

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE
BİR VAKA ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Muhammed AYDIN

HAZİRAN 2019
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE ZEMİN
İYİLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE BİR VAKA ANALİZİ**

Muhammed AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 / 05 / 2019

Tezin Savunma Tarihi : 14 / 06 / 2019

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Zekai ANGIN

Trabzon 2019

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Muhammed AYDIN Tarafından Hazırlanan**

**DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE BİR VAKA
ANALİZİ**

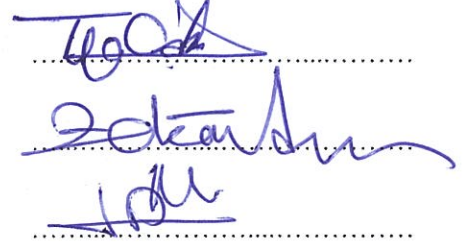
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2019 gün ve 1806 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Tufan ÇAKIR

Üye : Doç. Dr. Zekai ANGIN

Üye : Doç. Dr. S. Banu İKİZLER



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans Tez danışmanlığımı yapan, çalışma süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım saygı değer hocam Sayın Doç. Dr. Zekai ANGIN'a en kalbi duygularla teşekkür ederim.

Tez süresince bilgi ve tecrübesinden yararlandığım, yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Sabriye Banu İKİZLER'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım İnş. Yük. Müh. İlkey TONYALI, İnş. Yük. Müh. Yunus Emre DÖNERTAŞ ve İnş. Müh. Ertan AKIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen başta annem Ayşe AYDIN olmak üzere, babam Mehmet AYDIN, ağabeyim Abdullah AYDIN ve ablam Sümeyra AYDIN SELVİ'ye teşekkür ederim. En önemli teşekkürü hak eden, hayat arkadaşım, canım eşim, fedakâr insan İnş. Yük. Müh. Elif AYDIN'a en kalbi duygularla şükran ve sevgilerimi sunarım.

Muhammed AYDIN
Trabzon, 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “DERİN ZEMİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRMESİ ÜZERİNE BİR VAKA ANALİZİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Zekai ANGIN sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/06/2019

Muhammed AYDIN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Özetleri	2
1.3. Zeminlerin Stabilizasyonu	5
1.3.1. Zeminlerin İyileştirilmesi	5
1.3.2. İyileştirme Yöntemi Seçimini Etkileyen Faktörler.....	7
1.3.3. Zemin İyileştirilmesinde Karşılaşılan Problemler	8
1.3.3.1. Bazı Kısıtlamalar ve Risk Yönetimi	8
1.3.3.2. Karşılaşılan Zemin Problemleri.....	8
1.3.4. Zemin İyileştirme Yöntemleri	13
1.3.4.1. Yüzeysel İyileştirme Yöntemleri.....	14
1.3.4.1.1. Kompaksiyon.....	14
1.3.4.1.2. Drenaj	16
1.3.4.1.3. Mekanik İyileştirme.....	17
1.3.4.1.4. Çimento ile İyileştirme	17
1.3.4.1.5. Kireç ile İyileştirme	18
1.3.4.1.6. Bitüm ile İyileştirme	19
1.3.4.2. Derin İyileştirme Yöntemleri.....	19
1.3.4.2.1. Derin Kompaksiyon.....	19
1.3.4.2.2. Derin Vibrasyon (Vibro-flotasyon)	21
1.3.4.2.3. Taş Kolonlar	22
1.3.4.2.4. Kompaksiyon Kazıkları	23
1.3.4.2.5. Patlayıcılar	24
1.3.4.2.6. Enjeksiyon	25

1.3.4.2.6.1. Kimyasal Enjeksiyon	26
1.3.4.2.6.2. Permeasyon Enjeksiyon.....	27
1.3.4.2.6.3. Çatlatma Enjeksiyonu	28
1.3.4.2.6.4. Kompaksiyon Enjeksiyonu	28
1.3.4.2.6.5. Jet Enjeksiyonu	29
1.3.4.2.6.6. Derin Karıştırma	31
1.3.4.2.7. Geotekstilller.....	31
1.3.4.2.8. Önyükleme.....	32
1.3.4.2.9. Kum Drenleri	33
1.3.4.2.10. Isı ile İyileştirme	34
1.3.4.2.11. Elektro – Osmoz	34
1.4. Derin Karıştırma Yöntemi	35
1.4.1. Derin Karıştırma Metodunun Tarihsel Gelişimi.....	35
1.4.2. Derin Karıştırma Yöntemi	36
1.4.3. Derin Karıştırma Yöntemi Sınıflandırılması	37
1.4.3.1. Kuru Derin Karıştırma Metodu	38
1.4.3.2. Islak Derin Karıştırma Metodu.....	39
1.4.4. Derin Karıştırma Yöntemi Yapılacak Zeminin Malzeme Özellikleri	40
1.4.5. Derin Karıştırma Yönteminde Bağlayıcı Tipinin Etkisi.....	41
1.4.6. Derin Karıştırma Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	43
1.4.6.1. Kuru Derin Karıştırma Yöntemi.....	43
1.4.6.2. Islak Derin Karıştırma Yöntemi	44
1.4.7. Derin Karıştırma Yöntemi Uygulama Ekipmanları.....	45
1.4.8. Derin Karıştırma Metodu Uygulama Alanları	48
1.4.8.1. Hydraulic Cut-Off Duvarları	51
1.4.8.2. Kazı Destek Duvarları	52
1.4.8.3. Zemin İyileştirme Uygulamaları.....	53
1.4.8.4. Sıvılaşma Kontrol Uygulamaları	54
1.4.8.5. Yerinde Güçlendirme Uygulamaları ve Kazıklar	56
1.4.8.6. Çevresel İyileştirme Uygulamaları	56
1.4.9. Derin Karıştırma Kolonlarında Oluşabilecek Göçme Modları.....	57
1.4.10. Derin Karıştırma Yöntemi Sonrası Zemin Özellikleri.....	59
1.4.11. Geleneksel Yöntem ile Derin Karıştırma Kolonu Hesabı	60
1.4.11.1. Derin Karıştırma Kolonu Taşıma Gücü Hesabı.....	60
1.4.11.1.1. Derin Karıştırma Kolonu Uç Taşıma Gücü Hesabı.....	61

1.4.11.1.2.	Derin Karıştırma Kolonu Çevre Sürtünmesi Hesabı.....	66
1.4.11.1.2.1.	Kohezyonsuz Zeminler İçin Çevre Sürtünmesi Hesabı	67
1.4.11.1.2.2.	Kohezyonlu Zeminler İçin Çevre Sürtünmesi Hesabı.....	69
1.4.11.2.	Derin Karıştırma Kolonu ile İyileştirilmiş Zeminin Taşıma Gücü Hesabı ...	70
1.4.11.3.	Derin Karıştırma Kolonu ile İyileştirilmiş Zeminin Oturma Hesabı	71
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	78
2.1.	İncelenen Projeye Ait Genel Bilgiler	78
2.1.1.	İnceleme Alanının Zemin Profili.....	80
2.1.2.	Yeraltı Su Seviyesi Durumu.....	81
2.1.3.	Doğal Birim Hacim Ağırlık Sonuçları	82
2.1.4.	Atterberg Limit Testi Sonuçları	82
2.1.5.	Standart Penetrasyon Deneyi	82
2.1.7.	Taşıma Gücü Analizi.....	90
2.1.8.	Oturma Analizi	91
2.1.9.	Sıvılaşma Analizi	95
2.2.	Geleneksel Yöntemle Derin Karıştırma Kolonu Hesaplamaları	98
2.2.1.	Derin Karıştırma Kolonu Taşıma Gücü Hesabı	100
2.2.2.	İyileştirilmiş Zeminin Emniyet Gerilmeleri.....	102
2.2.3.	İyileştirilmiş Zeminin Oturma Hesabı.....	104
2.3.	Derin Karıştırma Kolonunun Statik Kazık Yükleme Deneyi ile Göçme Yükünün Belirlenmesi.....	107
2.3.1.	Derin Karıştırma Kolonunda Geleneksel Yönteme Göre Tek Bir Kolon İçin Oturma Değerinin Bulunması	111
2.3.2.	Derin Karıştırma Kolonunda Göçme Yükünün Mazurkiewicz Yöntemi ile Belirlenmesi	113
2.3.	Vakanın Plaxis Sonlu Elemanlar Programı ile Analizi	115
2.3.1.	Analizde Kullanılan Zemin Modelleri ve Elemanları	116
2.3.1.1.	Hardening-Soil Modeli.....	116
2.3.1.2.	Plate Eleman Tanımlanması.....	116
2.3.1.3.	Anchors Eleman Tanımlanması	116
4.3.1.4.	Interface Eleman Tanımlanması.....	117
2.3.2.	Derin Karıştırma Kolonu ve Zemin Parametreleri Kabulü	117
2.3.2.1.	Elastise Modülü (E) Kabulü	117
2.3.2.2.	Kayma Mukavemeti (C') Kabulü.....	119
2.3.2.3.	Efektif İçsel Sürtünme Açısı (ϕ') Kabulü.....	120
2.3.2.4.	Poisson Oranı (ν) Kabulü	121

2.3.2.5.	Kabarma Açısı (ψ) Kabulü.....	121
2.3.3.	Plaxis ile Model Oluşturması	122
2.3.3.1.	Derin Karıştırma Kolonu, Temel ve Zemine Ait Parametreler	122
2.3.3.1.	Derin Karıştırma Kolonu Geometrisinin Oluşturulması ve Yük Tanımı	123
2.3.3.1.	Mesh Oluşturulması.....	124
2.3.4.	Analiz Sonuçları	124
2.3.5.	Temel Altı Oturmaların Geleneksel ve Sonlu Eleman Yöntemine Göre Karşılaştırılması	126
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	127
4.	KAYNAKLAR	130
5.	EKLER	136

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE BİR
VAKA ANALİZİ

Muhammed AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Doç. Dr. Zekai ANGIN
2019, 135 Sayfa, 35 Sayfa Ek

Bu tez kapsamında zemin iyileştirme yöntemlerinin seçimi ve son yıllarda zemin stabilizasyonunda kullanımı artan ve alternatif zemin iyileştirme yöntemi olarak kullanılan derin karıştırma yöntemi üzerine bir vaka analizinde çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında zemin etüt raporundan alınan veriler doğrultusunda idealize zemin profili oluşturulup, yapılan sayısal analizler bu oluşturulan profil üzerinden gerçekleştirilmiştir. Standart penetrasyon deney sonuçları yardımıyla zeminde taşıma, oturma ve sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Taşıma gücü analizinde zeminin emniyetle taşıyabileceği yük $20,12 \text{ t/m}^2$ bulunmuştur. Radye temel altında gerilmeler $34,60 \text{ t/m}^2$ mertebesinde olduğundan dolayı zeminde taşıma gücü problemi tespit edilmiştir. Oturma analizinde zeminde meydana gelecek olan konsolidasyon ve elastik oturma değeri $12,70 \text{ cm}$ bulunmuştur. Sıvılaşma analizi ise Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre yapılmış ve zeminde sıvılaşma probleminin olmadığı tespit edilmiştir. Taşıma gücü ve oturma problemleri için $0,80 \text{ m}$ çapında, $8,00 \text{ m}$ derinliğinde derin karıştırma kolonu ile iyileştirme hesapları yapılmıştır. Derin karıştırma kolonu geleneksel yöntemle göre nihai taşıma gücü $287,00 \text{ ton}$ emniyetli taşıma gücü ise $143,50 \text{ ton}$ olarak bulunmuştur. Derin karıştırma kolonu ile iyileştirilmiş zeminin geleneksel yöntemle göre taşıma gücü $2,25 \times 2,25 \text{ m}$ karelaç için $46,46 \text{ t/m}^2$, oturma miktarı ise $3,05 \text{ cm}$ olarak bulunmuştur. Sonlu elemanlar yöntemine göre iyileştirme öncesi ve sonrası için yapılan deformasyon analizi değerleri sırasıyla $14,20 \text{ cm}$ ve $4,75 \text{ cm}$ olarak bulunmuştur. İyileştirme öncesi ve sonrası geleneksel yöntemle göre hesaplanan oturma değerleri ile sonlu elemanlar yöntemine göre hesaplanan değerler birbirine yakın çıkmıştır. Derin karıştırma kolonu göçme yükü tayini için sahada 16 farklı kolonda statik eksenel basınç testi yapılmıştır. Mazurkiewicz yöntemine göre göçme yükü ortalama $303,00 \text{ ton}$ bulunmuştur. Geleneksel yöntemle göre hesaplanan nihai taşıma gücünün, test sonucuna göre hesaplanan göçme yüküne göre %6 daha güvenli tarafta olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Zemin İyileştirilmesi, Derin Karıştırma Yöntemi, Statik Eksenel Yükleme Deneyi, Sonlu Elemanlar Yöntemi

Master Thesis

SUMMARY

A CASE STUDY ON SOIL IMPROVEMENT WITH DEEP MIXING METHOD

Muhammed AYDIN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc Prof. Dr. Zekai ANGIN
2019, 135 Pages, 35 Pages Appendix

In this thesis, selection of soil improvement methods and a case on soil improvement with deep soil mixing method, which its use have been increasing recently in soil stabilization and an alternative method in soil improvement, had been studied.

Within the scope of the study, according to the data obtained from the soil investigation report, an ideal soil profile had been generated and used as a base for the numerical analysis. Bearing capacity of soil, settlement and liquefaction analyses performed via results obtained from standard penetration test. According to bearing capacity analysis, the allowable stress of soil is $20,12 \text{ t/m}^2$. Allowable bearing stress failure had been determined due to the stress value of $34,60 \text{ t/m}^2$ under spread footing. Consolidation and elastic settlement in soil had been observed as $12,70 \text{ cm}$, determined by the settlement analysis. On the contrary, the liquefaction analysis had been performed in accordance with Turkey Regulations for Seismic Design and no liquefaction problem was detected in the soil. A deep mixing column with $0,80\text{m}$ diameter and $8,00 \text{ m}$ depth is calculated for improvement in bearing stress and settlement problems. In compliance with conventional method, ultimate bearing capacity and allowable bearing capacity is determined to be $287,00 \text{ ton}$ and $143,50 \text{ ton}$, respectively. The soil improved by deep mixing column, has a bearing capacity of $46,46 \text{ t/m}^2$ for $2,25 \times 2,25 \text{ m}$ grid and a settlement calculation of $3,05 \text{ cm}$. According to finite elements method, the values of pre-enhancement and post-enhancement deformation analysis results had been found as $14,20 \text{ cm}$ and $4,75 \text{ cm}$, respectively. The values obtained for settlement of pre-enhancement and post-enhancement from conventional method and finite elements method are close to each other. Static axial pressure test was performed on 16 different columns in the field for the determination of the deep crest column crush load. According to the Mazurkiewicz method, the average crush load was $303,00 \text{ tons}$. It is seen that the ultimate bearing capacity calculated according to the traditional method is 6% safer than the crush load calculated according to the test result.

Key Words: Soil Improvement, Deep Soil Mixing Method, Static Axial Loading Test, Finite Element Method

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Toplam oturmanın zamana bağlı değişimi	12
Şekil 1.2.	Oturma tipleri	13
Şekil 1.3.	Olumsuz zemin koşulları için iyileştirme teknikleri	14
Şekil 1.4.	Nem içeriği – birim hacim ağırlık ilişkisi	15
Şekil 1.5.	Drenaj sistemi.....	16
Şekil 1.6.	Derin kompaksiyon çalışması	19
Şekil 1.7.	Ağırlık düşürme ağ modeli.....	20
Şekil 1.8.	Derin kompaksiyon sonucu oluşan kraterler	20
Şekil 1.9.	Vibrofoltasyon ekipmanı.....	21
Şekil 1.10.	Vibrofoltasyon kompaksiyon süreci.....	22
Şekil 1.11.	Taş kolon oluşturma prosesi.....	22
Şekil 1.12.	Kompaksiyon kazıkları	23
Şekil 1.13.	Patalatma Mekanizması.....	24
Şekil 1.14.	Zemin ile enjeksiyon malzemesi arasındaki tane boyutu ilişkisi	25
Şekil 1.15.	Çimento Enjeksiyonu	27
Şekil 1.16.	Kompaksiyon Enjeksiyonu	29
Şekil 1.17.	Jet enjeksiyon uygulaması.....	30
Şekil 1.18.	Jet Enjeksiyon Sistemleri	30
Şekil 1.19.	Zemin önyüklemesi	33
Şekil 1.20.	Kum drenleri yöntemi	34
Şekil 1.21.	Derin karıştırma yöntemi	36
Şekil 1.22.	Kuru derin karıştırma uygulaması.....	39
Şekil 1.23.	Islak derin karıştırma uygulaması	40
Şekil 1.24.	Turba zeminlerde bağlayıcı içeriği ve kayma dayanımı arasındaki ilişki.....	42
Şekil 1.25.	Derin karıştırma teknikleri	46
Şekil 1.26.	Derin karıştırma ekipmanları	47
Şekil 1.27.	Derin karıştırma ekipmanları	47
Şekil 1.28.	Derin karıştırma örnekleri	49
Şekil 1.29.	Derin karıştırma kolon tipi örnekleri	50
Şekil 1.30.	Derin karıştırma yönteminin geoteknik uygulama alanları.....	50

Şekil 1.31.	Hydraulic cut-off duvarları oluşum düzeni	51
Şekil 1.32.	Cut-off duvarı ile yeraltı baraj seti uygulaması.....	52
Şekil 1.33.	Sacramento'da cut-off duvarı uygulaması	52
Şekil 1.34.	Derin karıştırma kolonları plan görünüşü, Lake Parkway	53
Şekil 1.35.	Zemin iyileştirme uygulamaları, Tomei Freeway, Japonya.....	54
Şekil 1.36.	Derin karıştırma yöntemi ile Torishima Dike'in yeniden inşası.....	55
Şekil 1.37.	Sıvılaşma ve sızıntıyı önlemek için cut-off duvarı uygulaması	55
Şekil 1.38.	Yerinde takviye olarak kullanılan kireç kolonları	56
Şekil 1.39.	Derin karıştırma kolonları yerleşimi	57
Şekil 1.40.	Düşey yük etkisinde farklı göçme modları	58
Şekil 1.41.	Dolgu altında oluşabilecek göçme modları	58
Şekil 1.42.	Ağırlık duvarı göçme modları	59
Şekil 1.43.	Derin karıştırma kolonu taşıma gücü yük bileşenleri.....	61
Şekil 1.44.	I_p ve c_u arasındaki ilişki	66
Şekil 1.45.	Derin karıştırma kolonu için kritik derinlik	67
Şekil 1.46.	Kazık gruplarındaki oturmalar	72
Şekil 1.47.	PI ve m_v arasındaki ilişki.....	74
Şekil 2.1.	Radye temel altında oluşan gerilme diyagramı	78
Şekil 2.2.	Eskişehir Yeni Stadyumu radye temel ölçüleri	79
Şekil 2.3.	Eskişehir Yeni Stadyumu sondaj kuyusu noktaları.....	80
Şekil 2.4.	Zemin profil içerisindeki derin karıştırma kolonu yerleşimi	100
Şekil 2.5.	Derin karıştırma kolonu aplikasyon planı	103
Şekil 2.6.	Derin karıştırma kolonu yükleme test düzeneği.....	107
Şekil 2.7.	1 nolu test kolonu için yük-zaman grafiği.....	110
Şekil 2.8.	1 nolu test kolonu için zaman-oturma grafiği	110
Şekil 2.9.	1 nolu test kolonu için oturma-yük grafiği.....	111
Şekil 2.10.	1 nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması	113
Şekil 2.11.	Test kolonlarının Mazurkiewicz yöntemi göre göçme yükü.....	114
Şekil 2.12.	Test ile belirlenen göçme yükünün geleneksel yöntemle göre belirlenen nihai taşıma güne oranı	115
Şekil 2.13.	I_p ve E_u arasındaki ilişki.....	118
Şekil 2.14.	15 noktalı eleman için düğümlerin ve gerilme noktalarının yerleri	122
Şekil 2.15.	Derin karıştırma kolonu geometrisinin oluşturulması ve yük tanımı.....	123
Şekil 2.16.	Mesh Modeli	124

Şekil 2.17. İyileştirilmemiş zemine ait deformasyon dağılımı.....	125
Şekil 2.18. İyileştirilmiş zemine ait deformasyon dağılımı.....	125
Şekil 2.19. Temel altı oturmaların karşılaştırılması	126



TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Derin karıştırma yöntemi genel sınıflandırılması.....	37
Tablo 1.2.	Uygun zemin yapısı etmenleri.....	37
Tablo 1.3.	Islak derin karıştırma ile iyileştirilmiş zeminlerin dayanım değerleri	41
Tablo 1.4.	Kuru metoda göre iyileştirilmiş zemin parametreleri	59
Tablo 1.5.	Islak metoda göre iyileştirilmiş zemin parametreleri.....	60
Tablo 1.6.	Taşıma gücü katsayıları.....	63
Tablo 1.7.	SPT ve efektif içsel sürtünme açısı arasındaki bağlantılar.....	64
Tablo 1.8.	SPT ve drenajsız kayma mukavemeti ilişkisi.....	65
Tablo 1.9.	Kazık tipleri için değerleri.....	68
Tablo 1.10.	Kazık ve zemin arasındaki sürtünme değerleri	69
Tablo 1.11.	Adezyon katsayısı değerleri	70
Tablo 1.12.	Derin karıştırma kolonu taşıma gücü formülleri	70
Tablo 1.13.	I_1 etki faktörü	76
Tablo 1.14.	I_2 etki faktörü	77
Tablo 2.1.	SPT düzeltme katsayıları.....	83
Tablo 2.2.	SPT düzeltmesi.....	84
Tablo 2.3.	SPT değerlerinin ortalaması	89
Tablo 2.4.	İdealize zemin profili	89
Tablo 2.5.	Zeminlerin poisson oranları	93
Tablo 2.6.	Sıvılaşma analiz sonuçları	98
Tablo 2.7.	Yükleme deneyi oturma değerleri	108
Tablo 2.8.	Tavsiye edilen katsayıları.....	117
Tablo 2.9.	Zemin türleri için β' katsayısı.....	118
Tablo 2.10.	Derin karıştırma kolonu, temel ve zemin parametreleri.....	123

SEMBOLLER DİZİNİ

a_s	: Kolon/zemin birim alan oranını
A_{dkk}	: Derin karıştırma kolonu kesit alanını
A_{etki}	: Derin karıştırma kolonu etki alanını
A_f	: Derin karıştırma kolonu çevresi sürtünme yüzey alanını
A_p	: Derin karıştırma kolonu uç alanı
B	: Temel genişliğini
B'	: Temel ortası için " $B/2$ " ve temel köşesi için " B " değeri
c	: Derin karıştırma kolonu uç bölgesi kohezyonu
c_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
c'	: Drenajlı kayma mukavemeti
C_B	: Kuyu çapı düzeltmesini
C_E	: Enerji oranı düzeltmesi
C_M	: Deprem büyüklüğünü düzelme katsayısı
C_N	: Kohezyonsuz zeminler için derinlik düzeltmesini
C_R	: Tij boyu düzeltmesini
C_S	: Örnek numune alıcı düzeltmesini
C_{Ni}	: Temel ortası elastik oturma için "4", köşe için "1" değeri
CSR	: Çevrimsel gerilme oranı
CRR	: Çevrimsel direnç oranı
d	: Derin karıştırma kolonu çapı
D_f	: Radye temel derinliği
E	: Zeminin elastisite modülünü
E_{ort}	: Ortalama elastisite modülü
E_p	: Derin karıştırma kolonu elastisite modülü
E_s	: Derin karıştırma kolon ucu zeminin deformasyon modülü

E_s	: Zeminin elastisite modülü
E'_s	: Kohezyonlu zeminlerde drenajlı elastisite modülü
E_u	: Drenajsız elastisite modülü
EA	: Normal rijitlik
EI	: Eğilme rijitliği
f_{ck}	: Betonun serbest basınç dayanımı
f_{ckd}	: Betonun serbest basınç dizayn dayanımı
f_i	: Farklı zemin tabakaları içerisindeki birim çevre sürtünmesi
f_1	: Stroud (1974) korelasyon katsayısı
f_2	: Stroud (1974) korelasyon katsayısı
H	: Temel altı tabaka kalınlığı
H	: Sıkışabilir tabaka kalınlığı
H_R	: Radye ile sanal radye temel arasındaki mesafe
I_D	: Derinlik faktörü
I_S	: Şekil faktörü
I_p	: L/D oranına bağlı bir katsayı
K_i	: İçsel sürtünme açısına bağlı efektif yanal zemin basıncı katsayısı
L	: Temel uzunluğu
L	: Derin karıştırma kolonu boyu
L'	: Kritik derinlik
m_v	: Hacimsel sıkışma katsayısı
N	: Standart penetrasyon deneyinde 30 cm için darbe sayısı
N_c, N_q, N_γ	: Taşıma gücü katsayıları
N_{60}	: Derinlik düzeltilmesi uygulanmamış düzeltilmiş SPT darbe sayısını
$N_{1,60}$	: Derinlik düzeltilmesi uygulanmış düzeltilmiş SPT darbe sayısını
p	: Derin karıştırma kolonu en kesitinin çevre uzunluğu
I_p	: Plastisite indisi
q	: Yayılı yük
q_e	: Zemin emniyet gerilmesi

q_{net}	: Net temel basıncı
Q_f	: Derin karıştırma kolonu çevre sürtünmesi taşıma gücü
Q_p	: Derin karıştırma kolonu uç taşıma gücü
Q_u	: Derin karıştırma kolonu nihai taşıma gücünü ifade etmektedir.
Q_{uem}	: Derin karıştırma kolonu emniyetli taşıma gücü
r_d	: Derinlikteki gerilme azaltma katsayısı
R_{inter}	: Pürüzlülük
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
W_f	: Derin karıştırma kolonu çevre yükü
W_k	: Derin karıştırma kolonu ağırlığı
W_p	: Derin karıştırma kolonu uç bölgesi yükü
z	: Düşey gerilme artışıdaki derinlik
α	: İnce dane içeriği düzelme katsayısı
α_i	: Adezyon katsayısı
β	: İnce dane içeriği düzelme katsayısı
β'	: Kısa/uzun dönem deformasyon modülü dönüşüm katsayısı
δ_i	: Kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısı
ΔL_i	: Derin karıştırma kolonunun farklı tabakalar içerisindeki uzunluğu
$\Delta\sigma$	: Yüklemeden dolayı tabaka ortasındaki ekfektik gerilme artışı
ϕ'	: Efektif içsel sürtünme açısı
γ	: Zemin efektif birim hacim ağırlığı
μ	: Poisson oranı
ν	: Zemin Poisson oranı
ψ	: Kabarma açısı
ρ	: Konsolidasyon oturması
ρ_i	: Elastik oturma
σ'_{vi}	: Düşey efektif gerilme
σ_{zemin}	: Yileştirme öncesi emniyetli zemin gerilmesi
σ_{ztop}	: İyileştirilmiş emniyetli zemin gerilmesi

- σ_{vi} : Düşey gerilme
 τ_R : Sıvılaşma direnci
 τ_{deprem} : Depremde oluşacak kayma gerilmesi



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Son yüzyılda başlayan ve artarak devam edegelen hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşmeye duyulan ihtiyacı da artırmakta ve yapılaşmanın gerçekleştirildiği alanların hızla tükenmesine neden olmaktadır. Büyük çaplı projelerin (yüksek katlı yapılar, sanayi yapıları, barajlar, köprüler) artması ile birlikte yeni inşa alanlarına duyulan gereksinim her geçen gün artmaktadır. Fakat her bölgenin yapılaşmaya uygun olamayacağı aşikardır.

Zemin, üzerine gelecek yapı yüklerini taşımada yetersiz kalabilmekte, zemin özelliklerinin uygun olmayışından kaynaklanan birtakım zemin problemlerini beraberinde getirebilmekte ve yapı ile zemin davranışı arasında uyumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Bu durum da, zeminlerin stabilize edilmesi yolu ile kullanılabilir hale getirilmesine olan talebi artırmakta, bu artan talep ile birlikte zeminler ilgili teknikler kullanılarak iyileştirilmekte ve yapılaşmaya elverişli hale getirilmektedir.

Zeminin yapısını, fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini kontrollü bir biçimde ıslah etme, iyileştirme veya değiştirme işlemlerinin tümü stabilizasyon olarak ifade edilmektedir. Zeminlerin iyileştirilmesi amacı ile uygulanan ve gün geçtikçe yeni teknolojiler ile de geliştirilen birçok metot vardır. Her metot her zemin tipi ve koşulları için uygun olmayabilir. Stabilize edilecek zeminin özelliklerini başarılı bir şekilde, planlanan düzeyde ıslah edebilecek ve aynı zamanda da en ekonomik çözümü sunacak olan yöntem, ilgili zemin için seçilecek optimum iyileştirme yöntemi olacaktır.

Bu tez çalışması kapsamında derin karıştırma yöntemi ele alınmıştır. Derin karıştırma yöntemi (Deep Mixing Method) genel olarak; geoteknik bakımdan uygulamaların yapılabilmesi için; gevşek, sıkıştırılabilir ve stabilite problemi olan zeminlerin çimento, kireç ve uçucu kül gibi bağlayıcı özelliğe sahip malzemeler ile mekanik yöntemler kullanılarak karıştırılması işlemidir. Oluşturulan derin karıştırma kolonları ile güçlendirilen zemin; dayanımı ve taşıma kapasitesi fazla, sıvılaşma riski, oturma miktarı, sıkıştırılabilirlik ve geçirgenliği ise daha az olan zemin formuna dönüşmüş olmaktadır. Böylelikle stabilize edilen zemin, ilgili projede kullanılmak üzere derin temel sistemi (kazıklı temel) olarak uygulamaya hazır hale getirilmektedir.

Bu çalışma kapsamında konu toplam 3 bölümde incelenmiştir. İlk bölümde konu hakkında genel bilgiler verilmiş, zeminlerin stabilizasyon yöntemlerinin her biri tek tek incelenmiş, derin karıştırma yöntemi detaylıca ele alınmış ve geleneksel yöntemlere göre derin karıştırma kolonu taşıma gücü hesabı anlatılmıştır. 2. bölümde tez kapsamında bir vaka incelemesi olarak Eskişehir Yeni Stadyum projesine ait genel bilgiler verildikten sonra, zemin etüt raporları ışığında taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma analizleri yapılmış olup, zeminde taşıma gücü ve oturma problemlerinin beklendiği ifade edilmiştir. Taşıma gücü ve oturma problemleri derin karıştırma kolonu uygulanarak, iyileştirme hesapları geleneksel yöntemlere göre yapılmış olup, sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen analiz sonuçları ile mukayese edilmiştir. Ayrıca derin karıştırma kolonlarının kademeli, eksenel basınç testleri ile nihai taşıma gücü hesapları da yer almaktadır. Son olarak 3. bölüm olan sonuçlar ve öneriler bölümünde zemin ile ilgili iyileştirme öncesi ve sonrası için genel değerlendirmeler yapılmış, daha sonraki çalışmalara yön verecek önerilerde bulunulmuştur.

1.2. Literatür Özetleri

Ryan ve Jasperse yapmış oldukları araştırmada, 1917 yılında doğal alüvyon ve atık su temeli üzerine inşa edilen bir hidrolik dolgu olan Jackson Lake Barajı zemininin potansiyel bir deprem sırasında sıvılaşma ve göçmeye karşı duyarlı olacağını belirlemişlerdir. Birçok kalite kontrol testleri yapmışlar ve özellikle derin karıştırma uygulanacak zeminin mukavemetini incelemişlerdir. Araştırmalar sonucu, su/çimento oranının, nihai mukavemet değerinde çimento yoğunluğundan bile daha etkili olduğunu, numunelerin yerleştirilmesinin ardından dayanımın 112 gün sonra bile artmaya devam ettiğini, derin karıştırma yönteminin ekonomik, güvenilir bir iyileştirme metodu olduğunu ortaya koymuşlardır (Ryan ve Jasperse, 1989).

Aşırı oturma ve stabilite problemi olan bir karayolunda (Bangna-Bangpakong Karayolu, Tayland) Portland çimento kullanılarak zemin-çimento kolonu oluşturmak suretiyle derin karıştırma iyileştirme çalışması uygulamışlardır. Bergado ve arkadaşları çalışma kapsamında taşıma kapasitesi, oturma ve stabilite analizleri yapmışlardır. Araştırma sonucunda, kil zeminin kayma gerilmeleri ile kazığın kayma gerilmelerinin hesaplanan değerlerden fazla çıktığı görülmüştür. Uygulanan kazıkların oturmaya etkisi bir

yıl sonunda gözlemlenmiş ve gelenkesel yöntemle göre daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Sonlu eleman analizlerinden drenajlı ve drenajsız çözümlerden elde edilen değerler ile hesaplanan oturma değerlerinin uyumlu olduğunu göstermişlerdir (Bergado vd. 1999).

Şengör yapmış olduğu tez çalışmasında, iyileştirilmiş zeminlerde tek eksenli basınç deneyleri yapmış, yumuşak kil zeminler için karışım oranları ve tiplerini araştırmış, basınç dayanım değerlerini belirlemiştir. Ayrıca konsolidasyon tankları içinde farklı yerleşim ve karışım oranına sahip derin karıştırma kolonları oluşturarak iyileştirilmiş zeminin konsolidasyon özelliklerini incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda iyileştirilmiş zeminin sıkışma özelliklerinin kolon parametrelerine ve karışım malzemesi miktarına bağlı olduğunu, kolon çimento miktarının oldukça etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmada aynı zamanda zemin ve kolon malzemesinin sıkışma modüllerinin kullanılmasının, iyileştirilmiş zeminin sıkışma modülünün belirlenmesinde daha doğru bir yaklaşım olduğu anlaşılmıştır (Şengör, 2011).

Chen ve arkadaşları zemin-çimento kolonlarının uygulanmasının, boşluk suyu basıncını artırdığını ve çevreleyen zeminin hareketlenmesine neden olduğunu belirterek, Şangay'da, üç şaftlı bir ekipman ile derin karıştırma yöntemi kullanarak zemin iyileştirilmesi yapmışlardır. Derin karıştırma uygulamalarında, zeminde deplasmanların ve hareketlerin meydana geldiğini, bundan dolayı derin karıştırma uygulamasını etkileyen ana faktörlerin etkisini araştırmak için saha testleri yapılmasını ve uygulama yapılırken zeminde oluşacak deformasyonların izin verilebilir sınırlar içinde kalacak şekilde yeniden düzenlenmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Saha testlerinin sonucunda, kolonların yapımının, zeminde kolonun dibinden yayılan aşırı boşluk suyu basıncına neden olduğu görülmüş ve testlerde yüksek su/çimento oranı, düşük karıştırma hızı ve penetrasyon sırasında enjeksiyonun basınç etkisi gibi parametreler değiştirilerek metodun zemin hareketini en aza indirdiğini gözlemlemişlerdir (Chen vd., 2013).

Tatarniuk yapmış olduğu doktora tezi çalışmasında, killi zeminlerde şev stabilizasyonunu sağlamak için derin karıştırma metodunu incelemiştir. Bu kapsamda hem saha testleri hem de nümerik analiz çalışmaları yapmıştır. Yanal yüklenmiş derin karıştırma kolonunun davranışını incelemek üzere yaptığı saha çalışmalarında üç ayrı bölge incelemiştir (Northland Allochthon) ve kolon davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için sayısal bir modelle de konuyu ele almıştır. Saha test bölgelerinde incelediği zeminlerin üçünde de şev hareketliliği görülmekle birlikte, bu testlerin sonucunda aşırı konsolidasyon

oranının zemin yüzeyine yakın kısımlarda oldukça yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Kayma gerilmeleri altında zorlanan yanal yüklü karıştırma kolonu için yapılan nümerik analizlerde 2D ve 3D modelleme sonuçları arasında uyum sağlamak amacıyla kullanılan yer değiştirme oranında değişiklikler yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Ayrıca kolonu çevreleyen zeminde yapılacak olan değişikliklerin, kolon sistem davranışını etkilediği ve daha fazla test ve araştırma ile zeminin iyileştirmesine katkıda bulunacak bu özelliklerin incelenmesi gerektiği ifade edilmiştir (Tatarniuk, 2014).

Ortigao ve arkadaşları Brezilya'daki Porto Alegre Havaalanında 5 hektarlık alanda 8 ila 10 m'lik derinlikte yumuşak kil tabakasında zemin iyileştirmesi yapmışlardır. Bu amaçla uygun maliyetli olduğu için derin karıştırma yöntemi seçilmiştir. Yöntem tasarımının bir parçası olan bağlayıcı elemanın tanımlanması, çimento içeriğinin optimize edilmesi için Avrupa Standardına göre (EN 14679) deney ve laboratuvar testleri yapılmıştır. Derin karıştırma kolonları olarak 80 cm çapında, 9 m uzunluğunda ve 2.5 m aralıklarla kolonlar yerleştirilmiştir. Çalışma sonucunda yapılan zemin iyileştirmesinin olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Ortigao vd., 2015).

Nguyen ve arkadaşları karayolu ve demiryolu projelerinde karşılaşılan yumuşak zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla uygulanan lif takviyeli çimento bağlayıcılı derin karıştırma kolonlarının kayma mukavemetine etkisini incelemişlerdir. Efektif gerilmenin artmasıyla birlikte sementasyon bağlarının bozulmasıyla liflerin işlevini yitirdiğini, bu nedenle yapılan modellemelerde bunun da etkisinin göz ardı edilmemesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu kapsamda, hem çimento ve lif takviyesinin derin karıştırma kolonlarında mukavemet ve düktiliteye olan yaralarını gösteren, hem de liflerin semantasyondaki bozulma nedeniyle etkisinin azalacağını dikkate alan bir model oluşturmuşlardır. Üç eksenli basınç deneyleri yapılmış ve lif takviyesiyle iyileştirilmiş zeminin mukavemet ve düktilitesinde önemli bir artış sağladığı ortaya konmuştur (Nguyen vd., 2016).

Sargent ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, düşük karbonlu çimento bağlayıcıları kullanarak yumuşak zayıf özelliklere sahip zeminlerin derin kuru karıştırma işlemi ile iyileştirilmesini incelemişlerdir. Bu iyileştirme metodunu, döner burgu ekipmanı ile zayıf zemine çimento enjekte ederek zemin-çimento kolonları elde etmek suretiyle gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında dikkat çektikleri konu; dünyada derin kuru karıştırma yönteminde yaygın tip bağlayıcı olarak CEM-I Portland çimento kullanılması ve CEM-I çimento üretimi fazla enerji kullanmayı gerektirdiğinden oldukça fazla CO₂ salınımı yapıyor olmasıdır. Buradan hareketle, NaOH gibi alkali ile aktifleştirilebilen,

böylelikle CO₂ emilimini sağlayan yüksek fırın cürufu kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, CEM-I çimento kullanılarak güçlendirilen zemine göre yüksek fırın cürufu kullanılarak iyileştirilmiş zeminin mekanik özelliklerinde zamanla, özellikle de, mukavemetinde belirgin bir artış olduğu gözlemlenmiştir (Sargent vd., 2016).

Bahmanpour ve arkadaşları, derin karıştırma kolonlarının sıvılaşmanın azaltılması üzerindeki etkisini, sarsma tablası modeli deneyleri yaparak sarsma sıklığı, kolon uzunluğu, kolon çapı, kolon aralığı ve sınır koşulları gibi birçok faktörün etkileri ile hacimsel gerilim, boşluk suyu basıncı ve deformasyonların oluşumunu incelemişlerdir. Kolonların performansını etkileyen en önemli parametrenin kolonun eğilme rijitliği olduğu görülmüştür. Derin karıştırma kolonlarının en önemli etkilerinden biri kayma deformasyonlarının azalmasını sağlaması olarak belirtilmiştir. Derin karıştırma kolonlarının; zeminin sıvılaşmasına bağlı hasarı, boşluk suyu basıncı oluşum hızını ve zemin oturmasını azaltabileceği sonucuna varılmıştır (Bahmanpour vd., 2019).

1.3. Zeminlerin Stabilizasyonu

1.3.1. Zeminlerin İyileştirilmesi

Kentleşmenin artmasına paralel olarak daha büyük sanayileşme ve yerleşim alanlarına duyulan ihtiyaç artmaktadır. Fakat bu ihtiyaca cevap verebilecek alanlar giderek azalmakta, dolayısıyla da özellikleri zayıf olan zeminler de (Yumuşak zeminlerde taşıma gücü ve deformasyon problemleri ortaya çıkmaktadır.) kullanılmak zorunda kalmaktadır. Büyük açıklıklı, büyük kütleli geniş zemin alanlarına oturan yapıların statik yüklerinin bulunduğu, deprem hareketliliğinin ve titreşim etkisinin olduğu araziler, projede belirlenmiş olan kriterlere uygun olarak ıslah edilerek yapılaşmaya elverişli hale getirilmektedir.

Bir zemin, düşünülen yapı için uygun değilse, (örneğin; bazı yapıları radye temel sistemi ile taşımak hem ekonomik olmayabilir hem de zemin taşıma gücü vb. koşulları karşılayamayabilir.) elverişsiz zemin uzaklaştırılıp yerine uygun zemin konularak, temel tipi değiştirilerek veya zemin iyileştirilerek kullanıma uygun hale getirilebilmektedir. Bu ıslah çalışması yapılacak işin özelliğine göre; zeminin taşıma gücünü artırmak, oturma,

deformasyon ve geçirimsizliğini azaltmak gibi birtakım mühendislik özelliklerini iyileştirmek yolu ile yapılmaktadır (Uzuner, 2016).

Stabilizasyon problemi olan zeminler ile karşılaşıldığında uygulanabilecek alternatif çözümler şu şekilde olabilmektedir:

- 1- Problemlili zeminin bulunduğu alandan kaçınıp, farklı bir yer seçilebilir ve planlanan proje yeni seçilen konumda uygulanabilir.
- 2- Planlanan yapının özelliğine göre birtakım farklı yaklaşımlarda bulunulabilir.

Bunlar:

- Kazıklarla desteklenmiş radye temel kullanmak,
- Oturmalarından olumsuz etkilenmeyecek rijit bir yapı tasarımı yapmak,
- Farklı zemin hareketlerini karşılayabilecek elastik bir tasarım yapmak, şeklinde olabilmektedir.

3-Yumuşak, sıkıştırılabilir ve hacimsel olarak sorunlu olan organik zemin uzaklaştırılabilir. Bu, yol veya temel inşaatında kullanılan standart bir önlemdir.

4-Mevcut zemin iyileştirilebilir.

Zeminlerin iyileştirilmesindeki amaçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür (Singh ve Hymavathi, 2000).

- Temel amaçlar:

- Mukavemet –taşıma gücü artışı,
- Yük altında sıkışmaların (oturmaların) azaltılması,
- Gerilmeler altında şekil değiştirmelerin azaltılması,
- Şişme-büzülme potansiyelinin azaltılması,
- Çevresel etkiler (donma/çözülme, ıslanma/kuruma) sonucu olumsuz fiziksel ve kimyasal değişimlerin önlenmesi ve durabilitenin artırılması,
- Su geçirgenliği, su basınçları oluşumu ve sızıntı suyu kontrolü,
- Erozyon direncinin artırılması,
- Depremler ve tekrarlı yükler altında sıvılaşma, mukavemet ve rijitlik kaybı potansiyelinin azaltılması,
- Temel zemini ve dolgu malzemelerinde değişkenliğin azaltılması,
- Yüzey bozulmalarına karşı direncin artırılması,

- Diğer amaçlar:

- Atık malzemelerin değerlendirilmesi,
- Yüzeysel su kaynaklarının korunması için yüzey stabilizasyonu,

- Yeraltı sularının akım yönleri ve kalitesinin korunması,
- Atıkların depolanması,
- Zeminlerden inşaat malzemesi olarak yararlanılması, şeklinde sıralamak mümkündür (Özaydın, 2012).

1.3.2. İyileştirme Yöntemi Seçimini Etkileyen Faktörler

Şehirleşme ve endüstriyel gelişmelerin artmasıyla birlikte, tasarlanan projenin teknik özelliklerine uygun alanlar bulmak gittikçe daha da zor bir hal almaktadır. Yeni alanlar oluşturulamayacağına göre ilgili zeminleri iyileştirme alternatifleri teknik ve ekonomik olmaktadır. Bu sayede doğru mühendislik uygulamaları ile stabilizasyon problemi olan zeminler, çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri ile projenin gerektirdiği sınır koşullarına uygun hale getirilebilmektedir. Hangi zemine hangi tekniğin uygulanacağına karar vermek hem zaman hem de maliyet açısından oldukça önemlidir. Bu yöntemleri seçerken dikkat edilmesi gereken hususlar;

- 1- Zemin Tipi: Hangi zemin türüne ve tane büyüklüğüne göre hangi iyileştirme yaklaşımının ve malzemenin kullanılabileceğini kontrol altına almayı sağlayan en önemli parametrelerden biridir.
- 2- İnşaa Alanı: İyileştirme yapılacak olan yerin konumu ve derinlik değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir (Bazı zemin iyileştirme metotlarının derinlik sınır değerleri vardır ve derin zemin iyileştirmesi yapılmasının o alanda uygun olup olmayacağına karar verilir.).
- 3- Zemin Özellikleri: İyileştirme metotlarının her birinde farklı mühendislik özellikleri kullanılmaktadır. Uygun metot seçilirse zeminde hedeflenen iyileştirilme en doğru şekilde yapılmış olunur.
- 4- Malzemelerin Uygulanabilirliği: Projenin konumuna ve uygulanacak iyileştirme yönteminin gerektirdiği malzemeye göre karar verilmektedir.
- 5- Mühendislik Bilgisi: Yapılacak olan iyileştirme yöntemi hakkında mühendisin ve teknik ekibin gerekli bilgi ve donanıma sahip olması gerekmektedir.
- 6- Çevreye Duyarlılık: Doğal çevreyi olumsuz olarak en az etkileyecek yöntem seçilmelidir.

- 7- Ekonomik Faktörler: Tüm sayılan hususlar ışığında seçilen yöntem maliyeti de minimum seviyede tutacak şekilde olmalıdır. Uygulanabilecek birkaç yönteme karar verildiyse ve hepsi için teknik sonuçlar aynı iyileştirmeyi sağlıyorsa, içlerinden en az maliyet gerektiren karar kılınır (Singh ve Hymavathi, 2000).

1.3.3. Zemin İyileştirilmesinde Karşılaşılan Problemler

Proje tasarım sürecinde her ne kadar standartlara ve hesap kriterlerine uygun olarak analizler yapılsa da sonuç her zaman istenilen mükemmellyette olmamaktadır. Gerek zemin koşulları, gerek çevresel, teknik ve ekonomik etmenler bir takım problemleri de beraberinde getirmektedir.

1.3.3.1. Bazı Kısıtlamalar ve Risk Yönetimi

Her projeye özgü birtakım kısıtlamalarla karşılaşmak mümkündür. Bu kısıtlamalar projenin başarılı bir şekilde tamamlanması ve verimliliği üzerinde risk oluşturabilmektedir. Proje kısıtlamaları projeye göre değişebilmekte ve ekonomik, yasal, çevresel, sosyal, yönetim, zaman ve teknik gibi genel veya özel sorunları içerebilmektedir. Geoteknik alanında karşılaşılan zorluklar genellikle projelerin jeoteknik özellikleri ve uygulanabilir iyileştirme yöntemlerinin teknolojik fonksiyonlarıdır. Yeraltı koşulları, arkeolojik kalıntılar, belirli teknolojilerle ilgili bilgi ve deneyim, izin verilebilir yanal ve düşey hareketler, stabilite sorunları, inşaat ekipmanlarından kaynaklanan ses ve titreşimler, iyileştirme yöntemlerinin etkili bir şekilde yapılabilmesi için yeterli zaman, seçilen teknolojinin yapılandırılabilirliği gibi birçok etkiden bahsetmek mümkündür.

1.3.3.2. Karşılaşılan Zemin Problemleri

Genel olarak taşıma gücü zayıf, sıvılaşma kapasitesi fazla, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu zeminler yumuşak ya da zayıf zeminler olarak ifade edilmektedir. Dolayısıyla bu tarz bir zeminde ıslah çalışması yapılarak problem ortadan kaldırılmış

olmaktadır. Karşılaşılan zemin problemlerini aşağıda belirtildiği şekilde özetlemek mümkündür:

- Şev duraylılığı (Şev Stabilitesi),
- Düşey ve yatay deformasyonlar,
- Taşıma kapasitesi,
- Sıvılaşma,
- Oturma problemleri,
- Yeraltı yüzey boşlukları veya yeraltı gerilmelerinde değişiklik,
- Sıkışabilirlik,
- Yeraltı su seviyesi,
- Kimyasal olarak reaktif zemin,
- Öngörülemeyen zemin koşulları (farklı coğrafi saha koşulları),
- Sorunlu zemin koşulları (organik turba zeminler, dolgular, atık depolama alanları)
- Yetersiz jeoteknik incelemeler,
- Yetersiz tasarım, uygun olmayan materyaller,

Bunlara ek olarak, malzeme karakterizasyonu, geoteknik modeller, servis koşulları, yük hesaplamaları, direnç ölçümü ve proje geliştirme, planlama ve uygulama ile ilgili problemler ile de karşılaşmak mümkündür (Schaefer vd., 2017).

Bu karşılaşılan sorunlardan bazılarını aşağıdaki gibi tanımlamak mümkündür.

- Şev Duraylılığı (Şev Stabilitesi): Eğik yüzeylerle, yani şevlerle sınırlanmış zemin kütlelerinin, kendi ağırlıkları ve bazı hallerde diğer ilave kuvvetler sebebi ile aşağıya doğru harekete zorlanması olarak tanımlanmaktadır. Zemin kütlesi üzerindeki ağırlıklar, yeraltı ve yerüstü su hareketlerinden doğan kuvvetler, yer sarsıntısı kuvvetleri olarak sayılabilmektedir (Kumbasar ve Kip, 2016). Bunlar da şev stabilitesinin bozulmasına neden olmaktadır.

- Taşıma Kapasitesi: Zeminin, büyük oturmaların eşlik ettiği makaslama etkisi olmadan üzerine gelen yapı yükünü güvenle taşıyabilmesidir (Brown, 1992). Her zeminin kendi özelliklerine göre taşıyabileceği maksimum bir gerilme değeri ve izin verilebilir oturma değeri vardır. Bu sınır değer aşılmadığı takdirde, zeminin taşıma gücünde herhangi bir problemle karşılaşılmamaktadır.

- Sıvılaşma: Sıvılaşma, artan boşluk suyu basıncı nedeniyle doygun ve kohezyonsuz zeminlerde dayanım azaldığında, dinamik yüklerden dolayı efektif gerilmenin azalmasıdır. Ani yükleme ve deprem hareketleri ile zeminin dayanımı ve

rijitliğinde azalmalar görülmektedir. Doygun zeminler, tanelerinin arasındaki boşlukların su ile dolduğu zeminlerdir ve bu su, zemin partiküllerine basınç uygular. Deprem gibi bir etki ile karşılaşmadığı sürece zemindeki su basıncı düşük seviyededir. Deprem sarsıntısı ile su basıncı zemin parçacıklarını birbirine göre hareket edebileceği seviyeye kadar yükseltmektedir. Deprem ve ani hızlı yüklemeler bu su basıncındaki artışı tetiklemektedir. Sıvılaşma meydana geldiğinde zeminin dayanımında ve taşıma gücünde azalma olmaktadır.

- Oturma Problemleri: Yapının dolayısıyla temelin düşey yöndeki hareketidir. Yüklenen zeminde taneler arası boşlukların azalmasının toplamı sonucu oturma meydana gelir. Böylece zeminin boşluk oranı azalır, taneli zeminlerde rölatif sıkılık artar (Uzuner, 2016).

Binalar, köprüler, kuleler, enerji santralleri ve benzeri yüksek maliyetli yapılar için oluşabilecek oturmaların en doğru şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir. Yük uygulandığında oluşabilecek deformasyonların doğru bir şekilde tahmini ile belirlenebilir. Oturma sırasında zemin, mevcut durumundaki (ya da kendi ağırlığı) gerilme konumundan, gelen yeni yükün meydana getirdiği gerilme durumuna geçer. İlave yükten kaynaklanan gerilme değişiklikleri bu yükün etki ettiği alanda zemin parçacıklarının yuvarlanmasına, kaymasına ve elastik deformasyonlarına neden olmaktadır. Bu hareketlenmeler boşluk oranında değişikliğe neden olmakta ve oturma problemlerini ortaya çıkarmaktadırlar (Bowles, 1997).

Yapı temellerinde yapı-zemin etkileşiminde dikkat edilecek en önemli husus zeminin oturma karakteridir. Organik zeminlerin varlığı dışında yapı hasarında genelde etkin olan oturma, elastik oturma ve konsolidasyon oturması olarak iki bileşenden oluşmaktadır. Elastik oturma ani oturma olarak da tanımlanmaktadır ve yapı yükü zemine aktarılırken meydana gelir. Konsolidasyon oturması ise, uzun zamana yayılarak gerçekleşen oturmadır. Yapısal hasar oluşturan oturma, bu iki durumun toplamından meydana gelir. Özellikle ön yüklenmeye maruz kalmış zeminlerde elastik oturma, toplam oturmanın önemli bir kısmını kapsar. Bu nedenle her iki oturma bileşeninin büyüklüğünün saptanması yapının rijitliğine ek olarak önem taşır (Birand, 2007).

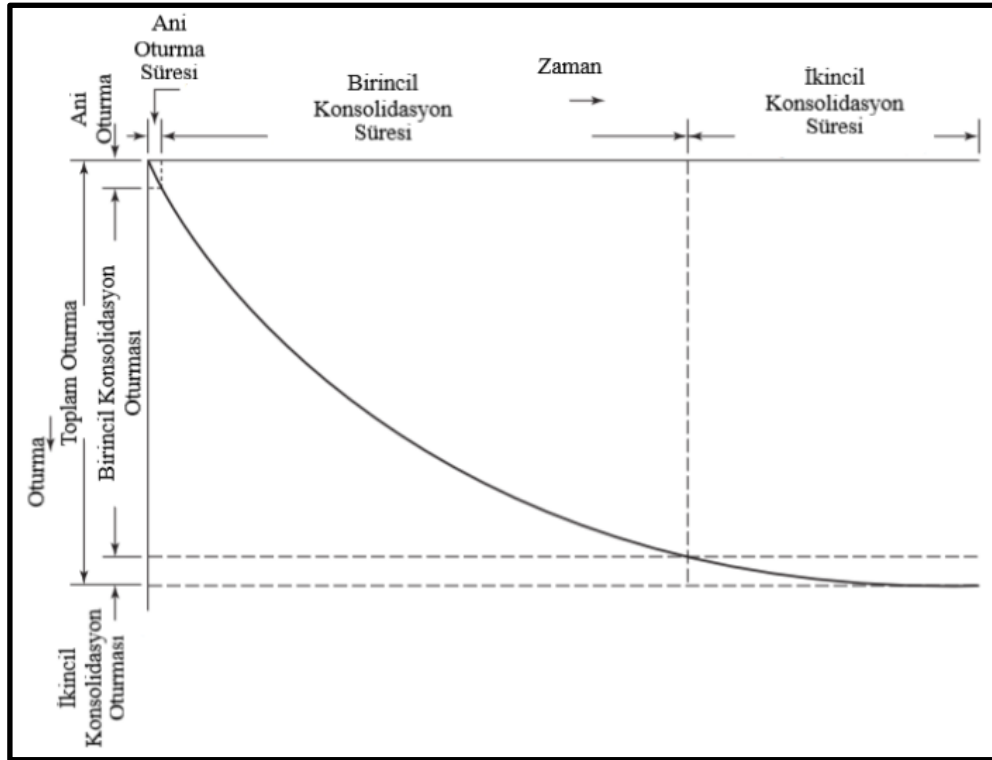
Zemin üzerine inşa edilen yapılar zeminde oturma meydana getirirler. Fakat bu oturma miktarları koşullara göre bazen tolere edilebilmektedir. Örneğin, bir garaj ya da depo binasının oturması tolere edilebilirken, yüksek katlı bir yapının oturması özellikle de uniform olmayan oturması göz ardı edilemez. Bu oturma nedenleri dinamik kuvvetler,

yeraltı suyu tabakasındaki değişiklikler gibi etkiler olabileceği gibi en büyük sebep zeminin basınç deformasyonudur. Bu deformasyon basınç etkisiyle zemin içindeki parçacıkların arasındaki boşluk hacminin azalmasıyla oluşmaktadır. Zemin kuru ise boşluklar hava ile doludur ve hava sıkışabildiğinden tanecikler hızla yer değiştirebilir. Fakat zemin suya doygun ise boşluklar sıkıştırılamaz su ile doludur. Bu durumda taneciklerin hareket edebilmesi için suyun dışarı atılması gerekmektedir. Yüksek permeabiliteye sahip iri taneli zeminlerde bu süreç kısa bir zamanda gerçekleşir ve yapı işi bitene kadar neredeyse tüm oturma tamamlanmış olmaktadır. Fakat düşük permeabiliteye sahip ince taneli zeminlerde bu süreç uzun bir zamana yayılmaktadır. Gerilmeler yavaş yavaş arttığı için oturma zamana bağlı olarak gerçekleşir ve bu uzun sürece yayılan belirsizlik nedeni ile ince taneli zeminlerde oturma problemi daha tehlikeli olmaktadır (Liu ve Evett, 2008).

Zeminlerde oturmalar üç fazda gerçekleşir. Bunlardan ilki ani oturma veya hacimsel bozulma oturmasıdır. Ani oturma, yük uygulandıktan sonra hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Hacimsel değişiklikten kaynaklanan bu ani oturma hızlı bir şekilde tamamlanır ve ince taneli zeminlerin toplam oturmasında ufak bir kısmı oluşturmaktadır (Liu ve Evett, 2008).

Ani oturmadan sonra konsolidasyondan kaynaklı birincil konsolidasyon oturması gerçekleşmektedir. Birincil konsolidasyon; yükün artmasıyla birlikte boşluklardan suyun dışarı atılması sonucu oluşur. Bu oturma çok yavaş gerçekleşir ve uzun bir süre boyunca devam eder.

Birincil konsolidasyon oturması sona erdiğinde, zeminde sıkışma ve buna ek olarak meydana gelmiş oturma ufak bir oranda da olsa devam etmektedir. Zemin taneleri arasındaki bağların kopması ve yeni meydana gelen gerilmelerden dolayı zeminde plastik değişikler oluşmaktadır. Bu da ikincil konsolidasyon oturması olarak ifade edilmektedir. Oturmanın zamana bağlı değişimi Şekil 1.1' de gösterilmektedir (Liu ve Evett, 2008).



Şekil 1.1. Toplam oturma zamanına bağlı değişimi (Liu ve Evett, 2008)

Zeminler yapı yüklerini altında deforme olurlar. Yapılarda üç tür oturma vardır.

Bunlar;

- **Uniform Oturmalar:** Yapının her bir noktası eşit miktarda oturma yapmıştır (Uzuner, 2016). Yapının tüm kısımları aynı zemin tabakasına oturuyorsa genellikle uniform oturma gözlenmektedir. Fakat uniform da olsa bu oturma türü de yapıya zarar vermektedir (Kanalizasyon sistemi, su temini ve şebeke sistemi ile kapı ve pencerelerde oturmaya bağlı olarak oluşan hasarlar vb.).

- **Farklı Oturmalar:** Yapının farklı noktalarının farklı miktarlarda oturma yapması olarak tanımlanmaktadır. Yapılara en çok hasar veren oturma tipidir. Yapının farklı kısımlarında farklı yüklemeler varsa veya oturduğu zemin homojen değil ve yapı sistemlerinde farklılık varsa oluşmaktadır.

- **Rijit Dönme:** Yapının düşeye göre komple birkaç derece bir tarafa doğru yatmasıdır. Bu oturma tipleri Şekil 1.2' de gösterilmektedir.

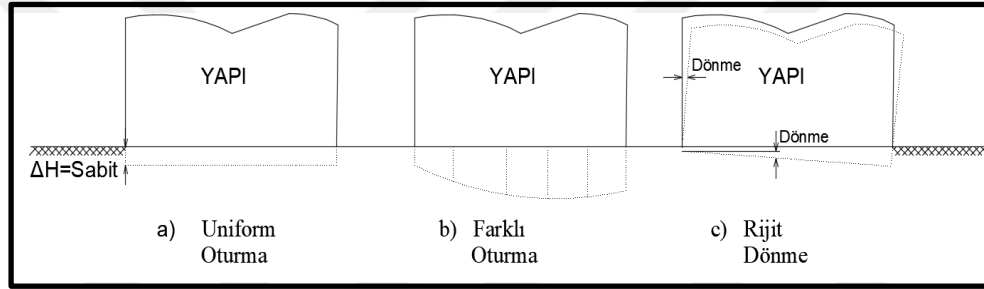
Uniform oturmalar hasar vermeyecek gibi düşünülse de birtakım sakıncaları vardır.

Bunlar;

- Yapıya giren-çıkan tesisat,
- Yapı çevresindeki drenaj sistemi,
- Yapılarla bitişik kullanılıyorsa, bitişik yapı ile arasındaki düzey farklılıkları, olarak özetlemek mümkündür.

