

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

**TAŞ KOLON İLE YAPILAN ZEMİN İYİLEŞTİRMELERİN ZEMİN  
BÜYÜTME KATSAYISINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mustafa ILDIR**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi İsa VURAL**

**Mayıs 2019**

T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TAŞ KOLON İLE YAPILAN ZEMİN İYİLEŞTİRMELERİN ZEMİN  
BÜYÜTME KATSAYISINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa ILDIR

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 30/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından  
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

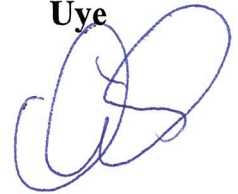
Prof. Dr.  
Metin İPEK  
Jüri Başkanı



Dr. Öğr. Üy.  
İsa VURAL  
Üye



Dr. Öğr. Üy.  
Günay BEYHAN  
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.

Mustafa ILDIR

30/05/2019



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi İsa VURAL'a teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	iii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÖZETİ .....	3
BÖLÜM 3.	
GENEL BİLGİLER.....	8
3.1. Taş Kolonlar .....	8
3.2. Taş Kolon İmalatı.....	9
3.3. Taş kolon imalat yöntemleri.....	10
3.3.1. Vibro kompaksiyon yöntemi .....	10
3.3.2. Vibro yer değiştirme yöntemi.....	10
3.3.3. Vibro öteleme yöntemi .....	11
3.3.4. Darbeli yöntem .....	12
3.4. İmalat Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	12
3.5. Taş Kolon Elemanlarının Özellikleri .....	13
3.5.1. Taş kolon çapı.....	13

3.5.2. Taş kolonun boyu.....	14
3.5.3. Taş kolonun içsel sürtünme açısı .....	14
3.5.4. Taş kolon malzemesi dane çapı dağılımı .....	15
3.6. Taş Kolon Tasarımı .....	15
3.6.1. Taş kolon taşıma kapasitesinin artırılması.....	15
3.6.2. İyileştirilmiş zeminde oturma.....	15
3.6.3. İyileştirilmiş zemin parametreleri.....	16
3.6.4. İyileştirme faktörü hesabı .....	16
3.6.5. Kolon sıkışabilirliğinin incelenmesi.....	18
3.6.6. Derinlik etkisinin değerlendirilmesi .....	20
3.6.7. Zemin ile taş kolonun uyumluluk kontrolü .....	20
3.6.8. Zeminin taş kolon ile güçlendirilmesi sonucu taşıma gücü faktörü .....	21
3.6.9. Taş kolon birim hücre kavramı .....	23
3.6.10. Taş kolon sistemlerinin sonuçlarının değerlendirilmesi .....	25
3.7. Deprem Etkisine Maruz Kalmış Zemin Davranışı.....	26
3.7.1. Kayma Modülü.....	27
3.8. Zemin Kritik Sönüm Oranı .....	28
3.9. Zemin Büyütmesinin Tanımı .....	28
3.10. Bir Boyutlu Modellerde Zemin Büyümesini Etkileyen Karakterler....	30
3.10.1. Zemin sönümünün etkisi ile tabaka kalınlığı.....	30
3.10.2. Kayma dalgası hızının zemin ile etkileşimi.....	30
3.10.3. Sismik dalgaların geliş açısının zemine etkisi.....	31
3.10.4. Zeminde iki veya ikiden fazla tabakanın olması durumu.....	31
3.10.5. Ana kaya derinliğine ulaşabilme sorunu.....	31

#### BÖLÜM 4.

ADAPAZARI BÖLGESİNİN ZEMİN ÖZELLİKLERİ.....	33
4.1. Adapazarı Bölgesinin Jeolojik Yapısı .....	33
4.2. Adapazarı Bölgesinin Yeraltı Suyu .....	36
4.3. Adapazarı Bölgesinin Depremselliği .....	37
4.4. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi.....	39

