

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**SIVILAŞMA POTANSİYELİ OLAN ZEMİNLERDE TAŞ
KOLONLARIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ; SAKARYA ÖRNEĞİ
VAKA ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süheyl KILIÇ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr.Öğr. Üyesi İsa VURAL

Aralık 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SIVILAŞMA POTANSİYELİ OLAN ZEMİNLERDE TAŞ
KOLONLARIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ; SAKARYA ÖRNEĞİ
VAKA ANALİZİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Süheyl KILIÇ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 30/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr.
Sedat SERT
Jüri Başkanı


Dr. Öğr. Üyesi
İsa VURAL
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Emine AYDIN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Süheyl KILIÇ

30/12/2019



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, değerli danışman hocam Doç. Dr. İsa VURAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans eğitimimin başından sonuna kadar benden manevi desteklerini esirgemeyen anneme, babama, ablama ve nişanlıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÖZETİ	3
BÖLÜM 3.	
TAŞ KOLONLAR	10
3.1. Taş Kolon İmalat Yöntemleri	11
3.1.1. Darbeli sıkıştırma yöntemi	12
3.1.2. Vibro yerdeğiştirme yöntemi	13
3.1.2.1. Islak vibro yerdeğiştirme yöntemi	13
3.1.2.2. Kuru vibro yerdeğiştirme yöntemi	14
3.2. Taş Kolon Yöntemlerinin Karşılaştırılması	14
3.3. Taş Kolon Özellikleri	15
3.3.1. Taş kolon çapı	15
3.3.2. Taş kolon boyu	16

3.3.3. Taş kolon dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı	16
3.3.4. Taş kolon dolgu malzemesinin dane çapı değişimi	16
3.4. Taş Kolon Tasarımı	17
3.4.1. Taş kolon tasarım koşulları	17
3.4.2. Taş kolon uygulanabilirliği ve uygulama alanı	18
3.4.3. Taş kolon göçme mekanizması	20
3.4.3.1. Tekil taş kolon göçme mekanizması	20
3.4.3.2. Grup taş kolon göçme mekanizması	21
3.4.4. Taş kolonlarda birim hücre kavramı	23
3.4.5. Taş kolonlarda taşıma gücü	26
3.4.5.1. Tekil taş kolonlarda taşıma gücü	26
3.4.5.2. Kısa taş kolonlarda taşıma gücü	28
3.4.5.3. Grup taş kolonlarda taşıma gücü	29
3.4.6. Taş kolonlarda oturma analizi	30
3.5. Sıvılaşma Potansiyeli Olan Zeminlerin Taş Kolon ile İyileştirilmesi	33
3.6. Taş Kolon Uygulamalarının Kontrolü	35

BÖLÜM 4.

ADAPAZARININ ZEMİN ÖZELLİKLERİ VE ZEMİN SIVILAŞMASI	36
4.1. Adapazarının Jeomorfolojik ve Geoteknik Özellikleri	36
4.2. Adapazarı Bölgesinin Yer Altı Suyu	38
4.3. Adapazarı Bölgesinin Deprem Durumu	39
4.4. Zemin Sıvılaşması	40

BÖLÜM 5.

FLAC PROGRAMINA GENEL BAKIŞ	43
5.1. FLAC Programı Hakkında Genel Bilgi	43
5.2. Finn ve Byrne Model	45

BÖLÜM 6.

MATERYAL VE YÖNTEM	47
6.1. Nümerik Model	47
6.1.1. Nümerik model boyutları	48

6.1.2. Nümerik model sınır şartları	48
6.1.3. Nümerik model örgü ağı (mesh) aralıkları	50
6.1.4. Nümerik modelde yapım aşaması	51
6.2. Nümerik Model Özellikleri	51
6.2.1. Yapı ve taş kolon özellikleri	52
6.2.2. Zemin özellikleri	54
6.3. Yerinde Taş Kolon İmalatı	56
6.4. Nümerik Model Analizleri Yapılırken Kullanılan Deprem Kaydı Özellikleri.....	56
6.5. Nümerik Modelde Kullanılan Sönüm Oranı ve Malzeme Özellikleri	57

BÖLÜM 7.

ANALİZLER VE SONUÇLARI	58
7.1. Taş Kolonsuz Nümerik Model Analizleri	61
7.2. Taş Kolonlu Nümerik Model Analizleri	66
7.2.1. TK1 taş kolonlu nümerik model analizi	67
7.2.2. TK2 taş kolonlu nümerik model analizi	73
7.2.3. TK3 taş kolonlu nümerik model analizi	79
7.2.4. TK4 taş kolonlu nümerik model analizi	85
7.2.5. TK5 taş kolonlu nümerik model analizi	91
7.2.6. TK6 taş kolonlu nümerik model analizi	97
7.2.7. TK7 taş kolonlu nümerik model analizi	103
7.2.8. TK8 taş kolonlu nümerik model analizi	109
7.2.9. TK9 taş kolonlu nümerik model analizi	115
7.3. Nümerik Model Analizlerinin Karşılaştırılması	121
7.4. Taş Kolonların İyileştirme Oranları ile Maliyetlerinin Karşılaştırılması	125

BÖLÜM 8.

TARTIŞMA VE SONUÇ	129
KAYNAKLAR	132
ÖZGEÇMİŞ	137

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Toplam Kolon Alanı
A_c	: Taş Kolon Alanı
a_c	: Alan Değişim Oranı
BSB	: Boşluk Suyu Basıncı
c	: Kohezyon
c_{avg}	: Temel Altı Kayma Yüzeyinin Kompozit Kohezyonu
c_u	: Kilin Drenajsız Kayma Mukavemeti
c_c	: Sıkışma İndisi
CU	: Konsolidasyonlu Drenajsız Üç Eksenli Deney
CPT	: Koni Penetrasyon Testi
d	: Derinlik
D	: Kolon Çapı
D_c	: Taş Kolon Malzemesinin Tek Boyutlu Sıkışma Modülü
D_e	: Eşdeğer Çap
D_s	: Zeminin Tek Boyutlu Sıkışma Modülü
e_0	: Başlangıç Boşluk Oranı
E_{lz}	: Alt Bölge Elastisite Modülü
E_s	: Zeminin Elastisite Modülü
f_d	: Taşıma Gücündeki Derinlik Faktörü
f_s	: Kolon Çevre Yüzeyi Boyunca Birim Taşıma Gücü
FR	: Sürtünme Oranı
H_{lz}	: Alt Bölge Kalınlığı
H_{uz}	: Kolon Boyuna Kolon Çapı Eklenerek Bulunan Uzunluk
k	: Yay Sabiti
k_m	: Zeminin Yatak Katsayısı
k_p	: Kolon Elemanı Yatak Katsayısı

K	: Yanal Toprak Basıncı Katsayısı
K_{ac}	: Taş Kolon Malzemesi Aktif İtki Katsayısı
K_{oc}	: Taş Kolon Malzemesinin Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısı
K_p	: Taş Kolon Malzemesi Pasif İtki Katsayısı
n	: Oturma Azaltma Faktörü
n_s	: Gerilme-Konsantrasyon Oranı
O_iO	: Oturma İyileştirme Oranı
p	: İyileştirilmiş Zemine Uygulanan Temel Tabanı Basıncı
p_i	: i. Tabakadaki Kolonun Çevre Uzunluğu
P	: Temel Yüğü
P'_0	: Başlangıç Düşey Efektif Gerilme
P_c	: Temelden Dolayı Taş Kolona Gelen Yüğü
P_s	: Temelden Dolayı Zemine Gelen Yüğü
PP	: Boşluk Suyu Basıncı Ölçer
q_0	: Ortalama Temel Tabanı Basıncı
q_{bottom}	: Kırmataş Kolon Yapılmış Tabakanın Altında Oluşan Gerilme
q_p	: Kolon Elemanı Üzerindeki Gerilme
q_m	: Zemine Etkiyen Düşey Gerilme
R_a	: Alan Değişim Oranı
R'_a	: İndirgenmiş Alan Değişim Oranı
R_s	: Kolon-Zemin Gerilme Oranı
R'_s	: İndirgenmiş Gerilme Konsantrasyon Oranı
s	: Merkezden Merkeze Taş Kolonlar Arası Mesafe
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
S_∞	: Homojen Zeminde Limitsiz Yükleme Alanı Altındaki Oturma
u_0	: Boşluk Suyu Basıncı
UU	: Konsolidasyonsuz Drenajsız Üç Eksenli Deney
ν	: Poisson Oranı
W_c	: Taş Kolon Malzemesi Ağırlığı
W_g	: Kırmataş Kolon Ağırlığı
W_s	: Zemin Ağırlığı
β	: Göçme Yüzeyi Eğimi
σ_1	: Nihai Düşey Gerilme

- σ_3 : Yanal Çevre Gerilmesi
 Φ_c : Taş Kolon Malzemesi İçsel Sürtünme Açısı
 Φ_s : Zeminin İçsel Sürtünme Açısı



TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Darbeli kırmataş kolon projeleri için tahmin edilen ve gerçekleşen oturma miktarları.....	7
Tablo 3.1	Deneyde kullanılan zemin özellikleri	17
Tablo 7.1.	Analiz sonuçlarına ait birimler	59
Tablo 7.2.	Analizlerde kullanılan taş kolon çeşitleri	67
Tablo 7.3.	Taş kolonsuz ve taş kolonlu yapılan analizlerdeki inceleme noktalarındaki maksimum düşey deplasmanlar ve zeminde oluşan iyileşme oranı	122
Tablo 7.4.	Taş kolonların maliyet analizi	126
Tablo 7.5.	Taş kolon maliyeti ve iyileştirme oranı	126

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Taş kolon imalatı	11
Şekil 3.2.	Darbeli sıkıştırma yöntemi.....	12
Şekil 3.3.	Islak vibro yerdeğiştirme yöntemi	13
Şekil 3.4.	Kuru vibro yerdeğiştirme yöntemi	14
Şekil 3.5.	Kohezyonlu zeminlerde, zemin mukavemetinin taş kolon çapına etkisi	16
Şekil 3.6.	Dane çapına göre vibro yerdeğiştirme ve vibro kompaksiyon yöntemlerinin uygulanabilirliği	19
Şekil 3.7.	Homojen zemide tekil taş kolon göçme mekanizmaları	21
Şekil 3.8.	Grup taş kolonların göçme mekanizması	22
Şekil 3.9.	Kısa taş kolon gruplarında yanal genişleme yenilmesi	22
Şekil 3.10.	Taş kolon dizilimleri	23
Şekil 3.11.	Boşluk genişleme faktörleri abağı	27
Şekil 3.12.	Kısa taş kolonlarda taşıma gücü katsayıları	28
Şekil 3.13.	Grup taş kolon analizi	29
Şekil 3.14.	Oturma azalma faktörü	31
Şekil 3.15.	Vibro yerdeğiştirme yöntemi ile yapılan taş kolonlarda gerilme konsantrasyon oranı – alan iyileştirme oranı eğrisi	32
Şekil 3.16.	Barksdale ve Bachus’un yeniden düzenlediği Greenwood eğrisi ...	33
Şekil 3.17.	Taş kolon ile iyileştirilmiş zeminde kayma gerilmeleri ve yeniden dağılımı	34
Şekil 4.1.	a) İdealize edilmiş menderesli nehre ait istif kesidi ve b) SCM227 nolu sondaja ait sınıflama sonuçları	36
Şekil 4.2.	Adapazarı zemininin ilk 15 metredeki tabakaları	38
Şekil 4.3.	Adapazarı yer altı su seviyeleri haritası	39
Şekil 4.4.	Türkiye deprem tehlike haritası	40
Şekil 4.5.	Sıvılaşma mekanizması: dinamik kuvvetler altında zemin danecikleri ile boşluk suyunun ilişkisi	41
Şekil 4.6.	Gevşek ve sıkı kumların aynı efektif çevre basıncı altındaki birim şekil değiştirme davranışı	42
Şekil 6.1.	Serbest alan sınır şartının çalışma prensibi	49
Şekil 6.2.	Nümerik analizlerde kullanılan örgü ağı (mesh) aralıklarının FLAC 2D programındaki görünümü	51
Şekil 6.3.	İncelenen vakadaki yapının temel planı ve taş kolonların dizilimi...	53
Şekil 6.4.	İncelenen vakadaki taş kolonların ve yapı temelinin temsili kesiti..	54
Şekil 6.5.	Taş kolon ile zemin iyileştirilmesi uygulanan zemin profili	55
Şekil 6.6.	Kocaeli depreminde elde edilen Sakarya E-W sicili ile ilgili ivme izleri	57
Şekil 7.1.	a) FLAC 2D programı ile modellenen taş kolonsuz model. b) FLAC 2D programı ile modellenen taş kolonlu model	58

Şekil 7.2.	Analizlerde incelenen temsili okuma noktaları	60
Şekil 7.3.	Taş kolonsuz modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	61
Şekil 7.4.	Taş kolonsuz modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	62
Şekil 7.5.	Taş kolonsuz modelin dinamik analizinin boşluk suyu basıncı grafiği	63
Şekil 7.6.	Taş kolonsuz modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	64
Şekil 7.7.	Taş kolonsuz modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	65
Şekil 7.8.	Taş kolonsuz modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği	66
Şekil 7.9.	TK1 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	68
Şekil 7.10.	TK1 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	69
Şekil 7.11.	TK1 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basıncı grafiği	70
Şekil 7.12.	TK1 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	71
Şekil 7.13.	TK1 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	72
Şekil 7.14.	TK1 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği	73
Şekil 7.15.	TK2 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	74
Şekil 7.16.	TK2 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	75
Şekil 7.17.	TK2 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği	76
Şekil 7.18.	TK2 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	77
Şekil 7.19.	TK2 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	78
Şekil 7.20.	TK2 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği	79
Şekil 7.21.	TK3 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	80
Şekil 7.22.	TK3 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	81
Şekil 7.23.	TK3 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği	82
Şekil 7.24.	TK3 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	83
Şekil 7.25.	TK3 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	84
Şekil 7.26.	TK3 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği	85

Şekil 7.27.	TK4 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	86
Şekil 7.28.	TK4 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	87
Şekil 7.29.	TK4 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği	88
Şekil 7.30.	TK4 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	89
Şekil 7.31.	TK4 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	90
Şekil 7.32.	TK4 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği	91
Şekil 7.33.	TK5 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	92
Şekil 7.34.	TK5 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	93
Şekil 7.35.	TK5 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği	94
Şekil 7.36.	TK5 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	95
Şekil 7.37.	TK5 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	96
Şekil 7.38.	TK5 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği	97
Şekil 7.39.	TK6 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	98
Şekil 7.40.	TK6 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	99
Şekil 7.41.	TK6 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği	100
Şekil 7.42.	TK6 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	101
Şekil 7.43.	TK6 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	102
Şekil 7.44.	TK6 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği	103
Şekil 7.45.	TK7 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	104
Şekil 7.46.	TK7 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	105
Şekil 7.47.	TK7 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği	106
Şekil 7.48.	TK7 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	107
Şekil 7.49.	TK7 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	108
Şekil 7.50.	TK7 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği	109

Şekil 7.51.	TK8 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	110
Şekil 7.52.	TK8 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	111
Şekil 7.53.	TK8 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği	112
Şekil 7.54.	TK8 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	113
Şekil 7.55.	TK8 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	114
Şekil 7.56.	TK8 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği	115
Şekil 7.57.	TK9 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	116
Şekil 7.58.	TK9 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	117
Şekil 7.59.	TK9 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği	118
Şekil 7.60.	TK9 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği	119
Şekil 7.61.	TK9 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği	120
Şekil 7.62.	TK9 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği	121
Şekil 7.63.	D5 inceleme noktasındaki düşey deplasmanların karşılaştırılması	123
Şekil 7.64.	Taş kolon boyutlarının düşey deplasman üzerindeki etkisi	124
Şekil 7.65.	Taş kolon boyutlarının boşluk suyu basıncı üzerindeki etkisi	124
Şekil 7.66.	Taş kolonların iyileştirme oranlarının karşılaştırılması	127
Şekil 7.67.	Taş kolon maliyetlerinin karşılaştırılması	128

SIVILAŞMA POTANSİYELİ OLAN ZEMİNLERDE TAŞ KOLONLARIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ: SAKARYA ÖRNEĞİ VAKA ANALİZİ

ÖZET

Sıvılaşma, deprem sırasında meydana gelen hasarların önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Zayıf ve kohezyonsuz zeminlerde meydana gelen sıvılaşmayı önlemek için birçok zemin iyileştirme metodu geliştirilmiştir. Bu geliştirilen metodların en yaygın kullanılanlardan biri de taş kolon metodudur.

Bu çalışmada, sıvılaşma potansiyeli yüksek olan zayıf zeminlerde taş kolon uygulamasının sıvılaşma riskini azaltmasını incelemek amaçlanmıştır. Çalışmada 1999 Marmara depreminden sonra, Sakarya ilinde yapılmış olan bir taş kolon uygulaması ele alınmıştır. Adapazarı ilçesi, Tıgıcılar mahallesinde bulunan yapının, taş kolon uygulanmadan önceki zemin etüd raporundaki sondaj verileri ve taş kolon projesi kullanılmıştır. FLAC 2D programı üzerinden yürütülen çalışmada, taş kolonlu ve taş kolonsuz olarak nümerik modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde 1999 Marmara deprem verisi kullanılarak nümerik analizler yapılmıştır.

Yapılan taş kolonlu modellerde farklı çap ve boya sahip taş kolon modelleri kullanılarak taş kolon boyutlarının zeminde oluşacak olan iyileşme üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Ayrıca maliyet analizleri yapılarak çalışmada kullanılan taş kolonlar maliyet açısından da karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Zemin iyileştirmesi, Taş kolon, Nümerik analiz, FLAC 2D

INVESTIGATION OF STONE COLUMN EFFECT ON LIQUEFIABLE SOIL: SAKARYA CASE ANALYSIS

SUMMARY

Liquefaction is an important part of the damages during the earthquake. Many soil improvement methods have been developed to prevent liquefaction on weak and cohesive soils. One of the most widely used methods is the stone column method.

The aim of this study is to investigate the effect of stone column application on weak soils with high liquefaction potential. In this study, a stone column application in Sakarya province after the 1999 Marmara earthquake was discussed. The stone column Project and ground survey information which was applied under a structure located in Tıgçılar district of Adapazarı district was used.

The effect of stone column dimensions on the improvement of the soil was observed by using stone column models with different diameters and sizes. In addition, cost analysis was performed and cost of the stone columns was compared in the study.

Keywords: Soil Improvement, Stone Column, Numerical Analysis, FLAC 2D

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Temel mühendisliğinde ana amaç yapının öncelikle yüzeysel temeller üzerinde taşıtılmasıdır. Gelişen Dünya da yapı ağırlıklarının artması ve zayıf zeminler üzerinde inşaat zorunluluğundan dolayı aşırı miktarda derin temel uygulamaları yapılmaktadır. Böyle yüksek maliyetli bir seçeneğin tercih edilmesinden önce zemin iyileştirme yöntemleri incelenmeli ve değerlendirilmelidir. Bazı zemin koşullarının üzerine yapılacak yapıyı desteklemeyeceğinden dolayı zemin iyileştirmesine ihtiyaç duyulur. Zemin iyileştirme yöntemleri de zemin özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Hem maliyet açısından hem de getireceği faydalar yönünden yapılacak iyileştirme yöntemi iyileştirilecek bölgenin zemin özelliklerine göre belirlenmelidir. Zemin iyileştirme yöntemlerinin başlıca amaçları; zemindeki boşluk oranını azaltmak veya bu boşlukları farklı malzemeler ile doldurarak zeminin stabilitesini artırmak ve zeminin taşıma kapasitesini artırmaktır. Uygulanacak bu zemin iyileştirme yöntemleri ile zeminin taşıma kapasitesi artırılabilir, oluşacak ani oturmalar azaltılabilir, konsolidasyon oturmaları hızlandırılabilir ve sıvılaşma potansiyeli azaltılabilir.

Yapıların güvenliği için sadece üst yapının depreme dayanıklı tasarlanması yetmemektedir. Sağlıklı bir yapı yapılabilmesi için yapının temeli kadar altındaki zeminin özellikleri de önemlidir. Zayıf zeminler üzerine yapılacak yapılar için, zeminde meydana gelecek bozulmaların yapıya vereceği zararları önlemek amacıyla zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulması gerekir. Zayıf zeminlerde meydana gelen en önemli sorunlardan birisi de sıvılaşma sorunudur. Sıvılaşma özellikle gevşek ve daneli zemin tiplerinde deprem anında ortaya çıkan aşırı boşluk suyu basıncından kaynaklanan bir problemdir. Bu tip zemin problemlerini çözmek için birçok zemin iyileştirme yöntemi geliştirilmiştir. Bu zemin iyileştirme yöntemlerinden biri taş kolon uygulamasıdır. Gevşek zeminin içine mekanik yöntemler ile kum, çakıl ve taş gibi granüler malzemelerin ilave edilmesiyle oluşturulan taş kolonlar, zeminin taşıma kapasitesini artırmakta, konsolidasyon oturmalarını hızlandırmakta ve boşluk suyu basınçlarının sönmülmesini

sağlamaktadır. 1950'lerden beri kullanılan taş kolon uygulaması maliyeti düşük zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde uygulanan taş kolonların sıvılaşmaya karşı oluşturmuş olduğu iyileşme miktarlarını incelemektir. Bu amaçla ticari sonlu farklar yazılımı olan FLAC 2D programı kullanılarak taş kolonların çapının ve boyunun yatay deplasmanlar, düşey deplasmanlar ve boşluk suyu basıncına etkileri üzerinde yürütülen vaka analizi ile sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde taş kolonların davranışlarını incelemek amacıyla nümerik modellemeler yapılmıştır.



BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Zayıf zeminlerin mühendislik parametrelerini yükseltmek amacıyla uygulanan taş kolon uygulaması 1950'lerden beri kullanılmaktadır. Günümüzde sıvılaşma, zemin yenilmesi, konsolidasyon oturması ve taşıma kapasitesi yetersizliği gibi bir çok zemin probleminin taş kolon uygulamasıyla önlenebildiği yapılan çalışmalar ile görülmektedir. Aşağıda taş kolon uygulaması hakkında yapılan bazı araştırmalara yer verilmiştir.

Hughes ve diğ. (1975), yaptıkları çalışmada taş kolonların çalışma mekanizmasını incelemişlerdir. Tekil taş kolon ile grup taş kolonların sınır koşullarının farklı olduğunu gözlemlemişlerdir. Odometre deneyindeki gibi sınır koşullarının kolonu çevrelediğini düşünmüşler ve birim hücre yöntemi ile sınır koşulları oluşturmuşlardır. Yapılan yükleme deneylerinde, suya doymuş yumuşak zeminlerde ani oturmaların sınırlı miktarlarda olduğu görülmüş ve yükün ise düzgün bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Taş kolonun oluşturacağı drenaj etkisiyle uzun vadede konsolidasyon oturmalarının artacağı belirtilmiş ve bu sebeple de taş kolona gelen yükün de artacağı belirtilmiştir [1].

Kanematsu (1980), çalışmasında zemin ile taş kolon etkileşimini ve taş kolonun yerini aldığı zemine göre sağlamlığını incelemiştir. Taş kolonun sağlamlığının onu çevreleyen zeminin sağladığı yanal destek ile sağlandığını belirtmiştir. Taş kolonun kohezyonsuz olmasından dolayı yanal zemin desteğinin yetersiz olduğu durumlarda yanal göçmelerin meydana geleceğini belirtmiştir. Zemin ve kolonun stabilitesinin kolon ile zemin arasındaki oluşacak olan kayma etkisine bağlı olduğu söylenmiştir. Taş kolonun kendi etrafındaki zeminden fazla oturma yapmasının nedenini temel yükünün sadece taş kolon tarafından taşınmasına bağlamışlardır. Bu gibi durumlardan ötürü taş kolonların göçme-şişme ve kayma yönünden analizlerinin gerekli olduğunu belirtmişlerdir [2].

Barksdale ve Bachus (1983), çalışmalarında turba ve hassas zeminleri ele almışlardır. Bu tür zeminlerin taş kolonlara sağlayabildikleri yanal basıncın düşük olması sebebiyle taş kolonlarda yanal deformasyonların yüksek olabileceğini belirtmişlerdir. Turba

tabakasının kalınlığının taş kolon çapından iki kat fazla olması durumunda vibro yerdeğiştirme yönteminin uygun olmadığını belirtmişlerdir [3].

Munfakh (1984), çalışmasında taş kolon imalat yöntemlerini incelemiştir. Bu yöntemlerden özellikle vibro yerdeğiştirme ve vibro öteleme metotları üzerinde durmuştur. Çalışmasında su jetinin önemine değinmiş ve vibro yerdeğiştirme yönteminde başarılı bir sonuç almak için delik çeperindeki ince malzemenin stabilitesini sağlayan su jetinin yapılmasının gerekli olduğundan bahsetmiştir. Vibro öteleme yönteminde ise malzemenin deliğe yerleştirilmesi sırasında zeminin kendini tutabilmesinin gerektiğini vurgulamıştır [4].

Greenwood ve Kirsch (1984), çalışmalarında taş kolonların oluşturacağı faydalardan bahsetmiştir. Taş kolonların zeminin taşıma gücünü artırdığını, oturmaları azalttığını, dolgu ve şevlerde ise stabiliteyi artırdığını ve sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde sıvılaşmanın önüne geçtiğini belirtmişlerdir [5].

Welsh (1986), çalışmasında taş kolonların temel prensiplerinden bahsetmiştir. Zemine uygulanan yükün çoğunluğunun zemine göre daha rijit olmasından dolayı taş kolonlara aktarılacağını belirtmiştir. Taş kolon uygulamasından sonra zeminin üzerine granüler bir dolgunun yapılmasının gerektiğini belirtmiş ve bu granüler tabakanın yükün çoğunluğunun taş kolonlara aktarılmasını kolaylaştıracağını vurgulamıştır. Zeminde uzun vadede oluşacak olan oturmalardan dolayı negatif çevre sürtünmesi ile daha fazla yükün taş kolonlara aktarılacağını ve bu sayede toplam oturmada ilave azalmaların da meydana geleceğini belirtmiştir. Yumuşak killerde ise taş kolon uygulama yönteminin zemin kayma mukavemeti üzerinde oluşturduğu etki tam olarak açıklığa kavuşmadığı için genel olarak hassaslığı yüksek olan zeminlerde taş kolon yöntemi ile zemin iyileştirmesi yapılmasını tavsiye etmemiştir [6].

Durgunoğlu ve diğ. (1992), yaptıkları çalışmada Gemlik'teki Borçelik Gemlik Soğuk Hadde Fabrikası yapıldığı bölgede sıvılaşma risklerine karşı taş kolon uygulaması ile zeminin ıslahını amaçlamışlardır. Taş kolonların projelendirilmesi ve kalite kontrolü ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Sıvılaşma riskini ortadan kaldırmak için 50 cm çapında ve 12 m derinliğe kadar uzanan taş kolon yapmışlardır. Fabrikanın stok sahasının bulunduğu bölgesine ise 60 cm çapında ve sağlam zemine kadar uzanacak boyda taş kolon yapmışlardır. Taş kolonların imalatını ise ucu saç tapa ile kapalı muhafaza borularının çakılarak zemine sürülmesiyle gerçekleştirmiştir. Muhafaza borunun içi taş kolon

malzemesi ile doldurulduktan sonra muhafaza borusu titreşim ile geri almıştır. Taş kolon malzemesi ise temiz, plastik olmayan, sert, ince malzeme içeriği %5'den az olan ve 10 – 100 mm dane çapına sahip doğal kırma taştır. Bu çalışmanın yapıldığı bölgenin zemin tabakalarının değişken olmasından dolayı bölge dört parçaya bölünerek projelendirilmiştir. Proje kriterlerinin doğruluğunun kontrolü için CPT ve yükleme deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmanın kontrol aşamasında taş kolonlar belirli sayılarda alanlara bölünerek bu bölgelerde taş kolon uygulamasından önce ikişer adet CPT deneyi ve yükleme deneyi yapılmış ve taş kolon uygulamasından sonra dört adet CPT deneyi ve iki adet yükleme deneyi yapılmıştır. Yapılan kontroller sonucunda çalışmanın istenilen iyileştirmenin sağlandığı ve zeminin mukavemetinde artışlar gözlemlenmiştir. Aynı zamanda oturmaların da azaldığı görülmüştür. Yapılan bu çalışma ile zemindeki aşırı oturma, taşıma kapasitesi ve sıvılaşma problemlerinin taş kolonlar ile çözülebileceği görülmüştür [7].

Lawton ve diğ. (1994) kısa taş kolonlar kullanılarak iyileştirilmiş iki ayrı projenin hesaplamaları ile uygulama sonucunda ulaşılan verileri oturmaları ve sıyrılmaları kontrol etmek için karşılaştırmışlardır. İlk projede taş kolonlar radye temel altındadır ve oturmaları azaltmak için kullanılmıştır. Bu çalışmada taş kolon ile güçlendirilmiş zeminlerde oturmaların hesaplama yöntemleri tanımlanmış ve bu hesaplamalar doğrultusunda bulunan sonuçlar ile gerçek oturmanın birbirine yaklaşık olarak eşit olduğu gösterilmiştir. İkinci projede ise taş kolonlar havalimanı hangarında sıyrılmayı önlemek için kullanılmışlardır. Bu çalışmada ise taş kolonlar 113 km/sa hızından daha yüksek hızda esen rüzgâra dayanabilmiştir. Bu çalışmada araştırmacılar sıyrıлма analizi için teorik bir yöntem önermişlerdir. İlk projede, mevcut binayı büyütmek amacıyla mevcut bina üzerine ve yanına yapılar yapılacaktır. Bölge zemini; kaya, sert katı kil, kumlu silt, sıkı siltli kum ve gevşek siltli kumdan oluşmaktadır. Çalışmanın sonucunda hesaplanan değerler ile arazideki ölçülen değer karşılaştırılmış ve hesaplanan değerlerden daha düşük miktarlarda oturmaların oluştuğu gözlemlenmiştir [8].

Christoulas ve diğ. (1997) üzerinde dolgu olan yumuşak zeminlerin taş kolon ile iyileştirmesini incelemişlerdir. Çalışmalarında taş kolonların zemin üzerindeki etkisini Dimaggio yaklaşımı ile parametrik olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında zemin ve dolgu özelliklerini değiştirerek taş kolonların stabilite analizlerini yapmışlardır. Farklı koşullarda ulaştıkları sonuçları karşılaştırarak incelemişlerdir [9].

Liew ve Tan (2007), çalışmalarında yumuşak zemin tabakasını iyileştirmek için yapılmış taş kolonları yüklemeye deneyi yaparak davranışları incelemişler. Proje de planlanmış olan 10 m yüksekliğinde toprakarme duvarın stabilitesini sağlamak amacıyla taş kolon yapılması uygun görülmüştür. Bölgenin zemini ise 12 m kalınlığında çok yumuşak bir kumlu kil tabakasından oluşmaktadır. Kil tabakasının kıvamı derinlik ile artmaktadır. Kil tabakasının devamında ise sağlam bir taşıyıcı tabaka bulunduğu söylenmiştir. Yapıyı desteklemek amacıyla yapılacak taş kolonun çapı 100 cm olarak seçilmiş ve kolonların merkezlerinden merkezlerine 2 m mesafe olacak şekilde karelej seçilmiştir. Taş kolonların projelendirilmesi kolonun taşıma kapasitesi, zemin ile kolon arasında gerilme dağılımı, yanal genişleme kontrolü durumları göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Tasarımın kontrolü ise 1 m – 1m boyutunda plaka üzerine yüklemeye deneyleri ile yapılmıştır. Yapılan deneylerde 900 kN maksimum yük altında ölçülen oturma miktarı 110 mm'dir. Zemin iyileştirilmeden önce beklenen oturma miktarı 650 mm civarında iken, iyileştirilmeden sonra tahmin edilen oturmalar 250 mm ile 280 mm arasındadır. Yapının tamamlanmasından sonra oturma ölçümlerine dec-vam edilmiş ve dört aylık sürede oluşan oturma miktarının 115 mm civarında olduğu gözlemlenmiştir. Toprakarme duvarın inşasından sonra yumuşak kil tabakasında oluşan sıkışmalardan anlaşıldığı gibi taş kolonlar aktif bir drenaj sistemi olarak da çalışmıştır [10].

Murugesan ve Rajagopal'ın sonlu elemanlar yöntemiyle yaptığı kapsamlı çalışmada taş kolonun yük taşıma kapasitesinin sarılma etkisiyle değişimini incelemiştir. Bu araştırmanın ışığında geotekstil kaplamanın taş kolonların yanal genişlemelerini azalttığı ve yük taşıma kapasitelerini de artırdığı gözlemlenmiştir [11].

Lawton ve Fox (1994) kötü zeminlerin kaldırılıp dolgular ile iyileştirilmelerine alternatif olarak tasarlanan kısa taş kolonların derin temellere alternatif olarak kullanılmasını araştırmışlardır. Araştırmalarında kısa taş kolon uygulanmış yüzeysel temele sahip on adet proje üzerinde incelemelerde bulunmuşlardır. Bu çalışmada tahmin edilen ve gerçekleşen oturma miktarları Tablo 1.1'de bazı proje bilgileri ile birlikte verilmiştir. Tahmin edilen ile gerçekleşen oturmaları karşılaştırdığımızda olumlu sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir [12].

Tablo 1.1: Darbeli Kırmataş Kolon Projeleri için tahmin edilen ve gerçekleşen oturma miktarları [12].

Proje Tanımı	Temel Tanımı	Yük (kN)	Taşıma Kapasitesi (kPa)	Oturma (mm)		
				Tahmin Edilen		Gerçekleşen
				İyileştirilmemiş Zeminde	DKK ile İyileştirilmiş Zeminde	
5 katlı ofis binası, Columbia -SC	3.66 m (kare tekil temel)	3560	266	33 – 102	18	< 1.5
Süt silosu (H=12 m), Atlanta - GA	4.57 m (kare tekil temel)	3010	144	48 – 104	13	< 1.8
46 m x 91 m sera, Atlanta – GA	0.91 m (dairesel temel)	160	244	58 – 79	5	< 6
Sanayi deposu, Winterset – IA	1.52 m (kare tekil temel)	445	193	150 – 230	23	< 19
Ofis binası, Orangeburg – SC	1.07 m x 2.13 m (tekil temel)	801	352	41 – 112	13	< 13
Hastane binası, Hickory – NC	12.2 m (kare radye temel)	4715 0	317	61 – 109	10	< 3.3
Hastane binası, Hickory - NC	2.74 m (kare tekil temel)	1824	242	30 – 104	13	< 6
16 katlı kule, Atlanta – GA	15.2 m x 30.5 m (radye temel)	6672 0	144	20 – 89	10	3 – 8, ort. 6
12 katlı kule, Atlanta – GA	3.66 m (kare tekil temel)	4448	332	61 – 66	10	< 6
7 katlı otopark, Marietta – GA	4.27 m (kare tekil temel)	5782	318	124 – 188	38	20 - 33

Raju, Malezya'nının Kinrara ve Kebun Şehirlerinde çok yumuşak killerde yani drenajsız kayma mukavemeti 10 kPa'dan az olan killerde taş kolonun bir iyileştirme oluşturup oluşturmayacağını araştırmışlardır. Kinrara'da bulunan eski maden bölgelerinde oluşmuş içi çamur dolu çukurlar bulunmaktadır. Bu bölgeden geçirilmek istenen bir otoyol projesi için araştırmalar yapılmıştır. Bağlı yerlerde 16 m yi bulan bu çok yumuşak kil tabakasının SPT değeri sifıra eşittir. Ayrıca yapılan CPT deneyleri sonucunda uç direncin 0.15 ile 1 MPa arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Kayma mukavemeti ise en tepede 6 kPa ve derinlik arttıkça her metrede 2-3 kPa artmaktadır. Kebun şehri bir liman şehri olup Malezya'nın batısında bulunmaktadır. Sahil bölgesinde zeminin 35 m derinliğindeki üst

tabakası çok yumuşak deniz kilinden oluşmaktadır. Yapılan CPT'ler sonucunda bu bölgedeki uç direnci 0.1 ile 0.3 MPa arasında değişmektedir. Kayma mukavemeti ise üst kısımda en yüksek 5 kPa ve derinlik arttıkça her metrede bir 1 kPa artmaktadır. Bu çalışmada kolon çapları 1 m ile 1.2 m arasında tutulmuştur. Kolonlar arası mesafe ise 1.5 m ile 2 m arasında tutulmuş ve kolonun boyu sağlam tabakaya ulaşınca kadar uzatılmıştır. Uygulanan taş kolonlara ölçüm cihazları yerleştirilerek oturmalar takip edilmeye çalışılmıştır. Kinarara bölgesinde ölçülen maksimum oturma miktarı 25 cm olarak ölçülmüştür. Kebun bölgesinde ise maksimum oturma miktarı 40 cm olarak gözlemlenmiştir. Bu iki bölge arasında, zemin şartlarının farklı olmasından dolayı, doğrudan karşılaştırma yapılamayacağı belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda ulaşılan verilere göre çok yumuşak killerde de taş kolon uygulaması yapılabilir olduğu gözlemlenmiştir [13].

Wissmann ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmada darbeli kırmataş kolonların tasarımlarını incelemiştir. Oturma ve stabilite durumlarını önplanda tutarak çalışmalarını sürdürmüştür. Darbeli kırmataş kolonun malzemesinin kayma dayanımının artmasının nasıl etkisi olacağını görebilmek için arazi ve laboratuvar deneyleri yapmışlardır. Kırmataş kolon üzerinde yapılan kesme deneyi ile laboratuvar da yapılan üç eksenli deneyler doğrultusunda kolonların yüksek kesme dayanımının olduğunu gözlemlemiştir. Darbeli kırmataş kolonların yapımı sırasında zeminde oluşan yanal gerilmeler ile zeminin rijitliğinde artışlar oluşmakta ve oturmaları azaltan bir etki sağlamaktadır. Kolonların oluşturduğu drenaj ağı sayesinde oturmaların daha hızlı meydana gelmesi beklenmektedir. Iowa'da imal edilen darbeli kırmataş kolonlar arazi deneyleri ile incelenmiş ve bu inceleme doğrultusunda tahmin edilen oturmaların iyileşmeden sonra ortalama %90 sönümlenmiştir. Meydana gelen oturmalar tahmin edilen oturmaların %10'unu geçmemiştir [14].

Balaam ve diğ. (1977), yumuşak killerde taş kolonun sonlu elemanlar ile hesaplanmasını önermiştir. Tek bir taş kolonun bulunduğu zemini birim hücre yöntemine göre analiz etmelerinin yeterli olabileceğini düşünmüşlerdir. Yük deformasyon davranışı doğrultusunda inceledikleri taş kolonun rijitliğinin oturmalar üzerinde fazla etkisi olmadığını gözlemlemiştir. Oturma miktarını daha çok taş kolonun çapı ile gömülme derinliğinin etkili olduğunu gözlemlemiştir [15].

Clemente vd. (2005) çalışmalarında taş kolon uygulanmış zeminin performansını incelemek amaçlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında FLAC-3D programı kullanmışlardır. Hem taş kolonlu hem taş kolonsuz iki model üzerinden yürüttükleri çalışmalarında taş kolon aralığının etkisini ve iyileştirme derinliğini de incelemişlerdir [16].

Tan ve Khine (2005) sonlu elemanlar yöntemi ile kurdukları sayısal model ile taş kolonların durumunu analiz etmişlerdir. Temel oturmalarının ve taş kolon davranışlarının daha sağlıklı tahmin edilebilmesi için sonlu elemanlar yönteminin etkili olduğunu vurgulamışlardır. Yapılan analizlerin sonuçları Han-Lee tarafından duyurulan birim hücre yöntemiyle kıyaslanmıştır. Aynı zaman da bu model Malezya'daki Pantai otoyolunda zemin iyileştirmesi için uygulanmıştır. Sonuç olarak arazi verilerinin sonlu elemanlar ile elde edilen veriler ile oldukça yüksek miktarda tutarlı olduğu görülmüştür [17].

BÖLÜM 3. TAŞ KOLONLAR

İnşaat mühendisliği çalışmalarında üst yapı kadar zemin durumu da büyük bir öneme sahiptir. Zemin koşullarının yetersiz geldiği yerlerde temel tasarımının değiştirilerek daha derin temellere dönüştürülmesi yeterli bir çözüm olsa bile maliyetleri yüksek olmaktadır. Zemin özelliklerinin yetersiz olduğu durumlarda arazinin durumuna göre uygulanacak bir iyileştirme yöntemi seçilerek zemin iyileştirmesi yapılabilir. Bu durumda hem yeterli bir çözüme ulaşılabilecektir hem de maliyet olarak daha makul bir uygulama olacaktır.

Literatürde birçok farklı zemin iyileştirme yöntemleri bulunmaktadır. Bu zemin iyileştirmelerinden biri de taş kolon uygulamasıdır. Taş kolonlar daha çok yumuşak, orta yumuşak killi zeminlerde ve siltli kumlar ile siltlerde kullanılan bir yöntemdir. Taş kolon uygulaması ile zeminin taşıma kapasitesinde artış olur ve granüler bir yapıya sahip olması sebebiyle zeminde bir dren gibi görev yaparak boşluk suyu basıncının azalmasını sağlamaktadır. Bunun yanında killi zeminlerde konsolidasyon oturmalarını hızlandırmaktadır. Düşük kohezyonlu gevşek ince daneli zeminlerde sıvılaşma riskini ortadan kaldırmak için taş kolon uygulaması tavsiye edilmektedir [18]. Sıvılaşma riski olan bir zeminde taş kolon uygulaması yapılmasıyla ulaşılabilecek iyileşmeler [19];

- Taş kolonların yerleştirilmesi ile zeminin yanal gerilmesinde artma görülür.
- Taş kolon uygulaması sonrası zemin sıkılığı artmaktadır.
- Bir dren görevi yapan taş kolonlar sayesinde boşluk suyu basıncı sönümlenir.
- Oluşturulan taş kolonlar sayesinde zeminin taşıma kapasitesi artar.

Taş kolon yöntemi statik ve dinamik olmak üzere iki farklı temel problemini gidermek için kullanılan bir yöntemdir. Taş kolon uygulamasına, zeminde delik açılarak başlanır. Açılan deliğe granüler malzeme kademeler halinde sıkıştırılarak doldurulmasıyla

oluşturulur. Taş kolonlar genel olarak gevşek zeminlerin, siltli kumların ve yumuşak killerin iyileştirilmesinde tercih edilen bir yöntemdir [3].

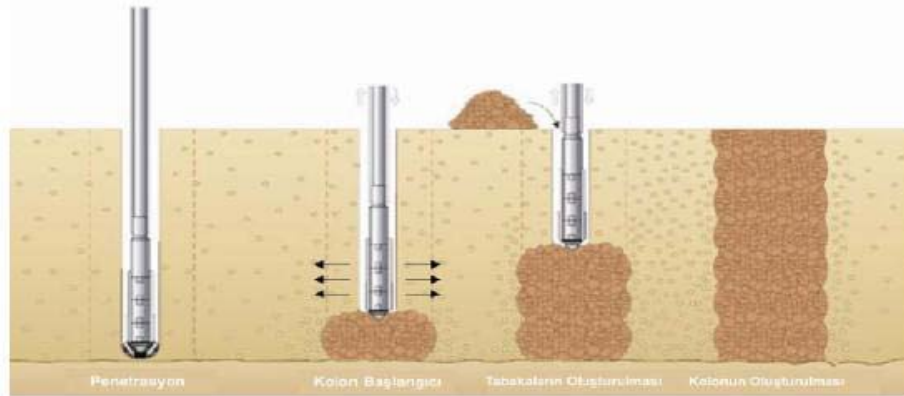
Taş kolon uygulaması tarihte ilk olarak 1830'larda Fransa'da görülmektedir. Makine ve yapı temellerinin altındaki zeminin taşıma kapasitesini artırmak için yapılmıştır [20]. Daha sonraki örneklerine ise 1939 yılında Almanya'da rastlanmaktadır. 1950'lerden sonra Avrupa da yaygınlaşan taş kolon uygulaması, 1972'den sonrada Amerika'da yaygınlaşmıştır. Günümüzde ise tüm dünyada yaygın bir kullanıma sahiptir [21]. Genel olarak taş kolon uygulamasının kullanılmasındaki amaçlar ise;

- Zeminin taşıma kapasitesini artırmak,
- Zemindeki konsolidasyon oturmalarını hızlandırmak,
- Zeminde oluşabilecek farklı oturmaların önüne geçmek,
- Şev stabilitesini artırmak
- Zeminler deki sıvılaşma riskini azaltmaktır.

Ayrıca taş kolonlar birçok zemin iyileştirme yöntemine göre daha ekonomik olduğu için daha yaygın olarak tercih edilmektedir.

3.1. Taş Kolon İmalat Yöntemleri

Taş kolonlar için birçok farklı imalat yöntemleri geliştirilmiştir. Taş kolonların imalatının genel mantığı zeminde açılan deliğe granüler malzemin kademeler şeklinde sıkıştırılarak yerleştirilmesidir. İyileştirme yapılacak zeminin türüne ve özelliklerine göre farklı taş kolon uygulama yöntemleri bulunmaktadır.



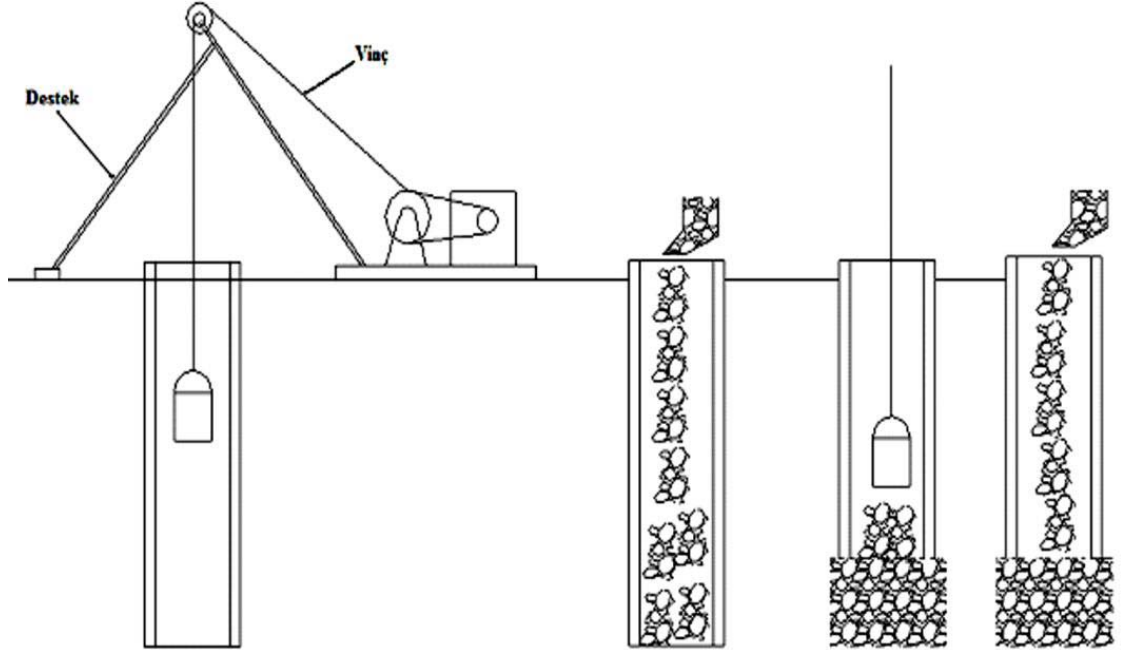
Şekil 3.1: Taş kolon imalatı [19].

Taş kolon imalat yöntemleri;

- Darbeli Sıkıştırma yöntemi
- Vibro Yerdeğiştirme Yöntemi
 - Üstten beslemeli, ıslak yöntem
 - Alttan beslemeli, kuru yöntem

3.1.1. Darbeli sıkıştırma yöntemi

Darbeli Sıkıştırma yönteminde taş kolon oluşturulurken bir muhafaza borusu ve muhafaza borusu içinde hareket edebilecek bir tokmak kullanılır. Taş kolon için muhafaza borusu sürülürken delme işlemi gerçekleştirilir. Muhafaza borusunun üstünden granüler dolgu malzemesi deliğe dökülür. Muhafaza borusunun içinde yer alan tokmak yardımıyla dolgu malzemesi sıkıştırılır. Muhafaza borusu içerisine dökülen bir miktar dolgudan sonra tokmak belirli bir mesafeden serbest düşmeye bırakılır ve bu sayede sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir. Sıkıştırma işlemi kademe kademe zemin yüzeyine kadar gerçekleştirilir. Darbeli sıkıştırma yönteminin temel mantığı şekil 3.2 ile gösterilmiştir. [21].



Şekil 3.2: Darbeli sıkıştırma yöntemi [21].

3.1.2. Vibro yerdeğiştirme yöntemi

Dünyada genel olarak yumuşak ve gevşek zemin tiplerinde en yaygın olarak kullanılan taş kolon imalat yöntemi vibro yerdeğiştirme yöntemidir. Vibro yerdeğiştirme yöntemi ıslak ve kuru yöntem olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır.

Vibro yerdeğiştirme Yöntemi;

- Üsten beslemeli, ıslak vibro yerdeğiştirme yöntemi
- Alttan beslemeli, kuru vibro yerdeğiştirme yöntemi (Bazı kaynaklarda vibro öteleme yöntemi olarak da bahsedilmektedir.)

3.1.2.1. Islak vibro yerdeğiştirme yöntemi

Su jeti kullanılan bu yöntem ilk olarak 1960'lı yıllarda Almanya'da kullanılmıştır. Taş kolon için vibrasyon ve su jeti yardımıyla bir delik açılmaktadır. Zeminde 30 – 50 cm çapında bir delik açma kapasitesine sahip olan bu yöntem ile belirlenen derinliğe kadar delik açılabilir. Delik açılımı sırasında kendini tutamayan zeminler ile karşılaşılması durumunda muhafaza kılıfı kullanılabilir. Kolon malzemesi 50 – 100 cm tabakalar halinde deliğe dökülür. Vibrasyon ile sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir [21]. Şekil 3.3'de ıslak vibro yerdeğiştirmeye örnekle bir uygulama gösterilmiştir.

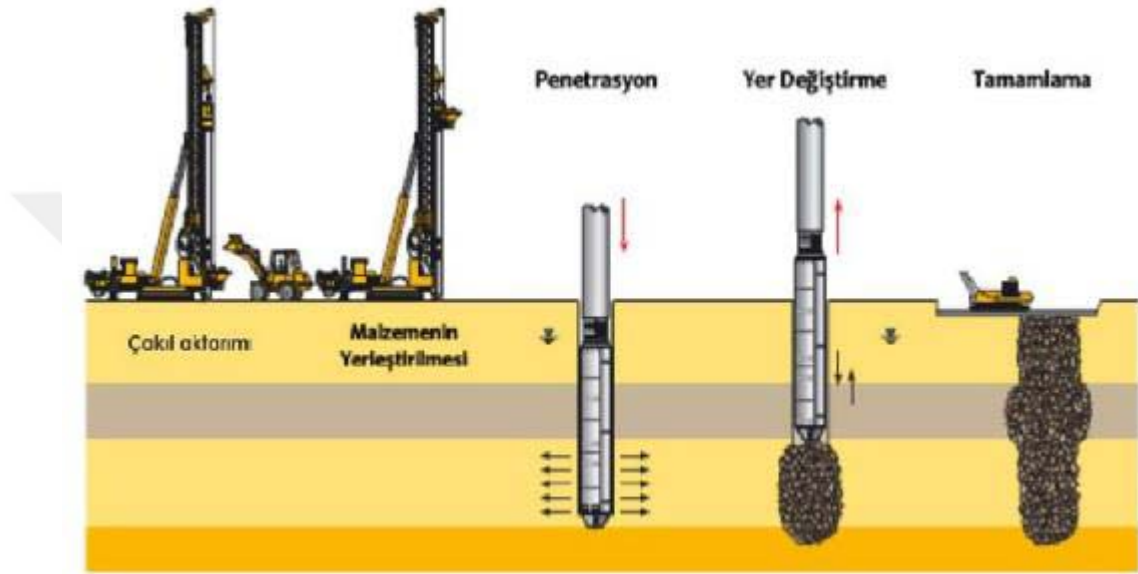


Şekil 3.3: Islak vibro yerdeğiştirme yöntemi [22].

Islak vibro yerdeğiştirme yöntemi daha çok yumuşak ve gevşek zeminlerde ve yer altı su seviyesinin yüksek olduğu zeminlerde tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde su jeti için gerekli olan su miktarı ile taş kolon imalatı sonrası ortaya çıkan atık suyun bölgeye zarar vermeden uzaklaştırılması önemlidir.