Uniform olmayan oturmalar ise; yapıda ek kesit tesirleri oluşturarak hasar meydana getirebilmektedir. Farklı oturmaya neden olan etmenler;

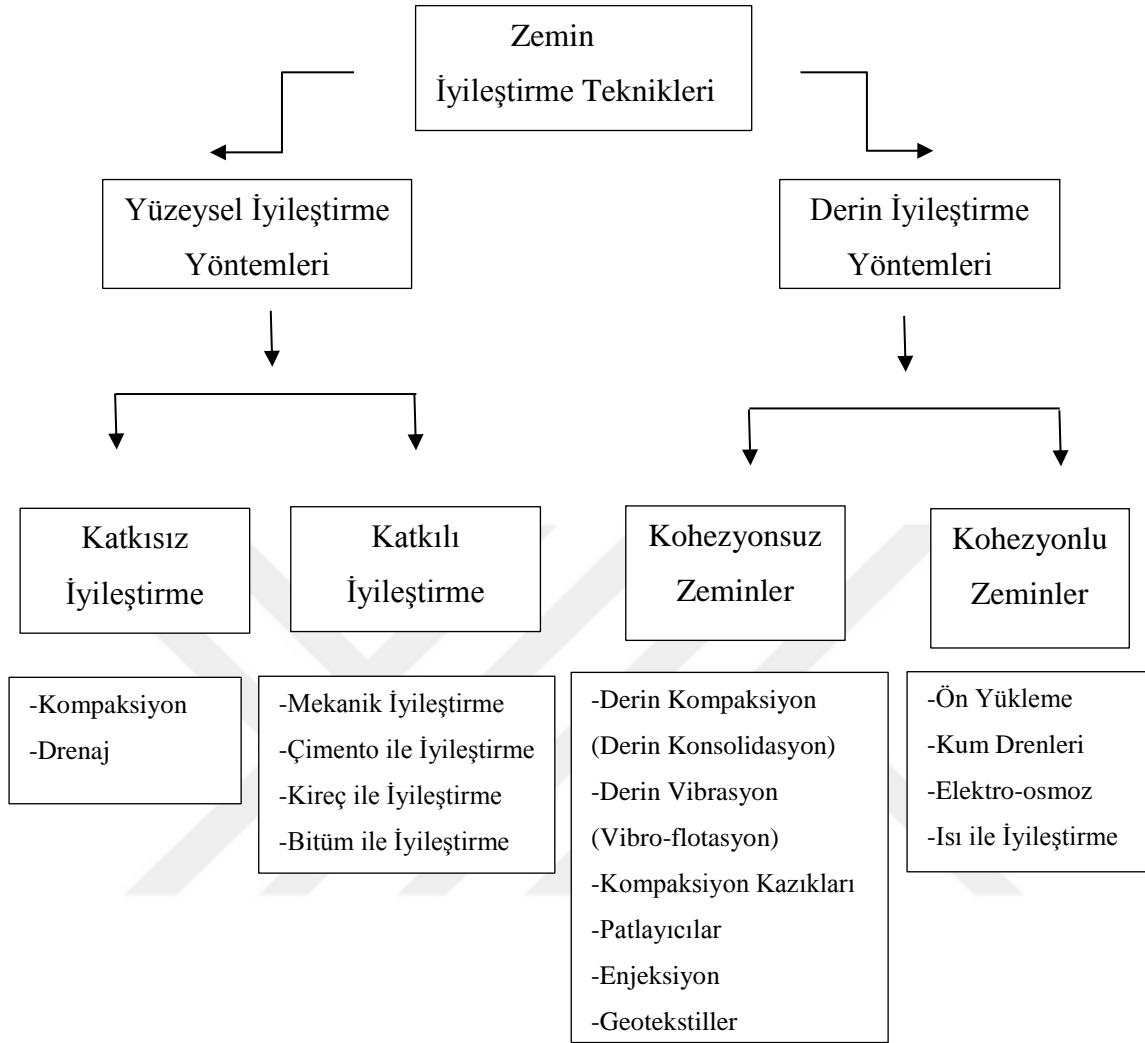
- Yapı altında sıkışma özellikleri farklı zeminler olabilmektedir,
- Yapı altındaki zemin kalınlığı değişkenlik gösterebilmektedir,
- Temel taban basınçları çok farklı olabilmektedir,
- Temeller arasında etkileşim söz konusu olabilmektedir, (Uzuner, 2016).



Şekil 1.2. Oturma tipleri

1.3.4. Zemin İyileştirme Yöntemleri

Bir zeminde iyileştirme yapılıp yapılmayacağı, yapılacaksa ne tür bir iyileştirme yöntemi uygulanacağına zemindeki problemin tanımlanıp, belirlenen bu problem doğrultusunda yapının özellikleri ile birlikte değerlendirilerek karar verilmektedir. Problemin olduğu zemine ait zemin etüt raporundan alınan değerlere göre analizler yapılmaktadır. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre değerlendirmeler yapılarak ilgili zeminin koşullarına ve özelliklerine göre bir zemin iyileştirme yöntemi seçilmektedir. Bu zemin iyileştirme yöntemlerini değişik kaynaklar farklı kategoriler altında toplamışlardır. Genel olarak zeminleri uygulama derinliğine bağlı olarak Şekil 1.3' deki gibi sınıflandırılmak mümkündür.



Şekil 1.3. Olumsuz zemin koşulları için iyileştirme teknikleri (Uzuner, 2016)

1.3.4.1. Yüzeysel İyileştirme Yöntemleri

İyileştirme yapılacak zemine herhangi bir madde katmaksızın yapılan ıslah yöntemidir. Bu metotlara örnek olarak kompaksiyon ve drenaj verilebilmektedir.

1.3.4.1.1. Kompaksiyon

Zemin mekaniğinde, hacimsel boşluklardaki havanın boşaltılarak zemin parçacıklarının basınç etkisiyle birbirlerine yaklaştırılmasını ifade etmektedir. Ağır

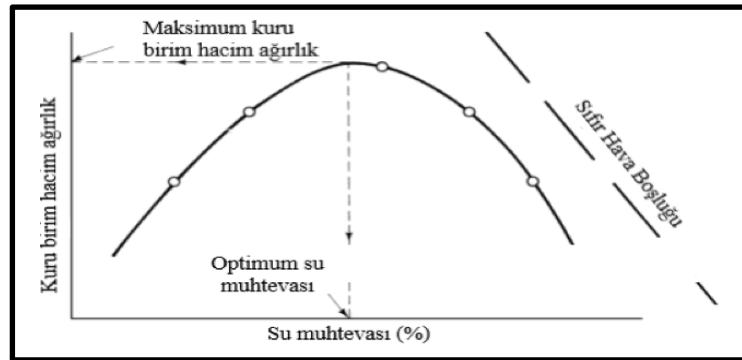
mekanik silindirler kullanılarak hızlı bir şekilde gerçekleştirilir. Zemin boşluklarından suyun uzaklaştırılması olan konsolidasyonun aksine boşluklardaki havanın uzaklaştırılması işlemidir ve konsolidasyona göre daha hızlı tamamlanmaktadır.

Zemin partiküllerinin birbirine basınç etkisi ile yaklaşması birim hacim ağırlığını artırmakta ve bunun dışında üç önemli etkiye de neden olmaktadır. Bunlar:

- i) Zeminin kayma mukavemetini artırmaktadır,
- ii) Oluşabilecek zemin oturmasının azalmasına yardımcı olmaktadır,
- iii) Permeabiliteyi azaltmaktadır.

Bunlar özellikle hava alanları, karayolları veya toprak dolgu barajlar gibi yapılarda önem kazanmaktadır. Kompaksiyon yani sıkışma ne kadar büyükse bu etkiler de o oranda fazla olacaktır. Kompaksiyon yöntemini hem etkili hem de ekonomik bir yöntem olarak düşünmek mümkündür.

Kompaksiyon işlemi yapılırken zeminde belli miktarda su bulunması, zemin partikülleri arasında kayganlaştırıcı bir etki oluşturarak sürtünmeyi azaltır ve birbirlerine daha da yaklaşmasını sağlayarak sıkıştırma işleminin daha kolay gerçekleşmesine neden olmaktadır. Buna karşılık su miktarının fazla olması da birim hacim ağırlığında düşüğe neden olur. Bu nedenle kuru birim hacim ağırlığın yüksek ve kompaksiyonun verimli sonuçlar verebileceği belirli bir nem içeriği vardır ve buna optimum su muhtevası denilmektedir (Şekil 1.4). Bu optimum su muhtevasının olduğu durumdaki birim hacim ağırlık da maksimum kuru birim hacim ağırlığa denk gelmektedir. Bu amaçla, proje aşamasında optimum nem içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı saptayabilmek için inşaat sahasından alınan numuneler üzerinde laboratuvarında testler yapılmaktadır. Bu testler sonucunda hesaplanan hedef değerlere ulaşıncaya kadar zeminde sıkıştırma işlemi yapılmaktadır (Liu ve Evett, 2008).



Şekil 1.4. Nem içeriği – birim hacim ağırlık ilişkisi (Liu ve Evett, 2008)

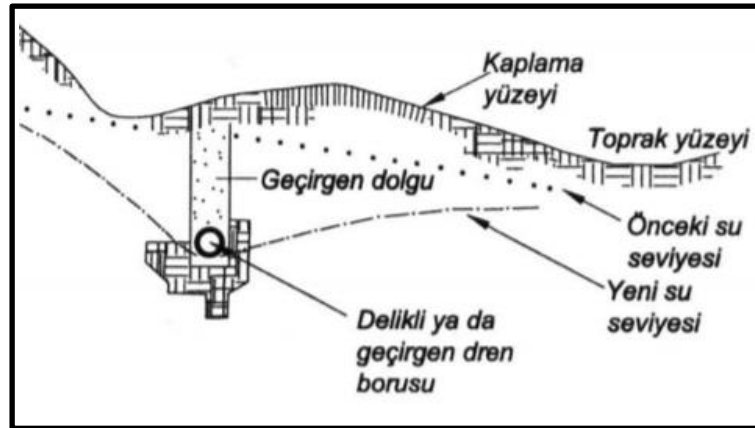
1.3.4.1.2. Drenaj

Zeminden suyun uzaklaştırılması için yapılan iyileştirmelerdir. Yüzey (yerüstü) ve yeraltı drenajı olmak üzere iki uygulama alanı vardır.

Yüzey (yerüstü) drenajı; kar, yağmur gibi zemine gelen suların zemine girmesini engellemek, zemin yüzeyinde biriken, düzensiz ve kontrolsüz su akışlarının kontrollü bir biçimde zemin yüzeyinden uzaklaştırılması işlemidir. Genellikle açık drenaj sistemleri kullanılmaktadır.

Yeraltı drenajı ise zemin içinde bulunan suyun dren kanalları veya boruları aracılığı ile toplanarak uzaklaştırılmasıdır. Hem yüzeysel akışın uzaklaştırılması hem de taban suyu seviyesini belirli bir düzeyde tutmak için yapılmaktadır. Kapalı (borulu) ve açık drenaj sistemleri uygulanmaktadır.

Yapılacak drenaj sisteminin işlevini yerine getirebilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekir. Drenajın ana prensibi yerçekimini kullanmaktır. Bu nedenle drenajı sağlayacak uygun eğim olmalıdır. Doğal şevlerin eğimi düzenli akışı sağlayacak şekilde hesaplanmalı, erozyona yol açacak kadar dik olmamalıdır. Yüzeysel drenaj ile zemin yüzeyinde suyun birikmesi engellenir. Zeminin uzun süre suya doymun olarak kalması önlenmiş olur. Biriken suların erozyon ve sediment birikimine sebep olmadan uzaklaştırılması sağlanmış olunur (Bulut, 2016). Şekil 1.5'te drenaj sistemi gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Drenaj sistemi (Bulut, 2016)

1.3.4.1.3. Mekanik İyileştirme

Mekanik iyileştirmeyi basitçe doğal zemine, iyileştirme yöntemine uygun zemin materyalleri ekleyerek gerçekleştirilen stabilizasyon metodudur. Eklenen zemin materyali genellikle doğal zeminle mekanik olarak karıştırılıp birlikte işlenmekte, daha sonra karışım sıkıştırılmaktadır. Bu karıştırma ve sıkıştırma işlemi tamamlandığında bir miktar içsel sürtünme açısı ve kohezyona sahip olan, ince taneli zemin ile iri taneli agreganın birleştirilmesinden oluşan bir karışım elde edilmektedir (Liu ve Evett, 2008).

1.3.4.1.4. Çimento ile İyileştirme

Çimento, zemin stabilizasyon tekniğinde kullanılan en eski bağlayıcılardan biri olmuştur. Zemin partikülleri çimento ile reaksiyona girerek toz halindeki zeminden daha sert yapıda bir karışım elde edilmiş olur. Özel ekipmanlar kullanılarak sahada işlemler yapılmaktadır. Çimentolanma etkisi, hidratasyon reaksiyonu boyunca çimentonun silisli zeminle kimyasal reaksiyona girmesinin sonucunda oluşmaktadır. Zemin içeriğinin niteliği, karışım koşulları, sıkışma, sertleşme ve kullanılan katkıların tipi oluşan zemin-çimento karışımının özelliklerini etkileyen faktörlerdir. Bu teknik, sıg stabilizasyon tekniği olarak karayollarında, dolgu malzemesi olarak kullanılması durumunda ve daha derin stabilizasyonda ise yumuşak zeminlerde iyileştirme yapmak amacıyla kullanılmaktadır (Bilal ve Talib, 2016).

Ufalanmış zemin partiküllerine kuru ağırlığının %5-15'i kadar çimento ve uygun su gerekli oranda eklenip, maksimum birim hacim ağırlık elde edilecek şekilde sıkıştırılarak işlemler yapılmaktadır. Zemin-çimento karışımları 7-8 günlük kür işleminden sonra sertleşmektedir. Bu nedenle sertleşinceye kadar nemli tutulmalı ve su kaybı önlenmelidir. Eklenen bu çimento zemindeki partiküller arasında kuvvetli bir bağlantının oluşmasını sağlar ve zeminin plastisitesi değişerek kaymaya karşı direnci artırılmış olunur. Ayrıca sıkıştırma işlemi de önem arz etmektedir. Yapılan araştırmalar, yoğunlukta %5'lik azalmanın, çimento miktarında %1 -15'lik azalmadan daha fazla mukavemet kaybına neden olduğunu ortaya koymuştur (Yıldırım ve Alataş).

Portland çimentosu, zemin kalitesini değiştirmek ve iyileştirmek veya zemini artırılmış mukavemet ve dayanıklılığa sahip sementli bir kütleye dönüştürmek için

kullanılmaktadır. Kullanılan çimento miktarı, zeminde yapılacak işlemin niteliğine göre değişmektedir. Zeminlerin stabilizasyonu farklı tip çimentolar kullanılabilir. Önceleri daha çok Tip I normal Portland çimento kullanılırken artık bunun yerini giderek Tip II almaktadır. Bunun nedeni, iki tip çimentonun maliyetleri aynıyken, Tip II'nin Tip I'e göre daha yüksek sülfat direncine sahip olmasıdır (Guyer, 2017).

1.3.4.1.5. Kireç ile İyileştirme

Kireç, ince taneli zeminleri iyileştirmek için kullanılan en eski katkı maddelerinden biridir. Geoteknikte kullanılan dört ana kireç esaslı katkı maddeleri; Ca(OH)_2 , CaO , $\text{Ca(OH)}_2\text{MgO}$, CaO MgO 'dir. Kireç ile iyileştirme sayesinde, likit limitte düşüş ve plastik limitte meydana gelen artış ile plastisite de azalma meydana gelmektedir. Bu durum toprağın işlenebilirliğini kolaylaştırmaktadır. Kireç ile zemin arasındaki kimyasal reaksiyon sonucu su içeriğinde azalma meydana gelmekte ve aşırı nemli zeminlerdeki sıkışma problemini ortadan kaldırmaya yardımcı olmaktadır. Ayrıca kireç katkısı optimum su muhtevasını artırmakta fakat kuru birim hacim ağırlığında düşüşe sebebiyet verebilmektedir.

Zeminlerin mineralojik özellikleri, kireçle tepkimeye girme derecelerini ve stabilize edilmiş tabakaların nihai mukavemetini belirler. Bu yöntem genellikle ince taneli zeminlerde (200 nolu elekten %25'i geçen ve plastisite indeksi 10'dan büyük olan) uygulanmaktadır. Kireç su ile hızlı bir şekilde reaksiyona girdiği için ıslak zeminlerin kurutulmasında önemli rol oynamaktadır. Zeminde kil mevcut ise kireç, kil mineralleri ile de reaksiyona girerek zeminin daha da kurumasına katkı sağlamaktadır. Yeterli miktarda kireç ve su eklendiğinde, toprağın pH'ı hızlı bir şekilde 10.5'in üzerine çıkarak kil partiküllerinin parçalanmasını sağlar. Silis ve alümin salınımı gerçekleşir ve kireçten gelen kalsiyum ile reaksiyona girerler, bu şekilde zemini ince parçacıklı malzemedan önemli yük taşıma kapasitesine sahip nispeten geçirimsiz sert bir katmana dönüştürmüş olurlar (National Lime Association, 2004).

1.3.4.1.6. Bitüm ile İyileştirme

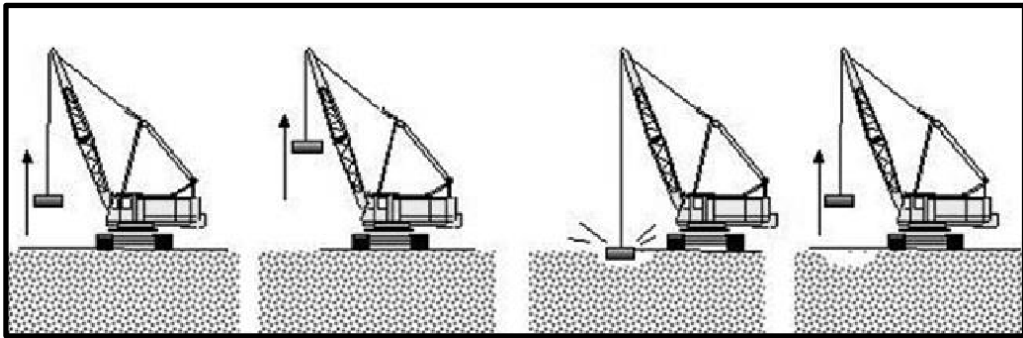
İri taneli zeminlere sıcak sıvı bitümlü malzeme eklenip karıştırıldıktan sonra serilip kompaksiyon uygulanması işlemidir. Bu şekilde bitümlü malzeme ile zemin taneleri arasında bağlayıcılık oluşturularak geçirimsizlik sağlanmaktadır. Bitüm, asfalt gibi malzemeler sıcakken sıvı haldedir. Kullanılacak malzemenin, kil ve organik maddelerden arınmış olması gerekir. Genellikle bitümlü malzemeler %5-10 oranında ve özellikle yol inşaatlarında kullanılmaktadır (Uzuner, 2016).

1.3.4.2. Derin İyileştirme Yöntemleri

İyileştirilme yapılacak zeminin kalınlığı yüzeysel stabilizasyona göre daha fazladır. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde uygulanabilmektedir.

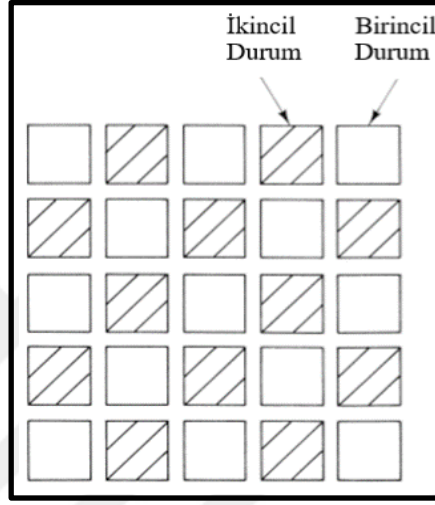
1.3.4.2.1. Derin Kompaksiyon

Bu yöntem esasen toprağa çok ağır bir ağırlığın nispeten büyük bir yükseklikten tekrar tekrar düşürülmesiyle gerçekleştirilir. Tipik ağırlıklar 2 ile 20 ton veya bundan daha fazla da olabilmekte, düşme mesafeleri ise 6 m ile 30 m arasında değişmektedir. Derin kompaksiyonun çalışma prensibi Şekil 1.6'da gösterilmiştir. Genel olarak, ağırlık ne kadar ağır olursa ve düşme mesafesi ne kadar fazla olursa, kompaksiyon etkisi o kadar büyük olur. Bu yöntem hem kohezyonlu hem de kohezyonsuz zeminlerde uygulanabilmektedir.



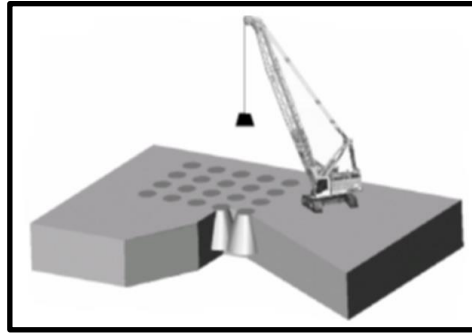
Şekil 1.6. Derin kompaksiyon çalışması (Larisch ve Pervan)

Kohezyonlu zeminlerde kompaksiyondan dolayı oturma miktarındaki azalma taşıma kapasitesindeki artışa oranla daha belirgin olmaktadır. Kohezyonsuz zeminlerde dinamik sıkıştırma gevşek toprağı yoğunlaştırır. Dinamik kompaksiyon, rastgele ağırlık düşürülerek yapılmamalıdır. Kompaksiyon yapılacak bölgede belirli bir ağı düzeni oluşturulup ağırlık tekrarlı suretle bırakılmak üzere gerçekleştirilmelidir. Şekil 1.7 bu ağı sistemine örnek olarak gösterilmiştir (Liu ve Evett, 2008).



Şekil 1.7. Ağırlık düşürme ağı modeli (Liu ve Evett, 2008)

Ağırlıklar belirlenen bu noktalara 5 ile 10 arasında bir sayıda düşüş yapılarak uygulanır. Bu işlem bir veya daha fazla geçişte tüm alana uygulanır ve her düşüşten sonra oluşan çukurlar ya dozer ile düzeltilmekte veya içleri granüler malzeme ile doldurulmaktadır. Şekil 1.8'de oluşan çukurlar görülmektedir.

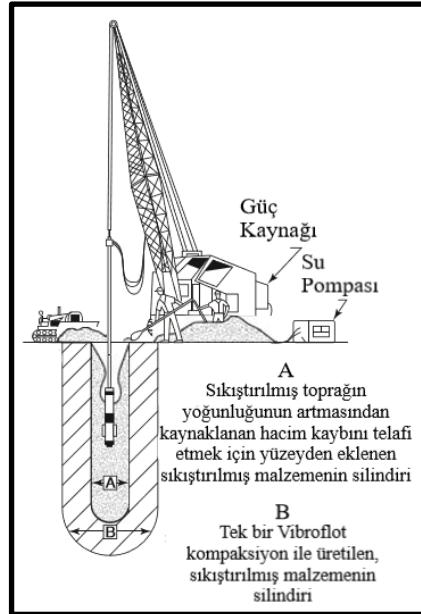


Şekil 1.8. Derin kompaksiyon sonucu oluşan kraterler (Jha)

Kompaksiyon yapıldıkça zeminin sıkılaşması gözlemlenebilmektedir. Birkaç geçişten sonra, kraterlerin derinliği daha sığ hale gelmektedir. Bu da alttaki zeminin sıkıştığını göstermektedir. Derin kompaksiyon sonrasında daha homojen bir tabaka elde edilmiş olur, dolayısıyla farklı oturma oluşma ihtimalini azaltmaktadır (Geotechnical Design Manual, 2013).

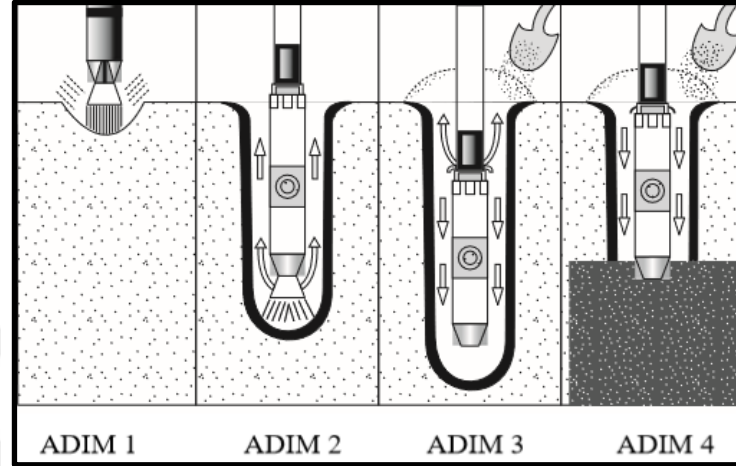
1.3.4.2.2. Derin Vibrasyon (Vibro-flotasyon)

Bu yöntem, vibroflot adı verilen aletle granüler zeminlerin yerinde sıkıştırılarak iyileştirilmesidir. İri taneli zeminlerde uygulanmaktadır. Bir Vibroflot, 1.8-2.1 m uzunluğunda, 400 mm çapında yaklaşık 2 ton ağırlığında silindir vibratördür. Vibroflotasyon ekipmanı Şekil 1.9’da gösterilmektedir. Vibroflot bir vinçten asılır ve daha sonra Vibroflotun ucundan aşağıya doğru basınçlı su püskürtülerek sıkıştırmanın başlayacağı derinliğe püskürtülür. Vibroflotun yanal titreşimi zeminin yatay olarak sıkışmasına neden olur. Daha sonra, Vibroflot titreşime devam ederken yavaşça kaldırılır, böylece en düşük derinlikten yüzeye kadar olan bölge sıkıştırılmış olmaktadır.



Şekil 1.9. Vibroflotasyon ekipmanı (Liu ve Evett, 2008)

Kompaksiyon işlemi boyunca oluşan hacimsel boşlukları doldurmak için zemin yüzeyinden Vibroflot etrafındaki alana sürekli olarak kum eklenmesi yapılmaktadır. Vibroflotasyon kompaksiyonu süreci Şekil 1.10'da gösterilmiştir.

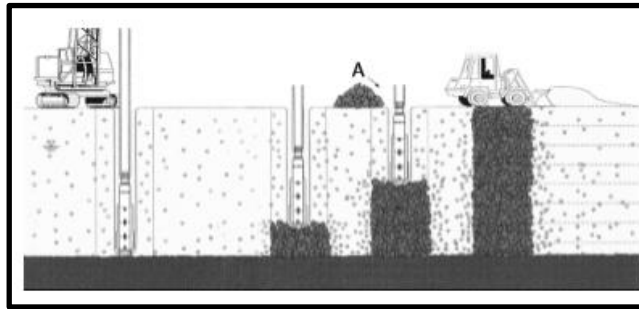


Şekil 1.10. Vibroflotasyon kompaksiyon süreci (Liu ve Evett, 2008)

1.3.4.2.3. Taş Kolonlar

Taş kolonlar, kayma mukavemetini artırmak, aşırı oturmaya önlemek ve boşluk suyu akışı için yatay drenaj yollarını kısaltarak konsolidasyonu hızlandırmak amacıyla kohezif zeminlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Killi zeminlerde, kil tabakasından daha sağlam tabakaya kadar uzanan delikler açılır. Bu delikleri çakılla doldurmak suretiyle bağımsız kolonlar, sürekli duvarlar veya kolon panelleri oluşturulmaktadır. Şekil 1.11'de gösterilmektedir.



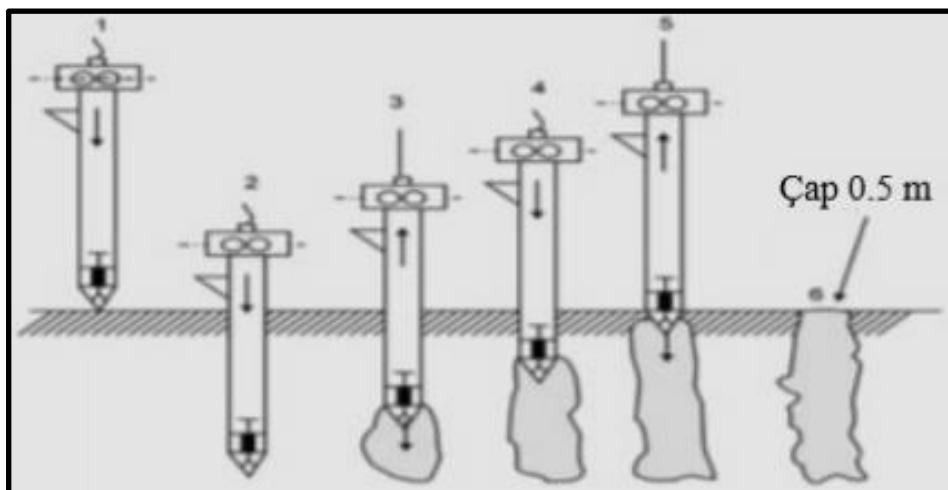
Şekil 1.11. Taş kolon oluşturma prosesi (Arulrajah vd., 2009)

Taş kolonlar, çevresindeki zeminlere ek kayma dayanımı sağlayan granül yapısı nedeniyle kum drenajlarından daha çok tercih edilir. Geosentetik takviyeli dolgu ve taş sütun sistemi, kil toprağı üzerine inşa edilmiş yapılar için ekonomik ve etkili bir çözüm sağlayabilir. Geosentetik kullanımı, taş kolonlarla zemin arasındaki rijitlik farkından dolayı, gerilmeyi zeminden taş kolonlara aktarır. Bu, büyük oturmaları önler ve farklı oturmaların oluşmasını engeller (Gaafer vd., 2015).

Taş kolonlar yapıldıktan sonra, her zaman zemin yüzeyinin üzerine bir dolgu malzemesi yerleştirilmeli ve temel inşa edilmeden önce sıkıştırılmalıdır. Taş kolonlar müsaade edilen yükler altında temellerin oturma miktarını da azaltma eğilimindedir (Das, 2016).

1.3.4.2.4. Kompaksiyon Kazıkları

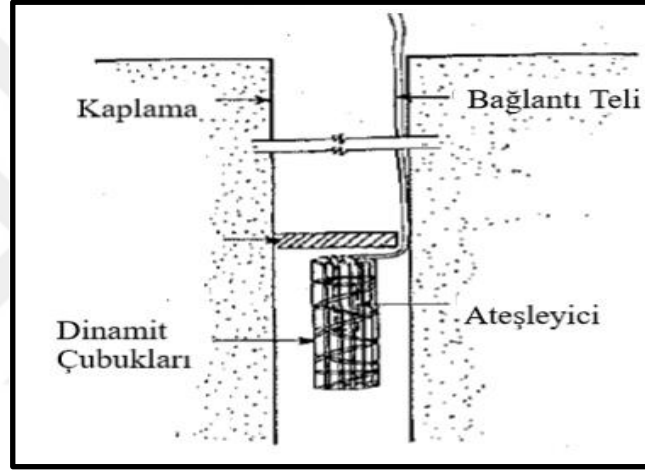
Gevşek taneli zeminlerde, ucu kapalı kaplama borusunun zemine çakılması, içi doldurulurken uç kısmının zeminde bırakılarak kaplama borusunun yukarı çekilmesi işlemine dayanmaktadır (Şekil 1.12). Killi zeminlerde de uygulanırsa da genellikle gevşek kumlu zeminlerin sıkılaştırılması için kullanılmaktadır. Bu yöntem mukavemeti ve rijitliği artırılmış yakın mesafeli kum kolonları oluşturma esasına dayanmaktadır. Sıvılaşmayı da azaltmaya yardımcı olmaktadır.



Şekil 1.12. Kompaksiyon kazıkları (Ayele, 2017)

1.3.4.2.5. Patlayıcılar

Bu teknik ile kohezyonsuz zeminlerde, belirli miktar patlayıcının belirli bir derinliğe yerleştirilip, ardından patlatılması suretiyle zeminin sıkıştırılması sağlanmaktadır. Zemin tabakalarında istenilen derinliğe 7,5-10 cm'lik bir boru gönderilir. Dinamit çubukları ve bir elektrikli patlayıcı su geçirmez demetlere sarılır ve Şekil 1.13'te gösterildiği gibi ilgili bölgeye indirilir. Kaplama geri çekilir. Açılan delik patlatmanın etkisini tam olarak gösterebilmesi için kum ile doldurulur. Böylece bir dizi delik hazırlanır. Her delik art arda patlatılır ve yanal yer değiştirme ile oluşan geniş çaplı delikler geri doldurulur.



Şekil 1.13. Patlatma Mekanizması (Singh ve Hymavathi, 2000)

Genellikle patlayıcılar yatay grid şeklinde düzenlenir. Bu gridlerin aralığı, sıkıştırılacak zemin tabakasının kalınlığı ve patlatma yükünün boyutuna bağlı olarak belirlenmektedir. Bu aralıklar 3-8 m aralığında alınmaktadır. 3 m'den küçük aralıklardan kaçınılmalıdır.

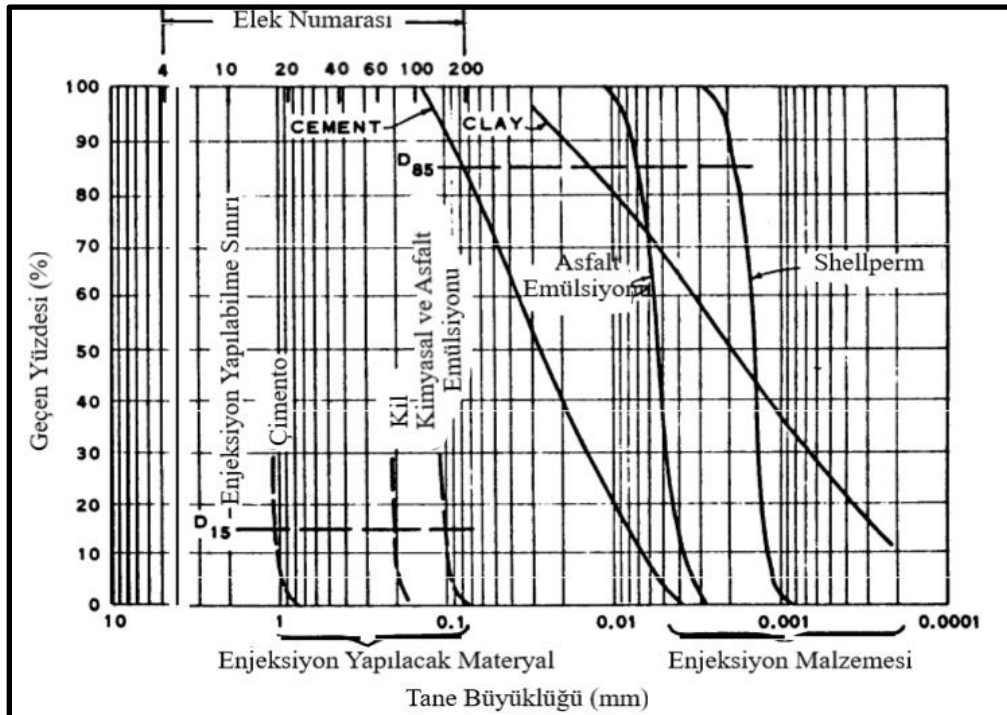
Bu kompaksiyon işlemi, sıkıştırma yapılacak tabaka derinliği 10 m'den az ise tek bir aşamada gerçekleştirilebilmektedir. Sıkıştırılacak tabaka derinliği 10 metreden fazla ise, birden fazla aşamada planlanmalıdır. Genellikle patlatmanın gerçekleştirileceği derinlik, etki alanının yarıçapından daha büyük olmalıdır. Uygun aralıklarla ufak patlatma yükleri ile art arda patlatma yapılması, tek bir büyük patlamaya göre daha etkili olabilmektedir. Bu etki ile zemin tabakası ve diğer bitişik tabakaların sıkıştırılması sağlanmaktadır. Kullanılacak yük miktarı, zemin kütlelerini düzgün bir şekilde parçalamaya uygun, ancak

kalıcı yüzey kraterleri yaratmayacak şekilde optimal olmalıdır (Singh ve Hymavathi, 2000).

1.3.4.2.6. Enjeksiyon

Enjeksiyon, zemini iyileştirmek amacıyla boşlukları, çatlakları ve yarıkları doldurmak için zemine veya kayaya basınç altında uygun sıvı enjekte etme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Enjekte edilen bu sıvı kolloidal çözeltiler, çimento süspansiyonları, kimyasal çözeltiler olabilmektedir (Singh ve Hymavathi, 2000).

Enjeksiyon yönteminde kullanılacak karışım ya da dolgu malzemesi seçiminde birçok kriter vardır. Her malzemeyi her enjeksiyon işleminde kullanmak uygun değildir. En önemli kriterlerden biri, dolgu malzemesinin parçacıklarının doldurulacak boşluklardan küçük olması gerekmektedir. Şekil 1.14'te bu ilişki gösterilmiştir (Departments of the Army and the Air Force Manual, 1970).



Şekil 1.14. Zemin ile enjeksiyon malzemesi arasındaki tane boyutu ilişkisi (Kravetz, 1958)

Enjeksiyon yöntemi sayesinde uygulama yapılan bölgede, dayanım, permeabilite, parçacıkların yoğunluğu ve homojenlik artmaktadır.

Enjeksiyon Uygulaması:

1. Kütle beton yapıları ve kazık üretimi,
2. Çatlak oluşumu altındaki bir zeminin onarımı,
3. Yapı duvarları veya yol kaplamasında bozukluklar,
4. Tünel çalışmalarında kaplama ile kaya yüzeyi arasındaki boşluğu doldurma,
5. Zeminde sızıntı kontrolü,
6. Zemin stabilizasyonu ve katılaşma,
7. Titreşim kontrolü, gibi durumlarda yapılmaktadır (Singh ve Hymavathi, 2000).

1.3.4.2.6.1. Kimyasal Enjeksiyon

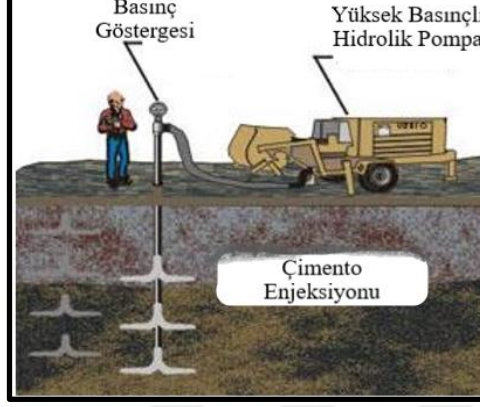
Zemin stabilizasyonu, doğal zeminin toz haline getirilmesi, kimyasal bir katkı maddesi içinde karıştırılması ve karışımın iyice sıkıştırılmasıyla sağlanabilir. Bu kategori altında, zemin stabilizasyonu esasen, istenen etkiyi elde etmek için katkı maddesi (kireç, çimento, uçucu kül veya bunların kombinasyonları gibi) ile doğal zemin arasındaki kimyasal reaksiyonlara bağlıdır.

Zemini stabilize etmenin temel amaçları, zeminin performansını artırmak, oturmayı hızlandırmak, dayanımı ve dayanıklılığı artırmak ve zemin partiküllerinin sıkışabilirliğini azaltmaktır.

- Çimento ile iyileştirme: Uygun miktarda ilave edilmesi koşulu ile yaygın olarak kullanılan iyileştirme yöntemlerinden biridir. Kil içeriği arttıkça, zeminin toz haline getirilmesi, işlenmesi zorlaşır ve sertleşmesi için daha fazla miktarda çimento eklemek gerekir. Zeminde bulunan su ile reaksiyonu önemlidir.

Bu teknikte, çimento sahada özel ekipmanlar kullanılarak su ve zemin ile karıştırılır. Çimento ve zeminde fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar meydana gelir (Şekil 1.15). Çimento oranı, zemini adeta bir yapıştırıcı gibi saracak, ancak toprağın yapısını değiştirmeyecektir. Zemin artık zemin-çimento yapısını almıştır. Sertleşme işlemi zeminin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden, su-çimento oranından, sertleşme sıcaklığından ve sıkıştırma derecesinden etkilenebilmektedir. Öte yandan, işlenen zeminin yapısı, kullanılan çimento türü,

uygulanan yerleştirme ve kür koşulları zemin-çimento oranının doğru belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Gaafer vd., 2015).



Şekil 1.15. Çimento Enjeksiyonu (Ghalib, 2014)

- Kireç Enjeksiyonu: Kireç, killi zeminlerde ekonomik ve etkili bir stabilizasyon yöntemidir. Kil stabilizasyonu için uygun kireç konsantrasyonunun seçimi, uygun bir pH değerinin elde edilmesine dayanır. Katkı maddesi konsantrasyonu, mukavemeti ve dayanıklılığı sağlamak için yeterli değilse stabilizasyon etkisiz olabilir. Bu oran genellikle % 5-10 arasındadır. Zemin özelliklerinde meydana gelen iyileşmeler, zemin ile kireç arasındaki reaksiyonlara (katyon değişimi ve topaklanma - topaklaşma) bağlıdır. Bu topaklaşma kil dokusunda değişikliklere neden olur, kil parçacıkları daha da büyür ve zeminin mukavemetini artırır (Gaafer vd., 2015).

- Uçucu Kül Enjeksiyonu: Uçucu kül, kömürle çalışan elektrik enerjisi üretim tesislerinde elde edilen bir ürün olup, kireç ve çimentoya kıyasla daha az çimentolanma özelliğine sahiptir. Uçucu küllerin çoğu ikincil bağlayıcılardır. Bu bağlayıcılar istenen etkiyi tek kullanıldıklarında gösteremezler. Bu nedenle, kili stabilize etmek için uçucu kül kullanılıyorsa kireç veya çimento ile de desteklenmelidir (Gaafer vd., 2015).

1.3.4.2.6.2. Permeasyon Enjeksiyon

Bu yöntem, zeminin orijinal yapısına zarar vermeden, çeşitli enjeksiyon malzemelerinin zemine enjekte edilmesi prensibine dayanmaktadır. Hangi tür materyal

kullanılacağı, enjeksiyon yapılacak zeminin granülometri eğrisine bağlıdır. Bu yöntem aşağıda belirtilen durumlarda uygun zeminler için kullanılabilir:

-Su geçirmezlik, su yalıtımı,

-Oturma kontrolü,

-Partiküller arasındaki yoğunluğu artırarak ve boşluk suyunu değiştirerek sıvılaştırmanın önlenmesi.

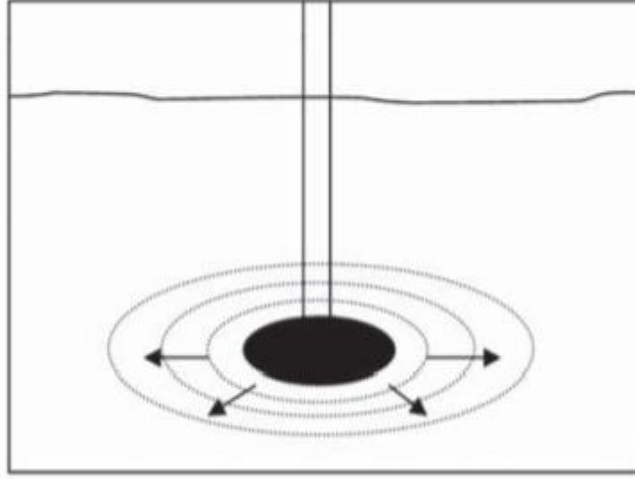
Enjeksiyon yapılabilme özelliği zeminin permeabilitesine bağlıdır (Geotechnical Design Manual, 2013).

1.3.4.2.6.3. Çatlatma Enjeksiyonu

Zeminin, düşük viskoziteli çimento enjeksiyonu ile yüksek basınçlarda (5-40 bar) çatlatılarak, zemin içerisinde sertleşmiş çimento kanalları oluşturulmaktadır. Bu yöntem ile zemin kontrollü bir şekilde ve bölgesel olarak sıkıştırılmaktadır. Oluşan çatlaklar uygulanan basınca ve zemin özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

1.3.4.2.6.4. Kompaksiyon Enjeksiyonu

Kıvamlı, taze kumlu harcın, basınçla temel altına gönderilmesi işlemine denilmektedir. Taneler arası boşluklara girmeyen, ancak zemini kendi hacmi kadar yanlara iten kumlu harç, havaalanı, yol gibi beton kaplamalar ile basit yapılarda farklı oturumları düzeltmede kullanılmaktadır (Uzuner, 2016). Şekil 1.16'da gösterilmiştir (Essler, 2000, Tunçdemir, 2007).



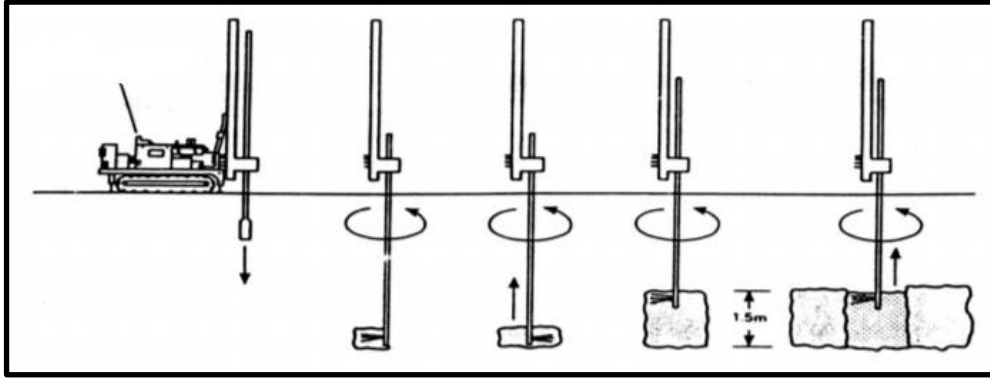
Şekil 1.16. Kompaksiyon Enjeksiyonu (Tunçdemir, 2007)

1.3.4.2.6.5. Jet Enjeksiyonu

Jet enjeksiyon tekniği 1960'larda kullanılmaya başlanmış ve birçok yönü ile etkili bir iyileştirme yöntemi olduğu için günümüze kadar geliştirilerek kullanıla gelmiştir. Bu yöntem birçok zemin türünde etkilidir. Yüksek basınç (7000 psi) ve hızlı su jeti veya enjeksiyonu kullanılarak zemin parçalanır ve gevşetilir. Ardından çimento esaslı harç enjekte edilir ve bu parçalanmış zemin ile karıştırılır. Zamanla bu karışım sertleşerek belli bir dayanıma sahip jet kolonlarını oluşturur. Jet enjeksiyonu yöntemi, kilden çakıl içerikli zeminlere kadar değişken zemin türlerinde kullanılabilir. Bu yöntem;

- Her iyileştirme yönteminin yapılamadığı killi ve siltli zeminlerde,
- Zeminde su kontrolleri,
- Sıvılaşmanın azaltılması,
- Tünel kazı çalışmalarında güçlendirme amacı ile,
- Oturma ve deplasman kontrolleri,
- Dolgular altında destek elemanı, gibi durumlarda kullanılabilir.

Bu yöntem sayesinde, iyileştirme yapılacak zeminde istenilen boyut, özellik ve şekilde silindirik kolonlar elde edilmiş olmaktadır (Geotechnical Design Manual, 2013). Jet enjeksiyon uygulaması Şekil 1.17'de gösterilmiştir.



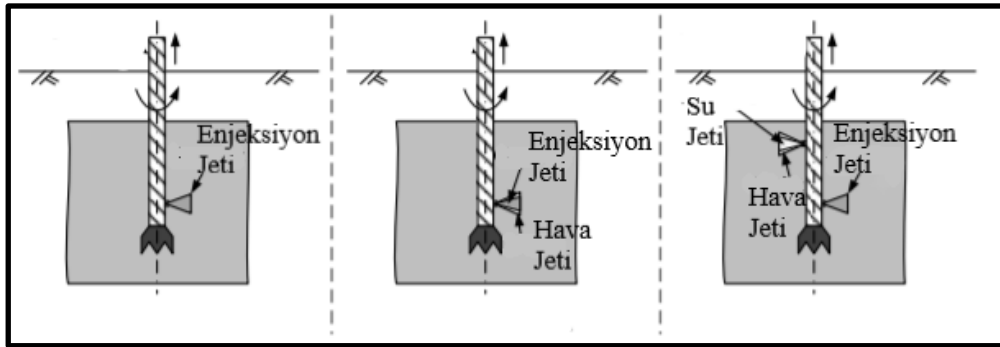
Şekil 1.17. Jet enjeksiyon uygulaması (Choi, 2005)

3 tip jet enjeksiyon sistemi vardır:

1-Tek akışkanlı sistem (Jet 1): Kohezyonsuz zeminlerde etkilidir. Yüksek hızda toprağı parçalayarak çimento harcı enjekte edilmektedir.

2-Çift akışkanlı sistem (Jet 2): Kohezyonlu zeminlerde tek akışkanlı sisteme göre daha etkilidir. Bu sistemde yüksek hızlı çimento püskürten jete ilave olarak hava jeti de vardır.

3-Üçlü akışkan sistemi (Jet 3): Kohezyonlu zeminlerde en etkili sistemdir. Zemini aşındırmak için hava jeti ile çevrili yüksek hızlı bir su jeti de kullanılmaktadır. Bu üç sistem Şekil 1.18’de gösterilmektedir (Gaafer vd., 2015).



Şekil 1.18. Jet Enjeksiyon Sistemleri (Wang v.d., 2013)

Bu yöntem, temellerin stabilitesinde özellikle yeni yapılacak ve mevcut yapıların altındaki yük taşıyan zeminlerin iyileştirilmesinde ve tünel yapılarında etkilidir (Ayele, 2).

1.3.4.2.6.6. Derin Karıştırma

Derin karıştırma yöntemi, derinliği fazla olan zeminlerde yerinde uygulanan stabilizasyon yöntemidir. Islak veya kuru bir bağlayıcı maddenin (kireç veya çimento) zemine enjekte edilerek, kolon veya kolon paneli-duvarı oluşturmak için döner karıştırma aracıyla mekanik olarak karıştırıldığı bir iyileştirme teknolojisidir (Gaafer vd., 2015).

Bu teknik yerinde uygulanır ve herhangi bir kazı, yer değiştirme veya nakliye gerektirmemektedir. Oluşturulan kolon çapları tipik olarak 0,6-1,5 m arasındadır ve zemin içinde 40 m derinliğe kadar uzanabilmektedirler.

Tez kapsamında bu konu hakkında detaylı bilgi Bölüm 1.4'te verilecektir.

1.3.4.2.7. Geotekstiller

Geotekstiller polyester, polipropilen, polietilen, naylon, polivinil klorid gibi sentetik hammaddeden üretilen geçirgen örtülerdir. Bunlar örülerek (dokunarak-woven) veya yukarıdaki malzemelerin fiberleri özel makinelerde işlenip preslenerek, örgüsüz (dokumasız non-woven) olarak imal edilir. Geotekstiller üçe ayrılırlar. Bunlar klasik geotekstiller, dokunmuş klasik geotekstiller ve dokuma olmayan non-woven (dokumasız) klasik geotekstillerdir (DSİ, 2006).

Geotekstillerin kullanım amaçları (Töremiş, 2003):

- Ayrırma amacı
- Takviye amacı
- Alt zeminin bölgesel oturması
- Alt zemin bölgesel çökmesi
- Filtrasyon
- Güçlendirme
- Drenaj
- Koruma
- Yalıtım

Geotekstillerin kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır:

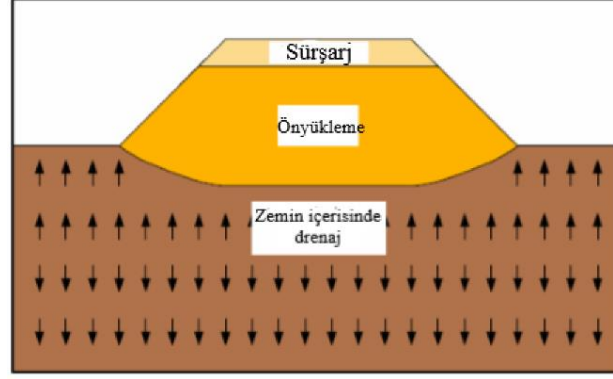
- ✓ Havayolu, demiryolu, baraj yapılarında, yüzey drenajı, drenaj hendekleri, şev yüzeyi drenajı, istinat duvarı drenajı, drenaj borularının çevresinin sarılması ve düşey drenler gibi drenaj sistemlerinde,
- ✓ Toprak dolgu barajları drenajında,
- ✓ Toprak dolgu barajlarda sızan suyun birikiminde drenaj bölmesi,
- ✓ Barajların drenaj yüzeyi çevresinde filtre,
- ✓ Yol ve demiryolu alt temelleri ile stabilize dolgu arasına,
- ✓ Yol üst kaplamalarında,
- ✓ Kıyı koruma malzemesi altına,
- ✓ Fransız drenajında,
- ✓ Zemin ile su kanal kaplaması arasına,
- ✓ Spor sahaları drenajlarında,
- ✓ Koruyucu levha altında filtre,
- ✓ Yeraltı su seviyesi yüksek olan bölgelerde yapılacak temelleri altına, silt-kum vb. su tarafından sürüklenmesinin önlenmesinde kullanılmaktadır (DSİ, 2006).

1.3.4.2.8. Önyükleme

İnce taneli, killi ve siltli zeminlerin konsolidasyon oturması permeabiliteleri düşük olmasından dolayı uzun bir zaman diliminde gerçekleşmektedir. Bu oturmalar zemin üzerine inşa edilen yapıları olumsuz olarak etkilemektedir. İstenmeyen oturmaların tamamlanma süreci beklenemeyeceğinden, zemine önyükleme yapılarak oluşması beklenen oturmanın tamamına yakını gerçekleştirilmiş olunur. Ön yüklemeye, yapı yükünün yapım ve yerleştirilmesinden önce zeminin uygulanan gerilmeler altında sıkıştırılması işlemidir.

- Geleneksel Önyükleme: Zemine önyüklemeye yapıldığında (örneğin dolgu malzemesi verildiği durumda) yük gevşek zemine yerleştirildiğinde, oluşacak olan boşluk suyu basıncı zamanla yavaş yavaş sönmülerek konsolidasyon hızlandırılmaktadır. Verilecek olan yük zeminin limit taşıma gücünü aşmamalı ve stabilite problemi yaratmamak adına yüklemeye birden değil iki veya daha fazla aşamada yapılmalıdır. Eğer

verilen yük yapının nihai yükünü aşacak olursa bu yüke de sürşarj yükü denilmektedir. Şekil 1.19'da önyükleme gösterilmiştir.



Şekil 1.19. Zemin önyüklemesi

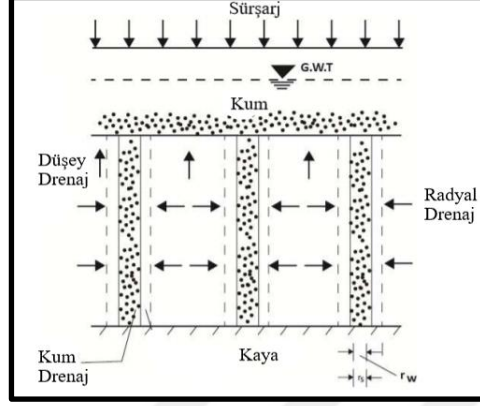
- Vakumlu Önyükleme: Zemin çok yumuşak olduğunda ufak bir yükleme ile bile stabilite kaybı yaşayabilmektedir. Yatay drenajlar bir vakum pompasına bağlanır. Drenaj bölgesinde, vakum pompası vasıtasıyla negatif basınç oluşturulur. Uygulanan negatif basınç, negatif boşluk suyu basınçları oluşturur, bu da zeminde efektif gerilmelerin artmasına yol açmakta ve dolayısıyla da hızlandırılmış bir konsolidasyonun oluşmasını sağlamaktadır (Bilal ve Talib, 2016).

1.3.4.2.9. Kum Drenleri

Döner delme gereçleriyle zemine delikler açılıp, bu deliklerin permeabilitesi yüksek olan kum malzeme ile doldurularak oluşturulan düşey drenaj sistemleridir. Drenajı kolaylaştıran ve ince taneli zeminin daha hızlı sıkışmasını sağlayan bir radyal konsolidasyon işlemidir (Bilal ve Talib, 2016).

Suyun zeminden drene edilmesi oldukça uzun zaman alabilir. Bu drenaj aşaması hızlandırılarak zeminin daha hızlı konsolide olması sağlanmaktadır. Kum drenleri yönteminde sıkıştırılması gereken zemin katmanları, birbirlerine yakın mesafede düşey kum kolonları oluşturularak geçirgenliği yüksek tabakalar elde edilir. Dolayısıyla su daha hızlı ve kolay bir şekilde uzaklaştırılmış olmaktadır. Şekil 1.20'de bu yöntem

gösterilmektedir. Zemin oturmasının istenilen düzeyde olması için ön yüklemeye yöntemi ile birlikte kullanılmaktadır (Ayele, 2017).



Şekil 1.20. Kum drenleri yöntemi (NPTEL)

1.3.4.2.10. Isı ile İyileştirme

Bu yöntem sayesinde ısınma etkisiyle zemin özelliklerinde kalıcı değişikliklerin oluşması ve malzemenin sert ve dayanıklı hale getirilmesi hedeflenmektedir. Verilen bir yük altında kil oturmaları sıcaklığın artmasıyla artmaktadır. Kilin mühendislik özellikleri yaklaşık 400°C'ye ısıtıldığında değişmektedir. Isıtma, zemini parçalayarak kristal yapıda zemin parçacıklarının oluşmasını sağlamaktadır.

Elektrik akımı zemini ısıtmak ve fiziksel özelliklerini değiştirmek için kullanılır. Zemin yapısına bağlı olarak, 300°C ila 1000°C arasında değişebilir. Ancak, ısıtma sırasında bitişik yapıların güvenliği sağlanmalıdır (Ayele, 2017).

Isı ile iyileştirme yöntemi zeminin ısıl iletkenliği, zeminin ısı kapasitesi füzyon ısısı ve buharlaşma ısısı, gibi özelliklere bağlıdır.

1.3.4.2.11. Elektro – Osmoz

Elektro kimyasal sertleşmeyle sonuçlanan anotta sodyum silikat veya kalsiyum klorür gibi kimyasalların eklenmesi olarak tanımlanır. Bu kimyasallar katot yönünde akan zemine sızarken, anot harç enjeksiyon borusu olarak çalışmaktadır (Ayele, 2017).

1.4. Derin Karıştırma Yöntemi

1.4.1. Derin Karıştırma Metodunun Tarihsel Gelişimi

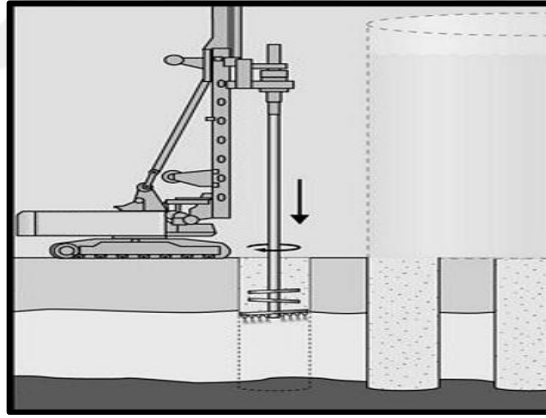
Zemin karıştırma metodunun temelleri Amerika'da atılmış olsa da bu yöntem ile ilgili araştırmalar ve teknikler Japonya ve İsveç'te geliştirilmiş ve uygulanmıştır (Bruce, 2000). Derin karıştırma teknolojisinin geliştirilmesi için yapılan ilk çalışmalar 1954'te Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılmış olup, 1960'lardan beri Japonya ve daha sonra İsveç bağlayıcı olarak kireç kullanarak bu yöntemi yumuşak zeminlerin ve killerin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaya başlanmıştır (Bıtır ve Muşat, 2014).

Derin karıştırma metodunun gelişimi ile ilgili bazı önemli tarihlerden bahsetmek mümkündür. 1954 yılında Amerika'da tekli burgu kullanılarak zemin iyileştirme çalışması yapılmıştır. 1960'larda Japonya ve İsveç'te, derin karıştırma üzerine laboratuvar ve saha testleri içeren araştırma programları geliştirilmiştir. 1960'ların sonunda Çin, Japonya'nın geliştirmiş olduğu Derin Kireç Karıştırma metodunun kullanılabilirliğini ifade etmiştir. 1970'lerde, Japonya ve İsveç, Zemin Karıştırma Duvarları (Soil Mixing Walls (SMW)), Derin Kireç Karıştırma (Deep Lime Mixing (DLM)) ve Çimento Derin Karıştırma (Cement Deep Mixing (CDM)) gibi yöntemleri proje kapsamında kullanmışlardır. 1972 yılında Japonya'da Osaka Seiko Kogyo Company, zeminin iyileştirme çalışmaları adına Zemin Karıştırma Duvarı (Soil Mixed Wall (SMW)) metodunu geliştirmişlerdir (Caraşca, 2016). 1975 yılında İsveç Stockholm'de kazı, dolgu stabilizasyonu ve sığ temellerin desteklenmesi amacıyla Kireç Kolonu (Lime Column) yöntemi ilk kez ticari olarak kullanılmıştır. İlk Avrupa teknolojisi, 1987'de Fransa'da Bachy Company tarafından ortaya konan ve çimentolu zeminin aynı anda hem sıkıştırıldığı hem de karıştırıldığı Colmix teknolojisi olmuştur. 1980'lerin sonunda Derin Karıştırma (Deep Soil Mixing (DSM)) ve Sığ Zemin Karıştırma (Shallow Soil Mixing (SSM)) yöntemleri geliştirilmiştir. 1990 tarihinde Finlandiya'da 20 m derinliğinde ve 800 mm çapında kolonlar oluşturabilen çimento ve kireç kullanılarak geliştirilen yeni karıştırma ekipmanları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Kukko ve Ruohom yoğun laboratuvar araştırmaları sonucu, stabilize killerde sertleşme reaksiyonlarını etkileyen faktörleri (farklı bağlayıcıların etkisi) analiz etmek için program geliştirmişlerdir (Bruce, 2000).

