

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**YÜZEN TAŞ KOLONLAR İLE İYİLEŞTİRİLMİŞ ZEMİNLERİN
SİSMİK YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞININ
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Ferhat ŞAHİNKAYA

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Mustafa VEKLİ**

YOZGAT 2016

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**YÜZEN TAŞ KOLONLAR İLE İYİLEŞTİRİLMİŞ ZEMİNLERİN
SİSMİK YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞININ
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Ferhat ŞAHİNKAYA

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Mustafa VEKLİ**

YOZGAT 2016

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 70110712017 numaralı öğrencisi Ferhat ŞAHİNKAYA'nın hazırladığı “**Yüzen Taş Kolonlar İle İyileştirilmiş Zeminlerin Sismik Yükler Altındaki Davranışının Sayısal Olarak İncelenmesi**” başlıklı ~~Doktora~~/Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 29.06.2016 Çarşamba günü saat 09:00’da yapılmış, tezin onayına oy birliği /oy çokluğu ile karar verilmiştir.

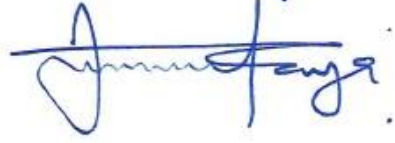
Başkan : Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR



Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa VEKLİ (Danışman)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Zülküf KAYA



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 15/07/2016 tarih ve ...21... sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Fuat KÖKSAL
Müdür

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iii
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1.Giriş.....	1
1.2. Konu İle İlgili Yapılan Çalışmalar	2
2. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	20
2.1 Mekanik Yöntemler.....	22
2.1.1. Titreşimli (Vibro) Kompaksiyon	22
2.1.2. Dinamik Kompaksiyon.....	23
2.2. Hidrolik Yöntemler	25
2.2.1. Taş Kolonlar	25
2.2.1.1. Taş Kolon İmalat Yöntemleri.....	26
2.2.1.1.1. Vibrokompaksiyon Yöntemi (Vibroflotasyon).....	27
2.2.1.1.2. Vibro-Yerdeğiştirme Yöntemi (Yaş Üstten Beslemeli).....	30
2.2.1.1.3. Vibro-Öteleme Yöntemi (Kuru Üstten/Altan Beslemeli).....	31
2.2.1.1.4. Tokmıklama Yöntemi.....	33
2.2.1.2. Taş Kolonların Özellikleri.....	33
2.2.1.2.1. Taş Kolonun Çapı	33
2.2.1.2.2. Taş Kolonun Derinliği	34
2.2.1.3. Taş Kolon Malzemesinin Dane Çapı Dağılımı	34
2.2.1.3.1. Taş Kolon Malzemesinin İçsel Sürtünme Açısı.....	35
2.2.1.3.2. Taş Kolon Yerleşim Aralıkları.....	35
2.2.1.4. Taş Kolonlar ile İlgili Temel Kavramlar ve Bağlıntılar	36
2.2.1.4.1. Eşdeğer Çap	36
2.2.1.4.2. Alan Değiştirme Oranı	37

2.2.1.4.3. Gerilme Konsantrasyon Oranı.....	38
2.2.1.4.4. Oturma Azaltma Oranı.....	40
2.2.1.5. Taş Kolonların Yük Transfer Mekanizmaları.....	40
2.2.1.5.1. Uç Mukavemetli Taş Kolon.....	40
2.2.1.5.2. Yüzen Taş Kolon.....	40
2.2.1.6. Taş Kolonların Göçme Mekanizması.....	41
2.2.1.6.1. Tekil Taş Kolon Göçme Mekanizması.....	41
2.2.1.6.2. Grup Taş Kolon Göçme Mekanizması.....	43
2.2.1.7. Taş Kolonların Taşıma Gücü.....	44
2.2.1.7.1. Tekil Taş Kolonların Taşıma Gücü.....	44
2.2.1.7.2. Grup Taş Kolonların Taşıma Gücü.....	49
2.2.1.7.3. Kısa Taş Kolon Taşıma Gücü.....	52
2.2.2. Ön Yükleme ve Düşey Drenler.....	53
2.2.3. Yeraltı Su Seviyesinin Düşürülmesi.....	54
2.3. Fiziksel ve Kimyasal Modifikasyonlar.....	54
2.3.1. Kompaksiyon Enjeksiyonu.....	54
2.3.2. Jet Grout.....	54
2.3.3. Patlatma.....	55
2.3.4. Kimyasal Enjeksiyon.....	55
2.3.5. Dondurma.....	56
2.4. Donatılandırma.....	56
2.4.1. Geosentetikler.....	56
2.4.2. Zemin Çivilemesi.....	57
3. ZEMİNLERDE TAŞIMA GÜCÜ HESABI.....	58
3.1. Statik Yükler Altında Taşıma Gücü.....	58
3.1.1. Taşıma Gücü Göçmesi.....	58
3.1.2. Yüzeysel Temelerde Taşıma Gücü Hesap Yöntemleri.....	58
3.1.2.1. Terzaghi Taşıma Gücü Hesabı.....	59
3.1.2.2. Meyerhof Taşıma Gücü Hesabı.....	61

3.1.2.3. Hansen Taşıma Gücü Hesabı	61
3.1.2.4. Vesic Taşıma Gücü Hesabı	61
3.1.2.5. Kohezyonsuz Zeminlerde Taşıma Gücü	62
3.1.2.6. Kohezyonlu Zeminlerde Taşıma Gücü	62
3.1.2.7. Derin Temeller İçin Taşıma Gücü.....	64
3.2. Sismik Yükler Altında Taşıma Gücü	65
3.2.1. Sismik Yükler Altında Taşıma Gücü Kayıpları.....	65
3.2.2. Sismik Yükler Altında Taşıma Gücü Hesabı.....	65
3.2.3. Yarı – Statik (Psödostatik) Yaklaşım	68
4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ	72
4.1. Plaxis Sonlu Elemanlar Programının Tanıtımı.....	75
4.1.1. Geometrik Modelin Oluşturulması	75
4.1.2. Zemin Eleman Tipleri	76
4.1.3. Ağ (Mesh).....	77
4.1.4. Zemin Davranışının Modellenmesi	78
4.1.4.1. Mohr-Coulomb (MC) Zemin Modeli.....	78
4.1.4.2. Hardening Soil (HS) Zemin Modeli.....	78
4.1.4.3. Lineer Elastik Zemin Modeli (LE).....	79
4.1.4.4. Soft Soil Zemin Modeli (SS).....	79
4.1.4.5. Soft Soil Creep Zemin Modeli (SSC)	79
4.1.4.6. Jointed-Rock Zemin Modeli (JR).....	79
5. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	80
5.1. Yalnızca Deplasman Yükü Etkisi Altında Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Zeminlerin Taşıma Gücü Analizleri.....	81
5.2. Deplasman Yükü ve Deprem Yükü (k_h) Etkisi Altında Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Zeminlerin Taşıma Gücü Analizleri.....	94
5.3. Deprem Yükü Etkisinde ve Deprem Yükü Etkisi Olmadan Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	105

SONUÇLAR.....	118
KAYNAKLAR	121
EKLER	128
ÖZGEÇMİŞ.....	132



YÜZEN TAŞ KOLONLAR İLE İYİLEŞTİRİLMİŞ ZEMİNLERİN SİSMİK YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Ferhat ŞAHİNKAYA

Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

2016; Sayfa: 132

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mustafa VEKLİ

ÖZET

Genel olarak taş kolonlar ile problemlili yumuşak ve gevşek zeminlerin taşıma gücünün artırılması, konsolidasyon ve oturma problemlerinde, dolgu ve yarma şevi stabilitesinin sağlanması ve deprem gibi dinamik bir yük etkisinde meydana gelen sıvılaşma v.b. gibi problemler de birçok uygulama alanı bulunmuştur. Bu çalışmada iyileştirme yöntemi olarak taş kolonlar metodu kullanılıp özel olarak yüzen taş kolonların taşıma gücüne etkisi üzerinde durulmuştur. Çalışmada 32 m genişliğinde ve 8 m derinliğindeki zemin modeli Plaxis 2D sonlu elemanlar programı kullanılarak oluşturulmuştur. Modellerde farklı kohezyon (c:10, c:15, c:20) sahip içsel sürtünme açısı 5° olan kil malzemesi kullanılmıştır. Ayrıca zemin iyileştirilmesinde kullanılan taş kolonlar farklı s/D aralıklarında (s/D:2, s/D:3), farklı taş kolon derinliklerinde (0.5B, B, 1.5B, 2B, 3B, 4B), farklı çaplarda (D:600 mm, D:800 mm, D:1000 mm) ve farklı içsel sürtünme açılarında ($\phi:35^\circ$, $\phi:40^\circ$, $\phi:45^\circ$) modellenmiştir. Oluşturulan bütün bu zemin modellerinde 23 Ekim 2011'de Van'da meydana gelen bir depremin etkin ivme değeri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda taş kolon uygulanmamış model ile taş kolon uygulanmış modeller karşılaştırılmış ve sonuç olarak taş kolon uygulanan zeminlerde taşıma gücünün arttığı görülmüştür. Ayrıca hem statik hem de deprem yükü etkisinde taş kolonlarla iyileştirilmiş yumuşak kil zeminlerin taşıma gücünün, taş kolon çapı ve derinliğinin artması sonucunda arttığı, taş kolon aralıklarının artması sonucunda ise azaldığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler : Yüzen taş kolon, Sismik yük, Taşıma gücü, Plaxis programı

NUMERICAL INVESTIGATION THE BEHAVIOR UNDER SEISMIC LOADS IMPROVED GROUND WITH FLOATING STONE COLUMNS

Ferhat ŞAHINKAYA

Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Master of Science Thesis

2016; Page: 132

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mustafa VEKLİ

ABSTRACT

In general terms, to improve bearing capacity of problematic soft and loose soil is implemented for the resolution of many problems such as consolidation and grounding problems, to ensure filling and splitting slope stability and liquefaction that results from a dynamic load such as earthquake. In this study, stone columns method is preferred as an improvement method and especially load transfer mechanism and bearing capacity of floating stone column are focused. The soil model, 32 m in width and 8 m in depth, used in this study is made through Plaxis 2D finite element program. The clay having 5° internal friction angle with different cohesion coefficients ($c:10$, $c:15$, $c:20$) are used in models. In addition, stone columns used for soil improvement are modelled at different internal friction angles ($\phi:35^\circ$, $\phi:40^\circ$, $\phi:45^\circ$) and in different s/D ranges ($s/D:2$, $s/D:3$), stone column depths ($0.5B$, B , $1.5B$, $2B$, $3B$, $4B$) and diameters ($D:600$ mm, $D:800$ mm, $D:1000$ mm). In these soil models, effective ground acceleration value of an earthquake that occurred in Van on 23 October 2011 is applied. At the end of the study, stone column-applied soil model under static and earthquake load effect are compared with other soil models for which stone column is not applied; accordingly it is observed that bearing capacity improves in stone column-applied soil models. In addition, it is observed that bearing capacity of soft clay soil which has been improved through stone column with both static and earthquake load effect increases as a result of increase in diameter and depth of stone column and decreases as a result of increase in ranges of stone column.

Key Words: Floating stone columns, Seismic load, Bearing capacity, Finite element program

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi ve desteğinden faydalandığım danışman hocam, Yrd. Doç. Dr. Mustafa VEKLİ' ye tez çalışmamın tamamlanmasında göstermiş olduğu katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yardımlarından dolayı Arş. Gör. Cenk Cuma ÇADIR'a ve Öğr. Gör. Mehmet BAYAZİT'a teşekkürlerimi sunarım.

Manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen sevgili babam Bahri ŞAHİNKAYA'ya, sevgili annem Nevin ŞAHİNKAYA'ya, hiçbir zaman beni yalnız bırakmayan ve her konuda bana destek olan değerli eşim Melike ŞAHİNKAYA'ya içtenlikle teşekkür ederim.

Bu çalışmada, 2014MMF/A133 kodlu proje kapsamında alınan Plaxis 2D program çıktılarından faydalanılmış olup katkılarından dolayı Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Kullanım Amaçları.....	21
Tablo 2.2. Zemin Türüne Bağlı n Faktörünün Değişimi.....	25
Şekil 2.9. Zemin Türlerine Göre Vibrasyon Teknikleri.....	32
Tablo 2.3. Taş Kolonlarda Gözlemlenen Gerilme Yoğunluğu Faktörleri.....	39
Tablo 3.1. Taşıma Gücü Faktörleri.....	60
Tablo 5.1. Modellerde Kullanılan Zemin Ve Taş Kolon Malzemesinin Özellikleri.	81
Tablo 5.2. Deplasman Yüğü Altında $c=10$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Kil Zemin Modellerinin Taşıma Gücü Değerleri Ve Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri.....	85
Tablo 5.3. Deplasman Yüğü Altında $c=15$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Kil Zemin Modellerinin Taşıma Gücü Değerleri Ve Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri.....	86
Tablo 5.4. Deplasman Yüğü Altında $c=20$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Kil Zemin Modellerinin Taşıma Gücü Değerleri Ve Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri.....	87
Tablo 5.5. $c=10$ Olan Zemin Modellerinin Gerilme Konsantrasyonları.....	91
Tablo 5.6. $c=15$ Olan Zemin Modellerinin Gerilme Konsantrasyonları.....	92
Tablo 5.7. $c=20$ Olan Zemin Modellerinin Gerilme Konsantrasyonları.....	93
Tablo 5.8. Deplasman ve Deprem Yüğü Altında $c=10$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Kil Zemin Modellerinin Taşıma Gücü Değerleri ve Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri.....	96
Tablo 5.9. Deplasman ve Deprem Yüğü Altında $c=15$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Kil Zemin Modellerinin Taşıma Gücü Değerleri ve Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri.....	97
Tablo 5.10. Deplasman Ve Deprem Yüğü Altında $c=20$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Kil Zemin Modellerinin Taşıma Gücü Değerleri ve Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri.....	98
Tablo 5.14. $c=10$ Olan Modellerde Taşıma Gücünün Karşılaştırılması.....	106

Tablo 5.15.	c=15 Olan Modellerde Taşıma Gücünün Karşılaştırılması.....	107
Tablo 5.16.	c=20 Olan Modellerde Taşıma Gücünün Karşılaştırılması.....	108
Tablo 5.17.	c=10 Olan Modellerde Gerilme Konsantrasyon Oranının Karşılaştırılması.....	110
Tablo 5.18.	c=15 Olan Modellerde Gerilme Konsantrasyon Oranının Karşılaştırılması.....	113
Tablo 5.19.	c=20 Olan Modellerde Gerilme Konsantrasyon Oranının Karşılaştırılması.....	114



ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Titreşimli Kompaksiyon	22
Şekil 2.2. Dinamik Kompaksiyon Yöntemi. (Me'nard Kompaktörü)	23
Şekil 2.3. Dinamik Kompaksiyonun Etki Derinliği	24
Şekil 2.4. Vibroflotun Önemli Bölümleri	28
Şekil 2.5. Danelerin Vibrasyon Öncesi ve Sonrası Durumu.....	29
Şekil 2.6. Vibro-Yerdeğiştirme Yöntemi.....	30
Şekil 2.7. Vibro-Yerdeğiştirme Yöntemi (Üstten Beslemeli).....	31
Şekil 2.8. Vibro-Yerdeğiştirme Yöntemi (Alttan Beslemeli).....	32
Şekil 2.9. Zemin Türlerine Göre Vibrasyon Teknikleri.....	32
Şekil 2.10. Tokmaklama Yöntemi ile Taş Kolon İmalatı	33
Şekil 2.11. Zemin Mukavemetinin Teorik Kolon Çapına Etkisi	34
Şekil 2.12. Taş Kolonlarda Eşkenar Üçgen Yerleşimi	36
Şekil 2.13. Tekil Taş Kolon Göçme Mekanizması	42
Şekil 2.14. Tabakalı Zeminlerde Taş Kolonların Göçme Mekanizması.....	42
Şekil 2.15. Yük Altındaki Model Tekil Taş Kolon Davranışı	43
Şekil 2.16. Taş Kolonlarda Birim Hücre Modeli	44
Şekil 2.17. Yükleme Sonrası Tekil Taş Kolon Kabarma Davranışı.	45
Şekil 2.18. Silindirik Boşluk Genişleme Faktörleri	47
Şekil 2.19. Taş Kolon Taşıma Kapasitesi.	48
Şekil 2.20. Grup Taş Kolonlarda Taşıma Gücü Kapasitesi	50
Şekil 2.21. Kısa Taş Kolon Taşıma Gücü Katsayıları	53
Şekil 2.22. Jet Grout Yöntemi İmalat Aşamaları	55
Şekil 3.1. Taşıma Gücü Göçmesi.....	58

Şekil 3.2. Yüzeysel Temel Altındaki Göçme Mekanizması	59
Şekil 3.3. Doymun Zeminde İlave Boşluk Suyu Kavramı.....	63
Şekil 3.4. Derin Temellerin Kullanıldığı Durumlar.....	64
Şekil 3.5. Basitleştirilmiş Coulomb Kayma Kamaları ($\delta \neq 0$).	66
Şekil 3.6. Coulomb Mekanizması (Δ Sürtünmesinin Dikkate Alındığı Durum).....	66
Şekil 3.7. Statik ve Sismik Şartlarda Taşıma Gücü Kamaları.	67
Şekil 3.8. Deprem Kuvvetinin Yarı Statik Yöntemle Gösterimi	69
Şekil 4.1. Analiz Yöntemleri	72
Şekil 4.2. Sonlu Elemanlar Metodu Mekanizması	73
Şekil 4.3. 2 Boyutlu Elemanlar	74
Şekil 4.4. a) Plain Strain Model B) Axisymmetry Model.....	76
Şekil 4.5. Gerilme Ve Düğüm Noktaları	77
Şekil 5.1. Örnek Taş Kolonlu Zemin Modeli	81
Şekil 5.2. 60 cm Çapındaki Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modelleri.....	82
Şekil 5.3. 80 cm Çapındaki Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modelleri.....	82
Şekil 5.4. 100 cm Çapındaki Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modelleri.....	82
Şekil 5.5. Taş kolonsuz geometrik zemin modelinde ağın (mesh) oluşturulması	82
Şekil 5.6. Taş Kolonsuz Geometrik Zemin Modelinde Ağın (Mesh) Oluşturulması	83
Şekil 5.7. Deplasman Yüğü Altındaki Taş Kolonsuz ve 60 cm Çapındaki Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modellerinin Analiz Sonrası Durumu.....	83
Şekil 5.8. Deplasman Yüğü Altındaki Taş Kolonsuz ve 80 cm Çapındaki Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modellerinin Analiz Sonrası Durumu.....	83
Şekil 5.9. Deplasman Yüğü Altındaki Taş Kolonsuz ve 100 cm Çapındaki Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modellerinin Analiz Sonrası Durumu.....	84

Şekil 5.10.	Zeminin $C=10/15/20$ Olan Ve Taş Kolonun Malzemesinin $\phi_s=35^\circ/40^\circ/45^\circ$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Zemin Modellerinin Deplasman Yüğü Altındaki Taşıma Gücü Değerleri....	88
Şekil 5.11.	Zeminin $C=10/15/20$ Olan Ve Taş Kolonun Malzemesinin $\phi_s=35^\circ/40^\circ/45^\circ$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Zemin Modellerinin Deplasman Yüğü Altındaki Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri	89
Şekil 5.12.	Çalışmada Kullanılan Van Muradiye Depreminin Doğu-Batı Yönündeki İvme-Zaman Grafiği.....	94
Şekil 5.13.	Deplasman ve Deprem Yüğü Altındaki, Taş Kolonsuz ve 60 cm Çapında Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modellerinin Analiz Sonrası Durumu.....	95
Şekil 5.14.	Deplasman ve Deprem Yüğü Altındaki, Taş Kolonsuz ve 80 cm Çapında Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modellerinin Analiz Sonrası Durumu.....	95
Şekil 5.15.	Deplasman ve Deprem Yüğü Altındaki, Taş Kolonsuz ve 100 cm Çapında Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modellerinin Analiz Sonrası Durumu.....	95
Şekil 5.16.	Zeminin $c=10/15/20$ Olan ve Taş Kolonun Malzemesinin $\phi_s=35^\circ/40^\circ/45^\circ$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Zemin Modellerinin Deplasman ve Deprem Yüğü Altındaki Taşıma Gücü Değerleri	99
Şekil 5.17.	Zeminin $c=10/15/20$ Olan ve Taş Kolonun Malzemesinin $\phi_s=35^\circ/40^\circ/45^\circ$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Zemin Modellerinin Deplasman ve Deprem Yüğü Altındaki Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri	100
Şekil 5.18.	$c=10$ Olan Modellerde Taşıma Güçlerinin Karşılaştırılması.....	109
Şekil 5.19.	$c=15$ Olan Modellerde Taşıma Güçlerinin Karşılaştırılması.....	110
Şekil 5.20.	$c=20$ Olan Modellerde Taşıma Güçlerinin Karşılaştırılması.....	111
Şekil 5.21.	$c=10$ Olan Modellerde Gerilme Konsantrasyon Oranlarının Karşılaştırılması.....	115
Şekil 5.22.	$c=15$ Olan Modellerde Gerilme Konsantrasyon Oranlarının Karşılaştırılması.....	116
Şekil 5.23.	$c=20$ Olan Modellerde Gerilme Konsantrasyon Oranlarının Karşılaştırılması.....	117

KISALTMALAR LİSTESİ

A	:Taş kolon alanı
a_h	:İvme. (depremin neden olduğu zemin yüzeyindeki yatay ivme) (m/sn^2)
\bar{a}_{ave}	:Zaman alanındaki ortalama ivme kaydı,
ac	:Alan değişim oranı
Ac	:Birim hücre hlanı
$a_e(t)$:Zaman alanındaki ivme kaydıdır
a_{max}	:Depremin neden olduğu zemin yüzeyindeki maksimum yatay ivme (m/sn^2)
a_y	:Yenilme ivmesi/akma ivmesi
B	:Temel genişliği
c	:Drene olamayan kohezyonlu zeminin kohezyonu
c/P	:Kohezyon artış oranı
c'	:Kohezyon
C₁	:Taş kolonların dizilimine göre belirlenen sabit bir katsayı
C_c	:Sıkışma indisini
c_o	:Kilin başlangıç kohezyonu
c_{ort}	:Temelin altındaki kesme yüzeyinin kompozit kohezyonu
c_u	:Drenajsız kohezyon
D	:Sıkıştırılmış taş kolonun çapı
D_e	:Efektif çap
E	:Her bir dilimin kenarındaki normal kuvvet
e₀	:Başlangıç boşluk oranını
E_s	:Zeminin Elastisite Modülü
K₀	:Zemin basınç katsayısı
K_p	:Taş kolon malzemesi pasif itki katsayısı
l_c	:Taş kolon taban genişliği
n	:Taş kolon için gerilme konsantrasyon faktörü (oranı)
N_γ	:Taşıma gücü katsayıları
N_c	:Taşıma gücü katsayıları
N_q	:Taşıma gücü katsayıları
φ'	:Efektif kayma mukavemeti açısı,
φ_c	:Drene olmayan kohezyonlu zeminin içsel sürtünme açısı

ϕ_s	:Taş kolonun içsel sürtünme açısı
q	:Hesap yapılan derinlikteki ortalama gerilme
r	:Taş kolonun çapı
S'	:İyileştirilmemiş zeminin oturması
S	:iyileştirilmiş zeminin oturması
s	:Merkezden merkeze taş kolonlar arasındaki mesafe
S_F	:İyileştirilmiş zeminin emniyet faktörü
u	:Kayma yüzeyi üzerindeki ortalama boşluk suyu basıncı
z	:Zemin yüzeyinden itibaren derinlik
z_s	:Kayma yüzeyinin taş kolonu kestiği nokta ile taş kolonun üst noktası
α	:Göçme yüzeyinin eğimi / dilimin tabanıyla yatay arasındaki açı
β'	:Oturma azaltım faktörü
γ_{ort}	:Ortalama birim ağırlıktır
γ_s	:Taş kolonun birim ağırlığı
γ_c	:Kohezyonlu zeminin birim ağırlığı
γ_s	:Kohezyonlu zeminin doygun veya ıslak birim hacim ağırlığı
Δc	:Konsolidasyondan dolayı kohezyondaki artış
δ_m	:Her bir tabakanın yanal ötelenmesi
ΔM_d	:Taş kolondan oluşan kaymaya çalışan moment
ΔM_r	:Taş kolondan oluşan kaymaya karşı koyan moment
δ_n	:Her bir tabakanın oturmasını
μ_c	:Kilin gerilme azalış katsayısı
μ_c	:Kohezyonlu zeminin gerilme konsantrasyon faktörü
μ_s	:Taş kolondaki gerilmelerin konsantrasyon oranı
ν	:Poisson oranı
σ	:Dolgu yüklerinden dolayı dolgu zemin ara yüzeyindeki gerilme
σ_0'	:Zeminin başlangıçtaki efektif gerilmesini
σ_1	:Nihai düşey gerilme
σ_3	:Yanal çevre gerilmesi
σ_c	:Zemin içerisindeki gerilme
σ_h	:Taş kolonun silindirik yüzeyi üzerindeki yanal çevre gerilmesi
σ_s	:Taş Kolon içerisindeki gerilme

- σ_u :Kil Zeminin üst akma gerilmesi
 σ_z^c :Kohezyonlu zeminin kayma yüzeyi üzerine etkiyen düşey efektif gerilme
 σ_z^s :Taş kolonun kayma yüzeyi üzerine etkiyen düşey efektif gerilme
 τ_c :Kohezyonlu zeminindeki kayma mukavemeti
 τ_s :Taş kolondaki kayma mukavemeti
 k_h :Sismik katsayı
 g :Yerçekimi ivmesi
 ν :Poisson oranı
 ψ :Dilatasyon açısı
 λ^* :Modifiye sıkısma indeksi
 K^* :Modifiye şişme indeksi
 μ^* :Modifiye sünme indeksi

1. GENEL BİLGİLER

1.1.Giriş

Geçmişten günümüze gevşek zeminler büyük problem teşkil etmiş ve bu problemlerin ortadan kaldırılabilmesi için birçok iyileştirme yöntemi geliştirilmiştir. Özellikle ihtiyacın artması ve yeni yerleşim yerlerinin imara açılması ile yer yer problemlili alanlarında kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu durumun sonucu olarak zayıf zeminlerin kullanım ile birlikte pek çok mühendislik problemleriyle karşılaşmıştır. Problemlerin çözülebilmesi için birçok çözüm üretilerek kullanılmaya başlanmıştır. Aynı şekilde ülkemizde de bu yöntemler sıkça kullanılmaktadır [1].

Zemin iyileştirilmesindeki temel amaç ağır yük altındaki zeminin depremler ve toprak kaymaları gibi doğal afetler karşısında dayanımını koruyarak, üzerindeki yapıyı güvenli bir şekilde taşıyabilmesini sağlamaktır. Bu güvenli durumu sağlayabilmek için kullanılan pek çok zemin iyileştirme yönteminden biriside, zemine katkı maddesi ilave edilerek gerçekleştirilen bir yöntemdir. Taş kolonlar ile gevşek ve yumuşak zeminlerin iyileştirilmesi, taşıma gücünün artırılmasını, oturma özelliklerinin iyileştirilmesini ve sıvılaşma riskinin azaltılmasını amaçlayan bir yöntem olarak tanımlanabilir.

Bu yöntemin ilk olarak 19.yy'ın başlarında Fransa tarafından doğal zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra 20.yy'ın ortalarında Avrupa ve 20.yy'ın sonlarına doğru Amerika tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Geçmişten günümüze pek çok alanda uygulanan taş kolonlar, kullanıldığı bölgelerde oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

Ülkemizde ise bu yöntem son 15 yıldır yaygın olarak kullanılmakta ve genellikle taşıma gücünün artırılması ile zemindeki oturmaların azaltılması amacıyla uygulanmaktadır.

Taş kolonlar genel olarak yapının temel vasıtasıyla aktarılan yükünü gevşek zemin tabakasının altında bulunan sert zemine aktarılması ile zemini güvenli hale getirirler. Fakat bazen sert zeminin çok derinde bulunduğu yada hiç bulunmadığı durumlarda da taş kolonların yanal sürtünme kuvveti ve uç direncinden faydalanılarak zemin

iyileştirilmesi yapılabilir. Bu tür taş kolonlar sert zemine ulaşmaması sebebiyle “yüzen taş kolon” olarak adlandırılmaktadır.

Taş kolonların, uygulandıkları gevşek ve yumuşak zeminler üzerindeki etkileri birçok sayısal ve deneysel yöntem ile incelenmiştir. Günümüzde sonlu elemanlar yöntemine dayalı paket programlar geliştirilmiş olup, bu paket programlarla da taş kolonların gevşek ve yumuşak zeminler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca bütün bu yöntemleri karşılaştırmaları olarak içinde barındıran birçok çalışma yapılmıştır.

Geçmişten günümüze kadar yapılmış birçok çalışmada, taş kolonların statik yükler altındaki davranışları incelenmiş olup, dinamik yükler altındaki davranışlarının incelendiği çalışmaların sayısı diğer çalışmalara kıyasla azdır. Özellikle deprem tehlikesi altındaki bölgelerde uygulanan taş kolonların dinamik yükler altındaki taşıma gücü kayıplarının incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada özellikle belli derinliklerde ve belli aralıklarla yerleştirilmiş yüzen taş kolonlarla iyileştirilmiş zeminlerdeki taşıma gücü değişimleri Plaxis 2D sonlu elemanlar paket programı yardımıyla incelenerek, oluşturulan zemin modellerinin deprem yükü altındaki davranışları gözlemlenecektir. Ayrıca statik durumda elde edilen taşıma gücü değerleri ile dinamik yüke maruz kalmış zemin modellerinin taşıma gücü değerleri karşılaştırılarak, deprem yükü etkisi altındaki taşıma gücü kayıpları incelenecektir. Çalışmada farklı kohezyon değerlerine sahip zeminler ile farklı içsel sürtünme açılara sahip taş kolon malzemesi kullanılarak, daha detaylı bir karşılaştırma yapılması amaçlanmıştır. Bununla birlikte taş kolonlarda ve taş kolonlar arasında kalan kil malzemesi içerisinde oluşan gerilmeler oranlanarak, gerilme konsantrasyonları belirlenmiştir.

1.2. Konu İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Baumann ve Bauer (1974) yaptıkları çalışmada vibro-yerdeğiştirme ve vibro-öteleme metotlarının, zeminin granül yapısına bağlı olarak uygunluğunu incelemiştir [2].

Hughes vd. (1975) tekil olarak kullanılan taş kolonların sınır koşullarının grup halinde kullanıldığı takdirde farklılık gösterdiğini belirlemiştir. Grup taş

kolonların sınır koşulları birim hücre kullanılarak belirlenmiştir. Uygulanan yükün miktarına bağlı olarak taş kolonun denge durumuna geçebileceği tespit edilmiştir [3].

Priebe (1991) kayma kırılmalarının taş kolonlar ile güçlendirilmiş zeminlerde olduğunu belirlemiştir. İki farklı metot geliştirmiştir. İlk olarak kayma mukavemeti ve kohezyon parametrelerini eşdeğer olarak düşünerek temel taşıma gücünü teorik olarak hesaplamıştır. İkinci yöntemde ise temel genişliği ortalama kabul edilerek taşıma gücü, bloğun malzeme özellikleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Sonuç olarak bu iki metot kullanılarak zemin taşıma gücü belirlenmiştir [4].

Lee ve Pande (1994) kullanılan taş kolon malzemesi için homojen bir yapı oluşturarak, Mohr-Coulomb modeli aracılığıyla zemin için kritik durum modeline ilave yapmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda elde edilen verileri Stewart ve Wu (1993)'nun yaptıkları çalışmanın sonuçları ile kıyaslamışlardır [5].

Hu (1995) laboratuvar ortamında oluşturduğu modelden elde ettiği verileri Lee ve Pande'nin 1994'te yaptıkları homojen model ile karşılaştırarak, homojen modelin taşıma gücünün %20 daha yüksek kapasiteye sahip olduğunu belirlemiştir [6].

Christoulas vd. (1997) dolgu yapılan bir alanın altında bulunan kil zeminin taş kolon ile iyileştirilmesi hakkında çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada taş kolonların yol dolgusu yapılan alanlardaki iyileştirme etkisini, Dimaggio prensibi yardımı ile incelenmiştir. Ayrıca farklı zemin özellikleri, farklı dolgu malzemeleri, farklı geometrik dolgu şekilleri ve taş kolon yapıları kullanılarak, elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır [7].

Poorooshab ve Meyerof (1997), zemine uygulanan taş kolonlar ile kireç kolonların konsolidasyona karşı azaltıcı etkilerini gözlemlemişlerdir. Yaptıkları çalışmada taş kolonların aralıkları, yumuşak kil zeminin özellikleri, zeminin güçlendirilmesinde kullanılan taş kolon malzemesinin özellikleri ve yerleştirilme tekniklerine bağlı olarak uygulanan bölgedeki gerilmelerin etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, inşa edilen taş kolonların genişleme ve mukavemet gibi karakteristik özelliklerinin etkisi açıklanmıştır. Ayrıca bu duruma ek olarak taş kolonların oluşturulma aralığı ile

sıkıştırılma derecesinin de, kolon performansına büyük ölçüde etki ettiği belirlenmiştir [8].

Connor ve Gorski (2000), yaptıkları çalışmada SantaBarbara'da bulunan, Nojogui olarak bilinen mevkideki heyelan tarafından kapanmış yolun El Nino yağmurları gelmeden önce tamir edilip tekrar ulaşım açılabilmesi için pek çok farklı alternatif çözüm öne sürmüşlerdir. Bu önerilerden California Ulaşım Birimi tarafından kabul edilen, vibro taş kolon yöntemi olmuştur. Yöntemin kabulünün ardından 5 Mart 1998 tarihinde yapımına başlanan yol çalışmaları 24 Mart 1998 tarihinde son bularak, yol başarılı bir şekilde ulaşım açılmıştır. Yapılan güçlendirmede 90 cm çapında taş kolonlar kullanılarak, bir taş kolonun merkezinden diğer taş kolonun merkezine mesafesi 180 cm olarak kabul edilmiştir. Yapılan uygulama sonucunda yol belirli bir süre izlemeye alınmış ve taş kolon uygulanan bölümde herhangi bir problem gözlemlenmemiştir [9].

Christoulas vd. (2000) yumuşak ve gevşek kil zeminlerde taş kolon kullanarak güçlendirmiş ve iyileştirme yaptıkları bu modelleri laboratuvar ortamında test etmişlerdir. Basınçölçer ve piyozemetre kullanarak yatay gerilmeler ile zemin içerisindeki boşluk suyu basıncını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda Hughes ve Withers'in yaklaşımlarındaki taş kolonların kabarma durumuna benzer bir durum ile karşılaşmışlardır. Çalışma bu yaklaşımı doğrular nitelikte olmuş ve oluşan bu kabarmaların taş kolonun boyunun çapına oranının 2.5 ile 3 arasında olması koşulunda gerçekleştiği ifade edilmiştir [10].

Han ve Ye (2002) taş kolonun yerleştiği kuyu direnci ile zemindeki malzemenin taş kolona bulaşma etkisinin, oturma üzerindeki etkilerini hesaplayabilmek için bir çözüm üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada prensip olarak zeminin ve güçlendirmede kullanılan taş kolonun deformasyon durumunun tek boyutlu olduğu ve taş kolon elemanının içinde bulunduğu zemin malzemesine kıyasla daha fazla drenajlı elastik modüle sahip olduğu kabul edilmiştir. Taş kolon ile zemin arasındaki gerilme konsantrasyon oranının sebebinin belirlenmesinde, modifiye edilmiş konsolidasyon katsayısı etkili olmuştur. Yapılan çalışmada oturma üzerinde etkili olan taş kolonun geçirimsizliği, taş kolonun etki alanı, gerilme değerinin konsantrasyon değerine oranı, bulaşma alanının miktarı, bulaşma alanının geçirimsizliği ve uygulanan zeminin

kalınlığı olmak üzere 6 önemli faktör öne sürülmüştür. Bu çözümler göz önünde bulundurularak yapılacak olan yeni çalışmalarda mühendisler ışık tutacağı belirtilmiştir [11].

McKelvey (2002) yaptığı çalışmada kısa taş kolonlar üzerinde durmuştur. Rijit temeller altındaki kısa taş kolonlar üzerindeki incelemelerde iki adet deney yapmıştır. Deneylerin birinde zeminde kil malzemesi yerine şeffaf bir malzeme kullanmıştır. Diğerinde ise kaolin kili kullanarak taş kolonların birbiri üzerindeki etkilerini incelemiştir [12].

Bae vd. (2002) taş kolonların grup halindeki davranış biçimlerini incelemek için deney ve gözlemlerde bulunmuşlardır. Çalışma sonucunda elde ettikleri verileri daha önce sonlu elemanlar aracılığıyla yapılmış çalışma sonuçlarıyla karşılaştırarak, grup halindeki taş kolonların genel kayma gerilmesi açısından iyi sonuç vermediğini görmüşlerdir [13].

Kirsch ve Sondermann (2003) taş kolonlar ile güçlendirilmiş dolgu alanlarının stabilite ve gerilme dağılımını sayısal yöntemler ve arazi ölçümleri yardımıyla gözlemlemişlerdir. Yaptıkları çalışmadan anlaşılacağı gibi taş kolonlar dolgu yapılan bölgelerin stabilitesini artırmak amacıyla da kullanılmaktadır. Burada görüldüğü gibi gevşek kil dolgu zeminler taş kolonlar ile güçlendirilerek, dolgu üzerine güvenli bir biçimde inşa yapılması sağlanmaktadır. Güçlendirme işleminin tam ve doğru bir şekilde yapılabilmesi için taş kolon ile zemin ilişkisinin iyi anlaşılması, gerilme dağılımlarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Birçok çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da arazi ölçümleri ile sayısal analiz programlarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak gerçek ölçümler ile sayısal analiz programlarından elde edilen sonuçların benzer olduğu görülmüş ve bu benzerliğin kırılma mekanizmaları ve güvenlik faktörlerinde de olduğu tespit edilmiştir [14].

Adalier vd. (2003), yaptığı çalışmada taş kolonların siltli zeminlerde kullanılmasının sıvılaşma açısından önemini incelemiştir. Sıvılaşma sırasındaki etkiyi görebilmek için santrifüj testi yapmıştır. Çalışmanın odak noktası, taş kolonların yerleşimine göre değişen sıkıştırma etkisi olmuştur. Zeminin drenaj etkilerinden daha çok bu durum üzerinde durmuştur. İlk olarak taş kolon uygulanmamış zemin için daha

sonrada taş kolon ile güçlendirilmiş zemin için sürşarj yükü varken ve sürşarj yükü olmaksızın, olmak üzere dört adet birbirinden farklı deney yapmıştır. Taş kolon uygulanmış zeminlerde taş kolonların deformasyonlar ve boşluk suyu basıncı üzerinde etkisi, analizler yapılarak incelenmiştir. Çalışma sonunda sığ temeller altındaki plastik olmayan siltli zeminlere uygulanan taş kolonların zeminlerde sıvılaşma ve oturmaya karşı iyileştirmede 45 kPa'dan büyük efektif gerilmelerde etkili olduğu görülmüştür [15].

Özkeskin ve Erol (2004), yaptıkları çalışmada taş kolonlar ile güçlendirilmiş zeminlerde, taş kolonların gerilme deformasyon faktörlerinin arazi deneyleri yapılarak elde edilmesi üzerinde yoğunlaşmışlardır. 0.65 m çapındaki taş kolonlar 3m – 3.5m boyutlarındaki çelik sömeller altına, sıkışabilir killer içerisine tokmak yardımı ile yerleştirilmiştir. Sömeller üzerine 250 kPa'a kadar yük uygulanmıştır. Sonuç olarak yükleme deneyleri ve farklı kolon boyutları ile elde edilen veriler incelendiğinde 2.1 ve 5.6 aralığında değişen yük konsantrasyon faktörlerinin kolon uzunluğuna bağlı olmadığı ve düşey gerilme artışı ile kayda değer bir azalma meydana geldiğine ulaşılmıştır [16].

Adalier ve Elgamal (2004), son zamanlardaki, büyük can ve mal kayıplarına neden olmuş depremlerin meydana getirdiği hasarın sebebi olarak sıvılaşmayı göstermişlerdir. Sıvılaşmanın meydana getirdiği bu zararın taş kolonlar ile güçlendirme yapılarak azaltılabileceği konusu üzerinde çalışmışlardır. Bu konuda günümüzde kullanılan taş kolonla iyileştirme metotlarını birbirleriyle karşılaştırarak detaylı olarak incelemişlerdir. Çalışmada böyle kapsamlı bir incele yapılmasının sebebi ise taş kolonlarla güçlendirme yapılmasının sıvılaşma sırasındaki oynadığı önemli rolü tespit etmek, imal edilen taş kolonların tasarım ve inşası için standartlar belirlemek, son zamanlarda yapılmış çalışmalarını toplayarak bunlardan faydalı kaynaklar elde etmek olarak açıklanmıştır. Çalışma sonunda ise gelecekte yapılacak olan çalışmalara ışık tutacak önerilere de değinilmiştir [17].

Nalçakan (2004), yumuşak ve gevşek zeminlerin iyileştirilmesi üzerinde çalışmalar yapmıştır. Günümüz iyileştirme metotlarından kapsamlı bir şekilde bahsetmiş ve o tarihte inşası devam eden bir yapıda imal edilen taş kolonlardan da söz etmiştir. İnşası devam etmekte olan 27.000 m² alana sahip terminal binasının proje

kapsamında yapılan hesaplamalar sonucunda yapı ağırlığı 7 ile 12 t/m² aralığında olduğu belirlenmiştir. Yapının inşa edildiği alanda problemlili zeminin 7 m ye kadar olduğu ve bölgede yapılan SPT yapılarak elde edilen değerlerin 3 ile 25 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Problemlili olan 7 m lik kısmın, taş kolonlar ile iyileştirilerek sorunun çözülmesi kararlaştırılmıştır. İyileştirme yapılan bölgede 80 cm çaplı üçgen yerleşimli ve 60 cm çaplı 120 x 120 cm kare yerleşimli olmak üzere iki farklı şekilde güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Yapılan iyileştirme sayesinde zeminin taşıma gücü iyileştirme yapılmadan önceki değerine oranla 3 kat artmış, ayrıca konsolidasyon miktarında da %50 azalma görülmüştür. Oturma oranının azalması sayesinde, konsolidasyon süresinde de kısalma olmuştur [18].

Plomteux ve Porhaba (2004), yol yapımı sırasında oluşturulan dolguların stabil hale getirilmesi için derin temellerin kullanıldığından söz etmiş, ayrıca Fransa'da yol dolgularında sıklıkla kontrollü modül kolonların kullanımından bahsetmişlerdir. Yaptıkları çalışmada 202 adet CMC kolon kullanılarak oturmaların azaltılması konusu da ele alınmıştır. Bu kapsamda tasarlanan modellerin ilk kontrolleri Plaxis programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir [19].

Clemente vd. (2005), taş kolon kullanılarak güçlendirilmiş zeminlerin verimliliği hakkında bir çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında taş kolonlarla iyileştirilmiş zeminlerin performans tahkiki için üç boyutlu olarak çalışan ve sayısal analiz programlarından biri olan FLAC-3D isimli programdan yardım alınmıştır. Farklı taş kolon aralıkları (s/D) ve farklı zemin özellikleri kullanılarak kare dizimli taş kolonlar modellenmiştir. Sonuç olarak problemlili zemine uygulanan taş kolonlar arası mesafenin etkisi, uygulama derinliği ve uygulanan yükün altında bulunan taş kolonların sayısına bağlı parametreler aracılığıyla tespit edilmiş, ek olarak çalışmanın daha kapsamlı hale gelmesi için daha farklı taş kolon konfigürasyonları kullanılarak ilave analizler yapılması gerektiği konusuna değinilmiştir [20].

Heitz vd. (2005), yaptıkları çalışmada harçlı taş kolonlar ve geogridler kullanarak dolgu altındaki gevşek zemin tabakasını iyileştirmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Almanya'nın Berlin Hamburg şehirleri arasında bulunan 150 yıldır kullanılan bir otoyolun yüksek hızlı araçlar tarafından kullanılabilmesi için otoyol zemininin güçlendirilmesinin gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Bu bilgi

doğrultusunda otoyolun batı tarafının 13.km'sinde bulunan organik zemin, taş kolonlar ve geogridler ile iyileştirilmiştir. İlk olarak zemine çimento ile destekleniş taş kolon uygulanmış ve ardından bu taş kolonların üzerine bir tabaka geogridilave edilerek güçlendirme işlemi yapılmıştır. İyileştirme işleminin ardından kısa bir süre geçtikten sonra oturmalar ve taşlarda deformasyonlar oluşmuştur. Bu durum sebebiyle ve diğer birtakım gerekliliklerden dolayı ikinci bir iyileştirmeye ihtiyaç duyulmuştur. Üç boyutlu sayısal hesaplamalar ışığında yapılan bir takım araştırmalar, bu bölgeye uygulanacak en uygun kesite karar verilmesine yardımcı olmuştur. Böylelikle ikinci iyileştirme çalışmaları başlatılmıştır [21].

Maurya vd. (2005), taş kolonlara tekil ve grup halindeyken yükleme deneyleri yaparak, taş kolonların yük altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Tokmıklama yöntemi aracılığıyla oluşturulmuş taş kolonlar kullanarak, Hindistan'da bulunan termik santrallerin altında yer alan gevşek zemin iyileştirilmiştir. Yükleme deneyleri ile bu deneylerden elde edilen verilere çalışmada yer verilmiştir. İyileştirme işleminden sonra belirlenen oturma davranışları tespit edilerek, taş kolonların tekil halde ve grup halindeyken davranışları, izin verilebilecek oturma miktarları ile güvenlik faktörleri ele alınarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir [22].

Tan ve Khine (2005), iyileştirme yöntemlerinden biri olan taş kolonları sonlu elemanlar yöntemi kullanarak modellemiş ve analizler yapmışlardır. Günümüzde de taş kolonlar, sonlu elemanlar yöntemi kullanan bilgisayar programları aracılığıyla modellenerek uygulandıkları zemindeki davranışları daha iyi tahkik edilebilmektedir. Çalışmada modellenen zeminin düzlem şekil değiştirme durumu asimetrik model olarak oluşturulmuştur. Sonuçlar Han-Lee tarafından 2001 yılında yapılan çalışmadaki birim hücre yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Çalışmadaki sonlu elemanlar yöntemi daha sonra Malezya'daki Pantai otoyolunda da kullanılmıştır. Bu bölgedeki iyileştirme projesinde taş kolonlar kare yerleşim kullanılarak oluşturulmuştur. Daha sonra iyileştirilen arazideki oturma değerleri ölçülerek, sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen değerlerle karşılaştırılmış ve bu değerlerin birbirine çok yakın değerler olduğu görülmüştür [23].

Patel ve Shroff (2005), yaptıkları çalışmada taş kolonlar ile iyileştirilen koalinit killer üzerinde durmuşlardır. Yumuşak koalinit kil zemine üç adet farklı taş kolon (tamamen

taş kolon, kompozit taş kolon, yüzen taş kolon) uygulayarak deney modelleri oluşturulmuştur. İlk modelde 590 mm derinliğe sahip 80 mm çaplı tamamen taş kolon, ikinci modelde 340 mm derinliğe kadar 80 mm çaplı, takip eden 150 mm derinliğe kadar da 60 mm çaplı bir kompozit taş kolon oluşturulmuştur. Üçüncü modelde ise 340 mm derinliğine 80 mm çaplı, 150 mm derinliğinde 60 mm çaplı kum kolonlar ve 340 mm derinliğinde 80 mm çaplı yüzen taş kolonlar oluşturulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen veriler (taşıma gücü, kesme dayanımları, oturmalar) tablolar ve grafikler ile gösterilmiştir.[24]

Andreou ve Papadopoulos (2006), yaptıkları çalışmada taş kolonların yumuşak ve gevşek kil zeminlere uygulanması ve modellenmesini incelemişlerdir. Çalışmanın başlıca amacı taş kolon imalatında dikkat edilmesi gereken noktalar üzerinde durmak ve bu hususta önemli noktalara değinmektir. Bu kapsamda birçok pratik çözüm önerisi sunulmuştur. Taş kolonlar ile iyileştirme yapılmış zeminlerin durumunu daha iyi kavrayabilmek amacıyla birim hücre metodu doğrultusunda sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bir çok araştırma yapılmıştır. Bu yapılan hesaplamalar ve analizler ışığında, zemine ve taş kolona ait içsel sürtünme açıları, deplasman verileri ile gerilmeler üzerinde durulmuştur [25].

Murugesan ve Rajagopal (2006), yaptıkları çalışmada geosentetik malzeme kullanılarak çevrelenen taş kolonlar hakkında çözümler ile ilgilenmişlerdir. Yumuşak zeminlere uygulanan taş kolonların yanal kuvvetler karşısında direncinin düşük olduğu ve bu nedenle taşıma gücünü olumsuz yönde etkilediğini düşünerek, taş kolonları geosentetik malzeme ile çevreleyerek oluşturmuşlardır. Sonuç olarak geosentetik ile çevrelenen taş kolon içerisindeki gerilmenin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Taş kolonun üst kısmından alta doğru, çapın iki katı kadar uzunlukta sarılması ile uygulanan güçlendirmenin, taşıma gücü bakımından da benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak bu durum,geosentetik kullanılmadan oluşturulan taş kolonlar ile geosentetik takviyeli taş kolonların taşıma güçlerinin zeminin yanal doğrultuda desteklenmesiyle ilgili bir durum olmadığını ortaya koymuştur [26].

Al-Homoud ve Degen (2006), Marine Double-LockGravelPump isimli limanlarda kullanılan taş kolonların oluşturulma yöntemi hakkında bilgi vermişlerdir.

Geliştirilen bu yeni yöntem sayesinde depremler karşısında daha iyi performans gösteren taş kolonların inşası çok daha kısa bir sürede yapılabilmektedir. Taş kolonların su altında oluşturulması hakkındaki oldukça önemli kontrol yöntemleri, yeni geliştirilen bu sistem ile birlikte saha mühendislerine ışık tutacak ilkeler olarak sunulmuştur. Standartların çok yüksek tutulması normal şartlarda yüksek maliyetlere sebep olabileceken, aksine bu yeni geliştirilen yöntem sayesinde doğru bir uygulama yapılarak daha güvenli ve daha az dikkate ihtiyaç duyularak taş kolonların oluşturulabileceği belirtilmiştir [27].