3.1.2.2. Kuru vibro yerdeğiştirme yöntemi

Vibro öteleme yöntemi olarak da bilinen bu yöntemde, prob zemin içine basınçlı hava yardımıyla sokulur. Bu basınçlı hava sayesinde, zeminin yanıl olarak yerdeğiştirmesi sonucu bir kuyu oluşturulur. Probu kenarından dolgu malzemesi kuyuya yerleştirilir. Oluşturulması istenilen taş kolon çapına göre uygun miktarda dolgu malzemesi kuyuya indirilerek prob yardımıyla tabakalar halinde sıkıştırma işlemi yapılır.



şekil 3.4: Kuru vibro yerdeğiştirme yöntemi [23].

Kuru vibro yerdeğiştirme (öteleme) yönteminde ilk olarak prob vibratör ve basınçlı hava yardımıyla, taş kolon oluşturulmak istenilen derinliğe kadar kuyu açarak indirilir. Ardından kademeli olarak dolgu malzemesi kuyunun enlatına yine prob yardımıyla indirilir ve sıkıştırılır. Belirli kademler şeklinde bu işlem yüzeye ulaşılıncaya kadar tekrar edilerek taş kolon imalatı gerçekteştirilir.

Kuru bir uygulama yöntemi olan vibro yerdeğiştirme (öteleme) yöntemi daha çok yer altı suyunun derinlerde olduğu bölgelerde kullanılmaktadır. Kuru uygulanan bir yöntem olduğu için çevreye atık bırakmaz ve doğal ortamı olumsuz etkilemez.

3.2. Taş Kolon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Yukarıda bahsedilen taş kolon uygulama yöntemleri arasında bazı karşılaştırmalar yapılmıştır;

- Kil ve silt zeminlerde vibro yerdeğiştirme yöntemlerinin kullanılması daha uygundur.
- Vibro yer değiştirme yöntemi en çok kendini tutabilen zeminlerde verimli bir şekilde kullanılabilir.
- Kuru vibro yer değiştirme yöntemi, ıslak vibro yer değiştirme yöntemine göre daha az maliyetli ve çevrecidir.
- Darbeli sıkıştırma yöntemi ile hem taş kolon uygulaması yapılmış olur hem de zemin sıkılaştırılmış olur.
- Darbeli sıkıştırma yönteminde daha az ekipman gerekir fakat daha çok iş gücüne ihtiyaç duyulur.
- Sağlıklı bir taş kolon oluşturabilmek için vibro yerdeğiştirme yöntemlerinde taş kolonu oluşturacak tabakalar yarım metreyi geçmemelidir. Tabakaların yüksekliği yarım metreden fazla olduğu zaman istenilen sıkıştırma miktarına ulaşılamamaktadır.

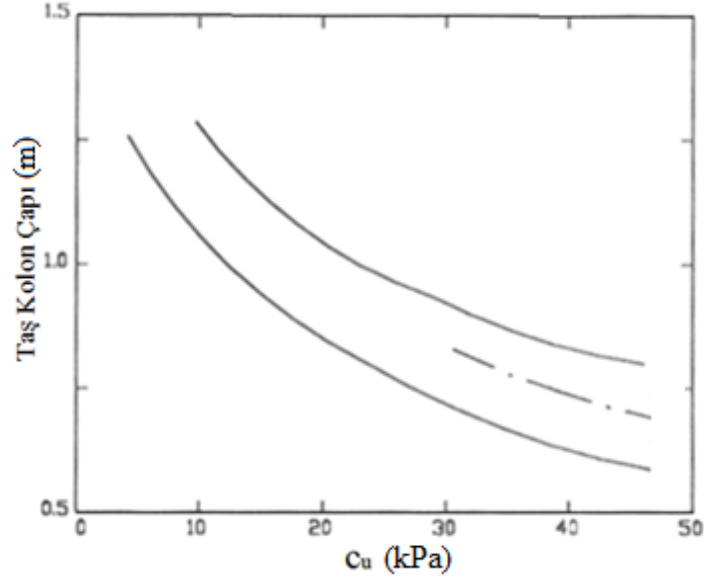
3.3. Taş Kolon Özellikleri

Taş kolon uygulamasında birçok farklı yöntem ve ekipmanlar kullanılabilir. Özellikle proje sahasının zemin durumuna göre en uygun taş kolon yöntemi seçilerek uygulanır. Bu durumda uygulanacak taş kolonların çapı, boyu, kayma mukavemetleri ve kullanılan dolgu malzemesinin özellikleri de projeye göre farklılık göstermektedir.

3.3.1. Taş kolon çapı

Taş kolon çapı, taş kolon uygulamasında en önemli tasarım parametrelerinden biridir. Taş kolonun uygulanacağı zeminin kayma mukavemet parametreleri ve gevşeklik, sıklık gibi özellikleri göre değişebilmektedir. Ayrıca taş kolon çapını belirlerken uygulama yöntemi ve kullanılacak dolgu malzemesinin özellikleride kolon çapını etkilemektedir.

Vibro flotasyon yöntemlerinde (ıslak ve kuru vibro yer değiştirme yöntemleri) taş kolon çapı genel olarak 100 cm'nin üzerine çıkmamaktadır. Darbeli sıkıştırma yöntemlerinde ise taş kolon çapı ortalama 80 cm olarak tercih edilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, kohezyonlu zeminler için; zemin kayma mukavemeti ile etkili kolon çapı arasındaki ilişkiyi gösteren bir grafik oluşturulmuştur (Şekil 3.5). Bu grafik sayesinde kohezyonlu zeminler için kolon çapı seçilebilmektedir [24].



Şekil 3.5: Kohezyonlu zeminlerde, zemin mukavemetinin taş kolon çapına etkisi [24].

3.3.2. Taş kolon boyu

Taş kolon boyu, zemin iyileştirmesi yapılacak bölgenin zemin durumuna göre değişiklik göstermektedir. Taş kolon boyu belirlenirken önemli hususlardan birisi de taş kolonun sağlam zemine ulaşmasıdır. Sağlam zemine ulaşamayan taş kolonlar yüzen kolon durumunda kalır ve uc direnci alamadığı için taşıma gücü yönünden daha az iyileşme etkisi gösterir. Yapılan uygulamalar sonucu en ideal taş kolon boyunun 6 metre ile 10 metre arasında olduğu gözlemlenmiştir [24].

3.3.3. Taş kolon dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı

Taş kolon imalatında kullanılacak dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı malzeme türüne göre farklılık göstermektedir. Yapılan araştırmalar sonucu taş kolon imalatında kullanılacak malzemenin içsel sürtünme açısının 40° ile 45° arasında olması gerektiği öngörülmektedir. Fakat yapılacak tasarım analizlerinde, uygulamada oluşacak bazı eksikliklerden dolayı, dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısının 38° olarak hesaplamaların yapılması önerilmektedir [25].

3.3.4. Taş kolon dolgu malzemesinin dane çapı değişimi

Taş kolon imalatında kullanılabilen en uygun dolgu malzemesi çakıl ve taş malzemedir. Fakat kullanılacak dolgu malzemesinin tek dane çapında olması istenilen bir şey değildir.

Yapılan uygulamalardan alınan en iyi sonuçlar genel olarak 1.3 cm ile 1.7 cm dane çapına sahip iyi derecelenmiş çakıl dolgu malzemesi kullanılarak elde edilmiştir. Taş kolon uygulamasında, dolgu malzemesi olarak çakılın bulunmadığı yerlerde kırmataş kullanılabilir. Fakat dolgu malzemesi olarak kırmataşın kullanılması gerektiği durumlarda, kırma taşın dane çapının tek tip olmamasına dikkat edilmelidir. Aynı çakıl gibi birçok farklı çap da kırma taş tipi bulunmalıdır. Bu durumun temel sebebi ise sıkıştırma sırasında büyük çaptı taşların arasında kalabilecek boşluklara küçük çaplı taşların girerek daha rigid bir taş kolon elde etmektir [21,24].

3.4. Taş Kolon Tasarımı

3.4.1. Taş kolon tasarım koşulları

Taş kolon uygulaması yapılmadan önce iyileştirme yapılmak istenilen bölgedeki iyileştirilmemiş zeminin oturma miktarına göz önünde bulundurularak, iyileştirilmiş zeminde oluşması beklenen bir oturma miktarı belirlenir. Bu iki oturma miktarının bir birine oranlanması ile de oturma iyileşme oranı (OİO) bulunur. Buradan anlaşılacağı üzere elde edilmek istenilen OİO oranı ile taş kolon dizilimi hesaplanabilir [26].

Clemente ve Davice (1999) taş kolonların tasarımı ve taş kolonların oturmalara etkisini kapsayan bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarını 4 tane deney düzeneği ile gerçekleştirmişlerdir. Deneylerini, doymun kohezyonlu, aşırı konsolide olan ve granüler zeminler üzerinde oturma analizleri gerçekleştirerek yapmışlardır. Şekil 3.6 de yapmış oldukları deneylerin zeminleri ile ilgili bazı bilgiler verilmiştir[26].

Tablo 3.1: Deneyde kullanılan zemin özellikleri [23].

1. Deney Sahası			3. Deney Sahası		
Zemin Cinsi	H (m)	E (MPa)	Zemin Cinsi	H (m)	E (MPa)
Kum	2	10	Dolgu	4.1	15.0
Silt/kil	6	7	Alüvyon	2.5	34.4
Kum ve mercan	15	60		5.5	77.5
	> 15	100	Kum ve Çakıl	5.0	86.1
2. Deney Sahası			4. Deney Sahası		
Zemin Cinsi	H (m)	E (MPa)	Zemin Cinsi	H (m)	E (MPa)
Siltli kil	3	17.2	Kahverengi	1.5	17.2
Siltli kum / kumlu silt	1.5	5.2	karbonatlı kum	2.0	34.4
Kum	8	25.8	Siltli kum / kumlu	1.5	5.2
Çakıllı kum	> 12.5	75.8	silt	2.0	34.4

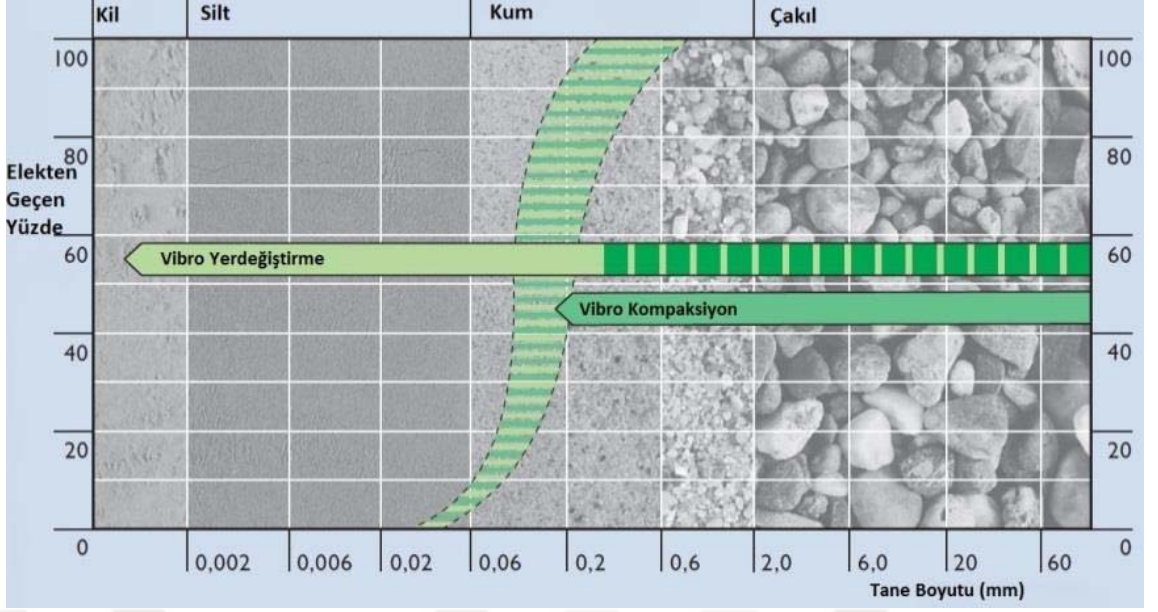
Yapılan deneylerin birinde deney düzeneği incelendiğinde; iyileştirilmemiş zemin üzerine 4 m² lik bir temel ile 200 kPa yük uygulandığında 45 mm oturmanın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu deney düzeneğinin zemininin iyileştirilmesi için kolon boyu 8 metre, kolon çapı 0.9 metre olan 2 metre aralıklı taş kolon uygulaması tasarlandığı görülmektedir [26].

3.4.2. Taş Kolon uygulanabilirliği ve uygulama alanı

Taş kolonlar birçok zemin iyileştirme yöntemine göre daha geniş bir alanda kullanılan bir iyileştirme yöntemidir. Taşıma kapasitesi, sıvılaşma, aşırı boşluk suyu basıncı ve şev stabilitesi gibi birçok soruna çözüm olarak kullanılabilir. Taş kolonların uygulama yöntemleri her zemin durumuna göre farklılık gösterebilmektedir. Yumuşak killer, siltli kumlar ve sıkıştırma teknikleri ile sıkıştırılamayan zemin türlerinin iyileştirilmesi için taş kolonlar kullanılmaktadır. Smoltezyk ve Hilmer (1994) yaptıkları bir çalışmada 15 kPa'dan büyük drenajsız kayma mukavemetine sahip kohezyonlu zeminlerde taş kolonlar ile iyileştirme yapılmasının başarılı olduğunu söylemişlerdir [27].

HHWA' nın 1983' de taş kolonların tasarımı ve yapımı hakkında yayınladığı "Design and Construction of Stone Columns" adlı bildirmede, taş kolonlar ile iyileştirme yapılacak zeminin çevre basıncının taş kolonun sıkıştırmalar sırasında etrafa yayılmasını engelleyecek miktara sahip olması gerektiğini vurgulamıştır. Eğer çevre basıncının yeterli olması durumunda taş kolon uygulamasının etkili olacağını aksi takdirde taş kolonun zeminin içine dağılarak bir kolon etkisi göstermeyeceği anlaşılmaktadır. Organik ve turba zeminlerde çevre basıncının yetersiz olacağından dolayı taş kolon uygulanabilmesi için turba veya organik zemin tabakasının kalınlığının taş kolon çapının iki katından fazla olmaması gerekmektedir [28].

Zeminin dane boyutuna göre vibro kompaksiyon ve vibro yerdeğiştirmeyi incelediğimizde, ince daneli zeminlerde vibro yer değiştirmenin daha uygun bir yöntem olduğu Şekil 3.7'den de anlaşılmaktadır.



Şekil 3.6: Dane çapına göre vibro yerdeğiştirme ve vibro kompaksiyon yöntemlerinin uygulanabilirliği [23].

Taş kolonlar genel olarak;

- Dolgu, batardo ve baraj gövdesinde,
- Bazı sanayi ve tarım depolarının altındaki,
- Yüksek kullanıma sahip tesislerin altındaki,
- Enerji tesislerinin altındaki,

zeminlerin iyileştirilmesi için uygulanmaktadır.

Taş kolonların uygulanmasındaki genel amaçları;

- Zemin taşıma gücünü artırmak
- Zeminde oluşabilecek farklı oturmaların önüne geçmek
- Konsolidasyon oturmalarını hızlandırmak
- Dolgu ve Şevlerin stabilitesini artırmak
- Aşırı boşluk suyu basıncını azaltmak
- Sıvılaşma riskini engellemek

şeklinde sıralayabiliriz. Taş kolonların kullanım amaçları giderek artmaktadır. Yukarıda bahsettiğimiz sıvılaşma riskini engelleme amacı ise son dönemlerde yaygınlaşmış bulunmaktadır.

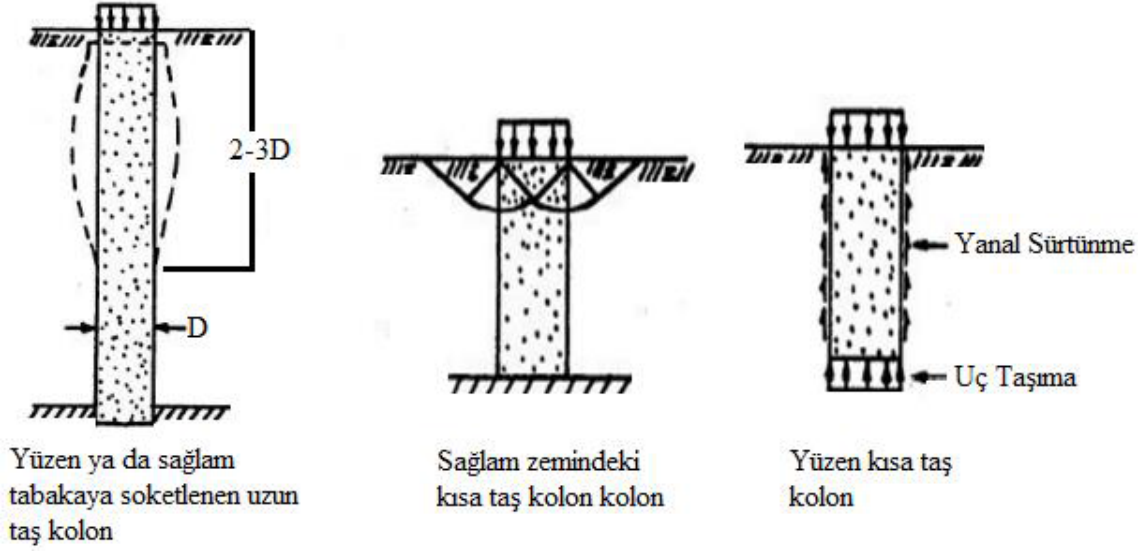
3.4.3. Taş kolon göçme mekanizması

Barksdale ve Bachus'a göre taş kolonlarda 3 farklı şekilde yenilme görülmektedir. Bu 3 yenilme tipleri de; zımbalama, yanal genişleme ve makaslama gerilmeleri olarak adlandırılmıştır. Yenilme mekanizmalarından biri ele alınarak taş kolonun nihai taşıma gücünü teorik olarak hesaplama yöntemleri geliştirmiştir [29].

Taş kolon uygulamalarında kolonun rijitliği, taş kolon malzemesinin kohezyonsuz olmasından dolayı, kolona zeminden gelen yanal kuvvetlere bağlıdır. Zeminin aşırı yumuşak olması durumlarında, taş kolon çevresine zeminden gelecek gerilmenin yeterli olmasından dolayı, taş kolon genişleyerek göçer. Zemin ve taş kolon arasındaki bir diğer ilişki ise zemin ve taş kolon arasında oluşacak kayma gerilmesidir. Yüklemeler altında zemin ve taş kolon farklı oturmalar yapması veya yükün tamamının taş kolon tarafından taşınması gibi durumlarda zemin ve taş kolon arasında kayma gerilmeleri oluşur. Oluşan bu çevre sürtünmesi ve uc direncinin, temelden gelen yükü karşılayamadığı durumlarda ise taş kolonda göçme olayı gerçekleşir. Bu nedenlerden dolayı taş kolon tasarımı yapılırken göçme-şişme ve kayma analizleri yapılmalıdır [3].

3.4.3.1. Tekil taş kolon göçme mekanizması

Taş kolonlar imal edilirken ya uç direnci sağlamak amacı ile uçları sağlam zemine oturtulur veya çevre sürtünmesi sayesinde çalışacak yumuşak zemin içerisinde sona eren kolonlar şeklinde imal edilebilir. Tekil taş kolon göçme mekanizması Şekil 3.8'de görülmektedir.



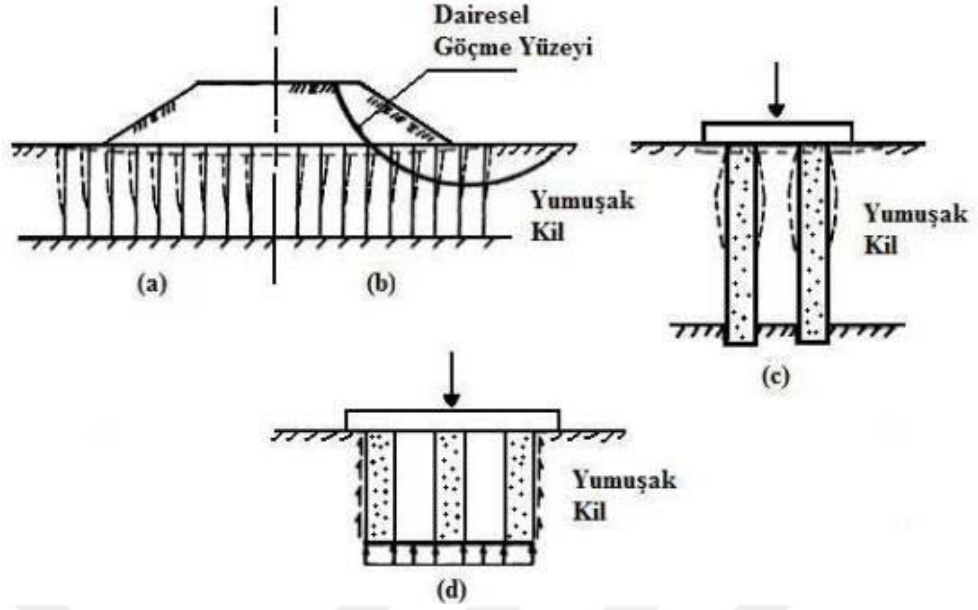
Şekil 3.7: Homojen zeminde tekil taş kolon göçme mekanizmaları [30].

Sağlam zemine soketlemiş veya yüzen bir taş kolon da, taş kolonun boyu taş kolon çapından 3~4 kat fazla uzun olduğu zaman, taş kolonda yanal genişlemenin meydana geldiği ve göçtüğü gözlemlenmiştir. Sağlam zemine soketlenmiş kısa taş kolonda da taşıma gücünün aşılmasından dolayı yüzeye yakın kesimlerden görülmektedir. Yüzen taş kolonlarda ise taş kolon boyu taş kolonun çapının 2~3 katı fazla olduğu zaman, taş kolonun uc kısmından taşıma kapasitesinin aşılması ile gerçekleştiği görülmektedir [3].

Bae ve diğ. (2002), yaptıkları bir çalışma ile taş kolon yenilme mekanizması üzerinde hangi parametrelerin etkili olduğunu, laboratuvar testleri ve sonlu eleman yöntemleri ile araştırmışlardır. Tekil taş kolonların 1.6D ile 2.8D derinliklerinde, yanal göçmenin meydana geldiğini ve zeminin drenajsız kayma mukavemeti ile alan oranının ise taş kolonun taşıma kapasitesinde etkili olduğu gözlemlenmiştir[31].

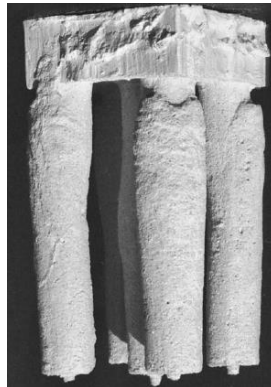
3.4.3.2. Grup taş kolon göçme mekanizması

Tek bir taş kolon ile taş kolon grubunu karşılaştırdığımızda, taş kolon grubunun taşıma gücü tekil taş kolondan daha büyüktür. Bu durum imal edilen taş kolonların birbirlerinin çevresindeki zeminin sıkışmasını sağlayarak taş kolonların grup halinde çalışmasını sağlaması şeklinde açıklanabilir. Temel yüklemesinin geniş bir alanda yapıldığı durumlarda zemin ve taş kolondaki oturmalar eşit olmaktadır [32].



Şekil 3.8: Grup taş kolonların göçme mekanizması [30].

Grup taş kolonun göçme mekanizması şekil 3.9’da görülmektedir. Zayıf zeminlerde yapılan taş kolon gruplarında, dolgu miktarına bağlı olarak zeminde yanal ötelenme görülebilir. Bu durumda zeminin taş kolona yapacağı yanal desteği azaltmaktadır. Yanal desteğin azalması sonucunda ise Şekil 3.9 b’de de görüldüğü gibi zeminde dairesel bir göçme meydana gelir. Grup taş kolonlarda da tekil taş kolonlarda meydana gelen yanal genişleme göçmesi veya kısa tekil taş kolonlarda meydana gelen uç taşıma kapasitesinin aşılması gibi göçme durumları meydana gelebilmektedir (Şekil 3.9 c – d). Yumuşak zeminde yapılan kısa taş kolon gruplarında ise yanal genişleme göçmesinin meydana geldiğini, Hu 1995’de yaptığı deneylerle göstermiştir (Şekil 3.10) [32].

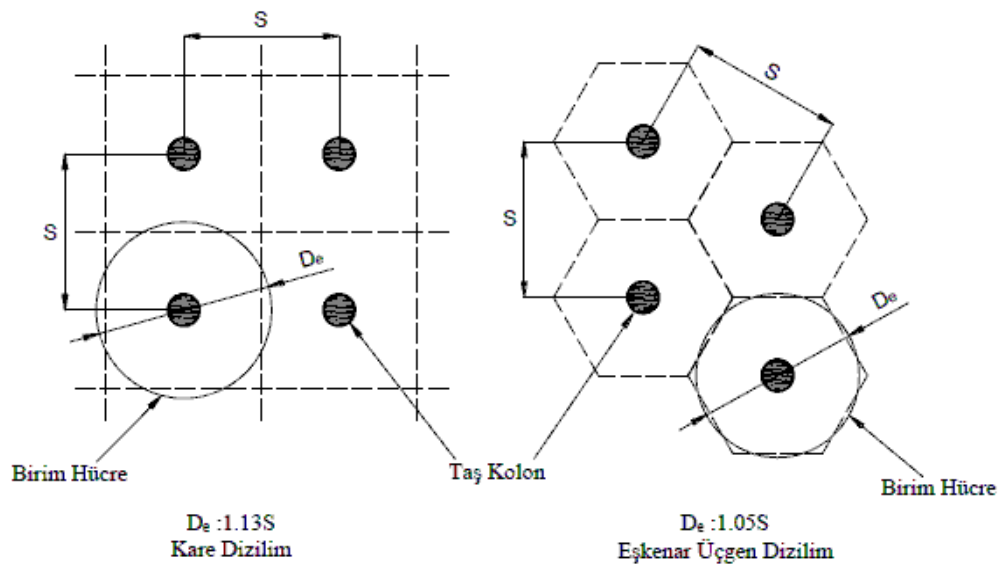


Şekil 3.9: Kısa taş kolon gruplarında yanal genişleme yenilmesi [32].

Yumuşak kil zemine imal edilen taş kolonlar, zeminden gelecek yanal gerilmenin düşük olmasından dolayı taşıma kapasiteleri yüksek olmamaktadır. Yumuşak kil zemiler de yapılan taş kolon uygulamalarında taş kolon dolgu malzemesinin kil zemin içerisine dağıldığı ve kilin de taş kolon dolgu malzemesinin aralarına sızdığı McKenna ve diğ. (1975) tarafından rapor edilmiştir [33]. Dolgu malzemesinin aralarına kilin girmesi taş kolon taşıma kapasitesini düşürür ve oturmaların artmasına sebep olur. Bu duruma bir çözüm olarak taş kolon imalatı sırasında taş kolon etrafına dolgu malzemesinin yumuşak kil zemin içerisinde dağılmasının önleyecek geosentetik bir kılıfın yerleştirilmesi düşünülmüştür. Bu sayede taş kolonun oluşması için gerekli olan çevre gerilmesini yumuşak kil zemin yerine geosentetik kılıf gerçekleştirecektir [34].

3.4.4. Taş kolonlarda birim hücre kavramı

Taş kolonlar ile güçlendirilen zeminin taşıma gücünde taş kolonların grup olarak etkisini hesaplanabilmesi için her bir taş kolonun etkilediği zemin sınırları birim hücre olarak ele alınmıştır [35]. Birim hücre sınırları yanal yerdeğiştirme yapmayacak şekilde rijit olarak kabul edilmiştir. Her birim hücredeki taş kolon ve zeminin oturma miktarı eşittir. Kolon ile zemin arasındaki sıkılık farkından dolayı da gerilmelerin büyük bir kısmı taş kolonlar üzerine gelmektedir. Taş kolon dizimindeki birim hücre etki alanları Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Taş kolon dizimimleri [35].

Taş kolonların kare dizilimlerinde eşdeğer birim hücre çapı;

$$D_e = 1.13s$$

Taş kolonların eşkenar üçgen dizilimlerinde eşdeğer birim hücre çapı;

$$D_e = 1.05s$$

şeklinde bulunur. Buradaki “s” taş kolonların merkezden merkeze aralıklarını ifade etmektedir. FHWA’nın 1983’de yayınladığı bildiriye göre birim hücreyi “ D_e ” çapına sahip taş kolon ve zeminden oluşan alan olarak tanımlamıştır. Taş kolon ile zemin analizi;

- Taş kolon çapına,
- Taş kolonların dizilim şekline,
- Taş kolon imalatında kullanılan dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısına,
- Alan – yerdeğiştirme oranına,
- Taş kolon ve zeminin, oturma azaltım oranına,

bağlıdır [29].

Alan – Yerdeğiştirme Oranı: taş kolon imalatı yapılırken taş kolonun yerine geçtiği zemin miktarı birim hücrede yer alan zeminin iyileştirilmesinde büyük bir öneme sahiptir. Taş kolonun yerine geçtiği zemin miktarını belirlemek için alan – yerdeğiştirme oranı kullanılmıştır. Bu oran;

$$a_s = \frac{A_{st}}{A} \quad (3.1)$$

şeklinde gösterilir. Burada;

A_{st} : Sıkıştırılmış taş kolon alanı

A: Birim hücre alanı

Gerilme Konsantrasyonu Oranı: Taş kolon uygulanmış bir zemine yük uygulandığı zaman, taş kolon ve zemin raltif sıklıkları oranına, taş kolon alanının toplam alana oranına ve taş kolon dizilim aralıklarına göre paylaşırlar. Bu oran ise;

$$n = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} \quad (3.2)$$

formülü ile bulunur. Burada;

σ_c : taş kolonda oluşan düşey gerilmedir

σ_s : zeminde oluşan düşey gerilmedir

Yükleme yapılan alanın tamamında oluşan ortalama gerilme için σ dersek denge koşulundan gerilmeler;

$$\sigma = \sigma_s \times a_s + \sigma_c \times (1 - a_s) \quad (3.3)$$

$$\sigma_c = \sigma / [1 + (n - 1) \times a_s] = \mu_c \times \sigma \quad (3.4)$$

$$\sigma_s = n \times \sigma / [1 + (n - 1) \times a_s] = \mu_s \times \sigma \quad (3.5)$$

denklemleri ile bulunur. Burada;

μ_c : taş kolonun gerilme oranı

μ_s : zeminin gerilme oranı

Taş kolon – zemin gerilme konsantrasyon oranı, Munfakh tarafından 1981’de yapılan bir çalışma sonucunda 2 ile 6 arasında çoğunlukla 3 ile 4 arasında bir değer önerilmiştir [36]. Aboshi (1979) ise, yaptığı bir saha çalışmasında, sabit yük altında konsolidasyon oturmaları devam ettiği sürece gerilme konsantrasyon oranının artış gösterdiğini belirtmiştir [37]. 1984’de Munfakh, taş kolonlar üzerine basınç hücreleri yerleştirerek yaptığı bir diğer çalışmada ise taş kolon imalatının sonunda gerilme konsantrasyon oranının 2.5 ile 3.5 arasında kaldığını, konsolidasyon oturmalarının sonlanması ile de 4 ile 5 arası bir değere yükseldiğini gözlemlemiştir [4].

Oturma Azaltma Oranı: İyileştirilmiş zeminin oturma miktarını iyileştirilmemiş zeminin oturma miktarına oranlı olarak bulunan bu oran taş kolonların uygulandığı zemindeki oturmaları azaltmada ne kadar faydalı olduğunu gösteren bir orandır. Bu oran;

$$\beta = S' / S \quad (3.6)$$

Burada;

S' : iyileştirilmiş zeminin oturma miktarını

S : iyileştirilmemiş zeminin oturma miktarını

ifade etmektedir.

Bu oran genel olarak 0.17 ile 1 arasında kalmaktadır. Oranın küçülmesi iyileşme miktarının arttığını göstermektedir [3].

3.4.5. Taş kolonlarda taşıma gücü

Taş kolonlar ile iyileştirilen zeminlerin taşıma güçlerini tahmin için birçok yöntem geliştirilmiştir ve bu yöntemlerin büyük bir kısmı taşıma gücünü hesaplar iken limit durum analizleri ve boşluk genişleme teorisini kullanmaktadır.

3.4.5.1. Tekil taş kolonlarda taşıma gücü

Taş kolonların taşıma kapasiteleri genel olarak göçme durumlarına göre hesaplanır. Yüzen taş kolonlar ile ucu sağlam zemine değen taş kolonların boyları çaplarından 4 – 6 kat daha uzun olması durumunda taş kolonlarda yanıl genişleme göçmesi görülür. Yumuşak bir zemin içerisine yapılmış bir taş kolonun taşıma gücü tahmini için geliştirilen birçok yöntem taş kolon ile zeminin gerilmelerinin sınırda olduğunu Kabul eder. Taş kolonun etrafındaki çevre gerilmesini ‘ σ_3 ’ kolonun yanıl göçmesini engelleyen kuvvet olarak kabul eder. Bu durumda kolonun taşıyabileceği gerilme ‘ σ_1 ’ pasif toprak basınç katsayısı ‘ K_{ps} ’ ve zeminden gelen çevre gerilmesinin ‘ σ_3 ’ çarpımı ile bulunur.

$$\sigma_1/\sigma_3 = K_{ps} = \frac{1 + \sin \phi_{st}}{1 - \sin \phi_{st}} \quad (3.7)$$

Burada;

ϕ_{st} : Taş kolonun kayma mukavemet açısı

Hughes ve Withers (1974) yaptıkları bir çalışmada, taş kolonda meydana gelen yanıl hareketin, presiyometre testinde meydana gelen yanıl boşluk gelişmesine benzediğini öne sürmüşlerdir. Bu durumdan yola çıkarak denge durumundaki çevre basıncını tahmin etmek için boşluk genişleme çözümünü ele alarak (3.8) deki denklemi ortaya koymuşlardır [38].

$$\sigma_3 = \sigma_0 + c_u \times [1 + \ln(G/c_u)] \quad (3.8)$$

Burada;

σ_3 : Drenajsız çevre gerilmesi

σ_0 : Arazideki başlangıçtaki yanıl gerilme

G: Zeminin kayma modülü

c_u : Zeminin drenajsız kayma mukavemeti

Taş kolonun taşıma gücü ise;

$$q_{ult} = \{\sigma_0 + c_u \times [1 + \ln(G/c_u)]\} \times K_{ps} \quad (3.9)$$

ile ifade edilir ve buda en sade biçimiyle;

$$q_{ult} = (\sigma_0 + 4c_u) \times K_{ps} \quad (3.10)$$

ifadesine eşittir.

Vesic (1972) kohezyonlu ve sürtümlü zeminler için elasto plastik boşluk genişlemeli bir çözüm önermiştir [39]. Boşluk genişleme yanal basıncını (σ_3);

$$\sigma_3 = F'_c \times c_u + F'_q \times q \quad (3.11)$$

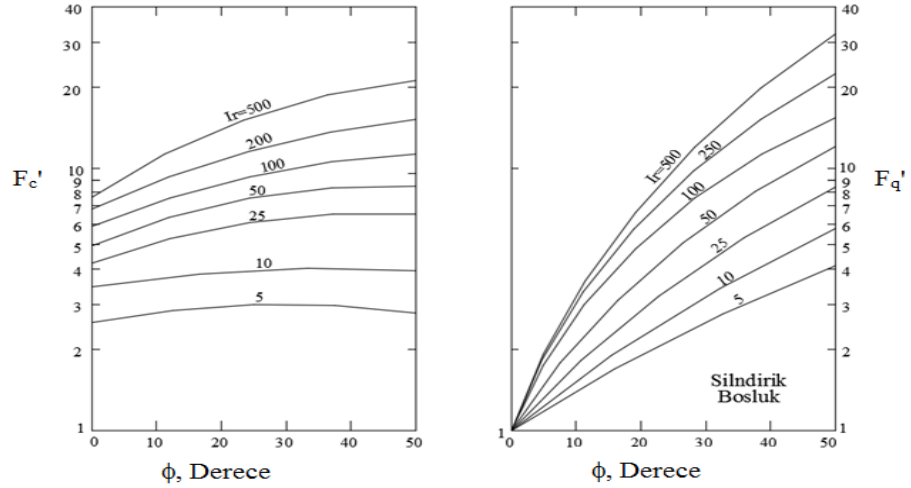
Şeklinde ifade etmiştir. Burada;

q : Hesabın yapıldığı derinlikteki ortalama gerilme

F'_c F'_q : Boşluk genişleme katsayıları

c_u : Drenajsız kayma mukavemeti

F'_c ve F'_q 'nin tahmini için kullanılacak abaklar Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.11: Boşluk genişleme faktörleri abağı [40].

F'_c F'_q katsayıları, zeminin rijitlik indisi ile kayma mukavemet açısına bağlıdır.

Rijitlik indisi;

$$I_r = E/2(1 + \nu)(c + q \tan \phi) \quad (3.12)$$

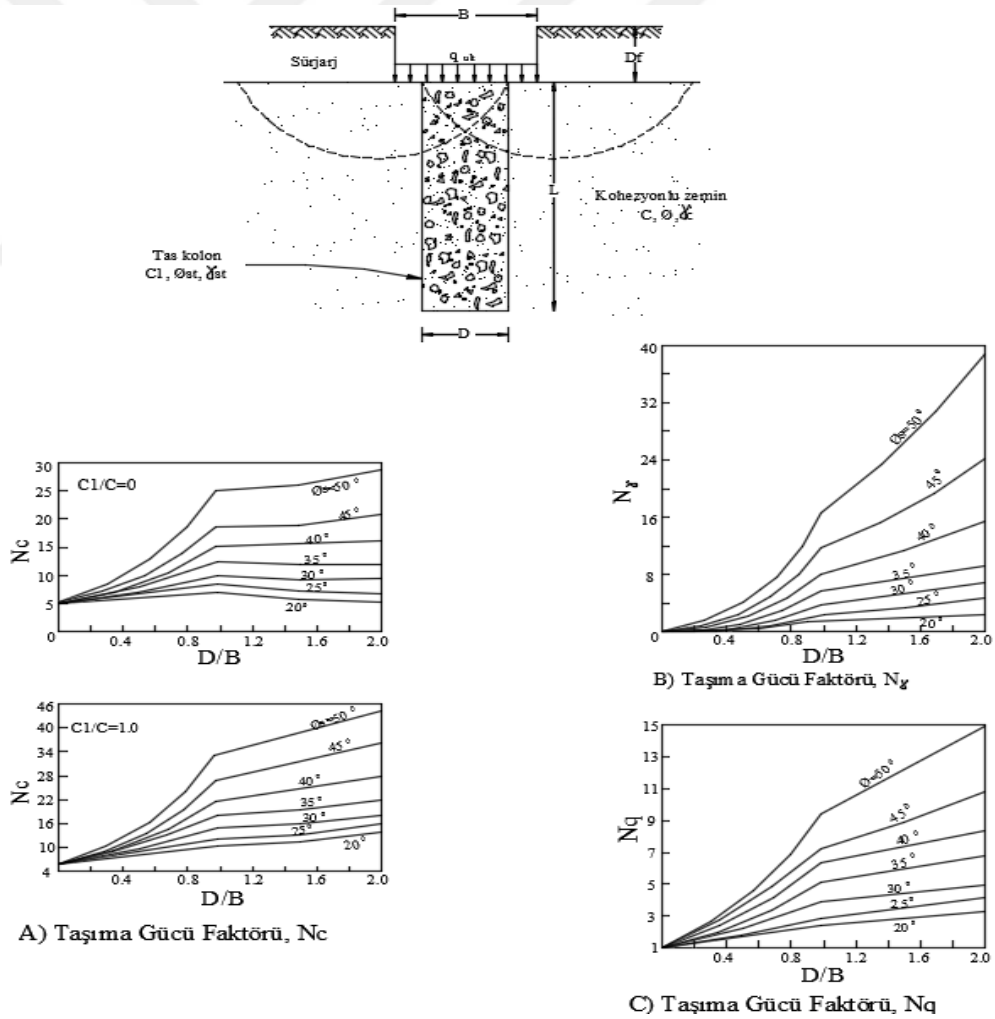
şeklinde ifade edilir. Zeminin kayma mukavemet açısı ile rijitlik indisi kullanılarak abaklardan F_c , F_q katsayıları bulunur,

$$q_{ult} = (F'_c \times c_u + F'_q \times q) \times K_{ps} \quad (3.13)$$

eşitliği kullanılarak taş kolon taşıma kapasitesi bulunur.

3.4.5.2. Kısa taş kolonlarda taşıma gücü

Boyu çapının 2 – 3 katından az olan taş kolonlar kısa taş kolon olarak kabul edilmektedir. Kısa taş kolonlarda göçme, zımbalama veya taşıma gücünün aşılması olarak görülür. Zımbalama göçmesine karşı taş kolonların taşıma gücü diğer kazıklarda kullanılan çevre sürtünmesi ve uc direncinin hesaplanması ile bulunur.



Şekil 3.12: Kısa taş kolonlarda taşıma gücü katsayıları [40].

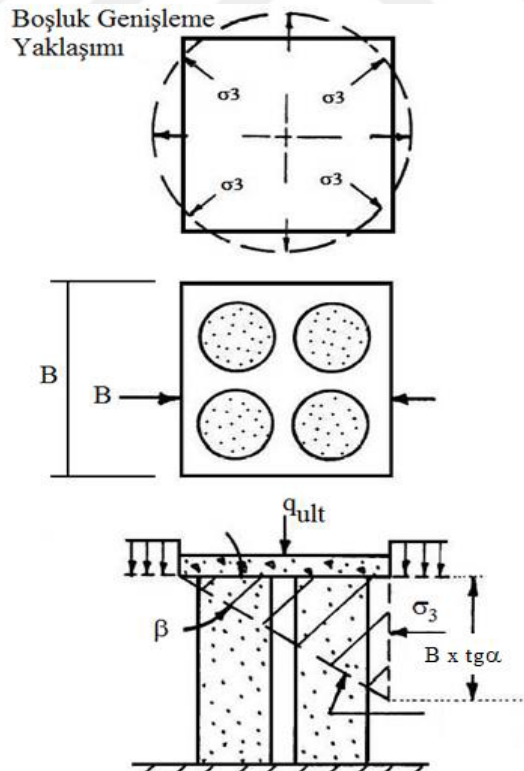
Sürşarj etkisinin en düşük olduğu zeminin en üst kısmın da ise genel göçme meydana gelir. Madhav ve Viktar (1978) yaptıkları çalışmada, sürtünmesiz zemin üzerinde granüler dolgu kullanılarak oluşturulmuş hendeklerin taşıma gücünün hesabı için düzlem şekil değiştirme çözümü bulmuşlardır. Hendeğe veya yumuşak zemine yük uygulanabilir[41]. Bu koşullarda düzgün yükleme için taşıma gücü;

$$q_{ult} = c_u \times N_c + (\gamma \times B/2) \times N_\gamma + \gamma \times D_f \times N_q \quad (3.14)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Buradaki N_c , N_γ ve N_q Şekil 3.13'deki abaklardan okunacak taşıma gücü katsayılarıdır. B'de temel genişliğidir.

3.4.5.3. Grup taş kolonlarda taşıma gücü

Grup taş kolonlarda, taş kolonlar üzerinde bulunan kare veya şerit temelin taşıma gücünü hesaplarken limit denge yöntemi kullanılabilir. Barksdale ve Bachus, kohezyonlu zeminde hızlı yükleme yapıldığında drenajsız kayma mukavemeti parametrelerinin kullanılacağını belirtmişlerdir.



Şekil 3.13: Grup Taş kolon analizi [3].

Grup taş kolonlarda göçme yüzeyi Şekil 3.14' de gösterilen üçgen bir blok şeklinde oluşur. Zeminin ve taş kolon grubunun kayma yüzeyi direnci kayma yüzeyi boyunca harekete geçer. Taş kolon grubunun ve zeminin oluşturmuş olduğu kompozit sistemin, taşıya bileceği nihai gerilme “ q_{ult} ”, sistemin kayma direnci ile pasif toprak basıncına bağlıdır. Sistemin dengesi ise;

$$q_{ult} = \sigma_3 \times \tan^2 \alpha + 2c_{avg} \times \tan \alpha \quad (3.15)$$

şeklinde ifade edilir. Bu formül ile de taş kolon grubunun taşama gücü hesaplanır. Bu formüldeki c_{avg} , α , ϕ_{avg} ve σ_3 terimleri için;

$$c_{avg} = (1 - a_s) \times c_u \quad (3.16)$$

$$\alpha = 45 + \phi_{avg}/2 \quad (3.17)$$

$$\phi_{avg} = \tan^{-1}(\mu_s \times a_s \times \tan \phi_{st}) \quad (3.18)$$

$$\sigma_3 = \gamma_n \times B \times \tan a/2 + 2c_u \quad (3.19)$$

ifadeleri ile hesaplanmaktadır.

Burada;

B: Temel genişliği

c_u : Zeminin drenajsız kayma mukavemeti

α : Göçme yüzeyi eğimi

μ_s : Taş kolon gerilme oranı

σ_3 : Yanal gerilme kapasitesi

Bu yöntem ile taş kolonların taşıma gücünü hesaplariken; temel şekli ve boyutları, taş kolonun kayma mukavemet açısı, iyileştirilmiş zeminin kayma mukavemeti ve taş kolona çevre basıncı oluşturan zeminin rijitlik modülü önemli rol oynamaktadır [3].

3.4.6. Taş kolonlarda oturma analizi

Taş kolonların oturmalarını hesaplamak için, birim hücre kavramı, gerilme faktörü ve tek boyutlu konsolidasyon teorisi kullanılarak geliştirilmiş denge yöntemi önerilmiştir [3]. Bu analiz yönteminin kullanılmasında arazi ölçümleri ve önceden yapılmış deney

sonuçları ile gerilme konsantrasyon oranının (n) belirlenmesi gerekmektedir. Zemin iyileştirmesi yapılmamış bir zeminde meydana gelecek oturma;

$$S = H \times m_v \times \sigma \quad (3.20)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada;

H: zemin tabaka kalınlığı

M_v: zeminin hacimsel sıkışma katsayısı

Taş kolon ile iyileştirme yapılmış zeminin oturması hesaplanırken zemin ve taş kolonun eşit miktarda oturma yapacağı varsayılır. Beklenen oturma miktarı ise;

$$S' = H \times m_v \times (\mu_c \times \sigma) \quad (3.21)$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

Burada;

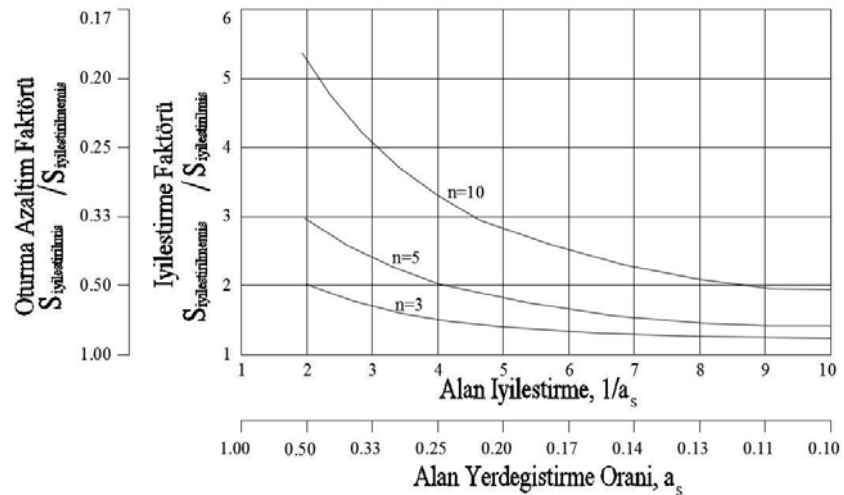
$\mu_c \times \sigma$: zemindeki düşey gerilme

Taş kolon ile iyileştirilmiş zeminin oturma miktarı;

$$S' = \mu_c = 1/[1 + (n - 1) \times a_s] \quad (3.22)$$

formülü ile hesaplanır.

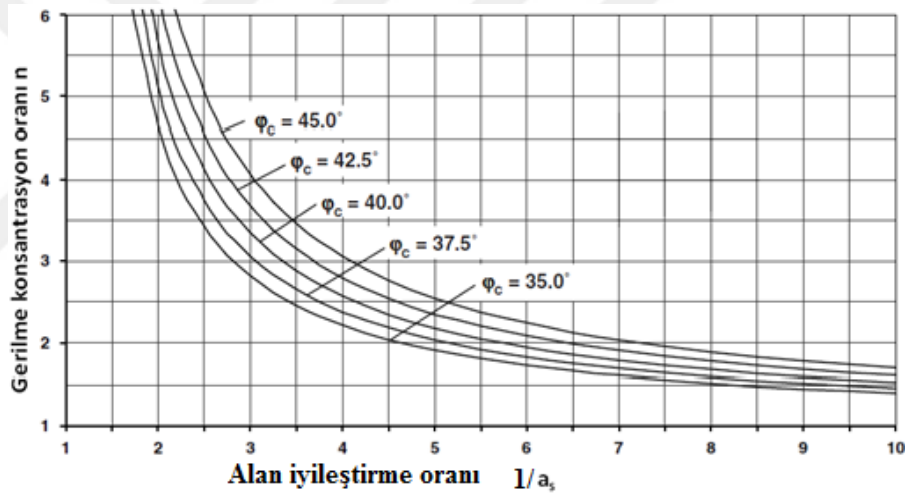
Barksdale ve Bachus, gerilme konsantrasyon oranı ve farklı yer değiştirme oranları ile oturma azalma oranındaki değişimi yaptıkları bir çalışmada incelemiştir [3]. Bu çalışmalarının sonuçları Şekil 3.15' de görülmektedir.



Şekil 3.14: Oturma azalma faktörü [3].

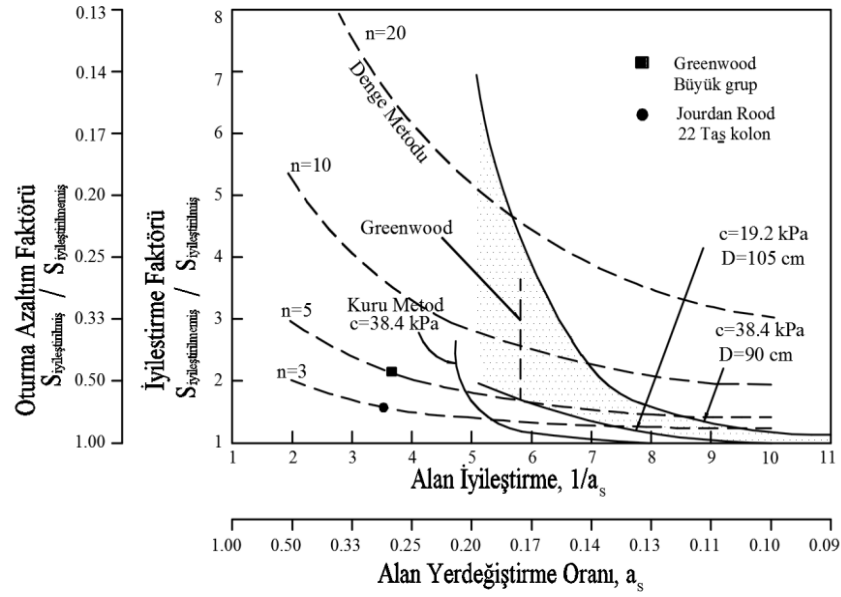
Taş kolonlar ile iyileştirilmiş zeminlerin oturma analizi için Priebe tarafından önerilen yöntemde birim hücre üzerinden hesaplamalar yapılmaktadır. Bu yöntemde birim hücre içerisindeki zemin homojen kabul edilmektedir. Taş kolon ise sıkışmaz, rijit ve plastik bir yapıda olduğu kabul edilmektedir. Zemin ve kolon üzerine gelen gerilmenin üniform olduğu durumlarda geçerlidir. İmalat sırasında, zeminde gerçekleşen etkilerden dolayı zeminin viskoz bir sıvı davranışında bulunduğu ve izotropik bir gerilme meydana geldiği kabul edilir. Taş kolonun sağlam zemine ulaştığı durumlarda geçerlidir. Taş kolon sıkışmaz bir yapıda olduğu kabul edildiği için zeminde meydana gelecek hacimsel değişim taş kolonun boyunun kısalmasıyla ilgili varsayılmıştır.

Priebe yaptığı çalışmada, vibro yerdeğiştirme yöntemi kullanılarak yapılan taş kolonlar için gerilme konsantrasyon oranı, alan yerdeğiştirme oranı ve taş kolon kayma mukavemet açısını kapsayan bir tasarım eğrisi (Şekil 3.16) geliştirmiştir [20].



Şekil 3.15: Vibro yerdeğiştirme yöntemi ile yapılan taş kolonlarda gerilme konsantrasyon oranı – alan iyileştirme oranı eğrisi [20].