Şu anda, derin karıştırma teknolojisi en popüler zemin iyileştirme yöntemi haline gelmiştir. Dünya çapında (örneğin Japonya, Malezya, Fransa, Belçika, Singapur, Tayland, Vietnam) ve ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.4.2. Derin Karıştırma Yöntemi

Derin karıştırma yöntemi, tasarımı planlanan birtakım geoteknik uygulamaların gerçekleştirilebilmesi için, gevşek, sıkıştırılabilir ve stabilite problemi olan zeminlerde, doğal zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerini hem güvenli hem de ekonomik bir şekilde iyileştirmek amacıyla yerinde uygulanan bir stabilizasyon yöntemidir. Şekil 1.21’de gösterilmektedir. Bu yöntemde; çimento esaslı bağlayıcı malzemenin zemine enjekte edilmek sureti ile kuru veya ıslak formda, karıştırma kanatları ve kesme araçları ile dizayn edilmiş çok eksenli burğu ekipmanları kullanılarak zeminin yerinde mekanik olarak karıştırılması işlemidir.



Şekil 1.21. Derin karıştırma yöntemi (Larisch ve Pervan, 2017)

İyileştirmede karıştırma kolonları, ızgara tipinde veya çakışan kolonlardan oluşan duvar sistemleri şeklinde oluşturulabilmektedir. Bu kolonlar 0.6 m-1.5 m çapında ve 40 m derinliğe kadar uzanabilecek formda teşkil edilebilir. Stabilizasyonu yapılmış zemin özellikleri, (doğal zemine göre) daha yüksek mukavemetli, düşük sıkıştırılabilir ve düşük geçirimsizlik özelliklerine sahip bir zemin halini almaktadır (Das, 2016).

1.4.3. Derin Karıştırma Yöntemi Sınıflandırılması

Derin karıştırma yöntemini genel olarak Tablo 1.1'deki gibi ayırmak mümkündür.

Tablo 1.1. Derin karıştırma yöntemi genel sınıflandırılması (Geotechnical Design Manual, 2013; Elias et al., 2006)

Uygulama Yöntemi	Yöntem İsmi
Enjeksiyon Metoduna Göre	Kuru veya Islak
Karıştırma Türüne Göre	Yüksek Basınç veya Dönme Enerjili
Karıştırmanın Yapılma Şekline Göre	Delme Gerecinin Ucu veya Delme İşlemine Yapan Ekipman Boyunca

Genel sınıflandırma Tablo 1.1'de yapılmış olup çok daha fazla kombinasyon da üretilebilmektedir. Bu sınıflandırmayı enjeksiyon metoduna göre kuru veya ıslak derin karıştırma ana kategorisinde toplamak mümkündür (Geotechnical Design Manual, 2013). Bu yöntemlerin gerçekleştirildiği zeminlerin belirli özelliklerde olması gerekmektedir. Tablo 1.2'de bu zemin özellikleri sıralanmıştır.

Tablo 1.2. Uygun zemin yapısı etmenleri

Özellik	Uygulama Yapılan Zemin Özelliği
Ph	> 5
Doğal Nem İçeriği	< 200 (Kuru Metot) < 60 (Islak Metot)
Organik İçerik	< 65 (Islak Metot)
Humus içeriği	<1
Elektiriksel iletkenlik	0.4 mΩ /cm

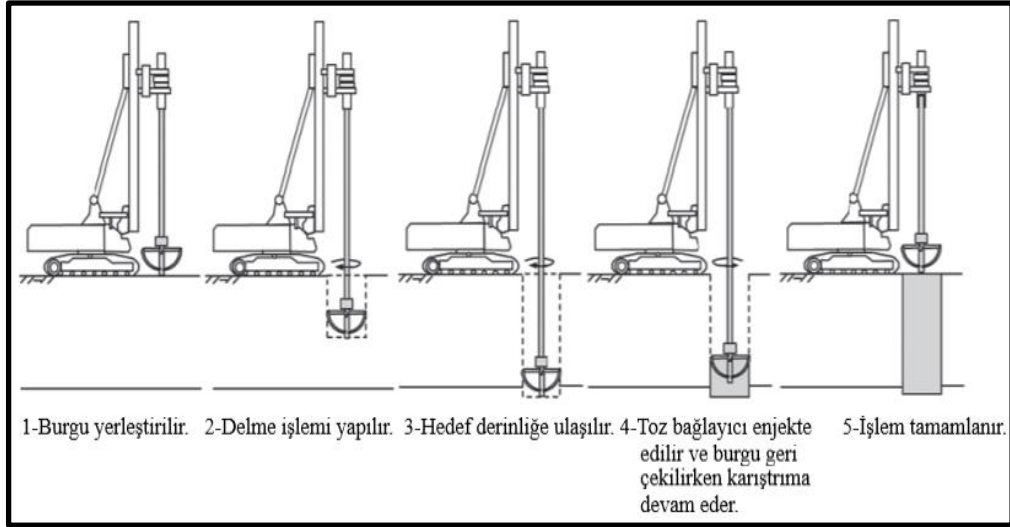
1.4.3.1. Kuru Derin Karıştırma Metodu

Kuru derin karıştırma teknolojisi, kireç-çimento kolonu yönteminin daha gelişmiş halidir. Yumuşak ve zayıf zeminlerin kireç, çimento veya her ikisinin farklı oranlardaki bir kombinasyonu ile yerinde mekanik olarak karıştırılmasını içeren bir zemin iyileştirme metodudur. Bağlayıcı olarak adlandırılan bu karışımlar zemine kuru olarak enjekte edilirler. Zeminde bulunan nem bu bağlayıcı maddelerin işlevselliğini kazanması için kullanılır. Böylece daha yüksek kayma mukavemetine ve düşük sıkışabilme özelliğine sahip güçlendirilmiş zemin formu elde edilmiş olunur. Ayrıca nemin bu şekilde azaltılmış olması iyileştirilmiş zemini çevreleyen yumuşak yapıdaki diğer zemini de olumlu etkilemektedir.

Derin karıştırma vasıtasıyla zemin iyileştirme yöntemi, düşük sıkıştırılabilirliğe ve yüksek kayma mukavemetine sahip güçlü destek elemanları oluşturarak yumuşak killerden gevşek kuşlara kadar geniş bir yelpazedeki zeminlerin stabilizasyonuna olanak sağlamaktadır. Bu teknoloji, esas olarak oturmayı azaltmak ve kompozit zemin kütlelerinin kayma dayanımını ve taşıma kapasitesini artırmak için kullanılır. Ayrıca, titreşimlerin azaltılmasının gerektiği durumlarda da kullanılabilir. Örneğin, yüksek hızlı trenlerin neden olduğu titreşimler karşısında, ray sisteminin kabul edilebilir seviyede bir dinamik performans gösterebilmesi için kuru derin karıştırma tekniği ile güçlendirme yapılabilir.

Bu yöntemde temel felsefe, yalnızca tüm yükü taşıyabilecek rijit yapıda kazık tipi elemanlar üretmek değil, çevresindeki zeminle mekanik olarak etkileşime de girebilen stabilize zemin kütleli oluşturmaktır (Arulrajah, 2009).

Kuru derin karıştırma ile normal olarak 15-25 m derinliğe kadar 0.5 ila 1.2 metre çapa sahip kolonlar üretilebilir. Karıştırma ve işlemin tamamlanma süreci kademeli olarak geliştirilerek günümüze kadar gelmiş ve bugün elektronik işlem kontrol sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Şekil 1.22'de gösterildiği sıra ile karıştırma işlemi tamamlanmaktadır.



Şekil 1.22. Kuru derin karıştırma uygulaması (Han, 2015)

Şekil 1.22'deki işlemler sırası ile;

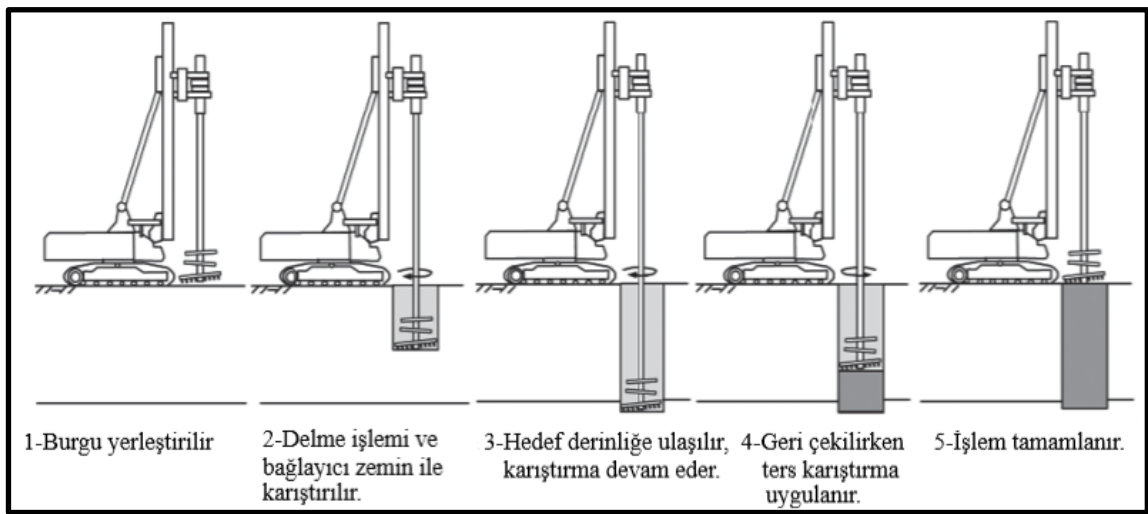
- 1- Karıştırma aracı doğru bir şekilde konumlandırılır,
- 2- Karıştırma şaftı ile zemini ayrıştırarak olan karıştırma aleti eşzamanlı olarak iyileştirilmek istenilen hedef derinliğe gönderilir,
- 3- İstenen derinliğe ulaştıktan sonra, şaft çekilir ve aynı anda granüler veya toz formundaki bağlayıcı madde toprağa enjekte edilir,
- 4- Karıştırma ekipmanı yatay düzlemde döner ve zemin ile bağlayıcıyı karıştırır,
- 5- İyileştirme kolonu bu şekilde oluşturulmuş olunur (Massarsch ve Topolnicki, 2005)

1.4.3.2. Islak Derin Karıştırma Metodu

Rijit kolonlar veya duvar elemanları oluşturmak için çimento harcının zeminle karıştırılabileceği farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar beton kazıklara veya beton duvarlara benzer şekilde davranış sergilerler ve buna göre dizayn edilirler. Islak karışım kolonların yapımı, burgular (sürekli veya parçalı, tek veya çoklu) veya zemin koşullarına ve uygulamalara bağlı olarak bıçaklarla yapılır. Güçlendirilmiş zemin duvar yapılarında, çelik çubuklar, çelik kafesler veya çelik kirişler, yeni yerinde yapılmış kolonlara veya elemanlara monte edilebilir. Islak karışmada, bağlayıcı genellikle çimento harcıdır.

Gerektiğinde bu harca dolgu maddesi (kum ve katkı maddeleri) ilave edilebilir. Eklenen harç miktarı, derinliğe göre değişebilir.

Genel olarak, ıslak derin karıştırma ürünü güçlü, rijit ve gevrek bir malzemedir. Birçok etkene bağlı olmakla birlikte basınç dayanımı kohezyonlu zeminlerde 300-2000 kPa iken kohezyonsuz zeminlerde daha da yüksek olabilmektedir (Burke ve Sehn, 2005). Temellerin taşıma kapasitesini artırmak ve sismik olarak özelliklerini geliştirmek amacı ile de uygulanan zemin iyileştirme yöntemidir. Şekil 1.23’de bu yöntemin uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 1.23. Islak derin karıştırma uygulaması (Han, 2015)

1.4.4. Derin Karıştırma Yöntemi Yapılacak Zeminin Malzeme Özellikleri

Kuru derin karıştırma; zeminde nem muhtevasının %20-%60 arasında değiştiği, mukavemet artışının 145 psi altında olduğu yumuşak killi zeminlerde yapılabilmektedir. Tipik olarak, kuru karıştırma yönteminde reaktif olarak sadece kireç veya kireç-çimento birlikte kullanılabilir. Kireç-çimento ile iyileştirme yapılmış zeminler, sadece kireçle stabilize edilmiş zeminlerden daha yüksek kayma dayanımına sahip olacaktır. Laboratuvarda hazırlanan örneklerden elde edilen kayma dayanım değerleri azaltılmalıdır. Kayma mukavemeti yaklaşık olarak üçte biri ile yarıya düşürülmeli, ancak 8,4 ksf'den daha büyük olmamalıdır.

Islak derin karıştırma yöntemi; zemin tipi ve kimyasından, su içeriğinden, kullanılan reaktif miktarından, harçtaki su-çimento oranından, karıştırma derecesinden, kür

ortamından, yapım prosesi ve ekipmanlar gibi birçok faktörden etkilenmektedir. İyileştirme yapılmış zeminin yerinde ölçülen mukavemet değeri ile laboratuvarda elde edilen değer her zaman aynı sonuçları vermeyebilir. Bu nedenle laboratuvar test sonuçları, sahada elde edilecek değerler için ancak fikir verici olabilir. Kürlenme işlemi yapıldıkça zemindeki dayanım artacaktır. Karıştırma yapılmış zeminde 6 ay sonra bile dayanım artışı görmek mümkündür. Tablo 1.3'de zemin türlerine göre iyileştirilmiş zeminlerin kayma dayanımları gösterilmiştir (Geotechnical Design Manual, 2013).

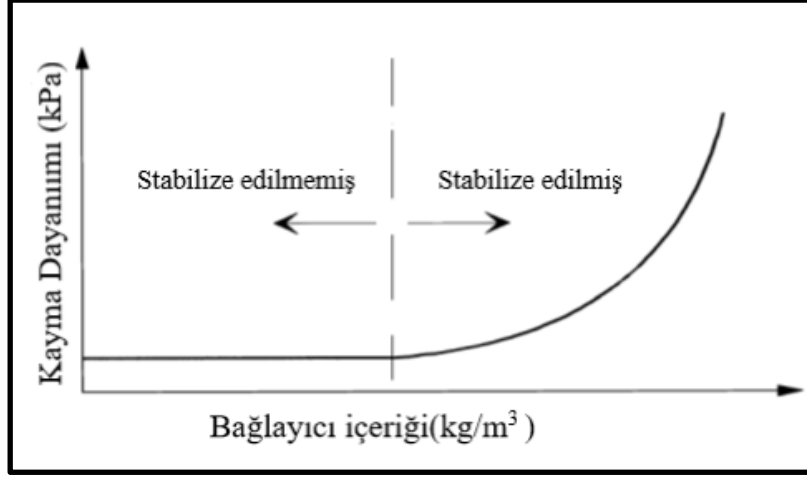
Tablo 1.3. Islak derin karıştırma ile iyileştirilmiş zeminlerin dayanım değerleri

<i>Zemin Türü</i>	<i>Dayanım Değeri (psi)</i>
Organik ve çok plastik killer	175
Yumuşak killer	60-220
Orta / sert kil	100-360
Siltler	145-435
İnce ve orta dereceli kumlar	220-725

1.4.5. Derin Karıştırma Yönteminde Bağlayıcı Tipinin Etkisi

Genel olarak bağlayıcı tipi, eklenen bağlayıcı miktarı, kür süresi, saha koşulları iyileştirme çalışmasını doğrudan etkileyebilir. Benzer koşullara sahip zeminlerde bile, özelliklerinde meydana gelen ufak değişiklikler stabilize edilmiş zeminde büyük farklılıklara neden olabilmektedir. İlk zamanlarda bağlayıcı olarak kireç kullanılmaktaydı. Fakat 1980'lerden itibaren çimento, yüksek dayanım özelliğinden dolayı daha çok tercih edilmektedir.

Yapılacak olan laboratuvar testleri ile stabilize edilmiş zemin örneklerinin sıkıştırılabilirliği, geçirgenliği ve kayma dayanımı değerlendirilerek bağlayıcı tipine karar verilmektedir. Bağlayıcı tipini seçmek için en önemli faktörlerden biri zemindeki organik içeriktir. Turba gibi oldukça organik zeminlerde, bağlayıcı miktarı inorganik zeminlere nazaran daha farklıdır. Bu nedenle bağlayıcı içeriğinin, Şekil 1.24'te gösterildiği gibi belli bir değer eşliğinin üstünde olması gerekmektedir.



Şekil 1.24. Turba zeminlerde bağlayıcı içeriği ve kayma dayanımı arasındaki ilişki (Dehghanbanadaki vd., 2013; EuroSoilStab, 2002)

Kür süresi, sıcaklık ve çevresel değişiklikler, iyileştirilme yapılan zeminin gelişme sürecini etkileyebilir. Sıcaklık, zemin-bağlayıcı madde reaksiyonlarını değiştirebilmekte ve bu oluşan ısıdan etkilenme oranı farklı bağlayıcı tipleri için değişkenlik gösterebilmektedir. Gerekli reaksiyon sıcaklığı bağlayıcı tarafından karşılandığı için yumuşak zeminlerde kireç ve çimento sıcaklıktan daha az etkilenmektedir. Bu nedenle, derin karıştırma yöntemi uygulanan yumuşak zemin stabilizasyonunda, düşük ekzotermik maddelerle, ortam sıcaklığı düşük olduğunda daha az miktarda dayanım kazanılır. Kürlenme süresi dikkate alındığında çimento ile yapılan iyileştirmede hedeflenen dayanıma bir ay sonunda ulaşılabilmektedir. Kireç katkılı iyileştirmede ise puzolanik zemin-kireç reaksiyonlarına bağlı olarak istenilen dayanıma ulaşmak birkaç ay daha devam edebilmektedir (Dehghanbanadaki vd., 2013).

Genel olarak zemin-bağlayıcı reaksiyonları ve hedeflenen dayanım değerleri aşağıda sıralanan faktörlere bağlıdır (Han, 2015; Terashi, 2003):

1-Bağlayıcının sertleşebilme karakteristiği:

- Bağlayıcı tipi,
- Bağlayıcı kalitesi,
- Katkı maddeleri,
- Bağlayıcı miktarı,

2-Zemin özellikleri:

- Fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikler,
- Organik içerik,

- Boşluk suyu pH'ı,
- Su içeriği,

3- Kür koşulları:

- Sıcaklık,
- Kür süresi,
- Nem,
- Islatma-kurutma veya donma-çözülme döngüleri,

4- Karıştırma koşulları:

- Karıştırma bıçağının tipi,
- Karıştırma derecesi,
- Karıştırma ve tekrar karıştırmanın zamanlaması,
- Karışım suyu,

1.4.6. Derin Karıştırma Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Bu yöntem ıslak veya kuru olarak uygulanabildiği için, bu iki durumu ayrı ayrı ifade etmek de fayda vardır.

1.4.6.1. Kuru Derin Karıştırma Yöntemi

Yumuşak killerde kuru derin karıştırma yönteminin bir avantajı, diğer geleneksel yöntemler ile karşılaştırıldığında genellikle ekonomik bir fayda sağlamasıdır. Bu avantajın daha da fazla kullanılabilmesi yapının büyüklüğü, ağırlığı ve fleksibilitesi, sıkıştırılabilir zemin tabakasının derinliği ve kayma dayanımı, yeraltı su seviyesi gibi faktörlere göre değişkenlik göstermektedir.

Kireç veya kireçli çimento kolonları oluşturmak, bir karayolu dolgusu altında, kolonların geçirgenliğini veya rijitliğini artırarak, gereken konsolidasyon süresini azaltabilmektedir.

Kuru derin karıştırma yönteminin bir başka avantajı da, bu yöntem sonucu yapılan iyileştirmede çok az veya neredeyse hiç kazı yığını olmayışı, dolayısıyla da bu maliyetleri de en aza indirmesidir.

Kuru derin karıştırma yöntemlerinin dezavantajlarından biri, yeraltı suyunun pH'ı asidik veya karbondioksit (CO₂) içeriği yüksek olduğunda, oluşturulan kolonların tam mukavemet değerine ulaşamamasıdır. Reaktif olmayan kohezif zeminlerde beklenen seviyede dayanım gösteremeyebilmektedir.

Hava destekli enjeksiyon süresince bitişik zemin yüzeylerinde hava birikmesine neden olmaktadır. Bu problem, karıştırma aletine karıştırma kanatları eklenerek ve karıştırma süresini önemli ölçüde artırarak giderilebilir.

Kolonların ve zeminin istenen kayma dayanımına ulaşması zaman alabilmektedir. Bu nedenle laboratuvar testlerini tamamlamak uzun sürmektedir. Mevcut geliştirilmiş tasarım ve analiz modellerinde eksiklikler vardır. Standart bir kalite kontrol testi yöntemi yoktur, bu da tasarım doğrulamasını zorlaştırır ve objektif bir yorum yapmaktan uzaklaştırmaktadır (Geotechnical Design Manual, 2013).

1.4.6.2. Islak Derin Karıştırma Yöntemi

Islak derin karıştırma, 30 m derinliğe kadar yapılabilir ve yumuşak, plastik killerden orta yoğunlukta kumlara ve taşlı çakıllara kadar çoğu zemin koşullarında kullanılabilir. Bu yöntem öncelikle yumuşak kohezyonlu ve gevşek ile orta-yoğun kohezyonsuz zeminleri iyileştirmek için uygulanabilmektedir. Derin karıştırma işlemi yerinde yapılır, karıştırılan zeminin çıkarılması, nakliyesi gibi ekstra maliyetli süreçleri yoktur. Gürültü ve titreşime duyarlı alanlarda ideal olan bir delme işlemi ile uygulanmaktadır.

Dezavantajları olarak; ekipman ve tesislerinin nispeten daha maliyetli olması, küçük projelerde ekonomik olmaması düşünülebilir. Ayrıca ıslak derin karıştırma yapmadan önce diğer metotlara kıyasla daha kapsamlı bir jeoteknik araştırma yapılması gerekir ve bu test ve araştırmaların tamamlanması zaman alabilmektedir. Yoğun kohezyonsuz zeminler mevcut derin karıştırma ekipmanı tarafından kolayca delinemeyebilir. Herhangi kazı yığını oluşmaması, projenin özelliklerine, kullanılan donanıma ve yöntemlere, nem içeriğine bağlı olarak %30-%100 arasında değişebilir. Bu durum maliyeti de beraberinde getirebilmektedir. Kuru derin karıştırma yönteminde olduğu gibi, dizayn modellerinde eksiklik vardır. Standart bir kalite kontrol testi yöntemi yoktur, bu da tasarım doğrulamasını zorlaştırır ve objektif bir yorum yapmaktan uzaklaştırmaktadır (Geotechnical Design Manual, 2013).

1.4.7. Derin Karıştırma Yöntemi Uygulama Ekipmanları

Zemin çimento karışımı ve diğer ilgili işlemler sırasında güvenli, sürekli ve verimli üretim sağlamak için ekipman doğru seçilmeli ve bakımları yapılmalıdır. Su-çimento oranını, çimento enjeksiyon basıncını ve miktarını, karıştırma hızlarını, karıştırma araçlarının penetrasyon ve geri çekilme oranlarını, zemin-çimento elemanlarının karıştırma ve yerleştirme işlemlerini kontrol edebilecek düzeyde ekipmanlar seçilmelidir.

- Zemin-Bağlayıcı Madde Karıştırma Makinaları: Projelerde gösterilen gerekli derinliklerde karıştırma yapabilen, yeterli boyutta, kapasitede ve torklu makineler kullanılmaktadır.

- Derin Karıştırma Ekipmanları: Tek bir şaftlı derin zemin-çimento karıştırma veya birden fazla burgu içeren çoklu şaft elemanlar kullanılmaktadır. Bu ekipmanlar sayesinde çimento eşit miktarlarda enjekte edilmektedir (Puppala vd., 2008).

Ekipman tasarımı ve özellikleri farklı ülkelerde farklı özelliklerde tasarlanabilmektedir.

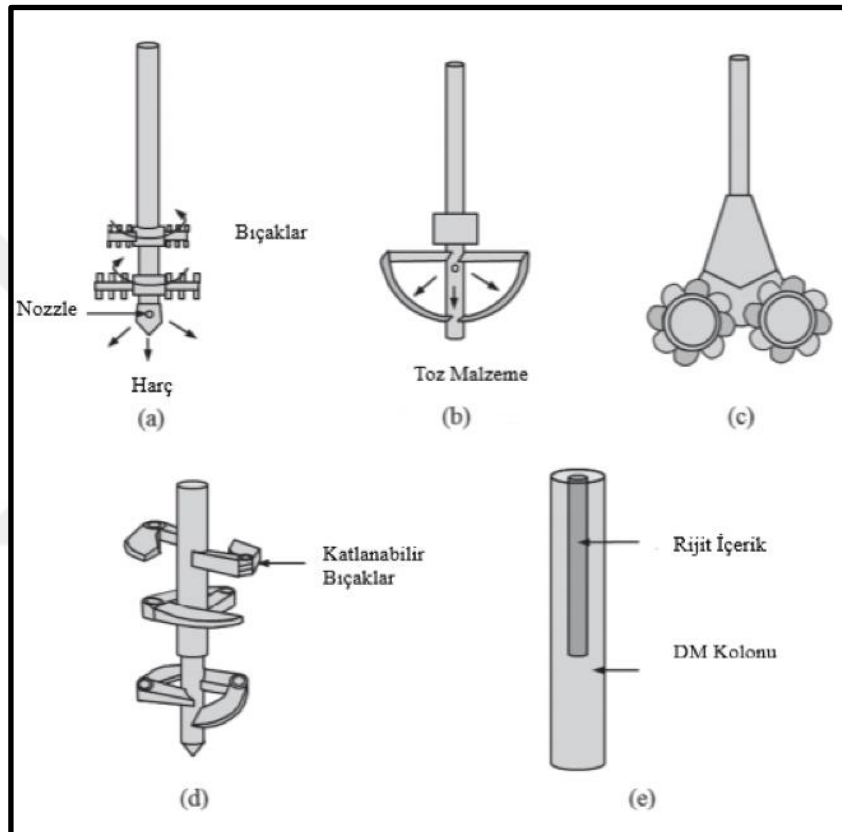
- Islak Derin Karıştırma Yöntemi Ekipmanları: Yöntem burgular ağırlıklı olarak granüler zeminlerde yeterli olabilirken, zeminde incelik ve rijitliğin artması ile farklı şekillerde karıştırma ve kesme bıçakları da kullanmak gerekebilmektedir. Harç ile zemin arasında homojen karışım elde etmek için şaftı döndüren sistemin, zemin yapısını parçalamaya yetecek güce sahip olması gerekmektedir. Bazı yöntemlerde 400-750 mm arasında değişen, dikey olarak takılıp, geri çekilebilen üç adet burgu kullanılır. Bu burgular ayrı ayrı saat veya saat yönünün tersine döndürülebilir. Ekipmanlar bilgisayar kontrollüdür ve yürütülen işlemleri belgelemek ve doğrulamak amacıyla çeşitli parametreler böylelikle kaydedilmiş olunur (Massarsch ve Topolnicki, 2005).

- Kuru Derin Karıştırma Ekipmanları: Geleneksel kireç, çimento-kolon ekipmanı veya amaca uygun makinelerle yapılabilir. Yanal olarak çakışan kolonlar, bir veya daha fazla döner karıştırma aracının yukarı ve aşağı hareketleri ile oluşturulur. Bu yöntem, örneğin ABD'de uygulandığı gibi büyük çaplı karıştırma burguları veya çoklu şaft düzenlemeleri kullanıldığında ekonomik olarak da maliyeti azdır. Karıştırma aletleri dikey veya yatay bir eksen etrafında dönebilen bıçaklarla donatılmış karıştırma araçlarının olduğu farklı şekillere sahip olabilirler. Bazı karıştırma aletinin çapı normalde 600-800 mm aralığında ve dönüş hızı 80 ila 100 rpm arasında olabilmektedir. Karıştırma makinesinin ve

karıştırma aletinin sahaya özgü koşulları ve ekipmanın kendine özgü performansı dikkate alınarak stabilizasyon gerçekleştirilmelidir (Massarsch ve Topolnicki, 2005).

Şekil 1.25'te çeşitli derin karıştırma teknik ekipmanları gösterilmiştir (Han, 2015). Sırasıyla a) Islak Yöntem, b) Kuru Yöntem, c) Kesici Zemin Karıştırma, d) T-formunda Derin Karıştırma, e) Rijit Derin Karıştırma Kolonu, olarak verilmiştir.

Şekil 1.26 ve 1.27'de de kullanılan ekipmanlara örnekler gösterilmiştir.



Şekil 1.25. Derin karıştırma teknikleri



Şekil 1.26. Derin karıştırma ekipmanları (Massarsch ve Topolnicki, 2005)



Şekil 1.27. Derin karıştırma ekipmanları (Massarsch ve Topolnicki, 2005)

1.4.8. Derin Karıştırma Metodu Uygulama Alanları

Dünyanın çeşitli bölgelerinde ıslak ve kuru karışım endüstrilerinin büyüklükleri karşılaştırıldığında, uygulama durumunun ve teknolojisinin benimsenmiş olduğu ortaya çıkmaktadır. Aşağıdaki istatistikler İsveç, ABD ve Japonya'daki derin karıştırma pazarlarının büyüklüğünün bir göstergesidir (Druus ve Yang, 2005).

Kuru derin karıştırma:

Japonya : 1980 - 2004, 26,243,000 m³

Amerika : 1996 - 2005, < 500,000 m³

İsveç : yıllık hacmi, 587,000 m³

Islak derin karıştırma:

Japonya : 2004'e kadar toplam miktar, 55,000,000 m³

Amerika : 2004'e kadar, < 3,500,000 m³

Zemin iyileştirme yöntemi olarak birçok metot kullanılmaktadır. Bunlardan biri olan derin karıştırma metodu her zaman ve her koşulda uygun çözüm yöntemi olarak alınması gerekir şeklinde bir kaide yoktur. Yöntem seçimini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Her bir yöntemi diğerlerinden üstün kılan özellikleri vardır. Derin karıştırma yönteminin etkili olduğu durumlar aşağıda sıralanmıştır. Bunlar:

- Çok sert, çok yoğun veya kaya tarzı oluşumların olmadığı zemin türlerinde,
- İşlem derinliklerinin 40 m'den az olduğu yerlerde,
- Gerekli bağlayıcı tedarikinin sağlanabileceği yerlerde,
- Nispeten titreşimsiz bir teknolojinin gerekli olduğu yerlerde,
- Kazı yığınının çok fazla oluşmayacağı yerlerde,
- İyileştirilecek zemin hacminin büyük olduğu yerlerde, uygulanabilmektedir.

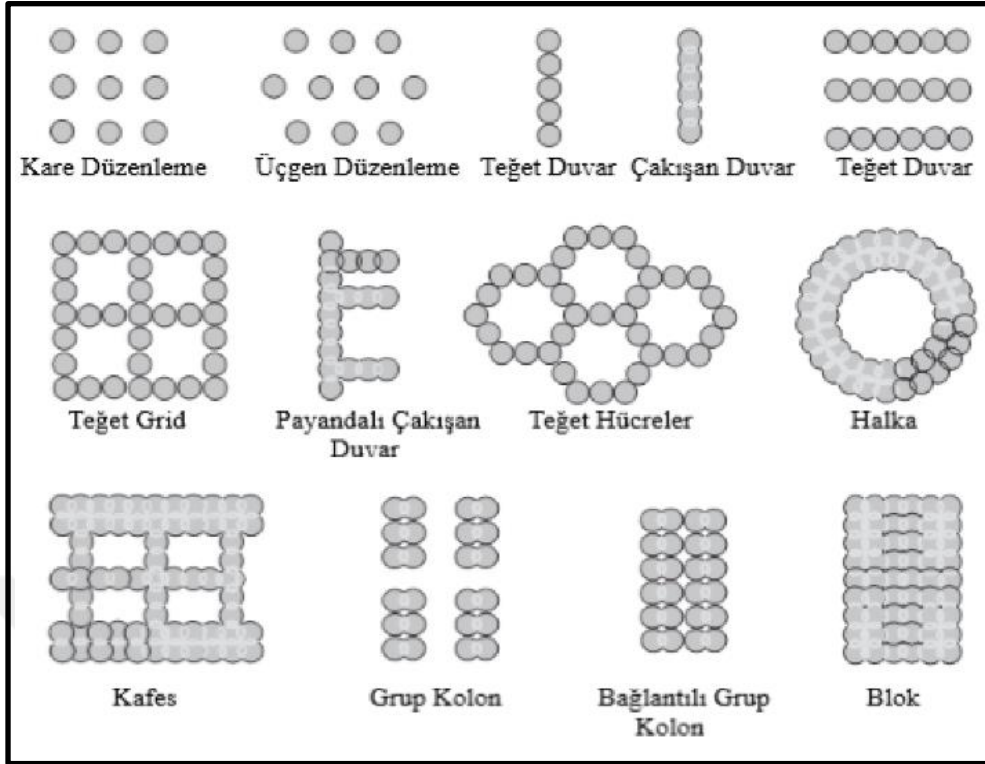
İyileştirme yapılan zeminlerde farklı tiplerde teknikler kullanılabilir. Bunlar:

1-Tekil elemanlar,

2-Çakışan eleman dizleri (duvar ve paneller),

3-Gridler ve kafesler,

4-Bloklar, biçiminde derin karıştırma elemanları oluşturulmak sureti ile stabilizasyon yapılabilir. Şekil 1.28'de örnek teşkil edebilecek formlar sunulmuştur.

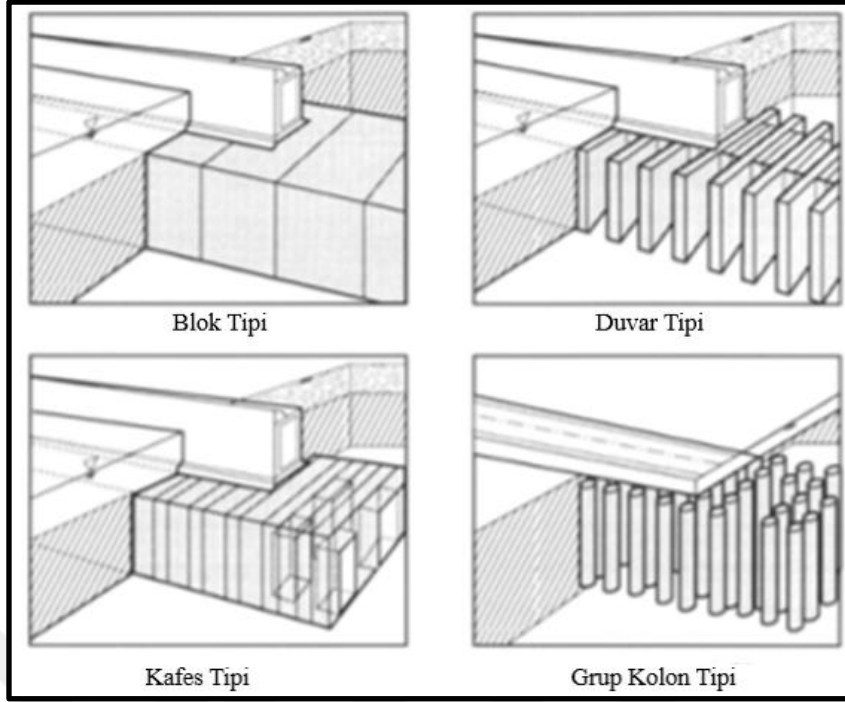


Şekil 1.28. Derin karıştırma örnekleri (Nik vd., 2013)

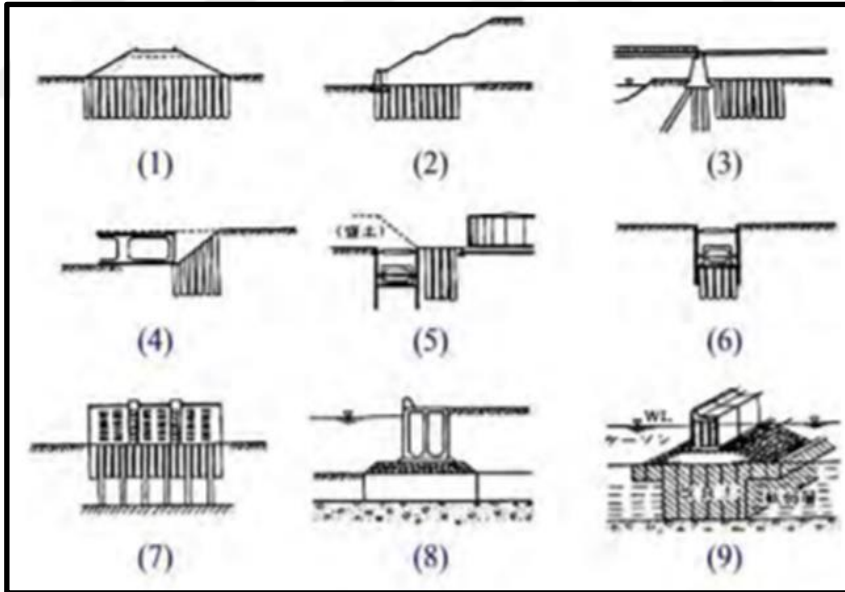
Seçilen geometri, yapılacak derin karıştırma uygulamasının amacına göre belirlenir ve kullanılan özel yöntemin mekanik özelliklerini yansıtacak biçimde olmalıdır. Derin karıştırma yönteminin uygulama alanlarını ve uygulamanın yapıldığı ülkeleri genel hatlarıyla şu şekilde sıralamak mümkündür:

- 1- Hydraulic cut-off duvarları (Japonya, ABD)
- 2- Kazı destek duvarları (Japonya, Çin, ABD)
- 3- Zemin iyileştirme (Japonya, Çin, ABD)
- 4- Sıvılaşma kontrolü (Japonya, ABD)
- 5- Yerinde güçlendirme, kazık ve ağırlık duvarları (İsveç, Finlandiya, Fransa)
- 6- Çevresel iyileştirme (ABD, İngiltere)

Şekil 1.29'da derin karıştırma kolon yapım tiplerine örnekler ve 1.30'da da yöntemin geoteknik bakımdan uygulama alanları verilmiştir.



Şekil 1.29. Derin karıştırma kolon tipi örnekleri (Terashi, 2005)



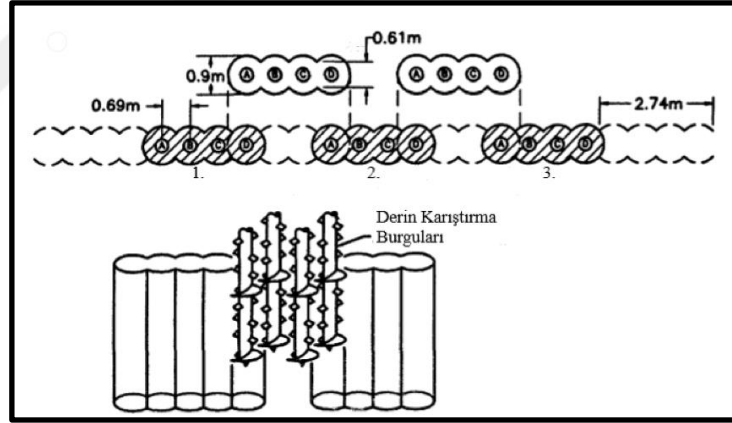
Şekil 1.30. Derin karıştırma yönteminin geoteknik uygulama alanları

- 1) Yol dolgusu: Stabilite / oturma
- 2) Büyük dolgu: Stabilite
- 3) Köprü ayağı: Düzensiz oturma
- 4) Kazı şevleri: Stabilite

- 5) Civardaki yapıların etkisinin azaltılması
- 6) Kazı güçlendirmesi: Basınç / kabarma
- 7) Kazıklı temeller: Yanal destek
- 8) Kıyı setleri: Taşıma kapasitesi
- 9) Dalgakıran: Taşıma kapasitesi (Terashi, 2005)

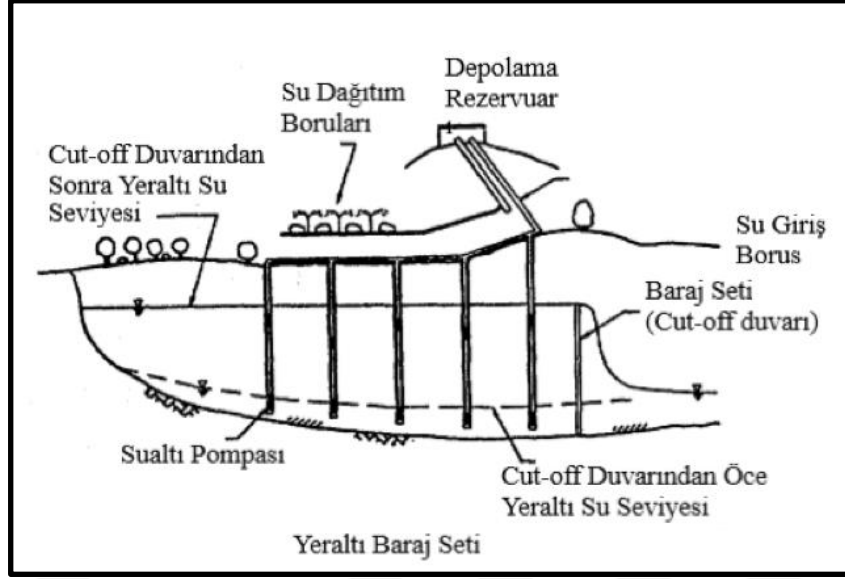
1.4.8.1. Hydraulic Cut-Off Duvarları

Sızıntının akışını kesme amacı ile çakışan kolonlar ya da bitişik kolonlardan meydana gelmiş paneller kullanılarak oluşturulur (Şekil 1.31). Kolonlar / paneller tipik olarak geçirgen tabakalar vasıtasıyla genellikle ana kayanın en üst seviyesine yerleştirilir. İyileştirme yapılan zeminler, yüksek geçirgenlikteki kaba tortular veya ince ve kaba taneli zeminlerin iç içe geçmiş tabakalarıdır.

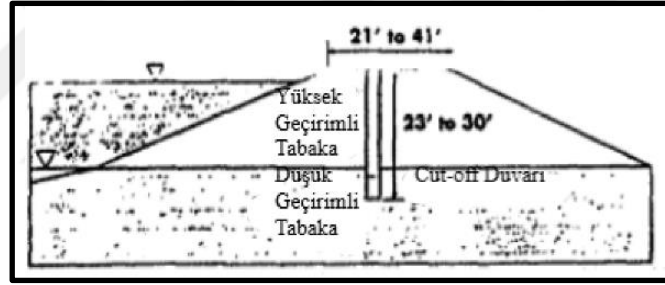


Şekil 1.31. Hydraulic cut-off duvarları oluşum düzeni (Bruce, 2000; Bahner ve Naguib, 1998)

Bu uygulamalara örnek olarak Japonya’ da boşluklu tabakalarda veya kireçtaşı içeren zeminlerde yeraltı baraj seti oluşturmak amacı ile bu yöntemden yararlanılmışlardır (Şekil 1.32). Baraj seti, sulama amacıyla yeraltı rezervuarları oluşturmak ve kıyı bölgelerinde tatlı su kaynaklarına tuzlu suyun karışmasını önlenmek için kullanılmaktadır. Ayrıca Amerika Sacramento’ da kirlilikten korunma maksadıyla da uygulanmıştır (Şekil 1.33)



Şekil 1.32. Cut-off duvarı ile yeraltı baraj seti uygulaması (Bruce, 2000; Yang, 1997)



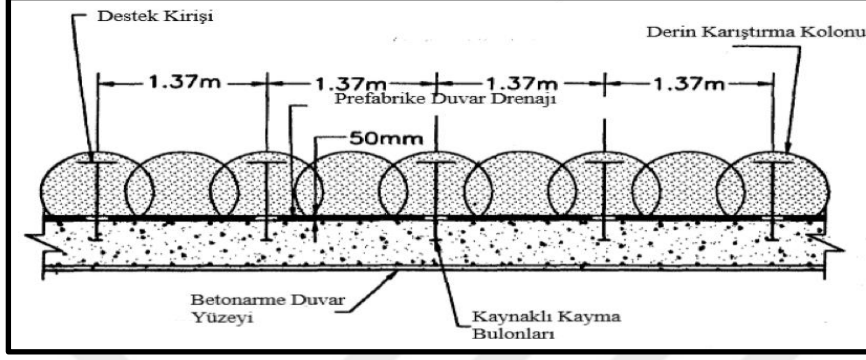
Şekil 1.33. Sacramento'da cut-off duvarı uygulaması (Bruce, 2000; Yang, 1997)

1.4.8.2. Kazı Destek Duvarları

Kazı destek duvarları cut-off duvarlarına benzer yönleri olmakla birlikte, zemin materyalinin mukavemetini ve dayanıklılığını artırma gibi mühendislik özelliklerini de geliştirmekle görevlidirler. Oluşturulan bu duvarlar kazı desteği elemanı olarak ve su kontrol çalışmalarında kullanılmaktadır.

Amerika Milwaukee Lake Parkway projesinde, derin karıştırma kolunu olarak kalıcı ankrajlı duvar elemanlar kullanılmıştır (Şekil 1.34). Shanghai Sunlight Park Hotel'de, mevcut yapılara bitişik 94 x 63 x 6,75 m'lik yumuşak dolgu ve killi zeminde yapılan kazıda; iki tarafta, duvarın toplam genişliği 3,2 m dört sıra derin karıştırma kolunu ve diğer

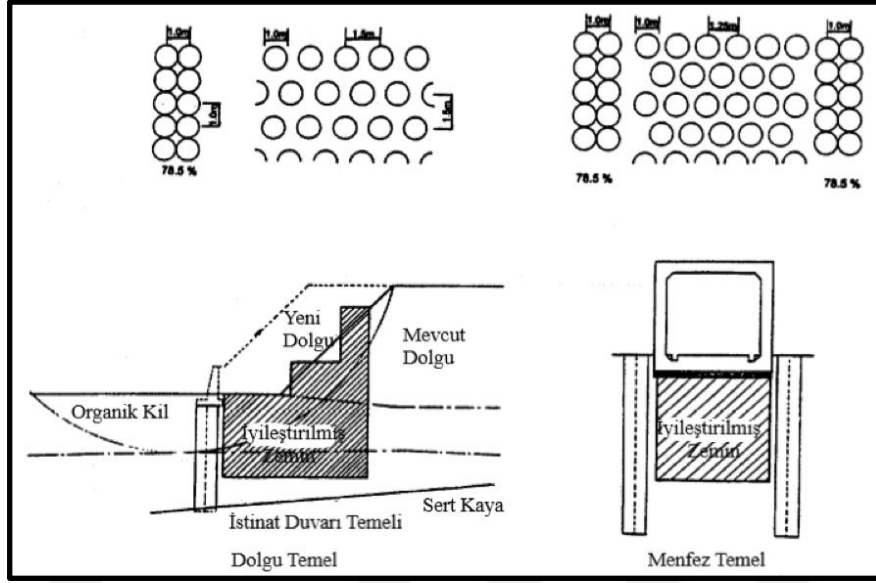
iki tarafta da genişliğin 4,7 m olduğu beş sıra derin karıştırma kolonu oluşturulmuştur. Duvarlar en az 10 m derinliğinde inşa edilmiş ve orta sıra, hidrolik cut-off duvarı görevi görmesi için 3 m daha derine uygulanmıştır.



Şekil 1.34. Derin karıştırma kolonları plan görünüşü, Lake Parkway (Bruce, 2000; Babner and Naguib, 1998)

1.4.8.3. Zemin İyileştirme Uygulamaları

Zeminlerde yapılan ön iyileştirmeler ile dayanım artarken doğal zeminin de sıkışabilirliği azalmaktadır. Böylelikle stabilitede artış elde edilir. İnşa sırasında yüzeyde ve yeraltında oluşan hareketlenmeler de kontrol altına alınmış olmaktadır. Tokyo ve Nagoya'yı birbirine bağlayan Tomei Freeway için iyileştirme yöntemi olarak derin karıştırma kolonu uygulanmıştır. Yeni bir yol dolgu çalışması, menfezi veya istinat duvarlarının temeli olarak kullanılmak üzere toplam 50.000 m³'den fazla organik kil, turba ve dolgu malzemesi iyileştirme işlemine tabii tutulmuştur (Şekil 1.35). Yapılan uygulamada zemin ve yapı özelliklerine göre farklı çimento içreikleri ve kazık aralıkları seçilmiştir.

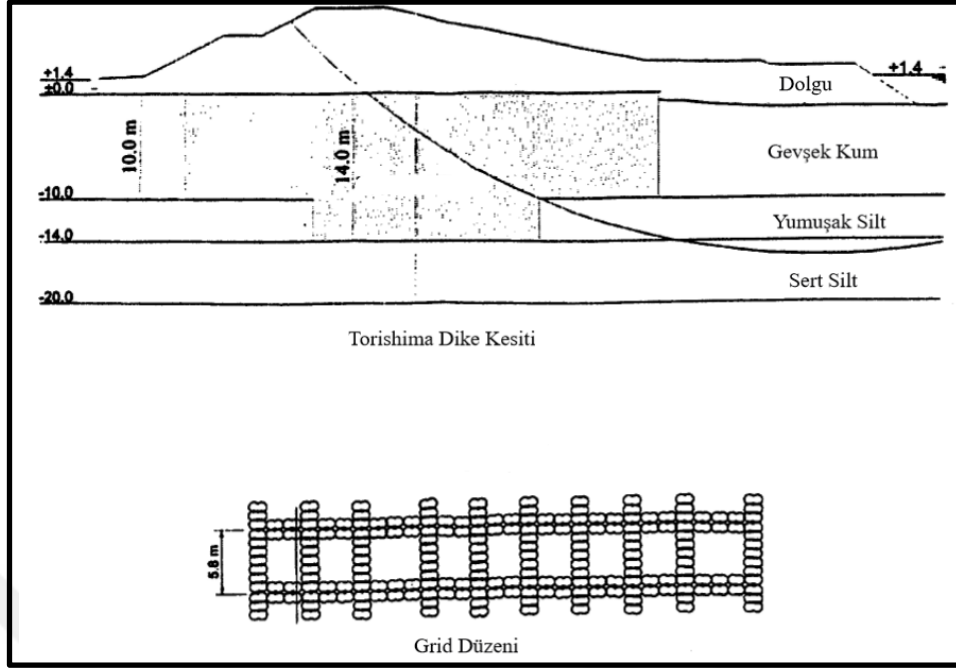


Şekil 1.35. Zemin iyileştirme uygulamaları, Tomei Freeway, Japony (Bruce, 2000; Yang vd., 1998)

1.4.8.4. Sıvılaştırma Kontrol Uygulamaları

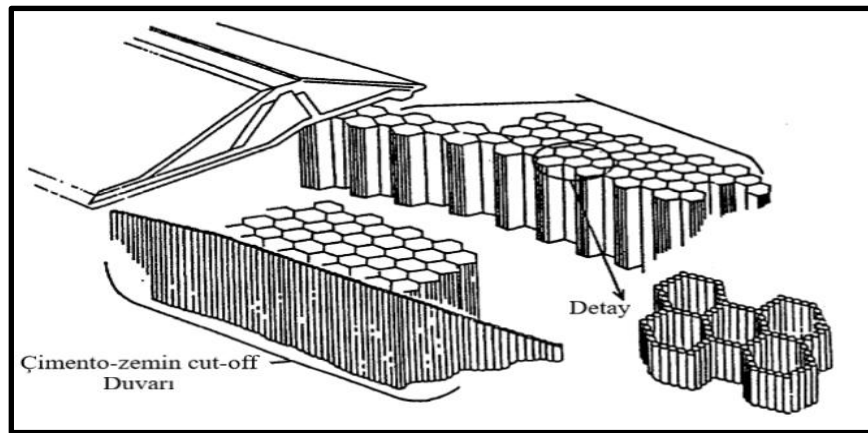
Sıvılaştırmanın azaltılması için yapılan uygulamalar, sıvılaştırmanın önlenmesi, sıvılaştırılabilir zeminin güçlendirilmesi ve boşluk suyu basıncının azaltılmasını kapsamaktadır. Sıvılaştırılabilir zeminlerin güçlendirilmesi blok, duvar veya kafes kolon desenleriyle sağlanabilir. Derin karıştırma kolonu kullanılarak sıvılaştırmanın önlenmesi, daha geleneksel diğer yöntemlerin derinlik açısından veya ekonomik nedenlerden dolayı uygun olmadığı durumlarda uygulanmaktadır. Oluşturulan duvarlar öncelikle mevcut yapı altındaki kohezyonsuz zeminleri güçlendirmek için kullanılmaktadır. Bu duvar yapının altında kuru veya sıvılaştırılmaz bir bölge sağlamak için kalıcı olarak bırakılmaktadır. Kobe depreminden sonra Torishima Dike'in yeniden inşası, tekniğin uygulanmasının örneklerindedir (Şekil 1.36). Burada derin karıştırma tekniğinin seçilmesinin nedenleri:

- Kaymadan kaynaklı yer değiştirmelerin ve boşluk suyu basıncının azaltılması,
- Sıvılaştırma oluşması halinde lokal sıvılaştırma bölgelerinin oluşma ihtimalinin olması,
- Temel güçlendirilmesi ve şev stabilitesi problemlerinin önlenmesi amacıyla, yöntemden yararlanılmıştır.



Şekil 1.36. Derin karıştırma yöntemi ile Torishima Dike'in yeniden inşası (Bruce, 2000; Yang vd., 1998)

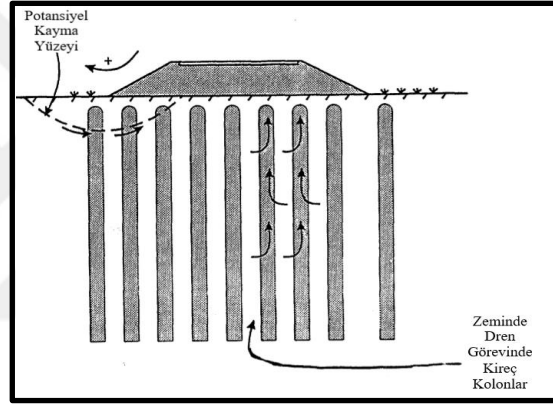
Bir grid veya kafes modelinin kullanımı, muamele edilen alanı bütünlük içinde tutmasından dolayı artan yükler altında tüm çimentolanmış zeminin basınç dayanımı bu kuvvete karşı koymuş olmaktadır. Amerika'da Jackson Lake Baraj'ında yapılan çalışmada (Şekil 1.37), hüresel oluşturulan duvarlar kayma gerilmelerini absorbe eder, yanıl hareketlenme genliğini düşürür ve boşluk suyu basıncını azaltırlar. Oluşturulan kolonların basınç dayanımı oturmaya da minimum seviyede tutmaktadır.



Şekil 1.37. Sıvılaşma ve sızıntıyı önlemek için cut-off duvarı uygulaması

1.4.8.5. Yerinde Güçlendirme Uygulamaları ve Kazıklar

Genellikle yakın aralıklı tekil kolonlar, duvarlar veya kafesler (yüksek yanal yükler için) şeklindeki derin karıştırma yapıları İskandinav ülkelerinde, Japonya ve Fransa'da yerinde iyileştirme yöntemi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Başlıca uygulamalar dolguların altındaki oturmaları azaltmak, şev stabilitesini artırmak, hafif binaları ve köprüleri desteklemek olmaktadır. Amerika Salt Lake City'de iyileştirme yapılmadan kil zeminde 1 m'den fazla oturma beklenmekteydi. Burada da derin karıştırma yöntemi kullanılmış ve yapılan çalışmalarda drenaj özelliğinden de yararlanılarak güçlendirme yapılmıştır (Şekil 1.38).



Şekil 1.38. Yerinde takviye olarak kullanılan kireç kolonları (Bruce, 2000; Stabilator, 1992)

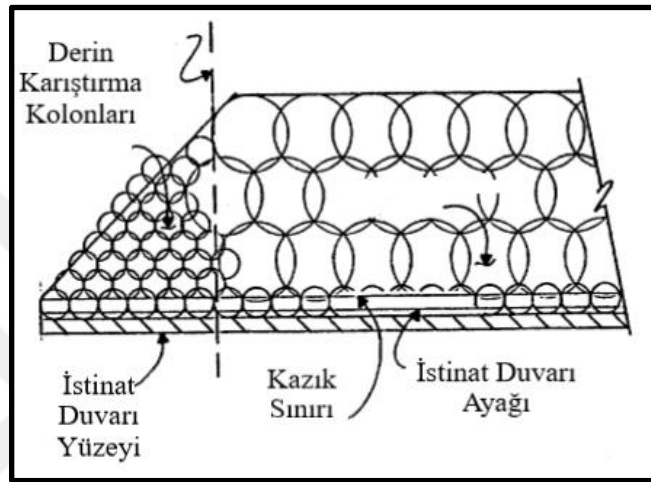
1.4.8.6. Çevresel İyileştirme Uygulamaları

Metaller, yarı uçucu organik bileşikler ve düşük seviyeli radyoaktif maddeler içeren zemin ve tortuların sızabilirliğini azaltmak için çeşitli reaktiflerle karışımlar tasarlanmaktadır. Uygun ekipman ve prosedürlerin seçilmesiyle, reaktifler derinlemesine enjekte edilebilir, mevcut zeminler veya tortularla verimli ve güvenilir bir şekilde karıştırılabilmektedir.

1992 - 1994 yılları arasında Kaliforniya'nın San Francisco Körfezi bölgesindeki bir yerde iki aşamalı, tam ölçekli bir yerinde stabilizasyon programı uygulandı. Zemin, ince taneli alüvyon yataklarından ve Körfez çamurlarından oluşmaktaydı. Zemini maksimum 8 m derinliğe kadar işlem den geçirmek için iki reaktif kullanılmıştır. Reaktifleri sırayla ve

üniform bir şekilde tüm derinliklerde zemine dağıtmak için üçlü-karıştırma ekipmanı kullanıldı. 500 - 5000 mg / kg arsenik içerikli toplam 10.800 m³ zemin hacmi iyileştirilmiştir.

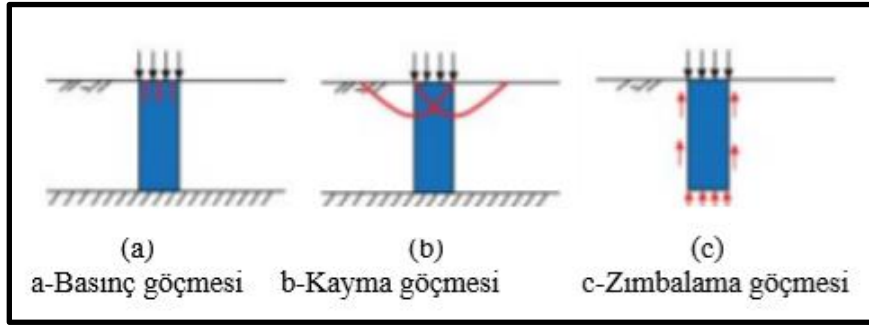
Pittsburgh'da, bir karayolu boyunca 53 m uzanan, hidrokarbon içeren bir zemin bloğunun stabilizasyonu için 1.8 m x 2.0 m'lik bir grid sistemde üç sıra 2.4 m çapında kolonlar yerleştirilmiştir (Şekil 1.39) (Bruce, 2000).



Şekil 1.39. Derin karıştırma kolonları yerleşimi (Bruce, 2000; Walker, 1992)

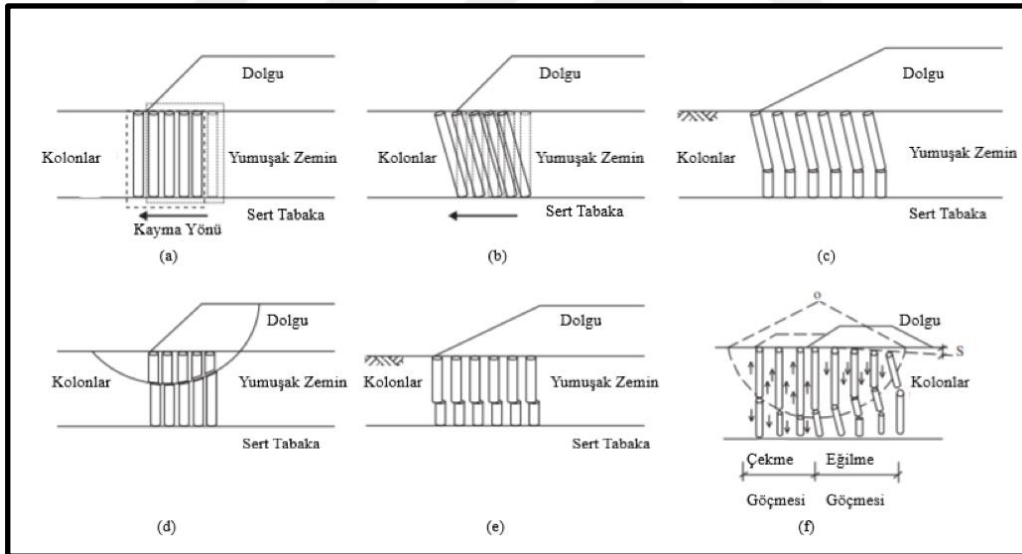
1.4.9. Derin Karıştırma Kolonlarında Oluşabilecek Göçme Modları

Derin karıştırma kolonları iyileştirme yapılacak bölgeye, tekil kolonlar, bloklar, duvarlar veya ızgara formunda yapılar olarak konumlandırılmaktadır. Uygulanan yük, kolon kapasite dayanımını aştığında göçme durumları ortaya çıkabilmektedir. Tekil kolonlar düşey basınç yüküne maruz kaldığında, gevrek davranış sergileyebilecekleri için Şekil 1.40'da gösterildiği gibi basınç, kesme ve zımbalama göçmesine maruz kalabilmektedirler. Zımbalama göçme durumu daha çok kısa derin karıştırma kolonlarında görülmektedir. Kayma göçmesi ise, düşük bağlayıcı içeriğine sahip kolonlarda ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1.40. Düşey yük etkisinde farklı göçme modları (Han, 2015)

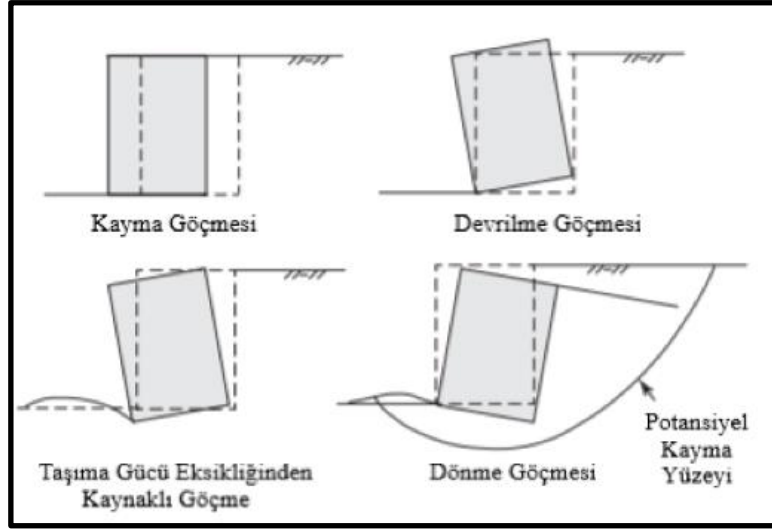
Kolonlar düşey ve yatay yüklerin kombinasyonu olan dolgu yükleri altındayken Şekil 1.41’de gösterildiği biçimde göçme modları oluşabilmektedir. Kolonun göçme modu, dayanımına, rijitliğine, uzunluk ve çapına, konum ve aralığına, uç taşıma koşullarına, yumuşak zeminin dayanım ve rijitliğine, dolgunun ağırlık ve eğim açısına bağlıdır. Belirli koşullar altında çekme ve eğilmenin kombinasyonu olan göçme modları da vardır.