Malarvizhi ve Ilamparuthi (2006), geogrid ile çevrelenmiş taş kolonlar modellemişlerdir. Genel itibariyle taş kolon uygulaması, gevşek ve yumuşak zeminlerde, zemini güçlendirmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bazen zemin malzemesi aşırı yumuşak kil olabilir ve bu nedenle göçmelerin oluşma ihtimali yüksektir. Bu tür durumlarda zeminde meydana gelecek hareketlenmeler taş kolonun dağılmasına sebep olabilmektedir. Bu olumsuz durumun önüne geçebilmek için taş kolonlar geogrid ile sarılarak daha dayanıklı hale getirilmiştir. Çevresine geogrid sarılarak desteklenmiş bu taş kolonlar, bir sonlu elemanlar programı olan Plaxis ile modellenerek deneysel ortam canlandırılmıştır. Modellerde kullanılan geogrid sadece çekmeye karşı dayanım göstermektedir. Çalışmada taş kolon ve kil modellenirken softsoil malzemesi ile MohrCoulomb modeli kullanılmıştır. Modellerde taş kolon çapları değiştirilerek deneyler tekrarlanmış ve sonuç olarak geogrid ile desteklenmiş taş kolonların performansının daha fazla olduğu görülmüştür [28].

Ambiliy ve Ganhi (2007), tekil taş kolon ve grup taş kolon davranışlarını, yedi adet taş kolondan oluşturdukları modelleri kullanarak, hem deneysel olarak hem de sayısal olarak gözlemlemişlerdir. Yaptıkları deneylerde taş kolonlar arası mesafe, yükleme şartları ile kil malzemesinin kayma dayanımı gibi farklılık gösteren parametreler kullanmışlardır. Tekil halde bulunan taş kolon modellerine, sadece taş kolon yüzeyine ve bütün modelin yüzeyine olmak üzere iki farklı yükleme uygulanmıştır. Öte yandan, modellenen grup halindeki taş kolonlara ise taş kolon aralıkları değiştirilerek ve grubun üzeri örtülecek şekilde yükleme yapılmıştır. Çalışmada yapılan deneylerin ve oluşturulan modellerin tamamı, bir sonlu elemanlar

programı olan Plaxis kullanılarak yapılmış ve elde edilen veriler arasında yakından bir ilişki olduğu görülmüştür [29].

Deb vd. (2007), taş kolonlarla güçlendirilmiş yumuşak kil zeminler üst bölümüne yerleştirilmiş granüler dolgu ile oluşturulmuş modelin ve bu dolgu üzerine uygulanmış geosentetik malzemenin davranışı üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada doygun halde bulunan kil malzemenin Kelvin-Voight modeline göre konsolidasyonu uyarlanmıştır. Ayrıca yaptıkları çalışmaya oturmaların taş kolonlar ile ilişkisi de dahil edilmiştir. Yalnızca taş kolon kullanıldığı ve taş kolon ile geosentetik malzemenin bir arada kullanıldığı olmak üzere iki tip farklı model oluşturulmuştur. Taş kolon ve geosentetik malzemenin birlikte kullanıldığı modellerde, temel genişliği ile geosentetik malzeme uzunluğunun oranları değiştirilerek, deneyler tekrar edilmiştir. Sonuç olarak taş kolon ile birlikte geosentetik malzeme kullanımının oturmaları azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca sayısal modeller ile yapılan hesaplamalardan elde edilen veriler, deney verileri ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür [30].

Black vd. (2007), yaptıkları çalışmada taş kolon uygulamasının turba gibi gevşek zeminlerdeki durumunun tespit edilmesini amaçlamışlardır. Çalışma deneysel olarak gerçekleştirilmiş olup üç farklı tabaka halinde zemin modeli kurulmuştur. İlk olarak taş kolon uygulanmadan deneyler yapılmıştır. Taş kolonsuz zeminler üzerinde yapılan deneyleri takiben, aynı modellere taş kolon uygulaması yapılarak deneyler tekrarlanmıştır. Oluşturulan son modellerde ise silindir şeklindeki tel borular içerisine yerleştirilen taş kolonlar, çimentodan imal edilmiş çubuklar ve başlıklar ile desteklenmiştir. Sonuç olarak farklı metotlar ile desteklenmiş taş kolonlardan oluşturulmuş modellerde büyük miktarda performans artışı görülmüştür [31].

McCabe vd. (2007), taş kolonlarla ilgili genel kavramlar üzerinde durmuşlardır. Bununla birlikte son yıllar içerisinde İrlanda'da taş kolonlar ile iyileştirilen bölgelerdeki zemin türleri ve bu zeminlerin hangi amaçla iyileştirildiği konusunda bilgi vermişlerdir. Ayrıca iyileştirilme yapılan bölgelerdeki oturmalarda hızlanma ve taşıma gücünde ise artma olduğu görülmüştür. Çalışmaların geneline bakıldığında, sonlu elemanlar programlarından biri olan Plaxis sayısal analiz programının, pek çok yerde kullanıldığı görülmüştür. Günümüzde de zemin mekaniği alanında, bilgisayar

ortamında yapılan hesaplamalarda Plaxis paket programının kullanımı oldukça yaygındır [32].

Guétif vd. (2007), yumuşak ve gevşek kil zemin içerisine vibro-kompaksiyon yöntemi kullanılarak imal edilen taş kolonların, Young modülü kullanılarak güçlendirilmesinin inceleneceği bir model önerisi sunmuşlardır. Çalışmada yumuşak kil zeminin birincil konsolidasyon oturmasının izin verildiği kompozit hücre düzeneği Plaxis sonlu elemanlar programından yararlanılarak oluşturulmuştur. Mohr-Coulomb modelinin plastik davranış gösteren malzemelerin sayısal analizi için çok daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiş ve güçlendirilmiş zeminlerin analizlerinde zemin özelliklerini daha doğru bir şekilde yansıttığı belirlenmiştir. Ek olarak yumuşak ve gevşek kil zeminlerde Young modülü uygulanan modellerdeki iyileşme oranının belirlenmesinde sayısal analizlerden faydalanılmıştır [33].

Deb vd. (2008), yaptıkları çalışmada taş kolonlarla güçlendirilmiş yumuşak kil zeminin üst bölümüne yerleştirilmiş granüler dolgu ile oluşturulmuş modelin ve bu dolgu üzerine uygulanmış geosentetik malzemenin davranışı hakkında incelemede bulunmuşlardır. İyileştirme yapılmış zeminlere, katmanlar halinde uygulanan geosentetiklere kıyasla tek doğrultuda uygulanan geosentetiğin daha yüksek dayanım sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte taş kolonsuz zemine katmanlar halinde uygulanan geosentetik malzemesinin, oturmaları kayda değer bir şekilde azalttığı gözlemlenmiştir [34].

Elshazly vd. (2008), yaptıkları çalışmada vibro-kompaksiyon yöntemi kullanılarak taş kolon oluşturulması sırasında meydana gelen zemin gerilmeleri ile taş kolonlar arası mesafenin birbiriyle bağlantısının olduğunu ortaya koymuşlardır. Yapılan deneylerde farklı taş kolonlar arası mesafeler kullanılarak ve farklı plaka yüklemeleri uygulanarak bu sonuca varılmıştır. Elde edilen verilen sağlamlasını yapabilmek amacıyla laboratuvar deneyleri ile saha çalışmalarından faydalanılmıştır. Bununla birlikte boşluk suyu basıncına ve zemindeki zamana bağlı deformasyonlarında hesaba katıldığı sonlu elemanlar metoduna da çalışmada yer verilmiştir. Çalışmada taş kolonlar arası mesafenin bir fonksiyonu olarak tanımlanmış gerilmelerin zemin içerisindeki değişimi, yatay gerilme ile düşey gerilmenin oranı olarak tarif edilmiştir.

Elde edilen bu oranın ise taş kolonlar arası mesafe ile doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir [35].

Vekli (2009), şev modellerinin taş kolonlarla iyileştirilmesi hakkında bir çalışma yapmıştır. Taş kolonlu ve taş kolonsuz olmak üzere birçok deney ve sayısal analiz yaparak şevlerin güvenlik durumu ve taşıma gücü ile ilgili incelemelerde bulunmuştur. Başlangıçta taş kolon uygulamadan sade kil zemin kullanarak hem laboratuvar ortamında hem de Plaxis sonlu elemanlar programı yardımıyla oluşturularak farklı şev açıları ve farklı $c/(\gamma H)$ oranlarıyla modellenip test etmiştir. Daha sonra bu modellere farklı s/D (Bitişik iki taş kolonun merkezleri arasındaki mesafe/Taş kolon Çapı) oranları kullanarak taş kolon uygulaması yapmıştır. Sonuç olarak taş kolon uygulamasının şevlerin stabilitesini farklı özelliklere bağlı olarak 1.18 ile 1.62 katı kadar artırdığı tespit edilmiştir [36].

Zahmatkesh ve Choobbasti (2010), yaptıkları çalışmada taş kolonlar ile iyileştirilmiş yumuşak kil zeminlerin davranışını incelemiştir. Tasarladıkları modelleri Plaxis sonlu elemanlar programı kullanarak analiz etmişlerdir. Yaptıkları hesaplarda Mohr-Coulomb modeli kullanılmıştır. Ara yüz elemanlarının kullanımı ile taş kolon ve kil zemin arasındaki ilişki gözlemlenmiştir. Gerilme artış oranı ve gerilme katsayıları (Settlement Reduction Ratio) hakkında tahminde bulunulmuştur. Kil zemin üzerinde yapılan taş kolon uygulamalarının ışığında taş kolonlar arası mesafe ile gerilme oranları incelenmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışmadan elde edilen veriler ile daha önce yapılmış benzer çalışmaların verileri karşılaştırılarak kontrol edilmiştir [37].

Yaswant A. Kolekar v.d. (2011), taş kolonların statik ve döngüsel yükler etkisi altındaki davranış mekanizmasını incelemek için, deniz kilinin içerisine uygulanan taş kolon ile oluşturulan modeli kullanarak deneyler yapmışlardır. Deniz kili içerisine uygulanan taş kolon 100 mm çapında olup, imalatta kullanılan kum malzemesinin dane boyutu 2 ile 8 mm arasında değişmektedir. Sonuç olarak taş kolon ile iyileştirilmiş zeminin statik ve döngüsel yükler etkisi altında performansının arttığı ve taş kolon elemanın döngüsel yükleri sönmemesi nedeniyle zemin dayanımındaki düşüşü engellediği görülmüştür [38].

Ataman (2011), zeminlerin darbeli taş kolonlar (geopier) ile iyileştirilmesi hakkında bir çalışma yapmıştır. Darbeli yöntem ile oluşturulan taş kolonların incelenmesinde iki aşamalı deney sistemi kullanılmıştır. Deney modellerinin oluşturulabilmesi için Yıldız Teknik Üniversitesi bünyesinde geliştirilen bir makine kullanılmıştır. Darbeli taş kolonların imalatı yapılmadan önce ilk olarak Rowe hücresi kullanılarak 100 kPa basınç verilerek konsolide edilmiş kil zemininden numuneler alınarak, bu numunelere dayanım ve konsolidasyon deneyleri uygulanmıştır. Oluşturulan modellerde kullanılan zeminler üzerine gerilme hücreleri ve oturma plakaları yerleştirmiş, bu sayede gerilmeler, boşluk suyu basıncı ve yükleme deformasyon değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında yapılan yükleme deneyi ile darbeli taş kolon uygulamasından elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bunun yanında taş kolonlarla iyileştirilmeyen zemin ile taş kolonlar ile iyileştirilen zemin karşılaştırıldığında, iyileştirme yapılmış zeminlerde deplasman değerlerinin 3.5-4 kat arasında daha yüksek değere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca darbeli taş kolonlar ile iyileştirilen zeminler incelendiğinde, taş kolona 30 cm mesafeden itibaren zemin dayanımındaki iyileşme oranının azaldığı görülmüştür [39].

Deb K. v.d (2011), yaptıkları çalışmada çok yönlü bir tasarım optimizasyon yöntemi kullanarak kil zeminlerde taş kolon tasarımı üzerinde durmuşlardır. Çalışma sonunda yumuşak kil zeminlere taş kolon uygulanmasında kullanılacak optimum dizayn parametreleri için bir metodoloji geliştirilmişti [40].

Kurt (2011), taş kolonlar ile darbeli kırma taş kolonların performanslarını arazide testler yaparak karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Çalışma yaptığı alanda üç farklı yöntem kullanılarak derinlikleri 6.5 m ve çapları 50 cm olan 4 adet taş kolon ile 4 adet darbeli kırma taş kolon oluşturulmuştur. Arazi deneyleri sonucunda elde edilen veriler, Plaxis 2D sonlu elemanlar tabanlı bilgisayar programıyla da modellenerek elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde öteleme metodu ile oluşturulan taş kolonların rijitliğinin ön delgi metodu ile oluşturulan taş kolonların rijitliğine oranla neredeyse 4 kat daha yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca darbeli kırma taş kolonların, normal taş kolonlara göre 2.2 ile 8.8 kat daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak darbeli kırma taş kolonların, normal taş kolonlara göre daha iyi taşıma gücü ve oturma kapasitesine

sahip olduğu görölerek, darbeli kırma taş metodunun etkili bir zemin iyileştirme yöntemi olduğu yapılan deneyler ışığında tespit edilmiştir [41].

Namal (2011), yaptığı tez çalışmasında yumuşak problemlı zeminlerin iyileştirilmesi konusunda birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında taş kolonlarla yapılan iyileştirme, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında imalat süresinin daha kısa olması, mevcut araç gereçlerle yapılabilmesi ve güvenilir olması bakımından daha kullanılabilir olarak görülmüştür. Ayrıca taş kolonun geotekstil malzemesi ile sarılarak desteklenmesiyle elde edilen geotekstil kaplı taş kolonların kullanımı, zemin dayanımını artırmak konusunda önemli bir yere sahiptir. Örgülü ve örgüsüz olmak üzere iki farklı şekilde uygulanan geotekstil kaplı taş kolonlar, günümüzde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Taş kolonun yerleştirileceği zeminde istenilen ölçüde duraylılığa sahip olmadığı durumlarda, Geotekstil Kaplı Taş Kolonlar (GEC) uygulaması yapılmaktadır. Geotekstil kaplı taş kolonlar, geotekstilin uç kısmına yerleştirilen bir plaka ile birlikte, zeminde gerekli görülen derinliğe kadar batırılıp tekrar yukarı çekilmesiyle inşa edilmektedir. Sonuç olarak çalışma kapsamında yapılan deney ve gözlemler ışığında, taş kolonların zemin iyileştirilmesindeki etkileri hakkında önemli bilgiler edinilmiştir [42].

Niroumand H. v.d (2011), 'Soil Improvement by Reinforced Stone Columns Based on Experimental Work' isimli yayınlarında, yakın tarihte yapılan taş kolonlar ile zemin iyileştirilmesinin deneysel olarak incelenmesi konusundaki çalışmaları bir arada toplayarak literatür taraması yapmışlardır. Yaptıkları çalışma taş kolon ile zemin iyileştirilmesi konusıyla ilgilenen araştırmacılar ve uygulama mühendisleri için faydalı bir derleme olmuştur [43].

Jin Man Kim v.d. (2012), yaptıkları çalışmada taş kolonlar ile iyileştirilmiş zemin modeli üzerine sarsma tablası yardımıyla sismik yük uygulayarak, taş kolonların dinamik yükler altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak taş kolon ile güçlendirilen zeminler, dinamik yükler altında önemli ölçüde deformasyonları engellediği gözlemlenmiştir [44].

Sünnetcioğlu M. E. (2012), uç tip ve yüzen tip olmak üzere iki farklı taş kolon ile iyileştirilmiş zemindeki temel oturmalarını ve bu oturmaların taş kolonlar tarafından

ne kadar absorbe edildiğini incelemek amacıyla deneysel çalışmalar yapmıştır. Yüzen taş kolonlar ile yapılan deneylerde taş kolonlar, temel genişliğine eşit ve temel genişliğinin iki katı ($L=B, 2B$) derinlikte uygulanmıştır. Deneyler 200 mm boyutlarındaki küp şeklinde bir tank içerisinde yapılmıştır. 70mm eninde ve 70 mm boyunda kare şeklindeki model temel altına uygulanan 20 mm çaplı dört adet taş kolon ile kurulan deney düzeneği yardımıyla, iyileştirilme etkileri incelenmiştir. Deneyler sonucunda taş kolonun derinliği arttıkça oturma miktarında azalma görülmüştür. Bununla birlikte taş kolon derinliği ($L=2B$) için bir limit değeri olduğu ve derinliği bu limit değerinden daha fazla olan taş kolonların, daha az miktarda oturmada iyileşme sağladığı tespit edilmiştir [45].

Adeli (2013), taş kolonların analizi konusunda öne sürülmüş yaklaşımlar hakkında genel bilgi veren bir çalışma yapmıştır. Sayısal ve analitik metotlar kullanılarak elde edilen veriler birbirleriyle karşılaştırılıp, sayısal metotların doğruluğu incelenmiştir. Bununla birlikte bir araziye uygulanması planlanan grup taş kolon projesinin tasarımı sayısal metotlar kullanılarak yapılmıştır. Birçok farklı analiz yapılarak parametrik bir çalışma oluşturulmuş ve taş kolonların çapı, taş kolonlar arası mesafe ve elastisite modülü gibi özellikler değiştirilerek, bu özelliklerin zemin iyileştirilmesindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında taş kolon uygulanacak bölge için en uygun taş kolon çapı ve yerleşimi tespit edilmiştir. Daha sonra taş kolonlarla iyileştirme yapılan zeminlerin sonlu elemanlar metodu kullanılarak modellenmesi konusundaki, eksenel simetrik durumdan düzlem deformasyon durumuna dönüştürme işlemi için oluşturulmuş iki basit eşleşme metodu konusunda bilgi verilmiştir. Ayrıca bu metotlar, üç boyutlu sayısal analiz programlarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Çalışma sonunda, eşleşme metotlarının kullanıldığı bir dolgu problemi, iki boyutlu ve üç boyutlu olarak analiz edilerek, buradan elde edilen sonuçlar araziden elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede, eşleşme metotlarının güvenilirliği incelenmiştir [46].

Das P. v.d. (2013), taş kolonlar kullanılarak doğal killi-siltli kum zeminlerin iyileştirilmesi konusunda çalışma yapmışlardır. Bununla birlikte geosentetik ile desteklenmiş taş kolonlar kullanılarak iyileştirilen zeminlerin davranışlarını da araştırmıştır. Sonuç olarak geosentetik kaplı taş kolonlarda, kolon çapı arttıkça

taşıma gücünün arttığı fakat zeminin katmanlı olması durumunda kolon çapı arttıkça taşıma gücünün azaldığı tespit edilmiştir [47].

Deb K. v.d. (2013), yaptıkları çalışmada dolgu içerisine uygulanan, geosentetik ile desteklenmiş taş kolonların davranışlarını incelemişlerdir. Bununla birlikte taş kolonların rijitliği konusuyla da ilgilenmişlerdir. Gerilme aksiyonuna dayanan bir yöntem kullanılmıştır. Çalışmada kullandıkları bu yöntem, diğer tasarım yöntemleriyle de karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Sonuç olarak geosentetik kullanımının taş kolon üzerindeki etkileri ile taş kolon çapı, problemlili zeminin derinliği gibi birçok parametreye bağlı olarak taş kolonların davranışları gözlemlenmiştir [48].

Ghazavi M. v.d. (2013), geosentetik ile desteklenmiş taş kolonların taşıma kapasitesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çapları 60 mm, 80 mm ve 100 mm olan ve çap uzunluklarının beş katı kadar derinliğe sahip taş kolonları, geosentetikli ve geosentetiksiz olarak teste tabi tutmuşlardır. Sonuç olarak geosentetik ile iyileştirilme yapılan taş kolonların taşıma kapasitesinin, iyileştirme yapılmayan taş kolonların taşıma kapasitesine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir [49].

Mirsalehi S. (2013), yaptığı çalışmada zeminde oluşan yüksek miktardaki boşluk suyu basıncı ve gerilmeleri analiz ederek, dolguya uygulanan taş kolonların hücre modeli üzerinde ve gerçek ölçekli olarak davranışlarını incelemiştir. Ayrıca dairesel gerilmeler ve kabarmalarla birlikte geotekstil takviyeli taş kolonların davranışları da gözlemlenmiştir. Deneysel taş kolonun çapı arttıkça oturmalarda azalma ve taşıma gücünde artma görülmüştür. En fazla oturma zemin yüzeyinde gerçekleşmiş ve derinlik arttıkça oturmalarda azalma olmuştur. Geotekstil ile iyileştirilmiş taş kolonlarda ise kullanılan geotekstilin dayanımına paralel olarak dayanımda artma, kabarmalarda ise azalma gerçekleşmiştir. Çalışma sonucunda taş kolon uygulanarak iyileştirilmiş zeminlerde konsolidasyon hızı ile taşıma kapasitesinde artma ve oturma miktarında azalma görülmüştür [50].

Raju K.V.S.B. v.d. (2013), taş kolonla iyileştirilmiş yumuşak kil zeminin döngüsel yükler altında davranışları incelemişlerdir. Plaka yükleme deneyi yaparak bu davranışları gözlemlenmişlerdir. Bununla birlikte geosentetik takviyeli taş kolonların

davranışı da incelenmiştir. Sonuç olarak döngüsel yükler altındaki taş kolonlarda elastik sıkışma faktörü C_u katsayısının, iyileştirilme yapılmamış yumuşak kil zeminlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca bu katsayının grup taş kolonlarda tekil taş kolonlara kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir [51].

Jeong-HoRyu ve Jin Man Kim (2013), yumuşak kil zemine taş kolon uygulayarak oluşturdukları deney düzeneğini, 1-g sismik kuvvetle sarsarak birçok test yapmışlardır. Bu testler sonucu elde edilen verileri kullanarak tablolar oluşturulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Deneyler sonucunda taş kolonların sismik yüklerle karşı zeminin dayanımı artırarak, sismik yükler sebebiyle oluşacak büyük gerilmeleri engellediği tespit edilmiştir [52].

Yıldırım C.H. (2013), özellikle taş kolonlar hakkında yapılmış çalışmaların detaylı olarak incelenmesi konusun da çalışmıştır. Bununla birlikte sayısal analizler yapılarak, taş kolonlarla iyileştirilmiş yumuşak kil zeminler üzerinde incelemelerde bulunulmuştur. Çalışmada temel olarak üç farklı tipte zemin modeli oluşturularak, parametrelerin zemin üzerindeki oturma azaltma etkileri gözlemlenmiştir. Sonuç itibarıyla bu üç farklı zemin durumu için benzer sonuçlar sağlanmıştır [53].

Yıldız M. (2013), yaptığı çalışmada taş kolonlarla iyileştirilen yumuşak kil zeminlerdeki kolon davranışları, sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelenmiştir. Daha çok taş kolonlarda oluşan gerilme dağılım faktörünün nümerik modelleme kullanılarak tespiti üzerinde durulmuştur. Modeller, Plaxis 2D bilgisayar yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Taş kolon derinliği, temel üzerine uygulanan yük miktarı ve kilin elastisitesi gibi verilerin değişiminin gerilme faktörü üzerindeki etkisini inceleyebilmek amacıyla parametrik bir çalışma ortaya konmuştur. Rijit ve bükülebilir temel kullanılarak yapılan analizler sonucunda, gerilme dağılımı faktörü değişimi sırayla 2.5 ile 5.0 ve 1.8 ile 3.0 arasında olduğu görülmüştür. Ayrıca uç direnci kolonları daha fazla gerilme dağılımı oranlarına sahipken, yüzen tip kolonlar birbirlerine yakın değerler vermiştir. Çalışmada sonuç olarak rijit temeller altında oluşan gerilme dağılım faktörlerinin bükülebilir temellerdekine oranla %30 daha yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir [54].

Ng K.S. ve Tan S.A. (2014), yaptıkları çalışmada birim hücre modelinden yararlanarak, sonlu elemanlar analizleri ile yüzen taş kolonlarla iyileştirilen zeminlerdeki karakteristik davranışları incelemiştir. Çalışmada genel olarak yüzen taş kolonun derinlik oranı değiştirilerek farklı analizler yapılmış, sonuç olarak ise yüzen taş kolon derinliğinin azalmasıyla ters orantılı olarak çökme miktarında ve konsolidasyon süresinde artma meydana gelmiştir [55].



2. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Geçmişten günümüze problemlı zeminler büyük sorun teşkil etmekte ve bu problemler ortadan kaldırılmadan zeminin kullanımını büyük can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Özellikle nüfusun artması bu alanların kullanımını zorunlu hale getirmiş olup, problemlı zeminlerin iyileştirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu sebepten ötürü problemlı zeminlerin iyileştirilerek, üzerine inşa edilen yapının güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin kullanılmasındaki temel amaçlar, taşıma gücünün artırılması, konsolidasyon hızının azaltılması, sıvılaşmanın ve oturmaların minimuma indirilmesi olarak sıralanabilir.

Genel olarak bu yöntemler;

1. Mekanik yöntemler
2. Hidrolik yöntemler
3. Fiziksel ve kimyasal yöntemler
4. Donatılandırma

olmak üzere dört ana başlık altında incelenebilir [56].

Kullanılan bu yöntemlerden bazıları sadece tek tip zemin için uygunken, bazı yöntemler birçok zemin türü üzerinde uygulanabilmektedir. Bu kapsamda kohezyonlu ve taneli zemin türleri için hangi yöntemin ne amaçla kullanılacağı Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Kullanım Amaçları [57].

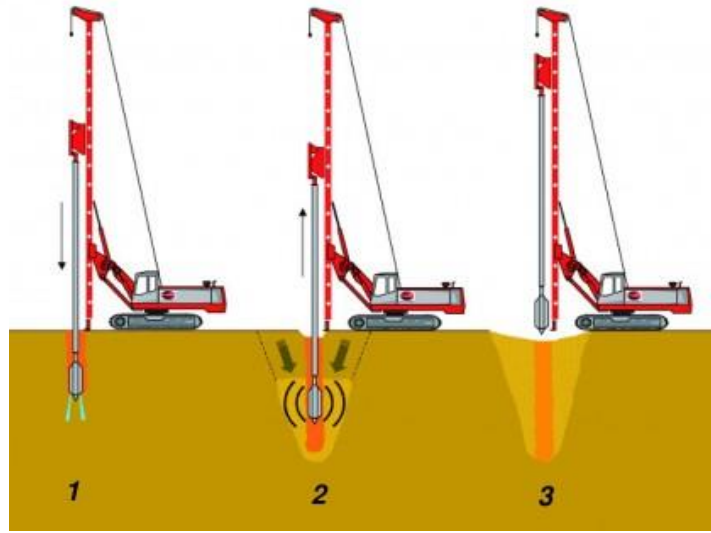
ANA YÖNTEMLER		YÖNTEMLER	ZEMİN TÜRÜ		ZEMİN İYİLEŞTİRİLME AMACI					
			Daneli	Kohezyonlu	Taşınma Gücü	Oturma Kontrolü	Stabilite (Duraylılık)	Çevresel Nedenler	Sıvılaşma	Su Akımını Kesme
Sıkıştırma	Vibrokompaksiyon (Titreşimli Sıkıştırma) Yöntemleri	Vibro Sondalar	**		*	*			**	
		Kum Sıkıştırma Kazıkları (SCP)	**		*	*			**	
		Vibroflotasyon	**		*	*			**	
		Sıkıştırma Kazıkları	**	**	**	**			**	
	Statik veya Dinamik Şok	Dinamik Kompaksiyon	**	*	**	**		*	*	
		Patlatma	**		*	*			**	
Yapay Drenler Kullanılarak / Kullanılmaksızın Önyüklemeye ile Konsolidasyon		Aşırı Dolgu ile Ön Yükleme		*	*	*				
		Yeraltısu Seviyesinin Düşürülmesi ile Ön Yükleme		*	*	*				
Zemin Güçlendirme		Taş Kolonlar	*	**	**	**	**		**	
		Kireç Kolonlar		*	**	**	**	*		
		Derin Karıştırma	*	*	**	**	**	*	**	*
Zemin Enjeksiyon Teknikleri		Permeasyon (Sızdırma-Emdirme) Enjeksiyonu	*		*	*	*	*	*	*
		Çatlatma (Yapraklanma) Enjeksiyonu		*	*	**		*		
		Kompaksiyon Enjeksiyonu	*	*	*	**			**	
		Jet Enjeksiyonu	**	*	**	**	*	*	**	*
<p>* Daha az sıklıkla uygulanan zemin tipi veya daha az yaygın amaç ** Daha sıklıkla uygulanan zemin tipi veya ana ve daha yaygın amaç</p>										

2.1 Mekanik Yöntemler

2.1.1. Titreşimli (Vibro) Kompaksiyon

Vibroflotasyon olarak da bilinen bu yöntemde zemine dışardan titreşim uygulanarak zeminin daha sıkı ve daha dayanıklı hale getirmek amaçlanır. Zemine titreşim uygulanarak sıkıştırma yapılabilmesi için içeriği kum bakımından zengin olmalıdır. İnce daneli zeminler titreşim etkisini absorbe edeceği için içeriği kil ve silt bakımından zengin olan zemin türleri için uygun bir yöntem değildir.

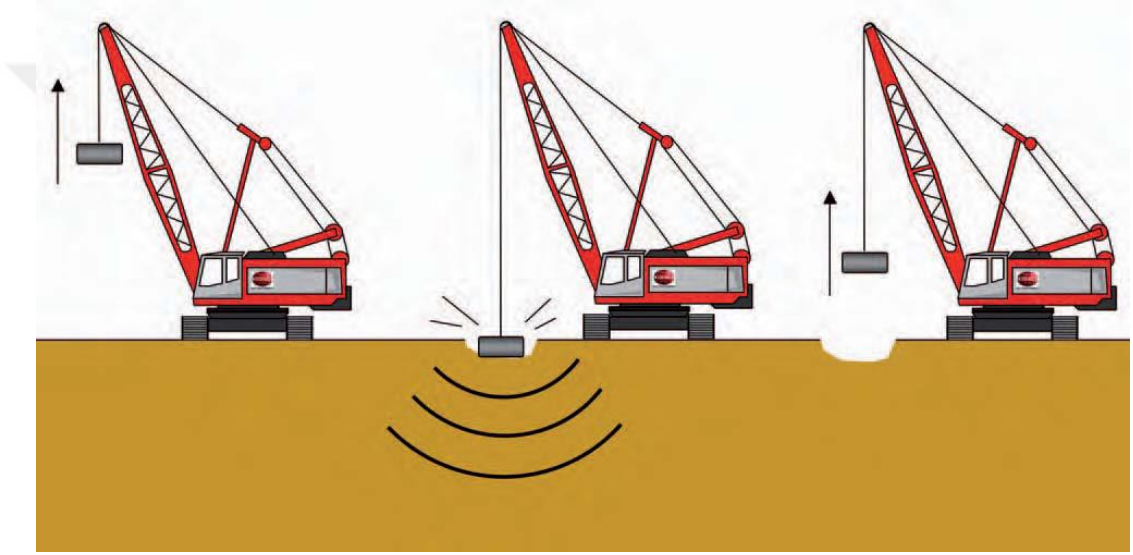
Bu yöntemde dışardan malzeme eklemesi yapılmayarak hali hazırda bulunan zemin danelerinin birbirine yaklaşması sağlanır ve sıkıştırma işlemi bu şekilde gerçekleşir. Danalar arasındaki boşluğun azaltılması için titreşim ile birlikte su ve/veya hava jeti kullanılır. Örnek bir uygulama Şekil 2.1’de verilmiştir. Geçmişten günümüze pek çok alanda kullanılan bu yöntem taş kolon imalat yöntemlerinden biri olduğu için çalışmada kullanılan zemin iyileştirme yöntemi olan taş kolonlar konusu içinde daha detaylı olarak anlatılacaktır.



Şekil 2.1. Titreşimli Kompaksiyon [58]

2.1.2. Dinamik Kompaksiyon

Dinamik yöntemde zemine belirli bir yükseklikten tekrarlı olarak serbest düşmeye bırakılan ağır bir kütle kullanılarak, zeminin ani bir şekilde sıkışması sağlanır. Serbest düşme sonucu meydana gelen sıkışmış bölgenin yoğunluğu artarak daha stabil hale gelmektedir. Genellikle serbest düşüş 10 m ile 30 m aralığında, serbest düşmeye bırakılan kütlelerin ağırlığı 10 ton ile 40 ton aralığında ve sıkışma işlemini yapmakta kullanılan vinçlerin ağırlığı ise 80 ton ile 120 ton aralığında değişmektedir. Şekil 2.2’de dinamik kompaksiyon uygulamasına örnek verilmiştir.



Şekil 2.2. Dinamik Kompaksiyon Yöntemi. (Me'nard Kompaktörü) [59].

Bu yöntem daha çok, yüksek kohezyon özelliği gösteren zeminler için uygun olmakla birlikte, serbest düşme sırasında uygulama bölgesinde yüksek miktarda titreşim meydana gelmektedir. Bu titreşimler çevredeki mevcut yapılara zarar verebileceği için uygulama sahasının yakınlarında herhangi bir yapının bulunması tehlike arz etmektedir.

Dinamik kompaksiyon yönteminde kullanılan kütlelerin ağırlığı ve serbest düşme yüksekliği ile yapılabilecek sıkıştırma oranı değişiklik göstermektedir. Kullanılacak kütlelerin ağırlığı, serbest düşme yüksekliği ve zemindeki kompaksiyon oranı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi oluşturulmuştur;

$$D = n \cdot (W \cdot H)^{0.5} \quad (2.1)$$

Burada;

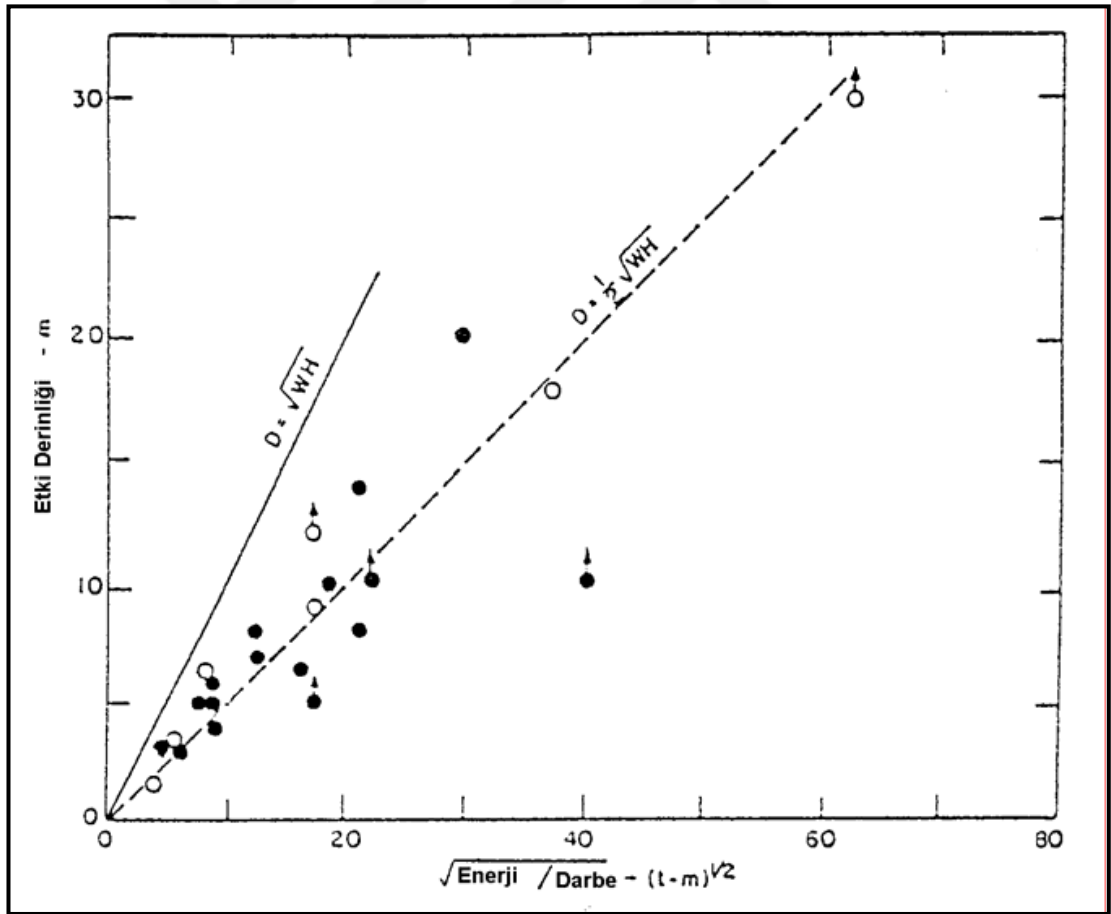
D : İyileştirilme derinliği (metre)

W : Tokmak ağırlığı (ton)

H : Tokmağın düşme yüksekliği (metre)

n : Ampirik katsayı ($n < 1.0$)

Bağıntıdaki n katsayısı, kütle ağırlı ve serbest düşme yüksekliği dışındaki sıkıştırma derinliğini etkileyen diğer faktörleri kapsamaktadır. 0.3 ile 0.6 arasında değişen n katsayısının değeri Tablo 2.2’de verilmiştir. Bununla birlikte tokmağın düşmesiyle oluşacak enerji ile iyileşme etki derinliği arasında ilişki Şekil 2.3’te gösterilmektedir [57, 60].



Şekil 2.3. Dinamik Kompaksiyonun Etki Derinliği [60].

Tablo 2.2. Zemin Türüne Bağlı n Faktörünün Değişimi [60].

Zemin Türü	Suya Doymuluk Oranı
Geçirimli Zeminler- Granüler Zeminler	Yüksek
	Düşük
Yarı Geçirimli Zeminler- Siltler (plastisite indisi < 8)	Yüksek
	Düşük
Geçirimsiz Zeminler- *Killer (plastisite indisi > 8)	Yüksek
	Düşük
*Zemin plastik limitinden daha düşük su muhtevasında bulunmalıdır	

2.2. Hidrolik Yöntemler

2.2.1. Taş Kolonlar

Taş kolonlar ilk olarak 1835 yılında Fransız ordusunda görev yapan mühendisler tarafından askeri yapıların zeminlerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Uygulama, zemine 2 m derinlikte belirli bir çapta delik açılarak, bu deliklerin kırma taşla doldurulması ile yapılmıştır. Bu yöntem kullanılarak 10 kN taşıma kapasitesine sahip taş kolonlar yapılabilmektedir [61].

Daha sonra uzun bir süre taş kolon uygulaması yapılmamakla birlikte 1939 yılında Almanya’da yeniden kullanılmaya başlanmıştır. Ardından taş kolon uygulaması 1950 yılından bu yana Avrupa genelinde ve 1972 yılından bu yana da Amerika’da yaygın bir şekilde kullanım alanı bulmuştur [36].

Günümüzde de taş kolon yöntemi, gevşek kohezyonsuz zeminlerin sıkıştırılmasında ve yumuşak kohezyonlu zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla, farklı çap ve derinlikte imal edilebilmektedir. Diğer pek çok iyileştirme yöntemine göre uygulama aşaması daha hızlı ve daha ekonomik olduğu için tercih edilmektedir.

Taş kolonla zemin iyileştirilmesi yapılarak genel olarak, zeminin taşıma gücünü artırmak, konsolidasyon süresini, oturmaları ve sıvılaşma potansiyelini azaltmak amaçlanır. Ayrıca taş kolonların çok geniş kullanım alanları bulunmaktadır.

Bu kullanım alanları;

1. Dolgu ve şev stabilizasyonu
2. Köprü ayağı vb. yapıların güçlendirilmesi
3. Sıvılaşma potansiyelinin azaltılması
4. Heyelan tehlikesi olan bölgelerin stabilizasyonu
5. İhtiyaç duyulan bölgelerde konsolidasyon süresinin kısaltılması

olarak sıralanabilir [62].

2.2.1.1. Taş Kolon İmalat Yöntemleri

Taş kolon imalatında dolgu malzemesi olarak genelde kırma taş kullanılmakla birlikte, mermer, tuğla, beton ve briket kırıkları da dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Burada önemli olan dolgu olarak kullanılacak malzemenin uygulanacak zeminle herhangi bir kimyasal tepkimeye girmemesidir. Bu nedenle zemine uygulanan taş kolonun, beklenen performansı sağlayabilmesi için doğru dolgu malzemesinin seçimi büyük önem arz etmektedir. Taş kolon imalatının ilk adımında uygulanacak zemine istenilen derinlikte bir delik açılır. Açılan bu delik dolgu malzemesi ile doldurulur ve son olarak da sıkıştırma işlemi yapılarak taş kolon imalatı tamamlanmış olur.

Mühendislik alanının gelişmesiyle birlikte taş kolon imalatında birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunula birlikte her yöntem farklı tipte zeminler için uygun görülmektedir. Bu nedenle taş kolonlarla iyileştirilecek sahanın zemin özellikleri kullanılacak yöntemin seçimi için oldukça önemlidir.

Taş kolonların imalat yöntemleri;

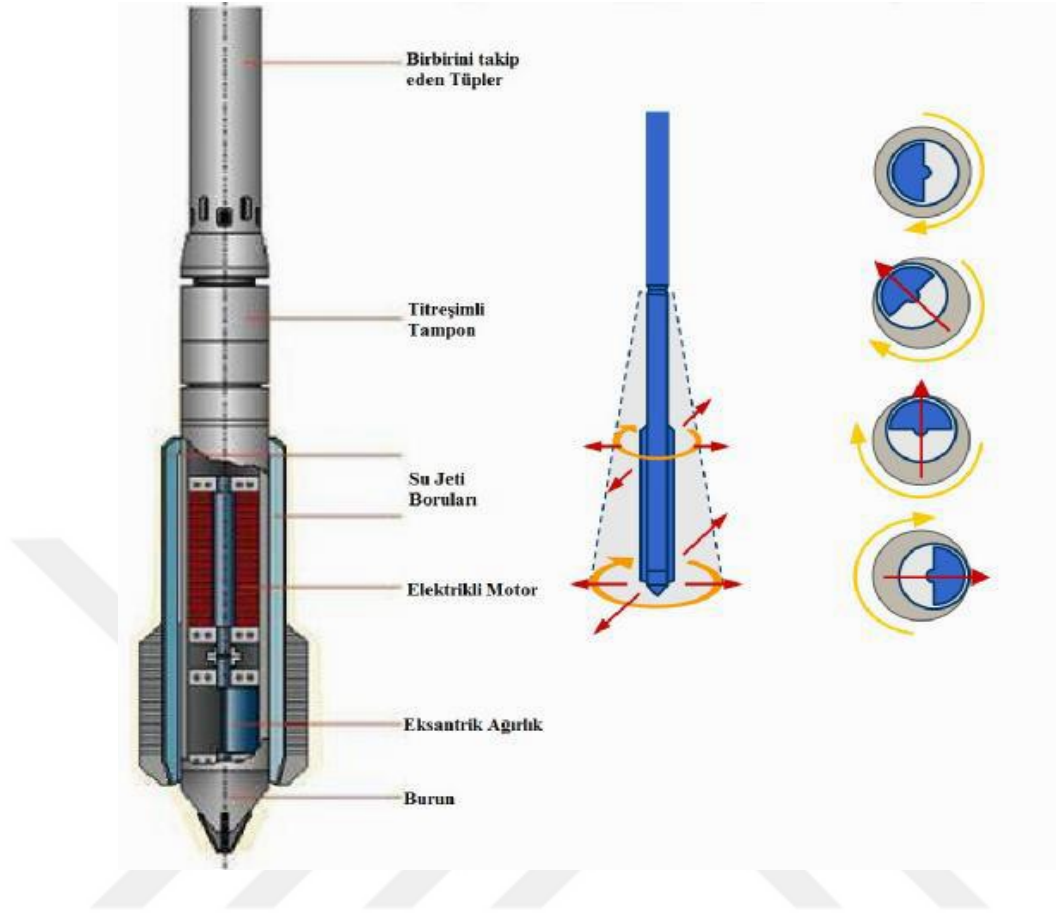
1. Vibrokomaksiyon (Vibroflotasyon) yöntemi
2. Tokmaktama yöntemi

olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir.

2.2.1.1.1. Vibrokompaksiyon Yöntemi (Vibroflotasyon)

Vibrokompaksiyon yöntemi aynı zamanda vibroflotasyon olarak da isimlendirilmektedir. Gevşek granüllü zeminlerin sıkıştırılması ile gerçekleşen işlemde 58 metreye (şuana kadar uygulanmış en derin mesafe) kadar sıkıştırma yapılabilmektedir. Bu zemin sıkıştırma yöntemi Hong Kong'ta Chek Lap Kok Havaalanı için çok geniş bir alanın iyileştirilmesinde kullanıldıktan sonra popülerlik kazanmıştır. Diğer yöntemlere göre daha ekonomik ve yapım süresi daha kısadır. Vibrokompaksiyon özellikle deprem bölgelerindeki zemin akışkanlıkları dikkate alındığında derin temellere göre ekonomik bir alternatiftir. Ayrıca derin granüllü zeminleri vibratörlü sondajlar ile sıkıştırma yöntemidir. Bu sıkıştırma yöntemi ile zeminin taşıma gücü artırılır. Yerleşim alanı, zemin makaslama gücü, zeminin akmaya karşı dayanımı artırılır. Vibrokompaksiyon gevşek granüllü zeminin vibrasyonlu sondajların belli bir sıra ve düzende yapılması ile sıkışık bir formasyona getirilmesini sağlar. Sondaj kalıplarının zemin ile penetrasyonu sondanın ucunda zemine uygulanan su jeti vasıtasıyla sağlanmaktadır [63].

Vibrokompaksiyon yönteminde vibroflot adı verilen titreşimli deliciler kullanılarak sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Vibroflotlar vibratör ve tamamlama borusu olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Şekil 2.3'te bir vibroflotun önemli bölümleri şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.4. Vibroflotun Önemli Bölümleri [64]

Şekil 2.4'te de görüldüğü gibi vibroflot kendi eksen etrafında 360° dönerek zemin içerisine doğru batırılır ve geçtiği bölgeleri sıkıştırarak ilerler. Bu nedenle uygulama öncesi delme işlemi yapılmasına gerek yoktur. Vibrokompaksiyon yöntemi ile taş kolon uygulaması günümüzde birçok ülkede etkin bir şekilde kullanılmakla birlikte, imalat ve kontrol aşamaları TS EN 14731 sayılı Avrupa ve Türk Standartları ile tanımlanmıştır. Yöntemin birçok avantajının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

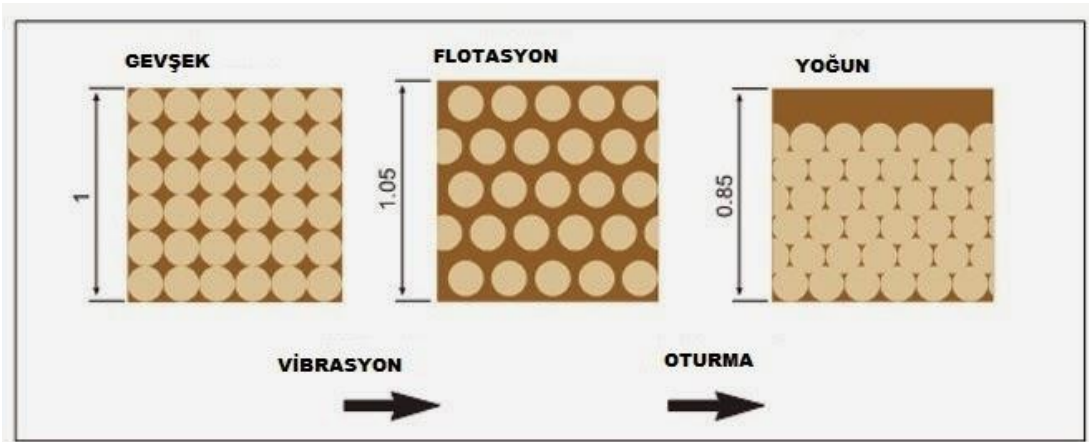
Vibrokompaksiyon yönteminin avantajları;

1. Diğer zemin iyileştirme yöntemlerine kıyasla çok daha ekonomik ve kısa sürede uygulanabilme kolaylığı ile de yapım planında zaman kazanılmasını sağlamaktadır.

2. Zemin daha iyi bir malzeme ile yer değiştirmeden veya nakil yolu ile uzaklaştırılmadan sıkıştırılarak iyileştirilmektedir. Etrafta mevcut yapılar varken de bu yöntem güvenle uygulanabilir
3. Vibrokompaksiyon yönteminde dinamik kompaksiyon gibi şok dalgalar ile zemin sıkıştırma yapılmadığı için etraftaki mevcut yapılara zarar vermez.
4. Kompaksiyon noktaları eşit aralıklı üçgen gridler şeklinde 2.5m'den 4.5m'ye kadar mesafelerde olur. Bu mesafeler projelendirmede özel olarak detaylandırılmaktadır. Zeminin ne kadar gclendirildiği testler ile llebilmektedir [63].

Vibrokompaksiyon yönteminin dezavantajları ise vibrokompaksiyon ile zemin en çok %12 ila %15 kadar sıkıştırılabilmesidir. Bu nedenle vibrokompaksiyonun etkili olabilmesi için minimum dikey stresin olması gerekmektedir. Yüzeyde bu etki engellenemediği için zemin yüzeyinin silindir ile sıkıştırılma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.[63].

Yöntemin uygulama aşamasında, bir vibratör belirli bir grid ve ara mesafe ile sistematik olarak zemin içerisine düsey olarak indirilir. Vibratrn içerisinden geçtiği zemin vibrasyon etkisi altında geçici olarak sıvılaşma durumuna ulaşır ve sonrasında zemin danelerinin daha sıkı bir biçimde yerleşmesi temin edilir. şekil 2.5'te danelerin vibrasyon öncesi ve vibrasyon sonrası durumu şematik olarak görülmektedir [65].

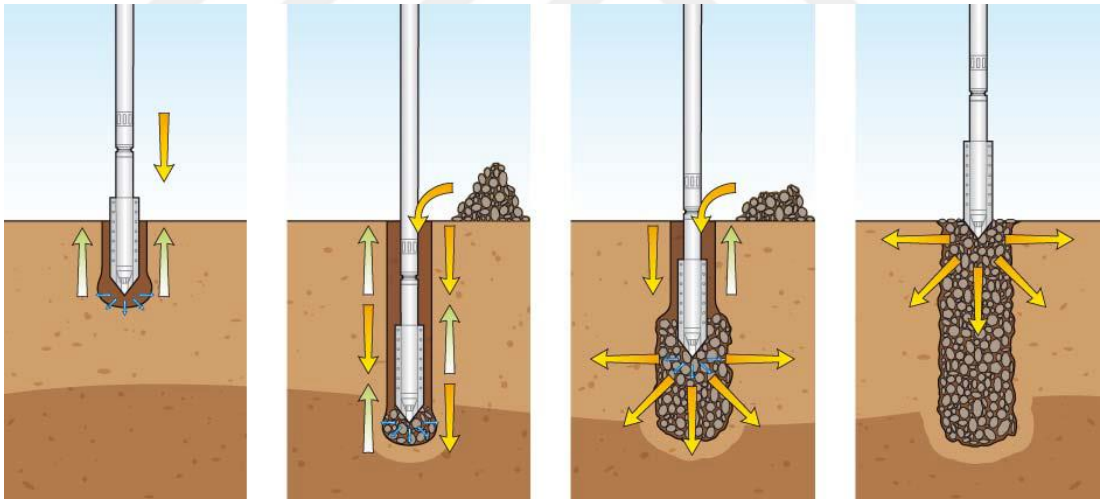


şekil 2.5. Danelerin Vibrasyon ncesi ve Sonrası Durumu [65].