Greenwood tarafından yapılan bir çalışma ile taş kolonlar ile iyileştirilen zemindeki oturma azalmasını, zeminin drenajsız kayma mukavemetini ve taş kolonların dizilim aralıklarını veren amprik eğriler geliştirmiştir [42]. Barksdale ve Bachus, Greenwood tarafından geliştirilen bu eğriler de kolon dizilim aralıkları yerine alan yerdeğiştirme oranını kullanarak yeniden düzenlemişlerdir (Şekil 3.17). Eğriye ayrıca denge metodu ile elde edilen bazı gerilme konsantrasyon oranlarının (n) sonuçlarında eklenmiştir [3].



Şekil 3.16: Barksdale ve Bachus'un yeniden düzenlediği Greenwood eğrisi [3].

3.5. Sıvılaşma Potansiyeli Olan Zeminlerin Taş Kolon ile İyileştirilmesi

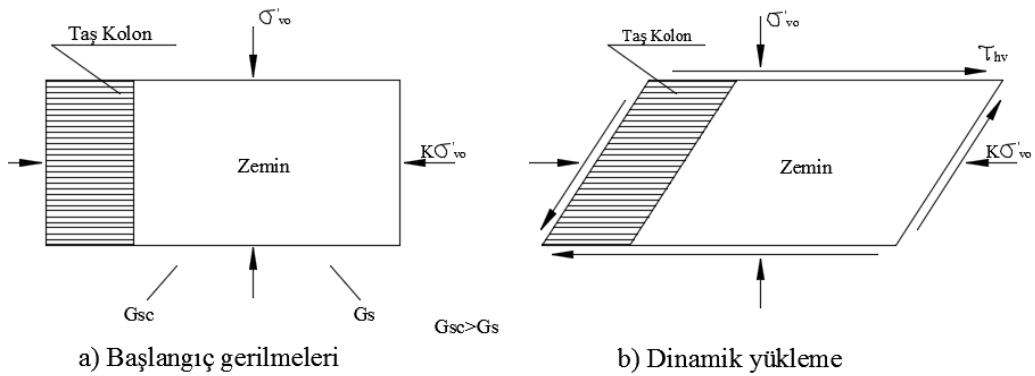
Sıvılaşma, suya doymun, kumlu ve siltli zeminlerde dinamik yükler etkisi altında, boşluk suyu basıncının artmasıyla meydana gelen mukavemet kaybından kaynaklanır [43]. Sıvılaşma sırasında oluşan bu mukavemet kaybından dolayı zeminin taşıma kapasitesinde düşüşler meydana gelir ve oturmalar artar. Sıvılaşma riski, Niigata ve Alaska (1964) depremlerinden sonra akademik olarak ilgi çekmiştir ve sıvılaşma üzerine çalışmalar yapılmıştır. 1995 Kobe depreminde geliştirilmiş iyileştirme yöntemlerinin etkisi görülmüştür [44]. Sıvılaşma riski kumlu ve siltli gevşek zeminlerde boşluk suyunun dinamik kuvvetler altında zemin danelerinin birbiri arasındaki kayma gerilmelerini azaltmasından dolayı meydana gelmektedir. Sıvılaşma riskinin engellenebilmesi için sıvılaşma riskine sahip zeminlerde sıkılaştırma yapılarak sıkılık oranının artırılması ve/veya dinamik kuvvetler altında iken boşluk suyu basıncının sönmülenebileceği drenaj yolları oluşturulmalıdır.

Taş kolon uygulamasının sıvılaşma riskini ortan kaldırmak için kullanımı son yıllarda önemli miktarda artma göstermiştir. Taş kolonlar oluşturulurken kullanılan granüler dolgu malzemesinden dolayı geçirgenliğe sahiptir ve bu sayede zeminin içinde drenaj etkiside göstermektedir. Bunun yanında taş kolonlar imal edilirken kullanılan yöntemlerden dolayı, taş kolon etrafında bulunan zeminde birmiktar sıkıştırılmış olur ve bunun sayesinde taş kolonların çevresinde bulunan zemin de bir miktar iyileştirilmiş olur.

Bu iki etken dolayı, dinamik yükler altında sıvılaşma riskinin azaltılması için taş kolonların kullanımı artmıştır [45].

Taş kolon imalatı sırasında kullanılan yöntemlerden dolayı, zemin ile taş kolon dolgu malzemesi arasında bir miktar karışma görülür. Bu karışmadan ötürü taş kolonların geçirgenliğinde birmiktar azalma görülebilir. Bu sebepten dolayı taş kolonların geçirgenlik katsayılarını teorik olarak tahmini mümkün değildir. Taş kolon geçirgenliğinin tahmini için arazide bir takım deneyler yapılabilir veya taş kolondan alınan bir numune üzerinde laboratuvar deneyleri yapılabilir. Taş kolonların geçirimliliği ile ilgili yapılan bir çalışmada imalat yöntemi fark etmeksizin dane dağılımı iyi olan taş kolonların geçirimliliğinin dane dağılımı kötü olan taş kolonların geçirimliliğinin yarısından daha düşük olduğu görülmüştür. 1995’de Baez, yaptığı bir çalışmada, sıvılaşma riskini engellemek için yapılacak taş kolon uygulamasında, iyileştirmenin etkili olması için taş kolon geçirimliliğinin zeminin geçirimliliğinden iki kat daha yüksek olması gerektiğini belirtmiştir.

Baez (1995) yaptığı araştırmalarında, zeminin sıvılaşma riskinin azalmasını taş kolonların imal edildikten sonra zemindeki sismik kayma gerilmelerinin dağılımının değiştiğini söylemiştir. Zeminin taş kolon ile iyileştirilmesinin ardından zemin sıklığında ve gerilmelerde değişimler görülür ve bu sebeplede dinamik yükler altındaki zemin davranışı değişmektedir. Baez bu durumu Şekil 3.18 ile göstermiştir [46].



Şekil 3.17: Taş kolon ile iyileştirilmiş zeminde kayma gerilmeleri ve yeniden dağılımı [46].

Taş kolon ile iyileştirilmiş zeminde dinamik yükler altında oluşacak kayma gerilmeleri zeminden daha sıkı bir yapıya sahip olan taş kolonlar üzerinde yoğunlaşır. Taş kolon ile iyileştirilmiş zemin üzerindeki kayma gerilmeleri matematik model kurularak

hesaplanabilir. Sıvılaşma potansiyeli olup da taş kolon ile iyileştirilmiş bazı zeminlerde meydana gelen depremler sonrası iyileşme durumları hakkında bir takım incelemeler yapılmıştır. Yapılan bu araştırmalar sonucunda taş kolon ile iyileştirilmiş zeminler de sıvılaşma görülmezken, iyileştirilme yapılmamış bölgelerde ise sıvılaşmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir [46,47].

3.6. Taş Kolon Uygulamalarının Kontrolü

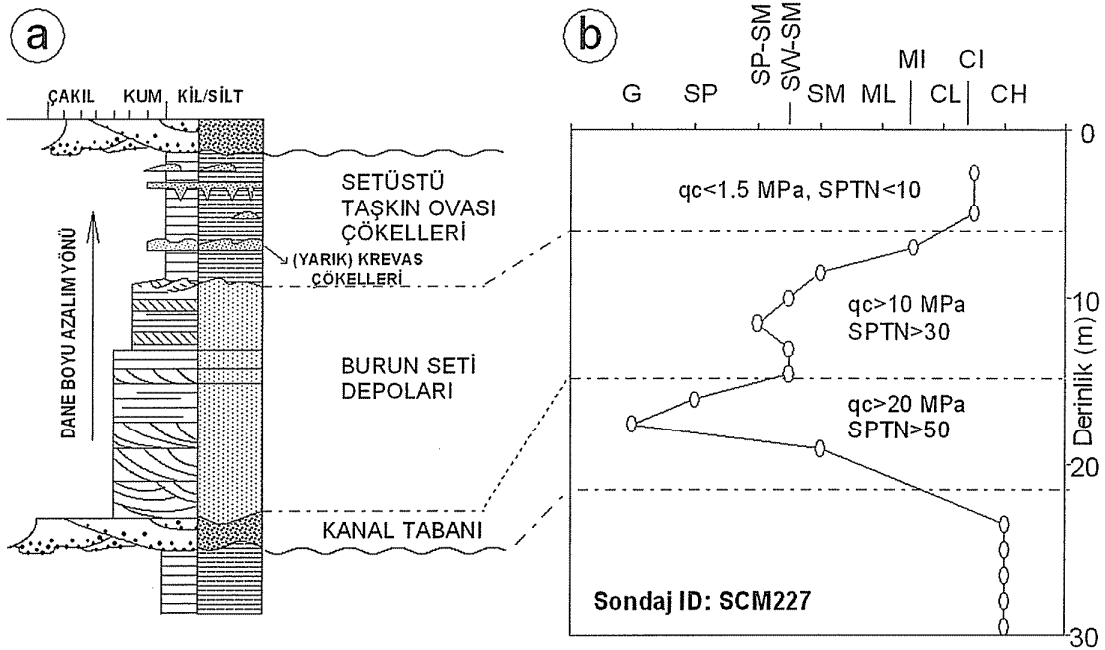
Taş kolonların imalatı sırasında; taş kolonun imalat çapı, kolon imal edilirken zeminde meydana gelecek akımların kolon sürtünme direncine etkisi ve taş kolon imal edilirken daha önce imal edilmiş kolonlara yaptığı etkilere dikkat edilmelidir. Taş kolon imalatı sırasında kullanılan dolgu malzemesi miktarının ve kolon boyunun her kolon için kaydedilmesi imal edilen taş kolonların oluşan gerçek çaplarını belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Taş kolonların uygulanmasından sonra zeminde oluşacak kabarmalar zeminin örselendiğini gösterir. Ayrıca taş kolonların taşıma gücü ve oturma davranışlarını gözlemlenmek için arazide yükleme deneyleri yapılmalıdır. Bu yükleme deneyleri; birim hücre kadar alanın yüklenmesi, sadece taş kolonun yüklenmesi ve tam ölçekli taş kolon grubunun yüklenmesi gibi üç farklı şekilde uygulanabilir.

Tam ölçekli yükleme deneyleri son zamanlarda yaygın bir kullanıma sahiptir. 1.5 – 2.4 metre gibi kenar uzunluğuna sahip kare temelin bir grup taş kolon ve onu çevreleyen zemin üzerine yerleştirilerek yüklemeler yapılmaktadır. Yükleme sırasında temel de meydana gelen oturmalar kaydedilerek iyileştirilmiş zeminin taşıma gücü ve oturma davranışları belirlenir. Yükleme belirli oranlarda yük artırımı yapılarak tasarım yükünün 1.5 katına kadar devam ettirilir. Yükleme deneyi bitirildiğinde deney düzeneğindeki yükler, yükleme sırasındaki yapılan artırımlar oranında azaltılarak kaldırılır.

BÖLÜM 4. ADAPAZARININ ZEMİN ÖZELLİKLERİ VE ZEMİN SIVILAŞMASI

4.1. Adapazarının Jeomorfolojik ve Geoteknik Özellikleri

Adapazarı, zemininde Sakarya nehrinin Adapazarı ovasına taşımış olduğu akarsu çökellerinden dolayı farklı derinliklerde geniş yayımlı siltler görülmektedir. Neredeyse düz denilebilecek kadar yükselti değişimi az bir bölge olan Adapazarı ovasında, Sakarya nehri tarih boyunca çok fazla yatak değiştirmiş ve neredeyse ovanın her yerinden geçmiştir [48]. Menderesli bir yapıya sahip olan Sakarya nehri, çakıldan kile doğru dane çapı incelen istifler oluşturmuştur (Şekil 4.1-a). Bunun yanında, nehirde meydana gelen taşkınlar, yarıklar veya su yatağının bir kısmın çökmesiyle oluşan bataklıklardaki oluşan istiflenmeler çakıldan kile doğru oluşan düzgün istiflenmeleri bozmaktadır [48].



Şekil 4.1: a) İdealize edilmiş menderesli nehire ait istif kesidi ve b) SCM227 nolu sondaja ait sınıflama sonuçları [48].

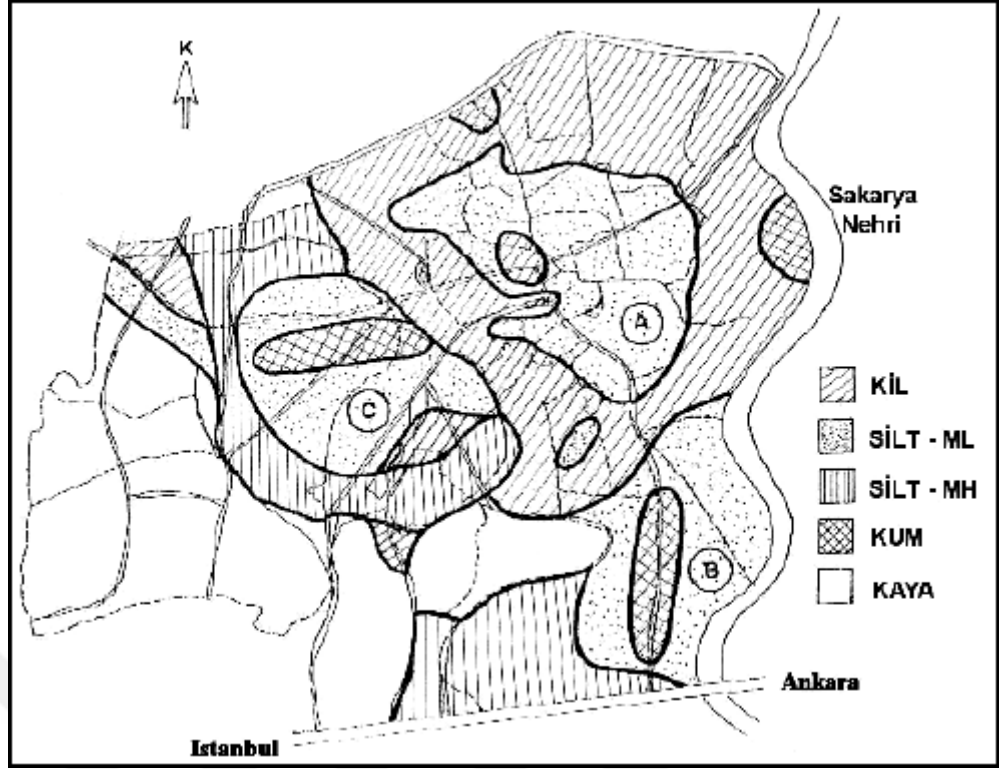
Adapazarı'nda oluşan zeminlerin, üst 50 metrelik kısım akarsu fasiyesi daha derinlerin ise göl ortamının ve zaman zaman büyük debili ve geniş yayımlı bir akarsuyun etkisinde kaldığını 200 metrelik bir sondaj (Şekil 4.1-b) ile belirtmiştir [48].

Adapazarı bölgesinin zemininin ilk 50 metresini geniş bir veri tabanı kullanılarak; kanal tabanı, yarık yayılması, taşkın ovası, burun-seti deposu ve setüstü-ardbataklık çökelleri şeklinde 5 kısma ayrılmıştır. Bu verilerin GIS ortamında incelenmesi ve karbon testleri ile birleştirilerek yorumlanması sonucunda bölgenin 1500 yıl önce iki farklı akarsuyun etkisinde olduğu söylenmiştir [48].

Bol (2003), yapmış olduğu bir çalışmada, Sakarya nehri etkisi altında olan Adapazarı zemininin ilk 20 metresinin akarsu kökenli alüvyonlardan oluştuğunu belirtmiştir. Taşkın ovası ve bataklıkların, silt ve killerin hâkim olduğu kısımlarında SPTN sayılarının 10'un altında ve CPT'den elde edilen q_c değerinin ise 1.5 MPa'ı geçmediğini belirtmiştir. Burun seti olarak belirtilen kumlarda ise SPTN değerinin 30'dan q_c değerinin ise 10 MPa'dan fazla çıktığını söylemiştir. Kanal tabanında bulunan iri kum ve çakıllarda ise q_c değeri ile SPTN değerinin yüksek olduğunu belirtmiştir (Şekil 1b). Burdan anlaşılacağı üzere Adapazarı'nın kum zeminlerinde alınan yüksek SPTN ve uç direnlerinden dolayı sıvılaşma potansiyeli taşımadığı, Adapazarı'nın daha çok siltli zeminlerinde sıvılaşma potansiyeli görüldüğü düşünülmektedir [48].

Adapazarı bölgesinde meydana gelen depremler sonucu oluşan deformasyonların hepsinin sıvılaşmadan kaynaklanmadığını, bazı zemin deformasyonlarının tekrarlı yükler altında zeminin yumuşamasından ve bazı zemin deformasyonlarının ise tekil ve sürekli temellerin arasında kalan boşluklardan zeminin kabarmasından dolayı meydana geldiği belirtilmiştir [49].

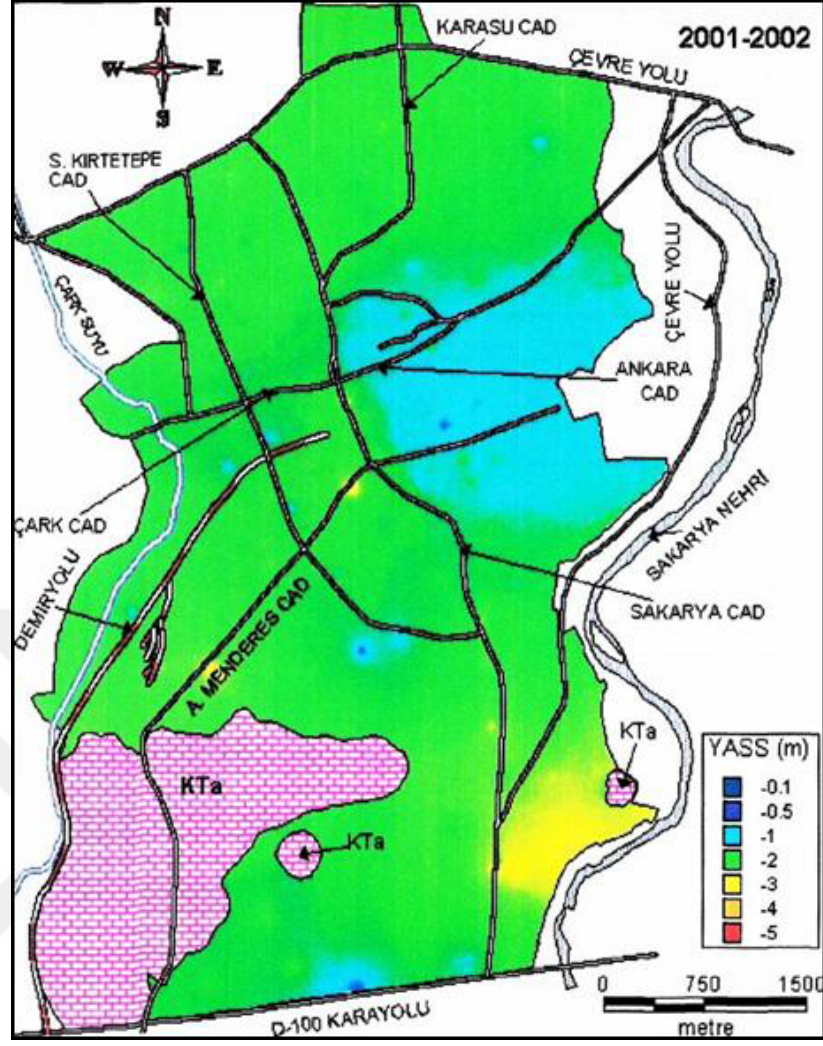
Adapazarı bölgesinde yapılan bazı sondaj verilene göre 15 metre derinliğe kadar olan tabakaların ayrımları Şekil 4.2' de gösterilmiştir. Bölgenin merkezinde plastik özelliği düşük olan ve plastik özelliği olmayan, kumlu silt tabakaları görülmektedir [50].



Şekil 4.2: Adapazarı zemininin ilk 15 metredeki tabakaları [50].

4.2. Adapazarı Bölgesinin Yer Altı Suyu

Adapazarı yer altı su seviyesi yüksek olan bir bölgedir. Yer altı su seviyesi mevsimlere göre aşırı değişkenlik gösterebilmektedir. Bazı zamanlarda yer altı su seviyesi yüzeye kadar yükselebilmektedir. 1999 yılına kadar yapılan bazı sondaj verilerine göre Adapazarı bölgesinin yer altı su seviyesinin yaklaşık 1.56 m’de olduğu gözlemlenmiştir. 1999 kocali depreminden sonra 2000’de yapılan 488 sondaj verisine göre ise ortalama 1.05 metreye kadar yükseldiği görülmektedir. 2000 yılında yapılan bu sondajlar ışığında su seviyesinin en yüksek olduğu zaman mart ayı olduğu gözlemlenmiştir. Ve su seviyesi en yüksek 0.48 metre olarak okunmuştur. Yine aynı yıl en düşük su seviyesi ise 1.37 metre olarak eylül ve aralık ayların da gözlemlenmiştir. 1999’dan 2002’ye kadar yapılan çoğu çalışma sonucunda en düşük yer altı su seviyesi ortalama 2.62 metre olduğu ve en yüksek yer altı su seviyesinin ise ortalama 0.48 metre olduğu belirtilmektedir [51]. Şekil 4.3’de 2001 ve 2002 yıllarındaki Adapazarının yer altı su seviyelerini gösteren bir harita görülmektedir [48].

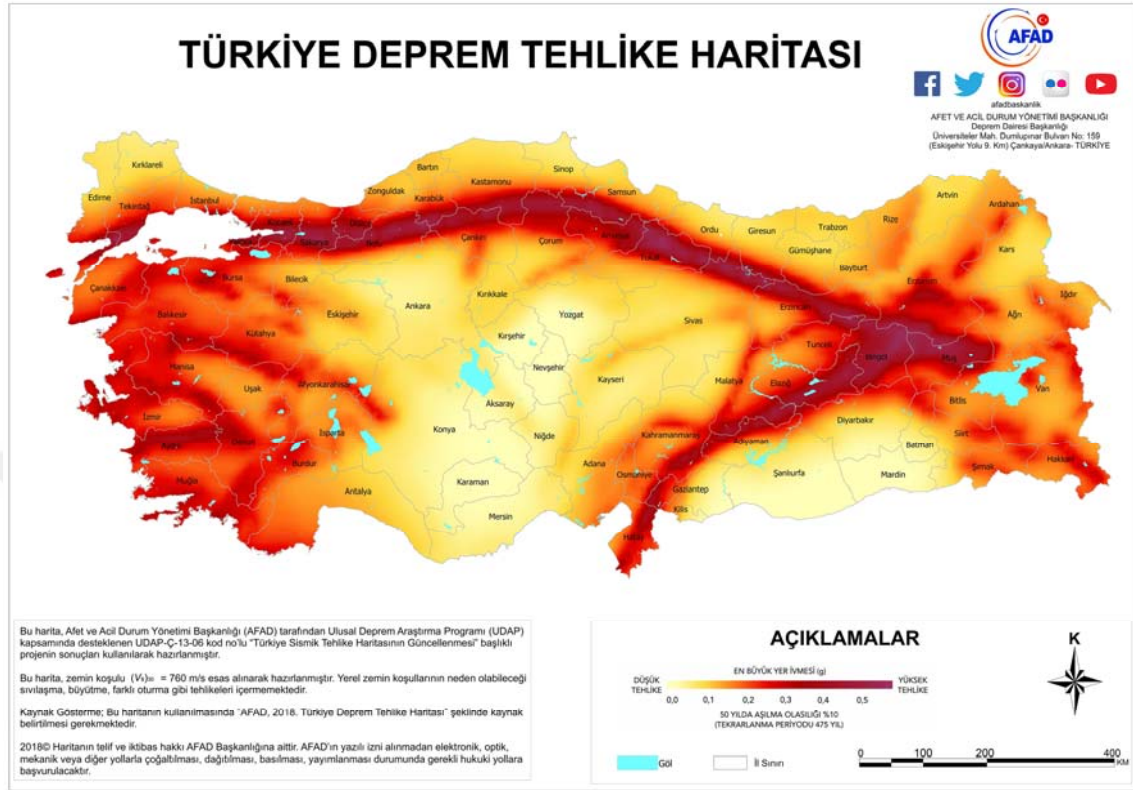


Şekil 4.3: Adapazarı Yer Altı Su Seviyeleri Haritası [48].

4.3. Adapazarı Bölgesinin Deprem Durumu

Dünya'daki en aktif faylardan biri olan Kuzey Anadolu Fay (KAF) Hattında çok fazla deprem meydana gelmiştir. Şekil 4.1'deki Türkiye deprem tehlike haritası görülmektedir [52]. KAF'ın batısında bulunan Marmara bölgesinde bir çok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden son dönemlerde meydana gelen en yıkıcısı 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremidir. Büyüklüğü 7.4 olan 1999 Kocaeli depremi Adapazarı bölgesinden uzakta olmasına rağmen, en yıkıcı etkilerden biri Adapazarı'nda görülmüştür. Bu durum bölgenin jeolojik oluşumunun yeni olmasına ve zeminin yumuşak olmasından dolayı zeminin gelen deprem dalgalarını büyütme etkisi göstermesine bağlı olduğu düşünülmektedir. 1999 Kocaeli depreminde, Adapazarı zemininin yumuşak olması ve alet yetersizliğinden dolayı bölgede sağlıklı ölçüm yapılamamıştır. Yapılan çalışmalar

sonucu tahmin edilen en yüksek ivme 0.3 g olarak belirtilmiştir. Bu değer, bölgede yapılan ve yapılacak çalışmalar için önemlidir [53].



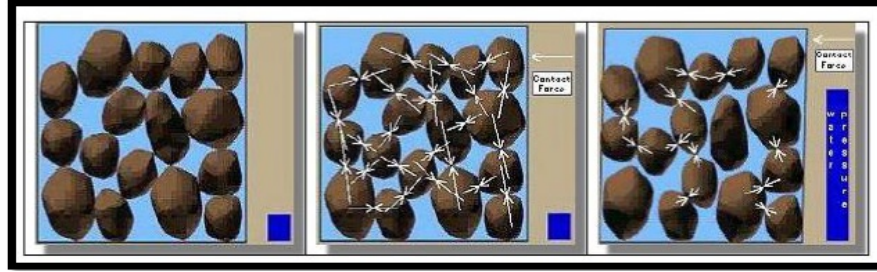
Şekil 4.4: Türkiye Deprem Tehlike Haritası [52].

Adapazarı bölgesinin KAF'a en yakın kısmı 3 km mesafede ve en uzak kısmı 10 km mesafededir. 1999 Kocaeli depremi sonrasında en çok hasarların genç alüvyon zeminler üzerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bölgedeki yüksek kesimler bulunan kaya zeminler de ise hasarın çok az olduğu gözlemlenmiştir [54]. Deprem sonrası zeminden kaynaklanan yıkımların olduğu farklı yerlerde CPT deneyleri yapılarak 4 adet zemin profili oluşturulmuştur. Bu zemin profillerinde 1.5 m alüvyon dolgu, 2.5 m silt – kil ve 9 m sıkı kum olduğu belirlenmiştir. [55]. Deprem sonrasında yapılan incelemeler sonucunda en fazla hasarın plastisitesi düşük veya plastik olmayan zeminlerde meydana geldiği tespit edilmiştir [56].

4.4. Zemin Sıvılaşması

Düşük sıklık oranına sahip gevşek ince daneli kum ve siltlerden oluşan zeminlerin, suya doygun oldukları zaman deprem etkisi altında sıkışan boşluk suyundan dolayı boşluk

suyu basıncıyla zemin gerilmeleri eşitlenebilir ve bu durumun sonucunda zemin daneleri arasındaki kayma direncinin kaybolmasıyla zemin sıvı gibi davranır. Zeminde görülen bu durum sıvılaşma olarak adlandırılır (Şekil 4.5) [57].



Şekil 4.5: Sıvılaşma mekanizması: dinamik kuvvetler altında zemin daneleri ile boşluk suyunun ilişkisi [58].

Dinamik yükler altında zeminde oluşan büyük mukavemet kaybı ilk olarak Hazen (1920) tarafından sıvılaşabilir davranış olarak tanımlanmıştır. Sıvılaşma terimi ise ilk defa Terzaghi (1925) tarafından kullanıldığı görülmektedir. Terzaghi (1925) sıvılaşmanın suya doymun zeminlerin çöme sırasında zemin danelerinin ağırlığının zeminin etrafındaki suya aktarılması sırasında meydana gelebileceğini söylemiştir [59].

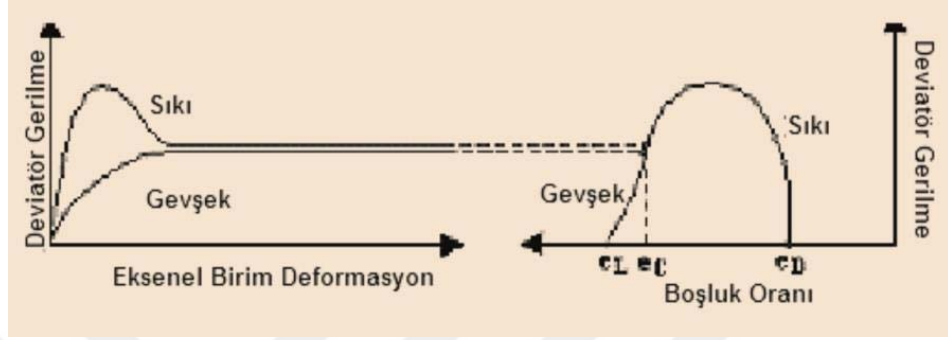
Sıvılaşma davranışını ilk olarak kritik boşluk oranı yaklaşımıyla Casagrande (1936) tarafından açıklanmıştır [46]. Yüksek deformasyonların olduğu anlarda gevşek kumların boşluk oranı azalır, sıkı kumlarda ise boşluk oranı artmaya başlar. Deformasyonların etkisi altında sıkı ve gevşek kumların boşluk oranları aynı değere ulaşabilmektedir. Bu oran kritik boşluk oranı olarak bilinir [60].

Sıvılaşma Youd (1992) tarafından; deprem sırasında, kumlu ve siltli zeminlerde boşluk suyu basıncının zemin gerilmesi ile aynı olması durumunda efektif gerilmenin sıfırlandığı an olarak tanımlanmıştır [61].

1964'de Niigata ve Alaska'daki depremler, sıvılaşmanın deprem mühendisliği için önemini ortaya koymuştur. Bu depremlerden sonra sıvılaşma üzerine daha fazla çalışmalar ve araştırmalar yapılmaya başlanmıştır [62].

Seed ve Lee 1966'da yaptıkları bir çalışmada dinamik yükleme koşulunda doymun kumların tepkilerini, gerilme-birim deformasyon ilişkileri ile incelemiştir. Bu çalışmada boşluk oranı, çevre basıncı ve birim deformasyon gibi parametreler ile sıvılaşmanın ilişkisi incelenmiştir [63].

Bir zeminin sıvılaşmaya karşı direncini, o zemini oluşturan dane boyutlarına ve zemin türüne bağlıdır. Yüklemeden önce çok gevşek olan zeminler, yükleme sırasında sıkılaşmaya başladığı, sıkı olan zeminler ise genişlemeye gevşemeye başladığı tespit edilmiştir. Buradan Şekil 4.6’de verilen kritik boşluk oranı (e_c) gözlemlenmiştir [64].



Şekil 4.6: Gevşek ve sıkı kumların aynı efektif çevre basıncı altındaki birim şekil değiştirme davranışı [64].

Sıvılaşma, zeminin bir sıvı gibi davranışında bulunması olarak düşünülebilir. Sıvılaşma analizleri için birçok yöntem geliştirilmiştir. Fakat bu yöntemlerin uygulanma koşulları, güvenlik durumları farklılıklar göstermektedir. Sıvılaşmayı etkileyen faktörler genel olarak; zemin özellikleri, jeolojik durum ve yer hareketleri olarak görülür. Daha ayrıntıya girildiğinde ise sıvılaşmayı etkileyen faktörler; deprem hızı ve ivmesi, depremin büyüklüğü, yer altı su seviyesi, zeminin su muhtevası, zeminin dane çapı, relatif sıkılığı, likit limiti ve zeminin drenaj koşullarıdır.

BÖLÜM 5. FLAC PROGRAMINA GENEL BAKIŞ

Bu bölümde yapılan çalışmanın analizlerinde kullanılan FLAC programı hakkında genel bir bilgi verilecektir. FLAC programı geoteknik çalışmalarında kullanılan bir nümerik analiz programıdır. Literatürdeki birçok çalışmada kullanılmıştır. Diğer nümerik analiz yapan programlardan farkı sonlu farklar yöntemi ile Lagrangian analizi yapmasıdır.

5.1. FLAC Programı Hakkında Genel Bilgi

FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) zemin, kaya ve kiriş, ankraj ve temel gibi yapı elemanlarının modellenenebildiği, sonlu farklar yöntemi ile çalışan, Lagrangian analizi yapan bir nümerik modelleme ve analiz programıdır. Çoğunlukla geoteknik ve maden mühendisliğinde kullanılmaktadır. FLAC üzerinden doğrusal (linear) ve doğrusal olmayan (non-linear) model analizleri yapılabilmektedir. FLAC programının sahip olduğu sonlu farklar kodları, programın aşamalı bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Yani FLAC programı üzerinden oluşturulacak modelde veri girişleri yapım-imalat sırasına göre girilmekte ve bu durumu analizlere yansıtmaktadır.

FLAC programı üzerinde birkaç farklı analiz modu bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şöyledir;

1. Statik Analiz
2. Dinamik Analiz
3. B.S.B. Sönüm Analizi (Flow Analysis)
4. Termal Analiz
5. Kullanıcı Tarafından Kurulmuş Mod Analizi

FLAC programı arayüzünden yapılacak analizlerin analiz süresini kullanıcıya belirleme imkânı sunmaktadır. Bu sayede araştırmacının analizlerini yaparken daha etkili çalışmasına olanak sağlamaktadır. Statik analizlerde bir analiz süresi belirtilmediği sürece FLAC programı analizi model statik dengeye ulaşınca kadar devam ettirmektedir.

Dinamik analizlerde ise bir analiz süresi konulmasına ihtiyaç duymaktadır. Bu sayede dinamik etkinin örneğin bir deprem etkisinin ne kadar süre modele etkiyeceği belirlenmektedir. Ve modele girilen deprem ivmesini o süre boyunca etki ettirmektedir. Bu özellik sayesinde kullanıcıya, bir deprem ivmesinin deprem süresince enerjinin yüksek olduğu sürede analiz imkânı sunmaktadır. Veya tekrarlı bir deprem etkisini modele uygulamasına imkân vermektedir.

FLAC programı içerdiği statik analiz modu ile kullanıcıya genel statik denge modellerini analiz etmesine olanak vermektedir. Bu sayede kullanıcı statik durumda modelde oluşacak deplasmanlar, boşluk suyu basınçları, kayma gerilmeleri, stresler vb. gibi verileri analiz edebilmektedir. Dinamik analiz modu ile de dinamik etki altında modelde oluşacak deplasmanlar, boşluk suyu basınçları, kayma gerilmeleri, stresler vb. gibi verileri analiz edebilmektedir. Ayrıca dinamik analizler ile sınırlama potansiyeli olan zeminlerde meydana gelecek sınırlama problemlerinde analiz edilebilmektedir. Sönüm analizleri ile BSB'nin sönümlenmesi sonucunda modelde oluşacak deplasmanlar, boşluk suyu basınçları, kayma gerilmeleri, gerilmeler vb. gibi verileri analiz edilebilmektedir.

FLAC programı kullanıcıya veri giriş ve analizlerde kullanılacak modelleri kendi oluşturma imkânı sunmaktadır. FLAC programı kendi kütüphanesinde bulunan bazı hazır modelleri de kullanıcıya sunmuştur. Bu hazır modellere bazı örnekler şunlardır:

- Null Model: Null model kazı, boru veya tünel gibi model içinde bulunabilecek bazı boş hacimlerin tanımlanması için kullanılan bir modeldir. Bu model sayesinde FLAC ile kurulacak bir modelde kazı işleri aşamalı bir şekilde modellenebilmektedir.
- Elastik Model: Genel olarak doğrusal (linear) analizlerde kullanılan bir modeldir. Kurulan modelde, analizler sırasında malzemelerin elastik bir davranışta bulunmasını belirlemektedir.
- Mohr-Coulomb Model: Malzemelerin yapılacak analizlerde plastik davranışta bulunmasına olanak sağlamaktadır. Daha çok kaya ve zemin mekaniği problemlerinin analizlerinde kaya ve zeminin modellenmesi için kullanılmaktadır. Bu model ile modellenen granüler malzemeler, zeminler, kaya ve beton analizlerde kesme kuvvetleri karşısında yenilme davranışı göstermesine olanak sağlamaktadır.

- Drucker-Prager Model: Bu model, düşük içsel sürtünme açısına sahip yumuşak killerin modellenmesinde için önerilen bir modeldir. Yumuşak killerin davranışlarını daha gerçekçi olarak modele yansıtmaktadır.
- Strain-hardening/softening Model: Doğrusal olmayan (non-linear) analizlerde modellenen malzemeye sertleşme ve yumuşama davranışında bulunmasına olanak sağlamaktadır. Mohr-Coulomb model'e yakın bir mantık ile çalışmaktadır.
- Finn ve Byrne Model: Bu model B.S.B'nin etkisiyle zeminlerde meydana gelebilecek sıvılaşmanın analizi için geliştirilmiş bir modeldir. Sıvılaşma problemlerinin zeminde oluşturacağı etkileri analiz etmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan bir model olduğu için daha çalışmanın devamında daha ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

5.2. Finn ve Byrne Model

Her ne kadar çoğu insan bir yük döngüsü altında BSB'nin zemine karşı birincil etki yaptığını düşünse de, BSB zeminde ikincil bir etki yapmaktadır. Birincil etki dane matrislerinin kalıcı hacim daralmasıdır. Sabit bir gerilme döngüsü altında olan bir malzemenin daneleri yeniden bir düzene girene kadar boşluk hacminde azalma göstermektedir. Eğer malzemenin daneleri arasındaki boşluklar bir sıvı ile dolu ise sıvının basıncı artar ve efektif gerilmede azalmalar görülür. Sabit gerilmeden bağımsız olarak, kalıcı hacim zorlanması ve kayma gerilmesi genliği arasındaki ilişkiyi incelemiş olan Martin ve diğ. (1975) tarafından güzelce açıklanmıştır. Yapmış oldukları bu çalışma ile hacim azalmasıdaki artış $\Delta\epsilon_{vd}$ ve kayma gerilmesi genliği γ ile bağlantılı deneysel bir formül sağlamışlardır [Martin ve diğ. 1975]:

$$\Delta\epsilon_{vd} = C_1(\gamma - C_2 \epsilon_{vd}) + C_3 \frac{\epsilon_{vd}^2}{\gamma} + C_4 \epsilon_{vd} \quad (5.1)$$

Burada; C_1 , C_2 , C_3 , ve C_4 sabit katsayılarıdır. Bu katsayıların elde edilebilmesi için Martin ve diğ. (1975), drene edilmiş üç eksenli yükleme testi ile belirlenebileceğini belirtmiştir. Buna alternatif olarak ise modelde tahmini değerler kullanılarak FLAC ile yapılacak drenajsız üç eksenli deney ile laboratuvarında yapılacak drenajsız üç eksenli deney sonuçları karşılaştırılarak da katsayılar elde edilebileceğini belirtmiştir.

Martin ve diğ. (1975) sınır koşullarını ve modülleri belirli kabul ederek, BSB’ındaki değişimleri hesaplamıştır. FLAC programında ise kalıcı hacim değişimini doğru bir şekilde hesaplama sağlandığı zaman, FLAC programı diğer etkenleri kendi hesaplamaktadır. Martin ve diğ. (1975)’in çalışmalarına alternatif olarak daha basit bir formül Byrne (1991) tarafından önerilmiştir:

$$\frac{\Delta\epsilon_{vd}}{\gamma} = C_1 \exp(-C_2 \left(\frac{\epsilon_{vd}}{\gamma}\right)) \quad (5.2)$$

Burada; C_1 ve C_2 formül (5.1)’den farklı yorumlanan birer sabit katsayıdır. Çoğu durumda $C_2=0.4/C_1$, bu yüzden formül (5.2) bir bağımsız sabit içerir. Buradaki C_1 sabitinin belirlenebilmesi için Byrne (1991) relatif sıkılık oranının (D_r) kullanılabileceğini belirtmiştir. Ve şu bağıntı önermiştir:

$$C_1=7600(D_r)^{-2.5} \quad (5.3)$$

Burdan da D_r ile SPTN değeri arasındaki amprik ilişkiyi veren bağıntı; kullanılarak;

$$D_r=15(N_1)_{60}^{-1.25} \quad (5.4)$$

kullanılarak şu bağıntı elde edilmektedir:

$$C_1=8.7(N_1)_{60}^{-1.25} \quad (5.5)$$

C_2 sabit katsayısı ise $C_2=0.4/C_1$ bağıntısı kullanılarak elde edilebileceği Byrne (1991) tarafından belirtilmiştir.

FLAC programı “Finn Model” olarak hazır kurulmuş model içermektedir. Finn model Mohr-Coulomb model teorisine göre çalışmaktadır. FLAC programında bulunan bu model içerisinde Martin et al (1975) ve Byrne (1991) tarafından önerilmiş olan her iki formülde yer almaktadır. FLAC programı kullanıcıya “ff_switch=0 veya 1” komutu ile bu formüller arasında geçiş yapmasını sağlamaktadır. Bu komutdaki “0” seçeneği Martin ve diğ. (1975) tarafından önerilen formülü kullandırmaktadır ve “1” seçeneği Byrne (1991) tarafından önerilen formülü kullandırmaktadır. Finn model içerisinde sıvılaşmayı incelemek için temel bir mekanizma içermektedir.

BÖLÜM 6. MATERYAL VE YÖNTEM

6.1. Numerik Model

Mühendislik çalışmaları yapılırken kullanılacak birçok yöntem vardır. Arazi araştırmaları ile tam ölçekli laboratuvar deneyleri maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı her zaman uygulanamamaktadır. Bunlara alternatif olarak geliştirilen numerik çözümler bilgisayar ortamında numerik modelleme yapılarak arazi modellenir ve çalışmalar daha ekonomik olarak gerçekleştirilebilir bir şekilde yapılabilmektedir. Bu çalışmada Adapazarı bölgesinde bulunan bir yapının altına yapılmış taş kolon uygulaması incelenmiştir. Arazide deney yapmak maliyetli ve mümkün olmadığı için çalışma numerik model üzerinde yapılmıştır.

Nümerik modelleme ve analizler, sonlu farklar yöntemini kullanan Itasca'nın FLAC 2D ticari programı ile yapılmıştır. FLAC, zemin ve kaya mekaniği problemlerini çözmek için oluşturulmuş, lagrange hesaplama yöntemini kullanan, Itasca'nın oluşturmuş olduğu ticari bir zemin programıdır. FLAC programında modellenen bir zemin problemi, daha hassas analizler ile çözülebilmektedir. Modellenen bir zemin; yenilme, akma ve şekil değiştirme davranışlarını gösterebilmektedir. Lagrange hesaplama yöntemi sayesinde zemin ve/veya modellenmiş olan malzeme hassas bir şekilde plastik davranış gösterebilmektedir. FLAC ile doğrusal veya doğrusal olmayan birçok farklı davranış modeli modellenebilmektedir.

FLAC programı ile statik, dinamik ve sönüm modelleri oluşturulabilmektedir. Yapısal elemanlarda FLAC üzerinden modellenebilmekte ve yapı zemin ilişkisi incelenebilmektedir. Ayrıca dinamik model içerisinde sınırlama problemlerine yönelik analizler de FLAC üzerinden yapılabilmektedir. FLAC içerisinde bulunan dinamik analiz içerisindeki Finn model seçeneği ile sınırlama analizleri yapılabilmektedir.

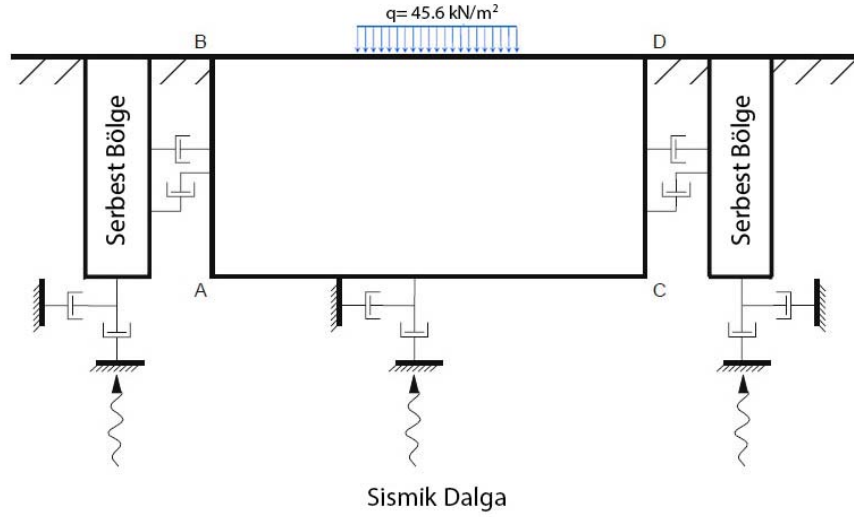
6.1.1. Numerik model boyutları

Nümerik analizler yapılırken önemli etkenlerden biri model boyutlandırmasıdır. Modelin boyutları yapılan analizlerin gerçeklik oranını değiştirmektedir. Küçük boyutlara sahip modeller ile yapılan analizlerde sınır koşullarında dalga yansımaları meydana gelmektedir. Büyük boyuta sahip modeller ile yapılan analizler ise uzun süreler almakta ve araştırmacıyı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu konuda FLAC 2D programı ile Vural (2012) tarafından yapılan boyutlandırma çalışmaları incelenmiştir. Bu çalışmada literatürde bulunan, aynı zemin koşullarında yapılmış boyutlandırma çalışmaları sonucunda belirlenmiş ideal bir zemin boyutu olan 30 m – 30 m model boyutları kullanılmıştır [65].

6.1.2. Numerik model sınır şartları

Sınır şartları bir numeric modeli doğrudan etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Numerik analizler ile çözülecek bir problem için sınır şartlarını tanımlamak gerekir. Numerik analizlerde sınır şartlarından dolayı dalga yansımaları görülebilmektedir. Bu dalga yansımalarını önlemek için model boyutu büyük tutulabilir. Fakat model boyutunun büyümesi analiz sürelerini çok fazla uzatmaktadır. FLAC programı içerisinde dalga yansımalarını sönmölemek için oluşturulmuş sönmöleyici sınır şartları bulunmaktadır. Bunun yanında FLAC 2D ile yapılacak kayma dinamik analizlerde model kurulurken yeterli mesafe bırakıldığında serbest alan (Free-Field) sınır şartı tanımlanarak dalga yansımaları engellenebileceği belirtilmektedir [66].

Serbest alan (Free-Field) sınır koşullarının çalışma prensibi Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Bu çalışma için kurulan numerik modelin dinamik analizlerinde serbest alan (Free-Field) sınır şartı kullanılmıştır.



Şekil 6.1: Serbest alan sınır şartının çalışma prensibi [66].

Serbest alan (free-field) sınır şartlarının prensibi; modellenmiş olan zeminin sınırlı bölgesini viskoz sönümleyiciler ile zeminin sınırsızlığını temsil edecek serbest alana sürekli birşekilde bağlanmasıdır. Serbest alanı sınırlandırılmış bölgeye bağlayan viskoz sönümleyiciler x ve y doğrultusunda yerleştirilmiştir. Serbest alandan sınırlandırılmış bölgeye doğru dengelenmemiş kuvvet uygulanmaktadır. Bu kuvvet formülleri şöyledir:

$$F_x = [\rho C_p (v_x^m - v_x^{ff}) - \sigma_{xx}^{ff}] \Delta S_y \quad (6.1)$$

$$F_y = -[\rho C_s (v_y^m - v_y^{ff}) - \sigma_{xy}^{ff}] \Delta S_y \quad (6.2)$$

burada;

ρ : Zemin yoğunluğu

C_p : P – dalga hızı

C_s : S – dalga hızı

ΔS_y : Dikey alan boyutu

v_{xm} : sınırlandırılmış bölgedeki x hızı

v_{ym} : sınırlandırılmış bölgedeki y hızı

v_{xff} : serbest alandaki x hızı

v_{yff} : serbest alandaki y hızı

σ_{xx}^{ff} : serbest alandaki gerilme

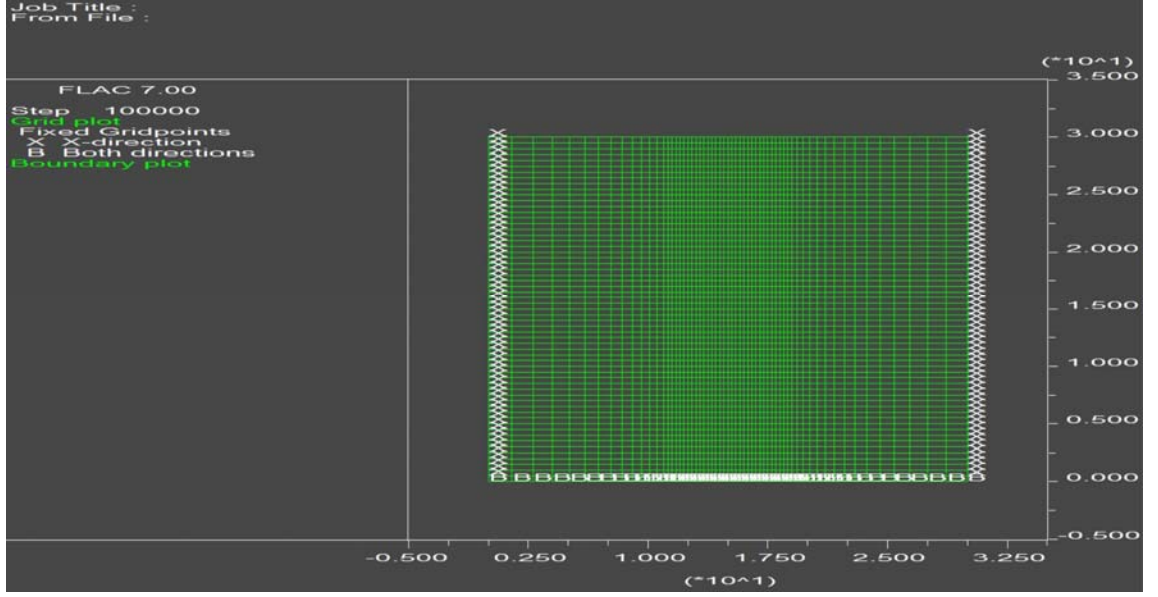
σ_{xy}^{ff} : serbest alandaki kayma gerilmesi

bu durumda zeminde yayılacak olan düzlem dalgaları herhangi bir bozulmaya uğramaz çünkü serbest alan sonsuz bir modeldeki sınır koşullarıyla aynı sınır koşullarının meydana gelmesini sağlamaktadır. Sınırlandırılmış alan uniform ve yüzeyde bir yapı yükü bulunmuyor ise serbest alan (free-field) ile sınırlandırılmış alan aynı hareketi gerçekleştirmektedir. Bu durumda viskoz sönümleyiciler çalışmamaktadır. Bunun dışındaki durumlarda ise viskoz sönümleyiciler yansımaları sönümlenmektedir[66]. Serbest alan (free-field) sınır koşulları literatürde yapılan bazı çalışmalar ile doğrulanmıştır [65].

6.1.3. Nümerik model örgü ağı (mesh) aralıkları

Nümerik analizlerde örgü aralıklarının önemli bir yeri vardır. Örgü (mesh) aralıkları nümerik modelde zemin özelliklerinin tanımlanmasında ve analiz sonuçlarının incelenmesinde rol oynar. Örgü (mesh) aralıklarının sıklığı analiz sonuçlarının hassaslığını etkilemektedir. Fakat örgü (mesh) aralıklarının sıklığı nümerik analiz sürelerini uzatmaktadır. Böyle durumlarda araştırmacılar kurdukları nümerik modelde incelemek istedikleri etkilerin yoğun olduğu bölgedeki örgü (mesh) aralıklarını sıklaştırarak daha kısa sürede hassas analizler yapabilmektedir.

Bu çalışmada analiz sürelerini kısa tutmak ve daha hassas analiz sonuçları elde etmek için örgü (mesh) aralıkları yapı altında ve yapı altı dışında farklı modellenmiştir. Kullanılan örgü (mesh) aralıkları gerilmelerin yoğun olacağı düşünülen yapı altında 25 cm olarak belirlenmiştir. Yapı altı dışında kalan alanda ise yapıdan uzaklaştıkça %10 büyüyen örgü (mesh) aralığı kullanılmıştır. Bu çalışmada kurulmuş olan nümerik modelde kullanılan örgü (mesh) aralıkları Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2: Nümerik analizlerde kullanılan örgü ağı (mesh) aralıklarının FLAC 2D programındaki görünümü.