Şekil 1.41. Dolgu altında oluşabilecek göçme modları (Han, 2015)

Şekil 1.41’de; a)Kayma, b) Çökme (dönme etkisiyle), c)Eğilme, d)Dairesel kayma, e)Yatay kayma, f)Eğilme ve çekme göçme kombinasyonunu ifade etmektedir.

Derin karıştırma kolonları blok, duvar veya grid sistemine göre oluşturulduğunda, birlikte rijit ağırlık duvarı olarak etki ederler. Bu durumda ağırlık duvarında olduğu gibi göçme modları oluşmaktadır. Bunlar da Şekil 1.42’de gösterilmiştir (Han, 2015) .



Şekil 1.42. Ağırılık duvarı göçme modları (Han, 2015)

1.4.10. Derin Karıştırma Yöntemi Sonrası Zemin Özellikleri

Zeminler iyileştirildikten sonra mekanik ve yapısal özelliklerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Güçlendirilmiş zemin parametreleri doğal zemin parametrelerine göre daha olumlu sonuçlar vermektedir. Tablo 1.4 ve Tablo 1.5’de kuru ve ıslak yönteme göre stabilize edilmiş zeminlerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.4. Kuru metoda göre iyileştirilmiş zemin parametreleri (Han, 2015)

Özellik	Değerler
Drenajsız Kayma Dayanımı	$(10-50)c_u$ zemin (0.15-1.0 MPa)
Permeabilite (kireç-çimento) Permeabilite (kireç)	Yerinde bulunan zemin ile aynı değer $(10-100)x$ yerinde bulunan zemin permeabilitesi
Elastisite Modülü	$(50-200)c_u$ (kireç-çimento kolonu) $(50-200)q_u$ (çimento kolonu)
Kırılma Deformasyonu	< %2

Tablo 1.5. Islak metoda göre iyileştirilmiş zemin parametreleri (Han, 2015)

Özellik	Değerler
Serbest Basınç Dayanımı, q_u	1.2 MPa (Organik ve çok plastik killer) 0.4-1.5 MPa (Yumuşak killer) 0.7-2.5 MPa (Orta-sert killer) 1.0-3.0 MPa (Siltler) 1.5–5.0 MPa (İnce-orta dereceli kumlar)
Permeabilite Katsayısı, k_c	10^{-6} - 10^{-9} m/s
Elastisite Modülü, E_{50}	(50-1000) q_u (Laboratuvar-Japonya) (50-150) q_u (Laboratuvar-Amerika) (100-300) q_u (Genel değişim aralığı)
Çekme Mukavemeti	(%8-%15) q_u
Poisson Oranı	0.20-0.45 (Genellikle 0.26)

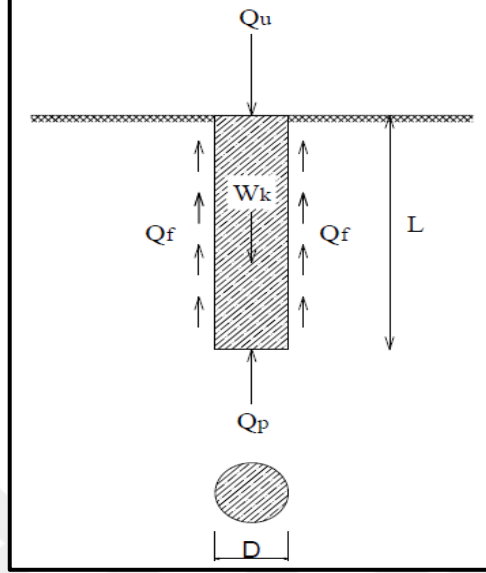
1.4.11. Geleneksel Yöntem ile Derin Karıştırma Kolonu Hesabı

Zemin etüt raporundan alınan deney sonuçları ışığında çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen amprik formüller ve bazı kabuller yapılarak derin karıştırma kolonu taşıma gücü, derin karıştırma kolonu ile iyileştirilmiş zeminin taşıma gücü ve oturma hesaplarını yapmak mümkündür.

1.4.11.1. Derin Karıştırma Kolonu Taşıma Gücü Hesabı

Derin karıştırma kolunu mühendislik hesaplarında kazık elaman olarak tasarlanmaktadır. Derin karıştırma kolonlarında taşıma gücünü kazık zemin etkileşimi açısından belirleyen en önemli etken kazığı çevreleyen zeminin mekanik özellik parametresidir. Taşıma gücü statik formüller ve kazık yükleme deneylerine göre belirlenebilir. Hesaplalarda teorik ve amprik formüller kullanılıp belli kabuller yapılmaktadır. Taşıma gücü hesabında statik denge esastır. Kazığın taşıma gücünde zemin ile olan etkileşimindeki çevre sürtünmesi ve kazık ucunda oluşan direnç etkilidir.

Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlere göre hesaplar farklılık göstermektedir. Derin karıştırma kolonuna ait taşıma gücü yük bileşenleri Şekil 1.43'te gösterilmiştir.



Şekil 1.43. Derin karıştırma kolonu taşıma gücü yük bileşenleri

Taşıma gücü Denklem 1.1 bağıntısı ile hesaplanabilir.

$$Q_u = Q_p + Q_f - W_k \quad (1.1)$$

Burada;

Q_p : Derin karıştırma kolonu uç taşıma gücü

Q_f : Derin karıştırma kolonu çevre sürtünmesi taşıma gücü

W_k : Derin karıştırma kolonu ağırlığı

Q_u : Derin karıştırma kolonu nihai taşıma gücünü ifade etmektedir.

1.4.11.1.1. Derin Karıştırma Kolonu Uç Taşıma Gücü Hesabı

Kazıkların uç taşıma gücü hesap tasarımında uygulanan yükü sağlam zemin tabakasından aldığı direnç ile karşılamaktadır. Derin karıştırma kolonlarında uç taşıma

gücü hesabı Terzaghi taşıma gücü (Denklem 1.2) formülüne göre belirlenebilmektedir. Denklem 1.3 ifadesi derin karıştırma kolonunun uç alanını ifade etmektedir.

$$Q_p = A_p (cN_c + \gamma L N_q + \gamma d N_\gamma) - W_k \quad (1.2)$$

$$A_p = \frac{\pi d^2}{4} \quad (1.3)$$

Bu denklemde;

Q_p : Derin karıştırma kolonu uç taşıma gücünü

A_p : Derin karıştırma kolonu uç alanını

c : Derin karıştırma kolonu uç bölgesi kohezyonunu

γ : Zemin efektif birim hacim ağırlığını

L : Derin karıştırma kolonu zemin içerisindeki kalan toplam boyunu

d : Derin karıştırma kolonu çapını

W_k : Derin karıştırma kolonu ağırlığını

N_c, N_q, N_γ : Taşıma gücü katsayılarını ifade etmektedir.

Derin karıştırma kolonu uç direncinden kolon ağırlığı (Denklem 1.4) çıkarılması ile Denklem 1.5 elde edilir.

$$W_k = A_p L \gamma \quad (1.4)$$

$$Q_p = A_p (cN_c + \gamma L (N_q - 1) + \gamma d N_\gamma) \quad (1.5)$$

Denklem 1.5'te yer alan $\gamma d N_\gamma$ ifadesi kazık çapının derinliğine oranı çok küçük bir değer olduğundan dolayı ihmal edilebilir. Denklem 1.6'da yer alan γL ifadesi kazık ucundaki düşey efektif gerilmeyi ifade etmektedir. Dolayısı ile derin karıştırma kolonu uç taşıma gücü denklem 1.7'de verilen eşitliğe göre hesaplanabilir.

$$\sigma'_{vi} = \gamma L \quad (1.6)$$

$$Q_p = A_p (cN_c + \sigma'_{vi} (N_q - 1)) \quad (1.7)$$

Kohezyonsuz yani granüler zeminlerde ($c = 0$) kazığın uç bölgesindeki taşıma gücü Denklem 1.8'e göre hesaplanabilir.

$$Q_p = A_p \sigma'_{vi} (N_q - 1) \quad (1.8)$$

N_q taşıma gücüne ait katsayılar Tablo 1.6'dan seçilebilmektedir. Derin karıştırma kolonu fore kazığa benzediğinden fore kazığa ait taşıma gücü katsayısını kullanmak uygun olmaktadır.

Tablo 1.6. Taşıma gücü katsayıları (DLH, 2007)

ϕ (derece)	26	28	30	31	33	34	35	36	38	40
N_q (Çakma kazık)	10	15	21	24	35	42	50	62	86	45
N_q (Fore kazık)	5	8	10	12	17	21	25	30	43	72

Kumlu zeminlerde efektif içsel sürtünme açısı SPT darbe sayıları ile zemin cinsine bağlı olarak bazı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olan amprik formüllerle Tablo 1.7'ye göre hesaplanabilmektedir.

Tablo 1.7. SPT ve efektif içsel sürtünme açısı arasındaki bağlantılar (McGregor ve Duncan, 1998)

Zemin cinsi	ϕ (Derece)	Referans
Köşeli ve iyi boylanmış zemin daneleri	$\phi' = \sqrt{12N_{60}} + 25$	Dunham (1954)
Yuvarlak ve iyi boylanmış veya köşeli ve üniform boylanmış zemin daneleri	$\phi' = \sqrt{12N_{60}} + 20$	Dunham (1954)
Yuvarlak ve üniform derecelenmiş zemin daneleri	$\phi' = \sqrt{12N_{60}} + 15$	Dunham (1954)
Kumlu ve kumlu ince çakıllı zemin	$\phi' = 28 + (N_{60} / 4)$	Peck ve Diğerleri (1957)
Kumlu Zemin	$\phi' = \sqrt{20N_{60}} + 15$	Ohsaki ve diğerleri (1959)
Kaba taneli zemin	$\phi' = 20 + 3,5\sqrt{N_{60}}$	Muromachi ve diğerleri (1974)
Kumlu zemin	$\phi' = \sqrt{15N_{60}} + 15 \leq 45$ ($N > 5$)	Japan Road Association (1990)
Kumlu zemin	$\phi' = \sqrt{20N_{1,60}} + 20$	Hatanaka ve Uchida (1996)

Suya doymun kohezyonlu zeminlerde ($\phi' = 0$) kazığın uç bölgesindeki taşıma gücü Denklem 1.9'a göre hesaplanmaktadır.

$$Q_p = A_p c N_c \quad (1.9)$$

Burada N_c taşıma gücü katsayısı içsel sürtünme açısı, kazık şekline ve derinliğine göre değişmektedir. Kazık boyunun çapına oranı (L/d) genellikle 3'ten büyük olduğu için Skempton (1951) tarafından daire temellerin taşıma gücü ifadesindeki N_c değerini 9 olarak önermiştir. Dolayısıyla bu değer yerine yazılarak Denklem 1.10 ifadesi elde edilir (Birand, 2007).

$$Q_p = 9c_u A_p \quad (1.10)$$

Denklem 1.10'da yer alan ifadede c_u ifadesi drenajsız kayma mukavemetini ifade etmektedir. Drenajsız kayma mukavemeti zemin etüdü sırasında alınan numunelerden

laboratuvarında yapılan üç eksenli basınç deneyinden, numuneye ait plastisite indisi parametresinden veya sondaj sırasında yapılan SPT darbe sayılarından belirlenebilmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafında geliştirilen drenajsız kayma mukavemetine ait amprik formüller Tablo 1.8’de verilmiştir.

Tablo 1.8. SPT ve drenajsız kayma mukavemeti ilişkisi (Sivrikaya ve Toğrul. 2007)

Araştırmacılar	Zeminin Cinsi	c_u (kPa)
Sanglerat (1972)	Killer	$12,5N$
	Siltli killer	$10N$
Terzaghi & Peck (1967)	İnce taneli zeminler	$6,25N$
Sowers (1979)	Yüksek plastisiteli killer	$12,5N$
	Orta plastisiteli killer	$7,5N$
	Düşük plastisiteli killer	$3,75N$
Sivrikaya & Toğrul (2002)	Yüksek plastisiteli killer (CH) $n = 113$	$4,85 N_a$ $r = 0,83$
		$6,82 N_{60}$ $r = 0,80$
	Düşük plastisiteli killer (CL) $n = 72$	$3,35 N_a$ $r = 0,76$
		$4,93 N_{60}$ $r = 0,73$
	İnce taneli zeminler $n = 226$	$4,32 N_a$ $r = 0,80$
		$6,18 N_{60}$ $r = 0,78$
İnce taneli zeminler $n = 30$	$(0,1Ip + 3,10) N_{60}$ $N_{60} < 25$	
Stroud (1974)	$c_u = f_1 N$ (kPa)	$Ip > 30$ $\sim 4,2N$
		$20 < Ip < 30$ $4 \sim 5N$
		$Ip < 20$ $6 \sim 7N$

Stroud tarafından geliştirilen Denklem 1.11’de verilen c_u plastisite indisinin bir parametresi olup bu indise bağlı olarak değişmektedir. Bu bağlantı aşırı konsolide ve normal killer için kullanılabilir (Sivrikaya ve Toğrul. 2007).

$$c_u = f_1 N \quad (1.11)$$

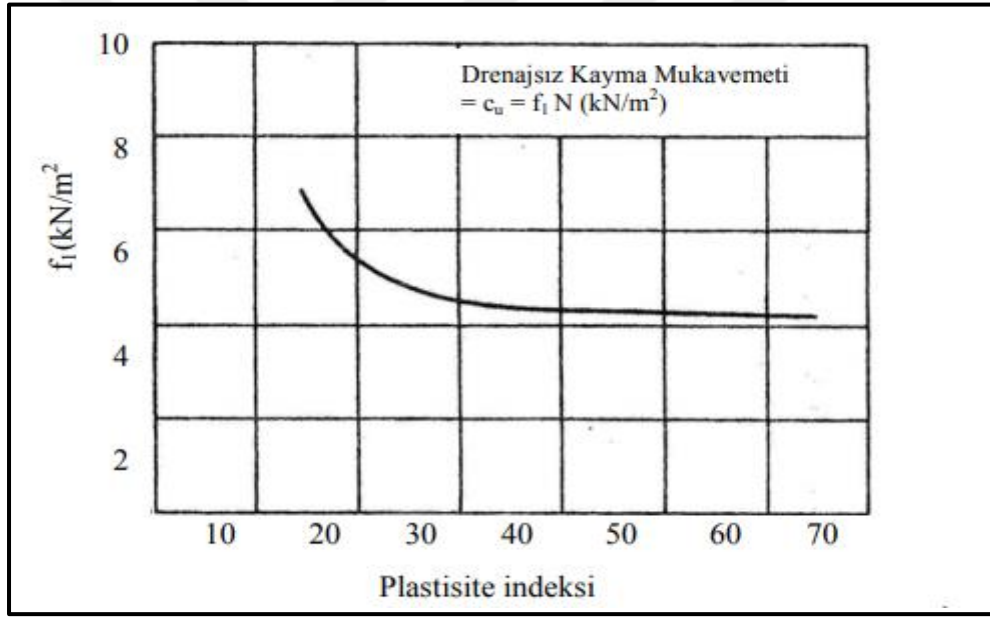
Burada;

c_u : Drenajsız kayma mukavemetini

f_1 : Stroud (1974) korelasyon katsayısını

N : Standart penetrasyon deneyinde 30 cm için darbe sayısını ifade etmektedir.

Stroud (1974) tarafından geliştirilen Denklem 1.11'deki f_1 faktörünün plastisite arasındaki ilişkiyi gösteren bağlantı Şekil 1.44'te verilmiştir.



Şekil 1.44. I_p ve c_u arasındaki ilişki (DLH, 2007)

1.4.11.1.2. Derin Karıştırma Kolonu Çevre Sürtünmesi Hesabı

Derin karıştırma kolonu çeperi ve çeper çevresindeki zeminin arasındaki çevre sürtünmesinden meydana gelen bir taşıma gücü bileşenidir. Kolunun içinde bulunduğu her zemin katmanı için ayrı ayrı hesaplanıp toplanarak kolonun çevre direnci bulunabilmektedir. Çevre direnci ifadesi Denklem 1.12'de verilmiştir.

$$Q_f = \sum p \Delta L_i f_i \quad (1.12)$$

Bu denklemde;

p : Derin karıştırma kolonu enkesitinin çevre uzunluğunu

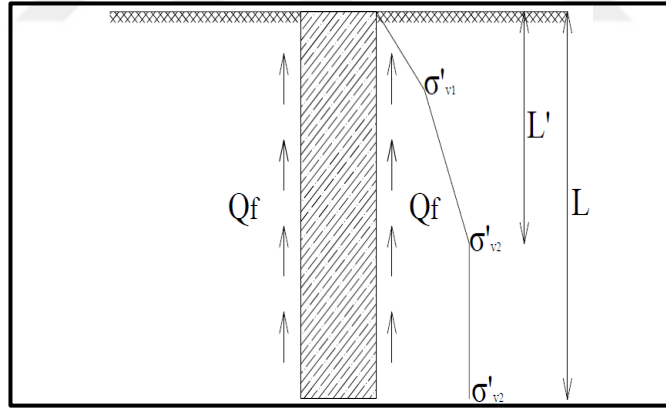
ΔL_i : Derin karıştırma kolonunun farklı zemin tabakaları içerisindeki uzunluğunu

f_i : Derin karıştırma kolonunun farklı zemin tabakaları içerisindeki birim çevre

sürtünmesini ifade etmektedir.

1.4.11.1.2.1. Kohezyonsuz Zeminler İçin Çevre Sürtünmesi Hesabı

Kohezyonsuz zeminlerde çevre sürtünme direncinin bir bileşeni olan düşey efektif zemin gerilmesi kritik derinliğe kadar doğrusal olarak artar, kritik derinlikten sonra sabit kalır. Şekil 1.45'te kritik derinlik gösterilmiştir.



Şekil 1.45. Derin karıştırma kolonu için kritik derinlik

Bu şekilde;

L : Derin karıştırma kolonu boyunu

L' : Kritik derinliği

σ'_{vi} : Düşey efektif gerilmeyi ifade etmektedir.

Şekil 1.45’de belirtildiği gibi kritik derinlikten sonra düşey efektif gerilme sabit gitmektedir. Kohezyonsuz zeminlerde d kazık çapı olmak üzere kritik derinlik aşağıdaki alınabilir: (Birand 2007)

L' : Gevşek kumlar için $10d$

L' : Orta sıkılıktaki kumlar için $15d$

L' : Sıkı kumlar için $20d$

Kohezyonsuz zeminlerde çevre sürtünmesi Denklem 1.12’de yer alan birim çevre sürtünmesi ifadesi Denklem 1.13’e göre hesaplanmaktadır.

$$f_i = K_i \sigma'_{vi} \tan \delta_i \quad (1.13)$$

Bu denklemde;

K_i : İçsel sürtünme açısına bağlı efektif yanal zemin basıncı katsayısını

δ_i : Kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısını ifade etmektedir.

Kazık tipine göre K_0 değerleri Tablo 1.9’da verilmiştir. Derin karıştırma kolonlarının tasarımında efektif zemin basıncı katsayısının belirlenebilmesi için Tablo 1.9’dan fore kazıklara karşılık gelen katsayı dikkate alınacaktır.

Tablo 1.9. Kazık tipleri için değerleri (Birand, 2007)

Kazık Tipleri	K_0
Fore kazıklar	$K_0 = 1 - \sin \phi$
Az deplasman yapan çakma kazıklar	$K_0 \sim 1,4K_0$
Yüksek deplasman yapan çakma kazıklar	$K_0 \sim 1,8K_0$

Kazık ve zemin arasındaki etkileşime göre sürtünme açılarına ait değerler Tablo 1.10'da verilmiştir. Derin karıştırma kolonlarının zemin ile temas durumu yerinde dökülmüş beton kategorisine girdiği için Tablo 1.10'da bu duruma karşılık gelen değer dikkate alınmalıdır.

Tablo 1.10. Kazık ve zemin arasındaki sürtünme değerleri (Birand, 2007)

Kazık / Zemin temas durumu	Kazık / Zemin sürtünme açısı (δ)
Pürüzsüz veya kaplanmış çelik / Kum	$0,5\phi - 0,7\phi$
Ondüleli çelik / Kum	$0,7\phi - 0,9\phi$
Önceden dökülmüş beton / Kum	$0,8\phi - 1,0\phi$
Yerinde dökülmüş beton / Kum	$1,0\phi$
Ahşap / Kum	$0,8\phi - 0,9\phi$
Zemin içinde boru bırakılan kazıklar	$0,7\phi - 0,85\phi$

1.4.11.1.2.2. Kohezyonlu Zeminler İçin Çevre Sürtünmesi Hesabı

Kohezyonlu zeminlerde çevre sürtünmesi kazık çapının, uzunluğunun, drenajsız kayma mukavemetinin ve adezyon katsayısının bir fonksiyonudur. Adezyon ise drenajsız kayma mukavemetinin bir fonksiyonudur. Kohezyonlu zeminlerde Denklem 1.12'de yer alan birim çevre sürtünmesi ifadesi Denklem 1.14'e göre hesaplanabilmektedir.

$$f_i = \alpha_i c_{ui} \quad (1.14)$$

Burada;

α_i : Adezyon katsayısını

c_{ui} : Drenajsız kayma mukavemetini temsil etmektedir.

Adezyon katsayısı $25 < c_{ui} < 90$ (kN/m²) olduğu durumda Denklem 1.15'e göre hesaplanabilir. Adezyon katsayısı $c_{ui} > 90$ (kN/m²) olması durumunda ise Tablo 1.11'e göre uygun değer alınacaktır. (Birand, 2007)

$$\alpha_i = 1 - 0.00615(c_{ui} - 25) \quad (1.15)$$

Tablo 1.11. Adezyon katsayısı değerleri (Birand,2007)

Drenajsız kayma mukavemeti (c_u)	Adezyon katsayısı (α)
90	0,60
100	0,58
150	0,42
200	0,35

Derin karıştırma kolonlarında kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerdeki uç ve çevre sürtünmesi taşıma gücüne ait formüller Tablo 1.12'de verilmiştir.

Tablo 1.12. Derin karıştırma kolonu taşıma gücü formülleri

Taşıma Gücü	Kohezyonlu Zemin	Kohezyonsuz Zemin
Uç taşıma gücü (Q_p)	$A_p 9c_u$	$A_p \sigma'_{vi} (N_q - 1)$
Çevre sürtünmesi taşıma gücü (Q_f)	$\sum p \Delta L_i \alpha_i c_{ui}$	$\sum p \Delta L_i K_i \sigma'_{vi} \tan \delta_i$

1.4.11.2. Derin Karıştırma Kolonu ile İyileştirilmiş Zeminin Taşıma Gücü Hesabı

Derin karıştırma kolonu taşıma gücü analizi yapıldıktan sonra kolon aralıkları tespit edilerek ilgili kareyaj bölgesine göre hesap yapılmaktadır. Derin karıştırma kolonlarına ait uç ve çevre sürtünmesi taşıma gücü güvenlik katsayılarına bölünür. Derin karıştırma kolonu emniyetli taşıma gücü hesabı Denklem 1.16'ya göre yapılmaktadır.

$$Q_{uem} = \frac{Q_p + Q_f}{2} \quad (1.16)$$

İyileştirilmiş zeminin emniyetli taşıma gücü derin karıştırma kolonu etki alanı dikkate alınarak Denklem 1.17'ye göre hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{ztop} = \frac{Q_{uem} + \sigma_{zemm} (A_{etki} - A_{dkk})}{A_{etki}} \quad (1.17)$$

Burada;

σ_{ztop} : İyileştirilmiş emniyetli zemin gerilmesini

Q_{uem} : Derin karıştırma kolonu emniyetli taşıma gücünü

σ_{zemm} : iyileştirme öncesi emniyetli zemin gerilmesini

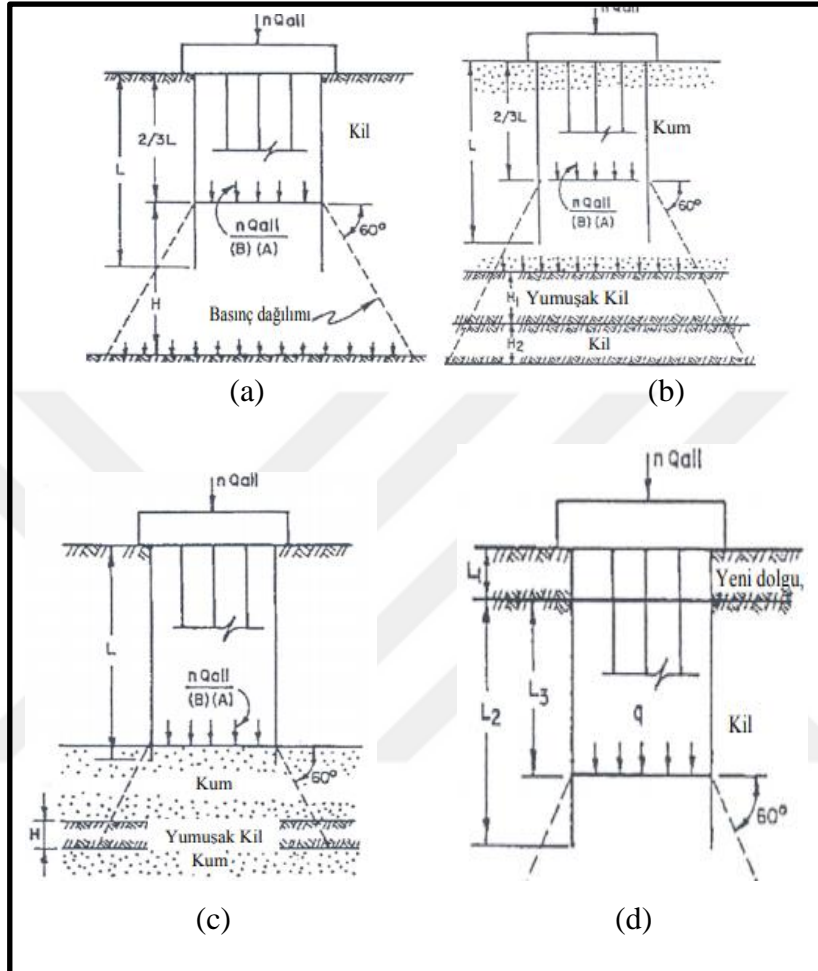
A_{etki} : Derin karıştırma kolonu etki alanını,

A_{dkk} : Derin karıştırma kolonu kesit alanını ifade etmektedir.

1.4.11.3. Derin Karıştırma Kolonu ile İyileştirilmiş Zeminin Oturma Hesabı

Derin karıştırma kolonu ile iyileştirilen kohezyonlu zeminde konsolidasyon oturmasının yanı sıra elastik oturmada meydana gelmektedir. Konsolidasyon oturması kohezyonlu zeminlerde hacimsel sıkışma katsayısı, sıkışabilir tabakanın orta noktasındaki düşey efektif gerilme artışı ve sıkışabilir tabaka kalınlığının çarpımı ile bulunabilmektedir. Kazık gruplarındaki oturma hesabında kazıkların bir blok olarak davranış gösterdiği varsayılarak sanal radye kabulü yapılır. Yapıdan gelen yükün, sanal radye kabulü yapılan ilgili derinlikten itibaren aktarılmaya başladığı ve bu derinliğin gerilme artışının başlangıç noktası olarak kabul edildiği varsayılmaktadır. Killi ve kumlu zeminlerdeki sürtünme kazıkları için sanal radye kabulü L kazık boyu olmak üzere temelden itibaren 2L/3 derinliğinde, kumlu zeminlerdeki uç kazıklar ise temelden itibaren L kazık boyu olmak üzere L derinliğinden itibaren başlar. Farklı zemin katmanlarındaki kazık gruplarına ait

gerilme dağılışı ve sanal radye kabulü Şekil 1.46'da gösterilmiştir. Zemindeki gerilme artışı yaklaşık yöntem yardımı ile yapılmaktadır.



Şekil 1.46. Kazık gruplarındaki oturmalar (DLH, 2007)

Şekil 1.46'da verilmiş olan;

- (a) Kildeki sürtünme kazıklarının
- (b) Altında kil olan kum tabakasındaki sürtünme kazıklarının
- (c) Altında kil olan kum tabakasındaki uç kazıklarının
- (d) Üzerinde yeni dolgu olan sürtünme kazıklarının ifade etmektedir.

Derin karıştırma kolonu ile iyileştirilmiş zeminde radye ile sanal radye temel arasındaki oturma ortalama elastisite modülüne bağlı olarak Denklem 1.18 ile

hesaplanabilmektedir. Derin karıştırma kolonun etki alanına bağlı olarak iyileştirilmiş zeminin ortalama elastisite modülü Denklem 1.19 ile elde edilir.

$$\rho = \frac{q_{net} H_R}{E_{ort}} \quad (1.18)$$

Burada;

q_{net} : Net temel basıncını

H_R : Radye ile sanal radye temel arasındaki mesafeyi

E_{ort} : Ortalama elastisite modülünü

$$E_{ort} = E_{dkk} a_s + E_s (1 - a_s) \quad (1.19)$$

Burada;

E_{dkk} : Derin karıştırma kolonunun elastisite modülünü

E_s : Zeminin elastisite modülünü

a_s : (Kolon/zemin) birim alan oranını ifade etmektedir.

Kohezyonlu zeminlerdeki konsolidasyon oturmalarındaki hacimsel sıkışma katsayısı Stroud (1974) tarafından geliştirilen, Denklem 1.20'de verilen formülde m_v plastisite indisinin bir parametresi olup bu indise bağlı olarak değişmektedir.

$$m_v = \frac{1}{f_2 N} \quad (\text{m}^2/\text{kN}) \quad (1.20)$$

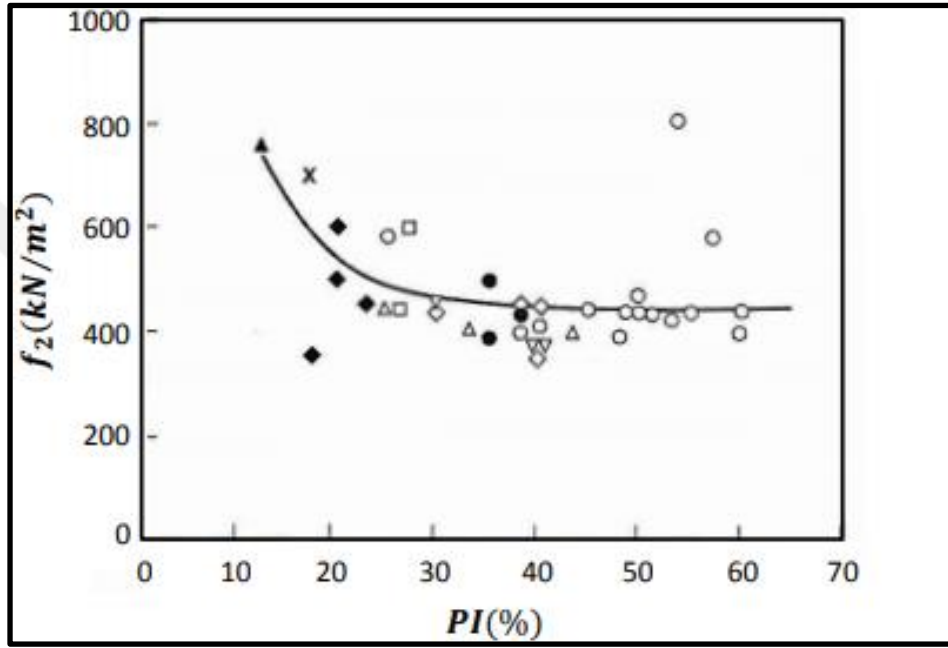
Burada;

m_v : Hacimsel sıkışma katsayısını

f_2 : Stroud (1974) korelasyon katsayısını

N : Standart penetrasyon deneyinde 30 cm için darbe sayısını ifade etmektedir.

Stroud (1974) tarafından geliştirilen Denklem 1.20'deki f_2 faktörünün plastisite arasındaki ilişkiyi gösteren bağlantı Şekil 1.47'de verilmiştir.



Şekil 1.47. PI ve m_v arasındaki ilişki (Stroud, 1974)

Konsolidasyon oturmasını ise Denklem 1.21'de verilen şekilde hesaplamak mümkündür.

$$\rho = m_v \Delta \sigma H \quad (1.21)$$

Burada;

ρ : Konsolidasyon oturmasını

m_v : Hacimsel sıkışma katsayısını

$\Delta \sigma$: Yüklemeden dolayı tabaka ortasındaki ekfektif gerilme artışı

H : Sıkışabilir tabaka kalınlığını ifade etmektedir.

Yüklemeden dolayı tabaka ortasındaki efektif gerilme artışı ise yaklaşık yöntem ile Denklem 1.22'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\Delta\sigma = \frac{qBL}{(B+z)(L+z)} \quad (1.22)$$

Burada;

q : Yayılı yükü

B : Temel genişliğini

L : Temel uzunluğunu

z : Düşey gerilme artışındaki derinliği ifade etmektedir.

Kumlu zeminlerdeki esnek temeller için elastisite teorisine göre oluşacak olan elastik oturma Denklem 1.23'de verilmiştir. Rijit temellerdeki oturma ise Denklem 1.24 bağlantısı ile bulunabilmektedir.

$$\rho_{i(esnek)} = q_{net} B \frac{1-\mu^2}{E_s} I_S I_D C_{Ni} \quad (1.23)$$

Burada;

ρ_i : Elastik oturmayı

q_{net} : Net temel basıncını

B : Temel genişliğini

μ : zeminin poisson oranını

E_s : Zeminin elastisite modülünü

I_S : Şekil faktörünü

I_D : Derinlik faktörünü

C_{Ni} : Temel ortası elastik oturma için "4", köşe için "1" değerini ifade etmektedir.

$$\rho_{i(rijit)} = 0,93\rho_{i(esnek)} \quad (1.24)$$

Derinlik faktörü Denklem 1.25'e göre hesaplanmaktadır.

$$I_D = 0,66\left(\frac{D_f}{B}\right)^{(-0,19)} + 0,025\left(\frac{L}{B} + 12\mu - 4,6\right) \quad (1.25)$$

Şekil faktörü Denklem 1.26'ya göre hesaplanmaktadır.

$$I_S = I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} I_2 \quad (1.26)$$

Denklem 1.26'da yer alan I_1 ve I_2 etki faktörlerini temsil etmektedir. I_1 etki faktörü Tablo 1.13'te I_2 etki faktörü ise Tablo 1.14'de verilmiştir.

Tablo 1.13. I_1 etki faktörü (Steinbrenner 1934)

H/B'	L/B										
	2.5	4	5	6	7	8	9	10	25	50	100
0.2	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
0.4	0.026	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
0.6	0.053	0.051	0.050	0.050	0.050	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049
0.8	0.086	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.093	0.092	0.091	0.090	0.089
1.0	0.121	0.115	0.113	0.112	0.112	0.112	0.111	0.111	0.110	0.110	0.110
1.5	0.207	0.197	0.194	0.192	0.191	0.190	0.190	0.189	0.188	0.188	0.188
2	0.284	0.271	0.267	0.264	0.262	0.261	0.260	0.259	0.257	0.256	0.256
3	0.402	0.392	0.386	0.382	0.378	0.376	0.374	0.373	0.378	0.367	0.367
4	0.484	0.484	0.479	0.474	0.470	0.440	0.464	0.462	0.453	0.451	0.451
5	0.543	0.554	0.552	0.548	0.543	0.540	0.536	0.534	0.522	0.522	0.519
6	0.585	0.609	0.610	0.608	0.604	0.601	0.598	0.595	0.579	0.576	0.575
7	0.618	0.653	0.658	0.658	0.656	0.653	0.650	0.647	0.628	0.624	0.623
8	0.643	0.688	0.697	0.700	0.700	0.698	0.695	0.692	0.672	0.666	0.665
9	0.663	0.716	0.730	0.736	0.737	0.736	0.735	0.732	0.710	0.704	0.702
10	0.679	0.740	0.758	0.766	0.770	0.770	0.770	0.768	0.745	0.738	0.735
20	0.756	0.856	0.896	0.925	0.945	0.959	0.969	0.977	0.982	0.965	0.957
500	0.832	0.977	1.046	1.102	1.150	1.191	1.227	1.259	1.532	1.721	1.879

Tablo 1.14. I_2 etki faktörü (Steinbrenner 1934)

H/B'	L/B										
	2.5	4	5	6	7	8	9	10	25	50	100
0.2	0.043	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044
0.4	0.074	0.075	0.075	0.075	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076
0.6	0.094	0.097	0.097	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098
0.8	0.107	0.111	0.112	0.113	0.113	0.113	0.113	0.114	0.114	0.114	0.114
1.0	0.114	0.120	0.122	0.123	0.123	0.124	0.124	0.124	0.125	0.125	0.125
1.5	0.118	0.130	0.134	0.136	0.137	0.138	0.138	0.139	0.140	0.140	0.140
2	0.114	0.131	0.136	0.139	0.141	0.143	0.144	0.145	0.147	0.147	0.148
3	0.097	0.122	0.131	0.137	0.141	0.144	0.145	0.147	0.152	0.153	0.154
4	0.082	0.110	0.121	0.129	0.135	0.139	0.142	0.145	0.154	0.155	0.156
5	0.070	0.098	0.111	0.120	0.128	0.133	0.137	0.140	0.154	0.156	0.157
6	0.060	0.087	0.101	0.111	0.120	0.126	0.131	0.135	0.153	0.157	0.157
7	0.053	0.078	0.092	0.103	0.112	0.119	0.125	0.129	0.152	0.157	0.158
8	0.047	0.071	0.084	0.095	0.104	0.112	0.118	0.124	0.151	0.156	0.158
9	0.042	0.064	0.077	0.088	0.097	0.105	0.112	0.118	0.149	0.156	0.158
10	0.038	0.059	0.071	0.082	0.091	0.099	0.106	0.112	0.147	0.156	0.158
20	0.020	0.031	0.039	0.046	0.053	0.059	0.065	0.071	0.124	0.148	0.156
500	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.008	0.016	0.031

I_1 ve I_2 tablolarında;

H : Temel altı tabaka kalınlığını

B : Temel genişliğini

L : Temel uzunluğunu

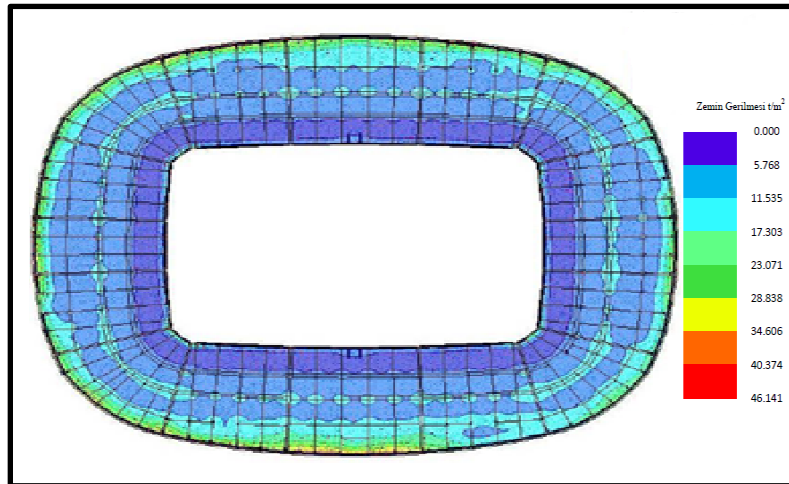
B' : Temel ortası için " $B/2$ " ve temel köşesi için " B " değerini ifade etmektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde derin karıştırma kolonu ile iyileştirilen bir vakaya ait iyileştirme öncesi oturma, taşıma ve sıvılaşma analizleri analitik yöntemler ile hesaplanmıştır. İyileştirilecek zemine ait idealize profil oluşturularak derin karıştırma kolonu hesapları ve iyileştirme sonrası analitik yöntemler ile taşıma gücü ve oturma analizleri yapılmıştır. Sonlu elemanlar programı olan plaxis ile iyileştirme öncesi ve sonrası oturma değerleri hesaplanıp analitik yöntemler ile hesaplanan oturma değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca sahada uygulanmış olan derin karıştırma kolonuna ait yükleme deneylerinin yorumlanması ve göçme yükü analizi yapılmıştır.

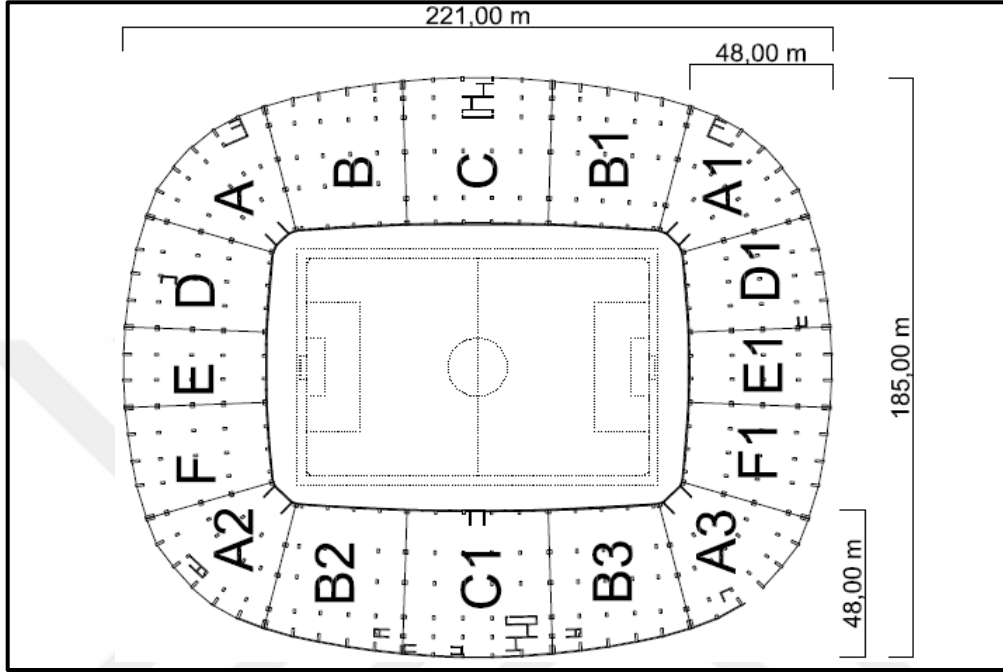
2.1. İncelenen Projeye Ait Genel Bilgiler

Eskişehir ili Tepebaşı ilçesindeki Eskişehir Yeni Stadyum projesi 32507 kişi kapasiteli olup, 166.547 m² alanda 23.103 m² inşaat alanına sahiptir. Stadın temeli radye olup, bodrum, zemin ve 5 kat olmak üzere toplamda 7 kattan ve dilatasyon derzleri ile ayrılmış 16 adet bloktan oluşmaktadır. Eskişehir Yeni Stadyum projesinde radye temel derinliği -5.00 m olup, radye temel altında oluşan gerilme diyagramı Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Radye temel altında oluşan gerilme diyagramı

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi radye temelin iç kenarında gerilme değeri 5.7 t/m^2 mertebesindedir. Temel dış kenarlarında ise gerilme değeri 34.6 t/m^2 mertebesine kadar ulaşmaktadır. Projeye ait temel ölçüleri ve blok isimleri Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Eskişehir Yeni Stadyumu radye temel ölçüleri

Proje kapsamında toplamda 13 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan sondaj kuyularının 11 tanesi 20 m, 2 tanesi 30 m derinliktedir. Sondaj esnasında standart penetrasyon deneyi (SPT) yapıp, farklı derinliklerde UD (örselenmemiş) numune örnekleri alınmıştır. Alınan numuneler üzerinde birim hacim ağırlığı, su muhtevası, zemin sınıflandırması için elek analizi, atterberg limitleri, kayma direnci parametrelerini belirlemek için kesme kutusu deneyi, üç eksenli basınç deneyi, zemindeki oturma miktarını belirlemek için konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Açılan sondaj kuyularına ait loglar Ek 1’de verilmiştir. Sondaj kuyularının yerlerini gösteren kroki Şekil 2.3’te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Eskişehir Yeni Stadyumu sondaj kuyusu noktaları

2.1.1. İnceleme Alanının Zemin Profili

İnceleme alanında yapılan sondaj ve laboratuvar deneylerinden elde edilen verilere göre sondaj kuyularına ait zemin profili aşağıda verilmiştir.

SK-1 kuyusunda 0.00-0.50 metre arası bitkisel toprak, 0.50-5.00 metre arası kil, 5.00-10.00 m arası silt, 10.00-14.00 metre arası siltli kum, 14.00-16.00 metre arası silt, 16.00-19.00 metre arası çakıllı siltli kum, 19.00-20.00 metre arası kil birimi gözlenmiştir.

SK-2 kuyusunda 0.00-0.50 metre arası bitkisel toprak, 0.50-4.00 metre arası kil, 4.00-5.00 metre arası silt, 5.00-7.00 metre arası kil, 7.00-11.00 metre arası silt, 11.00-16.00 metre arası çakıllı siltli kum, 16.00-20.00 metre arası kil birimi gözlenmiştir.

SK-3 kuyusunda 0.00-0.50 metre arası bitkisel toprak, 0.50-6.50 metre arası kil, 6.50-11.00 metre arası silt, 11.00-17.00 metre arası çakıllı siltli kum, 17.00-20.00 metre arası silt birimi gözlenmiştir.

SK-4 kuyusunda 0.00-0.50 metre arası bitkisel toprak, 0.50-6.50 metre arası kil, 6.50-10.00 metre arası silt, 10.00-17.00 metre arası çakıl, 17.00-25.50 metre arası çakıllı siltli kum, 25.50-29.00 metre arası silt, 29.00-30.00 metre arası çakıllı siltli kum birimi gözlenmiştir.

SK-5 kuyusunda 0, 0.50-8.00 metre arası silt, 8.00-9.50 metre arası siltli kum, 9.50-10.00 metre arası silt, 10.00-20.00 metre arası çakıllı siltli kum birimi gözlenmiştir.

SK-6 kuyusunda 0.00-0.50 metre arası bitkisel toprak, 0.50-10.00 m arası silt, 10.00-20.00 metre arası çakıllı siltli kum birimi gözlenmiştir.

SK-7 kuyusunda 0.00-0.50 metre arası bitkisel toprak, 0.50-10.00 m arası silt, 10.00-20.00 metre arası çakıllı siltli kum birimi gözlenmiştir.

SK-8 kuyusunda 0.00-0.50 metre arası bitkisel toprak, 0.50-10.00 metre arası kil, 10.00-13.00 metre arası çakıllı siltli kum, 13.00-14.00 metre arası silt, 14.00-17.00 metre arası çakıllı siltli kum, 17.00-20.00 metre arası silt birimi gözlenmiştir.

SK-9 kuyusunda 0.00-0.50 metre arası bitkisel toprak, 0.50-5.00 metre arası kil, 5.00-8.00 metre arası silt, 8.00-18.00 metre arası siltli kum, 18.00-20.00 metre arası silt birimi gözlenmiştir.

SK-10 kuyusunda 0.00-0.50 metre arası bitkisel toprak, 0.50-4.00 metre arası kil, 4.00-5.00 metre arası siltli kum, 5.00-18.00 metre arası silt, 18.00-20.00 metre arası çakıllı siltli kum, birimi gözlenmiştir.

SK-11 kuyusunda 0.00-0.50 metre arası bitkisel toprak, 0.50-5.00 metre arası kil, 5.00-11.00 metre arası siltli kum, 11.00-16.00 metre arası silt, 16.00-20.00 metre arası çakıllı siltli kum birimi gözlenmiştir.

SK-12 kuyusunda 0.00-0.50 metre arası bitkisel toprak, 0.50-8.00 metre arası kil, 8.00-17.00 m arası silt, 17.00-20.00 metre arası siltli kum, 20.00-26.00 metre arası silt, 26.00-30.00 metre arası siltli kum birimi gözlenmiştir.

SK-13 kuyusunda 0.00-0.50 metre arası bitkisel toprak, 0.50-12.00 m arası silt, 12.00-14.00 metre arası çakıllı siltli kum, 14.00-20.00 metre arası silt birimi gözlenmiştir.

2.1.2. Yeraltı Su Seviyesi Durumu

İnceleme alanında yapılan sondajlarda SK-4, SK-7 3.00 m'de, SK-6 3.50 m'de, SK-2, SK-3, SK-5, SK-8, SK-10, SK-11 ve SK-13 4.00 m'de, SK-1 4.50 m'de, SK-12 5.00 m'de ve SK-9 6.00 m'de yeraltı su seviyesine rastlanılmıştır.

2.1.3. Doğal Birim Hacim Ağırlık Sonuçları

Örselenmemiş numuneler üzerinde killi siltli ve kumlu zeminlerin yapılan doğal birim ağırlık değerleri 17.90 kN/m^3 ile 18.47 kN/m^3 arasında değişmektedir. Güvenli tarafta kalmak adına doğal birim hacim ağırlık 19.00 kN/m^3 olarak seçilmiştir.

2.1.4. Atterberg Limit Testi Sonuçları

Örselenmemiş killi numuneler üzerinde yapılan atterberg limitleri testinde SK-1 3.00 m için plastisite indisi %24, SK-2 3.00 m için plastisite indisi %24, SK-2 6.00 m için plastisite indisi %24, SK-3 3.00 m için plastisite indisi %25, SK-3 6.00 m için plastisite indisi %25 olarak belirlenmiştir.

2.1.5. Standart Penetrasyon Deneyi

SPT ülkemizde ve dünyada sık kullanılan bir deneydir. Bu deney sondaj sırasında dinamik olarak 76 cm yükseklikten 63.5 kg tokmağın düşürülerek SPT kaşığının kuyu tabanındaki 45 cm içeri girmesi sağlanır. SPT kaşığının son 30 cm'lik çakma sayısı zeminin SPT değerini vermiş olur. Proje kapsamında değeri her 1.50 metrede bir SPT yapılmıştır. SPT verileri ile belirli araştırmacılar tarafından geliştirilen ampirik ve yarı ampirik formüller yardımı ile zeminin taşıma gücü, oturma miktarı belirlenebildiği gibi sıvılaşma analizi de yapılabilmektedir. Ayrıca bazı korelasyonlar ile efektif içsel sürtünme açısı (ϕ'), drenajsız kayma mukavemeti (C_u), hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) gibi önemli parametreler belirlenebilmektedir. Araziden elde edilmiş olan SPT değerleri üzerinde düzeltme işlemi yapılmaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 16B.2. bölümüne göre derinlik düzeltmesi uygulanmamış düzeltilmiş SPT (N_{60}) değeri için olan formül Denklem 2.1'de, derinlik düzeltilmesi uygulanmış düzeltilmiş SPT değeri ($N_{1,60}$) için olan formül ise Denklem 2.2'de verilmiştir. C_R , C_S , C_B , C_E düzeltme katsayıları ise Tablo 2.1'de verilmiştir. Yapılan SPT düzeltmelerinde siltli kum düzeltmesi uygulanmamıştır.

$$N_{60} = NC_R C_S C_B C_E \quad (2.1)$$

$$N_{1,60} = NC_N C_R C_S C_B C_E \quad (2.2)$$

Burada;

N_{60} : Derinlik düzeltilmesi uygulanmamış düzeltilmiş SPT değerini

$N_{1,60}$: Derinlik düzeltilmesi uygulanmış düzeltilmiş SPT değerini

N : Araziden elde edilmiş SPT değerini

C_N : Kohezyonsuz zeminler için derinlik düzeltmesini

C_R : Tij boyu düzeltmesini

C_S : Örnek numune alıcı düzeltmesini

C_B : Kuyu çapı düzeltmesini

C_E : Enerji oranı düzeltmesini ifade etmektedir.

Tablo 2.1. SPT düzeltme katsayıları (TBDY, 2019)

Düzeltilme Tipi	Değişken	Düzeltilme Değerleri
C_R	3m-4m	0.75
	4m-6m	0.85
	6m-10m	0.95
	10m'den fazla	1.00
C_S	Standart örnek alıcı	1.00
	Astarsız örnek alıcı	1.10 – 1.30
C_B	65mm – 115mm	1.00
	150mm	1.05
	200mm	1.15
C_E	Güvenli tokmak	0.60 – 1.17
	Halkalı tokmak	0.45 – 1.00
	Otomatik darbeli tokmak	0.90 – 1.60

Kohezyonsuz zeminler için olan derinlik düzeltmesine ait formül Denklem 2.3'te verilmiştir.

$$C_N = 9.78 \sqrt{\frac{1}{\sigma'_{vi}}} \quad (2.3)$$

Proje kapsamında açılan 150 mm çapındaki 13 adet sondaj kuyusunda her 1.5m de bir SPT yapılmış olup, astarsız örnek alıcı kullanılmıştır. Ülkemizde genellikle SPT enerji oranı düzelmesi 0,75 alınmaktadır. Düzeltilmiş SPT değerleri Tablo 2.2’de verilmiştir. Tablo 2.2’de yer alan zemin sınıflandırılmasında CL düşük plastisiteli kil, ML düşük plastisiteli silt ve SM ise siltli kumu ifade etmektedir. Düzeltilmiş SPT verilerinin derinlikle değişen ortalama değerleri Tablo 2.3’te verilmiştir.

