / (1 + e_0) \quad (2.2)$$

Geniş alanların vibro-sıkıştırılması, genellikle 1.5 metreden 3 metreye kadar olan aralıklarla üçgen veya kare şeklinde bir ızgara şeklinde yapılır.

“Şekil. 2.3”, aralıklarda iki temel türlerini gösterilmektedir, bu aralık, istenen herhangi bir alanı kapsayan örtüşen bölgelere izin verir.



Şekil 2.4: Kum kazıkların sıkıştırma prensibi (Besancon, 1982)



Şekil 2.5: Kum kazıkların değişik yerleşimleri (Mitchell, 1991)

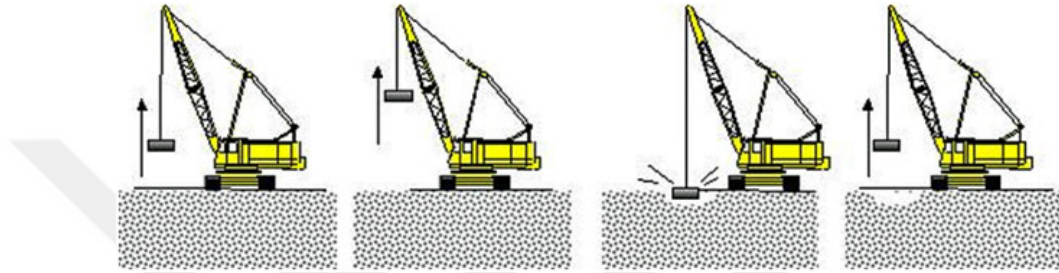
2.2.2 Dinamik Derin Sıkıştırma

Dinamik Derin Sıkıştırma (DDC), çok çeşitli zayıf zeminlerde sıkıştırma kapasitesine sahip ve önemli bir zemin iyileştirme tekniğidir. Bu teknik, sıkıştırılabilen sürtünme malzemelerinde, yaklaşık 8 m derinliğinde, 2 ila 3 metre çapında, kolonların oluşturulmasıyla, sıkıştırılabilir kohezif zeminin güçlendirilmektedir. Zemin iyileştirme, artan taşıma kapasitesi ve azaltılmış oturmayla sonuçlanmaktadır. Bu şekilde birçok marjinal alandaki zemin koşulları, derin temellerin derin kazı veya kazıksız olarak kullanılabilmesi noktasına kadar geliştirilebilir.

Bu yöntemde gerektirdiği ana ekipmanlar, ağır mobil bir vinç veya, ağır çelik ve beton ağırlığı kullanılarak tekrarlanan yüzey sertleşmesine maruz bırakılır.

Genel anlamda, ağırlar 5 ila 10 ton arasında olup ve serbest düşüşte 10 metreye kadar olan yükseklikten düşer. Ağır mobil, bir geçiş oluşturmak için sahada belirli bir sayıda ızgara desenine bırakıyor.

Arıtma paterni, enerji seviyesi, geçiş sayısı ve geçişlerin aşaması, toprak koşullarını, gelişme türünü ve gerekli taşıma kapasitesini ve oturma özelliklerini dikkate alacak şekilde tasarlanmalıdır. İşlenmeden önce zeminlerin tam olarak anlaşılması ve çalışmanın tüm aşamalarında çok sıkı kontrolün sağlanması esastır.



Şekil 2.6: Dinamik kompaksiyon uygulama yöntemi

2.2.3 Vibro-değiştirme Yöntemi: Taş kolonlar

İnşaat için, taş kolonlar yöntemi iyi belgelenmiştir ve "yumuşak zemin" alanlarının ekonomik olarak dengelenmesi için Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağırlıkça% 25'ten fazla ince taneli içeren zeminlerde, vibro-sıkıştırma tekniklerinin kullanılması ekonomik değildir. Bu durumda vibro - sıkıştırma vibro-değiştirme ile elde edilir, ve kaldırılan zeminin yerini granüler malzeme ile değiştirilir.

Taş kolonlar genellikle yumuşak, normalde konsolide olmuş, sıkıştırılabilir killer, ince turba tabakaları, doymun siltler ve tüm alüvyal tabakalı zeminlerde kullanılmaktadır. Taş kolonlar, metre kare başına 7 kN kadar düşük drenajsız kohezyon mukavemeti olan zeminlerde başarılı bir şekilde oluşturulmuştur (Bell, 1975). Vibro-sıkıştırma ve taş kolon yöntemleri, prosedürde çok benzerdir, her ikisi de vibroflotu ana ekipman parçası olarak birleştirir.

Taş kolonları oluşturmak için kullanılan çakıl dolgusu, 20 milimetre ila 75 milimetre arasında değiştirmektedir. Çakıl yerleştirilirken, sonda aynı anda malzemeyi sıkıştırır, çakıl kademeli olarak yumuşak zemin içine bırakılır. Sonda (Prob) dakikada 0.3 metre hızla çekilebilir. Esas olarak yeraltı

topraklarının mukavemetine bağlı olarak, 0.8 metre ile 1.5 metre çapında bitmiş kolon inşa edilmiştir (Bachus, 1989). Sıkıştırma sırasında tüketlenen çakıl dolgusu miktarı ve sıkıştırma sırasında vibratör gücü (amperaj ile ölçölür), tamamlanmış taş kolonun sıkıştırılmasını ve büyüklüğüne uyum sağlamak için kaydedilmektedir.

Genel olarak, taş kolonlar genellikle tek bir yapısal temel sağlamaktan ziyade bir alanı stabilize etmek veya geliştirmek için yapılandırılmaktadır. Tek bir taş kolon tamamlandığında, ekipman yeniden konumlandırılır ve işlem yandaki bir konumda tekrarlanmaktadır. Aralık, sahada zemin özelliklerinin bir fonksiyonu olup, bununla birlikte 2 metre ile 3 metre arasında değişmekte olup, bu da iyileştirilen alanlarda % 20 ile % 35 arasında bir zemin değişimi ile sonuçlanmaktadır (Bachus, 1989).

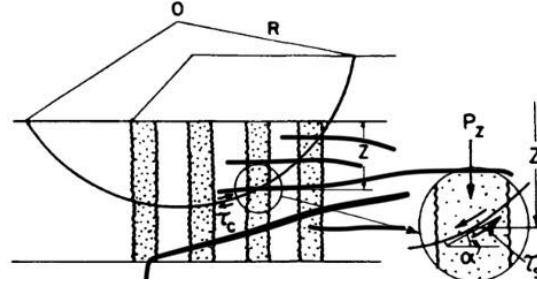
Uygulama Yöntemleri

Yumuşak, sıkıştırılabilir zeminlerdeki taş kolon sistemleri, kazık başlıklar, takviye, yapısal bağlantılar ve sert tabakalara derin nüfuz etme haricinde kazık temelleri gibidir. Ek olarak, taş kolonlar sıkıştırılabilir ve yüke maruz kalmaya karşı deforme olur ve yük uygulaması sırasında gerilmeleri azaltmaktadır. Destek için kullanıldığında, taşıma kapasitesi ve oturma asıl öneme sahiptir. Dolgu ve eğimlerde stabilite amaçlı kullanıldığında, “**şekil 2.6**” da gösterildiği gibi, kolonların kayma mukavemeti birincil öneme sahiptir (Mitchell, 1981).

Taş kolonun değeri, yenilemenin önlenmesi için yüke adapte edebilme yeteneğidir ve, temel yenilmelerinin önlenmesinde çok etkilidir, ancak oturmalar geniş olabilir (Datye, 1982).

Taş kolonlar, işlenmemiş alanlarının oturma ile karşılaştırıldığında 40% oturma azaltabilir (Date, 1982) . Taş kolonlar, ya üstte ya da alttan besleme sistemleri kullanılarak ya suyla birlikte ya da su olmadan kullanılmaktadır. Üst besleme yöntemi, titreşimli sonda (prob) tarafından sabit bir delik oluşturulabildiğinde kullanılmaktadır. Kuru yöntemle (üst veya alt-besleme), sonda toprağa sokulur ve kendi ağırlığı ve sıkıştırılmış hava jeti altında hedef derinliğe kadar nüfuz eder (Taube ve Herridge, 2002).

Taş kolonların montajı için en çok kullanılan vibro - değiştirme (ıslak, üst besleme yöntemi) vibro - yerdeğiştirme(kuru, üst ve alt besleme yöntemi) yöntemleridir.



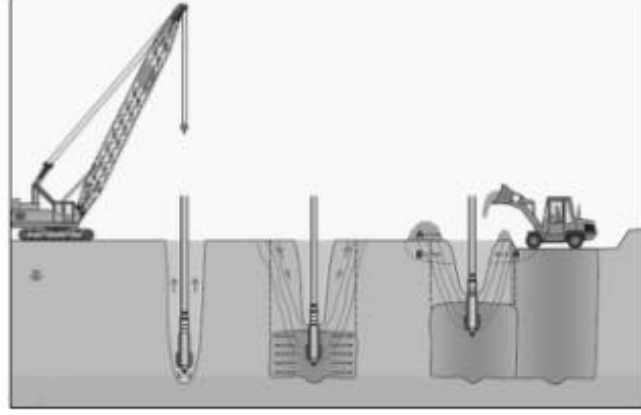
Şekil 2.7: Eğim stabilitesinde taş kolonların kayma direnci (Mitchell, 1981)

Üstten Beslemeli Islak Vibro-yerdeğiştirme yöntemi

Vibro- değiştirme (ıslak) metodu, desteklenmeyen bir delikte duramayan çok yumuşak zeminlerden ve yüksek yeraltı su koşullarının mevcut olduğu alanlarda kullanılmalıdır.

Islak-üst besleme yönteminde su jeti yardımıyla vibratör istenilen derinliğe iner ve bu arada vibratör kendi etrafında bir boşluk oluşturmaktadır. Bu alan, zeminin yüzeyinden beslenen uygun dereceli taşlarla doldurulur. Su jetleri alt kısımda ve ünitenin yanları boyunca vibratörün hem penetrasyonunu kolaylaştırır ve gevşek zemini delikten temizler. Basınç, vibratörün tepesinden beslenen zeminin ve taşın içeri girmesine yardımcı olur Krishna ve ark (2004). Gerekli derinliğe penetrasyon, titreşim ve yüksek basınçlı su jetleri kombinasyonu ile gerçekteşmektedir. Vibratör gerekli derinliğe ulaştığında, üstten beslenen taşlar aşağı doğru hareket eder.

İşlem genellikle sahada taşınan büyük miktarda suya ihtiyaç duyar. İmalat aşamaları “Şekil 2.7” de gösterilmektedir ve üstten beslemeli ıslak vibro-yerdeğiştirme yönteminin uygulamasıdır (Keller Grubu, 2015) .



Şekil 2.8: Üstten beslemeli ıslak vibro-yerdeğiştirme yönteminin uygulaması (Keller Grubu, 2015)

Bu avantajları, yöntemin hızlı olması, sıkı ve sert zeminlerde ilerleyebilmesi, kuyu stabilitesini sağlaması, büyük çaplı kolon teşkili, kolonların yüksek taşıma kapasitesine sahip olması ve daha geniş gradasyon aralığında taş kolon malzemesi kullanılabilmesi olarak sıralanabilir. Dezavantajı ise kolon imalat sırasında çok miktarda (saatte 2000 4000 galon) su kullanımındır ve bulamaç şeklindeki kirlenmiş olan suyun depolanması, sedimentasyon yöntemi ile tekrar kullanılacak mertebede temizlenmesi veya atılması sorun teşkil etmektedir. Oturma bölgelerinde ve küçük alanlarda yöntemin uygulanması artmaktadır. Elde edilebilen kolon çapları 800 mm ile 1200 mm aralığında değişmektedir.

Bu yöntemin uygulamasında çevre zemininde kayda değer bir sıkışma olmamakta ve kuyu çeperlerinde ileri derecede bir etki yaratılmamaktadır. Bu nedenlerle zemindeki boşluk suyu kolonlara serbestçe drene olabilmekte ve konsolidasyon süreleri önemli ölçüde azalmaktadır. Bu yöntemde taş kolon malzemesi olarak 30 - 60 mm çap aralığında üniform gradasyona sahip çakıl kurmataş malzemelerin kullanılması önerilmektedir. Bu tür malzemeler vibratör ile kuyu çeperi arasındaki boşluktan kolaylıkla beslenebilmektedir. Yapılan gözlemlerde bu kolon malzemesi içerisindeki boşlukların çevre doğal zemindeki kum ve silt boyutundaki daneler ile dolarak iyi derecede sıkıştığı, kil boyutundaki zeminin ise flotasyonla yüzeye taşındığı tespit edilmiştir.

Üstten Beslemeli Kuru Vibro Yerdeğiştirme Yöntemi

Drenajsiz kayma dayanımının $c_u = 30 - 50 \text{ kN/m}^2$ aralığında değiştiği daha yüksek dayanımlı ve stabil killerde uygulanmaktadır. Bu yöntemde vibratör

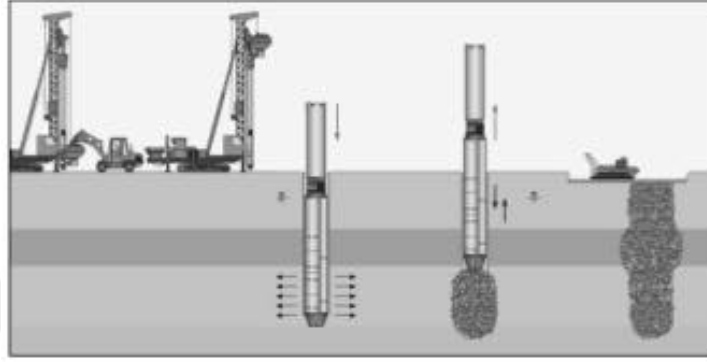
kendi ağırlığı ve sisteme monte edilen ağır bağlantı tijlerinin yardımıyla zemin içerisinde ilerleyebilmektedir. İlerleme vibratörün ucundan tatbik edilen hava jeti ile hızlandırılmaktadır. Planlanmış derinliğe inildikten sonra kuyuya kolon malzemesi beslenebilmesi için vibratör yüzeye çıkarılmakta ve kolon malzemesi kademeli olarak kuyuya doldurulmaktadır. Daha sonra vibratör kuyu dibine yerleştirilmiş malzemenin içerisine daldırılmakta, kısa manevralarla aşağı/yukarı hareketlerle kuyuya doldurulan malzemeyi sıkıştırılmakta, vibratör yüzeye alınarak yeniden besleme yapılmaktadır.

Bu işlemler tam kolon boyuna ulaşıncaya kadar tekrar etme vibratörün çıkarılması aşamasında kuyuda yaratılan vakum etkisi uygulanan hava jeti ile en az indirilmekte ve kuyunun göçmesi önlenmektedir. Bu sistemin ıslak üstten beslemeli sistemden tek farkı delgi işlemi esnasında su jetidir. Bu uygulamada vibratörün yüzeye alındığı aşamada kuyunun stabil olması gerekmektedir. Dolayısıyla ağırlıklı olarak drenajsiz kayma dayanımının 30 - 50kN/m' aralığında olan kohezyonlu zeminlerde kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda ilerlemeyi kolaylaştırmak için basınç hava kullanılmaktadır. Yöntemin uygulanabilmesi için yer alttaki suyunun iyileştirme derinliğinin altında olması gereklidir. Bu yöntem ıslak yöntemle kıyasla daha yavaştır. Kuyu stabilitesine katkıda bulunmak amacıyla vibratörün kuyuda bekletilmesi gerektiği durumlarda taş kolon malzemesi dane boyutunun 25 mm ile sınırlandırılması gerekir. Kolon çapları ve kolon taşıma güçleri ıslak yöntemle kıyasla daha küçüktür. Su kullanılmaması yöntemin en önemli avantajıdır.

Dipten Beslemeli Kuru vibrö-Yerdeğiştirme Yöntemi

Derin uygulamalarda vibratörün yüzeye çıkarılması aşamasında kuyudaki göçmeler oluşmakta ve kuyu stabilitesinin sağlanmasında sorunlar yaşanmaktadır. Bu nedenle vibratörün kuyudan çıkarılmasını gerektirmeyen özel bir sistem geliştirilmiştir. Bu yöntem dipten beslemeli kuru değiştirme yöntemi olarak bilinmekte ve drenajsiz kayma dayanımı düşük killerde de ($c_u = 10 \text{ kN/m}^2$) uygulanabilmektedir. Yöntemin uygulaması “**Sekil. 2.8**” de gösterilmektedir. Bu sistemde vibratör bir çelik borunun ucuna bağlanmıştır. Sisteme tremi borusu şeklinde ikinci bir boru ile malzeme besleme kovası monte edilmiştir. Besleme borusu vibratör ile birlikte belirlenen derinliğe indirilir. Delginin başlangıç aşamasında hava jeti de kullanılabilir.

Sistemin 0.5-1.0 m aralıklarla yukarı çekilmesi esnasında kuyu dibi besleme borusundan akan taş dolgu malzemesi ile dolar. Sonrasında vibratör taş dolguya daldınılarak titreşim malzemesi kolon malzemesi sıkıştırılır ve yanıl olarak ötelenip kolon çapı genişletilir. Bu işlem kuyunun tamamı dolduruluncaya kadar tekrarlanarak devam ettirilir, kolon imalatında 10 - 40 mm tane boyutuna sahip çakıl veya kırmataş malzeme kullanılması önerilmektedir.



Şekil 2.9: Dipten beslemeli kuru vibro-yerdeğiştirme yöntemi (Keller Grubu, 2015)

Taş kolon malzemeleri

Zemin iyileştirilmesinde, zemin koşulları ve uygulanacak yonteme bağılı olarak değışik gradasyonda kırmataş veya doğıal kum-cakıl malzemeler kullanılmaktadır. Kırma taşın ayrışmamış, Los Angeles aşınma değıerinin 5000 rotasyonda %45'ten az (ASTM - C131) ve magnezyum sülfat direnci deneyinde (ASTM - C88) ağırlık kaybının %15'i aşmayan sert kayalardan elde edilmesi önerilmektedir. Uygulamada yaygın olarak kullanılan gradasyonlar “**Çizelge2.1**” de verilmektedir Barksdale ve Bachus (1983). Uygulamada 1 ve 2 nolu gradasyonların kullanılması tavsiye edilmektedir.

Drenajsiz kayma dayanımı 12 kN/m^2 veya daha düşük olan killerde genellikle ince gradasyonlar veya kum kullanılması önerilmektedir. Kumun ince malzeme oranının %15'ten az ve ortalama dane çapının 0.2 mm den büyük olması gereklidir. Maksimum dane çaplarının üstten besleme ıslak sistemlerde 100 mm, dipten beslemeli kuru sistemlerde 25 mm ile sınırlı tutulması önerilmektedir Stark ve Yacyshyn (1991).

Çizelge 2.1: Uygulamada yaygın olarak kullanılan taş kolon gradasyonlar (Barksdale ve Bachus, 1983)

<i>Elek açıklığı (inç)</i>	<i>Alternatif 1 Yüzde Geçen</i>	<i>Alternatif 1 Yüzde Geçen</i>	<i>Alternatif 1 Yüzde Geçen</i>	<i>Alternatif 1 Yüzde Geçen</i>
4	-	-	100	-
3.5	-	-	90-100	-
3	90-100	-	-	-
2.5	-	-	25-100	100
2	40-90	100	-	65-100
1.5	-	-	0-60	-
1	-	2	-	20-100
0.75	0-10	-	0-10	10-55
0.50	0-5	-	0-5	0-5

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına göre (Bergado vd., 1987 Greenwood, 1991) vibro-sıkıştırma tekniğinde kullanılan kum malzemelerinin sürtünme direnci açıları 35° ile 42° kum çakıl karışımlarında 40° ile 44° arasında değiştiği ifade edilmektedir. Kırmataş malzemeler üzerinde yapılan büyük boyutlu üç eksenli basınç deneylerinde sürtünme direnci açılarının 50° 55° arasında olduğu belirlenmiştir (Goughnour vd., 1991).

Ancak yüksek çevresel basınçlar altında sürtünme açılarında bir düşüş olacağı göz ardı edilmemelidir, sıkı çakıllar üzerinde yapılan üç eksenli basınç ve kesme kutusu deney sonuçlarından elde edilen kayma direnci açılarının mertebelerini “Çizelge 2.2” deki gibi özetlemektedir (Kirsch, 2010).

“Çizelge 2.2” de; TX: üç eksenli basınç deneyi, Ds: kesme kutusu deneyi, σ_{3min} ve σ_{3maks} : uygulanan çevre basınçlarının minimum ve maksimum değerleri, Φ_{min} ve Φ_{maks} : ölçülen kayma direnci açılarının minimum ve maksimum değerleridir.

Çizelge 2.2: Farklı kolon malzemeleri ölçülmüş kayma direnci açıları (Kirsch, 2010)

<i>Malzeme</i>	Φ'_{cmaks} (°)	σ_{3min} (kN/m^2)	ϕ'_{min} (°)	σ_{3maks} (kN/m^2)	<i>Deney</i> <i>Türü</i>
Kireçtaşı- Kırmataş	63.1	50	53.8	200	DS
Dere Çakılı	58.8	50	51.9	200	DS
Bazalt	70	8	51.1	120	TX
Kumtaşı	60.1	27	37.4	695	TX
Dolomit	64	15	43.0	500	TX

2.3 Davranış ve boyutlandırma mekanizmaları

2.3.1 Kolonların düzenlenmesi ve yenilme mekanizmaları

Taş kolonları en geniş ölçüde ekonomik olarak kullanmak için, hem tek taş kolonlar hem de taş kolon grupları içeren problemler için oturma, taşıma kapasitesi ve genel stabilite sayarak teoriler mevcut olmalıdır. Bu bölümde, hem tek bir taş kolonun hem de taş kolon grubunun yenilme mekanizmaları ilk önce mevcut bilgilere dayanarak açıklanmaktadır. Teorik analizlerde yaygın olarak en çok kullanılan geometrik modeller daha sonra, oturmanın ve taşıma kapasitesini tahmin etmek için sunulmuştur.

2.3.2 Tekil taş kolon

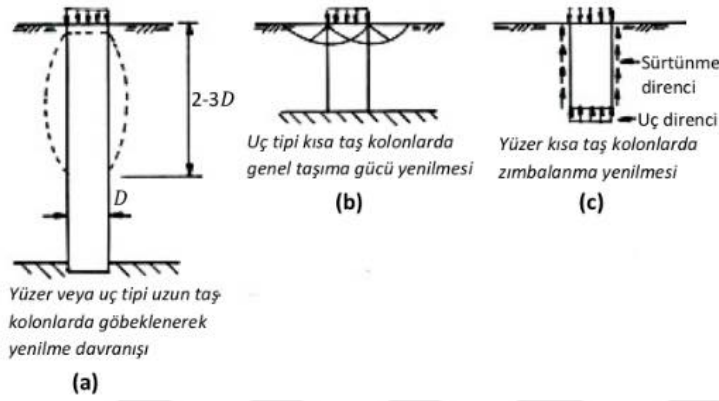
Taş kolonlar, ya yumuşak bir zeminin altında yatan sert bir tabaka üzerinde ya da yumuşak tabaka içinde gömülü olan kolonların uç ile yüzen kolonlar olarak yapılandırılabilirlerdir.

“Şekil 2.9” gösterildiği gibi sadece kolonun alanına yüklenen taş bir kolonun dikkate almaktadır. Yaklaşık olarak üç çaptan daha büyük olan uç yatakları veya serbest yüzen taş kolonları, “Şekil 2.9.a” gösterildiği gibi kabarma şeklinde oluşan yenilme davranışı sonuçlanmaktadır.

Sağlam bir destek üzerinde bulunan çok kısa bir kolon, yüzeyde genel veya lokal taşıma gücü yenilmesi maruz kalacaktır “**Sekil 2.9.b**”.

Son olarak, yaklaşık 2 ila 3 çaptan daha küçük bir yüzer taş kolon, bir zımbalanma yenilmesi oluşmadan önce, zayıf alt tabakadaki uç yataklarda başarısız olabilir “**Sekil 2.9.c**”.

Ancak, uygulamada genel olarak karşılaşılan yüzey koşulları için genellikle kabarma kontrol yenilmenin mekanizmasıdır.



Şekil 2.10: Tekil Kolonlarda olası yenilme mekanizmaları (Barksdale ve Bachus, 1983).

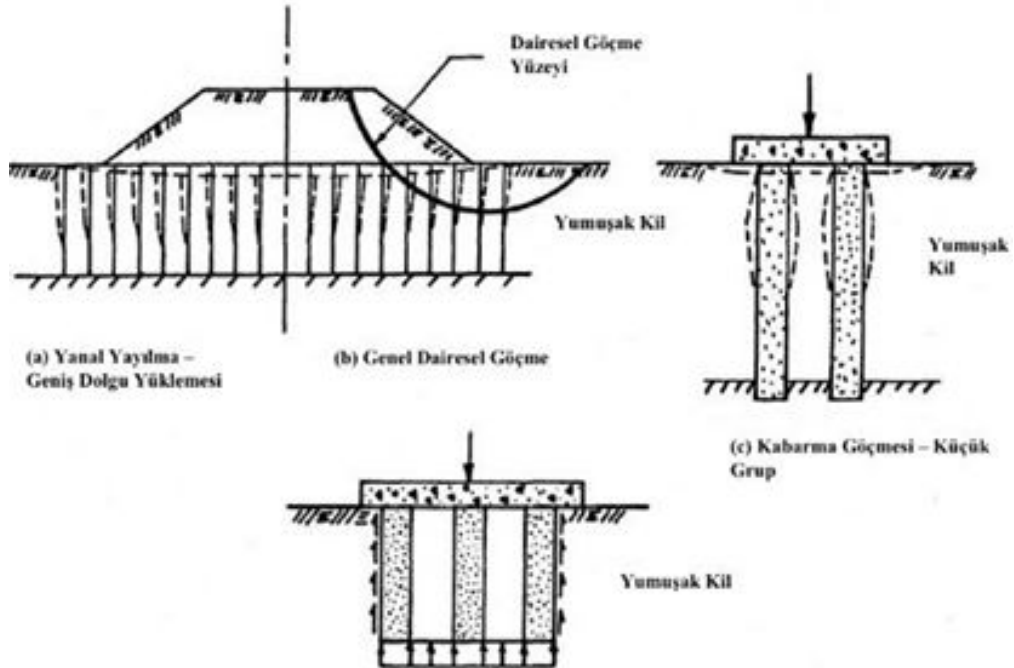
2.3.3 Taş kolon gruplar

Taş kolon işlemleri bentler gibi geleneksel olarak geniş yüklü alanların altında kullanılmaktadır. Ancak uygulanan yükler yüksek olmadığı zaman, aynı zamanda temellerin altında da kullanılmaktadır. Bir taş kolon grubuyla karşılaştırıldığında tek bir kolonun başına gruptan biraz daha az taşıma gücüne sahiptir. Bir grup oluşturmak için çevreleyen kolonlar eklendikçe, iç kolonlar sınırlıdır ve bu nedenle etraftaki kolonlar tarafından bir şekilde sertleştirilmiştir. Bu kolonun başına yük taşıma kapasitesinde hafif bir artışa sonuçlandırılmaktadır. “**Sekil 2.10a**”da gösterildiği gibi taş kolon ile güçlendirilmiş bir zeminin üzerine inşa edilmiş, dolgu gibi geniş bir esnek yüklemeyi sayılmaktadır.

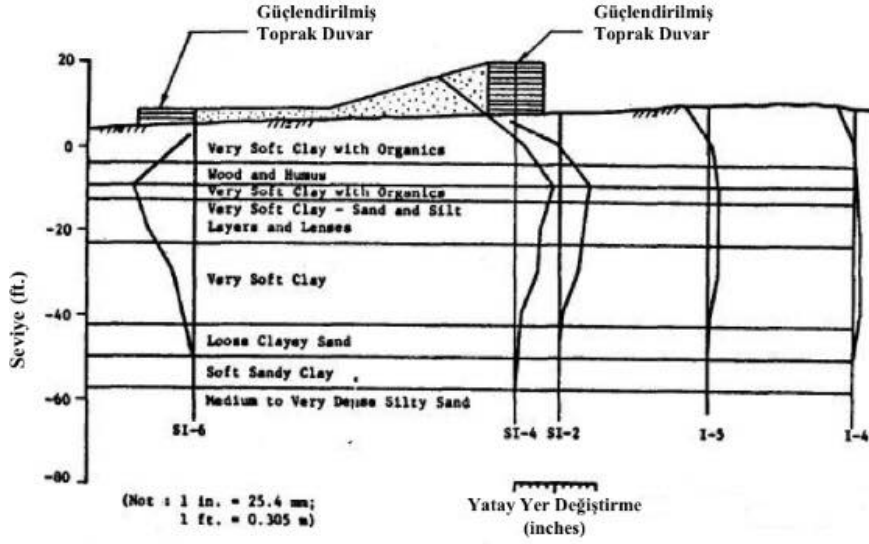
Sıkıştırılabilir zemin ve taş kolonun oturmaları yaklaşık olarak bir dolgu altında eşit olduğunu bulmuştur (Vautrain, 1983). Zayıf bir temel üzerine dolgu inşaatı nedeniyle, temelin altındaki ve yanlarındaki zemini “**Sekil 2.10a ve 2.10b**” de gösterildiği gibi yanal olarak dışa doğru hareket eder.

Bu olgu "yayılma" olarak adlandırılır ve başka yerlerde taş kolonlarla güçlendirilmemiş yumuşak zeminler dikkate alındı. Deneyim ve sonlu elemanlar analizi, beklendiği gibi yayılma gerçekleştiği zaman yayılmanın önlenmesinden daha büyük olduğunu göstermiştir. New Orleans'ta bulunan Jourdan Yolu Terminali test setindeki eğim ölçerler kullanılarak gözlemlenen yanal yayılmanın yer değiştirmeleri, “Şekil 2.11” de gösterilmektedir.