6.1.4. Nümerik modelde yapım aşaması

Nümerik analizlerde model kurulurken yapım aşaması önem taşımaktadır. Nümerik analizlerde doğru analizler yapabilmek için analiz programına model verileri yapım aşamasına göre girilmesi gerekir. Bu çalışmada nümerik model oluşturulurken boyutlandırma ve örgü (mesh) aralıkları belirlendikten sonra zemin tabakaları modellenmiştir. Zemin tabakalarından sonra yer altı su seviyesi modele girilmiştir. Daha sonra yapı düzgün yayılı bir yük olarak modele tanımlanmıştır. Zemin ve yapı modellendikten sonra doğal ortamdaki koşulları sağlayabilmek için modelde meydana gelecek deplasmanlar sıfırlanmıştır. Taş kolonlar ise deplasmanların sıfırlanmasından sonra modellenmiştir. Taş kolonların modellenmesinden sonra modele dinamik etki verilmiş ve sıvılaşma analizi yapılmıştır. Dinamik analiz süresi boyunca belirlenen inceleme noktalarından veri kayıtları alınmıştır.

6.2. Nümerik Model Özellikleri

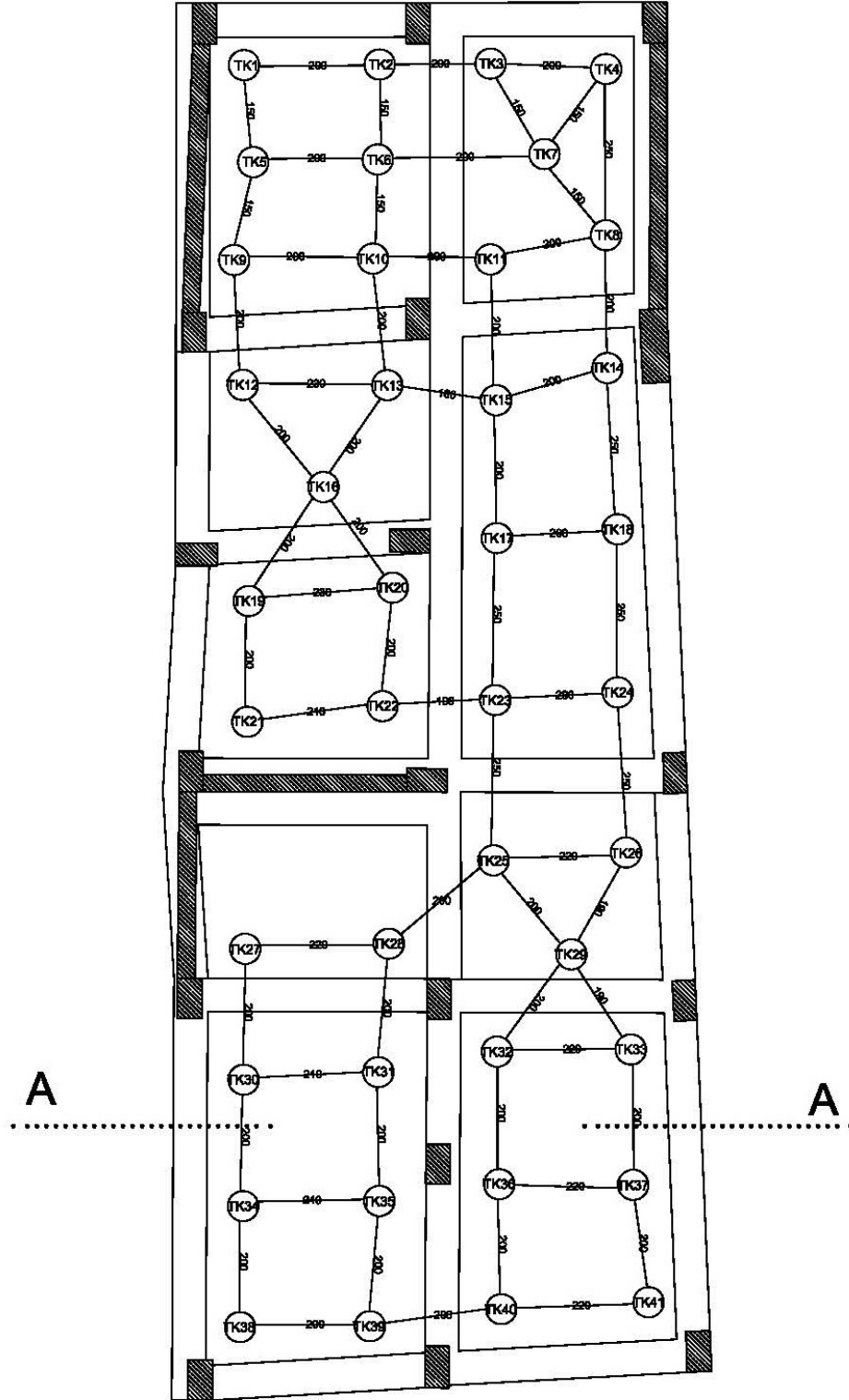
Bu çalışmada Adapazarı bölgesinin Tığcılar mahallesinde bulunan 1999 Marmara depremi sonrasında 2001 yılında zeminine taş kolon ile iyileştirilme yapılmış olan bir yapının zemini ve yapılmış olan taş kolonlar incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan veriler Adapazarı belediyesinden alınan zemin etüdü, zemin iyileştirme projesi ve üst yapı projesinden temin edilmiştir.

6.2.1. Yapı ve taş kolon özellikleri

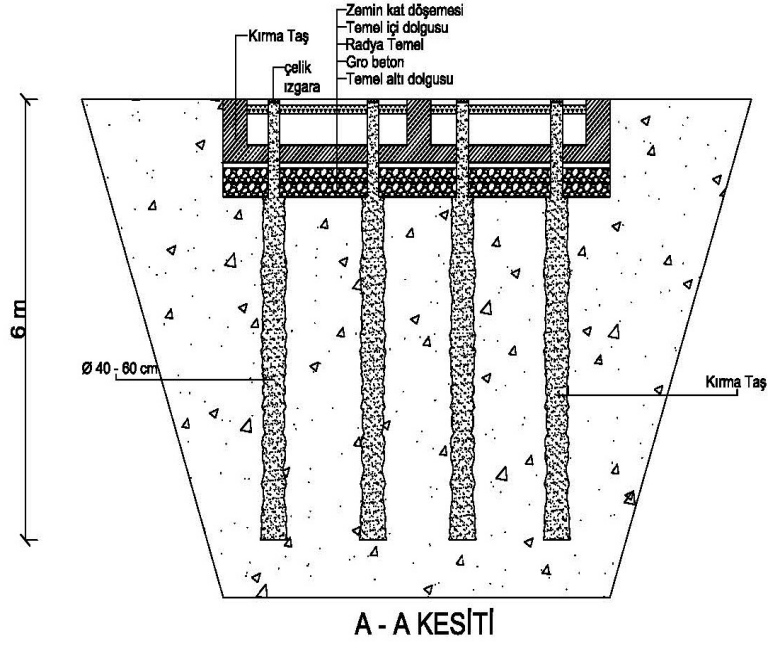
Adapazarı bölgesi, Tığcılar mahallesinde bulunan bu yapı; dükkan + 4 kattır. Yapının bulunduğu arsa tapu kayıtlarında 388 m² olarak gözükmektedir. Yapının arsa üzerine oturma alanı üst yapı projesinde 380 m² olarak gözükmektedir. Merkezi bir konumda bulunan bu yapı iş merkezi olarak kullanılmaktadır. Yapının 231 m²'lik kısmı tek katlıdır ve arka bahçe tarafında kalmaktadır. 149 m²'lik kısmı ise dükkan + 4 kattır. Yapının yan ve arka cephesi bitişik nizamdır [67].

Yapı 1999 Marmara depremi sonrasında orta hasarlı olarak tespit edilmiştir. Deprem sonrası binada yan yatma, burkulma gibi davranışlar tespit edilmemiş fakat oturmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yapılan sondajlar sonrasında yapı altında bulunan zemin içerisinde sıvılaşabilir bir zemin tabakasının bulunduğu tespit edilmiş ve zemin iyileştirmesi ve yapı güçlendirilmesi önerilmiştir. Yapılan bu incelemeler doğrultusunda zemindeki sıvılaşma riskini kaldırmak için taş kolon uygulaması yapılmıştır [67].

Yapının altına uygulanmak istenilen taş kolonlar kare dizilim ile 50 cm çapında, 2-2.5 m aralıklar ile yerleştirilecek şekilde projelendirilmiştir [67]. Yapının temel planı üzerinde verilmiş olan taş kolon projesi ve kesiti Şekil 6.3 ve Şekil 6.4' de görülmektedir.



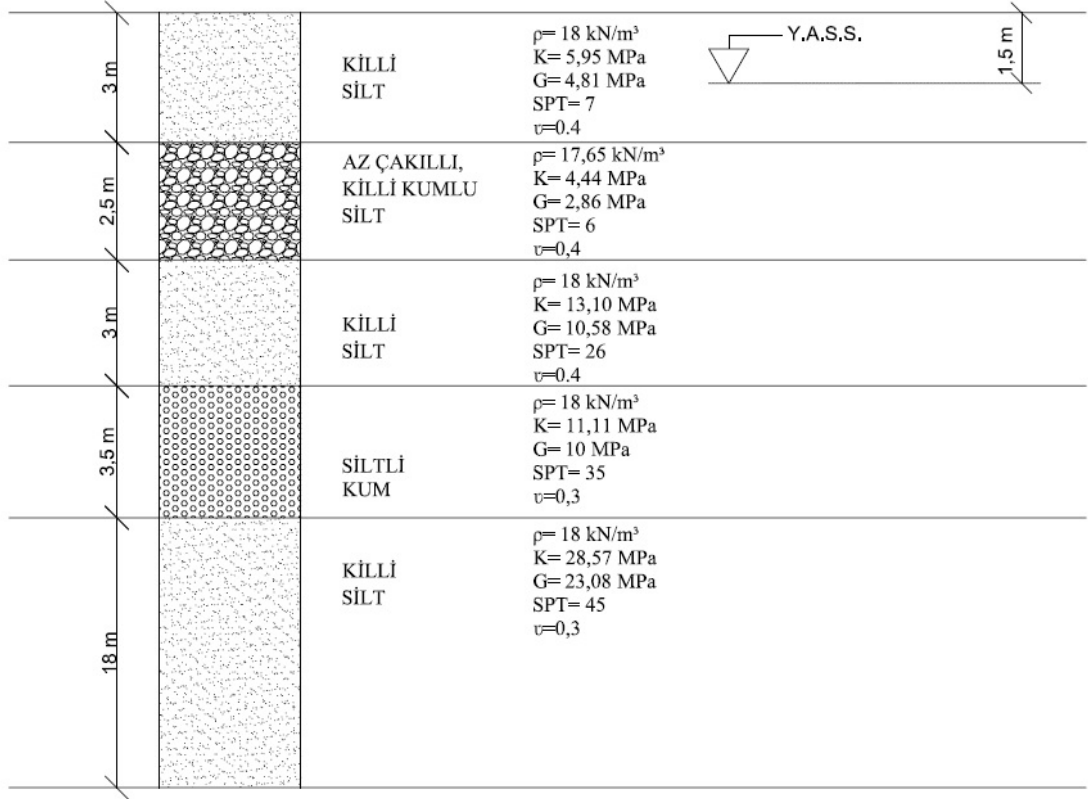
Şekil 6.3: İncelenen vakadaki yapının temel planı ve taş kolonların dizilimi [67].



Şekil 6.4: İncelenen vakadaki taş kolonların ve yapı temelinin temsili kesiti.

6.2.2. Zemin özellikleri

Yapı altındaki zemin hakkında bilgiler, Adapazarı belediyesi arşivinden alınan zemin etüt raporundan elde edilmiştir. Zemin etüd raporundan alınan bilgiler doğrultusunda sadeleştirilmiş zemin profile çıkarılmıştır ve bu zemin profili Şekil 6.5’de verilmiştir. Zemin özellikleri incelendiğinde ilk 6 m de sıvılaşma potansiyeli olan siltli bir zemin tabakasının olduğu görülmektedir. Zemin etüt raporunda temel zemininin emniyet gerilmesi 75 kPa olarak verilmiştir. Yine zemin etüt verilerine göre ilk 6 metredeki zemin tabakalarının SPTN darbe sayıları düşüktür. Buna istinaden zemin etüt raporunda zeminin ilk 6 metrelik kısmında sıvılaşma riski bulunduğu belirtilmiştir [67,68].



Şekil 6.5: Taş kolon ile zemin iyileştirilmesi uygulanan zemin profili.

Bazı zemin parametreleri hesaplanırken aşağıdaki formüller kullanılmıştır:

$$G = \rho \cdot C_s^2 \quad (6.3)$$

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} \quad (6.4)$$

$$K = \frac{E}{3 \times (1 - 2\nu)} \quad (6.5)$$

Burada;

G : Kayma modülü

C_s: Kayma dalga hızı

E : Elastisite modülü

K : Bulk modülü

V : Poisson oranı

Yer altı su seviyesinin 1.5 m de bulunduğu zemin etüt raporunda verilmiştir. Bu bilgiler ışığında sıvılaşma potansiyeli bulunan zeminin ilk 6 metrede olmasından ve yer altı su

seviyesinin de 1.5 metrede bulunmasından dolayı zeminin ilk 6 metresinde zemin iyileştirmesine ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiştir [67].

Zemin etüt raporunda verilen zemin eminiyet gerilmesinin yapıdan gelen yükleri karşılayacak büyüklüktedir ve zeminde herhangi bir taşıma gücü probleminin olmadığı görülmektedir. Yapılacak zemin iyileştirmesi sadece sıvılaşmayı önlemek amaçlı yapılmasının yeterli olacağı düşünülmektedir [68].

6.3. Yerinde Taş Kolon İmalatı

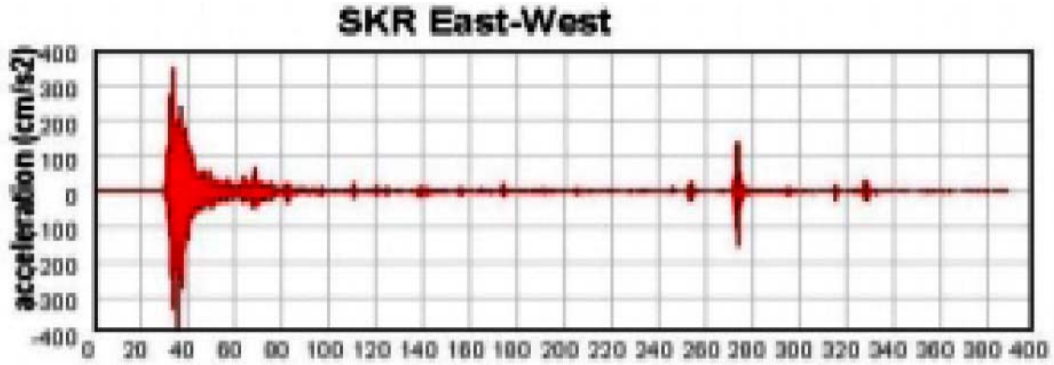
Taş kolon imalatları birçok farklı yöntemle yapılabilmektedir. Taş kolon imalatları hakkında yukarıda bilgi verilmiştir. Taş kolonların imalatı sırasında karşılaşılan bazı sıkıntılardan dolayı taş kolon imalat yöntemleri modifikasyonlara uğratılmaktadır. Bu çalışmada da taş kolon imalatları yapı içinden yapılacağı için modifiye edilmiş kuru alt beslemeli yöntem ile yapılmıştır [67].

Bu çalışmada incelenen taş kolon imalatında; paletli, 1.80 – 2.50 m boylarında, bom yüksekliği 2.10 m olan, bir auger makine kullanılmıştır. Planlanan taş kolon boyu 6 metre olduğu için, auger ile 6 metre derinliğe kadar bir kuyu açılmıştır. Bu kuyu açılırken yapının zemin kat yüksekliği yeterli olmadığı için 2.10 metrelik bonlar birbirine eklenerek 6 metre derinliğe ulaştırılmıştır. Açılan kuyulara 0.5 – 4 cm çaplarında çakıl ters auger uygulanarak doldurulmuştur. Taş kolonların oluşması için belirli miktar çakıl ters auger yöntemiyle kuyuya doldurulduktan sonra hidrolik baskı ve ters auger yöntemiyle doldurulan çakıllar kademeler halinde sıkıştırılmıştır. Taş kolon tamamlandıktan sonra taş kolonun en üst kısmına demir ızgara yerleştirilmiştir. Bu ızgaranın yerleştirilme sebebi ise, taş kolonun aynı zamanda bir dren etkisi gösterip yer altı su basınçlarının önüne geçecek olmasıdır [67].

6.4. Nümerik Model Analizleri Yapılırken Kullanılan Deprem Kaydı Özellikleri

Bu çalışmada yapılan dinamik analizlerde 17.08.1999 Marmara Depremine ait ivme kaydı kullanılmıştır. Deprem ivme kaydı Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi tarafından Sakarya İstasyonunda (SKR) kaydedilmiş olan verilerdir. 1999 Marmara depremi; İzmit'in güney doğusunda meydana gelen bir depremdir. Sismik kayıtlarda depremin büyüklüğü M_w : 7.4 olarak geçmektedir. Yüzeyde oluşan dalga boyu M_s :7.8

olarak hesaplanmıştır. Yapılan incelemeler ile depremin odak noktasının yerin 15 km altında olduğu ve yanal atılımının 120 km olduğu belirtilmiştir [69]. 47 saniye sürmüş olan depremin maksimum ivmesi 0.41 g'dir. Literatürde yapılan çalışmalarda deprem sırasında %90'lık enerji boşalımının ilk 20.9 saniye içerisinde gerçekleştiği tespit edilmiştir [65]. Deprem ivme kaydı Şekil 6.6'de görülmektedir.



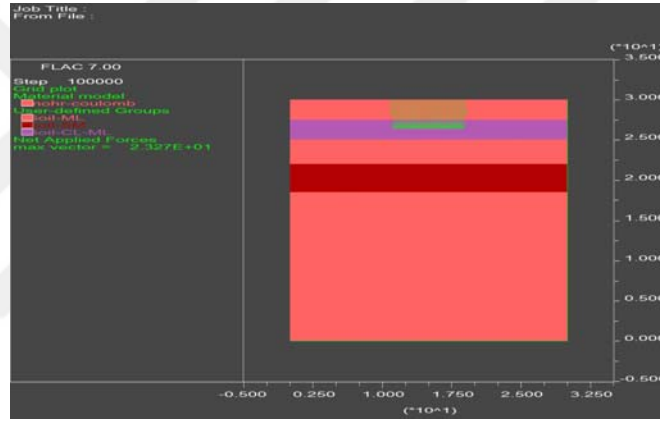
Şekil 6.6: Kocaeli Depreminde elde edilen Sakarya E-W sicili ile ilgili ivme izleri [69].

6.5. Nümerik Modelde Kullanılan Sönüm Oranı ve Malzeme Özellikleri

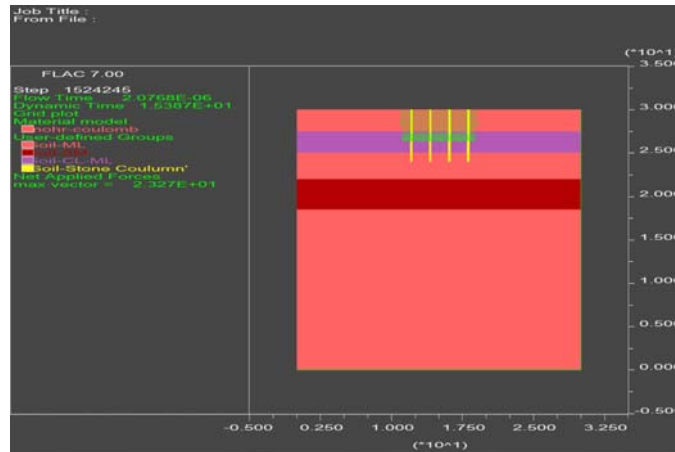
Bu çalışmada, sönüm oranı olarak FLAC 2D sonlu farklar programının kendi içerisinde yer alan Rayleigh sönüm oranı kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmadaki zemin özellikleri statik analizlerde ve sönüm analizlerinde Mohr-Coulomb yenilme kriterine göre ve dinamik analizlerde ise sıvılaşma analizleri için Byrne tarafından geliştirilmiş olan Finn model kullanılarak modellenmiştir.

BÖLÜM 7. ANALİZLER VE SONUÇLARI

Bu bölümde taş kolonsuz ve taş kolonlu olarak yapılan numerik analizlere yer verilmiştir. Bu çalışmada numerik model; taş kolonsuz ve taş kolonlu, yapı yükü ve birden fazla tabakalı zemin şeklinde kurulmuştur (Şekil 7.1). Malzeme özellikleri, yükler girildikten sonra bu numerik model statik, dinamik ve yeraltı suyu sönümlenmesi analizleri yapılmıştır.



a)



b)

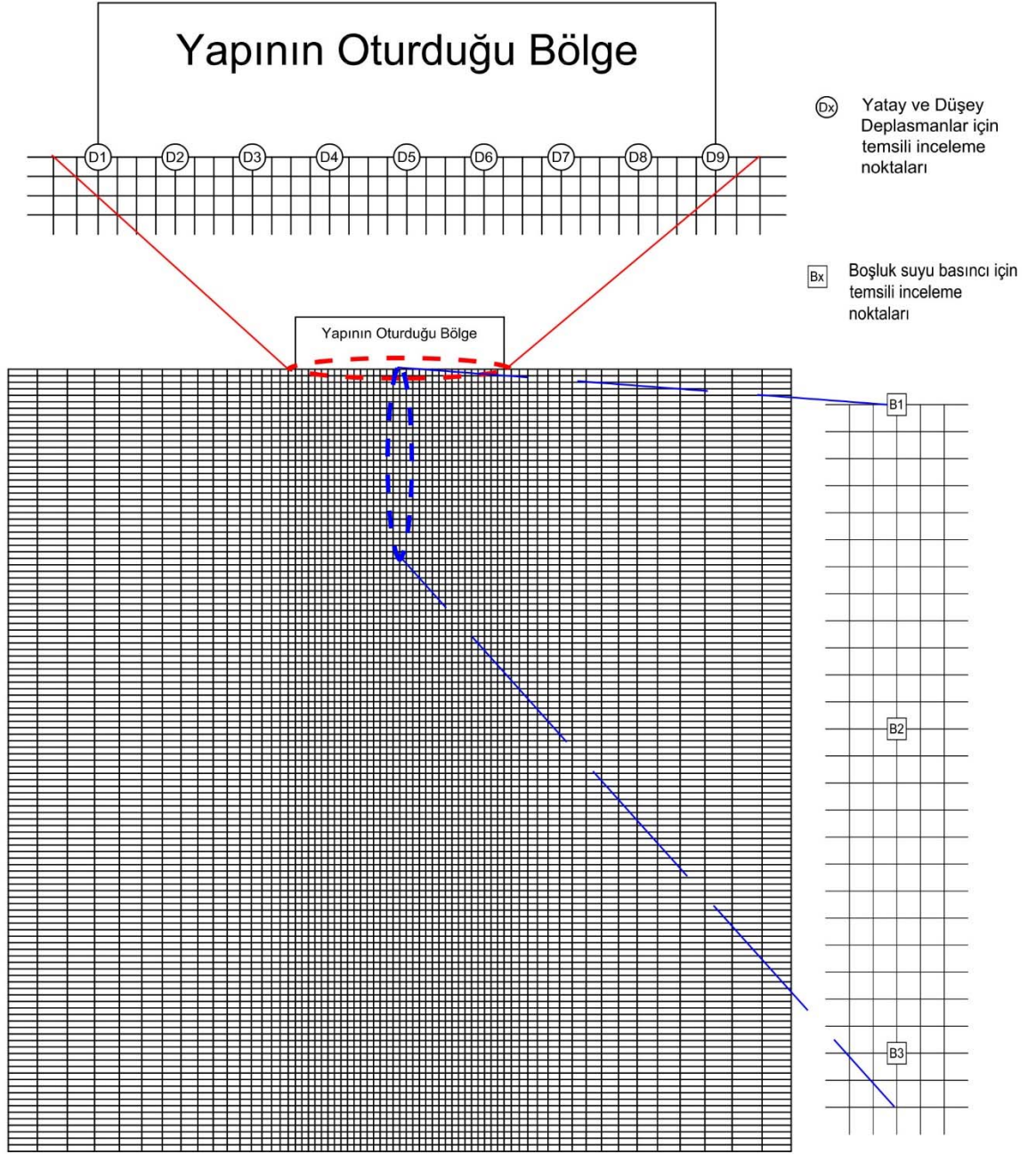
Şekil 7.1: a) FLAC 2D programı ile modellenen taş kolonsuz model. b) FLAC 2D programı ile modellenen taş kolonlu model.

FLAC 2D ile yapılan numerik analiz çalışmalarında birimler kilo Newton (kN) ve metre (m) cinsinden kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında bu birimler üzerinden değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarının birimleri Tablo 7.1 de verilmiştir. Şekil 7.2’de FLAC 2D ile kurulan numerik model ve numerik modelin örgü (mesh) aralıklarını gösteren bir görüntü verilmiştir.

Tablo 7.1 Analiz sonuçlarına ait birimler

Parametre	Birimi
Birim hacim ağırlık	kN/m ³
Yerdeğiştirme	m
İvme	m/sn ²
Gerilme	kN/m ²
Kuvvet	kN
Moment	kNm
Alan	m ²

Bu çalışmada on farklı numerik model üzerinde analizler yapılmıştır. Bu numerik modellerin bir tanesi iyileştirilmemiş zeminin davranışını incelemek için taş kolonsuz olarak modellenmiştir. Geri kalan dokuz model taş kolonlu olarak modellenmiştir. Modeller de taş kolon çapları ve boyutları farklılık göstermektedir. Yapılan analizlerde 25 – 50 – 75 cm olmak üzere üç farklı taş kolon çapı ve 6 – 8 – 10 m olmak üzere üç farklı taş kolon boyu kullanılmıştır. Analizlere taş kolonsuz modelden başlanmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda, sıvılaşma potansiyeli olan bir zeminde taş kolon ile yapılan iyileştirmenin sıvılaşmayı önlemesi incelenmiştir. Ayrıca taş kolon çapları ve boyları değiştirilerek taş kolonların oluşturacağı iyileşme miktarları karşılaştırılmıştır.



Şekil 7.2: Analizlerde incelenen temsili okuma noktaları

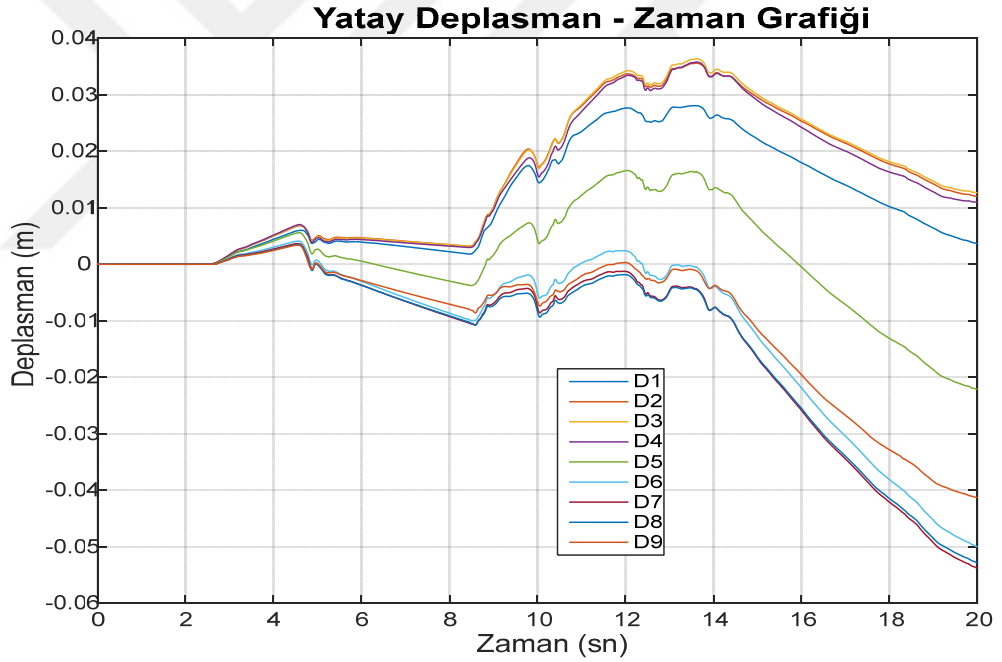
Kurulan modellerde veri okumaları için yapı altında, zeminin yüzeyinde belli aralıklar ile inceleme noktaları oluşturulmuştur. Ayrıca boşluk suyu basıncının kontrolü için de belli derinliklerdeki boşluksuyu inceleme noktaları oluşturulmuştur. Yatay ve düşey deplasmanlar için oluşturulan inceleme noktaları taş kolonların üstüne ve her iki taş kolon arasındaki mesafenin ortasına gelecek şekilde ayarlanmıştır (Şekil 7.2). Analizlerde

oluşturulan inceleme noktaları ile maksimum ve minimum yatay ve düşey deplasmanlar ve boşluk suyu basıncı değişimi incelenmiştir.

7.1. Taş Kolonsuz Nümerik Model Analizleri

Taş kolonsuz olarak yapılan bu analiz sonucundan, zeminde dinamik kuvvetler altında meydana gelecek yatay ve düşey deplasmanlar ile oluşacak boşluk suyu basınçları gözlemlenmiştir. Bu analizle iyileştirilmemiş zeminin dinamik koşullar altındaki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

Taş kolonsuz modelde gerçekleştirilen dinamik analizi sonucunda zeminde meydana gelen yatay deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, yatay deplasmanlara ait 'Yatay Deplasman – Zaman' grafiği Şekil 7.3'de verilmiştir.

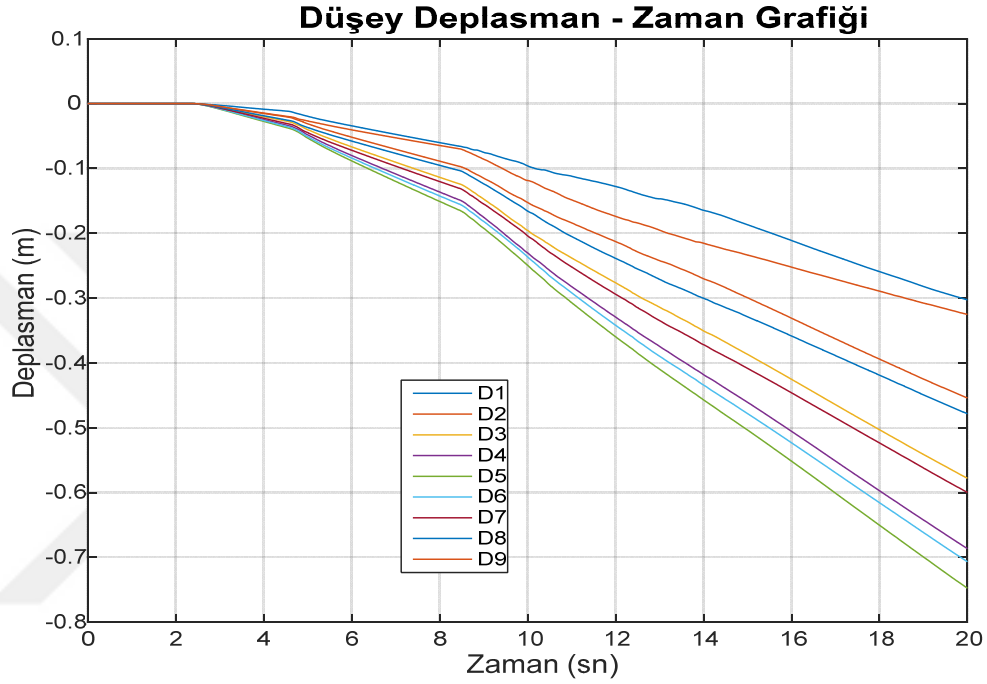


Şekil 7.3: Taş kolonsuz modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.3 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar; D1 noktasında 2.81 cm olarak, D2 noktasında 3.56 cm olarak, D3 noktasında 3.64 cm olarak, D4 noktasında 3.58 cm olarak, D5 noktasında 2.22 cm olarak, D6 noktasında 5.00 cm olarak, D7 noktasında 5.38 cm olarak, D8 noktasında 5.28 cm

olarak ve D9 noktasında 4.13 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla yatay deplasman 5.28 cm ile D7 noktasında meydana gelmiştir.

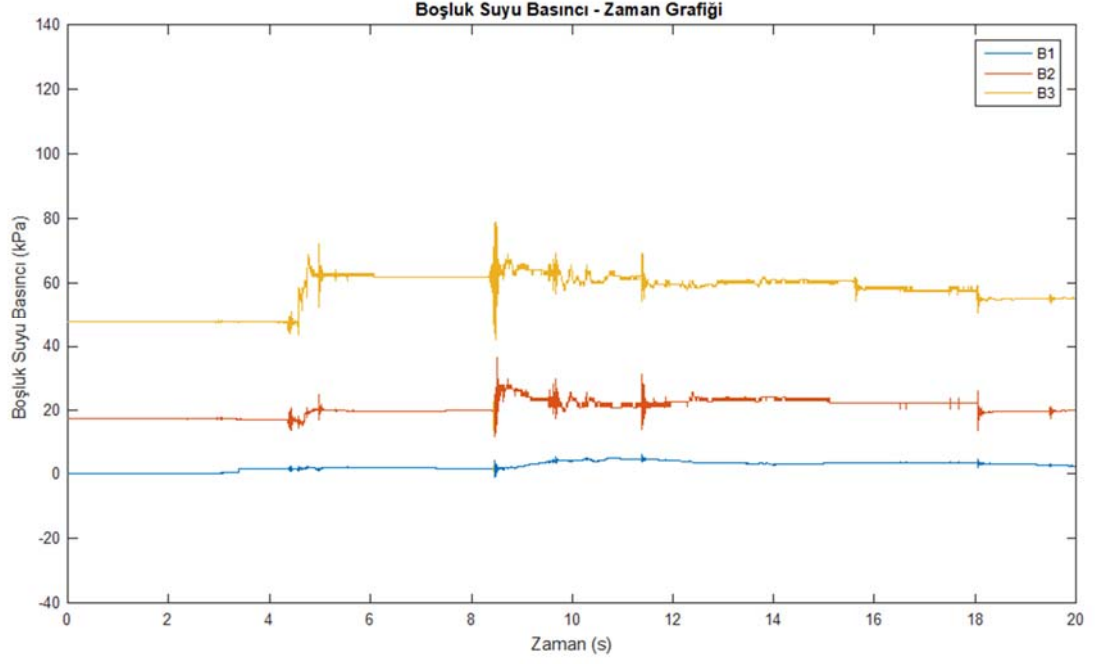
Taş kolonsuz modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen düşey deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, düşey deplasmanlara ait 'Düşey Deplasman – Zaman' grafiği Şekil 7.4'de verilmiştir.



Şekil 7.4: Taş kolonsuz modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.4 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 30.28 cm olarak, D2 noktasında 45.42 cm olarak, D3 noktasında 57.81 cm olarak, D4 noktasında 68.67 cm olarak, D5 noktasında 74.77 cm olarak, D6 noktasında 70.68 cm olarak, D7 noktasında 59.99 cm olarak, D8 noktasında 47.85 cm olarak ve D9 noktasında 32.54 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 74.77 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir.

Taş kolonsuz modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen boşluk suyu basıncı oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, boşluk suyuna ait 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman' grafiği Şekil 7.5'de verilmiştir.

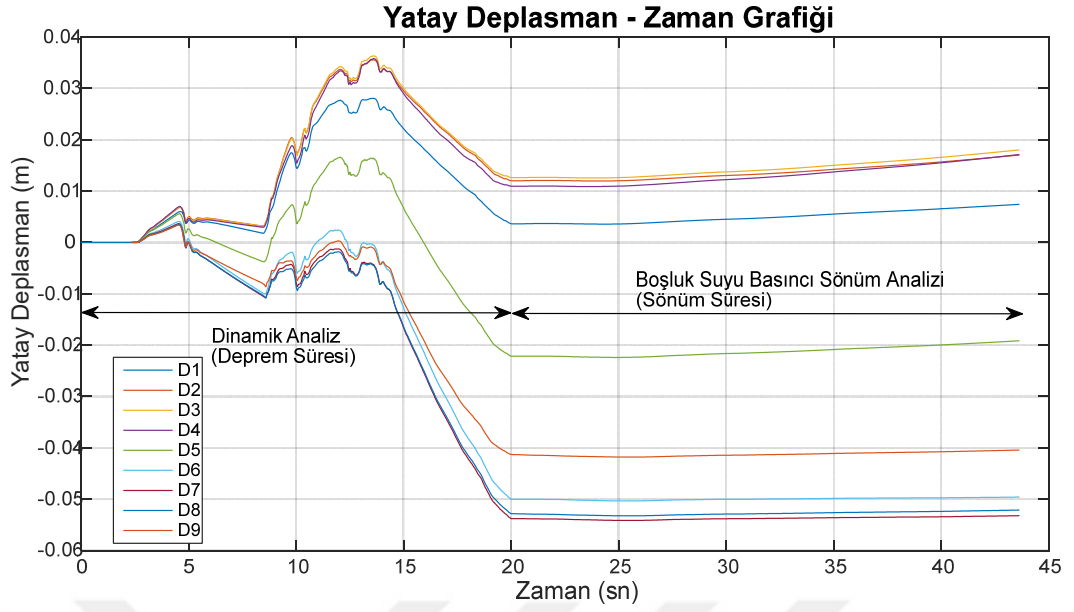


Şekil 7.5: Taş kolonsuz modelin dinamik analizinin boşluk suyu basıncı grafiği

Şekil 7.5 incelendiğinde, zeminin yüzeyinde (B1), zeminin 3 m derinliğinde (B2) ve zeminin 6 m derinliğinde (B3) incelenmiş olan noktalardaki boşluk suyu basıncının dinamik analiz sırasındaki değişimleri görülmektedir. Bu çalışmada yer altı su seviyesi (Y.A.S.S.) 1.5 m de bulunduğu için B1 noktasında dinamik etki öncesi boşluk suyu basıncı sıfırdır. Dinamik etki altında (yani deprem anında) BSB zaman zaman artmakta ve azalmaktadır. Genel olarak grafik incelendiğinde; B1 noktası YASS'ın üzerinde bulunduğu için deprem etkisi altında BSB zaman zaman artış gösterebilir genel olarak 0 kPa'dır. B2 noktasında BSB dinamik etki öncesinde 18 kPa değerinde iken dinamik etki sırasında 38 kPa değerine kadar yükselmiştir. B3 noktasında BSB dinamik etki öncesinde 45 kPa değerinde iken dinamik etki sırasında 81 kPa değerine kadar yükselmiştir. Budurum dinamik etki altında boşluk suyu basınçlarında oluşan ani değişimlerden dolayı sıvılaşmanın meydana gelebileceğini göstermektedir.

Yapılan dinamik analiz sonrasında taş kolonsuz model için boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi durumunda oluşacak deplasmanların ve boşluk suyu basınçlarının değişimini incelemek için boşluk suyu basıncı sönüm analizi gerçekleştirilmiştir.

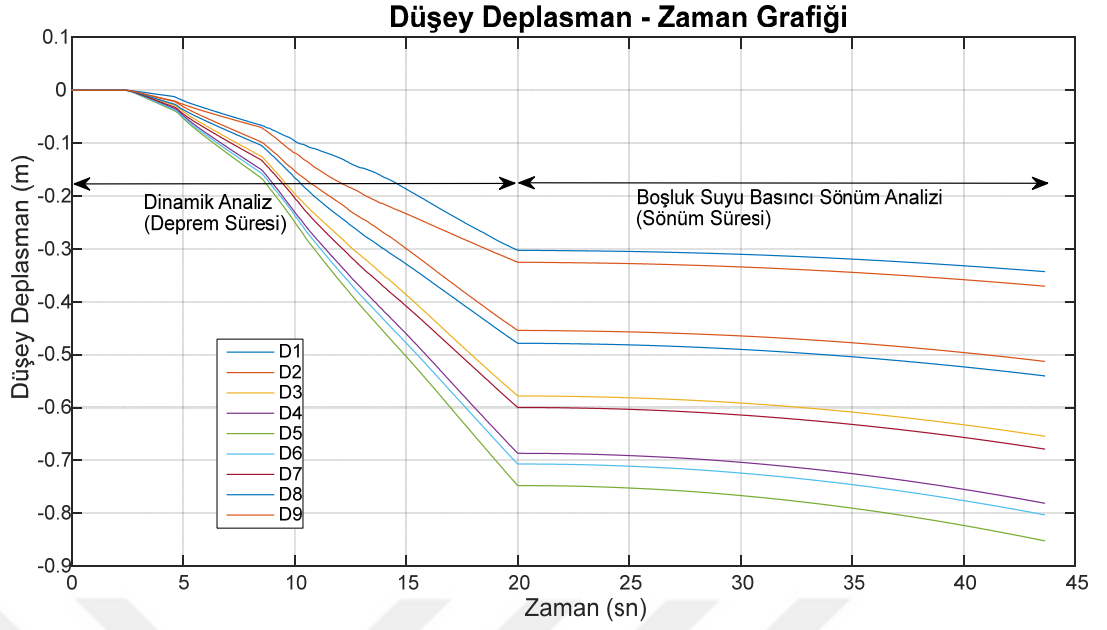
Taş kolonsuz model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen yatay deplasmanlar şekil 7.6'deki 'Yatay Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.6: Taş kolonsuz modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.6 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen yatay deplasmanların D5, D6, D7, D8 ve D9 noktalarından dinamik analiz sonucu oluşan son deplasman miktarının sönüm sonrası azaldığı görülmektedir. D1, D2, D3 ve D4 noktalarında ise yatay deplasmanların dinamik analiz sonunda ulaştığı deplasman miktarının sönüm analizi sonun da arttığı görülmektedir.

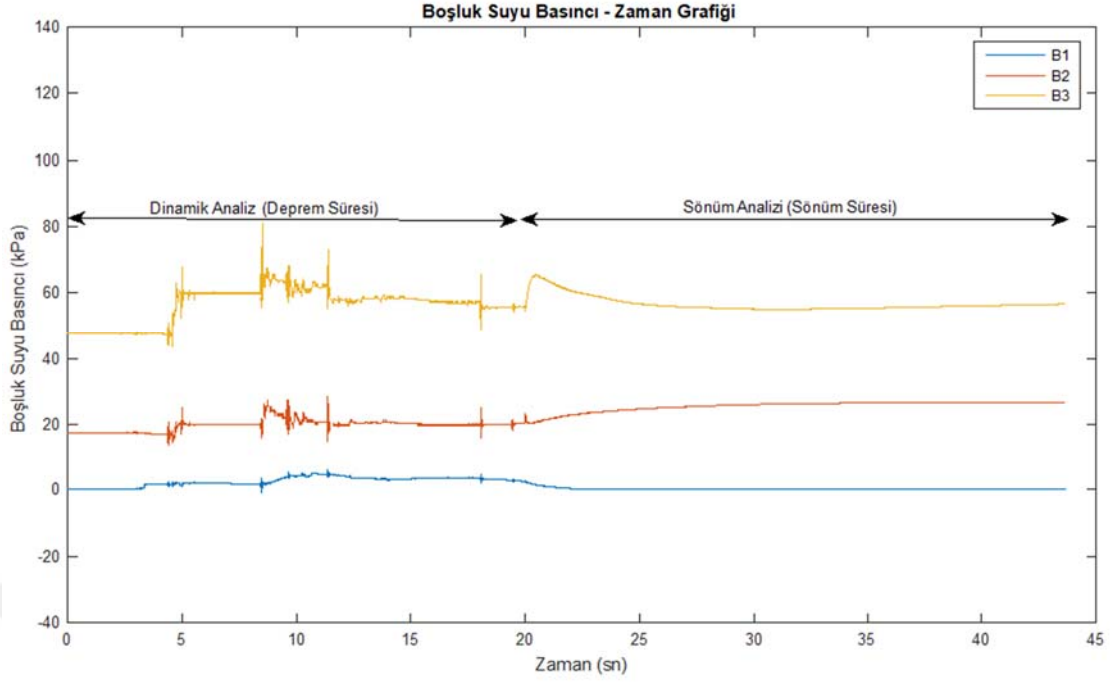
Taş kolonsuz model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen düşey deplasmanlar şekil 7.7'deki 'Düşey Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.7: Taş kolonsuz modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.7 incelendiğinde, sönüm sonrası inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 34.31 cm olarak, D2 noktasında 51.29 cm olarak, D3 noktasında 65.44 cm olarak, D4 noktasında 78.12 cm olarak, D5 noktasında 85.23 cm olarak, D6 noktasında 80.31 cm olarak, D7 noktasında 67.87 cm olarak, D8 noktasında 54.04 cm olarak ve D9 noktasında 37.07 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 85.23 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir. Sönüm analizi sonrası görülmektedir ki düşey deplasmanlarda etkin bir artış oluşmuştur.

Taş kolonsuz model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen boşluk suyu basıncı değişimleri Şekil 7.8'deki 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.8: Taş kolonsuz modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği

Şekil 7.8 incelendiğinde, taş kolonsuz modelin sönüm analizi sonucunda boşluk suyu basıncı; B1 noktasında BSB'nin sönüm sonrası sıfırlanmıştır. B2 noktasında ise sönüm sonunda BSB'nin artmış olduğu gözükmemektedir. B3 noktasında BSB sönüm analizinin ilk başlarında artış gösterse de ilerleyen sürede azalma göstermiştir. Boşluk suyu basıncının her noktada bu kadar farklı bir tepki vermesi zemin tabakaları arasındaki farklılıklardan oluşabilmektedir. Bunun yanında da zemin tabakalarının geçirimsizliğinin düşük olmasından dolayı BSB dengeye ulaşamamıştır.

Sonraki çalışmalarda zemine taş kolon eklenerek analizler gerçekleştirilecektir. Gerçekleştirilecek analizler ile zeminin taş kolonlar ile iyileştirilmesinin oturmaları ve boşluk suyu basınçlarını nasıl etkilediği gözlemlenecektir. Ayrıca taş kolonların çap ve boylarında değişiklikler yapılarak zemin iyileşmesine etkileri incelenecektir.

7.2. Taş Kolonlu Nümerik Model Analizleri

Bu çalışmada gerçekleştirilen taş kolonlu model analizleri bu bölümde incelenmiştir. Taş kolonlu 9 farklı model kurulmuş ve analiz edilmiştir. Kurulan modellerde taş kolonların çaplarında ve boylarında değişiklikler yapılmıştır. Taş kolonlu modeller en ufak taş kolon boyutlarından başlanmıştır. Sıvılaşma riski taşıyan zemin 6 m derinliğe kadar bulunduğu

için en ufak taş kolon boyu 6 m dir. Ayrıca 8 ve 10 m boylarında taş kolonlar modellenerek analiz yapılmıştır. Ve bu analizler doğrultusunda oturmalarındaki değişimler karşılaştırılmak istenmiştir. Her boy için üç farklı çapta taş kolon modellenmiştir. Taş kolon çapları 25 cm, 50 cm ve 75 cm olarak uygulanmıştır. Analiz sonuçları, yapılan analiz sırasına göre en ufak taş kolon boyutlarından başlanıp en büyük taş kolon boyutuna doğru verilecektir.

Yapılacak analizlerde analiz sonuçlarının karıştırılmaması için kurulan modeller taş kolon boyutlarına göre isimlendirilmiştir. Taş kolonların boyutları ve numerik model isimleri Tablo 7.2’de verilmiştir.

Tablo7.2 Analizlerde Kullanılan Taş Kolon Çeşitleri

	Taş Kolon ismi	Taş Kolon Çapı (cm)	Taş Kolon Boyu (m)
1	TK1	25	6
2	TK2*	50	6
3	TK3	75	6
4	TK4	25	8
5	TK5	50	8
6	TK6	75	8
7	TK7	25	10
8	TK8	50	10
9	TK9	75	10

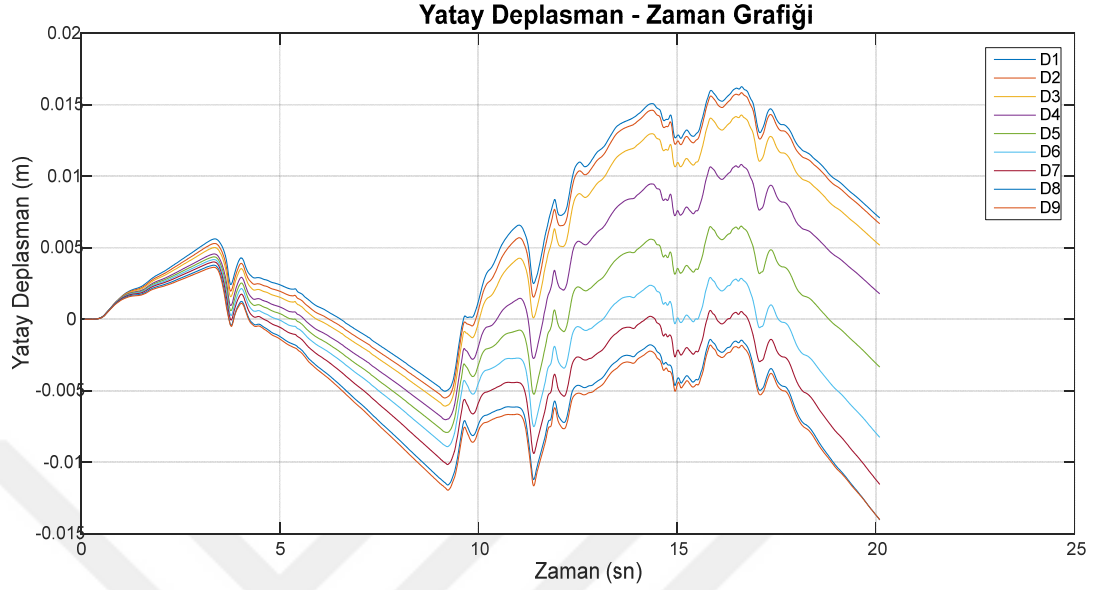
Tablodaki “ * ” işareti incelenen vakada uygulanmış olan taş kolonu göstermektedir.

7.2.1. TK1 taş kolonlu nümerik model analizi

Taş kolonlu olarak yapılan bu analiz sonucundan, zeminde dinamik kuvvetler altında meydana gelecek yatay ve düşey deplasmanlar ile oluşacak boşluk suyu basınçları gözlemlenmiştir. Bu analizle taş kolon ile iyileştirilmiş zeminin dinamik koşullar altındaki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

TK1 Taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analizi sonucunda zeminde meydana gelen yatay deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme

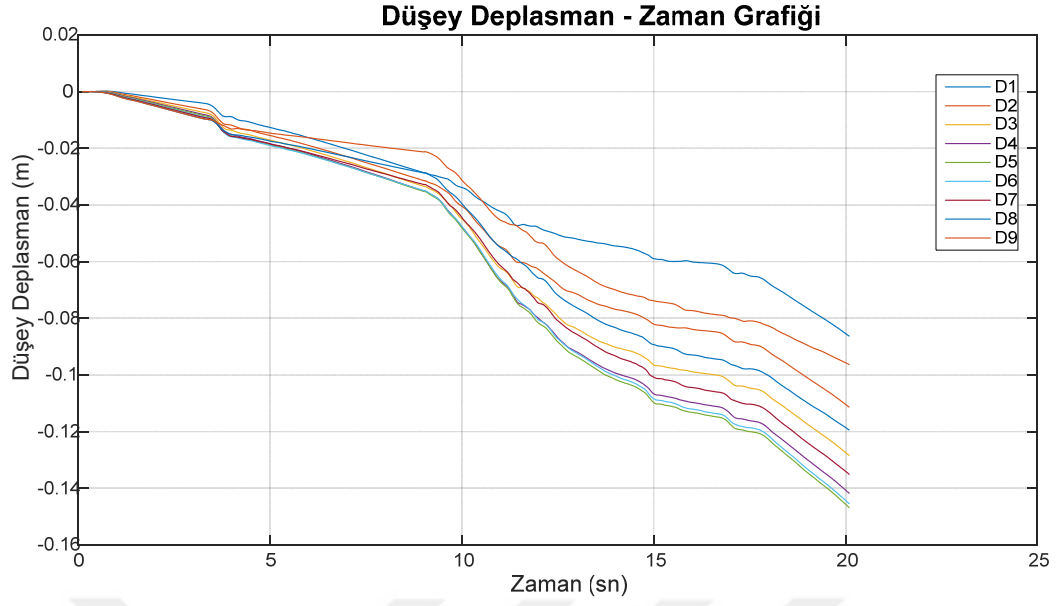
noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, yatay deplasmanlara ait ‘Yatay Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.9’de verilmiştir.



Şekil 7.9: TK1 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.9 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar; D1 noktasında 1.63 cm olarak, D2 noktasında 1.58 cm olarak, D3 noktasında 1.43 cm olarak, D4 noktasında 1.08 cm olarak, D5 noktasında 0.79 cm olarak, D6 noktasında 0.89 cm olarak, D7 noktasında 1.16 cm olarak, D8 noktasında 1.40 cm olarak ve D9 noktasında 1.40 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla yatay deplasman 1.63 cm ile D1 noktasında meydana gelmiştir.