4.5. Zemin Yüzeyinde Oluşan Sıvılaşma.....	40
<b>BÖLÜM 5.</b>	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	41
5.1. Deprem Yüğü Altında Taş kolonlu ve Taş Kolonsuz Zemin	
Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi.....	41
5.1.1. Nümerik model.....	41
5.1.2. Nümerik modelin boyutlandırılması.....	42
5.1.3. Modelin sınır şartları .....	43
5.1.4. Çalışmanın yapıldığı zemin özellikleri.....	44
5.1.5. Taş kolon projesi.....	47
5.1.6. Yerinde taş kolon uygulaması.....	48
5.1.7. Nümerik model tasarlarken kullanılan deprem kaydı özellikleri .	49
<b>BÖLÜM 6.</b>	
ANALİZ SONUÇLARININ İNCELENMESİ .....	50
6.1. Model Anlatımı .....	50
6.2. Program Analiz Sonuçları .....	51
6.2.1. Taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin x ekseni için hız-zaman grafiğı .....	51
6.2.2. Taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin y ekseni için hız-zaman grafiğı .....	56
6.2.3. Taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin x ekseni için ivme-zaman grafiğı.....	60
6.2.4. Taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin y ekseni için ivme-zaman grafiğı.....	65
6.2.5. El Centro Depremine göre taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin x ekseni için ivme-zaman grafiğı.....	70
6.2.6. El Centro Depremine göre taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin y ekseni için ivme-zaman grafiğı.....	76
6.2.7. El Centro Depremine göre taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin x ekseni için hız-zaman grafiğı.....	80

6.2.8. El Centro Depremine göre taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin y eksenine göre hız-zaman grafiği .....	85
6.2.9. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (10m) arttırılmış zeminin x eksenini için ivme-zaman grafiği .....	89
6.2.10. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (10m) arttırılmış zeminin y eksenini için ivme-zaman grafiği .....	91
6.2.11. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (10m) arttırılmış zeminin x eksenini için hız-zaman grafiği .....	94
6.2.12. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (10m) arttırılmış zeminin y eksenini için hız-zaman grafiği .....	96
6.2.13. El Centro Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin x eksenini için ivme-zaman grafiği .....	98
6.2.14. El Centro Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin y eksenini için ivme-zaman grafiği .....	101
6.2.15. El Centro Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin x eksenini için hız-zaman grafiği .....	103
6.2.16. El Centro Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin y eksenini için hız-zaman grafiği .....	106
6.2.17. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin x eksenini için ivme-zaman grafiği .....	108
6.2.18. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin y eksenini için ivme-zaman grafiği .....	111
6.2.19. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin x eksenini için hız-zaman grafiği .....	113
6.2.20. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin y eksenini için hız-zaman grafiği .....	116

## BÖLÜM 7.

TARTIŞMA VE SONUÇ .....	119
-------------------------	-----

KAYNAKLAR.....	122
----------------	-----

ÖZGEÇMİŞ.....	125
---------------	-----



## 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
$d_f$	: İlk Tabakanın Tepe Noktasından Uzaklığı
D	: Kolon Çapı
$D_c$	: Taş Kolon Malzemesinin Tek Boyutlu Sıkışma Modülü
$D_e$	: Eşdeğer Çap
$D_s$	: Zeminin Tek Boyutlu Sıkışma Modülü
DKK	: Darbeli Kırmataş Kolon
DTK	: Darbeli Taş Kolon
$e_0$	: 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 Eklenerak Bulunan Uzunluk
$k$	: Yay Sabiti
$k_m$	: Zeminin Yataklanma Katsayısı
$k_p$	: Kolon Elemanı Yataklanma Katsayısı
$K$	: Yanal Toprak Basıncı Katsayısı
$K_{ac}$	: Taş Kolon Malzemesi Aktif İtke Katsayısı
$K_{oc}$	: Taş Kolon Malzemesinin Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısı
$K_p$	: Taş Kolon Malzemesi Pasif İtke Katsayısı
$n$	: Oturma Azaltma Faktörü
$n_s$	: Gerilme-Konsantrasyon Oranı
$O_{İO}$	: 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
$S_{\infty}$	: Homojen Zeminde Limitsiz Yükleme Alanı Altındaki Oturma
$u_0$	: Boşluk Suyu Basıncı
$UU$	: Konsolidasyonsuz Drenajsız Üç Eksenli Deneş

$v$	: Poisson Oranı
$W_c$	: Taş Kolon Malzemesi Ağırlığı
$W_g$	: Kırmataş Kolon Ağırlığı
$W_s$	: Zemin Ağırlığı
$\beta$	: Göçme Yüzeyi Eğimi
$\sigma_1$	: Nihai Düşey Gerilme
$\sigma_3$	: Yanal Çevre Gerilmesi
$\Phi$	: Kolon Malzemesi İçsel Sürtünme Açısı
$\Phi_c$	: Taş Kolon Malzemesi İçsel Sürtünme Açısı
$\Phi_s$	: Zeminin İçsel Sürtünme Açısı