Vibrokompaksiyon genel olarak üçgensel grid ile, ıslah edilecek zemin tipi, ıslah öncesi zemin yoğunluğu ve hedeflenen sıkışma miktarı, kullanılacak vibartör tipi (gücü, vibrasyon salınım amplitüdü, eksantrik kuvvet) ve sıkıştırma prosedürü (geçiş tekrar yüksekliği, sayısı vb) gibi parametrelere bağlı olarak, tipik ara mesafeleri 2.5 m ila 5.5 m olacak şekilde uygulanır [65].

2.2.1.1.2. Vibro-Yerdeğiştirme Yöntemi (Yaş Üstten Beslemeli)

Vibr-yerdeğiştirme yönteminde, vibroflotun kendi ağırlığı, uyguladığı titreşim etkisi ve su jeti yardımı ile zemin içerisinde istenilen derinliğe kadar indirilir. Daha sonra zemin içerisine saplanmış vibroflotun bulunduğu yere üstten taş kolon malzemesi ile belirli tabakalar halinde (40-80 cm) besleme yapılarak sıkıştırılır ve taş kolon imalatı gerçekleştirilmiş olur. Yöntem ilk kez 1970'lerde Almanya'da kullanılmıştır. Vibro-yerdeğiştirme (yaş üstten/tepeden beslemeli metot) yöntemine örnek Şekil 2.6'da verilmiştir.

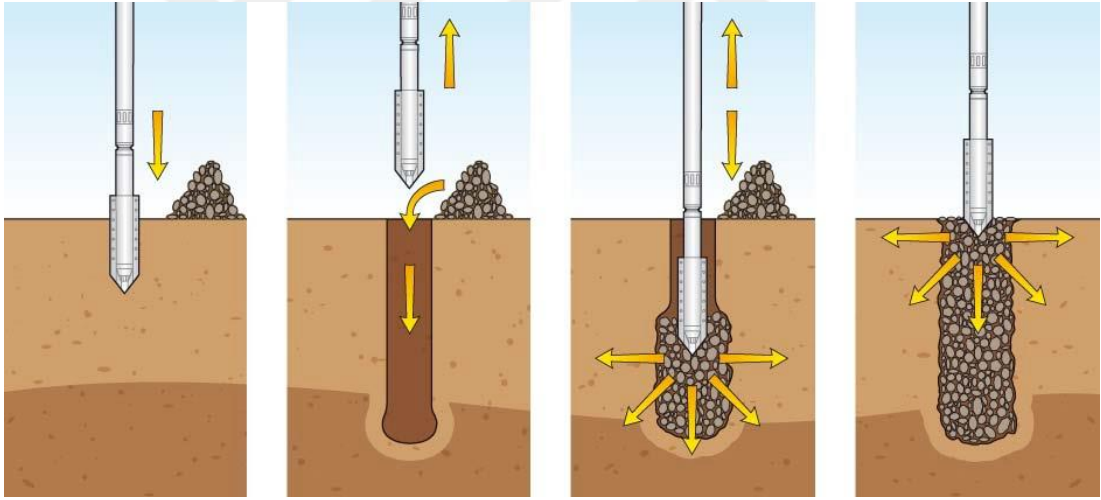


Şekil 2.6. Vibro-Yerdeğiştirme Yöntemi [66].

Vibro-yerdeğiştirme yöntemi yer altı su seviyesinin (YASS) yüksek olduğu bölgelerde, kohezyonsuz zeminler ile sert veya yumuşak birçok zemin türünde uygulanabilmektedir. Uygulama sırasında sıkıştırma işleminde su büyük rol oynar. İşlemin yapılabilmesi için bol miktarda suya ihtiyaç duyulur. Bu nedenle vibro-yerdeğiştirme yöntemi kullanılarak iyileştirilme yapılacak bölgenin herhangi bir su kaynağına yakın olması tercih edilir.

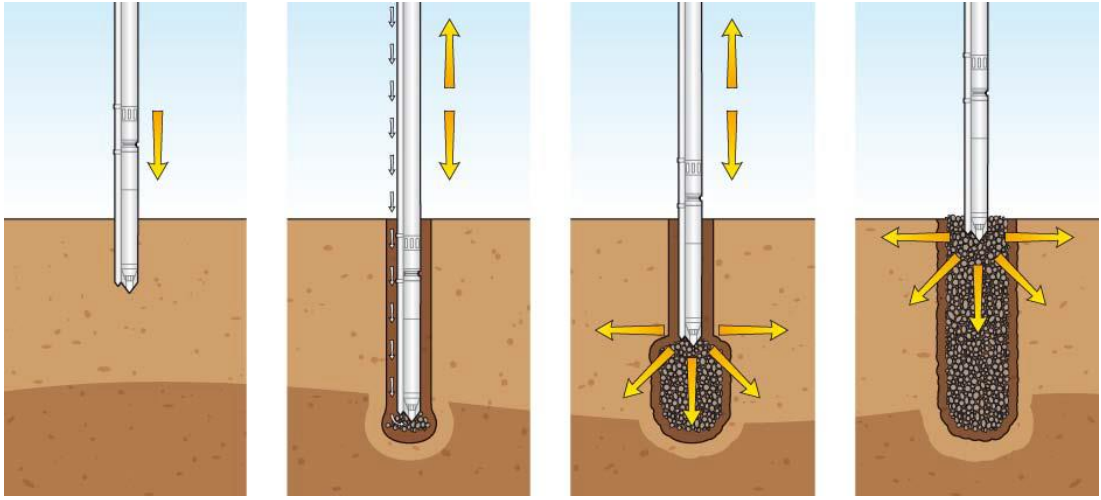
2.2.1.1.3. Vibro-Öteleme Yöntemi (Kuru Üstten/Alttan Beslemeli)

Vibro-öteleme yönteminde vibro-yerdeğiştirme yönteminden farklı olarak basınçlı su yerine hava kullanılmasıdır. Uygulamada su kullanılmadığı için “kuru metot” olarak da bilinir. Özellikle suyun bulunmadığı sahalarda bu yöntem tercih edilebilir. Daha çok sert zeminlerde uygulanan bir yöntemdir. Uygulamada ilk olarak vibroflot, kendi ağırlığı, basınçlı hava ve titreşim etkisi ile zeminde istenilen derinliğe indirilir. Sonda işleminin ardından vibroflot kuyudan çıkarılarak tepeden taş kolon malzemesi belirli tabakalarda ilave edilir. Yapılan her malzeme ilavesinin ardından, vibroflot kuyu içerisine indirilir ve taş kolon malzemesine titreşim uygulanarak sıkıştırma işlemi yapılır. Böylelikle taş kolon imalatı tamamlanmış olur. Bu uygulama “üstten beslemeli metot” olarak bilinmektedir. Kuru üstten beslemeli yöntem Şekil 2.7’de verilmiştir.



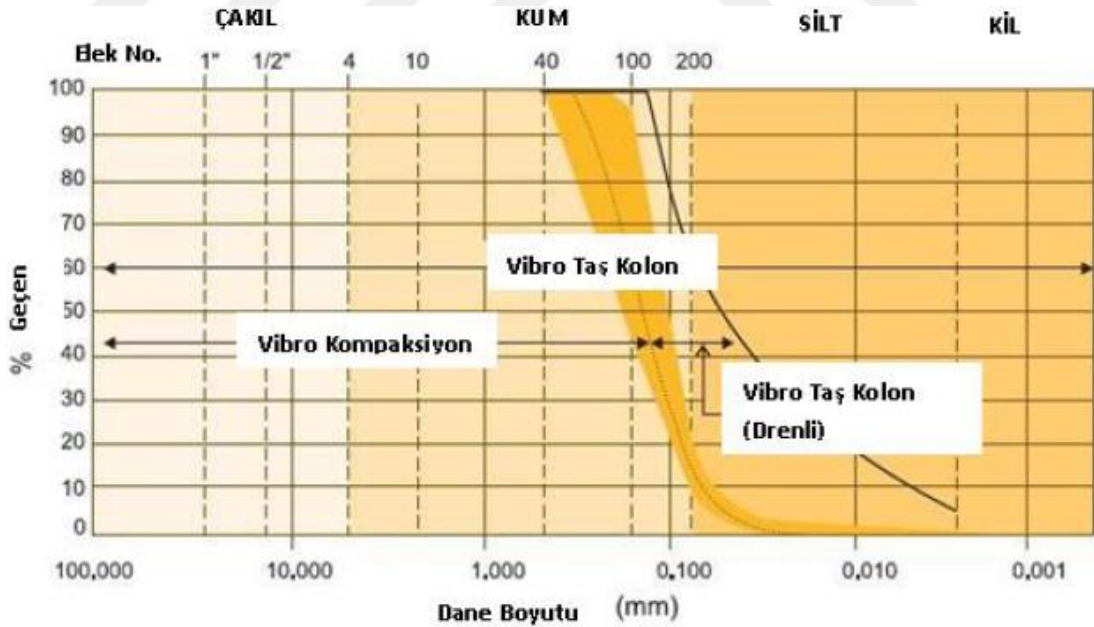
Şekil 2.7. Vibro-Yerdeğiştirme Yöntemi (Üstten Beslemeli)[66].

Vibro-öteleme yöntemi vibroflotun uç kısmına taş kolon malzemesi verilerek de yapılabilir. Bu uygulama “alttan/dipten beslemeli metot” olarak bilinmektedir. Uygulama, vibrasyon ve basınçlı hava ile zemin içerisinde belirli derinliğe indirilen vibroflotun uç kısmına taş kolon malzemesi aktarılır. Tabakalar halinde serilen taş kolon malzemesi titreşimle sıkıştırılarak imalat tamamlanmış olur. Kuru alttan beslemeli yöntem Şekil 2.8’de örneklenmiştir.



Şekil 2.8. Vibro-Yerdeğiştirme Yöntemi (Alttan Beslemeli)[66].

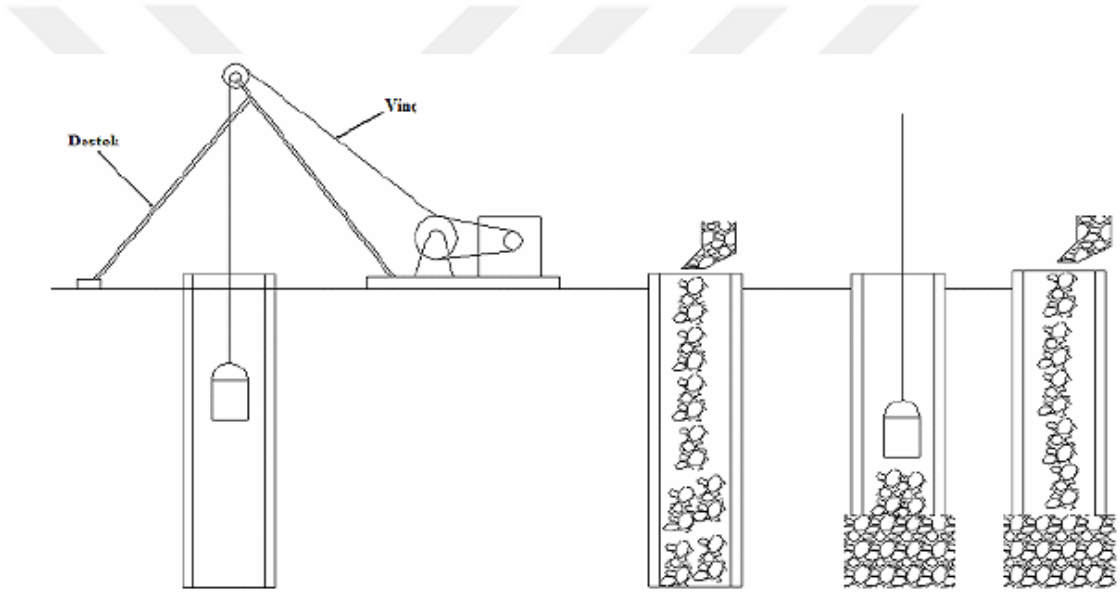
Görüldüğü üzere farklı vibrasyon teknikler farklı zemin türleri için uygulanmaktadır. Bu nedenle taş kolon imal edilecek zemin türüne uygun tekniğin seçilmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda, zemin türlerine göre uygulanabilecek vibrasyon teknikleri Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9. Zemin Türlerine Göre Vibrasyon Teknikleri [67].

2.2.1.1.4. Tokmaktama Yöntemi

Bu yöntemde zemine istenilen derinlikte bir kuyu açıldıktan sonra bu kuyu içerisine kaplama borusu yerleştirilerek katmanlar halinde taş kolon malzemesi doldurulur. Yapılan her dolgunun ardından bir vinç yardımıyla dolgu üzerine tokmaktama yapılır ve sıkıştırma işlemi bu şekilde devam ederek taş kolon imalatı tamamlanır. Uygulamada açılan kuyu içerisine kaplama borusu yerleştirildiğinden dolayı kuyu çeperinde çökme ihtimali söz konusu değildir. Bu sayede kendini tutamayan zeminlerin yarattığı problemlerde aşılmış olur. Şekil 2.10'da tokmaktama işlemi örnek verilmiştir.



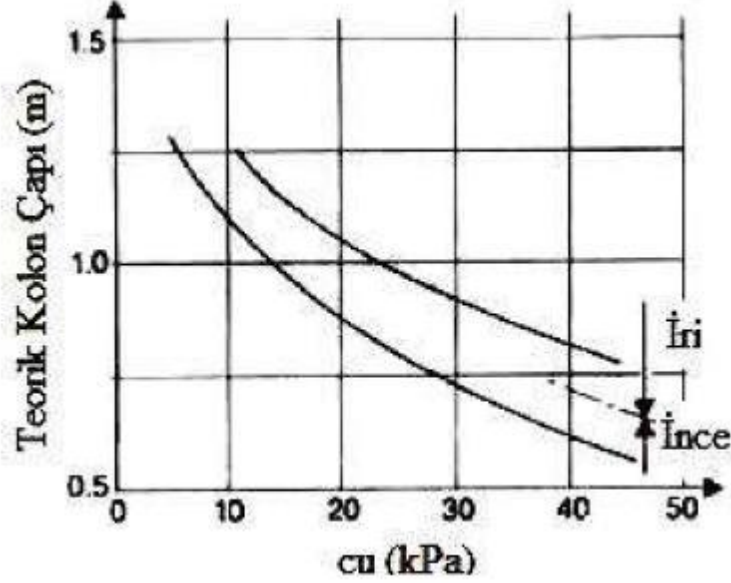
Şekil 2.10. Tokmaktama Yöntemi ile Taş Kolon İmalatı [36].

2.2.1.2. Taş Kolonların Özellikleri

2.2.1.2.1. Taş Kolonun Çapı

Taş kolonun çapı uygulanacağı sahanın zemin özellikleri ve kullanılacak imalat metoduna göre değişiklik göstermektedir. Genellikle vibro-yerdeğiştirme ve vibro-öteleme yöntemleri kullanılarak 100 cm'ye kadar çap değerlerine sahip taş kolonlar imal edilebilmektedir. Tokmaktama yönteminde ise 80 cm çaplı ve daha küçük çaplarda taş kolonlar yapılabilmektedir. Kurt E. (2011) yaptığı çalışmada etkili kolon

çapı ile zemin kayma mukavemeti arasındaki ilişkiyi belirlemiştir. Bu kapsamda yaptığı çalışma Şekil 2.11’de görülmektedir [68].



Şekil 2.11. Zemin Mukavemetinin Teorik Kolon Çapına Etkisi [68].

2.2.1.2.2. Taş Kolonun Derinliği

Taş kolonlar ile yapılan zemin iyileştirmelerinde, sert zeminin bulunduğu yere kadar inmek amaçlanır. Burada sert zemine ulaşılacak istenmesinin sebebi, problemlili zeminin yapısı üzerinde oluşturacağı olumsuz etkileri ortadan kaldırarak, kolonun uç mukavemetinden faydalanılmak istenmesidir. Fakat bazen sert zeminin çok derinlerde bulunduğu yada hiç bulunmadığı alanlar kullanılmak istenebilir. Bu ve buna benzer durumlarda taş kolonlar yüzen taş kolon olarak uygulanır. Yüzen tip taş kolonlarda, kolonun uç mukavemetinden faydalanılamayacağından dolayı, yanal sürtünme kuvvetleri vasıtasıyla taşıma gücü artırılır. Fakat yüzen taş kolonların, sert zemine ulaşan taş kolonlara göre daha düşük taşıma gücüne sahip olduğu bilinmektedir.

2.2.1.3. Taş Kolon Malzemesinin Dane Çapı Dağılımı

Taş kolon kullanılarak zemin iyileştirilmesi yapılırken, dolgu malzemesinin doğru seçimi oldukça önemlidir. Genellikle 1.3 cm ile 7.6 cm aralığında değişen iyi derecelendirilmiş taş veya çakıl tercih edilir. İyi derecelendirilmemiş bir taş kolon

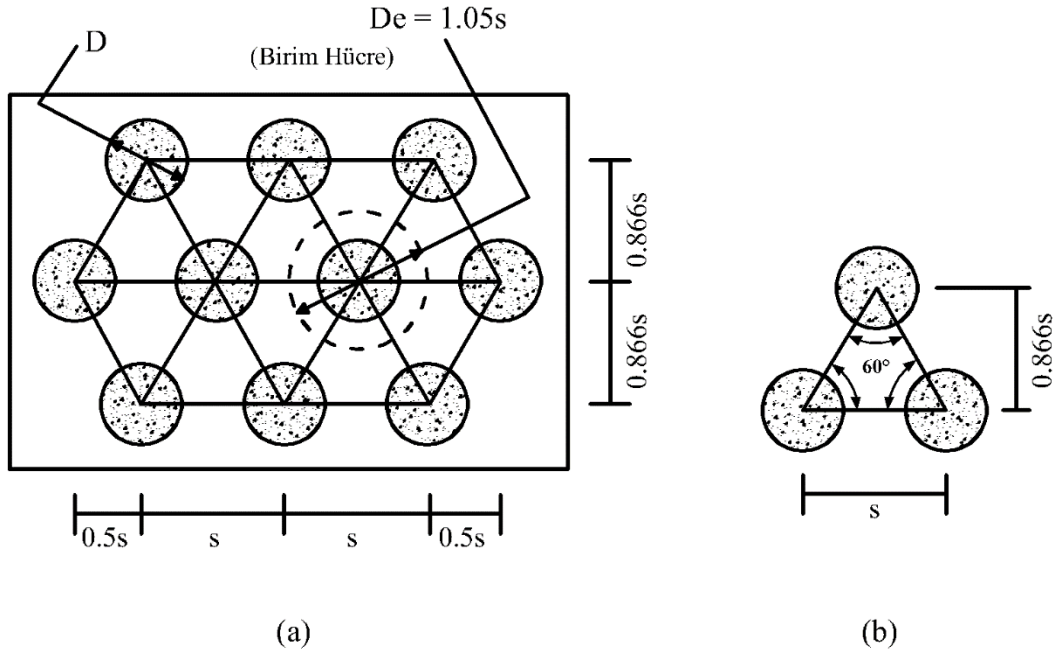
dolgu malzemesi, beklenen sıkışma performansını vermeyecektir. Fakat bu dane boyutları mutlak bir sınır değildir. Farklı uygulamalarda ve standartlarda kullanılacak dolgu malzemesinin üst limiti değişkenlik göstermektedir. Çin standartlarının belirlediği en büyük dane boyutu 80 mm iken, Greenwood 70 mm, Terzaghi vd. ise en büyük dane boyutunun 150 mm olabileceğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte bugüne kadar yapılmış uygulamalar incelendiğinde, genellikle dane boyutunun 100 mm'yi aşmadığı görülmektedir. Bazı durumlarda kırma taş malzeme de dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Fakat dane çapı dağılımı iyi derecelendirilmiş olmadığında, oluşturulan taş kolon boşluklu bir yapıya sahip olacaktır. Bu boşluklar çevre zemin tarafından doldurularak dayanımın ve permeabilitenin düşmesine sebep olacak ve sonuç olarak da taş kolon beklenen performansı vermeyecektir. Ayrıca bazen ekonomik sebeplerden veya taş, çakıl yada kırma taş malzemenin temin edilememesinden dolayı dolgu malzemesi olarak kırık tuğla, beton, mermer vb. malzemeler kullanılabilir. Bu tür malzemelerin kullanımında dikkatli olunmalı ve özellikle kil zeminlere taş kolon uygulaması yapılırken bu malzemeler kullanılmamalıdır [36, 69].

2.2.1.3.1. Taş Kolon Malzemesinin İçsel Sürtünme Açısı

İçsel sürtünme açısı taş kolon malzemesinin önemli parametrelerinden birisi olmakla birlikte bugüne kadar yapılmış uygulamalar örnek alınarak yada ampirik şekilde belirlenir. Yapılmış uygulamalar incelendiğinde, içsel sürtünme açısının değeri 35 derece ile 45 derece arasında değişiklik göstermektedir.

2.2.1.3.2. Taş Kolon Yerleşim Aralıkları

Günümüzde yapılmakta olan taş kolon uygulamaları eşkenar üçgen yerleşimi ve dikdörtgen yerleşim olmak üzere iki farklı şekilde yapılmaktadır. Bu yerleşim şekillerinden dikdörtgen yerleşim daha çok kullanılmaktadır. Eş kenar üçgen yerleşiminin detaylı olarak gösterimi Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Taş Kolonlarda Eşkenar Üçgen Yerleşimi [70].

2.2.1.4. Taş Kolonlar ile İlgili Temel Kavramlar ve Bağlıntılar

2.2.1.4.1. Eşdeğer Çap

Taş kolonların analizleri, taş kolonla birlikte kolon etrafındaki zeminde düşünülerek yapılmalıdır. Kolonu çevreleyen alan düzgün altıgen şeklindedir ve bu alan, altıgenle aynı alana sahip dairenin sınırladığı bölge olarak kabul edilir. Bu durum göz önünde bulundurularak eşkenar üçgen yerleşimde taş kolonlar için eş değer daire çapı;

$$D_e = 1.05s \quad (2.2)$$

kare yerleşimde ise bu çap;

$$D_e = 1.13s \quad (2.3)$$

Şeklinde belirlenmektedir. Burada s değeri, yan yana bulunan iki taş kolonun merkezleri arasındaki mesafeyi gösterirken, D_e ise birim hücre modelinin çapını temsil etmektedir.

2.2.1.4.2. Alan Değişirme Oranı

Taş kolonlarla zemin iyileştirilmesi hususunda, çıkarılan zemin ile yerine doldurulan malzemenin hacmi, performansı önemli ölçüde etkilemektedir. Yaklaşık bir değerlendirme yapıldığında, %40 ile %60 arasında bir alan değişim oranı elde edilir. Fakat zemin üzerine uygulanacak yük miktarının az olması durumunda bu oran %15'in altında bir değer olabilir [71].

Bu kapsamda alan değişim oranı;

$$a_c = A_c / A \quad (2.4)$$

şeklinde belirlenebilir. Burada;

a_c : Alan değişim oranı

A : Toplam birim hücre alanı

A_c : Sıkıştırma işleminden sonraki taş kolon alanı

olarak tanımlanabilir. Zemin alan oranı ise;

$$a_c = A_s / A \quad (2.5)$$

$$a_c = 1 - a_c \quad (2.6)$$

bağıntıları kullanılarak da hesaplanabilir. Bununla birlikte alan değişim oranı ;

$$a_c = C_1 (D/s)^2 \quad (2.7)$$

bağıntısı ile de bulunabilir. Burada;

D : Sıkıştırma işlemi sonrası taş kolon çapı

s : Bitişik iki taş kolonun merkezleri arasındaki mesafe

C_1 : Taş kolonların dizilimine göre değişen sabit katsayı (kare dizilimde 0.785, eşkenar üçgen dizilimde 0.907)

Bu bağıntıya göre eşkenar üçgen dizilimde a_c ;

$$a_c = 0.785 (D/s) \quad (2.8)$$

Kare dizilimde a_c ;

$$a_c = 0.907 (D/s)^2 \quad (2.9)$$

olarak belirlenmektedir.

2.2.1.4.3. Gerilme Konsantrasyon Oranı

Taş kolonlarla iyileştirilen zemin üzerine bir yapı inşa edildiğinde yada bir dolgu yapıldığında, taş kolonda büyük miktarda gerilme artışı gerçekleşirken, çevre zeminin gerilme miktarında da azalma meydana gelir. Üzerine gelen yükler sebebiyle zeminde ve taş kolonda düşey yönde oturmalar meydana gelir. Bu oturmaların miktarı hemen hemen aynıdır ve taş kolon elemanı daha rijit olması sebebiyle gerilme konsantrasyonu taş kolon içerisinde oluşmaktadır. Bu kapsamda grup halinde bulunan taş kolonlar ele alındığında, gerilme konsantrasyonu (n) aşağıdaki bağıntı ile belirlenebilir.

$$n = \sigma_s / \sigma_c \quad (2.10)$$

Bu ifadede;

σ_c : Zemin içerisinde oluşan gerilme

σ_s : Taş kolon içerisinde oluşan gerilme

şeklinde tanımlanmaktadır. Bağıntıda görüldüğü üzere, gerilme konsantrasyon oranı n, temel yada dolgu yükü altında bulunan bir taş kolon ile çevresindeki zeminin gerilme oranları ile hesaplanmaktadır. Çeşit arazi ölçümleri yapan Barksdale ve Bachus (1983), elde ettikleri verileri kullanarak, gerilme konsantrasyonu ile ilgili bir tablo oluşturmuşlardır. Çalışmada birbirinden farklı 12 bölgede ölçüm yapmışlardır. Bu ölçümlerden 4 adedi 3 ile 15 metre derinlikte gerçekleştirilmiştir. Konsolidasyon için geçen 15 haftalık sürenin ardından, elde edilen veriler Tablo 2.3'te verilmiştir [36].

Tablo 2.3. Taş Kolonlarda Gözlemlenen Gerilme Yoğunluğu Faktörleri [70].

Deney Tipi	Yerleşim Biçimi	Gerilme Oranı, n	Zaman Değişim	Taş Kolon Uzunluğu	Zemin Durumu
Dolgu	Kare s=1.7 m D=0.9 m a _s = 0.25	2.8 (Ortalama)	Sabite Yakın	6.7-7.9	Yumuşak kil
Yükleme Deneyi	Eşkenar Ü. s = 1.8 m D = 1.2 m a _s = 0.43	3.0 (Başlangıç)	2.6 (Son) Azalıyor	6.3	Çok yumuşak ve yumuşak kumlu silt ve kil
Dolgu	Eşkenar Ü. s = 2 m D = 1.1 m a _s = 0.26	2.6-2.4 (Başlangıç) 4.0-4.5 (Son)	Artıyor	20	Organik malzemeli çok yumuşak kil, silt, kum
Deneme Dolgusu	a _s = 0.1-0.3	4.9 (Ortalama)	Artıyor	Değişken	Çok yumuşak ve yumuşak çökeltiler
Model Deney	D=0.03 m a _s = 0.07-0.4	1.5 – 5	Sabit	Değişken	Yumuşak kil

Birim hücre modeli içerisinde, belirlenen bir derinlikteki ortalama gerilme miktarı, düşey kuvvetlerin dengelenmesi için belirtilen alan değişim oranı kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\sigma = \sigma_{sa_c} + \sigma_c(1-a_c) \quad (2.11)$$

Bu formülden yola çıkarak, taş kolon ve zeminde meydana gelen gerilmeler, gerilme konsantrasyon faktörü (n) kullanılarak;

$$\sigma_s = \frac{\sigma}{(1+(n-1)a_c)} = \mu_s \sigma \quad (2.12)$$

$$\sigma_c = \frac{n\sigma}{(1+(n-1)a_c)} = \mu_c \sigma \quad (2.13)$$

bağıntıları kullanılarak elde edilebilir. Bu bağıntılarda μ_s ve μ_c taş kolonda ve zeminde oluşan gerilmelerin oranıdır.

2.2.1.4.4. Oturma Azaltma Oranı

Zeminlerin taş kolon yöntemi kullanılarak güçlendirilmesindeki amaçlardan biride zeminde meydana gelecek oturmaları azaltmaktır. Oturma azaltım faktörü β' olarak ifade edilir ve taş kolon uygulanmış zeminde meydana gelen oturmalarla taş kolon uygulanmamış zeminde meydana gelen oturmaların oranı ile belirlenir. Sonuç olarak β' faktörü;

$$\beta' = S / S' \quad (2.14)$$

olarak ifade edilir. S taş kolon uygulanmış, S' ise taş kolon uygulanmamış zemini temsil etmektedir.

2.2.1.5. Taş Kolonların Yük Transfer Mekanizmaları

2.2.1.5.1. Uç Mukavemetli Taş Kolon

Taş kolon uygulaması yapılırken, taş kolon tabanı sağlam zemine üzerine basıyorsa, uç mukavemetli taş kolon olarak tanımlanır. Bu şekilde olan taş kolon uygulamalarında zemin ile kolon arasında yanıl basınçlar, gerilmeler ve arakesit sürtünmeleri oluşur. Taş kolon yüzey yükleme sırasında yanıl olarak genişlemeye çalışır ve bu nedenle de zemin ile taş kolon arasında pasif basınçlar ortaya çıkar. Yükleme doğrudan taş kolona uygulanırsa, zemin ile kolonun oturma miktarlarındaki farklılıktan dolayı ara kesitlerde derinlikle azalan kayma gerilmeleri meydana gelir. Bu sebepten ötürü ara kesitlerde meydana gelen kayma gerilmeleri hesaba katılmadan tahmin edilen oturmalar, yükleme sonrası meydana gelen oturmalarından daha yüksek değerde olur. Önemli olan noktalardan biriside tekil taş kolonlar ile grup taş kolonlarda sınır koşullarının farklılık göstermesidir. Bunun temel sebebi tekil taş kolonlarda yalnızca çevreleyen zeminin meydana getireceği basınç söz konusu iken, grup taş kolonlarda buna ek olarak diğer taş kolonlarında birbirleri üzerinde etkileri söz konusu olmaktadır [36].

2.2.1.5.2. Yüzen Taş Kolon

Sert zeminin ulaşılması güç derinliklerde bulunduğu ya da zeminin tamamen yumuşak olduğu durumlarda, taş kolon uygulamasında taşıma gücü yüzen tip taş

kolonlar ile sağlanabilir. Bu durumda taş kolon sert zemine ulaşmadığı için uç mukavemeti yerine yanal sürtünme kuvvetlerinin etkili olduğu yüzen taş kolonlardan faydalanılabilir. Yük transfer mekanizmasına bakıldığında yüzen taş kolonlar, yüzen kazıklarla benzerlik göstermektedir. Bu yük transfer mekanizması, yükleme yapılan kolonun genişleyerek oturma yapması sebebiyle, arakesitte meydana gelen kayma gerilmesi ve pasif çevre basıncıdır. Taş kolon derinliği, kolon çapının en fazla 3-4 katı kadar olması durumunda yük transferi gerçekleşir. Bu derinlikten daha aşağı inildikçe yük transferinin meydana gelmesi söz konusu değildir. Yüzen taş kolonlar kullanılarak güçlendirilmiş zeminlerde yanal çevre basıncı, derinliğin değişmesiyle farklılık gösteren kolon ve zemin arasındaki düşey gerilme dağılımı ile örtü basıncına bağlı bir parametredir. Buradan da anlaşılacağı gibi yüzen taş kolonların yük transfer mekanizması karmaşık bir kavramdır [71].

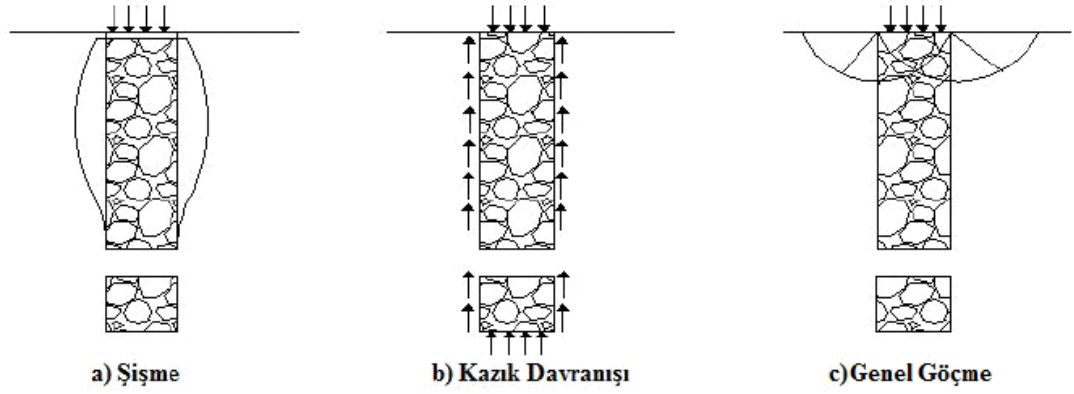
Bu çalışmada genel olarak yüzen taş kolonların taşıma gücü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yüzen taş kolonlar konusu üzerinde geçmiş dönemlerde çok az çalışma yapılmıştır. Bundan dolayı bu çalışma ile yüzen taş kolonların özellikle sismik bir kuvvet etkisindeki taşıma gücünün belirlenmesi amaçlanmıştır. Bilgisayar ortamında farklı derinliklerde ve farklı aralıklarda zemine yüzen taş kolonlar uygulanmış ve bu şekilde oluşturulan zemin tipleri, Plaxis 2D programında modellenerek bir çok analiz yapılmıştır. Sonuç olarak yüzen taş kolonların sismik yükler altında da taşıma gücüne olumlu yönde etki ettiği görülmüştür. Ayrıca yüzen taş kolon içerisindeki ve yüzen taş kolon etrafındaki zeminde oluşan gerilmeler belirlenerek, gerilme konsantrasyon oranı bulunmuştur. Böylelikle yüzen taş kolonun zemin üzerindeki etkisi daha net görülmüştür.

2.2.1.6. Taş Kolonların Göçme Mekanizması

2.2.1.6.1. Tekil Taş Kolon Göçme Mekanizması

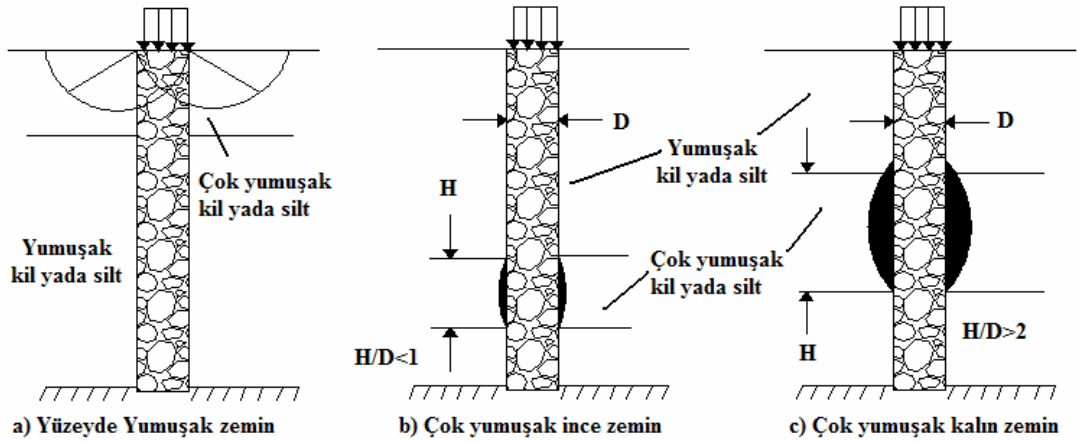
Önceki başlıklar altında da anlatıldığı gibi taş kolonlar hem sert zemine oturur vaziyette hem de sert zeminin derinde bulunduğu yada hiç bulunmadığı durumlarda ise zemin içerisine gömülü vaziyette olabilmekteydi. Bu iki imalat durumdan kaynaklı ve taş kolonun uzunluğuna bağlı olarak göçme mekanizmasında farklılıklar gözlemlenmektedir. Sert zemine ulaşan ve derinlikçe uzun olan bir taş kolonda

yüklemeye sonrası yanıl kabarmaya görülmürken yine sert zemine ulaşan fakat kısa olan bir taş kolonda yüklemeye sonrası yüzey bölümünde göçmeler oluşmaktadır. Yüzen tip taş kolonlarda ise yüklemeye sonrası uç kısımlarda göçmeler meydana gelmektedir. Bu üç farklı davranış mekanizması Şekil 2.14'te görülmektedir [71].



Şekil 2.13. Tekil Taş Kolon Göçme Mekanizması [71].

Tabakalı zeminlerde ise taş kolondaki göçme, zayıf bölge olan yumuşak zemin tabakasının olduğu bölgede gerçekleşmektedir. Bu duruma örnek Şekil 2.15'te verilmiştir.

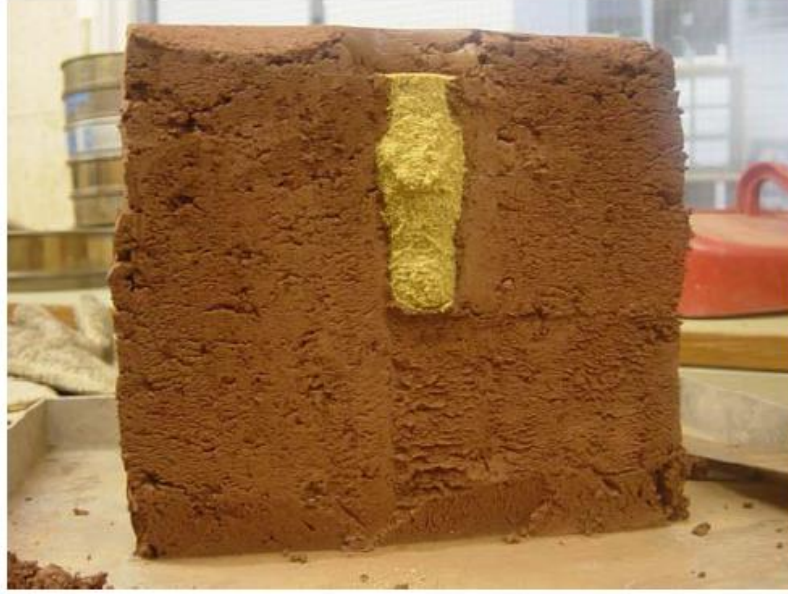


Şekil 2.14. Tabakalı Zeminlerde Taş Kolonların Göçme Mekanizması [70]

Bu göçme mekanizmaları, taş kolon çapının 2 katından daha fazla turba zemin tabakası olması durumunda gerçekleşmektedir. Bununla birlikte yükün yüklenme şeklinin de oturmelerde ve taşıma gücünde doğrudan etkili olduğu, yapılan

çalışmalar ışığında anlaşılmıştır. Yükleme işlemi taş kolonun alanından daha geniş bir alana sahip rijit plaka ile yapıldığı takdirde, kolon etrafındaki zeminde meydana gelen düşey yatay gerilmeler azalmaktadır.

Yük altındaki tekil taş kolonun karakteristik kabarma davranışı, McCabe B. A., McNeill J. A. ve Black J. A.'nın (2007), Plymouth Üniversitesi'nde laboratuvar ortamında oluşturdukları Şekil 2.16'daki deney modelinin kesiti incelendiğinde de açık bir şekilde görülmektedir [72].

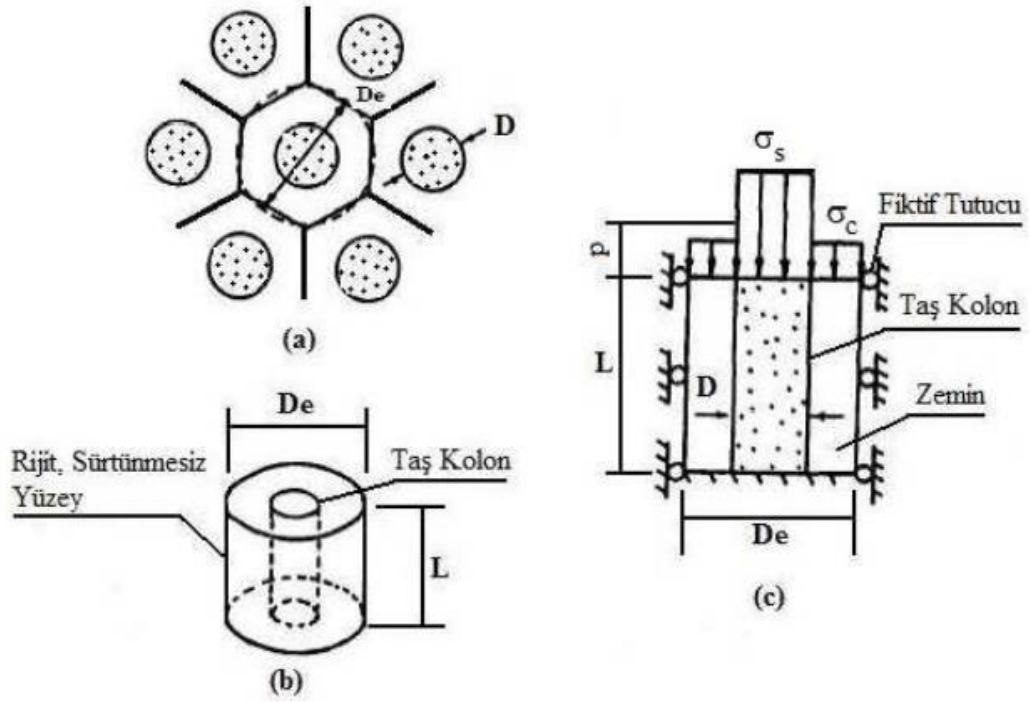


Şekil 2.15. Yük Altındaki Model Tekil Taş Kolon Davranışı [72]

2.2.1.6.2. Grup Taş Kolon Göçme Mekanizması

Tekil taş kolona göre grup taş kolonlardaki her bir kolonun taşıma kapasitesi daha fazladır. Bunun temel sebebi tek bir taş kolonun çevresindeki kolonların yük altında zemine yanıl sıkıştırma yaparak hareketi kısıtlaması olarak açıklanabilir. Oturmalar ise zeminler ve taş kolonlarda neredeyse aynı miktarda gerçekleşmektedir.

Grup taş kolonlarda, grup etkisinin tayini için grup içerisinde bulunan her bir kolon ile bu kolonlarla çalışan zemin, belirli standartlar altında modellenen birim hücre olarak düşünülebilir. Grup taş kolonların yük altındaki davranışlarının belirlenmesi için oluşturulan birim hücre modeli Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16. Taş Kolonlarda Birim Hücre Modeli [70].

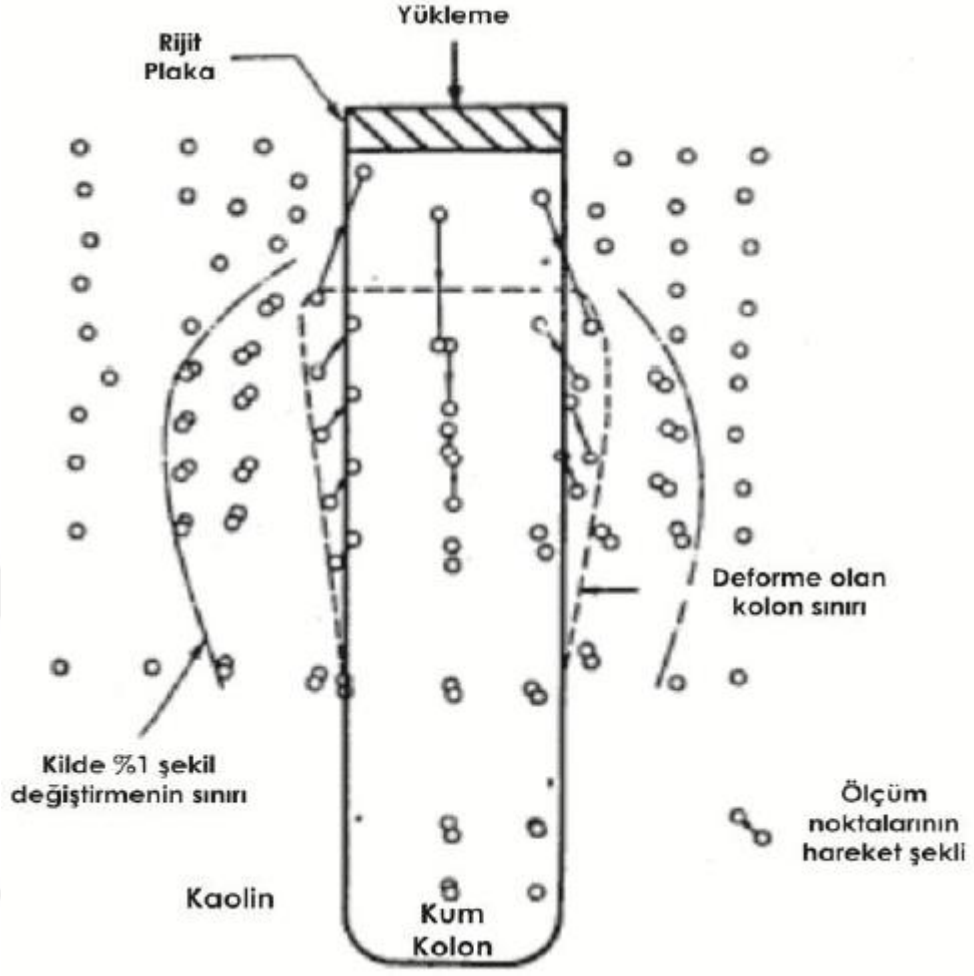
Birim hücre modelinin çalışma prensibinde, grup taş kolon içerisindeki her bir kolon ayrı ayrı düşünülür ve her kolon yanındaki kolondan farklı davranış gösterir. Bu nedenle de taş kolonlar birbirlerini etkilemezler.

2.2.1.7. Taş Kolonların Taşıma Gücü

2.2.1.7.1. Tekil Taş Kolonların Taşıma Gücü

Genellikle yük altında bulunan taş kolonlarda, taş kolon derinliği taş kolon çapının 6 katı kadar veya daha büyük ise göçme kabarma (dışa doğru genişleme) şeklinde gerçekleşmektedir. Bu kabarma davranışı Şekil 2.17’de görülmektedir.

Hughes ve Withers (1974), 19.1 kPa kayma mukavemetine sahip bir kil numune ile oluşturdukları model üzerinde yükleme deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak göçmenin, taş kolon çapının iki, üç katı kadar derinlikte meydana geldiğini gözlemlenmiştir. Yükleme sonrası taş kolonda aşağı yönde hareket ve dışa doğru kabarma görülmüştür [73].



Şekil 2.17. Yükleme Sonrası Tekil Taş Kolon Kabarma Davranışı [70].

Taş kolonun göçme halinde, maksimum asal düşey gerilme σ_1 , minimum asal yanal gerilme ise σ_3 olarak alındığında, pasif itki katsayısı K_p ile bu gerilmeler arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = K_p = \frac{1 + \sin \varphi_s}{1 - \sin \varphi_s} \quad (2.15)$$

burada $\frac{\sigma_1}{\sigma_3}$ gerilmelerin oranı, φ_s ise içsel sürtünme açısıdır.

Hughes ve Withers (1974), bu bağıntı ışığında taş kolonun etrafındaki zeminde meydana gelen basıncı gözlemlemişlerdir. Ayrıca pressiyometre deneyi esnasında oluşan boşluk ile yükleme sonrası tekil taş kolondaki genişlemenin benzer nitelikte olduğunu düşünmüşlerdir [73]. Bu kapsamda geliştirilmiş sürtünme olmaksızın

sonsuz genişleme niteliğine sahip silindir şeklindeki boşluk için düşülen elasto-plastik teori, taş kolonun etrafındaki zeminde meydana gelecek drenajsız nihai yanal gerilme miktarını hesaplamak amacıyla kullanılabilir.

$$\sigma_3 = \sigma_{r0} + c_u \left[1 + \ln \frac{E_s}{2c(1+\nu)} \right] \quad (2.16)$$

Bağıntıda;

σ_3 : Nihai Drenajsız Yanal Gerilme

σ_{r0} : Kolon İmalatından Sonraki Toplam Radyal Gerilme

c_u : Drenajsız Kohezyon

E_s : Zeminin Elastisite Modülü

ν : Poisson Oranı

şeklinde tanımlanmaktadır. Taş kolon etrafındaki zeminde meydana gelen gerilme değeri vasıtasıyla ve $q_{ult} = \sigma_1$ kabul edilerek aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$q_{ult} = \sigma_{r0} + c_u \left[1 + \ln \frac{E_s}{2c(1+\nu)} \right] \frac{1 + \sin \theta_s}{1 - \sin \theta_s} \quad (2.17)$$

Bunula birlikte yumuşak kil zeminlerde drenajsız elastisite modülü ile drenajsız kesme dayanımı yaklaşık olarak birbirine eşit kabul edilebilir. Buradan 4.16 ifadesi;

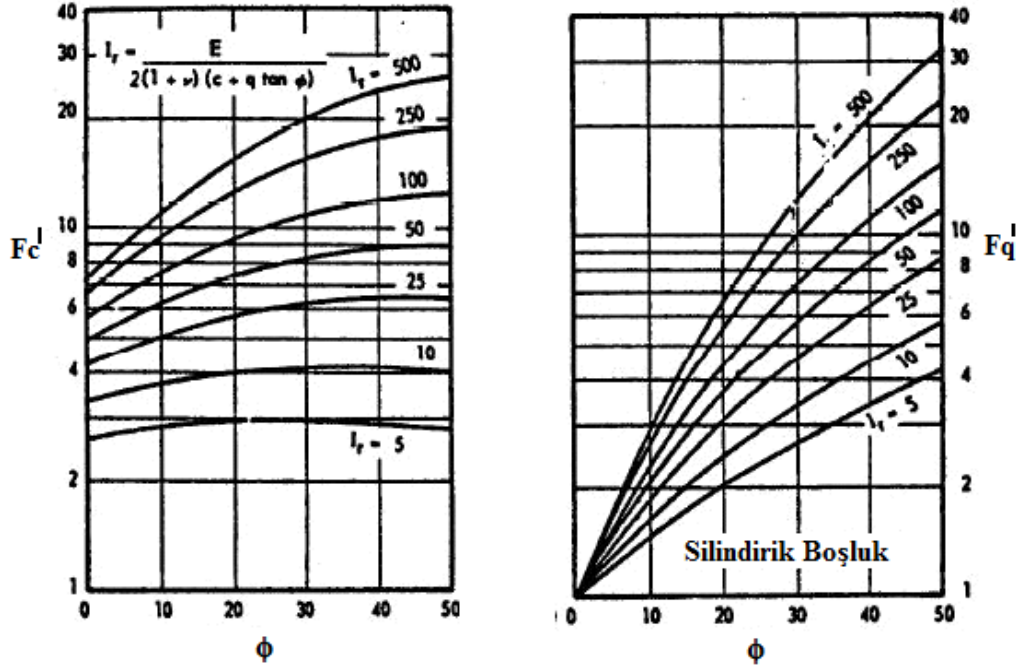
$$q_{ult} = (\sigma_{r0} + 4c_u) K_p \quad (2.18)$$

şeklinde tanımlanabilir.