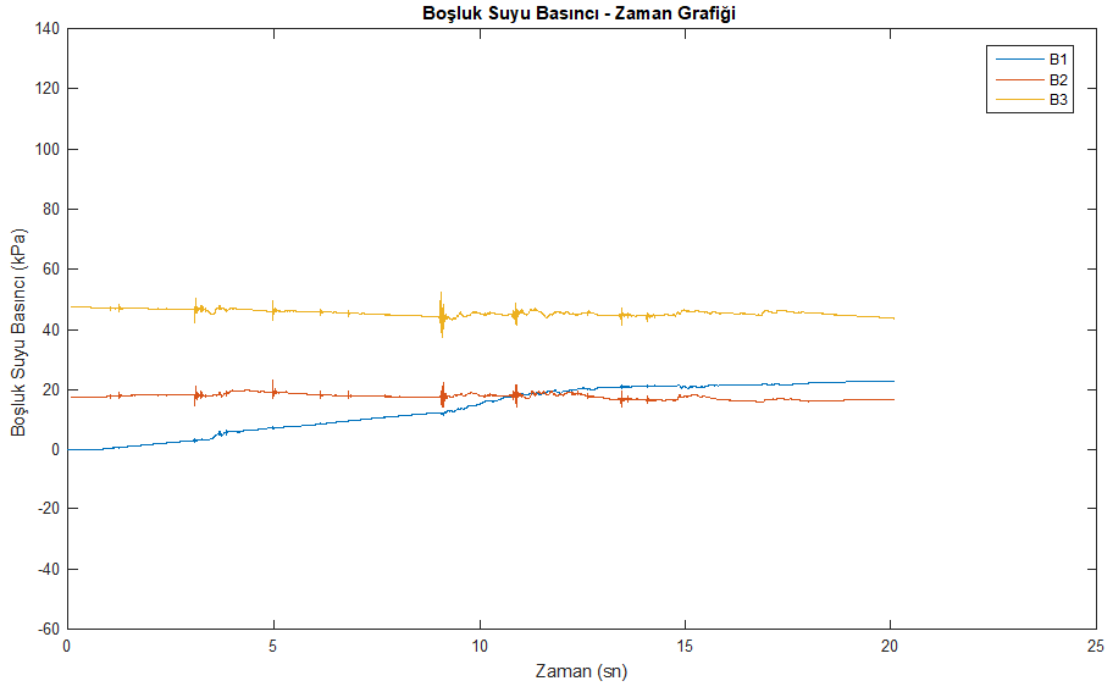
TK1 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen düşey deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, düşey deplasmanlara ait ‘Düşey Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.10’da verilmiştir.



Şekil 7.10: TK1 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.10 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 8.63 cm olarak, D2 noktasında 11.14 cm olarak, D3 noktasında 12.85 cm olarak, D4 noktasında 14.18 cm olarak, D5 noktasında 14.68 cm olarak, D6 noktasında 14.54 cm olarak, D7 noktasında 13.51 cm olarak, D8 noktasında 11.95 cm olarak ve D9 noktasında 9.64 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 14.68 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir.

TK1 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen boşluk suyu basıncı oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. inceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, boşluk suyuna ait 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman' grafiği Şekil 7.11'da verilmiştir.

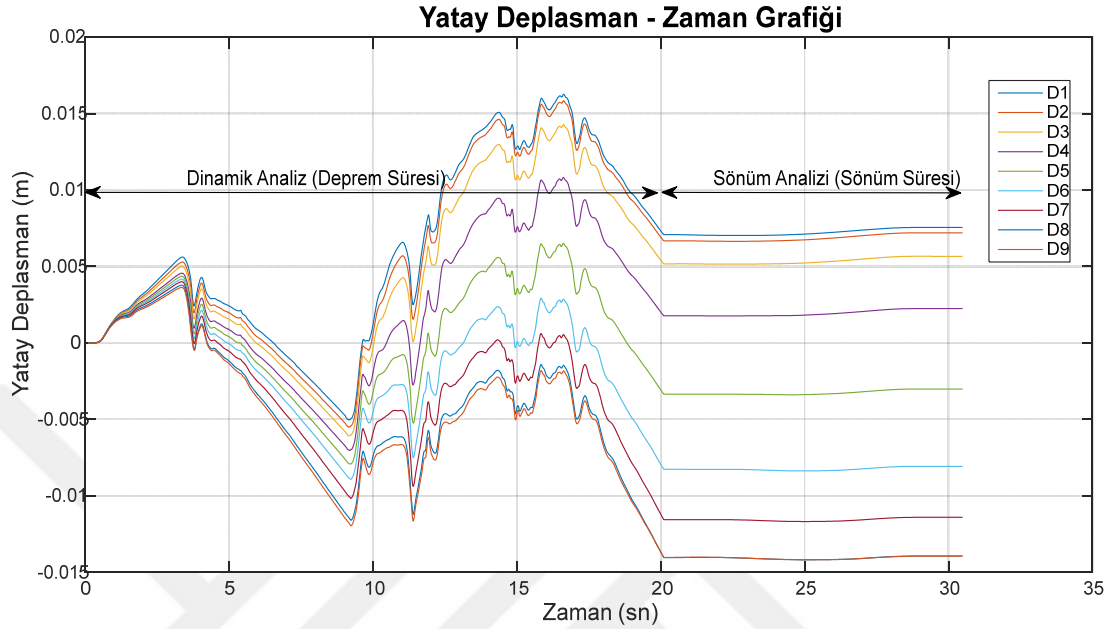


Şekil 7.11: TK1 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basıncı grafiği

Şekil 7.11 incelendiğinde, zeminin yüzeyinde (B1), zeminin 3 m derinliğinde (B2) ve zeminin 6 m derinliğinde (B3) incelenmiş olan noktalardaki boşluk suyu basıncının dinamik analiz sırasındaki değişimleri görülmektedir. Bu çalışmada yer altı su seviyesi (Y.A.S.S.) 1.5 m de bulunduğu için B1 noktasında dinamik etki öncesi boşluk suyu basıncı sıfırdır. Dinamik etki altında (yani deprem anında) boşluk suyu basıncı zamanla artmakta olduğu görülmektedir. B1 noktasında dinamik etki altında BSB'nin artış göstermesinin; taş kolonların oluşturmuş olduğu drenaj etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Analiz sonuçlarını taş kolonsuz yapılan numerik model ile karşılaştırdığımızda ise BSB'nin dinamik etki altında göstermiş olduğu artışlar daha düşük miktarlarda gerçekleşmiştir. BSB, B2 ve B3 noktasında zaman zaman artsa bile dinamik analizin sonunda başlangıçtaki miktara yakın bir basınç değerine gerilemiştir. Bu durum da zemine uygulanan taş kolonların drenaj etkisi yaparak kalıcı bir basınç artışını engellediği düşünülebilir.

Yapılan dinamik analiz sonrasında TK1 taş kolonlu model için boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi durumunda oluşacak deplasmanların ve boşluk suyu basınçlarının değişimini incelemek için boşluk suyu basıncı sönüm analizi gerçekleştirilmiştir.

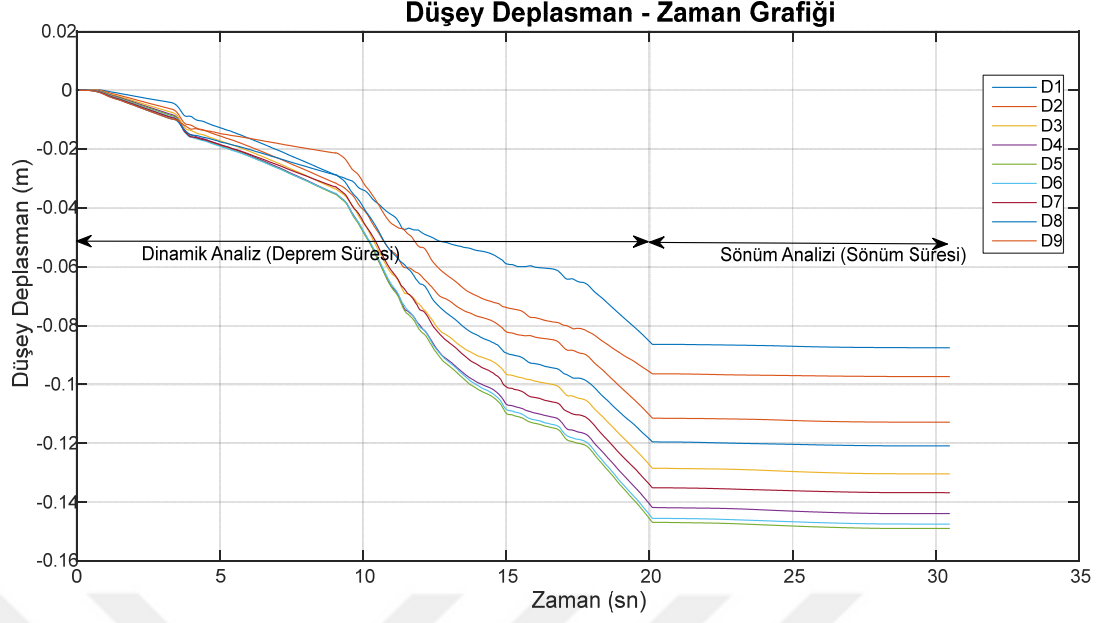
TK1 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen yatay deplasmanlar şekil 7.12'deki 'Yatay Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.12: TK1 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.12 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen yatay deplasmanların D5, D6, D7, D8 ve D9 noktalarından dinamik analiz sonucu oluşan son deplasman miktarının sönüm sonrası azaldığı görülmektedir. D1, D2, D3 ve D4 noktalarında ise yatay deplasmanların dinamik analiz sonunda ulaştığı deplasman miktarının sönüm analizi sonun da arttığı görülmektedir.

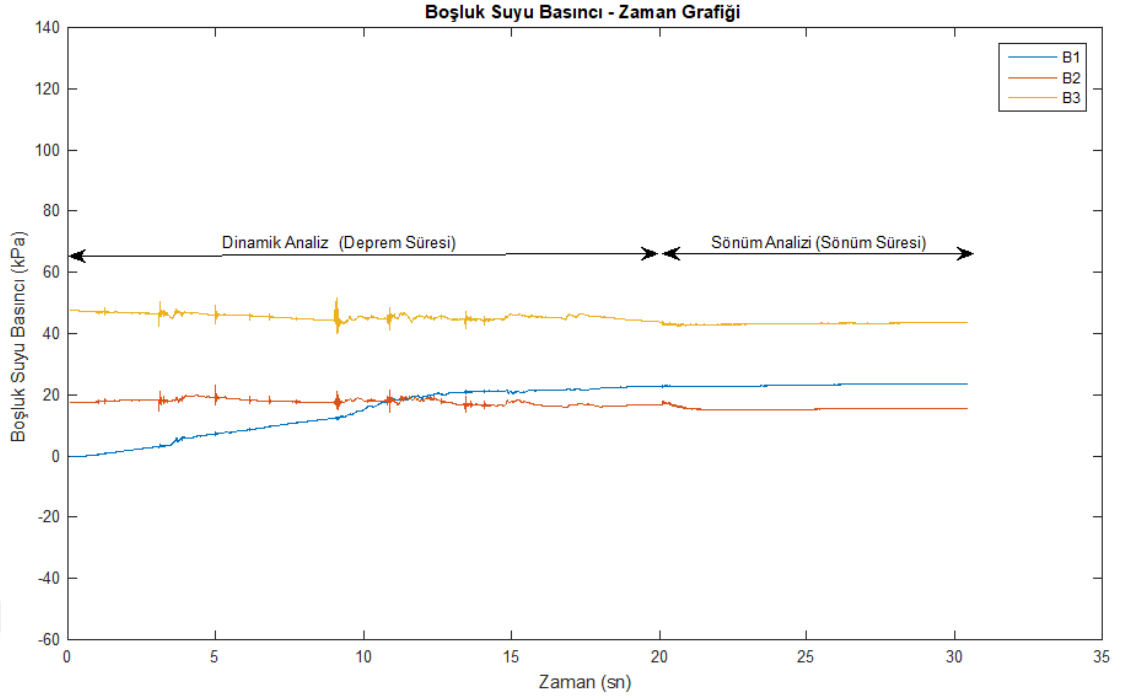
TK1 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen düşey deplasmanlar şekil 7.13'deki 'Düşey Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.13: TK1 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.13 incelendiğinde, sönüm sonrası inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 8.75 cm olarak, D2 noktasında 11.28 cm olarak, D3 noktasında 13.04 cm olarak, D4 noktasında 14.39 cm olarak, D5 noktasında 14.89 cm olarak, D6 noktasında 14.74 cm olarak, D7 noktasında 13.68 cm olarak, D8 noktasında 12.09 cm olarak ve D9 noktasında 9.73 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 14.89 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir. Sönüm analizi sonrası görülmektedir ki düşey deplasmanlarda az miktarda artış oluşmuştur.

TK1 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen boşluk suyu basıncı değişimleri Şekil 7.14'deki 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



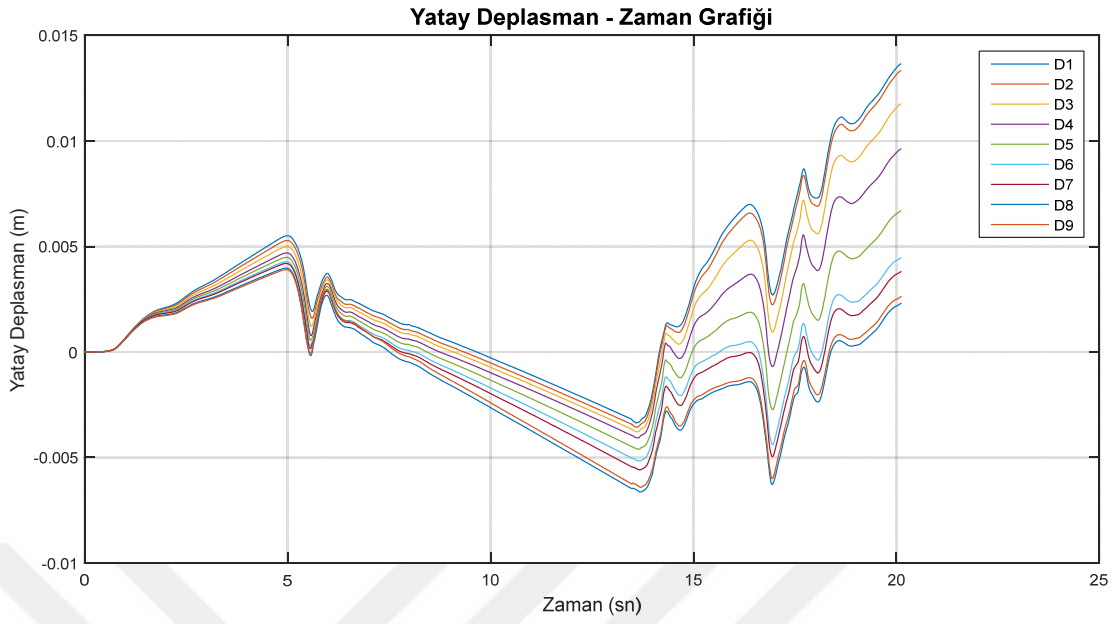
Şekil 7.14: TK1 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği

Şekil 7.14 incelendiğinde, TK1 taş kolonlu modelin sönüm analizi sonucunda boşluk suyu basıncı; B1 noktasında artma göstermiştir. Zeminin yüzeyinde bulunan B1 noktasındaki boşluk suyu basıncının artması, taş kolonların oluşturmuş olduğu drenaj etkisinden dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. B2 ve B3 noktalarında ise boşluk suyu basıncı sönüm analizi boyunca azaldığı görülmektedir. Y.A.S.S. 1.5 m’de olduğu için B2 ve B3 noktasındaki BSB sıfırlanmaz, dinamik etki öncesindeki basınç miktarına kadar gerileyebilir.

7.2.2. TK2 taş kolonlu nümerik model analizi

Taş kolonlu olarak yapılan bu analiz sonucundan, zeminde dinamik kuvvetler altında meydana gelecek yatay ve düşey deplasmanlar ile oluşacak boşluk suyu basınçları gözlemlenmiştir. Bu analizle taş kolon ile iyileştirilmiş zeminin dinamik koşullar altındaki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

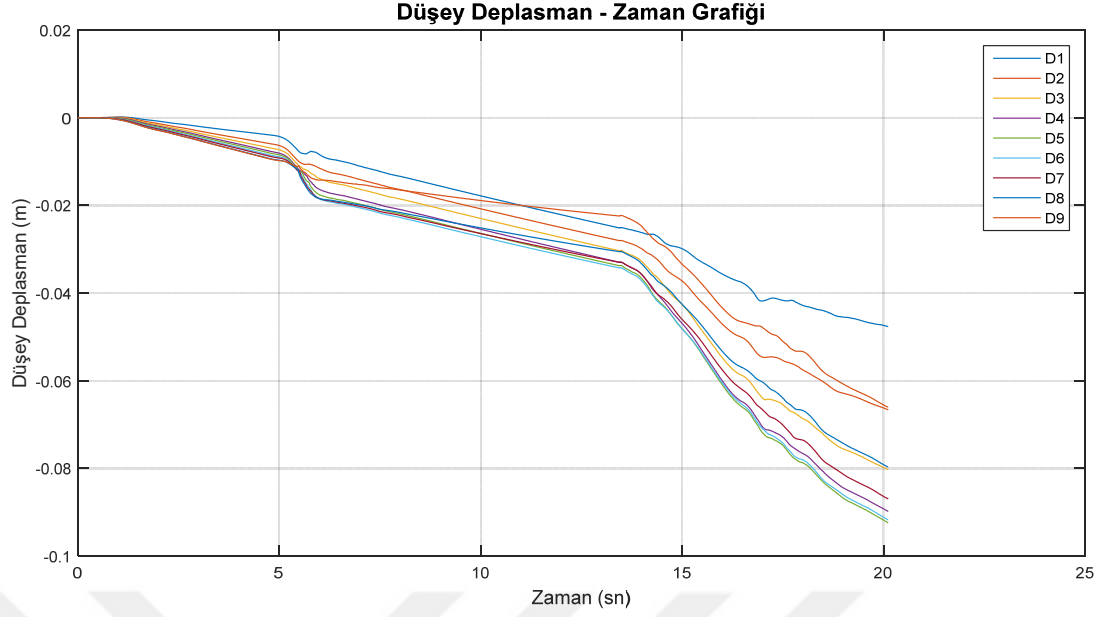
TK2 Taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analizi sonucunda zeminde meydana gelen yatay deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, yatay deplasmanlara ait ‘Yatay Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.15’de verilmiştir.



Şekil 7.15: TK2 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.15 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar; D1 noktasında 1.37 cm olarak, D2 noktasında 1.33 cm olarak, D3 noktasında 1.18 cm olarak, D4 noktasında 0.96 cm olarak, D5 noktasında 0.67 cm olarak, D6 noktasında 0.52 cm olarak, D7 noktasında 0.56 cm olarak, D8 noktasında 0.66 cm olarak ve D9 noktasında 0.64 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla yatay deplasman 1.37 cm ile D1 noktasında meydana gelmiştir.

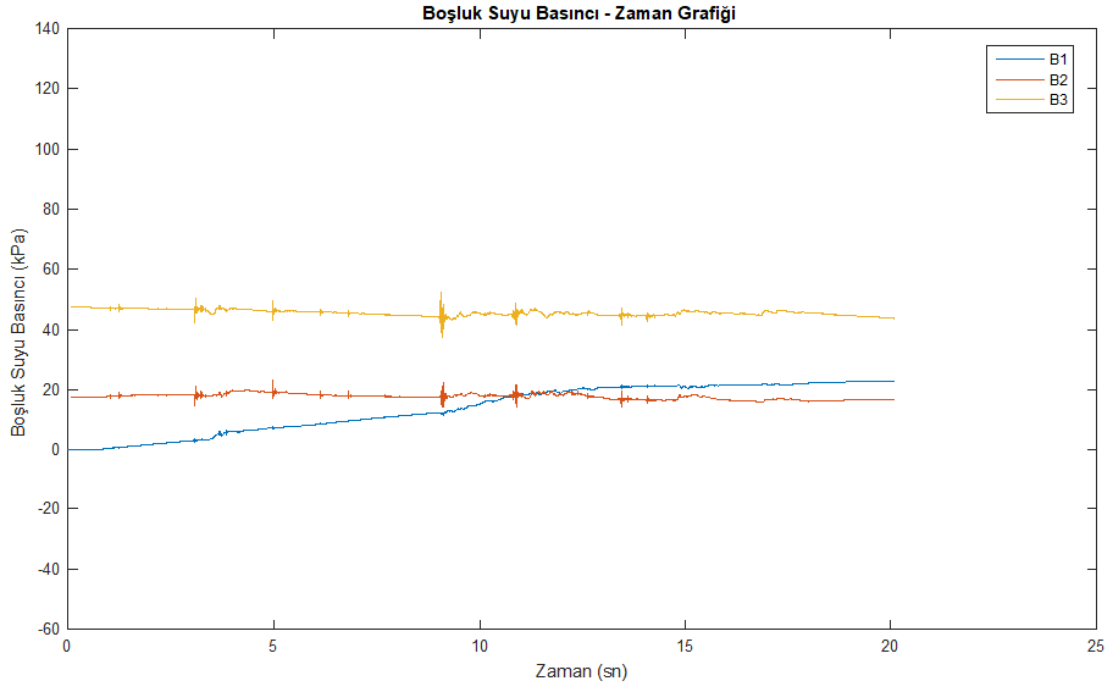
TK2 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen düşey deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, düşey deplasmanlara ait ‘Düşey Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.16’de verilmiştir.



Şekil 7.16: TK2 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.16 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 4.76 cm olarak, D2 noktasında 6.66 cm olarak, D3 noktasında 8.03 cm olarak, D4 noktasında 8.98 cm olarak, D5 noktasında 9.24 cm olarak, D6 noktasında 9.17 cm olarak, D7 noktasında 8.69 cm olarak, D8 noktasında 7.97 cm olarak ve D9 noktasında 6.61 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 9.24 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir.

TK2 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen boşluk suyu basıncı oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, boşluk suyuna ait 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman' grafiği Şekil 7.17'da verilmiştir.

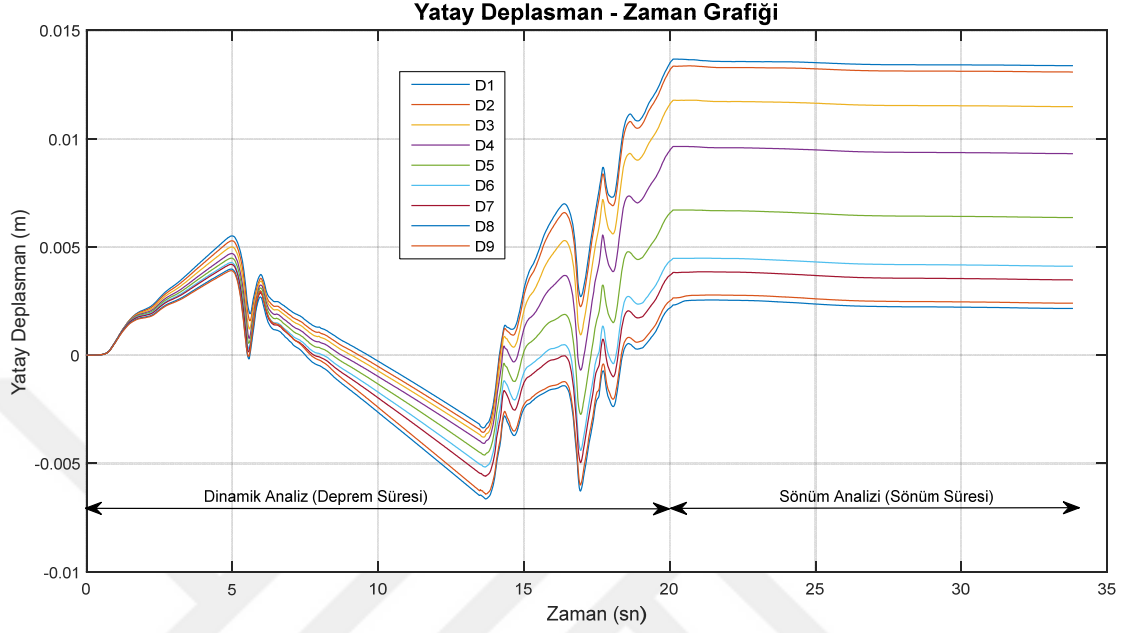


Şekil 7.17: TK2 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği

Şekil 7.17 incelendiğinde, zeminin yüzeyinde (B1), zeminin 3 m derinliğinde (B2) ve zeminin 6 m derinliğinde (B3) incelenmiş olan noktalardaki boşluk suyu basıncının dinamik analiz sırasındaki değişimleri görülmektedir. Bu çalışmada yer altı su seviyesi (Y.A.S.S.) 1.5 m de bulunduğu için B1 noktasında dinamik etki öncesi boşluk suyu basıncı sıfırdır. Dinamik etki altında (yani deprem anında) boşluk suyu basınca zamanla artmakta olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarını toplu olarak incelediğimizde ise boşluk suyu basıncının dinamik etki altında B1 noktasında sürekli artarken B2 ve B3 noktasında zaman zaman artsa bile dinamik analizin sonunda başlangıçtaki miktara yakın bir basınç miktarına geri gelmiştir. Bu durum da zemine uygulanan taş kolonların drenaj etkisi yaparak kalıcı bir basınç artışını engellediği düşünülebilir. B1 deki sürekli artış da, normalde Y.A.S.S.'dan yukarıda bulunmasına rağmen, BSB oluşması drenaj etkisiyle alt tabakalardan gelen su dan dolayı olduğu yorumlanabilir.

Yapılan dinamik analiz sonrasında TK2 taş kolonlu model için boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi durumunda oluşacak deplasmanların ve boşluk suyu basınçlarının değişimini incelemek için boşluk suyu basıncı sönüm analizi gerçekleştirilmiştir.

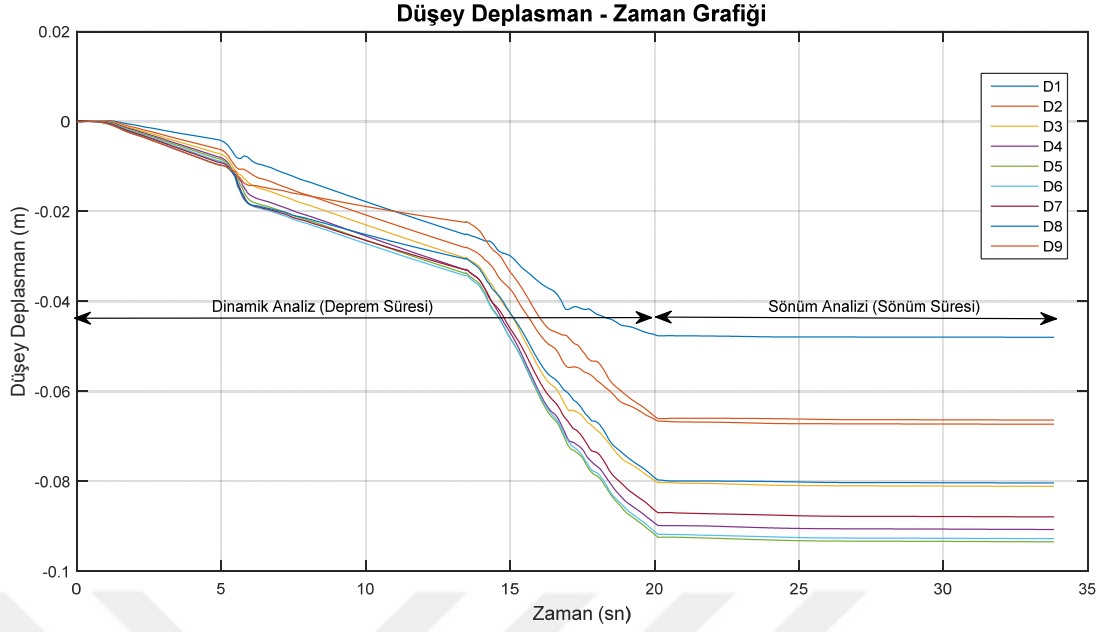
TK2 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen yatay deplasmanlar şekil 7.18'deki 'Yatay Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.18: TK2 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.18 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen yatay deplasmanların bütün inceleme noktalarında dinamik analiz sonucu oluşan son deplasman miktarının sönüm sonrası azaldığı görülmektedir.

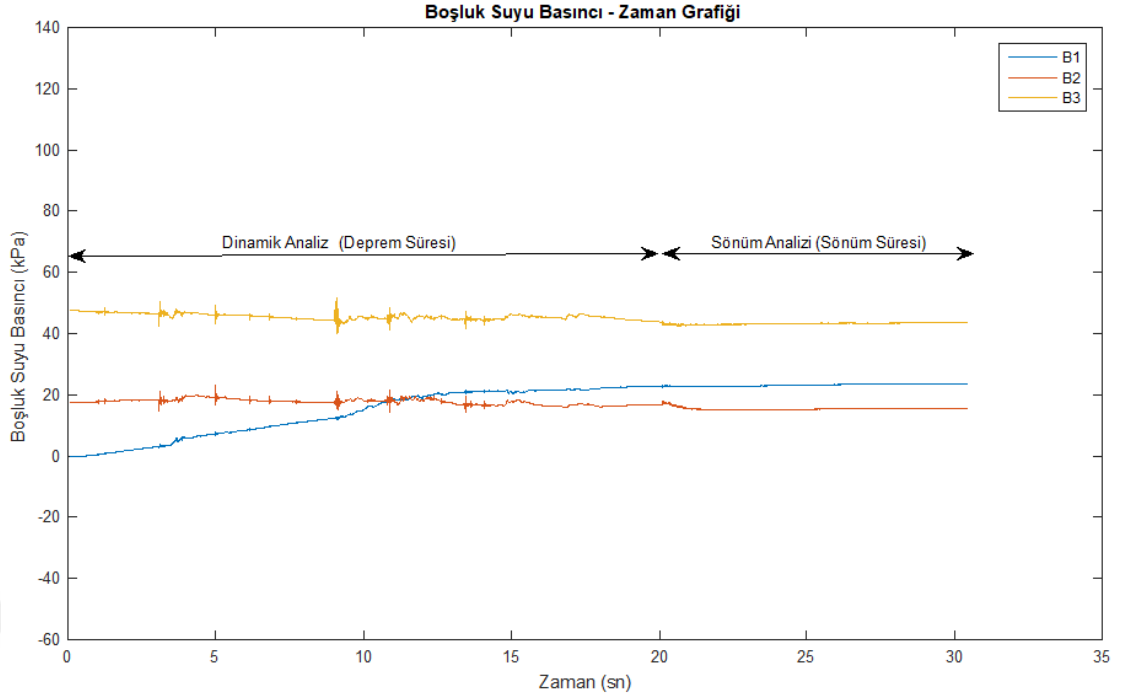
TK2 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen düşey deplasmanlar şekil 7.19'deki 'Düşey Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.19: TK2 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.19 incelendiğinde, sönüm sonrası inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 4.79 cm olarak, D2 noktasında 6.73 cm olarak, D3 noktasında 8.11 cm olarak, D4 noktasında 9.07 cm olarak, D5 noktasında 9.34 cm olarak, D6 noktasında 9.27 cm olarak, D7 noktasında 8.79 cm olarak, D8 noktasında 8.04 cm olarak ve D9 noktasında 6.64 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 9.34 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir. Sönüm analizi sonrası görülmektedir ki düşey deplasmanlarda çok az miktarda artış oluşmuştur.

TK2 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen boşluk suyu basıncı değişimleri şekil 7.20'deki 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



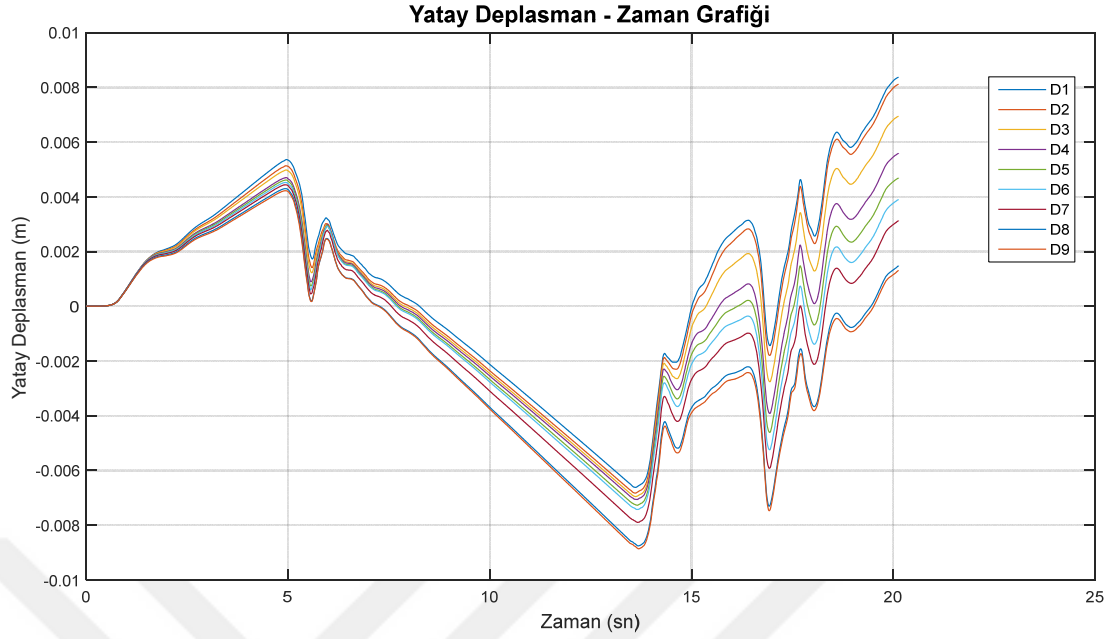
Şekil 7.20: TK2 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği

Şekil 7.20 incelendiğinde, TK2 taş kolonlu modelin sönüm analizi sonucunda boşluk suyu basıncı; B1 noktasında artma göstermiştir. Zeminin yüzeyinde bulunan B1 noktasındaki boşluk suyu basıncının artması, taş kolonların oluşturmuş olduğu drenaj etkisinden dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. B2 ve B3 noktalarında ise boşluk suyu basıncı sönüm analizi boyunca azaldığı görülmektedir. Y.A.S.S. 1.5 m’de olduğu için boşluk suyu basıncı sıfırlanmaz sadece suya dinamik etki öncesindeki basınç miktarına kadar gerileyebilir.

7.2.3. TK3 taş kolonlu nümerik model analizi

Taş kolonlu olarak yapılan bu analiz sonucundan, zeminde dinamik kuvvetler altında meydana gelecek yatay ve düşey deplasmanlar ile oluşacak boşluk suyu basınçları gözlemlenmiştir. Bu analizle taş kolon ile iyileştirilmiş zeminin dinamik koşullar altındaki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

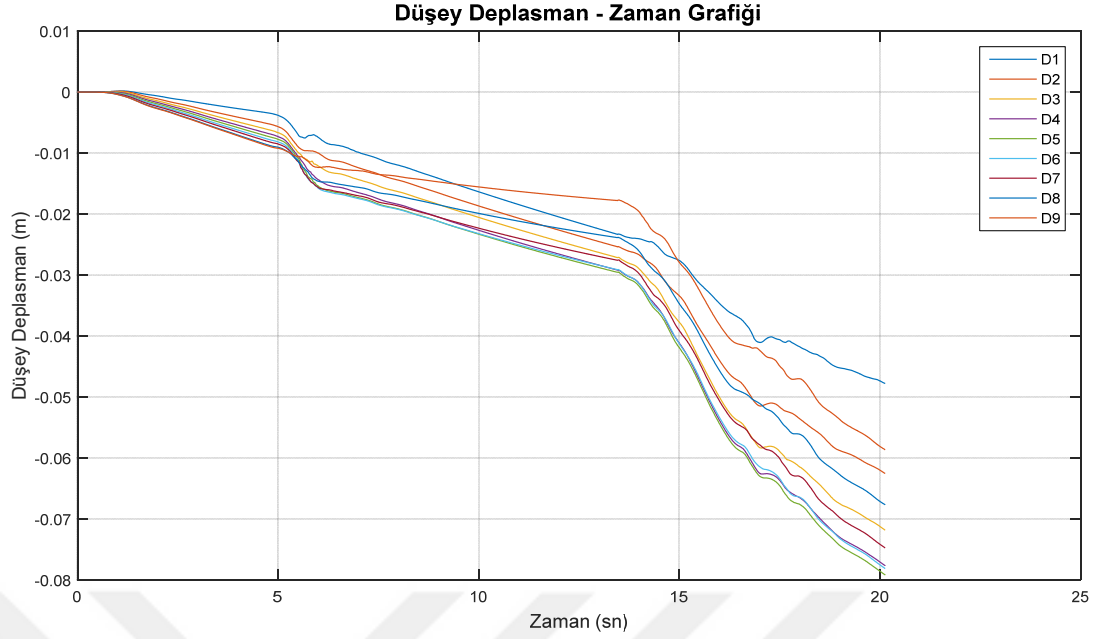
TK3 Taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analizi sonucunda zeminde meydana gelen yatay deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, yatay deplasmanlara ait ‘Yatay Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.21’de verilmiştir.



Şekil 7.21: TK3 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.21 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar; D1 noktasında 0.84 cm olarak, D2 noktasında 0.81 cm olarak, D3 noktasında 0.69 cm olarak, D4 noktasında 0.71 cm olarak, D5 noktasında 0.73 cm olarak, D6 noktasında 0.74 cm olarak, D7 noktasında 0.79 cm olarak, D8 noktasında 0.88 cm olarak ve D9 noktasında 0.89 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla yatay deplasman 0.89 cm ile D9 noktasında meydana gelmiştir.

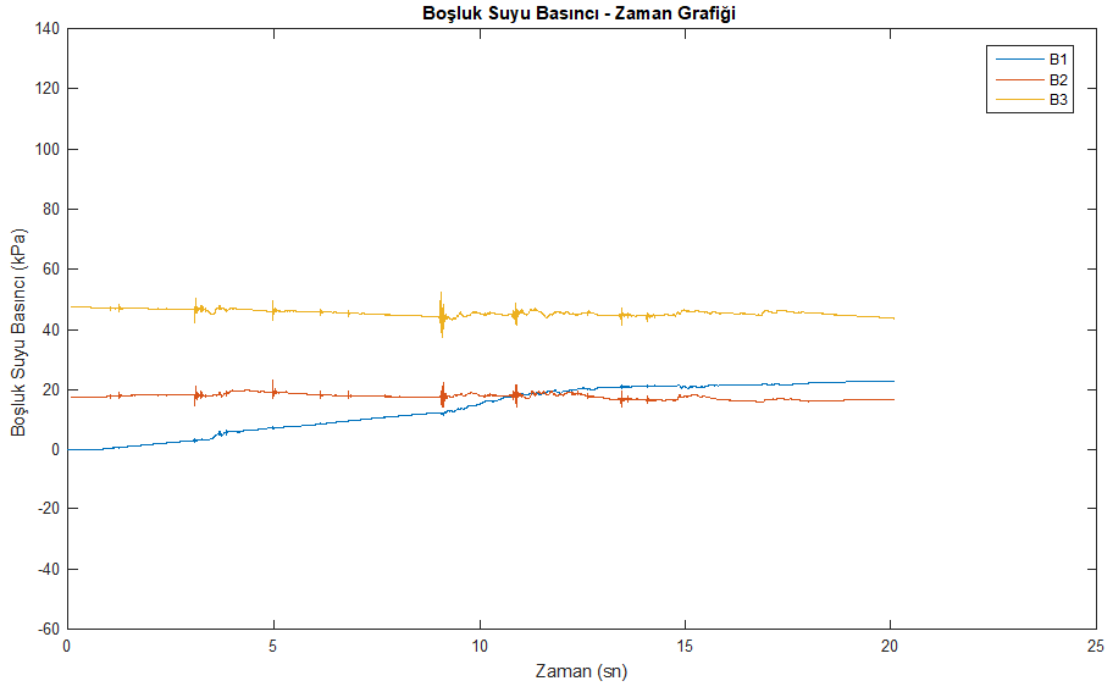
TK3 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen düşey deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, düşey deplasmanlara ait ‘Düşey Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.22’de verilmiştir.



Şekil 7.22: TK3 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.22 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 4.78 cm olarak, D2 noktasında 6.26 cm olarak, D3 noktasında 7.18 cm olarak, D4 noktasında 7.77 cm olarak, D5 noktasında 7.92 cm olarak, D6 noktasında 7.81 cm olarak, D7 noktasında 7.48 cm olarak, D8 noktasında 6.77 cm olarak ve D9 noktasında 5.87 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 7.92 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir.

TK3 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen boşluk suyu basıncı oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, boşluk suyuna ait ‘Boşluk Suyu Basıncı – Zaman’ grafiği Şekil 7.23’de verilmiştir.

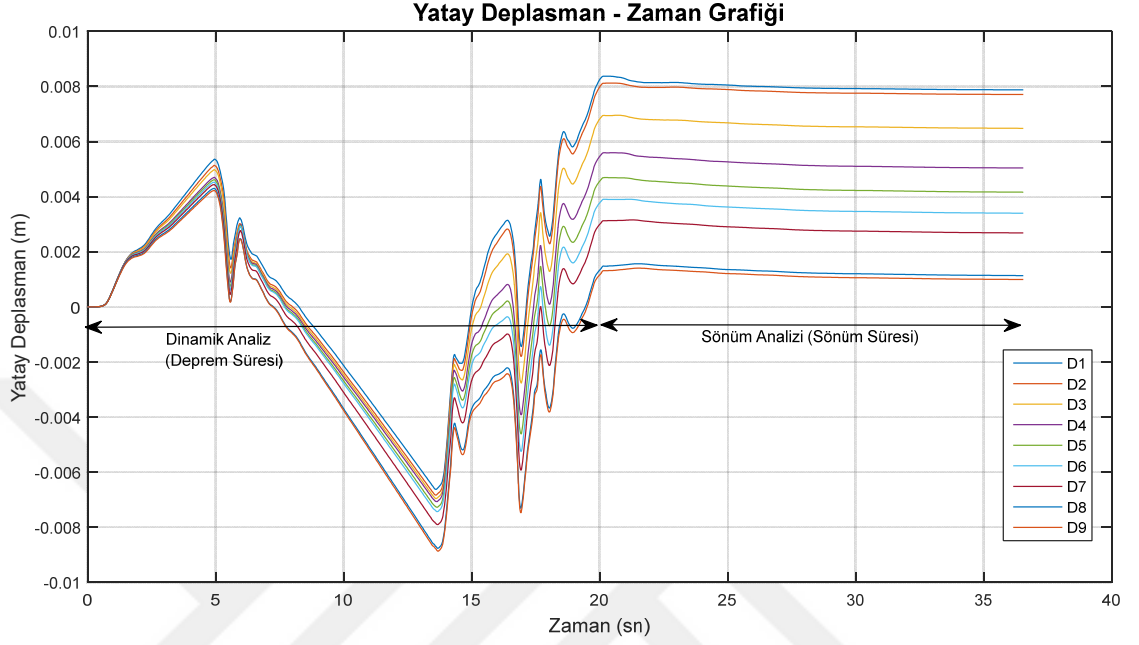


Şekil 7.23: TK3 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği

Şekil 7.23 incelendiğinde, zeminin yüzeyinde (B1), zeminin 3 m derinliğinde (B2) ve zeminin 6 m derinliğinde (B3) incelenmiş olan noktalardaki boşluk suyu basıncının dinamik analiz sırasındaki değişimleri görülmektedir. Bu çalışmada yer altı su seviyesi (Y.A.S.S.) 1.5 m de bulunduğu için B1 noktasında dinamik etki öncesi boşluk suyu basıncı sıfırdır. Dinamik etki altında (yani deprem anında) boşluk suyu basınca zamanla artmakta olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarını toplu olarak incelediğimizde ise boşluk suyu basıncının dinamik etki altında B1 noktasında sürekli artarken B2 ve B3 noktasında zaman zaman artsa bile dinamik analizin sonunda başlangıçtaki miktara yakın bir basınç miktarına geri gelmiştir. Bu durum da zemine uygulanan taş kolonların drenaj etkisi yaparak kalıcı bir basınç artışını engellediği düşünülebilir. B1 deki sürekli artış da, normalde Y.A.S.S.'dan yukarıda bulunmasına rağmen, su basıncının oluşması drenaj etkisiyle alt tabakalardan gelen su dan dolayı olduğu yorumlanabilir.

Yapılan dinamik analiz sonrasında TK3 taş kolonlu model için boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi durumunda oluşacak deplasmanların ve boşluk suyu basınçlarının değişimini incelemek için boşluk suyu basıncı sönüm analizi gerçekleştirilmiştir.

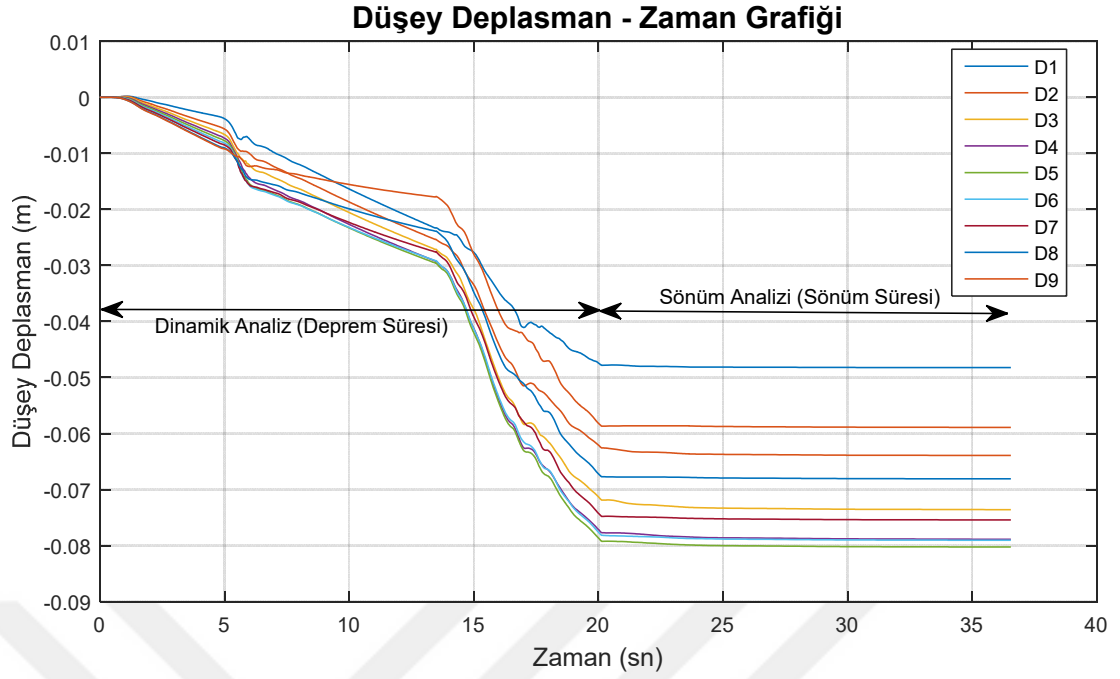
TK3 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen yatay deplasmanlar şekil 7.24'deki 'Yatay Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.24: TK3 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.24 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen yatay deplasmanların bütün inceleme noktalarında dinamik analiz sonucu oluşan son deplasman miktarının sönüm sonrası azaldığı görülmektedir.

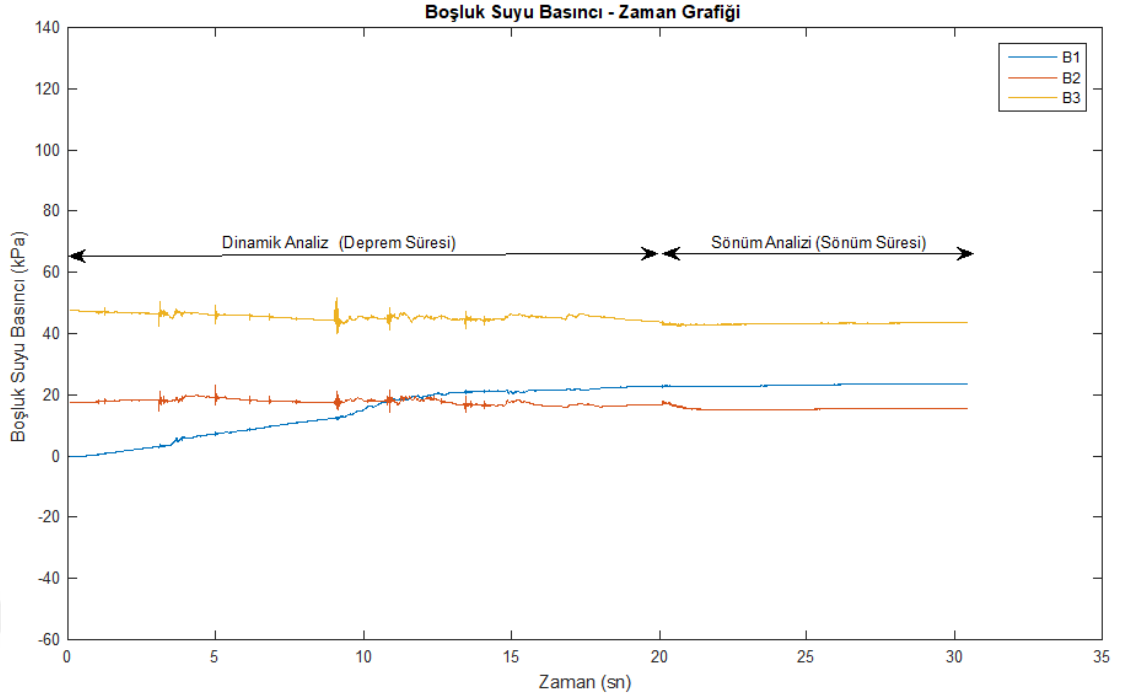
TK3 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen düşey deplasmanlar şekil 7.25'deki 'Düşey Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.25: TK3 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.25 incelendiğinde, sönüm sonrası inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 4.82 cm olarak, D2 noktasında 6.39 cm olarak, D3 noktasında 7.35 cm olarak, D4 noktasında 7.88 cm olarak, D5 noktasında 8.02 cm olarak, D6 noktasında 7.90 cm olarak, D7 noktasında 7.54 cm olarak, D8 noktasında 6.81 cm olarak ve D9 noktasında 5.89 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 8.02 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir. Sönüm analizi sonrası görülmektedir ki düşey deplasmanlarda çok az miktarda artış oluşmuştur.

TK3 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen boşluk suyu basıncı değişimleri şekil 7.26'deki 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



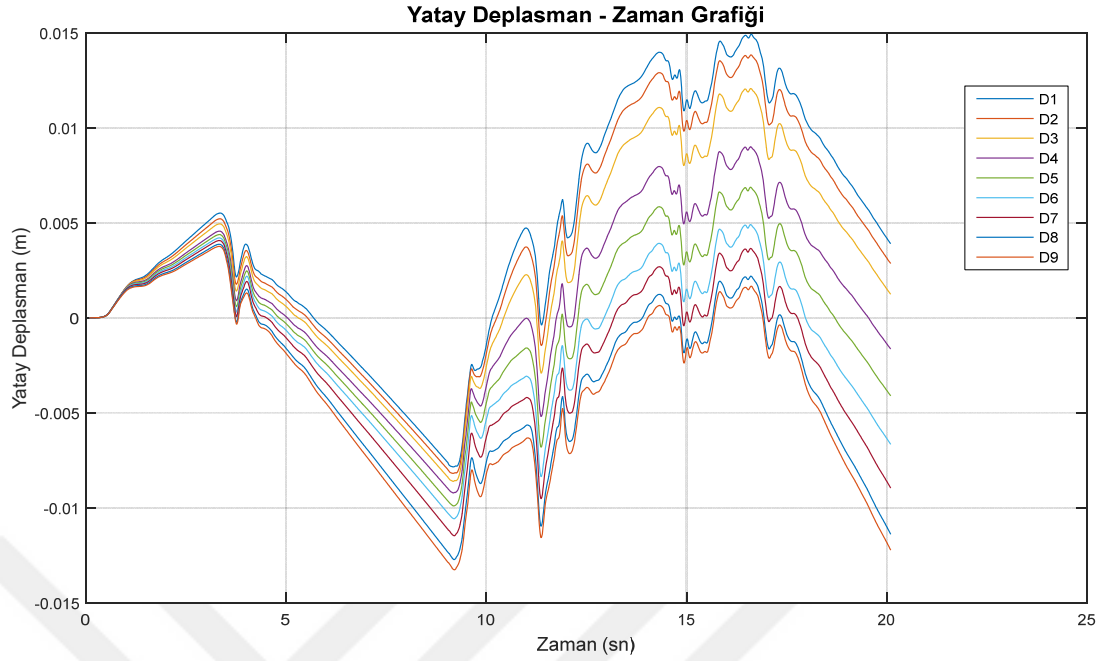
Şekil 7.26: TK3 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği

Şekil 7.26 incelendiğinde, TK3 taş kolonlu modelin sönüm analizi sonucunda boşluk suyu basıncı; B1 noktasında artma göstermiştir. Zeminin yüzeyinde bulunan B1 noktasındaki boşluk suyu basıncının artması, taş kolonların oluşturmuş olduğu drenaj etkisinden dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. B2 ve B3 noktalarında ise boşluk suyu basıncı sönüm analizi boyunca azaldığı görülmektedir. Y.A.S.S. 1.5 m’de olduğu için boşluk suyu basıncı sıfırlanmaz sadece suya dinamik etki öncesindeki basınç miktarına kadar gerileyebilir.