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Taş kolon yapım aşamaları .....	9
Şekil 3.2. Vibro kompaksiyon yöntemi imalat adımları .....	10
Şekil 3.3. Vibro yer değiştirme imalat adımları,.....	11
Şekil 3.4. Alttan beslemeli yöntem imalat aşamaları.....	12
Şekil 3.5. Zemin mukavemetinin teorik kolon çapına etkisi .....	14
Şekil 3.6. $P=1/3$ için iyileştirme faktörü .....	18
Şekil 3.7. Alan düzeltme faktörü ile sıkışma modülü eğrisi .....	19
Şekil 3.8. Tekil taş kolon göçme mekanizmaları .....	21
Şekil 3.9. Taş kolona etkiyen farklı yükler .....	22
Şekil 3.10. Grup taş kolonlarının göçme mekanizmaları .....	23
Şekil 3.11. Taş kolonlarda eşkenar üçgen dizilimi (a) plan, (b) geometrisi.....	24
Şekil 3.12. Zemin büyütmesini etkileyen faktörler.....	29
Şekil 4.1. Adapazara'nın K.B. ile G.D. yönündeki görünümü .....	34
Şekil 4.2. Adapazarı bölgesinin jeolojik haritası .....	34
Şekil 4.3. Adapazarı'nın ilk 15 metredeki zemin tabakaları .....	35
Şekil 4.4. Adapazarı YASS seviyeleri .....	36
Şekil 4.5. Kuzey Anadolu Fay Hattı .....	37
Şekil 4.6. Sakarya ili deprem haritası .....	38
Şekil 5.1. FLAC programı grid gösterim şekli.....	42
Şekil 5.2. FLAC programında model boyutlandırması.....	43
Şekil 5.3. FLAC ile yapılmış boyutlandırma ve sınırlandırma örneği.....	44
Şekil 5.4. Sondaj verileri doğrultusunda çıkarılan zemin profili .....	46
Şekil 5.5. Taş kolon boyutları .....	47
Şekil 5.6. Uygulanmış taş kolon planı .....	48
Şekil 6.1. İnceleme yapılacak derinlik noktalarının gösterimi.....	50
Şekil 6.2. FLAC programında yüklerin ve taş kolonların tasarlanmış görünümü .....	51

Şekil 6.3. 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem kayıtlarına göre ana kayada ölçülen ivme grafiği .....	52
Şekil 6.4. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	53
Şekil 6.5. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	53
Şekil 6.6. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	54
Şekil 6.7. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	55
Şekil 6.8. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	55
Şekil 6.9. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	56
Şekil 6.10. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	57
Şekil 6.11. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	57
Şekil 6.12. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	58
Şekil 6.13. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	59
Şekil 6.14. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	59
Şekil 6.15. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	60
Şekil 6.16. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	61
Şekil 6.17. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	61
Şekil 6.18. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	62

Şekil 6.19. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	63
Şekil 6.20. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	64
Şekil 6.21. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	64
Şekil 6.22. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	66
Şekil 6.23. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	66
Şekil 6.24. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	67
Şekil 6.25. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	68
Şekil 6.26. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	69
Şekil 6.27. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	69
Şekil 6.28. El Centro Depremi ana kayada oluşan ivme-zaman grafiği .....	71
Şekil 6.29. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	72
Şekil 6.30. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	72
Şekil 6.31. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	73
Şekil 6.32. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	74
Şekil 6.33. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	74
Şekil 6.34. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	75
Şekil 6.35. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	75

için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	76
Şekil 6.36. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	77
Şekil 6.37. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	77
Şekil 6.38. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	78
Şekil 6.39. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	79
Şekil 6.40. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	79
Şekil 6.41. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	80
Şekil 6.42. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	81
Şekil 6.43. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	82
Şekil 6.44. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	83
Şekil 6.45. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	83
Şekil 6.46. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	84
Şekil 6.47. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	85
Şekil 6.48. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	86
Şekil 6.49. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	86
Şekil 6.50. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	87
Şekil 6.51. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	87

için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	88
Şekil 6.52. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	88
Şekil 6.53. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	90
Şekil 6.54. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	90
Şekil 6.55. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	91
Şekil 6.56. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	92
Şekil 6.57. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	93
Şekil 6.58. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	93
Şekil 6.59. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	94
Şekil 6.60. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	95
Şekil 6.61. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	96
Şekil 6.62. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	97
Şekil 6.63. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	97
Şekil 6.64. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	98
Şekil 6.65. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	99
Şekil 6.66. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	100
Şekil 6.67. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	



için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	101
Şekil 6.68. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	102
Şekil 6.69. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	102
Şekil 6.70. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	103
Şekil 6.71. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	104
Şekil 6.72. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	105
Şekil 6.73. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	105
Şekil 6.74. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	107
Şekil 6.75. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	107
Şekil 6.76. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	108
Şekil 6.77. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	109
Şekil 6.78. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	109
Şekil 6.79. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	110
Şekil 6.80. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	111
Şekil 6.81. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	112
Şekil 6.82. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	113
Şekil 6.83. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	113

için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	114
Şekil 6.84. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	114
Şekil 6.85. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	115
Şekil 6.86. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası).....	116
Şekil 6.87. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası).....	117
Şekil 6.88. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası).....	118