Vesic (1972), taş kolonlar için uygulanabilir silindirik boşluk genişleme teorisini detaylandırarak, kohezyonlu ve sürtünmeli zeminleri de kapsayacak şekle getirmiştir. Bu kapsamda Vesic (1972) tarafından aşağıdaki bağıntı oluşturulmuştur [74].

$$\sigma_3 = c_u F'_c + q F'_q \quad (2.19)$$

Bağıntıda q hesabın yapıldığı derinlikte meydana gelen ortalama gerilme, F'_c ve F'_q ise boşluk genişleme katsayılarını temsil etmektedir. Bu değerler Şekil 2.18'deki abaktan okunarak belirlenmektedir.



Şekil 2.18. Silindirik Boşluk Genişleme Faktörleri [74].

F'_c ve F'_q katsayıları rijitlik indeksi ile içsel sürtünme açısına bağlı olarak değişmektedir. Rijitlik indeksi ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$I_r = \frac{E_s}{2(1+\nu)(c+q \tan \theta_c)} \quad (2.20)$$

Burada;

E_s : Zeminin Elastisite Modülü

θ_c : Zeminin Kayma Mukavemeti Açısı

c : Zeminin Kohezyonu

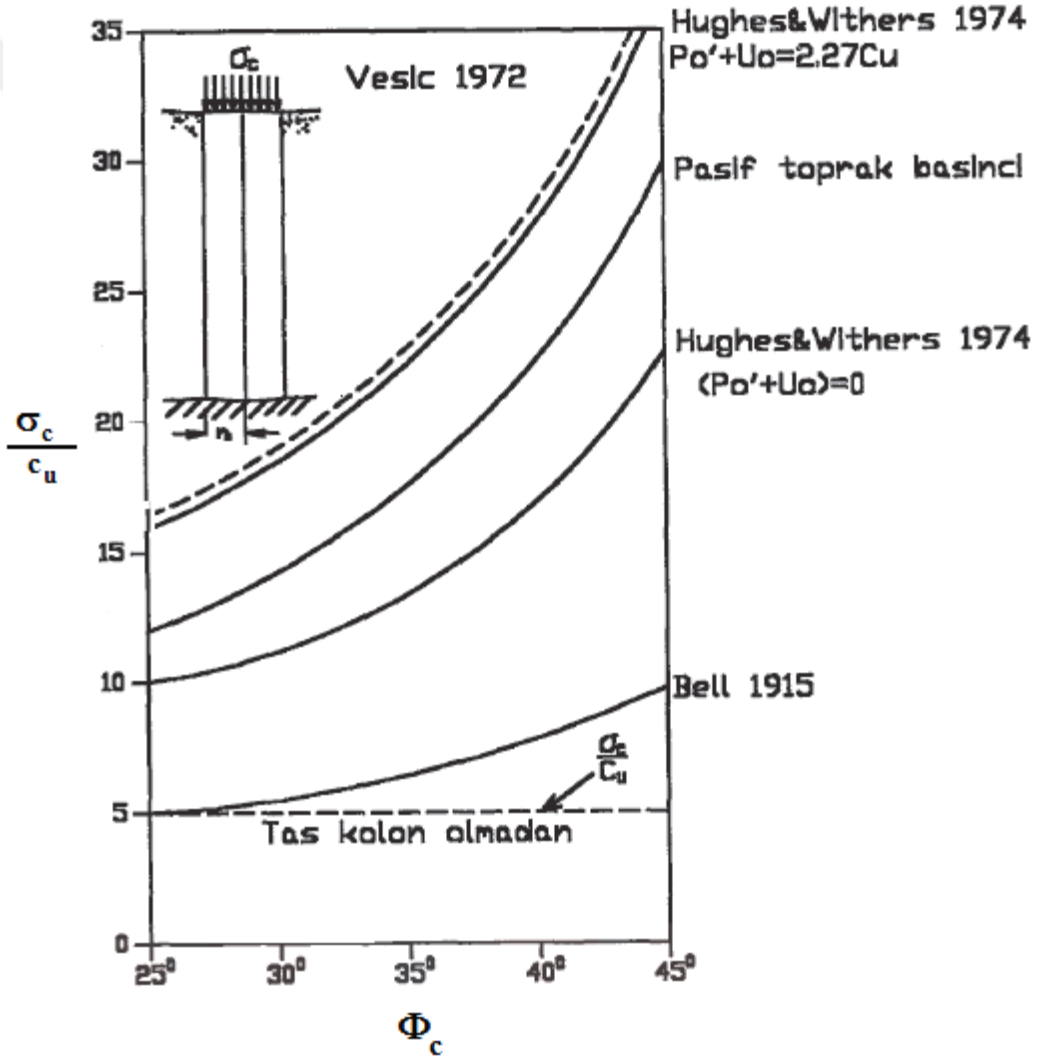
ν : Zeminin Poisson Oranı

q : Göçme Bölgesindeki Ortalama Normal Gerilme

olarak ifade edilmektedir. Diğer bağıntılardan da faydalanılarak nihai gerilme;

$$q_{ult} = \left[\frac{1 + \sin \theta_s}{1 - \sin \theta_s} \right] [F'_c \times c_u + F'_q \times q] \quad (2.21)$$

olarak bulunur. Brauns (1978), farklı hesap yöntemleri kullanarak elde ettiği nihai yükleme değerlerini birbiriyle karşılaştırmıştır. Greenwood ve Kirsan (1984) ise bu değerler ele alarak tekrar değerlendirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışma Şekil 2.19'da görülmektedir.



Şekil 2.19. Taş Kolon Taşıma Kapasitesi [75].

İzole edilen taş kolonlarda ise düşey yöndeki yükleme kapasitesi;

$$\sigma_v = (N_{sc} \times c_u) / FS \quad (2.22)$$

şeklinde tanımlanır. Bağıntıda;

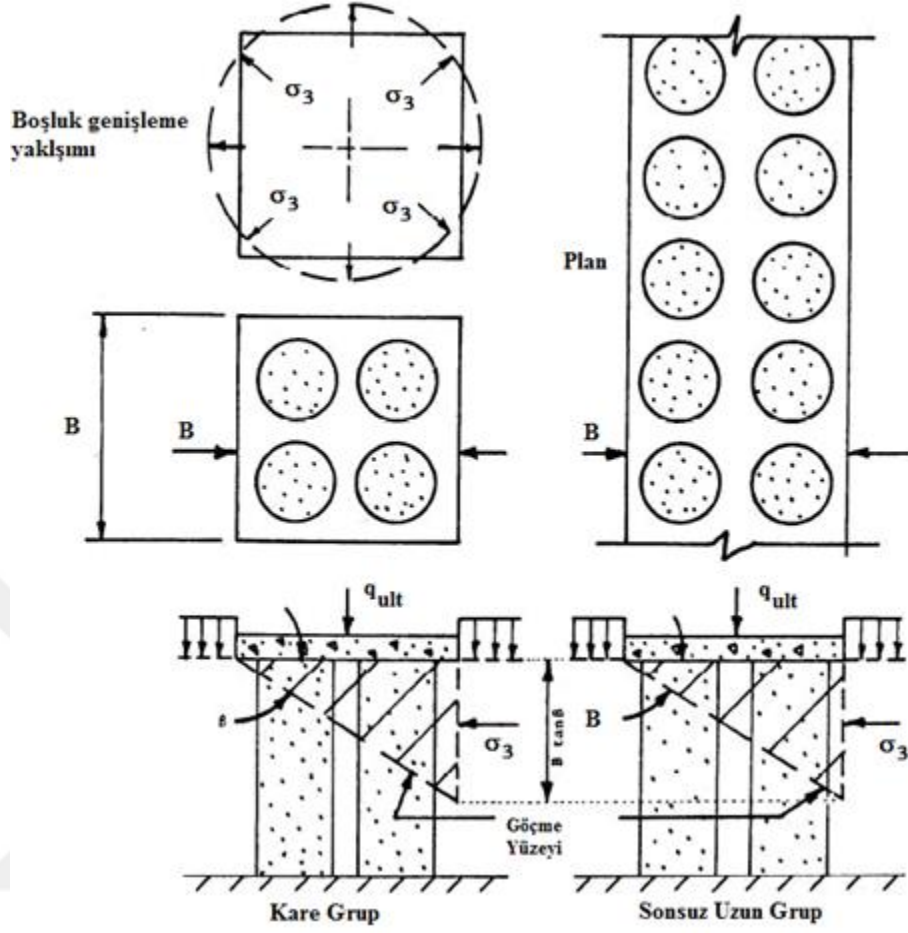
FS : Güvenlik sayısı

c_u : Drenajsız kayma mukavemeti

N_{sc} : Taş kolon için taşıma gücü faktörünü ifade etmektedir.

2.2.1.7.2. Grup Taş Kolonların Taşıma Gücü

Taş kolonlarla güçlendirilmiş yumuşak gevşek bir zemindeki, taş kolon grubunun taşıma gücünün belirlenebilmesi için yükün rijit temel üzerine hızlı bir şekilde uygulanması vasıtasıyla, zemin içerisinde drenajsız kesme durumunun gerçekleşmesi ve içsel sürtünme açısının ihmali söz konusu olmaktadır. Bununla birlikte, meydana gelen iki düz yırtılma hattı tarafından oluşturulan göçme yüzeyinin kabulü ile nihai taşıma gücü belirlenebilmektedir. Bu kuram ilk olarak Bell J. R. (1978) tarafından bulunmuş olup [76], Terzaghi ve Sowers (1979) tarafından geliştirilmiştir [77]. Zeminde meydana gelen düz göçme çizgisi ve taşıma gücü belirleme mekanizması Şekil 2.20'de görülmektedir.



Şekil 2.20. Grup Taş Kolonlarda Taşıma Gücü Kapasitesi [70].

Şekil 2.20'deki model bloğun dengesi ele alındığında ortalama kesme dayanımı parametreleri ;

$$\tan \phi_{\text{ort}} = n \cdot a \cdot c \cdot \tan \phi_c \quad (2.23)$$

$$c_{\text{ort}} = (1 - a \cdot c) \cdot c \quad (2.24)$$

formülleri ile hesaplanır.

Burada ;

$\tan \phi_{\text{ort}}$: Kompozit İçsel Sürtünme Açısının Tanjantı

n : Taş Kolon İçin Gerilme Konsantrasyon Faktörü

ac : Alan Değişim Oranı

c_{ort} : Temelin Altındaki Kesme Yüzeyinin Kompozit Kohezyonu

olarak tanımlanabilir. Temel yüzeyi, göçme yüzeyi ile bir α açısı yapmaktadır. Kompozit zemin için α açısı;

$$\alpha = 45 + \frac{\phi_{ort}}{2} \quad (2.25)$$

olarak hesaplanabilir. Grup taş kolonların taşıma gücünün hesaplanabilmesi için ilk olarak yanal gerilme σ_3 değeri bilinmelidir. Klasik toprak basıncı teorisinden faydalanılarak, suya doymun killerde sonsuz uzunluktaki bir temelde;

$$\sigma_3 = \frac{\gamma c B \tan \alpha}{2} + 2c \quad (2.26)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada;

σ_3 : Ortalama Yanal Çevre Basıncı

γ s: Kohezyonlu Zeminin Doymun veya Islak Birim Hacim Ağırlığı

B : Temel Genişliği

α : Göçme Yüzeyinin Eğimi

c : İyileştirilmemiş Zemindeki Drenajsız Kohezyon

olarak tanımlanır. Vesic tarafından ifade edilmiş olan boşluk genişleme teorisi kullanılarak kare temeller için yanal gerilme hesaplanabilir. Burada nihai yanal gerilme σ_3 ve nihai düşey gerilme q_{ult} olarak kabul edilirse, bloğun dengesi;

$$q_{ult} = \sigma_3 \tan^2 \alpha + 2 c_{ort} \tan \alpha \quad (2.27)$$

olarak ifade edilebilir. Önerilen bu yöntemde taş kolonu çevreleyen zeminin kayma dayanımı, taş kolonun içsel sürtünme açısı, temel boyutları, temel şekli, taş kolon üzerine etkileyen jeolojik gerilme ve taş kolonu çevreleyen zeminin rijitlik modülü dikkate alınmaktadır.

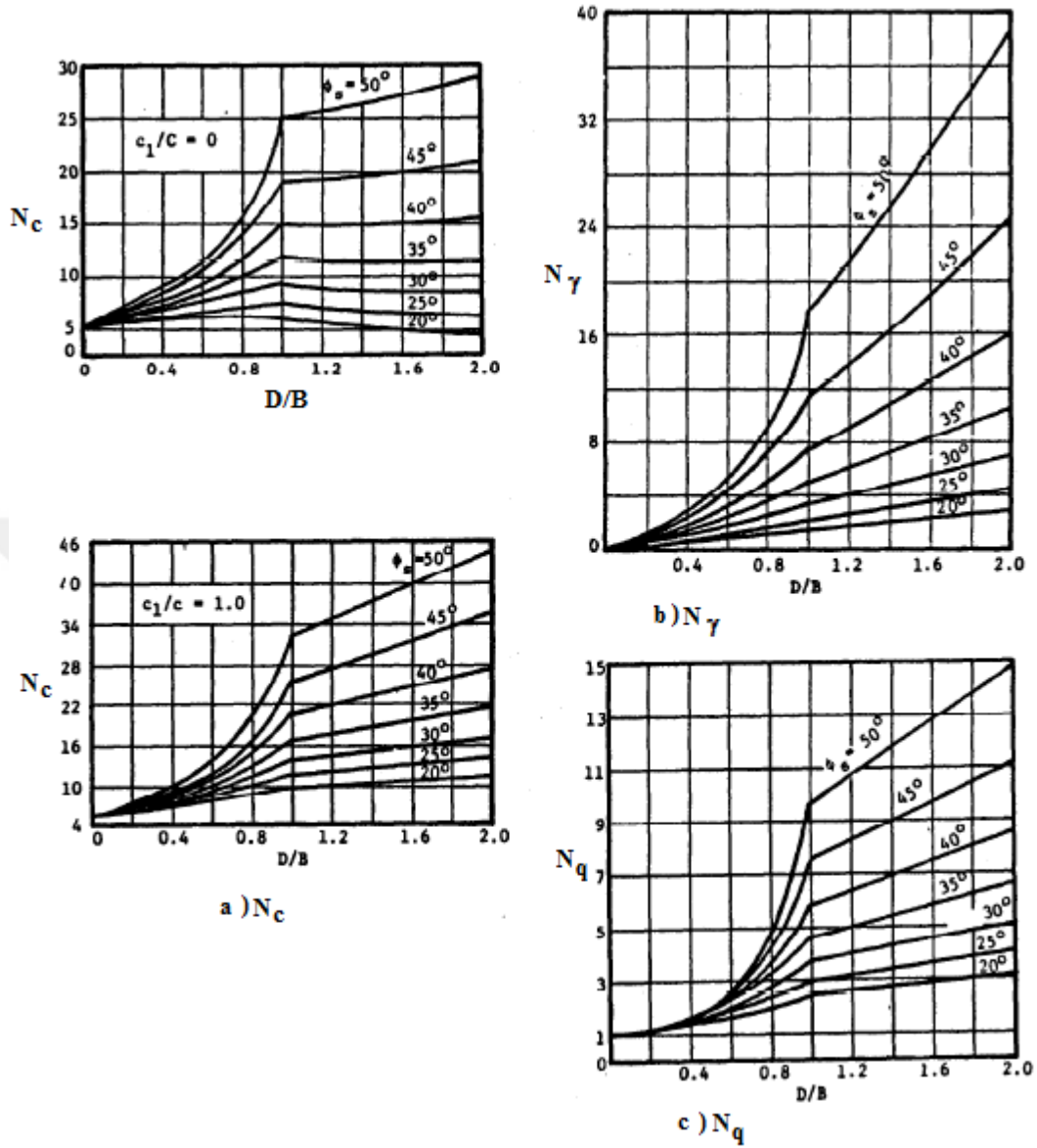
2.2.1.7.3. Kısa Taş Kolon Taşıma Gücü

Bir taş kolonda taş kolonun çapı taş kolonun boyundan 2 yada 3 kat daha fazla olduğu durumlarda göçme oluşabilir. Göçmeler taş kolonu çevreleyen zeminde lokal olarak yada genel olarak meydana gelir. Diğer göçme şekillerinden birisi ise zımbalama göçmesidir. Bu göçme şeklinde hesaplama yapılırken klasik kazık tasarım metodlarında olduğu gibi yanal çevre sürtünmesi ve taş kolonun uç taşıma gücü hesaba katılarak sonuca gidilir.

Örtülü sürşarj yükünün minimum olduğu yüzeyde ise genel göçme meydana gelir. Madhav ve Vitkar (1978), sürtünmesiz zeminde taş kolonlar için bir düzlem şekil değiştirme çözümü geliştirmişlerdir. Yük komşu yumuşak zemine yada doğrudan taş kolona uygulanabilir. Bu durum göz önüne alındığında şerit bir yükleme için taşıma gücü;

$$q_{ult} = (\gamma_c \times B/2) \times N_\gamma + c_u \times N_c + \gamma_c \times D_f \times N_q \quad (2.28)$$

şeklinde ifade edilir. Burada N_γ , N_c ve N_q Şekil 2.21'den elde edilebilecek taşıma gücü katsayılarını ifade etmektedir.



Şekil 2.21. Kısa Taş Kolon Taşıma Gücü Katsayıları [78].

2.2.2. Ön Yükleme ve Düşey Drenler

Suya doymun haldeki kohezyonlu zeminler yapılar için elverişli değildir. Fakat zaman zaman bu tip alanlara da yapı inşası zorunlu olabilmektedir. Bu tür zeminlerde yüksek miktarda konsolidasyon oturmaları gerçekleşmektedir. Bu konsolidasyon oturmalarını minimuma indirmek için yapı inşa edilmeden önce dolgu malzemesi ilave edilerek ön yükleme yapılır. Bu sayede zeminin ön konsolidasyon oturması sağlanmış olur. Bu süreç uzun yıllar devam edebilir. Bu süre bant dren veya kum dren uygulamaları ile kısaltılabilmektedir.

2.2.3. Yeraltı Su Seviyesinin Düşürülmesi

Başta yeraltı suyunun yapılar üzerindeki olumsuz etkisini ortadan kaldırmak ve kuru bir çalışma alanı elde etmek amacıyla yeraltı su seviyesi kalıcı yada geçici olarak düşürülmektedir. Well-Point Sistemi olarak adlandırılan bir yöntem ile zemine çakılan düşey kuyular kullanılarak pompalar yardımıyla fazla yeraltı suyu tahliye edilmektedir.

2.3. Fiziksel ve Kimyasal Modifikasyonlar

2.3.1. Kompaksiyon Enjeksiyonu

Genel olarak enjeksiyon işlemi sıvı çimento şerbeti kullanılarak yapı temeli içerisinde ulaşılması zor olan zayıf alanların iyileştirilmesi olarak tanımlanabilir. Burada temel amaç boşlukların doldurularak suyun zararlı etkilerine karşı korunmak ve temel mukavemetinin iyileştirilmesidir.

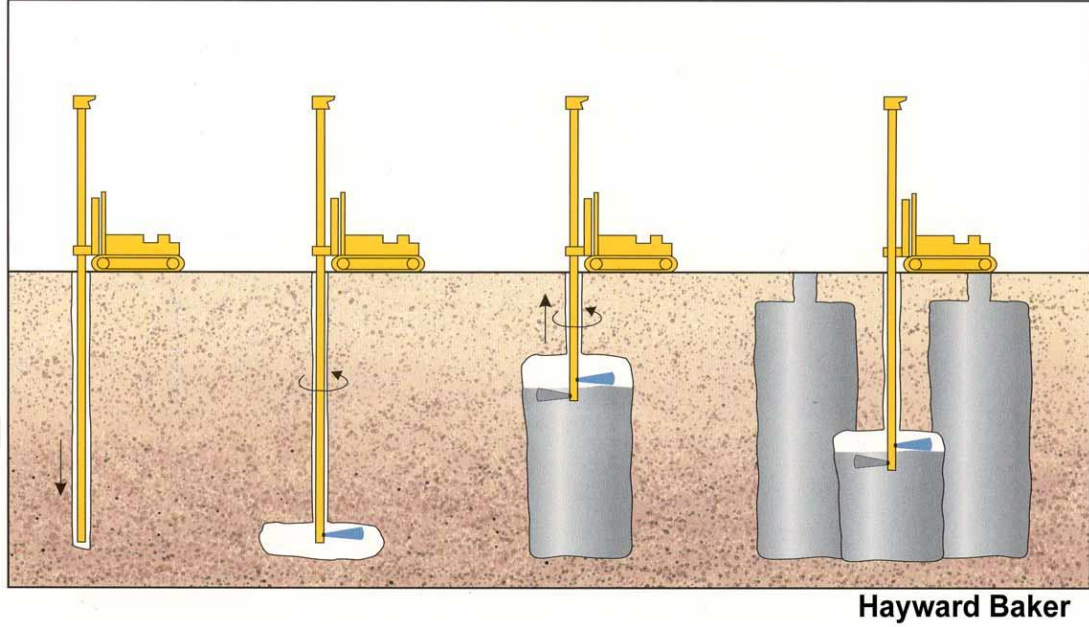
Bu yöntemde zemine basınçlı bir şekilde su çimento ve kum karışımı enjekte edilir. Enjekte edilen bu şerbet hem zemin tanelerini harekete geçirerek birbirine yaklaştırır hem de boşlukları doldurarak daha rijit bir alan oluşmasını sağlar. Daha çok zayıf kumlu çakıllı zeminlerde kullanılan ve iyi sonuç veren bir yöntemdir.

2.3.2. Jet Grout

Jet grout yöntemi geniş kullanım alanı ve farklı tip zeminlerde uygulanabilmesi sebebiyle son yıllarda oldukça öne çıkan zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olmuştur. Yumuşak kil, silt, kum, çakıl gibi bir çok zemin türünde jet grout kullanılarak iyileştirilme yapılabilmektedir.

Delme ve püskürtme aşaması olmak üzere iki aşamada uygulanmaktadır. Delme aşamasında oluşturulacak kolon derinliğince delme borusu zemin içerisine batırılır. Belirlenen derinliğe indirilen delme borusu tekrar zeminden yukarı doğru çekilir ve aynı zamanda basınçlı püskürtme işlemi de yapılır. Püskürtme işleminde basınçlı sıvı çimento kullanılır. Bu işlem yapılırken delme borusu kendi eksenini etrafında dönme hareketi yapar ve böylece basınçlı sıvı çimento zemin yüzeyini aşındırarak dairesel bir kolon oluşturulmuş olur. Kullanım amacına göre üst kısma beton dökülerek

düzeltilme işlemi de yapılabilir. Şekil 2.22’de jet grout yönteminin imalat aşamaları verilmiştir.



Şekil 2.22. Jet Grout Yöntemi İmalat Aşamaları [67].

2.3.3. Patlatma

Bu yöntem zemin içerisinde patlatma yapılarak yapay sismik dalgalar oluşturmak ve bu dalgalar sayesinde zemini sıkıştırmak olarak tanımlanabilir. Patlatma sonrası zeminin sıklığı artırılmış olur ve bu sayede zemin daha mukavemetli hale gelir. Ülkemizde pek kullanılmayan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Özellikle kohezyonsuz gevşek zeminlerde bu yöntem kullanılarak boşluklar azaltılır. Maliyet açısından diğer yöntemlerden daha ekonomik olmakla birlikte uygulama aşamasında oldukça dikkat gerektiren bir yöntemdir.

2.3.4. Kimyasal Enjeksiyon

Kimyasal enjeksiyon yöntemiyle zemine yada kayalara enjekte edilen sıvı haldeki kimyasal madde ile iyileştirme yapılmaktadır. Bu yöntemde sıvı formda bulunan ve partikül içermeyen kimyasal madde zemin içerisine enjekte edildikten sonra, ulaşılması güç olan noktalara ulaşır ve buralarda katı, yarı katı veya jel haline dönüşerek iyileştirme işlemi sağlanır. Bu yöntem sayesinde zemin içerisindeki boşluklar doldurulduğu için hem sızıntı ve sıvılaşma gibi problemlerin önüne

geçilmiş olur hem de zemin mukavemeti artırılarak taşıma gücü problemleri nispeten ortadan kaldırılmış olur.

Maliyeti diğer dolgu malzemelerine göre yüksektir. Bu nedenle büyük çatlaklar bulunan problemlerli bölgeye uygulanmadan önce kullanılacak kimyasal maddenin miktarını düşürebilmek için ilk olarak çimento enjeksiyonu yapmak gerekebilir. Büyük bir çatlakın kapatılması için sadece kimyasal enjeksiyon maddesi kullanırsa maliyet çok artacaktır ki bu durum mühendislik açısından doğru değildir. Ayrıca kil zeminler üzerinde kimyasal enjeksiyon yapılarak iyileştirme yapılamamaktadır. Bazı alanlarda da zehirli madde içerebileceği için kimyasal iyileştirme yasaklanmıştır.

2.3.5. Dondurma

Yeraltı suyu zemin mekaniği alanında büyük sorun teşkil eden faktörlerden biridir. Özellikle yeraltı suyunun zemin yüzeyinden daha yukarıda olduğu durumlarda kil zeminlerin dışındaki zeminlerde, dondurma yöntemi çok etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Metal boruların belirli aralıklara zemine batırılması ve bu borular içerisine aşırı soğuk kimyasallar (NL_2 , CO_2 , $CaCl_2$, $MgCl_2$, vb) gönderilmesi vasıtasıyla dondurma işlemi yapılmaktadır. Dondurma işleminden sonra yer altı suyu kontrolü sağlanmakta ve zemin durabilitesi artırılmaktadır.

Dondurma uygulanacak bölgede bazı şartların uygun olması gerekmektedir. Uygulama yapılabilmesi için zeminin su muhtevasının %10'dan fazla olması şartı aranmaktadır. En önemlisi ise dondurma işleminden sonra, su hacimce yaklaşık %9 genişleyeceği için çevrede bulunan yapılara zarar vermesi tehlikesi dikkate alınarak uygulama yapılmalıdır.

2.4. Donatılendirma

2.4.1. Geosentetikler

Geotekstil olarak da adlandırılan geosentetikler, sentetik maddelerden imal edilmiş geçirimsiz membran yada geçirimli dokuma ürünlerin genelini kapsamaktadır. Geosentetikler tabaka, ızgara, ağ, şerit vb. şekillerde imal edilmektedir. Günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan geosentetik malzemelerin üretim aşamasının

standartlaştırılmasının sağlanabilmesi için birçok deney yöntemi geliştirilmiştir. Geosentetikler, drenaj, ayırma, filtrasyon ve güçlendirme olmak üzere dört temel amaç için kullanılmaktadır.

Maliyeti düşük ve uygulanabilirlik açısından kolay olduğu için çok sık tercih edilen zemin iyileştirme malzemelerinden biridir. Bu nedenle yollar, barajlar, istinat yapıları, şevler, erozyon bölgeleri, sızıntı kontrollü vb. çok geniş kullanım alanına sahiptir.

2.4.2. Zemin Çivilemesi

Zemini stabil hale getirebilmek için çelik çubukların ön gerilme sistemi ile zeminin merkezine doğru yerleştirilmesiyle uygulanan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Çelik çubuklarda korozyondan ötürü paslanma görüldüğü için fiber-glass malzemedan imal edilmiş çubukların daha yaygın bir şekilde kullanılmasına sebep olmuştur. Granüle zeminlerin tümünde ve killerde kullanılabilen bir zemin iyileştirme yöntemidir.

3. ZEMİNLERDE TAŞIMA GÜCÜ HESABI

3.1. Statik Yükler Altında Taşıma Gücü

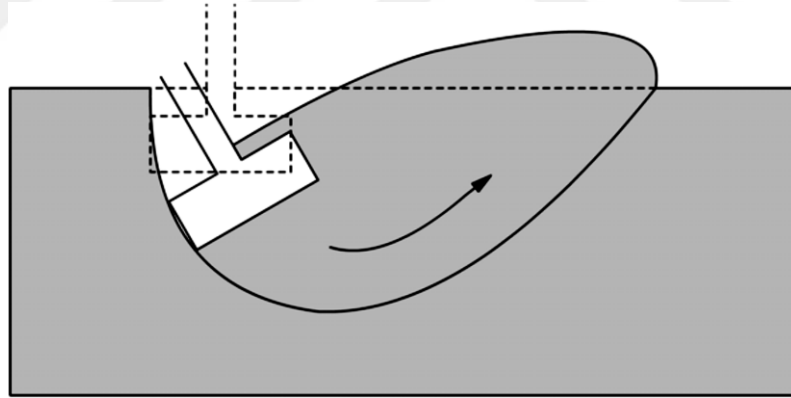
3.1.1. Taşıma Gücü Göçmesi

Bir yapıda temel tarafından zemine aktarılan yük zeminin taşıma gücünü aşması durumunda zeminde göçme meydana gelir. Bu durum taşıma gücü göçmesi olarak adlandırılır ve yapı için hayati önem arz etmektedir.

Taşıma gücü göçmeleri üçe ayrılabilir [79].

- 1) Genel kayma göçmesi
- 2) Yerel kayma göçmesi
- 3) Zımbalama kayma göçmesi

Taşıma gücü göçmesine Şekil 3.1’de örnek verilmiştir.



Şekil 3.1. Taşıma Gücü Göçmesi [80].

3.1.2. Yüzeysel Temelerde Taşıma Gücü Hesap Yöntemleri

Yüzeysel temelerde taşıma gücünün hesaplanması ilk olarak 1943 yılında Terzaghi tarafından Prandtl’in teorisinden faydalanılarak yapılmıştır. Prandtl çelikten imal edilmiş sert bir zımbayı diğer bir metal düzlem üzerine bastırarak burada oluşan plastik şekil değiştirmeyi incelemiştir. Sonuç olarak buradan hareketle birçok teori ve çözüm yöntemi geliştirmiştir. Fakat günümüzde Mayerhof (1951), Binch Hansen (1961) ve Vesic (1975) tarafından bulunan teoriler daha çok öne çıkmıştır. Genel

Q_u : Alttaki zeminde kayma göçmesine neden olan düşey yük
 B : Sürekli temelin genişliği
 L : Sürekli temelin uzunluğu
 γ : Zeminin birim hacim ağırlığı
 c : Temel altındaki kohezyon
 N_c, N_q, N_γ : Taşıma kapasitesi faktörleri (boyutsuz)
 olarak tanımlanır.

Buradaki N_c , N_q ve N_γ boyutsuz birer taşıma gücü faktörleri olup Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Taşıma Gücü Faktörleri

ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.0	0.0
5	6.50	1.6	0.5
10	8.30	2.5	1.2
15	11.0	3.9	2.6
20	14.8	6.4	5.4
25	20.7	10.7	10.8
30	30.1	18.4	22.4
32	35.5	23.2	30.2
34	42.2	29.4	41.1
36	50.6	37.7	56.3
38	61.4	48.9	78.0
40	75.3	64.2	109.4
42	93.7	85.4	155.6
44	118.4	115.3	224.6
46	152.1	158.5	330.4
48	199.3	222.3	496.0
50	266.3	319.1	762.9

Terzaghi taşıma gücü değerlerini kare ve daire temeller için farklı tanımlamıştır. Bu bağıntılar aşağıdaki gibidir;

$$\text{Kare temel} \quad \rightarrow q_u = 1.3 \cdot c \cdot N_c + 0.4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_q + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \quad (3.2)$$

$$\text{Dairesel temel} \quad \rightarrow q_u = 1.3 \cdot c \cdot N_c + 0.4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_q + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \quad (3.3)$$

3.1.2.2. Meyerhof Taşıma Gücü Hesabı

Meyerhof (1978), Terzaghi'nin bulmuş olduğu taşıma gücü bağıntısını eğim (i), şekil (s) ve derinlik (d) faktörleri ile geliştirerek daha kapsamlı hale getirmiştir. Sonuç olarak sırayla düşey ve eğik yükleme durumları için;

$$q_u = c.N_c.s_c.d_c + 0.5.\gamma.B.N_\gamma.s_\gamma.d_\gamma + \gamma.D_f.N_q.s_q.d_q \quad (3.4)$$

$$q_u = c.N_c.s_c.i_c + 0.5.\gamma.B.N_\gamma.s_\gamma.i_\gamma + \gamma.D_f.N_q.s_q.i_q \quad (3.5)$$

denklemleri geliştirilmiştir.

3.1.2.3. Hansen Taşıma Gücü Hesabı

Hansen (1970), Meyerhof'un taşıma gücü bağıntısına ek olarak temel sapma faktörlerini, yük eğim açısı faktörlerini ve zemin eğim faktörlerini de kapsayan bir denklem geliştirmiştir. Bu faktörlerin eklenmesi sonucunda Hansen'in taşıma gücü formülü;

$$q_u = c.N_c.s_c.d_c.i_c.g_c.b_c + 0.5.\gamma.B.N_\gamma.s_\gamma.d_\gamma.i_\gamma.g_\gamma.b_\gamma + \gamma.D_f.N_q.s_q.d_q.i_q.g_q.b_q \quad (3.6)$$

olarak tanımlanmıştır. Bağıntıda yer alan b_i temel tabanı ile yatay düzlem arasında η açısı kadar sapma olduğu durumlarda ve zemin eğim faktörü g_i ise temel ile temelin yan yüzeyini destekleyen zemin arasında β açısı kadar bir eğim olması durumunda kullanılmaktadır. Yük eğim faktörleri olan i_i ise temele etkileyen yatay ve düşey yük mevcutsa, bu durumda oluşacak düşey eksen ile bileşke yükler arasındaki sapmaları dikkate almak için kullanılan katsayılarıdır. Buna ek olarak Hansen, temelde oluşacak eksantrisitelerin taşıma gücü üzerindeki etkilerini de kapsayan bir kavram geliştirmiştir.

3.1.2.4. Vesic Taşıma Gücü Hesabı

Vesic (1975), Hansen tarafından geliştirilen yöntemle benzer bir yöntem geliştirmiştir. İki yöntem arasında N_γ taşıma gücü faktörü farklılık göstermektedir. Ayrıca Vesic, temel sapma faktörlerinin, yük eğim açısı faktörlerinin ve zemin eğim faktörlerinin belirlenmesi konusunda da farklı kavramlar geliştirmiş olup, Hansen'den farklı olarak temel boyutlarını olduğu gibi kabul etmiştir.

3.1.2.5. Kohezyonsuz Zeminlerde Taşıma Gücü

Kum, çakıl gibi kendini tutma özelliği olmayan, sadece daneler arasındaki sürtünme kuvveti ile ayakta durabilen zeminler kohezyonsuz zeminler olarak tanımlanabilir. Kohezyonsuz zeminlerde mukavemet içsel sürtüne ile sağlanmaktadır. Kohezyonsuz zeminlerde kohezyon faktörü bulunmadığından dolayı kohezyon $c=0$ olarak kabul edilir. Bu nedenle taşıma gücü hesaplamalarında kohezyon c 'nin içinde bulunduğu ilk terim bulunmamaktadır. Kohezyonsuz zeminlerde yeraltı suyu, danelerde yüzdürme etkisi yapacağından zeminin mukavemetinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu bağlamda yeraltı suyunun taşıma gücü üzerindeki etkisinin hesaba katılabilmesi için denklemde yer alan γ yerine γ' ($\gamma' = \gamma_d - \gamma_w$) yazılması yeterli olacaktır.

3.1.2.6. Kohezyonlu Zeminlerde Taşıma Gücü

Kil ve silt gibi plastik davranış gösteren ve taşıma gücü kohezyonsuz zeminlere göre daha düşük olan zeminler kohezyonlu zeminlerdir. Genel olarak kohezyonlu zeminlerde toplam gerilme analizi ve efektif gerilme analizi olmak üzere iki şekilde taşıma gücü hesabı yapılabilir.

Toplam gerilme analizinde plastik zeminin drenajsız kayma mukavemeti (S_u) kullanılır. Bu kavram zemin taneseli bir yapıdır, aralarında boşluklar bulunmaktadır ve boşluklar su ve/veya hava ile doludur anlamına gelmektedir. Genel olarak zemin mekaniğinde zemin suya doygun olarak düşünülerek problem çözümüne gidilir. Kohezyonlu zeminlerin daneleri arasındaki boşluklar çok az olduğu için suyu bünyesinde tutabilmektedir. Bu sebeple kohezyonlu zeminlerin suya doygun olarak kabul edilmesi hesaplamalar için uygun görülmektedir. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi kohezyonlu doygun bir zemine kuvvet etki ettirilmesi halinde, bu kuvvet ilk olarak boşluktaki su tarafından karşılanır ve bunun sonucu olarak ek bir boşluk suyu basıncı meydana gelir. Oluşan bu ilave boşluk suyu basıncının mukavemeti azaltan etkisinde elde edilen mukavemet değerine yansımaktadır [81].



Şekil 3.3. Doymun Zeminde İlave Boşluk Suyu Kavramı [81].

Dışardan etkiyen kuvvete bağlı olarak oluşan ilave boşluk suyu basıncı zeminin her tarafında eşit şiddette görülmektedir. Bu kuvvet zeminde bozucu bir etki yapmaktadır ve zeminin iç gerilmesini aşması halinde kısmi göçmelerden başlayarak ilerleyen süre zarfında genel göçmeye sebep olabilir. Herhangi bir göçme görülmesine dahi boşluk suyu basıncı her zaman efektif gerilmeyi azaltıcı etkiye sahiptir. Sonuç olarak toplam gerilme aynı kalacağından boşluk suyu basıncındaki artış, efektif gerilmenin azalmasına sebep olacaktır [81]. Bu durumda;

$$\sigma' = \sigma - u \quad (3.7)$$

yazılabilir. Burada efektif gerilme σ' , toplam gerilme σ ve boşluk suyu basıncı u olarak tanımlanmaktadır.

Plastik zemindeki drenajsız kayma mukavemeti (S_u) ise Vane deneyi gibi arazi deneyleriyle yada laboratuvar ortamında yapılan serbest basınç deneyleri vasıtasıyla elde edilebilmektedir. Eğer S_u değeri derinliğe bağlı olarak değişmeden sabit kalıyorsa $S_u=c$ ve $\phi=0$ olarak tanımlanır [81]. Buradan hareketle sürekli temellerde taşıma gücü değeri;

$$q_u = 5 \cdot c + \gamma \cdot D_f \quad (3.8)$$

veya

$$q_u = 5 \cdot S_u + \gamma \cdot D_f \quad (3.9)$$

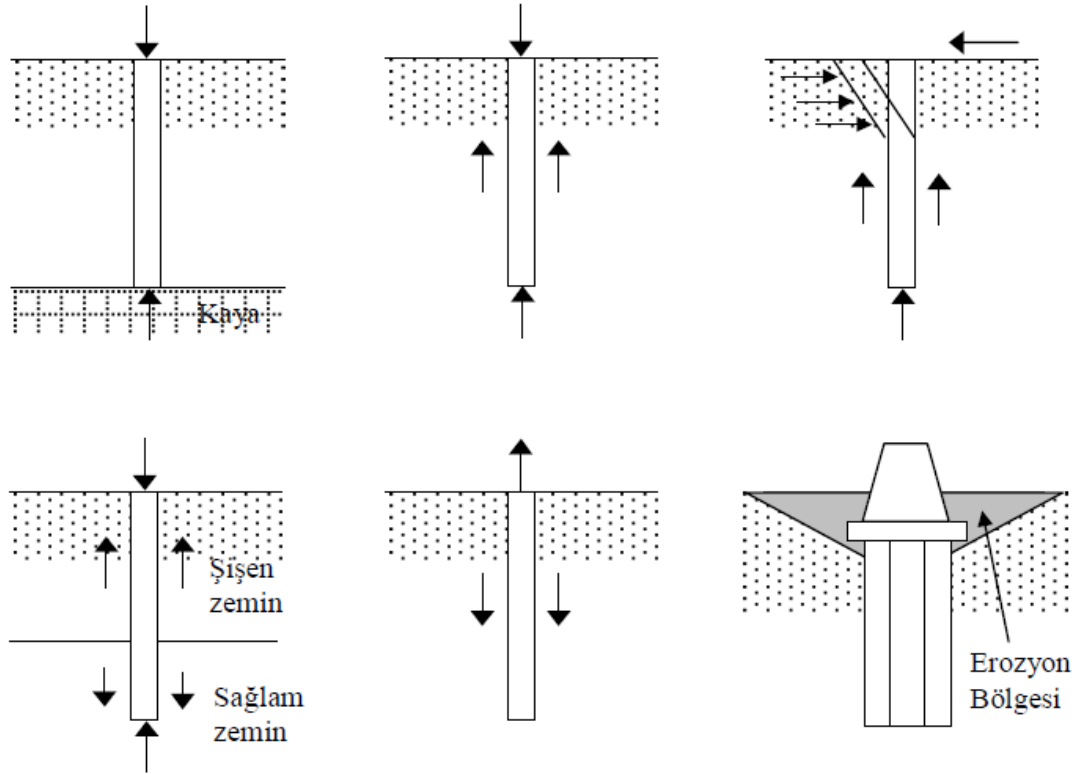
olarak ifade edilir. Tekil temeller için ise taşıma gücü;

$$q_u = 5 \cdot c \cdot (1 + 0,3 B/L) + \gamma \cdot D_f \quad (3.10)$$

formülü ile hesaplanır.

3.1.2.7. Derin Temeller İçin Taşıma Gücü

Zemin taşıma gücünün zayıf olduğu durumlarda, yapı temelinin zemine aktardığı yük derin temeller tarafından karşılanır. Derin temeller yapıdan aldıkları yükü doğrudan daha alt katmanlardaki sağlam zemine iletirler. Bu nedenle yumuşak gevşek zeminlerde derin temeller yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bir temel sisteminde temel derinliğinin temel genişliğine oranı ($D/B > 1$) 1 den büyük ise bu durumda bahsi geçen temel sistemi derin temeller sınıfına girmektedir. Şekil 3.4'te derin temellerin kullanıldığı durumlar verilmiştir.



Şekil 3.4. Derin Temellerin Kullanıldığı Durumlar [81].

Şekil 3.4'te verilen durumlar incelendiğinde derin temel sisteminin sağlam zemine ulaştığı durumlarda, yapı tarafından zemine aktarılan doğrudan sert zemine ulaşmakta ve uç dirençten yararlanılmaktadır. Fakat sert zeminin çok derinlerde

olduğu durumlarda derin temel sistemleri sert zemine kadar ulaşamamaktadır. Bu tür durumlarda ise yine Şekil 3.4'te görüldüğü gibi derin temel sisteminin yan al sürtünme kuvvetinden faydalanılmaktadır.

3.2. Sismik Yükler Altında Taşıma Gücü

3.2.1. Sismik Yükler Altında Taşıma Gücü Kayıpları

Depremlerden sonra yapılarda sıvılaşma ve yoğunluk değişimine bağlı olarak hasarlar meydana gelmektedir. Bu iki durum dışında meydana gelen hasarlar taşıma gücü kayıpları ile açıklanabilir. Günümüzde depremler sonrası meydana gelen hasarların bir çoğu sıvılaşma kaynaklı olduğu düşünölmüştür. Fakat bu durum iyice irdelendiğinde temel sebebin taşıma gücü kayıpları olduğu görölmektedir.

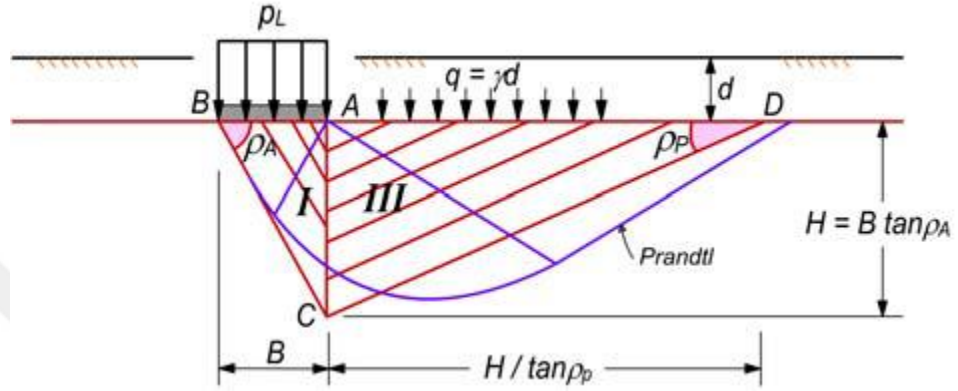
Yapının tasarım aşamasında yüksek güvenlik sayıları sečilmesine rağmen deprem sonrası büyük hasarlar meydana gelmektedir. Bu durum; hesaplama aşamasında yapıya etki ettirilen deprem yükünün öngöröleden farklı olması yada zeminin kayma mukavemetinin gerçek değerinden daha büyük bulunmuş olması ile açıklanabilir. Taşıma gücü hesaplanırken yine zeminin önceki bir zamanda elde edilmiş parametrelerinin kullanılması da hatalı sonuca sebep olabilmektedir. Yapının yapılacağı yerin yan tarafına açılmış bir çukur yada yeraltı su seviyesinin değişmesi gibi sebeplerden ötürü kullanılacak parametrelerde değişiklik meydana gelmiş olabilir. Bu nedenle zemin üzerine yapılacak hesaplamalarda güncel veriler kullanmak büyük önem arz etmektedir.

Taş kolonlarla desteklenen temelerde hatta kazık temel sistemlerinde bile göçme meydana gelmektedir. Bu durumun genellikle sıvılaşma kaynaklı olduğu düşünölmüştür. Fakat yapılan çalışmalar ve gözlemler ile bu göçmelerin sert ve sıkı zeminlerde de meydana geliyor olması sıvılaşmadan çok taşıma gücü kayıplarından kaynaklandığını göstermiştir.

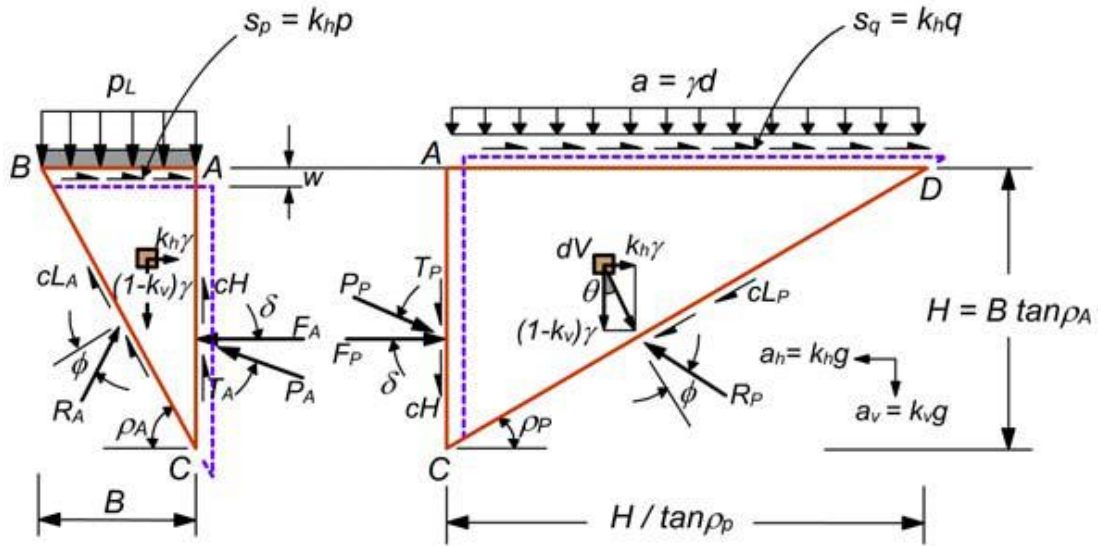
3.2.2. Sismik Yükler Altında Taşıma Gücü Hesabı

Sismik yük etkisinde temel altındaki göçme mekanizmasında değişme meydana gelmektedir. Statik göçme mekanizmasındaki aktif ve pasif kamaları çevreleyen kayma düzlemleri, ivmenin artması ile birlikte giderek yatay hale gelmektedir.

Burada statik taşıma gücü hesabında kullanılan Coulomb göçme mekanizmasına dinamik deprem etkileri ilave edilerek sismik yük etkisi altındaki taşıma gücü faktörleri elde edilmektedir. Şekil 3.5'te Coulomb'un sürtünme ihmal edilen basitleştirilmiş kayma kamaları verilmiştir. Buna ek olarak Şekil 3.6'te ise sürtünmenin dikkate alındığı Coulomb mekanizması görülmektedir.

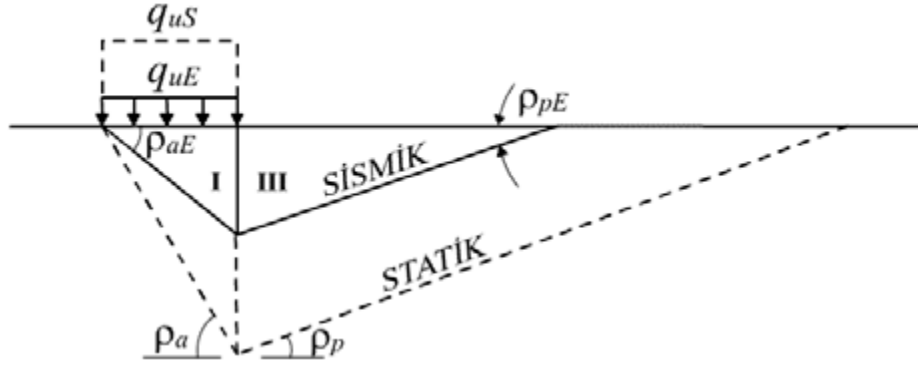


Şekil 3.5. Basitleştirilmiş Coulomb Kayma Kamaları ($\delta \neq 0$) [82].



Şekil 3.6. Coulomb Mekanizması (Δ Sürtünmesinin Dikkate Alındığı Durum) [82].

Richards ve diğerlerinin 1993 te yapmış oldukları çalışmadan uyarlanan statik ve sismik taşıma gücü kamaları Şekil 3.7'te görülmektedir.



Şekil 3.7. Statik ve Sismik Şartlarda Taşıma Gücü Kamaları [81].

Terzaghi (1943)'e göre sürekli temel için statik durumdaki taşıma gücünün;

$$q_{uS} = c \cdot N_c + \gamma \cdot L \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (3.11)$$

formülü ile hesaplandığını statik yükler altında taşıma gücünün hesaplanması konu başlığı altında verilmişti. Deprem ivmelerinin etkisi bu bağıntıya eklenerek sismik taşıma gücü (q_{uE});

$$q_{uE} = c \cdot N_{cE} + \gamma \cdot L \cdot N_{qE} + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma E} \quad (3.12)$$

olarak elde edilir. Burada sismik taşıma gücü faktörleri N_{cE} , N_{qE} ve $N_{\gamma E}$ olarak tanımlanmıştır.