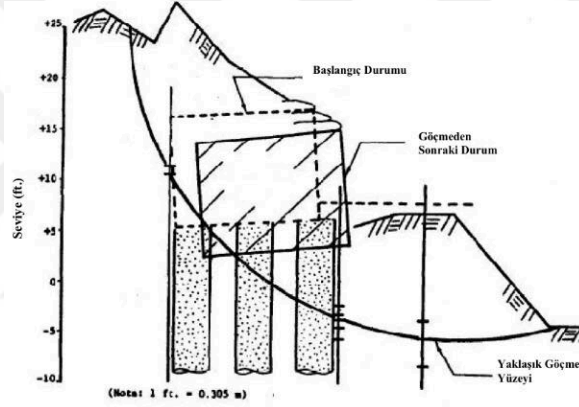
Bu sahada, küçük bir güçlendirilmiş zemin istinat duvarı, çapı (1,1 m) olan 14 taş kolonla, yaklaşık yüzeye ($4 \times 11\text{m}^2$) planında yer tarafından desteklenmiştir. Güçlendirilmiş zemin duvarına toprak eklenmesi yapıldı ve sonra “Şekil 2.12” 'de gösterildiği gibi bir döneel stabilite yenilmesi oluşana kadar duvarın önünde bir kazı yapıldı. Yumuşak bir zeminde bulunan bir taş kolon grubu, muhtemelen “Şekil 2.10.c” de gösterildiği gibi birleşik göbeklenme ve yerel taşıma yenilmesi olarak geçirmektedir. Yerel taşıma yenilmesi, nispeten sert bir taş kolonun (veya grubun) etrafındaki yumuşak zemine zımbalama yenilmesidir. Kısa kolon uzunluğuna sahip taş kolon grupları, uç yataklarda başarısız olabilir “Şekil 2.10.d” veya belki de kısa tekli taş kolonların yenilmesi moduna benzer şekilde taş kolonların taşıma kapasitesi başarısızlığına sonuçlanmaktadır.



Şekil 2.11: (a)Yanal Yayılma - Geniş Dolgu Yüklemesi (b)Genel Dairesel Göçme (c)Kabarma Göçmesi - Küçük Grup.Taş kolon gruplarının yenilme mekanizmaları (Barksdale ve Bachus , 1983).



Şekil 2.12: Sürjarj yüklemesi sonunda dolgu altında oluşan yanıl yer değıştirme (Parsons – Brinkerhoff, Quade ve Douglas ,1980)



Şekil 2.13: Jourdan terminal – taş kolonla güçlendirilmiş zemin üzerindeki donatılı istinat duvarı altında yenilmeden sonraki durum (Parsons – Brinkerhoff, Quade ve Douglas ,1980).

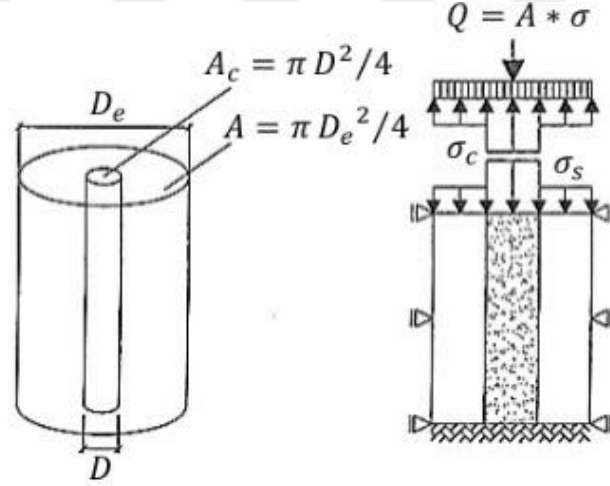
2.4 Taş kolon tasarımı

2.4.1 Birim hücre prensipi

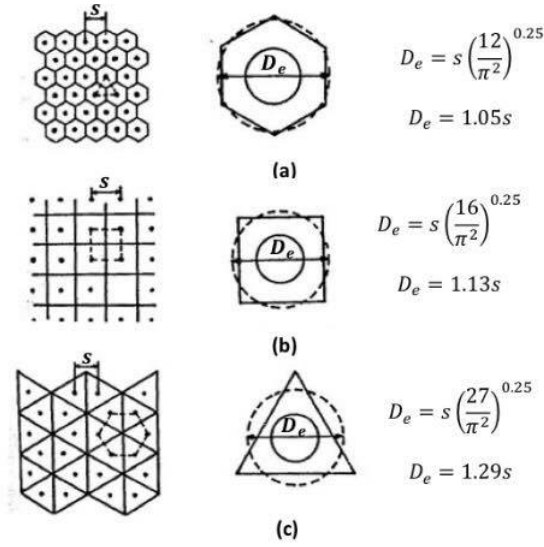
Taş kolonun tasarımlarının büyük çoğunluğu birim hücre prensipi uygulanmıştır (Baumann ve Bauer, 1974; Aboshi ve arkadaşları, 1979; Goughnour & Bayuk, 1979a; Balaam & Booker, 1981; Van Impe & De Beer, 1983; Madhav & Van Impe, 1994; Priebe, 1995; Han & Ye). Birim hücre prensipi, “Şekil 2.13” te gösterildiği gibi tek bir taş kolon ve eşdeğer dairesel etki bölgesini içermektedir. Sonsuz büyük bir taş kolon grubunun iç kısmında bulunan bir kolonu temsil etmek için kullanılmaktadır.

İdealleştirme, eşit aralıklı taş kolon grubu ile yumuşak zeminlerde desteklenen dolgu durumunda olduğu gibi sert ya da geniş üniform yüklü alanın simüle edilmesi için yapılmaktadır. Ambily ve Gandhi (2007) tarafından yapılan laboratuvar araştırılmasında, bu idealleşmenin güvenilirliğini kanıtlamıştır. “Şekil 2.14” te, bağımlı zeminlerin eşdeğer çapının tahminini göstermektedir Balaam ve Booker (1981).

Birim hücre geometrisi ve farklı kolon yerleşimleri “Şekil 2.13 ve 2.14”de verilmektedir. Burada D_e : birim hücre alanının çapı, A : birim hücrenin alanı, D : taş kolon çapı, A_c : taş kolonun alan Q : birim hücreye etkiyen toplam yük, σ : birim hücreye etkiyen uniform gerilme, σ_s : birim hücre içerisindeki zemine aktarılan gerilme, σ_c : kolona aktarılan gerilme ve S : kolonlar arası merkezden merkeze mesafedir.



Şekil 2.14: Birim hücre prensipi (Kirsch ve Kirsch, 2010)



Şekil 2.15: Farklı kolon yerleşimleri (a) üçgen , (b) kare ve (c) altıgen (Balaam ve Booker, 1981)

Taş kolon tasarımı “Şekil 2.14” deki denklemlerden, farklı kolon yerleşimindeki kolonlar aralığı (s) dayanarak hesaplanan hücre birim alanının çapı (D_e) kullanarak alan yerdeğiştirme oranı (A_r) ilişkisine göre yazılmaktadır:

$$A_r = \frac{A_c}{A} = \frac{1}{c_2} \left(\frac{D}{S} \right) = \frac{D_2}{De_2} \quad (2.3)$$

Burada, C: geometri katsayısı olup üçgen yerleşim için 1,05 kare yerleşim için 1,13 ve altıgen yerleşim için 1,29 alınmaktadır. Birim hücre modeli, mevcut analitik çözümlerin çoğu için kullanılmaktadır. Analitik çözümlerde, genellikle geometri için basitleştirici başka bir hipotez vardır, her yatay parçanın davranışının bağımsız olduğunu varsayarsak kesme gerilmeleri ihmal edilmektedir. Sayısal analizler, kesme gerilmeleri genellikle dağıtılmış yükler için önemsiz olduğunu göstermektedir. Çoğu analitik çözüm, taş kolonların neden olduğu oturma azaltmaya odaklanmaktadır. Ancak taş kolonlar dikey drenaj olarak davranır ve bu nedenle aşırı boşluk basınçlarını dağıtmaktadır. Konsolidasyon süreci dikey drenler için çözümler kullanılarak yerleşim analizinden bağımsız olarak incelenmektedir.

Birim hücre modeli, sayısal analizler için de çok kullanışlıdır çünkü sayısal simülasyonlar, katmanlı zemin gibi analitik çözümlerden daha karmaşık özelliklerin incelenmesini sağlamaktadır.

Bu günlerde uç boyutlu (3D) sayısal kodlara erişmek ve kullanmak oldukça kolaydır, birim hücreyi tam bir uç boyutlu (3D) problemi olarak inceleyen bazı yazarlar vardır.

Bununla birlikte, tam 3D prizma ile aksenal simetrideki iki boyutlu (2D) model (silindir) arasındaki farklar önemsizdir. Son olarak, birim hücre oturmayı incelemek için uygun bir basitleştirilmiş geometrik modeldir.

2.4.2 Gerilme dağılım katsayısı (n)

Taş kolon ile güçlendirilmiş bir zemin üzerinde bir dolgu ya da temel yerleştirildiğinde, taş kolonda önemli bir gerilme yoğunluğu oluşur ve çevredeki daha az sert zeminde gerilimde eşlik eden bir azalma oluşmaktadır. Taş kolonun ve etrafındaki zeminin dikey oturmayı yaklaşık olarak aynı olduğundan, taş kolonda gerilme dağılımı oluşur, çünkü yumuşak zemine göre daha rijittir. Birim hücre kavramının, kare veya eşkenar üçgensel şeklinde sahip olan bir taş kolon grubuna uygulanan oldukça geniş nispeten üniform bir yükleme gibi geçerli olduğu koşulları hesaba katmaktadır. Bir birim hücre içinde düşey gerilme dağılımı, tanımlanmış bir gerilme oranı n ile ifade edilebilir.

$$n = \frac{\sigma_c}{\sigma_s} \quad (2.4)$$

burada:

σ_s = Taş kolondaki düşey gerilme

σ_c = Etrafındaki kohezyonlu zeminde düşey gerilme

Belirli bir derinlikte birim hücre alanı üzerinde bulunması gereken ortalama gerilme, birim hücrenin içinde düşey kuvvetlerin dengede olması için, belirli bir alan değiştirme oranına (a_r) olarak eşit olmalıdır:

$$\sigma = \sigma_s \times a_r + \sigma_c (1-a_r) \quad (2.5)$$

Tüm terimlerin daha önce tanımlandığı yerler, gerilme dağılım katsayısı n kullanarak kil ve taşa gerilmeleri için denklemini (2.5) çözülmektedir.

$$\sigma_s = \mu_s \sigma \quad (2.6a)$$

$$\sigma_c = \mu_c \sigma$$

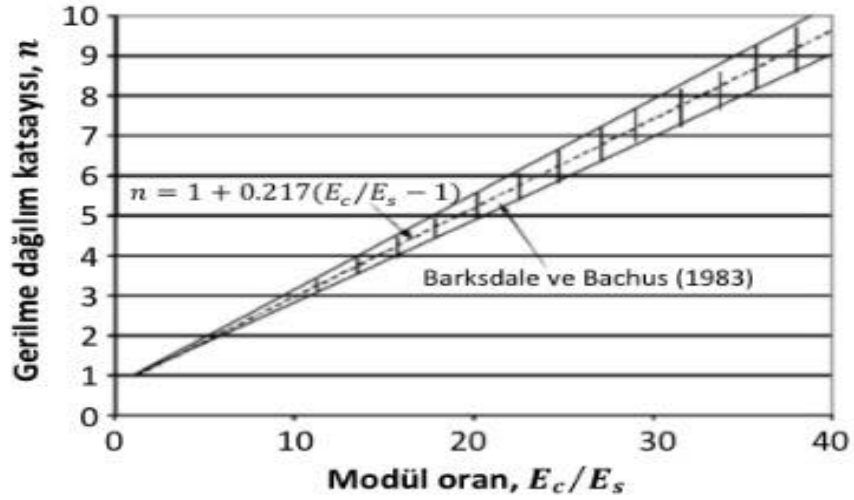
(2.6b)

μ_c ve μ_s , sırasıyla, kil ve taştaki gerilmelerin oranını, kol bölgesi üzerindeki ortalama gerilme oranıdır. Belirli bir saha koşulları kümesi için, taş ve kildeki gerilme, önceki ölçümlere dayanarak, gerilmelerin oranını makul bir değerinin varsayılması durumunda denklemler (2.6 a) ve (2.6b) kullanılarak kolayca belirlenebilir.

Yukarıdaki σ_s , σ_c , ve σ , gerilmeleri uygulanan yüklemekten kaynaklanmaktadır. Ayrıca, belirli bir derinlikte başlangıçtaki etkili (ve toplam) ve yanal gerilmeler de önemli miktarlardır.

Bir çok makalelerde, taş kolon takviyeli temeller için sabit gerilme dağılım oranının genellikle 2 ila 6 aralığında olduğunu gösterilmiştir Aboshi ve arkadaşları (1979a); Goughnour ve Bayuk (1979b); Barksdale ve Bachus (1983); Mitchell ve Huber (1985); Kirsch ve Sondermann (2003); Ambily ve Gandhi (2007). Öte yandan, düşük yük gerilme ile çok yumuşak kilde $n = 25$ olarak ölçülen, çok daha yüksek bir oran olduğunu bildirmiştir (Greenwood, 1991).

Konsolidasyon süreci için teorik çözümün geliştirilmesinde, konsolidasyon ilerledikçe gerilme yoğunlaşma oranının artmasını göstermiştir Han ve Ye (2001). Gerilme dağılım katsayısı ve modüler oranı arasındaki ilişki “Şekil. 2.15”te karşılaştırılmıştır, gerilme oranının modüler oranın artmasıyla arttığı açıkça görülmektedir Barksdale ve Bachus (1983). Bununla birlikte, yazarlar, kolonlar artan yük ile verdiğinde, gerilmenin azaldığını kabul etmiştir. Bu nedenle ayrıca, taş kolon takviyeli zeminin izin verilen taşıma kapasitesine yakın bir çalışma yükü altında kullanılacak olan gerilme oranı için 3 ila 4 değerini önermiştir.



Şekil 2.16: Lineer elastik analizler sonucunda elde edilen n ve E_c/E_s arasındaki ilişki (Barksdale ve Bachus, 1983)

Gerilme faktörünü ve birim hücrelerini tek boyutlu bir oturma teorisine dahil etmiş ve Denge Yöntemi'ni sunmuştur (Bachus, 1989). Denge Yöntemi kapsamında, oturma oranı tanımlanmıştır. Sırasıyla taş artan gerilme oranlarıdır.

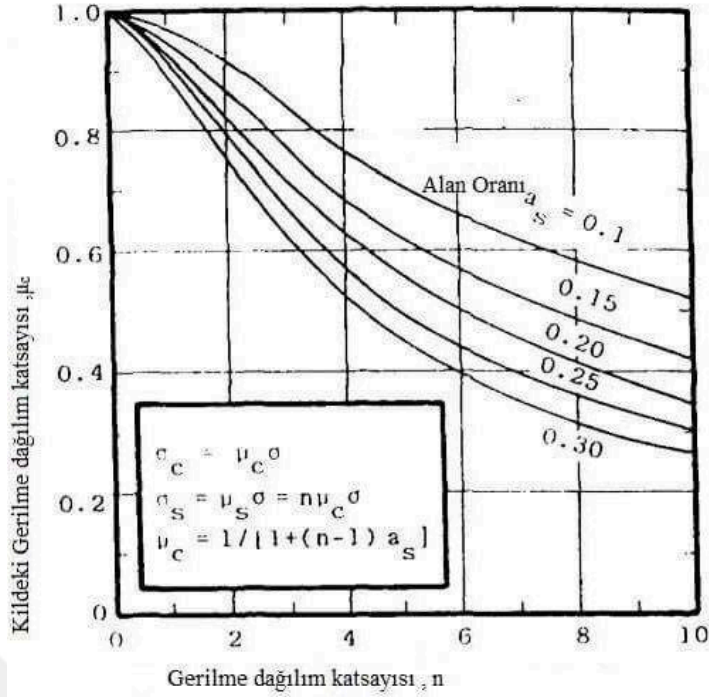
$$ST/S = 1 + [1 + (n+1)a_r] = \mu_c \quad (2.7)$$

ST: örselenmemiş zeminin oturması.

S: örselenmemiş zeminin toplam oturma.

μ_c : taşa artan oturma oranlarıdır.

Oturma oranı, taşla yer değiştirmesi nedeniyle sıkıştırılabilir malzemenin hacimindeki azalmayı ve taşa bağlı olarak sıkıştırılabilir malzeme üzerindeki gerilmeyi azaltmayı dikkate alınmaktadır. Bu denklem genellikle “Şekil. 2.16” de gösterilen eğrileri ifade eder ve beklenen zemin ıslahının üst sınırı olarak kabul edilebilmektedir.



Şekil 2.17: Gerilme dağılım katsayısı faktörünün değişimi n, (Bachus, 1989).

Büyük alan yer değiştirme oranlarında, kildeki gerilme en aza indirilir, ancak taş kolon temelinin ve değiştirilen malzemenin imhasıyla ilgili maliyetler, oturmanın pratik olarak azaltılmasına rağmen, engelleyici hale gelir. Aksine, alan yer değiştirme oranı ne kadar düşük olursa, otuma üzerindeki etkisi o kadar küçüktür (Bachus, 1989).

Sonuç olarak, gerilme dağılım oranı, taşıma kapasitesi, oturma ve kararlılık faktörünü hesaplamak için önemli bir tasarım parametresidir ve birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Ancak, gerilme dağılım oranının değerlendirilmesi, oranın yükleme yoğunluğu, konsolidasyon derecesi, alan değiştirme oranı, malzeme özellikleri ve kolon uzunluğu gibi çeşitli faktörlerden etkilenmesinden dolayı fikir birliğine ulaşmamıştır. Bu nedenle, deneysel, teorik ve sayısal olarak, taş kolonların yük paylaşım mekanizmasındaki konuyu açıklığa kavuşturmak için daha fazla araştırma yapmaya ihtiyaç vardır.

2.5 Taş Kolonlarda oturma tahmin yöntemleri

Taş kolonların oturma tahmin yöntemleri hesaplamak için kullanılan yöntemler, esneklik veya plastiklik teorilerine dayalı olarak ya yaklaşık yöntemler ya da ileri yöntemler (sonlu elemanlar metodu gibi) olarak sınıflandırılabilir. Taş kolonların boyutlandırma yöntemleri, tekil bir kolon veya sonsuz bir kolonlar ağı (taş kolon gruplar), temel türü, malzemelerin mekanik davranışı ve aynı zamanda ve aranan hedef (zemin taşıma kapasitesinin artması, kesme mukavemeti, genel kararlılık veya oturmaların azaltılması) dikkate alınarak geliştirilmiştir. Bu geometri ve yükleme koşulu için teorik olarak birim hücre prensibi geçerli olup, bu yaklaşım Aboshi v. d. (1979) Barksdale ve Takefumi (1990), Goughnour ve Bayuk (1979) (Priebe, 1990) tarafından kullanılmıştır. İleriki bölümlerde, basitleştirilmiş yöntemler arasında yer alan Denge metodu, Priebe metodu yöntemi tartışılmıştır.

2.5.1 Denge Metodu

Aboshi ve Barksdale (1979) tarafından açıklanan denge yöntemi, sıkıştırılmış kum kazıklarının oturmasını tahmin etmek için Japon uygulamasında kullanılan bir yöntemdir. Denge metodu aynı zamanda taş kolonlarla iyileştirilen zeminin oturmasındaki azalmayı tahmin etmek için çok basit ama gerçekçi bir mühendislik yaklaşımı sunulmaktadır. Bu basit yaklaşımı uygularken, gerilme dağılım faktörü, geçmiş deneyimler ve önceki sahada alan ölçümlerinin gerilme sonuçlarını kullanılarak tahmin edilmelidir.

Denge yönteminin geliştirilmesinde bazen varsayımlar gereklidir : genişletilmiş birim hücre idealizasyonu geçerlidir, birim hücreye uygulanan toplam dikey yük taş ve zemin tarafından taşınan kuvvetin toplamına eşittir, taş kolonun ve zeminin düşey yer değiştirmesi eşittir, taş kolonun uzunluğu boyunca dış yükleme nedeniyle tekdüze bir dikey gerilme mevcuttur ya da sıkıştırılabilir tabaka artışlara bölünür ve her bir artışın oturması, artıştaki ortalama gerilme artışı kullanılarak hesaplanır. Bu yaklaşımın ardından, diğer yöntemlerin olduğu gibi, taş kolon ile iyileştirilmiş zeminin altında oluşan oturmalar ayrı olarak hesaplanmalıdır, genellikle bu oturmalar küçüktür ve ihmal edilebilir. Düzgün yaylı yüke maruz sonsuz genişlikteki taş kolon gruplarında, her taş kolon “**Şekil 2.13**”de gösterildiği gibi bir birim hücre olarak modellenmektedir.

Tek boyutlu konsolidasyon teorisinden, sıkıştırılabilir kil katmanının konsolidasyonu aşağıdaki gibidir, denklem 2.8'den hesaplanmaktadır.

$$S = \left(\frac{C_c}{1+e_0} \right) \log_{10} \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma}{\sigma'_{v0}} \right) H_t \quad (2.8)$$

Burada, S_t : Taş kolon ile güçlendirilmiş zeminin bir mesafe H_t üzerinden oluşan birincil konsolidasyon oturması H_t : Oturmanın hesaplandığı taş kolon ile güçlendirilmiş zeminin dikey yüksekliği, $\Delta\sigma$: Dışarıdan uygulanan yükleme nedeniyle kil tabakasında gerilme değişimi, σ'_{v0} : kil tabakasında ortalama efektif gerilme, C_c : Tek boyutlu konsolidasyon testinden sıkıştırma indeksi, e_0 : ilk boşluk oranı.

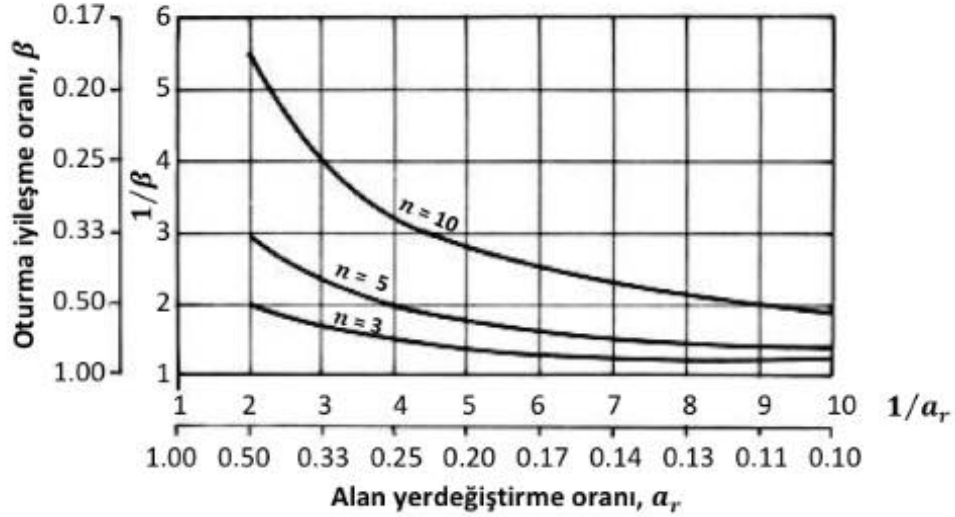
Denklem 2.8 'den, normalde konsolide edilmiş killer için, taş kolonlar ile güçlendirilmiş zemindeki oturmaların güçlendirilmemiş zemindeki oturmalara oranı, S_t / S , aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$\frac{S_t}{S} = \frac{\log_{10} \left(\frac{\sigma'_{v0} + \mu\Delta\sigma}{\sigma'_{v0}} \right)}{\log_{10} \left(\frac{\sigma'_{v0} + \mu\Delta\sigma}{\sigma'_{v0}} \right)} \quad (2.9)$$

Bu denklem iyileştirme seviyesinin (1) gerilme dağılım katsayısına (n), (2) kildeki ilk efektif gerilme ve uygulanan yük gerilmesini büyüklüğü bağlı olduğunu göstermektedir. Denklem (2.9) 'dan, diğer faktörlerin sabit olması durumunda, daha uzun kolonlarda ve daha küçük gerilme değerlerinde oturmalarda daha büyük bir azalma elde edildiğini göstermektedir. Çok geniş (uzun taş kolon boyu) ve uygulanan düşük gerilme değerleri σ için, oturma oranı nispeten hızlı bir şekilde yaklaşmaktadır.

$$S_t / S = 1 / (1+(n-1)a_r) = \eta \quad (2.10)$$

Tüm terimler daha önce tanımlanmıştır. Denklem (2.10) grafik olarak “Şekil 2.17” de gösterilmiştir, beklenen zemin iyileştirmesinin konusunda biraz muhafazakar olmayan bir tahminini verir ve ön çalışmalar için yararlıdır.



Şekil 2.18: Oturma iyileşme oranının alan yerdeğiştirme oranı ve gerilme dağılım katsayısına bağlı olarak değişimi (Barksdale ve Bachus, 1983)

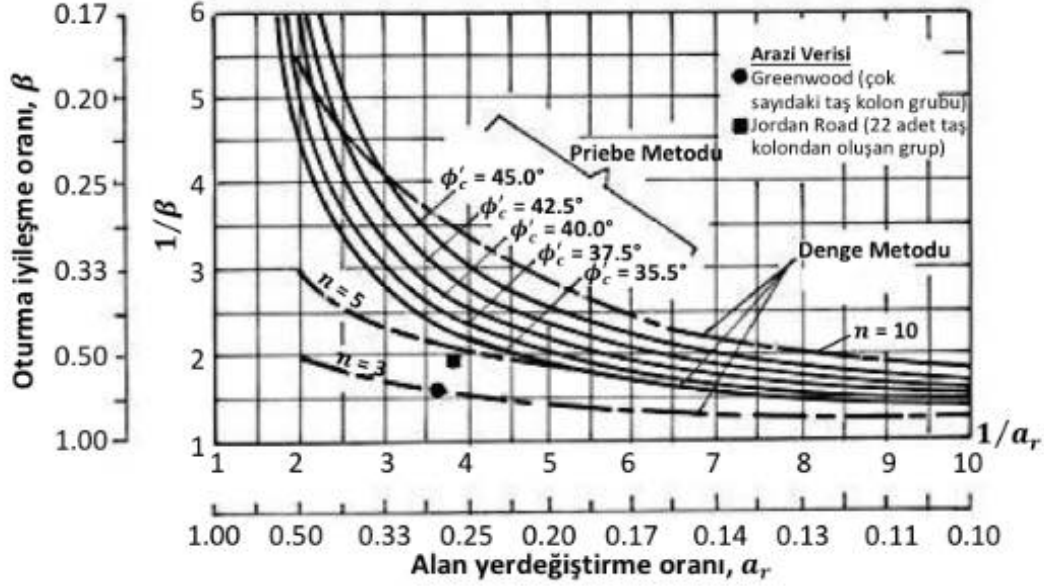
2.5.2 Priebe Metodu

Priebe tarafından taş kolon ile zemin iyileştirmesi nedeniyle oturmalarındaki azalmayı tahmin etmek için, önerilen yöntem de birim hücre modeli kullanılmaktadır. Taş kolonun üç eksenli bir gerilme durumunda plastik denge durumunda olduğu varsayılmaktadır.

Analizde yapılan diğer varsayımlar, taş ve zeminin eşit dikey oturmalarını, iki malzemede eşit gerilmeleri ve kolon ucu rijit bir tabaka üzerinde içermektedir. Priebe tarafından geliştirilen tasarım ilişkisi, “Şekil 2.18” de verilmiştir. Örselenmemiş örselenmiş zeminin ST / S oturma oranına, taşın alan değıştirme (a_s) ve iç sürtünme açısı (ϕ_s) oranının bir fonksiyonu olarak verilir.

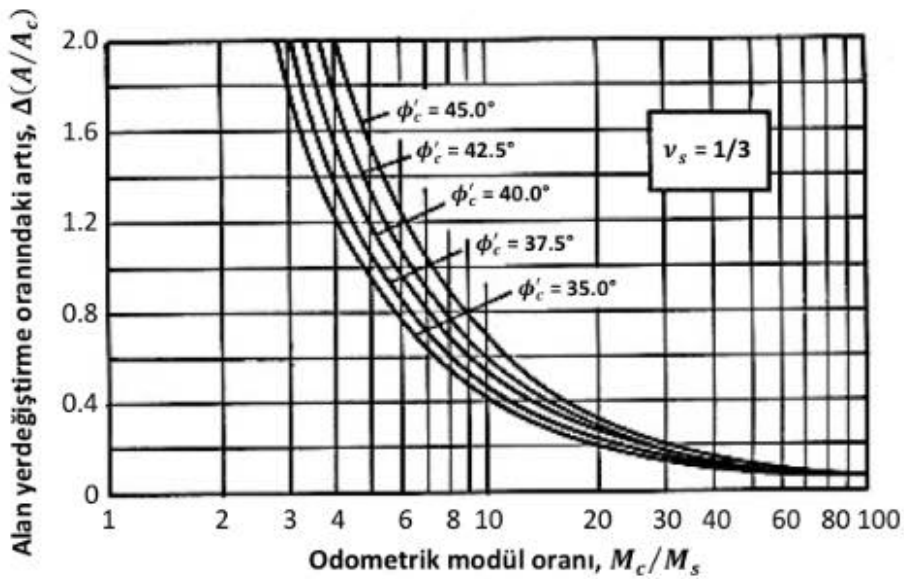
Karşılaştırma için bu eğrilere birleştirilmiş üst sınırdır gerilme katsayısı faktörleri $n = 3, 5$ ve 10 için üst sınır denge yöntemi çözümü “denklem 2.10”dir. GKN Keller tarafından kullanılan Priebe eğrileri genellikle 5 ile 10 arasında n için üst sınır denge eğrileri arasında kalmaktadır. Priebe iyileştirme faktörleri, 3 'ten 5 'e kadar olan gerilme dağılım faktörünün gözlenen varyasyonundan önemli ölçüde daha büyüktür. Ayrıca “Şekil 2.18”de verilen iki bölgeden ölçülen iyileştirme faktörleri, üst sınır denge metodu eğrileri, “denklem 2.10” ile n 'nin 3 ila 5 'in altında olması için iyi bir uyum olduğunu göstermektedir.