Tablo 2.2. SPT düzeltmesi

Kuyu No	SK-1									
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vi} (kPA)	C_N	C_E	C_R	C_S	C_B	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50	CL	12	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	9	9
3,00	CL	13	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	9	9
4,50	CL	31	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	25	25
Yeraltı Su Seviyesi 4.50 m										
6,00	ML	50	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	40	40
7,50	ML	43	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	39	39
9,00	ML	24	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	22	22
10,50	SM	15	139,50	0,83	0,75	1	1,20	1,05	14	12
12,00	SM	24	153,00	0,79	0,75	1	1,20	1,05	23	18
13,50	SM	21	166,50	0,76	0,75	1	1,20	1,05	20	15
15,00	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
16,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
18,00	SM	50	207,00	0,68	0,75	1	1,20	1,05	47	32
19,50	SM	48	220,50	0,66	0,75	1	1,20	1,05	45	30
20,00	CL	47	-	-	0,75	1	1,20	1,05	44	44

Kuyu No	SK-2									
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vi} (kPA)	C_N	C_E	C_R	C_S	C_B	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50	CL	9			0,75	0,75	1,20	1,05	6	6
3,00	CL	12			0,75	0,75	1,20	1,05	9	9
Yeraltı Su Seviyesi 4.00 m										
4,50	ML	29	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	23	23
6,00	CL	33	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	27	27
7,50	ML	22	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	20	20
9,00	ML	24	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	22	22
10,50	ML	21	-	-	0,75	1	1,20	1,05	20	20
12,00	SM	27	148,00	0,80	0,75	1	1,20	1,05	26	21
13,50	SM	33	161,50	0,77	0,75	1	1,20	1,05	31	24
15,00	SM	48	175,00	0,74	0,75	1	1,20	1,05	45	34
16,50	ML	42	-	-	0,75	1	1,20	1,05	40	40
18,00	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
19,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
20,00	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47

Tablo 2.2.'nin devamı

Kuyu No	SK-3									
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vt} (kPA)	C_N	C_E	C_R	C_S	C_B	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50	CL	10	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	7	7
3,00	CL	11	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	8	8
Yeraltı Su Seviyesi 4.00 m										
4,50	CL	10	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	8	8
6,00	CL	18	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	14	14
7,50	ML	25	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	22	22
9,00	ML	26	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	23	23
10,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
12,00	SM	50	148,00	0,80	0,75	1	1,20	1,05	47	38
13,50	SM	50	161,50	0,77	0,75	1	1,20	1,05	47	36
15,00	SM	50	175,00	0,74	0,75	1	1,20	1,05	47	35
16,50	SM	50	188,50	0,71	0,75	1	1,20	1,05	47	34
18,00	ML	31	-	-	0,75	1	1,20	1,05	29	29
19,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
20,00	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47

Kuyu No	SK-4									
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vt} (kPA)	C_N	C_E	C_R	C_S	C_B	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50	CL	8	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	6	6
3,00	CL	13	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	9	9
Yeraltı Su Seviyesi 3.00 m										
4,50	CL	13	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	10	10
6,00	CL	16	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	13	13
7,50	ML	18	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	16	16
9,00	ML	23	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	21	21
10,50	SM	50	124,50	0,88	0,75	1	1,20	1,05	47	41
12,00	SM	30	138,00	0,83	0,75	1	1,20	1,05	28	24
13,50	SM	50	151,50	0,79	0,75	1	1,20	1,05	47	38
15,00	SM	50	165,00	0,76	0,75	1	1,20	1,05	47	36
16,50	SM	18	178,50	0,73	0,75	1	1,20	1,05	17	12
18,00	SM	50	192,00	0,71	0,75	1	1,20	1,05	47	33
19,50	SM	50	205,50	0,68	0,75	1	1,20	1,05	47	32
21,00	SM	50	219,00	0,66	0,75	1	1,20	1,05	47	31
22,50	SM	50	232,50	0,64	0,75	1	1,20	1,05	47	30
24,00	SM	50	246,00	0,62	0,75	1	1,20	1,05	47	29
25,50	SM	22	259,50	0,61	0,75	1	1,20	1,05	21	13
27,00	ML	42	-	-	0,75	1	1,20	1,05	40	40
28,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
30,00	SM	50	300	0,56	0,75	1	1,20	1,05	47	27

Kuyu No	SK-5									
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vt} (kPA)	C_N	C_E	C_R	C_S	C_B	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50	ML	11	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	8	8
3,00	ML	12	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	9	9
Yeraltı Su Seviyesi 4.00 m										
4,50	ML	22	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	18	18
6,00	ML	29	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	23	23
7,50	ML	29	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	26	26
9,00	SM	49	121,00	0,89	0,75	0,95	1,20	1,05	44	39
10,50	SM	46	134,50	0,84	0,75	1	1,20	1,05	43	37
12,00	SM	50	148,00	0,80	0,75	1	1,20	1,05	47	38
13,50	SM	50	161,50	0,77	0,75	1	1,20	1,05	47	36
15,00	SM	50	175,00	0,74	0,75	1	1,20	1,05	47	35
16,50	SM	47	188,50	0,71	0,75	1	1,20	1,05	44	32
18,00	SM	50	202,00	0,69	0,75	1	1,20	1,05	47	33
19,50	SM	50	215,50	0,67	0,75	1	1,20	1,05	47	31
20,00	SM	50	220,00	0,66	0,75	1	1,20	1,05	47	31

Tablo 2.2.'nin devamı

Kuyu No	SK-6									
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vi} (kPA)	C_N	C_E	C_R	C_S	C_B	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50	ML	13	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	9	9
3,00	ML	17	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	12	12
Yeraltı Su Seviyesi 3.50 m										
4,50	ML	12	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	10	10
6,00	ML	28	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	22	22
7,50	ML	16	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	14	14
9,00	ML	19	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	17	17
10,50	ML	42	-	-	0,75	1	1,20	1,05	40	40
12,00	SM	50	142,00	0,82	0,75	1	1,20	1,05	47	39
13,50	SM	50	156,50	0,78	0,75	1	1,20	1,05	47	37
15,00	SM	50	170,00	0,75	0,75	1	1,20	1,05	47	35
16,50	SM	50	183,50	0,72	0,75	1	1,20	1,05	47	34
18,00	SM	50	197,00	0,70	0,75	1	1,20	1,05	47	33
19,50	SM	50	210,50	0,67	0,75	1	1,20	1,05	47	32
20,00	SM	50	215,00	0,67	0,75	1	1,20	1,05	47	32

Kuyu No	SK-7									
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vi} (kPA)	C_N	C_E	C_R	C_S	C_B	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50	ML	10	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	7	7
3,00	ML	14	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	10	10
Yeraltı Su Seviyesi 3.00 m										
4,50	ML	20	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	16	16
6,00	ML	25	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	20	20
7,50	ML	20	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	18	18
9,00	ML	31	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	28	28
10,50	ML	48	-	-	0,75	1	1,20	1,05	45	45
12,00	SM	50	138,00	0,83	0,75	1	1,20	1,05	47	39
13,50	SM	46	151,50	0,79	0,75	1	1,20	1,05	43	35
15,00	SM	38	165,00	0,76	0,75	1	1,20	1,05	36	27
16,50	SM	31	178,50	0,73	0,75	1	1,20	1,05	29	21
18,00	SM	47	192,00	0,71	0,75	1	1,20	1,05	44	31
19,50	SM	50	205,50	0,68	0,75	1	1,20	1,05	47	32
20,00	SM	49	210,00	0,67	0,75	1	1,20	1,05	46	31

Kuyu No	SK-8									
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vi} (kPA)	C_N	C_E	C_R	C_S	C_B	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50	CL	16	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	11	11
3,00	CL	20	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	14	14
Yeraltı Su Seviyesi 4.00 m										
4,50	CL	19	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	15	15
6,00	CL	26	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	21	21
7,50	CL	24	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	22	22
9,00	CL	33	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	30	30
10,50	CL	44	-	-	0,75	1	1,20	1,05	42	42
12,00	SM	43	148,00	0,80	0,75	1	1,20	1,05	41	33
13,50	SM	40	161,50	0,77	0,75	1	1,20	1,05	38	29
15,00	SM	50	175,00	0,74	0,75	1	1,20	1,05	47	35
16,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
18,00	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
19,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
20,00	ML	31	-	-	0,75	1	1,20	1,05	29	29

Tablo 2.2.'nin devamı

Kuyu No	SK-9									
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vt} (kPA)	C_N	C_E	C_R	C_S	C_B	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50	CL	9	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	6	6
3,00	CL	11	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	8	8
4,50	CL	23	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	18	18
6,00	ML	31	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	25	25
Yeraltı Su Seviyesi 6.00 m										
7,50	ML	32	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	29	29
9,00	SM	38	141,00	0,82	0,75	0,95	1,20	1,05	34	28
10,50	SM	40	154,50	0,79	0,75	1	1,20	1,05	38	30
12,00	SM	41	168,00	0,75	0,75	1	1,20	1,05	39	29
13,50	SM	46	181,50	0,73	0,75	1	1,20	1,05	43	32
15,00	SM	50	195,00	0,70	0,75	1	1,20	1,05	47	33
16,50	SM	50	208,50	0,68	0,75	1	1,20	1,05	47	32
18,00	SM	50	222,00	0,66	0,75	1	1,20	1,05	47	31
19,50	ML	36	-	-	0,75	1	1,20	1,05	34	34
20,00	ML	33	-	-	0,75	1	1,20	1,05	31	31

Kuyu No	SK-10									
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vt} (kPA)	C_N	C_E	C_R	C_S	C_B	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50	CL	10	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	7	7
3,00	CL	11	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	8	8
Yeraltı Su Seviyesi 4.00 m										
4,50	CL	20	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	16	16
6,00	ML	22	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	18	18
7,50	ML	37	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	33	33
9,00	ML	42	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	38	38
10,50	ML	46	-	-	0,75	1	1,20	1,05	43	43
12,00	ML	46	-	-	0,75	1	1,20	1,05	43	43
13,50	ML	44	-	-	0,75	1	1,20	1,05	42	42
15,00	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
16,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
18,00	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
19,50	SM	50	215,00	0,67	0,75	1	1,20	1,05	47	32
20,00	SM	48	220,00	0,66	0,75	1	1,20	1,05	45	30

Kuyu No	SK-11									
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vt} (kPA)	C_N	C_E	C_R	C_S	C_B	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50	CL	21	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	15	15
3,00	CL	15	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	11	11
Yeraltı Su Seviyesi 4.00 m										
4,50	CL	9	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	7	7
6,00	SM	13	94,00	1,01	0,75	0,85	1,20	1,05	10	11
7,50	SM	21	107,50	0,94	0,75	0,95	1,20	1,05	19	18
9,00	SM	25	121,00	0,89	0,75	0,95	1,20	1,05	22	20
10,50	SM	27	134,50	0,84	0,75	1	1,20	1,05	26	22
12,00	ML	26	-	-	0,75	1	1,20	1,05	25	25
13,50	ML	40	-	-	0,75	1	1,20	1,05	38	38
15,00	ML	46	-	-	0,75	1	1,20	1,05	43	43
16,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
18,00	SM	50	202,00	0,69	0,75	1	1,20	1,05	47	33
19,50	SM	50	215,00	0,67	0,75	1	1,20	1,05	47	32
20,00	SM	50	220,00	0,66	0,75	1	1,20	1,05	47	31

Tablo 2.2.'nin devamı

Kuyu No	SK-12									
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vi} (kPA)	C_N	C_E	C_R	C_S	C_B	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50	CL	11	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	8	8
3,00	CL	12	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	9	9
4,50	CL	19	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	15	15
Yeraltı Su Seviyesi 5.00 m										
6,00	CL	21	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	17	17
7,50	CL	27	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	24	24
9,00	ML	25	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	22	22
10,50	ML	32	-	-	0,75	1	1,20	1,05	30	30
12,00	ML	19	-	-	0,75	1	1,20	1,05	18	18
13,50	ML	30	-	-	0,75	1	1,20	1,05	28	28
15,00	ML	46	-	-	0,75	1	1,20	1,05	43	43
16,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
18,00	SM	42	216,50	0,66	0,75	1	1,20	1,05	40	26
19,50	SM	45	225,00	0,65	0,75	1	1,20	1,05	43	28
21,00	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
22,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
24,00	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
25,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
27,00	SM	50	293,00	0,57	0,75	1	1,20	1,05	47	27
28,50	SM	50	306,50	0,56	0,75	1	1,20	1,05	47	26
30,00	SM	50	320,00	0,55	0,75	1	1,20	1,05	47	26

Kuyu No	SK-13									
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vi} (kPA)	C_N	C_E	C_R	C_S	C_B	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50	ML	14	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	10	10
3,00	ML	9	-	-	0,75	0,75	1,20	1,05	6	6
Yeraltı Su Seviyesi 4.00 m										
4,50	ML	19	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	15	15
6,00	ML	22	-	-	0,75	0,85	1,20	1,05	18	18
7,50	ML	19	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	17	17
9,00	ML	26	-	-	0,75	0,95	1,20	1,05	23	23
10,50	ML	32	-	-	0,75	1	1,20	1,05	30	30
12,00	ML	44	-	-	0,75	1	1,20	1,05	42	42
13,50	SM	43	161,5	0,77	0,75	1	1,20	1,05	41	31
15,00	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
16,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
18,00	ML	48	-	-	0,75	1	1,20	1,05	45	45
19,50	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47
20,00	ML	50	-	-	0,75	1	1,20	1,05	47	47

Tablo 2.3. SPT değerlerinin ortalaması

Derinlik (m)	Ortalama Değerler		
	Spt-N	N ₆₀	N _{1,60}
1,50	12	8	8
3,00	13	9	9
4,50	19	15	15
6,00	26	21	21
7,50	26	23	23
9,00	30	27	26
10,50	38	36	34
12,00	38	36	31
13,50	42	39	32
15,00	48	46	38
16,50	45	43	38
18,00	48	45	36
19,50	48	46	36
21,00	47	44	37
22,50	50	47	39
24,00	50	47	38
25,50	36	34	30
27,00	46	43	33
28,50	50	47	37
30,00	50	47	26

2.1.6. İdealize Zemin Profili

İncelenen alanın zemin profili ve sondajlardan elde edilen SPT değerlerinin ışığında oluşturulmuş olan idealize zemin profili Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. İdealize zemin profili

No	Zemin Sınıfı	Tabaka Kotları (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	Birim Hacim Ağırlığı γ (kN/m ³)	Ortalama		
					N	N ₆₀	N _{1,60}
1,00	Kil	0,50-5,00	4,50	19,00	15	11	11
Yeraltı Su Seviyesi (5,00) m							
2,00	Kil	5,00-7,00	2,00	19,00	24	20	20
3,00	Silt	7,00-10,00	3,00	19,00	30	28	27
4,00	Kumlu Silt	10,00-13,00	3,00	19,00	37	36	32
5,00	Çakıllı Kum	13,00-20,00	7,00	19,00	46	44	36

2.1.7. Taşıma Gücü Analizi

SPT verileri ile taşıma gücü analizini yapmak mümkündür. Temeller için taşıma gücü Meyerhorf (1974) tarafından geliştirilen Denklem 2.4 ile hesaplanabilmektedir. Hesaplarda derinlik düzeltilmesi yapılmış ($N_{1,60}$) değeri kullanılmıştır.

$$q_e = 0,8N \left(\frac{B+0,3}{B} \right)^2 \left(1 + \frac{D_f}{3B} \right) \quad B > 1,2m \quad (2.4)$$

Burada;

- q_e : Zemin emniyet gerilmesini (t/m^2),
- N : Ortalama düzeltilmiş SPT darbe sayısını
- B : Temel genişliğini
- D_f : Radye temel derinliğini ifade etmektedir.

Bu bağlantı oturmanın 25 mm olacağı kabulüne göre geliştirilmiştir. Terzaghi ve Peck radye temel için izin verilebilir mutlak oturmayı 50 mm olarak önerdiğinden dolayı Denklem 2.4'e göre hesaplanan zemin emniyet gerilmesinin 2 katı alınmalıdır. Yeraltı su seviyesi temelin taşıma gücünü azaltacağından dolayı eğer temel zemini yeraltı su seviyesinin altında ise hesaplanan zemin emniyet gerilmesinin yarısı alın (Uzuner, 2016).

Hesaplarda radye temel altı 5,00 m ile 13,00 m derinlikleri arasındaki ortalama $N_{1,60}$ değeri kullanılmıştır. Buna göre $B = 48,00$ m, $D_f = 5,00$ m ve $N_{1,60} = 24$ için Denklem 2.4 kullanılarak taşıma gücü;

$$q_e = 0,8 \times 24 \left(\frac{48,00 + 0,3}{48,00} \right)^2 \left(1 + \frac{5,00}{3 \times 48,00} \right) = 20,12 \text{ t/m}^2$$

Radye temel için izin verilebilir 50 mm mutlak oturmaya göre hesaplanan zemin emniyet gerilmesinin 2 katı alınıp $40,24 \text{ t/m}^2$ değeri elde edilmiştir. Yeraltı su seviyesinin radye temel alt kotunda olduğundan dolayı radye temel için izin verilebilir mutlak

oturmaya göre hesaplanan zemin emniyet gerilmesinin yarısı alınıp 20,12 t/m² değeri elde edilmiştir. Statik hesaplamalar neticesinde radye temel altı zemin gerilmelerinin 34.60 t/m² mertebesine kadar çıktığı, maksimum zemin gerilmelerinin 20,12 t/m² değerinden büyük olduğu görülmekte ve zeminde taşıma gücü problemi beklenmektedir.

2.1.8. Oturma Analizi

Radye temel altındaki kohezyonlu zeminlerde konsolidasyon oturması boşluk suyu basıncının zamana bağlı olarak sönümlenmesi ile meydana gelmektedir. Stroud (1974) tarafından geliştirilen konsolidasyon oturmasının parametrelerinden biri olan hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) Denklem 1.20 ile hesaplanabilmektedir. Denklem 1.20'e göre hacimsel sıkışma katsayısının parametrelerinden biri olan f_2 korelasyon katsayısı plastisite indisine (I_p) bağlı olarak Şekil 1.47 yardımı ile bulunabilmektedir. Proje kapsamında idealize edilmiş zemin profiline göre temel altında 5,00 – 7,00 m arasındaki killi tabakada ve 7,00 – 10,00 m arasındaki siltli tabakada konsolidasyon oturması meydana gelecektir. Killi ve siltli olan tabakalardaki plastisite indisi %25 olarak alınmıştır. Hesaplamalarda 5,00 – 7,00 m arasındaki killi tabaka ve 7,00 – 10,00 m arasındaki siltli tabaka için ortalama düzeltilmemiş SPT darbe sayısı Tablo 2.4'ten sırası ile $N = 24$ ve $N = 30$ olarak alınmıştır. Denklem 1.20 ve 1.21 yardımı ile hesaplanacak konsolidasyon oturması şu şekildedir:

$$m_v = \frac{1}{f_2 N} \quad (1.20)$$

$$\rho = m_v \Delta \sigma H \quad (1.21)$$

5,00 – 7,00 m arasındaki konsolidasyon oturması;

$q = 34.600 \text{ t/m}^2 = 339,31 \text{ kN/m}^2$, $B = 48,00 \text{ m}$, $L = 221 \text{ m}$, $N = 24$, $H = 2 \text{ m}$ için

$$m_{v1} = \frac{1}{500 \times 24} = 8,33 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{kN}$$

$$\Delta\sigma_1 = \frac{(339,31 - 19,00 \times 5) \times 48,00 \times 221,00}{(48,00 + 1)(221 + 1)} = 237,94 \text{ kN/m}^2$$

$$\rho_1 = 8,33 \times 10^{-5} \times 237,94 \times 2 = 0,039 \text{ m}$$

7,00 – 10,00 m arasındaki konsolidasyon oturması;

$$q = 34.600 \text{ t/m}^2 = 339,31 \text{ kN/m}^2, B = 48,00 \text{ m}, L = 221 \text{ m}, N = 30, H = 3 \text{ m için}$$

$$m_{v2} = \frac{1}{500 \times 30} = 6,67 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{kN}$$

$$\Delta\sigma_2 = \frac{(339,31 - 19,00 \times 5) \times 48,00 \times 221,00}{(48,00 + 3,5)(221 + 3,5)} = 223,86 \text{ kN/m}^2$$

$$\rho_2 = 6,67 \times 10^{-5} \times 223,86 \times 3 = 0,045 \text{ m}$$

Siltli kum ve çakıllı kum tabakasındaki kohezyonsuz zeminlerdeki elastik oturma Denklem 1.23 ve 1.24 ile hesaplanabilmektedir. Kohezyonsuz zeminlerdeki elastik oturma denkleminin parametrelerinden biri de elastisite modülüdür. Stroud (1988) kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde birçok veri tabanı değerlendirerek elastisite modülü için Denklem 2.5 bağlantısını geliştirmiştir. Elastik oturmanın bir diğer parametresi poisson oranıdır. Farklı zemin türlerine ait poisson oranları Tablo 2.5'te verilmiştir.

$$\rho_{i(esnek)} = q_{net} B \frac{1 - \mu^2}{E} I_S I_D C_{N_i} \quad (1.23)$$

$$\rho_{i(rijit)} = 0,93 \rho_{i(esnek)} \quad (1.24)$$

$$E'_s = 1000 N_{60} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (2.5)$$

Siltli kumlu tabaka için $N_{60} = 36$ ve $E'_s = 1000 \times 36 = 36000 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunur.

Çakıllı kumlu tabaka için $N_{60} = 44$ ve $E'_s = 1000 \times 44 = 44000 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunur.

Tablo 2.5. Zeminlerin poisson oranları (Tomlinson, 2008)

Zemin Türü	Poisson Oranı
Kil (Drenajsız)	0,5
Kil (Sert, Drenajlı)	0,1 - 0,3
Silt	0,3
Kum	0,1 - 0,3
Kaya	0,2

10,00 – 13,00 m arasındaki elastik oturma;

$q=34.600 \text{ t/m}^2 = 339,31 \text{ kN/m}^2$ için yaklaşık yöntemle bulunacak olan net temel basıncı;

$$q_{net} = \frac{(339,31 - 19,00 \times 5) \times 48,00 \times 221,00}{(48,00 + 6,5)(221,00 + 6,5)} = 209 \text{ kN/m}^2$$

$B=48,00 \text{ m}$, $L=221,00 \text{ m}$, $\mu = 0,2$ ve $D_f=5,00 \text{ m}$ için derinlik faktörü (I_D)

Denklem 1.25 ile hesaplanmaktadır.

$$I_D = 0,66 \left(\frac{D_f}{B} \right)^{(-0,19)} + 0,025 \left(\frac{L}{B} + 12\mu - 4,6 \right) \quad (1.25)$$

$$I_D = 0,66 \left(\frac{5,00}{48,00} \right)^{(-0,19)} + 0,025 \left(\frac{221,00}{48,00} + 12 \times 0,2 - 4,6 \right) = 1,074$$

$B=48,00 \text{ m}$, $B'=24,00 \text{ m}$, $L=221,00 \text{ m}$, $H=3,00 \text{ m}$ için I_1 ve I_2 etki faktörleri

Tablo 1.13 ve 1.14 yardımı ile hesaplandığında, $I_1=0,006$ ve $I_2=0,044$ olarak bulunur.

Şekil faktörü ise Denklem 1.26 ile hesaplanmaktadır.

$$I_S = I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} I_2 \quad (1.26)$$

$$I_S = 0,006 + \frac{1-2 \times 0,2}{1-0,2} \times 0,044 = 0,039 \text{ bulunur.}$$

Siltli kum zemin için temel ortasındaki elastik oturma ise;

$$\rho_{3(esnek)} = 209 \times 24 \frac{1-0,2^2}{36000} \times 0,039 \times 1,074 \times 4 = 0,022 \text{ m}$$

$$\rho_{3(rijit)} = 0,93 \times 0,022 = 0,020 \text{ m olarak bulunur.}$$

13,00 – 20,00 m arasındaki elastik oturma;

$q = 34.600 \text{ t/m}^2 = 339,31 \text{ kN/m}^2$ için yaklaşık yöntemle bulunacak olan net temel basıncı;

$$q_{net} = \frac{(339,31 - 19,00 \times 5) \times 48,00 \times 221,00}{(48,00 + 11,5)(221,00 + 11,5)} = 187,34 \text{ kN/m}^2$$

$B = 48,00 \text{ m}$, $L = 221,00 \text{ m}$, $\mu = 0,2$ ve $D_f = 5,00 \text{ m}$ için derinlik faktörü (I_D)

Denklem 1.25 ile hesaplanmaktadır.

$$I_D = 0,66 \left(\frac{5,00}{48,00} \right)^{(-0,19)} + 0,025 \left(\frac{221,00}{48,00} + 12 \times 0,2 - 4,6 \right) = 1,074$$

$B = 48,00 \text{ m}$, $B' = 24,00 \text{ m}$, $L = 221,00 \text{ m}$, $H = 7,00 \text{ m}$ için I_1 ve I_2 etki faktörleri

Tablo 1.13 ve 1.14 yardımı ile hesaplandığında, $I_1 = 0,015$ ve $I_2 = 0,060$ olarak bulunur.

Şekil faktörü ise Denklem 1.26 ile hesaplanmaktadır.

$$I_s = 0,015 + \frac{1 - 2 \times 0,2}{1 - 0,2} \times 0,060 = 0,060 \text{ olarak bulunur.}$$

Çakıllı kum zemin için temel ortasındaki elastik oturma ise;

$$\rho_{4(esnek)} = 187,34 \times 24 \frac{1-0,2^2}{44000} \times 0,060 \times 1,074 \times 4 = 0,025 \text{ m}$$

$$\rho_{4(rijit)} = 0,93 \times 0,025 = 0,023 \text{ m olarak bulunur.}$$

Yapıda meydana gelecek olan toplam konsolidasyon ve elastik oturma ise;

$$\Sigma \rho = \rho_1 + \rho_2 + \rho_{3(esnek)} + \rho_{4(esnek)} = 0,039 + 0,045 + 0,020 + 0,023 = 0,127 \text{ m} = 12,7 \text{ cm}$$

olarak bulunur.

Temel sistemi radye olan betonarme binalar için izin verilebilir oturma değeri 50 mm olduğundan yapıda oturma problemi beklenmektedir.

2.1.9. Sıvılaşma Analizi

Eskişehir Yeni Stadyum projesi sondaj ve laboratuvar deney sonuçları üzerinden elde edilen veriler ışığında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği yerel zemin sınıflarına göre orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil olan ZD zemin sınıfına girdiği belirlenmiştir. Aynı yönetmeliğin ZD zemin sınıfına giren zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin bulunup bulunmadığı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 16B.4. bölümünde yer alan yöntemle göre 15 m derinliğe kadar inceleme yapılmıştır. Yönetmeliğin 16.6.5 bölümünde yer alan ifadeye doğrultusunda SPT vuruş sayısının, $N_{1,60}$ 30 darbe / 30 cm değerinden küçük olduğu durumlara göre zemin sıvılaşması tetiklenme değerlendirmesi yapılmıştır. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı AFAD Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulamasından deprem yer hareketi düzeyi DD-2'ye (50 yılda aşılma olasılığı %10 tekrarlanma periyodu 475 yıl) göre hesaplanmıştır. Cirit ve Uslu tarafından hazırlanan deprem risk analizine göre büyüklüğü 5.0 olan bir depremin dönüş periyodu 4 yıl ve 6.5 büyüklüğündeki bir depremin 51 yıldır ve 50 yıllık bir zaman diliminde 6.5 büyüklüğündeki bir depremin olma olasılığı ise % 62.2 olarak hesaplanmıştır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulunu Denklem 2.6'da verilmiştir. Sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu sıvılaşma direncinin (τ_R) depremde oluşacak kayma gerilmesine (τ_{deprem}) oranı ile bulunmaktadır.

$$\frac{\tau_R}{\tau_{deprem}} \geq 1,10 \quad (2.6)$$

Sıvılaşma direnci (τ_R), moment büyüklüğü 7.5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranının (CRR), tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısı (C_M) ve efektif düşey gerilme (σ'_{vi}) ile çarpılması ile Denklem 2.7'ye göre hesaplanmaktadır.

$$\tau_R = CRR_{M7,5} C_M \sigma'_{vi} \quad (2.7)$$

Moment büyüklüğü 7,5 olan depreme karşılık gelen çevrimsel direnç oranı ince dane içeriğine (IDI) göre düzeltilmiş $N_{1,60}$ değerine bağlı olarak Denklem 2.8'e göre hesaplanmaktadır.

$$CRR_{M7,5} = \frac{1}{34 - N_{1,60f}} + \frac{N_{1,60f}}{135} + \frac{50}{[10N_{1,60f} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (2.8)$$

İnce dane içeriğine göre düzeltilmiş $N_{1,60f}$ değeri ise Denklem 2.9'ye göre hesaplanmaktadır.

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta N_{1,60} \quad (2.9)$$

Burada α ve β değerleri ince dane içeriği düzelme katsayılarıdır. α ve β katsayıları Denklem 2.10 ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} \alpha = 0 & & ; & \beta = 1,0 & & IDI \leq \%5 \\ \alpha = EXP[1,76 - 190 / IDI^2] & ; & \beta = [0,99 + IDI^{1,5} / 1000] & & \%5 < IDI \leq \%35 & (2.10) \\ \alpha = 5,0 & & ; & \beta = 1,2 & & IDI \geq \%35 \end{aligned}$$

Deprem büyüklüğünü düzelme katsayısı tasarım deprem büyüklüğüne (M_W) bağlı olarak Denklem 2.11'e göre hesaplanmaktadır.

$$C_M = \frac{10^{2,24}}{M_W^{2,56}} \quad (2.11)$$

Depremde oluşacak kayma gerilmesi (τ_{deprem}) Denklem 2.12'ye göre hesaplanmaktadır.

$$\tau_{deprem} = 0,65\sigma_{vi}(0,4S_{DS})r_d \quad (2.12)$$

Burada;

σ_{vi} : Analiz yapılan derinlikteki toplam düşey gerilmeyi

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını (Boyutsuz)

r_d : Derinlikteki gerilme azaltma katsayısını ifade etmektedir.

Derinlikteki gerilme azaltma katsayısı ise Denklem 2.13'e göre hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} r_d &= 1,0 - 0,00765z \quad z \leq 9,15m \\ r_d &= 1,174 - 0,0267z \quad 9,15m < z \leq 23,00m \\ r_d &= 0,744 - 0,008z \quad 23,00 < z \leq 30,00m \\ r_d &= 0,50 \quad z > 30,00m \end{aligned} \quad (2.13)$$

Proje kapsamında 5,00 m temel alt kotundan itibaren 15,00 m derinliğe kadar yapılan sıvılaşma analizi Tablo 2.6'da verilmiştir. 5,00 – 7,50 m arası sıvılaşma analizinde güvenlik koşulunun 1,10 değerinden büyük olduğu hesaplanmıştır. $N_{1,60f}$ değerinin 30 değerinden büyük olduğu temiz granüler zeminler, sıvılaşma için çok sıkı kabul edilirler ve sıvılaşmayan zemin olarak sınıflandırılırlar. (Mollamahmutoğlu, 2006) 7,50 – 15,00 m derinlik aralığında $N_{1,60f}$ 30 değerinin aştığı için sıvılaşmayan zemin olarak tanımlanmıştır. 6.5 moment büyüklüğündeki depreme karşı yapılan sıvılaşma analizinde zeminin sıvılaşmaya karşı güvenli olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2.6. Sıvılaşma analiz sonuçları

Derinlik (m)	#200 GEÇEN %	α	β	$N_{1,60}$	$N_{1,60f}$	CRR	M_W	C_M	τ_R	0,4SDS	$\sigma_{vt}(kPA)$	$\sigma'_{vt}(kPA)$	r_d	τ_{deprem}	τ_R/τ_{deprem}	DURUM
1,5	96,68	5	1,2	8	15,1	-	6,5	1,44		0,3476	28,50	28,50	0,989	-	-	-
3,0	96,68	5	1,2	9	16,1	-	6,5	1,44		0,3476	57,00	57,00	0,977	-	-	-
4,5	57,42	5	1,2	15	23,2	-	6,5	1,44		0,3476	85,50	85,50	0,966	-	-	-
TEMEL ALTI SEVİYESİ (5,00) M																
6,0	63,84	5	1,2	21	29,8	0,45	6,5	1,44	67,87	0,3476	114,00	104,00	0,954	24,575	2,762	Sıvılaşma yok
7,5	81,71	5	1,2	23	32,5	0,90	6,5	1,44	152,70	0,3476	142,50	117,50	0,943	30,349	5,032	Sıvılaşma yok
9,0	69,38	5	1,2	26	35,7	-	6,5	1,44		0,3476	171,00	131,00	0,931	35,976	-	-
10,5	19,98	3,61	1,08	34	40,1	-	6,5	1,44		0,3476	199,50	144,50	0,894	40,281	-	-
12,0	17,11	3,03	1,06	31	36,1	-	6,5	1,44		0,3476	228,00	158,00	0,854	43,973	-	-
13,5	9,89	0,83	1,02	32	33,8	-	6,5	1,44		0,3476	256,50	171,50	0,814	47,148	-	-
15,0	44,3	5	1,2	38	51,0	-	6,5	1,44		0,3476	285,00	185,00	0,774	49,808	-	-

Eskişehir Yeni Stadyum projesi kapsamında zemin etüdü için açılan 13 adet sondaj kuyusunda yapılan standart penetrasyon testi ve kuyudan alınan numunelerin laboratuvar test sonuçları ışığında idealize zemin profili oluşturulup taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma analizleri yapılmıştır.

Taşıma gücü analizinde, radye temel altı zemin gerilmelerinin 34.60 t/m^2 mertebesine kadar çıktığı, maksimum zemin gerilmelerinin 20.12 t/m^2 değerinden büyük olduğu görülmekte ve zeminde taşıma gücü problemi belirlenmiştir.

Oturma analizinde, temel altı kohezyonlu zeminde konsolidasyon oturması ve kohezyonsuz zeminlerde ise elastik oturma analizlerinde $12,7 \text{ cm}$ oturma tespit edilmiştir. Bu değer radye temel için izin verilebilir oturma değerinden büyük olduğu ve yapıda oturma probleminin beklendiği belirlenmiştir.

6.5 moment büyüklüğündeki depreme karşı yapılan sıvılaşma analizinde zeminin sıvılaşmaya karşı güvenli olduğu belirlenmiştir.

Taşıma gücü ve oturma problemlerinden dolayı yapıda zemin güçlendirilmesinin yapılması gerektiği belirlenmiş olup yöntem olarak kazıklı temel olan derin karıştırma yöntemi seçilmiştir. Derin karıştırma kolonunun geleneksel yöntemle göre statik hesapları Bölüm 2.2'de detaylı olarak anlatılmaktadır.

2.2. Geleneksel Yöntemle Derin Karıştırma Kolonu Hesaplamaları

Eskişehir Yeni Stadyum projesinde taşıma gücü ve oturma problemlerinin $0,8 \text{ m}$ çapında 8 m derinliğinde ıslak derin karıştırma yöntemi ile zemin iyileştirilmesi karar

verilmiştir. Derin karıştırma kolonlarının yerleşimi yapılırken temel altında oluşan gerilmeler esas alınmıştır. Temel altında gerilmelerin değişim gösterdiği noktalara göre derin karıştırma kolonunun etki alanı belirlenmiştir.

Derin karıştırma kolonunun taşıma gücü hesabı için gerekli olan zemin parametreleri SPT deney sonuçlarına göre belli kabul ve ampirik formüller ile hesaplanmıştır.

Drenajsız kayma mukavemeti (c_u) plastisite indisine (I_p) bağlı olarak Stroud tarafından geliştirilen Denklem 1.11 ile bulunabilmektedir. 5,00 – 7,00 m aralığındaki killi ve 7,00 – 10,00 m aralığındaki siltli tabakanın %25 olan plastisite indisine karşılık gelen f_1 korelasyon katsayısı Şekil 1.44 yardımı ile 5 olarak belirlenmiştir.

5,00 – 7,00 m aralığındaki kil tabakanın c_u değeri;

$$c_u = f_1 N = 5 \times 24 = 120 \text{ kN/m}^2 \text{ bulunur.}$$

7,00 – 10,00 m aralığındaki silt tabakanın c_u değeri;

$$c_u = f_1 N = 5 \times 30 = 150 \text{ kN/m}^2 \text{ bulunur.}$$

Kohezyonsuz zeminlerde efektif içsel sürtünme açısı Tablo 1.7’de yer alan Dunham (1954) tarafından geliştirilen eşitliğe göre hesaplanmaktadır.

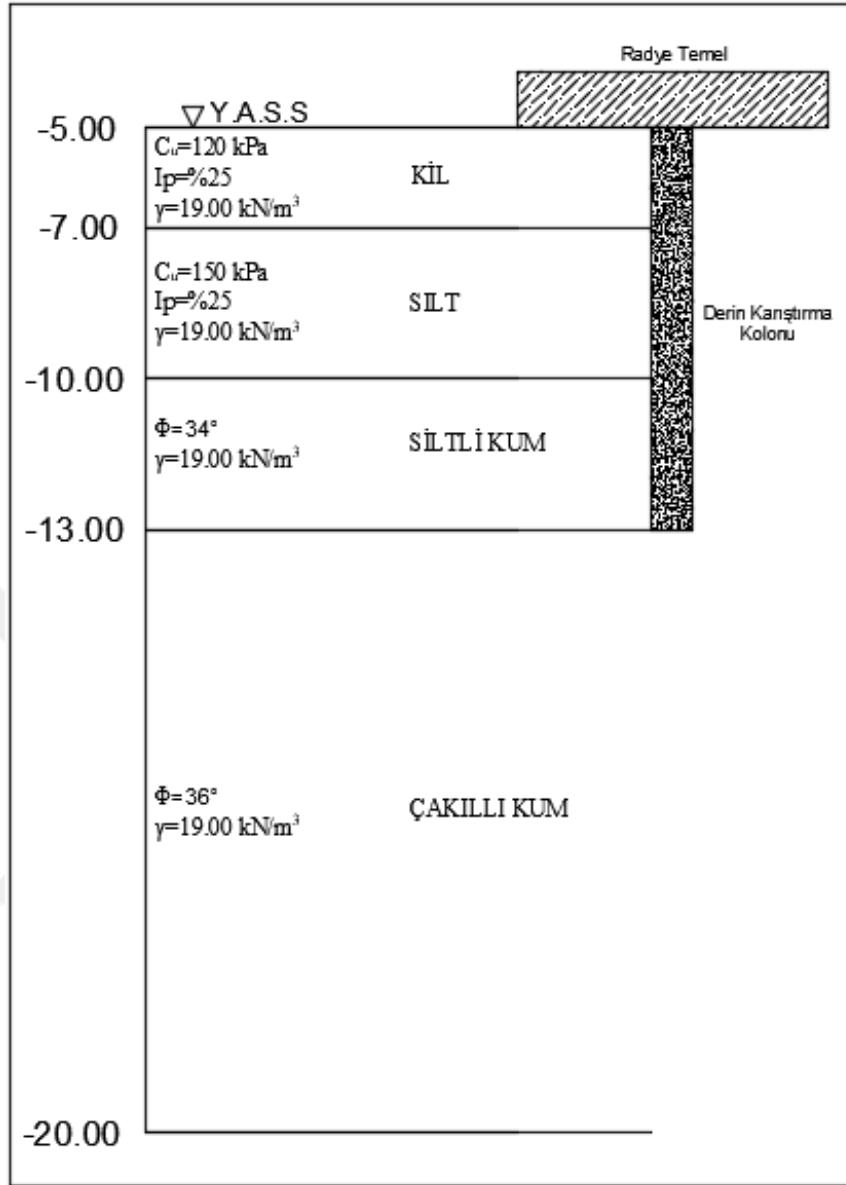
10,00 – 13,00 m aralığındaki siltli kum tabakanın ϕ' değeri;

$$\phi' = \sqrt{12N_{60}} + 15 = \sqrt{12 \times 32} + 15 = 34^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

13,00 – 20,00 m aralığındaki çakıllı kum tabakanın ϕ' değeri;

$$\phi' = \sqrt{12N_{60}} + 15 = \sqrt{12 \times 36} + 15 = 36^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

İdealize edilmiş zemin profiline ait parametreler ve derin karıştırma kolonunun zemin profili içerisindeki yerleşimi Şekil 2.4’te verilmiştir.



Şekil 2.4. Zemin profil içerisindeki derin karıştırma kolonu yerleşimi

2.2.1. Derin Karıştırma Kolonu Taşıma Gücü Hesabı

Kohezyonlu zeminlerdeki çevre sürtünmesi Denklem 2.14 bağlantısı ile hesaplanmaktadır. Denklem 2.14'te yer alan adezyon katsayısı değeri drenajsız kayma mukavemetine bağlı olarak Tablo 1.11'dan enterpolasyon yardımı ile belirlenmiştir.

$$Q_f = \sum p \Delta L_i \alpha_i c_{ui} \quad (2.14)$$

5,00 – 7,00 m aralığındaki kil tabakanın çevre sürtünmesi hesabı;

$$Q_{f_1} = \sum p \Delta L_i \alpha_i c_{ui} = \pi \times 0,80 \times 2,00 \times 0,516 \times 120 = 311 \text{ kN}$$

7,00 – 10,00 m aralığındaki silt tabakanın çevre sürtünmesi hesabı;

$$Q_{f_2} = \sum p \Delta L_i \alpha_i c_{ui} = \pi \times 0,80 \times 3,00 \times 0,42 \times 150 = 475 \text{ kN}$$

Kohezyonsuz zeminlerde derin karıştırma kolonunun çevre sürtünmesi hesabı yapılırken kritik derinliğin içinde kalıp kalmadığı kontrol edilir. Orta sıklıktaki kumlar için kritik derinlik kolon çapının 15 katıdır. 0,80 m çapında derin karıştırma kolonu için kritik derinlik 12 m olarak belirlenmiş olup, 8,00 m derinliğindeki derin karıştırma kolonunun daha derininde kaldığı tespit edilmiştir. Kohezyonlu zeminlerdeki çevre sürtünmesi Denklem 2.15 bağlantısı ile hesaplanmaktadır. Denklemde yer alan ortalama düşey efektif gerilme için siltli tabakanın orta noktasına göre alınmıştır

$$Q_f = \sum p \Delta L_i K_i \sigma'_{vi} \tan \delta_i \quad (2.15)$$

10,00 – 13,00 m aralığındaki siltli kum tabakanın çevre sürtünmesi hesabı;

$$\sigma'_{vi} = 19,00 \times (5,00 + 2,00 + 3,00 + 1,50) - 10 \times (2,00 + 3,00 + 1,50) = 153,50 \text{ kN}$$

$$Q_{f_3} = \sum p \Delta L_i K_i \sigma'_{vi} \tan \delta_i = 0,80 \times \pi \times 3 \times (1 - \sin 34) \times 153,5 \times \tan(1,0 \times 34) = 344 \text{ kN}$$

Derin karıştırma kolonu uç direnci Denklem 2.16 ile hesaplanmaktadır.

$$Q_p = A_p \sigma'_{vi} (N_q - 1) \quad (2.16)$$

$$\sigma'_{vi} = 19,00 \times (5,00 + 2,00 + 3,00 + 3,00) - 10 \times (2,00 + 3,00 + 3,00) = 167,00 \text{ kN}$$

$$Q_p = A_p \sigma'_{vi} (N_q - 1) = \frac{\pi \times 0,80^2}{4} \times 167,00 \times (21 - 1) = 1679 \text{ kN}$$

Derin karıştırma kolonunu çevre sürtünmesinin emniyetli taşıma gücü hesaplanırken güvenlik katsayısı 2 alınmıştır.

$$\sum Q_f = Q_{f_1} + Q_{f_2} + Q_{f_3} = 311 + 475 + 344 = 1130 \text{ kN}$$

$$Q_{f_{em}} = \frac{Q_f}{2} = \frac{1130}{2} = 565 \text{ kN}$$

Derin karıştırma kolonunu emniyetli uç taşıma gücü hesabı yapılırken güvenlik katsayısı 2 alınmıştır.

$$Q_{p_{em}} = \frac{Q_p}{2} = \frac{1679}{2} = 839,50 \text{ kN}$$

Derin karıştırma kolonunun toplam taşıyabileceği yük ve emniyetli yük ise;

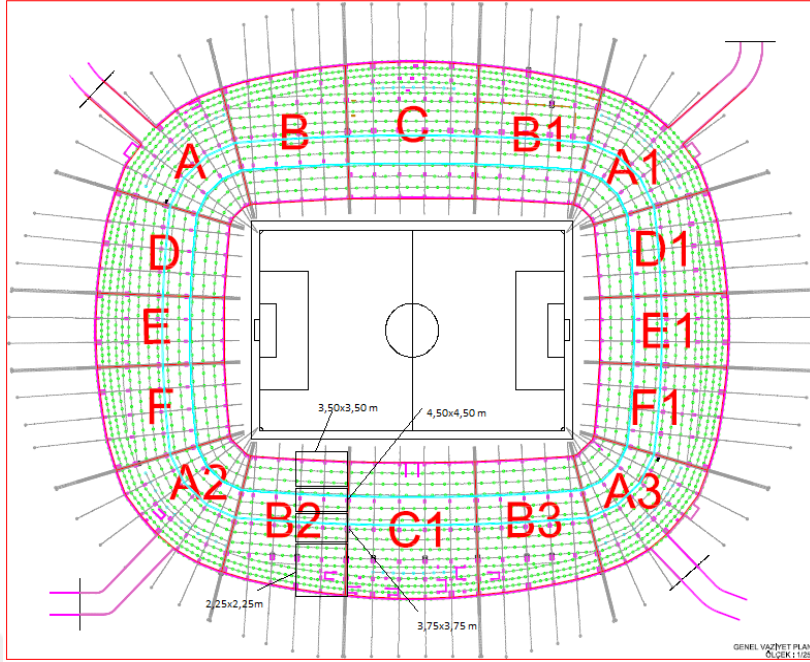
$$Q_u = Q_p + Q_f = 1679,00 + 1130,00 = 2809,00 \text{ kN} = 287,00 \text{ ton olarak bulunur.}$$

$$Q_{uem} = Q_{p_{em}} + Q_{f_{em}} = 839,50 + 565,00 = 1404,50 \text{ kN} = 143,50 \text{ ton olarak bulunur.}$$

Proje kapsamında Avcı (2013) tarafından hazırlanan geoteknik hesap raporunda derin karıştırma kolonunun toplam taşıyabileceği emniyetli yük 134,60 ton olarak bulunmuştur. İki farklı hesap raporunda 8,40 ton farkın genel sebebi SPT düzeltme işleminin farklı yapılması, drenajsız kayma mukavemeti ve efektif içsel sürtünme hesap korelasyonlarının farklı seçilmesinden kaynaklanmaktadır.

2.2.2. İyileştirilmiş Zeminin Emniyet Gerilmeleri

İyileştirilmiş zeminin emniyet gerilmeleri derin karıştırma kolonun etki alanına göre Denklem 1.17 ile belirlenmektedir. Temel altında gerilmelerin değişim gösterdiği noktalara göre teşkil edilmiş derin karıştırma kolonu genel aplikasyon vaziyet planı Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Derin karıştırma kolonu aplikasyon planı

$$\sigma_{ztop} = \frac{Q_{uem} + \sigma_{zemn}(A_{etki} - A_{dkk})}{A_{etki}} \quad (1.17)$$

2,25 m x 2,25 m karelaj bölgesi için;

$$\sigma_{ztop(2,25x2,25)} = \frac{143,50 + 20,12x(2,25x2,25 - 0,5026)}{2,25x2,25} = 46,46 \text{ t/m}^2$$

3,50 m x 3,50 m karelaj bölgesi için;

$$\sigma_{ztop(3,50x3,50)} = \frac{143,50 + 20,12x(3,50x3,50 - 0,5026)}{3,50x3,50} = 31,00 \text{ t/m}^2$$

3,75 m x 3,75 m karelaj bölgesi için;

$$\sigma_{ztop(3,75x3,75)} = \frac{143,50 + 20,12x(3,75x3,75 - 0,5026)}{3,75x3,75} = 29,60 \text{ t/m}^2$$

4,50 m x 4,50 m karelaj bölgesi için;

$$\sigma_{z_{top}(4,50 \times 4,50)} = \frac{143,00 + 19,74x(4,50 \times 4,50 - 0,5026)}{4,50 \times 4,50} = 26,70 \text{ t/m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

B2 blok arkasında iyileştirme öncesi temel altı gerilmelerin 34,60 t/m² mertebesine kadar çıktığı, B2 blok arkasında oluşturulan 2,25x2,25 m iyileştirilmiş karelaj bölgesinde 46,46 t/m² emniyetli zemin gerilmesi ile %34 daha güvenli tarafta kalındığı görülmüştür.

2.2.3. İyileştirilmiş Zeminin Oturma Hesabı

İyileştirilmiş zemindeki kazık gruplarının altında teşkil kum tabakasından dolayı sanal radye, radye temelden itibaren kazık boyu kadar derinden başlamaktadır. Radye ile sanal radye arasındaki oturma Denklem 1.18 ve ortalama elastisite modülü ise Denklem 1.19 ile hesaplanmaktadır.

Denklem 1.19'da yer alan derin karıştırma kolonunun elastisite modülü, Amerikan Beton Enstitüsü göre normal dayanımlı betonların betonun serbest basınç dayanımına (f_{ck}) bağlı olarak Denklem 2.17 ile hesaplanabilmektedir. Derin karıştırma kolonlarından alınmış örnek numuneler üzerinde yapılan basınç testlerinde ortalama serbest basınç dayanımı 8 Mpa olarak bulunmuştur. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için elastisite modülü Denklem 2.5 bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

13,00 – 20,00 metre arasındaki çakıllı kumlu zeminde meydana gelecek elastik oturma Denklem 1.23 ve 1.24 ile hesaplanmaktadır.

$$E_p = 4730\sqrt{f_{ckd}} \quad (2.17)$$

Serbest basınç dizayn dayanımı için güvenlik katsayısı 2 seçilirse;

$$f_{ckd} = \frac{f_{ck}}{2} = \frac{8}{2} = 4 \text{ Mpa olur.}$$

$$E_p = 4730\sqrt{f_{ckd}} = 4730\sqrt{4} = 9460 \text{ Mpa olarak belirlenmiş olur.}$$

$$E_s = 1000N_{60} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (2.5)$$

Zemin içerisindeki kazık boyunca zeminin ortalama değeri N_{60} 28'dir. Zeminin elastisite modülü;

$$E_s = 1000N_{60} = 1000 \times 28 = 28000 \text{ kN/m}^2 \text{ bulunur.}$$

2,25 x 2,25 etki alanına göre ortalama elastisite modülü;

$$a_s = \frac{\pi \times 0,80^2}{4} = 0,08$$

$$E_{ort} = E_{dkk} a_s + E_z (1 - a_s) = 9460 \times 0,08 + 28 \times (1 - 0,08) = 782,56 \text{ Mpa bulunur.}$$

$$q = 34.600 \text{ t/m}^2 = 339,31 \text{ kN/m}^2 \text{ için net temel basıncı;}$$

$$q_{net} = 339,31 - 19,00 \times 5 = 244,31 \text{ kN/m}^2$$

Radye ve sanal radye temel arasındaki 8,00 m mesafedeki meydana gelecek olan oturma;

$$\rho = \frac{q_{net} H_R}{E_{ort}} = \frac{244,31 \times 8,00}{785560} = 0,0025 \text{ m} = 2,50 \text{ mm olarak bulunur.}$$

13,00 – 20,00 metre arasındaki çakıllı kumlu zeminde meydana gelecek elastik oturma Denklem 1.23 ve 1.24 ile hesaplanmaktadır.

$$\rho_{i(esnek)} = q_{net} B \frac{1 - \mu^2}{E_s} I_S I_D C_{N_i} \quad (1.23)$$

$$\rho_{i(rijit)} = 0,93 \rho_{i(esnek)} \quad (1.24)$$

$q = 34.600 \text{ t/m}^2 = 339,31 \text{ kN/m}^2$ için sanal radye temelden itibaren yaklaşık yöntemle bulunacak olan net temel basıncı;

$$q_{net} = \frac{(339,31 - 19,00 \times 5) \times 48,00 \times 221,00}{(48,00 + 3,50)(221,00 + 3,50)} = 224,15 \text{ kN/m}^2$$

$B=48,00$ m, $L=221,00$ m, $\mu =0,2$ ve $D_f=5,00$ m için derinlik faktörü (I_D)

Denklem 1.25 ile hesaplanmaktadır.

$$I_D = 0,66 \left(\frac{5,00}{48,00} \right)^{(-0,19)} + 0,025 \left(\frac{221,00}{48,00} + 12 \times 0,2 - 4,6 \right) = 1,074$$

$B=48,00$ m, $B'=24,00$ m, $L=221,00$ m, $H=7,00$ m için I_1 ve I_2 etki faktörleri Tablo 1.13 ve 1.14 yardımı ile hesaplandığında, $I_1=0,015$ ve $I_2=0,060$ olarak bulunur. Şekil faktörü ise Denklem 1.26 ile hesaplanmaktadır.

$$I_s = 0,015 + \frac{1 - 2 \times 0,2}{1 - 0,2} \times 0,060 = 0,060 \text{ olarak bulunur.}$$

Çakıllı kum zemin için temel ortasındaki elastik oturma ise;

$$\rho_{2(esnek)} = 224,15 \times 24 \frac{1 - 0,2^2}{44000} \times 0,060 \times 1,074 \times 4 = 0,030 \text{ m}$$

$$\rho_{2(rijit)} = 0,93 \times 0,030 = 0,028 \text{ m olarak bulunur.}$$

İyileştirme sonra toplam oturma;

$$\Sigma \rho = \rho_1 + \rho_{2(esnek)} = 0,0025 + 0,028 = 0,0305 \text{ m} = 3,05 \text{ cm olarak bulunur.}$$

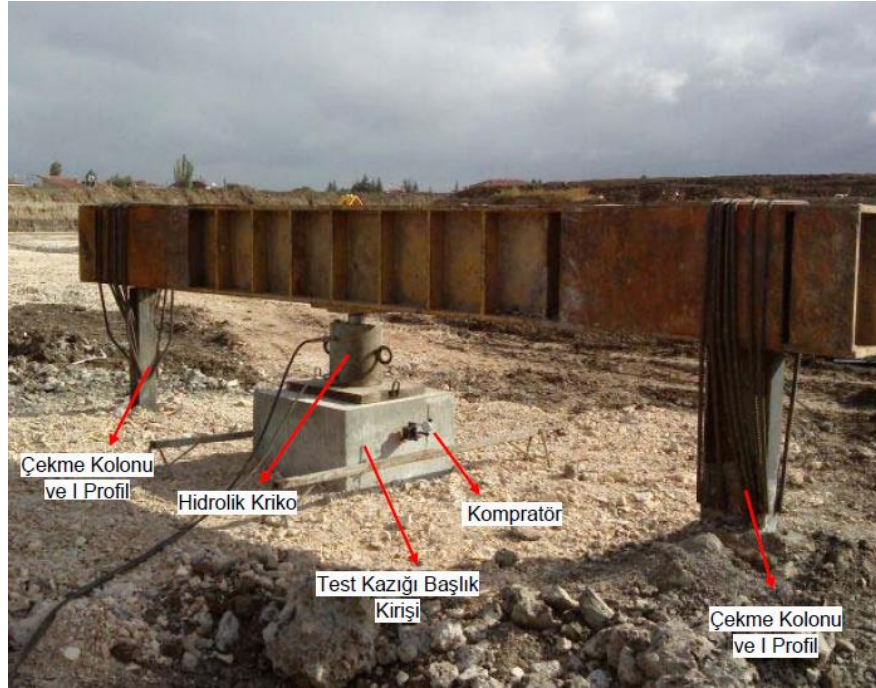
İyileştirilme sonrası hesaplanan oturma değeri, radye temel için izin verilebilir mutlak oturma değerinden küçük olduğundan yapıda oturma problemi bertaraf edilmiştir.

2.3. Derin Karıştırma Kolonunun Statik Kazık Yükleme Deneyi ile Göçme Yükünün Belirlenmesi

Kazıkların taşıma güçleri geleneksel yöntemlerle belli kabullere dayanarak belirlenmektedir. Belirlenen taşıma gücünün ne derece gerçeği yansıttığı bilinmemektedir. Kazıkların göçme yükünün tayinini en sağlıklı biçimde belirleyen, kazık imalatından sonra sahada uygulanan testlerdir. Kazıkların düşey yükler altında nihai taşıma güçleri statik yükleme ve dinamik yükleme testleri ile belirlenebilmektedir.

Statik yükleme deneylerinde kazık için eksenel çekme, eksenel basınç ve yanal yükleme olmak üzere üç farklı durumda yapılabilmektedir. Bunların en sık kullanılanı eksenel basınç deneyi ile göçme yükü tayinidir.

Eksenel basınç testinde yükleme düzeneği, ölü yük kullanarak, çekme kazıkları kullanarak ve germe kabloları kullanarak üç farklı yöntemle oluşturulabilmektedir. Çekme kazıkları kullanarak yapılan eksenel basınç testi diğer yöntemlere göre daha ekonomiktir. Çekme kazıkları ile oluşturulan yöntemde iki adet çekme ve test kazığı olmak üzere toplamda üç adet kazık kullanılmaktadır. Proje kapsamında çekme kazıkları ile oluşturulan statik eksenel basınç test düzeneği Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Derin karıştırma kolonu yükleme test düzeneği

Kazıkların yüklenmesi; kademeli yükleme, sabit penetrasyonlu yükleme ve çevrimli yükleme olmak üzere üç şekilde yapılabilmektedir. Daha çok tercih edilen kademeli yükleme deneyinde isminden de anlaşıldığı gibi proje yükünün %25'i kadar kademeli olarak arttırılması ve boşaltılması işlemi uygulanmaktadır. Yükleme kademesinde oturma hızı her 20 dakikada 1 mm düşüne kadar devam eder. Bu işlem proje yükünün 1.50 – 2.00 katına çıkana kadar devam etmektedir.

Eskişehir Yeni Stadyumu projesi kapsamında kolonların yük taşıma kapasitesini kontrol etmek için her blok altında bir adet olmak üzere toplamda 16 adet yükleme testi yapılmıştır. Yükleme testinde uygulanacak yük, Avcı (2013) tarafından geoteknik raporda hesaplanan 136,00 ton olarak alınmıştır. Yükleme işlemi 136,00 tona kadar kademeli bir şekilde uygulanıp boşaltılmıştır. Daha sonra proje yükünün 1.50 katı olan 204,00 tona kadar kademeli bir şekilde yüklenip boşaltılmış. Bir adet kolon ise göçme yüküne kadar yüklenmiştir. 16 adet derin karıştırma kolonu için çekme kazıkları düzeneği ile uygulanan kademeli aksenal statik yükleme deneyinin zaman yük oturma değerleri Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Yükleme deneyi oturma değerleri

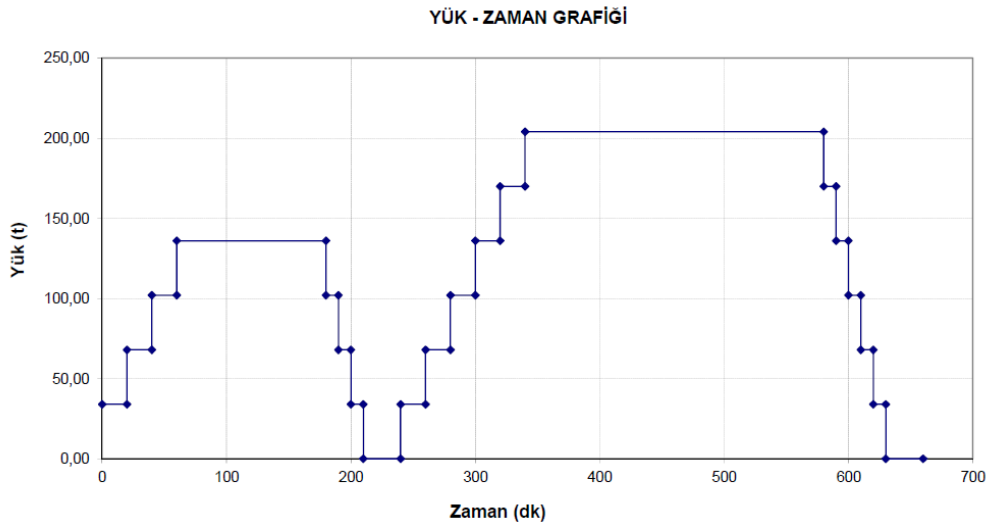
Proje Yüğü (%)	Uygulanan Yüğü (Ton)	Okuma Süresi (dk)	Oturama Değerleri (mm)							
			1 Nolu Kolon	2 Nolu Kolon	3 Nolu Kolon	4 Nolu Kolon	6 Nolu Kolon	7 Nolu Kolon	8 Nolu Kolon	
0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	34,00	20	1,03	0,84	1,01	0,72	0,93	1,25	0,74	
50	68,00	20	2,83	2,20	2,36	1,54	2,09	2,97	1,68	
75	102,00	20	5,97	4,68	4,12	2,98	3,72	4,60	3,65	
100	136,00	120	10,72	8,28	7,66	5,36	6,99	8,20	6,98	
75	102,00	10	9,45	7,94	6,86	4,99	6,71	7,82	6,23	
50	68,00	10	7,13	6,96	5,66	3,97	5,94	6,95	4,96	
25	34,00	10	5,15	5,12	4,12	2,89	4,83	5,72	3,25	
0	0,00	30	3,30	3,33	2,10	1,51	3,36	3,95	1,65	
25	34,00	20	4,76	4,46	3,21	2,47	4,33	5,14	2,94	
50	68,00	20	6,11	5,91	4,46	3,47	5,16	6,19	4,34	
75	102,00	20	8,04	7,43	5,91	4,26	6,41	7,44	5,61	
100	136,00	20	9,74	8,89	7,79	5,53	7,97	8,98	7,11	
125	170,00	20	12,66	11,41	9,98	7,28	9,96	12,44	9,22	
150	204,00	240	17,75	14,94	13,69	10,23	13,31	16,92	13,26	
125	170,00	10	17,03	14,21	13,01	10,01	12,95	16,08	12,98	
100	136,00	10	15,60	12,93	11,95	9,09	12,01	14,94	11,87	
75	102,00	10	13,89	11,36	10,46	7,86	11,19	13,82	11,01	
50	68,00	10	11,69	9,54	8,88	6,41	9,98	11,34	9,65	
25	34,00	10	9,20	7,36	7,11	5,01	7,69	9,00	7,22	
0	0,00	30	6,30	5,36	4,86	3,21	5,12	6,49	5,02	

Tablo 2.7. 'nin devamı

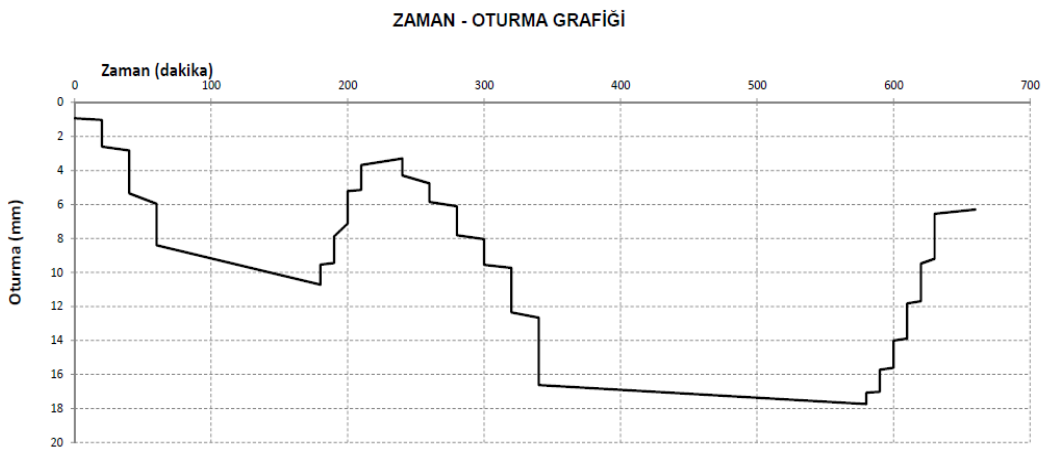
Proje Yüğü (%)	Uygulanan Yüğü (Ton)	Okuma Süresi (dk)	Oturama Değerleri (mm)						
			9 Nolu Kolon	10 Nolu Kolon	11 Nolu Kolon	13 Nolu Kolon	14 Nolu Kolon	15 Nolu Kolon	16 Nolu Kolon
0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	34,00	20	0,55	1,36	0,96	1,13	0,85	1,01	1,26
50	68,00	20	1,73	2,69	2,07	3,18	2,06	2,85	2,57
75	102,00	20	3,14	5,03	3,55	5,26	3,84	5,12	4,54
100	136,00	120	5,70	8,89	6,86	8,72	7,42	8,69	8,65
75	102,00	10	5,30	8,32	6,41	8,21	7,19	9,19	8,23
50	68,00	10	4,43	7,11	5,53	6,87	6,22	6,56	6,87
25	34,00	10	3,47	5,78	4,67	5,11	5,04	4,22	4,88
0	0,00	30	1,89	3,44	3,14	2,45	3,28	2,01	3,13
25	34,00	20	3,78	4,89	3,92	4,23	4,62	4,58	4,58
50	68,00	20	3,69	6,12	4,97	5,84	5,79	5,98	5,98
75	102,00	20	4,92	7,59	6,07	7,22	6,95	7,56	7,56
100	136,00	20	6,13	9,23	7,61	9,36	8,51	9,23	9,23
125	170,00	20	8,07	11,69	10,13	12,67	11,54	12,23	12,23
150	204,00	240	11,29	17,53	14,87	17,65	16,81	17,56	19,56
125	170,00	10	10,92	16,33	14,31	17,01	16,55	17,19	17,19
100	136,00	10	10,13	14,32	13,16	15,67	15,21	15,86	15,86
75	102,00	10	9,13	12,89	11,89	13,65	13,26	14,02	14,02
50	68,00	10	7,56	11,12	10,69	11,29	11,26	11,66	11,66
25	34,00	10	5,92	8,89	8,49	8,26	8,97	9,23	9,23
0	0,00	30	4,03	5,89	6,13	4,98	5,63	6,22	6,22

Proje Yüğü (%)	Uygulanan Yüğü (Ton)	Okuma Süresi (dk)	Oturma (mm)	Proje Yüğü (%)	Uygulanan Yüğü (Ton)	Okuma Süresi (dk)	Oturma (mm)	Ortalama (mm)
			12 Nolu Kolon				5 Nolu Kolon	
0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	-
25	34,00	60	1,13	25	34,00	20	0,65	-
50	68,00	60	2,36	50	68,00	20	1,52	-
75	102,00	60	3,96	75	102,00	20	2,46	-
100	136,00	60	7,12	100	136,00	120	4,65	7,56
75	102,00	20	6,84	75	102,00	10	4,36	-
50	68,00	20	5,73	50	68,00	10	3,23	-
25	34,00	20	4,12	25	34,00	10	2,18	-
0	0,00	20	2,36	0	0,00	30	1,12	-
25	34,00	20	3,66	25	34,00	20	2,02	-
50	68,00	60	4,95	50	68,00	20	3,09	-
75	102,00	60	6,52	75	102,00	20	4,17	-
100	136,00	60	8,11	100	136,00	20	5,30	-
125	170,00	60	10,86	125	170,00	20	7,25	-
150	204,00	60,00	13,98	150	204,00	240	10,22	14,96
150	204,00	60	14,15	125	170,00	10	10,02	-
150	204,00	60	14,38	100	136,00	10	9,09	-
150	204,00	60	14,61	75	102,00	10	7,86	-
150	204,00	60	14,80	50	68,00	10	6,41	-
150	204,00	60	14,98	25	34,00	10	5,00	-
150	204,00	60	15,10	0	0,00	30	3,19	-
150	204,00	60	15,27	25	34,00	20	4,51	-
150	204,00	60	15,40	50	68,00	20	5,59	-
150	204,00	60	15,53	75	102,00	20	6,67	-
150	204,00	60	15,62	100	136,00	20	7,80	-
150	204,00	60	15,68	125	170,00	20	9,75	-
125	170,00	20	15,26	150	204,00	20	12,12	-
100	136,00	20	13,89	175	238,00	20	16,61	-
75	102,00	20	12,34	200	272,00	20	21,67	-
50	68,00	20	10,36	225	306,00	20	66,60	-
25	34,00	20	8,12					
0	0,00	20	5,45					

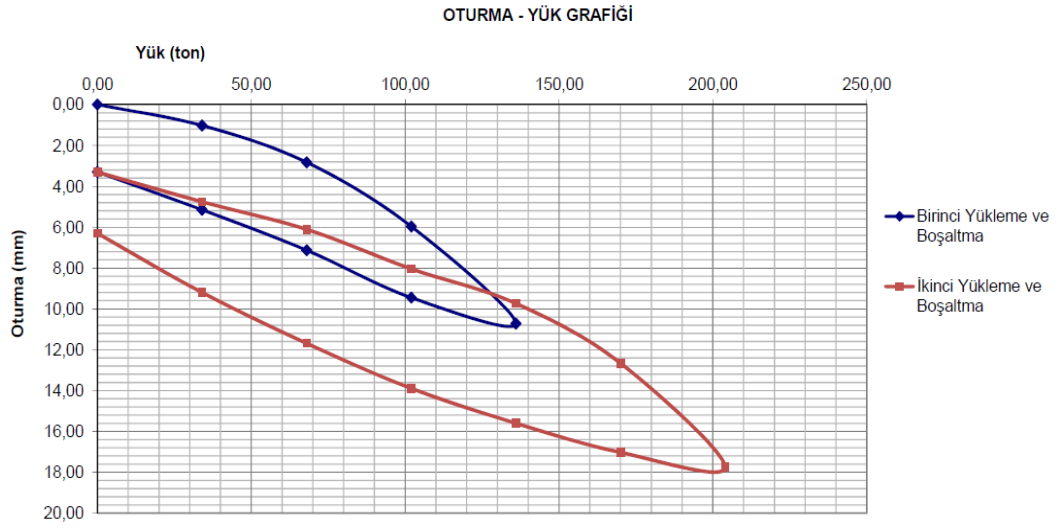
136 ton için yapılan yükleme deneyinin %100 kademe değerine ulaşıldığında ortalama 7,56 mm oturma meydana gelmiştir. Proje yükünün 1,50 katı değeri olan 204 ton için yapılan yükleme değeri için yapılan yükleme deneyinin %100 kademe değerine ulaşıldığında ortalama 14,96 mm, yükün boşaltılması sonrası ise ortalama 5,39 mm plastik oturma meydana gelmiştir. 1 numaralı test kolonu için yapılan kademeli statik eksenel basınç deneyine ait yük – zaman grafiği Şekil 2.7’de, zaman - oturma grafiği Şekil 2.8’de ve taşıma kapasitesi tayini için gerekli olan yük–oturma grafiği ise Şekil 2.9’da; diğer kolonlara ait yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri ise Ek 2’de verilmiştir.