Taşıma gücü faktörleri statik durumda sadece içsel sürtünme açısına (ϕ) bağlı iken, dinamik durumda ise taşıma gücü faktörleri içsel sürtünme açısının yanı sıra duvar sürtünme açısı (δ) ve yatay-düşey ivme katsayılarına da (k_h , k_v) bağlı olarak değişmektedir ve;

$$N_{qE} = K_{PE} / K_{AE} \quad (3.13)$$

$$N_{cE} = (N_{qE} - 1) \cot \phi \quad (3.14)$$

$$N_{\gamma E} = \tan \rho_{AE} (K_{PE} / K_{AE} - 1) \quad (3.15)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada;

K_{PE} ve K_{AE} : Dinamik durum için aktif ve pasif yanal toprak basıncı

ρ_{AE} : Kama açısı

ifade edilmektedir. Tschebotarioff (1951)'e göre; [81].

$$\rho_{AE} = a + \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{(1 + \tan^2 a) [1 + \tan(\delta + \theta) \cot a]} - \tan a}{1 + \tan(\delta + \theta)(\tan a + \cot a)} \right) \quad (3.16)$$

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos \theta \cos(\delta + \theta) \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta)}{\cos(\delta + \theta)}} \right)^2} \quad (3.17)$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos \theta \cos(\delta + \theta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta)}{\cos(\delta + \theta)}} \right)^2} \quad (3.18)$$

olarak ifade edilmektedir. Denklemlerdeki $a = \phi - \theta$ ve $\theta = \tan^{-1} k_h / (1 - k_v)$ olarak tanımlanmaktadır. $\delta = \phi / 2$ olarak tanımlanmaktadır.

3.2.3. Yarı – Statik (Psödostatik) Yaklaşım

Sismik yüklerin etkisinin hesaplanması için kullanılan ilk yöntemlerden biridir. Deprem yükünün hesaplanması için bir sismik katsayı (k) ile zeminin birim hacim ağırlığı çarpılır. Sonuç olarak temsili bir yarı statik (psödostatik) kuvvet elde edilir. Elde edilen bu yarı statik kuvvet zeminlerin sismik yükler altındaki sınır denge problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Sismik katsayı olarak tanımlanan k katsayısı ise yaklaşık olarak deprem kuvvetlerinin ürettiği bir ivme olarak ifade edilir.

Yarı statik (psödostatik) yöntem ilk olarak Terzaghi (1950) tarafından uygulanmıştır. Yöntemde deprem yükü, zemin üzerine ek bir statik kuvvet etki ediyormuş gibi düşünülerek uygulanmaktadır. Böylelikle yanal bir kuvvet zemin kütlelerine etki etmektedir. Burada yarı statik (psödostatik) yanal kuvvet F_h ;

$$F_h = m \cdot a = \frac{W \cdot a}{g} = \frac{W \cdot a_{\max}}{g} = k_h W \quad (3.19)$$

olarak ifade edilir. Denklemden ;

F_h : Zemin kütlesine içten dışa doğru etki eden yarı statik yanıl kuvvet (kN).

m : Zemin kütlesinin toplam kütlesi (kg)

a : Deprem kuvvetlerinin zemin yüzeyinde oluşturduğu yatay ivme (m/sn^2)

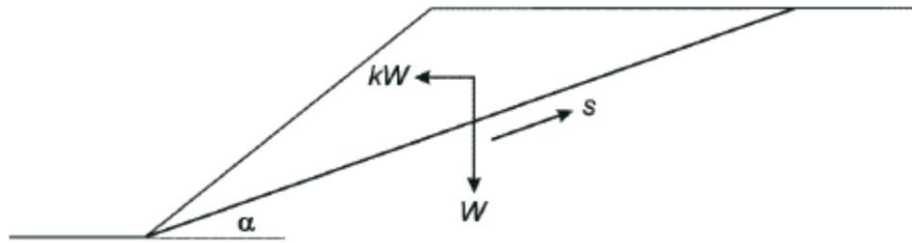
g : Yer çekimi ivmesi (m/sn^2)

a_{max} : Deprem kuvvetlerinin zemin yüzeyinde oluşturduğu maksimum yatay ivme.

Bu değer, bir deprem grafiğindeki pik ivme değeridir (m/sn^2)

$k_h = a_{max} / g$: Boyutsuz sismik katsayı. Yarı statik (psödostatik) katsayı

olarak tanımlanmaktadır. Deprem kuvvetinin yarı statik (psödostatik) yöntemle gösterimi Şekil 3.8 'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Deprem Kuvvetinin Yarı Statik Yöntemle Gösterimi

Analizlerde yarı statik kuvvetin nereye yerleştirileceği konusu sorun teşkil etmektedir. Bu konuda Terzaghi (1950) yarı statik kuvvetin zemin kütlesinin tamamının veya her bir bölümünün ağırlık merkezine etki ettirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Bir deprem sırasında hareketli kütleye hem yatay hem de düşey kuvvetler etki etmektedir. Fakat yarı statik (psödostatik) yaklaşımda düşey kuvvet genellikle yok sayılarak yalnızca yatay kuvvet kullanılmaktadır. Bu durumun temel sebebi hareketli zemin kütlesinin üzerine etkiyen düşey kuvvetin çok az miktarda olmasıdır. Bununla

birlikte genel olarak depremlerin çoğunda yatay pik ivme değeri düşey pik ivme değerinde daha büyük bir değere sahiptir. Bu nedenle k_h 'ın (yatay) değeri k_v 'nin değerinden daha büyüktür [83].

W ve k_h faydalanılarak yarı statik kuvvet hesaplanır. W değeri zemin ve kayanın birim hacim ağırlığından faydalanılarak laboratuvar deneyleri ile belirlenir. Fakat k_h sismik katsayısının belirlenmesi oldukça zordur [83].

k_h 'ın belirlenmesi tecrübe gerektiren bir konu olmakla birlikte, bazı parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir [83].

- ❖ Yer ivmesinin pik değeri ne kadar büyük ise yarı statik analizlerde kullanılacak olan k_h değeri o kadar büyük olmalıdır.
- ❖ Aynı şekilde depremin büyüklüğü ne kadar fazla ise yarı statik analizlerde kullanılacak olan k_h değeri de buna doğru orantılı olarak büyük olmalıdır.
- ❖ k_h katsayısının maksimum değeri hiçbir zaman a_{max}/g değerinden büyük olmamalıdır.
- ❖ k_h katsayısının minimum değeri ise bölgelerin yönetmeliklerine göre değişiklik göstermektedir. Bunun temel sebebi farklı bölgelerin farklı deprem riskleri taşımasıdır [83].

Verilen bu bilgiler ışığında bazı önermeler yapmak mümkündür.

- ❖ Küçük bir zemin göçme kültesi için $k_h = a_{max}/g$ değeri kullanılabilir.
- ❖ Orta büyüklükteki bir zemin göçme kültesi için $k_h = 0,65 a_{max}/g$ olarak kullanılmaktadır (Krinitzsky vd., 1993; Taniguchi ve Sasaki 1986). Bu değer sınıvlaşma hesaplamalarında da kullanılmaktadır.
- ❖ Büyük bir zemin göçme kültesi için düşük k_h değer kullanılmalıdır. Bu durum için Seed (1976) aşağıdaki önerilerde bulunmuştur;
 - 6,5 büyüklüğünde bir deprem meydana gelebilecek bir fay hattına yakın bölgelerde $k_h = 0,1$, yarı statik emniyet faktörü ise 1,15 veya daha büyük değerlerde kabul edilebilir.

- 8,5 büyüklüğünde bir deprem meydana gelebilecek bir fay hattına yakın bölgelerde $k_h = 0,15$, yar statik emniyet faktörü ise 1,15 veya daha büyük kabul edilebilir.

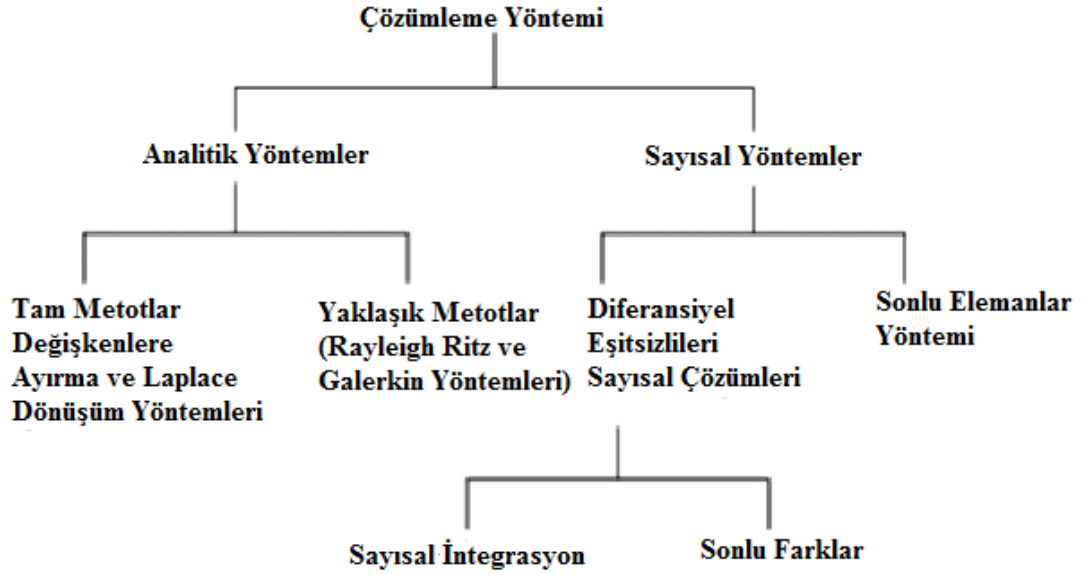
Bununla birlikte sismik katsayının belirlenmesinde yol gösterici bazı bilgiler bulunmaktadır [84].

- ❖ Bu konuda Terzaghi (1950) aşağıda verilen değerleri önermektedir.
 - Şiddetli depremlerde (Rossi-Forrel IX) $k_h = 0.10$
 - Yıkıcı depremlerde (Rossi-Forrel IX) $k_h = 0.20$
 - Katastropik (Felaket boyutunda) depremlerde $k_h = 0.50$
- ❖ Seed ile Martin (1966) ve Dakoulas ile Gazetas (1986) kayma kirişi modellerinden faydalanarak, k_h katsayısının toprak barajlar için göçme kütlelerinin boyutuna bağlı olarak değiştiğini göstermişlerdir.
- ❖ Marcuson (1981) barajların tasarımına bağlı olarak sismik hareketin doğurabileceği büyültme ve küçültme etkisinin dikkate alınmasının yanı sıra, barajlar için $k_h = 0,33a_{max}/g$ ile $k_h = 0,50a_{max}/g$ değerlerini önermiştir.
- ❖ Hynes-Griffin ve Franklin (1984) deprem kayıtlarıyla yapılan bir çalışmadan yararlanarak toprak barajlar için k_h değerinin 0,50 olarak seçilmesini önermişlerdir [84].

Yarı statik (psödostatik) hesap yönteminin özellikle zeminlerin deprem sebebiyle büyük mukavemet kaybına uğramadığı durumlarda, sismik duraylılık problemlerinin çözümlerinde büyük ölçüde fayda sağladığı unutulmamalıdır. Bununla birlikte k_h sismik katsayısının belirlenmesinde, yukarıda anlatılan parametreler ile bu konu hakkında önceki yapılan çalışmalar göz önüne alınmalıdır.

4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

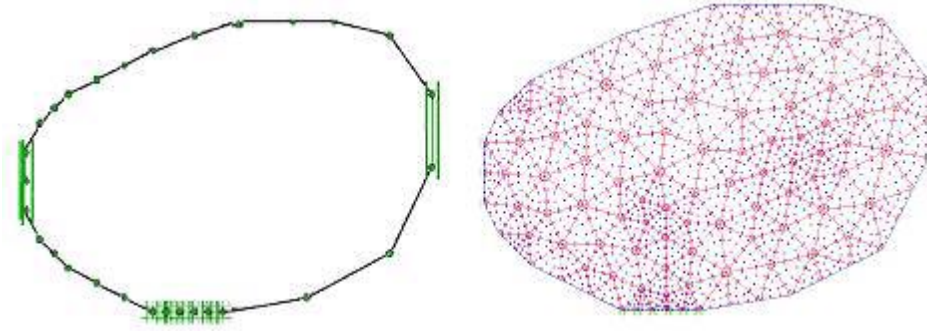
Zeminlerin davranışlarının incelenmesi konusu geçmişten günümüze kadar birçok ampirik ve teorik yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar birçok saha problemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmakta olup Şekil 4.1’de analiz metotları verilmiştir (Rao 2005). Yaklaşımların geneli incelendiğinde zemini lineer-elastik bir ortam olarak kabul ederek çözüme ulaşmaktadır. Fakat reelde zemin nonlineer (lineer olmayan) yapıya sahip olduğundan yapılan kabullerle reel bir çözüme ulaşmak çok zordur. Geçmişten günümüze teknolojinin ilerlemesi ile birlikte bilgisayarlar ve yazımlar da büyük gelişme kaydedilmiştir. Bu gelişmeler sayesinde zemin mekaniği alanında da hızlı bir şekilde çözüme ulaşılabilir. Yöntemlerin geneli sayısal yöntemler olarak adlandırılmaktadır ve bu yöntemler arasında en etkin olanı sonlu elemanlar yöntemidir.



Şekil 4.1. Analiz Yöntemleri [85].

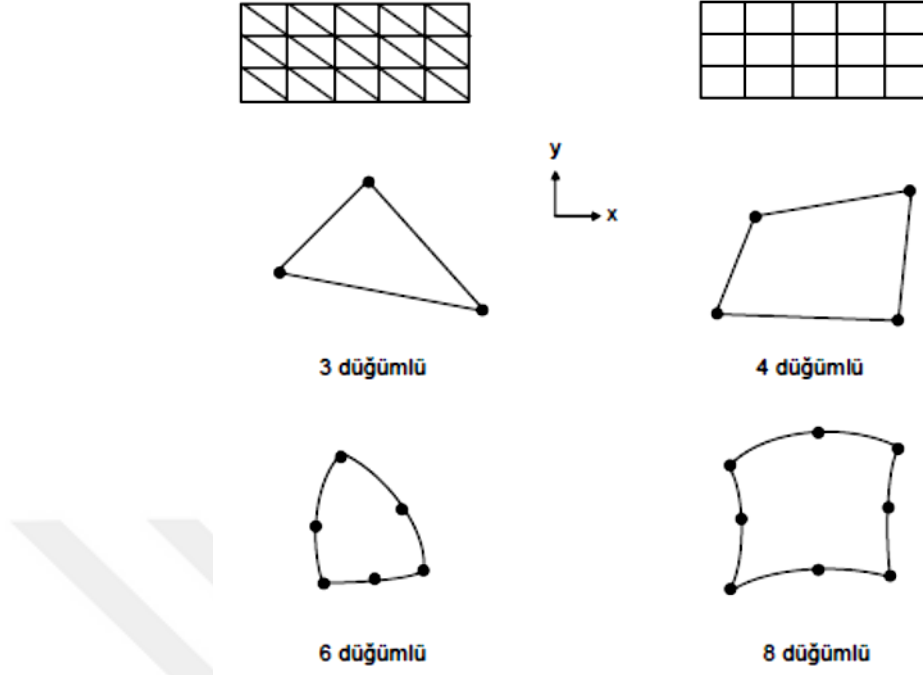
Sonlu elemanlar yönteminde çözüme gidilirken bir alan birbirine bağlı birçok parçaya ayrılır. Zeinkiewicz (1977) sonlu elemanlar yöntemini sayısal ifadelerle tanımlanmış birbirine bağlı sürekli sistemler için geliştirilmiş genel çözüm yöntemi olarak tanımlamıştır. Yöntemde sonlu sayıda elemana sahip bir sistem içerisinde birbirine bağlı bileşenler ve bu bileşenlerin düğümleri bulunmaktadır [86].

Şekil 4.2’de sonlu elemanlar metodunu mekanizması verilmiştir. Farklı boyutlarda tanımlanmış alanlara ve düğümlere ayrılmış bir plak vasıtasıyla yer değiştirme, dönme, eğim vb. parametreler kısa sürede hesaplanabilir. Problemin temelinde sonsuz sayıda noktanın, sonsuz sayıdaki gerilmesi mantığı bulunmaktadır [87].



Şekil 4.2. Sonlu Elemanlar Metodu Mekanizması [87].

Yöntemde ilk olarak verilen alan daha küçük elemanlara ayrılır. Bu elemanlar daha sonrada sonlu elemanlar ağına çevrilmektedir. Serbestlik derecesi göz önünde bulundurularak yüzeylerin eğri olduğu durumlarda eğrisel elemanlar seçilmektedir. Şekil 4.3’te görüldüğü gibi sonlu elemanlar düğüm sistemi genellikle üçgen veya dörtgen formdadır. Problem çözümünde kullanılan bu düğüm noktalarına “node” adı verilmektedir. Yüzeylerin düz olduğu durumlarda düğüm noktaları genellikle elemanın köşe noktalarına konumlandırılırken, yüzeylerin eğrisel olduğu durumlarda ise düğümler her yüzeyin orta noktasına konumlandırılmaktadır [88].



Şekil 4.3. 2 Boyutlu Elemanlar [86].

Şekil 4.3'te görülen düğüm noktaları gerçekte birbirine sonsuz sayıda nokta ile bağlanıyorken, sonlu elemanlar metodunda sadece düğüm noktaları ile bağlanmaktadır. Bunun sayesinde hesaplamalar yalnız bu noktalar aracılığıyla sağlanmaktadır. Bazı karmaşık sistemlerin çözülebilmesi için nokta sayısının daha sık yani daha fazla olması gerekmektedir. Nokta sayısı arttığı zaman çözüm süresinin artması olumsuz bir durum olarak görünse de bilgisayar sistemlerinin gelişmesi sayesinde bu sorun aşılabilmektedir [88].

1966 yılında sonlu elemanlar metodu zemin mekaniği alanında kullanılmaya başlanmıştır. Reyes ve Deene (1966) yeraltı kayalarında kazı uygulamalarında, Clough ve Woodward (1967) ise yanal ve düşey hareketler ile dolguda oluşan gerilmelerin belirlenmesi amacıyla bu metodu kullanmışlardır. Geoteknik mühendisliğinde sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan bir çok analizde, reel duruma en yakın sonucu alabilmek amacıyla modeller adım adım oluşturulmaktadır [36].

Genel olarak sonlu elemanlar yöntemiyle geoteknik mühendisliği alanında yatay ve düşey ötelenmeler, gerilmeler, yeraltı suyu akışı ve boşluk suyu basıncı vb. birçok parametre belirlenebilmektedir.

Yapılan bu çalışmada da iki boyutlu ve üç boyutlu olarak çözüm imkanı sunabilen Plaxis sonlu elemanlar programının 2D AE (Anniversary Edition) versiyonu kullanılmıştır. Program hakkında genel bilgiler bir sonraki başlık altında verilmiştir.

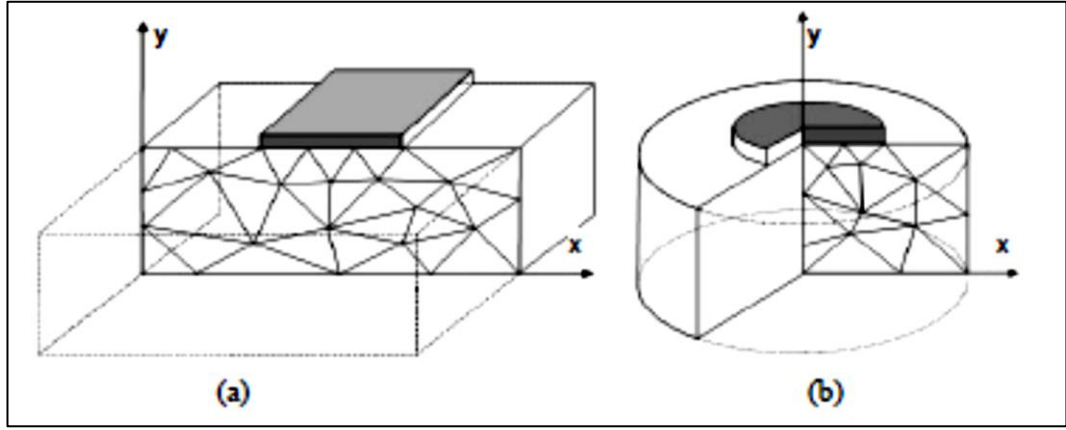
4.1. Plaxis Sonlu Elemanlar Programının Tanıtımı

Plaxis (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis), ilk olarak Hollanda'da yer alan Delf Teknik Üniversitesi tarafından 1987 yılında geliştirilmiş, geoteknik mühendisliği alanında, sonlu elemanlar metoduyla hesaplama yapabilen bir bilgisayar programıdır. Program ilk olarak yumuşak gevşek zeminler üzerindeki nehir dolgularının daha kolay bir şekilde analizinin yapılabilmesi amacıyla yazılmıştır. İlerleyen yıllarda kullanım alanı genişletilerek ilk olarak 1993 yılında ticari bir yazılım haline dönüştürülmüştür. 1998 yılında ise windows işletim sistemi üzerinde çalışabilen versiyonu geliştirilen program, günümüzde geoteknik mühendisliği alanında gerilme-şekil değiştirme, zemin-yapı etkileşimi, taşıma gücü, konsolidasyon, akım ağı, zemin sismik analizleri ve zeminin diğer özelliklerinin belirlenmesi gibi ihtiyaç duyulan parametrelerin hesaplanması amacıyla kullanılmaktadır.

4.1.1. Geometrik Modelin Oluşturulması

Plaxis programında bir zemin probleminin çözülebilmesi için ilk olarak geometrik modelin doğru şekil ve ölçülerde oluşturulması gerekmektedir. Bu amaç için program içerisinde kullanımı kolay bir çizim ekranı geliştirilmiştir. Çözülecek problemin türüne göre kullanıcıya düzlem-şekil değiştirme veya eksenel simetrik koşulların seçimine imkan sunulmaktadır.

İki tip modelleme olanağı sunan Plaxis paket programında, Plane Strain (İnce Levha) ve Axisymmetry (Uzun Silindir) model sistemleri bulunmaktadır. Şekil 4.4'te modelleme şekilleri verilmiştir.

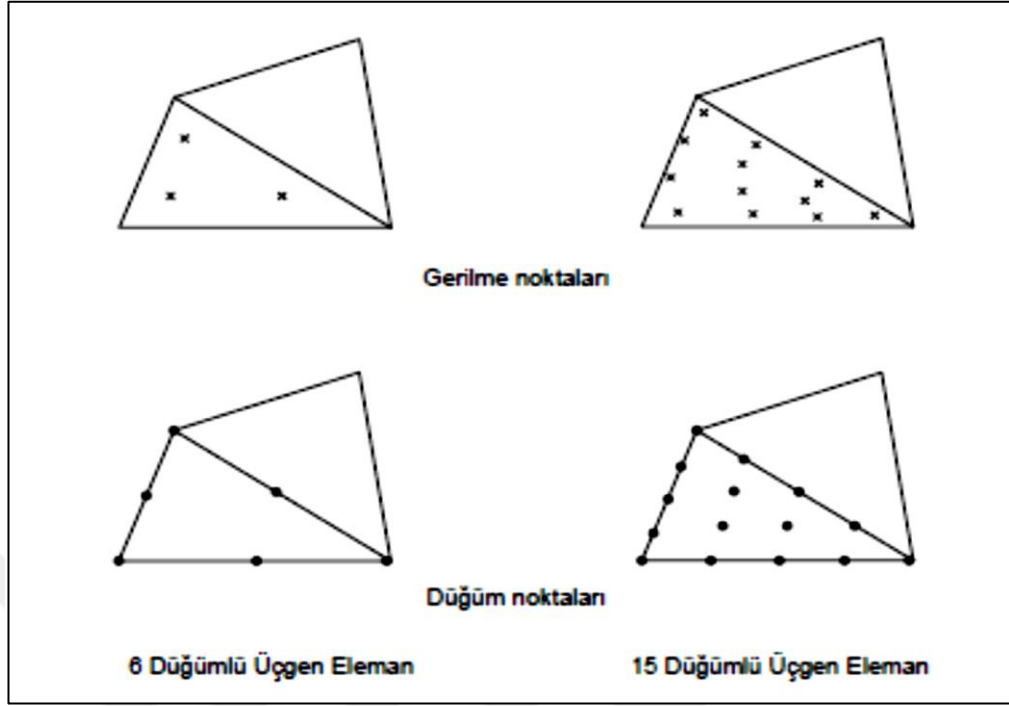


Şekil 4.4. a) Plain Strain Model B) Axisymmetry Model [89].

Simetri eksenini bulanan modellerde genellikle Axisymmetry model kullanılırken, sayısal modellerin analizlerinde genellikle Planestrain model kullanılmaktadır.

4.1.2. Zemin Eleman Tipleri

Plaxis'te problem çözümü yapılacak olan zemin modellenirken iki boyutlu üçgen eleman kullanılmaktadır. Bununla birlikte program içerisinde 6 ve 15 düğüm noktalı olmak üzere iki tip üçgen eleman mevcuttur. Bu düğüm noktaları Şekil 4.5'te görülmektedir. Eğer çalışmalarda hızlı bir ön hesap gerekiyorsa genellikle 6 düğüm noktalı eleman tipi seçilirken, daha detaylı ve önem taşıyan problem çözümlerinde 15 düğüm noktalı eleman tipinin seçilmesi uygun olacaktır. Bu durum 15 düğüm noktalı eleman tipinin, 6 düğüm noktalı eleman tipine göre daha hassas sonuç vermesiyle alakalıdır.



Şekil 4.5. Gerilme Ve Düğüm Noktaları

4.1.3. Ağ (Mesh)

Daha önceki başlıklarda da bahsedildiği gibi sonlu elemanlar metodunda çözüme gidilirken, model küçük alanlara ayrılarak analiz yapılmaktadır. Plaxis programında ağ oluşturma mantığı da bu şekilde işlemektedir. Bu şekilde küçük parçalar haline getirilen bir alan daha rahat analiz yapılmasını sağlamaktadır. Bölünen parçaların üç kenarlı olması da çözüm için ayrı bir avantaj sağlamaktadır. Dikkat edilmesi gereken noktalardan biri, ağ oluşturulurken önem arz eden alanlarda daha hassas ve doğru hesap yapabilmek adına daha çok parçaya bölünmesi durumudur. Özellikle yükün etki ettiği yüzey, model içerisinde temel var ise temelin alt kısmı, şevlerde eğimli yüzey gibi hassas bölgelerde sık ağ sistemi oluşturulması önem arz etmektedir. Yapılan deneysel çalışmalardan faydalanılarak ağ sıkılaştırılma işlemi yapılacak alanlar belirlenebilir. Ortalama ağ boyu olarak tanımlanan I_e , dane büyüklüğü faktörü n_c 'ye ve geometrik ölçülere bağlı olarak değişmektedir. Aşağıda I_e parametresinin belirlenmesinde kullanılan bağıntı verilmiştir.

$$I_e = \sqrt{\frac{(x_{max} - x_{min})(y_{max} - y_{min})}{n_c}} \quad (4.1)$$

Burada x ve y parametreleri geometrinin dış uzunluklarını ifade etmektedir. Sıklık derecesine göre n_c parametresinin değişimi ise aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

- Çok Sık $n_c = 400$ 1000 Eleman civarında
- Sık $n_c = 200$ 500 Eleman civarında
- Orta Sıklık $n_c = 100$ 250 Eleman civarında
- Normal Sıklık $n_c = 50$ 100 Eleman civarında
- Çok Sıklık $n_c = 25$ 50 Eleman civarında

4.1.4. Zemin Davranışının Modellenmesi

Plaxis programında, Mohr-Coulomb (MC), Hardening Soil (HS), Hardening Soil model with small-strain stiffness (HSsmall), Linear Elastik (LE), Soft Soil (SS), Soft Soil Creep (SSC), Jointed-Rock Model (JR) ve Modified Cam-Clay gibi zemin tanımlamak için kullanılan farklı model türleri bulunmaktadır. Bu model türleri alt başlıklarda tanımlanmıştır.

4.1.4.1. Mohr-Coulomb (MC) Zemin Modeli

Mohr Coulomb zemin modelinde, kohezyon (c), sürtünme açısı (f), poisson oranı (μ), dilatasyon açısı (ψ) ve elastisite modülü (E) olmak üzere 5 parametre girilerek elastotam plastik zemin davranışları modellenmektedir.

4.1.4.2. Hardening Soil (HS) Zemin Modeli

HS zemin modeli, MC zemin modeline göre çok daha gelişmiş bir yapıya sahiptir. Daha çok farklı türdeki zeminlerin davranışlarını modellemek amacıyla kullanılmaktadır. Yine bu model sisteminde de gerilme düzeyi sürtünme açısı, dilatasyon açısı ve kohezyon ile sınırlandırılmıştır. Basınçla paralel olarak zemin rijitliğide artmaktadır. HS modelinde hesap adımı çok fazla olması sebebiyle hesaplama süresi oldukça uzundur. Temelde drenajlı üç eksenli basınç deneyi içerisinde gözlemlenen deviatorik gerilme – eksenel deformasyon ilişkisinin yaklaşık hiperbol şeklinde olmasına durumuna dayanır.

HSsmall zemin modelinde ise bu ek olarak hesaplara bağlı rijitlik matrisi ile zeminin yükleme geçmişi de dahil edilmektedir. Böylece dairesel yüklemelerde de kullanılabilir. Yumuşama ve gevşeme problemlerinin olduğu durumlar için

tekrarlı yüklemeyi ihmal etmesi sebebiyle kullanımını uygun değildir. HS modeline göre hesaplama süresi daha uzundur.

4.1.4.3. Lineer Elastik Zemin Modeli (LE)

LE zemin modeli kaya gibi yalnızca sert ve büyük zemin kütlelerinin davranışlarının incelenmesinde kullanılmaktadır. Bu nedenle zemin davranışlarının belirlenmesi konusunda sınırlı olarak imkan tanımaktadır. Poisson oranı (ν) ve elastisite modülü (E) olmak üzere iki parametreden faydalanılarak sonuca gidilir.

4.1.4.4. Soft Soil Zemin Modeli (SS)

Zemin mekaniği alanında yumuşak gevşek zeminlerin büyük ölçüde sıkışabilirlik özelliği bulunmaktadır. Bu tür zeminlerin modellenmesinde SS zemin modeli kullanılmaktadır. SS modeline modifiye sıkışma indeksi (λ^*), modifiye şişme indeksi (K^*), içsel sürtünme açısı (ϕ), dilatasyon açısı (ψ) ve kohezyon (c) parametreleri kullanılmaktadır.

4.1.4.5. Soft Soil Creep Zemin Modeli (SSC)

SSC modelinde yine SS modelinde olduğu gibi yumuşak gevşek zeminlerin davranışlarının incelenmesinde kullanılmaktadır. SSC zemin modeli özellikle zamana bağlı davranış biçiminin modellenmesi amacıyla kullanılır. Çözüme ulaşmak için SS modelindeki parametrelerle aynı parametreler girilmektedir.

4.1.4.6. Jointed-Rock Zemin Modeli (JR)

Kayma doğrultularında yalnızca sınırlı sayıda plastik kaymanın gerçekleştiği anizotropik elasto-plastik model olarak tanımlanabilir. Birleşik veya tabakalı kaya modellerinin davranışlarını incelemek için kullanılmaktadır. JR modelinde kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ), dilatasyon açısı (ψ), poisson oranı (ν) ve elastisite modülü (E) giriş parametreleri olarak kullanılmaktadır.

5. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışmada sonlu elemanlar programı olan Plaxis 2D kullanılarak, taş kolonlu ve taş kolonsuz zemin modelleri oluşturulmuştur. Çalışmanın temel amacı yüzen taş kolonların sismik yükler altındaki taşıma gücü kayıplarını incelemek ve taş kolonlarla iyileştirilmiş zeminlerle, taş kolonsuz zeminler arasındaki performans farkını daha net görebilmektir. Çalışmada taş kolonlar, zemine farklı uzunlukta (0.5B, B, 1.5B, 2B, 3B, 4B), farklı içsel sürtünme açılarıyla ($\phi:35^\circ$, $\phi:40^\circ$, $\phi:45^\circ$), farklı çaplarda (D:600 mm, D800 mm ve D:1000 mm) ve farklı taş kolonlar arası mesafeye (s/D:2, s/D:3) uygulanarak bu parametrelerin taşıma gücü üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bu duruma ek olarak oluşturulan zemin modellerinin kohezyonları da değiştirilerek, taş kolonların farklı kohezyonlara (c:10, c:15, c:20) sahip zemin türlerinde, statik ve sismik yükler altındaki davranışı da incelenmiştir. Zemin davranışının modellenmesinde ise Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılmıştır. Bu çalışmada Mohr-Coulomb malzeme modelinin kullanılmasının amacı kil zeminlerde daha iyi sonuç vermesi ve laboratuvarında kolaylıkla elde edilen 5 adet parametreye ihtiyaç duyulması nedeniyle bu malzeme modeli tercih edilmiştir.

Programda model oluşturulurken taş kolonların etki mesafeleri de göz önünde bulundurularak 32 metre genişlik ve 8 metre derinlik belirlenmiştir. 8 metre derinliğin seçilmesindeki temel sebep maksimum taş kolon boyunun 4B, yani seçilen temel genişliğinin 4 katı kadar olmasıdır. Buradan da anlaşıldığı gibi temel genişliği B=2 metre olarak seçilmiştir. Bu temel, 32 metre genişliğindeki zemin alanının sağdan ve soldan eşit mesafede olacak şekilde tam orta noktaya yerleştirilmiş olup, üzerine 1 metre miktarında deplasman yükü uygulanmıştır. Uygulanan bu deplasman yükü vasıtasıyla taşıma güçleri elde edilmiştir. Ayrıca taş kolonlarda ve taş kolonlar arasında kalan kil malzemesi içerisinde oluşan gerilmeler oranlanarak, gerilme konsantrasyonları belirlenmiştir.

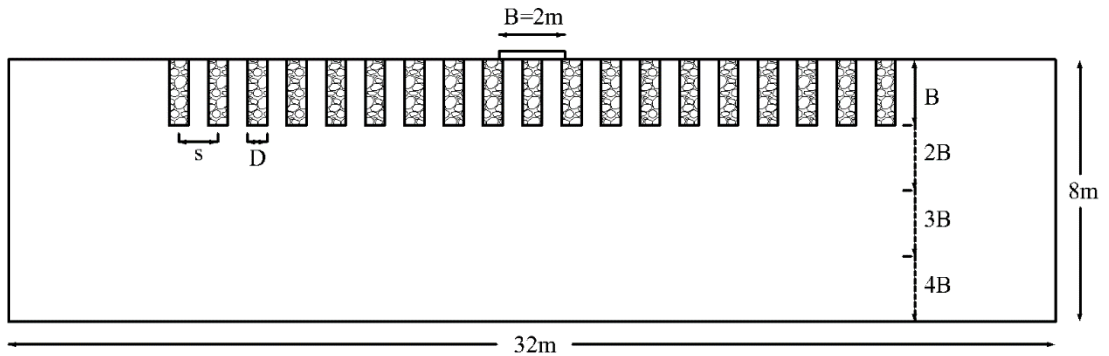
5.1. Yalnızca Deplasman Yüğü Etkisi Altında Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Zeminlerin Taşıma Gücü Analizleri

İlk olarak etkin deprem ivmesi k_h kullanılmadan yalnızca statik durumdaki taşıma güçleri hesaplanmıştır. Statik taşıma güçleri temel üzerine temel genişliği boyunca uygulanan 1 m'lik deplasman yükü ile hesaplanmıştır. Plaxis'te oluşturulan modellerde zemin malzemesi olarak kullanılan kilin özellikleri ile taş kolon malzemesi olarak kullanılan çakılın özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Modellerde Kullanılan Zemin Ve Taş Kolon Malzemesinin Özellikleri

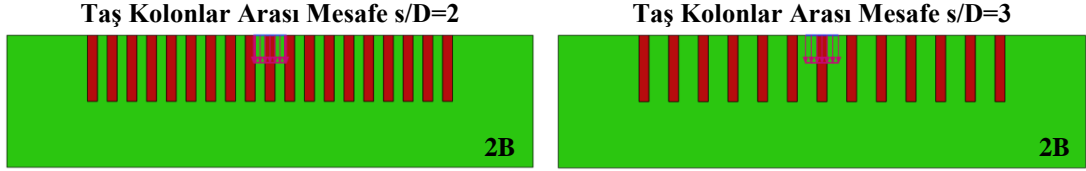
Malzeme	Kil	Çakıl
Drenaj Durumu	Drenajsız	Drenajlı
Kuru Birim Hacim Ağırlık, γ_k (kN/m ³)	18	19
Suya Doygu Birim Hacim Ağırlık, γ_d (kN/m ³)	21	22
Permabilite, k_x, k_y (m/gün)	1×10^{-8}	100
Elastisite Modülü, E (kN/m ²)	3000	75000
Poisson Oranı, ν	0.33	0.3
Kohezyon, c , (kN/m ²)	10/15/20	1×10^{-9}
İçsel Sürtünme Açısı, ϕ (°)	5	35/40/45
Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısı, K_0	0.93	0.344
Taş kolonun Çapı (cm)	-	60/80/100

Modeller Tablo 5.1'de verilmiş olan malzeme özellikleri ve yapılan çalışmalar bölümünde anlatılan ölçüler kullanılarak Plaxis programında 2 boyutlu olarak oluşturulmuştur. Örnek taş kolonlu zemin modeli Şekil 5.1'de verilmiştir.

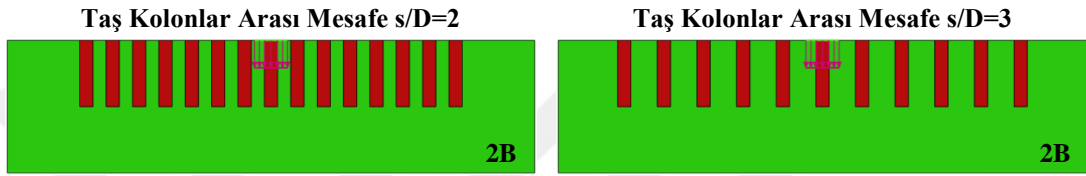


Şekil 5.1. Örnek Taş Kolonlu Zemin Modeli

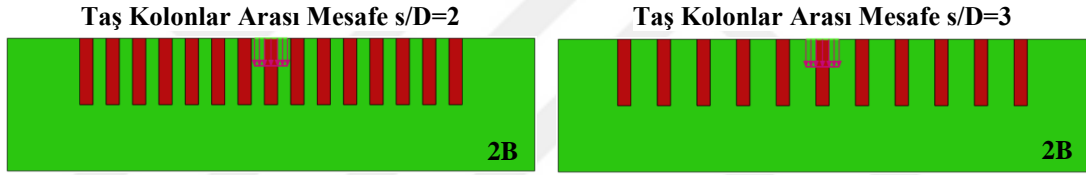
Plaxis programında oluşturulan 60 cm, 80 cm ve 100 cm çapındaki taş kolonlarla güçlendirilmiş zemin modelleri sırasıyla Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.2. 60 cm Çapındaki Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modelleri

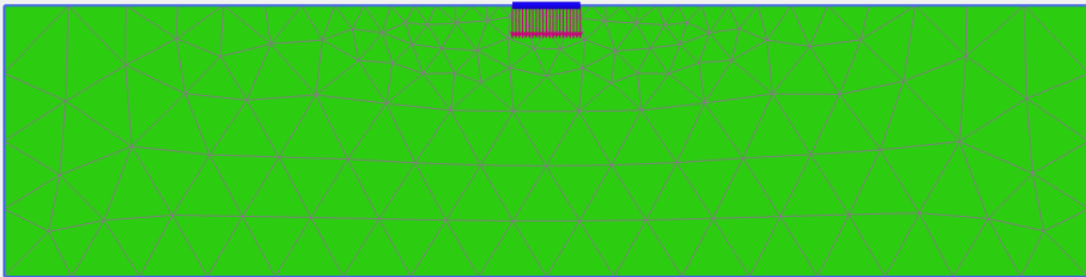


Şekil 5.3. 80 cm Çapındaki Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modelleri

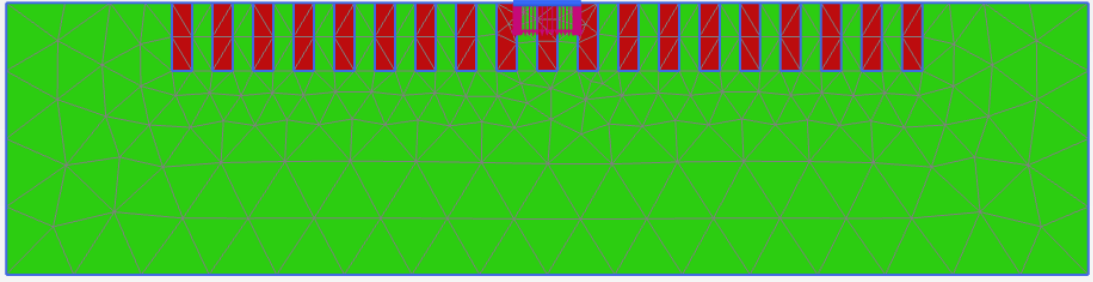


Şekil 5.4. 100 cm Çapındaki Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modelleri

Taş kolonsuz ve taş kolonlu geometrik modellerde zemin, 15 düğümlü üçgen elemanlarla modellenmiştir. Taş kolonsuz ve taş kolonlu olarak geometrik modeller oluşturulup malzeme girişi yapıldıktan sonra mesh (ağ) sekmesinden ağ sıklığı ve referans noktası belirlenerek ağ oluşturulmuş olup bu şekilde geometrik zemin modelleri belirtilen ölçülerde tasarlanarak analize hazır hale getirilmiştir. Ağ oluşturulmuş taş kolonsuz ve taş kolonlu zemin modelleri örneği Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.

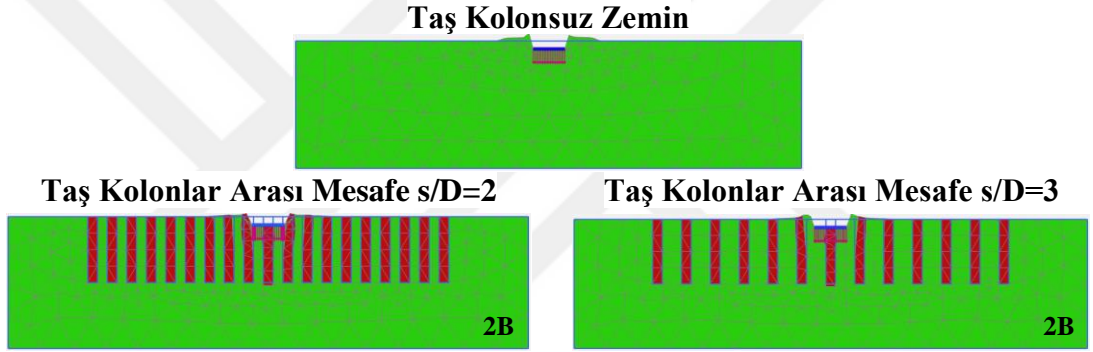


Şekil 5.5. Taş kolonsuz geometrik zemin modelinde ağın (mesh) oluşturulması

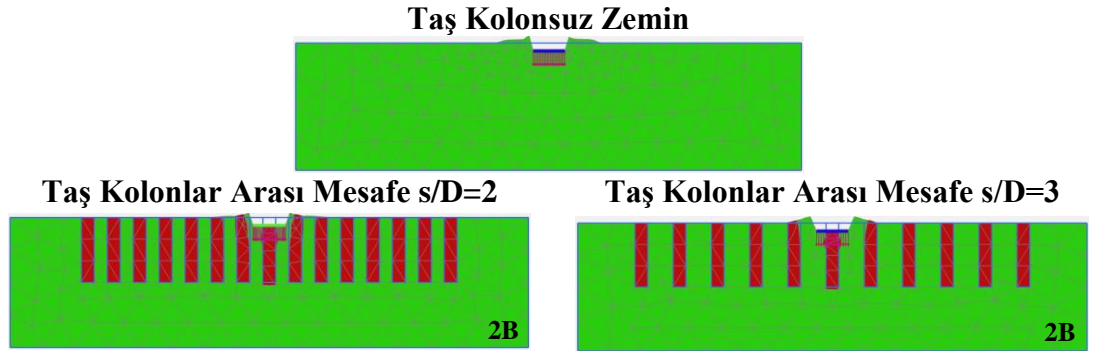


Şekil 5.6. Taş Kolonsuz Geometrik Zemin Modelinde Ağın (Mesh) Oluşturulması

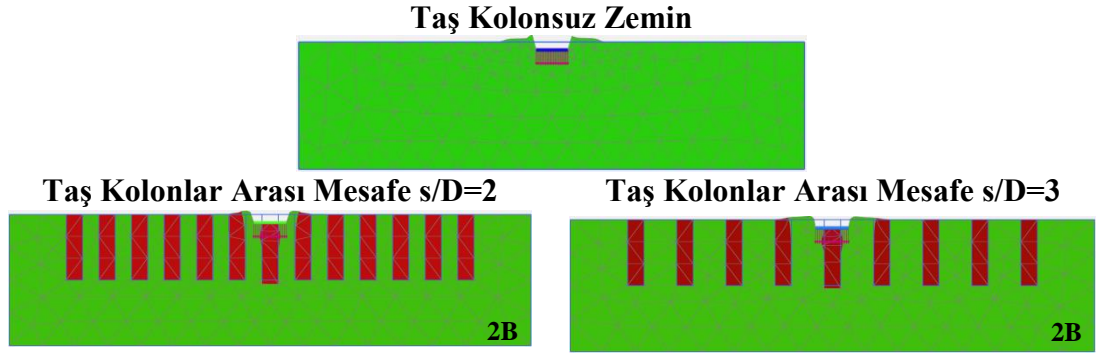
Yapılan tüm bu işlemlerden sonra modellenen taş kolonsuz ve taş kolonlu zemin modellerinin statik (etkin deprem yükü olmadan) analizi yapılmış ve sonuç olarak taşıma güçleri belirlenmiştir. Analiz sonrasında zemin modellerinin son durumu Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.7. Deplasman Yükü Altındaki Taş Kolonsuz ve 60 cm Çapındaki Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modellerinin Analiz Sonrası Durumu



Şekil 5.8. Deplasman Yükü Altındaki Taş Kolonsuz ve 80 cm Çapındaki Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modellerinin Analiz Sonrası Durumu



Şekil 5.9. Deplasman Yüğü Altındaki Taş Kolonsuz ve 100 cm Çapındaki Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modellerinin Analiz Sonrası Durumu

Yalnız deplasman yüğü etkisi altındaki kohezyonu $c=10/15/20$ ve taş kolon malzemesinin içsel sürtünme açısı $\phi=35^\circ/40^\circ/45^\circ$ olan taş kolonlu ve taş kolonsuz kil zemin modellerinin analizi sonucunda elde edilen taşıma gücü değerleri ile taşıma gücü iyileştirme faktörlerinin (TIF), taş kolonlar arası mesafeye ve taş kolonların derinliğine bağlı olarak değişimi Tablo 5.2, Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Şekil 5.10, Şekil 5.11’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Deplasman Yüğü Altında $c=10$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Kil Zemin Modellerinin Taşıma Gücü Değerleri Ve Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri

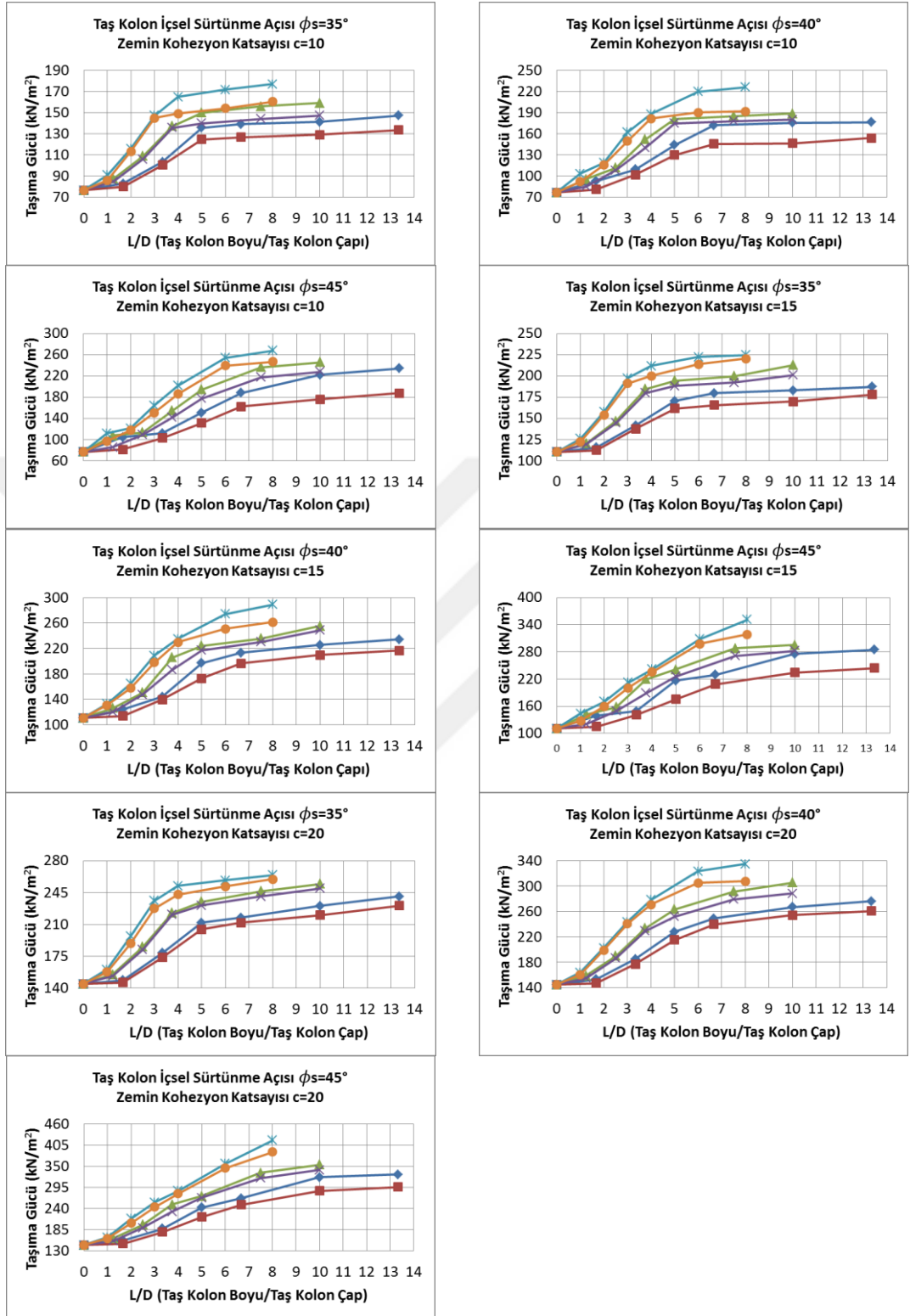
Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı(°)	Taş Kolon Çapı (cm)	Taş Kolon Derinliği (B=2m)	Taş Kolonlar Arası Mesafeye Bağlı Taşıma Gücü Değerleri (kN/m ²)		Taş Kolonsuz Zeminin Taşıma Gücü (kN/m ²)	Taş Kolonlar Arası Mesafeye Bağlı Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri (TİF)				
				s/D=2	s/D=3		s/D=2	s/D=3			
c=10	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0,5 B	82.7	79.8	76.4	1.082	1.045			
			B	103.3	100.3		1.352	1.313			
			1,5 B	135.6	124.5		1.775	1.630			
			2 B	139.0	126.6		1.819	1.657			
			3 B	141.0	128.9		1.846	1.687			
		D=80	4B	147.0	133.3	1.924	1.745				
			0,5 B	87.3	84.5	76.4	1.143	1.106			
			B	108.8	105.9		1.424	1.386			
			1,5 B	137.2	135.5		1.796	1.774			
			2 B	149.7	139.8		1.959	1.830			
		3 B	155.8	143.9	2.039		1.884				
		D=100	4B	159.0	147.0	2.081	1.924				
			0,5 B	90.8	86.0	76.4	1.188	1.125			
			B	115.9	113.2		1.517	1.481			
			1,5 B	147.2	144.8		1.927	1.895			
			2 B	164.7	149.1		2.156	1.951			
		3 B	171.5	154.0	2.245		2.016				
		c=10	$\phi_s=40^\circ$	D=60	4B	176.8	160.3	76.4	2.314	2.098	
					0,5 B	92.6	80.7		76.4	1.211	1.056
					B	109.1	101.7			1.427	1.330
					1,5 B	144.0	129.6			1.885	1.696
					2 B	171.8	145.6			2.249	1.906
				3 B	175.5	146.1	2.297	1.912			
				D=80	4B	176.3	153.7	2.307	2.011		
0,5 B	95.4				84.9	76.4	1.249	1.111			
B	111.6				107.8		1.460	1.411			
1,5 B	151.6				140.1		1.984	1.834			
2 B	180.4				174.6		2.361	2.285			
3 B	185.0			177.6	2.421		2.325				
D=100	4B			188.2	179.6	2.463	2.351				
	0,5 B			103.3	91.8	76.4	1.352	1.202			
	B			118.8	115.6		1.554	1.513			
	1,5 B			161.9	149.3		2.119	1.954			
	2 B			187.7	181.2		2.456	2.372			
3 B	219.5			189.9	2.873		2.485				
c=10	$\phi_s=45^\circ$			D=60	4B	225.8	191.5	76.4	2.955	2.506	
					0,5 B	104.4	81.3		76.4	1.366	1.064
					B	112.0	102.7			1.465	1.344
					1,5 B	150.6	131.1			1.971	1.715
					2 B	187.7	162.3			2.457	2.124
				3 B	222.0	175.9	2.906	2.302			
		D=80	4B	233.9	187.4	3.062	2.453				
			0,5 B	107.7	85.4	76.4	1.410	1.117			
			B	113.4	108.8		1.484	1.424			
			1,5 B	154.5	141.5		2.022	1.851			
			2 B	194.4	177.2		2.545	2.319			
		3 B	236.3	217.4	3.092		2.845				
		D=100	4B	245.8	227.7	3.217	2.980				
			0,5 B	111.6	97.2	76.4	1.461	1.272			
			B	121.2	117.4		1.586	1.537			
			1,5 B	164.2	150.7		2.149	1.973			
			2 B	201.7	185.6		2.640	2.429			
		3 B	254.1	239.5	3.325		3.135				
		4B	267.8	247.0	3.505	3.232					

Tablo 5.3. Deplasman Yüğü Altında $c=15$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Kil Zemin Modellerinin Taşıma Gücü Değerleri Ve Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri.