# TAŞ KOLON İLE YAPILAN ZEMİN İYİLEŞTİRMELERİN ZEMİN BÜYÜTME KATSAYISINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

## ÖZET

Bu çalışmada, sıvılaşma potansiyeli yüksek zayıf zeminlerde anakayadan zemin yüzeyine doğru hareket eden deprem dalgasından kaynaklanan zemin büyütme faktörü araştırılmıştır. Çalışmada taş kolonlu ve taş kolonsuz nümerik modeller kurularak farklı deprem yükleri altında mevcut imalatı yapılmış projelerin vaka analizleri yapılacaktır. Bölgesel jeoloji ve temel zemini şartları, yer hareketinin özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilir. Bu nedenle, özellikle yumuşak zeminler için, bir deprem sırasında zeminin büyümesinin belirlenmesi, araştırmacılar için çok önemli bir konudur. Araştırmada Adapazarı ilçesi, Tıgıcılar mahallesindeki mevcut bir yapının zemin profili kullanılmıştır. Deprem sırasında zeminin derinliklerinden zemin yüzeyine doğru hareket eden deprem dalgasının özellikleri değişmektedir. Bu değişim zemin tabakalarının özelliklerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Ana kayadan gelen deprem dalgası zemin tabakalarından geçerek zemin yüzeyinde büyümektedir. FLAC 2D programı ile kurulan modellerde yapılan analizler sonucu oluşacak düşey ivme değişimleri, yatay ivme değişimleri incelenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda zemin özelliklerinin yer hareketini arttırdığı görülmektedir. Zeminde meydana gelen büyüme nedeniyle önerilen tasarım spektrumlarını aşabileceği ve Adapazarı bölgesinin zemin yapısına sahip zeminlerde yerel zemin koşullarının dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: FLAC 2D, Zemin büyütmesi, Adapazarı zemin özellikleri, taş kolon

# **THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SOIL IMPROVEMENT WITH STONE COLUMN ON SOIL AMPLIFICATION COEFFICIENT**

## **SUMMARY**

In this study, the soil amplification factor which is caused by the earthquake wave moving from the bedrock to the soil surface on weak soil with high liquefaction potential was investigated. Stone column numerical models will be established in this study and case studies will be made of the projects which are manufactured under different earthquake loads. Regional geology and basic soil conditions can significantly change the characteristics of ground motion. For this reason, it is a very important issue for researchers to determine the soil amplification during an earthquake, especially for soft soils. The soil profile of an existing structure in the Tığcılar district of Adapazarı district was used in the study. The characteristics of the earthquake wave moving from the depth of the soil to the soil surface during the earthquake are changing. This change depends on the characteristics of the soil layers. The earthquake wave emitted from the main rock passes through the soil layers and amplification on the soil surface. Vertical acceleration changes and horizontal acceleration changes as a result of the analyses made on the models established with the FLAC 2D program were investigated.

As a result of the current study, soil characteristics increase the ground motion. Due to the amplification on the soil, it appears that it can exceed the proposed design spectra. Local soil conditions must be taken into account on soils such as the Adapazarı region.

Keywords: FLAC 2D, soil amplification, soil properties of Adapazarı, stone column