Şekil 2. 7. 1 nolu test kolonu için yük-zaman grafiği



Şekil 2 8. 1 nolu test kolonu için zaman-oturma grafiği



Şekil 2.9. 1 nolu test kolonu için oturma-yük grafiği

2.3.1. Derin Karıştırma Kolonunda Geleneksel Yönteme Göre Tek Bir Kolon İçin Oturma Değerinin Bulunması

Kademeli statik eksenel kazık yükleme deneyinde %100 kademe yükü için kazığın otuma değeri hesaplanacağı gibi geleneksel yöntemler ile hesaplanabilmektedir. Geleneksel yöntemler ile hesaplanan otuma değerin yükleme testindeki oturma değeri ile mukayesesi mümkündür. Tomlinson (1994) tarafından geliştirilen tek bir kazık için hesaplanan uç taşıma gücü ve çevre sürtünme taşıma gücü altında; çevre oturması, uç oturması ve kazık boyundaki elastik kısalmayı içeren formül Denklem 2.18'de verilmiştir.

$$\rho = \frac{(W_f + 2W_p)L}{2A_f E_p} + \frac{\pi W_b D (1 - \nu^2) I_p}{4A_p E_s} \quad (2.18)$$

Burada;

ρ : Toplam oturmayı

W_p : Derin karıştırma kolonu uç bölgesi yükünü

W_f : Derin karıştırma kolonu çevre yükünü

L : Derin karıştırma kolon uzunluğunu

A_p : Derin karıştırma kolonu uç bölgesi alanını

A_f : Derin karıştırma kolonu çevresi sürtünme yüzey alanını

E_p : Derin karıştırma kolonu elatisite modülü

D : Derin karıştırma kolon çapı

ν : Zemin poisson oranı

I_p : L/D oranına bağlı bir katsayı (L/D>5 olduğunda, $I_p = 0,5$) (Tomlinson, 1994)

E_s : Derin karıştırma kolon ucu zeminin deformasyon modülünü ifade etmektedir.

Geleneksel yöntem ile hesaplanmış 143,50 ton ($Q_{p_{em}} = 839,50$ kN, $Q_{f_{em}} = 565,00$) servis yükü altındaki derin karıştırma kolonunda meydana gelecek olan oturma;

$$\rho = \frac{(565,00 + 2 \times 839,50) \times 8,00}{2 \times 20,10 \times 9460000} + \frac{\pi \times 839,50 \times 0,80 (1 - 0,3^2) \times 0,50}{4 \times 0,5024 \times 44000} = 0,01 \text{ m}$$

Geleneksel yöntem ile hesaplanmış 143,50 ton servis yükünün 1,50 katı değeri olan 214,75 ton ($Q_{p_{em}} = 1259,25$ kN, $Q_{f_{em}} = 847,50$) yük altında meydana gelecek oturma;

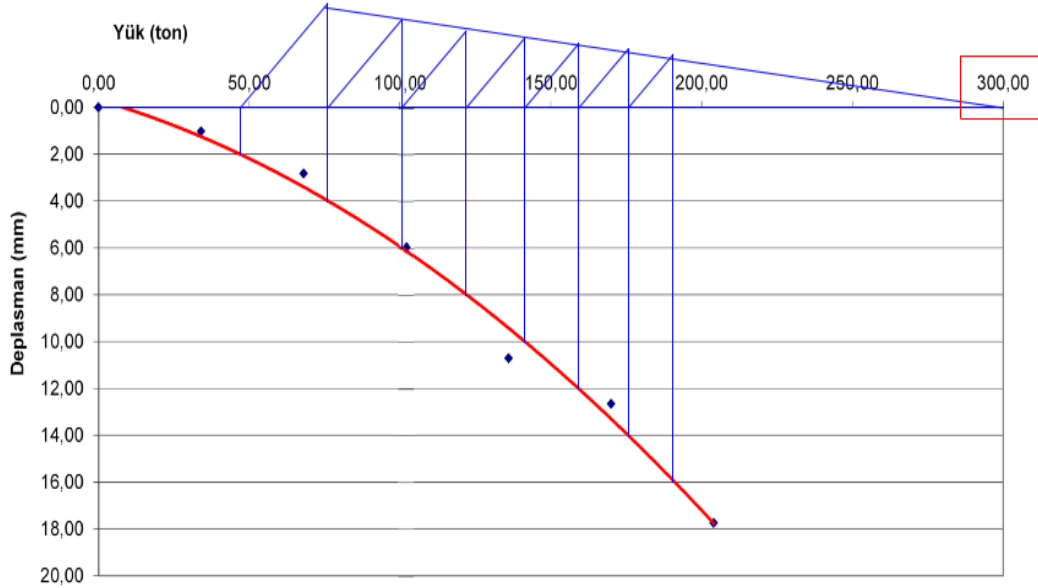
$$\rho = \frac{(847,50 + 2 \times 1259,25) \times 8,00}{2 \times 20,10 \times 9460000} + \frac{\pi \times 1259,25 \times 0,80 (1 - 0,3^2) \times 0,50}{4 \times 0,5026 \times 44000} = 0,0162 \text{ m}$$

Kazık yükleme deneyine göre 136,00 yükleme altında ortalama 7,56 mm, 204,00 ton yükleme altında ise ortalama 14,56 mm oturma meydana gelmiştir. Geleneksel yöntem ile hesaplanan elastik oturmada; 143,50 ton yükleme altında 10 mm, 214,50 ton altında ise 16,20 mm oturma meydana gelmiştir. Avcı (2013) tarafından hesaplanan 136,00 ton yük ile gerçekleştirilen yükleme testinde ortalama oturma değeri ve geleneksel yöntemle göre hesaplanan 143,50 ton yük altındaki oturma değerleri yakın çıkmıştır. 7,00 ton yük farkına rağmen servis yükü altında hesaplanan oturmalarda 2,44 mm, servis yükünün 1,50 katı altında hesaplanan oturmalarda ise 1,64 mm fark vardır. Her iki yöntem ile hesaplanan oturma değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

2.3.2. Derin Karıştırma Kolonunda Göçme Yükünün Mazurkiewicz Yöntemi ile Belirlenmesi

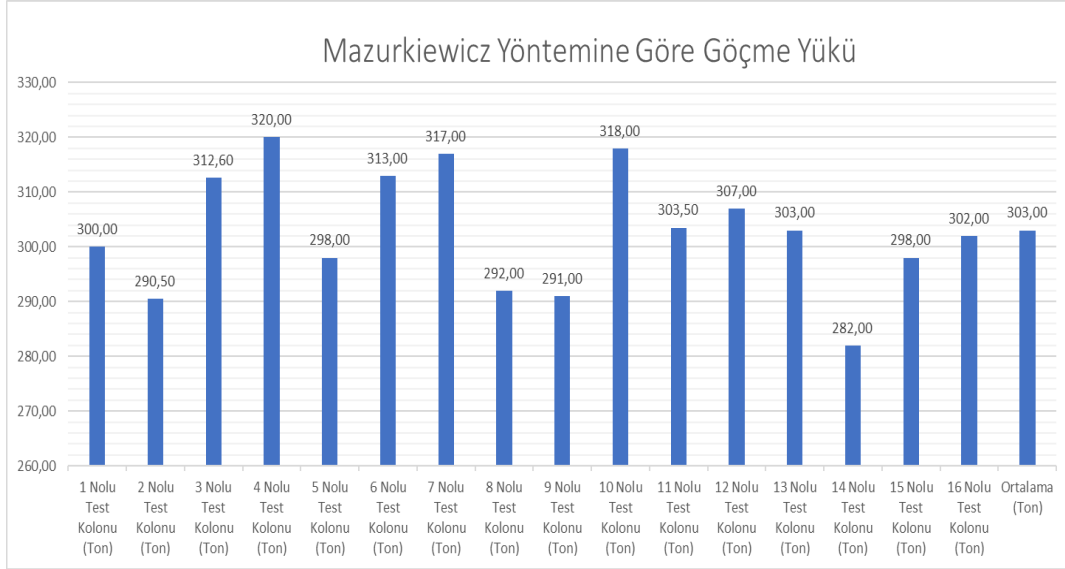
Derin karıştırma kolonu için sahada yapılan statik aksenal basınç testinden elde edilen yük-oturma grafiğinden yararlanarak kazık göçme yükü bulunabilmektedir. Mazurkiewicz (1972) tarafından geliştirilen bu yöntemde yük-oturma grafiğindeki oturma eksenini eşit aralıklara bölünür. Bölünen noktalardan yük eksenine paralel doğrular çizilir. Çizilen paralel doğrular grafikteki parabolik eğri ile kesiştirilip oturma eksenine paralel doğrular çizilir. Doğruların yük eksenini kestiği noktalardan yük eksenine 45° eğime sahip doğrular çizilerek oturma eksenine paralel doğrular ile kesiştirilir ve kesiştirilen noktalardan çizilen doğrunun yük eksenini kestiği nokta göçme yükü olarak belirlenmiş olur. (Birand, 2007)

1 nolu kolon için yük-oturma grafiğinden Mazurkiewicz yöntemi ile bulunan göçme yükü için çizilen grafik Şekil 2.10'de gösterilmiştir. Diğer kolonlar için Mazurkiewicz yöntemi ile çizilen grafikler Ek 3'te verilmiştir.



Şekil 2.10. 1 nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

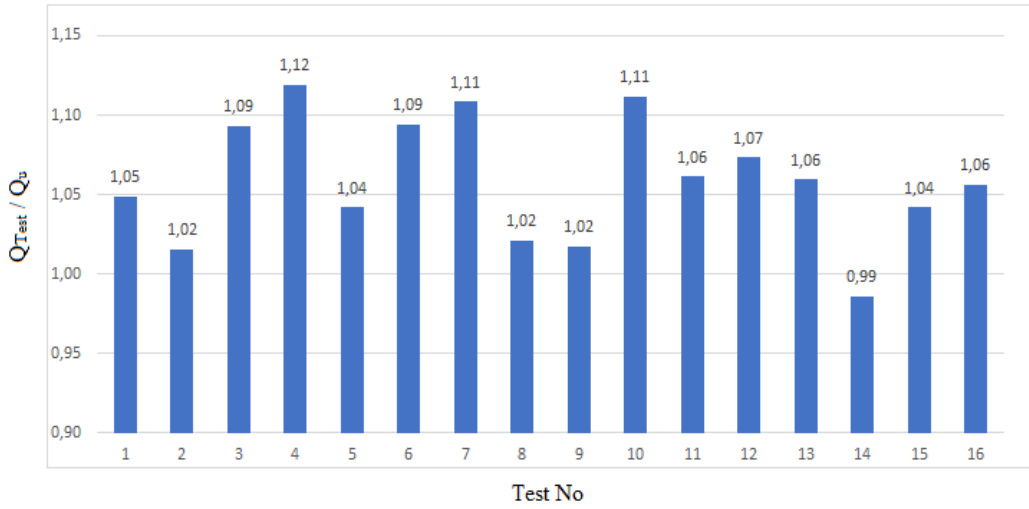
Diğer derin karıştırma kolonları için Mazurkiewicz yöntemi ile belirlenmiş olan göçme yüküne ait değerler grafik olarak Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11. Test kolonlarının Mazurkiewicz yöntemi göre göçme yükü

Derin karıştırma kolonları için yapılan kademeli statik eksenel basınç testine göre göçme yükü ortalama 303,00 ton olarak bulunmuştur. 12 Nolu kolon için yükleme deneyinde göçme yüküne kadar yüklemiş, 306,00 ton değerinde kolon göçmüştür. Mazurkiewicz yöntemi ve test sonucu elde edilen değerlerin yakın olduğu, Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükü tayininin başarılı bir şekilde elde edildiği görülmektedir.

303,00 ton bulunan ortalama göçme yükünün Geleneksel yöntemle göre hesaplanan emniyetli kazık yükleme değerine (143,50 ton) oran ile hesaplanan güvenlik katsayısının değeri 2,11'dir. Mazurkiewicz yöntemine göre bulunan 303,00 ton göçme yükünün geleneksel yöntemle göre 287,00 ton bulunan nihai taşıma gücü oranına ait grafik Şekil 2.12'de verilmiştir. Şekil 2.12'e göre ortalama oran 1,06'dır. Geleneksel yöntemle göre hesaplanan nihai taşıma gücünün, test sonucuna göre hesaplanan göçme yüküne göre %6 daha güvenli tarafta olduğu görülmektedir.



Şekil 2.12. Test ile belirlenen göçme yükünün geleneksel yöntemle göre belirlenen nihai taşıma güne oranı

2.3. Vakanın Plaxis Sonlu Elemanlar Programı ile Analizi

Sonlu elemanlar yöntemi mühendislik problemlerinin çözümünde tercih edilen nümerik bir yöntemdir. Kompleks bir problemi farklı yükleme ve çoklu parametreler altında analitik yöntemle çözümü gerçeğe yakın sonuçlar vermeyebilir. Sonlu elemanlar yöntemiyle karmaşık bir sistemde yapı elemanı bütün olarak ele almak yerine, daha küçük sonlu parçalara ayırır ve her bir ayrılmış parçayı kendi içerisinde çözümleyerek gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilmektedir (Aydın, 2018).

Plaxis 1986 yılında Oosterschelde barajındaki hareketleri tahmin etmek amacı ile Hollanda Delft Üniversitesi tarafından geliştirilen ve sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapan bir geoteknik mühendisliği programıdır. Plaxis programı ile geoteknik mühendisliği problemlerinden olan stabilite, gerilme-şekil değiştirme, konsolidasyon, akım ağı, yapı zemin etkileşimi gibi analizleri yapılabilmektedir.

Tez kapsamında geleneksel yöntemle göre iyileştirme öncesi ve sonrası radye temel oturumlarının Plaxis programı ile mukayese edilecektir. Geleneksel yöntemle göre analizlerde killi ve siltli zeminler için drenajsız zemin parametreleri kullanılmıştır. Plaxis programında ise zamana bağlı olarak boşluk suyu basıncının sönmüneceğinden dolayı drenajlı zemin parametreleri kullanılmıştır.

2.3.1. Analizde Kullanılan Zemin Modelleri ve Elemanları

Plaxis ile yapılan analizlerde hardening-soil zemin modeli ve plate, anchors, interface, gibi yapısal elemanlar kullanılmıştır.

2.3.1.1. Hardening-Soil Modeli

Analiz kapsamında Zemin modeli olarak hardening-soil (pekleşen-zemin) modeli kullanılmış olup davranış türü olarak ise drenajlı parametre seçilmiştir. Hardening-soil zemin modelinde, zemin yükleme altında sıkışacağından dolayı zeminin elastisite modülü artmaktadır. Hardening-soil zemin modelinde c (kayma mukavemeti), ψ (içsel sürtünme açısı), ψ (kabarma açısı), ν (poisson oranı) gibi zemin parametrelerinin yanı sıra E_{50} (üç eksenli sertlik), E_{ur} (üç eksenli boşaltma sertliği) ve E_{oed} (aşırı gerilim yükleme sertliği) gibi rijitlik parametreleri kullanılmaktadır.

2.3.1.2. Plate Eleman Tanımlanması

Derin karıştırma kolonu ve radye temel plate eleman olarak tanımlanmıştır. Plate eleman parametrelerinden eğilme rijitliği (EI) ve normal rijitlik (EA) hesaplamalarına göre program otomatik eleman kalınlığı (d) atayarak kontrol etmemize olanak sağlamaktadır. Plate eleman ağırlığı (w) zemin içerisine batma oranına göre zemin ağırlığının çıkarılması ile bulunmaktadır.

2.3.1.3. Anchors Eleman Tanımlanması

5,00 m temel derinliğindeki zemin hareketlerini sınırlamak için plate elemandan perde tanımlanıp yatay destek elemanı olarak da anchors (ankraj) eleman kullanılmıştır. Anchors eleman istenilen açıda girilebilmekte ve ön germe elemanı olarak da modellenebilmektedir. Eleman parametresi olarak normal rijitlik (EA), eleman arası mesafe, basınç ve çekme için ankraj kuvveti girilebilmektedir.

4.3.1.4. Interface Eleman Tanımlanması

Derin karıştırma kolonu ve radye temelin zemin ile arasındaki etkileşim için interface (ara yüzey) eleman tanımlanmıştır. Interface eleman modellemesinde yapı ile zemin arasındaki pürüzlülüğe bağlı olarak 0,00-1,00 aralığında azalma katsayısı (R_{inter}) uygulanmaktadır. Zemin ve eleman arasındaki tavsiye edilen etkileşim R_{inter} katsayıları Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.8. Tavsiye edilen katsayıları (Aksangür, 2017)

Eleman Etkileşimi	Tavsiye Edilen R_{inter} Aralığı
Kum Zemin-Çelik	0,6-0,7
Kil Zemin-Çelik	0,5
Kum Zemin-Beton	1,0-0,8
Kil Zemin-Beton	1,0-0,7
Zemin-Geogrid	1,0
Zemin-Geotekstil	0,9-0,5

2.3.2. Derin Karıştırma Kolonu ve Zemin Parametreleri Kabulü

Derin karıştırma kolonu ve zemin parametrelerine ait elastisite modülü, kayma mukavemeti, içsel sürtünme açısı, poisson oranı ve kabarma açısı kabulleri aşağıda verilmiştir.

2.3.2.1. Elastisite Modülü (E) Kabulü

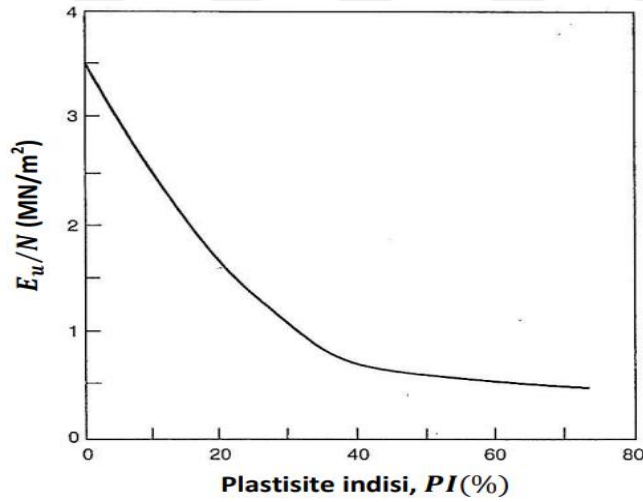
Kohezyonlu zeminlerde drenajsız elastisite modülü (E_u) ile drenajlı elastisite modülü (E'_s) arasındaki bağlantı Denklem 2.19’da verilmiştir. Drenajsız elastisite modülü plastisite indisine bağlı olarak Şekil 2.13’ye göre belirlenmektedir. %25 plastisite indisine

karşılık gelen E_u / N değeri 1,125 Mpa'dır Denklem 2.19'daki β' katsayısı zeminin poisson oranına bağlı olarak Tablo 2.9'den alınmaktadır.

$$E'_s = \beta' E_u \quad (2.19)$$

Tablo 2. 9. Zemin türleri için β' katsayısı (Poulos & Small, 2000)

Zemin Türü	β Katsayısı
Çakıl	0,9
Kum	0,8
Silt, Siltli kil	0,7
Sert kil	0,6
Yumuşak kil	0,4



Şekil 2.13. I_p ve E_u arasındaki ilişki (Poulos & Small, 2000)

0,00 – 5,00 m aralığındaki kil tabakanın E'_s değeri;

$$E'_s = \beta' E_u = 0,6 \times 1,125 \times 15 = 10 \text{ Mpa}$$

5,00 – 7,00 m aralığındaki kil tabakanın E'_s değeri;

$$E'_s = \beta' E_u = 0,6 \times 1,125 \times 24 = 16,20 \text{ Mpa}$$

7,00 – 10,00 m aralığındaki silt tabakanın E'_s değeri;

$$E'_s = \beta' E_u = 0,6 \times 1,125 \times 30 = 23,60 \text{ Mpa olarak bulunur.}$$

Denklem 2.5' göre göre hesaplanan siltli kum ve çakıllı kum tabakaları için E'_s değerleri sırası ile 36 Mpa ve 44 Mpa'dır

Denklem 2.17'ye göre hesaplanan derin karıştırma kolonu elastisite modülü 9460 Mpa olarak belirlenmiştir. C30 beton sınıfı radye temel için elastisite modülü 32000 Mpa alınmıştır.

2.3.2.2. Kayma Mukavemeti (C') Kabulü

Hardening-soil zemin modeline göre drenajlı parametreler kullanılmıştır. Kohezyonlu zeminlerde Sorensen & Okkels (2013) tarafından geliştirilen drenajsız kayma mukavemetinden drenajlı kayma mukavemetine (C') dönüşüm korelasyonu Denklem 2.20'da verilmiştir.

$$C' = 0,10c_u \quad (2.20)$$

0,00 – 5,00 m aralığındaki killi tabakanın %25 olan plastisite indisine karşılık gelen f_1 korelasyon katsayısı Şekil 1.44 yardımı ile 5 olarak belirlenmiştir.

0,00 – 5,00 m aralığındaki kil tabakanın c_u değeri;

$$c_u = f_1 N = 5 \times 15 = 75 \text{ kN/m}^2 \text{ bulunur.}$$

0,00 – 5,00 m aralığındaki kil tabakanın C' değeri;

$$C' = 0,10c_u = 0,10 \times 75 = 7,50 \text{ kN/m}^2$$

5,00 – 7,00 m aralığındaki kil tabakanın C' değeri;

$$C' = 0,10c_u = 0,10 \times 120 = 12,00 \text{ kN/m}^2$$

7,00 – 10,00 m aralığındaki silt tabakanın C' değeri;

$$C' = 0,10c_u = 0,10 \times 150 = 15,00 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

2.3.2.3. Efektif İçsel Sürtünme Açısı (ϕ') Kabulü

Kohezyonlu zeminlerde Sorensen & Okkels (2013) tarafından geliştirilen platisite indisine (I_p) bağlı olarak efektif içsel sürtünme açısına (ϕ') dönüşüm korelasyonu Denklem 2.21'de verilmiştir. Kohezyonsuz zeminlerde ise efektif içsel sürtünme açısı Tablo 1.7'de yer alan Dunham (1954) tarafından geliştirilen eşitliğe göre hesaplanmaktadır.

$$\phi' = 45 - 14 \text{Log}(I_p) \quad (2.21)$$

0,00 – 5,00 m aralığındaki kil tabakanın ϕ' değeri;

$$\phi' = 45 - 14 \text{Log}(I_p) = 45 - 14 \text{Log}(25) = 26^\circ$$

5,00 – 7,00 m aralığındaki kil tabakanın ϕ' değeri;

$$\phi' = 45 - 14 \text{Log}(I_p) = 45 - 14 \text{Log}(25) = 26^\circ$$

7,00 – 10,00 m aralığındaki kil tabakanın ϕ' değeri;

$$\phi' = 45 - 14 \text{Log}(Ip) = 45 - 14 \text{Log}(25) = 26^\circ$$

10,00 – 13,00 m aralığındaki siltli kum tabakanın ϕ' değeri;

$$\phi' = \sqrt{12N_{60}} + 15 = \sqrt{12 \times 32} + 15 = 34^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

13,00 – 20,00 m aralığındaki çakıllı kum tabakanın ϕ' değeri;

$$\phi' = \sqrt{12N_{60}} + 15 = \sqrt{12 \times 36} + 15 = 36^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

2.3.2.4. Poisson Oranı (ν) Kabülü

Farklı zemin türlerine ait poisson oranları Tablo 2.5'te verilmiştir. Tablo 2.5' göre kil ve silt zemin tabakaları için $\nu = 0,3$ ve kumlu zemin tabakaları için ise $\nu = 0,2$ alınmıştır. Derin karıştırma kolonu ve radye temel için $\nu = 0,15$ alınmıştır.

2.3.2.5. Kabarma Açısı (ψ) Kabülü

Kohezyonsuz zeminler için kabarma açısı içsel sürme açısına bağlı olarak Denklem 2.22'e göre hesaplanmaktadır. (Aksangür, 2017)

$$\psi = \phi - 30 \tag{2.22}$$

10,00 – 13,00 m aralığındaki siltli kum tabakanın ψ değeri;

$$\psi = \phi - 30 = 34 - 30 = 4^\circ$$

13,00 – 20,00 m aralığındaki çakıllı kum tabakanın ψ değeri;

$$\psi = \phi - 30 = 36 - 30 = 6^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

2.3.3. Plaxis ile Model Oluşturması

Vaka analizinde Plaxis 2D 8.2 versiyonu kullanılmıştır. Plaxis programında düzlem gerilme ve eksenel simetri olmak üzere iki farklı model seçimi vardır. Düzlem Gerilme, kesite dik (z yönünde) belirli bir uzunluktaki yükleme şeması olan geometriler için kullanılır. Z yönünde yer değiştirmelerin sıfır olduğu varsayılmaktadır. Bununla birlikte, z yönünde normal gerilmeler tamamen dikkate alınır. Eksenel simetri, radyal kesiti olan dairesel yapıların deformasyon ve gerilme durumunun herhangi bir radyal yönde aynı olduğu varsayılan ve merkezi eksen etrafındaki yükleme durumları için kullanılır. Analizde düzlem gerilme modeli kullanılmıştır.

Gerilme noktaları için 15 noktalı ve 6 noktalı eleman olmak üzere iki seçenek bulunmaktadır. 15 noktalı üçgen elemanda 12 gerilme noktası, 6 noktalı elemanda ise 3 adet gerilme noktası bulunmaktadır. 15 noktalı eleman 6 noktalı elemana göre daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Analizde gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek adına 15 noktalı eleman seçilmiştir. 15 noktalı elemana ait düğüm ve gerilme noktaları Şekil 2.14’te gösterilmiştir.



Şekil 2.14. 15 noktalı eleman için düğümlerin ve gerilme noktalarının yerleri

2.3.3.1. Derin Karıştırma Kolonu, Temel ve Zemine Ait Parametreler

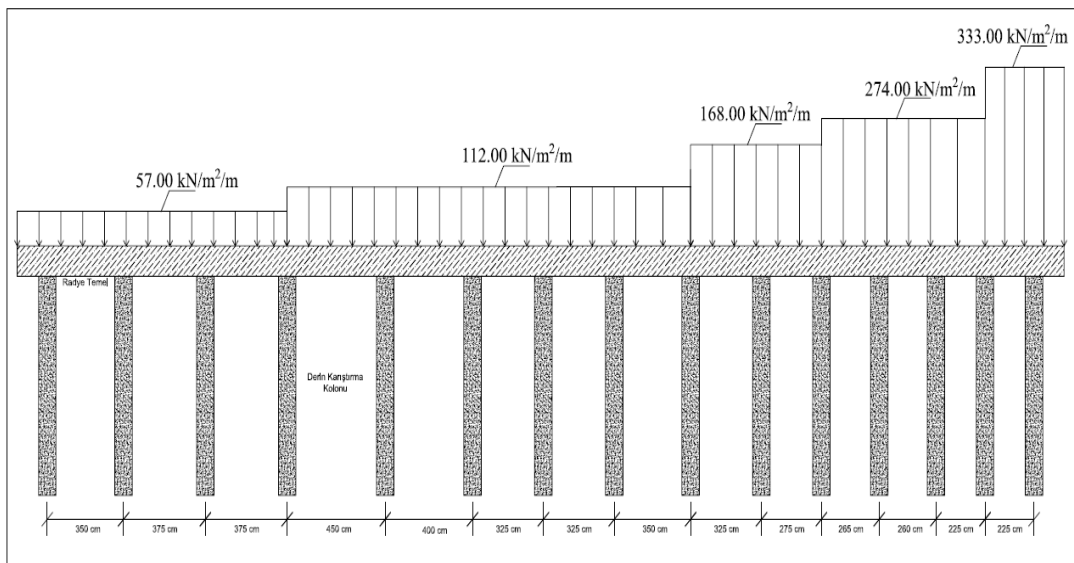
Bölüm 2.3.2’de hesaplanan Derin karıştırma kolonu, radye temel ve zemine ait parametreler Tablo 2.10’da verilmiştir.

Tablo 2.10. Derin karıştırma kolonu, temel ve zemin parametreleri

Parametreler	0,00-5,00 Kil	5,00-7,00 Kil	7,00-10,00 Silt	10,00-13,00 Siltli Kum	13,00-30,0 Çakıllı Kum	DKK	Radye Temel
Davranış Türü	HS	HS	HS	HS	HS	Plate	Plate
Davranış Kabulü	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Elastik	Elastik
ρ (kN/m ³)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	24,00	24,00
E' (Mpa)	10	16,2	23,6	36	44	9460	32000
ν	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,15	0,15
C' (Kpa)	7,5	12	15	1	1	-	-
ϕ' (Derece)	26	26	26	34	36	-	-
ψ (Derece)	-	-	-	4	6	-	-

2.3.3.1. Derin Karıştırma Kolonu Geometrisinin Oluşturulması ve Yük Tanımı

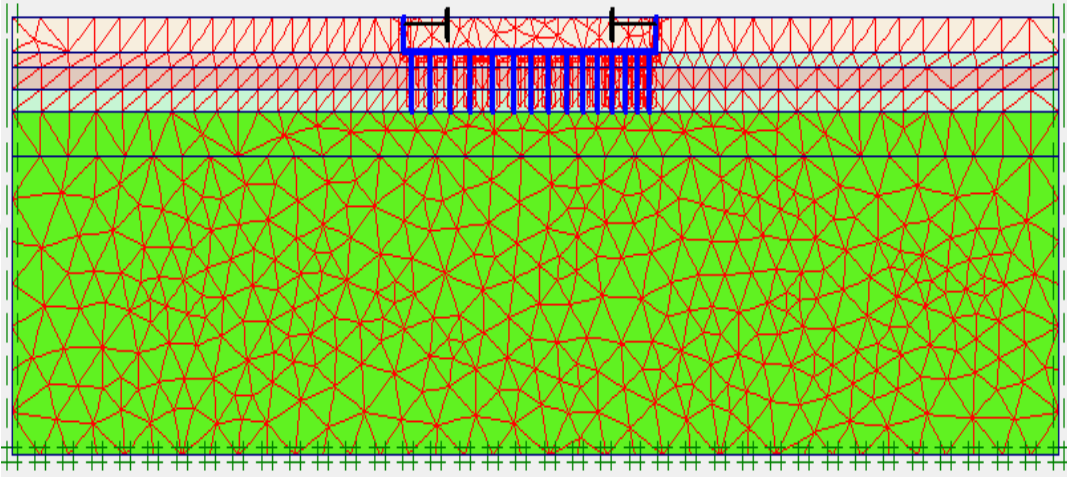
Derin karıştırma kolonu etki alanı, aralıkları ve yükler temel altında oluşan gerilme değerlerine göre belirlenmiştir. 0,80 m çapında ve 8 m derinliğindeki derin karıştırma kolonu plate eleman olarak tanımlanmıştır. Eskişehir Yeni Stadyumu radye temelin kısa kenarı doğrultusundaki derin karıştırma kolonu yerleşimi ve temel altı esas gerilme durumuna oluşturulan yükler Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Derin karıştırma kolonu geometrisinin oluşturulması ve yük tanımları

2.3.3.1. Mesh Oluşturulması

Sonlu elemanlar yönteminde mesh (ağ) sıklığının artması analiz sonuçlarında daha sağlıklı ve gerçekçi değerler vermektedir. Analize esas yapısal elemanların olduğu bölgelerde sıklaştırılarak oluşturulan mesh modeli Şekil 2.16’da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Mesh Modeli

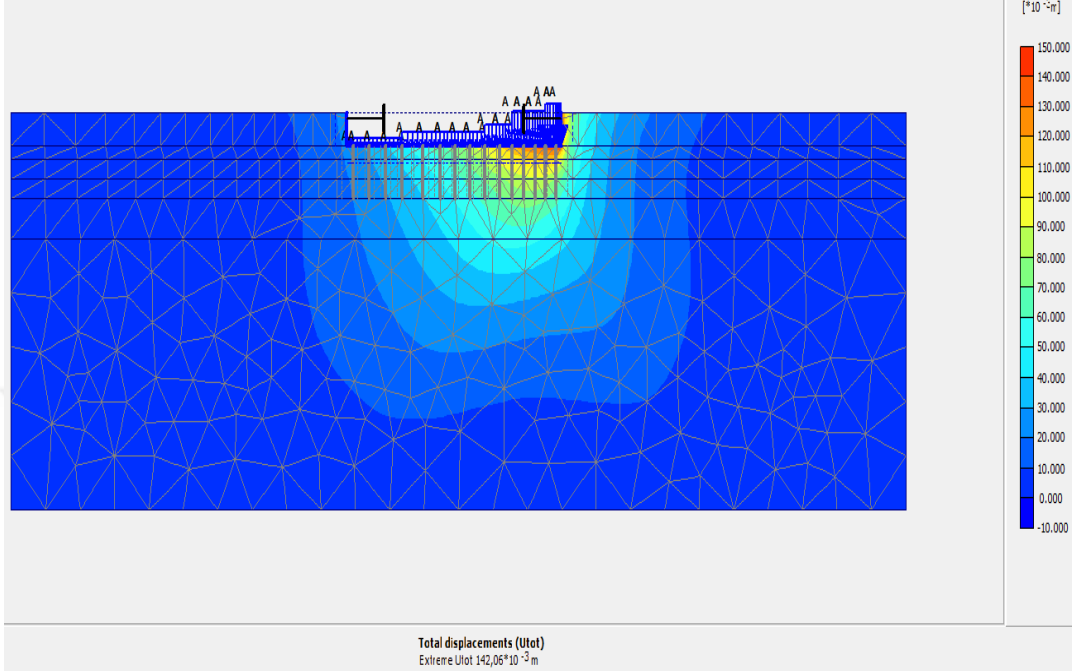
2.3.4. Analiz Sonuçları

Plaxis Sonlu elemanlar yönteminde iki ayrı aşamaya göre analiz yapılmıştır. Birinci aşamada iyileştirilmemiş zemindeki, ikinci aşamada ise derin karıştırma kolonu ile iyileştirilmiş zemindeki maksimum deformasyon değerleri hesaplanmıştır.

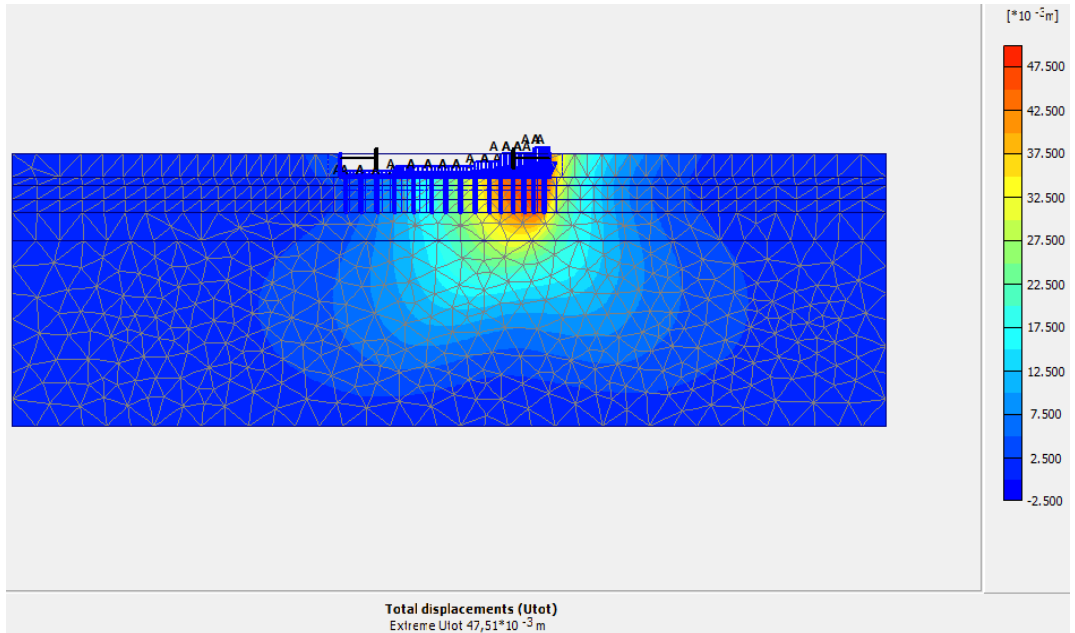
Birinci aşamada temelden zemine doğrudan aktarılan yükler altında 14,20 cm deformasyon meydana geldiği hesaplanmıştır. Birinci aşamaya ait deformasyon dağılımı Şekil 2.17’de gösterilmiştir. Birinci aşama sonucuna göre deformasyon değeri kil zemin tabakası üzerine oturan, temel sistemi radye olan betonarme binalar için izin verilebilir mutlak oturma değerinden büyük olduğundan yapıda oturma problemi beklenmektedir.

İkinci aşamada ise derin karıştırma kolonu ile iyileştirmiş zemindeki yapı yükü altında 4,75 cm deformasyon meydana geldiği hesaplanmıştır. İkinci aşamaya ait deformasyon dağılımı Şekil 2.18’de gösterilmiştir. Plaxis ile yapılan analiz sonuçlarına göre kil zemin tabakası üzerine oturan, temel sistemi radye olan betonarme binalar için izin

verilebilir mutlak oturma değerinden küçük olduğu ve yapıda meydana gelecek oturma probleminin giderildięi görülmektedir.



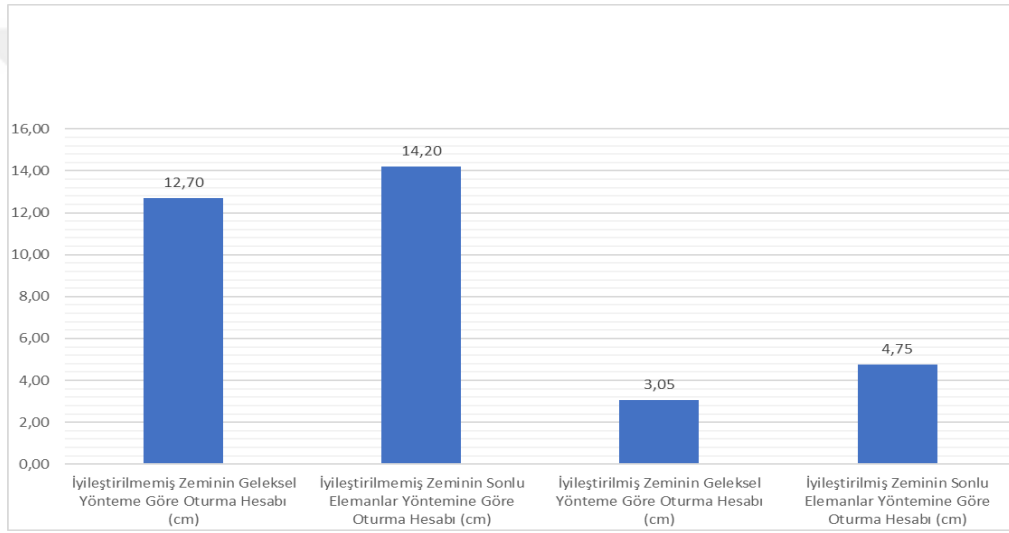
Şekil 2.17. İyileştirilmemiş zemine ait deformasyon dağılımı



Şekil 2.18. İyileştirilmiş zemine ait deformasyon dağılımı

2.3.5. Temel Altı Oturmaların Geleneksel ve Sonlu Eleman Yöntemine Göre Karşılaştırılması

Geleneksel yöntemle göre hesaplanan iyileştirilmemiş ve iyileştirilmiş için hesaplanan oturma değerleri sırasıyla 12,70 cm ve 3,05 cm'dir. Sonlu elemanlar yöntemine göre hesaplanan iyileştirilmemiş ve iyileştirilmiş için hesaplanan oturma değerleri ise sırasıyla 14,20 ve 4,75 cm'dir. Sonlu elemanlar ve geleneksel yöntemle göre hesaplanan oturma değerlerinin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Her iki yöntemle göre hesaplanan oturma değerlerine ait grafik Şekil 2.19'da verilmiştir.



Şekil 2.19. Temel altı oturmaların karşılaştırılması

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında zemin stabilizasyon yöntemlerinin seçimi ve son yıllarda zemin stabilizasyonunda kullanımı artan ve alternatif zemin iyileştirme yöntemi olarak kullanılan derin karıştırma yönteminin uygulama metotları (ıslak ve kuru), uygulamada kullanılan ekipmanları, uygulama alanları, avantajları, dezavantajları ve iyileştirme sonrası zemin özellikleri incelenmiştir. Derin karıştırma yöntemine ait bir vakanın zemin etüdü raporu ışığında iyileştirme öncesi ve sonrası geleneksel yöntemlere göre taşıma, oturma ve sıvılaşma analizi yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemine göre iyileştirme öncesi ve sonrası oturma değerleri geleneksel yöntemlere göre bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır. Uygulanan derin karıştırma kolonunun kademeli aksenal basınç deney sonuçları doğrultusunda Mazurkiewicz yöntemine göre göçme yükü bulunmuştur. Geleneksel yöntem, sonlu elemanlar yöntemi ve saha deneyleri sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- SPT deney sonuçları neticesinde geleneksel yöntemlere göre taşıma gücü 20,12 t/m² olarak hesaplanmıştır. Statik hesaplamalar neticesinde radye temel altı zemin gerilmelerinin 34,60 t/m² mertebesine kadar çıktığı, maksimum zemin gerilmelerinin 20,12 t/m² değerinden büyük olduğu görülmüş ve zeminde taşıma gücü problemi tespit edilmiştir.
- Geleneksel yöntemlere göre kil zemin tabakası için hesaplanan konsolidasyon oturması ve kum zemin tabakası için hesaplanan elastik oturma değerlerinin toplamı 12,70 cm olarak bulunmuştur. Radye temel betonarme binalar için izin verilebilir oturma değeri 50 mm olduğundan yapıda oturma problemi belirlenmiştir.
- Proje kapsamında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 16B.4. bölümünde yer alan metoda göre 6.5 moment büyüklüğündeki depreme karşı 5,00 m temel alt kotundan itibaren 15,00 m derinliğe kadar yapılan sıvılaşma analizinde 5,00 – 7,50 m arası güvenlik koşulunun 1,10 değerinden büyük olduğu hesaplanmıştır. İnce dane oranına göre düzeltilmiş $N_{1,60f}$ değerinin 30 değerinden büyük olduğu temiz granüler zeminler, sıvılaşma için çok sıkı kabul edilirler ve sıvılaşmayan zemin olarak sınıflandırılırlar. 7,50 – 15,00 m

derinlik aralığında $N_{1,60f}$ 30 değerinin aştığı için sıvılaşmayan zemin olarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak zeminin sıvılaşmaya karşı güvenli olduğu belirlenmiştir.

- Oturma ve taşıma gücü problemine karşı 0,80 m çapından 8,00 m derinliğindeki derin karıştırma kolonu ile iyileştirme yapılmasına karar verilmiş ve derin karıştırma kolonunun geleneksel yöntemle göre hesaplanan emniyetli taşıma gücü 143,50 ton bulunmuştur.
- Derin karıştırma kolonlarının yerleşimi yapılırken temel altında oluşan gerilmeler esas alınmış, gerilmelerin değişim gösterdiği noktalar göre 2,25x2,25 m, 3,50x3,50 m, 3,75x3,75 m, 4,50x4,50 m, etki alanları belirlenmiştir.
- B2 blok arkasında temel altı gerilmelerin 34,60 t/m² mertebesine kadar çıktığı, B2 blok arkasında oluşturulan 2,25x2,25 m iyileştirilmiş karelaj bölgesinde geleneksel yöntemle göre 46,46 t/m² hesaplanan emniyetli zemin gerilmesi ile %34 daha güvenli tarafta kalındığı görülmüştür.
- Derin karıştırma kolonu ile iyileştirilmiş zeminin oturma hesabı geleneksel yöntemle 3,05 cm hesaplanmıştır. Radye temel betonarme binalar için izin verilebilir oturma değeri 50 mm olduğundan yapıda oturma problemi iyileştirilmiştir.
- Geleneksel yöntemle göre hesaplanan iyileştirilmemiş ve iyileştirilmiş için hesaplanan oturma değerleri sırasıyla 12,70 ve 3,05 cm'dir. Sonlu elemanlar yöntemine göre hesaplanan iyileştirilmemiş ve iyileştirilmiş için hesaplanan oturma değerleri ise sırasıyla 14,20 ve 4,75 cm'dir. Sonlu elemanlar ve geleneksel yöntemle göre hesaplanan oturma değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.
- Kazık yükleme deneyine göre 136,00 yükleme altında ortalama 7,56 mm, 204,00 ton yükleme altında ise ortalama 14,56 mm oturma meydana gelmiştir. Geleneksel yöntemle ile hesaplanan elastik oturmada; 143,50 ton yükleme altında 10 mm, 214,50 ton altında ise 16,20 mm oturma meydana gelmiştir. 7,00 ton yük farkına rağmen servis yükü altında hesaplanan oturmalarda 2,44 mm, servis yükünün 1,50 katı altında hesaplanan oturmalarda ise 1,64 mm fark vardır. Her iki yöntemle ile hesaplanan oturma değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

- Derin karıştırma kolonları için yapılan kademeli statik eksenel basınç testine göre Mazurkiewicz yöntemi ile hesaplanan göçme yükü ortalama 303,00 ton olarak bulunmuştur. 12 nolu kolon için yükleme deneyinde göçme yüküne kadar yüklemiş, 306,00 ton değerinde kolon göçmüştür. Mazurkiewicz yöntemi ve test sonucu elde edilen değerlerin yakın olduğu, Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükü tayininin başarılı bir şekilde elde edildiği görülmüştür. Geleneksel yöntemle göre hesaplanan nihai taşıma gücünün, test sonucuna göre hesaplanan göçme yüküne göre %6 daha güvenli tarafta olduğu görülmektedir.
- Geleneksel yöntemle göre hesaplanan iyileştirilmemiş ve iyileştirilmiş için hesaplanan oturma değerleri sırasıyla 12,70 cm ve 3,05 cm'dir. Sonlu elemanlar yöntemine göre hesaplanan iyileştirilmemiş ve iyileştirilmiş için hesaplanan oturma değerleri ise sırasıyla 14,20 ve 4,75 cm'dir. Sonlu elemanlar ve geleneksel yöntemle göre hesaplanan oturma değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Her iki yöntemle göre hesaplanan oturma değerlerine ait grafik Şekil 2.17'de verilmiştir.
- Tez çalışmasında iyileştirme öncesi ve sonrası yapıda meydana gelecek olan oturma miktarı plaxis sonlu elemanlar yöntemine göre hesaplanıp geleneksel yöntemle göre mukayese edilmiştir. Plaxis sonlu elemanlar yöntemine göre iyileştirilmemiş ve iyileştirilmiş için hesaplanan oturma değerleri ise sırasıyla 14,20 cm ve 4,75 cm olarak hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar ve geleneksel yöntemle göre hesaplanan oturma değerlerinin birbirine yakın sonuçlar vermiştir.

Gelecekteki çalışmalarda, derin karıştırma kolonlarının taşıma gücü ve oturma değerleri hesap tasarımında geleneksel yöntemle yapılan analizlerin yanı sıra saha deneyleri ve bilgisayar yardımı ile sonlu elemanlar yöntemine göre sonuçların karşılaştırılması olarak detaylı bir şekilde irdelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

4. KAYNAKLAR

- Aksangür, Z., 2017. Yüksek Modüllü Kolonların (Jet Grout) Zemin İyileştirmesinde Kullanılması ve Hesap Yöntemler, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Arulrajah, A., Abdullah, A., Bo, M., W. ve Bouazza, A., 2009, Ground Improvement Techniques For Railway Embankments, Ground Improvement, 162, 3-14.
- Avcı, S., 2013. Eskişehir İlçesi Sazova Mahallesi 320 Pafta 2157 Ada 5 Parsel’de yapılacak Eskişehir Stadyum Projesi Temel Altı Derin Karıştırma Projesi Hesap Raporu, İksa Mühendislik, Ankara.
- Ayele, S., 2017. A Case Study on Ground Improvement Techniques And Its Applications, International Journal of Scientific & Engineering Research, 8,9, 1288-1305.
- Aydın, E., 2018. Çelik I Profillerde Farklı Geometrik Ön Kusur Düzenlerinin Yanal Burulmalı Burkulmaya Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Bahmanpour, A., Towhata, I., Sakr, M., Mahmoud, M., Yamamoto, Y. ve Yamada, S., 2019. The Effect of Underground Columns on The Mitigation of Liquefaction in Shaking Table Model Experiments, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 116, 15-30.
- Bedirhanoglu, İ. ve Şahin, U., 2005. Düşük, Orta ve Yüksek Dayanımlı Betonların Elastisite Modüllerinin Bulanık Mantık İle Belirlenmesi.
- Bergado, D., T., Ruenkairergsa, T., Taesiri, Y. ve Balasubramaniam, A., S., 1999. Deep Soil Mixing Used to Reduce Embankment Settlement, Ground Improvement, 3, 145-162.
- Bitir, A., C. ve Muşat, V., 2014. Ground Improvement Technologies Deep Soil Mixing Methods Fundamental Aspects, Buletinul Institutului Politehnic Din Iaşi Publicat de Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iaşi Tomul LX (LXIV), Fasc. 4, 123-131, Romania.
- Bilal, M. ve Talib, A., 2016. A Study on Advances in Ground Improvement Techniques, National Conference on Advances in Geotechnical Engineering, At Aligarh, India.
- Birand, A., 2007. Temel Zemin Etkileşmesi; Oturma ve Yapı Hasarı, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Birand, A., 2007. Kazıklı Temeller, 2. Baskı, Teknik Yayınevi, Ankara.

- Bowles, J., E., 1997. Foundation Analysis and Design, Fifth Edition, The McGraw-Hill Companies, Singapore.
- Brown, W., D., 1992. Engineering and Design Bearing Capacity of Soils, Department of The Army U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000, U.S.A.
- Bruce, D., A., 2000. An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 99,138, 6, Georgetown.
- Bulut, İ., 2016. Zarar Azaltmaya Yönelik Yüzey ve Yeraltı Drenaj Sistemleri, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- Burke, G. K. ve Sehn, A.L., 2005. An Analysis of Single Axis Wet Mix Performance, International Conference on Deep Mixing Best Practice and Recent Advances, Stockholm, Sweden, 1,1, 40-46.
- Can, A. ve Acar, K., 2013. Eskişehir 33.000 Seyirci Kapasiteli Stadyum Ø80 cm Derin Karıştırma Kolonu (Wsm) Yükleme Testi Sonuç Raporu (1-16), İksa Mühendislik, Ankara.
- Caraşca, O., 2016. Soil Improvement By Mixing: Techniques And Performances, Energy Procedia, 85, 85-92.
- Chen, J., J., Zhang, L., Zhang, J., F., Zhu, Y., F. ve Wang, J., H., 2013. Field Tests, Modification, and Application of DeepSoil Mixing Method in Soft Clay, Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, ASCE, 139, 24-34.
- Choi, R., F., Y., 2005. Review of the Jet Grouting Method, Universty of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying, Bachelor of Engineering, Australia.
- Cirit, O. ve Uslu, Ö., 2012. Eskişehir İlçesi Tepebaşı İlçesi Sazova Mahallesi 33000 Kapasiteli Stadyum Projesi'ne Ait Zemin Etüt Raporu, Grafit Jeoloji Mühendislik, Ankara.
- Das, B., M., 2016. Principles of Foundation Engineering, Eighth Edition, Cengage Learning, U.S.A., 873-878.
- Das, B., M. ve Sivakugan, N., 2016. Fundamentals of Geotechnical Engineering, Fifth Edition, Cengage Learning, U.S.A.
- Dehghanbanadaki, A., Ahmad, K., Ali, N., Khari, M., Alimohammadi, P. ve Latifi, N., 2013. Stabilization of Soft Soils with Deep Mixed Soil Columns – General Perspective, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 10, 295-306.

- Departments of the Army and the Air Force, 1970. Grouting Methods And Equipment, Department of the Army Technical Manual- Department of the Air Force Manual, Washington, U.S.A.
- DLH, 2007. Geoteknik Tasarım Esasları, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryollar, Limanlar, Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Yüksel Proje, Ankara.
- Druus, D., L. ve Yang, D., S., 2005. Challenges of Employing Deep Mixing Methods in the US, International Conference on Deep Mixing Best Practice and Recent Advances, Stockholm, Sweden, 1,1, 3-11.
- DSİ, 2003. Geotekstil-Geomembran Teknik Şartnamesi, Ankara.
- Erol, O., A. ve Çekinmez, Z., 2014. Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri, Yüksel Proje Yayınları, Ankara.
- EuroSoilStab, 2002. Development of Design and Construction Methods to Stabilize Soft Organic Soils, Design Guide Soft Soil Stabilization, Industrial & Materials Technologies Programme (Brite- EuRam III), European Commission, CT97-0351, Project No. BE 96-3177.
- Guyer, J., P., 2017. An Introduction to Soil Stabilization with Portland Cement, Continuing Education and Development, U.S.A.
- Ghalib, L., A., Construction Methods, Foundation Grouting, http://uotechnology.edu.iq/depbuilding/LECTURE/structural%20engineering/third_class/Methods%20of%20Construction/const_method_2_6.pdf, 27.04.2019.
- Geotechnical Design Manual, 2013. Ground Improvement Technology, Chapter-14.
- Gaafer, M., Bassioni, H. ve Mostafa, T., 2015. Soil Improvement Techniques, International Journal of Scientific & Engineering Research, 6,12, 217-222.
- Han, J., 2015. Principles and Practice of Ground Improvement, John Wiley & Sons, New Jersey, U.S.A.
- Jha, J., N., Ground Improvement Tehnique: Issues, Methods and Their Selection, Guru Nanak Dev Engineering College, <https://slideplayer.com/slide/4713675/>, 25.04.2019.
- Kaya, Z., 2016. Derin Karıştırma Kolonlarının Ölçülen Ve Hesaplanan Kapasitelerinin Tam Ölçekli Yükleme Deneyleri ile İncelenmesi, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Kitazume, M. ve Terashi, M., 2013. The Deep Mixing Method, CRC Press Taylor & Francis Group, London, England.


- Kravetz, G. A., 1958. Cement and Clay Grouting of Foundations: The Use of Clay in Pressure Grouting, ” ASCE, Soil Mechanics and Foundations Division, Journal, 84, 1546.
- Larisch, M. ve Pervan, T., Ground Improvement Techniques: Dynamic Compaction, <https://fl-nzgs-media.s3.amazonaws.com/uploads/2017/03/2017-03-07-Dynamic-Compaction-slides.pdf>, 25.04.2019.
- Larisch, M. ve Pervan, T., 2017. Ground Improvement Techniques: Dynamic Compaction, The Fletcher Construcion Company Limited.
- Liu, C. ve Evett, J., B., 2008. Soils And Foundations, Seventh Edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey Columbus, Ohio.
- Massarsch, K. R. ve Topolnicki, M., 2005. International Conference on Deep Mixing Best Practice and Recent Advances, Stockholm, Sweden, 1,1, 19-45.
- McGregor, J., A. ve Duncan, J., M., 1998. “Performance and Use of the Standard Penetration Test in Geotechnical Engineering Practice”, Center for Geotechnical Practice and Research, Virginia Polytechnic Institute and State University, U.S.A.
- Mollamahmutoğlu, M. ve Babuşcu, F., 2006. Zeminlerde Sıvılaştırma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Muhauwiss, F., M., 2014. Settlement of Buildings, Chapter 5, Civil Engineering Department – College of Engineering , Tikrit University, Irak.
- National Lime Association, 2004. Lime-Treated Soil Construction Manual Lime Stabilization & Lime Modification, The Versatile Chemical, 326, U.S.A.
- Nik, G., M., Khajehei, H. ve Esmaili, M., 2013. The Effectiveness of Deep Soil Mixing on Enhanced Bearing Capacity and Reduction of Settlement on Loose Sandy Soils, International Conference On Recent Advances In Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Iran.
- Nguyen, L., Fatahi, B. ve Khabbaz, H., 2016. Predicting the Behaviour of Fibre Reinforced Cement Treated Clay, Procedia Engineering, 143, 153-160.
- NPTEL, 2016. Advanced Geotechnical Engineering, Module 5, Lecture 33, Dept. of Civil Engg. Indian Institute of Technology, Kanpur, India.
- Ortigao, A., Falk, E., Felix, M. ve Koehler, T., 2015. Deep Soil Mixing Trials at Porto Alegre Airport, Brazil, Deep Foundations Institue, 997-1004, San-Francisco.
- Özaydın, K., 2012. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, Ondördüncü Ulusal Kongresi.

- Özkan, H., Standart Penetrasyon Deneyi, Hidroline Mühendislik ve Danışmanlık, <https://docplayer.biz.tr/16169736-Standart-penetrasyon-deneyi-spt-hasan-ozkan-jeo-yuk-muh.html>, 09.03.2019.
- Prakash, S. ve Sharma, H., D., 1990. Pile Foundations in Engineering Practice, John Wiley & Sons, Canada.
- Puppala, A., J., Madhyannapu, R., S. ve Nazarian, S., 2008. Special Specification For Deep Soil Mixing, The University of Texas, Texas.
- Ryan, C., R. ve Jasperse, B., H., June 1989. Deep Soil Mixing at the Jackson Lake Dam, ASCE Geotechnical and Construction Divisions Special Conference.
- Sargent, P., Hughes, P., N. ve Rouainia, M., 2016. A New Low Carbon Cementitious Binder For Stabilising Weak Ground Conditions Through Deep Soil Mixing, Soil and Foundation, 56, 6, 1021-1034.
- Singh, K., ve Hymavathi, J., 2000. Ground Improvement Techniques, Department Of Civil Engineering Institute of Aeronautical Engineering, Hyderabad, India.
- Schaefer, V., R., Berg, R., R., Collin, J., G., Christopher, B., R., DiMaggio, J., A., Filz, G., M., Bruce, D., A. ve Ayala, A., 2017. Geotechnical Engineering Circular No. 13. Ground Modification Methods - Reference Manual Volume I, FHWA-NHI-16-027, U.S.A.
- Şengör, M., Y., 2011. Yumuşak Kil Zemin İçinde Derin Karıştırma Kolonlarının Deformasyon Karakteristikleri, Bir Model Deney Çalışması, Doktora Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sivrikaya, T. ve Toğrol, E., 2007. Türkiye’de SPT-N Değeri ile İnce Daneli Zeminlerin Drenajsız Kayma Mukavemeti arasındaki İlişkiler, İMO Teknik Dergi, 279, 4229 - 4246, Ankara.
- <http://studymafia.org/wp-content/uploads/2015/07/civil-SOIL-LIQUEFACTION-report.pdf>, 21.04.2019.
- Tatarniuk, C., M., 2014. Deep Soil Mixing as a Slope Stabilization Technique in Northland Allochthon Residual Clay Soil, Degree of Doctor of Philosophy, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Terashi, M., 2003. “The State of practice in deep mixing methods.” Grouting and Ground Treatment, Grouting and Ground Treatment, ASCE GSP 120, L. F. Johnsen, D. A. Bruce, and M. J. Byle (eds.), Reston, VA, 25–49.
- Terashi, M., 2005. Design of Deep Mixing in Infrastructure Applications, International Conference on Deep Mixing Best Practice and Recent Advances, Stockholm, Sweden, 1,1, K25-K45.