Bu nedenle, Priebe'nin eğrileri, denge yöntemiyle ve sınırlı alan verileriyle bir kıyaslamaya dayanarak, taş kolonların oturmaları azaltmada yararlı etkileri önceden tahmin etmektedir.



Sekil 2.19: Oturma iyileşme oranı Priebe ve Denge metodları (Barksdale ve Bachus, 1983)

Daha sonra kolon malzemesinin sıkışabilirliğini dikkate alarak, ödemetriksel modül oranına bağlı olarak (M_c/M_s) “Şekil. 2.16”den alınacak ilave alan oranı $\Delta(A/A_c)$ değerinin teorik olan yer değiştirme oranına eklenmesini önermiştir (Priebe ,1995).

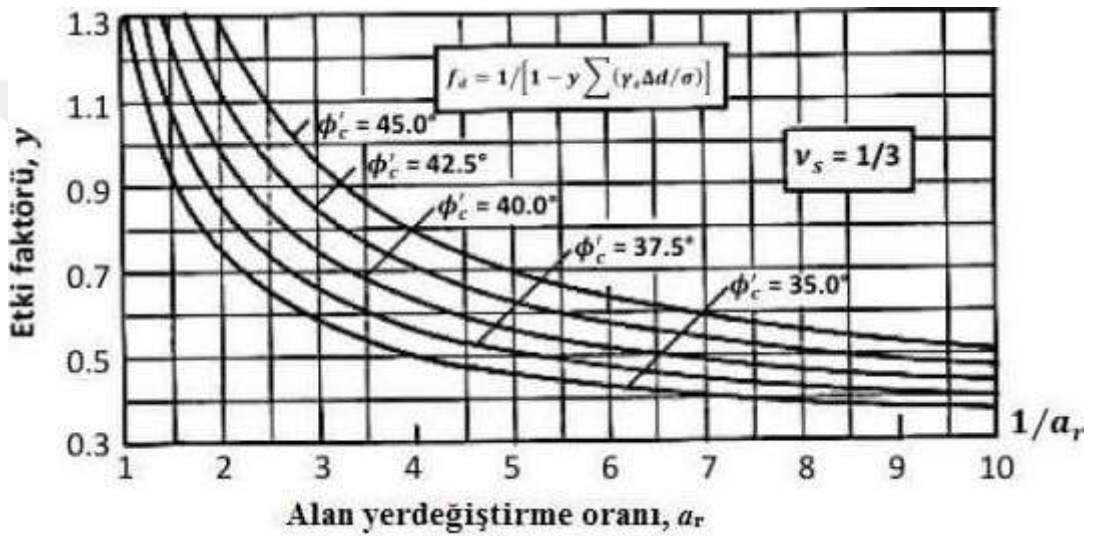


Şekil 2.20: Kolon sıkışabilirliğinin alan yer değiştirme oranına etkisi (Priebe, 1995)

Ayrıca dış yüklere kolonların ve zeminin ağırlıklarının da eklenmesi gerektiğini belirtmektedir (Priebe, 1995). Bu ilave yükler dikkate alınarak, “Şekil. 2.20” de gösterilen derinlik faktörü, f_d , denklem 2.11’de tanımlanmıştır.

$$f_d = 1/[1 - y\Sigma(rs\Delta d/\sigma)] \quad (2.11)$$

Burada; f_d : derinlik faktörü, y : etki faktörü “Şekil. 2,18” γ_s : zeminin birim hacim ağırlığı (kN/m^3), Δd : zemin tabakasının kalınlığı (m) ve σ : yüzeydeki düşey gerilmedir (kN/m^2).



Şekil 2.21: Derinlik faktörünün belirlenmesi (Priebe, 1995)

2.5.3 Kavite genişleme teorisi yaklaşımları

Bu yaklaşımda taş kolon sonsuz uzunlukta, etrafını çevreleyen zemine doğru genişleyen bir silindir olarak modellenmekte ve radyal genişleme kolon etrafındaki zeminin nihai pasif direncine ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Burada yanal genişleme yüzeyden sadece 2 - 3D (D: taş kolon çapı) derinliklerde oluşmakta, genişlemenin derinlik boyunca sabit bir çap büyümesinden ziyade, kolon kabarma şeklinde bir deformasyon yapmaktadır (Barksdale ve Bachus, 1983).

Hughes ve Withers (1974), Datye ve Walleys (1979) bu yaklaşımı kullanarak taş kolondaki çevresel basıncı değerlendirmişlerdir. Taş kolon, sadece 2 ila 3 çap arasında bir mesafe boyunca dışarı doğru çıkıntı yapsa da, sonsuz uzun bir genişleyen silindirin modeli, bir mühendislik yaklaşımı olarak, makul olarak iyi

sonuçlar vermektedir. Hughes ve Withers (1974), tek bir taş kolonun bir basınc testi sırasında ortaya çıkan boşluğa benzer şekilde kabarma bir yenilme olduğunu sayılmaktadır.

Yaklaşımlarında, Gibson ve Anderson (1961) tarafından sürtünmesiz bir malzeme ve sonsuz genişleyen silindirik boşluk için verilen elastik-plastik teorisi, taş kolonunu çevreleyen zeminin drenajsız ve nihai yanal gerilmelerini σ_3 öngörmek için kullanıldı:

$$\sigma_3 = \sigma_{r0} + c \left[1 + \ln e \frac{E_c}{2c(1+\nu)} \right] \quad (2.12)$$

σ_3 : nihai drenajsız yanal gerilme

σ_{r0} : yerinde toplam yanal gerilme(başlangıç)

E_c : zeminin elastik modülü

c : Drenajsız kayma mukavemeti

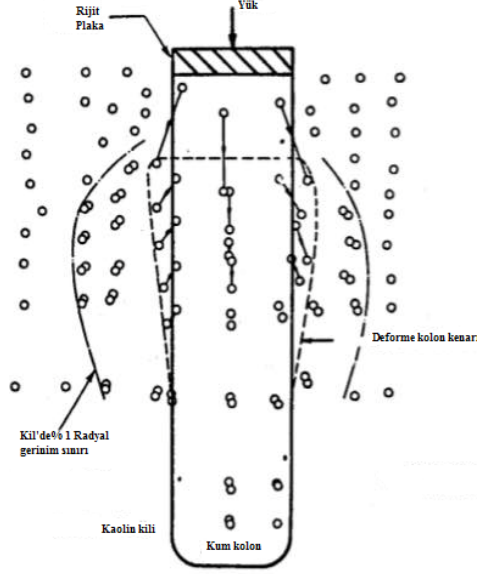
ν : Poisson Oranı

Taş kolonunu destekleyen yanal gerilimi (σ_3) genellikle bu yöntemlerde, çevreleyen zeminin taşa doğru dışa doğru çıkması sonucu taşan zeminin harekete geçirebileceği nihai pasif direni olarak alınmaktadır. Kavite genişme teorisinden kolonun bir yenilme esnasında, alabileceği nihai dikey gerilme (σ_1) yanal gerilmesinin (σ_3) arpıyla, taş kolonun pasif direninin katsayısına eşittir, (K_p), şöyle ifade edilebilir:

$$\sigma_1 / \sigma_3 = K_p = \left[\frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \right] \quad (2.13)$$

Burada ϕ' : taş kolonun i sürtünme açısı ve gerilme oranı (σ_1 / σ_2) taş kolonun pasif direninin katsayısıdır. Denklem (2.12) 'in denklem (2.13)' e dönüştürülmesi vetaş kolonun nihai taşıma gücünü (q_{ult}) eşit (σ_1) in yerine getirilmesi:

$$q_{ult} = \left\{ \sigma_{r0} + c \left[1 + \ln e \frac{E_c}{2c(1+\nu)} \right] \right\} \left[\frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \right] \quad (2.14)$$



Şekil 2.22: Model testlerinde, kolon üzerine rijit bir plaka ile yüklenen tek bir taş kolon için görülen göbeklenme yenilmesi (Hughes, Withers,1974).

Vesic (1972) hem sürtünme hem de kohezyonlu zeminleri içermek üzere daha önceki çalışmaları genişleten genel silindirik bir boşluk genişleme çözümü geliştirmiştir. Silindir, bir kez daha sonsuz uzun ve zemin ya elastik veya plastik olarak kabul edilir. Etrafındaki zemin tarafından geliştirilen nihai yanal direnç, aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir:

$$\sigma_3 = c' F_c + q F_q \quad (2.15)$$

Burada F_c ' ve F_q ': kavite genişleme faktörleri, c : kolon etrafındaki zeminin efektif kohezyonu, q : Eşdeğer yenilme derinliğinde ortalama (izotropik) gerilme ($q = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3$).

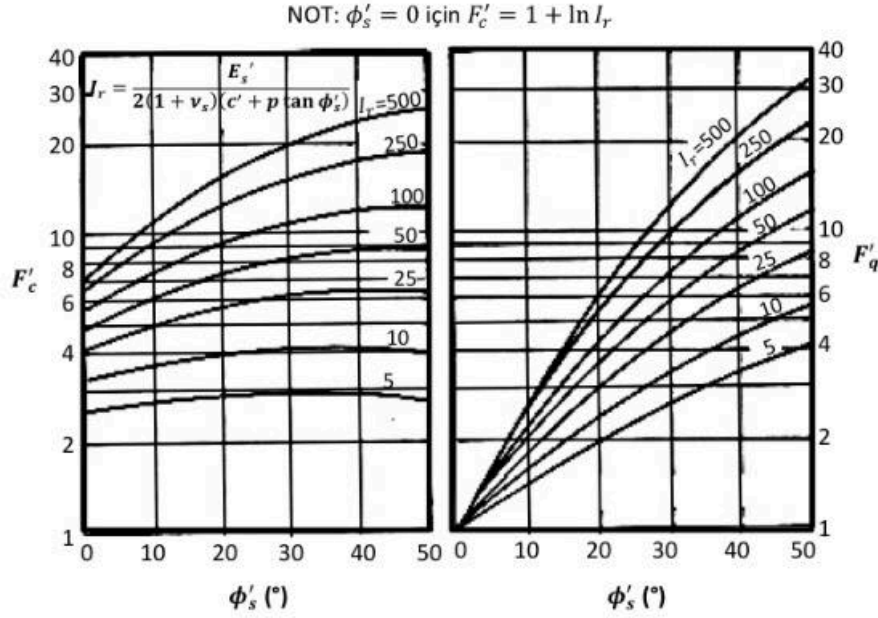
Şekil 2.21'de gösterilen kavite genişleme faktörleri F_c ve F_q ', çevreleyen zeminin iç sürtünme açısının ile denklem (2.16) Rijitlik İndeksinin (I_r) değerlerine bağlıdır.

$$I_r = \frac{E_s'}{2(1 + \nu_s)(c' + p \tan \phi_s')} \quad (2.16)$$

Burda E_s' : Çevreleyen zemin elastik modülü c' : çevredeki zeminin kohezyonu ν : çevredeki zeminin Poisson oranı, p : yenilme bölgesinde ortalama gerilme. Denklem (2.12) 'yi denklem (2.15)' a dönüştürerek ve (Q_{ult}) 'ye eşit (σ_1) verdikten sonra, taş kolonua uygulanabilecek nihai gerilme:

$$Q_{ult} = [c'F'_c + qF'_q] \times \left[\frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \right] \quad (2.17)$$

Tüm terimlerin daha önce tanımlandı.



Şekil 2.23: Kavite genleşme faktörleri (Vesic, 1972)

Vesic (1972) tarafından geliştirilen genel çözüm, sürtünmesiz bir zemin için, Gibson ve Anderson'ın (1961) 'ın kavite genişleme çözümüyle aynı nihai yükü verilmektedir.

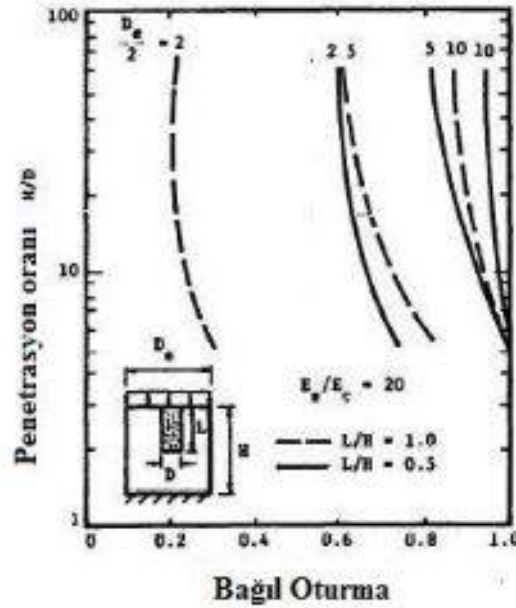
2.5.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, taş kolon ile iyileştirilmiş zemini modellemek için teorik olarak en iyi yaklaşımı sunmaktadır. Doğrusal olmayan malzeme özellikleri, arayüz kayması ve uygun sınır koşulları, sonlu elemanlar tekniği kullanılarak gerçekçi olarak modellenebilmektedir. Üç boyutlu modelleme kullanılabilmesine rağmen, pratik bir bakış açısından ya bir aksimetrik model ya da bir düzlemsel gerinim modeli genellikle kullanılmaktadır. Pek çok çalışmada, geniş bir taş kolon grubu üzerinde, veya tek bir taş kolonda üniform bir yükün koşullarını analiz etmek için aksimetrik birim hücre modelini kullanmıştır.

Birim hücre kavramını kullanarak sonlu elemanlar geniş bir taş kolon grupları tarafından analiz edilmiştir Balaam, Brown ve Poulos (1977).

Taşın modülünün oranının 10 ila 40 arasında değiştiği ve her malzemenin Poisson oranının 0,3 olduğu varsayılmıştır. Geri kalan $K_0 = 1$ 'de bir zeminin basıncı katsayısı kullanılmıştır. Otmada elastik ve elastik-plastik karşılık arasında sadece yaklaşık yüzde 6'lık oranında bir fark bulunmuştur. Yumuşak tabakaya taş kolonun penetrasyonunun miktarı ve kolonun çapının oturma üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur “Şekil. 2.23”, Taş kolonun zemine modüler oranı daha az öneme sahiptir.

Balaam ve Booker (1985), rijit bir yükleme için doğrusal elastik teoriyi kullanan birim hücre modeli için (birim dikey gerilme varsayımı), taş kolondaki dikey gerilmelerin yatay düzlemlerde yaklaşık olarak üniform olduğu ve aynı zamanda kohezif zeminde üniform olduğunu bulmuşlardır. Analizleri, drenaj gerçekleşikçe, kildeki düşey gerilmenin azaldığını ve taş gerilmenin drenajsız durumdan drenajlı durumuna geçerken taştaki gerilmenin arttığını göstermektedir. Bu değişime, hem modülün hem de toprağın Poisson oranının drenajında bir azalma nedeni olmaktadır.



Şekil. 2.24: Elastik oturmasındaki taş kolon penetrasyon uzunluğu etkisi (Goughnour, R. R. and A. A. Bayuk, 1979)

2.6 Seçilmiş taş kolon örnek olayın tarihleri

2.6.1 Rijit taş kolonları ile dolguların doldurulması

Bir dolgunun kısımları Hampton'daki dolgu rampaları için taş kolonlar üzerinde desteklenmiştir. Taş kolonlar ile zemini takviye etmeye karar vermede önemli faktörler (1) Sıkı çevresel kısıtlamalar, ve (2) projeyi geciktirmeden kabul edilebilir inşaat sonrası oturmaların elde edilmesidir. Taş kolonlar kazı, değiştirme ve öncelikli olarak çevresel ve ekonomik nedenlerden ötürü ek ücretler üzerinden seçilmiştir Goughnour, R. R. ve A. A. Bayuk (1979).

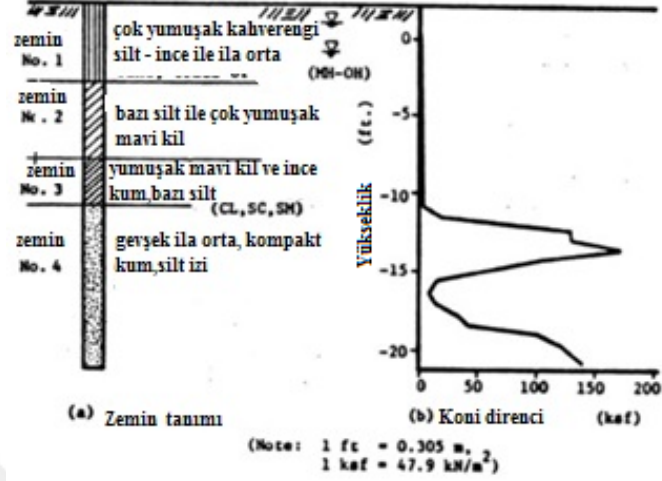
Taş kolonlar ile güçlendirilmiş alanlarda dolgu yüksekliği 10.7 m'ye ulaşmıştır. Taş kolon destekli rampaların çevresindeki yer alan yüzey koşulları, 3-5 m düzensiz zemin, çok yumuşak kahverengi kumlu ve çok ince koyu gri ve mavi renkli killi ve siltli yüzeylerinden oluşmuştur “Şekil. 2.24” de çizilmiştir. Bu tabaka altındaki çok sert killi ve silo kumlara gevşektir, orta kumlara kadar ince kumlu killer bulunmaktadır.

Sahada yapılan kanatlı kesme deneyi ile belirlendiği gibi yükseklik 3 ila 5 m arasındaki kayma dayanımının ortanca değerleri 24 ila 29 kN / m² 'dir, daha yumuşak bölgeler için ortanca değer yaklaşık (18 kN / m) idi. Sahada bulunmayan en düşük iki değer 8.6 ve 9.6 kN / m idi. Çok yumuşak bataklıkta çalışmayı sağlamak için ilk olarak 0.9 m'lik bir kum çalışma platformu inşa edildi. Taş kolon uzunluğu yaklaşık 6 m'idi ve yaklaşık 1,1 m çapa sahip olduğu olacak şekilde geri hesaplandı.

Taş kolonlar altta yatan kumlara taşınmaktadır. Eşkenar üçgen taş kolon deseni kullanılmıştır, aralık 1,8 ila 2,4 m arasında değişmektedir. Zeminin yaklaşık % 18 ila 33 % taşla değiştirilmiş ve 64 mm'lik bir büyüklükte kırmataş kullanılmıştır. Sahadaki taş kolonların son dolgu tasarımından önce kullanımını değerlendirmek için, tek bir kolonun (drenajsız) ve ayrıca büyük bir taş kolon grupları (drenajlı) üzerinde dikey yük testleri gerçekleştirilmiştir .

Bir grup yük testi alanında toplam 45 taş kolon inşa edildi. Geniş grup, prekast beton levhalardan oluşan 401 tonluk ölü yük kullanılarak doldurulmuştur. Orijinal zemin yüzeyindeki net yükleme (115 kN / m) idi. Bu yükleme 54 saat içinde uygulanmış, bu sırada grubun merkezinin oturması 79 mm 'dir, 130 gün sonra toplam oturma yaklaşık 300 mm'dir. Yük testlerini denetlemek için

piyezometreler ve yük hücreleri kullanıldı. Zemin yüzeyindeki taş kolondaki gerilmenin, bitişik kildeki gerilmenin 2.9 ila 2.4 katı arasında değiştiği bulunmuştur.



Şekil. 2.25: Hampton, Virginia'da seçilmiş yeraltı koşulları (Webb, D. L. 2nd R. I. V. Hall, 1969).



3. SONLU ELEMANLAR MODELLEMESİ

Sonlu elemanlar yöntemi, 1960'lı yıllardan beri geoteknik mühendisliği problemlerine uygulanmakta olup, on yıllardan beri yapısal mühendislik ve sürekli mekanik uygulamalarda geliştirilmiştir. Bununla birlikte, sonlu eleman adı ilk olarak Clough (1960) tarafından bir yazıda icat edilmiştir. Bu teknik düzlem gerilme analizi için sunulmuştur. O zamandan beri, bu tekniğe büyük miktarda araştırma yapılmış ve bu konuda bir dizi araştırma makalesi ve ders kitabı yayınlanmıştır. Bu yöntem şu anda geniş uygulanabilirliğe sahip bir mühendislik aleti olarak sağlamca kurulmuştur. Yöntemin ana avantajı, doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme davranışı sergileyen malzemelere uygulanabilmesidir. Mevcut araştırmada Plaxis'in sonlu eleman programı kullanılmıştır.

3.1 PLAXIS programı

Bu çalışmada, Plaxis8.6 bilgisayar programı ile gerçekleştirilen taş kolon ile güçlendirilmiş yumuşak zemini incelemektedir. Plaxis'in geliştirmesi 1967 yılında Hollanda Kamu İşleri ve Su Yönetimi Dairesi'nin bir girişimi olarak Delft Teknik Üniversitesi'nde başlamıştır.

Hollanda'daki düşük alanların yumuşak zemini üzerinde bir nehir dolgunun analizi için sonlu bir eleman kodu kullanımı kolay geliştirmektir. Sonraki yıllarda Plaxis, geoteknik mühendisliğinin diğer birçok alanını kapsayacak şekilde geliştirildi. Plaxis, geoteknik mühendisliği projelerinde deformasyon ve stabilite analizleri için özel olarak tasarlanmış sonlu elemanlar paketidir. Plaxis Versiyon 8.6, iki boyutlu (2D) bir sonlu eleman kodudur ve çeşitli geoteknik problemleri için deformasyon ve stabilite analizleri yapmak için ticari olarak temin edilebilir. Program düzlem gerilimi hem de aksimetrik modellemede kullanılabilir.

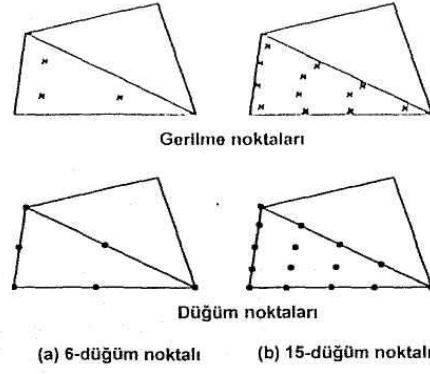
Geoteknik uygulamalar, zeminlerin doğrusal olmayan ve zamana bağlı davranışlarının simülasyonu için gelişmiş kurucu modeller gerektirmektedir. Ayrıca, zemin çok evreli bir materyal olduğundan, zeminde hidrostatik ve hidrostatik olmayan gözenek basıncını ele almak için özel prosedürler gereklidir. Gerçek durumların detaylı ve doğru bir şekilde modellenmesini sağlayan uygun çizim prosedürlerine (CAD) dayanan zemin tabakalarının, yapıların, yüklerin ve sınır koşullarının girişi elde edilir. Bu geometri modelinden, bir sonlu eleman ağı otomatik olarak üretilir. Plaxis programı dört ana bölümden oluşmaktadır: Giriş, Hesaplama, Çıktı ve Eğriler bölümü. Aşağıdaki bölümlerde Plaxis program bölümlerinin kısa bir açıklaması belirtilecektir.

3.2 Sonlu elemanlar ve düğümler

Geoteknik problemlerde kesinlik ile uğraşmak için Plaxis programı çeşitli eleman ve düğüm tipleri içerir (Plaxis Kılavuzu, 2008). Aşağıdaki paragraflar mevcut analizlerde kullanılan tipleri içermektedir.

3.2.1 Zemin elemanı

Ağının oluşturulması sırasında, hücreler üçgen elemanlara ayrılır. Plaxis, “**Şekil 3.1**” 'de gösterildiği gibi, Plaxis'te iki tip üçgen eleman var, altı düğüm içeren 6 düğümlü eleman ve 15 düğüm içeren 15 düğümlü elemanı sağlar. Sonlu eleman hesaplaması sırasında, yer değiştirmeleri bu düğümlerde hesaplanmaktadır. Kullanıcılar yük değiştirme eğrilerinin oluşturulması için düğümleri önceden seçebilir. Öte yandan, gerilme düğüm noktalarından ziyade gerilme noktaları olarak adlandırılan noktalarda hesaplanmaktadır. “**Şekil 3.1**” de gösterildiği gibi, bir 15 düğümlü üçgen elemanda, on iki gerilme noktası içerirken, 6 düğümlü üçgen elemanda üç gerilme noktası içermektedir. Taş kolon ile güçlendirilmiş yumuşak zeminler, aksimetrik problemler olarak iki boyutlu (2D) analiz olarak modellenmiştir, 15-düğüm üçgen eleman seçildi.



Şekil 3.1: Zemin elemanındaki düğümlerin ve gerilme noktalarının dağılımı (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)

3.3 Giriş programı

Plaxis 'in giriş programında farklı zemin katmanlarına, yapısal parçalara ve harici yüklere girilerek geometri verilir. Kullanılabilir çeşitli malzeme modelleri arasında bir seçim vardır: Doğrusal elastik model, Mohr-Coulomb, Pekleşen Zemin, Küçük-Gerilme Sertliği ile Pekleşen Zemin Modeli, Yumuşak Zemin ve Yumuşak Zemin Sürnmesi, her malzemenin programın girişinde yapılır. Malzemeye, uygun sınır koşulları ile birlikte elemanlara atanan sertlik ve yoğunluk gibi ilgili malzeme özellikleri verilmektedir. Ayrıca bütün modele sınır şartları atanmaktadır. Model tamamlandığında, bir ağ oluşturulur ve hesaplama programına geçmeden önce başlangıç gerilmeleri ve boşluk suyu basınçları başlatılır.

3.3.1 Zemin davranışının modellenmesi

Plaxis 8.6 zeminin davranışını simüle etmek için farklı modelleri desteklemektedir. Bu modeller, aşağıdaki kısımlarda kısaca belirtilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan Mohr-Coulomb ve Pekleşen zemin modeli daha detaylı olarak belirtilmiştir.

- **Doğrusal elastik model**

Bu model, Hooke'un izotropik doğrusal esneklik yasasını temsil eder. Model, Young modülü, E ve Poisson oranı ν olarak adlandırılan iki elastik sertlik parametresini içerir. Bu model, zemin davranışının simülasyonu için çok sınırlıdır.

• Pekleşen Zemin Modeli

Pekleşen zemin modeli, farklı zemin türlerinin, yumuşak ve sert zeminlerin davranışlarını simüle etmek için gelişmiş bir modeldir, (Schanz ,1998). Birincil deviatorik yüke maruz olduğunda, zemini azalan bir sertlik gösterir ve eşzamanlı olarak tersinmez plastik gerinimleri gelişir.

Drenajlı üç eksenli bir testin özel durumunda, aksenal gerinim ve deviatorik gerilme arasındaki gözlenen ilişki hiperbol ile iyi bir şekilde yakınlaştırılabilir. Böyle bir ilişki ilk olarak (Kondner ,1963) tarafından formüle edilmiş ve daha sonra iyi bilinen hiperbolik modelde kullanılmıştır (Duncan ve Chang, 1970).Ancak, zemin pekleşen modeli, hiperbolik modelin yerini alır:

Öncelikle eslatisite teorisinden ziyade plastisite teorisini kullanarak, ikinci olarak zemin genişimini dahil etmektedir. Modelin bazı temel özellikleri şunlardır:

- Bir güç yasasına göre gerilmeye bağlı sertlik (m)
- Birincil deviatorik yüklemekten dolayı plastik gerinim E_{50}^{ref}
- Birincil sıkıştırma nedeniyle Plastik gerinim E_{oed}^{ref}
- Elastik boşaltma / yeniden yükleme E_{ur}^{ref}
- Mohr-Coulomb yenilme kriterine göre yenilme c, φ, ψ

Pekleşen zemin modelinde zemin sertliği gerilmeye bağlıdır. Gerinim ve gerilimin oedometre koşulları için, model örneğin ilişkiyi şöyle gösterir: $E_{oed} = E_{oed}^{ref} (\sigma/p^{ref})^m$. Yumuşak zeminlerin özel durumunda $m = 1$ kullanması geçerlidir. Bu gibi durumlarda, gevşek zemin modellerinde kullanılan modifiye sıkıştırma indeksi ve oedometre yük modülü arasında basit bir ilişki vardır.

$$E_{oed}^{ref} = p^{ref} / \lambda^* \quad , \quad \lambda^* = \lambda / (1 + e_0) \quad (3.1)$$

Burada p^{ref} bir referans basınçtır, belirli bir referans basıncında bir teğet oedometre modülü olduğunu sayılmaktadır. Bu nedenle birincil yükleme sertliği, modifiye edilmiş sıkıştırma indeksine λ^* veya standart Cam-Clay sabitleme indeksine λ ilişkindir.

Benzer şekilde, boşaltma-geri yükleme modülü, değiştirilmiş şişme indeksi k^* veya Cam-Clay şişme indeksi k ile ilgilidir. Bu ilişki aşağıdaki gibi gösterilebilir var:

$$E_{ur}^{ref} = 2 p^{ref} / k^*, \quad k^* = k / (1 + e_0) \quad (3.2)$$

Bu ilişkide $m = 1$ giriş değeriyle birlikte uygulanır .