7.2.4. TK4 taş kolonlu nümerik model analizi

Taş kolonlu olarak yapılan bu analiz sonucundan, zeminde dinamik kuvvetler altında meydana gelecek yatay ve düşey deplasmanlar ile oluşacak boşluk suyu basınçları gözlemlenmiştir. Bu analizle taş kolon ile iyileştirilmiş zeminin dinamik koşullar altındaki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

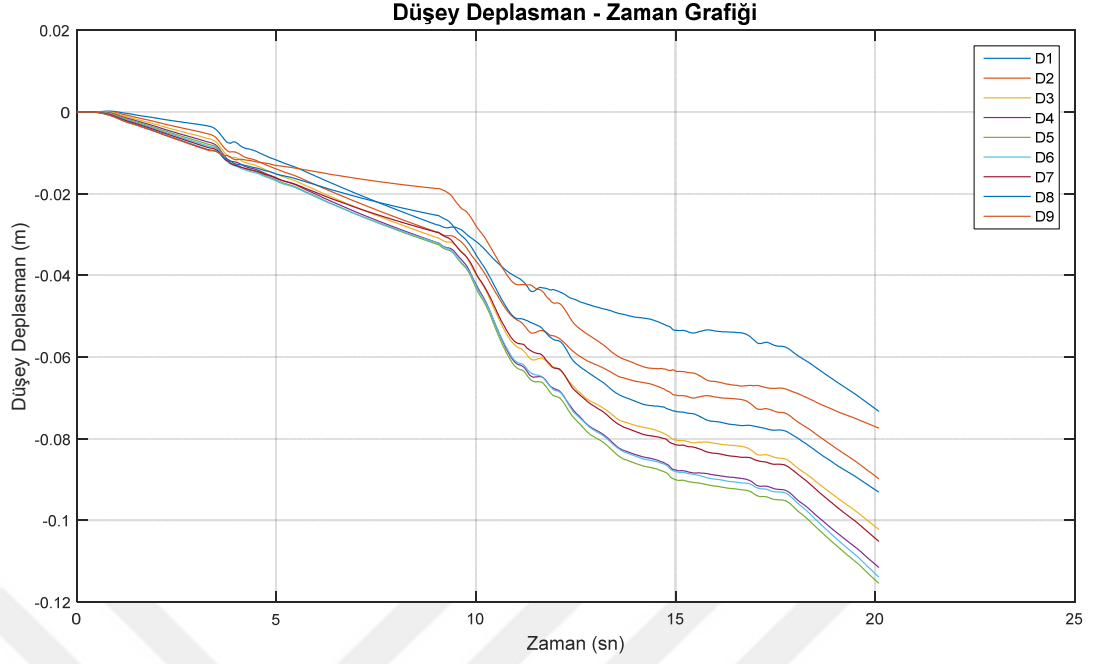
TK4 Taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analizi sonucunda zeminde meydana gelen yatay deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, yatay deplasmanlara ait ‘Yatay Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.27’de verilmiştir.



Şekil 7.27: TK4 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.27 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar; D1 noktasında 1.49 cm olarak, D2 noktasında 1.38 cm olarak, D3 noktasında 1.21 cm olarak, D4 noktasında 0.92 cm olarak, D5 noktasında 0.99 cm olarak, D6 noktasında 1.06 cm olarak, D7 noktasında 1.15 cm olarak, D8 noktasında 1.27 cm olarak ve D9 noktasında 1.33 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla yatay deplasman 1.49 cm ile D1 noktasında meydana gelmiştir.

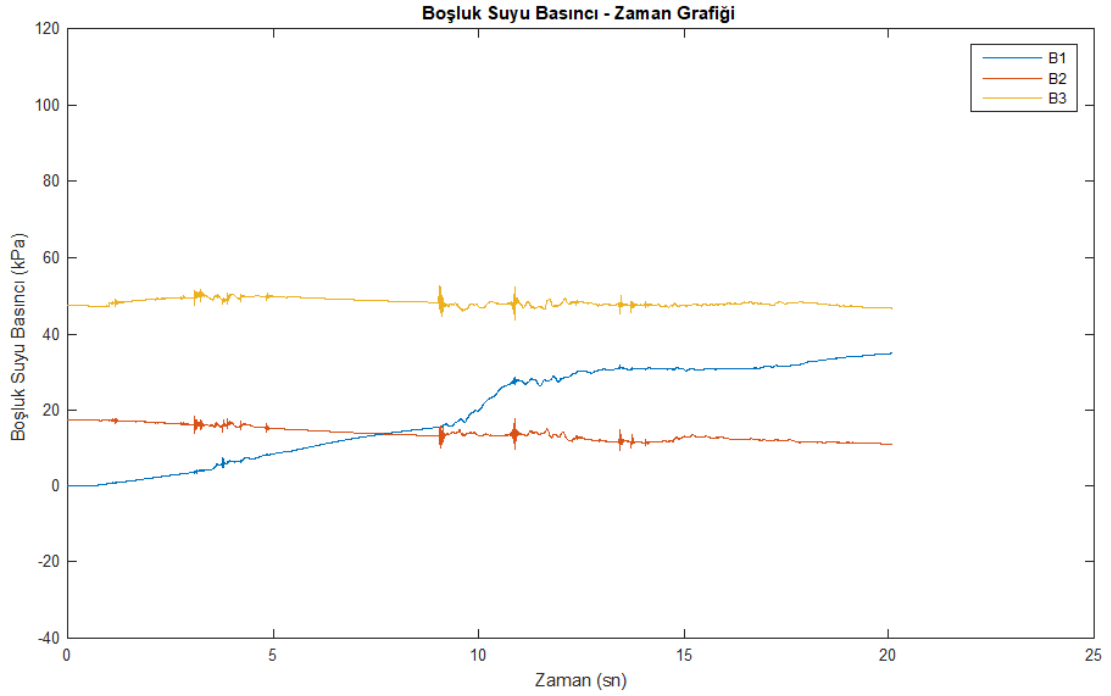
TK4 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen düşey deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, düşey deplasmanlara ait ‘Düşey Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.28’de verilmiştir.



Şekil 7.28: TK4 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.28 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 7.33 cm olarak, D2 noktasında 8.98 cm olarak, D3 noktasında 10.22 cm olarak, D4 noktasında 11.15 cm olarak, D5 noktasında 11.54 cm olarak, D6 noktasında 11.38 cm olarak, D7 noktasında 10.51 cm olarak, D8 noktasında 9.31 cm olarak ve D9 noktasında 7.74 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 11.54 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir.

TK4 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen boşluk suyu basıncı oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, boşluk suyuna ait 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman' grafiği Şekil 7.29'de verilmiştir.

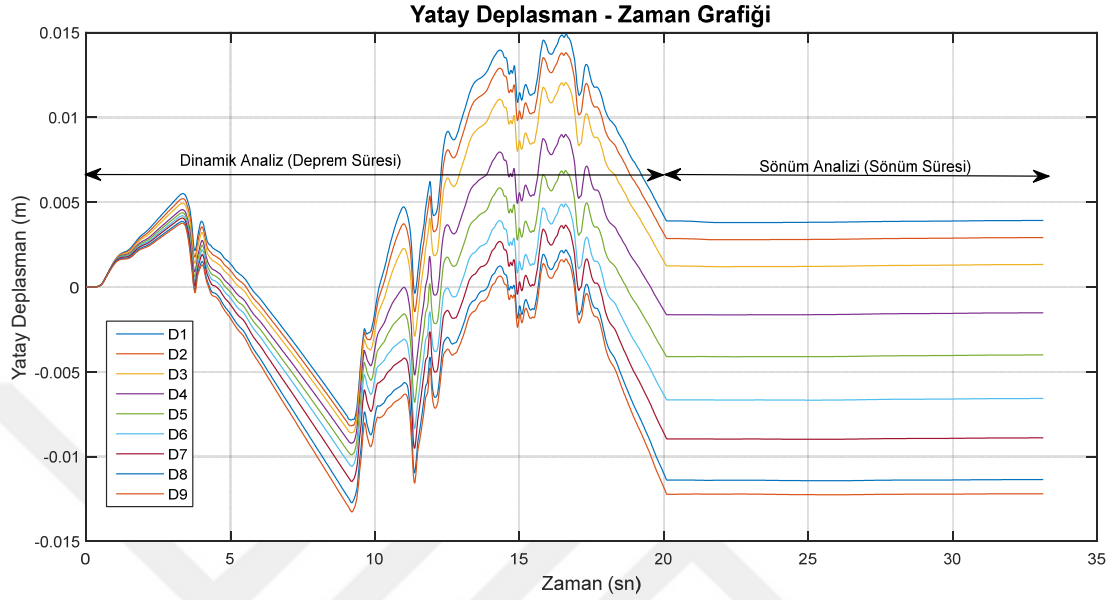


Şekil 7.29: TK4 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği

Şekil 7.29 incelendiğinde, zeminin yüzeyinde (B1), zeminin 3 m derinliğinde (B2) ve zeminin 6 m derinliğinde (B3) incelenmiş olan noktalardaki boşluk suyu basıncının dinamik analiz sırasındaki değişimleri görülmektedir. Bu çalışmada yer altı su seviyesi (Y.A.S.S.) 1.5 m de bulunduğu için B1 noktasında dinamik etki öncesi boşluk suyu basıncı sıfırdır. Dinamik etki altında (yani deprem anında) boşluk suyu basınca zamanla artmakta olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarını toplu olarak incelediğimizde ise boşluk suyu basıncının dinamik etki altında B1 noktasında sürekli artarken B2 ve B3 noktasında zaman zaman artsa bile dinamik analizin sonunda başlangıçtaki miktara yakın bir basınç miktarına geri gelmiştir. Bu durum da zemine uygulanan taş kolonların drenaj etkisi yaparak kalıcı bir basınç artışını engellediği düşünülebilir. B1 deki sürekli artış da, normalde Y.A.S.S.'dan yukarıda bulunmasına rağmen, su basıncının oluşması drenaj etkisiyle alt tabakalardan gelen su dan dolayı olduğu yorumlanabilir.

Yapılan dinamik analiz sonrasında TK4 taş kolonlu model için boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi durumunda oluşacak deplasmanların ve boşluk suyu basınçlarının değişimini incelemek için boşluk suyu basıncı sönüm analizi gerçekleştirilmiştir.

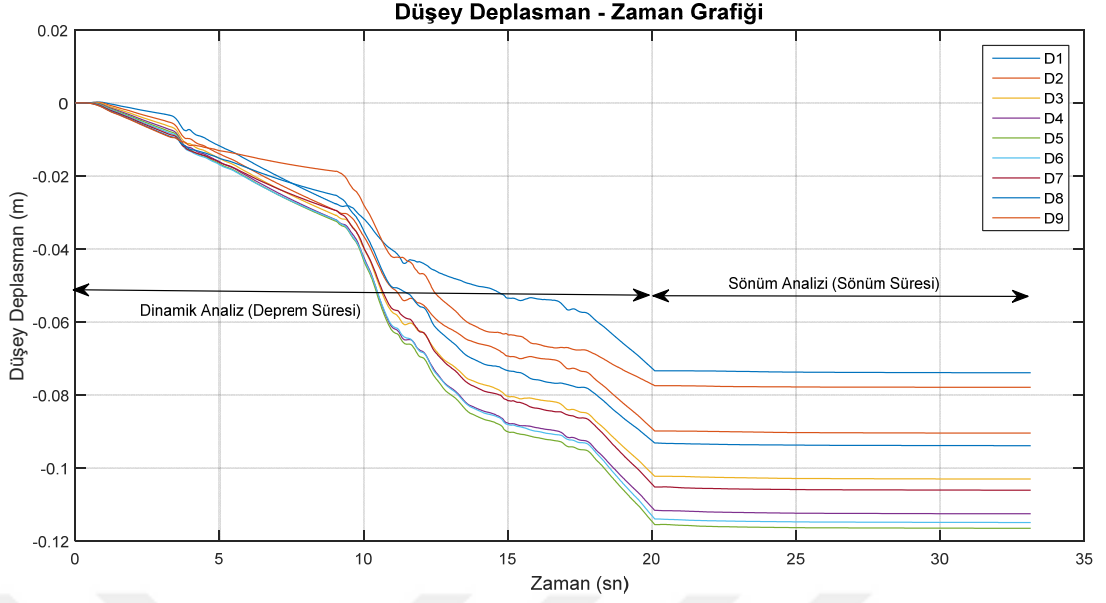
TK4 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen yatay deplasmanlar şekil 7.30'daki 'Yatay Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.30: TK4 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.30 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen yatay deplasmanların D1, D2 ve D3 inceleme noktalarında dinamik analiz sonucu oluşan son deplasman miktarının sönüm sonrası arttığı görülmektedir. D4, D5, D6, D7, D8 ve D9 inceleme noktalarında ise yatay deplasmanın sönüm sonrası azaldığı görülmektedir.

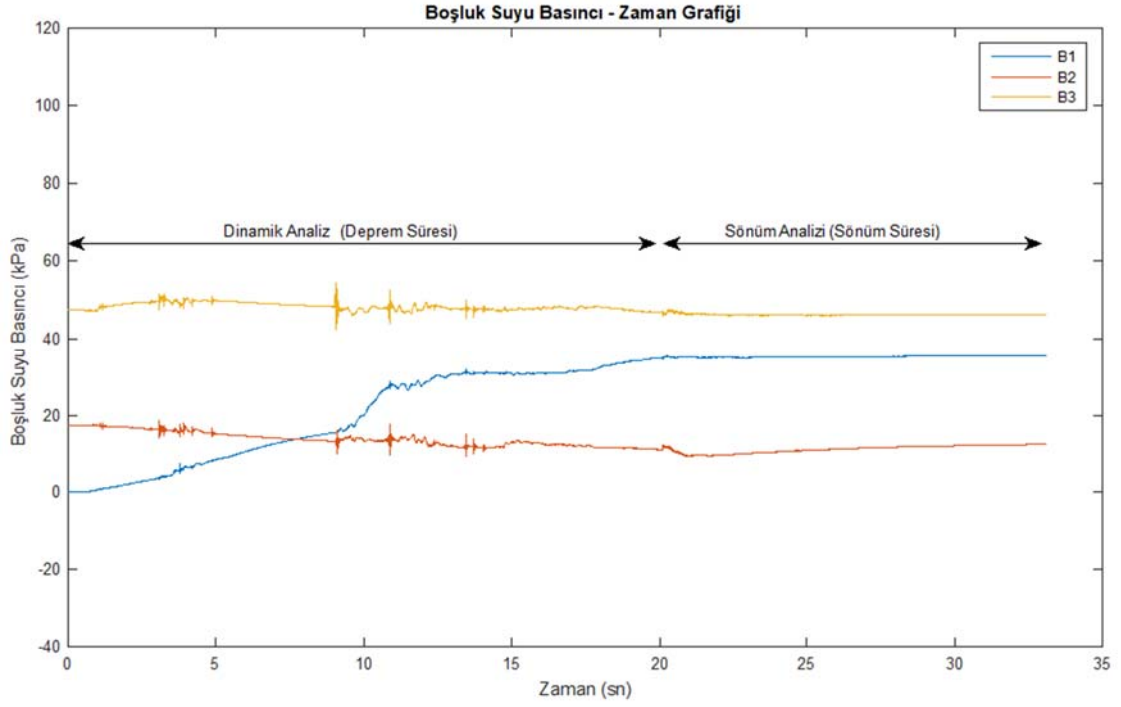
TK4 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen düşey deplasmanlar şekil 7.31'deki 'Düşey Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.31: TK4 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.31 incelendiğinde, sönüm sonrası inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 7.39 cm olarak, D2 noktasında 9.04 cm olarak, D3 noktasında 10.29 cm olarak, D4 noktasında 11.25 cm olarak, D5 noktasında 11.64 cm olarak, D6 noktasında 11.49 cm olarak, D7 noktasında 10.60 cm olarak, D8 noktasında 9.38 cm olarak ve D9 noktasında 7.78 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 11.64 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir. Sönüm analizi sonrası görülmektedir ki düşey deplasmanlarda çok az miktarda artış oluşmuştur.

TK4 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen boşluk suyu basıncı değişimleri şekil 7.32'deki 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



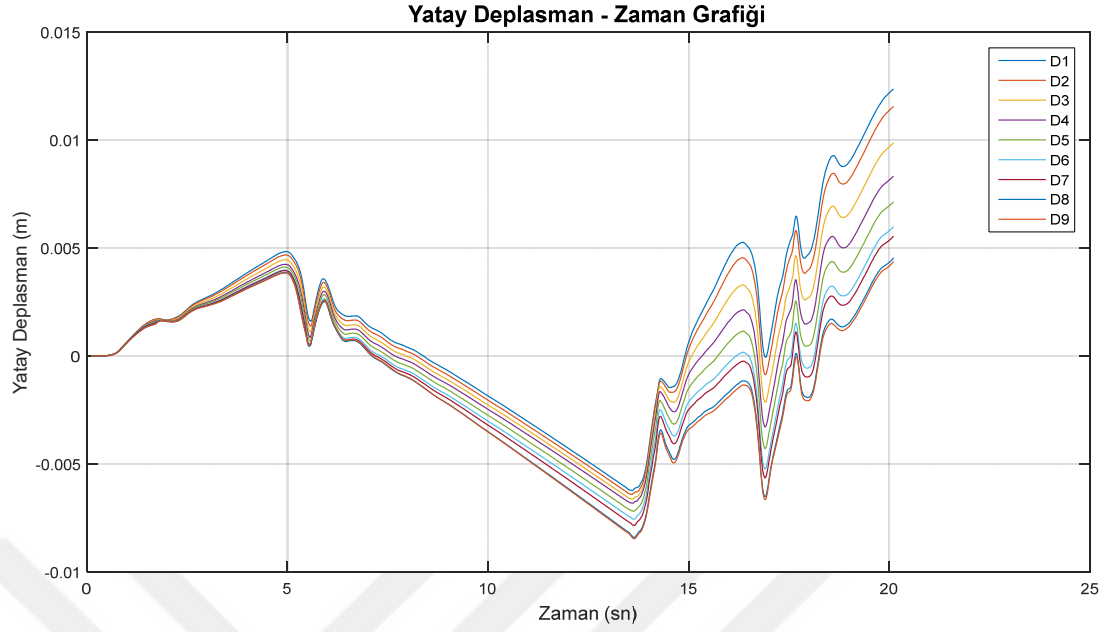
Şekil 7.32: TK4 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği

Şekil 7.32 incelendiğinde, TK4 taş kolonlu modelin sönüm analizi sonucunda boşluk suyu basıncı; B1 noktasında artma göstermiştir. Zeminin yüzeyinde bulunan B1 noktasındaki boşluk suyu basıncının artması, taş kolonların oluşturmuş olduğu drenaj etkisinden dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. B2 ve B3 noktalarında ise boşluk suyu basıncı sönüm analizi sonunda statik durumdaki basınç miktarına geri geldiği görülmektedir. Y.A.S.S. 1.5 m’de olduğu için boşluk suyu basıncı sıfırlanmaz sadece suya dinamik etki öncesindeki basınç miktarına kadar gerileyebilir.

7.2.5. TK5 taş kolonlu nümerik model analizi

Taş kolonlu olarak yapılan bu analiz sonucundan, zeminde dinamik kuvvetler altında meydana gelecek yatay ve düşey deplasmanlar ile oluşacak boşluk suyu basınçları gözlemlenmiştir. Bu analizle taş kolon ile iyileştirilmiş zeminin dinamik koşullar altındaki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

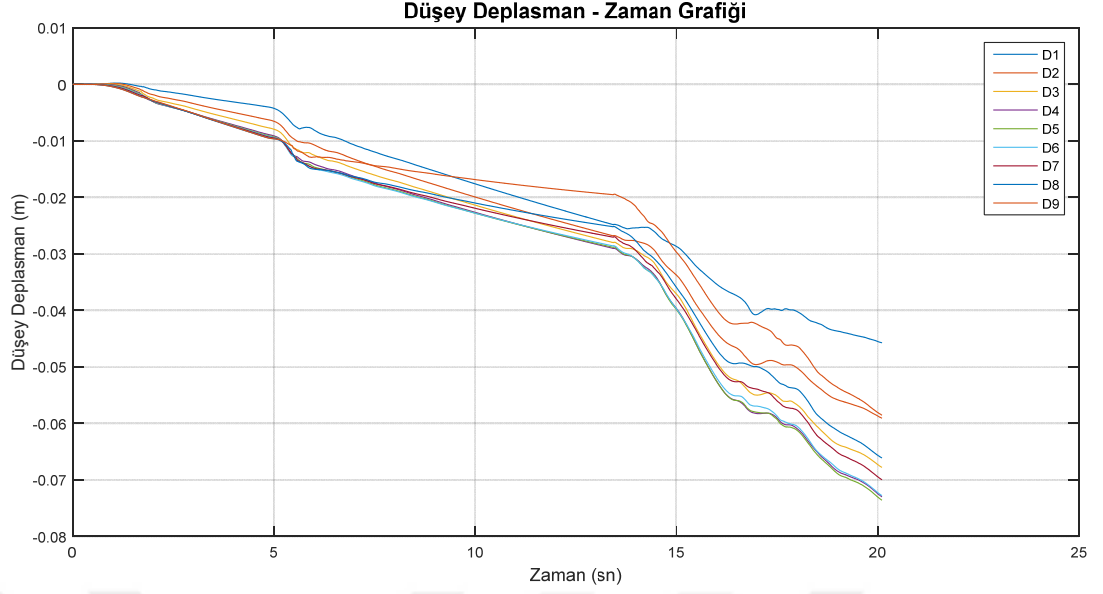
TK5 Taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analizi sonucunda zeminde meydana gelen yatay deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, yatay deplasmanlara ait ‘Yatay Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.33’de verilmiştir.



Şekil 7.33: TK5 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.33 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar; D1 noktasında 1.24 cm olarak, D2 noktasında 1.16 cm olarak, D3 noktasında 0.99 cm olarak, D4 noktasında 0.83 cm olarak, D5 noktasında 0.72 cm olarak, D6 noktasında 0.76 cm olarak, D7 noktasında 0.78 cm olarak, D8 noktasında 0.84 cm olarak ve D9 noktasında 0.85 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla yatay deplasman 1.24 cm ile D1 noktasında meydana gelmiştir.

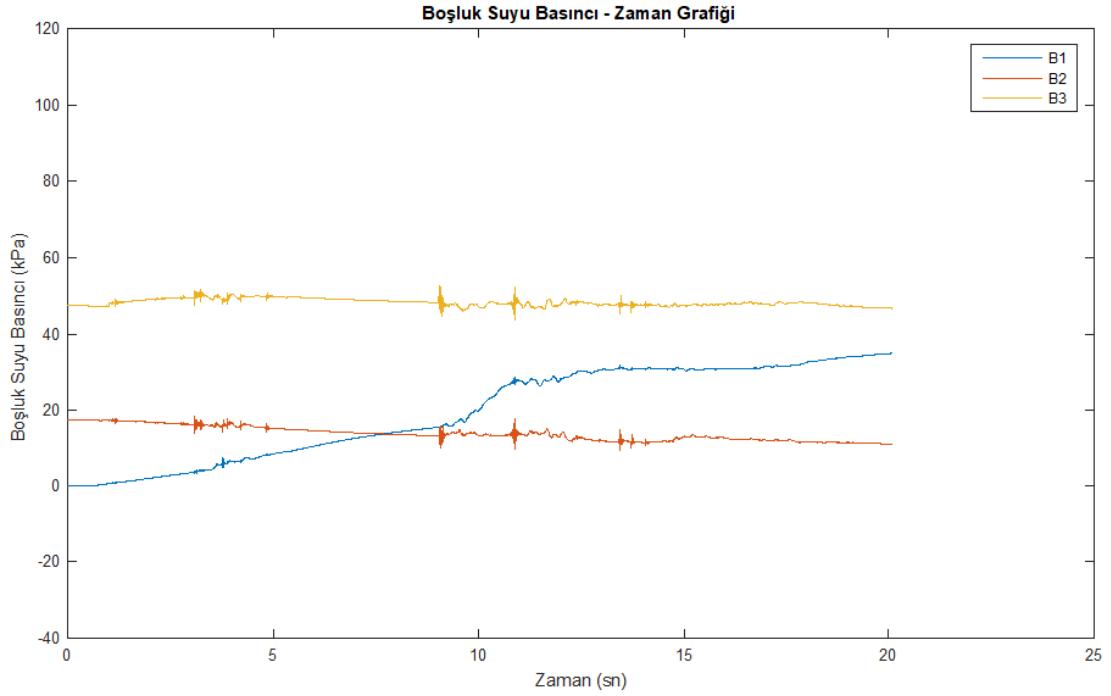
TK5 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen düşey deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, düşey deplasmanlara ait ‘Düşey Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.34’da verilmiştir.



Şekil 7.34: TK5 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.34 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 4.57 cm olarak, D2 noktasında 5.91 cm olarak, D3 noktasında 6.78 cm olarak, D4 noktasında 7.30 cm olarak, D5 noktasında 7.36 cm olarak, D6 noktasında 7.28 cm olarak, D7 noktasında 6.99 cm olarak, D8 noktasında 6.61 cm olarak ve D9 noktasında 5.85 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 7.36 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir.

TK5 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen boşluk suyu basıncı oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, boşluk suyuna ait 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman' grafiği Şekil 7.35'da verilmiştir.

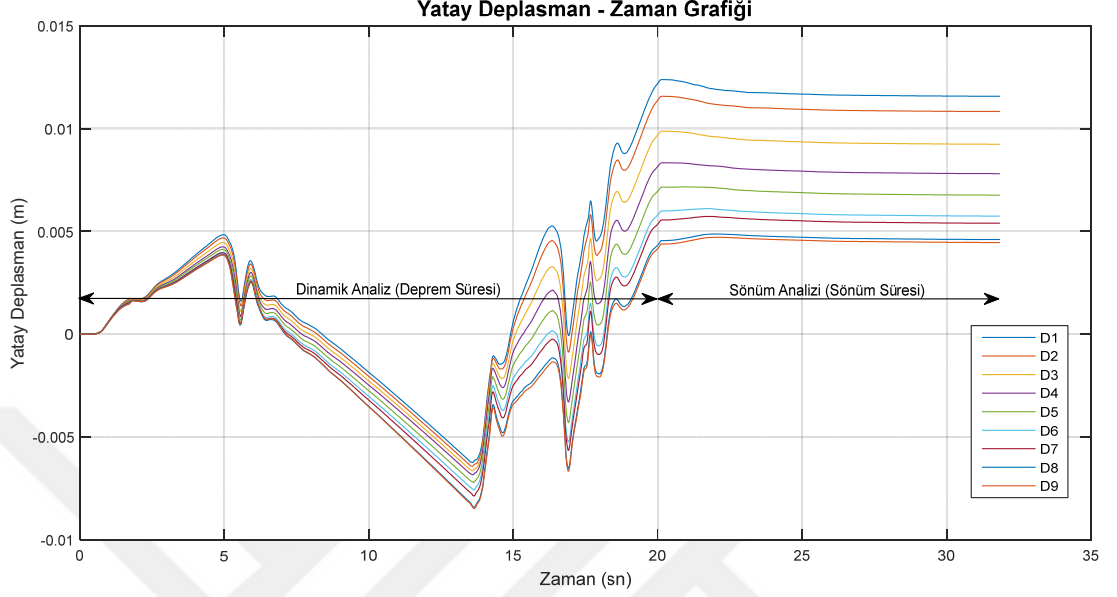


Şekil 7.35: TK5 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği

Şekil 7.35 incelendiğinde, zeminin yüzeyinde (B1), zeminin 3 m derinliğinde (B2) ve zeminin 6 m derinliğinde (B3) incelenmiş olan noktalardaki boşluk suyu basıncının dinamik analiz sırasındaki değişimleri görülmektedir. Bu çalışmada yer altı su seviyesi (Y.A.S.S.) 1.5 m de bulunduğu için B1 noktasında dinamik etki öncesi boşluk suyu basıncı sıfırdır. Dinamik etki altında (yani deprem anında) boşluk suyu basınca zamanla artmakta olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarını toplu olarak incelediğimizde ise boşluk suyu basıncının dinamik etki altında B1 noktasında sürekli artarken B2 ve B3 noktasında zaman zaman artsa bile dinamik analizin sonunda başlangıçtaki miktara yakın bir basınç miktarına geri gelmiştir. Bu durum da zemine uygulanan taş kolonların drenaj etkisi yaparak kalıcı bir basınç artışını engellediği düşünülebilir. B1 deki sürekli artış da, normalde Y.A.S.S.'dan yukarıda bulunmasına rağmen, su basıncının oluşması drenaj etkisiyle alt tabakalardan gelen su dan dolayı olduğu yorumlanabilir.

Yapılan dinamik analiz sonrasında TK5 taş kolonlu model için boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi durumunda oluşacak deplasmanların ve boşluk suyu basınçlarının değişimini incelemek için boşluk suyu basıncı sönüm analizi gerçekleştirilmiştir.

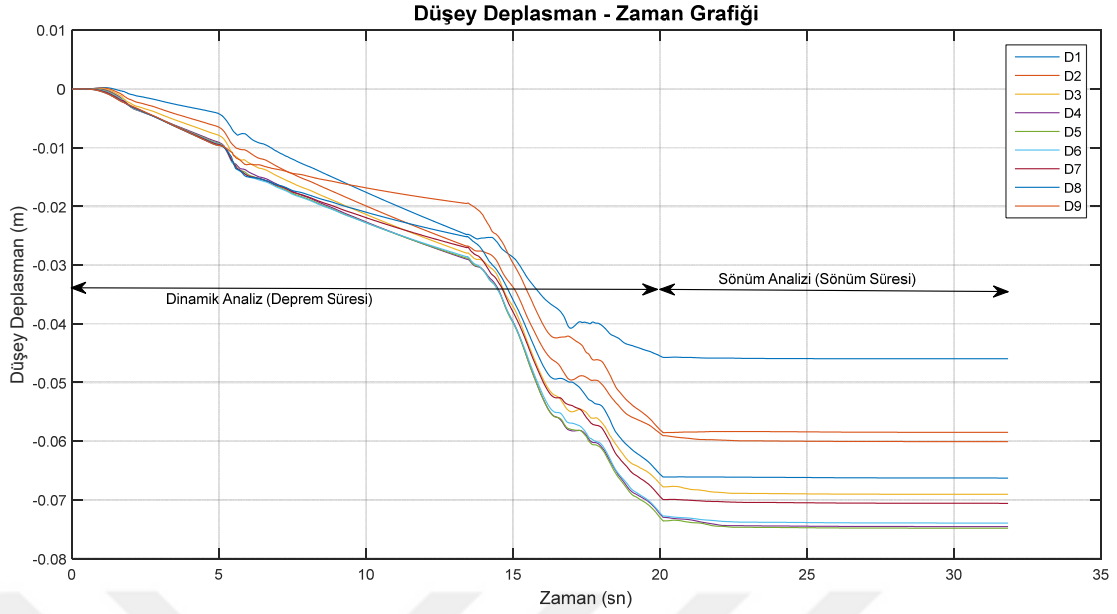
TK5 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen yatay deplasmanlar şekil 7.36'deki 'Yatay Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.36: TK5 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.36 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen yatay deplasmanların bütün inceleme noktalarında dinamik analiz sonucu oluşan son deplasman miktarının sönüm sonrası azaldığı görülmektedir.

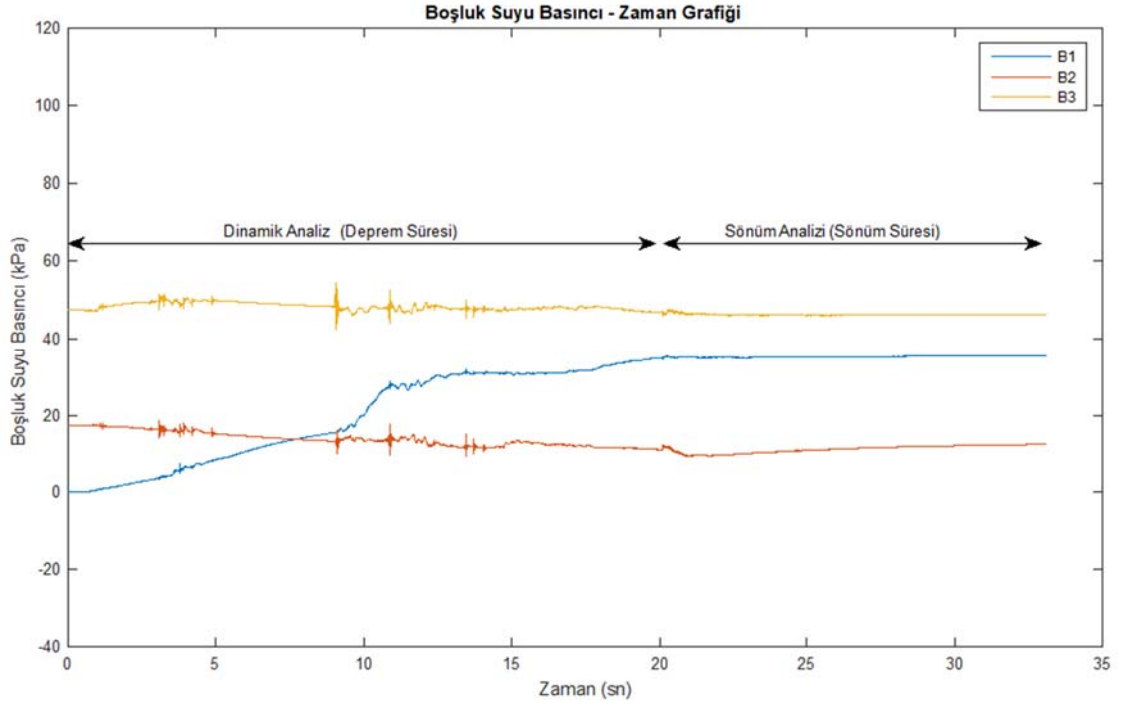
TK5 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen düşey deplasmanlar şekil 7.37'deki 'Düşey Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.37: TK5 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.37 incelendiğinde, sönüm sonrası inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 4.59 cm olarak, D2 noktasında 6.01 cm olarak, D3 noktasında 6.91 cm olarak, D4 noktasında 7.45 cm olarak, D5 noktasında 7.48 cm olarak, D6 noktasında 7.40 cm olarak, D7 noktasında 7.06 cm olarak, D8 noktasında 6.63 cm olarak ve D9 noktasında 5.85 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 7.48 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir. Sönüm analizi sonrası görülmektedir ki düşey deplasmanlarda çok az miktarda artış oluşmuştur.

TK5 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen boşluk suyu basıncı değişimleri şekil 7.38'deki 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



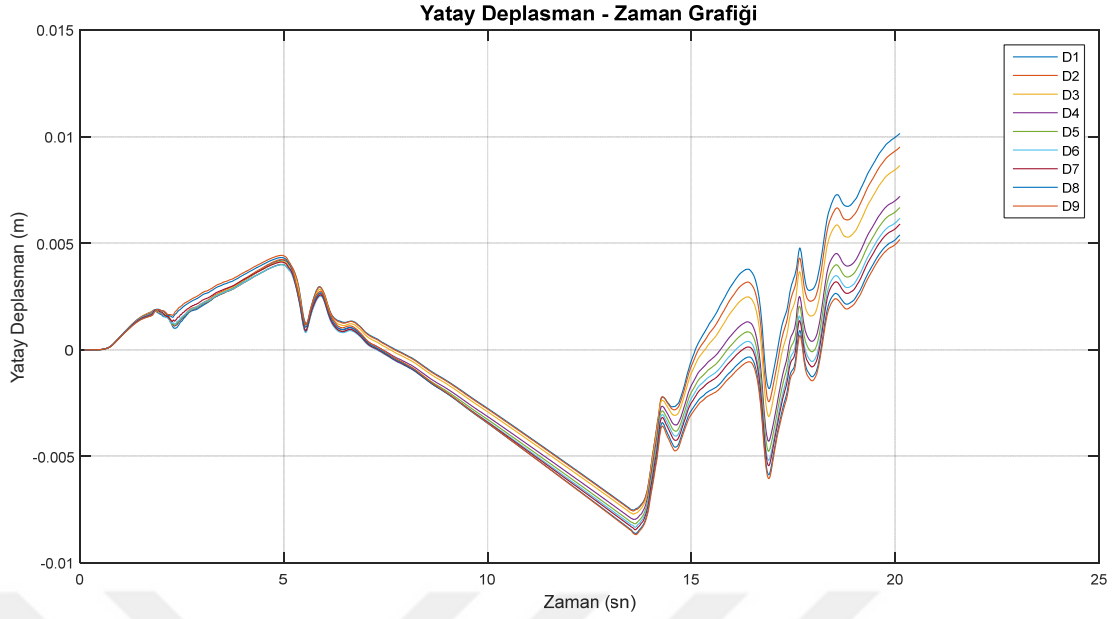
Şekil 7.38: TK5 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği

Şekil 7.38 incelendiğinde, TK5 taş kolonlu modelin sönüm analizi sonucunda boşluk suyu basıncı; B1 noktasında artma göstermiştir. Zeminin yüzeyinde bulunan B1 noktasındaki boşluk suyu basıncının artması, taş kolonların oluşturmuş olduğu drenaj etkisinden dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. B2 ve B3 noktalarında ise boşluk suyu basıncı sönüm analizi sonunda statik durumdaki basınç miktarına geri geldiği görülmektedir. Y.A.S.S. 1.5 m’de olduğu için boşluk suyu basıncı sıfırlanmaz sadece suya dinamik etki öncesindeki basınç miktarına kadar gerileyebilir.

7.2.6. TK6 taş kolonlu nümerik model analizi

Taş kolonlu olarak yapılan bu analiz sonucundan, zeminde dinamik kuvvetler altında meydana gelecek yatay ve düşey deplasmanlar ile oluşacak boşluk suyu basınçları gözlemlenmiştir. Bu analizle taş kolon ile iyileştirilmiş zeminin dinamik koşullar altındaki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

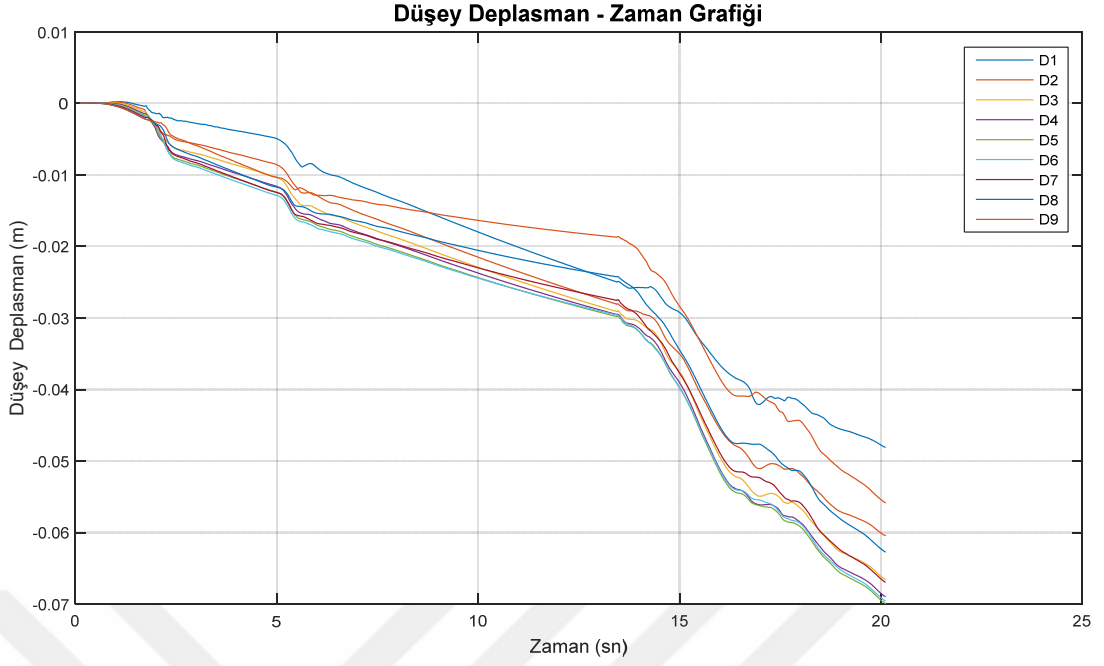
TK6 Taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analizi sonucunda zeminde meydana gelen yatay deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, yatay deplasmanlara ait ‘Yatay Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.39’de verilmiştir.



Şekil 7.39: TK6 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.39 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar; D1 noktasında 1.02 cm olarak, D2 noktasında 0.95 cm olarak, D3 noktasında 0.87 cm olarak, D4 noktasında 0.79 cm olarak, D5 noktasında 0.82 cm olarak, D6 noktasında 0.83 cm olarak, D7 noktasında 0.84 cm olarak, D8 noktasında 0.86 cm olarak ve D9 noktasında 0.87 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla yatay deplasman 1.02 cm ile D1 noktasında meydana gelmiştir.

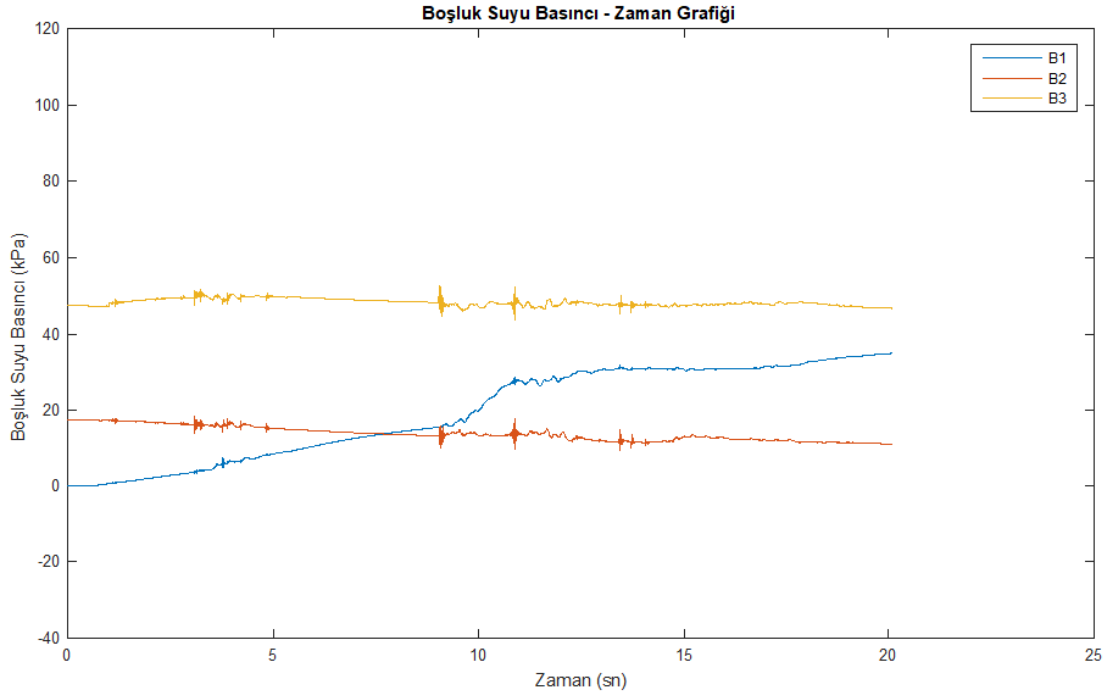
TK6 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen düşey deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, düşey deplasmanlara ait ‘Düşey Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.40’da verilmiştir.



Şekil 7.40: TK6 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği

Şekil 7.40 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 4.81 cm olarak, D2 noktasında 6.04 cm olarak, D3 noktasında 6.66 cm olarak, D4 noktasında 6.89 cm olarak, D5 noktasında 6.99 cm olarak, D6 noktasında 6.96 cm olarak, D7 noktasında 6.69 cm olarak, D8 noktasında 6.27 cm olarak ve D9 noktasında 5.59 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 6.99 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir.

TK6 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen boşluk suyu basıncı oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, boşluk suyuna ait 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman' grafiği Şekil 7.41'da verilmiştir.

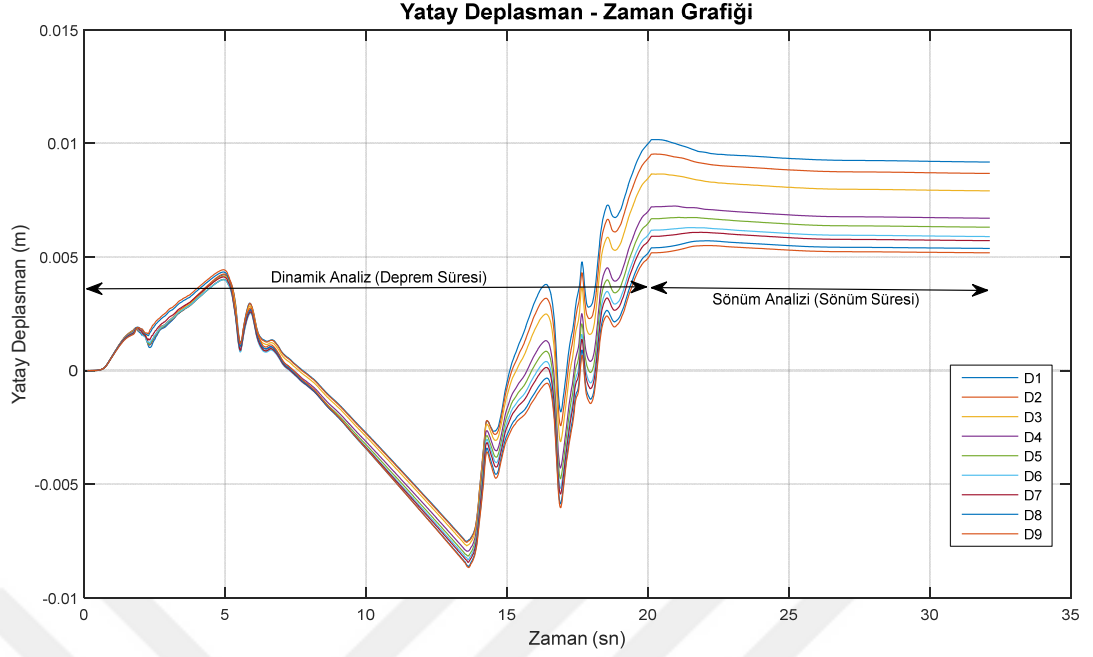


Şekil 7.41: TK6 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği.

Şekil 7.41 incelendiğinde, zeminin yüzeyinde (B1), zeminin 3 m derinliğinde (B2) ve zeminin 6 m derinliğinde (B3) incelenmiş olan noktalardaki boşluk suyu basıncının dinamik analiz sırasındaki değişimleri görülmektedir. Bu çalışmada yer altı su seviyesi (Y.A.S.S.) 1.5 m de bulunduğu için B1 noktasında dinamik etki öncesi boşluk suyu basıncı sıfırdır. Dinamik etki altında (yani deprem anında) boşluk suyu basınca zamanla artmakta olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarını genel olarak incelediğimizde ise boşluk suyu basıncının dinamik etki altında B1 noktasında sürekli artarken B2 ve B3 noktasında zaman zaman artsa bile dinamik analiz sonuna başlangıçtaki miktara yakın bir basınç miktarına geri gelmiştir. Bu durum da zemine uygulanan taş kolonların drenaj etkisi yaparak kalıcı bir basınç artışını engellediği düşünülebilir. B1 deki sürekli artış da, normalde Y.A.S.S.'dan yukarıda bulunmasına rağmen, su basıncının oluşması drenaj etkisiyle alt tabakalardan gelen su dan dolayı olduğu yorumlanabilir.

Yapılan dinamik analiz sonrasında TK6 taş kolonlu model için boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi durumunda oluşacak deplasmanların ve boşluk suyu basınçlarının değişimini incelemek için boşluk suyu basıncı sönüm analizi gerçekleştirilmiştir.

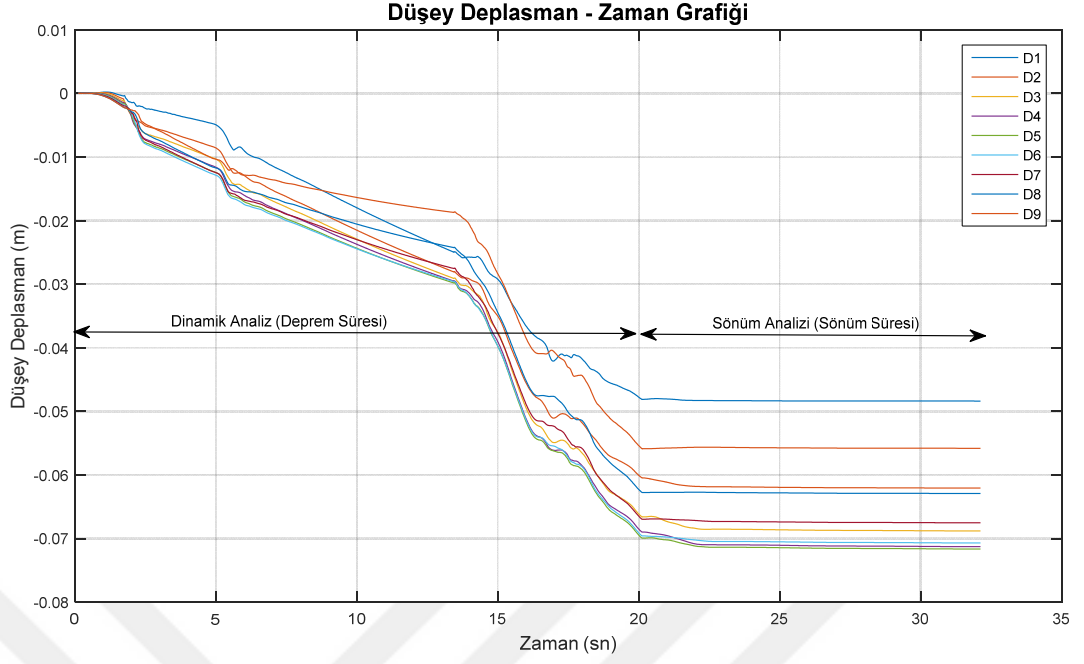
TK6 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen yatay deplasmanlar şekil 7.42'deki 'Yatay Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.42: TK6 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.42 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen yatay deplasmanların bütün inceleme noktalarında dinamik analiz sonucu oluşan son deplasman miktarının sönüm sonrası azaldığı görülmektedir.

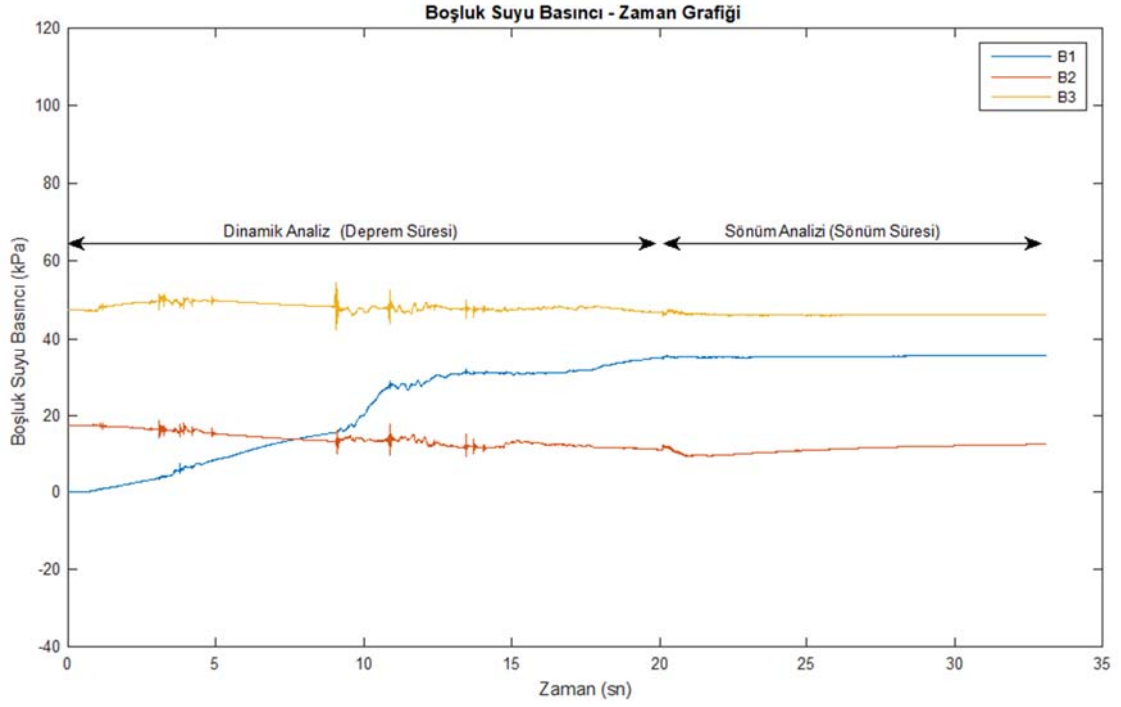
TK6 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen düşey deplasmanlar şekil 7.43'deki 'Düşey Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.43: TK6 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.43 incelendiğinde, sönüm sonrası inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 4.84 cm olarak, D2 noktasında 6.21 cm olarak, D3 noktasında 6.88 cm olarak, D4 noktasında 7.13 cm olarak, D5 noktasında 7.16 cm olarak, D6 noktasında 7.07 cm olarak, D7 noktasında 6.75 cm olarak, D8 noktasında 6.29 cm olarak ve D9 noktasında 5.58 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 7.16 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir. Sönüm analizi sonrası görülmektedir ki düşey deplasmanlarda çok az miktarda artış oluşmuştur.