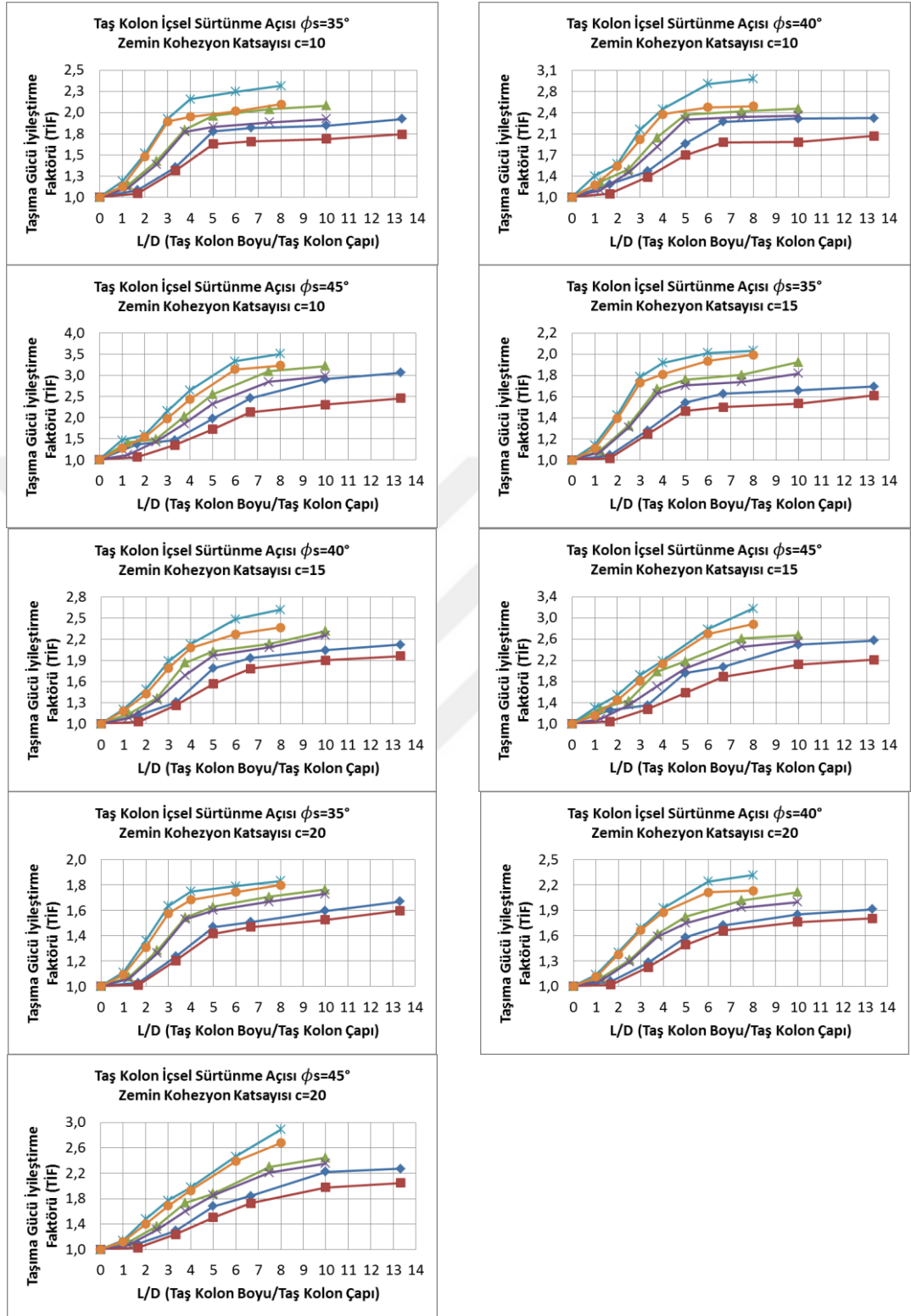
Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı(°)	Taş Kolon Çapı (cm)	Taş Kolon Derinliği (B=2m)	Taş Kolonlar Arası Mesafeye Bağlı Taşıma Gücü Değerleri (kN/m ²)		Taş Kolonsuz Zeminin Taşıma Gücü (kN/m ²)	Taş Kolonlar Arası Mesafeye Bağlı Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri (TİF)			
				s/D=2	s/D=3		s/D=2	s/D=3		
c=15	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0.5 B	115.6	112.2	110.45	1.047	1.015		
			B	141.4	137.5		1.280	1.244		
			1.5 B	170.5	161.7		1.543	1.464		
			2 B	179.6	165.6		1.626	1.499		
			3 B	183.0	169.6		1.657	1.536		
			4B	187.2	177.8		1.695	1.610		
		D=80	0.5 B	120.3	119.1	110.45	1.089	1.078		
			B	146.7	144.5		1.328	1.308		
			1.5 B	184.6	179.9		1.671	1.629		
			2 B	194.5	188.3		1.761	1.705		
			3 B	199.5	192.0		1.806	1.738		
			4B	212.8	200.8		1.927	1.818		
		D=100	0.5 B	126.2	122.4	110.45	1.143	1.108		
			B	157.7	153.9		1.428	1.393		
			1.5 B	197.3	191.3		1.786	1.732		
			2 B	211.9	199.9		1.919	1.810		
			3 B	222.4	213.9		2.014	1.937		
			4B	224.5	220.3		2.033	1.995		
		c=15	$\phi_s=40^\circ$	D=60	0.5 B	124.1	113.8	110.45	1.123	1.030
					B	144.1	139.4		1.305	1.262
					1.5 B	197.1	172.7		1.785	1.563
					2 B	213.3	196.7		1.931	1.781
					3 B	225.6	209.8		2.042	1.900
					4B	234.3	216.5		2.121	1.960
D=80	0.5 B			126.2	120.0	110.45	1.143	1.086		
	B			150.6	147.6		1.364	1.336		
	1.5 B			205.8	186.4		1.863	1.688		
	2 B			224.0	217.2		2.028	1.967		
	3 B			235.6	230.1		2.133	2.083		
	4B			255.4	248.7		2.312	2.251		
D=100	0.5 B			133.1	130.7	110.45	1.205	1.183		
	B			164.7	157.4		1.491	1.425		
	1.5 B			208.7	197.7		1.890	1.789		
	2 B			235.0	229.6		2.127	2.079		
	3 B			274.2	250.7		2.483	2.269		
	4B			288.9	261.2		2.616	2.365		
c=15	$\phi_s=45^\circ$			D=60	0.5 B	138.9	115.2	110.45	1.257	1.043
					B	149.1	140.6		1.349	1.273
					1.5 B	216.5	175.4		1.960	1.588
					2 B	229.2	208.7		2.075	1.890
					3 B	275.7	234.3		2.496	2.121
					4B	284.5	244.3		2.575	2.211
		D=80	0.5 B	141.9	120.6	110.45	1.285	1.092		
			B	158.2	149.5		1.432	1.353		
			1.5 B	219.3	188.7		1.986	1.708		
			2 B	240.8	225.8		2.180	2.044		
			3 B	288.1	271.5		2.608	2.458		
			4B	295.5	282.5		2.675	2.558		
		D=100	0.5 B	143.6	127.8	110.45	1.300	1.157		
			B	170.5	160.2		1.544	1.450		
			1.5 B	212.3	200.2		1.922	1.813		
			2 B	241.6	235.8		2.187	2.134		
			3 B	308.2	297.9		2.790	2.697		
			4B	351.1	318.5		3.178	2.884		

Tablo 5.4. Deplasman Yüğü Altında $c=20$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Kil Zemin Modellerinin Taşıma Gücü Değerleri Ve Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri

Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı(°)	Taş Kolon Çapı (cm)	Taş Kolon Derinliği (B=2m)	Taş Kolonlar Arası Mesafeye Bağlı Taşıma Gücü Değerleri (kN/m ²)		Taş Kolonsuz Zeminin Taşıma Gücü (kN/m ²)	Taş Kolonlar Arası Mesafeye Bağlı Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri (TİF)		
				s/D=2	s/D=3		s/D=2	s/D=3	
c=20	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0,5 B	148.4	145.8	144.4	1.028	1.010	
			B	178.3	173.7		1.235	1.203	
			1,5 B	211.9	204.4		1.467	1.415	
			2 B	217.4	211.8		1.506	1.466	
			3 B	230.4	220.1		1.595	1.524	
		D=80	4B	240.8	230.7	1.668	1.597		
			0,5 B	154.8	152.9	144.4	1.072	1.059	
			B	185.2	182.2		1.282	1.262	
			1,5 B	222.7	220.7		1.542	1.528	
			2 B	234.9	230.8		1.626	1.598	
		3 B	246.5	240.6	1.707		1.666		
		D=100	4B	254.4	249.4	1.762	1.727		
			0,5 B	160.3	157.5	144.4	1.110	1.091	
			B	196.7	188.9		1.362	1.308	
			1,5 B	236.0	227.5		1.634	1.575	
			2 B	252.3	243.0		1.747	1.682	
		3 B	258.3	251.6	1.789		1.742		
		c=20	$\phi_s=40^\circ$	D=60	4B	264.3	259.7	144.4	1.830
0,5 B	152.7				146.9	144.4	1.057		1.017
B	184.8				176.8		1.279		1.224
1,5 B	227.9				215.1		1.578		1.489
2 B	248.7				239.6		1.722		1.659
3 B	266.7			253.9	1.847		1.758		
D=80	4B			276.1	260.4	1.912	1.803		
	0,5 B			158.6	154.6	144.4	1.098	1.071	
	B			189.7	186.3		1.314	1.290	
	1,5 B			233.5	229.3		1.617	1.588	
	2 B			263.0	252.0		1.821	1.745	
3 B	291.2			279.0	2.017		1.932		
D=100	4B			305.2	288.1	2.114	1.995		
	0,5 B			163.8	160.3	144.4	1.134	1.110	
	B			202.3	198.7		1.401	1.376	
	1,5 B			243.6	240.5		1.687	1.666	
	2 B			278.0	270.6		1.925	1.874	
3 B	323.4			304.9	2.240		2.111		
c=20	$\phi_s=45^\circ$	D=60	4B	334.5	307.5	144.4	2.316	2.130	
			0,5 B	157.0	148.4		144.4	1.087	1.027
			B	187.3	178.7			1.297	1.237
			1,5 B	242.5	217.5			1.679	1.506
			2 B	265.9	249.3			1.841	1.726
		3 B	320.8	285.9	2.221	1.980			
		D=80	4B	328.3	296.0	2.274	2.050		
			0,5 B	161.9	155.6	144.4	1.121	1.077	
			B	197.5	189.5		1.368	1.312	
			1,5 B	250.5	231.5		1.735	1.603	
			2 B	271.8	267.9		1.882	1.855	
		3 B	332.4	319.2	2.302		2.211		
		D=100	4B	353.5	340.1	2.448	2.355		
			0,5 B	165.1	162.3	144.4	1.143	1.124	
			B	213.3	202.1		1.477	1.399	
			1,5 B	255.7	243.6		1.771	1.687	
			2 B	285.9	278.6		1.980	1.929	
		3 B	356.1	345.0	2.466		2.389		
4B	417.2	386.9	2.889	2.679					



Şekil 5.10. Zeminin $c=10/15/20$ Olan Ve Taş Kolonun Malzemesinin $\phi_s=35^\circ/40^\circ/45^\circ$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Zemin Modellerinin Deplasman Yükü Altındaki Taşıma Gücü Değerleri



Deprem kuvveti etkisi olmadan yapılan analizlerde Tablo 5.2, Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'te görüldüğü gibi sabit kohezyon (c) değeri için taş kolonlu zeminlerde taş kolonsuz zemine göre taşıma gücü değerlerinin arttığı görülmüştür. Taş kolonlu zeminlerde farklı s/D oranları için yapılan analizlerde ise s/D oranı arttıkça taşıma gücü değerleri azalma olduğu görülmektedir. Bununla birlikte taş kolonlu zemin modellerinde, temel yüzeyinden 20 cm aşağıdan kesit alınarak taş kolonlarda meydana gelen gerilmeler (σ_s) ve taş kolonlar arasında kalan zeminlerde meydana gelen gerilmeler (σ_c) elde edilmiştir. Bu değerler birbirine oranlanarak elde edilen, farklı kohezyonlara sahip ($c:10$, $c:15$, $c:20$) zemin modellerinin gerilme konsantrasyonları ($n=\sigma_s/\sigma_c$), sırasıyla Tablo 5.5, Tablo 5.6 ve Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.5. c=10 Olan Zemin Modellerinin Gerilme Konsantrasyonları

Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı	Taş Kolon Çapı	Taş Kolon Derinliği	s/D=2		Gerilme Kons. n=σ _s /σ _c	s/D=3		Gerilme Kons. n=σ _s /σ _c
				σ _s	σ _c		σ _s	σ _c	
c=10	φ _s =35°	D=60	0.5 B	138,221	66,214	2,087	121,848	61,815	1,971
			B	195,069	68,925	2,830	183,465	67,769	2,707
			1.5 B	257,902	87,423	2,950	225,943	79,503	2,842
			2 B	293,701	93,396	3,145	250,910	84,295	2,977
			3 B	314,893	95,606	3,294	264,691	87,374	3,029
		4 B	330,716	96,685	3,421	285,743	90,363	3,162	
		D=80	0.5 B	122,721	55,224	2,222	114,224	54,297	2,104
			B	183,137	61,424	2,982	174,023	61,083	2,849
			1.5 B	232,067	73,965	3,138	213,108	71,967	2,961
			2 B	254,524	77,760	3,273	235,880	75,322	3,132
			3 B	268,641	78,220	3,434	246,581	75,807	3,253
		4 B	280,469	78,655	3,566	258,307	76,633	3,371	
		D=100	0.5 B	111,840	47,448	2,357	104,047	46,502	2,237
			B	161,340	50,345	3,205	150,970	49,683	3,039
			1.5 B	205,292	61,688	3,328	193,724	61,015	3,175
			2 B	232,117	65,655	3,535	217,170	65,259	3,328
			3 B	246,157	66,546	3,699	230,057	65,494	3,513
		4 B	262,440	67,292	3,900	240,268	66,125	3,634	
	φ _s =40°	D=60°	0.5 B	161,713	67,569	2,393	143,038	64,508	2,217
			B	214,916	71,872	2,990	203,979	71,166	2,866
			1.5 B	294,429	90,028	3,270	265,789	85,859	3,096
			2 B	345,642	97,018	3,563	315,655	92,807	3,401
			3 B	399,415	103,444	3,861	356,346	98,627	3,613
		4 B	411,938	105,476	3,906	369,796	98,911	3,739	
		D=80	0.5 B	147,980	58,129	2,546	130,436	55,970	2,330
			B	199,951	63,848	3,132	183,630	61,918	2,966
			1.5 B	252,267	74,252	3,397	229,854	73,599	3,123
			2 B	316,578	82,106	3,856	295,905	80,852	3,660
			3 B	329,475	82,824	3,978	307,971	81,454	3,781
		4 B	352,102	84,322	4,176	319,892	82,004	3,901	
		D=100	0.5 B	138,026	50,651	2,725	115,982	47,058	2,465
			B	173,747	52,692	3,297	161,692	50,138	3,225
			1.5 B	233,775	63,761	3,666	211,858	61,909	3,422
			2 B	270,372	67,697	3,994	255,795	66,924	3,822
			3 B	289,172	68,570	4,217	277,177	67,618	4,099
		4 B	304,854	69,316	4,398	289,274	67,780	4,268	
	φ _s =45°	D=60	0.5 B	174,696	68,907	2,535	155,050	66,085	2,346
			B	227,952	72,845	3,129	211,739	71,520	2,961
			1.5 B	322,632	92,570	3,485	290,313	87,247	3,327
			2 B	406,787	98,101	4,147	372,077	95,749	3,886
			3 B	483,170	104,446	4,626	444,573	99,128	4,485
		4 B	540,209	107,469	5,027	485,622	101,581	4,781	
		D=80	0.5 B	161,361	60,398	2,672	146,868	57,950	2,534
			B	213,376	64,443	3,311	191,715	62,468	3,069
			1.5 B	268,569	74,590	3,601	258,922	74,441	3,478
			2 B	359,812	83,448	4,312	334,690	81,559	4,104
			3 B	452,582	85,952	5,266	424,281	83,304	5,093
		4 B	465,609	86,672	5,372	441,819	84,346	5,238	
D=100		0.5 B	148,614	52,866	2,811	133,873	50,802	2,635	
		B	192,024	54,514	3,522	166,777	51,749	3,223	
		1.5 B	246,899	65,412	3,775	228,712	63,457	3,604	
		2 B	317,820	71,283	4,459	293,140	67,268	4,358	
		3 B	415,782	76,997	5,400	391,961	74,907	5,233	
4 B		438,736	77,526	5,659	407,032	75,268	5,408		

Tablo 5.6. c=15 Olan Zemin Modellerinin Gerilme Konsantrasyonları

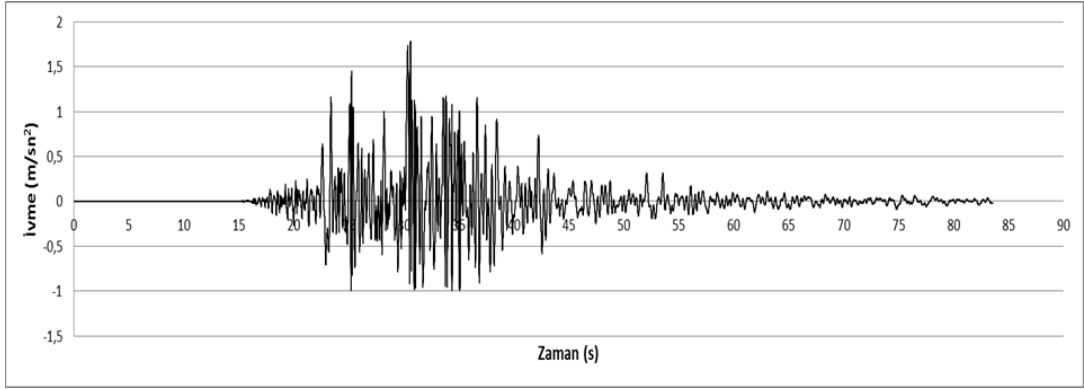
Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı	Taş Kolon Çapı	Taş Kolon Derinliği	s/D=2		Gerilme Kons.	s/D=3		Gerilme Kons.
				σ_s	σ_c	$n=\sigma_s/\sigma_c$	σ_s	σ_c	$n=\sigma_s/\sigma_c$
c=15	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0.5 B	184.992	94.840	1.951	168.544	91.283	1.846
			B	256.735	99.492	2.580	229.752	94.018	2.444
			1.5 B	327.203	118.440	2.763	283.275	107.276	2.641
			2 B	365.083	123.892	2.947	310.635	112.070	2.772
			3 B	389.363	124.055	3.139	342.445	118.756	2.884
		4 B	413.890	127.890	3.236	367.474	121.181	3.032	
		D=80	0.5 B	171.420	82.094	2.088	152.378	77.345	1.970
			B	236.462	86.981	2.719	209.999	81.137	2.588
			1.5 B	293.455	100.803	2.911	272.874	97.549	2.797
			2 B	319.163	102.896	3.102	294.109	99.806	2.947
			3 B	343.160	103.247	3.324	318.360	101.708	3.130
		4 B	364.029	106.063	3.432	331.059	102.145	3.241	
	D=100	0.5 B	158.039	70.656	2.237	138.711	65.797	2.108	
		B	212.332	72.793	2.917	191.293	70.068	2.730	
		1.5 B	270.052	85.694	3.151	246.927	83.136	2.970	
		2 B	309.543	91.951	3.366	281.922	88.647	3.180	
		3 B	326.912	92.652	3.528	294.150	90.381	3.255	
	4 B	347.664	94.689	3.672	317.017	92.816	3.416		
	$\phi_s=40^\circ$	D=60	0.5 B	205.933	95.413	2.158	193.438	94.930	2.038
			B	287.685	101.514	2.834	266.978	100.821	2.648
			1.5 B	384.246	122.214	3.144	319.076	110.942	2.876
			2 B	416.246	125.289	3.322	362.339	113.028	3.206
			3 B	491.865	137.601	3.575	413.887	121.187	3.415
		4 B	521.596	139.983	3.726	451.759	126.998	3.557	
		D=80	0.5 B	193.981	85.060	2.281	169.340	79.192	2.138
			B	262.818	87.262	3.012	242.329	86.245	2.810
			1.5 B	307.696	93.991	3.274	275.963	92.395	2.987
			2 B	387.761	108.172	3.585	352.195	105.756	3.330
			3 B	420.776	111.392	3.777	388.410	107.899	3.600
		4 B	445.885	113.933	3.914	410.341	109.050	3.763	
	D=100	0.5 B	180.128	73.959	2.436	151.078	67.443	2.240	
		B	247.139	78.768	3.138	222.754	74.384	2.995	
		1.5 B	298.008	87.430	3.409	274.140	85.448	3.208	
		2 B	340.481	89.459	3.806	325.785	89.115	3.656	
		3 B	402.473	98.543	4.084	363.211	94.383	3.848	
	4 B	422.964	100.515	4.208	387.904	97.156	3.993		
	$\phi_s=45^\circ$	D=60	0.5 B	224.076	97.945	2.288	210.015	96.928	2.167
			B	314.501	103.972	3.025	279.739	101.213	2.764
			1.5 B	413.297	125.438	3.295	373.282	119.662	3.119
			2 B	493.366	127.935	3.856	445.736	122.430	3.641
			3 B	562.796	138.662	4.059	508.661	129.672	3.923
			4 B	637.662	141.810	4.497	591.723	136.940	4.321
		D=80	0.5 B	213.595	87.835	2.432	193.816	84.549	2.292
			B	288.724	91.797	3.145	258.259	89.126	2.898
			1.5 B	349.841	100.365	3.486	330.081	98.858	3.339
			2 B	399.390	112.067	3.564	373.518	108.759	3.434
			3 B	528.758	115.580	4.575	487.405	111.660	4.365
			4 B	562.024	119.525	4.702	519.368	114.656	4.530
D=100		0.5 B	197.681	77.113	2.564	169.766	70.188	2.419	
		B	265.646	81.535	3.258	241.439	77.859	3.101	
		1.5 B	324.476	89.513	3.625	300.380	86.040	3.491	
		2 B	374.860	93.167	4.024	355.914	91.658	3.883	
		3 B	516.496	104.614	4.937	472.748	100.352	4.711	
		4 B	540.315	106.106	5.092	504.722	103.821	4.861	

Tablo 5.7. c=20 Olan Zemin Modellerinin Gerilme Konsantrasyonları

Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı	Taş Kolon Çapı	Taş Kolon Derinliği	s/D=2		Gerilme Kons.	s/D=3		Gerilme Kons.
				σ_s	σ_c	$n=\sigma_s/\sigma_c$	σ_s	σ_c	$n=\sigma_s/\sigma_c$
c=20	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0.5 B	206.004	112.107	1.838	185.389	108.135	1.714
			B	299.703	124.098	2.415	274.573	122.862	2.235
			1.5 B	377.908	144.438	2.616	342.815	140.742	2.436
			2 B	406.874	147.733	2.754	367.807	141.167	2.605
			3 B	438.108	151.299	2.896	393.167	142.444	2.760
		4 B	481.264	158.000	3.046	421.874	145.397	2.902	
		D=80	0.5 B	193.025	97.946	1.971	167.771	91.638	1.831
			B	274.965	105.894	2.597	249.878	101.451	2.463
			1.5 B	344.040	122.716	2.804	309.917	116.431	2.662
			2 B	372.759	126.093	2.956	338.891	120.223	2.819
			3 B	408.465	129.236	3.161	365.789	125.082	2.924
		4 B	443.026	135.418	3.272	393.592	127.520	3.087	
		D=100	0.5 B	188.801	90.030	2.097	156.657	80.263	1.952
			B	257.729	94.202	2.736	238.422	92.399	2.580
			1.5 B	319.417	108.415	2.946	288.751	102.729	2.811
			2 B	357.060	112.953	3.161	322.650	107.446	3.003
			3 B	387.364	117.319	3.302	348.086	111.854	3.112
		4 B	424.980	123.743	3.434	375.622	116.661	3.220	
	$\phi_s=40^\circ$	D=60	0.5 B	231.138	116.377	1.986	210.551	111.727	1.885
			B	336.100	127.937	2.627	298.833	124.503	2.400
			1.5 B	439.661	148.913	2.952	376.285	143.124	2.629
			2 B	474.578	151.124	3.140	412.953	143.940	2.869
			3 B	529.560	162.381	3.261	438.427	145.428	3.015
		4 B	558.659	164.036	3.406	485.964	150.811	3.222	
		D=80	0.5 B	220.992	105.101	2.103	192.254	95.377	2.016
			B	317.497	112.668	2.818	273.530	106.336	2.572
			1.5 B	399.970	126.915	3.151	337.761	119.886	2.817
			2 B	446.435	132.312	3.374	400.492	131.435	3.047
			3 B	500.010	138.608	3.607	425.263	134.852	3.154
		4 B	531.055	142.214	3.734	473.096	139.247	3.398	
		D=100	0.5 B	208.102	93.128	2.235	188.022	87.804	2.141
			B	298.597	99.082	3.014	250.734	92.113	2.722
			1.5 B	381.524	115.600	3.300	316.869	104.679	3.027
			2 B	424.243	119.775	3.542	374.879	111.990	3.347
			3 B	479.502	126.458	3.792	402.701	116.190	3.466
		4 B	515.340	130.670	3.944	454.096	121.729	3.730	
	$\phi_s=45^\circ$	D=60	0.5 B	256.628	119.415	2.149	232.964	115.823	2.011
			B	368.918	130.537	2.826	336.260	128.523	2.616
			1.5 B	474.600	152.045	3.121	441.309	148.222	2.977
			2 B	513.299	157.209	3.265	478.604	152.921	3.130
			3 B	635.702	165.935	3.831	573.764	157.965	3.632
		4 B	724.171	169.957	4.261	652.148	161.603	4.036	
		D=80	0.5 B	244.350	107.665	2.270	221.030	101.838	2.170
			B	350.980	118.149	2.971	312.425	112.121	2.787
			1.5 B	423.608	130.312	3.251	403.179	126.815	3.179
			2 B	461.104	136.497	3.378	431.109	131.706	3.273
			3 B	602.068	141.312	4.261	562.150	136.311	4.124
		4 B	657.220	144.173	4.559	609.229	140.355	4.341	
D=100		0.5 B	232.980	95.739	2.433	210.581	91.427	2.303	
		B	324.838	102.909	3.157	282.280	96.900	2.913	
		1.5 B	406.463	119.493	3.402	363.357	110.069	3.301	
		2 B	440.359	124.353	3.541	407.411	119.421	3.412	
		3 B	583.121	126.381	4.614	531.295	122.991	4.320	
4 B		623.763	130.253	4.789	575.542	125.119	4.600		

5.2. Deplasman Yüğü ve Deprem Yüğü (k_h) Etkisi Altında Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Zeminlerin Taşıma Gücü Analizleri

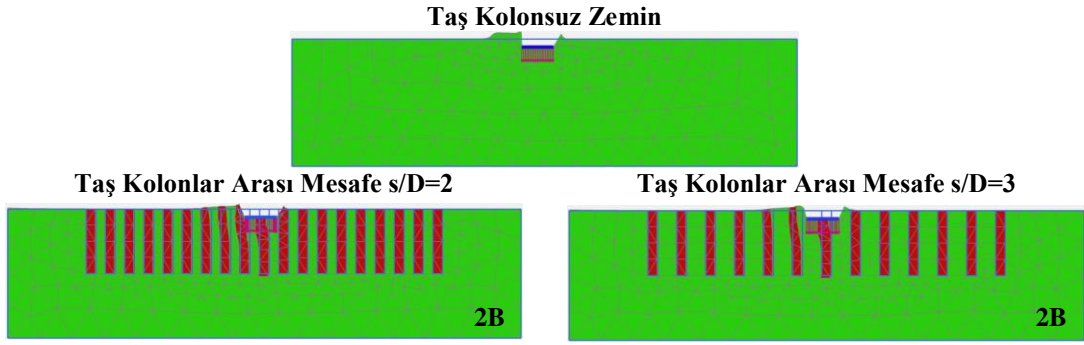
Yapılan çalışmada kullanılan sismik katsayının tayini için kullanılan maksimum ivme (a_{max}) için 23 Ekim 2011 tarihli Van depreminin doğu-batı yönündeki maksimum ivmesi kullanılmıştır. Bu depremin doğu batı ivme-zaman grafiğı Şekil 5.12’te verilmiştir.



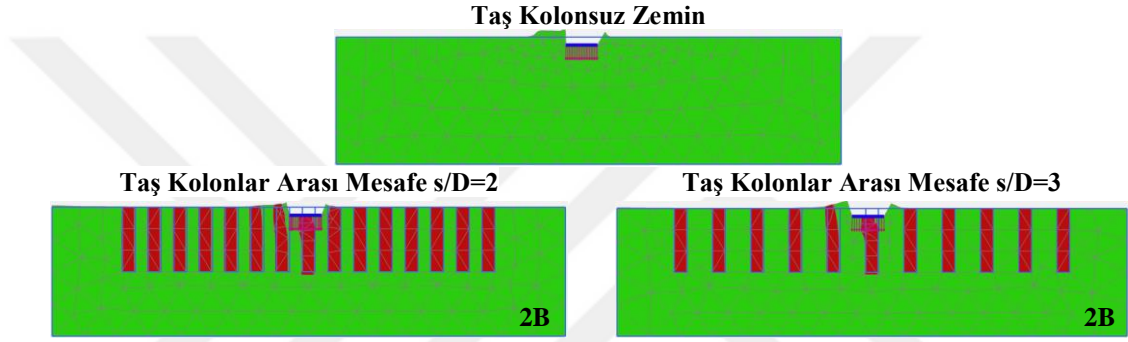
Şekil 5.12. Çalışmada Kullanılan Van Depreminin Doğü-Batı Yönündeki İvme-Zaman Grafiğı.

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi maksimum ivme (a_{max}) 1.785 m/s^2 ’dir. Buradan çalışmada kullanılacak olan sismik katsayı ($k_h = a_{max}/g$) 0.182 olarak belirlenmiştir. Bu değer maksimum deprem ivmesi a_{max} ile yerçekimi ivmesinin oranı ile elde edilmiştir. Yatay ivme katsayısı olan bu değer deplasman yükünün uygulandığı fazdaki psödo-statik parametresinin etkin hale getirilmesinin ardından x yönündeki (acceleration x) ivme değeri olarak girilmiştir. Böylelikle zemine etkin ivme katsayısı miktarında sismik bir kuvvet uygulanarak deprem sonrası taşıma gücünün hesaplanması sağlanmaktadır.

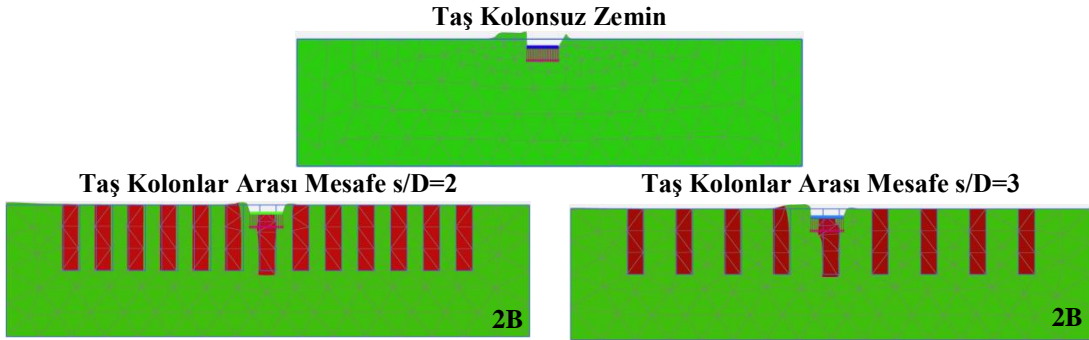
Taş kolonsuz zemin modeli ile 60, 80 ve 100 cm’lik taş kolonlarla iyileştirilmiş zemin modellerinin deplasman ve deprem yüküne maruz kaldıktan sonraki durumu sırasıyla Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’te verilmiştir.



Şekil 5.13. Deplasman ve Deprem Yüğü Altındaki, Taş Kolonsuz ve 60 cm Çapında Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modellerinin Analiz Sonrası Durumu.



Şekil 5.14. Deplasman ve Deprem Yüğü Altındaki, Taş Kolonsuz ve 80 cm Çapında Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modellerinin Analiz Sonrası Durumu.



Şekil 5.15. Deplasman ve Deprem Yüğü Altındaki, Taş Kolonsuz ve 100 cm Çapında Taş Kolonlarla Güçlendirilmiş Zemin Modellerinin Analiz Sonrası Durumu.

Deplasman ve deprem yüğü altındaki $c=10/15/20$ ve taş kolon malzemesinin $\phi=35^\circ/40^\circ/45^\circ$ olan taş kolonlu ve taş kolonsuz kil zemin modellerinin analizi sonucunda elde edilen taşıma gücü değerleri ile taşıma gücü iyileştirme faktörlerinin (TİF), taş kolonlar arası mesafeye ve taş kolonların derinliğine bağlı olarak değişimi Tablo 5.8, Tablo 5.9, Tablo 5.10 ve Şekil 5.16, Şekil 5.17'de verilmiştir.

Tablo 5.8. Deplasman ve Deprem Yüğü Altında $c=10$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Kil Zemin Modellerinin Taşıma Gücü Değerleri ve Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri

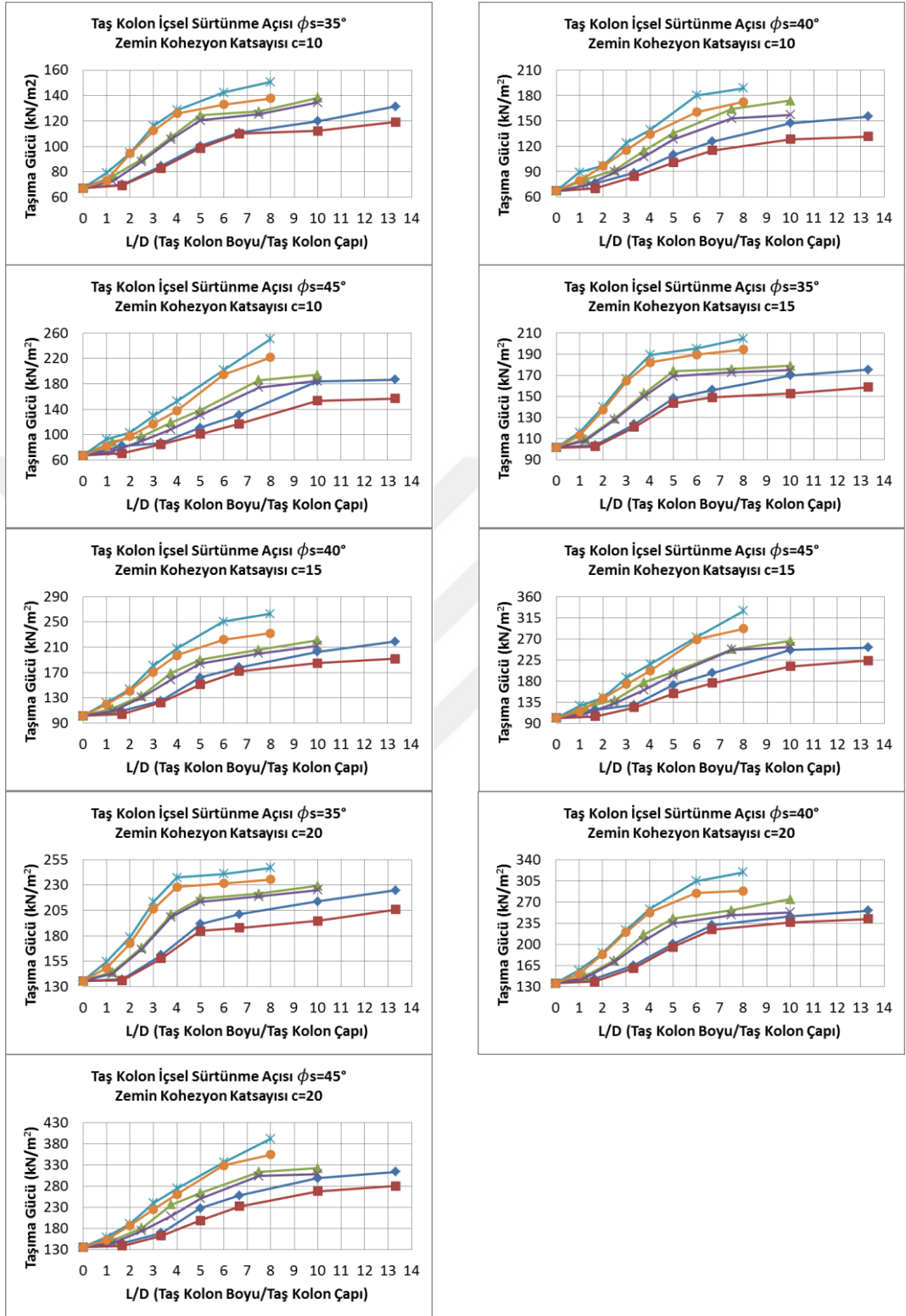
Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı (°)	Taş Kolon Çapı (cm)	Taş Kolon Derinliği (B=2m)	Taş Kolonlar Arası Mesafeye Bağlı Taşıma Gücü Değerleri (kN/m ²)		Taş Kolonsuz Zeminin Taşıma Gücü (kN/m ²)	Taş Kolonlar Arası Mesafeye Bağlı Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri (TİF)	
				s/D=2	s/D=3		s/D=2	s/D=3
c=10	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0,5 B	70.0	69.3	67.1	1.043	1.033
			B	84.5	82.8		1.259	1.234
			1,5 B	100.3	98.7		1.495	1.471
			2 B	110.9	109.9		1.653	1.638
			3 B	119.9	112.2		1.787	1.672
		D=80	4B	131.5	119.3	1.960	1.778	
			0,5 B	76.5	72.5	67.1	1.140	1.080
			B	90.0	88.0		1.341	1.311
			1,5 B	107.7	105.6		1.605	1.574
			2 B	124.5	120.6		1.855	1.797
		3 B	127.6	125.3	1.902		1.867	
		D=100	4B	138.3	134.6	2.061	2.006	
			0,5 B	79.1	73.3	67.1	1.179	1.092
			B	95.0	94.5		1.416	1.408
			1,5 B	116.4	112.4		1.735	1.674
			2 B	128.6	126.1		1.917	1.879
		3 B	142.4	133.1	2.122		1.983	
		c=10	$\phi_s=40^\circ$	D=60	0,5 B	76.4	70.0	67.1
B	88.3				84.0	1.316	1.251	
1,5 B	109.6				100.4	1.633	1.496	
2 B	125.6				114.9	1.872	1.712	
3 B	147.2				128.1	2.194	1.908	
D=80	4B			154.9	131.4	2.308	1.958	
	0,5 B			80.7	73.4	67.1	1.203	1.094
	B			91.8	89.5		1.368	1.334
	1,5 B			114.6	107.4		1.708	1.600
	2 B			134.9	128.0		2.010	1.907
3 B	164.0			152.9	2.443		2.279	
D=100	4B			173.9	157.1	2.592	2.341	
	0,5 B			88.9	79.3	67.1	1.325	1.182
	B			97.1	96.7		1.446	1.440
	1,5 B			123.7	115.2		1.844	1.717
	2 B			139.2	134.0		2.075	1.997
3 B	180.0			160.4	2.683		2.390	
c=10	$\phi_s=45^\circ$			D=60	0,5 B	82.5	70.5	67.1
		B	87.1		84.8	1.297	1.264	
		1,5 B	110.9		100.8	1.652	1.501	
		2 B	131.1		117.2	1.953	1.747	
		3 B	184.2		153.6	2.744	2.289	
		D=80	4B	186.5	157.1	2.779	2.341	
			0,5 B	89.2	73.9	67.1	1.329	1.101
			B	97.4	90.5		1.452	1.348
			1,5 B	119.3	108.2		1.778	1.612
			2 B	138.2	130.8		2.060	1.949
		3 B	186.0	174.4	2.772		2.599	
		D=100	4B	194.0	184.4	2.890	2.747	
			0,5 B	93.2	81.7	67.1	1.389	1.218
			B	103.1	97.9		1.537	1.458
			1,5 B	129.7	117.2		1.933	1.746
			2 B	152.5	137.8		2.273	2.054
		3 B	201.5	194.6	3.003		2.900	
				4B	250.6	221.7	3.735	3.304

Tablo 5.9. Deplasman ve Deprem Yüğü Altında $c=15$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Kil Zemin Modellerinin Taşıma Gücü Değerleri ve Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri

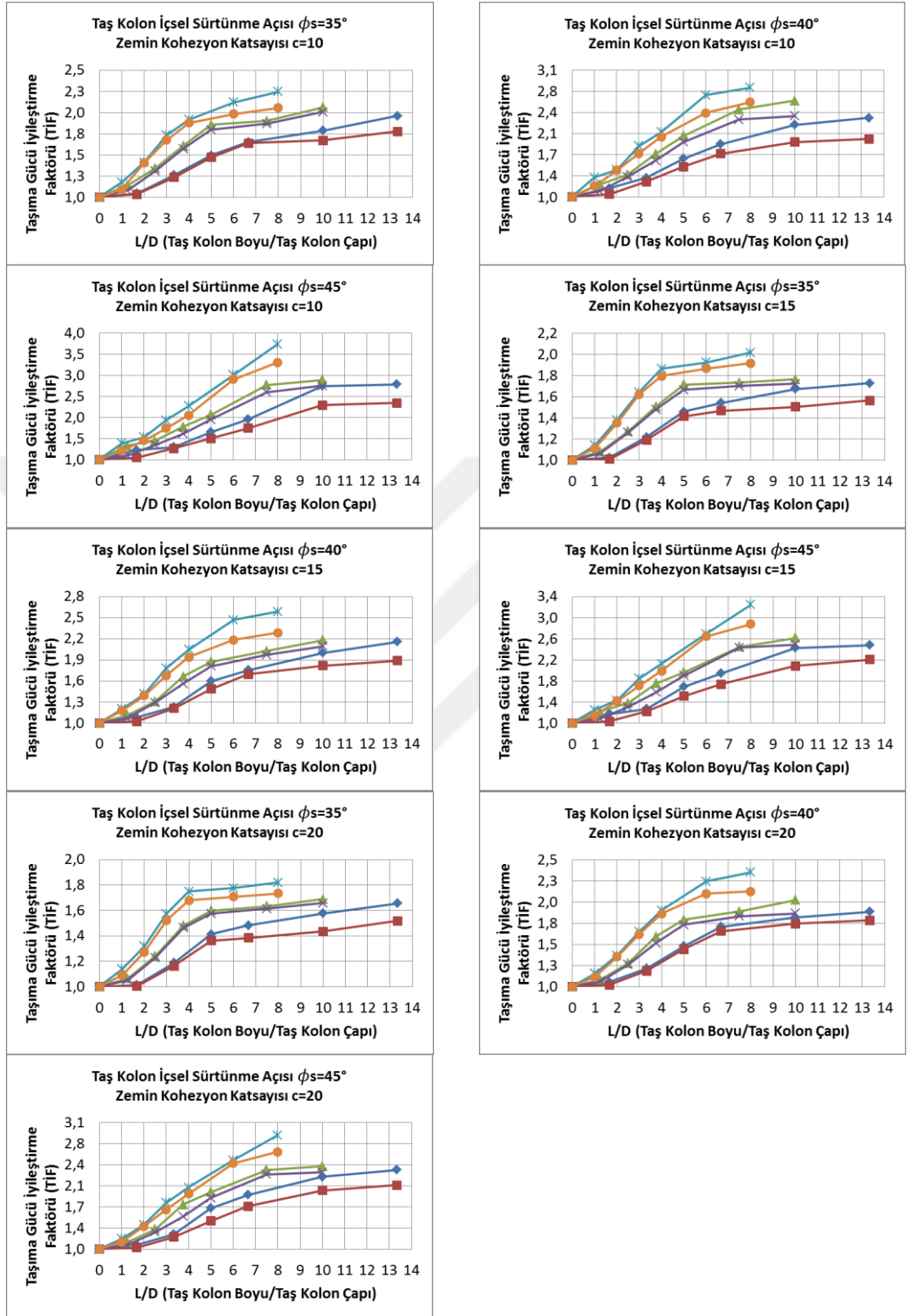
Kohezyon (kN/m^2)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı ($^\circ$)	Taş Kolon Çapı (cm)	Taş Kolon Derinliği (B=2m)	Taş Kolonlar Arası Mesafeye Bağlı Taşıma Gücü Değerleri (kN/m^2)		Taş Kolonsuz Zeminin Taşıma Gücü (kN/m^2)	Taş Kolonlar Arası Mesafeye Bağlı Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri (TİF)	
				s/D=2	s/D=3		s/D=2	s/D=3
c=15	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0,5 B	103.7	102.5	101.5	1.022	1.010
			B	123.4	120.8		1.216	1.190
			1,5 B	148.1	143.4		1.459	1.413
			2 B	156.2	148.9		1.538	1.467
			3 B	169.7	152.5		1.672	1.502
			4B	175.2	158.8		1.726	1.565
		D=80	0,5 B	109.6	108.0	101.5	1.080	1.064
			B	129.1	127.9		1.272	1.260
			1,5 B	152.8	150.1		1.505	1.479
			2 B	173.9	168.9		1.713	1.664
			3 B	175.7	172.6		1.731	1.700
			4B	178.9	174.6		1.763	1.720
		D=100	0,5 B	115.8	112.9	101.5	1.141	1.112
			B	140.1	137.0		1.380	1.350
			1,5 B	166.8	164.5		1.643	1.621
			2 B	189.2	182.2		1.864	1.795
			3 B	195.3	189.4		1.924	1.866
			4B	204.6	194.3		2.016	1.914
c=15	$\phi_s=40^\circ$	D=60	0,5 B	109.5	104.0	101.5	1.079	1.025
			B	125.0	122.8		1.232	1.209
			1,5 B	162.1	150.9		1.597	1.486
			2 B	178.2	172.1		1.755	1.696
			3 B	202.8	184.6		1.998	1.819
			4B	218.8	191.8		2.156	1.890
		D=80	0,5 B	113.1	108.9	101.5	1.114	1.073
			B	133.0	131.1		1.310	1.292
			1,5 B	169.0	158.6		1.665	1.563
			2 B	189.9	183.8		1.871	1.811
			3 B	205.8	200.0		2.028	1.970
			4B	221.3	212.5		2.180	2.094
		D=100	0,5 B	122.2	119.5	101.5	1.204	1.177
			B	143.5	141.1		1.414	1.390
			1,5 B	180.9	170.6		1.782	1.680
			2 B	207.8	197.0		2.047	1.941
			3 B	250.3	221.8		2.466	2.185
			4B	262.5	232.0		2.586	2.285
c=15	$\phi_s=45^\circ$	D=60	0,5 B	119.4	105.0	101.5	1.176	1.034
			B	129.1	124.2		1.272	1.223
			1,5 B	171.6	153.4		1.691	1.511
			2 B	197.1	176.1		1.941	1.735
			3 B	246.1	211.6		2.425	2.085
			4B	251.4	223.7		2.477	2.204
		D=80	0,5 B	124.3	110.1	101.5	1.225	1.084
			B	140.1	132.8		1.380	1.308
			1,5 B	178.0	161.0		1.754	1.586
			2 B	199.5	193.2		1.966	1.903
			3 B	248.2	247.0		2.445	2.433
			4B	265.2	252.7		2.613	2.489
		D=100	0,5 B	127.4	116.4	101.5	1.255	1.147
			B	145.2	143.7		1.431	1.415
			1,5 B	187.7	173.9		1.849	1.713
			2 B	215.9	202.0		2.127	1.990
			3 B	273.3	268.6		2.693	2.646
			4B	329.5	292.0		3.246	2.876

Tablo 5.10. Deplasman Ve Deprem Yüğü Altında $c=20$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Kil Zemin Modellerinin Taşıma Gücü Değerleri ve Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri

Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı (°)	Taş Kolon Çapı (cm)	Taş Kolon Derinliği (B=2m)	Taş Kolonlar Arası Mesafeye Bağlı Taşıma Gücü Değerleri (kN/m ²)		Taş Kolonsuz Zeminin Taşıma Gücü (kN/m ²)	Taş Kolonlar Arası Mesafeye Bağlı Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri (TİF)	
				s/D=2	s/D=3		s/D=2	s/D=3
c=20	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0.5 B	137.2	136.2	135,7	1,011	1,004
			B	161.2	157.8		1,188	1,162
			1.5 B	191.6	184.9		1,412	1,362
			2 B	201.3	187.8		1,483	1,384
			3 B	213.9	194.7		1,576	1,435
			4B	224.7	206.0		1,656	1,518
		D=80	0.5 B	144.3	142.7	135,7	1,063	1,051
			B	168.4	166.9		1,241	1,230
			1.5 B	200.9	198.6		1,480	1,464
			2 B	216.8	213.7		1,598	1,575
			3 B	221.7	218.9		1,633	1,613
			4B	229.1	225.1		1,688	1,658
		D=100	0.5 B	154.4	148.1	135,7	1,138	1,091
			B	178.8	172.6		1,318	1,272
			1.5 B	213.7	206.5		1,575	1,522
			2 B	237.5	228.0		1,750	1,680
			3 B	240.9	231.7		1,775	1,707
			4B	246.9	235.5		1,819	1,735
c=20	$\phi_s=40^\circ$	D=60	0.5 B	143.2	138.4	135,7	1,055	1,020
			B	165.1	160.7		1,216	1,184
			1.5 B	200.4	195.4		1,477	1,440
			2 B	231.7	224.4		1,707	1,653
			3 B	246.2	236.5		1,814	1,742
			4B	255.9	242.1		1,885	1,784
		D=80	0.5 B	147.1	144.3	135,7	1,084	1,063
			B	173.4	171.3		1,278	1,262
			1.5 B	216.3	205.6		1,594	1,515
			2 B	243.1	234.8		1,791	1,730
			3 B	256.2	248.6		1,888	1,832
			4B	274.5	253.2		2,023	1,866
		D=100	0.5 B	156.9	151.0	135,7	1,156	1,113
			B	186.0	183.5		1,371	1,352
			1.5 B	223.7	219.8		1,648	1,620
			2 B	257.9	252.6		1,901	1,861
			3 B	304.5	284.7		2,244	2,098
			4B	319.2	288.3		2,352	2,125
c=20	$\phi_s=45^\circ$	D=60	0.5 B	145.4	139.1	135,7	1,071	1,025
			B	168.7	162.6		1,243	1,198
			1.5 B	227.6	198.9		1,677	1,465
			2 B	257.4	231.9		1,897	1,709
			3 B	298.2	267.6		2,197	1,972
			4B	313.6	279.7		2,311	2,061
		D=80	0.5 B	151.6	145.5	135,7	1,117	1,072
			B	180.5	174.1		1,330	1,283
			1.5 B	235.7	209.0		1,737	1,540
			2 B	263.6	250.6		1,943	1,846
			3 B	313.6	303.7		2,311	2,238
			4B	321.8	308.3		2,371	2,272
		D=100	0.5 B	159.1	152.4	135,7	1,172	1,123
			B	190.7	187.1		1,405	1,378
			1.5 B	239.9	224.6		1,768	1,655
			2 B	274.2	260.4		2,021	1,919
			3 B	335.6	328.9		2,473	2,424
			4B	391.7	354.2		2,887	2,610



Şekil 5.16. Zeminin $c=10/15/20$ Olan ve Taş Kolonun Malzemesinin $\phi_s=35^\circ/40^\circ/45^\circ$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Zemin Modellerinin Deplasman ve Deprem Yüğü Altındaki Taşıma Gücü Değerleri



Şekil 5.17. Zeminin $c=10/15/20$ Olan ve Taş Kolonun Malzemesinin $\phi_s=35^\circ/40^\circ/45^\circ$ Olan Taş Kolonlu ve Taş Kolonsuz Zemin Modellerinin Deplasman ve Deprem Yüğü Altındaki Taşıma Gücü İyileştirme Faktörleri

Deprem kuvveti etkisinde yapılan analizlerde Tablo 5.5, Tablo 5.6 ve Tablo 5.7’de görüldüğü gibi sabit kohezyon (c) değerleri için taş kolonlu zeminlerin taş kolonsuz zemin modellerine göre sismik taşıma gücü değerlerinin arttığı görülmüştür. Taş kolonlu zeminlerde farklı s/D oranları için yapılan analizlerde ise s/D oranı arttıkça sismik taşıma gücü değerinde azalma meydana gelmiştir. Yine deprem kuvveti etkisindeki taş kolonlu zemin modellerinden de, aynı şekilde kesit alınarak gerilme konsantrasyonları ($n=\sigma_s/\sigma_c$) elde edilmiş olup, sırasıyla Tablo 5.11, Tablo 5.12 ve Tablo 5.13’de verilmiştir.