Pekleşen zemin modelinin formülasyonu için temel bir amaç, birincil üç eksenli yüklemde dikey gerinim ε_1 , ve deviatörük gerilme q , arasındaki hiperbolik ilişkidir. Burada standart drenajlı üç eksenli testler, aşağıdakiler tarafından açıklanabilen eğriler verir:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E_i} \frac{q}{1 - q/qa} \quad (3.3)$$

qa , kesme kuvvetinin asimptotik ve, başlangıç sertliğinin değeridir. E_i , E_{50} ile ilişkilidir:

$$E_i = \frac{2 E_{50}}{2 - Rf} \quad (3.4)$$

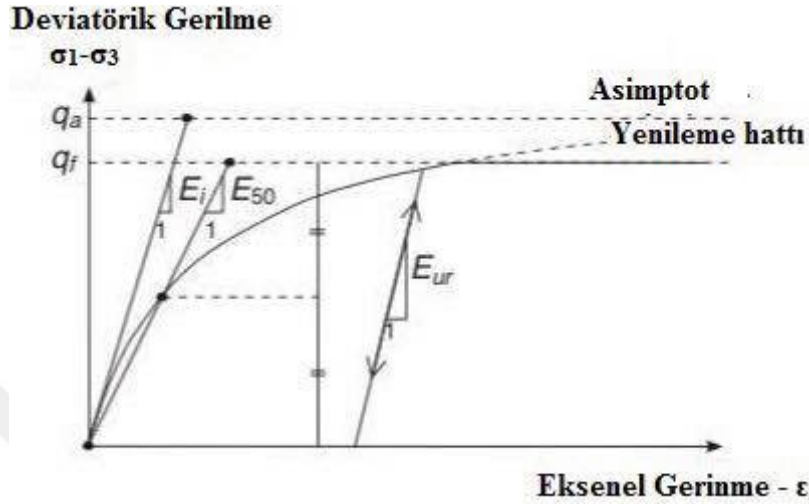
Bu ilişki “Şekil. 3.2” de gösterilmiştir. E_{50} parametresi, birincil yükleme için sınırlayıcı gerilmeye bağlı olan ve denklem tarafından verilen sertlik modülüdür:

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{ccos\varphi - \sigma_3' \sin\varphi}{ccos\varphi + p^{ref} \sin\varphi} \right)^m \quad (3.5)$$

Burada E_{50}^{ref} referans sınırlama basıncına karşılık gelen bir referans sertlik modülüdür. PLAXIS'te, varsayılan bir $p^{ref} = 100$ gerilme birimi kullanılır. Gerçek sertlik ana gerilmeye bağlıdır, σ_3' ki bu üç eksenli bir testte sınırlayıcı basıncıdır. Sıkıştırma için σ_3' negatif olduğuna dikkat edilmelidir. Gerilim bağımlılığı miktarı, güç m tarafından verilir. Yumuşak killer için gözlemlenen bir logaritmik sıkıştırma davranışını simüle etmek için, güç $m = 1.0$ 'a eşit alınmalıdır. Gerilme yörüngesinin boşaltmak ve yeniden yüklemek için başka bir gerilme bağımlı sertlik modülü kullanılır:

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left(\frac{ccos\varphi - \sigma_3' \sin\varphi}{ccos\varphi + p^{ref} \sin\varphi} \right) \quad (3.6)$$

Burada E_{ur}^{ref} , referans basıncı p_{ref} 'e karşılık gelen Young'ın boşaltma ve yeniden yükleme için referans modülüdür. Birçok pratik durumda E_{ur}^{ref} 'yi $3E_{50}^{ref}$ 'e eşit ayarlamak uygundur: PLAXIS'te kullanılan varsayılan ayar budur.



Sekil 3.2: Standart drenajlı üç eksenli test için birincil yüklemde hiperbolik gerilme - gerinim ilişkisi (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)

Mevcut pekleşen zeminin bazı parametreleri sertleşmeyen Mohr-Columb modelininkilerle çakışmaktadır. Bunlar yenilme parametreleridir (c , φ , ψ).

Property	Unit	Value
Stiffness		
E_{50}^{ref}	kN/m ²	0.000
E_{oed}^{ref}	kN/m ²	0.000
E_{ur}^{ref}	kN/m ²	0.000
power (m)		0.5000
Alternatives		
Use alternatives		<input type="checkbox"/>
C_c		10.00E9
C_s		10.00E9
e_{init}		0.5000
Strength		
C'_{ref}	kN/m ²	0.000
φ' (phi)	°	0.000
ψ (psi)	°	0.000

Şekil 3.3: Pekleşen zemin modelinin parametresi (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)

Çizelge 3.1: Mohr-Coulomb modelindeki gibi yenilme parametreleri

Parametreler	Birim
c : (Etkili) kohezyon	[KN/m ²]
ϕ : (Etkili) iç sürtünme açısı	[°]
ψ : Genleşme Açısı	[°]
σ : Gerilim kesme ve çekme mukavemeti	[KN/m ²]

Çizelge 3.2: Zemin sertliği için temel parametreler

Parametreler	Birim
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$: Primer oedometre yüklemesi için teğetsel sertliği	[KN/m ²]
E_{50}^{ref} : Standart drenajlı üç eksenli testte sekant sertliği	[KN/m ²]
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$: Boşaltma / yeniden yükleme sertliği	[KN/m ²]
m : Sertliğin gerilme seviyesinde bağımlılığı için güç	[-]

Çizelge 3.3: Zemin sertliği için temel parametrelerin girilmesi yerine alternatif parametreler girilebilir. Bu parametreler aşağıda listelenmiştir.

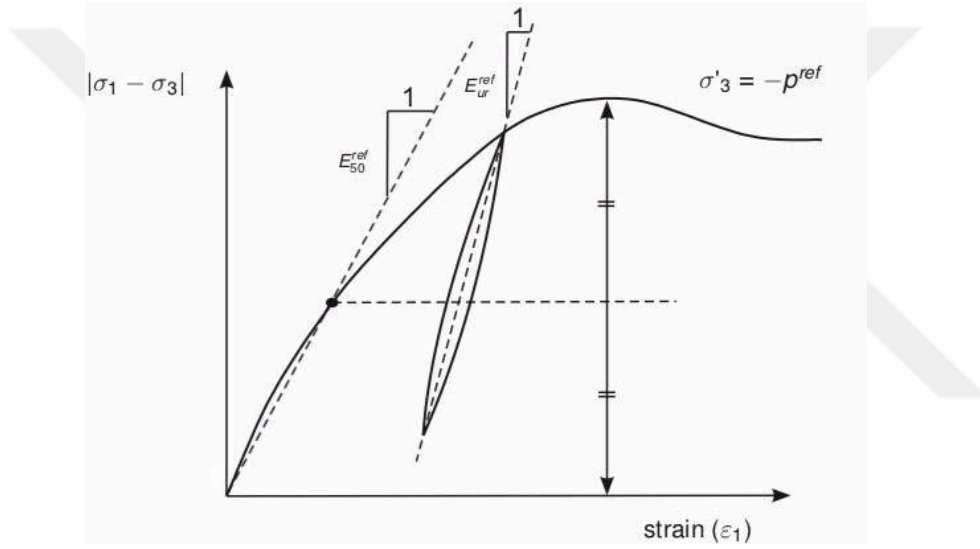
Parametreler	Birim
c_c : Sıkıştırma indeksi	[-]
c_s : Şişirme indeksi veya yeniden yükleme indeksi	[-]
e_{mit} : İlk boşluk oranı	[-]

-Sertlik modülü $E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$, $E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$, E_{50}^{ref} ve m

Pekleşen zemin modelinin Mohr-Coulomb modeli üzerindeki avantajı, bi-lineer eğri yerine sadece hiperbolik gerilme-gerinimin eğrisinin kullanımı değil, aynı zamanda gerilme seviyesi bağımlılığının kontrol edilmesidir.

Mohr-Coulomb modeli kullanıldığında, kullanıcı, gerçek zeminlerde olduğu gibi bu sertliğin gerilme seviyesine bağlı olduğu yerde Young modülünün sabit bir değerini seçmelidir.

Bu nedenle, zemin içindeki gerilme seviyelerini tahmin etmek ve uygun sertlik değerlerini elde etmek için bunları kullanmak gereklidir. Ancak Pekleşen zemin modeli ile, bu giriş parametresi seçimi gerekli değildir. Bunun yerine, bir referans küçük ana etkili gerilme ($\sigma_3 = p^{ref}$) için bir sertlik katsayısı E_{50}^{ref} tanımlanmıştır. Bu, referans gerilmeye p^{ref} eşit bir hücre basıncında maksimum deviatorik gerilmenin % 50'sindeki sekant sertliğidir. Varsayılan değer olarak, program $p^{ref} = 100 \text{ KN/m}^2$ kullanır.



Şekil 3.4: Drenajlı üç eksenli test sonuçları için E_{ur}^{ref} , E_{50}^{ref} 'un tanımı (Plaxis 8.6, 2008 kılavuzu)

- **Küçük-Gerilme Sertliği ile Pekleşen Zemin Modeli (Hardening Soil with Small-Strain Stiffness)**

Küçük gerinimlerde zeminlerin sertliğinin arttırılmasından sorumlu olan yukarıdaki pekleşen zemin modelinin bir modifikasyonudur. Düşük deformasyon seviyelerinde, çoğu zemin üstün rijitlik sergiler ve bu rijitlik doğrusal olmayan bir şekilde deformasyon ile değişir. Bu modelinin gelişmiş özellikleri çalışma yükü koşullarında belirgindir.

• Yumuşak Zemin Modeli

Bu model, normal olarak birleştirilmiş kil ve turba gibi yumuşak zeminlerin davranışını simüle etmek için kullanılabilir. Model, sadece birincil sıkıştırma durumunda en iyi performansı gösterir.

• Mohr-Coulomb Modeli

Mohr-Coulomb Modeli elastik mükemmel bir plastik modeldir, genellikle geoteknik mühendislerinin çoğu tarafından bilinen ve zemin örnekleri üzerindeki temel testlerden elde edilebilen toplam beş parametreyi gerektirmektedir. Bu parametreler Young modülü (E KN/m²), Poisson oranı, (ν), sürtünme açısı, (ϕ [°]), kohezyon (c (KN/m²)), ve genleşme açısıdır (ψ [°]).

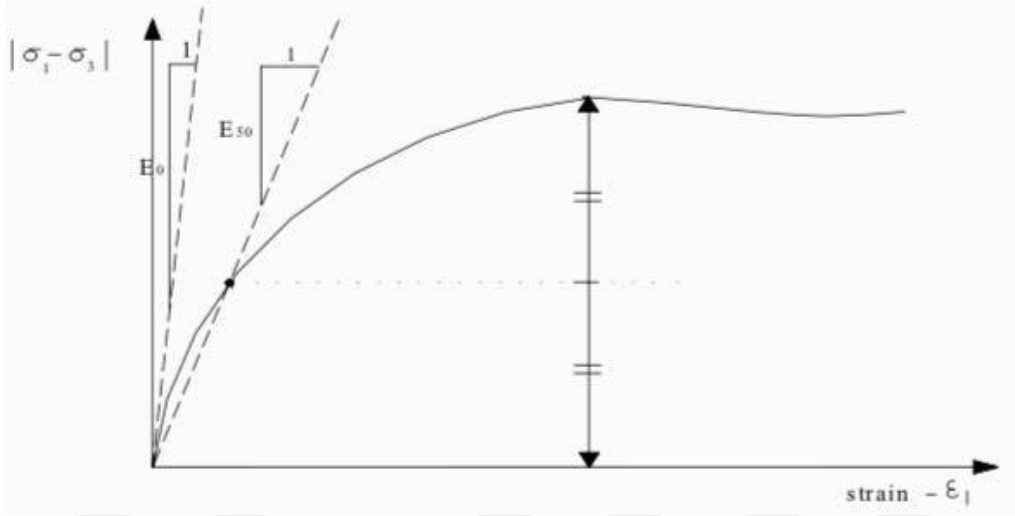
Property	Unit	Value
Stiffness		
E'	KN/m ²	0.000
ν' (nu)		0.000
Alternatives		
G	KN/m ²	0.000
E_{oed}	KN/m ²	0.000
Strength		
c'_{ref}	KN/m ²	0.000
ϕ' (phi)	°	0.000
ψ (psi)	°	0.000
Velocities		
V_s	m/s	0.000
V_p	m/s	0.000

Şekil 3.5: Mohr Coulomb modelinin parametresi (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)

Young modülü, E

Plaxis, Young modülü elastik modelde ve Mohr-Coulomb modelinde bir temel sertlik olarak kullanmaktadır. Bir sertlik modülü, gerilme boyutuna sahiptir. Bir hesaplamada benimsenen rijitlik parametresinin değerleri, çoğu malzemeler yüklemenin başlangıcından itibaren doğrusal olmayan davranış gösterdiği için, özel bir dikkat gerektirir. Zeminler için, başlangıç eğimi genellikle E_0 olarak belirtilir ve “Şekil.3.6”te gösterildiği gibi% 50 sekant modülü E_{50} olarak

gösterilir. Geniş bir doğrusal elastik sahip malzemeler için E_0 kullanımı gerçekçi olmakla birlikte, zeminlerin yüklenmesi için genellikle E_{50} kullanılır.



Şekil 3.6: Standart süzülmüş üç eksenli test sonuçları için E_0 ve E_{50} 'nin tanımı (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)

Poisson oranı (ν)

Bir poisson oranının seçilmesi, elastik model veya Mohr-Coulomb modeli gravite yüklemesi için kullanıldığında özellikle basittir. Bu tip yükleme için Plaxis $K_0 = \sigma_h / \sigma_v$ 'un gerçekçi oranlarını vermelidir. Her iki model de $\sigma_h / \sigma_v = \nu / (1-\nu)$ tanınmış oranını verecektir. Tek boyutlu sıkıştırma için, Poisson'un gerçekçi bir K_0 değeri veren oranını seçmek kolaydır: Bu nedenle, ν , K_0 ile eşleştirilerek değerlendirilir. Bir çok durumda, ν 'nin değeri 0.3 ile 0.4 arasında değişmektedir. Genelde, bu değerler tek boyutlu sıkıştırma dışındaki yükleme koşulları için de kullanılabilir.

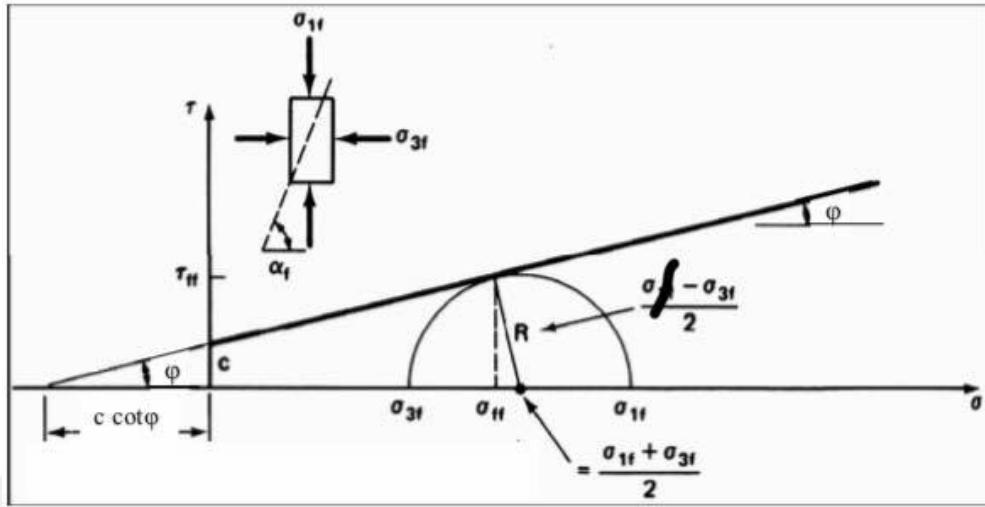
Kohezyon (c)

Kohezyon mukavemeti gerilim boyutuna sahiptir. Plaxis Kohezyonsuz zeminleri işleyebilir ($c = 0$), ancak bazı seçenekler iyi bir performans göstermeyecektir. Plaxis, kohezyonu derinlikle arttığı özel bir katman seçeneği sunar.

İç sürtünme açısı (ϕ)

Kayma mukavemeti ϕ derece olarak girilir. Kayma mukavemeti, "Şekil. 3.7" 'de gösterildiği gibi Mohr'ın gerilme dairesi vasıtasıyla kesme kuvvetini büyük ölçüde belirler. Mohr-Coulomb yenilme kriteri, zemin davranışını tanımlamak için Druker-Prager yaklaşımından daha iyi olduğunu kanıtlamaktadır, çünkü

ikinci yenilme yüzeyi aksimetrik konfigürasyonlar için son derece yanlış olma eğilimindedir.



Şekil 3.7: Bir Mohr yenilme dairesi ile Mohr coulomb yenilme kabuğu (Plaxis 8.6, 2008 kılavuzu)

Genleşme açısı (ψ)

Genleşme açısı, ψ derece olarak belirtilir. Aşırı derecede konsolide olmuş tabakaların dışında, killi topraklar da az miktarda dilatasyon gösterme eğilimindedir ($\psi = 0$). Kumun genleşmesini hem yoğunluğa hem de iç sürtünme açısına bağlıdır. Küçük bir negatif değer, sadece aşırı gevşek kumlar için geçerlidir.

• Yumuşak Zemin Sürünme Modeli

Pekleşen zemin modeli, sürünmeyi ve gerilmeyi gevşemesini hesaba katmaz. Aslında, tüm zeminler biraz sünme gösterirler ve birincil sıkıştırma böylece belirli bir miktarda ikincil sıkıştırma ile takip edilir. Normal olarak konsolide kil, silt ve turba gibi yumuşak zeminlerde yüksek derecede sıkıştırılabilirlik, sünme ve ikincil sıkıştırma hakimdir. Bunlar en iyi oedometre test verileri ile gösterilmiştir. Bu nedenle, Plaxis göreceli olarak yeni bir model olan "Yumuşak Zemin Sürünmesi" adlı bir model uyguladı ve temellerin, dolguların sorunlarının uygulanması için geliştirildi. Yumuşak Zemin Sürünme Modeli kullanılırken, uygun başlangıçtaki zemin şartları önemlidir. Aynı zamanda aşırı konsolidasyonun etkisini dikkate almak için ön konsolidasyon gerilmesine ilişkin verileri de içermektedir.

Yumuşak Zemin Sürünme modelinin bazı temel özellikleri şunlardır:

- Gerilmeye bağlı rijitlik (Logaritmik sıkıştırma davranışı)
- Birincil yükleme ve yükün kaldırılma -yeniden yükleme arasındaki farkı
- İkincil (zamana bağlı) sıkıştırma
- Ön konsolidasyon hafızası
- Mohr Coulomb kriterlerine göre yenilme davranışı

Yumuşak zemin Sürünme modelinin ve yukarıdaki zemin modellerinin tam açıklaması, **Plaxis 8.6 (2008)** malzeme modeli kılavuzunda belirtilmiştir. Yumuşak zemin Sürünme Modeli aşağıdaki ana parametreleri gerektirir:

Mohr-Coulomb modelindeki gibi yenilme parametreleri:

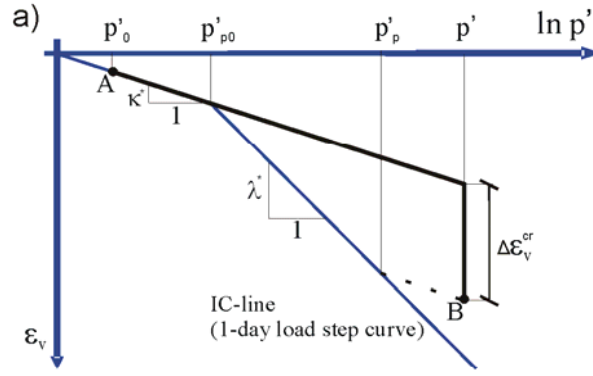
- Kohezyon, c
- Sürtünme açısı, ϕ
- Genleşim açısı, ψ

Yumuşak zemin Sürünme modelinin parametreleri:

- Değiştirilmiş sıkıştırma endeksi, λ^*
- Değiştirilmiş şişme endeksi, κ^*
- Değiştirilmiş ikincil sıkıştırma endeksi, μ^*

Bu parametreler hem bir izotropik sıkıştırma testi hem de bir oedometre testi ile elde edilebilir. Gerilmenin logaritmasını bir gerinim fonksiyonu olarak çizerken, çizime “**Şekil. 3.8**” de gösterildiği gibi iki düz çizgi yaklaşılabilir. Normal konsolidasyon hattının eğimi, değiştirilmiş sıkıştırma indeksini, λ^* verir ve yükün kaldırılma veya şişme hattının eğimi κ^* , değiştirilmiş şişme endeksini hesaplamak için kullanılabilir.

λ^* ve κ^* değiştirilmiş indeksleri ile orijinal Cam-Clay parametreleri λ ve κ arasında bir fark vardır. Sonraki parametreler, hacimsel gerilme, e_v yerine, boşluk oranı cinsinden tanımlanır. μ^* parametresi, uzun sürede hacimsel gerilmenin ölçülmesi ve “**Şekil 3.9**”de gösterildiği gibi zamanın logaritmasına karşı çizilerek elde edilebilir.



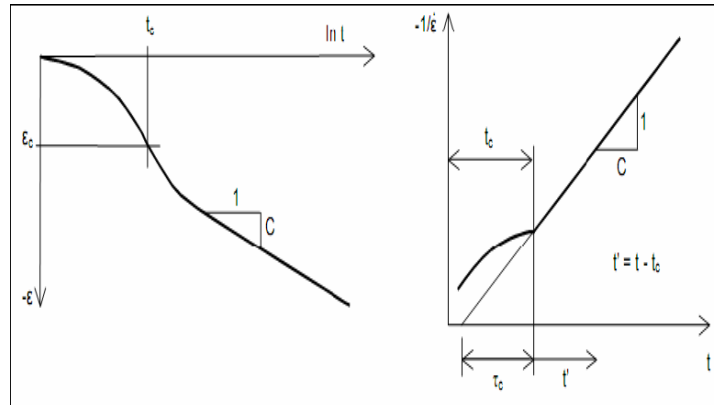
Şekil 3.8: Elastik ve sürünme bileşenine gerilme artışlarının bölünmesiyle oedometre testinden idealleştirilmiş gerilme-gerinim eğrisi (Plaxis 8.6, 2008 kılavuzu)

Cam-Clay parametrelerinin ilişkisi:

$$\lambda^* = \lambda / (1+e) \quad \kappa^* = \kappa / (1+e) \quad (3.7)$$

Uluslararası normalleştirilmiş parametrelerle ilişki:

$$\lambda^* = Cc / 2.3(1+e) \quad \kappa^* \approx 2Cs / 2.3(1+e) \quad \mu^* = Ca / 2.3(1+e) \quad (3.8)$$



Şekil 3.9: Standart oedometre testinde konsolidasyon ve sünme davranışı, (Plaxis 8.6 , 2008 kılavuzu)

3.3.2 Zeminin davranış çeşitleri

Prensip olarak, Plaxis'teki tüm modellerin parametreleri etkili zemin tepkisini temsil eder, örnek olarak zeminin iskeletinin gerilimleri ve gerinimleri arasındaki ilişkidir. Zeminin önemli bir özelliği boşluk suyun varlığıdır. Boşluk basıncı, zemin tepkisini önemli ölçüde etkiler. Su-iskelet etkileşiminin zemin

tepkisine dahil edilmesini sağlamak için Plaxis, her model için üç tip davranış seçeneği önerir.

- Drenajlı davranış

Bu ayarı kullanarak fazla boşluk su basıncı oluşmaz. Kuru zeminlerde ve kumda veya düşük bir yükleme oranı gibi yüksek geçirgenlik nedeniyle tam drenaj için geçerlidir. Bu seçenek, uzun süreli zemin davranışını, drenajsız yükleme ve konsolidasyonun kesin tarihini modellemeye gerek kalmadan simüle etmek için de kullanılabilir.

- Drenajsız davranış

Bu ayar aşırı boşluk su basıncının tam geliştirilmesi için kullanılır. Bu, bir zeminin killerdeki veya yüksek bir yük altında olduğu gibi düşük geçirgenliğe sahip olduğunda oluşur. Drenajsız davranış genellikle yükleme aşamalarında konsolidasyon izlemektedir.

- Gözeneksiz davranış

Bu seçeneği kullanarak ne başlangıç ne de aşırı boşluk suyu basıncı dikkate alınmaz. Bu seçenek için uygulama beton ve kaya veya yapısal davranış modellemede bulunabilmektedir. Gözeneksiz davranış genellikle doğrusal elastik modelle birlikte kullanılmaktadır.

3.3.3 Model Oluşturma

Yukarıda belirtildiği gibi, bu çalışmada incelenen taş kolon ile güçlendirilmiş yumuşak zemini modellemek için iki tip malzeme elemanı kullanılmıştır. Taş kolon malzemesini simüle etmek için zemin elemanları kullanılmıştır, çevreleyen yumuşak zemin ve taş kolon, birim hücre modellemesi ile uygulamaktadır. PLAXIS 2D'de Pekleşen zemin ve Mohr-Coulomb Modeli, hem taş kolon malzemesinin hem de işlenmiş yumuşak zeminin davranışını modellemek için kullanılmıştır.

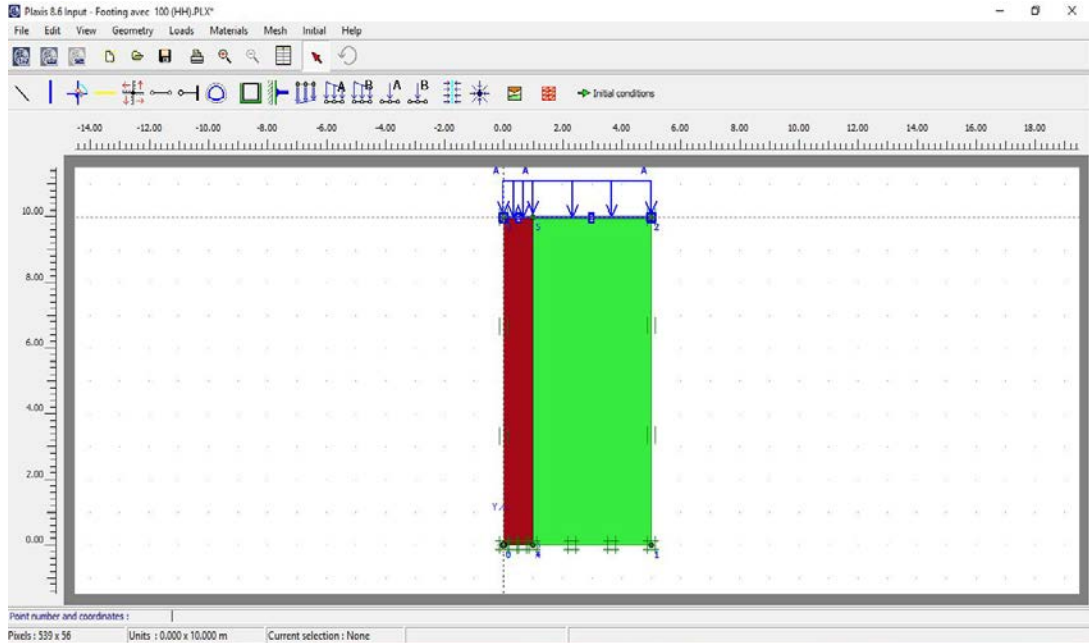
- Geometri ve sınır şartları

Modellerin geometrisini ayarlarken, her model üç kümeye ayrılmıştır. Birinci ve ikinci küme, temel zemini ve taş kolonunu temsil eder, ve üçüncü küme plat temsil eder.

Her modelin geometrisi aşağıdaki koşullar ile kontrol edildi,

- - Sadece bir dağıtılmış yük olarak taş kolunun kısmı üzerinde eşit bir yük uygulanması.
- -Taş kolunun ve çevredeki yumuşak zeminin tüm alanlarına $100 \text{ KN} / \text{m}^2$, $1000 \text{ KN} / \text{m}^2$ yük uygulanarak yüklenmektedir.
- -Yumuşak zemin tabanının davranışı üzerindeki kolonlar arasındaki mesafe aralığının etkisini araştırmak için, çevredeki yumuşak zeminin hacmi değişmiştir.
- - Taş kolunun hacmi, yumuşak zemin temelinin davranışında kolon çapının etkisini incelemek için değiştirilmiştir.
- - Taş kolonlar, yumuşak zeminin davranışı üzerindeki oturmasın etkisini incelemek için yumuşak zemini güçlendirmek için kullanılır.
- -Taş kolonların performansı üzerindeki etkilerini incelemek için farklı sertlik kullanılır.

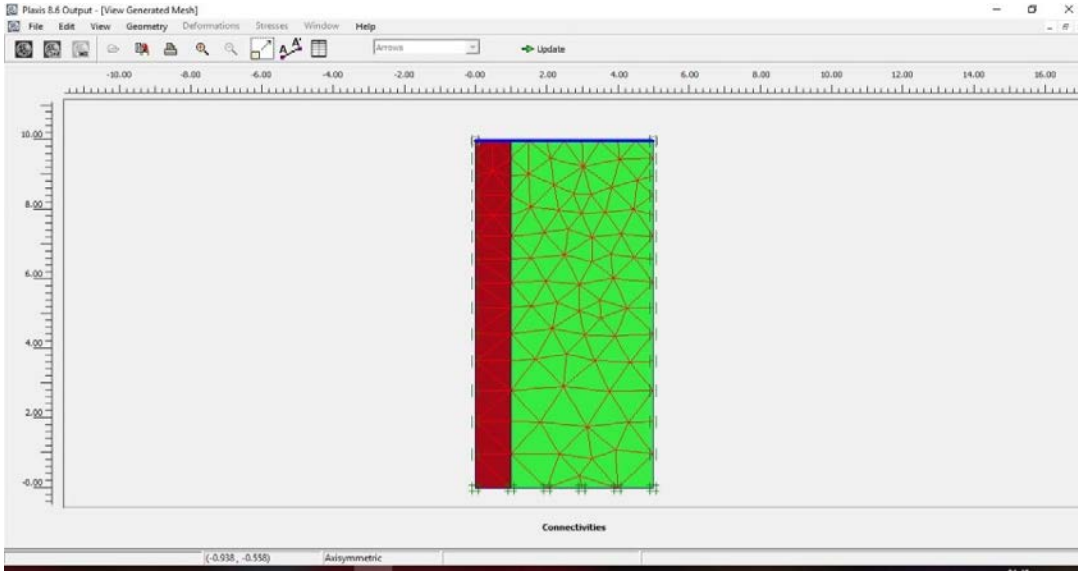
Modelin yarısı simetrisinin etkisini yansıtacak şekilde seçilmiştir. Standart sabitlemeler Plaxis'te mevcut olan sınır koşullarına atanır.