TK6 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen boşluk suyu basıncı değişimleri şekil 7.44'deki 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



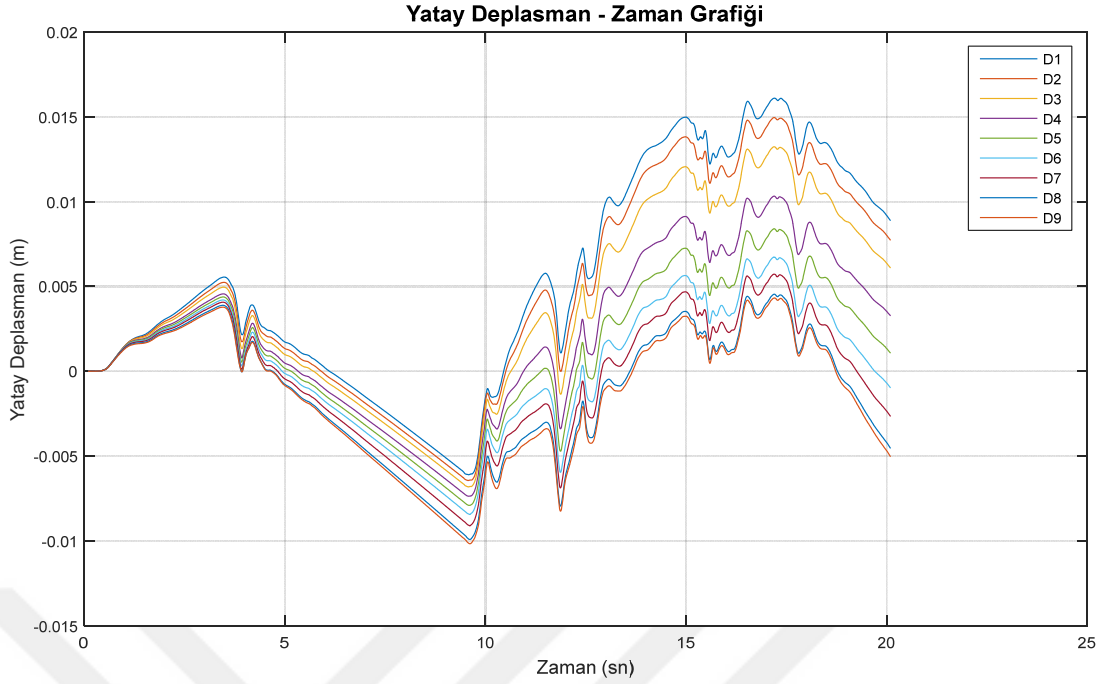
Şekil 7.44: TK6 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği.

Şekil 7.44 incelendiğinde, TK6 taş kolonlu modelin sönüm analizi sonucunda boşluk suyu basıncı; B1 noktasında artma göstermiştir. Zeminin yüzeyinde bulunan B1 noktasındaki boşluk suyu basıncının artması, taş kolonların oluşturmuş olduğu drenaj etkisinden dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. B2 ve B3 noktalarında ise boşluk suyu basıncı sönüm analizi sonunda statik durumdaki basınç miktarına geri geldiği görülmektedir. Y.A.S.S. 1.5 m’de olduğu için boşluk suyu basıncı sıfırlanmaz sadece suya dinamik etki öncesindeki basınç miktarına kadar gerileyebilir.

7.2.7. TK7 taş kolonlu nümerik model analizi

Taş kolonlu olarak yapılan bu analiz sonucundan, zeminde dinamik kuvvetler altında meydana gelecek yatay ve düşey deplasmanlar ile oluşacak boşluk suyu basınçları gözlemlenmiştir. Bu analizle taş kolon ile iyileştirilmiş zeminin dinamik koşullar altındaki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

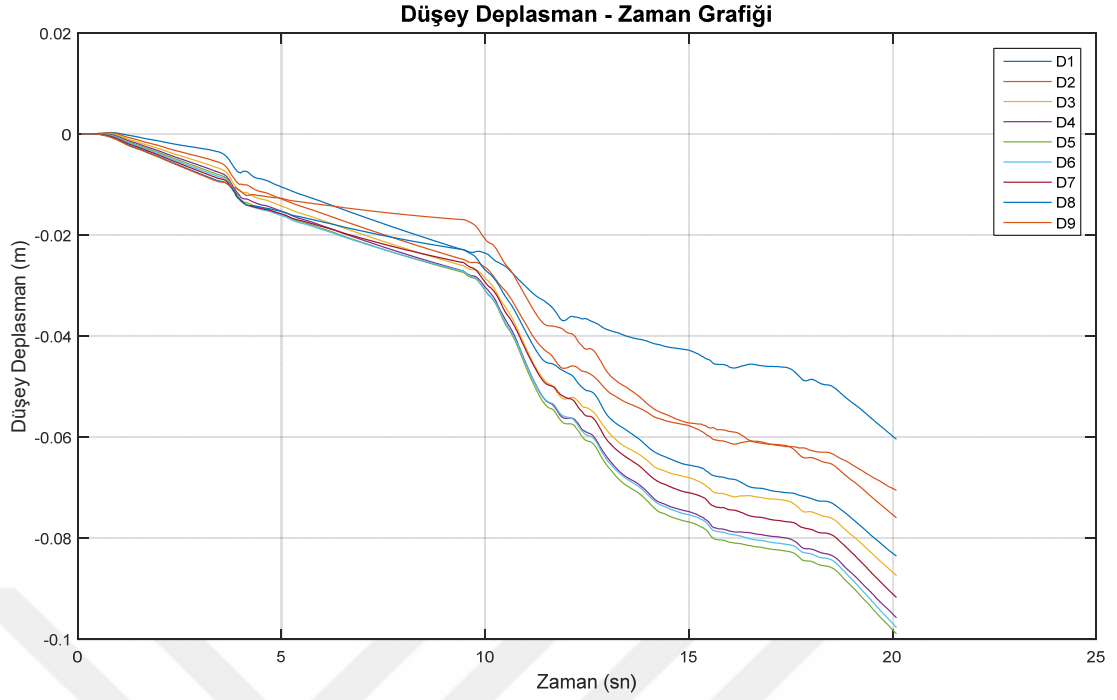
TK7 Taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analizi sonucunda zeminde meydana gelen yatay deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, yatay deplasmanlara ait ‘Yatay Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.45’de verilmiştir.



Şekil 7.45: TK7 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.45 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar; D1 noktasında 1.61 cm olarak, D2 noktasında 1.50 cm olarak, D3 noktasında 1.32 cm olarak, D4 noktasında 1.03 cm olarak, D5 noktasında 0.84 cm olarak, D6 noktasında 0.84 cm olarak, D7 noktasında 0.91 cm olarak, D8 noktasında 0.99 cm olarak ve D9 noktasında 1.02 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla yatay deplasman 1.61 cm ile D1 noktasında meydana gelmiştir.

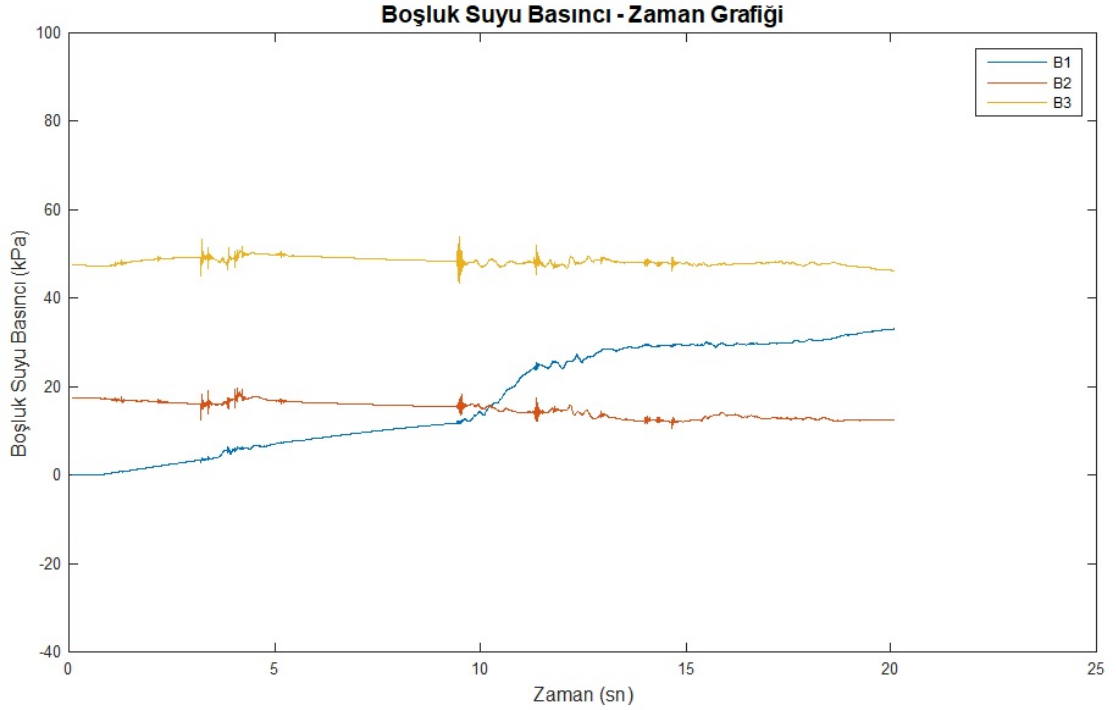
TK7 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen düşey deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, düşey deplasmanlara ait ‘Düşey Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.46’de verilmiştir.



Şekil 7.46: TK7 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.46 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 6.04 cm olarak, D2 noktasında 7.59 cm olarak, D3 noktasında 8.74 cm olarak, D4 noktasında 9.57 cm olarak, D5 noktasında 9.90 cm olarak, D6 noktasında 9.76 cm olarak, D7 noktasında 9.17 cm olarak, D8 noktasında 8.35 cm olarak ve D9 noktasında 7.05 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 9.90 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir.

TK7 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen boşluk suyu basıncı oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, boşluk suyuna ait 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman' grafiği Şekil 7.47'da verilmiştir.

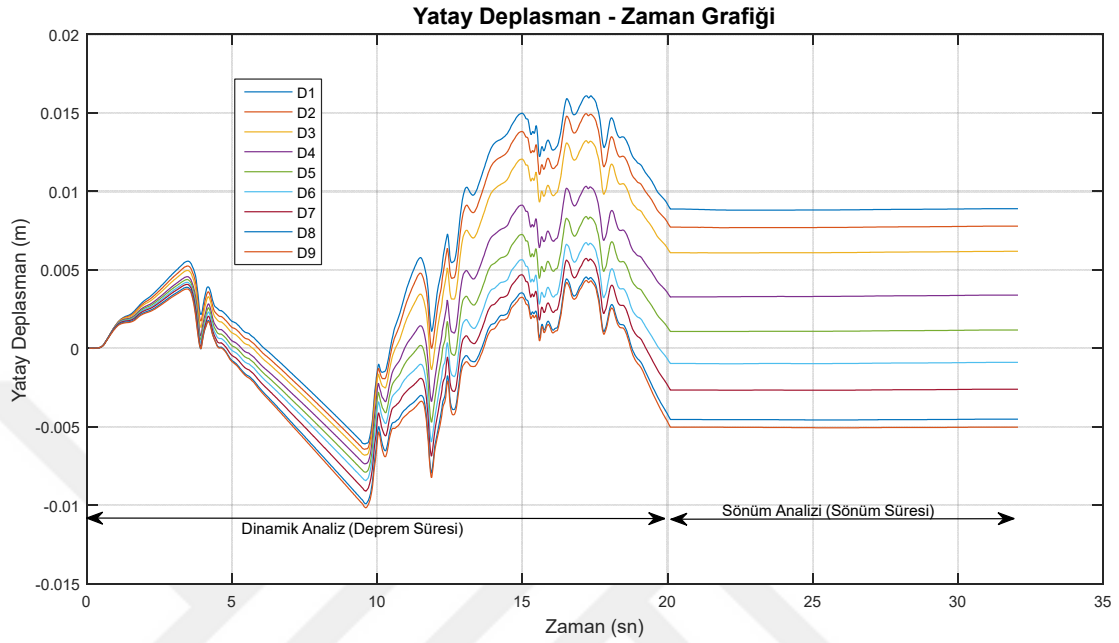


Şekil 7.47: TK7 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği.

Şekil 7.47 incelendiğinde, zeminin yüzeyinde (B1), zeminin 3 m derinliğinde (B2) ve zeminin 6 m derinliğinde (B3) incelenmiş olan noktalardaki boşluk suyu basıncının dinamik analiz sırasındaki değişimleri görülmektedir. Bu çalışmada yer altı su seviyesi (Y.A.S.S.) 1.5 m de bulunduğu için B1 noktasında dinamik etki öncesi boşluk suyu basıncı sıfırdır. Dinamik etki altında (yani deprem anında) boşluk suyu basınca zamanla artmakta olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarını toplu olarak incelediğimizde ise boşluk suyu basıncının dinamik etki altında B1 noktasında sürekli artarken B2 ve B3 noktasında zaman zaman artsa bile dinamik analiz sonuna başlangıçtaki miktara yakın bir basınç miktarına geri gelmiştir. Bu durum da zemine uygulanan taş kolonların drenaj etkisi yaparak kalıcı bir basınç artışını engellediği düşünülebilir. B1 deki sürekli artış da, normalde Y.A.S.S.'dan yukarıda bulunmasına rağmen, su basıncının oluşması drenaj etkisiyle alt tabakalardan gelen su dan dolayı olduğu yorumlanabilir.

Yapılan dinamik analiz sonrasında TK7 taş kolonlu model için boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi durumunda oluşacak deplasmanların ve boşluk suyu basınçlarının değişimini incelemek için boşluk suyu basıncı sönüm analizi gerçekleştirilmiştir.

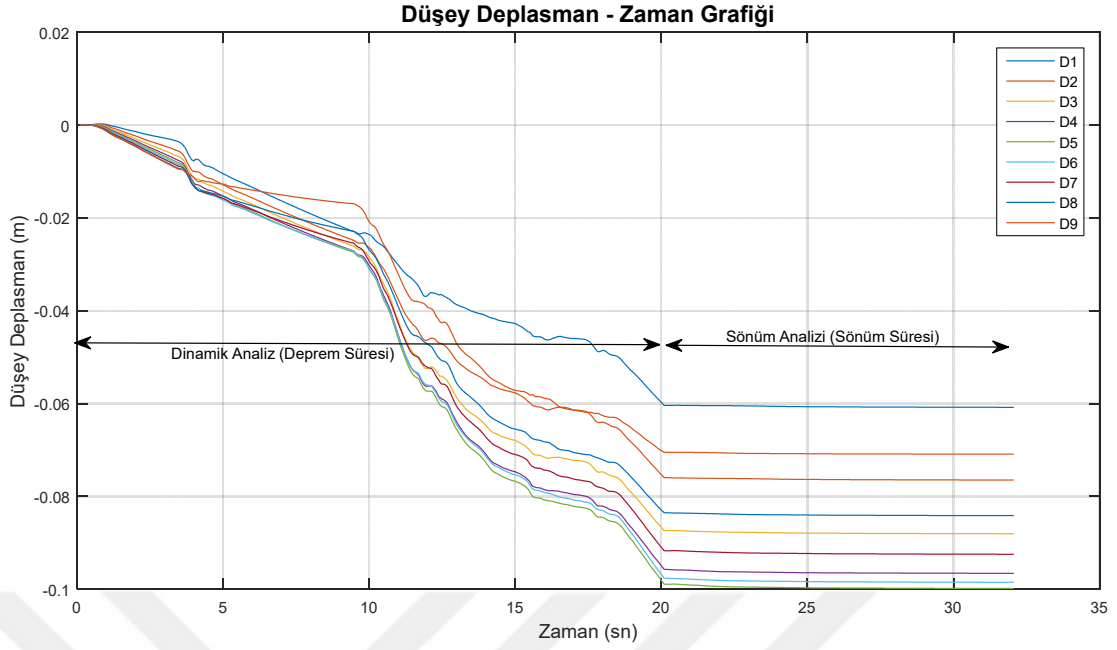
TK7 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen yatay deplasmanlar şekil 7.48'deki 'Yatay Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.48: TK7 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.48 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen yatay deplasmanlar D1, D2, D3, D4, D5 ve D6 inceleme noktalarında dinamik analiz sonucu oluşan son deplasman miktarının sönüm sonrası çok az miktarda arttığı görülmektedir. D7, D8 ve D9 inceleme noktalarında ise yatay deplasmanın sönüm sonrası azaldığı görülmektedir.

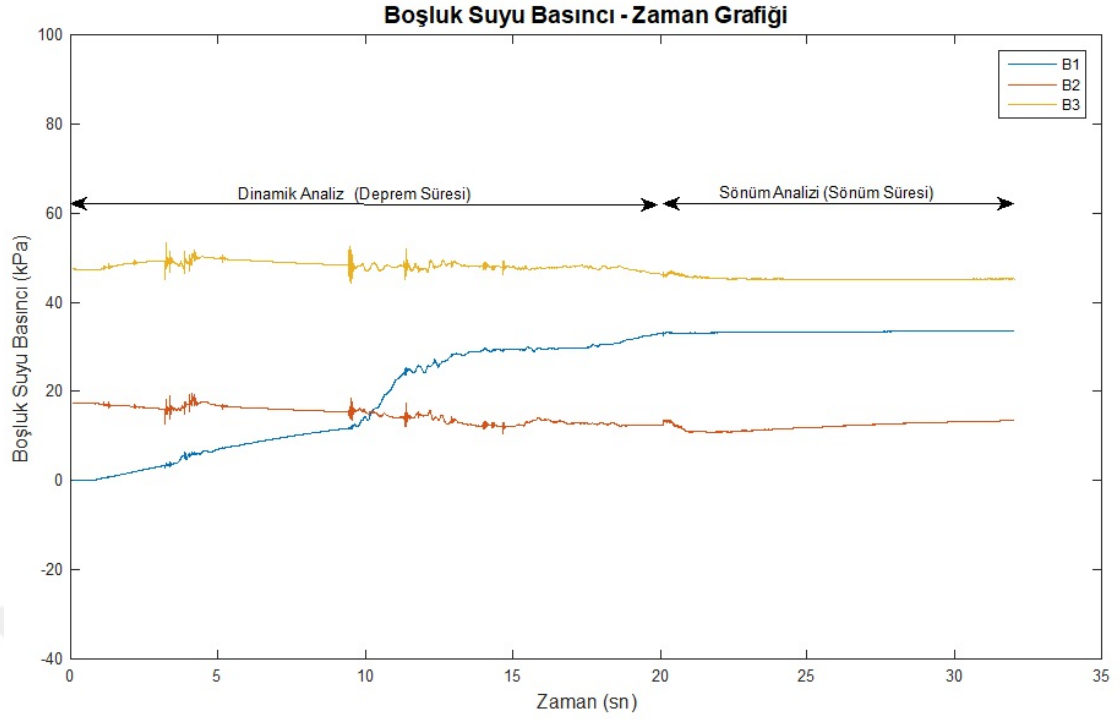
TK7 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen düşey deplasmanlar şekil 7.49'deki 'Düşey Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.49: TK7 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.49 incelendiğinde, sönüm sonrası inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 6.08 cm olarak, D2 noktasında 7.65 cm olarak, D3 noktasında 8.80 cm olarak, D4 noktasında 9.66 cm olarak, D5 noktasında 9.98 cm olarak, D6 noktasında 9.85 cm olarak, D7 noktasında 9.25 cm olarak, D8 noktasında 8.41 cm olarak ve D9 noktasında 7.09 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 9.98 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir. Sönüm analizi sonrası görülmektedir ki düşey deplasmanlarda çok az miktarda artış oluşmuştur.

TK7 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen boşluk suyu basıncı değişimleri şekil 7.50'deki 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



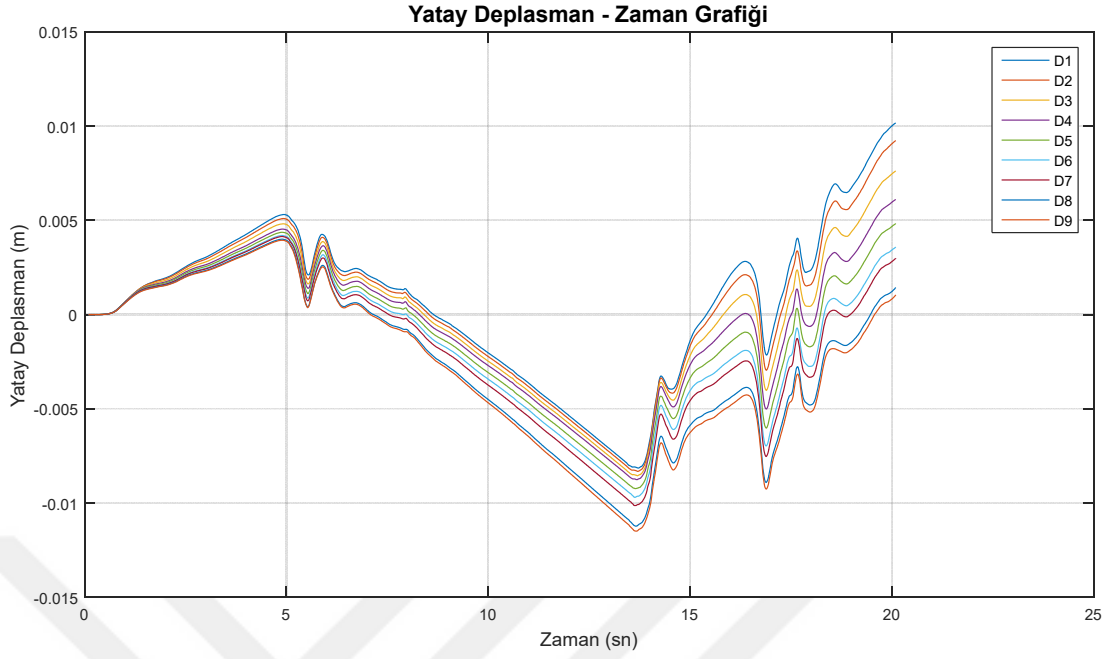
Şekil 7.50: TK7 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği.

Şekil 7.50 incelendiğinde, TK7 taş kolonlu modelin sönüm analizi sonucunda boşluk suyu basıncı; B1 noktasında artma göstermiştir. Zeminin yüzeyinde bulunan B1 noktasındaki boşluk suyu basıncının artması, taş kolonların oluşturmuş olduğu drenaj etkisinden dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. B2 ve B3 noktalarında ise boşluk suyu basıncı sönüm analizi sonunda statik durumdaki basınç miktarına geri geldiği görülmektedir. Y.A.S.S. 1.5 m’de olduğu için boşluk suyu basıncı sıfırlanmaz sadece suya dinamik etki öncesindeki basınç miktarına kadar gerileyebilir.

7.2.8. TK8 taş kolonlu nümerik model analizi

Taş kolonlu olarak yapılan bu analiz sonucundan, zeminde dinamik kuvvetler altında meydana gelecek yatay ve düşey deplasmanlar ile oluşacak boşluk suyu basınçları gözlemlenmiştir. Bu analizle taş kolon ile iyileştirilmiş zeminin dinamik koşullar altındaki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

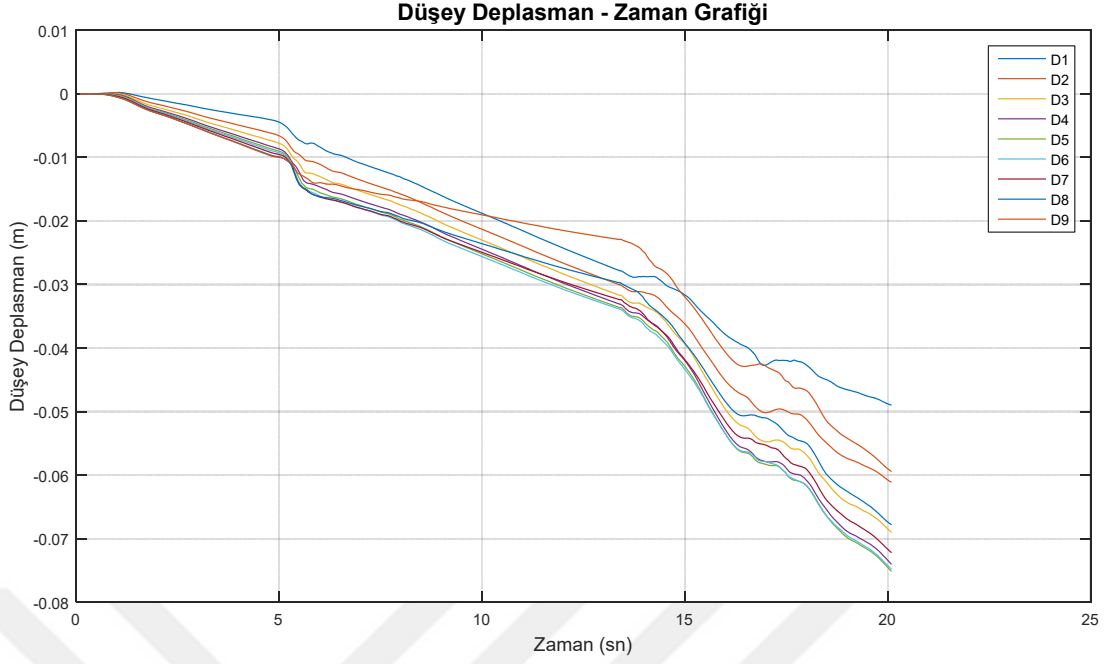
TK8 Taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analizi sonucunda zeminde meydana gelen yatay deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, yatay deplasmanlara ait ‘Yatay Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.51’de verilmiştir.



Şekil 7.51: TK8 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.51 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar; D1 noktasında 1.02 cm olarak, D2 noktasında 0.92 cm olarak, D3 noktasında 0.86 cm olarak, D4 noktasında 0.88 cm olarak, D5 noktasında 0.92 cm olarak, D6 noktasında 0.97 cm olarak, D7 noktasında 1.01 cm olarak, D8 noktasında 1.12 cm olarak ve D9 noktasında 1.15 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla yatay deplasman 1.15 cm ile D9 noktasında meydana gelmiştir.

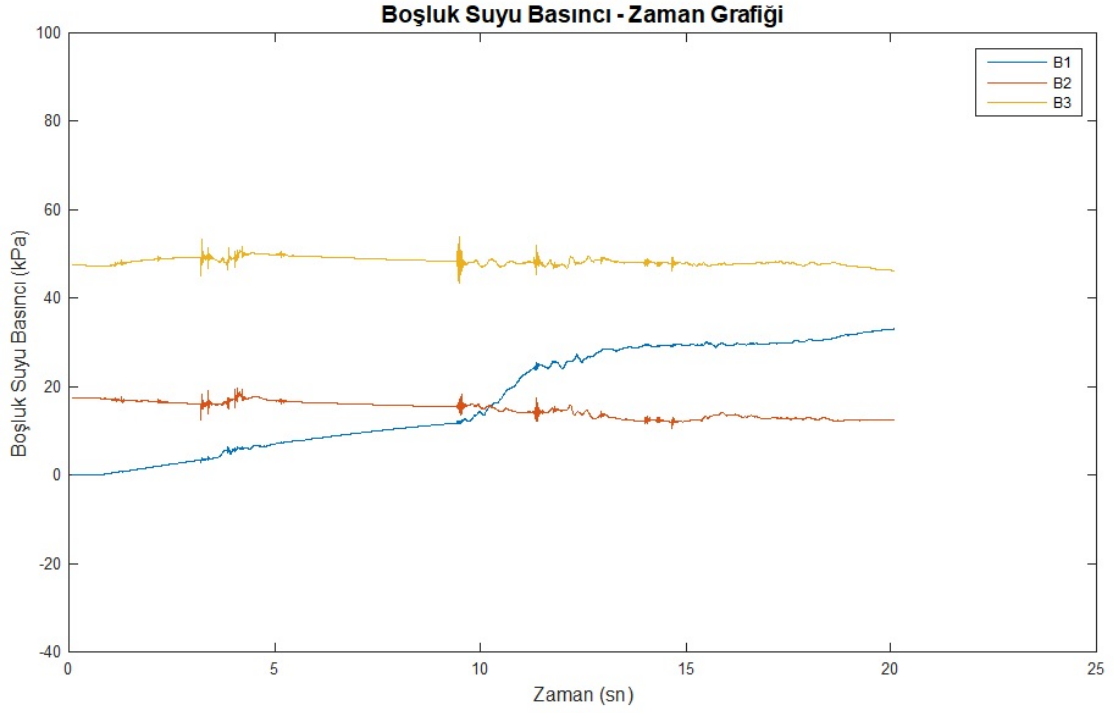
TK8 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen düşey deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, düşey deplasmanlara ait ‘Düşey Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.52’de verilmiştir.



Şekil 7.52: TK8 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.52 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 4.89 cm olarak, D2 noktasında 6.11 cm olarak, D3 noktasında 6.90 cm olarak, D4 noktasında 7.40 cm olarak, D5 noktasında 7.52 cm olarak, D6 noktasında 7.48 cm olarak, D7 noktasında 7.22 cm olarak, D8 noktasında 6.78 cm olarak ve D9 noktasında 5.94 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 7.52 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir.

TK8 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen boşluk suyu basıncı oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, boşluk suyuna ait 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman' grafiği Şekil 7.53'de verilmiştir.

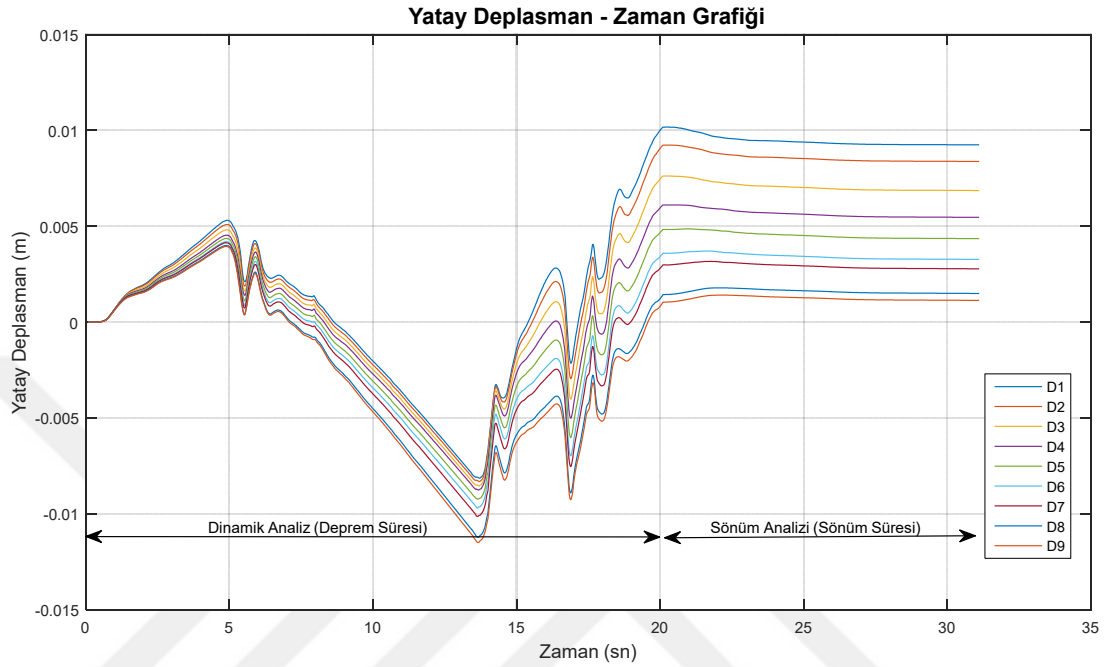


Şekil 7.53: TK8 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği.

Şekil 7.53 incelendiğinde, zeminin yüzeyinde (B1), zeminin 3 m derinliğinde (B2) ve zeminin 6 m derinliğinde (B3) incelenmiş olan noktalardaki boşluk suyu basıncının dinamik analiz sırasındaki değişimleri görülmektedir. Bu çalışmada yer altı su seviyesi (Y.A.S.S.) 1.5 m de bulunduğu için B1 noktasında dinamik etki öncesi boşluk suyu basıncı sıfırdır. Dinamik etki altında (yani deprem anında) boşluk suyu basınca zamanla artmakta olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarını toplu olarak incelediğimizde ise boşluk suyu basıncının dinamik etki altında B1 noktasında sürekli artarken B2 ve B3 noktasında zaman zaman artsa bile dinamik analiz sonuna başlangıçtaki miktara yakın bir basınç miktarına geri gelmiştir. Bu durum da zemine uygulanan taş kolonların drenaj etkisi yaparak kalıcı bir basınç artışını engellediği düşünülebilir. B1 deki sürekli artış da, normalde Y.A.S.S.'dan yukarıda bulunmasına rağmen, su basıncının oluşması drenaj etkisiyle alt tabakalardan gelen sudan dolayı olduğu yorumlanabilir.

Yapılan dinamik analiz sonrasında TK8 taş kolonlu model için boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi durumunda oluşacak deplasmanların ve boşluk suyu basınçlarının değişimini incelemek için boşluk suyu basıncı sönüm analizi gerçekleştirilmiştir.

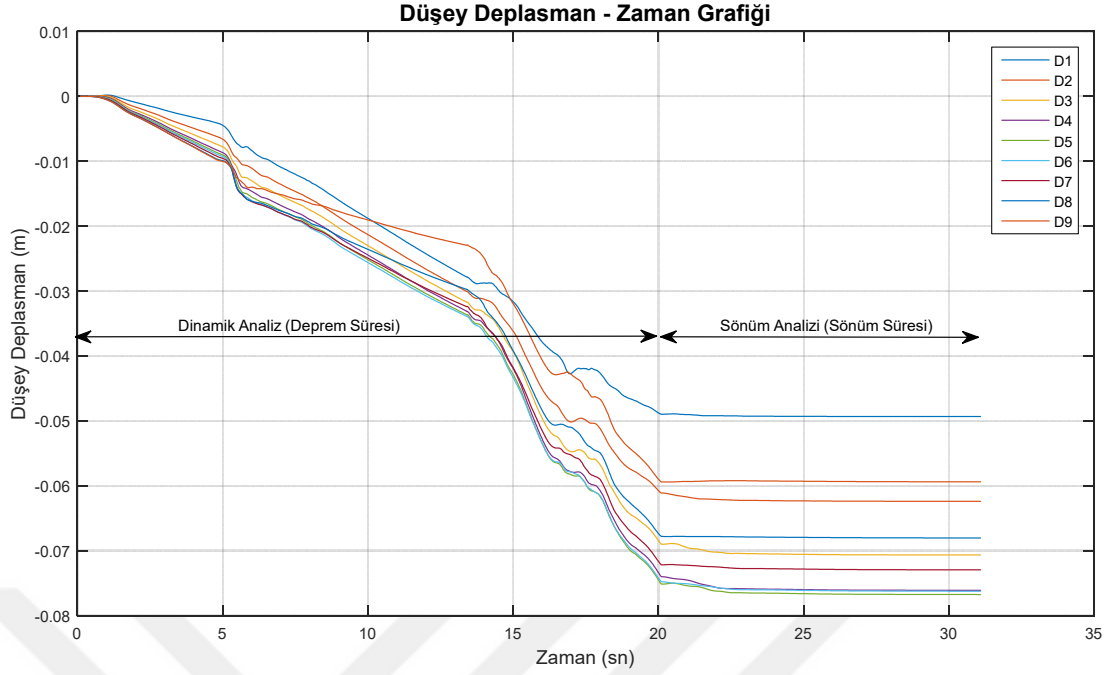
TK8 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen yatay deplasmanlar şekil 7.54'deki 'Yatay Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.54: TK8 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.54 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen yatay deplasmanların bütün inceleme noktalarında dinamik analiz sonucu oluşan son deplasman miktarının sönüm sonrası çok az miktarda azaldığı görülmektedir.

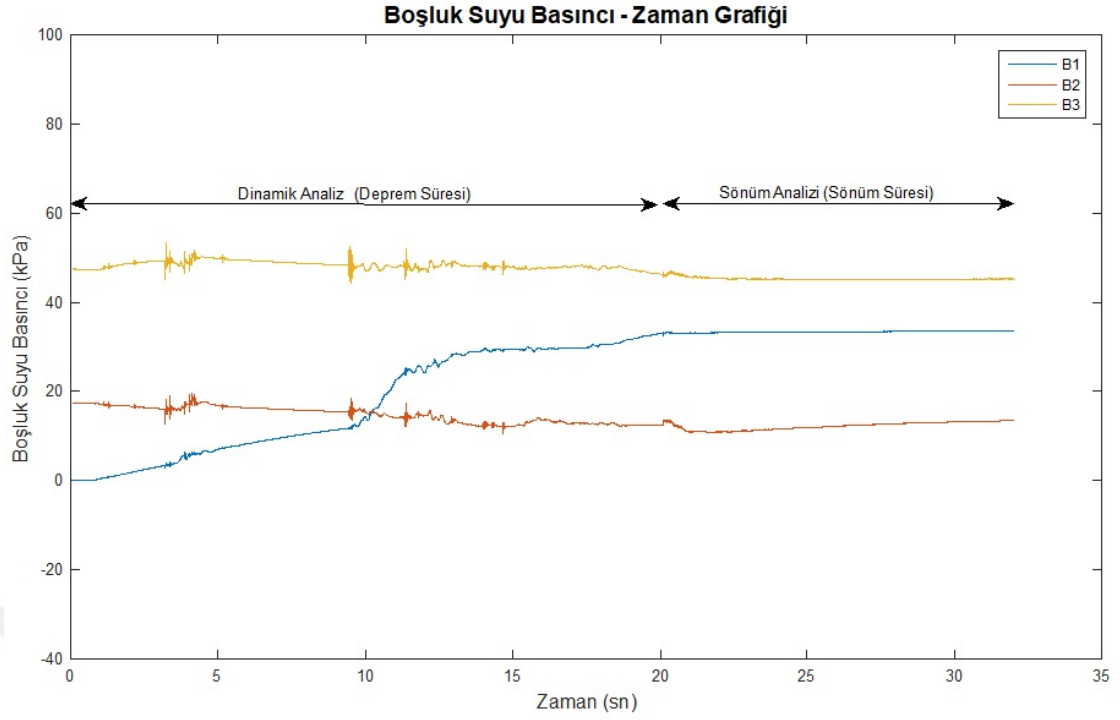
TK8 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen düşey deplasmanlar şekil 7.55'deki 'Düşey Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.55: TK 8 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.55 incelendiğinde, sönüm sonrası inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 4.93 cm olarak, D2 noktasında 6.24 cm olarak, D3 noktasında 7.07 cm olarak, D4 noktasında 7.61 cm olarak, D5 noktasında 7.68 cm olarak, D6 noktasında 7.62 cm olarak, D7 noktasında 7.29 cm olarak, D8 noktasında 6.81 cm olarak ve D9 noktasında 5.94 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 7.68 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir. Sönüm analizi sonrası görülmektedir ki düşey deplasmanlarda çok az miktarda artış oluşmuştur.

TK8 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen boşluk suyu basıncı değişimleri şekil 7.56'deki 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



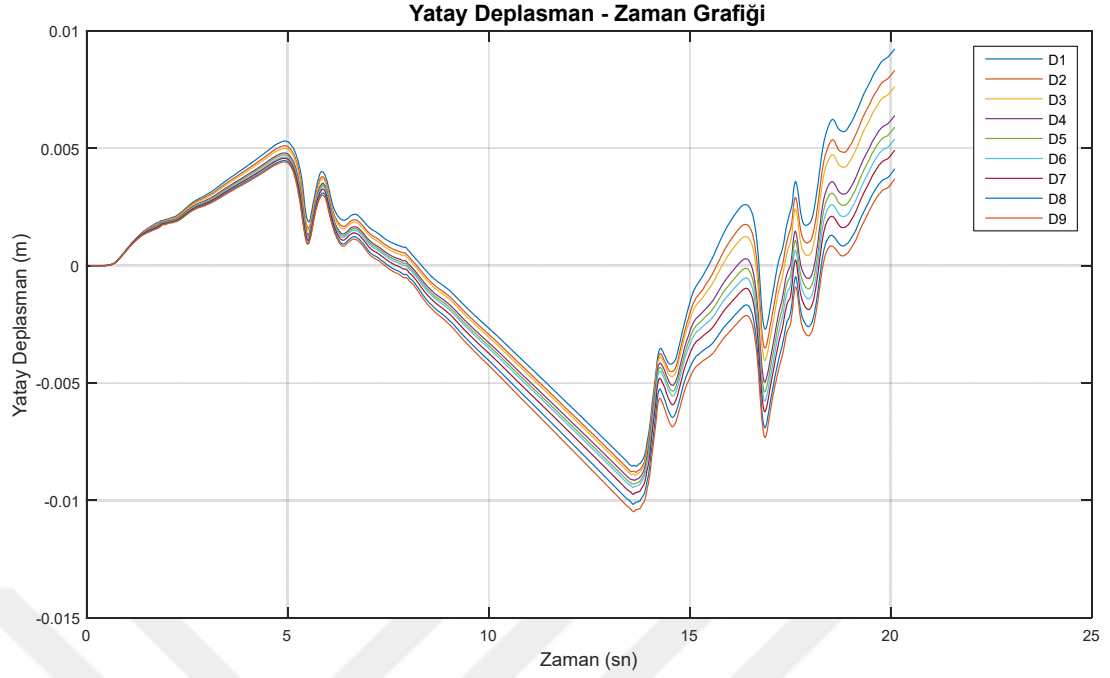
Şekil 7.56: TK8 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği.

Şekil 7.56 incelendiğinde, Tip 8 taş kolonlu modelin sönüm analizi sonucunda boşluk suyu basıncı; B1 noktasında artma göstermiştir. Zeminin yüzeyinde bulunan B1 noktasındaki boşluk suyu basıncının artması, taş kolonların oluşturmuş olduğu drenaj etkisinden dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. B2 ve B3 noktalarında ise boşluk suyu basıncı sönüm analizi sonunda statik durumdaki basınç miktarına geri geldiği görülmektedir. Y.A.S.S. 1.5 m’de olduğu için boşluk suyu basıncı sıfırlanmaz sadece suya dinamik etki öncesindeki basınç miktarına kadar gerileyebilir.

7.2.9. TK9 taş kolonlu nümerik model analizi

Taş kolonlu olarak yapılan bu analiz sonucundan, zeminde dinamik kuvvetler altında meydana gelecek yatay ve düşey deplasmanlar ile oluşacak boşluk suyu basınçları gözlemlenmiştir. Bu analizle taş kolon ile iyileştirilmiş zeminin dinamik koşullar altındaki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

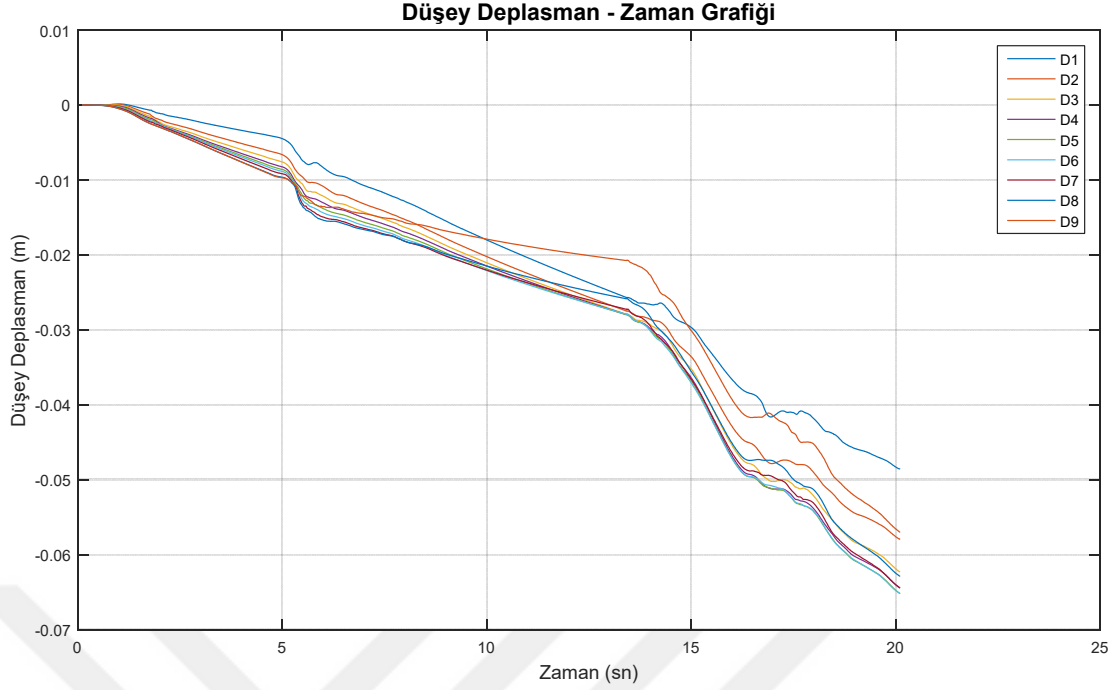
TK9 Taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analizi sonucunda zeminde meydana gelen yatay deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, yatay deplasmanlara ait ‘Yatay Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.57’de verilmiştir.



Şekil 7.57: TK9 taş kolonlu modelin dinamik analizinin yatay deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.57 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar; D1 noktasında 0.92 cm olarak, D2 noktasında 0.88 cm olarak, D3 noktasında 0.89 cm olarak, D4 noktasında 0.91 cm olarak, D5 noktasında 0.93 cm olarak, D6 noktasında 0.95 cm olarak, D7 noktasında 0.97 cm olarak, D8 noktasında 1.02 cm olarak ve D9 noktasında 1.05 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla yatay deplasman 1.05 cm ile D9 noktasında meydana gelmiştir.

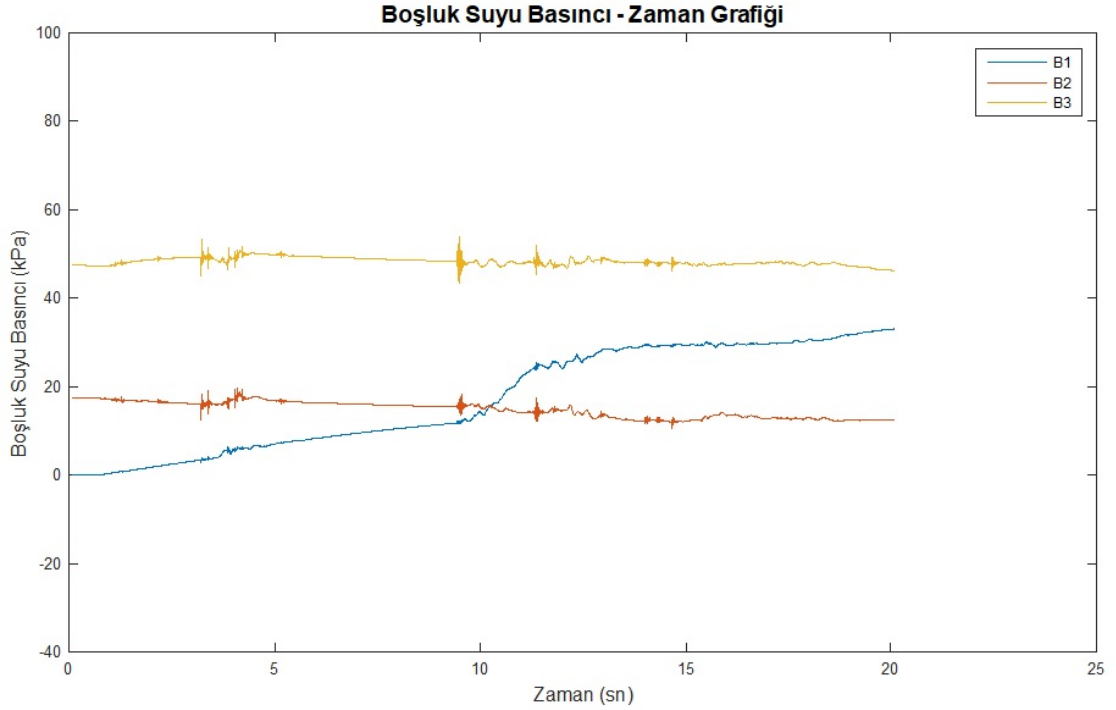
TK9 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen düşey deplasmanlar oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, düşey deplasmanlara ait ‘Düşey Deplasman – Zaman’ grafiği Şekil 7.58’de verilmiştir.



Şekil 7.58: TK9 taş kolonlu modelin dinamik analizinin düşey deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.58 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 4.86 cm olarak, D2 noktasında 5.80 cm olarak, D3 noktasında 6.23 cm olarak, D4 noktasında 6.45 cm olarak, D5 noktasında 6.52 cm olarak, D6 noktasında 6.52 cm olarak, D7 noktasında 6.44 cm olarak, D8 noktasında 6.29 cm olarak ve D9 noktasında 5.70 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 6.52 cm ile D5 ve D6 noktasında meydana gelmiştir.

TK9 taş kolonlu modelde gerçekleştirilen dinamik analiz sonucunda zeminde meydana gelen boşluk suyu basıncı oluşturulan inceleme noktalarında gözlemlenmiştir. İnceleme noktalarından alınan veriler ile oluşturulan, boşluk suyuna ait 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman' grafiği Şekil 7.59'de verilmiştir.

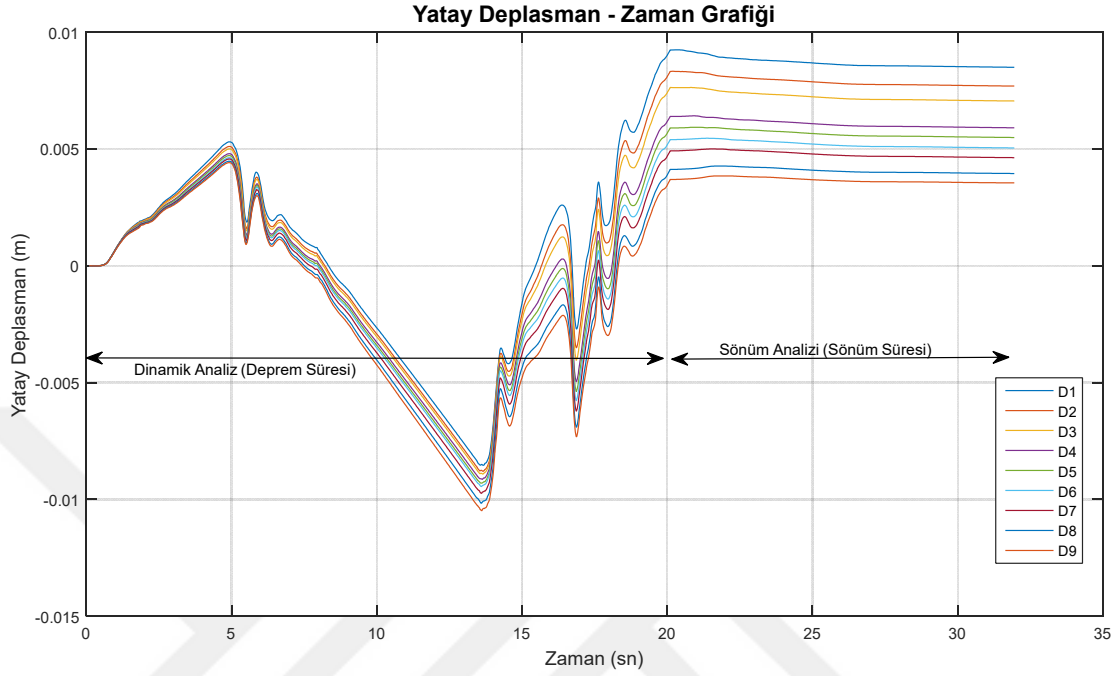


Şekil 7.59: TK9 taş kolonlu modelin dinamik analizinin boşluk suyu basınçlarının grafiği.