- Tomlinson, M. ve Woodward, J., 2008. Pile Design and Construction Practice, Fifth Edition, Taylor & Francis, New York.
- Töremiş, İ., E., 2003. Geotekstiller Ve Plaxis Sonlu Elemanlar Programı , Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tunçdemir, F., 2007. Kompaksiyon Enjeksiyonuna Teorik Ve Pratik Yaklaşımlar, İMO Teknik Dergi, 269, 4069 -4080.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Uzuner, B., A., 2016. Temel Mühendisliğine Giriş, 6. Basım, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Wang, Z., Shen, S., L. ve Kim, Y., H., 2013. Jet Grouting Practice: an Overview, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, 44,4, 88-96.
- Yıldırım, B. ve Alataş, T., 2003. Karayollarında Uçucu Küllerin Toprak-Çimento Stabilizasyonunda Kullanımı, 425-436, İMO, İzmir.

5. EKLER


Ek 1. 1 nolu temel sondaj logu

TEML SONDAJ LOGU / BORING LOG										
MÜTEAHHİT: 					Pafta:320		Ada:2157		Parsel:5	
					SONDAJ / Boring No : SK-1					
					SONDÖR / Driller : MURAT AY					
PROJE ADI / Project Name : ESKİŞEHİR İLİ 33.000 KAPASİTELİ STADYUM										
SONDAJ YERİ / Boring Location : TEPEBAŞI/ SAZOVA MAH.										
SONDAJ METH / Boring depth : 20 METRE					BAŞLAMA TARİHİ / Start Date : 06.05.2012					
SONDAJ KOTU / Elevation : 802					BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 06.05.2012					
YERALTI SUYU / Groudwater : 4.5 m					KOORDİNAT /Coordinate (N-S) x : 4404512N (1/25000)					
MAKİNE TİPİ : LONGER44 (D750)					KOORDİNAT /Coordinate (E-W)y : 36 283208E(1/25000)					
Sondaj derinliği (m)	Tabaka derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart penetration test				JEOTEKNİK TANIMLAMA	JEOLOJİK KESİT
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N		
1		1	1,5	SPT	5	4	8	12		
2										
3		2	3,00	UD (32cm)	5	5	8	13		
4		3	3,5	SPT						
5		4	4,5	SPT	11	15	16	31		
6										
7		5	6,00	UD (35cm)	15	25	33	50		
8		6	6,5	SPT						
9		7	7,5	SPT	15	20	23	43		
10										
11		8	9	SPT	10	11	13	24		
12										
13		9	10,50	SPT	8	8	7	15		
14										
15		10	12	SPT	7	10	14	24		
16										
17		11	13,5	SPT	5	8	13	21		
18										
19		12	15	SPT	20	31	30	50		
20										
21		13	16,5	SPT	18	29	33	50		
22										
23		14	18	SPT	17	27	29	50		
24										
25		15	19,5	SPT	21	23	25	48		
26		16	20	SPT	16	24	23	47		
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT										
İnce Tanıli (kohezyonlu)					İri Tanıli (Kohezyonsuz)		RQD(%)		AYRIŞMA DERESESİ(W)	
N: 0-2 Ç. Yumuşak					N: 0-4 Ç. Gevşek		0-25 Ç. Zayıf		W1 Taze (Ayrışmamış)	
N: 3-4 Yumuşak					N: 5-10 Gevşek		25-50 Zayıf		W2 Az (Ayrışmış)	
N: 5-8 Orta Katı					N: 11-30 Orta		50-75 Orta		W3 Orta Derece Ayr.	
N: 9-13					N: 31-60 Sıkı		75-90 İyi		.....
N: 13-30					N:..... Çok Sıkı		90-100 Çok İyi		.....
N: 30 Sert										
ÇATLAK SIKLIĞI (m)										
<1 Masif										
1-3 Az Çatlaklı -Kırıklı										
3-10 Kırıklı										
10-50 Çok Çat. -Kırıklı										
.....										


Ek 1'in devamı 2 nolu temel sondaj logu

TEMEL SONDAJ LOGU / BORING LOG										
MÜTEAHHİT: 					Pafta:320		Ada:2157		Parsel:5	
					SONDAJ / Boring No : SK-2					
					SONDÖR / Driller : MURAT AY					
PROJE ADI / Project Name : ESKİŞEHİR İLİ 33.000 KAPASİTELİ STADYUM										
SONDAJ YERİ / Boring Location : TEPEBAŞI/ SAZOVA MAH.										
SONDAJ METH / Boring depth : 20 METRE					BAŞLAMA TARİHİ / Start Date : 06.05.2012					
SONDAJ KOTU / Elavation : 802					BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 06.05.2012					
YERALTI SUYU / Groudwater : 4.0 m					KOORDİNAT /Coordinate (N-S) x :4404556N (1/25000)					
MAKİNE TİPİ : LONGER44 (D750)					KOORDİNAT /Coordinate (E-W)y :36 283222E(1/25000)					
Sondaj derinliği (m)	Tabaka derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart penetration test				JEOTEKNİK TANIMLAMA	JEOLOJİK KESİT
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N		
1		1	1,5	SPT	4	3	6	9	BITKİSEL TOPRAK	
2		2	3,00	UD (27cm)					KİL	
3		3	3,5	SPT	5	5	7	12	Y.A.S.S	
4		4	4,5	SPT	7	12	17	29	SİLT	
5		5	6,00	UD (37cm)					KİL	
6		6	6,5	SPT	6	18	15	33		
7		7	7,5	SPT	9	12	10	22		
8		8	9	SPT	11	11	13	24	SİLT	
9		9	10,50	SPT	14	9	12	21		
10		10	12	SPT	13	16	11	27		
11		11	13,5	SPT	14	17	16	33	ÇAKILLI SİLTİ KUM	
12		12	15	SPT	12	18	30	48		
13		13	16,5	SPT	17	17	25	42		
14		14	18	SPT	19	22	31	50	SİLT	
15		15	19,5	SPT	25	26	36	50		
16		16	20	SPT	18	20	30	50		
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT					AYRIŞMA DERECESESİ(W)					ÇATLAK SIKLIĞI (m)
İnce Taneli (kohezyonlu)			İriTaneli(Kohezyonsuz)		ROD(%)					
N: 0-2 Ç. Yumuşak			N: 0-4 Ç. Gevşek		0-25 Ç. Zayıf		W1 Taze (Ayrışmamış)			
N: 3-4 Yumuşak			N: 5-10 Gevşek		25-50 Zayıf		W2 Az (Ayrışmış)			
N: 5-8 Orta Katı			N: 11-30 Orta		50-75 Orta		W3 Orta Derece Ayr.			
N: 9-13			N: 31-60 Sıkı		75-90 İyi		.....		
N: 13-30			N:..... Çok Sıkı		90-100 Çok İyi		.....		
N: 30 Sert										
SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer					KONTROL MÜHENDİSİ					


Ek 1'in devamı 3 nolu temel sondaj logu

TEMEL SONDAJ LOGU / BORING LOG										
MÜTEAHHİT: 					Pafta:320		Ada:2157		Parsel:5	
					SONDAJ / Boring No : SK-3					
					SONDÖR / Driller : MURAT AY					
PROJE ADI / Project Name : ESKİŞEHİR İLİ 33.000 KAPASİTELİ STADYUM										
SONDAJ YERİ / Boring Location : TEPEBAŞI/ SAZOVA MAH.										
SONDAJ METH / Boring depth : 20 METRE					BAŞLAMA TARİHİ / Start Date : 07.05.2012					
SONDAJ KOTU / Elavation : 802					BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 07.05.2012					
YERALTI SUYU / Groudwater : 4.0 m					KOORDİNAT /Coordinate (N-S) x :4404625N (1/25000)					
MAKİNE TİPİ : LONGER44 (D750)					KOORDİNAT /Coordinate (E-W)y :36 283250E(1/25000)					
Sondaj derinliği (m)	Tabaka derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart penetration test				JEOTEKNİK TANIMLAMA	JEOLOJİK KESİT
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N		
									10 20 30 40 50	
1		1	1,5	SPT	3	6	4	10		BITKİSEL TOPRAK
2										
3		2	3,00	UD (35cm)						
4		3	3,5	SPT	5	4	7	11		KİL Y.A.S.S
5		4	4,5	SPT	5	6	4	10		
6		5	6,00	UD (40cm)						
7		6	6,5	SPT	5	9	9	18		
8		7	7,5	SPT	15	12	13	25		SİLT
9		8	9	SPT	11	14	12	26		
10		9	10,50	SPT	15	50/14		50		
11										
12		10	12	SPT	40	50/13		50		
13										
14		11	13,5	SPT	36	50/10		50		ÇAKILLI SİLTİ KUM
15		12	15	SPT	50	50/9		50		
16										
17		13	16,5	SPT	35	50/5		50		
18		14	18	SPT	15	13	18	31		SİLT
19										
20		15	19,5	SPT	50/13			50		
		16	20	SPT	19	24	37	50		
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT										
İnce Tanelli (kohezyonlu)			İri Tanelli (kohezyonsuz)			RQD(%)			AYRIŞMA DERECESESİ(W)	
N: 0-2 Ç. Yumuşak			N: 0-4 Ç. Gevşek			0-25 Ç. Zayıf			W1 Taze (Ayrışmamış)	
N: 3-4 Yumuşak			N: 5-10 Gevşek			25-50 Zayıf			W2 Az (Ayrışmış)	
N: 5-8 Orta Katı			N: 11-30 Orta			50-75 Orta			W3 Orta Derece Ayr.	
N: 9-13			N: 31-60 Sıkı			75-90 İyi			.....
N: 13-30			N:..... Çok Sıkı			90-100 Çok İyi			.....
N: 30 Sert										
SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer					KONTROL MÜHENDİSİ					


Ek 1'in devamı 4 nolu temel sondaj logu

TEME L SONDAJ LOGU / BORING LOG										
MÜTEAHHİT: 					Pafta:320		Ada:2157		Parsel:5	
PROJE ADI / Project Name : ESKİŞEHİR İLİ 33.000 KAPASİTELİ STADYUM					SONDAJ / Boring No : SK-4					
SONDAJ YERİ / Boring Location : TEPEBAŞI/ SAZOVA MAH.					SONDÖR / Driller : MURAT AY					
SONDAJ METH / Boring depth : 20 METRE					BAŞLAMA TARİHİ / Start Date : 08.05.2012					
SONDAJ KOTU / Elevation : 798					BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 09.05.2012					
YERALTI SUYU / Groudwater : 3.0 m					KOORDİNAT /Coordinate (N-S) x : 4404709N (1/25000)					
MAKİNE TİPİ : LONGER44 (D750)					KOORDİNAT /Coordinate (E-W)y : 36 283276E(1/25000)					
Sondaj derinliği (m)	Tabaka derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart penetration test				JEOTEKNİK TANIMLAMA	JEOLOJİK KESİT
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N		
1										
2		1	1,5	SPT	5	4	4	8		
3										
4		2	3,5	SPT	5	6	7	13		
5		3	4,5	SPT	4	5	8	13		
6		4	6,00	UD	(35cm)					
7		5	6,5	SPT	5	6	10	16		
8		6	7,5	SPT	6	10	8	18		
9		7	9	SPT	9	11	12	23		
10		8	10,50	SPT	15	32	39	50		
11		9	12	SPT	15	18	12	30		
12		10	13,5	SPT	24	22	45	50		
13		11	15	SPT	34	50/5		50		
14		12	16,0	UD	(35cm)					
15		13	16,5	SPT	5	9	9	18		
16		14	18	SPT	30	33	38	50		
17		15	19,5	SPT	32	37	38	50		
18		16	21	SPT	50/10			50		
19		17	22,5	SPT	29	35	37	50		
20		18	24	SPT	44	50/12		50		
21		19	25	UD	(40cm)					
22		20	25,5	SPT	7	10	12	22		
23		21	27	SPT	14	16	26	42		
24		22	28,5	SPT	18	22	30	50		
25		23	30	SPT	20	34	39	50		


Ek 1'in devamı 5 nolu temel sondaj logu

TEMEL SONDAJ LOGU / BORING LOG										
MÜTEAHHİT: 					Pafta:320		Ada:2157		Parsel:5	
					SONDAJ / Boring No : SK-5					
					SONDÖR / Driller : MURAT AY					
PROJE ADI / Project Name : ESKİŞEHİR İLİ 33.000 KAPASİTELİ STADYUM										
SONDAJ YERİ / Boring Location : TEPEBAŞI/ SAZOVA MAH.										
SONDAJ METH / Boring depth : 20 METRE					BAŞLAMA TARİHİ / Start Date : 09.05.2012					
SONDAJ KOTU / Elavation : 802					BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 09.05.2012					
YERALTI SUYU / Groudwater : 4.00 m					KOORDİNAT /Coordinate (N-S) x :4404745N (1/25000)					
MAKİNE TİPİ : LONGER44 (D750)					KOORDİNAT /Coordinate (E-W)y :36 283310E(1/25000)					
Sondaj derinliği (m)	Tabaka derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart penetration test				JEOTEKNİK TANIMLAMA	JEOLOJİK KESİT
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N		
1		1	1,5	SPT	3	5	6	11	BİTKİSEL TOPRAK	
2										
3		2	3	SPT	5	4	8	12	Y.A.S.S SİLT	
4										
5		3	4,5	SPT	7	10	12	22	SİLT	
6										
7		4	6,00	SPT	10	13	16	29	SİLT	
8										
9		5	7,5	SPT	9	11	18	29	SİLT	
10										
11		6	9	UD	(34cm)				SİLT	
12		7	9,5	SPT		20	24	25			49
13		8	10,50	SPT	21	22	24	46	SİLT	
14										
15		9	12,5	SPT	19	25	27	50	SİLT	
16										
17		10	13,5	SPT	23	39	31	50	SİLT	
18										
19		11	15	SPT	25	25	35	50	SİLT	
20										
21		12	16,5	SPT	19	22	25	47	SİLT	
22										
23		13	18	SPT	26	31	34	50	SİLT	
24										
25		14	19,5	SPT	33	37	45	50	SİLT	
26										
27		15	20	SPT	30	33	38	50	SİLT	
28										
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT										
İnce Tanelli (kohezyonlu)			İri Tanelli (Kohezyonsuz)		RQD(%)		AYRIŞMA DERESESİ(W)		ÇATLAK SIKLIĞI (m)	
N: 0-2 Ç. Yumuşak			N: 0-4 Ç. Gevşek		0-25 Ç. Zayıf		W1 Taze (Ayrışmamış)		<1 Masif	
N: 3-4 Yumuşak			N: 5-10 Gevşek		25-50 Zayıf		W2 Az (Ayrışmış)		1-3 Az Çatlaklı -Kırıklı	
N: 5-8 Orta Katı			N: 11-30 Orta		50-75 Orta		W3 Orta Derece Ayr.		3-10 Kırıklı	
N: 9-13			N: 31-60 Sıkı		75-90 İyi		.....		10-50 Çok Çat. -Kırıklı	
N: 13-30			N:..... Çok Sıkı		90-100 Çok İyi		.....		.....
N: 30 Sert										
SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer					KONTROL MÜHENDİSİ					


Ek 1'in devamı 6 nolu temel sondaj logu

TEME L SONDAJ LOGU / BORING LOG															
MÜTEAHHİT: 						Pafta:320		Ada:2157		Parsel:5					
SONDAJ / Boring No : SK-6						SONDÖR / Driller : MURAT AY									
PROJE ADI / Project Name : ESKİŞEHİR İLİ 33.000 KAPASİTELİ STADYUM															
SONDAJ YERİ / Boring Location : TEPEBAŞI/ SAZOVA MAH.															
SONDAJ METH / Boring depth : 20 METRE						BAŞLAMA TARİHİ / Start Date : 09.05.2012									
SONDAJ KOTU / Elavation : 797						BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 10.05.2012									
YERALTI SUYU / Groudwater : 3.50 m						KOORDİNAT /Coordinate (N-S) x : 4404821N (1/25000)									
MAKİNE TİPİ : LONGER44 (D750)						KOORDİNAT /Coordinate (E-W)y : 36 263234E(1/25000)									
Sondaj derinliği (m)	Tabaka derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart penetration test				JEOTEKNİK TANIMLAMA					JEOLOJİK KESİT	
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N							
									10	20	30	40	50		
1		1	1,5	SPT	4	7	6	13							
2		2	3	SPT	8	8	9	17							
3		3	4,5	SPT	6	5	7	12							
4		4	6,00	SPT	11	13	15	28							
5		5	7,5	SPT	5	7	9	16							
6		6	9	UD (39cm)											
7		7	9,5	SPT	6	9	10	19							
8		8	10,50	SPT	15	20	22	42							
9		9	12	SPT	19	23	26	50							
10		10	13,5	SPT	50/14			50							
11		11	15	SPT	36	50/9		50							
12		12	16,5	SPT	50/13			50							
13		13	18	SPT	27	32	41	50							
14		14	19,5	SPT	47	50/9		50							
15		15	20	SPT	30	37	50/11	50							
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT									AYRIŞMA DERESESİ(W)			ÇATLAK SIKLIĞI (m)			
İnce Tanelli (kohezyonlu)			İri Tanelli (kohezyonsuz)			RQD(%)									
N: 0-2 Ç. Yumuşak			N: 0-4 Ç. Gevşek			0-25 Ç. Zayıf			W1 Taze (Ayrışmamış)			<1 Masif			
N: 3-4 Yumuşak			N: 5-10 Gevşek			25-50 Zayıf			W2 Az (Ayrışmış)			1-3 Az Çatlaklı -Kırıklı			
N: 5-8 Orta Katı			N: 11-30 Orta			50-75 Orta			W3 Orta Derece Ayr.			3-10 Kırıklı			
N: 9-13			N: 31-60 Sıkı			75-90 İyi			.....			10-50 Çok Çat. -Kırıklı			
N: 13-30			N:..... Çok Sıkı			90-100 Çok İyi			.....			.....
N: 30 Sert															
SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer						KONTROL MÜHENDİSİ									


Ek 1'in devamı 7 nolu temel sondaj logu

TEML SONDAJ LOGU / BORING LOG										
MÜTEAHHİT: 					Pafta:320		Ada:2157		Parsel:5	
					SONDAJ / Boring No : SK-7					
					SONDÖR / Driller : MURAT AY					
PROJE ADI / Project Name : ESKİŞEHİR İLİ 33.000 KAPASİTELİ STADYUM										
SONDAJ YERİ / Boring Location : TEPEBAŞI/ SAZOVA MAH.										
SONDAJ METH / Boring depth : 20 METRE					BAŞLAMA TARİHİ / Start Date : 10.05.2012					
SONDAJ KOTU / Elavation : 797					BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 10.05.2012					
YERALTI SUYU / Groudwater : 3.00 m					KOORDİNAT /Coordinate (N-S) x :4404734N (1/25000)					
MAKİNE TİPİ : LONGER44 (D750)					KOORDİNAT /Coordinate (E-W)y :36 283150E(1/25000)					
Sondaj derinliği (m)	Tabaka derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart penetration test				JEOTEKNİK TANIMLAMA	JEOLOJİK KESİT
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N		
1		1	1,5	SPT	4	3	7	10	BİTKİSEL TOPRAK	
2										
3		2	3	SPT	5	5	9	14	Y.A.S.S	
4										
5		3	4,5	SPT	8	9	11	20	SİLT	
6		4	6,00	SPT	13	13	12	25		
7		5	7,5	SPT	10	9	11	20		
8		6	9	SPT	13	15	16	31		
9		7	10	UD (32cm)						
10		8	10,50	SPT	12	22	26	48		
11		9	12	SPT	15	25	28	50		
12		10	13,5	SPT	18	22	24	46		
13		11	15	SPT	17	19	19	38		
14		12	16,5	SPT	12	14	17	31		
15		13	18	SPT	18	23	24	47	ÇAKILLI SİLTİLİ KUM	
16		14	19,5	SPT	24	28	32	50		
17		15	20	SPT	14	19	30	49		
18										
19										
20										
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT					AYRISMA DERECESESİ(W)					ÇATLAK SIKLIĞI (m)
İnce Taneli (kohezyonlu)		İri Taneli (kohezyonsuz)		RQD(%)		W1 Taze (Ayrışmamış)		W2 Az (Ayrışmış)		W3 Orta Derece Ayr.
N: 0-2 Ç. Yumuşak		N: 0-4 Ç. Gevşek		0-25 Ç. Zayıf		W1 Taze (Ayrışmamış)		W2 Az (Ayrışmış)		W3 Orta Derece Ayr.
N: 3-4 Yumuşak		N: 5-10 Gevşek		25-50 Zayıf		W1 Taze (Ayrışmamış)		W2 Az (Ayrışmış)		W3 Orta Derece Ayr.
N: 5-8 Orta Katı		N: 11-30 Orta		50-75 Orta		W1 Taze (Ayrışmamış)		W2 Az (Ayrışmış)		W3 Orta Derece Ayr.
N: 9-13		N: 31-60 Sıkı		75-90 İyi		W1 Taze (Ayrışmamış)		W2 Az (Ayrışmış)		W3 Orta Derece Ayr.
N: 13-30		N:..... Çok Sıkı		90-100 Çok İyi		W1 Taze (Ayrışmamış)		W2 Az (Ayrışmış)		W3 Orta Derece Ayr.
N: 30 Sert						W1 Taze (Ayrışmamış)		W2 Az (Ayrışmış)		W3 Orta Derece Ayr.
SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer					KONTROL MÜHENDİSİ					


Ek 1'in devamı 8 nolu temel sondaj logu

TEMEL SONDAJ LOGU / BORING LOG											
MÜTEAHHİT: 					Pafta:320	Ada:2157	Parsel:5				
					SONDAJ / Boring No : SK-8						
					SONDÖR / Driller : MURAT AY						
PROJE ADI / Project Name : ESKİŞEHİR İLİ 33.000 KAPASİTELİ STADYUM											
SONDAJ YERİ / Boring Location : TEPEBAŞI/ SAZOVA MAH.											
SONDAJ METH / Boring depth : 20 METRE					BAŞLAMA TARİHİ / Start Date : 10.05.2012						
SONDAJ KOTU / Elavation : 802					BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 11.05.2012						
YERALTI SUYU / Groudwater : 4.00 m					KOORDİNAT /Coordinate (N-S) x :4404709N (1/25000)						
MAKİNE TİPİ : LONGER44 (D750)					KOORDİNAT /Coordinate (E-W)y :36 283051E(1/25000)						
Sondaj derinliği (m)	Tabaka derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart penetration test				JEOTEKNİK TANIMLAMA	JEOLOJİK KESİT	
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N			
									10 20 30 40 50		
1		1	1,5	SPT	6	8	8	16		BITKİSEL TOPRAK	
2		2	3	SPT	7	9	11	20			
3		3	4,5	SPT	6	10	9	19		Y.A.S.S	
4		4	6,00	SPT	12	13	13	26		KİL	
5		5	7,5	SPT	11	10	14	24			
6		6	9	SPT	14	17	16	33			
7		7	10,50	SPT	21	19	25	44			
8		8	12	SPT	18	20	23	43		ÇAKILLI SİLTİLİ KUM	
9		9	13,5	SPT	16	19	21	40		SİLT	
10		10	15	SPT	25	29	30	50		ÇAKILLI SİLTİLİ KUM	
11		11	16,5	SPT	35	39	46	50			
12		12	18	UD (40cm)						SİLT	
13		13	18,5	SPT	18	26	31	50			
14		14	19,5	SPT	21	23	27	50			
15		15	20	SPT	9	12	19	31			
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT					AYRIŞMA DERECESESİ(W)					ÇATLAK SIKLIĞI (m)	
İnce Taneli (kohezyonlu)		İriTaneli(Kohezyonsuz)		RQD(%)		W1 Taze (Ayrışmamış)		ÇATLAK SIKLIĞI (m)			
N: 0-2 Ç. Yumuşak		N: 0-4 Ç. Gevşek		0-25 Ç. Zayıf		W2 Az (Ayrışmış)		<1 Masif			
N: 3-4 Yumuşak		N: 5-10 Gevşek		25-50 Zayıf		W3 Orta Derece Ayr.		1-3 Az Çatlaklı -Kırıklı			
N: 5-8 Orta Katı		N: 11-30 Orta		50-75 Orta		.....		3-10 Kırıklı		
N: 9-13		N: 31-60 Sıkı		75-90 İyi		.....		10-50 Çok Çat. -Kırıklı		
N: 13-30		N:..... Çok Sıkı		90-100 Çok İyi		.....		.....
N: 30 Sert											
SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer					KONTROL MÜHENDİSİ						


Ek 1'in devamı 9 nolu temel sondaj logu

TEMEL SONDAJ LOGU / BORING LOG										
MÜTEAHHİT: 					Pafta:320		Ada:2157		Parsel:5	
					SONDAJ / Boring No : SK-9					
					SONDÖR / Driller : MURAT AY					
PROJE ADI / Project Name : ESKİŞEHİR İLİ 33.000 KAPASİTELİ STADYUM										
SONDAJ YERİ / Boring Location : TEPEBAŞI/ SAZOVA MAH.										
SONDAJ METH / Boring depth : 20 METRE					BAŞLAMA TARİHİ / Start Date : 11.05.2012					
SONDAJ KOTU / Elavation : 797					BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 11.05.2012					
YERALTI SUYU / Groudwater : 6.00 m					KOORDİNAT /Coordinate (N-S) x :4404595N (1/25000)					
MAKİNE TİPİ : LONGER44 (D750)					KOORDİNAT /Coordinate (E-W)y :36 283030E(1/25000)					
Sondaj derinliği (m)	Tabaka derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart penetration test				JEOTEKNİK TANIMLAMA	JEOLOJİK KESİT
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N		
1		1	1,5	SPT	3	4	5	9	BITKİSEL TOPRAK	
2		2	3	SPT	5	5	6	11		
3		3	4,5	SPT	6	10	13	23	KİL	
4		4	6,00	UD (35cm)						
5		5	8,5	SPT	5	15	16	31	Y.A.S.S SİLT	
6		6	7,5	SPT	12	17	15	32		
7		7	9	SPT	11	16	22	38	SİLT Lİ KUM	
8		8	10,50	SPT	13	17	23	40		
9		9	12	SPT	9	16	25	41		
10		10	13,5	SPT	10	18	28	46		
11		11	15	SPT	30	36	30	50		
12		12	16,5	SPT	21	30	33	50		
13		13	18	SPT	16	29	27	50		
14		14	19,5	SPT	18	15	21	36		
15		15	20	SPT	12	16	17	33	SİLT	
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT					AYRIŞMA DERECESESİ(W)					ÇATLAK SIKLIĞI (m)
İnce Tanelli (kohezyonlu)			İn Tanelli(Kohezyonsuz)		RQD(%)					
N: 0-2 Ç. Yumuşak			N: 0-4 Ç. Gevşek		0-25 Ç. Zayıf		W1 Taze (Ayrışmamış)			<1 Masif
N: 3-4 Yumuşak			N: 5-10 Gevşek		25-50 Zayıf		W2 Az (Ayrışmış)			1-3 Az Çatlaklı -Kırıklı
N: 5-8 Orta Katı			N: 11-30 Orta		50-75 Orta		W3 Orta Derece Ayr.			3-10 Kırıklı
N: 9-13			N: 31-60 Sıkı		75-90 İyi		.....			10-50 Çok Çat. -Kırıklı
N: 13-30			N:..... Çok Sıkı		90-100 Çok İyi		.....			.....
N: 30 Sert										
SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer					KONTROL MÜHENDİSİ					






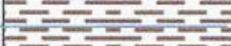



Ek 1'in devamı 10 nolu temel sondaj logu

TEMEL SONDAJ LOGU / BORING LOG										
MÜTEAHHİT: 					Pafta:320		Ada:2157		Parsel:5	
					SONDAJ / Boring No : SK-10					
					SONDÖR / Driller : MURAT AY					
PROJE ADI / Project Name : ESKİŞEHİR İLİ 33.000 KAPASİTELİ STADYUM										
SONDAJ YERİ / Boring Location : TEPEBAŞI SAZOVA MAH.										
SONDAJ METH / Boring depth : 20 METRE					BAŞLAMA TARİHİ / Start Date : 12.05.2012					
SONDAJ KOTU / Elavation : 798					BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 12.05.2012					
YERALTI SUYU / Groudwater : 4.0m					KOORDİNAT /Coordinate (N-S) x : 4404532N (1/25000)					
MAKİNE TİPİ : LONGER44 (D750)					KOORDİNAT /Coordinate (E-W)y : 38 283124E(1/25000)					
Sondaj derinliği (m)	Tabaka derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart penetration test				JEOTEKNİK TANIMLAMA	JEOLOJİK KESİT
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N		
1		1	1,5	SPT	3	5	5	10	BİTKİSEL TOPRAK	
2									KİL	
3		2	3	SPT	5	4	7	11		
4									Y.A.S.S	
5		3	4,5	SPT	11	8	12	20		
6		4	6,00	SPT	6	9	13	22	SİLTİLİ KUM	
7		5	7,5	SPT	17	15	22	37	SİLT	
8		6	9	SPT	13	18	24	42		
9		7	10,50	SPT	11	19	27	46		
10		8	12	SPT	16	22	24	46		
11		9	13,5	SPT	20	23	21	44		
12		10	15	UD (44cm)						
13		11	15,5	SPT	25	23	29	50		
14		12	16,5	SPT	18	26	32	50		
15		13	18	SPT	27	35	38	50		
16		14	19,5	SPT	20	30	35	50		
17		15	20	SPT	16	21	27	48	ÇAKILLI SİLTİLİ KUM	
18										
19										
20										
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT										
İnce Taneli (kohezyonlu)			İri Taneli (Kohezyonsuz)			RQD(%)		AYRIŞMA DERECESESİ(W)		ÇATLAK SIKLIĞI (m)
N: 0-2		Ç. Yumuşak	N: 0-4		Ç. Gevşek	0-25		Ç. Zayıf	W1 Taze (Ayrışmamış)	
N: 3-4		Yumuşak	N: 5-10		Gevşek	25-50		Zayıf	W2 Az (Ayrışmış)	
N: 5-8		Orta Katı	N: 11-30		Orta	50-75		Orta	W3 Orta Derece Ayr.	
N: 9-13		.....	N: 31-60		Sıkı	75-90		İyi	.....
N: 13-30		.....	N:.....		Çok Sıkı	90-100		Çok İyi	.....
N: 30		Sert								
SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer					KONTROL MÜHENDİSİ					


Ek 1'in devamı 11 nolu temel sondaj logu

TEML SONDAJ LOGU / BORING LOG										
MÜTEAHHİT: 					Pafta:320		Ada:2157		Parsel:5	
					SONDAJ / Boring No : SK-11					
					SONDÖR / Driller : MURAT AY					
PROJE ADI / Project Name : ESKİŞEHİR İLİ 33.000 KAPASİTELİ STADYUM										
SONDAJ YERİ / Boring Location : TEPEBAŞI/ SAZOVA MAH.										
SONDAJ METH / Boring depth : 20 METRE					BAŞLAMA TARİHİ / Start Date : 12.05.2012					
SONDAJ KOTU / Elavation : 798					BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 12.05.2012					
YERALTI SUYU / Groudwater : 4.00 m					KOORDİNAT /Coordinate (N-S) x :4404496N (1/25000)					
MAKİNE TİPİ : LONGER44 (D750)					KOORDİNAT /Coordinate (E-W)y :36 283157E(1/25000)					
Sondaj derinliği (m)	Tabaka derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart penetration test				JEOTEKNİK TANIMLAMA	JEOLOJİK KESİT
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N		
									10 20 30 40 50	
1		1	1,5	SPT	8	10	11	21		BITKİSEL TOPRAK
2		2	3	SPT	5	9	6	15		KİL Y.A.S.S
3		3	4,5	SPT	6	5	4	9		
4		4	6,00	SPT	6	6	7	13		SİLTİLİ KUM
5		5	7,5	SPT	8	9	12	21		
6		6	9	SPT	13	10	15	25		
7		7	10	UD (38cm)	12	13	14	27		
8		8	10,50	SPT	9	10	16	26		SİLT
9		9	12	SPT	15	18	22	40		
10		10	13,5	SPT	14	21	25	46		ÇAKILLI SİLTİLİ KUM
11		11	15	SPT	20	22	28	50		
12		12	16,5	UD (45cm)	18	26	31	50		
13		13	16,5	SPT	24	28	35	50		
14		14	18	SPT	20	27	38	50		
15		15	19,5	SPT						
16		16	20	SPT						
17		17								
18		18								
19		19								
20		20								
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT					AYRIŞMA DEREJESİ(W)		ÇATLAK SIKLIĞI (m)			
İnce Taneli (kohezyonlu)		İnTaneli(Kohezyonsuz)		RQD(%)		W1 Taze (Ayrışmamış)		<1 Masif		
N: 0-2 Ç. Yumuşak		N: 0-4 Ç. Gevşek		0-25 Ç. Zayıf		W2 Az (Ayrışmış)		1-3 Az Çatlaklı -Kırıklı		
N: 3-4 Yumuşak		N: 5-10 Gevşek		25-50 Zayıf		W3 Orta Derece Ayr.		3-10 Kırıklı		
N: 5-8 Orta Katı		N: 11-30 Orta		50-75 Orta		.....		10-50 Çok Çat. -Kırıklı	
N: 9-13		N: 31-60 Sıkı		75-90 İyi		.....		.....
N: 13-30		N:..... Çok Sıkı		90-100 Çok İyi		.....		.....
N: 30 Sert										
SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer					KONTROL MÜHENDİSİ					

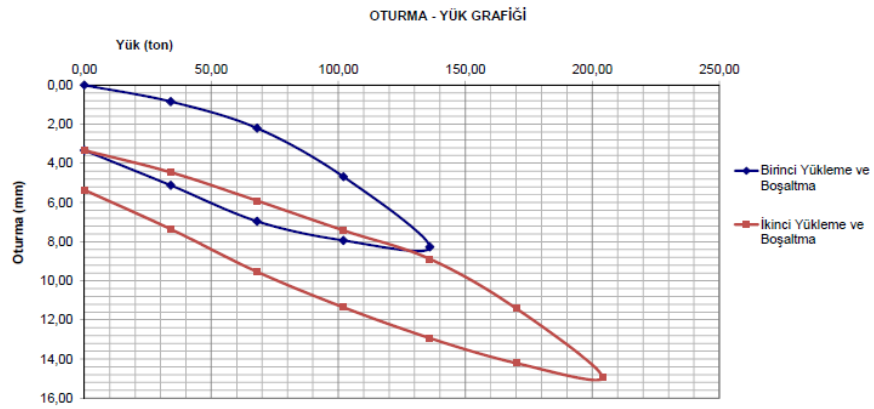
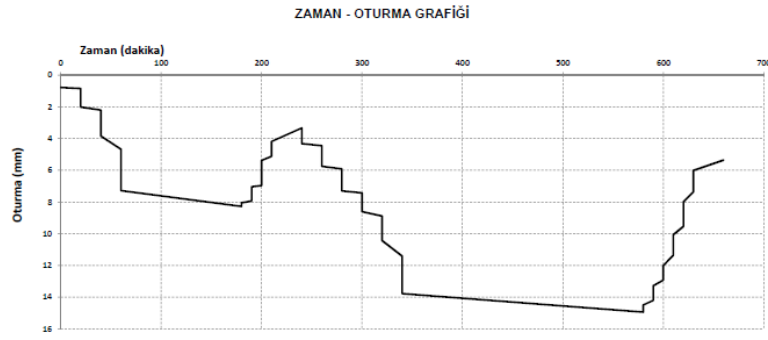
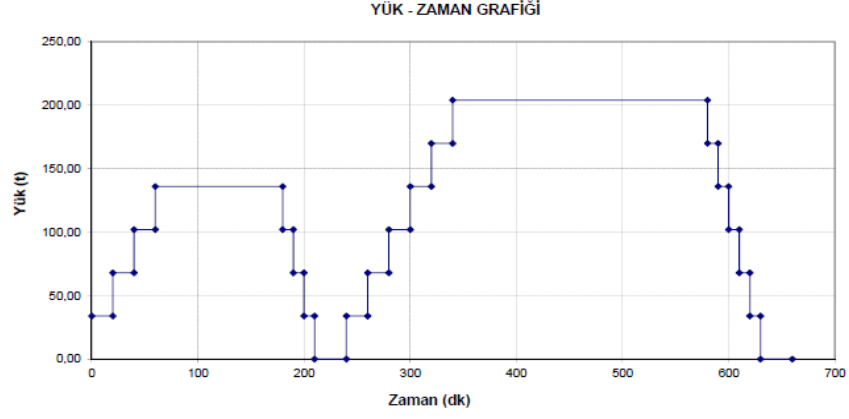
Ek 1'in devamı 12 nolu temel sondaj logu

TEMEL SONDAJ LOGU / BORING LOG											
MÜTEAHHİT: 						Pafta:320		Ada:2157		Parsel:5	
PROJE ADI / Project Name : ESKİŞEHİR İLİ 33.000 KAPASİTELİ STADYUM						SONDAJ / Boring No : SK-12					
SONDAJ YERİ / Boring Location : TEPEBAŞI/ SAZOVA MAH.						SONDÖR / Driller : MURAT AY					
SONDAJ METH / Boring depth : 30 METRE						BAŞLAMA TARİHİ / Start Date : 13.05.2012					
SONDAJ KOTU / Elavation : 798						BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 13.05.2012					
YERALTI SUYU / Groudwater : 5.0 m						KOORDİNAT /Coordinate (N-S) x :4404587N (1/25000)					
MAKİNE TİPİ : LONGER44 (D750)						KOORDİNAT /Coordinate (E-W)y :36 283157E(1/25000)					
Sondaj derinliği (m)	Tabaka derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart penetration test				JEOTEKNİK TANIMLAMA	JEOLOJİK KESİT	
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N			
1											
2		1	1,5	SPT	3	6	5	11	BİTKİSEL TOPRAK		
3		2	3	SPT	4	6	6	12			
4		3	4,5	SPT	7	8	11	19			
5									Y.A.S.S KİL 		
6		4	6,00	UD (38cm)							
7		5	6,5	SPT	10	9	12	21	SİLT		
8		6	7,5	SPT	11	13	14	27			
9		7	9	SPT	8	12	13	25			
10		8	10,50	SPT	13	15	17	32			
11											
12		9	12	UD (38cm)							
13		10	12,5	SPT	6	9	10	19			
14		11	13,5	SPT	11	14	16	30			
15		12	15	SPT	20	25	21	46			
16		13	16,5	SPT	22	27	29	50			
17									SİLTLİ KUM		
18		14	18	UD (38cm)							
19		15	18,5	SPT	17	21	21	42			
20		16	19,5	SPT	19	20	25	45	SİLT		
21		17	21	SPT	18	25	29	50			
22		18	22,5	SPT	23	29	30	50			
23		19	24	SPT	19	29	32	50			
24		20	25,5	SPT	21	24	37	50			
25									SİLTLİ KUM		
26		21	27	SPT	13	22	29	50			
27		22	28,5	SPT	19	25	33	50			
28											
29		23	30	UD (27cm)					SİLTLİ KUM		
30		24	30,5	SPT	10	20	35	50			

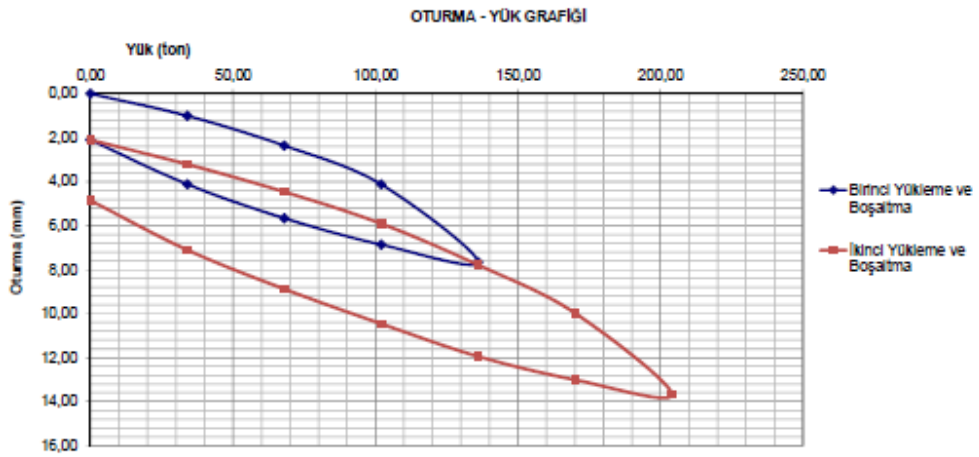
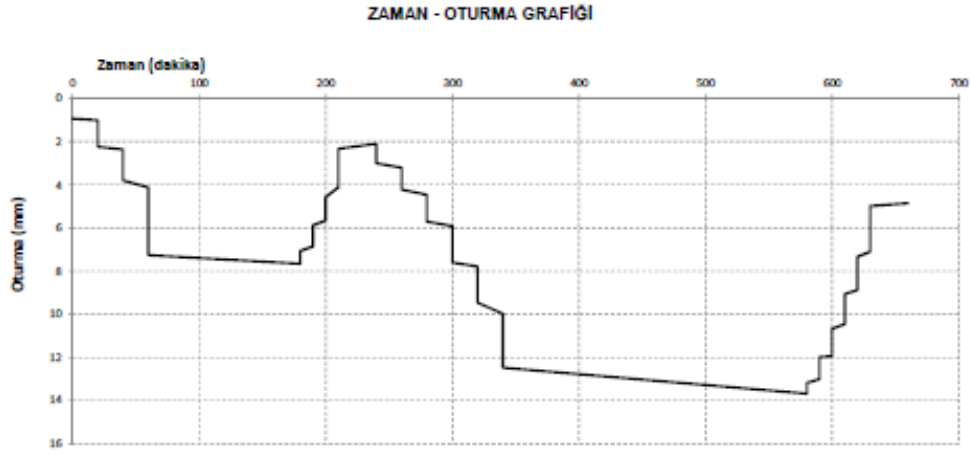
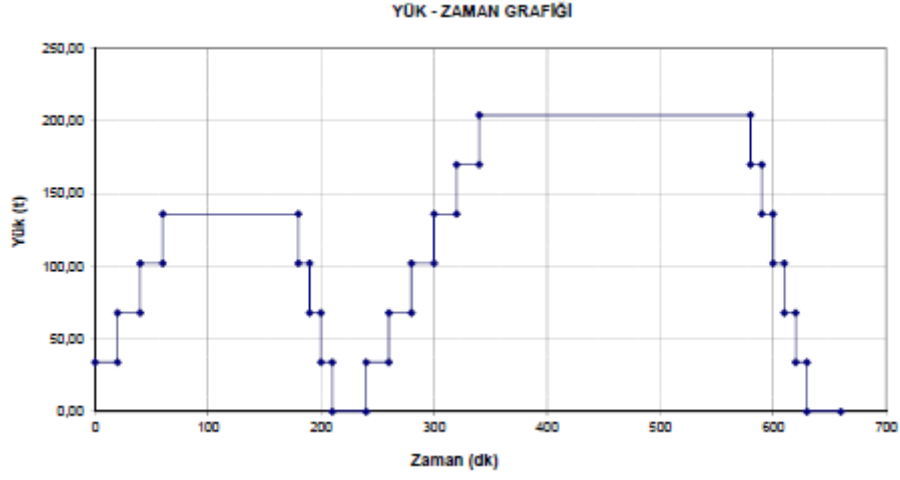
Ek 1'in devamı 13 nolu temel sondaj logu

TEML SONDAJ LOGU / BORING LOG										
MÜTEAHHİT: 					Pafta:320		Ada:2157		Parsel:5	
					SONDAJ / Boring No : SK-13					
					SONDÖR / Driller : MURAT AY					
PROJE ADI / Project Name : ESKİŞEHİR İLİ 33.000 KAPASİTELİ STADYUM										
SONDAJ YERİ / Boring Location : TEPEBAŞI/ SAZOVA MAH.										
SONDAJ METH / Boring depth : 20 METRE					BAŞLAMA TARİHİ / Start Date : 14.05.2012					
SONDAJ KOTU / Elavation : 798					BİTİŞ TARİHİ / Finish Date : 14.05.2012					
YERALTI SUYU / Groudwater : 4.00 m					KOORDİNAT /Coordinate (N-S) x :4404520N (1/25000)					
MAKİNE TİPİ : LONGER44 (D750)					KOORDİNAT /Coordinate (E-W)y :36 283084E(1/25000)					
Sondaj derinliği (m)	Tabaka derinliği (m)	Numune No	Numune Derinliği (m)	Numune türü	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart penetration test				JEOTEKNİK TANIMLAMA	JEOLOJİK KESİT
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N		
1		1	1,5	SPT	5	6	8	14		
2										
3		2	3	SPT	4	5	4	9		
4										
5		3	4,5	SPT	6	9	10	19		
6		4	6,00	UD (44cm)						
7		5	6,5	SPT	8	8	14	22		
8		6	7,5	SPT	7	9	10	19		
9		7	9	SPT	11	10	16	26		
10										
11		8	10,50	SPT	14	15	17	32		
12		9	12	SPT	16	19	25	44		
13										
14		10	13,5	SPT	13	17	26	43		
15		11	15	SPT	20	29	33	50		
16										
17		12	16,5	SPT	22	31	34	50		
18		13	18	SPT	17	21	27	48		
19										
20		14	19,5	SPT	25	26	40	50		
		15	20	SPT	20	29	31	50		
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT					AYRIŞMA DERECESESİ(W)					ÇATLAK SIKLIĞI (m)
İnce Taneli (kohezyonlu)		İnTaneli(Kohezyonsuz)		RQD(%)		W1 Taze (Ayrışmamış)		ÇATLAK SIKLIĞI (m)		
N: 0-2 Ç. Yumuşak		N: 0-4 Ç. Gevşek		0-25 Ç. Zayıf		W2 Az (Ayrışmış)		<1 Masif		
N: 3-4 Yumuşak		N: 5-10 Gevşek		25-50 Zayıf		W3 Orta Derece Ayr.		1-3 Az Çatlaklı -Kırıktı		
N: 5-8 Orta Kalı		N: 11-30 Orta		50-75 Orta		.....		3-10 Kırıktı		
N: 9-13		N: 31-60 Sıkı		75-90 İyi		.....		10-50 Çok Çat. -Kırıktı		
N: 13-30		N:..... Çok Sıkı		90-100 Çok İyi		.....		.....
N: 30 Sert										
SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer					KONTROL MÜHENDİSİ					

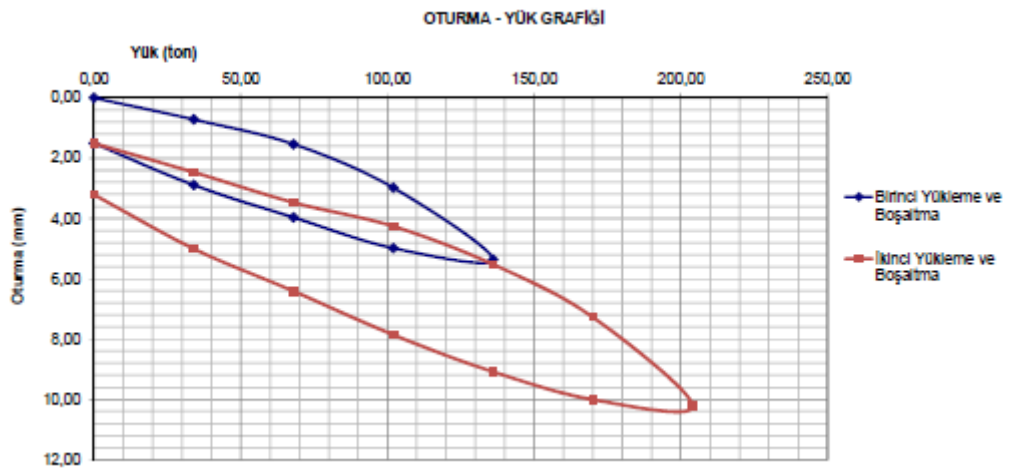
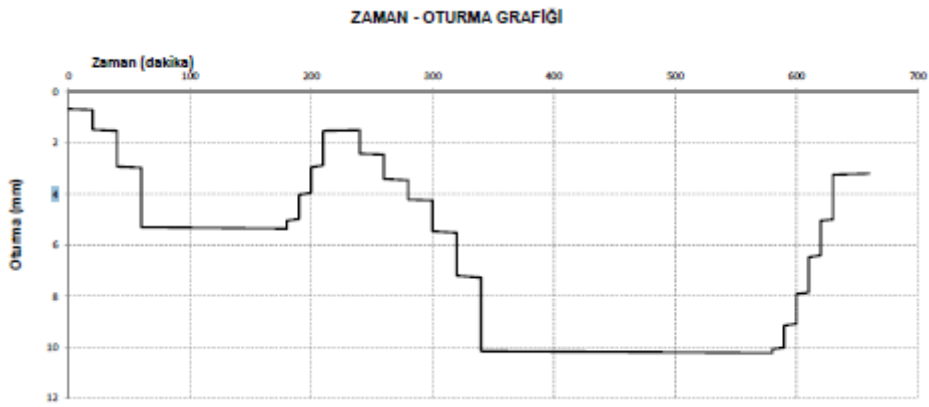
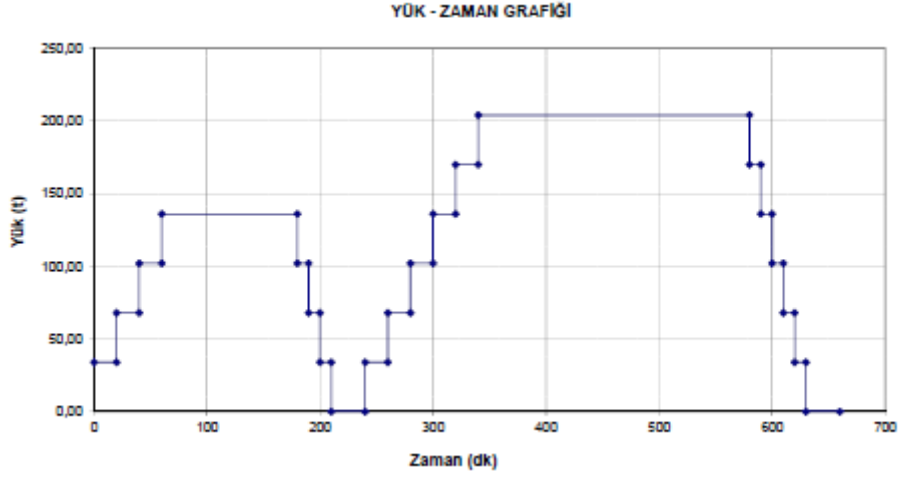
Ek 2'nin devamı 2 nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri



Ek 2'nin devamı n nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri

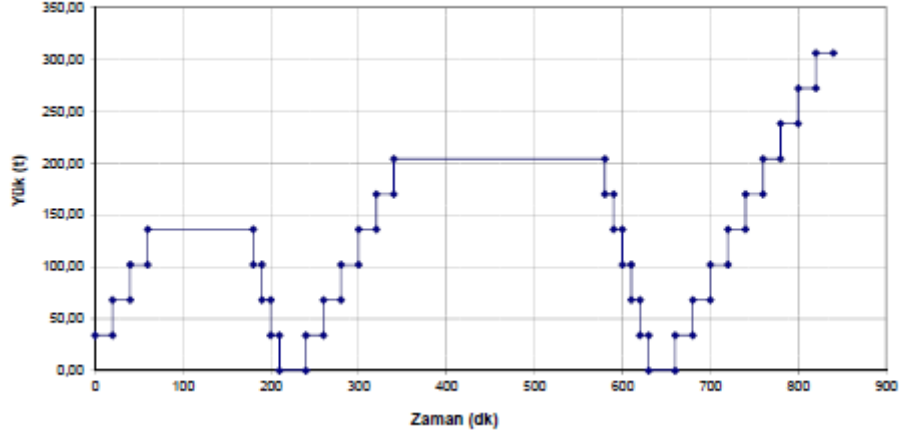


Ek 2'nin devamı 4 nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri

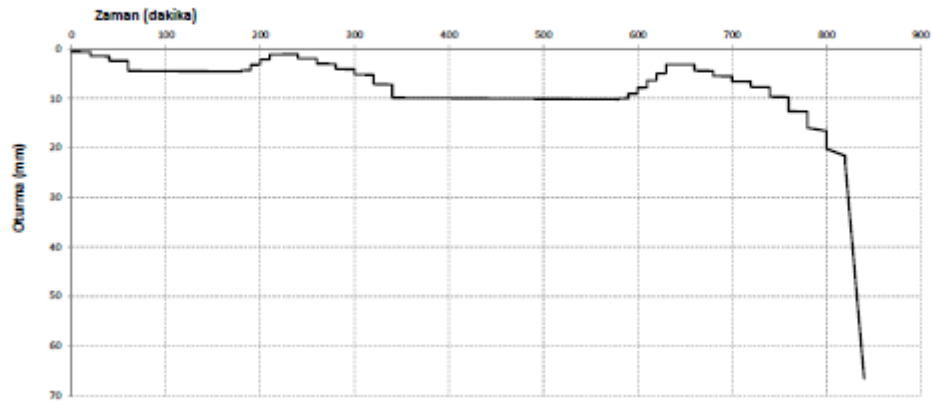


Ek 2'nin devamı 5 nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri

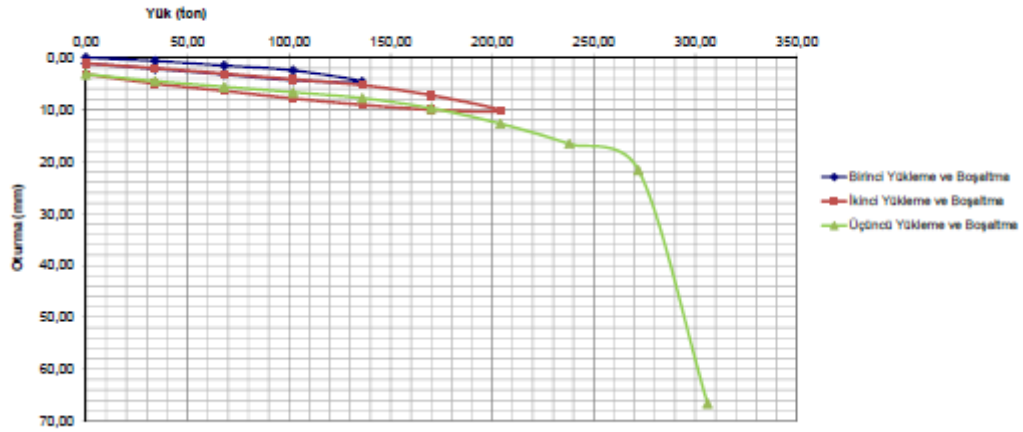
YÜK - ZAMAN GRAFIĞI



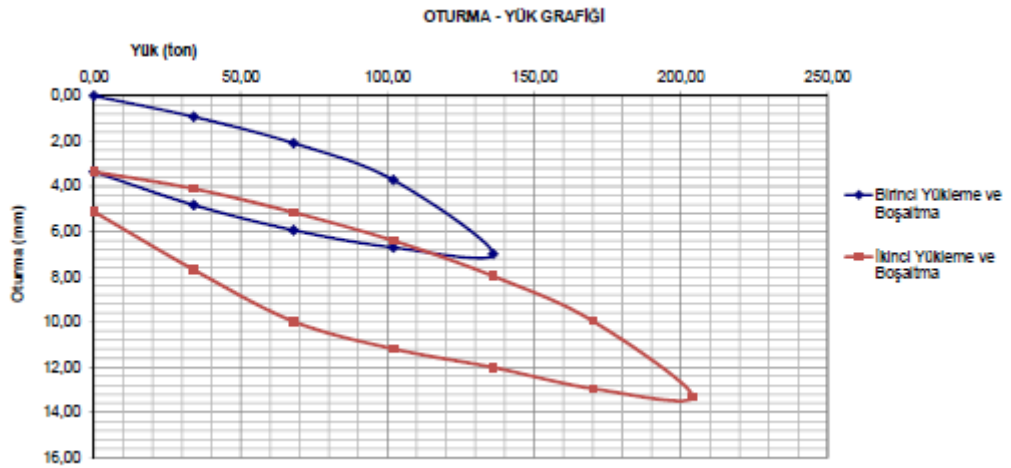
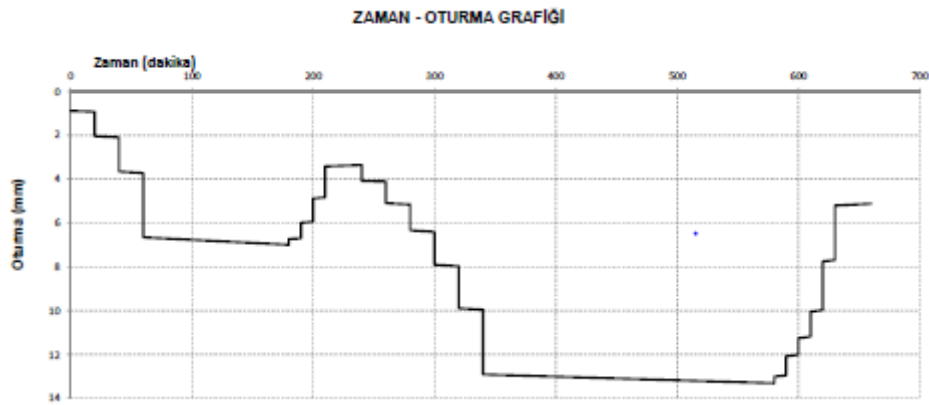
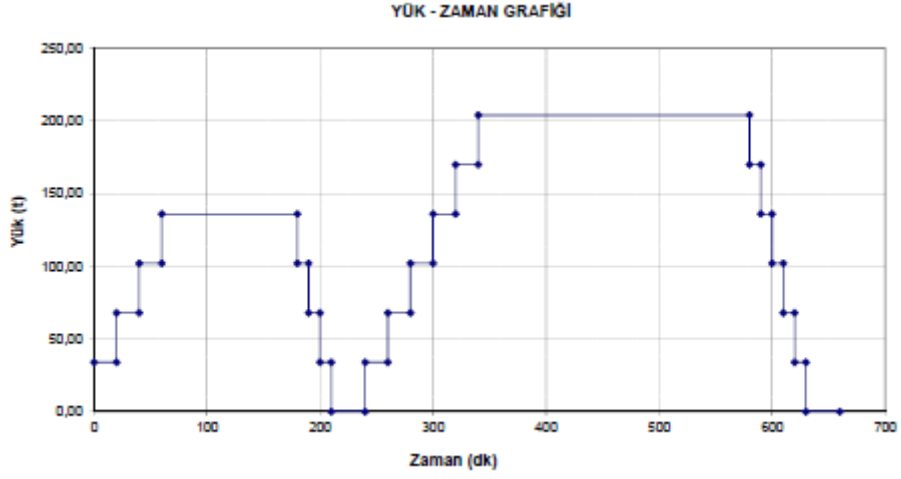
ZAMAN - OTURMA GRAFIĞI



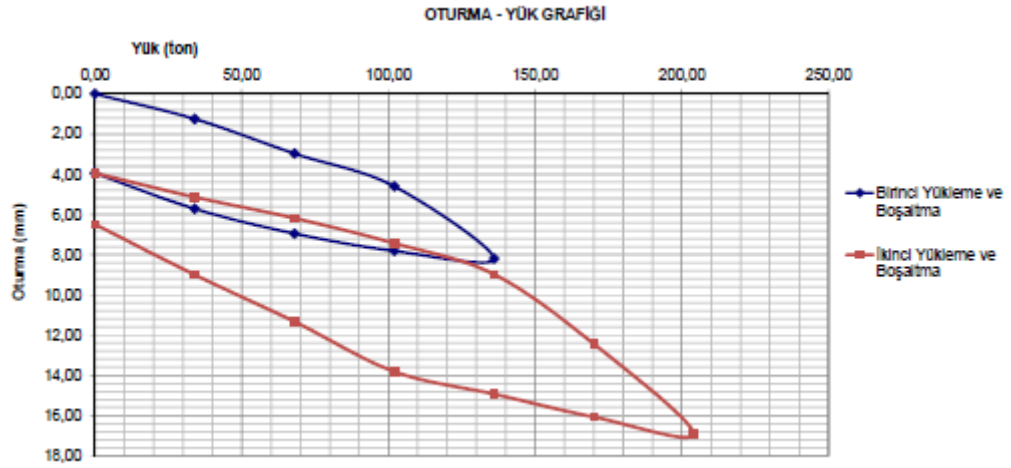
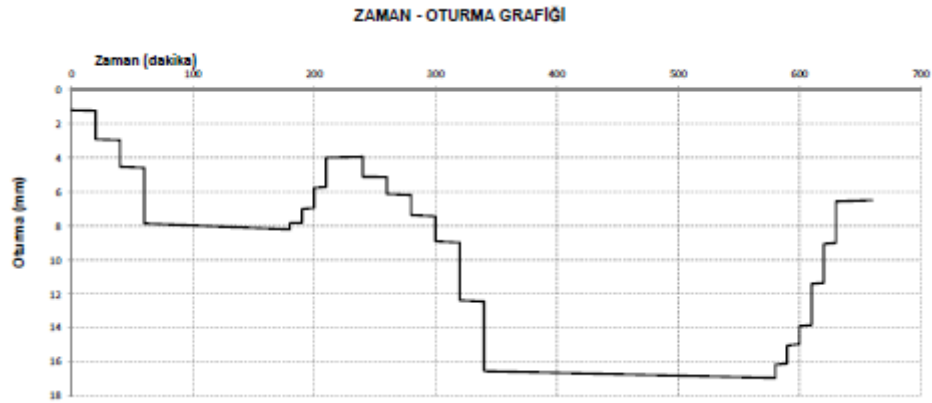
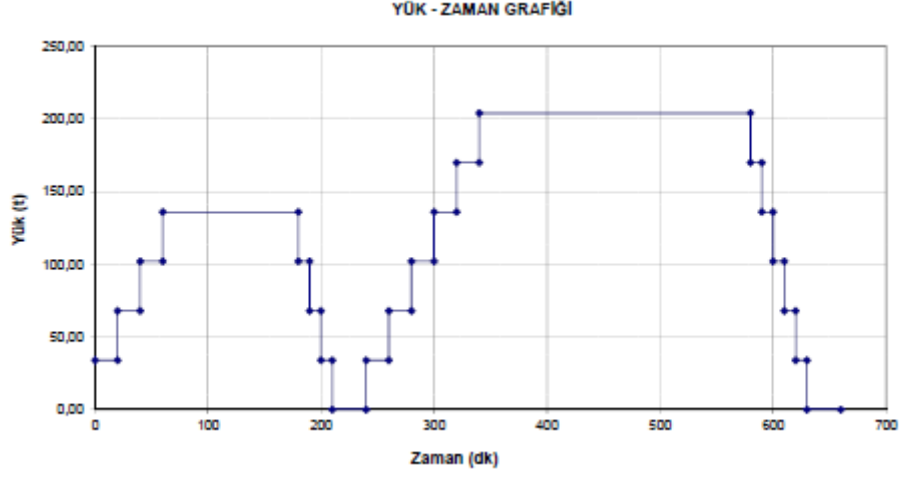
OTURMA - YÜK GRAFIĞI