şekil 3.10: Giriş penceresindeki geometri modeli

• Ağ oluşturma

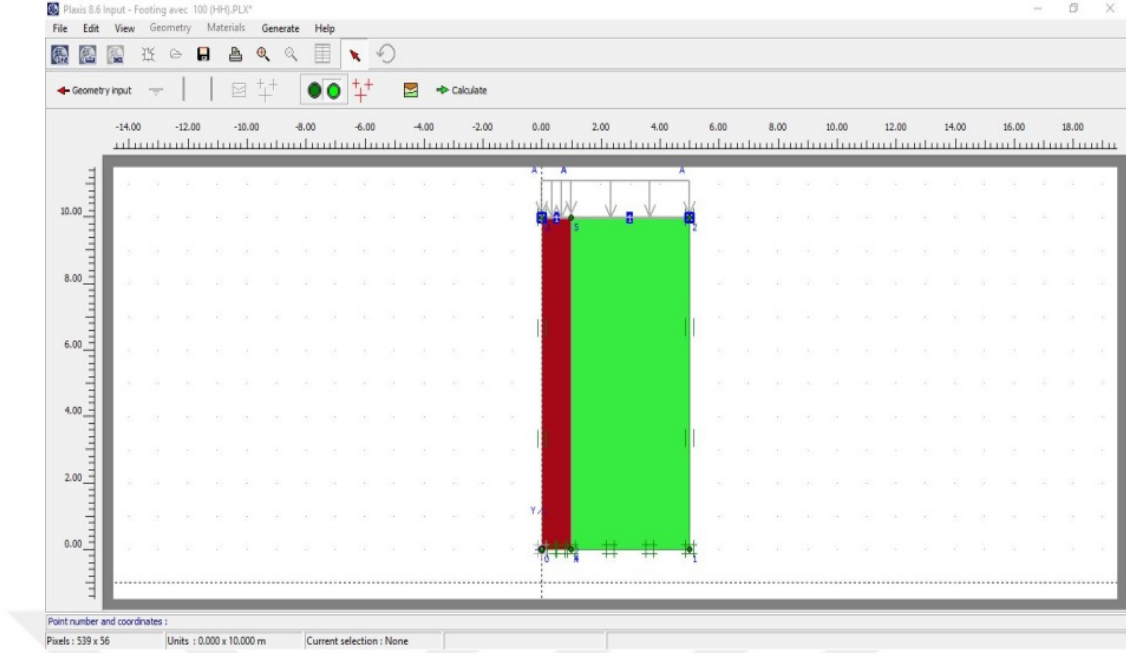
Plaxis, küresel ve yerel hasır arıtma seçenekleriyle otomatik olarak oluşturulmuş yapılandırılmamış ağ kullanmaktadır. Plaxis, çok kaba ağdan çok ince ağa kadar değişen beş çeşit ağ yoğunluğu sağlamaktadır. Bu araştırmada orta ağ seçilmiştir. Ağ, gerilmelerin ve deformasyonların, yüksek olması beklenen bölgelere, yani taş kolonun ve çevredeki zeminin üst kısmına olması modifiye edilmiştir.



Şekil 3.11: Geometrinin aksel simetrik sonlu eleman ağı

• Başlangıç koşulları

Modelin geometrisi ve sonlu eleman ağı oluşturulduğunda sonra, başlangıç durumu belirtilmelidir. Plaxis, başlangıç koşullarını belirtmek için bir seçenek sunmaktadır. Bu seçenek iki yöntemden oluşur: başlangıç su basıncının oluşturulması için bir yöntemdir ve ilk geometri konfigürasyonunun belirlenmesi ve ilk efektif gerilmelerin oluşturulması için diğer yöntemdir. Bu araştırmada, yer altı su yumuşak zeminin temeli yüzeyinde yer almaktadır.



Şekil 3.12: Başlangıç durumu giriş penceresi

3.4 Hesaplama

Bir sonlu eleman modelinin oluşturulmasından sonra, hesaplama yapılabilir ve bu adımda hesaplama tipi belirtilmelidir.

3.4.1 Hesaplama türleri

Farklı analiz yöntemleri arasındaki tercihler, gerçek problem hesaplama programında yapılmaktadır. Üç temel hesaplama türü, bir plastik hesaplama, konsolidasyon analizi ve ph-c indirgenme(güvenlik analizi) arasında ayırım yapılır.

- Plastik hesaplama

Plastik hesaplama, zaman ile aşırı boşluk basıncını dikkate alınmasının gerekmediği elastik-plastik bir deformasyon analizi yürütmek için seçilmelidir. Plastik hesaplama zaman etkilerini dikkate almaz, yumuşak zemin sürünme modeli kullanıldığı zamanlar hariç. Plastik hesaplama mevcut çalışmada kullanılmıştır.

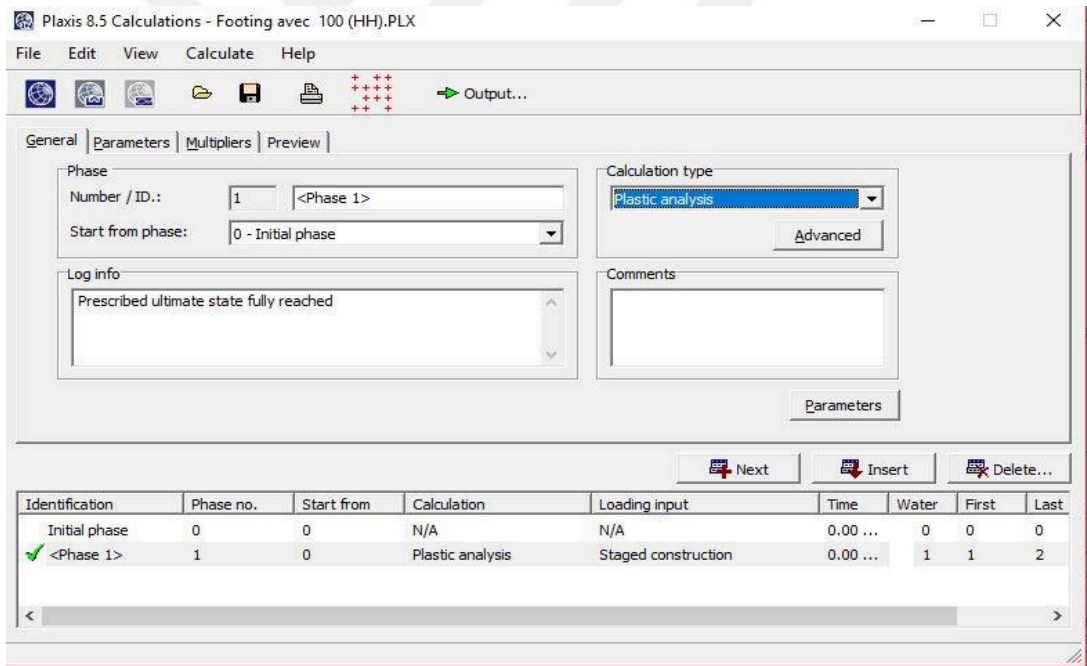
- Konsolidasyon analizi

Su ile doymuş kil tipi topraklarda aşırı boşluk basınçlarının gelişimini ya da dağılımını zaman içinde bir fonksiyon olarak analiz etmek gerektiğinde

konsolidasyon analizi seçilmelidir. Plaxis gerçek elastik-plastik konsolidasyon analizlerine izin verir. Genel olarak, drenajsız plastik bir hesaplamadan sonra ek yükleme olmaksızın bir konsolidasyon analizi gerçekleştirilir. Konsolidasyon analizi sırasında yüklerin uygulanması da mümkündür. Değişken zaman aralığı, Konsolidasyon'u seçerek düşünülebilir ve ardından istediğiniz gün sayısını girilebilir giri, eğer tam konsolidasyon analizi istenirse, tüm boşluk basıncının azaltıldığı yerlerde Minimum Boşluk Basıncı seçilmelidir.

- Phi-c azaltma faktörü (güvenlik analizi)

Phi-c azaltma kesme parametrelerini azaltarak gerçekleştirilebilir. Her bir hesaplama aşamasından sonra ve her bir inşaat aşaması için güvenlik faktörünü hesaplamak için bir güvenlik analizi yapılabilir. Bununla birlikte, Phi-c indirgenmesi, başka bir hesaplama aşaması için bir başlangıç koşulu olarak kullanılamaz, çünkü biryeniye başarısızlık durumunda sona erer.



Şekil3.13: Hesaplama türleri giriş penceresi

3.4.2 Yükleme türleri

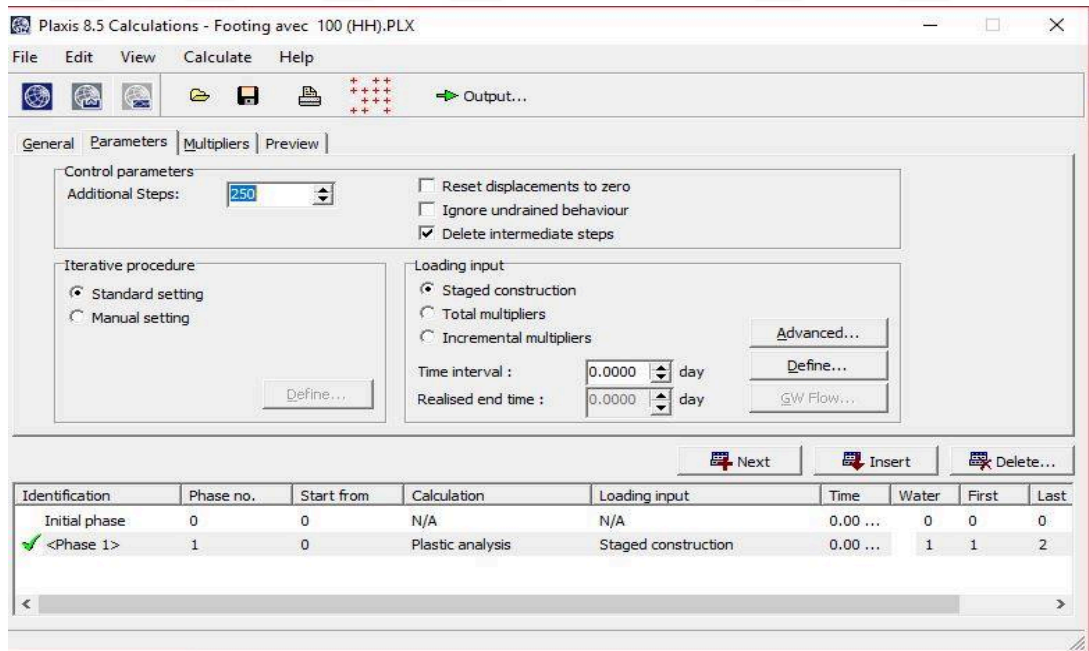
Hesaplama türünü belirledikten sonra, yükleme belirtilmelidir. Aşağıdaki yükleme tipleri seçilebilir:

- **Aşamalı inşaat**, en önemli yükleme türüdür. Bu Plaxis özelliğinde geometriyi ve yük konfigürasyonunu, geometri girişinde oluşturulan yükleri, hacim kümelerini ve yapısal nesnelere devre dışı bırakarak veya yeniden etkinleştirerek

değiştirmek mümkündür. Aşamalı inşaat, çeşitli yükleme, inşaat ve kazı süreçleri için doğru ve gerçekçi bir simülasyon sağlar. Bu seçenek ayrıca malzeme veri setlerini yeniden atamak ve geometride su basıncı dağılımını değiştirmek için de kullanılabilir. Bir aşama inşaat hesaplaması yapmak için, öncelikle hesaplama sırasında kullanılması gereken tüm nesnelere içeren bir geometri modeli oluşturmak gerekir. Hesaplamanın başında gerekli olmayan nesnelere, ilk geometri yapılandırmasında devre dışı bırakılmalıdır. Plastik hesaplamada veya konsolidasyon analizinde bir aşama inşaat hesaplaması uygulanabilmektedir.

- **Toplam çarpanlar** tipi, dış yüklerin nihai değerlerini belirtmek için kullanılır. Toplam çarpan yükleme seçildiğinde, dış yüklerin nihai değerleri tam olarak hesaplama sonunda uygulanacaktır.

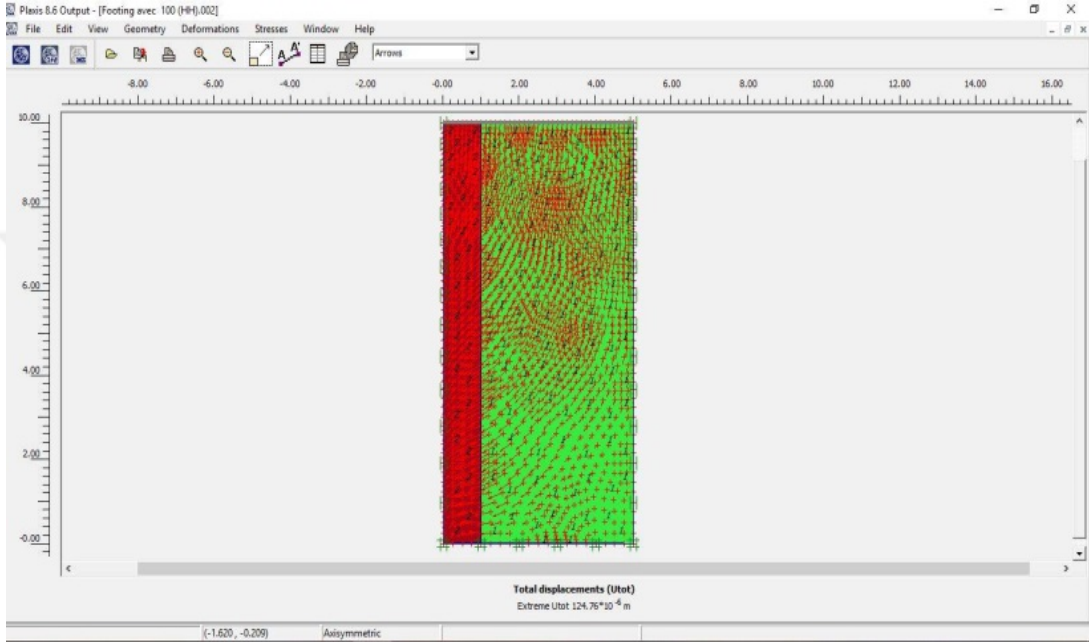
-**Artan çarpan**, dış yükü aşamalı olarak uygulandığında artan çarpan türü seçilir. Yük artışına girmeden önce zaman artışına girilebilir. Zamana bağlı modeller kullanıldığında, plastik hesaplamalar kullanılırken zamanın artışları uygun değildir. Konsolidasyon analizi kullanılırken zaman artışlarının girişi şarttır.



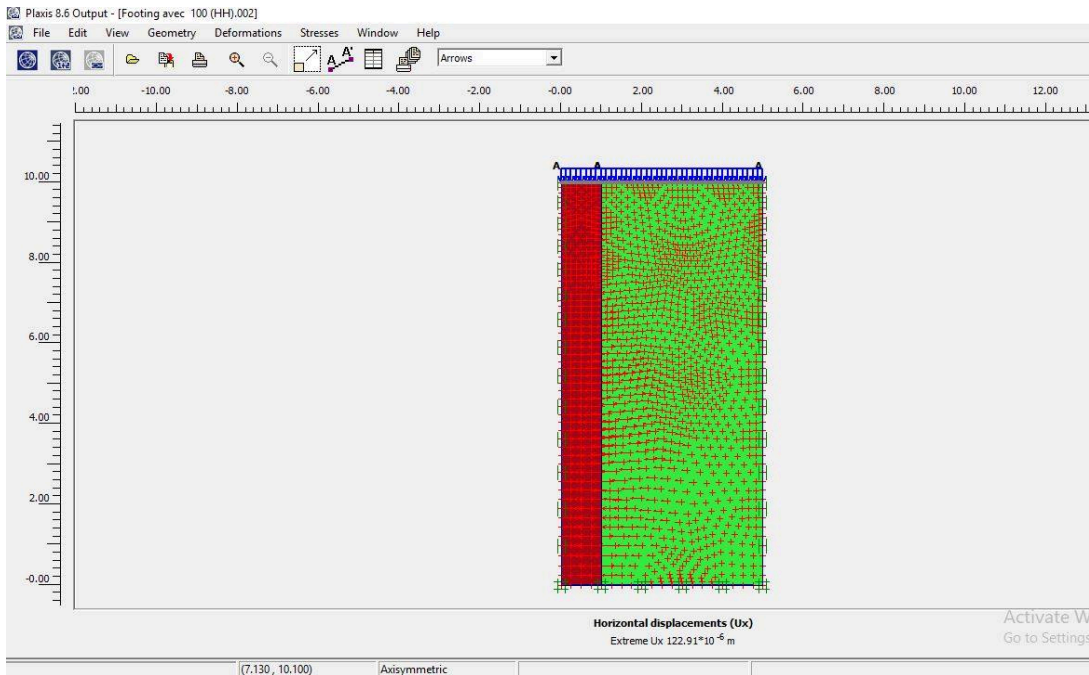
Şekil 3.14: Yükleme türlerigiriş penceresi

3.5 Çıktı

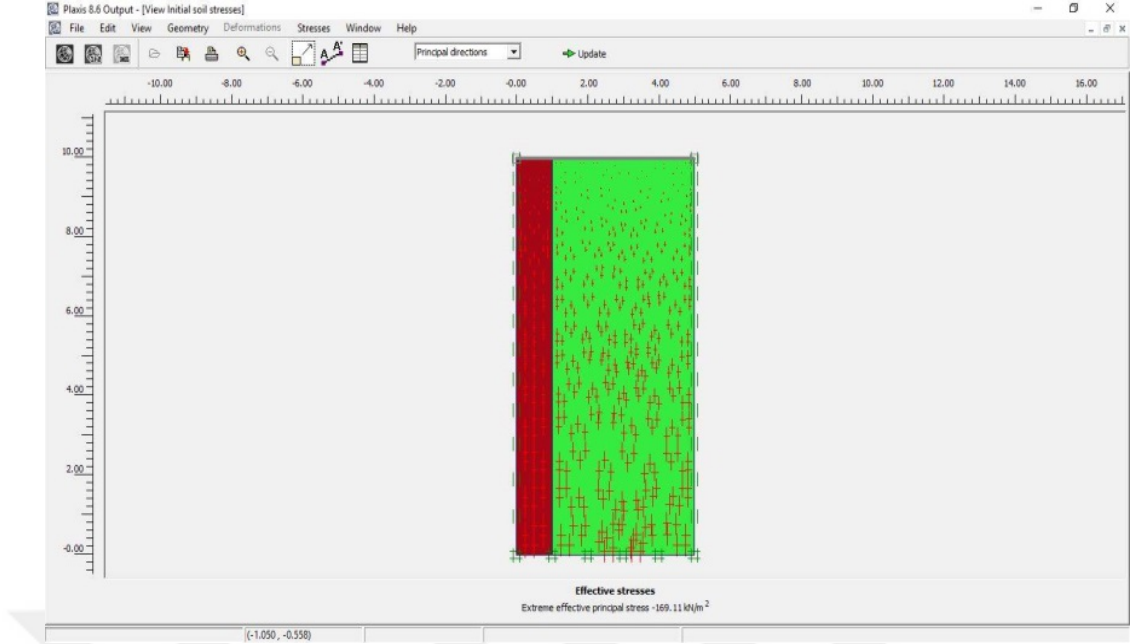
Hesaplamalar tamamlandığında, sonuçlar çıktı programında görüntülenebilmektedir. Zeminler ve taş kolonlar için gerilmeler, boşluk basınçları ve toplam yer değiştirme gibi sonlu eleman hesaplamalarından büyük miktarda veri elde edilebilir. Hesaplamalar tamamlandığında, sonuçlar çıktı programında görüntülenebilmektedir.



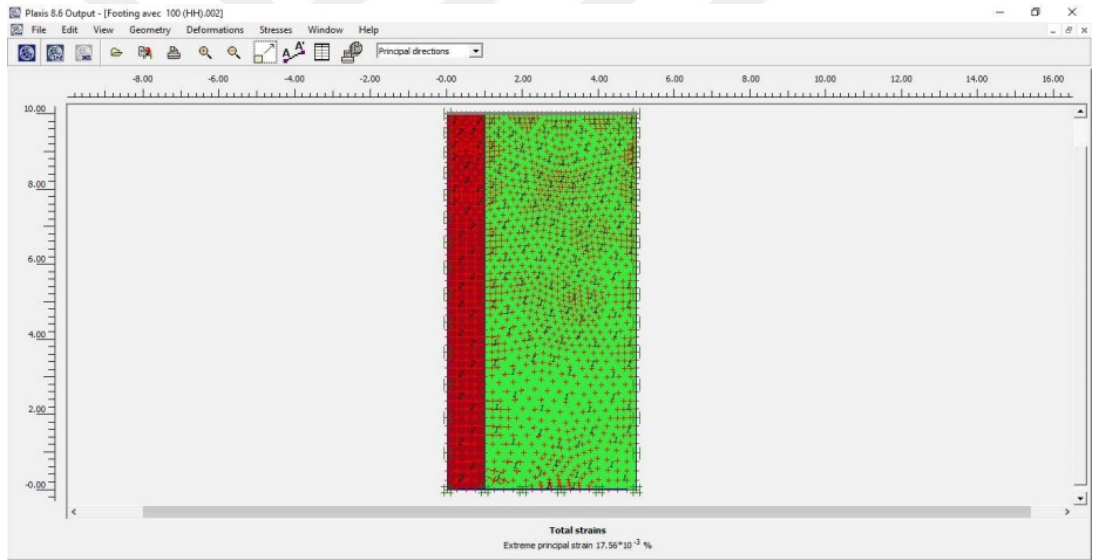
Şekil 3.15: Toplam yer değiştirme giriş penceresi



Şekil 3.16: Yatay Faz yer değiştirme giriş penceresi



Şekil 3.17: Etkili gerilmeler giriş penceresi



Şekil 3.18: Toplam gerilmeler giriş penceresi

3.6 Eğriler

Hesaplama programında, modeldeki ilgi noktalarını önceden seçmek için bir seçenek vardır. Böyle bir nokta önceden seçilmişse, her bir iterasyon, adım veya zaman için noktanın yer değiştirilmesi, gerilmesi veya boşluk basıncısı alt program Eğrileri'nde görülebilir. Sonuçlar ya bir tabloda ya da grafik eğrisinde görülebilmektedir.



4. SONLU ELEMANLAR ANALİZİNİN SONUÇLARI: OTURMA PERFORMANSI, DEFORMASYON DAVRANIŞI

4.1 Giriş

Arazinin kıtlığı nedeniyle, yeni gelişmeler (örneğin, ulusal yol ağları, konut ve ticari özellikler) alüvyon, gölSEL ve deniz kili gibi yumuşak zeminlerle kapalı alanlara girmiştir. Tropik bölgede, bu yüksek derecede sıkıştırılabilir tabaka çok kalın olabilir (bazen 40 metreden fazla), tüm zayıf tabakaların için zemin iyileştirme teknikleri benimsenirse, daha yüksek maliyetle sonuçlanır. Bu durumda, belirli projeler için performans gereklilikleri (toplam oturmalar, diferansiyel oturmalar, konsolidasyon süresi, taşıma kapasitesi veya eğim stabilitesi) karşılanırsa, taş kolonlar gibi işlemler tatmin edilebilir. Geniş yüklü alanlar için, esas olarak anlayış eksikliği nedeniyle, oturma iyileştirme faktörlerini elde etmek için kullanılan taş kolonun tasarımı iyi oluşturulmamıştır. Mevcut tasarım sınırlaması ve boşluğu göz önüne alındığında, bu tür problemleri hesaba katmak için basit ama etkili bir yol sunulması gerekmektedir. Sonlu eleman sayısal yöntemiyle, bu çalışmada taş kolonun yumuşak zemindeki mekanik davranışı incelenmiştir. Sonlu eleman sonuçları ayrıca tasarım için bazı öneriler sunmaktadır. Sayısal simülasyonlar için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Yük-oturma tepkisi üzerinde taş kolon davranışının daha iyi anlaşılmasını sağlamak için sayısal simülasyonlar yapılmıştır. Çalışma basit bir referans durumu ile başlamış ve yük seviyesi göz önüne alınarak parametrik çalışmalar (yükleme parametresi çalışması, kolon pozisyonu) yapılmıştır. Tüm sayısal simülasyonlar aşamalı bir inşaat süreci ile modellenmiştir. Taş kolon ile güçlendirilmiş zemin için oturma azaltma ve birincil konsolidasyonu öngören mevcut tasarım yöntemleri, üç yatak tipi tasarımıdır (Balaam ve Booker (1981), Barksdale ve Bachus (1983), Priebe (1995), Han ve Ye (2001), Deb (2008) and Castro ve Sagasetta (2009)). Birim hücre kavramı benimsenmiş ve model, jeoteknik sonlu eleman programı PLAXIS 2D V.8 kullanılarak 2D sonlu eleman yöntem ile analiz edilmiştir.

Birim hücre kavramı Abhijit ve Das (2000), Goughnour (1983) tarafından da kullanılmıştır.

Al (1996), yük paylaşımı ve sonuçta meydana gelen zemin oturmasını tahmin etmek için, serbest deformasyon koşulunu varsayan taş kolonlar tarafından geliştirilmiş bir elastik yaklaşım önermiştir. Priebe (1995), birim hücre kavramına dayanan, sonsuz taş kolonları üzerinde duran temelin oturmasını tahmin etmek için bir yöntem önermiştir. Balaam ve al (1978), granül kazıklarla örselenmiş yumuşak kil için sonlu elemanlar yaklaşımı önermiş olup ve granüler kazığın yük deformasyon davranışı üzerindeki sertliğinin etkisini bildirilmiştir.

Yumuşak zeminlerde temellerin tasarımı, genellikle yüksek sıkıştırılabilirliklerinden dolayı taşıma kapasitesi kriterlerinden ziyade oturma ile yönetilmektedir (Priebe, 1976). Bu nedenle, taş kolonların çalışma yük seviyelerindeki oturma performansı en önemlilerinden biridir. Kolon malzemesinin ve gevşek zemin, hem elastik ve hem de plastik davranışını dikkate alarak iki dizi analiz gerçekleştirilmiştir. Taş kolon davranışını araştıran bugüne kadar yapılan sayısal çalışmaların çoğu, hem granüler kolon malzemelerinin hem de örselenmiş zeminin davranışını temsil etmek için Mohr Coulomb veya Pekleşen zemin modellerini örneğin Ellouze ve Bouassida (2009) , Killeen ve McCabe (2014) tarafından kullanmıştır. Taş kolon ile güçlendirilmiş zemin sisteminin davranışının gerçekçi tahminlerini yapmak için iki zemin tipleri kullanılır, kolonlar için taş ve zemin olarak yumuşak zemin kullanılmaktadır. Mühendislik uygulamasında, temellerin oturmaları deneysel olarak belirlenir veya geleneksel doymuş zemin mekaniği prensiplerine dayanarak sayısal olarak modellenir.

Yumuşak bir zeminin taş kolonlarla iyileştirilmesi üç faktörden oluşmaktadır. İlk faktör, daha yumuşak bir kolon malzemesinin (örneğin kırmataş, çakıl vb. Gibi) yumuşak zemine dahil edilmesidir. İkinci faktör, taş kolonun kurulumu sırasında çevredeki yumuşak zeminin yoğunlaşmasıdır. Üçüncü faktör, dikey drenaj gibi davranmasıdır Guetif Z, Bouassida M ve Debats J M (2007).

4.2 Sayısal Model

Sayısal yaklaşım (örneğin, sonlu elemanlar ve sonlu farklar) en iyi karmaşık temellerin doğru yer değiştirme profillerini elde etmek için en katı çözüm olarak bilinir. Bu durumda olduğu gibi taş kolon temeli güçlendiriyor. Rijit temellerin altındaki kolon düzenlemesinin yük-oturma tepkisi üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılması için sayısal simülasyonlar yapılmıştır. Sayısal simülasyonların teorik çerçevesi ilk önce sağlanır.

- PLAXIS 2D kullanılarak, eksenel simetrik sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Birim hücrenin, 100 kPa ve 1000 kPa'lık ani dikey yüklemeyle eksenel simetrik olarak modellenmesi gerçekleştirilmiştir. “Şekil 4.1” de gösterildiği gibi, 10.0 m'lik tamamen geçirgen bir taş kolonun üzerine rijit bir plaka ile modellenmiştir. Bu modelde, derinlik oranı $\beta = L/d=1$ olarak alınmıştır. Bu oranda, L kolon uzunluğu, d yumuşak zeminin kalınlığıdır. Plaka elemanı diferansiyel oturmaları önlemek için sert bir yükleme platformunu temsil etmeyi amaçlamaktadır. Birim hücre modelinde 1m'lik kolon çapı ve 4m'lik etki yarıçapı olan $\alpha =0.25$ 'lik bir alan değiştirme oranı kullanmıştır. Kompozit model, birkaç model bölümü içeren bir modeldir. Modeldeki standart sınır koşulları olarak, dikey sınırlarını serbest ve yatay sınırlarını sınırlandırılmış ($\mu_x = 0$; $\mu_y =$ serbest) şekilde alınmıştır. Ayrıca, alt yatay sınırı tamamen sabit olacak şekilde kabul edilmiştir (μ_x ve $\mu_y = 0$). Bu PLAXIS'teki standart sabitlemeler seçeneğini seçerek kolayca yapılabilir. Bu nedenle, ağ hassasiyeti analizleri için, kare temel, eksenel simetriye sahip ve aynı zamanda yeterince ince bir 2D ağ içinde problemi modellemek için aynı alana sahip dairesel bir düze dönüştürülmüştür. Gerçekte , 2D simülasyonlardaki ana gelişme, elemanların sayısından değil, daha yüksek dereceden kaynaklanır (2D'deki 15 düğümlü üçgen elemanlar). Plaxis'te zemin profilin aşağısında olmakta ve yukarıya doğru derinlikle negatif alınacaktır.

”Şekil 4 .2”, analizde kullanılan 2D modelleri göstermektedir. Sonlu eleman ağı, ”Şekil 4 .2” de gösterildiği gibi 15 düğümlü elemanlarla otomatik olarak oluşturulmuştur.