Tablo 5.11. c=10 Olan Deprem Kuvveti Etkisindeki Zemin Modellerinin Gerilme Konsantrasyonları

Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı	Taş Kolon Çapı	Taş Kolon Derinliği	s/D=2		Gerilme Kons. n=σ _s /σ _c	s/D=3		Gerilme Kons. n=σ _s /σ _c
				σ _s	σ _c		σ _s	σ _c	
c=10	φ _s =35°	D=60	0.5 B	116.313	58.986	1.972	100.236	55.936	1.792
			B	135.250	60.500	2.236	117.938	58.220	2.026
			1.5 B	197.514	73.366	2.692	172.886	70.510	2.452
			2 B	235.255	81.301	2.894	204.944	76.806	2.668
			3 B	256.629	84.458	3.039	226.419	79.261	2.857
		4 B	289.601	89.756	3.227	242.220	81.619	2.968	
		D=80	0.5 B	102.816	49.536	2.076	86.249	44.905	1.921
			B	121.458	51.147	2.375	105.562	48.968	2.156
			1.5 B	181.142	63.480	2.854	152.257	57.651	2.641
			2 B	207.119	68.439	3.026	175.209	61.898	2.831
			3 B	221.168	69.328	3.190	191.208	63.789	2.998
		4 B	239.280	70.484	3.395	206.913	64.695	3.198	
		D=100	0.5 B	91.004	41.566	2.189	72.267	34.979	2.066
			B	104.887	43.669	2.402	85.528	37.637	2.272
			1.5 B	155.745	51.968	2.997	124.582	44.685	2.788
	2 B		190.737	59.649	3.198	154.956	52.093	2.975	
	3 B		209.114	63.128	3.313	171.293	54.500	3.143	
	4 B	233.275	65.160	3.580	196.315	58.702	3.344		
	φ _s =40°	D=60°	0.5 B	137.377	62.839	2.186	116.223	59.916	1.940
			B	162.903	68.752	2.369	137.886	63.270	2.179
			1.5 B	212.986	75.323	2.828	186.514	70.362	2.651
			2 B	256.601	84.979	3.020	221.316	77.131	2.869
			3 B	313.453	94.699	3.310	271.104	85.654	3.165
		4 B	350.216	99.588	3.517	305.083	89.175	3.421	
		D=80	0.5 B	123.341	52.164	2.364	100.551	45.841	2.193
			B	148.345	57.875	2.563	126.966	50.119	2.533
			1.5 B	195.780	65.521	2.988	167.925	59.963	2.800
			2 B	222.935	70.989	3.140	201.534	66.997	3.008
			3 B	258.581	73.883	3.500	232.847	70.209	3.316
		4 B	275.222	75.361	3.652	250.696	72.486	3.459	
		D=100	0.5 B	107.438	42.253	2.543	83.884	36.447	2.302
			B	138.054	46.954	2.940	103.555	38.139	2.715
			1.5 B	171.611	54.100	3.172	143.566	48.860	2.938
	2 B		209.030	62.175	3.362	172.867	54.836	3.152	
	3 B		243.125	66.416	3.661	214.910	61.699	3.483	
	4 B	266.713	70.269	3.796	238.590	65.191	3.660		
	φ _s =45°	D=60	0.5 B	151.785	64.403	2.357	129.917	61.493	2.113
			B	188.784	71.934	2.624	160.255	69.407	2.309
			1.5 B	237.349	78.684	3.016	219.209	76.672	2.859
			2 B	287.242	86.858	3.307	268.442	85.734	3.131
			3 B	373.348	97.089	3.845	324.026	89.448	3.623
		4 B	430.175	101.689	4.230	374.448	93.350	4.011	
		D=80	0.5 B	140.504	56.819	2.473	115.821	49.590	2.336
			B	169.589	60.727	2.793	146.139	54.495	2.682
			1.5 B	219.491	68.979	3.182	189.354	63.043	3.004
			2 B	263.491	73.758	3.572	239.115	69.263	3.452
			3 B	327.401	79.538	4.116	287.896	72.741	3.958
		4 B	384.755	82.355	4.672	345.045	76.519	4.509	
D=100		0.5 B	125.161	46.469	2.693	103.306	41.417	2.494	
		B	152.031	49.259	3.086	133.902	45.277	2.957	
		1.5 B	197.685	57.564	3.434	162.259	50.974	3.183	
	2 B	246.288	65.791	3.744	204.893	57.103	3.588		
	3 B	302.065	69.726	4.332	259.688	63.032	4.120		
4 B	379.698	74.321	5.109	332.005	69.272	4.793			

Tablo 5.12. c=15 Olan Deprem Kuvveti Etkisindeki Zemin Modellerinin Gerilme Konsantrasyonları

Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı	Taş Kolon Çapı	Taş Kolon Derinliği	s/D=2		Gerilme Kons. n=σ _s /σ _c	s/D=3		Gerilme Kons. n=σ _s /σ _c
				σ _s	σ _c		σ _s	σ _c	
c=15	φ _s =35°	D=60	0.5 B	163,980	88,460	1,854	129,011	80,750	1,598
			B	189,070	90,153	2,097	152,619	83,256	1,833
			1.5 B	264,624	105,593	2,506	224,112	99,359	2,256
			2 B	307,865	115,221	2,672	252,847	104,751	2,414
			3 B	334,846	117,977	2,838	284,139	107,893	2,634
		4 B	362,792	120,873	3,001	299,369	108,449	2,760	
		D=80	0.5 B	144,130	73,310	1,966	115,705	67,439	1,716
			B	177,646	80,741	2,200	140,698	70,735	1,989
			1.5 B	245,457	92,778	2,646	205,598	83,707	2,456
			2 B	282,557	98,898	2,857	237,124	89,328	2,655
			3 B	302,330	100,071	3,021	273,809	98,444	2,781
		4 B	328,908	103,239	3,186	295,063	100,758	2,928	
		D=100	0.5 B	133,097	64,734	2,056	103,870	56,719	1,831
			B	157,795	68,583	2,301	128,175	60,457	2,120
			1.5 B	215,096	76,274	2,820	177,165	67,653	2,619
			2 B	261,667	87,064	3,005	226,288	81,607	2,773
			3 B	277,616	88,343	3,142	253,433	86,242	2,939
		4 B	306,213	91,504	3,346	278,222	87,452	3,181	
	φ _s =40°	D=60	0.5 B	184,079	90,716	2,029	145,874	83,580	1,745
			B	221,672	98,834	2,243	178,605	86,474	2,065
			1.5 B	290,949	109,051	2,668	250,556	102,633	2,441
			2 B	350,572	121,593	2,883	285,897	107,428	2,661
			3 B	395,341	126,042	3,137	332,147	112,567	2,951
		4 B	427,122	127,094	3,361	368,459	115,059	3,202	
		D=80	0.5 B	173,529	79,561	2,181	134,629	67,561	1,993
			B	205,540	85,624	2,400	155,612	72,640	2,142
			1.5 B	254,775	91,679	2,779	221,407	85,566	2,588
			2 B	309,218	102,777	3,009	275,372	98,040	2,809
			3 B	339,182	103,834	3,267	304,460	100,255	3,037
		4 B	377,159	108,733	3,469	346,371	103,451	3,348	
		D=100	0.5 B	162,726	70,784	2,299	120,316	57,396	2,096
			B	184,006	73,461	2,505	142,867	62,463	2,287
			1.5 B	237,281	80,571	2,945	189,165	70,062	2,700
			2 B	295,347	92,967	3,177	246,787	82,795	2,981
			3 B	328,646	96,452	3,407	294,149	91,951	3,199
		4 B	363,703	101,925	3,568	335,390	96,804	3,465	
	φ _s =45°	D=60	0.5 B	206,926	94,567	2,188	170,962	88,222	1,938
			B	244,718	103,765	2,358	201,382	96,534	2,086
			1.5 B	325,128	111,270	2,922	281,888	106,551	2,646
			2 B	390,814	129,040	3,029	342,717	118,425	2,894
			3 B	484,696	134,375	3,607	428,705	126,565	3,387
		4 B	539,405	139,899	3,856	473,694	131,637	3,598	
		D=80	0.5 B	190,927	82,838	2,305	156,348	71,283	2,193
			B	233,032	89,433	2,606	184,485	78,222	2,358
			1.5 B	287,865	101,942	2,824	249,392	90,819	2,746
			2 B	358,829	114,457	3,135	303,459	101,327	2,995
			3 B	446,273	119,323	3,740	377,530	107,091	3,525
		4 B	494,407	122,318	4,042	431,910	113,757	3,797	
D=100		0.5 B	177,849	73,127	2,432	145,589	63,386	2,297	
		B	217,966	78,348	2,782	173,408	67,990	2,551	
		1.5 B	278,441	93,058	2,992	243,649	84,198	2,894	
		2 B	343,079	104,949	3,269	272,786	87,081	3,133	
		3 B	431,263	110,760	3,894	354,226	96,739	3,662	
4 B		480,054	113,828	4,217	404,722	100,821	4,014		

Tablo 5.13. $c=20$ Olan Deprem Kuvveti Etkisindeki Zemin Modellerinin Gerilme Konsantrasyonları

Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı	Taş Kolon Çapı	Taş Kolon Derinliği	s/D=2		Gerilme Kons. n= σ_s/σ_c	s/D=3		Gerilme Kons. n= σ_s/σ_c
				σ_s	σ_c		σ_s	σ_c	
c=20	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0,5 B	179,647	105,721	1,699	138,345	94,882	1,458
			B	224,604	117,746	1,908	187,656	111,857	1,678
			1,5 B	309,796	134,597	2,302	270,428	128,905	2,098
			2 B	355,223	140,925	2,521	302,108	134,099	2,253
			3 B	383,892	144,728	2,653	340,973	139,333	2,447
			4 B	412,289	147,566	2,794	361,707	141,062	2,564
		D=80	0,5 B	167,218	91,256	1,832	123,834	78,177	1,584
			B	196,833	94,228	2,089	154,105	85,548	1,801
			1,5 B	292,970	118,895	2,464	240,028	107,861	2,225
			2 B	327,042	121,025	2,702	282,002	116,256	2,426
			3 B	347,340	122,604	2,833	312,620	119,062	2,626
			4 B	379,077	127,454	2,974	342,609	122,298	2,801
		D=100	0,5 B	152,664	78,950	1,934	111,260	64,966	1,713
			B	183,516	83,564	2,196	145,909	75,815	1,925
			1,5 B	259,158	97,183	2,667	221,687	89,515	2,477
			2 B	315,875	110,143	2,868	265,315	101,338	2,618
			3 B	334,431	112,097	2,983	286,558	104,587	2,740
			4 B	363,268	115,307	3,150	322,625	108,265	2,980
	$\phi_s=40^\circ$	D=60	0,5 B	206,566	109,134	1,893	163,932	100,376	1,633
			B	251,331	122,311	2,055	213,530	115,876	1,843
			1,5 B	344,518	139,326	2,473	305,092	132,631	2,300
			2 B	387,296	144,164	2,686	343,546	139,907	2,456
			3 B	441,881	153,192	2,884	388,449	142,937	2,718
			4 B	491,274	154,126	3,187	436,123	145,241	3,003
		D=80	0,5 B	198,397	98,309	2,018	152,369	84,839	1,796
			B	228,441	103,268	2,212	185,768	91,555	2,029
			1,5 B	322,569	122,121	2,641	263,091	108,669	2,421
			2 B	354,950	125,507	2,828	303,323	114,416	2,651
			3 B	409,640	131,695	3,111	356,611	124,459	2,865
			4 B	454,565	137,341	3,310	405,271	127,958	3,167
		D=100	0,5 B	181,058	84,612	2,140	139,932	73,289	1,909
			B	206,371	89,544	2,305	165,887	76,235	2,176
			1,5 B	297,178	107,579	2,762	244,912	95,087	2,576
			2 B	332,072	111,794	2,970	290,056	104,513	2,775
			3 B	375,785	116,331	3,230	331,882	110,613	3,000
			4 B	410,336	119,750	3,427	379,109	115,966	3,269
	$\phi_s=45^\circ$	D=60	0,5 B	226,121	113,072	2,000	187,707	105,319	1,782
			B	279,580	127,444	2,194	237,009	121,338	1,953
			1,5 B	371,315	143,145	2,594	339,790	139,581	2,434
			2 B	428,527	151,028	2,837	385,018	147,371	2,613
			3 B	525,368	158,084	3,323	465,059	153,064	3,038
			4 B	594,416	162,710	3,653	519,610	156,798	3,314
		D=80	0,5 B	216,001	101,595	2,126	170,540	86,332	1,975
			B	260,484	112,390	2,318	207,891	94,959	2,189
			1,5 B	357,212	131,606	2,714	293,625	113,836	2,579
			2 B	411,285	138,098	2,978	338,600	120,820	2,803
			3 B	498,653	142,773	3,493	423,970	127,882	3,315
			4 B	559,310	145,758	3,837	468,248	131,833	3,552
D=100		0,5 B	196,260	87,668	2,239	159,873	76,869	2,080	
		B	242,767	93,973	2,583	190,382	81,358	2,340	
		1,5 B	327,654	114,164	2,870	270,106	99,844	2,705	
		2 B	374,684	119,467	3,136	323,479	108,984	2,968	
		3 B	443,835	122,071	3,636	396,902	114,653	3,462	
		4 B	515,478	128,807	4,002	453,422	122,532	3,700	

Tablolar incelendiğinde taş kolon çapındaki artışa ve içsel sürtünme açısındaki artışa bağlı olarak gerilme konsantrasyon oranının arttığı görülmüştür. Kil zeminin kohezyonunun artışına bağlı olarak ise gerilme konsantrasyon oranında düşüş gözlemlenmiştir.

5.3. Deprem Yüğü Etkisinde ve Deprem Yüğü Etkisi Olmadan Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deprem yüğü etkisinde ve deprem yüğü etkisi olmadan yapılmış analiz sonuçları karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Karşılaştırılan taşıma gücü değerleri ile gerilme konsantrasyon oranları sırasıyla Tablo 5.14, Tablo 5.15, Tablo 5.16 ile Tablo 5.17, Tablo 5.18 ve Tablo 5.19 verilmiştir. Ayrıca farklı kohezyonlara sahip zeminlere göre gruplandırılan taşıma güçleri ve gerilme konsantrasyon oranları grafikler halinde, Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te verilmiştir.

Tablo 5.14. c=10 Olan Modellerde Taşıma Güçlerinin Karşılaştırılması

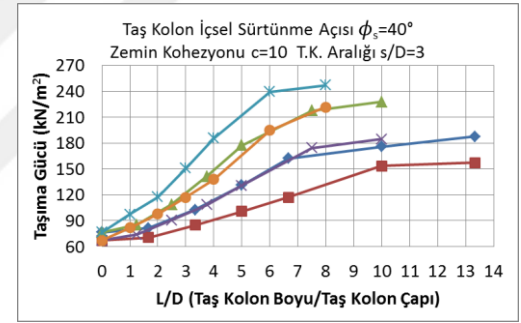
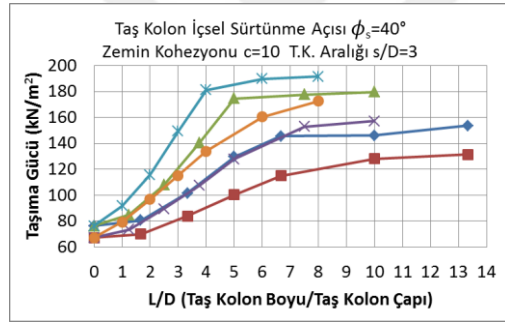
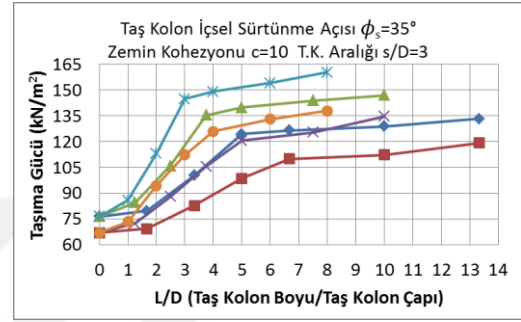
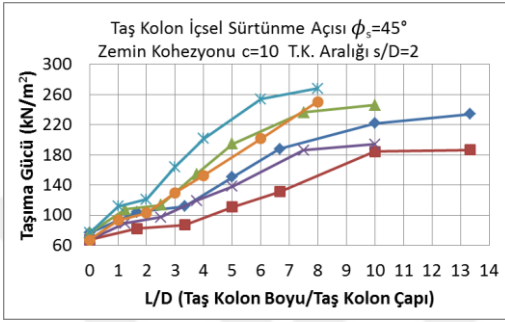
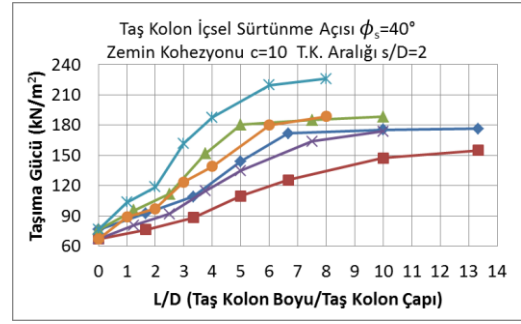
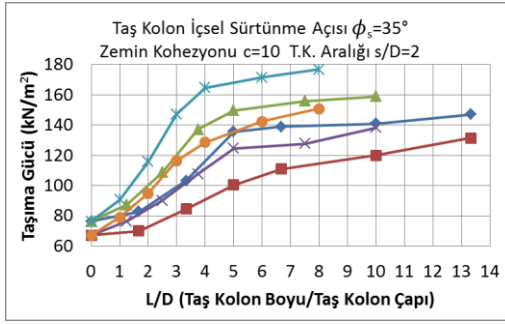
Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı(°)	Taş Kolon Çapı (cm)	Taş Kolon Derinliği (B=2m)	Deprem Yükü Etkisi Olmadan	Deprem Yükü Etkisinde	Taş Kolonsuz Zeminin Taşıma Gücü (kN/m ²)	Deprem Yükü Etkisi Olmadan	Deprem Yükü Etkisinde
				s/D=2	s/D=2		s/D=3	s/D=3
c=10	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0.5 B	82.7	70.0	76.4	79.8	69.3
			B	103.3	84.5		100.3	82.8
			1.5 B	135.6	100.3		124.5	98.7
			2 B	139.0	110.9		126.6	109.9
			3 B	141.0	119.9		128.9	112.2
		4B	147.0	131.5	133.3	119.3		
		D=80	0.5 B	87.3	76.5	76.4	84.5	72.5
			B	108.8	90.0		105.9	88.0
			1.5 B	137.2	107.7		135.5	105.6
			2 B	149.7	124.5		139.8	120.6
			3 B	155.8	127.6		143.9	125.3
		4B	159.0	138.3	147.0	134.6		
		D=100	0.5 B	90.8	79.1	76.4	86.0	73.3
			B	115.9	95.0		113.2	94.5
			1.5 B	147.2	116.4		144.8	112.4
			2 B	164.7	128.6		149.1	126.1
			3 B	171.5	142.4		154.0	133.1
		4B	176.8	150.7	160.3	137.9		
c=10	$\phi_s=40^\circ$	D=60	0.5 B	92.6	76.4	76.4	80.7	70.0
			B	109.1	88.3		101.7	84.0
			1.5 B	144.0	109.6		129.6	100.4
			2 B	171.8	125.6		145.6	114.9
			3 B	175.5	147.2		146.1	128.1
		4B	176.3	154.9	153.7	131.4		
		D=80	0.5 B	95.4	80.7	76.4	84.9	73.4
			B	111.6	91.8		107.8	89.5
			1.5 B	151.6	114.6		140.1	107.4
			2 B	180.4	134.9		174.6	128.0
			3 B	185.0	164.0		177.6	152.9
		4B	188.2	173.9	179.6	157.1		
		D=100	0.5 B	103.3	88.9	76.4	91.8	79.3
			B	118.8	97.1		115.6	96.7
			1.5 B	161.9	123.7		149.3	115.2
			2 B	187.7	139.2		181.2	134.0
			3 B	219.5	180.0		189.9	160.4
		4B	225.8	188.5	191.5	172.6		
c=10	$\phi_s=45^\circ$	D=60	0.5 B	104.4	82.5	76.4	81.3	70.5
			B	112.0	87.1		102.7	84.8
			1.5 B	150.6	110.9		131.1	100.8
			2 B	187.7	131.1		162.3	117.2
			3 B	222.0	184.2		175.9	153.6
		4B	233.9	186.5	187.4	157.1		
		D=80	0.5 B	107.7	89.2	76.4	85.4	73.9
			B	113.4	97.4		108.8	90.5
			1.5 B	154.5	119.3		141.5	108.2
			2 B	194.4	138.2		177.2	130.8
			3 B	236.3	186.0		217.4	174.4
		4B	245.8	194.0	227.7	184.4		
		D=100	0.5 B	111.6	93.2	76.4	97.2	81.7
			B	121.2	103.1		117.4	97.9
			1.5 B	164.2	129.7		150.7	117.2
			2 B	201.7	152.5		185.6	137.8
			3 B	254.1	201.5		239.5	194.6
		4B	267.8	250.6	247.0	221.7		

Tablo 5.15. c=15 Olan Modellerde Taşıma Güçlerinin Karşılaştırılması

Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı(°)	Taş Kolon Çapı (cm)	Taş Kolon Derinliği (B=2m)	Deprem Yükü Etkisi Olmadan	Deprem Yükü Etkisinde	Taş Kolonsuz Zeminin Taşıma Gücü (kN/m ²)	Deprem Yükü Etkisi Olmadan	Deprem Yükü Etkisinde
				s/D=2	s/D=2		s/D=3	s/D=3
c=15	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0,5 B	115.6	103.7	76.4	112.2	102.5
			B	141.4	123.4		137.5	120.8
			1,5 B	170.5	148.1		161.7	143.4
			2 B	179.6	156.2		165.6	148.9
			3 B	183.0	169.7		169.6	152.5
		4B	187.2	175.2	177.8	158.8		
		D=80	0,5 B	120.3	109.6	76.4	119.1	108.0
			B	146.7	129.1		144.5	127.9
			1,5 B	184.6	152.8		179.9	150.1
			2 B	194.5	173.9		188.3	168.9
			3 B	199.5	175.7		192.0	172.6
		4B	212.8	178.9	200.8	174.6		
		D=100	0,5 B	126.2	115.8	76.4	122.4	112.9
			B	157.7	140.1		153.9	137.0
			1,5 B	197.3	166.8		191.3	164.5
			2 B	211.9	189.2		199.9	182.2
			3 B	222.4	195.3		213.9	189.4
		4B	224.5	204.6	220.3	194.3		
c=15	$\phi_s=40^\circ$	D=60	0,5 B	124.1	109.5	76.4	113.8	104.0
			B	144.1	125.0		139.4	122.8
			1,5 B	197.1	162.1		172.7	150.9
			2 B	213.3	178.2		196.7	172.1
			3 B	225.6	202.8		209.8	184.6
		4B	234.3	218.8	216.5	191.8		
		D=80	0,5 B	126.2	113.1	76.4	120.0	108.9
			B	150.6	133.0		147.6	131.1
			1,5 B	205.8	169.0		186.4	158.6
			2 B	224.0	189.9		217.2	183.8
			3 B	235.6	205.8		230.1	200.0
		4B	255.4	221.3	248.7	212.5		
		D=100	0,5 B	133.1	122.2	76.4	130.7	119.5
			B	164.7	143.5		157.4	141.1
			1,5 B	208.7	180.9		197.7	170.6
			2 B	235.0	207.8		229.6	197.0
			3 B	274.2	250.3		250.7	221.8
		4B	288.9	262.5	261.2	232.0		
c=15	$\phi_s=45^\circ$	D=60	0,5 B	138.9	119.4	76.4	115.2	105.0
			B	149.1	129.1		140.6	124.2
			1,5 B	216.5	171.6		175.4	153.4
			2 B	229.2	197.1		208.7	176.1
			3 B	275.7	246.1		234.3	211.6
		4B	284.5	251.4	244.3	223.7		
		D=80	0,5 B	141.9	124.3	76.4	120.6	110.1
			B	158.2	140.1		149.5	132.8
			1,5 B	219.3	178.0		188.7	161.0
			2 B	240.8	199.5		225.8	193.2
			3 B	288.1	248.2		271.5	247.0
		4B	295.5	265.2	282.5	252.7		
		D=100	0,5 B	143.6	127.4	76.4	127.8	116.4
			B	170.5	145.2		160.2	143.7
			1,5 B	212.3	187.7		200.2	173.9
			2 B	241.6	215.9		235.8	202.0
			3 B	308.2	273.3		297.9	268.6
		4B	351.1	329.5	318.5	292.0		

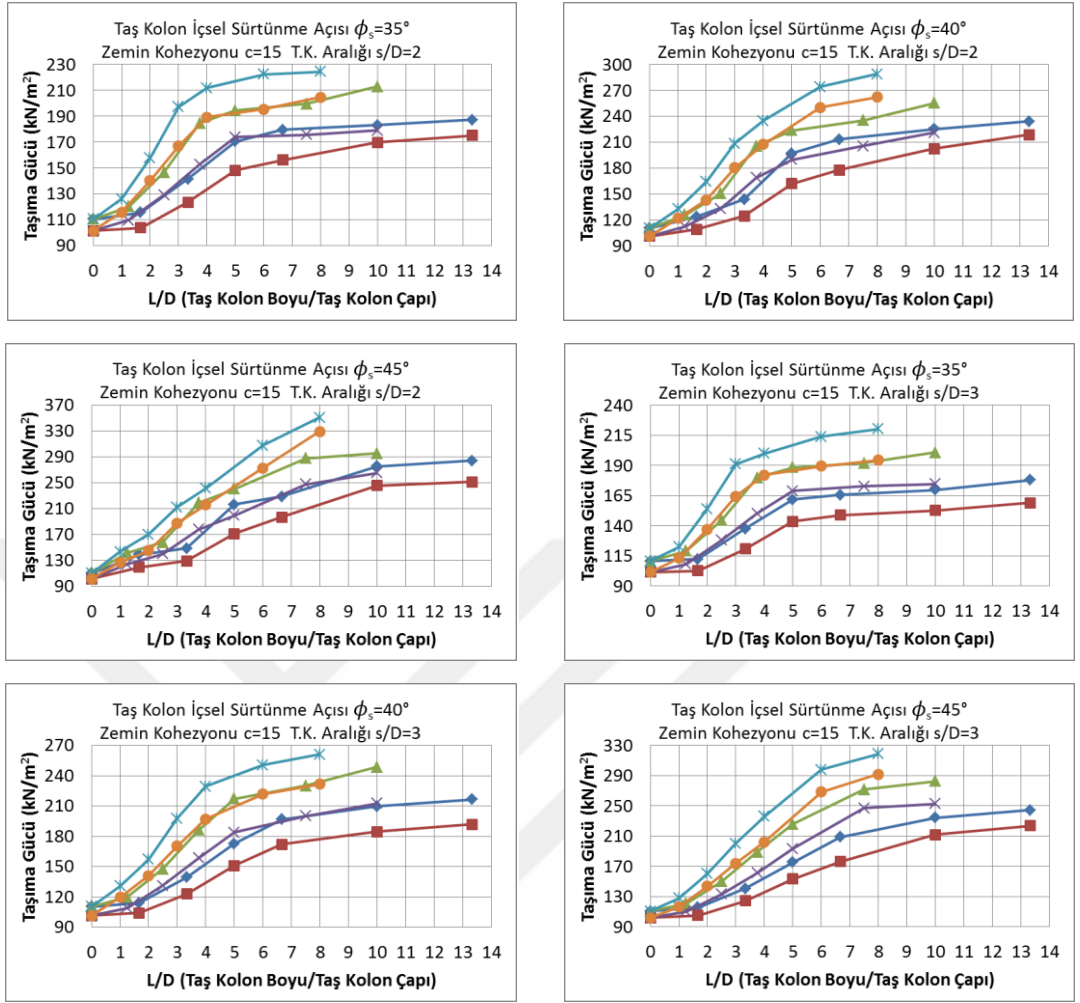
Tablo 5.16. c=20 Olan Modellerde Taşıma Güçlerinin Karşılaştırılması

Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı(°)	Taş Kolon Çapı (cm)	Taş Kolon Derinliği (B=2m)	Deprem Yükü Etkisi Olmadan	Deprem Yükü Etkisinde	Taş Kolonsuz Zeminin Taşıma Gücü (kN/m ²)	Deprem Yükü Etkisi Olmadan	Deprem Yükü Etkisinde
				s/D=2	s/D=2		s/D=3	s/D=3
c=15	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0,5 B	148,4	137,2	76,4	145,8	136,2
			B	178,3	161,2		173,7	157,8
			1,5 B	211,9	191,6		204,4	184,9
			2 B	217,4	201,3		211,8	187,8
			3 B	230,4	213,9		220,1	194,7
		4B	240,8	224,7	230,7	206,0		
		D=80	0,5 B	154,8	144,3	76,4	152,9	142,7
			B	185,2	168,4		182,2	166,9
			1,5 B	222,7	200,9		220,7	198,6
			2 B	234,9	216,8		230,8	213,7
			3 B	246,5	221,7		240,6	218,9
		4B	254,4	229,1	249,4	225,1		
		D=100	0,5 B	160,3	154,4	76,4	157,5	148,1
			B	196,7	178,8		188,9	172,6
			1,5 B	236,0	213,7		227,5	206,5
2 B	252,3		237,5	243,0	228,0			
3 B	258,3		240,9	251,6	231,7			
4B	264,3	246,9	259,7	235,5				
c=15	$\phi_s=40^\circ$	D=60	0,5 B	152,7	143,2	76,4	146,9	138,4
			B	184,8	165,1		176,8	160,7
			1,5 B	227,9	200,4		215,1	195,4
			2 B	248,7	231,7		239,6	224,4
			3 B	266,7	246,2		253,9	236,5
		4B	276,1	255,9	260,4	242,1		
		D=80	0,5 B	158,6	147,1	76,4	154,6	144,3
			B	189,7	173,4		186,3	171,3
			1,5 B	233,5	216,3		229,3	205,6
			2 B	263,0	243,1		252,0	234,8
			3 B	291,2	256,2		279,0	248,6
		4B	305,2	274,5	288,1	253,2		
		D=100	0,5 B	163,8	156,9	76,4	160,3	151,0
			B	202,3	186,0		198,7	183,5
			1,5 B	243,6	223,7		240,5	219,8
2 B	278,0		257,9	270,6	252,6			
3 B	323,4		304,5	304,9	284,7			
4B	334,5	319,2	307,5	288,3				
c=15	$\phi_s=45^\circ$	D=60	0,5 B	157,0	145,4	76,4	148,4	139,1
			B	187,3	168,7		178,7	162,6
			1,5 B	242,5	227,6		217,5	198,9
			2 B	265,9	257,4		249,3	231,9
			3 B	320,8	298,2		285,9	267,6
		4B	328,3	313,6	296,0	279,7		
		D=80	0,5 B	161,9	151,6	76,4	155,6	145,5
			B	197,5	180,5		189,5	174,1
			1,5 B	250,5	235,7		231,5	209,0
			2 B	271,8	263,6		267,9	250,6
			3 B	332,4	313,6		319,2	303,7
		4B	353,5	321,8	340,1	308,3		
		D=100	0,5 B	165,1	159,1	76,4	162,3	152,4
			B	213,3	190,7		202,1	187,1
			1,5 B	255,7	239,9		243,6	224,6
2 B	285,9		274,2	278,6	260,4			
3 B	356,1		335,6	345,0	328,9			
4B	417,2	391,7	386,9	354,2				

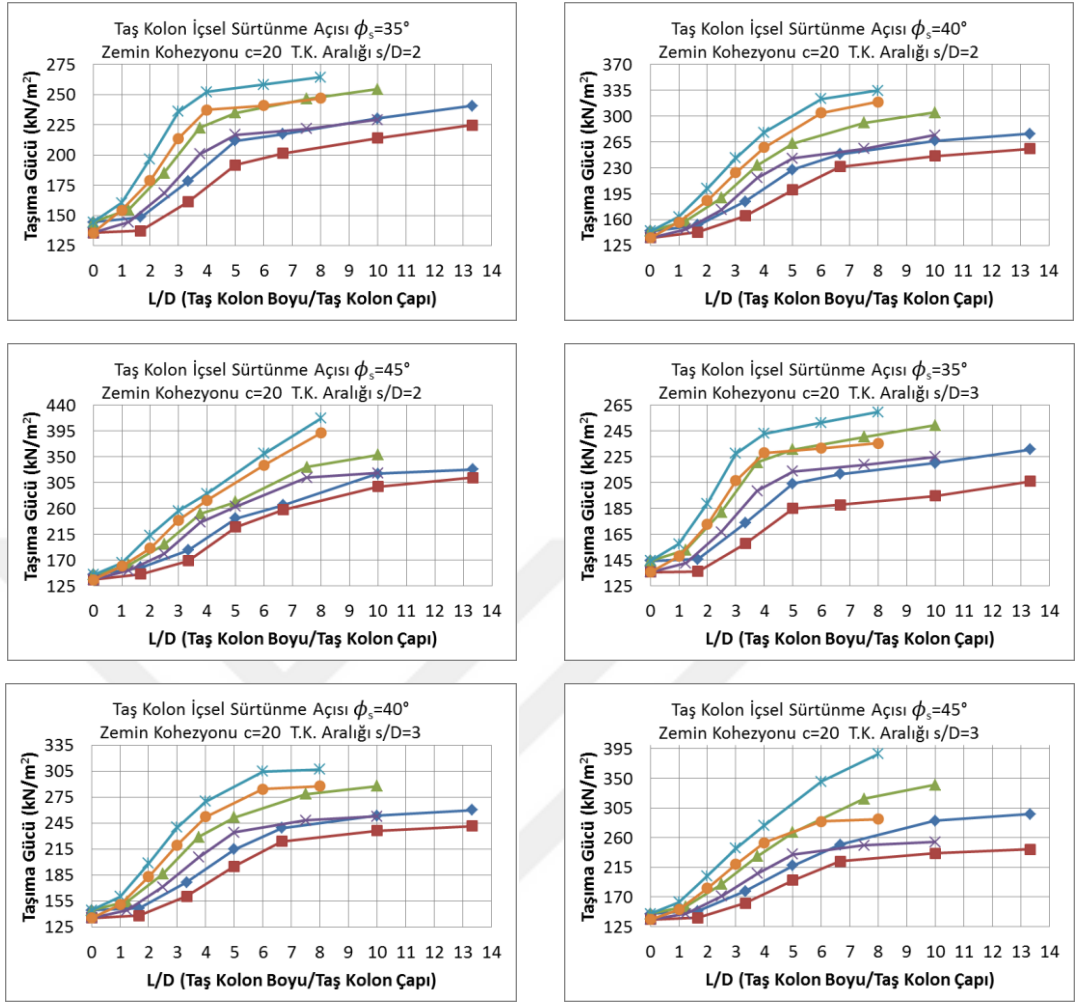


◆ D=60 Statik ■ D=60 Dinamik ▲ D=80 Statik ✖ D=80 Dinamik * D=100 Statik ● D=100 Dinamik

Şekil 5.18. $c=10$ Olan Modellerde Taşıma Güçlerinin Karşılaştırılması



Şekil 5.19. c=15 Olan Modellerde Taşıma Güçlerinin Karşılaştırılması



◆ D=60 Statik ■ D=60 Dinamik ▲ D=80 Statik ✖ D=80 Dinamik * D=100 Statik ● D=100 Dinamik

Şekil 5.20. c=20 Olan Modellerde Taşıma Güçlerinin Karşılaştırılması

Tablo 5.17. c=10 Olan Modellerde Gerilme Konsantrasyon Oranlarının Karşılaştırılması

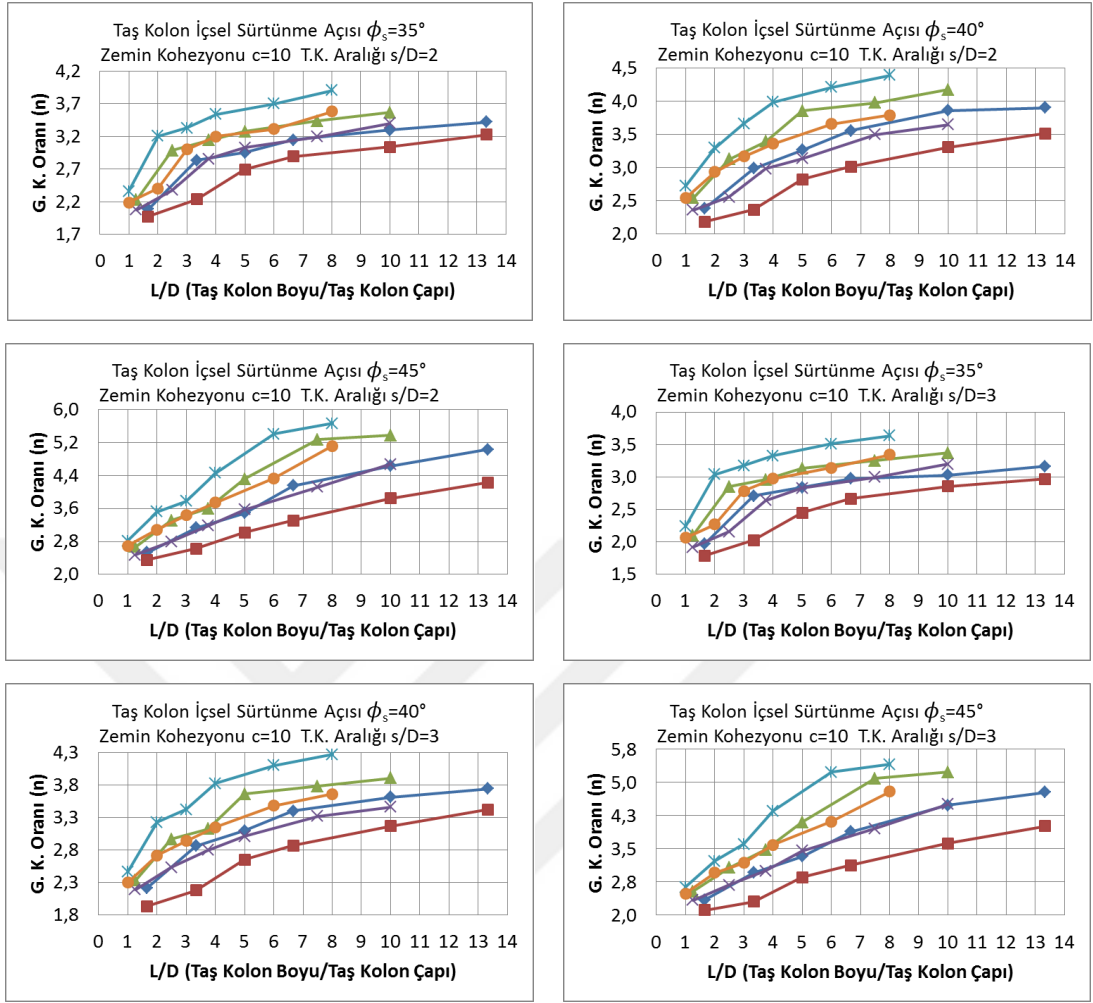
Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı	Taş Kolon Çapı	Taş Kolon Derinliği	Deprem Yüğü Etkisi Olmadan		Deprem Yüğü Etkisinde	
				s/D=2	s/D=2	s/D=3	s/D=3
c=10	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0.5 B	2,087	1,972	1,971	1,792
			B	2,830	2,236	2,707	2,026
			1.5 B	2,950	2,692	2,842	2,452
			2 B	3,145	2,894	2,977	2,668
			3 B	3,294	3,039	3,029	2,857
		4 B	3,421	3,227	3,162	2,968	
		D=80	0.5 B	2,222	2,076	2,104	1,921
			B	2,982	2,375	2,849	2,156
			1.5 B	3,138	2,854	2,961	2,641
			2 B	3,273	3,026	3,132	2,831
			3 B	3,434	3,190	3,253	2,998
		4 B	3,566	3,395	3,371	3,198	
		D=100	0.5 B	2,357	2,189	2,237	2,066
			B	3,205	2,402	3,039	2,272
			1.5 B	3,328	2,997	3,175	2,788
			2 B	3,535	3,198	3,328	2,975
			3 B	3,699	3,313	3,513	3,143
		4 B	3,900	3,580	3,634	3,344	
	$\phi_s=40^\circ$	D=60°	0.5 B	2,393	2,186	2,217	1,940
			B	2,990	2,369	2,866	2,179
			1.5 B	3,270	2,828	3,096	2,651
			2 B	3,563	3,020	3,401	2,869
			3 B	3,861	3,310	3,613	3,165
		4 B	3,906	3,517	3,739	3,421	
		D=80	0.5 B	2,546	2,364	2,330	2,193
			B	3,132	2,563	2,966	2,533
			1.5 B	3,397	2,988	3,123	2,800
			2 B	3,856	3,140	3,660	3,008
			3 B	3,978	3,500	3,781	3,316
		4 B	4,176	3,652	3,901	3,459	
		D=100	0.5 B	2,725	2,543	2,465	2,302
			B	3,297	2,940	3,225	2,715
			1.5 B	3,666	3,172	3,422	2,938
			2 B	3,994	3,362	3,822	3,152
			3 B	4,217	3,661	4,099	3,483
		4 B	4,398	3,796	4,268	3,660	
	$\phi_s=45^\circ$	D=60	0.5 B	2,535	2,357	2,346	2,113
			B	3,129	2,624	2,961	2,309
			1.5 B	3,485	3,016	3,327	2,859
			2 B	4,147	3,307	3,886	3,131
			3 B	4,626	3,845	4,485	3,623
		4 B	5,027	4,230	4,781	4,011	
		D=80	0.5 B	2,672	2,473	2,534	2,336
			B	3,311	2,793	3,069	2,682
			1.5 B	3,601	3,182	3,478	3,004
			2 B	4,312	3,572	4,104	3,452
			3 B	5,266	4,116	5,093	3,958
		4 B	5,372	4,672	5,238	4,509	
D=100		0.5 B	2,811	2,693	2,635	2,494	
		B	3,522	3,086	3,223	2,957	
		1.5 B	3,775	3,434	3,604	3,183	
		2 B	4,459	3,744	4,358	3,588	
		3 B	5,400	4,332	5,233	4,120	
4 B		5,659	5,109	5,408	4,793		

Tablo 5.18. c=15 Olan Modellerde Gerilme Konsantrasyon Oranlarının Karşılaştırılması

Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı	Taş Kolon Çapı	Taş Kolon Derinliği	Deprem Yüğü Etkisi Olmadan		Deprem Yüğü Etkisinde	
				s/D=2	s/D=2	s/D=3	s/D=3
c=10	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0.5 B	1,951	1,854	1,846	1,598
			B	2,580	2,097	2,444	1,833
			1.5 B	2,763	2,506	2,641	2,256
			2 B	2,947	2,672	2,772	2,414
			3 B	3,139	2,838	2,884	2,634
		4 B	3,236	3,001	3,032	2,760	
		D=80	0.5 B	2,088	1,966	1,970	1,716
			B	2,719	2,200	2,588	1,989
			1.5 B	2,911	2,646	2,797	2,456
			2 B	3,102	2,857	2,947	2,655
			3 B	3,324	3,021	3,130	2,781
		4 B	3,432	3,186	3,241	2,928	
		D=100	0.5 B	2,237	2,056	2,108	1,831
			B	2,917	2,301	2,730	2,120
			1.5 B	3,151	2,820	2,970	2,619
			2 B	3,366	3,005	3,180	2,773
			3 B	3,528	3,142	3,255	2,939
		4 B	3,672	3,346	3,416	3,181	
	$\phi_s=40^\circ$	D=60°	0.5 B	2,158	2,029	2,038	1,745
			B	2,834	2,243	2,648	2,065
			1.5 B	3,144	2,668	2,876	2,441
			2 B	3,322	2,883	3,206	2,661
			3 B	3,575	3,137	3,415	2,951
		4 B	3,726	3,361	3,557	3,202	
		D=80	0.5 B	2,281	2,181	2,138	1,993
			B	3,012	2,400	2,810	2,142
			1.5 B	3,274	2,779	2,987	2,588
			2 B	3,585	3,009	3,330	2,809
			3 B	3,777	3,267	3,600	3,037
		4 B	3,914	3,469	3,763	3,348	
		D=100	0.5 B	2,436	2,299	2,240	2,096
			B	3,138	2,505	2,995	2,287
			1.5 B	3,409	2,945	3,208	2,700
			2 B	3,806	3,177	3,656	2,981
			3 B	4,084	3,407	3,848	3,199
		4 B	4,208	3,568	3,993	3,465	
	$\phi_s=45^\circ$	D=60	0.5 B	2,288	2,188	2,167	1,938
			B	3,025	2,358	2,764	2,086
			1.5 B	3,295	2,922	3,119	2,646
			2 B	3,856	3,029	3,641	2,894
			3 B	4,059	3,607	3,923	3,387
		4 B	4,497	3,856	4,321	3,598	
		D=80	0.5 B	2,432	2,305	2,292	2,193
			B	3,145	2,606	2,898	2,358
			1.5 B	3,486	2,824	3,339	2,746
			2 B	3,564	3,135	3,434	2,995
			3 B	4,575	3,740	4,365	3,525
		4 B	4,702	4,042	4,530	3,797	
D=100		0.5 B	2,564	2,432	2,419	2,297	
		B	3,258	2,782	3,101	2,551	
		1.5 B	3,625	2,992	3,491	2,894	
		2 B	4,024	3,269	3,883	3,133	
		3 B	4,937	3,894	4,711	3,662	
4 B		5,092	4,217	4,861	4,014		