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Günümüz şartlarında zayıf zemine sahip mühendislik projelerinde güvenli bir yapı ortaya koymak için zemin iyileştirme tekniklerine başvurulduğu bilinmektedir. Geoteknik alanında karşılaşılan zorlukların başında zayıf zeminlere farklı yapı türlerinin inşa edilmesi gelmektedir. Geoteknik değerlendirmeler sonucu temel tiplerinin güvenilirliği sağlayamaması durumunda zayıf zeminin değiştirilmesi, zeminin kaldırılarak yerine istenilen özellikte zeminin koyulması veya proje yerinin değiştirilmesi gibi durumlar tercih edilmektedir. Zemin sıkıştırılarak boşluk oranının azaltılması, farklı boyutlarda malzemeler ile zemin boşluklarının doldurulması zemin iyileştirme tekniklerinin amacı olduğu bilinmektedir. Bu iyileştirmeler çeşitli mekanik araçlar ile yapılmaktadır. Zemin iyileştirme yöntemleri sayesinde zeminin mevcut taşıma gücünde artış, zemindeki oturma azalması konsolidasyonun artması, zemin geçirgenliğinin ve sıvılaşma durumunun azalması gibi etkenler iyileştirilerek yapıdan kaynaklanan yük desteklenebilmektedir. Depremden kaynaklanan zararları minimum seviyesine indirebilmek için günümüzde kullanılan etkili zemin iyileştirme yöntemlerinden biri de taş kolonlardır. Taş kolonlar yapı inşa edilecek sorunlu zeminlerin parametrelerini iyileştirmek amacı ile taşıma gücü kapasitesi ve oturma gibi sorunlara alternatif bir çözüm yöntemi olduğu bilinmektedir.

Taş kolon sistemi uygulanarak iyileştirilen temellerin tasarlanma aşaması günümüzde ampirik yaklaşımlar yapılarak çözüldüğü bilinmektedir. Yakın zamanda mühendislik projelendirmelerinde tercih edilen yöntemlerden biri olan sonlu elemanlar yöntemi kullanarak nümerik modellemelerin yapıldığı bilinmektedir. Modellemenin amacı farklı davranışlar gösteren zeminin bilgisayar ortamında gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek için ileri düzeyde tasarımlar yapılmasıdır.

## 1.1. Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı taş kolonlu ve taş kolonsuz sınıflaşma potansiyeli yüksek zayıf zeminlerde anakayadan zemin yüzeyine doğru hareket eden deprem dalgasından kaynaklanan zemin büyütme faktörünün araştırılmasıdır. Çalışmada taş kolonlu ve taş kolonsuz nümerik modeller kurularak farklı deprem yükleri altında mevcut imalatı yapılmış projelerin vaka analizleri yapılacaktır. Bölgesel jeoloji ve temel zemini şartları, yer hareketinin özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilir. Bu nedenle, özellikle yumuşak zeminler için deprem sırasında zeminin büyümesinin belirlenmesi, araştırmacılar için çok önemli bir konudur. Araştırmada Adapazarı ilçesi, Tıgçılar mahallesindeki mevcut bir yapının zemin profili kullanılmıştır. Deprem sırasında zeminin derinliklerinden zemin yüzeyine doğru hareket eden deprem dalgasının özellikleri değişmektedir. Bu değişim zemin tabakalarının özelliklerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Ana kayadan gelen deprem dalgası zemin tabakalarından geçerek zemin yüzeyinde büyümektedir. FLAC 2D programı ile kurulan modellerde yapılan analizler sonucu oluşacak düşey ivme değişimleri, yatay ivme değişimleri incelenecektir.

## BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Günümüzde problemlı zeminlerin iyileştirilmesi için birden fazla yöntem vardır. Bunlardan biri de taş kolonlardır. Taş kolonların problemlı zemin adı altındaki gevşek zeminlerin üzerine yapılacak yapıların zeminini iyileştirmek için kullanıldığı bilinmektedir. Günümüze kadar taş kolon uygulamasının birden fazla araştırmacı tarafından araştırıldığı ve uygulandığı bilinmektedir. Taş kolon yöntemi ile ilgili kimlerin ne çalışma yaptıkları hakkında açıklamalar yapılacaktır.

Yapılan çalışmada kilden oluşan zeminde uygulanan taş kolonların sistematik davranışları analitik olarak incelenmiştir. İncelemelerini yaparken taş kolonun taşıma gücü ve drenaj etkisini birlikte değerlendirerek teorik bir çözümleme ve bazı kabuller yapılmıştır. Taş kolon ve killi zeminlerde oluşacak deformasyonlar sadece dikey yönde gerçekleşir. Taş kolon ve zemin davranışı lineer elastiktir. Taş kolonlar, çevresini saran zemine oranla daha fazla elastisite modülüne sahiptir. Hesaplamalar yapılırken kolon rijitliği dikkate alınarak modifiye edilmiş konsolidasyon katsayısı bulunmuştur. Taş kolon ile zemin arasındaki gerilme paylaşımı irdelenmiştir. Taş kolonun konsolidasyon üzerindeki etkisini araştırmak için taş kolonun etki alanı, permeabilitesi, gerilme dağılım oranı, örselenmiş bölgenin büyüklüğü ve zemin kalınlığı araştırılmıştır. (Han ve Ye, 2002)