4.2.1 Zemin davranış modeli

Oturma analizinde hem gevşek zemin hem de taş kolonu modellemek için Pekleşen zemin ve Mohr-Coulomb modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Taş kolon tamamen drenajlı malzeme olarak ve yumuşak zemin drenajsız malzeme olarak modellenmiştir. Pekleşen zemin modeli, hem sıkıştırma hem de kesme sertliğinin özelliklerini yakalayabilen gelişmiş bir elasto-plastik hiperbolik modelidir Schanz TveVermeer PA ve Bonnier PG (1999). Pekleşen zemin modeli Mohr - Coulomb yenilme kriterini benimser ve akma yüzeyi plastik gerinimlerden dolayı genişleyebilir. Birim hücre modelinin malzeme özellikleri ”Çizelge 4.1” de gösterilmiştir.

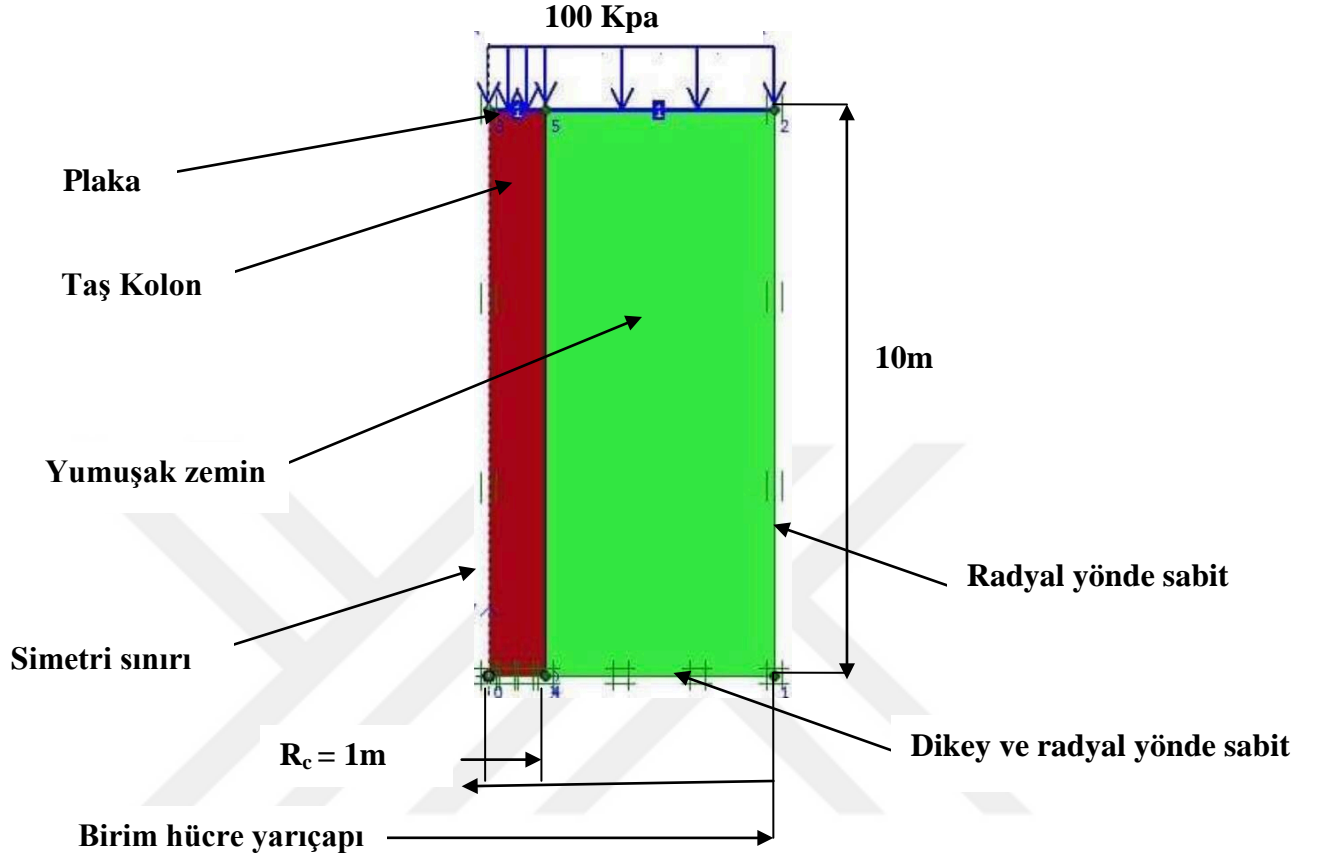
Taş kolonun sürtünme açısı, $\phi=45^\circ$, yumuşak zeminin $\phi=34^\circ$, ve dilatasyon açısı $\psi = 0.15$ olarak alındı. Sayısal dengesizliği önlemek için 0.1 kN/m²'lik kohezyon değeri kullanıldı. Bu çalışmada, E₅₀ tipik yumuşak zemin sertliği olarak kabul edilmiştir. Kolon sertliği parametreleri, aralığın içinde olan çevredeki zemine göre 10 kat daha fazladır (referans basınç 100 kN/m² olarak alınmıştır). Literatürde taş kolonların, elastik modül oranı, E_c /E_s'inin 10 ila 20 arasında değiştiğini, E_c'in kolonun Young Modülü olduğu ve E_s'in yumuşak zeminin Young modülü olduğunu belirtilmiştir Barksdale ve Bachus (1983).

Çizelge 4.1: Modeller için Pekleşen zemin modelinin malzeme özellikleri.

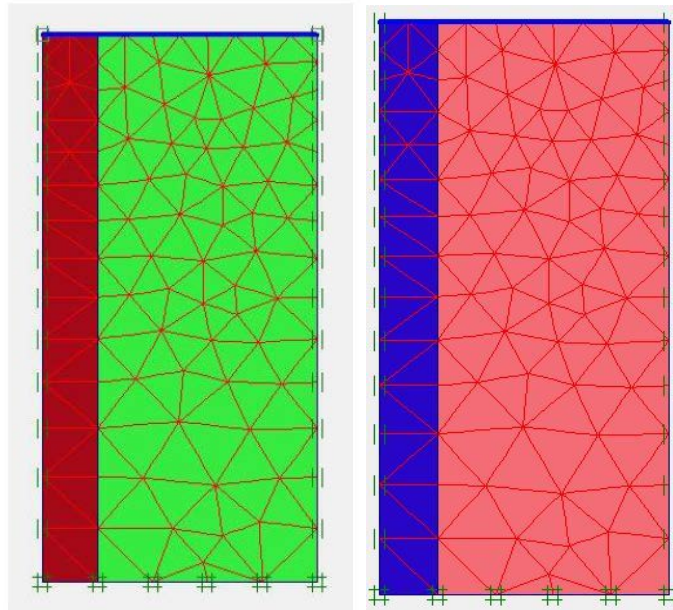
Model	Tip	γ (kN/ m ³)	k_x (m/day)	k_y (m/day)	Φ ()	ψ (°)	c' (N/m ²)	ν	E _{oed} (kPa)	E ₅₀	E _{ur} (kPa)	M
Yumuşak zemin	Pekleşen zemin Modeli	17	0.00 01	0.0 69	34	0	1	0.2	284 0	355 0	1790 0	1
Taş kolon	Pekleşen zemin Modeli	20	1.7	1.7	45	15	1	0.2	568 00	568 00	1704 00	0.3

Pekleşen zemin modeli, zemin sertliğinin gerilim bağımlılığını yakalama yeteneğine sahiptir ve m parametresi tarafından kontrol edilir. Sertliğin gerilme seviyesinde bağımlılığı miktarı m gücü ile verilir, m = 1 değeri yumuşak zemine uygun olmakla birlikte, taş kolon için m değeri, muhtemelen 0.3 ile 0.5 arasında

olduğu için varsayılan bir değerdir (Brinkgreve RBJ, Swolfs WM, Engin E, Waterman D, Chesaru A, Bonnier PG, Galavi V, 2010).



Şekil 4.1: Eksenel Simetrik Birim Hücre Modeli (100, 1000 kPa Yük)



Şekil 4.2: Sonlu eleman model ağı

Bu çalışmada plastik analiz yapılmıştır. Hem taş kolon hem de yumuşak zemin Mohr-Coulomb modeli olarak modellenmiştir. Malzeme özellikleri "Çizelge 4.2" de gösterilmektedir. Yumuşak zemin ve taş kolon malzemesi (sürtünme açısı, ϕ ve kohezyon, c') için mukavemet parametreleri tipik olarak tasarım değerleri olarak kabul edilir. Kolonun geçirgenliği, çevredeki yumuşak zeminin geçirgenliğine 10000 kat bir değer olarak verilmiştir. İki malzemedeki farktan dolayı aşırı boşluk basıncından kaçınmak için, etkili gerilmeler, başlangıçtaki gerilme ayarı oluşturma sırasında her iki malzeme için de aynı doygun birim ağırlık γ_{sat} değeri kullanılmıştır (Brinkgreve RBJ, Swolfs WM, Engin E, Waterman D, Chesaru A, Bonnier PG, Galavi V, 2010 ;Plaxis, B.V, 2008). Sonlu elemanlar hesaplama kodlarındaki son gelişmeler, yüke maruz kalan herhangi bir zemin kütlelerinin bir noktasındaki gerilme ve gerilme alanlarını doğrudan elde etmeyi mümkün kılar. Elde edilen sonuçların kalitesi büyük ölçüde kullanılan reolojik modelin "kalitesine" ve bu modellerin parametrelerinin temsil edilmesine bağlıdır.

Çizelge 4.2: Modeller için Mohr- Coulomb modelinin malzeme özellikleri.

Model	Tip	γ (kN/m ³)	k_x (m/day)	k_y (m/day)	$\Phi(^{\circ})$	E (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ν	
Taş kolon	Mohr – Colomb	Drenajlı	15	3	1	40	30000	1	0.3
Yumuşak zemin	Mohr_ Colomb	Drenajsız	15	0.0003	0.0001	22	3000	0.1	0.3

4.3 Sayısal Analiz

Taş kolonun ve zeminin yükleme altındaki temellerin taşıma kapasitesinin geliştirilmesinde yanal yer değiştirmesini değerlendirmek amacıyla tek (kenar, orta) ve taş kolon grubunun sayısal analizleri yapılmıştır. Taş kolonun temel olarak zemine göre kolonların sertliğinin yüksek olması nedeniyle zeminin özellikleri iyileştirir. Bu nedenle, taş kolonun tasarımını kontrol eden en kritik faktör, zeminin sertliği ve kolon ile zemin arasındaki yük paylaşımıdır.

4.3.1 Taş kolonların deformasyon davranışları

Taş kolon ile güçlendirilmiş zemin sisteminin davranışının gerçekçi tahminlerini yapmak için iki zemin tipleri kullanılır, kolonlar için taş ve zemin olarak yumuşak zemin kullanılmaktadır.

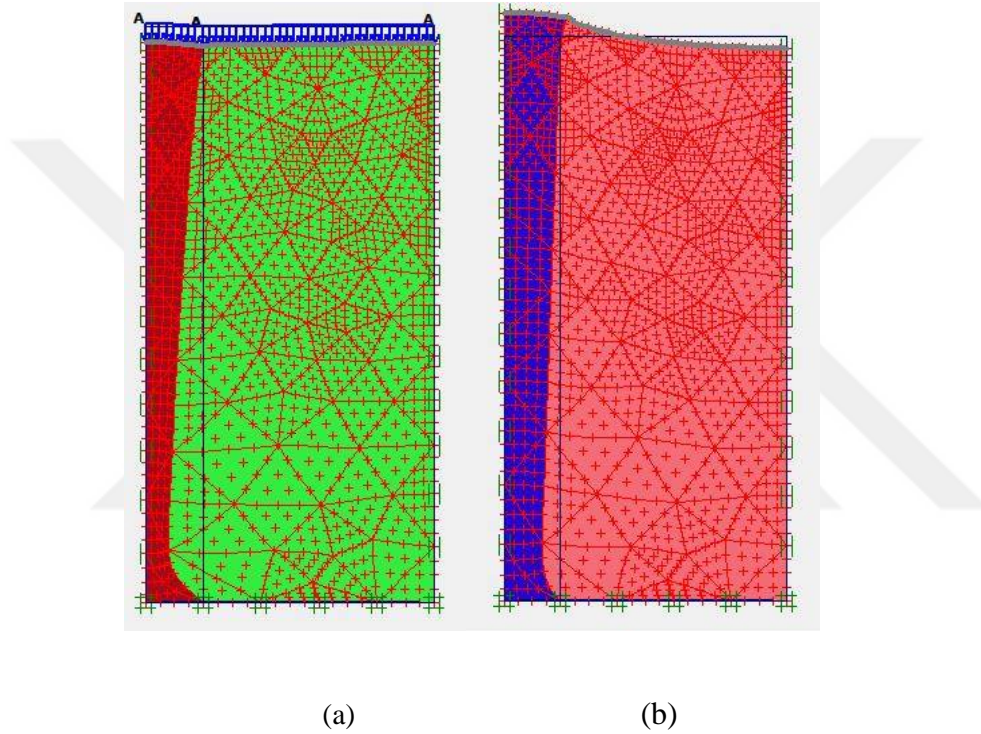
Kolonların ve zeminin deformasyon davranışları, deforme ağları dağılımı araştırılarak incelenmiştir. Her sayısal model için tipik bir deforme ağı şekil olarak sunulmuştur. Bu şekilde, zeminin ve taş kolonun yanal yer değiştirmeleri gerçek bir ölçekte temsil edilmektedir. "Şekil 4.3a ve 4.3b" de gözlemlenen zemin davranışları karşılaştırılabilir niteliktedir. Pekleşen zemin modeli ile her zaman deformasyon daha belirgindir. Böylece, Mohr-Coulomb modelinde, yüzey deformasyonun değeri Pekleşen zemin modelinden daha azdır. İki tür model arasında görülen fark niceliksel olarak mantıklıdır.

Pekleşen zemin modelinde, zemin sertliği, üç farklı sertlik kullanılarak çok daha kesin bir şekilde hesaplanır: Standart drenajlı üç eksenli sekant sertliği: Boşaltma / yeniden yükleme sertliği, Primer oedometre yüklemesi için teğetsel sertliği ve bir $p_{ref} = 100$ gerilme birimi olarak kullanılır. Mohr-Columb modeli, gerinim bağlı sertlik davranışını veya küçük gerinim seviyelerinde yüksek sertlik katsayısını içeren küçük gerinim özelliklerini dikkate alınmaz. Mohr-Columb modeli sadece bir Young modülünü kullanır, ayrıca yükleme ve boşaltma sertlikleri arasında ayırım yapılmaz ve, yapı yerinde gerinim durumunda Young'ın zemin modülünü temsil eder. Mohr-Columb modeli, zemin kütleindeki yer değiştirmeleri tahmin etmek için uygun olmayan bir modelidir.

Sayısal örneklerin geçici deformasyonları, üst yüzey üzerinde bir 100KN kuvvetinin uygulanmasıyla çalışılmaktadır."Şekil 4.3", yükleme nedeniyle oluşan deforme olmuş ağı ve yanal deformasyonu göstermektedir. Yumuşak zeminler, taşları yanal olarak itmektedir, taşlar çok sert ve rijit granül malzemeler olduğundan, kolon yüzeyinin uygulanan yüklerinin gerçekçi olmayan bir şekilde kaldırılmasına ve maksimum oturma yerlerinin tahmin edilememesine neden olan baskı altındadır, Mohr columb modelinin deforme ağı şekli durumunda gibi "Şekil 4.3b"de göstermektedir. Yumuşak zeminler taş kolonlardan çok daha büyük yanal yer değiştirmeye geçirmektedir ve son olarak

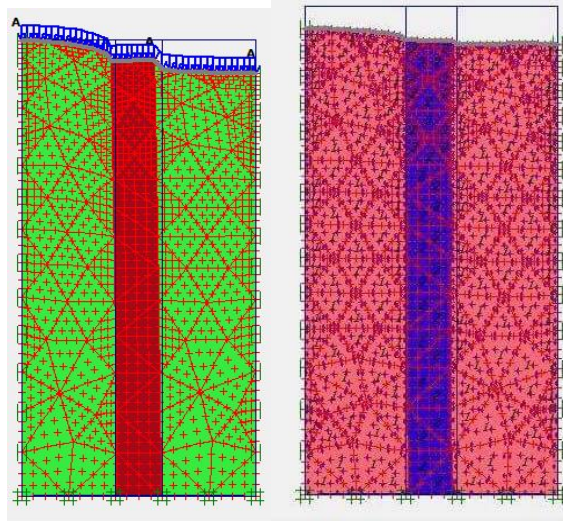
en önemli deformasyon ilk yükleme adımı sırasında oluşur. Bu durum, Taş kolonun sertliğinin, direncinin ve taşıma kapasitesinin yüksek olduğunu açıklar.

”Şekil 4.3b” de, gevşek zeminde yaratılan basıncın önemli ölçüde daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur, bu şekilde dış yüzeyindeki kolonun aşırı deformasyonuna katkıda bulunmuştur.”Şekil 4.3b”ye göre, Mohr Coulomb ile modellenen kompozit model üzerindeki yanal hareketin, sığ derinliklerde bile gerçekleştiği görülmektedir. Diğer taraftan, Pekleşen zemin modelini kullanarak ”Şekil 4.3a” ya göre, yanal hareket sürekli olarak artmıştır.



Şekil 4.3 : Kenardaki taş kolonun deforme ağı (a) Pekleşen zemin modeli ve (b) Mohr coulomb modeli

”Şekil 4.4” te, orta kolonda ve çevresindeki yumuşak zeminde oluşan ağı göstermektedir. Yumuşak zeminde yanal hareket, taş kolonun yanal hareketinden daha büyüktür. Özellikle üst kısımda yükleme ile beraber artış gösterip ve taş kolona doğru hareket edip, dolayısıyla taş kolonu ittirmektedir. Bu nedenle, yumuşak zemin yüksek düşey yük seviyelerini koruyamaz ve uygulanan yükü kolonun diğer tarafına aktarabilir. Yatay gerilme artışı ile beraber nedeni ile taş kolon yanal hareket göstermektedir.

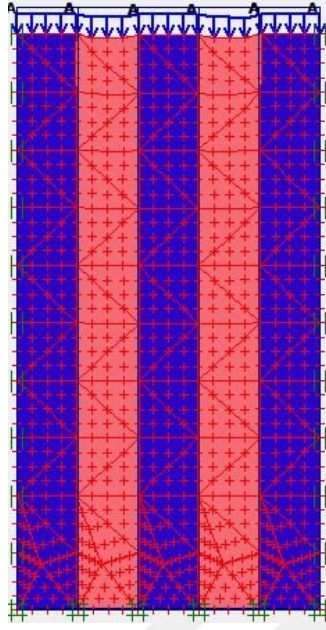


(a)

(b)

Şekil 4.4: Orta bir taş kolonun deforme ağı, (a) Pekleşen zemin modeli ve (b) Mohr coulomb modeli

“Şekil 4.5”te, normalleştirilmiş derinliğe karşı taş kolonun grup analizinin yanal yer değiştirmesini karşılaştırılmıştır. Taş kolon grubunun davranışı diğer durumlardan önemli ölçüde farklıdır. Grup kolonları için yanal yer değiştirmelerin daha sonra sabit olduğu görülebilir. Köşe kolonlarda yanal yer değiştirme azalır, köşeye yerleştirilen kolonların yumuşak zemini ve taş kolonun yandan hareket etmesini önlediğini açıklayabilir. Yanal deformasyonların ortadan kalkmasıyla niteleyen modelde nispeten benzer bir davranış gözlemlenmiştir. Modelin sınırlarında iki kolon kullanıldığında deformasyon etkili bir şekilde kontrol edilebilir.



Şekil 4.5: Grup taş kolonun deforme ağı , Mohr Columb modeli.

4.3.2 Yatay yer değiştirme davranışı

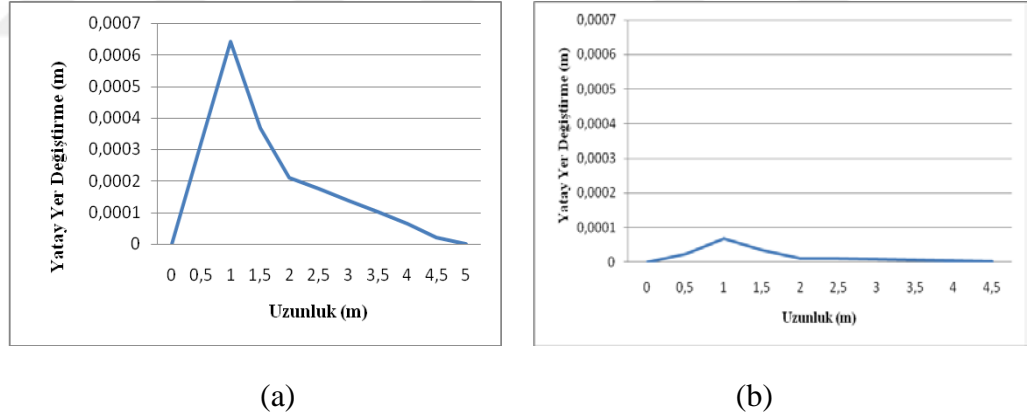
Yatay yer değiştirme benzer şekilde yatay yönde hareket eden mesafedir. Yatay zemin yer değiştirmelerinin ölçümü genellikle deformasyonunun ölçümleri olarak algılanabilmektedir. Yatay zemin yer değiştirmelerini öngörmenin temel yolu, sayısal analizlerin kullanılmasıdır. Bu ölçüm, seçim noktalarındaki zemin yer değiştirmelerini belirlemeye izin verir. Plaxis 2D 8.2 üzerinden yapılan bu sayısal analiz dikey ve yatay yer değiştirmelerin belirlenmesine izin verir ve bu paragrafta yatay yer değiştirmelere özellikle dikkat edildi. Modelin 100 kN'ye kadar yüklenirken, her bir şekilde zeminin yer değiştirmesinde bir artış görülmüştür.

Şekiller, taş kolon ve zemin uzunluğu ile öngörülen yatay yer değiştirmeleri göstermektedir. Daha iyi açıklama için farklı durumlar kullanılmıştır ve yatay yer değiştirmelerin farklı durumlara göre sayısal sonuçları “ Şekil4.6 ve 4.7 ve 4.8 ” te sunulmuştur. Bir taş kolonun, genellikle yumuşak zemine yakın kısımda meydana gelen yanal hareketlerin bir sonucu olarak deforme olduğuna inanılmaktadır. “Şekil4.6” de, uygulanan yük altındaki kolon ve zemin arasındaki etkileşimin tabanında geliştirilen maksimum ve aşırı yatay yer değiştirmenin açıkça gösterilmiştir. Yumuşak zemin üzerindeki yatay yer değiştirme, yumuşak zeminden taş kolonlara yük transferine neden olan zemin itme etkisinden dolayı taş kolondakilerden daha yüksektir.

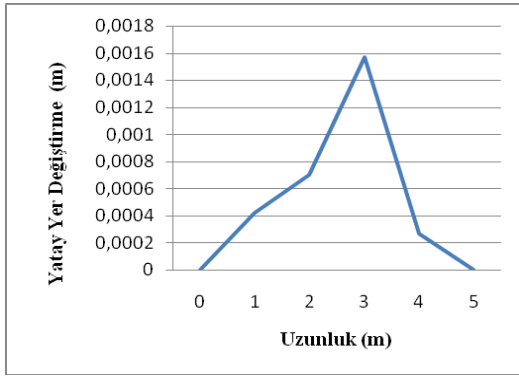
“Şekil4.7a” de farklılıklar taşın konumu ile ilgili olabilir. “Şekil4.7b” Şekilde yapılan sayısal analizlerde, kolonlarda çökmenin tepeden başlayıp yükleme uygulanırken daha fazla derinliğe ulaştığı gözlenmiştir. Maksimum yanal yer değiştirme kolonların ucunda oluşturur. “Şekil4.8” de grup kolonlarında, zemin yer değiştirmesi oldukça değişkendir. Taş kolon grubunun, bu durumlarda yatay yer değiştirmeler üzerinde küçük bir etkisi olmuştur, Minimum yer değiştirmeler,

“Şekil4.8” de görülen taş kolonda olmuştur. Yumuşak zeminde çoğunlukla büyük yer değiştirme gözlenmiştir. Taş kolonun küçük yatay yer değiştirmelerinin nedeni, bu durumda genel zemin deformasyonunun ve hareketinin küçük olmasıdır ve ayrıca taş kolon çok rijittir.

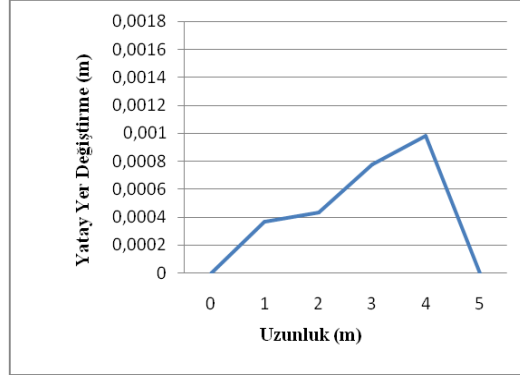
Yumuşak zeminlerdeki taş kolon, zeminin taşıma kapasitesini, stabilitesini ve esnekliğini artırarak oturmaya ve yüksek yer değiştirmeye karşı güçlenmeyi arttırır. Takviye olarak taş kolon aynı zamanda tahrip edici deplasmanları azaltabilir ve yumuşak zemin üzerine inşa edilen temeli stabilitesini artırır.



Şekil 4.6: Kenar taş kolonu için yatay yer değiştirme grafikleri (a) Mohr-columb modeli ve (b) Pekleşen Zemin modeli

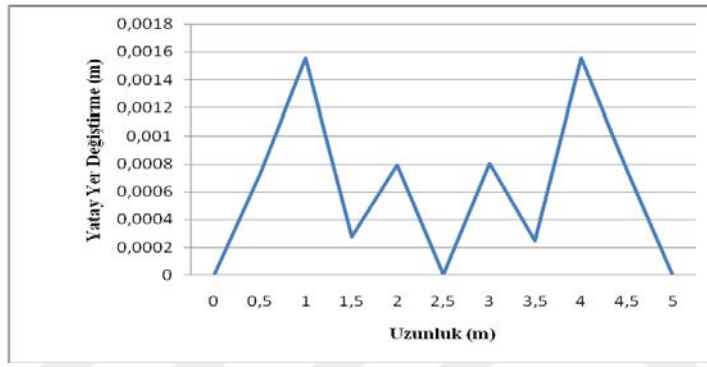


(a)



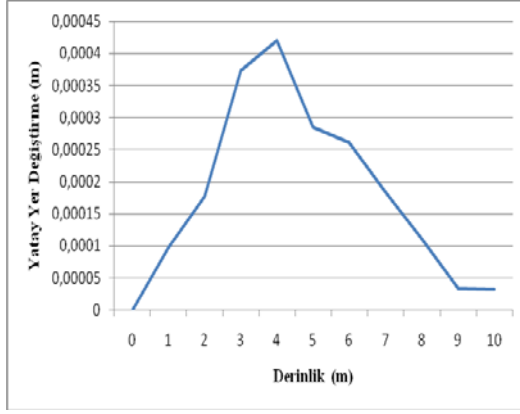
(b)

Şekil 4.7: Orta taş kolonu için yatay yer değiştirme grafikleri (a) Mohr-columb modeli ve (b) Pekleşen Zemin modeli

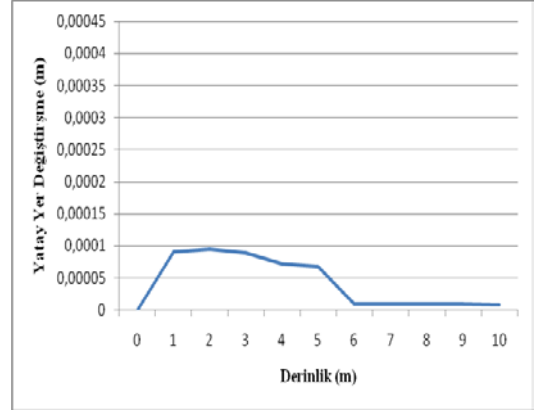


Şekil 4.8: Grup taş kolon için yatay yer değiştirme grafiği, Mohr-columb modeli

“Şekil 4.9 ve 4.10 ve 4.11” derinliğe karşı çizilen yatay yer değiştirme profili göstermektedir. Daha önce tartışıldığı gibi, toprak deformasyonu nedeniyle, bazı durumlarda büyük yatay yer değiştirmeler yalnızca belirli bir yüksekliğe kadar gerçekleşmiştir. Taş kolonların ve zeminin yatay yer değiştirmesinin derinlik ile birlikte önemli ölçüde arttığı görülmektedir. “Şekil 4.6 - 4.11” 'de gösterilen yatay yer değiştirmelerin profili ve davranışı, 2D analizindeki deforme ağları sonuçlarıyla karşılaştırılabilir. Yatay yer değiştirmelere benzer şekilde öngörülen deforme ağları arasında iyi bir uyum sergilemektedir.