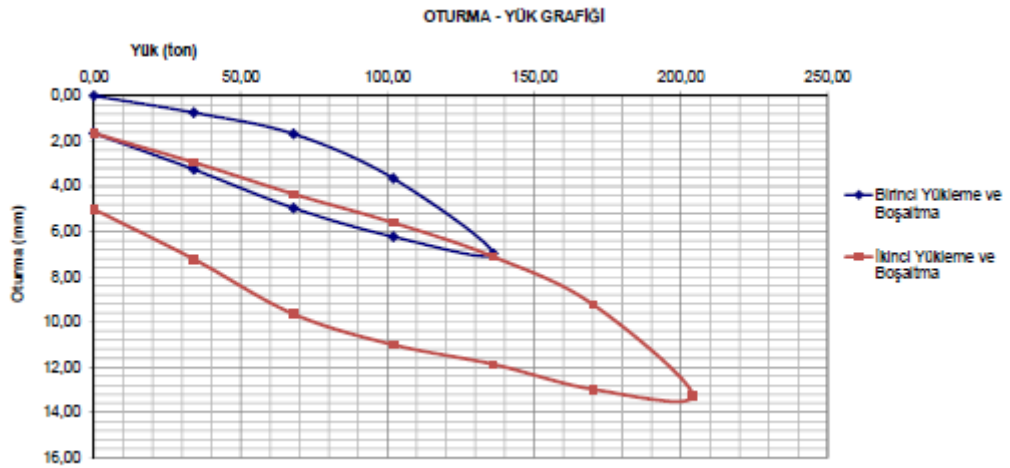
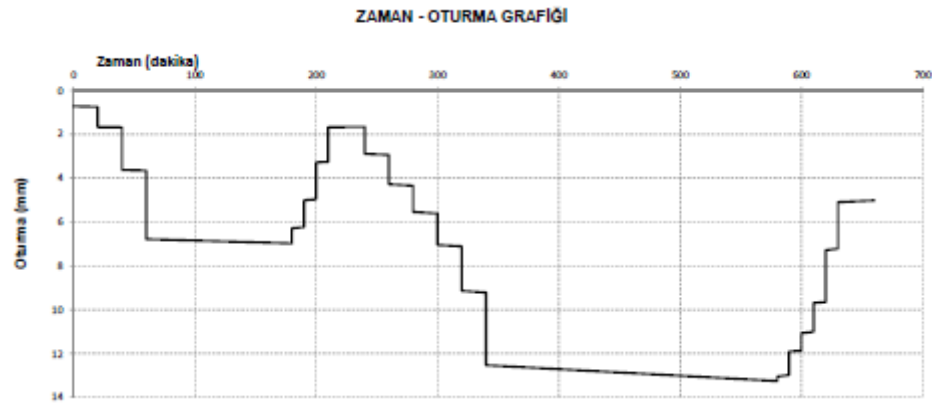
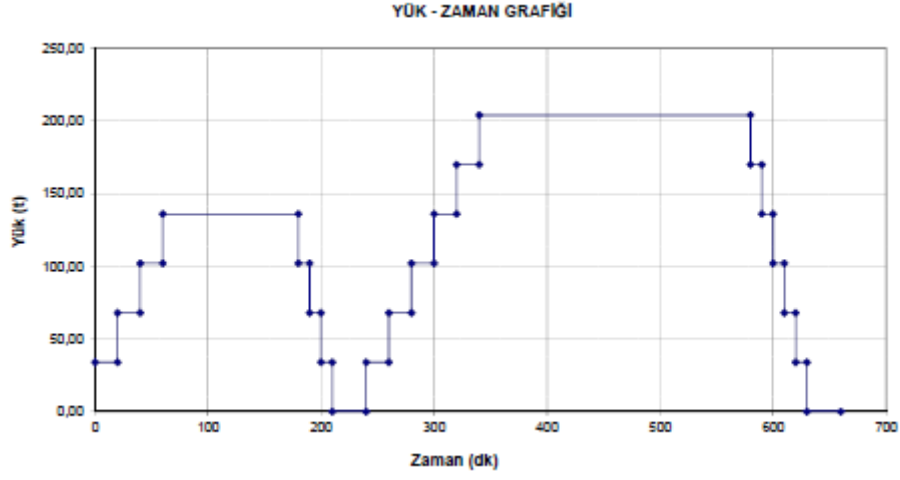
Ek 2'nin devamı 6 nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri



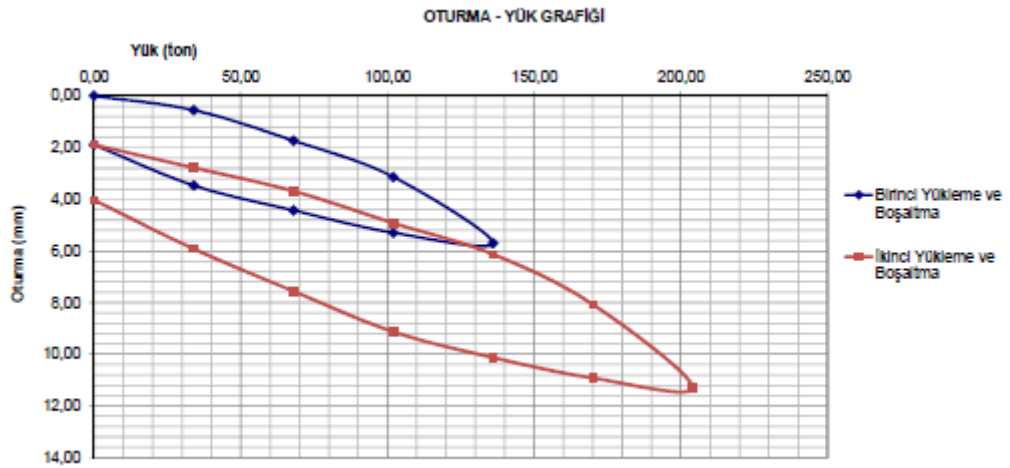
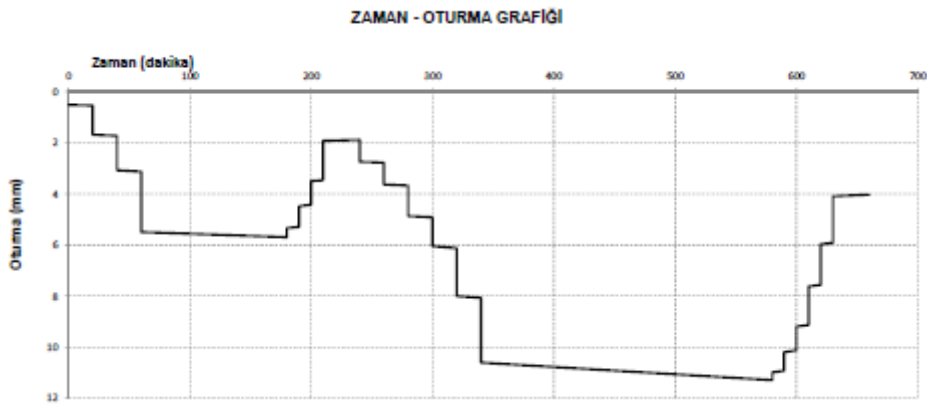
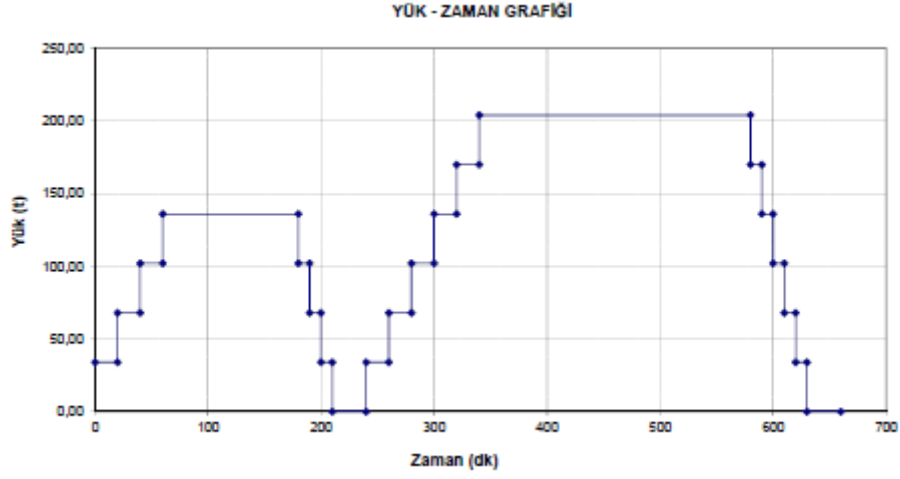
Ek 2'nin devamı 7 nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri



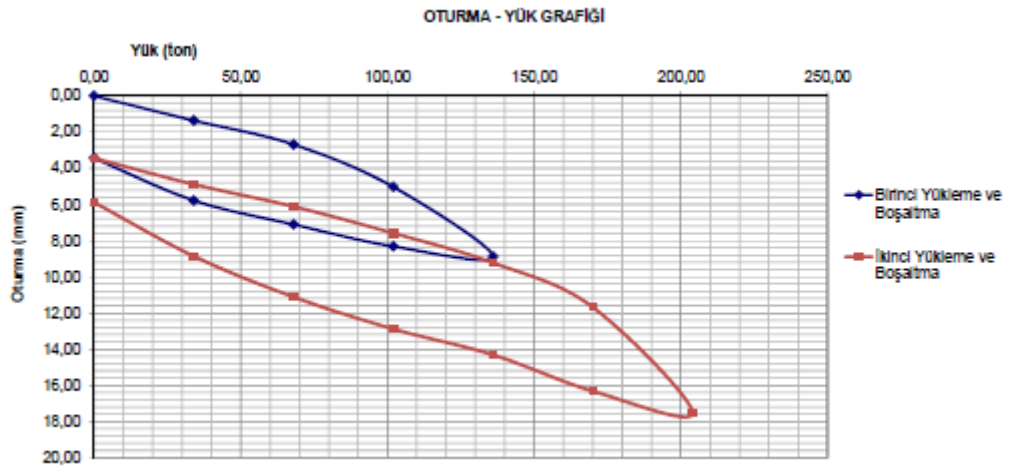
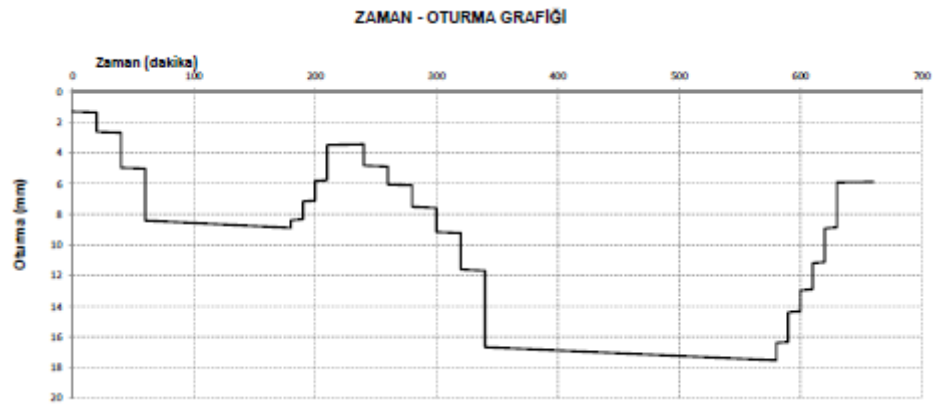
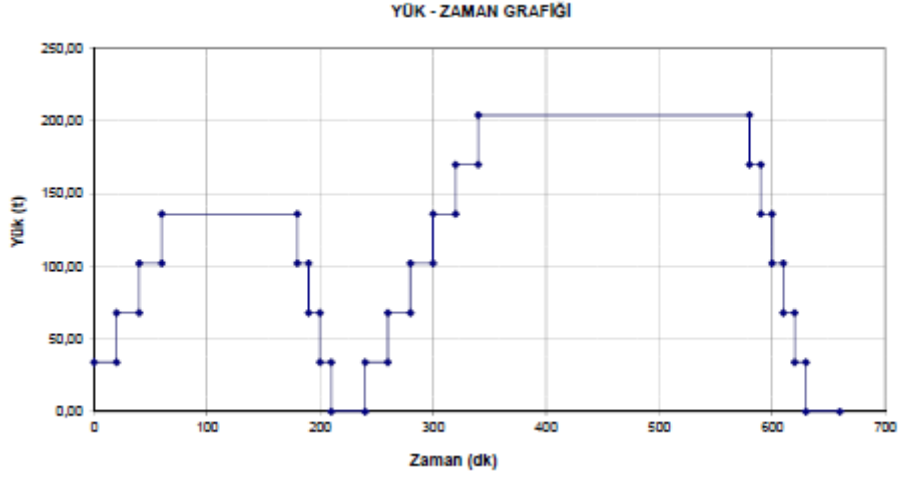
Ek 2'nin devamı 8 nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri



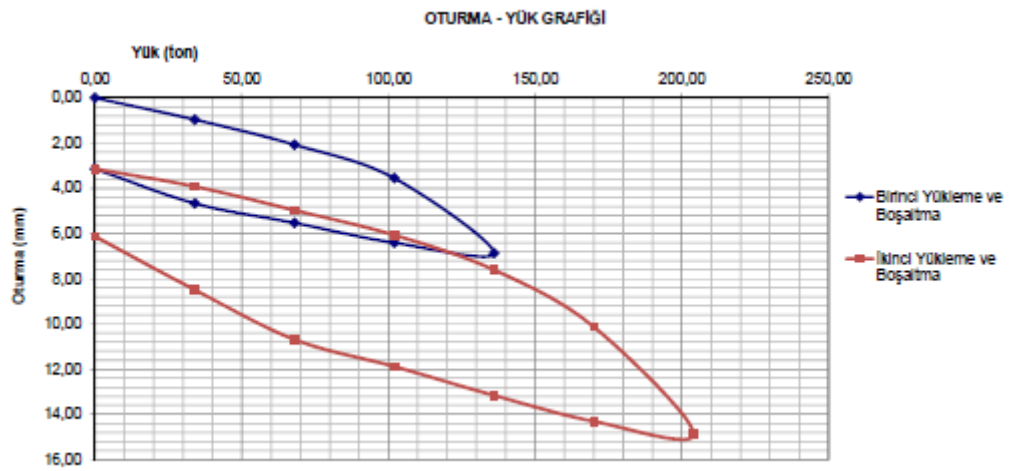
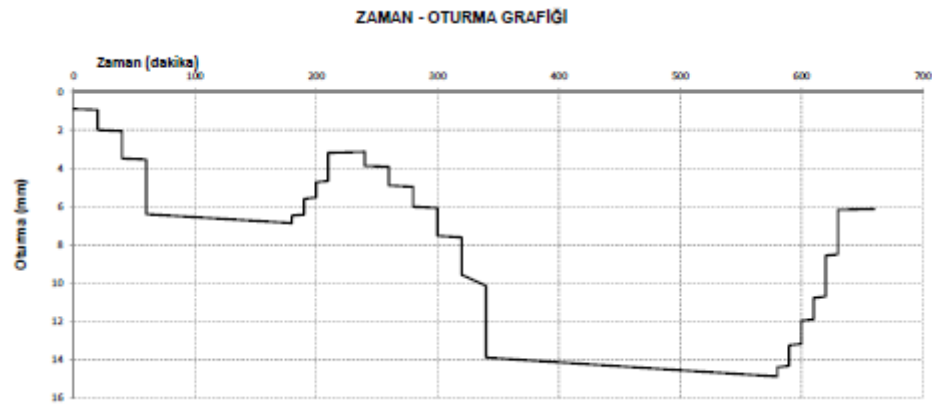
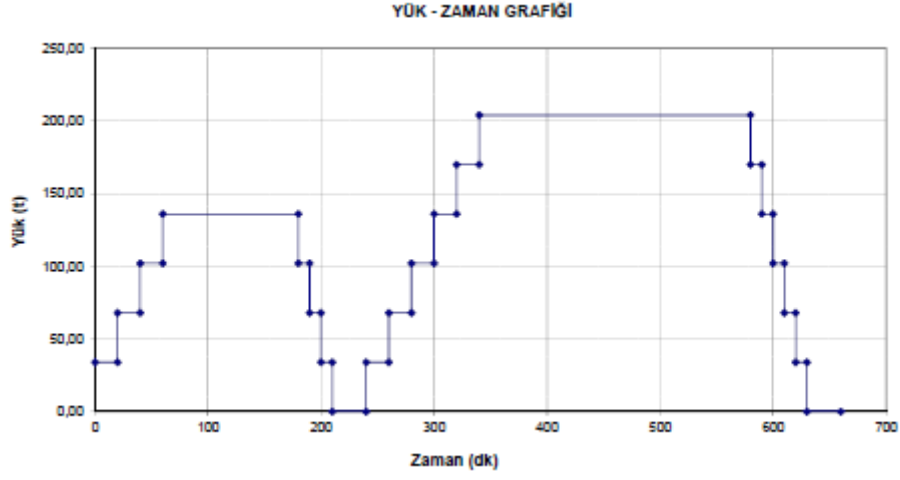
Ek 2'nin devamı 9 nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri



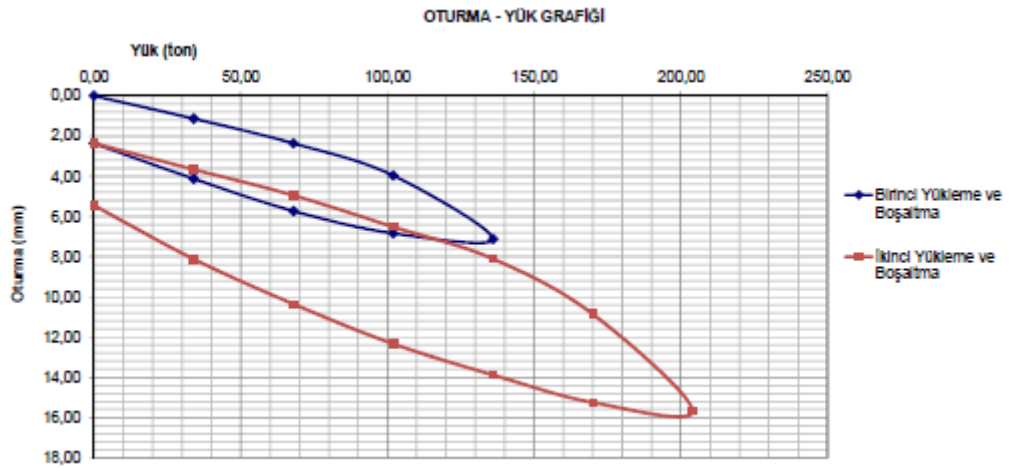
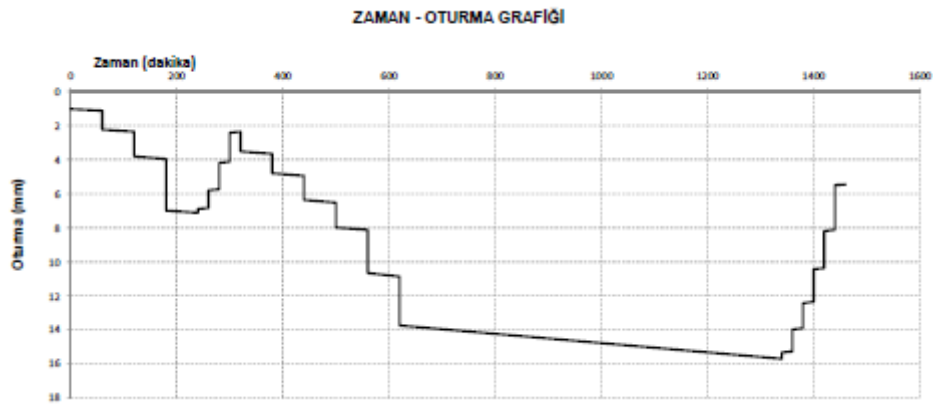
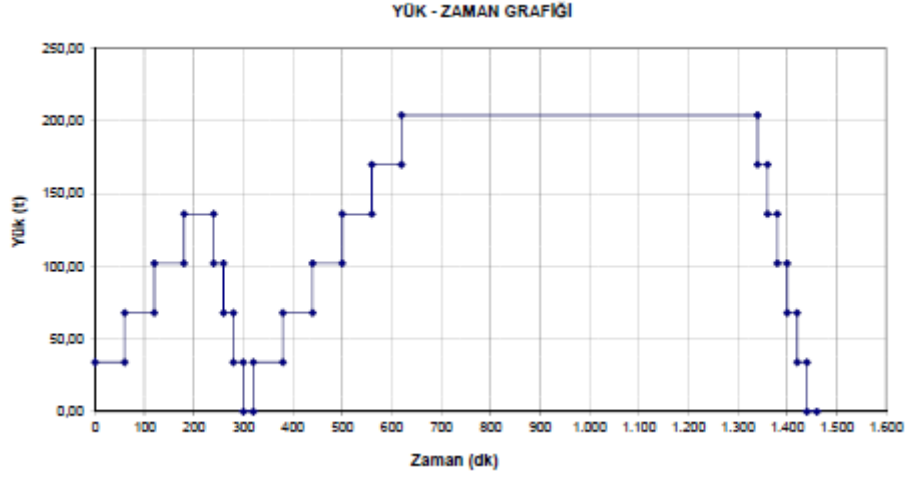
Ek 2'nin devamı 10 Nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri



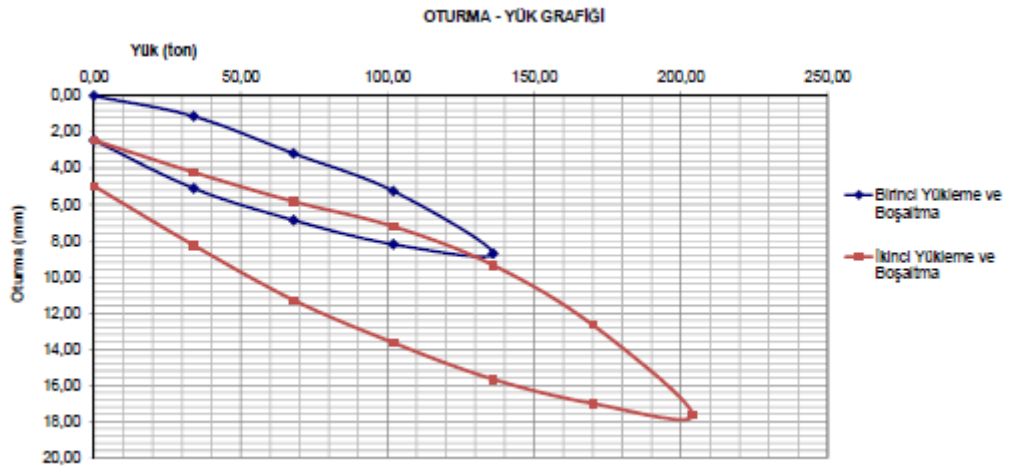
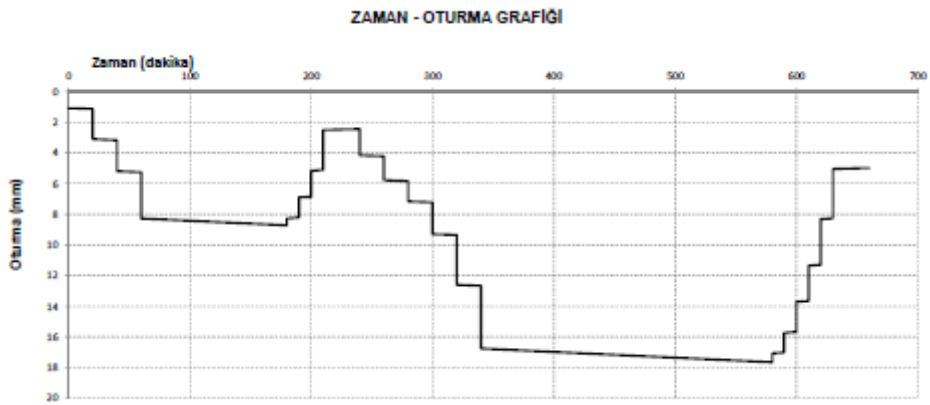
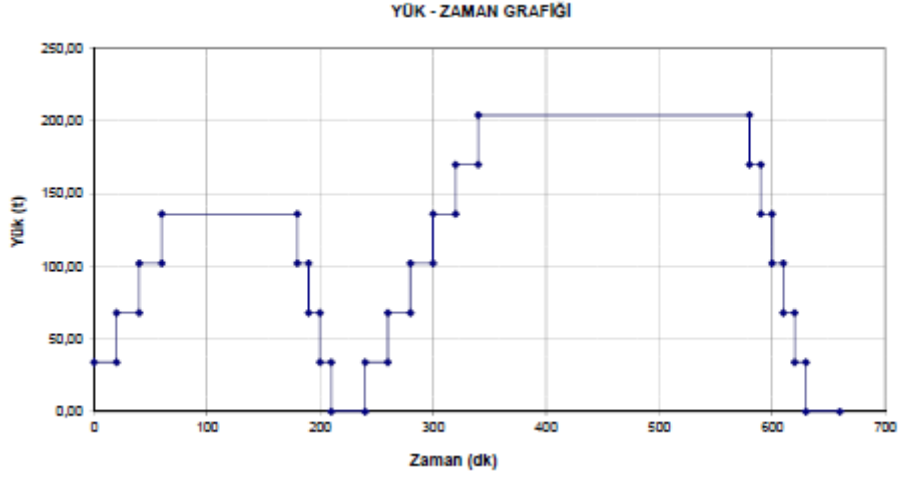
Ek 2'nin devamı 11 Nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri



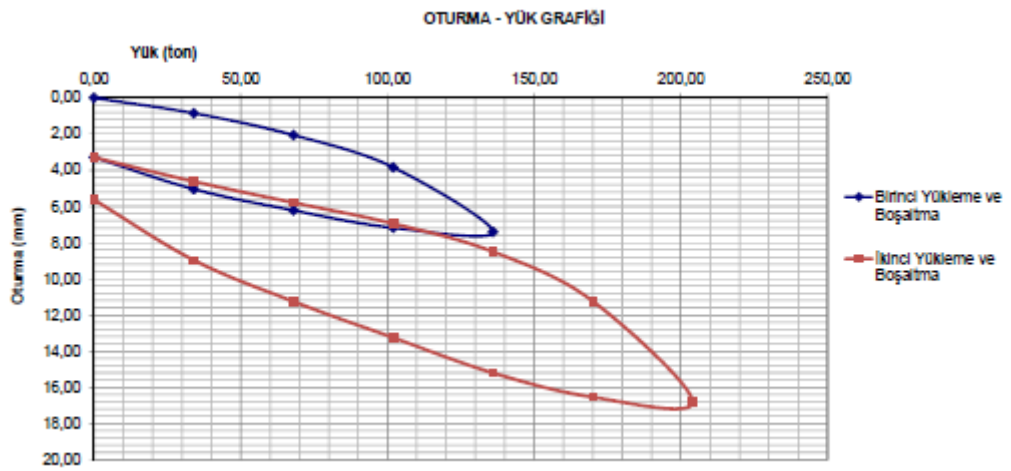
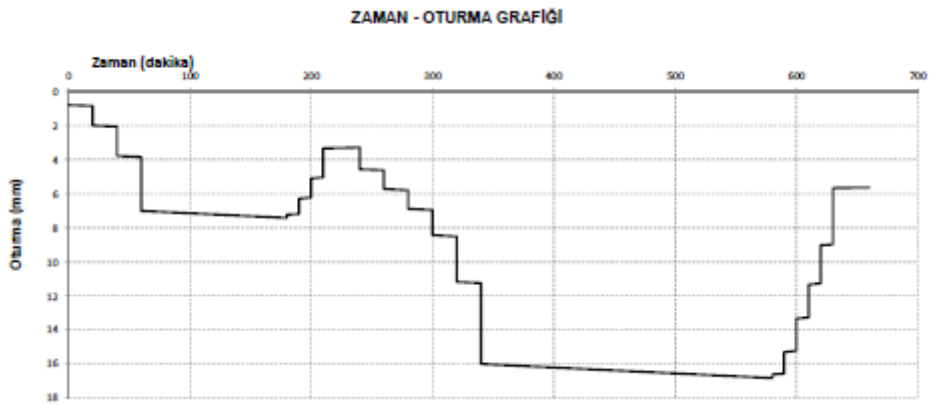
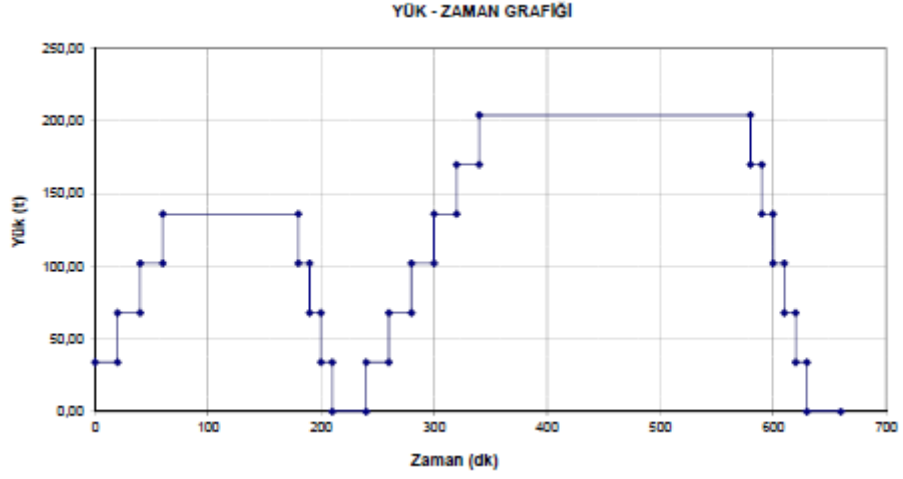
Ek 2'nin devamı 12 Nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri



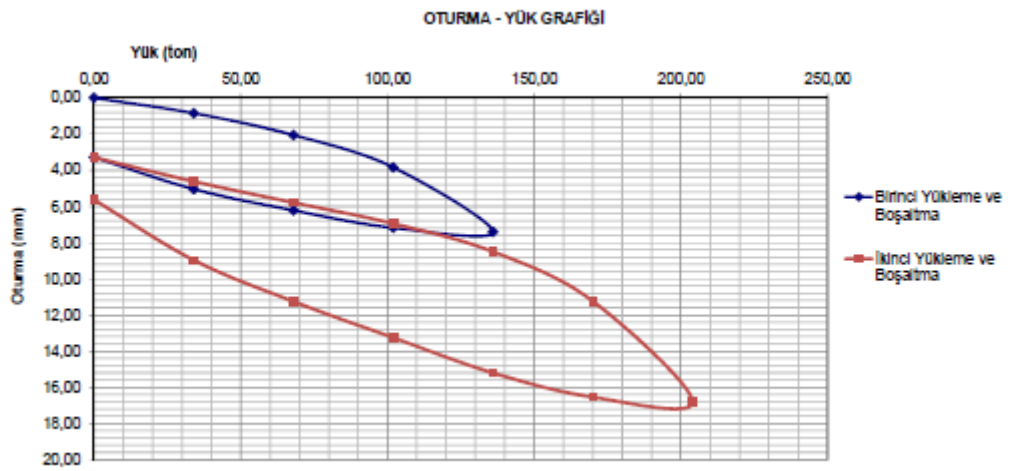
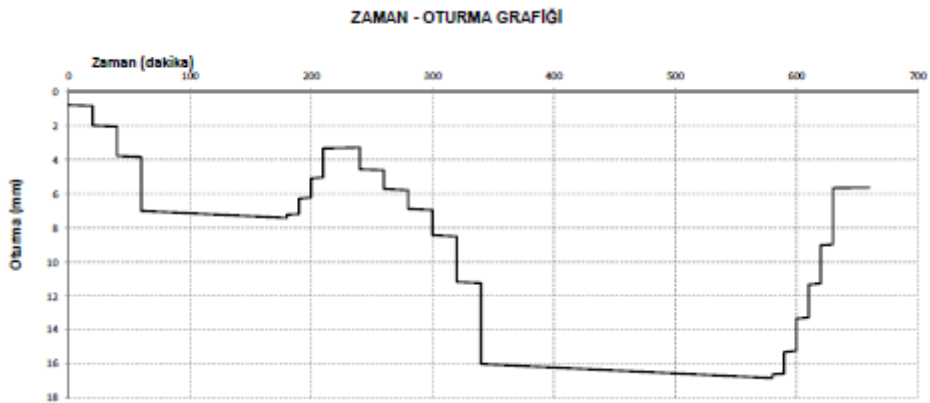
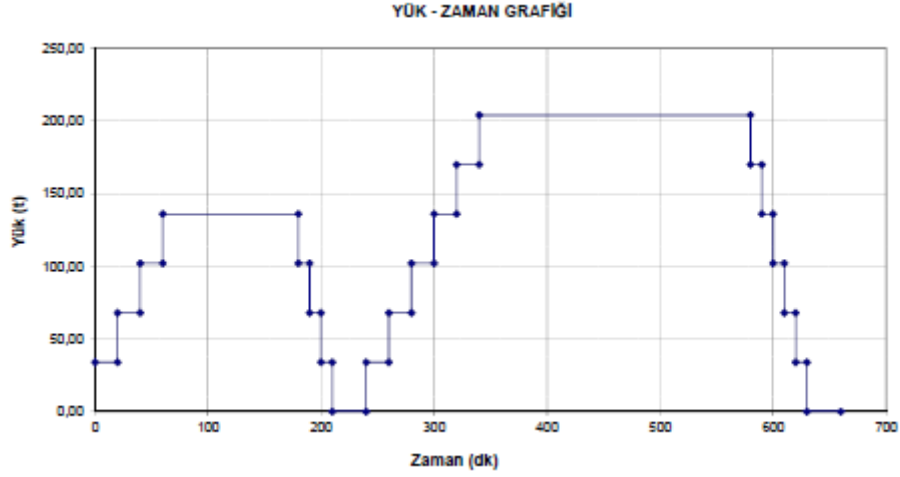
Ek 2'nin devamı 13 Nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri



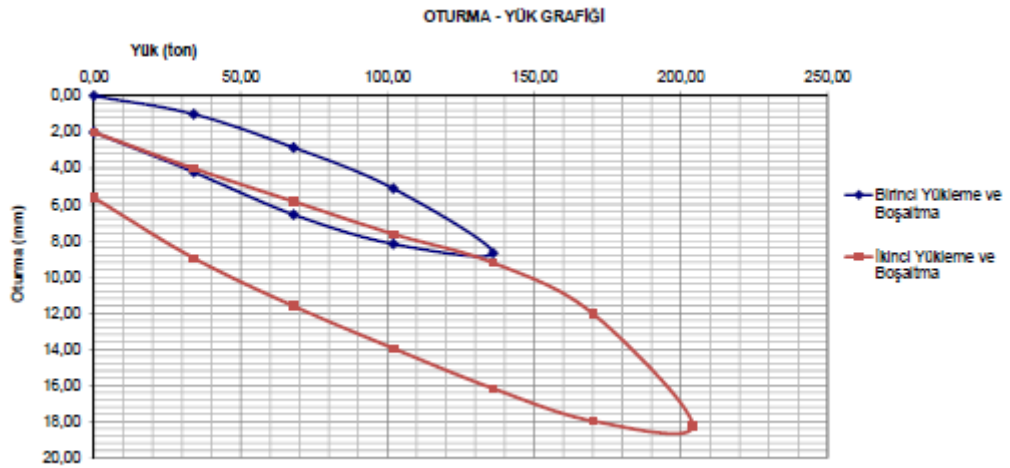
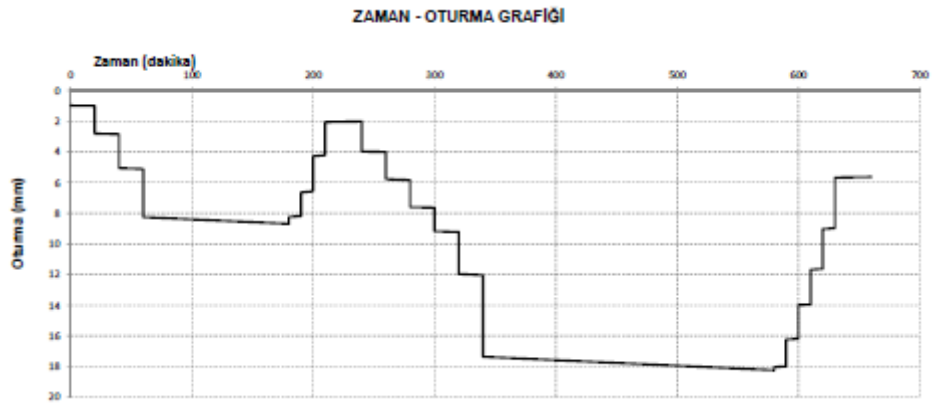
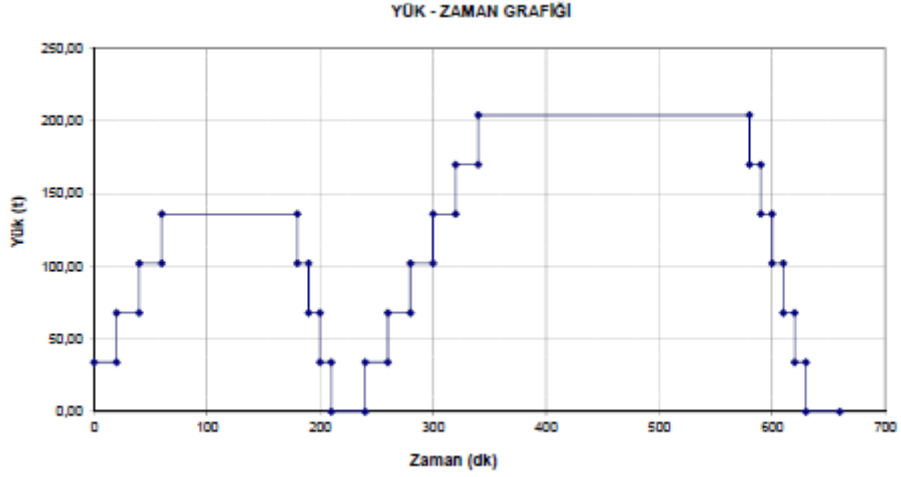
Ek 2'nin devamı 14 Nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri



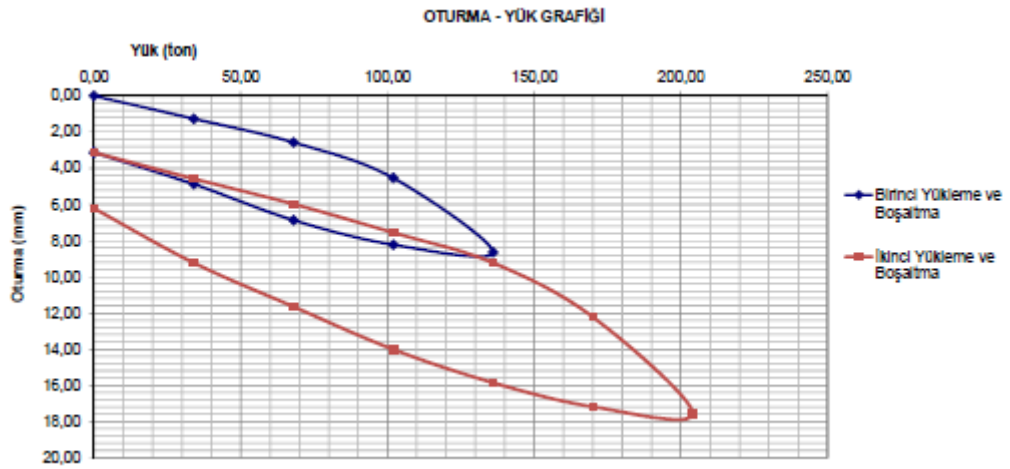
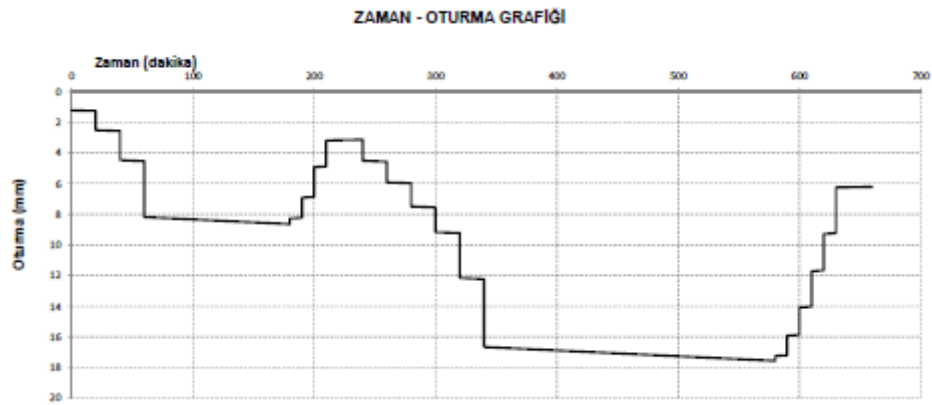
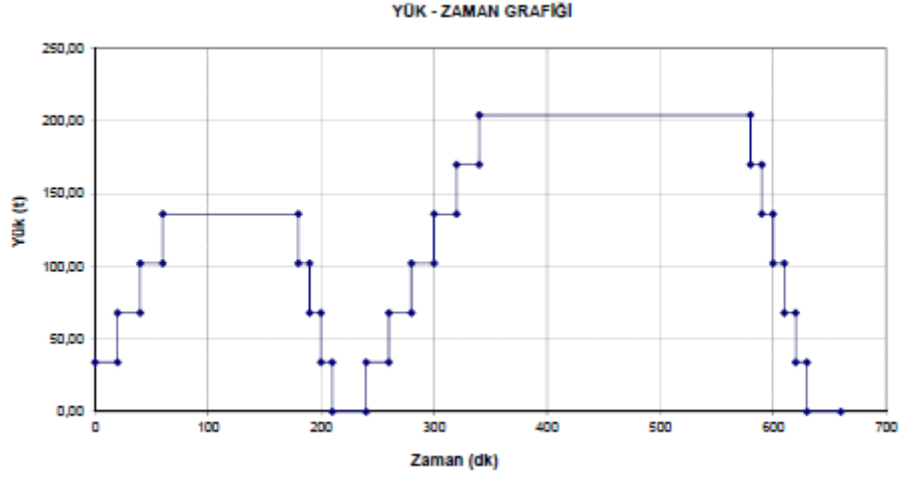
Ek 2'nin devamı 14 Nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri



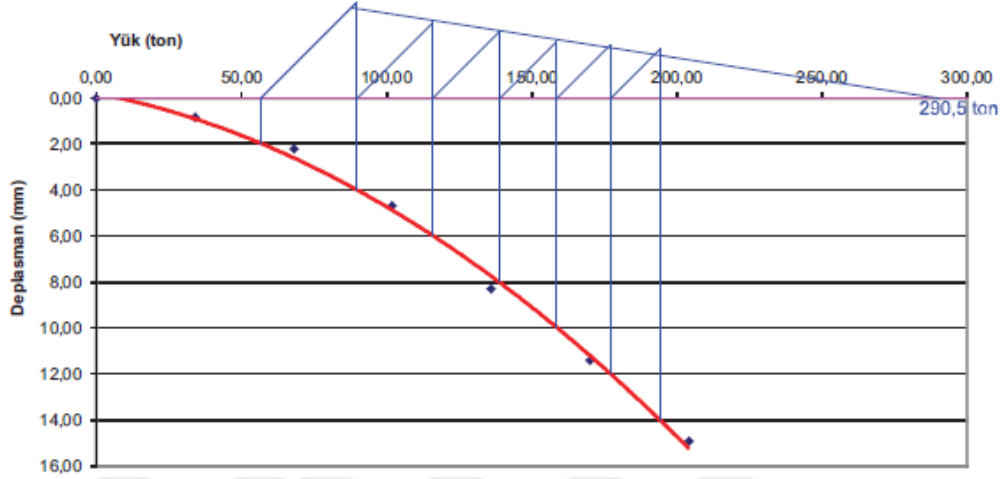
Ek 2'nin devamı 15 Nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri



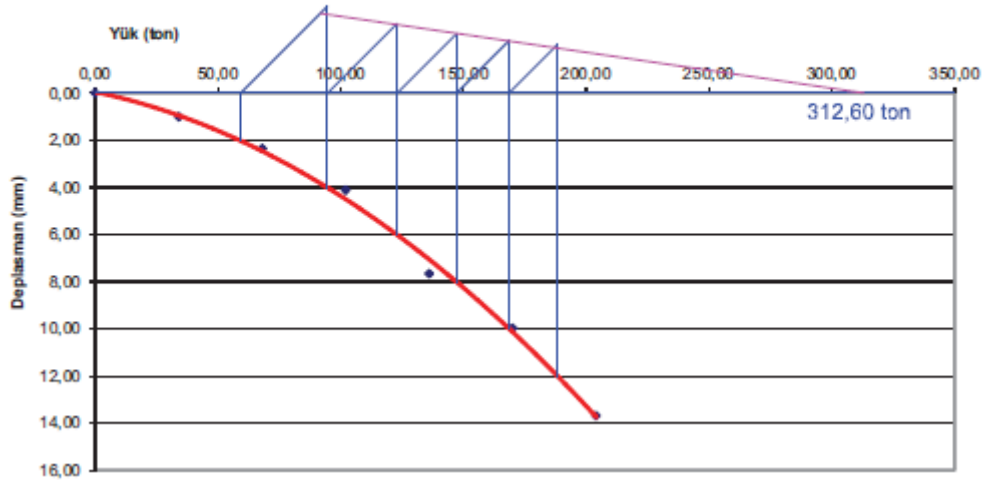
Ek 2'nin devamı 16 Nolu test kolonu için yük – zaman, oturma–zaman, yük–oturma grafikleri



Ek 3. Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

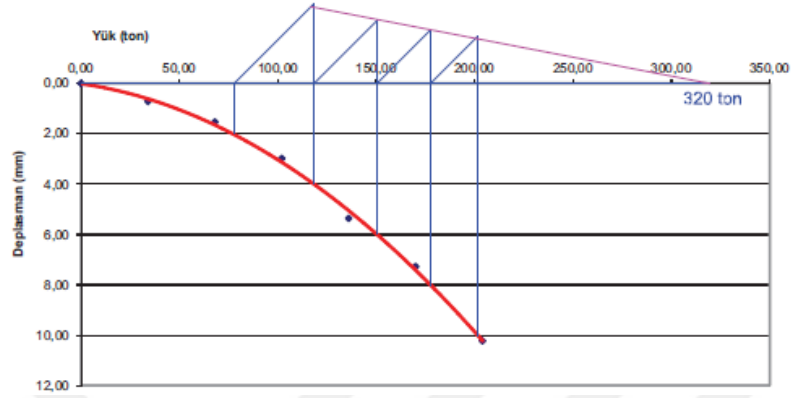


2 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

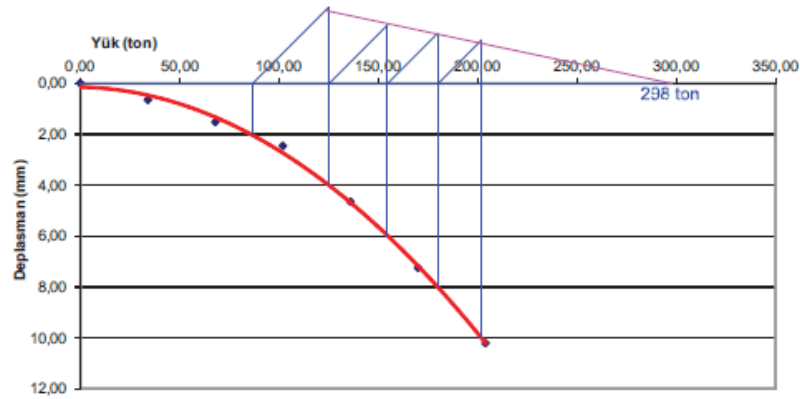


3 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

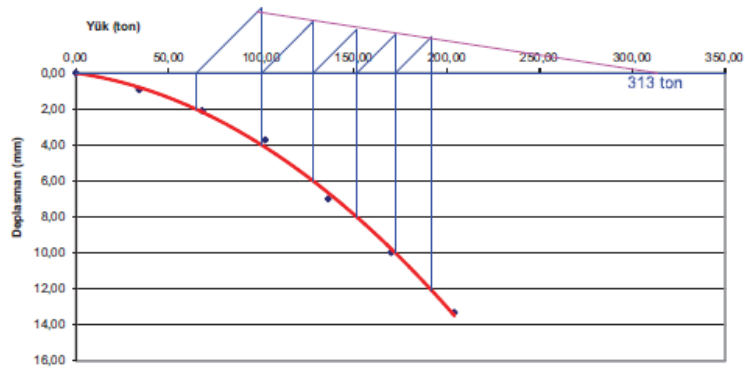
Ek 3'ün devamı Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması



4 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

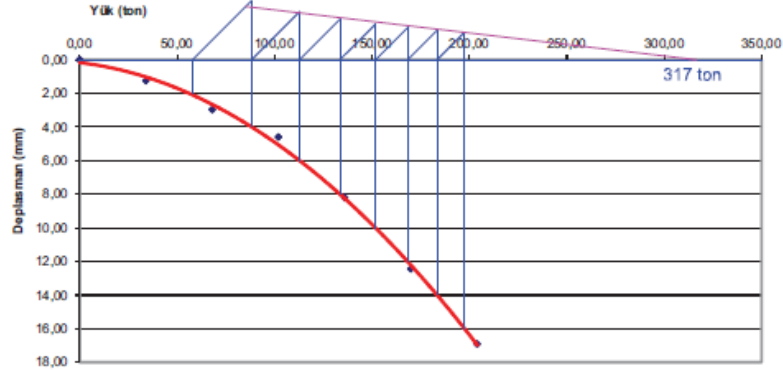


5 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

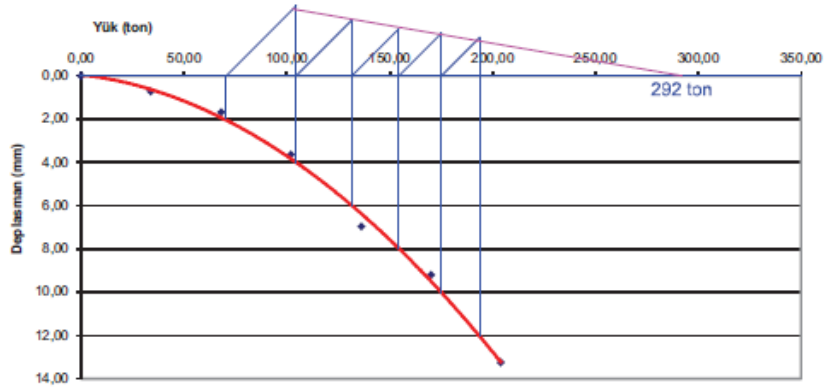


6 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

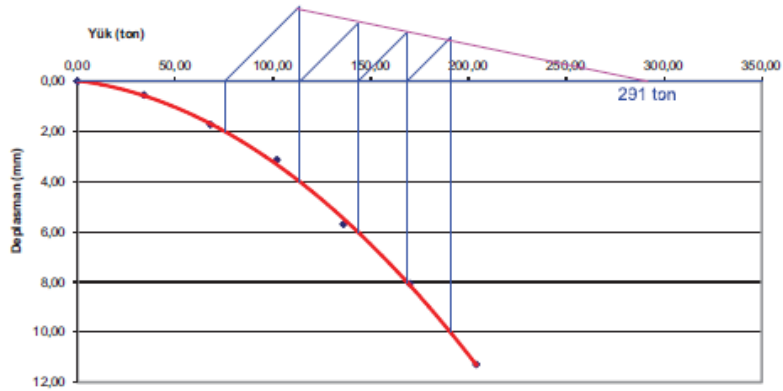
Ek 3'ün devamı Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması



7 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

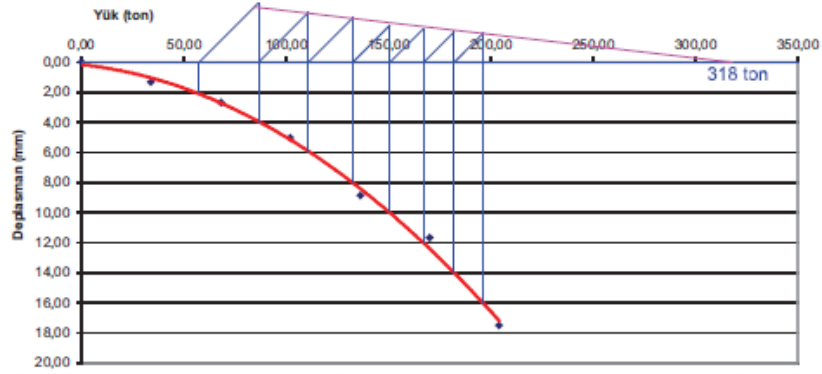


8 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

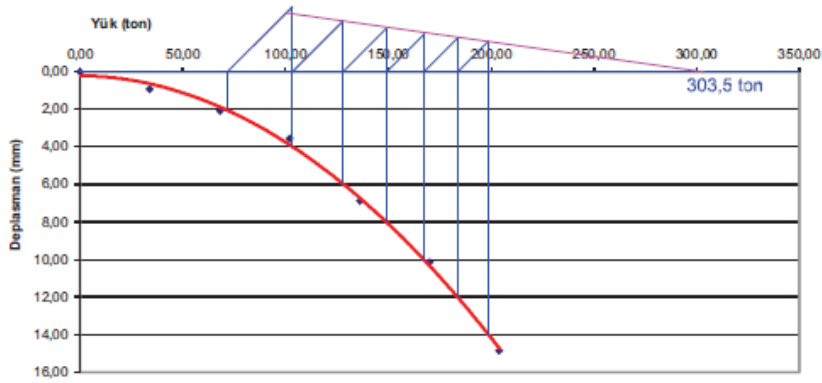


9 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

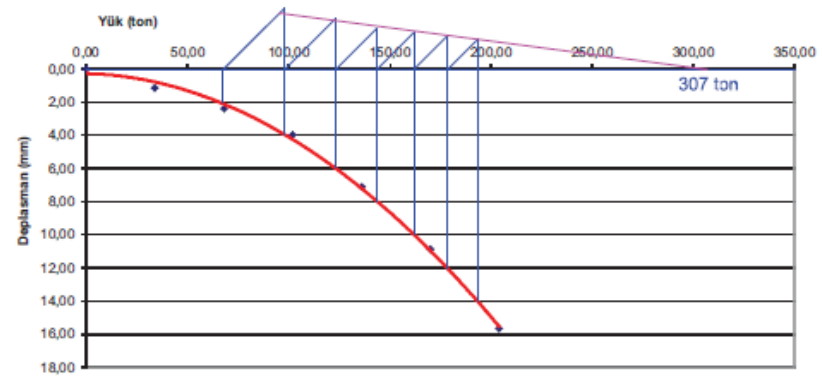
Ek 3'ün devamı Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması



10 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

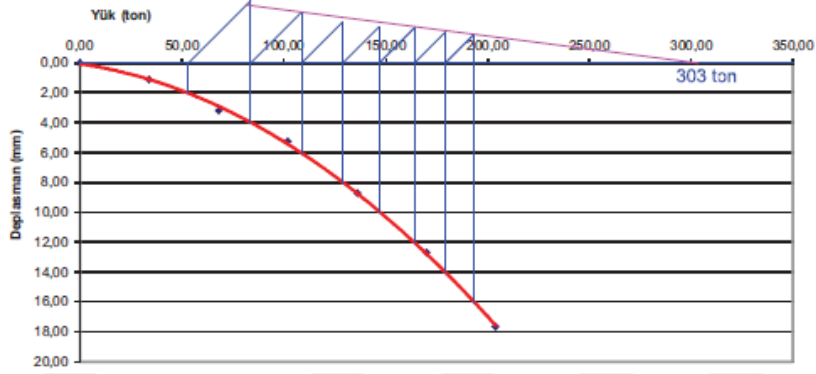


11 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

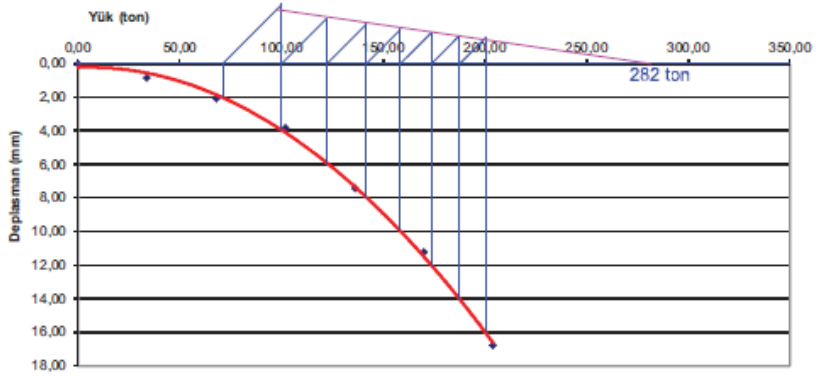


12 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

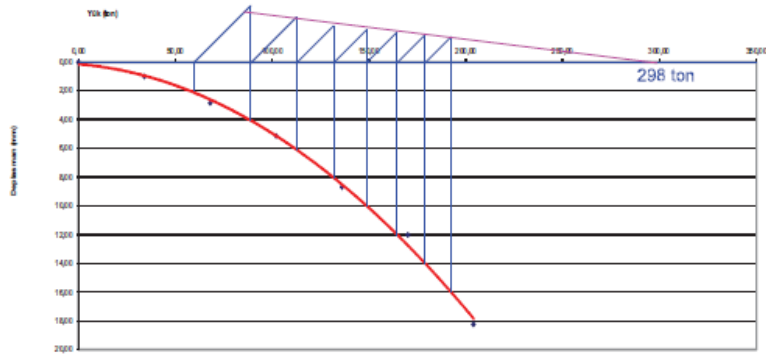
Ek 3'ün devamı Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması



13 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

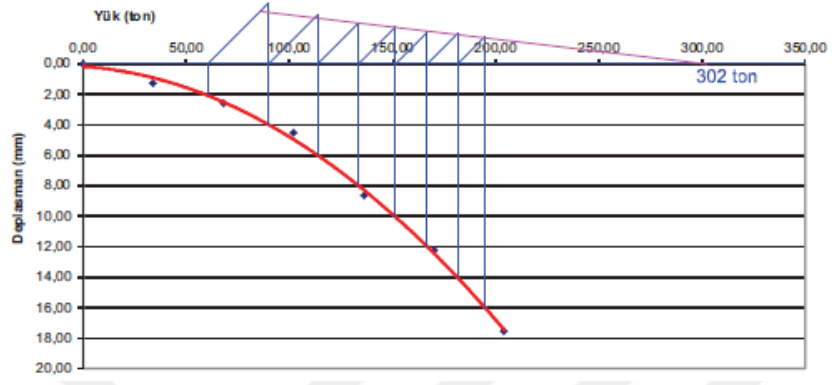


14 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması



15 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

Ek 3'ün devamı Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması



16 Nolu kolonun Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün bulunması

ÖZGEÇMİŞ

Muhammed AYDIN, 1990 yılında Kocaeli Hereke’de doğdu. İlkokul eğitimini Çizmeci İlköğretim Okulu’nda, lise eğitimini ise Rauf Denктаş Lisesi’nde tamamladı. Lisans öğrenimi için 2009 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2013 yılında üçüncülük derecesiyle mezun oldu. 2014 yılında askerlik görevini mesleki yedek subay olarak tamamlayarak aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’ndan “Yüksek Lisans” eğitimine başladı. 2014-2016 yılları arası çeşitli projelerde inşaat mühendisi olarak, 2016-2019 yılları arasında ise İstanbul Havalimanı projesinde kalite güvence/kalite kontrol mühendisi olarak çalıştı. Yüksek lisans eğitimine devam eden AYDIN evli ve orta derecede ingilizce bilmektedir.