Yapılan çalışmada ülkemizde bulunan Bor Çelik Gemlik Soğuk Hadde Fabrikası zeminini iyileştirmek amacı ile taş kolon uygulaması yapılmıştır. Yapılacak fabrika bölgesi zemini CPT ve bölge yükleme deneyleri ile zemin ıslahı tahkik edilmiştir. Zemin tabakası yumuşak, orta, sıkı, normal, aşırı konsolide olmak üzere 5 katmana ayrılmıştır. Zemin tabakaları proje alanında 4 ayrı bölgeye ayrılmıştır. Zeminde genel olarak 12m derinlikte ve 50 cm çapında, ana kayaya ulaşınca kadar taş kolon yapılmıştır. Taş kolonlar imal edilirken üstten darbeli ucu kapalı bir muhafaza borusu ile

uygulama yapılmıştır. İstenilen derinliğe kadar boru çakıldıktan sonra içine malzeme doldurulup boru titreşimle geri çekilmiştir. Kullanılan malzeme 10 ile 100mm boyutları arasındadır. 430 tona ulaşan yükler yardımı ile bölge yükleme deneyi yapılmış, taş kolon öncesi ve sonrası karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre;

1. %3'den büyük sürtünme oranına sahip killi zeminlerde iyileştirme yapılmadan ve yapıldıktan sonra CPT uç mukavemetinde değişme gerçekleşmemektedir.
2. %3'den küçük sürtünme oranına sahip kum-silt karışımı zeminlerde taş kolon uygulaması yapıldıktan sonraki CPT uç mukavemeti yaklaşık %73 daha yüksektir.

Zemine uygulanmış taş kolon için yeterli bekleme yapıldıktan sonra zeminde oluşan boşluk suyu basınçlarında azalma meydana gelir. CPT uç mukavemet değerinde yükselmeler oluşur. Yapılan analizler sonucunda taş kolon uygulaması zeminin sıvılaşmasını iyileştirmektedir. (Durgunoğlu vd., 1992)

Yapılan çalışmada zayıf zemin içerisinde uygulanan taş kolonların davranış durumlarını yük testleri ile incelemişlerdir. İncelediği projesinde 10m yükseklikteki toprakarme duvarın altında gerek stabilite gerek teknik nedenlerden dolayı projede taş kolon kullanma kararı alınmıştır. Projede taş kolon çapı 100cm, iki kolon arası 2m olacak şekilde karelej yapılmasına karar verilmiştir. Taş kolonların performansını incelemek için 1m-1m ebatlarında plaka kullanarak yükleme yapılmıştır. Plakalara uygulanan 900KN maksimum yükten kaynaklanan zemin oturma 110mm ölçülmüştür. Uygulama yapılmadan önceki oturma miktarı 650mm iken taş kolon ile iyileştirildikten sonraki tahmini oturma 250-280mm'dir. Taş kolonlar imal edilip proje alanında yapı bitirildikten sonraki 4 ayda oturma 115mm civarında olduğu görülmüştür. Yapılan tüm bu deneyler sonucunda taş kolonların etkin bir drenaj sistemi gibi çalıştığı görülmüştür. (Liew ve Tan, 2007)

Yapılan çalışmada benzer olmayan kayma mukavemetine sahip olan zeminde gerçekleştirilen taş kolon davranışları model analizler ile irdelenmiştir. Deney aşaması için 50cm yüksekliğe sahip çapları 21cm ile 42cm arasında değişen tanklar içinde farklı



kayma mukavemetine sahip olan 3 kil yatağı hazırlanmıştır.10 cm çapta tekil taş kolonlar üretilmiş dolayısıyla taş kolona gelen gerilmeyi tahmin etmek için yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sahası hazırlanırken kil ve tank yüzeyinin birbiri ile olan sürtünmesini azaltmak için tankın iç yüzeyi yağlanmıştır. Bu çalışma yapılırken taş kolonların nümerik modellemesi için Plaxis programına başvurulmuştur. Programda hassas ve net sonuçlar elde etmek için 15 düğümlü ağ elemanları kullanılmıştır. Ambily ve Gandhi deneysel çalışmalarında kolon tek başına yüklendiğinde çapının yaklaşık 0,5 katı mesafede maksimum şişmeye ulaşmışlardır. Drenajsız kayma dayanımı eşit ancak zemin alanı / kolon alanı (s/d) oranı aynı olmayan taş kolonların taşıma miktarları mevcuttur. Buradan s /d oranının artması ile taş kolon taşıma kapasitesinin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. (Ambilhy ve Gandhi, 2009)