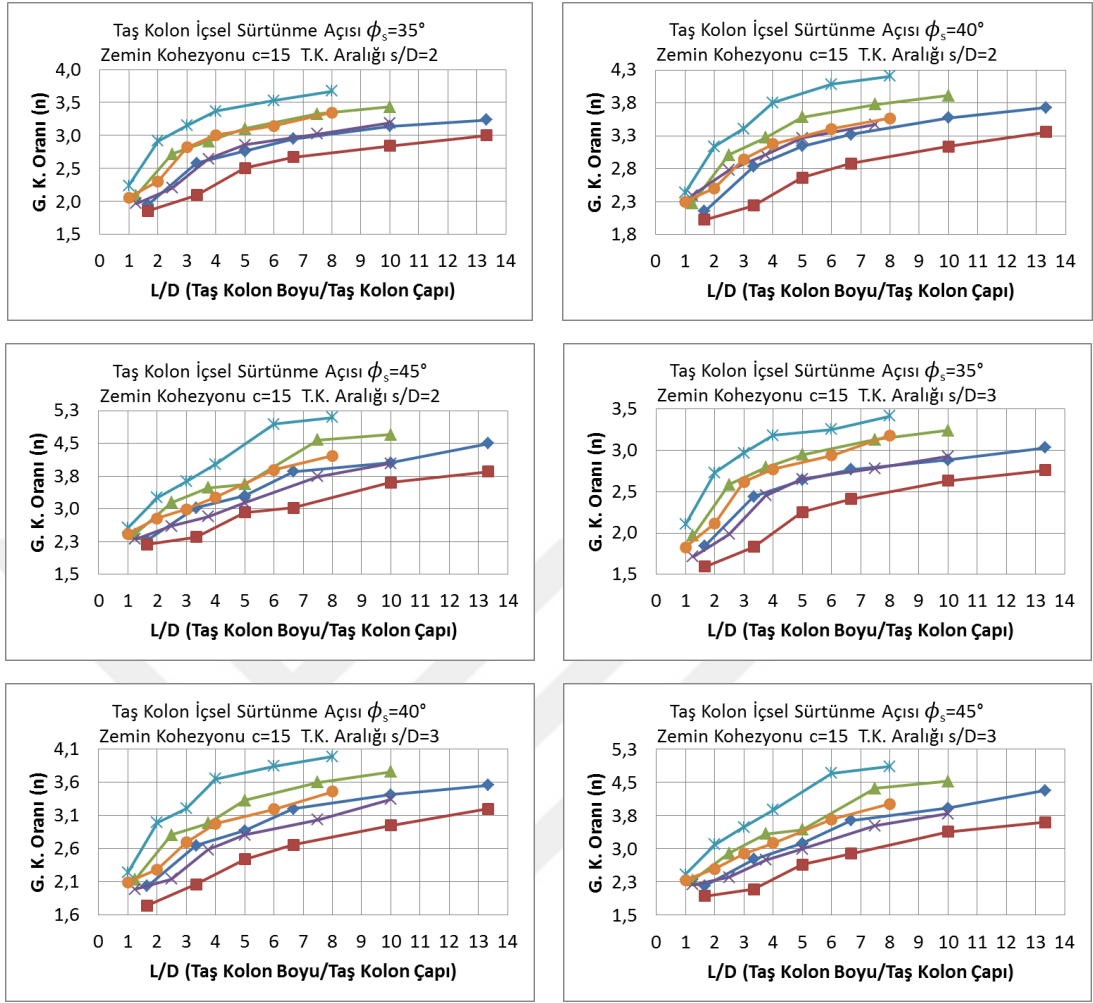
Tablo 5.19. c=20 Olan Modellerde Gerilme Konsantrasyon Oranlarının Karşılaştırılması

Kohezyon (kN/m ²)	Taş Kolonun İçsel Sürtünme Açısı	Taş Kolon Çapı	Taş Kolon Derinliği	Deprem Yüğü Etkisi Olmadan		Deprem Yüğü Etkisinde		
				s/D=2	s/D=2	s/D=3	s/D=3	
c=10	$\phi_s=35^\circ$	D=60	0.5 B	1.838	1.699	1.714	1.458	
			B	2.415	1.908	2.235	1.678	
			1.5 B	2.616	2.302	2.436	2.098	
			2 B	2.754	2.521	2.605	2.253	
			3 B	2.896	2.653	2.760	2.447	
		4 B	3.046	2.794	2.902	2.564		
		D=80	0.5 B	1.971	1.832	1.831	1.584	
			B	2.597	2.089	2.463	1.801	
			1.5 B	2.804	2.464	2.662	2.225	
			2 B	2.956	2.702	2.819	2.426	
			3 B	3.161	2.833	2.924	2.626	
		4 B	3.272	2.974	3.087	2.801		
		D=100	0.5 B	2.097	1.934	1.952	1.713	
			B	2.736	2.196	2.580	1.925	
			1.5 B	2.946	2.667	2.811	2.477	
			2 B	3.161	2.868	3.003	2.618	
			3 B	3.302	2.983	3.112	2.740	
		4 B	3.434	3.150	3.220	2.980		
		$\phi_s=40^\circ$	D=60°	0.5 B	1.986	1.893	1.885	1.633
				B	2.627	2.055	2.400	1.843
				1.5 B	2.952	2.473	2.629	2.300
				2 B	3.140	2.686	2.869	2.456
				3 B	3.261	2.884	3.015	2.718
			4 B	3.406	3.187	3.222	3.003	
	D=80		0.5 B	2.103	2.018	2.016	1.796	
			B	2.818	2.212	2.572	2.029	
			1.5 B	3.151	2.641	2.817	2.421	
			2 B	3.374	2.828	3.047	2.651	
			3 B	3.607	3.111	3.154	2.865	
	4 B		3.734	3.310	3.398	3.167		
	D=100		0.5 B	2.235	2.140	2.141	1.909	
			B	3.014	2.305	2.722	2.176	
			1.5 B	3.300	2.762	3.027	2.576	
			2 B	3.542	2.970	3.347	2.775	
			3 B	3.792	3.230	3.466	3.000	
	4 B		3.944	3.427	3.730	3.269		
	$\phi_s=45^\circ$		D=60	0.5 B	2.149	2.000	2.011	1.782
				B	2.826	2.194	2.616	1.953
				1.5 B	3.121	2.594	2.977	2.434
				2 B	3.265	2.837	3.130	2.613
				3 B	3.831	3.323	3.632	3.038
			4 B	4.261	3.653	4.036	3.314	
		D=80	0.5 B	2.270	2.126	2.170	1.975	
			B	2.971	2.318	2.787	2.189	
			1.5 B	3.251	2.714	3.179	2.579	
			2 B	3.378	2.978	3.273	2.803	
			3 B	4.261	3.493	4.124	3.315	
		4 B	4.559	3.837	4.341	3.552		
D=100		0.5 B	2.433	2.239	2.303	2.080		
		B	3.157	2.583	2.913	2.340		
		1.5 B	3.402	2.870	3.301	2.705		
		2 B	3.541	3.136	3.412	2.968		
		3 B	4.614	3.636	4.320	3.462		
4 B		4.789	4.002	4.600	3.700			



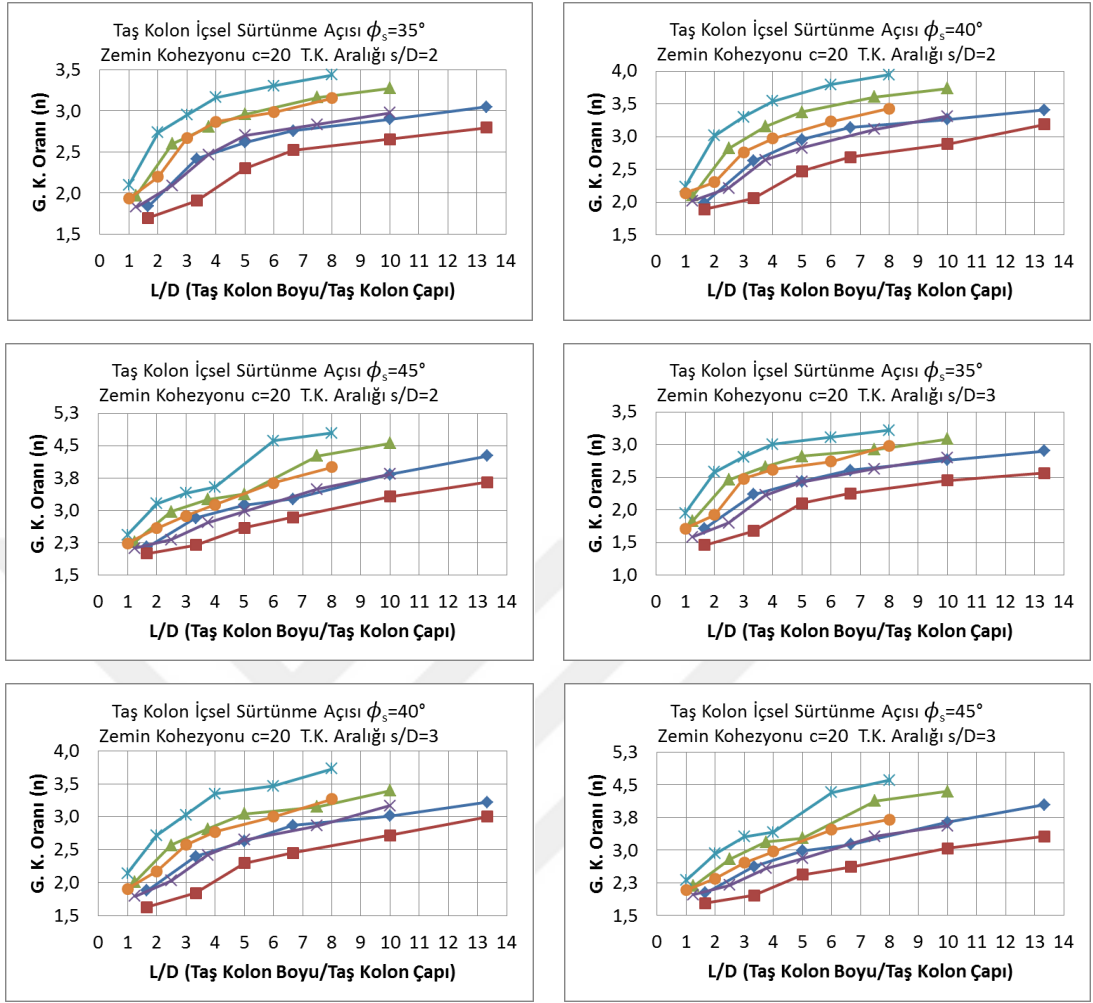
—◆— D=60 Statik —■— D=60 Dinamik —▲— D=80 Statik —×— D=80 Dinamik —*— D=100 Statik —●— D=100 Dinamik

Şekil 5.21. $c=10$ Olan Modellerde Gerilme Konsantrasyon Oranlarının Karşılaştırılması



—◆— D=60 Statik —■— D=60 Dinamik —▲— D=80 Statik —×— D=80 Dinamik —*— D=100 Statik —●— D=100 Dinamik

Şekil 5.22. $c=15$ Olan Modellerde Gerilme Konsantrasyon Oranlarının Karşılaştırılması



—◆— D=60 Statik —■— D=60 Dinamik —▲— D=80 Statik —×— D=80 Dinamik —*— D=100 Statik —●— D=100 Dinamik

Şekil 5.23. c=20 Olan Modellerde Gerilme Konsantrasyon Oranlarının Karşılaştırılması

SONUÇLAR

Çalışmada yapılan analizlerin tamamı göz önüne alındığında, yüzen taş kolonlarla iyileştirilen zeminlerin taşıma gücü taş kolonsuz zeminlerin taşıma gücüne göre daha yüksek bulunmuştur. Deprem yükü etkisinde ve deprem yükü olmaksızın taş kolon derinliğinin artmasına bağlı olarak taşıma gücü değerlerindeki artış daha belirgin hale gelmiştir. Ayrıca taşıma gücü değerleri taş kolon etrafındaki zeminin kohezyonunun ve taş kolon malzemesinin içsel sürtünme açısının artışı ile paralel olarak artmış olup, taş kolonlar arası mesafenin artması ile taşıma gücünde düşüş meydana gelmiştir. Yüzen taş kolonlar arasında en yüksek taşıma gücü değeri taş kolon etrafındaki zeminin kohezyonunun ve taş kolon malzemesinin içsel sürtünme açısının en yüksek olduğu, sağlam zemine en yakın derinliğe sahip 3B derinlikli 100 cm çaplı taş kolon uygulamış zemin modelinden elde edilmiştir. Modellerde kullanılan farklı çaplara sahip taş kolonlar karşılaştırıldığında ise taş kolon çapının artmasına bağlı olarak, taş kolon derinliğinde olduğu gibi taşıma gücü artışı daha belirgin hale gelmiştir. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Yapılan çalışmada taş kolonlu ve taş kolonsuz modeller kendi içinde kıyaslandığında taş kolon ile iyileştirilen zemin modellerinin taşıma gücü, taş kolonsuz zemin modellerinin taşıma gücüne göre ortalama olarak 1.01-3.5 kat daha fazla hesaplanmıştır. Diğer taraftan deprem etkisindeki taş kolonlu zemin modellerinin taşıma gücü değerleri ise taş kolonsuz zemin modellerinin taşıma gücü değerlerine göre 1.02-3.7 kat daha fazla hesaplanmıştır.
2. Oluşturulan taş kolonlu ve taş kolonsuz modellerde zemindeki kohezyon (c) artışına bağlı olarak taşıma gücü yükselmiştir. Taş kolonsuz bütün modellerde kohezyon artışına bağlı olarak taşıma gücü ortalama %38 artış göstermiştir. Taş kolonlu bütün modellerde ise kohezyon artışına bağlı olarak taşıma gücü ortalama %33 artış göstermiştir. Deprem etkisinde ise kohezyondaki artışa bağlı olarak taş kolonsuz modellerde ortalama %42, taş kolonlu modellerde ise ortalama %36 artış görülmüştür.

3. Yapılan çalışmada taş kolonlarla iyileştirilen zemin modellerinde, uygulanan taş kolon uzunluğunun (2 m, 4 m, 6 m, 8 m) artışına bağlı olarak taşıma gücünde de artış meydana gelmiştir. Taş kolonlu bütün zemin modelleri incelendiğinde taş kolon uzunluğundaki 2 m'lik artışa bağlı olarak taşıma gücünde ortalama %25 artış görülmüştür. Deprem etkisinde ise taş kolon uzunluğunun 2 m artmasına bağlı olarak taşıma gücünde ortalama %12 artış görülmüştür. Burada taş kolon uzunluğunun artışı ile taş kolonun kille temas ettiği yanal yüzeyin artması sebebiyle, taşıma gücünde artış meydana gelmiştir. Yüzen taş kolonlu modellerde en uzun yüzen taş kolon olan 6 m uzunluğunda taş kolon uygulamış modeller en iyi performansı vermiştir.
4. Taş kolonlu zemin modellerinde taş kolon aralıklarının artışına bağlı olarak taşıma gücünde azalma meydana gelmiştir. Modellere uygulanan taş kolonlar s/D:2 ve s/D:3 aralıklarında yerleştirilmiş olup, taş kolon aralıklarının artışına bağlı olarak taşıma gücünde ortalama %10 azalma meydana gelmiştir. Deprem kuvveti etkisinde ise taş kolon aralıklarının artırılması sonunda taşıma güçlerinde ortalama olarak %7 azalma meydana gelmiştir.
5. Yapılan çalışmada taş kolonlu zemin modellerinde taş kolon malzemesi (çakıl) için farklı içsel sürtünme açıları (Φ) (35, 40, 45) kullanılmıştır. Taş kolon elemanını oluşturan çakıl malzemesinin içsel sürtünme açısındaki artışa bağlı olarak taşıma gücünde ortalama olarak %13 artış meydana gelmiştir. Deprem kuvveti etkisinde ise yine çakıl malzemesinin içsel sürtünme açısındaki artışa paralel olarak taşıma gücünde ortalama %11 artış meydana gelmiştir.
6. Çalışmada taş kolonlu zemin modellerinde taş kolonların çapı arttıkça (60cm, 80cm, 100cm) taşıma gücünde artış meydana gelmiştir. Artan taş kolon çapı ile birlikte temel ile temas eden yüzeyin artması, taş kolonun daha çok yük karşılayabilmesini sağlayarak taşıma gücünde artış sağlamıştır.
7. Sonuçlar taş kolon uzunluğunun taş kolon çapına oranına (L/D) bağlı olarak verilmiştir. Grafikler incelendiğinde taşıma gücü bütün zemin modellerinde L/D

artışına bağlı olarak artmıştır. En yüksek taşıma gücü değerleri ise L/D oranının en düşük olduğu 100 cm'lik taş kolon uygulanmış modellerden elde edilmiştir.

8. Elde edilen taşıma gücü değerleri genel olarak incelendiğinde 3B derinliğindeki s/D:2 aralıklı yüzen taş kolon uygulanmış modellerin taşıma gücünün en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Burada yüzen taş kolon uzunluğunun artması ve taş kolon aralığının azalması ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
9. Taş kolonsuz zeminler ile yüzen taş kolonlu zeminler karşılaştırıldığında, yüzen taş kolonların, zemin taşıma gücünü kayda değer bir şekilde artırdığı ve taşıma gücünün artırılması gereken durumlarda kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. İhtiyaca bağlı olarak taş kolon çapı ve uzunluğu artırılarak veya taş kolon aralığı azaltılarak istenilen taşıma gücü değerlerine ulaşılabilir. Özellikle sert zeminin derinde bulunduğu yada hiç bulunmadığı durumlarda yüzen taş kolonlar problemlili zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla kullanılabilir.
10. Çalışmada bütün modeller deplasman yükü ile birlikte deprem yüküne de maruz kalmış olup, deprem yükü etkisinde de yüzen taş kolonların iyi performans verdiği görülmüştür. Bu nedenle deprem bölgelerinde de problemlili zeminlerin ıslahında, yüzen taş kolonlar uygulanabilir.
11. Gerilme konsantrasyon oranları incelendiğinde, taş kolon etrafındaki zeminin kohezyonu arttıkça oranın azaldığı görülmüştür. Bunun temel sebebi $n = \sigma_s / \sigma_c$ bağıntısında, paydada yer alan kil zeminin gerilme değerinin kohezyonun artmasıyla paralel olarak artmasıdır. Taş kolon malzemesinin içsel sürtünme açısındaki artış ise taş kolon içerisindeki gerilmeyi artırması sebebiyle, gerilme konsantrasyon oranı da artmıştır.

KAYNAKLAR

1. Özdemir, A. ve Özdemir, M., 2006, Zayıf zeminlerin iyileştirilmesi ve son yıllarda yaygın olarak uygulanan bazı zemin iyileştirme yöntemleri, Sondaj Dünyası Dergisi,3, 34-38.
2. Baumann,V. ve Bauer G. A. E., 1974. The Performance of Foundation on Various Soil Stabilized by the Vibro Compaction Method, Canadian Geotechnical Journal,11, 509-530.
3. Hughes, J. M. O., Withers, N. J. ve Greenwood, D. A., 1975. A Field Trial of Reinforcing Effect of a Stone Column in Soil, Geotechnique, 25, 1, 31-34.
4. Priebe, H. J., 1991. Vibro Replacement – Design Criteria and Quality Control, Deep Foundation Improvements: Design, Construction and Testing, ASTM STP 1089, Philadelphia, 62-72.
5. Lee J. S. ve Pande G. N., 1994. Analysis of Stone Columns Reinforced Foundations, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 12, 1001-1020.
6. Hu, W., 1995. Physical Modeling of Group Behavior of Stone Columns Foundations, Ph. D. Thesis, University of Glasgow, Glasgow.
7. Christoulas S., Giannaros, C. ve Tsiambaos G., 1997. Stabilization of Embankment Foundations by Using Stone Columns, Geotechnical and Geological Engineering, 15, 247-258.
8. Pooroshasb H. B. ve Meyerhof G. G., 1997. Analysis of Behavior of Stone Columns and Lime Columns, Computers and Geotechnics, 20, 47-70.
9. Connor S. S. ve Gorski A. G., 2000. A Timely Solution for the Nojoqi Grade Landslide Repair US 101 South of Buellton, 51 st Annual Highway Geology Symposium, Seattle, 1-11.
10. Christoulas S., Bouckovalas G. ve Giannaros C., 2000. An Experimental Study on Model Stone Columns, Soils and Foundations, 40, 6, 11-22.
11. Han J. ve Ye S. L., 2002. A Theoretical Solution For Consolidation Rates of Stone Column-Reinforced Foundation Accounting for Smear and Well Resistance Effects, International Journal of Geomechanics, 2, 2, 135-151.
12. Mc Kelvey, D., 2002. The Performance of Vibro Stone Column Reinforced Foundations in Deep Soft Ground, Ph.D. Thesis, Queen's University of Belfast, Belfast.

13. Bae, W. S., Bang, W. S. ve Byung, C. A., 2002. Behavior of Foundation System Improved with Stone Columns, Proc. 12. International Offshore and Polar Engineering Conf., Kitakyushu, Japan, 675-678.
14. Kirsch F. ve Sondermann W., 2003. Field Measurements and Numerical Analysis of the Stress Distribution below Stone Column Supported Embankments and their Stability, Int. Workshop on Geotechnics of Soft Soil Theory and Practice, Essen, 595-600.
15. Adalier K., Elgamal A., Meneses J. ve Baez J. I., 2003. Stone Columns as Liquefaction Countermeasure in Non-Plastic Silty Soils, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 23, 571-584.
16. Özkeskin A. ve Erol O., 2004. Taş Kolon Uygulamalarında Gerilme Konsantrasyon Faktörlerinin Arazi Yükleme Deneyleri ile Belirlenmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, İstanbul, 641-646.
17. Adalier, K. ve Elgamal, A., 2004. Mitigation of Liquefaction and Associated Ground Deformations by Stone Columns, Journal of Engineering Geology, 72, 4, 275-291.
18. Nalçakan, M. S. 2004. Problemlı Zeminlerde Geoteknik Çözümler, Türkiye Mühendislik Haberleri, 430, 29-31.
19. Plomteux, C. ve Porhoba A., 2004. CMC Foundation System for Embankments Support, Proceedings of Sessions of the Geosupport Conference, Orlando, 1-12.
20. Clemente, J. L. M., Senapathy H. ve Davie D. R., 2005. Performance Prediction of Stone-Column-Supported Foundations, 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, 1327-1330.
21. Heitz C., Kempfert H. G. ve Alexiew D., 2005. Embankment Project on Soft Subsoil with Grouted Stone Columns and Geogrids, 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, 1359-1363.
22. Maurya R. R., Sharma B. V. R ve Naresh D. N., 2005. Footing Load Tests on Single and Group of Stone Columns 16th International Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, 1385-1388.
23. Tan S. A. ve Khine, K. O., O., 2005. Finite Element Modeling of Stone Columns - A Case History, 16th International Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, 1425-1428.
24. Patel, B. R. ve Shroff, A. V., 2005. Study on Composite Stone Column in Soft Kaolinitic Clay, 16th International Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, 1413-1417.

25. Andreou, P. and Papadopoulos, V., Modeling stone columns in soft clay, Proc. 6th European Conf. on Numerical Methods in Geotechnical Engineering, Graz, 777–780, 2006.
26. Murugesan, S. ve Rajagopal, K., 2006. Geosynthetic-Encased Stone Columns: Numerical Evaluation, Geotextiles and Geomembranes, 24, 349–358.
27. Al-Homoud, A. S. ve Degen, W. S., 2006. Marine Stone Columns to Prevent Earthquake Induced Soil Liquefaction, Geotechnical and Geological Engineering, 24, 775-790.
28. Malarvizhi, S. N. ve Ilamparuthi K., 2006. Modeling of Geogrid Encased Stone Column, 2. International Congress on Computational Mechanics and Simulation, Assam, 1-6.
29. Ambily, A. P. ve Gandhi, S. R., 2007. Behavior of Stone Columns Based on Experimental and FEM Analysis, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133, 4, 405-415.
30. Deb, K., Basudhar, P. K. ve Chandra S., 2007. Generalized Model for Geosynthetic- Reinforced Granular Fill-Soft Soil with Stone Columns, International Journal of Geomechanics, 7, 4, 266-276.
31. Black, J. A., Sivakumar, V., Madhav, M. R. ve Hamill, G. A., 2007. Reinforced Stone Columns in Weak Deposits: Laboratory Model Study, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133,9, 1154-1161.
32. McCabe, B. A., McNeill, J. A. ve Black, J. A., 2007. Ground Improvement Using the Vibro-Stone Column Technique, Engineers Ireland West Region and the Geotechnical Society of Ireland, 1-12.
33. Guetif Z., Bouassida, M. ve Debats, J. M., 2007. Improved Soft Clay Characteristics Due to Stone Column Installation, Computers and Geotechnics, 34, 104–111.
34. Deb, K., Basudhar, P. K. ve Chandra S., 2008. Response of Multilayer Geosynthetic- Reinforced Bed Resting on Soft Soil with Stone Columns, Computers and Geotechnics, 35, 323–330.
35. Elshazly H., Elkasabgy M. ve Elleboudy, A., 2008. Effect of Inter-Column Spacing on Soil Stresses Due to Vibro-Installed Stone Columns: Interesting Findings, Geotechnical and Geological Engineering, 26, 225–236.
36. Vekli M., Taş Kolon ile Şev İyileştirilmesinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.

37. Zahmatkesh, A., & Choobbasti, A. J., 2010. "Settlement Evaluation of Soft Clay Reinforced By Stone Columns, Considering The Effect Of Soil Compaction." Department of Civil Engineering, Babol.
38. Yaswant A. Kolekar v.d. (2011) 'Behaviour of Stone Column Reinforced Marine Clay Under Static and Cyclic Loading' Proceeding of Indian Geotechnical Conference December 15-17 2011 Kochi (Paper No: H-133).
39. Ataman (2011) 'Darbeli Taş Kolonlar (Geopier) ile İyileştirilmiş Zeminlerin Model Deneylerle İncelenmesi' Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı).
40. Deb K. v.d (2011) 'Optimum design of stone column-improved soft soil using multi objective optimization technique' Computers and Geotechnics 38 (2011) 50–57).
41. Kurt (2011) 'Darbeli Kırmataş Kolon ve Taş Kolon Elemanlarına Ait Yükleme Testlerinin Sayısal Analizi ve Sonuçlarının Karşılaştırılması' İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
42. Namal (2011) 'Yumuşak Kili Zeminlerde Taş Kolonlarla Zemin İyileştirilmesinin Laboratuvar Model Deneyleriyle Araştırılması' Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi).
43. Niroumand H. v.d (2011) yılında yayınladıkları 'Soil Improvement by Reinforced Stone Columns Based on Experimental Work' Ege Vol. 16, Bund. L2011.
44. Jin Man Kim v.d. (2012) yılında yayınladıkları 'Site Response and Shear Behavior of Stone Column-Improved Ground under Seismic Loading' 15 WCEE Lisboa 2012.
45. Sünnetcioğlu M. E. (2012) yılında yayınladığı 'Yumuşak Kilde Taş Kolonların Oturma Azaltıcı Etkisinin Laboratuvar Model Çalışmaları İle İncelenmesi' Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi.
46. Adeli (2013) 'Taş Kolonların Analiz ve Tasarımı' Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
47. Pradip Das v.d. (2013) yılında yayınlanan, 'A Study of the Behavior of Stone Column in Local Soft and Loose Layered Soil' 2013 ege Vol. 18 [2013], Bund. I pp 1778-1786.
48. Deb K. v.d. (2013) 'Analysis of stone column-supported geosynthetic-reinforced embankments' Applied Mathematical Modelling 37 (2013) 2943–2960.

49. Ghazavi M. v.d. (2013) 'Bearing capacity of geosynthetic encased stone columns' *Geotextiles and Geomembranes* 38 (2013) 26-36.
50. Mirsalehi S. (2013) 'Simulation of the Numerical Behavior of Stone and Geosynthetic Encapsulated Sand Columns in Tuzla Area' konulu çalışması, Doğu Akdeniz Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezidir.
51. Raju K.V.S.B. v.d. (2013) 'Cyclic Response of Stone Columns' *International Journal Of Scientific&Engineering Research*, Volume 4, Issue 5, ISSN 2229-5518.
52. Jeong-Ho Ryu and Jin Man Kim (2013) *Seismic Performance of Stone-Column-Reinforced Marine Soft Soil*. 2013 *Ejde Vol. 18* [2013], Bund. C PP. 497-508.
53. Yıldırım C.H. (2013) 'Vaka Analizleri Üzerinden Sonlu Eleman Modellemesiyle Taş Kolonların Oturmasına' konulu bu çalışma, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı Yüksek Lisans Tezi.
54. Yıldız M. (2013) 'Sayısal Modelleme İle Taş Kolonlarda Gerilme Yığılmasının Belirlenmesi' konulu bu çalışma, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı Yüksek Lisans Tezi.
55. Ng, K.S. ve Tan, S.A., (2014), *Design and Analyses of Floating Stone Columns*, Universiti Teknologi MARA, Faculty of Civil Engineering, Malaysia.
56. W. F. Van Impe, *Soil Improvement Techniques and Their Evolution*, Balkema, Rotterdam, 1898.
57. Yüksel Proje, *Geoteknik Tasarım Esasları*, Ankara, 2007
58. URL-1, <http://www.vibromenard.co.uk/techniques/vibro-compaction/>, 24 Ekim 2015.
59. URL-2, http://www.menard-web.com /internetmenard.nsf /HTML/ dynamic_compaction.html, 22 Ekim 2015
60. Mitchell, J.K. (1981), *Soil Improvement- State of the Art Report*, Proc. 10th International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Vol.3 pp.509-65.
61. Osmanoğlu, U., 1999. *Yumuşak ve Gevşek Zeminlerin İyileştirilmesi: Yüksek Basıncılı Enjeksiyon Kolonları ve Taş kolonlar*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
62. Federal Highway Administration (F.H.W.A), *Design and Construction of Stone Columns*, USA, 1983.

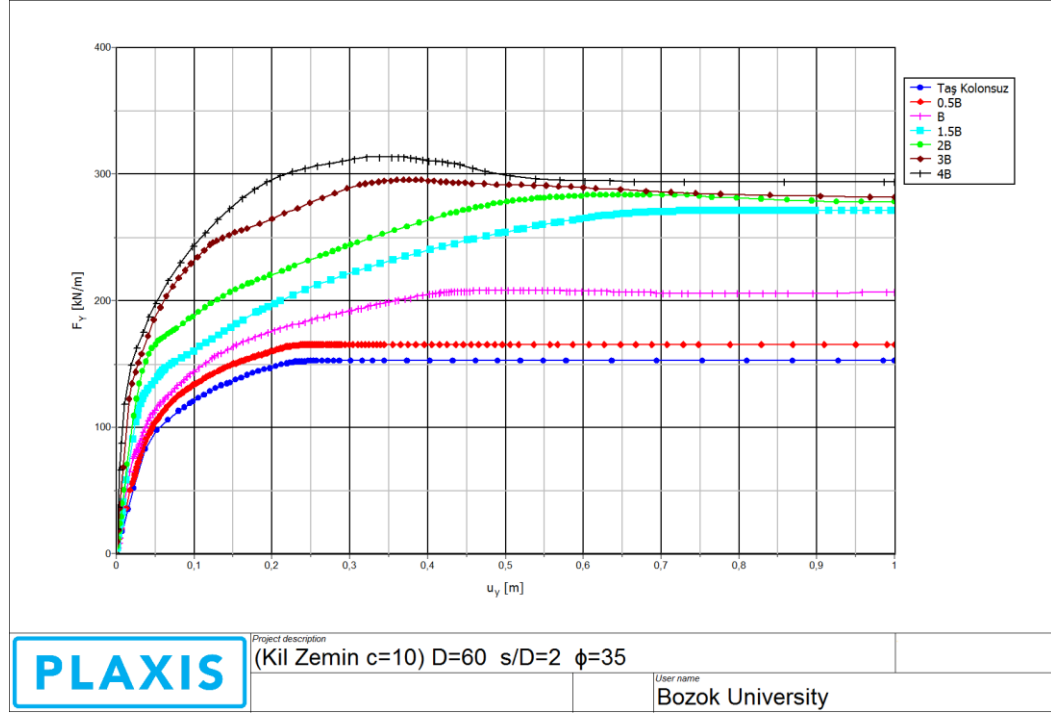
63. URL-3, <http://www.teknoformmuhendislik.com.tr/index.php/2013-04-03-09-20-31/2013-04-08-10-32-08/vibro-kompaksiyon>, 25 Ekim 2015
64. Raju, V.R. Wegner, R. and Vetriselvan, A. 2003. Application of vibro techniques for infrastructure Project in India. Proceeding of Indian Geotechnical Conference, Roorkee, India.
65. URL-4, <http://zeminmekanik.blogspot.com.tr/2014/09/vibro-kompaksiyon.html>, 25 Ekim 2015
66. Taube.G & Martin, P.E., P.G.2002, Stone Columns for Industrial Fills, Nicholson Construction Company, Cuddy, Pennsylvania.
67. URL-5, <http://www.haywardbaker.com/>, 27 Ekim 2015.
68. Kurt, E., (2011) Darbeli Kırmataş Kolon ve Taş Kolon Elemanlarına Ait Yükleme Testlerinin Sayısal Analizi ve Sonuçlarının Karşılaştırılması , Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 19-70.
69. Jebe, W. ve Bartels, K., 1983. The Development of Compaction Methods with Vibrations from 1976 to 1982, 8th ECSMFE, Helsinki, 259-266.
70. Barksdale, R.D. ve Bachus, R.C., (1983). "Design and Construction of Stone Columns: Vol.1-2", Report No. FHWA/RD-83/026, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 6-55.
71. Juran I.,Chen, C. L., Acar Y. B. ve Gurmazi, A., 1988. A Comparative Study of Soil Improvement Techniques for Highway Embankments, Federal Highway Administration, Louisiana, 276 s.
72. McCabe, B. A., McNeill, J. A., Black, J. A., Ground Improvement Using The Vibro-Stone Column Technique, Engineers Ireland West Region and the Geotechnical Society of Ireland, The Institution Of Engineers Of Ireland, NUI Galway, March 15 2007.
73. Hughes, J.M.O. ve Withers, N.J. (1974). "Reinforcing of Soft Cohesive Soils With Stone Columns", Ground Engineering, 7: 42-49.
74. Vesic, A. S., 1972. Expansion of Cavities in Infinite Soil Mass, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Div., 98, 265- 290.
75. Greenwood, D. A. ve Kirsch K., 1984. Specialist Ground Treatment by Vibratory and Dynamic Methods, Satae of the Art Report, Pilling and Ground Treatment,Thomas Telford, London, 17-45.
76. Bell, J. R., 1978. Future Advances in Soil Placement and Improvement, Journal of the Geotechnical Engineering Division, 104, 1, 1-10.

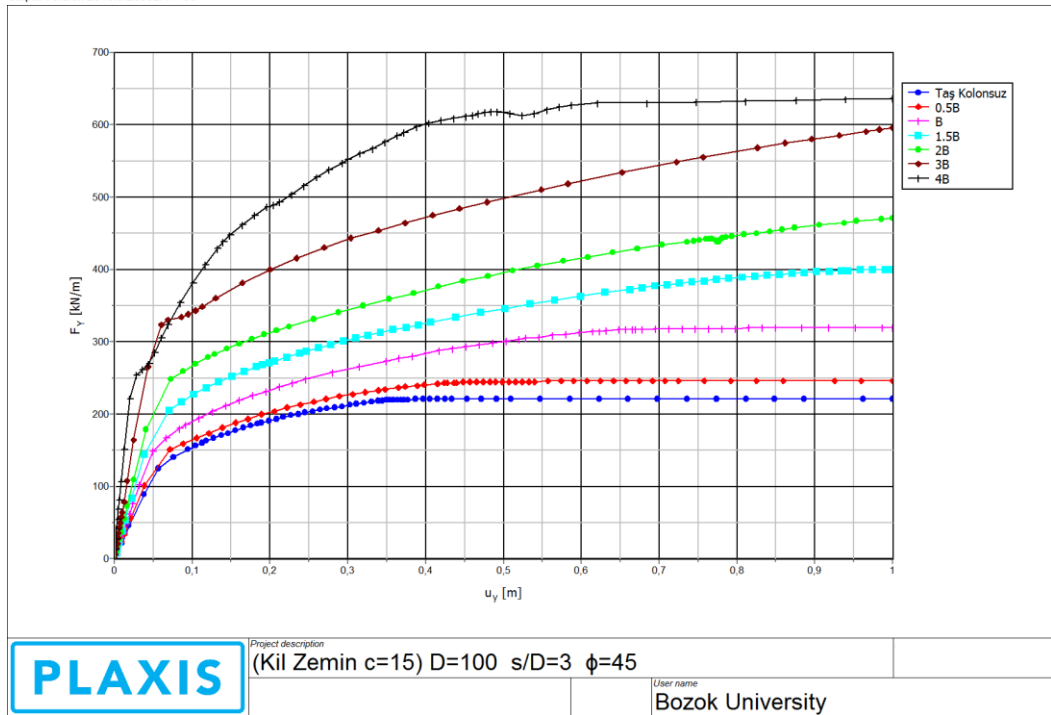
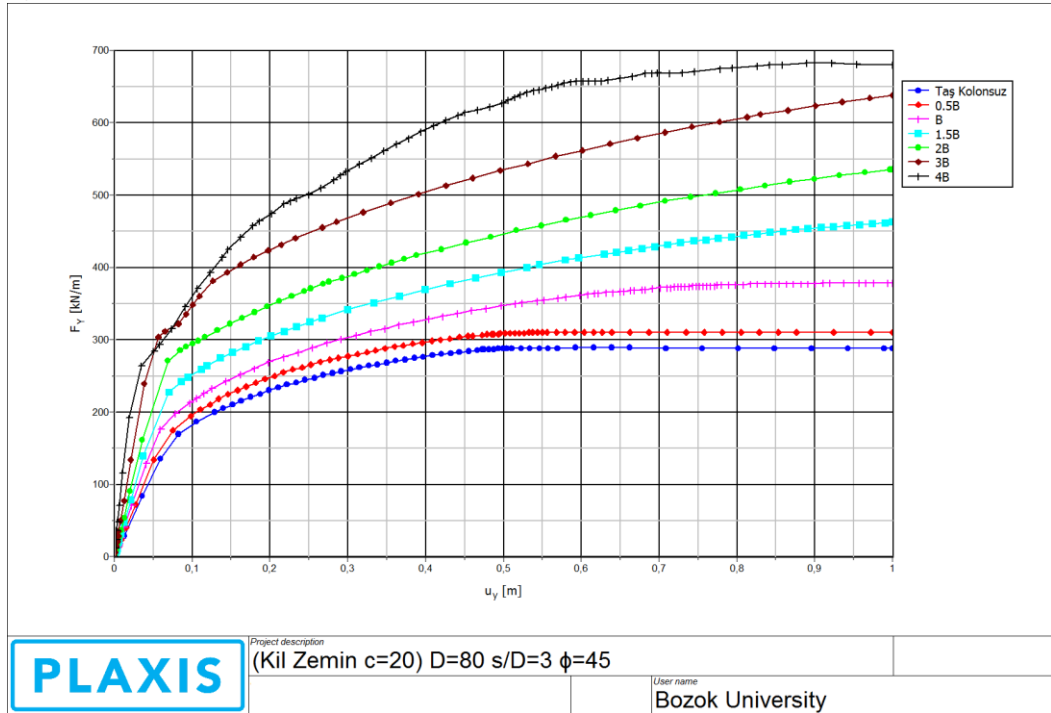
77. Sowers, G. F., 1979. Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering, 4th Edition, McMillian Publishing Co., New York.
78. Mathav M. R. ve Vitkar P. P., 1978. Strip footing on weak clay stabilized with a granular trench or pile, Canadian Geotechnical Journal, 15, 4, 605-609.
79. Vesic, A.S. (1975). Bearing capacity of shallow foundations. Chapter 3 of Foundation Engineering Handbook , Hans F. Winterkorn and Hsai Yang Fang (Eds) Van Nostrand Reinhold.
80. Coduto, D.P. (1999). Geotechnical Engineering . Principles and Practices. Prentice Hill.
81. Çinicioğlu, F. S., Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı, Seminer İMO İstanbul, 2005.
82. Richards, R., Elms, D.G., Budhu, M. (1993). .Seismic bearing capacity and settlements of foundations., Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 116, No. 5, pp. 662-674.
83. Türkmen S. 2009 yılında yayınlanan ‘Deprem Durumunda Şev Stabilite Analizi’ Yüksek Lisans Tezi Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
84. Day, R.W., (2004), “Geoteknik Deprem Mühendisliği El Kitabı”, s. 247-304.
85. Rao, S. S., 2005. The Finite Element Method in Engineering, Pergamon Pres, Oxford, 625s.
86. Zienkiewicz, O.C. 1977. The Finite-Element Method. 3rd ed., New York, McGraw-Hill Book Co., 787p.
87. Frank, L. S., 1985. Applied Finite Element Analysis for Engineers, Harcourt Brace Jovanovich College Publishers, Holt, 658s.
88. Veysel, 2012 yılında yayınlanan ‘Şev Stabilitesi Problemlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İki ve Üç boyutlu Analizleri’ isimli Yüksek Lisans Tezi Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
89. Plaxis 2D (2AE), 2006-2015. Finite Element Code For Soil Rock Analyses, User Manual, Delf, 202s.

EKLER

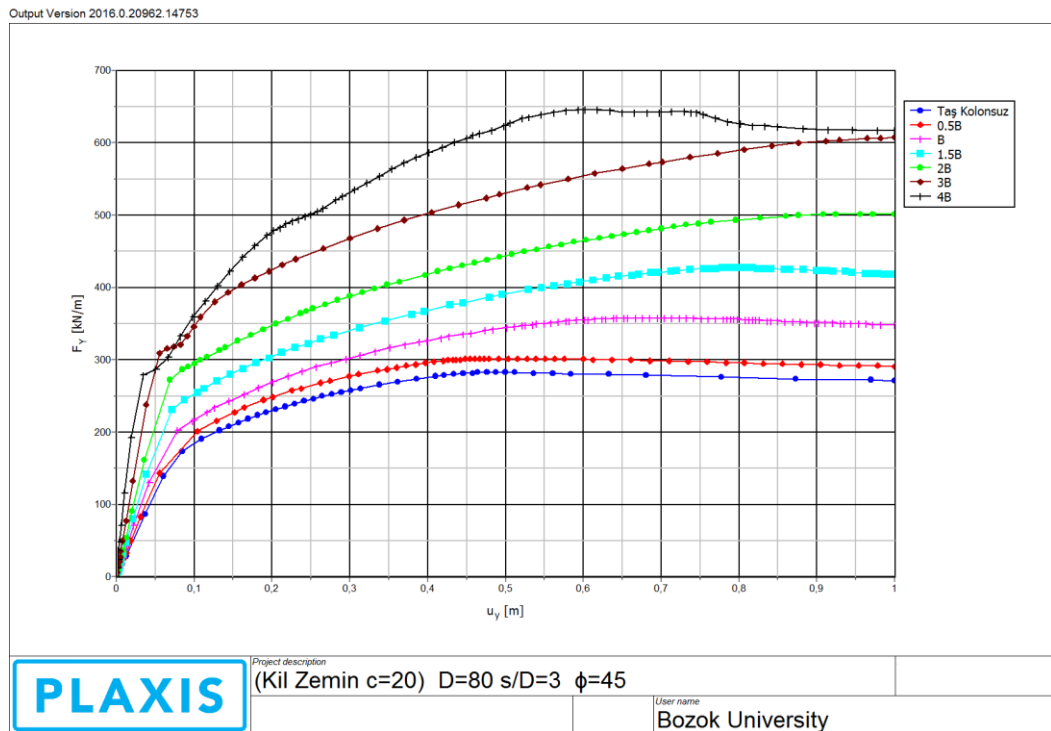
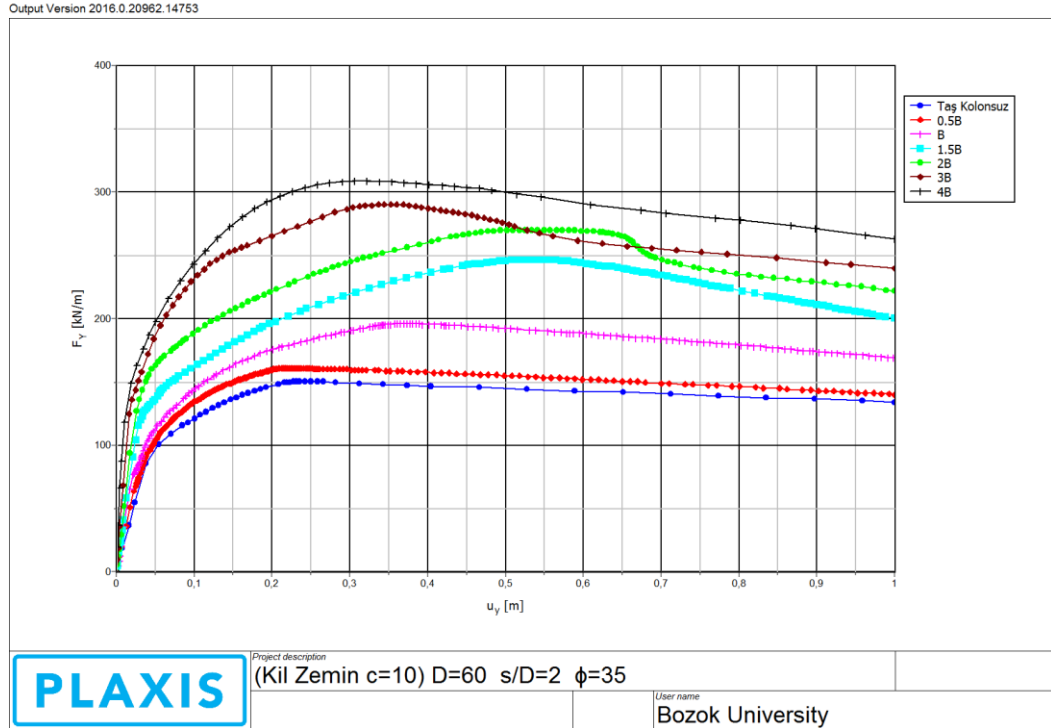
Yalnız Deplasman Yüküne Maruz Kalmış Zemin Modellerinin Plaxis Programından Alınmış Örnek Taşıma Gücü Grafikleri (Statik Durum)

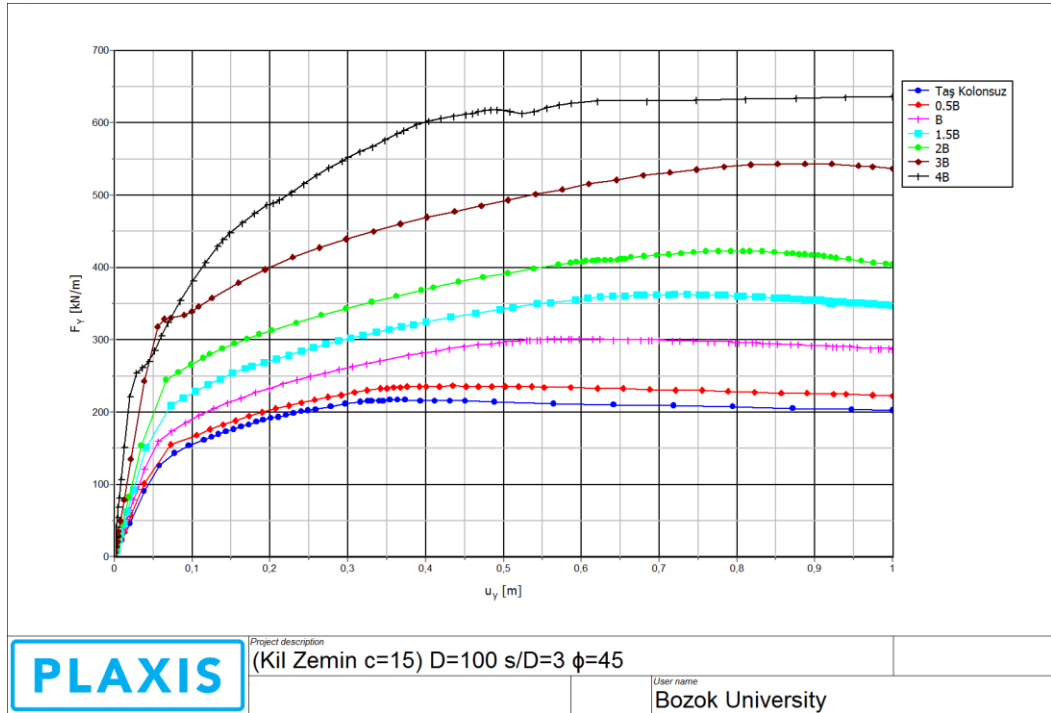
Output Version 2016.0.20962.14753





Deplasman Yüğü Ve Deprem Yüğüne Maruz Kalmış Zemin Modellerinin Plaxis Programından Alınmış Örnek Taşıma Gücü Grafikleri (Dinamik Durum)





ÖZGEÇMİŞ

19 Eylül 1986 tarihinde Kahramanmaraş merkezde doğdu. İlkokulu Kahramanmaraş Muallim Hayrullah Efendi İlköğretim Okulu'nda, ortaokulu Kahramanmaraş İlköğretim Okulu'nda okudu. Liseyi 2001-2005 tarihleri arasında İngilizce ağırlıklı eğitim veren Kahramanmaraş Kadriye Çalık Anadolu Lisesi'nde tamamladı.

2005-2010 yılları arasında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. Eylül 2010'da Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı yüksek lisans programında lisansüstü eğitime başladı. Lisansüstü eğitime başladıktan sonra Şubat 2012 tarihine kadar özel bir şirkette şantiye şefi olarak görev yaptı. Bu tarihten itibaren Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Aynı zamanda Kahramanmaraş İnşaat Mühendisleri Odası'nda Autocad eğitmeni olarak görev yaptı. 2013 Ocak ayında Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı ve halen burada görevini sürdürmekte. Aynı zamanda Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı'nda Yrd. Doç. Dr. Mustafa VEKLİ'nin danışmanlığında yüksek lisansa başladı.

İletişim Bilgileri

Adres : Bozok Üniversitesi MMF İnşaat Mühendisliği Bölümü Yozgat/MERKEZ
Erdoğan AKDAĞ Kampüsü

Telefon : 0354 242 10 01 / 1865

E-posta : ferhatsahinkaya@outlook.com