Şekil 7.59 incelendiğinde, zeminin yüzeyinde (B1), zeminin 3 m derinliğinde (B2) ve zeminin 6 m derinliğinde (B3) incelenmiş olan noktalardaki boşluk suyu basıncının dinamik analiz sırasındaki değişimleri görülmektedir. Bu çalışmada yer altı su seviyesi (Y.A.S.S.) 1.5 m de bulunduğu için B1 noktasında dinamik etki öncesi boşluk suyu basıncı sıfırdır. Dinamik etki altında (yani deprem anında) boşluk suyu basınca zamanla artmakta olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarını toplu olarak incelediğimizde ise boşluk suyu basıncının dinamik etki altında B1 noktasında sürekli artarken B2 ve B3 noktasında zaman zaman artsa bile dinamik analiz sonuna başlangıçtaki miktara yakın bir basınç miktarına geri gelmiştir. Bu durum da zemine uygulanan taş kolonların drenaj etkisi yaparak kalıcı bir basınç artışını engellediği düşünülebilir. B1 deki sürekli artış da, normalde Y.A.S.S.'dan yukarıda bulunmasına rağmen, su basıncının oluşması drenaj etkisiyle alt tabakalardan gelen su dan dolayı olduğu yorumlanabilir.

Yapılan dinamik analiz sonrasında TK9 taş kolonlu model için boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi durumunda oluşacak deplasmanların ve boşluk suyu basınçlarının değişimini incelemek için boşluk suyu basıncı sönüm analizi gerçekleştirilmiştir.

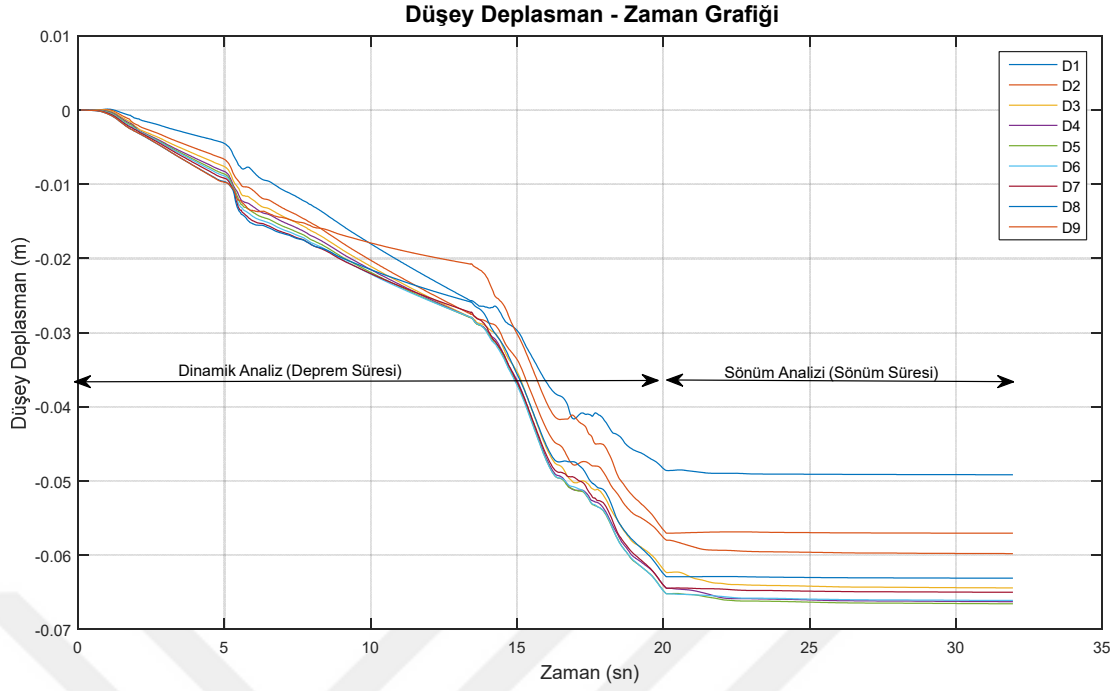
TK9 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen yatay deplasmanlar şekil 7.60'daki 'Yatay Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.60: TK9 taş kolonlu modelin sönüm analizinin yatay deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.60 incelendiğinde, inceleme noktalarında meydana gelen yatay deplasmanların bütün inceleme noktalarında dinamik analiz sonucu oluşan son deplasman miktarının sönüm sonrası çok az miktarda azaldığı görülmektedir.

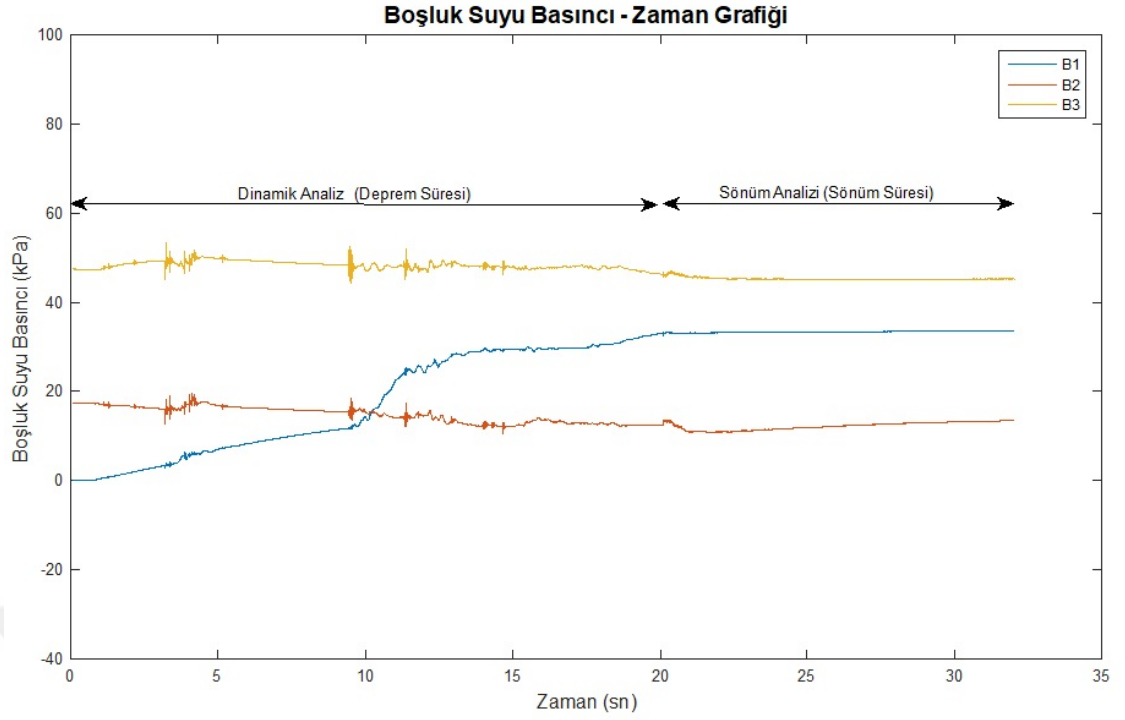
TK9 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen düşey deplasmanlar şekil 7.61'deki 'Düşey Deplasman – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.61: TK9 taş kolonlu modelin sönüm analizinin düşey deplasmanlarının grafiği.

Şekil 7.61 incelendiğinde, sönüm sonrası inceleme noktalarında meydana gelen maksimum düşey deplasmanlar; D1 noktasında 4.92 cm olarak, D2 noktasında 5.98 cm olarak, D3 noktasında 6.44 cm olarak, D4 noktasında 6.63 cm olarak, D5 noktasında 6.66 cm olarak, D6 noktasında 6.61 cm olarak, D7 noktasında 6.50 cm olarak, D8 noktasında 6.31 cm olarak ve D9 noktasında 5.70 cm olarak ölçülmüştür. Model bir bütün olarak incelendiğinde en fazla düşey deplasman 6.66 cm ile D5 noktasında meydana gelmiştir. Sönüm analizi sonrası görülmektedir ki düşey deplasmanlarda çok az miktarda artış oluşmuştur.

TK9 taş kolonlu model de gerçekleştirilen boşluk suyu basıncı sönümü analizi sonucunda meydana gelen boşluk suyu basıncı değişimleri şekil 7.62'deki 'Boşluk Suyu Basıncı – Zaman Grafiği'nde verilmiştir.



Şekil 7.62: TK9 taş kolonlu modelin sönüm analizinin boşluk suyu basınçları grafiği.

Şekil 7.62 incelendiğinde, TK9 taş kolonlu modelin sönüm analizi sonucunda boşluk suyu basıncı; B1 noktasında artma göstermiştir. Zeminin yüzeyinde bulunan B1 noktasındaki boşluk suyu basıncının artması, taş kolonların oluşturmuş olduğu drenaj etkisinden dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. B2 ve B3 noktalarında ise boşluk suyu basıncı sönüm analizi sonunda statik durumdaki basınç miktarına geri geldiği görülmektedir. Y.A.S.S. 1.5 m’de olduğu için boşluk suyu basıncı sıfırlanmaz sadece suya dinamik etki öncesindeki basınç miktarına kadar gerileyebilir.

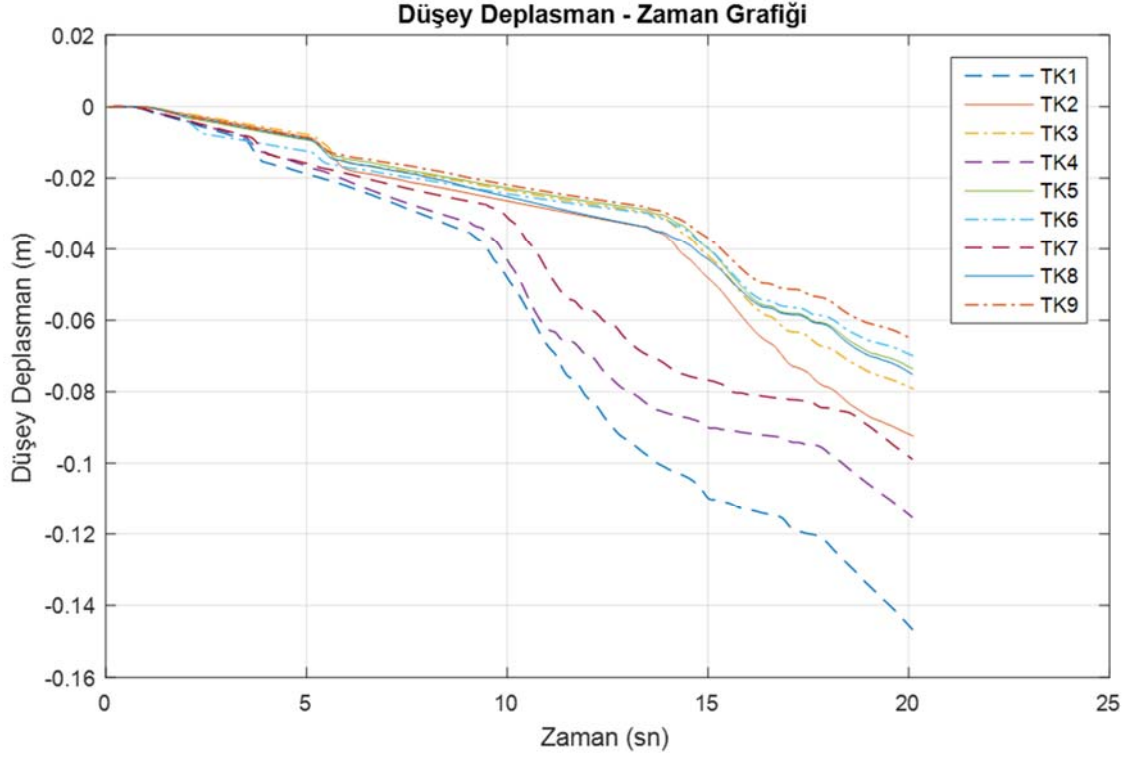
7.3. Nümerik Model Analizlerinin Karşılaştırılması

Yapılan analizler incelendiğinde taş kolon uygulamasının deplasmanlara ve sıvılaşmaya karşı faydalı olduğu görülmektedir. Taş kolonların oluşturmuş olduğu iyileşme miktarlarında taş kolon çapı ve boyunun bu çalışmadaki zemin şartlarında ne kadar etki olduğunu tesbit edebilmek için yapılan analizlerde inceleme noktalarında oluşan maksimum deplasmanlar ve iyileşme oranları karşılaştırılmıştır (Tablo 7.3).

Tablo 7.3: Taş Kolonsuz ve Taş Kolonlu Yapılan Analizlerdeki İnceleme Noktalarındaki Maksimum Düşey Deplasmanlar (cm) ve Zeminde Oluşan İyileşme Oranı (%)

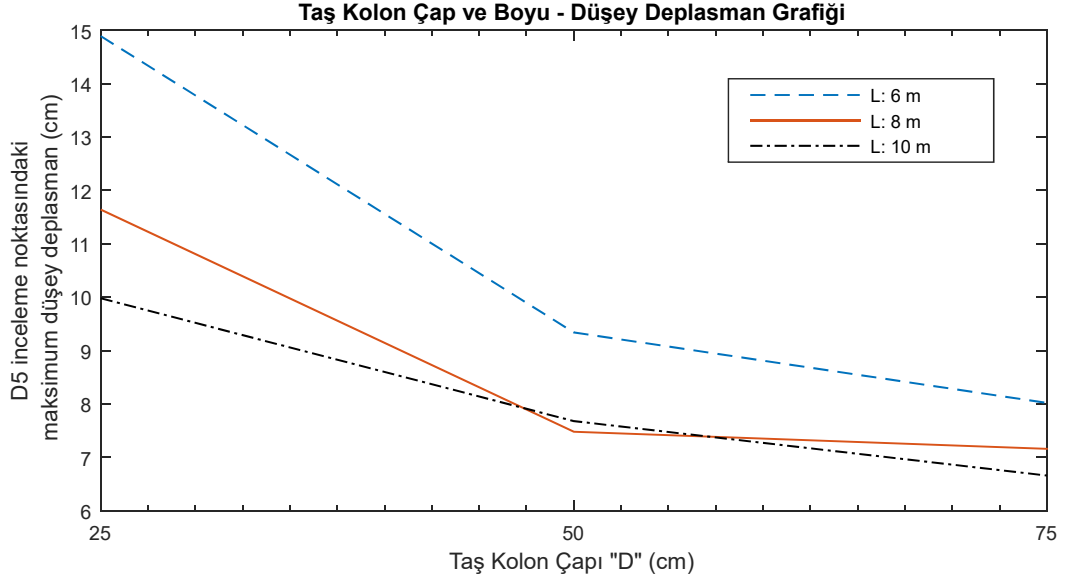
İnceleme Noktaları	Taş Kolonsuz	TK1	TK2	TK3	TK4	TK5	TK6	TK7	TK8	TK9
D1	34.31	8.75	4.79	4.82	7.39	4.59	4.84	6.08	4.93	4.92
D2	51.29	11.28	6.73	6.39	9.04	6.01	6.21	7.65	6.24	5.98
D3	65.44	13.04	8.11	7.35	10.29	6.91	6.88	8.80	7.07	6.44
D4	78.12	14.39	9.07	7.88	11.25	7.45	7.13	9.66	7.61	6.63
D5	85.23	14.89	9.34	8.02	11.64	7.48	7.16	9.98	7.68	6.66
D6	80.31	14.74	9.27	7.90	11.49	7.40	7.07	9.85	7.62	6.61
D7	67.87	13.68	8.79	7.54	10.60	7.06	6.75	9.25	7.29	6.50
D8	54.04	12.09	8.04	6.81	9.38	6.63	6.29	8.41	6.81	6.31
D9	37.07	9.73	6.64	5.89	7.78	5.85	5.58	7.09	5.94	5.70
Maksimum Deplasman (cm)	85.23	14.89	9.34	8.02	11.64	7.48	7.16	9.98	7.68	6.66
İyileşme Oranı (%)		82.53	89.04	90.59	86.34	91.22	91.59	88.29	90.99	92.19

Tablo 7.3'ü incelediğimizde, taş kolonsuz zeminde oluşacak maksimum düşey deplasmanın 85.23 cm olduğu görülmektedir. Taş kolonlu modellerde ise bu deplasman değerinin etkili bir şekilde azaldığı görülmektedir. Taş kolonlu modellerde en düşük iyileşme oranı %82.53 ile TK1 taş kolonları ile oluşmuştur. En fazla iyileşme ise %92.19 ile TK9 taş kolonlarında görülmektedir. Arazide uygulanmış taş kolon çeşidi olan TK2'de ise %89.04 lük bir iyileşme miktarı görülmektedir.



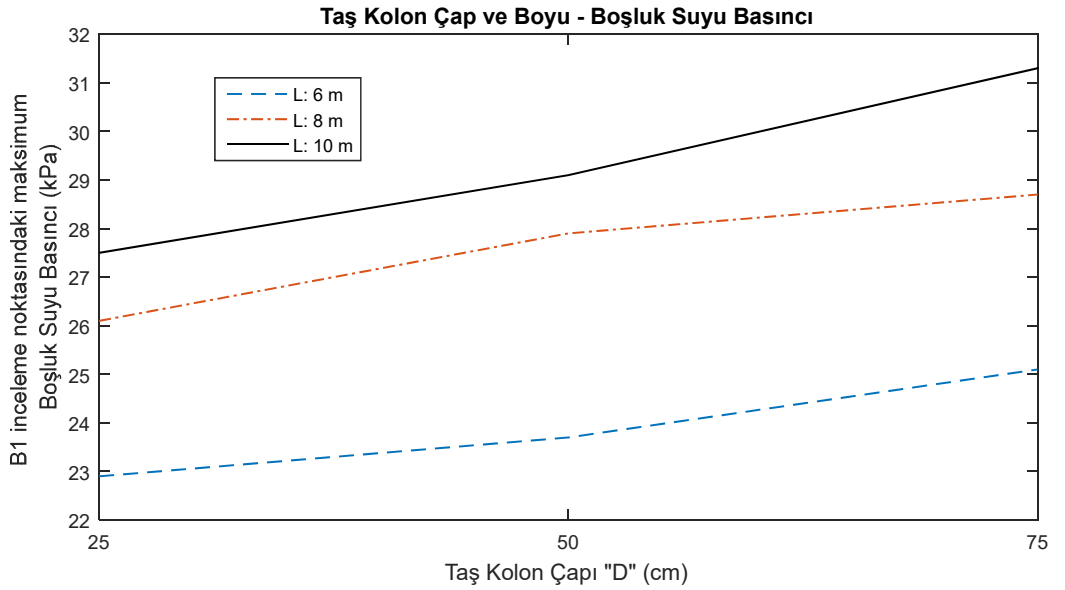
Şekil 7.63: D5 inceleme noktasındaki düşey deplasmanların karşılaştırılması

Şekil 7.63’de maksimum deplasmanların meydana geldiği D5 noktasındaki düşey deplasmanlar karşılaştırılmıştır. 25 cm’lik çapa sahip olan TK1, TK4 ve TK7 taş kolonlarda 10. sn’den itibaren oturmaların hızlandığı görülmektedir. 50 cm ve 75 cm’lik taş kolonlarda ise 15. sn’den itibaren oturmalarda hızlanma gözlemlenmiştir. 50 cm’lik çap ve 6 m’lik boya sahip olan TK2 taş kolonlarında 15. sn’den sonra TK3, TK5, TK6, TK8 ve TK9 taş kolonlarına göre daha hızlı düşey deplasmanların meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 7.64:Taş kolon boyutlarının düşey deplasman üzerindeki etkisi

Şekil 7.64'de taş kolonların boyutları ve taş kolon ile iyileştirilmiş zeminde meydana gelen deplasmanlar karşılaştırılmıştır. Grafikte 25 cm çapında ve 6 m boyundaki taş kolon ile iyileştirilmiş zeminde yaklaşık 15 cm deplasman meydana gelirken taş kolon boyunun artmasıyla zemindeki deplasmanlar da azalmıştır. Aynı zaman da 50 cm çapında ve 6 m boyundaki taş kolon ile iyileştirilmiş zeminde ise yaklaşık 10 cm lik deplasman meydana gelmiştir. Taş kolon çaplarındaki artışın, düşey deplasmanlarda taş kolon boylarındaki artışa göre daha fazla azalma meydana getirdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 7.65:Taş kolon boyutlarının boşluk suyu basıncı üzerindeki etkisi

Şekil 7.65'deki grafik incelendiğinde taş kolon boyutlarının değişmesi ile B1 inceleme noktasında meydana gelen maksimum boşluk suyu basıncındaki değişim görülmektedir. Grafik incelendiğinde genel olarak taş kolon boyutlarının artmasıyla zemin yüzeyinde bulunan B1 inceleme noktasında meydana gelen boşluk suyu basıncı da artmaktadır. B1 inceleme noktasındaki boşluk suyu basıncı taş kolon boylarındaki artış ile daha fazla artmaktadır.

7.4. Taş Kolonların İyileştirme Oranları ile Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Zemin iyileştirme yöntemlerinde uygulanan yöntemin zeminde meydana getireceği iyileşme oranı kadar uygulama yönteminin maliyetide önemlidir. Yapılan analizlerde taş kolon ile sıvılaşma riskini kaldırmak için 9 farklı taş kolon boyutları kullanılmıştır. Bu taş kolonların iyileştirme oranları çıkarılmıştır. Tablo 7.3'de verilmiş olan iyileşme oranları incelendiğinde genel olarak taş kolon boyutlarının artmasıyla iyileşme oranları artmaktadır. Fakat bu artışın taş kolon uygulamasındaki maliyet artışı karşısında yeterli olup olmadığı bilinmemektedir. Bu bölümde taş kolonların boyutlarına göre yaklaşık yapım maliyetleri çıkarılmış ve zeminde oluşturmuş oldukları iyileşme oranlarıyla karşılaştırılmıştır.

Taş kolon uygulamalarının maliyetleri çıkarılırken; taş kolon boyutlarına göre kullanılması gereken tahmini dolgu malzeme miktarı ile taş kolon uygulamasının birim uygulama maliyeti hesaba katılmıştır. Bu çalışmada maliyet analizi yapabilmek için piyasa araştırması yapılmıştır. Yapılan piyasa araştırmaları sonucunda dolgu malzemesi hariç olarak; 25 cm çapındaki bir taş kolon uygulaması için her 1 m derinlik için 30 ₺, 50 cm çapındaki bir taş kolon için her 1 m derinlik için 45 ₺, 75 cm çapındaki bir taş kolon uygulaması için her 1 m derinlik için ise 60 ₺ ücret istendiği öğrenilmiştir. Ayrıca ücretlerin yapılacak taş kolon uygulaması metrajına görede değişiklikler gösterebileceği öğrenilmiştir. Yapılan piyasa araştırmasına ait fiyatlar 2019 yılına ait taş kolon birim uygulama fiyatıdır. Dolgu malzemesi olarak kullanılacak olan çakıl için ise ayrı bir piyasa araştırması yapılmış ve bu araştırma ile çakılın m³ fiyatının 2019 yılı için Adapazarı bölgesinde 27 ₺ olduğu öğrenilmiştir.

Taş kolonların maliyet analizleri yapılırken taş kolonlar için kullanılacak dolgu malzemesinin metrajı uygulanacak taş kolon hacmi ile hesaplanmıştır. Taş kolonların imalatı sırasında meydana gelebilecek zayıflar hesaba katılmamıştır. Maliyet analizleri

her taş kolon çeşitinden bir tane taş kolon için yapılmıştır. Yapılan maliyet analizleri Tablo 7.4’de verilmiştir.

Tablo 7.4: Taş kolonların maliyet analizi

Taş kolon çeşidi	Taş Kolon Çapı (cm)	Taş Kolon Boyu (m)	Taş Kolon Hacmi (m ³)	Dolgu Malzemesi Birim Fiyatı (₺)	Taş Kolon İmalatı Birim Fiyatı (₺)	Dolgu Malzemesi Fiyatı (₺)	Taş Kolon İmalat Fiyatı (₺)	Toplam Maliyet (₺)
TK1	25	6	0.295	27	30	7.95	180	187.95
TK2	50	6	1.178	27	45	31.81	270	301.81
TK3	75	6	2.651	27	60	71.57	360	431.57
TK4	25	8	0.393	27	30	10.60	240	250.60
TK5	50	8	1.571	27	45	42.41	360	402.41
TK6	75	8	3.534	27	60	95.43	480	575.43
TK7	25	10	0.491	27	30	13.25	300	313.25
TK8	50	10	1.963	27	45	53.01	450	503.01
TK9	75	10	4.418	27	60	119.28	600	719.28

Tablo 7.4’ü incelediğimizde taş kolon çeşitlerine göre çıkarılan maliyetler arasında farklılıklar gözükmemektedir. Maliyetler deki değişim ile iyileşme oranları arasındaki değişimleri karşılaştırma ise Tablo 7.5’de verilmiştir.

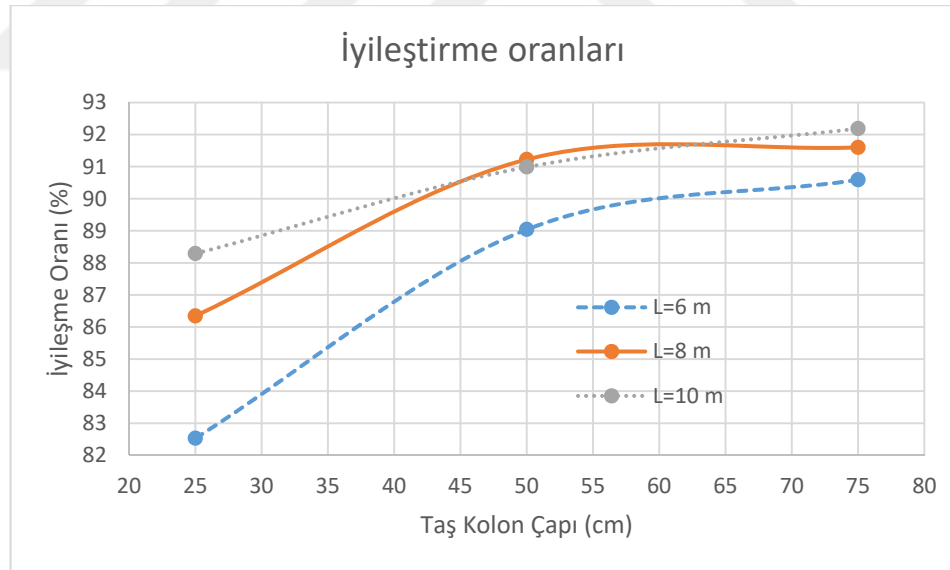
Tablo 7.5: Taş kolon maliyeti ve iyileştirme oranı

Taş Kolon Çeşidi	TK1	TK2	TK3	TK4	TK5	TK6	TK7	TK8	TK9
Maliyeti (₺)	187.95	301.81	431.57	250.60	402.41	575.43	313.25	503.01	719.28
İyileştirme Oranı (%)	82.53	89.04	90.59	86.34	91.22	91.59	88.29	90.99	92.19

Tablo 7.5’i incelediğimizde;

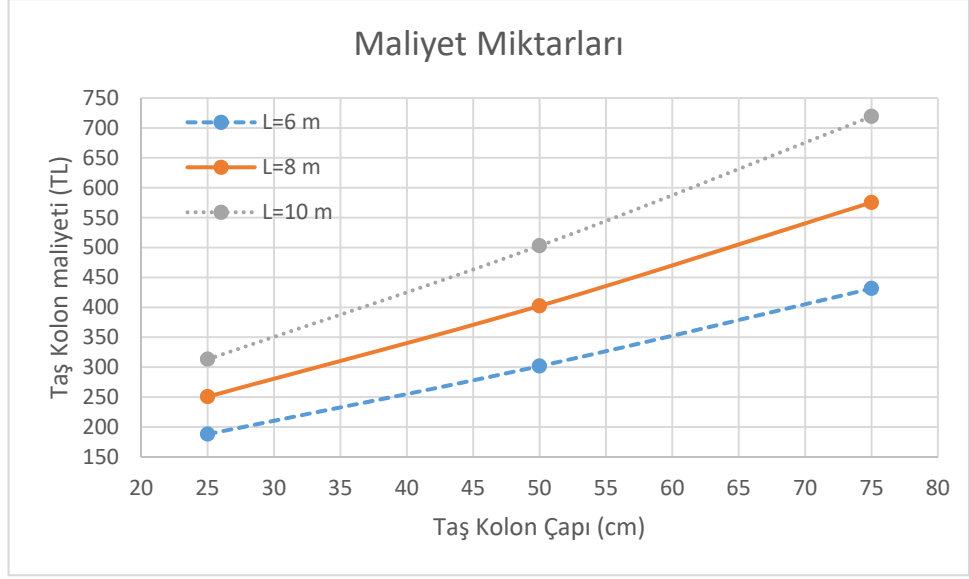
- En düşük maliyet miktarına 187.95 ₺ ile ve en düşük iyileştirme oranına %82.53 ile TK1 taş kolon çeşidi sahiptir.
- TK2 taş kolon çeşidinde, TK1 taş kolonlarına göre maliyet miktarı 113.86 ₺ artış göstermiş ve iyileşme oranında ise %6.51 oranında bir artış göstermiştir.

- TK3 taş kolon çeşidinde, TK1 taş kolonlarına göre maliyet miktarı 243.62 ₺ artış göstermiş ve iyileşme oranında ise %8.06 oranında bir artış göstermiştir.
- TK4 taş kolon çeşidinde, TK1 taş kolonlarına göre maliyet miktarı 62.65 ₺ artış göstermiş ve iyileşme oranında ise %3.81 oranında bir artış göstermiştir.
- TK5 taş kolon çeşidinde, TK1 taş kolonlarına göre maliyet miktarı 214.46 ₺ artış göstermiş ve iyileşme oranında ise %8.69 oranında bir artış göstermiştir.
- TK6 taş kolon çeşidinde, TK1 taş kolonlarına göre maliyet miktarı 387.48 ₺ artış göstermiş ve iyileşme oranında ise %9.06 oranında bir artış göstermiştir.
- TK7 taş kolon çeşidinde, TK1 taş kolonlarına göre maliyet miktarı 125.30 ₺ artış göstermiş ve iyileşme oranında ise %5.76 oranında bir artış göstermiştir.
- TK8 taş kolon çeşidinde, TK1 taş kolonlarına göre maliyet miktarı 315.06 ₺ artış göstermiş ve iyileşme oranında ise %8.46 oranında bir artış göstermiştir.
- TK9 taş kolon çeşidinde, TK1 taş kolonlarına göre maliyet miktarı 531.33 ₺ artış göstermiş ve iyileşme oranında ise %9.66 oranında bir artış göstermiştir.



Şekil 7.66: Taş kolonların iyileştirme oranlarının karşılaştırılması.

Şekil 7.66'de taş kolonların zeminde oluşturdukları iyileştirme oranının taş kolon boyutlarına göre değişimi grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.67: Taş kolon maliyetlerinin karşılaştırılması.

Şekil 7.67’de taş kolon maliyetlerinin taş kolon boyutları ile değişimi gösterilmiştir. Yapılan bu incelemeler göstermektedir ki taş kolon çeşitlerindeki maliyet artışları, iyileştirme oranlarındaki artış miktarı ile doğru orantılı değildir. Bazı taş kolon çeşitlerindeki maliyet artışlarına karşı iyileşme oranında çok düşük artışlar görülmüştür. Bu durumda düşük miktarlardaki iyileşme oranındaki artışlar için yüksek maliyetlerin gereksiz olacağı düşünülmüştür. Bu çalışmada maliyet ve iyileştirme oranı olarak optimum düzeyde uygulanabilecek taş kolon çeşidinin TK2 taş kolon çeşidi olduğu düşünülmüştür.

BÖLÜM 8. TARTIŞMA VE SONUÇ

Adapazarı bölgesi derin alüvyon yataklarına sahip, jeolojik oluşumu çok eski olmayan bir bölgedir. Kuzey Anadolu Fay hattı üzerinde bulunan Adapazarı bölgesi tektonik olarak aktif bir bölgedir. Bölge zemini Sakarya nehrinin etkisi altında kaldığı için zemin katmanları arasında sıvılaşma riski taşıyan gevşek silt ve kumlar bulunmaktadır. Bölge de en son yaşanmış en yıkıcı deprem olan 1999 Marmara depremi sonrasında yapılan muhtelif araştırmalar sonucunda meydana gelen hasar ve yıkımların önemli bir bölümünün sıvılaşmadan kaynaklandığı görülmüştür. Adapazarı bölgesi sıvılaşma potansiyeli yüksek olan zeminlere sahip bir bölgedir.

Bu çalışmada, sıvılaşma riski olan bir zeminin taş kolonlar ile iyileştirilmesi incelenmiştir. Çalışmada Adapazarı bölgesi Tıgçılar mahallesinde bulunan bir yapının zemininin iyileştirilmesi için uygulanmış taş kolon projesi ve o zemine ait zemin etüd raporu kullanılmıştır. Zemin etüdü raporundan yararlanılarak çıkarılan zemin profili ve zemin parametreleri kullanılmıştır. Çalışmalar FLAC 2D ticari program ile numerik modeller kurularak ve numerik analizler ile yapılmıştır. Analizlerde taş kolonsuz ve taş kolonlu numerik modeller kullanılmıştır. İnceleme yapılan vakada kullanılmış olan taş kolon sayesinde zeminde oluşacak iyileşmenin miktarı tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca incelenen vakadaki mevcut taş kolonların çapında ve boyunda değişiklikler yapılarak zeminde oluşacak olan iyileşme miktarları analiz edilmiştir. Bu çalışmada bir adet taş kolonsuz numerik model oluşturularak iyileştirilmemiş zeminde analiz yapılmıştır. Daha sonra 25-50-75 cm çaplarında ve 6-8-10 m boylarında 9 farklı taş kolon çeşidi ile numerik modeller kurularak analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ile taş kolonların zeminde oluşturmuş oldukları iyileşme miktarları karşılaştırılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda görülmektedir ki taş kolon uygulaması sıvılaşma riskini azaltan veya ortadan kaldırabilen bir zemin iyileştirme yöntemidir. Sıvılaşma riski taşıyan bir zeminde taş kolonlar ile yapılan iyileştirme sonucunda zeminde meydana gelebilecek aşırı BSB'ları taş kolonların dren etkisi ile önlenmektedir. Taş kolonların zeminde

oluşturduğu sıkılaştırma etkisi ile de zeminin taşıma kapasitesi artmakta ve zeminde meydana gelebilecek yanal ve düşey deplasmanlar azalmaktadır.

Analiz sonuçları göstermektedir ki taş kolon uygulaması ile zemin de meydana gelebilecek düşey deplasmanlar azalmaktadır. Taş kolonsuz numerik modelde yapılan analiz sonucu meydana gelen maksimum düşey deplasmanın 85.23 cm olduğu görülmüştür. En düşük çap ve boy miktarına sahip olan TK1 taş kolon uygulaması ile bu düşey deplasman miktarının 14.89 cm'ye gerilediği görülmektedir. Taş kolonların çap ve boylarındaki artış ile meydana gelen düşey deplasmanlar azalmaktadır. En yüksek iyileşme miktarı ise 6.66 cm düşey deplasman ile TK9 taş kolon çeşidinde görülmüştür. Analizler genel olarak değerlendirildiğinde ise taş kolonların meydana gelecek düşey deplasmanları etkili miktarda azalttığı görülmektedir. Düşey deplasmanların yanında taş kolonlar zeminde oluşturmuş oldukları sıkılaştırma etkisinden dolayı yatay deplasmanlarda da iyileştirmeler göstermiştir.

Ayrıca taş kolon uygulaması ile zeminde oluşacak aşırı BSB'ları da önlenmiştir. Bu durum taş kolonsuz ve taş kolonlu yapılan analizlerin Boşluk Suyu Basıncı – Zaman grafiklerinde görülmektedir. Taş kolonsuz zeminde BSB'ı dinamik etki sonrası denge durumuna dönememektedir. Taş kolon uygulanmış modellerde ise boşluk suyunun taş kolonlar ile zemin yüzeyine doğru hareket ettiği taş kolonlu analizlerin Boşluk Suyu Basıncı – Zaman grafiklerinde görülmektedir. Taş kolonların oluşturmuş olduğu bu etki ile zemindeki BSB'ı dengeye ulaşmakta ve aşırı BSB'larından dolayı meydana gelebilecek sıvılaşma risklerini önlemektedir.

Numerik modeller ile analiz edilmiş olan bu taş kolon çeşitlerinin her biri farklı oranlarda iyileştirme gerçekleştirmiştir. İyileştirme oranı en yüksek TK9 taş kolon çeşidinde meydana gelmiştir. En düşük iyileşme oranı ise TK1 taş kolon çeşidinde meydana gelmiştir. Zemin iyileştirmelerinde meydana gelecek iyileştirme miktarları kadar uygulanacak iyileştirmenin maliyeti de önemlidir. Bunun için bu çalışmada her taş kolon çeşidi için maliyet analizi yapılmış ve taş kolon çeşitlerinin meydana getirmiş olduğu iyileştirme oranları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda görülmektedir ki taş kolonların maliyetlerindeki artışlar ile iyileşme oranlarındaki artışlar doğru orantılı değildir. Yani taş kolon maliyetleri daha fazla artarken zeminde oluşturdukları iyileşme miktarı daha az artmaktadır. Bu durumda zeminin iyileştirilmesinde meydana gelebilecek aşırı maliyetlerden kaçınmak için optimum iyileşme oranı ve maliyeti sağlayan bir taş

kolon çeşidinin kullanılması zemin iyileştirme açısından yeterli olacaktır. Yapılan maliyet ve iyileştirme oranı karşılaştırmaları sonucunda elde edilen veriler ile taş kolonların iyileşme oranındaki artış taş kolon maliyetlerindeki artışa göre düşük kalmaktadır. Böylece yapılan incelemeler sonucunda hem maliyet hem iyileştirme oranı olarak optimum taş kolon çeşidi TK2 taş kolon çeşidi olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada görülmektedirki incelenen vakada kullanılmış olan taş kolon boyutları optimum düzeydedir. 1999 Marmara depremi büyüklüğünde bir depremin bu bölgede meydana gelmesi durumunda vakadaki yapıda 9.34 cm'lik bir düşey deplasmanın meydana gelmesi beklenebilir.

Bu çalışmada yapılan analizlerin hepsi taş kolonların dinamik etkiler altındaki davranışlarını incelemektedir. Taş kolonlar için bir önemli durum ise durabiliteleridir. Taş kolonların durabiliteleri hakkında literatürde yapılmış bazı çalışmalar bulunmaktadır. Literatürdeki çalışmalar 60 cm çapından küçük olan taş kolonların zaman ile zemin içinde dağılma riski taşıdığı ve uzun vadede taş kolonların işlevini kaybedebildiği belirtilmiştir. Taş kolonun zeminde oluşturacağı iyileşme etkisini uzun vade de gösterebilmesi için minimum 60 cm çapında yapılması gerektiği belirtilmiştir [70]. Bu sebepten dolayı her ne kadar bu çalışmada optimum taş kolon boyutu bu tür bir zemin için 50 cm olarak belirlenmiş olsada, taş kolon çapının minimum 60 cm olması gerekmektedir. İncelenen vakadaki taş kolon çapları 60 cm'nin altında kaldığı için taş kolonlar zaman ile zemin içinde bozulmalara uğrayabilir ve 1999 Marmara depremi büyüklüğünde bir depremin meydana gelmesi halinde zeminde beklenen iyileşmeyi göstermeyebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Hughes, J.M.O., and Withers, N.J. (1974). Reinforcing of Soft Cohesive Soils with Stone Columns. *Ground Engineering*, Vol.7, No.3, pp.42-49
- [2] Kanematsu, H. (1980). High Pressure Jet Grouting Method, Dekubu Seboh. *Civil Construction*, Vol.21, No.13.
- [3] Barksdale, R.D. ve Bachus, R.C. (1983). *Design and Construction of Stone Columns: Vol.1*, Report No. FHWA/RD-83/026. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, pp.6-55.
- [4] Munfakh, G. A., Sarkar, S. K., & Castelli, R. P. (1983). Performance of a test embankment founded on stone columns. *Proc. Int. Conf. on Advances in Piling and Ground treatment for Foundations*, London, pp. 259-265.
- [5] Greenwood, D. A., & Kirsch, K. (1984). Specialist ground treatment by vibratory and dynamic methods. *State of Art. Proc. Int. Conf. on Piling and Ground Treatment*, pp.17-45.
- [6] Welsh, C. P. (1986). Soil Improvement A Ten Year Update. *Proceedings of Symposium at ASCE Convention*, New Jersey.
- [7] Durgunoğlu, T. (1992). Taş Kolonlar ile Zemin Islahı Üzerine Bir Uygulama. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dördüncü Ulusal Kongresi*, 21-22 Ekim 2002, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, vol.2, pp.2-4.
- [8] Lawton, E.C., Fox, N.S. ve Handy, R.L. (1994). Control of Settlement and Uplift of Structures Using Short Aggregate Piers. *In-situ Deep Soil Improvement, Proc. ASCE National Convention*, Atlanta, Georgia, pp.121–132.
- [9] Christoulas S., Giannaros, C. ve Tsiambaos G. (1997). *Stabilization of Embankment Foundations by Using Stone Columns*. Geotechnical and Geological Engineering, vol.15, pp.247-258.
- [10] Liew, S.S. and Tan, S.K. (2007). Performance of Reinforced Soil Wall Supported on Stone Columns. *Proc. 16th Southeast Asian Geotechnical Conferences*, Malaysia.
- [11] Murugesan, S. and Rajagopal, K. (2006). *Geosynthetic-Encased Stone Columns: Numerical Evaluation*. Geotextiles and Geomembranes, vol.24, pp.349 – 358.
- [12] Lawton, E.C. ve Fox, N.S. (1994). *Settlement of Structures Supported on Marginal or Inadequate Soil Stiffened with Short Aggregate Piers*. Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments, ASCE Geotechnical Special Publication, Yayın No: 40, vol.2, pp.962–974.

- [13] Raju, V.R. (1997). The Behavior of Very Soft Soils Improved by Vibro Replacement, *Ground Improvement Conference*, London.
- [14] Wissmann, K.J., White, D.J., FitzPatrick, B.T. ve Lien, B.H. (2002). Improving Global Stability and Controlling Settlement with Geopier Soil Reinforcing Elements. *Proceedings of the 4th International Conference on Ground Improvement Techniques*, vol.8, pp.26-28, Mart 2002, Kuala Lumpur, Malasia.
- [15] Balaam, N.P. (1978). *Load-Settlement Behavior of Granular Piles*. Thesis presented to the University of Sydney in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
- [16] Clemente, J. L. M., & Parks, C. D. (2005). Stone Columns for Control of Power Station Foundation Settlements. *GSP 136 Innovations in Grouting and Soil Improvement*, pp.1-10.
- [17] TAN, S. A., & OO, K. K. (2005). Stone column FEM modeling—2D and 3D considerations illustrated by case history. *Proc., Int. Symp. on Tsunami Reconstruction with Geosynthetics*, ACSIG, Bangkok, Thailand, pp.157–169.
- [18] Ergun, M.O. (1992). *Design and Performance of Two Port Silos on Improved Ground*. Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, 23-25 Şubat 2002, New Orleans, vol.30, pp.842-854.
- [19] Demir, S., (2011). *Darbeli Kırmataş Kolonların İmalatında Zemin Davranışının İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, pp.9-59.
- [20] Priebe, H.J. (1995). *The Design of Vibro Replacement*. Ground Engineering, pp.1-13.
- [21] Vekli M., *Taş Kolon ile Şev İyileştirmesinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi* (Doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [22] URL-1, <http://www.vibroflotation.com/Vibro/vibroflotation_fr.nsf/site/Stone-Columns>, Wet- Stone-Columns, E.T:13 Kasım 2019.
- [23] Keller, (2010). Deep Vibro Techniques, *Brochure* pp.10, İngiltere.
- [24] Kurt E. (2011). *Darbeli Kırmataş Kolon ve Tas Kolon Elemanlarına Ait Yükleme Testlerinin Sayısal Analizi ve Sonuçlarının Karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [25] Besancon, G., Iorio, J.P., and Soyez, B. (1984). Analyses des parametres de Calcul Intervenant dans le Dimensionnement des Colonnes Ballastees. *International Conference on In-Situ Soil and Rock Reinforcement*, Paris, pp.119-126.
- [26] Clemente, J.L. ve Davie, J.R. (1999). *Stone Columns for Settlement Reduction*. American Society for Testing and Materials, pp.1-2.
- [27] Smoltczyk, U., and Hilmer, K. (1994). Baugrundverbesserung. *Grundbautaschenbuch*, 5. Auflage Teil 2.

- [28] Barksdale, R.D., Bachus, R.C. (1983). *Design and Construction of Stone Columns* (Report No. FHWA/RD-83/026), Natl. Technical Information Service, Springfield, Virginia.
- [29] Sayraç, M. A., Kemaloğlu, H.F., Bal E. K., Öner L., Çetin, K. Ö. (2011). Darbeli Kırmataş Kolon (DKK) Elemanlarının Deformasyon Temelli Tasarımı. *Prof. İsmet Ordemir'i Anma Toplantısı ve 6. ODTÜ Geoteknik Mühendisliği Sempozyumu*, 23 Kasım 2011, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- [30] Barksdale, R.D. ve Bachus, R.C. (1983). Design and Construction of Stone Columns. *Federal Highway Administration Offices of Research and Development* (Report No. FHWA/RD-83/027).
- [31] Bae, W.S., Shin, B.W., and An, B.C. (2002). *Behaviors of Foundation System Improved with Stone Columns*, Japan.
- [32] Hu, W. (1995). *Physical Modelling of Group Behaviour of Stone Column Foundations* (PhD Thesis). University of Glasglow.
- [33] McKenna, J.M., Eyre W.A., ve D.R. Wolstenholme (1975). Performance of an Embankment Supported by Stone Columns in Soft Ground. *Geotechnique*, vol.25, pp.51-59.
- [34] Güler, E. (1996). Geoteknik Mühendisliğinde Yeni Bir Devir Başlatan Malzeme: Geosentetikler. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbeşinci Ulusal Kongresi*, Ankara.
- [35] HAN, J., AND YE, S.L. (2001). A simplified method for computing consolidation rate of stone column reinforced foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, vol.127, pp.597-603.
- [36] Munfakh, G. A., Abramson, L. W., Barksdale, R. D., & Juran, I. (1987). In-Situ Ground Reinforcement. *Soil Improvement - A Ten Year Update*. In J. P. Welsh (Ed.), *Geotechnical Special Publication No. 12*, ASCE, pp.1-17.
- [37] Aboshi, H., Ichimoto, E., Enoki, M., & Harada, K. (1979). The Compozer - a method to improve characteristics of soft clays by inclusion of large diameter sand columns. *Proc. Int. Conf. on Soil Reinforcement: Reinforced Earth and Other Techniques*, vol.1, pp.211-216.
- [38] Hughes, J.M.O. ve Withers, N.J. (1974). Reinforcing of Soft Cohesive Soils With Stone Columns. *Ground Engineering*, vol.7, pp.42-49.
- [39] Vesic, A.S., (1972). Expansion of Cavities in Infinite Soil Mass. *Journal of The Soil Mechanics and Foundation Engineering Division*, ASCE, vol.98, pp.265-290.
- [40] Juran, I., Chen, C.L., Acar, Y.B., Guermazi, A. (1988). A comparative Study of Soil Improvement/Reinforcement Techniques for Highway Embankments. *Research Report, Soil Improvement Methods for Reinforcing Foundations Soils- Stone Columns*, vol.3, Louisiana State University, Baton Rouge.

- [41] Madhav, M. R., & Vitkar, P. P. (1978). Strip footing on weak clay stabilized with a granular trench or pile. *Canadian Geotechnical Journal*, vol.15, pp.605-609.
- [42] Greenwood, D. A. (1991). *Load Tests on Stone Columns*. Deep Foundations and Improvements, Design, Construction and Testing (pp. 148-171): ASTM 1089.
- [43] SEED, H.B., and IDRIS, I.M., Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, vol.97, pp.1249-1273, 1971.
- [44] Özsoy, B. ve Durgunoğlu, T. (2003). Sıvılaşma Etkilerinin Yüksek Kayma Modüllü Zemin-Çimento Karışımı Kolonlarla Azaltılması. *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, Bildiri No:AT-004.
- [45] Durgunoğlu, H.T. (2004). Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul.
- [46] Baez, J.I. (1995). *A design Model for reuction of soil liquefaction by vibro stone coloumns* (Ph. D. Disseration). University of Southern California, Los Angeles.
- [47] Mitchell, J.K. and Wentz, F.J. (1991). *Performance of improved ground during the Loma Prieta Earthquake*, University of California, Berkeley, UCB/EERC Report 91/12, 93p.
- [48] BOL, E., *Adapazarı Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri* (Doktora Tezi). SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [49] Önalp, A., Arel, E., Bol, E. (2001). A General Assesment of the Effects of 1999 Earthquake on the Soil-Structure İnteraction in Adapazarı. *Jubilee Papers in Honour of Prof. Dr. Ergün Toğrol*, İstanbul, pp. 76-89.
- [50] ERKEN, A. (2001). The Role of Geotecnical Factors on Observed Damage in Adapazarı. *XV ICMGE Satelite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes*, İstanbul.
- [51] BYRNE, P.M., PARK, S.S., BEATY, M., SHARP, M.K., GONZALEZ, L., ABDOUN, T. (2004). Numerical modeling of liquefaction and comparison with centrifuge tests. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 41, 193-211.
- [52] AFAD, (2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritası. [Online] <<https://www.afad.gov.tr/tr/26539/Yeni-Deprem-Tehlike-Haritası-Yayimlandi>> (E.T: 07 Aralık 2019)
- [53] Yılmaz D, Durgunoğlu T (2004). *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, 16-17 Eylül 2004, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [54] SÜN BÜL, A.B., Dağdeviren U., Gündüz z., Arman H. 1999 Marmara Depremi Sonrası Adapazarı Şehir Merkezi Hasar Durumlarının Analizi ve Depremin Ekonomik Boyutu. *TMMOB Afet Sempozyumu* pp. 433-442.
- [55] Sancio et.all. (2002). Correlation Between Ground Failure and Subsurface Soil Conditions in Downtown Adapazarı, Turkey. *Journal SDDE*, 2002.

- [56] Erken ve diğ. 17 Ağustos Kocaeli Depreminde Adapazarı'nda oluşan Hasar üzerinde Yerel Zemin Koşularının Etkisi. *Türk Deprem Vakfı Araştırma Projesi*, Proje No: 00-A-113, 2003.
- [57] KAYA, Ş., SAROĞLU, E., MUSAOĞLU, N. (2005). Depremin Neden Olduğu Ağır Hasarın Şehir Alanına Etkisinin Uzaktan Algılama Verileri ile Belirlenmesi. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 2005.
- [58] ÖZGİRGİN, F. (1997). *Case Studies on Soil Amplification* (Master Thesis). Boğaziçi University, İstanbul, 1997.
- [59] CASTRO, G. (1969). *Liquefaction of Sands*. Harvard Soil Mechanics Series, No.87, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, 1969.
- [60] Holtz, R. D., Kovacs, W.D. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice-Hall, Londra.
- [61] YOUD, T.L. (1992). *Liquefaction, Ground Failure, and Consequent Damage During the 22 April 1991 Costa Rica Earthquake*. Proceedings of the NSF/UCR US. Costa Rica Workshop on the Costa Rica Earthquakes of 1990-1991, Effects on Soils and Structures, Oakland, California, ERI Publication, No: 93-A, pp.73-75, 1992.
- [62] MARTIN, J.R. *Ground motion estimation for engineering design in the central and eastern United States*. Earthquake Engineering for the Southeastern US Virginia Tech., (lecture notes).
- [63] LEE, K.L., and SEED, H.B. (1967). Cyclic Stress Conditions Causing Liquefaction of Sand. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol.93, pp.47-70, 1967.
- [64] KRAMER, S.L. *Geoteknik Deprem Mühendisliği*. Gazi Kitapevi, 708, Ankara, 2003.
- [65] Vural İ. (2012). *Alüvyal ve Sıvılaştırılabilir Zeminlerde Altyapıların Deprem Risk Analizi: Adapazarı Örneği* (Doktora Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, 2012.
- [66] *FLAC 2D, User's Manual-Fast Lagrangian Analysis of Continua*, Itasca Consulting Group, Minnesota.
- [67] *Nail Balaban'a ait 133 ada 7 parselin zemin iyileştirme projesi ve raporu*, Adapazarı Belediyesi Arşivi.
- [68] *Nail Balaban'a ait 133 ada 7 parselin zemin etüd raporu*, Adapazarı Belediyesi Arşivi.
- [69] ERDIK, M., *Report On 1999 Kocaeli and Duzce (Turkey) Earthquakes*.
- [70] Önalp A., Sert S. (2010). *Geoteknik Bilgisi 3 Bina Temelleri*. Birsen Yayınevi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Süheyl Kılıç, 15/11/1992'de Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2010 yılında Ferizli Fikret-İsmet Aktekin Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2015 yılında bitirdi. 2017 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2015'den beri özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.