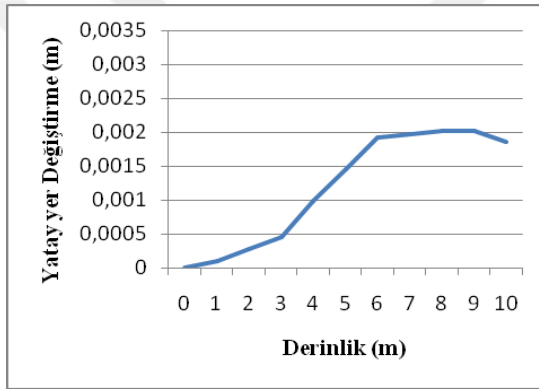


(a)

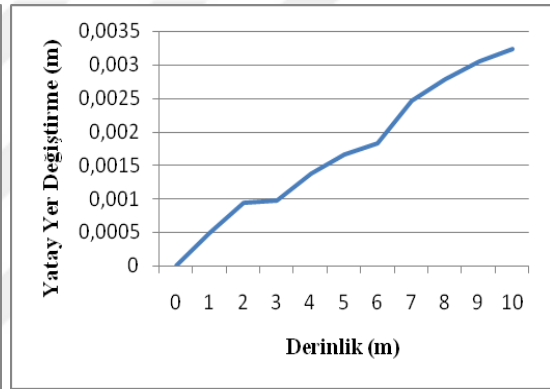


(b)

Şekil 4.9: Kenar taş kolonu için yatay yer değiştirme grafikleri (a) Mohr-columb modeli ve (b) Pekleşen Zemin modeli

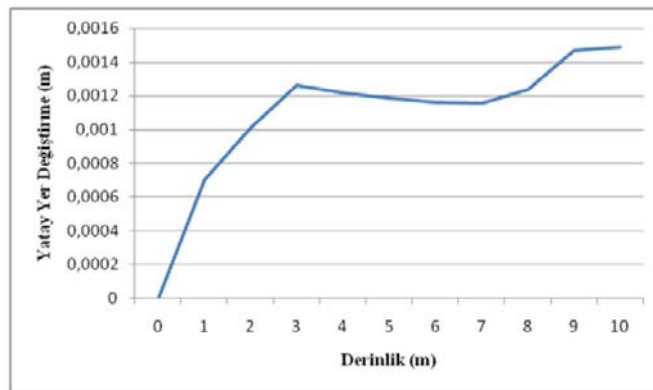


(a)



(b)

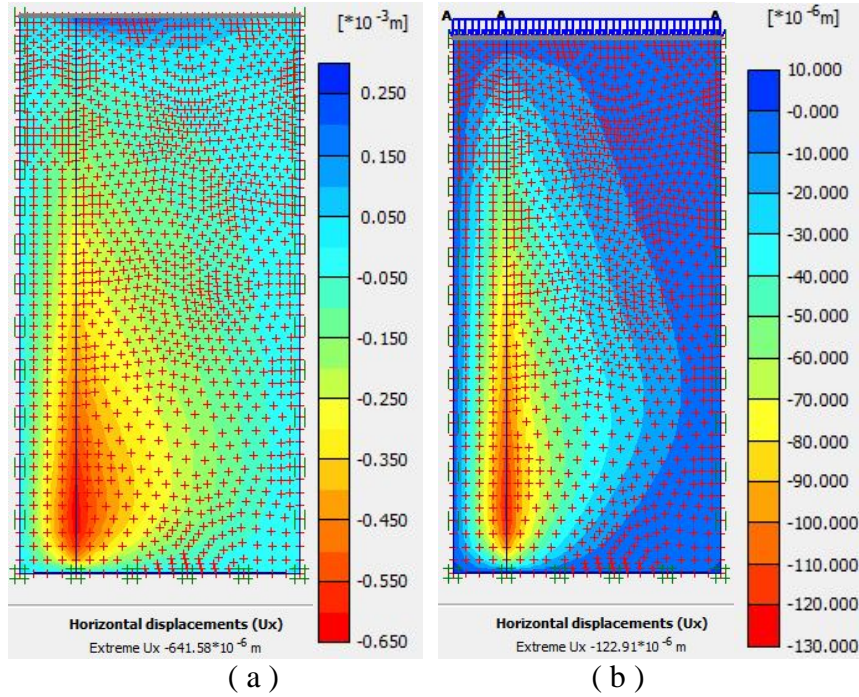
Şekil 4.10: Orta taş kolonu için yatay yer değiştirme grafikleri (a) Mohr-columb modeli ve (b) Pekleşen Zemin modeli



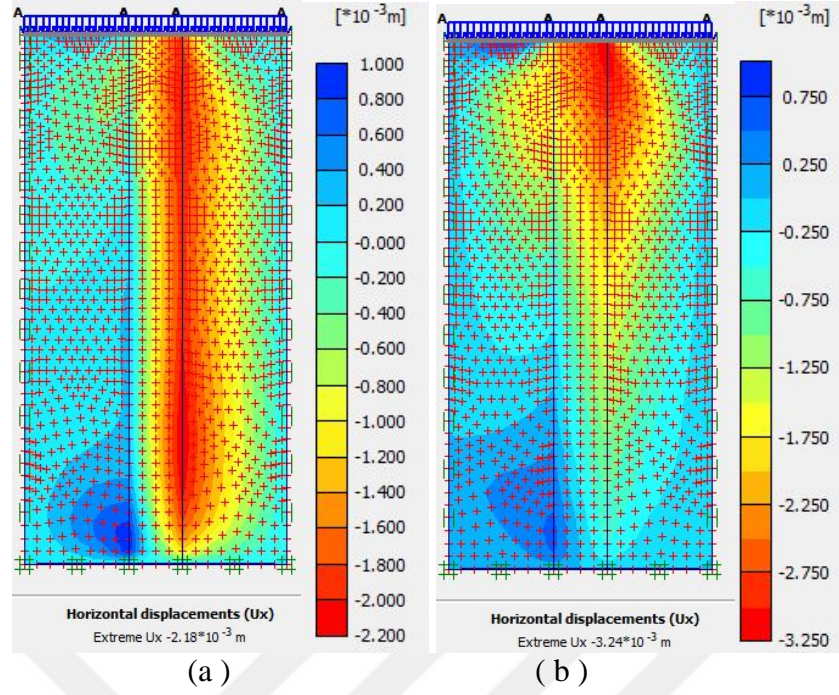
Şekil 4.11 : Grup taş kolon için yatay yer değiştirme grafiği, Mohr-columb modeli

“Şekil 4.12 ve 4.13 ve 4.14” de zeminlerin ve taş kolonlarının kütlelerinde yatay yer değiştirmelerin davranışını göstermektedir.

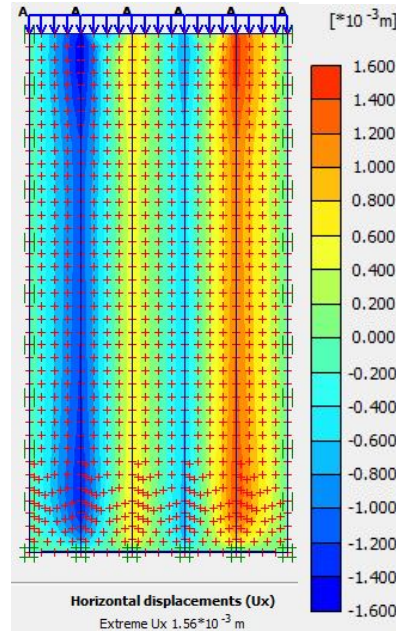
Komposit modeli yüklerken, zemin kütlesi aktif durumdadır ve orantılı olarak hareket eder. Plastik analizi için çıktı olarak, Mohr-columb ve Pekleşen zemin modeli ile hesaplanırken, fazın sonunda yatay yer değiştirmeleri kütlesinde gösteren şekiller elde edilmiştir. Modelinin yan tarafındaki kırmızı alan, en büyük yer değiştirme büyüklüğünü gösterir. Bu davranış şekiller de açıkça görülebilir ve yer değiştirme düzeylerinin genellikle daha şiddetli olduğu taş kolonlar ve zeminler arasındaki sarı ve kırmızı alanlar ile gösterilmektedir.



Şekil 4.12: Kenar taş kolon ve yumuşak zeminin yatay yer değiştirme davranışı(a) Mohr-columb modeli ve (b) Pekleşen Zemin modeli



Şekil 4.13: Orta taş kolon ve yumuşak zeminin yatay yer değiştirme davranışı (a) Mohr-columb modeli ve (b) Pekleşen Zemin modeli



Şekil 4.14: Grup taş kolon ve yumuşak zeminin yatay yer değiştirme davranışı, Mohr columb modeli

4.3.3 Oturma analizi

Yumuşak zeminlerde temellerin tasarımı, genellikle yüksek sıkışmasından dolayı taşıma kapasitesi kriterlerinden ziyade oturma ile yönetilmektedir (Priebe, H.J,1995). Bu nedenle, taş kolonların çalışma yük seviyelerindeki oturma performansı en önemlilerinden biridir. Oturma parametrelerinin iyi tahmini her zaman zemin parametrelerinin doğru kullanımıyla bağlantılıdır (Poulos, H.G 1994). Komposit modelin oturması, her iki modelden (Pekleşen zemin model , Mohr- Columb) 1000 kPa yük altında incelenmiştir. Oturma kolon ve zemin altında artan yük ile artar. 100 kPa'nin eşit olarak dağıtılması, bu model üzerinde oturma hesabında çok az etkiye sahiptir. Ancak ortaya çıkan hareketler, önemli oturmalara sonuçlanmayabilir ve oturmanın hafif değerlendirilmesini göstermektedir. Daha sonra zeminlerin ve taş kolonların sıkıştırılabilirlik olgusunu değerlendirmek için yükü 1000kN olarak arttırılmıştır. Taş kolonun ve zeminin bir yükleme altındaki temellerin taşıma kapasitesinin geliştirilmesinde dikey oturmasını değerlendirmek amacıyla tekli (kenar, orta) ve grup takviyeli taş kolonun sayısal analizleri yapılmıştır.

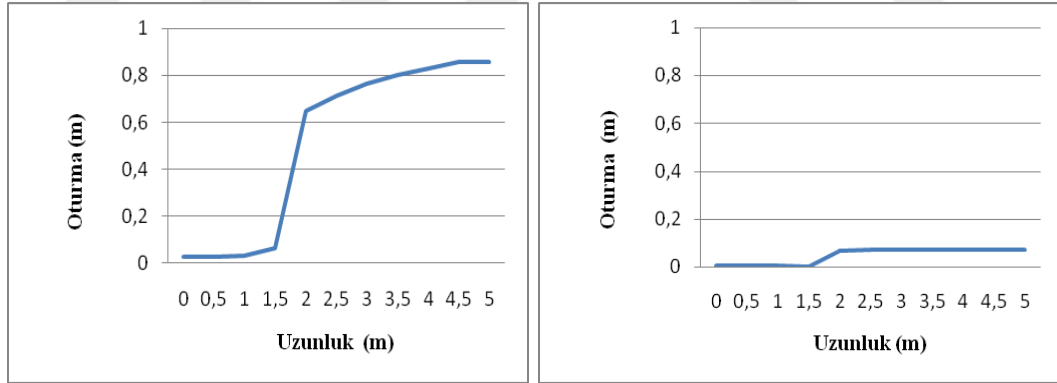
Temel tasarımını yöneten iki önemli kriter, nihai taşıma kapasitesi ve tolere edilebilir oturmalarıdır. Çoğu durumda, çalışma şartı altında oturma bölgelerinin daha kritik olması muhtemeldir. Priebe (1995) ve Goughnour ve Bayuk (1979) çözümleri, granül kolon malzemesinin sıkıştırılmaz olduğu varsayımıyla formüle edilmiştir. Uygulanan yük altındaki bir zeminin oturması, zeminin sertliği ile ters orantılıdır. Bu nedenle, iyileştirilmiş zeminin sertliği, iyileştirilmiş zeminin oturmasını tahmin etmek için özellikle ilgi çekicidir.

Oturma, zeminde ve taşta seçilmiş bir noktada hesaplanmıştır. İlk inşaat aşaması oturmada bir artış göstermektedir. Şekiller 'den, Mohr-Coulomb ve Pekleşen zemin modeli ile yapılan simülasyonlarda, derinlikteki azalma ile birlikte oturmadaki artışın meydana gelmediği gözlemlenebilir.

“Şekil 4.15” modelin uzunluğuna karşı çizilen oturmalar göstermektedir. Yumuşak zemin yüzey oturmasını kolonunkinden çok daha önemli olduğunu göstermektedir. Taş kolonların yüksek elastik modülünden dolayı yumuşak zemine kıyasla, yumuşak zemin başlangıçta taş kolonuna göre oturmanın büyük bir kısmını taşır.

Herhangi bir zemin iyileştirme yöntemi kullanılmadan bu tür zeminlerde inşaat yapılması imkansızdır. Taş kolon kullanıldığında, oturma azalır ve yumuşak zemindeki taş kolonların varlığı, çeşitli yapı aşamalarında oturmasını azaltarak yumuşak zeminin taşıma kapasitesini artırır. Öncelikle, Mohr-Coulomb modeli ile hesaplanan oturmaların küçümsenmesi not alınacaktır. Mohr-Coulomb sayısal hesaplaması yeterli oturmasını öngörülmemektedir.

Zemin sertliği, E_s oturma hesaplamasında önemli geoteknik parametredir. Elastik teoriyi benimseyen tasarım yaklaşımlarının çoğu, zemin sertlikleri nadiren sabittir ancak birçok faktöre bağlıdır (örneğin, zemin türü, başlangıç gerilme durumu, gerilme seviyesi). Young'un zemin modülü E_s bu nedenle sabittir ve drenajlı üç eksenli testten kolayca elde edilebilir (% 50 nihai yüke karşılık gelen secant modülü kullanılmasını önerir). Taş kolon 10 m kalınlığında, sertliği $10000 \text{ kN} / \text{m}^2$ iken, yumuşak zemin sertliği, E_s $3000 \text{ kN} / \text{m}^2$ ve taş kolon sertliği her zaman zemin sertliğinin on kat daha fazladır. Diğer bir deyişle, zemin sertliği, oturma hesaplamasında daha önemli bir faktördür. Taş kolon davranışı doğrudan çevreleyen zeminin yanıl desteğine bağlı olduğu için sezgisel olarak doğrudur.



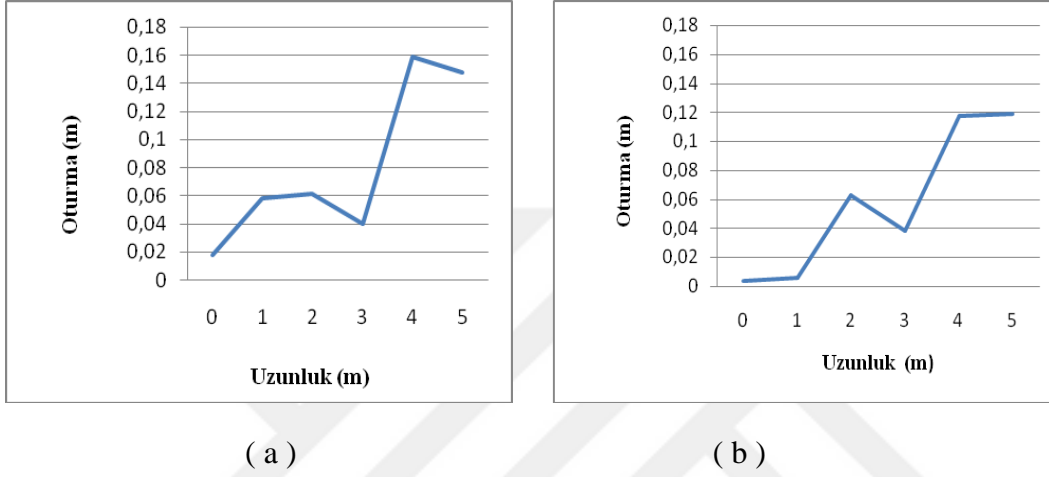
(a)

(b)

Şekil 4.15: Kenar taş kolonu için oturma grafikleri (a) Mohr-Coulomb modeli (b) Pekleşen zemin modeli

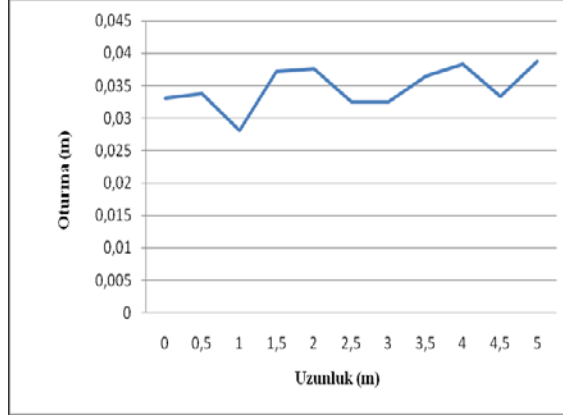
Seçilen bir noktada, analiz “Şekil 4.16” de belirtildiği gibi benzer oturma değişimlerini sergiler. Burada sadelik adına, tüm kolon grubunun aynı kesit alanıyla birlikte yalnızca bir orta kolona dönüştürülmesi önerilmektedir. Kolonlar ortaya yakın olduğunda, çevredeki yumuşak zeminin oturması daha yüksek olup ve bu nedenle, kolonlar daha iyi bir yanıl kısıtlama sahiptir.

Orta kolonlar yüksek seviyede dikey yer değiştirmeyi sürdüremez ve uygulanan yükü yumuşak zeminin diğer tarafına aktarabilir. Model zeminde büyük miktarda artış gösterildiği zaman önceki paragrafta açıklanmıştır deformasyon hakkında, yumuşak zemindeki yanal hareket değerleri genellikle taş kolondaki değerlerden daha büyüktür ve taş kolon oturmasının yumuşak zeminden daha büyük olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, kenarlara yakın kolonlar, orta kolonlardan biraz daha az oturma sağlamaktadır.



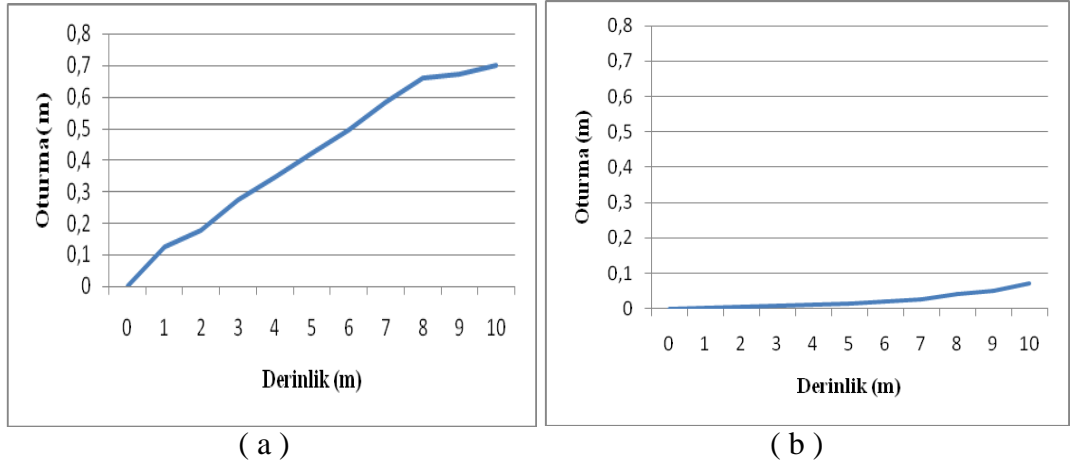
şekil 4.16: Orta taş kolonu için oturma grafikleri (a) Mohr columb modeli (b) Pekleşen zemin modeli

Taş kolon gruplarının oturma performansı “**şekil 4.17**” te gösterilmektedir. Görülebileceği gibi, taş kolonların ve yumuşak zeminlerin oturmaları neredeyse karşılaştırılabilir. Taş kolondaki ve çevresindeki yumuşak zeminde oturması, “**şekil 4.17**” te gösterildiği gibi tamamen farklıdır. Kolonların sayısı, oturma azaltma konusunda konularından daha fazla etkiye sahiptir. Bununla birlikte, artan sayıda kolon oturması azaltır, çünkü yükü alttaki katmana dağıtır ; bu nedenle, biraz daha az oturma hesaplanır. Benzer bir şekilde, maksimum oturma zeminde her zaman farkedilebilir.

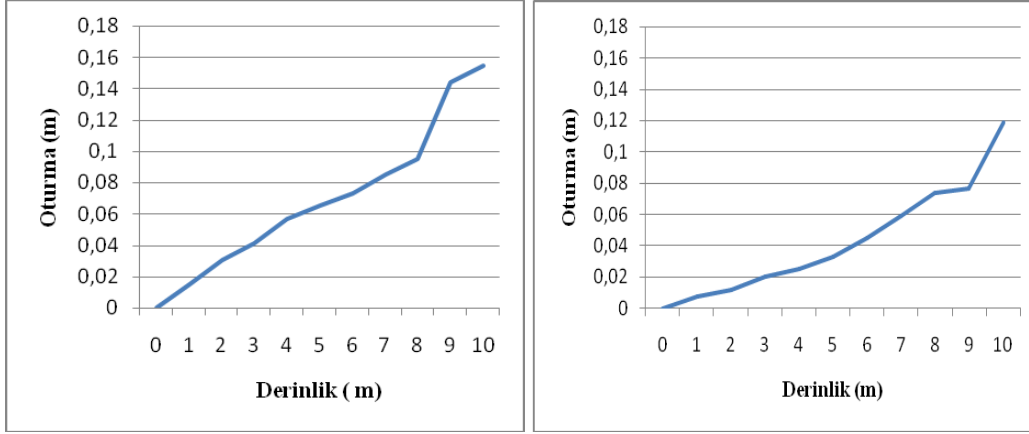


Şekil 4.17: Grup kolon için oturma grafiği, Mohr columb modeli

“Şekil4.18 ve4.19 ve 4.20” derinliğe karşı çizilen oturmalar göstermektedir. Zeminin ve taş kolonun oturması, oturma profilinde gösterilen derinlik ile doğrusal olarak değişmemektedir. Taş kolonun ve zeminin oturmasının önemli ölçüde arttığı ve belirli bir yüksekliğe, maksimum değerlere ulaştığı görülmektedir. Şekillerden Mohr-Coulomb ile simüle edilmiş taş kolon-yumuşak zemin modelin oturmasının Pekleşen zemin modelinden daha önemli ve daha yüksek olduğu gözlemlenebilir, çünkü Pekleşen zemin modeli sertlik tanımını dikkate almaktadır. Daha önce tartışıldığı gibi, ek kolonların etkisinden dolayı grup kolonun oturması diğer durumlardan nispeten küçüktür.



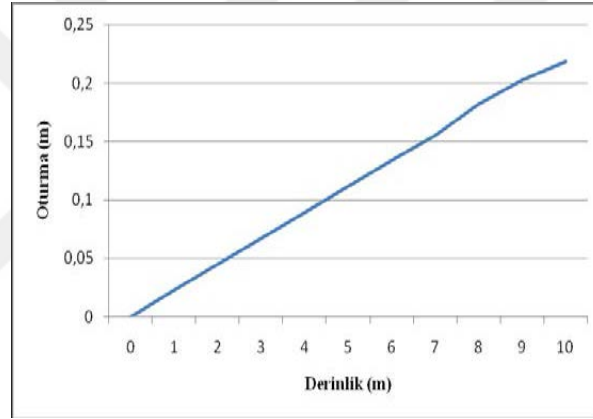
Şekil 4.18: Kenar taş kolonu için oturma grafikleri (a) Mohr columb modeli (b) Pekleşen zemin modeli



(a)

(b)

Şekil 4.19: Orta taş kolonu için oturma grafikleri (a) Mohr columb modeli (b) Pekleşen zemin modeli



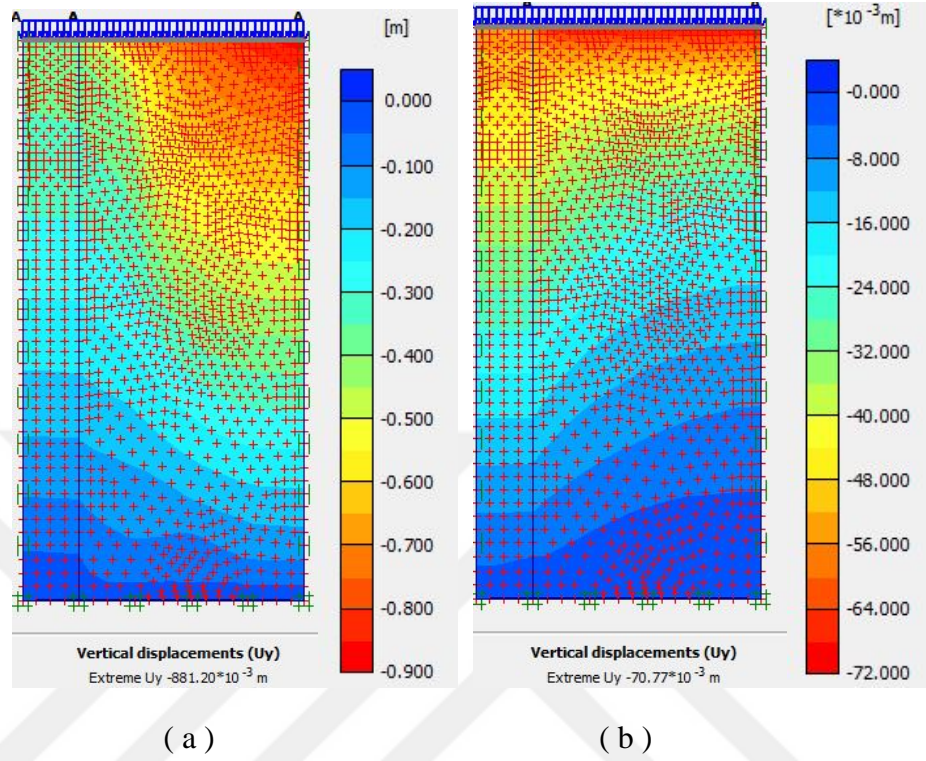
(a)

Şekil 4.20: Grup kolon için oturma grafiği (a) Mohr columb modeli.

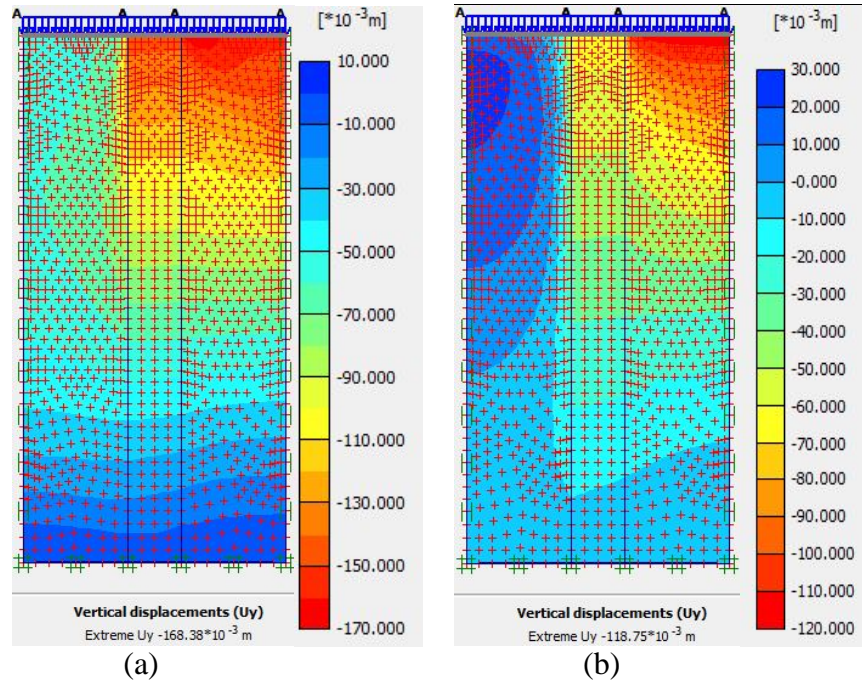
4.3.4 Düşey deplasmanlar

“Şekil 4.21 ve 4.22 ve 4.23” ’de zeminlerin ve taş kolonlarının kütlelerinde düşey deplasmanların dağılımını göstermektedir. Komposite modelin dikey deplasman, oturma profillerine yakın bir benzerlik sağlamaktadır .Geometriyi yüklerken, zemin kütlesi aktif durumdadır ve orantılı olarak hareket eder. Plastik analizi için çıktı olarak, Mohr-columb, Pekleşen zemin modeli ile hesaplanırken, fazın sonunda dikey deplasman gösteren renkli şekiller elde edilmiştir. Modelinin yan tarafındaki kırmızı alan, en büyük deplasman büyüklüğünü gösterir.

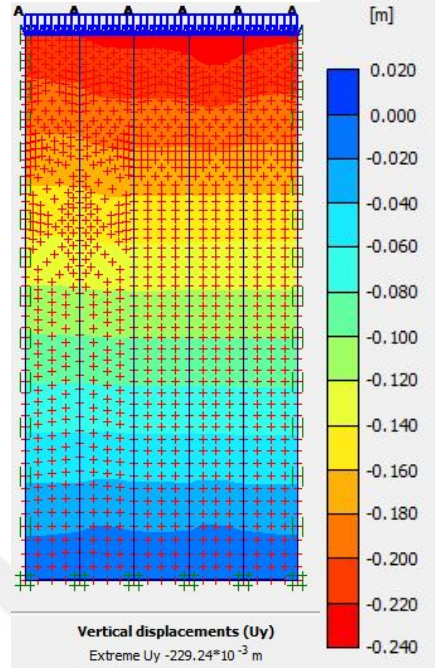
Bu davranış Şekiller de açıkça görülebilir ve deplasman düzeylerinin genellikle daha şiddetli olduğu taş kolonlar ve zeminler arasındaki sarı ve kırmızı alanlar ile gösterilmektedir.