Yapılan çalışmada laboratuvar ortamında deneysel sistemler kurularak tekil taş kolon davranışları incelenmiştir. Sistem kurulurken taş kolon uygulanmış zeminin yüzeyine değişik miktarlarda kum serilerek ve taş kolonlarda geogrid kullanarak deney yapılmıştır.50mm çaplı 300mm yüksekliğe sahip taş kolon deney tankı içerisinde oluşturulmuştur. Yükleme plakası yardımı ile yüklemeler yapılmıştır. Deneysel veriler sonucuna göre taş kolon uygulaması ile güçlendirilmiş zeminin yük taşıma miktarı güçlendirme yapılmamış zemine göre %69 daha fazladır. Taş kolon üzerine 30mm kalınlığında kum serilmiş uygulama hiç güçlendirme yapılmamış zemine göre %141 daha fazla olduğu görülmüştür. Geogrid ile güçlendirilmiş 30mm kalınlığındaki kum zemin altındaki taş kolon uygulaması hiç güçlendirme yapılmamış zemine göre %233 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. (Kousik, 2008)

Yapılan çalışmada çıkarımlara göre taş kolon tasarım yöntemleri şu şekilde özetlenmiştir. Taş kolon tasarım yükü 15 ile 60 ton arasında farklılaşmaktadır. Güçlendirme yapılmış zemin kalınlığı 9 metreyi geçerse yöntem ekstra maliyetlerden dolayı ekonomik boyutu artmaktadır. Eğer kesme dayanımı 7 kPa 'dan daha az ise killi zeminlerde taş kolon uygulanması önerilmez.7-19 kPa aralığında ise yöntem uygulanabilir fakat dikkatle yapılması önerilir. Taş kolon uygulaması yapılacak zeminde 1 metreden daha fazla turba zemin var ise yöntemin uygulanması önerilmez. Yapılan analizler sonucunda gerilme yoğunlaşma faktörü genellikle 2-2,5 arasında değişmekte

ve taş kolonun kayma direnci açısı 38-45 derece arasında kalmaktadır. (Barksdale ve Bachus, 1983)

Yapılan çalışmada taş kolonların taşıma gücü kapasitesi üzerine santrifüj model deneyler oluşturularak kil zeminde taş kolon uygulaması üzerine çalışma yapılmıştır. Kil zemin 250 mm çapında ödometre kabında 200 kpa dikey yüke maruz bırakılmıştır. Bu yük altındaki numuneye T-Bar testi uygulanarak drenajsız kayma mukavemetinin arttığı görülmüştür. Taş kolon uygulaması aşamasında kolonlardaki boşluk suyu basıncını ölçmek için basınçölçerler kullanılmıştır. Taş kolonların yüklemesi sırasında boşluk suyu basınçlarının arttığı, kolon göçmeye maruz kaldıktan sonra ise boşluk suyu basınçlarında azalmaların meydana geldiği görülmüştür. (Guatray j. vd. ,2013)

Yapılan çalışmada darbeli kırmataş kolonların zemin oturması üzerine çalışılmıştır. Laboratuvar ortamında deneyler yaparak kolon yapımında kullanılan malzemenin kayma dayanımı, şev ve dolgu zeminlerde kayma direncini arttırarak göçmeye karşı yüksek güvenlik vermektedir. Yapılmış deneyler sonucunda taş kolonların kesme dayanımlarının yüksek olduğu anlaşılmıştır. Zeminde darbeli kırmataş kolon uygulaması ile zeminin yanal gerilmesi artacaktır. Bu bölgede kompozitlik artarak oturma azalacaktır. Uygulanacak yöntem ile zemin oturmalarının hızlanması sağlanmıştır. Amerikanın Iowa isimli eyaletinde yapılmış köprü altı ayaklarının altına uygulanmış taş kolonlar sayesinde zeminde iyileştirme meydana gelmiştir. İyileştirme yapılmadan önceki arazi oturmasının %10 'u kadar oturma iyileştirme yapılmış zeminde meydana gelmiştir. (Wissmann vd. ,2002)