Şekil 4.21:(a) Mohr columb (b) Pekleşen zemin modeli kullanarak kenar taş kolon ve yumuşak zeminin düşey yer değıştirme davranışı

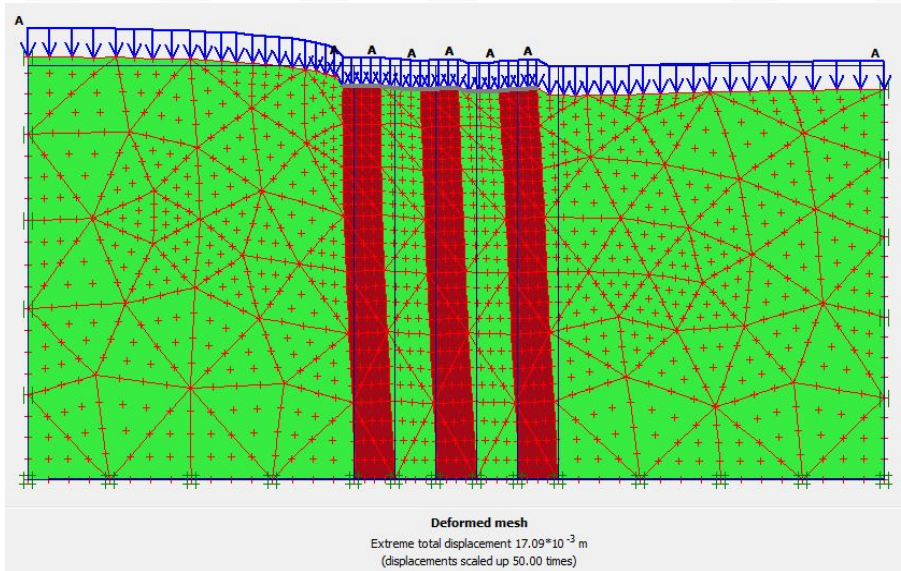


Şekil 4.22: Orta taş kolon ve yumuşak zeminin düşey yer değiştirme davranışı (a) Mohr columb (b) Pekleşen zemin modeli

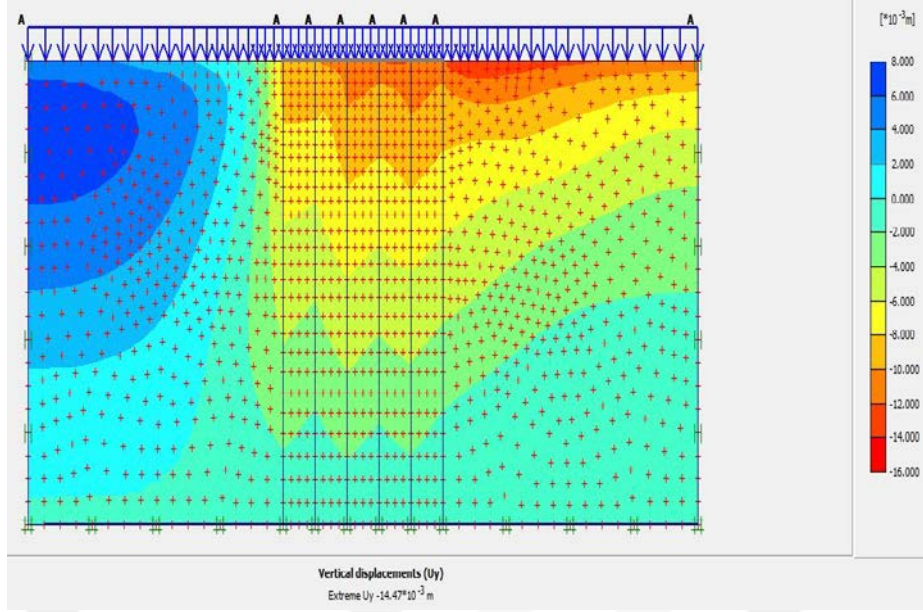


Şekil 4.23: Grup taş kolon düşey yer değiştirme davranışı, Mohr columb modeli

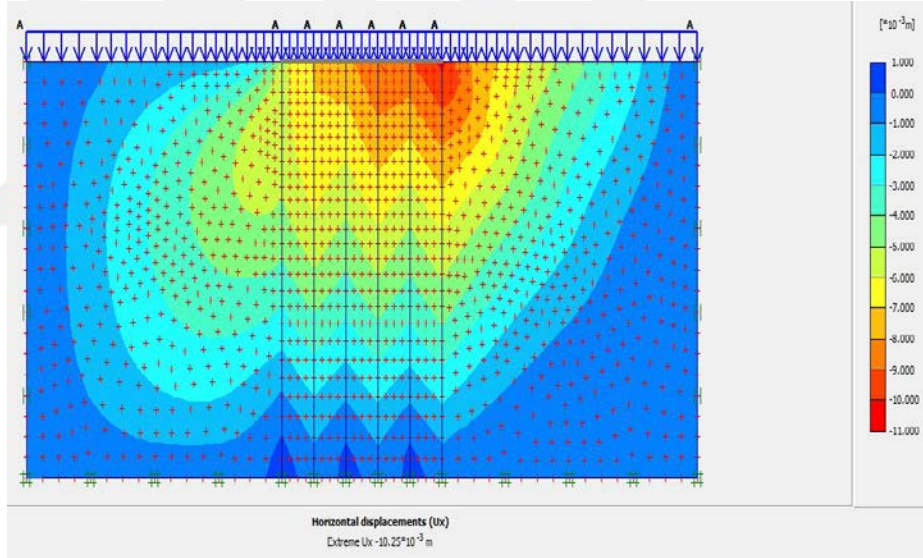
Yeni Modeller



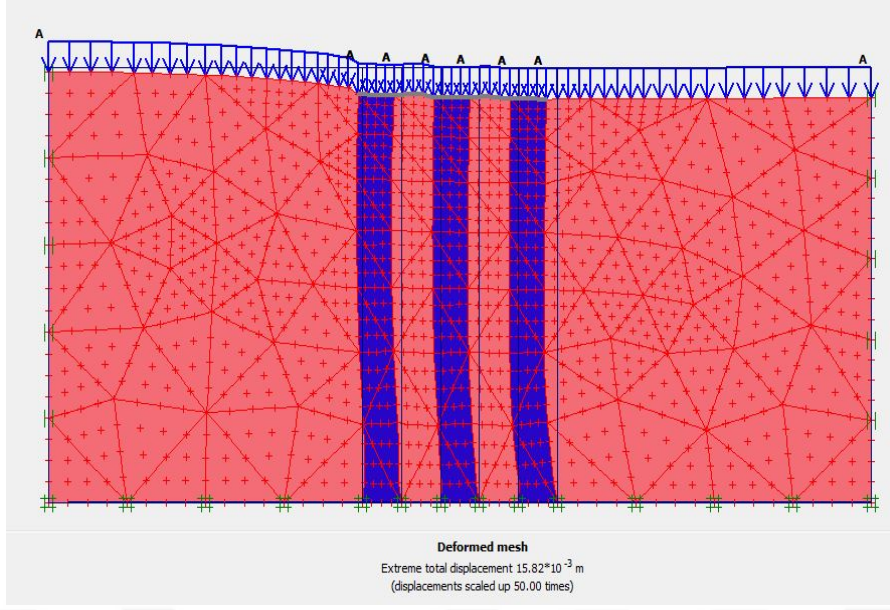
Şekil 4.24: Pekleşen Zemin modeli kullanarak arazi şartlarına uygun modellemenin deforme ağı



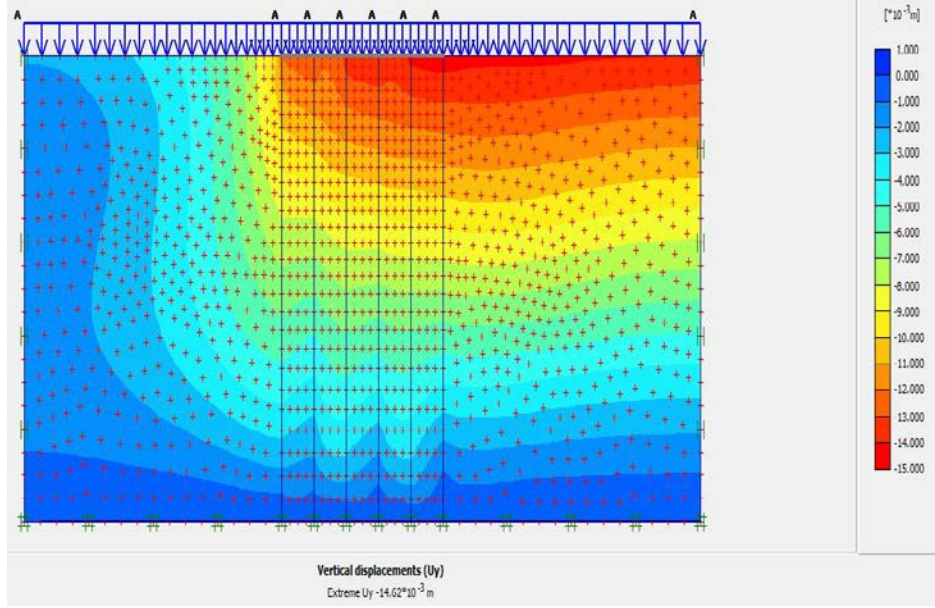
Şekil 4.25: Pekleşen Zemin modeli kullanarak arazi şartlarına uygun modellemenin düşey yer değiştirmesi



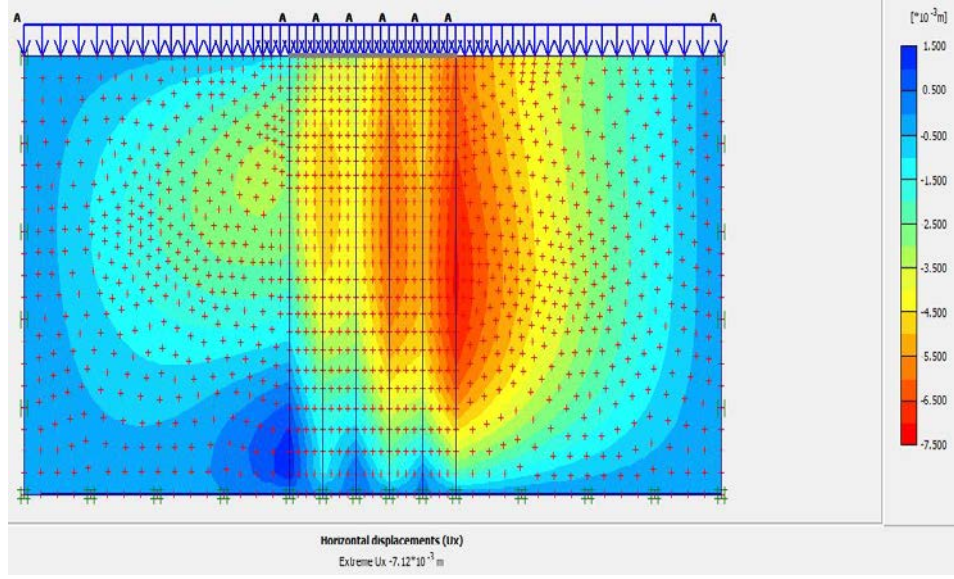
Şekil 4.26: Pekleşen Zemin modeli kullanarak arazi şartlarına uygun modellemenin yatay yer değiştirmesi



Şekil 4.27: Mohr Columb modeli kullanarak arazi şartlarına uygun modellemenin deforme ağı



Şekil 4.28 : Mohr modeli kullanarak arazi şartlarına uygun modellemenin düşey yer değiştirmesi



Şekil 4.29: Mohr columb modeli kullanarak arazi şartlarına uygun modellemenin yatay yer değiştirmesi

4.4 Duyarlılık analizi

Sonlu elemanlar tekniği kullanılarak yapılan analizlerde doğru sonuçlara sahip olmak ve bu sonuçları sadece zemin özelliklerine ve geoteknik problem koşullarına bağlı kılmak, model sonuçları üzerinde herhangi bir reaksiyondan kaçınmak için ağ yoğunluğu ve sınırların mesafesi gibi özellikler ve koşullar için önemli bir analiz grubu araştırıldı.

Dış sınırlar, sonlu elemanlar modelinin durumunu tanımlayan gerçek kuvvetlerin, uzantıların ve koşulların yapay bir temsilcisidir. Bir zemin kütlesinin gerçek doğal uzantısını veya bunun üzerine uygulanan bazı olayları dahil etmek mümkün değildir, bu nedenle sonlu elemanlar kodu (Plaxis 2D), kullanıcının bu uzantıların ve olayların reaksiyonunu bir kısıtlama, yer değiştirme ve kuvvet olarak yerine kullanmasını sağlar. Sonuç olarak, kullanıcı bu etkileri ölçebilir ve bu modelin doğruluğu üzerinde minimum etkiye sahip olan çalışılan modele atayabilir. Sınır sınırlamaların konumları, sonlu elemanlar simülasyon sonuçlarını önemli lde etkileyebilir.

Oluşturulan reaksiyon kuvvetlerinden beri ve bu sınırlardaki yer değiştirme, uygulanan kuvvetlerin ilgilenilen ana bölgeler üzerindeki etkisini etkileyebilir. Mevcut çalışılan modeldeki tüm kümeler için 15 düğümlü üçgen elemanlar seçilmiştir.

Ağ yuğunluğu duyarlılığı analizi yapıldı ve kuresel kabalık, doğru sayısal sonuçlara ulaşmak için yeterince iyi olan orta kılındı. Plaxis 2D 'de tercih edilen bir ozellik, arayuzlerde ve elemanlar arası sınırlarda otomatik bir ince ağdır, ancak gerinimlerin ve gerilmelerin hızlı değişimlerinden dolayı bu bölgelerde oluşabilecek süreksizliklerin kontrol edilmesi önemlidir.







5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuç

Hızla artan inşaat maliyeti ve genellikle bir projeye yerleştirilen çok sayıda çevresel kısıtlama, marjinal sahaların iyileştirilmesini büyük ölçüde teşvik etmiştir. Taş kolonlar, belirli koşullar altında, hem zayıf kohezif zeminlerde hem de gevşek siltli kumlarda geleneksel destek yöntemlerine bir alternatif sunan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Bununla birlikte, her bir zemin iyileştirme problemi için, tüm uygulanabilir tasarım, en uygun maliyetli yöntemi seçmeden önce alternatifler iyice değerlendirilmelidir. Taş kolonlar, genellikle Vibroflot olarak adlandırılan titreşimli bir prob kullanılarak inşa edilmektedir. Probun ucundaki yanal titreşim, probun gövdesi içinde dönen eksantrik ağırlıklar nedeniyle ortaya çıkar ve eksantrik ağırlıklar elektrikli veya hidrolik güç kullanılarak döndürülür.

Islak işlemde, vibratör, yüksek basınç altında büyük miktarda su jeti ile kullanarak bir delik açılmaktadır . Havayı kullanabilen kuru işlemde, sonda, zemine ilerledikçe doğal zeminin yerinden yanal olarak değiştirmektedir. ABD'de sadece ıslak işlem kullanılmıştı .Islak işlemde büyük miktarlarda suyun kullanılması nedeniyle, su ve siltin inşaat sürecinden çevresel açıdan kontrol edilmesi için dikkatli olunmalıdır. Kuru işlem öncelikli olarak çevresel nedenlerden dolayı kullanılır ve hem Avrupa hem de Kanada'da kullanılmaktadır. Taş kolonların yenilme davranışları mekanizmaları iyi anlaşılmıştır ve tek kolonun ya da bir taş kolon gruplarının bir zımbalanma ya da göbeklenme yenilme modu sergilediği belirlenmiştir.Yalnız, küçük taş kolon gruplarının davranışı daha karmaşıktır (Barksdale ve Bachus, 1983), zımbalanma, göbeklenme, genel taşıma gücü yenilmeleri göstermişlerdir. Bu, çevresel kolonlar için önlenmiş yanal genleşme kaybına ve aynı zamanda küçük yüklenen alanların altındaki derinlikle düşeygerilmenin azalmasına bağlanabilmektedir .

Taş kolonlar, tipik olarak zayıf mukavemet, rijitlik ve drenaj özellikleriyle karakterize edilen yumuşak killi kirleri iyileştirmek için kabul edilebilmektedir. Sonuç olarak, zeminlerdeki temeller nispeten düşük yüklerde büyük yer değiştirmelere maruz kalmaktadır ve genellikle oturma temel tasarımı yönetimin kriteridir. Analitik tasarım yöntemleri, taş kolon gruplar veya tekil taş kolonlar için geçerli olan birim hücre prensipi gibi birçok basitleştirilmiş varsayım içermektedir. Sonlu kolon gruplarının oturma performanslarını incelemek için bir aksel parametrik sonlu elemanı yöntemi yürütmektedir, bununla birlikte, sayısal çalışmaların çoğu, geniş alan yüklerini destekleyen geniş kolon gruplarına dayanmaktadır (Kirsch ,2010). Sayısal yöntemler (örn. Sonlu elemanlar yöntemi) jeoteknik problemlerin analizinde mükemmel bir araç olarak gelişmiştir, ele geçirilmesi zor olan birçok karmaşık problem artık kolayca çözülüyor. Böyle olmasına rağmen, sayısal metodu özellikle üç boyutlu alanda kullanmak, gereken büyük çabadan dolayı ortak pratik mühendis kabiliyetinde değildir. Bu nedenle, normalde üç boyutlu problemi daha basit iki boyutlu (örn. düzlemsel gerinim, aksimetrik model) probleme dönüştürerek problemi basitleştiren sayısal bir yaklaşım vardır.

Birincil konsolidasyon oturması tahmin etmek için Priebe metodu, denge, ve sonlu elemanlar yöntemler kullanılabilir. Denge yöntemi oldukça basittir ve Japonya'da kum sıkıştırma kazıklarının oturmalarını tahmin etmek için uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Bu yöntemde sadece uygun bir gerilme dağılım değeri varsayılmalıdır. Tasarım eğrileri, (1) düşük sıkıştırılabilir zeminlerin ve (2) sırasıyla doğrusal ve doğrusal olmayan teori kullanılarak sıkıştırılabilir zeminlerin oturmalarını tahmin etmek için sonlu elemanlar yöntemine dayanarak sunulmuştur. Tüm bu yaklaşım zeminin sıkışabilirlik özelliklerini bilmeyi gerektirmektedir. Bir kohezif zemin için, bir boyutlu konsolidasyon testi, sıkıştırılabilirliği değerlendirmek için kullanılabilir bir kumda Hollandalı koni veya standart penetrasyon testi kullanılabilir.

Bir örnek olayı geçmişleri, taş kolonların uygulamaları hakkında kısaca tanımlanmıştır. Bu örnek olay durumların dikkatli bir şekilde incelenmesi, yük testleri, alan izleme ve taş kolon çapı, aralık, alan değiştirme oranı ve tasarım gibi performans ve tasarım özellikleri dahil olmak üzere, taş kolonun uygulamalarının günümüzdeki durumu hakkında değerli bilgiler sağlamaktadır.

Kavite genişleme teorisi, tekil bir taş kolonun nihai kapasitesini hesaplamak için makul doğrulukla kullanılabilir. Kare ve sonsuz uzun katı temellerin taşıma kapasitesini tahmin etmek için genel bir teori geliştirilmiştir, ancak daha fazla doğrulama gerektirmektedir. Yumuşak zeminlerde, hem grup taşıma kapasitesi hem de dairesel ark tipi yenilmeler için zemin ve taş kolonun birleşik mukavemetindeki azalmaya dikkat edilmelidir. Zayıf bir zemin ile birlikte hareket eden rijit bir taş kolonun kompozit davranışı hakkında şu anda az bilinen bir şey bilinmektedir.

Taş kolonlar ile zemin iyileştirilmesi, zeminlerin ya çok az deforme olabileceği ya da projelerde öngörülen yükleri taşıyacak kadar güçlü olmayan alanlardaki dolguların, yapıların ve binaların inşası için en çok kullanılan işlemlerden biri haline gelmiştir. Zayıf yumuşak zeminlerin kuvvetlendirici elemanları olarak tek ve grup taş kolonların etkileri sonlu elemanlar yöntemi ile değerlendirilmiştir. Modellemenin ve varsayımların doğruluğunu teyit etmek için farklı pozisyona sahip tek bir taş kolon, taş kolon grubu ve yumuşak zeminler simüle edilmiştir. Sayısal sonuçlar, takviye olarak taş kolonların kullanımının, taşıma kapasitesini arttırdığını doğrulamaktadır. Ayrıca, 100KN yüklemde tek ve grup taş kolon, önemli deformasyonun tüm kolon pozisyonu için yanal deformasyon olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara dayanarak, aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır : Kolon pozisyonunun oturma azaltma üzerindeki etkisini kontrol eden iki ana etki özetlenebilir: zemin ile karşılaştırıldığında tek bir taş kolon kenara yakın olduğunda, daha yüksek desteklenme ve daha az oturma gösterme eğilimindedirler, tek bir taş kolon ortaya yakın yerleştirildiğinde, çevreleyen zeminin oturmaları ve yatay yer değiştirmeleri daha yüksektir. Bir taş kolon grubu modellendiğinde, yalnızca ince bir oturmalar ve deformasyonlar bulunmuştur. Bununla birlikte, yük - oturma eğrileri, yumuşak zeminden doğrudan daha büyük oturma tahminleri gösterilmiştir. Deformasyonları azaltmak ve toprağın stabilitesini sağlamak için daha fazla kolonlar yerleştirilmelidir. Ek kolonlar, azami oturmayı etkili bir şekilde en aza indirilmiştir. Daha az aralıklı kolonların daha az azami oturmaya neden olduğu sezgisel olarak doğrudur.

Taş kolonun normalleştirilmiş derinliğe ve uzunluğa göre yanal yer değiştirmesinin ve oturmaların varyasyonunun karşılaştırılması, taş kolon kullanarak yanal hareket ve oturma azaldığını gösterir ve aynı anda taş kolon yük kapasitesini artırır. Pekleşen zemin modeli'nin formülasyonu, oturmaların incelenmesi için çeşitli sonuçlara sahiptir. Mohr Columb, deformasyonların küçümsenmesini sağlar ve Pekleşen zemin model deformasyonların aşırı tahmin edilmesine neden olur.

5.2 Öneriler

- 1) İlerde yapılan çalışmalarda, zeminin profilini üzerinde araştırma yapılabilir, arazide olduğu gibi katmanlı profillerden oluşan bir model şeklinde analiz edilebilir .
- 2) Deformasyon davranışları ve oturma süreci içindeki sonuçların karşılaştırılması için üç boyutlu (3D) ve iki boyutlu (2D) analizlerde taş kolonun performansının tam ölçekli analizi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Abhijit ve Das (2000).** "Interaction analysis of stone column groups in foundations." Proc., Indian Geotech. Conf., Bombay, India, 279–284.
- Ambily ,A.P. ve Gandhi, S.R. (2007)."** Behavior of Stone Columns Based on Experimental and FEM Analysis" ASCE, JGGE Vol.133 No.4,syf :405-415.
- Aboshi, H., II. Ichimoto, M. Enoki, and K. Harada, (1979).** "The Composer - A Method to Improve Characteristics of Soft Clays by Inclusion of Large Diameter Sand Columns," proceeding, International Conference on Reinforcement: Reinforced Earth and Other Techniques, Vol. I, Paris.
- Bergado D.T., Alfaro M.C. & Chai J.C., (1991).**The Granular Pile: Its Present State and Future Prospects for Improvement of Soft Bangkok Clay. Geotechnical Engineering, 22:143-175.pp. 211-216.
- Besancon, G. & Pertusier, E. (1982).** Soil Improvement by Deep Vibration. Proc. ASCE Symposium on Recent Developments in Ground Improvement Techniques. Bangkok, 1982.
- Bell, F. G. (1975).** Methods of Treatment of Unstable Ground, 1st Ed., Newnes-Butterworths: London, 1975.
- Bachus, R. C. (1989).** Design Methodology for Foundations on Stone Columns. Proc. ASCE Conf. on Current Principles and Practices in Foundation Engineering, (1), Evanston, IL, USA, 1989.
- Balaam, N.P., P. T. Brown, and H. G. Poulos. (1977).** "Settlement Analysis of Soft Clays Reinforced with Granular Piles", Pkoceedingd, 5th Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Bangkok, Thailand, pp.81-92.
- Balaam, N. P. & Booker, J. R. (1981).** Analysis of rigid rafts supported by granular Piles. Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech. 5, No. 4, 379–403.
- Baumann, V ve Bauer, G. E. A. (1974).** "The Performance of Foundations on Various Soils Stabilized by the Vibro-Compaction Method" Canadian Geotechnical Journal, Vol.11, syf 509 -530.
- Barksdale ve Bachus (1983).** Barksdale, R. D., and Bachus, R. C. (1983). "Design And construction of stone columns." Rep. No. FHWA/RD-83/026, National Information Service, Springfield, VA.

- Brinkgreve, R.B.J. (2008).** Plaxis finite element code for soil and rock analysis, 2D, version 8. Balkema, Rotterdam.
- Castro, J., Sagasetta, C. (2009).** Consolidation around stone columns. Influence of column deformation. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics* 33 (7), 851-877.
- Clough, R. W., and Y. Rashid, (1960).** "Finite Element Analysis of Axi-Symmetric Solids", *ASCE Eng. Mech. Div. J. Vol. 91*, pp 71-85, Feb.
- Deb, K. (2008).** Modeling of granular bed-stone column-improved soft soil. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 32(10), 1267–1288.
- Datye, K. R. (1982).** Settlement and Bearing Capacity of Foundation System with Stone Columns. *Proc. ASCE Symposium on Recent Developments In Ground Improvement Techniques*. Bangkok, 1982.
- Degan , W (1977).** "56m Deep Vibro Compaction at German Lignite Mining Area22" *Proc 3rd inti.conf.on ground improvement Geosystems Londra*.
- Douglas ve Quade, Parsons ve Brinkerhoff, (1980)** "Jourdan Road Terminal Test Embankment," Inc., report prepared for Board of Couznissioners of The Port of New Orleans, November, 1980.
- Goughnour ve Bayuk (1979) Goughnour RR, Bayuk AA (1979)** .Analysis of Stone column - soil matrix interaction under vertical load. Paper Presented at the International Conference on Soil Reinforcement: Reinforced Earth and Other Techniques (Coll. Int. Renforcements des Sols.), Paris, March 1979.
- Goughnour, R. R. (1983).** "Settlement of vertically loaded stone columns in soft Ground." *Proc., 8th European Conf. on Soil Mechanics, and Foundations Engineering, Helsinki, Finland, 1*, 235–240.
- Greenwood D.A., (1991).** Load tests on stone columns. *Deep Foundation Improvements: Design, construction and testing ASTM STP 1089*, 148-171.
- Gibson, R. D. and W. F.(1961)** Anderson, "In-Situ Measurements of Soil Properties With Pressuremeter," *Civil Engineming and Public Worrh Reviw, Vol. 56, NO. 658*, 1961.
- Goughnour, R. R. and A. A. Bayuk, (1979)** "A Field Study of Long-Term Settlements of Loads Supported by Stone Columns in Soft Ground," *Proceedings International Conference on Soil Reinforcement: Reinforced Earth and Other Techniques, Vol. 1, Paris, 1979*, pp. 279-286.

- Han, J., and Ye, S. L. (2001).** "Simplified method for consolidation rate of stone Column reinforced foundation." *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 1277, 597– 603 .
- Killeen ve McCabe (2014).** "Settlement performance of pad footings on soft clay Supported by stone columns: A numerical study." *Soils Found.*, 54(4), 760 -776.
- Kirsch, K.; Kirsch, F(2010).** *Ground Improvement by Deep Vibratory Methods;* Spon Press: London, UK,
- Mitchell, J. K. and R. K. Katti, (1981) .**"Soil Improvement - State-of-the- Art Report," 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, 1981, pp. 261-313. Mitchell, J. K. (1981). *Soil Mechanics and Foundation Engineering. Proc. 10th ICSMFE, (1), Stockholm, Sweden, 1981 .*
- Madhav, M. R. (1978).** Strip Footing on Weak Clay Stabilized with Granular Trench or Pile. *Canadian Geotechnical Journal*, (15), 4, 1978.
- Priebe H.J., (1995).** The design of vibro replacement. *Ground Engineering*, December 1995,31-37.
- Priebe H.J.,(1991).** Vibro replacement "Design criteria and quality control, *Deep Foundation Improvements: Design, construction and testing ASTM STP 1089*, 62-71.
- Schanz T, Vermeer PA, Bonnier PG (1999).** "The hardening-soil model: Formulation and verification." *Beyond 2000 in Computational Geotechnics: 10 Years of PLAXIS International*, R. B. J. Brinkgreve, ed., A. A.Balkema, Rotterdam, Netherlands, 281–290.).
- Stark, T.D . ve Yacyshyn , B. M. (1991).** « Specifications for constructing Load Testing Ston Columns in Clays » *Deep Foundations Improvements Design, Construction and Testing, ASTM, STP 1089,syf . : 73-84.*
- Sondermann, W. and W. Wehr (2004).** Dcep vibro techniques. In M. Moseley and K. Kirsch (Eds.), *Ground Improvement*, 2nd edition, pp. 57 92. Spon Press.
- Taube.G & Martin, P.E., P.G.(2002).** *Stone Columns for Industrial Fills*, Nicholson Construction Company, Cuddy, Pennsylvania.
- Van Impe, W. & De Beer, E. (1983).** Improvement of Settlement Behaviour of Soft Layers by means of Stone Columns. *Proc. 8th Euro.Conf. on Soil Mech. & Fdn. Engg., Helsinki, 1: pp.309-312.*

Van Impe, W. & Madhav, M.R. (1992). Analysis and settlement of dilating stone Column reinforced soil. *Österreichische Ingenieur und Architekten Zeitschrift (ÖIAZ)*, 137(3), 114-121.

Keller Grubu. (2015). Vibro-Compaction and Vibro-Replacement, GKN Keller, Inc., Tampa, Florida.

Vautrain, J. (1977). "Mur en Terre Armee Sur Colonnes Ballastees," *Proceeding~, International Symposium on Soft Clay, Bangkok, Thailand 1977.*

Vesic, A. S., (1972). "Expansion of Cavities in Infinite Soil Mass," *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE, Vol. 98, No. SM3, pp. 265-290.*



ÖZGEÇMİŞ

Ad -Soyad : Kaltoum Abdillahi Ahmed

Doğum Tarihi ve Yeri : 16/01/1994

E -posta : chou-abd@hotmail.fr

Uyruk: Cibuti

Telefon numarası: 00905537689926

ÖĞRENİM DURUMU

- Lisans : 2015,Cibuti Üniversitesi, Mühendislik fakültesi, İnşaat mühendisliği
- Yüksek lisans : 2019, İstanbul Aydın Üniversitesi, İnşaat mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER

Cosmezz business Sarl: Geoteknik laboratuvar Teknisyeni

Mimarlık firması: Mimar teknisyeni

KONUŞULAN DİL

- Fransızca, İngilizce, Türkçe
- Diğer diller: Somali

BECERİ BİLİŞİMİ

- Microsoft ofisi (Windows-Excel-Word-PowerPoint)
- AutoCAD, GEO5, FOXTA V3, RDM6, NovoTech ,PLAXİS,