Yapılan çalışma Des Moines, Iowa'daki otoyol şantiyesinde yan yana iki dolgu sahasında gerçekleştirilmiştir. Dolgu sahaslarından birinde taş kolon diğesinde ise darbeli kırmataş kolon yapılması üzerine araştırma yapılmıştır. Taş kolon kullanılan zemindeki amaç sıkışmayı azaltmak ve kayma dayanımını arttırmaktır. Darbeli kırmataş kolondaki amaç ise oturmaların hızını arttırmak istenmiştir. Her iki uygulamanın ne denli faydalı olduğunu anlamak için Standart Penetrasyon Testi (SPT) ve yükleme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, taş kolon yapılmış zemin diğesine göre daha dayanımlı ve kohezyonu daha azdır. SPT deneyinin sonucuna göre taş kolonda ortalama N değeri 11,

DKK' da ise N ortalama 17 bulunmuştur. Uygulama sonrası DKK'da yanal gerilme yaklaşık 2 kat fazla çıkmıştır. DKK rijitliği taş kolon rijitliğinden daha fazla olduğu görülmüştür. Hatta bu oran 2-9 arasında değişmektedir. Taş kolon uygulanan zeminin oturması darbeli kırmataş kolona göre yaklaşık 3 kat fazla çıkmıştır. (White vd. ,2002)

Yapılan çalışmada Cape Mendocino deprem verileri kullanılarak zemin büyümesi hakkında araştırmalarda bulunulmuştur. EDUSHAKE programı ile çalışma yaparak zemin hareketlerini ve ivme değişimlerini incelemiştir. Çalışmasında Türkiye Deprem Yönetmeliğini ele alarak zemin tiplerini karşılaştırmıştır. Yaptığı karşılaştırmaya göre Z4 zemin profili Z1 zemin profiline göre zemin büyütmesi açısından fazla büyüme gerçekleştirdiği anlaşılmıştır. (Biringen, 1998)

Yapılan çalışma yedi farklı zemin sahası üzerinde gerçekleştirilmiştir. İsrail'deki bir bölgede yaptıkları çalışmalarda zeminin özelliklerinden dolayı oluşan zemin büyütmesi araştırılmıştır. Çalışmada orta büyüklükteki deprem verileri kullanılarak kayma dalgası hızları ve yatay-düşey zeminde oluşan ivmeler incelenmiştir. Maksimum 4.0 gibi yaklaşık bir zemin büyütme katsayısına ulaşılmıştır. (Zaslavsky vd., 2000)

Yapılan çalışma deprem kayıtları düşük veriler kullanılarak Bursa şehrinde belirli bir bölgede zemin büyümesi üzerinedir. Zemin büyümesi faktörünü belirleyebilmek için standart oran ve yatay-düşey ivme oranı dâhil edilerek sonuçlar alınmıştır. Maksimum büyütme, kil gibi alüvyal zeminlerin yer aldığı sahalarda olduğu ve kaya gibi zeminlerden yaklaşık 5 kat fazla çıktığı sonucuna ulaşılmıştır. (Akyol vd., 2002)

Yalçınkaya kullandığı bir boyutlu model ile saha zemininin katman kalınlığı, sönüm ve sönüm oranı, saha zemininin kayma dalgası hızı, deprem sismik verilerinin geliş açısı, birden fazla tabaka durumu gibi farklı durumların zemin büyüme değerlerine etkisini incelemiştir. Bu incelemeler için yaşanmış deprem kayıtları kullanılmıştır. Sonuç olarak zeminin derinlerdeki sismik verileri ile yüzeydeki sismik verileri arasında kaydadeğer bir büyüme vardır. (Yalçınkaya, 2004)

## **BÖLÜM 3. GENEL BİLGİLER**

### **3.1. Taş Kolonlar**

Performansı düşük zeminler üzerine yapılan temel inşaatı yöntemlerinin bir çoğu ekonomik yönden maliyetli olmaktadır. Bu maliyeti önleyebilmek için yerinde zemin iyileştirme metotları araştırılmaya başlanmıştır. Şuan birden fazla zemin iyileştirme yöntemi kullanılmaktadır. Fakat gelişen mühendislik uygulamaları sayesinde zemin iyileştirme yöntemleri üzerinde çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Zemin performansını iyileştiren yöntemlerden taş kolonlar yumuşak killi zeminlerde, orta yumuşak killi zeminlerde, siltlerde ve siltli kumlarda başarılı bir şekilde kullanılan yöntemdir. Taş kolonlar, zemine uygulanarak zeminin taşıma gücünü arttırdıkları gibi zemin içindeki suyu drene ederek düşey dren gibi çalışırlar. Konsolidasyonu hızlandırarak zemin oturmasının azalmasını sağlar. Taş kolon yönteminin kullanım amaçlarından bazıları;

1. Zeminin taşıma kapasitesini yükseltmek.
2. Zeminin konsolidasyonunu hızlandırmak.
3. Zeminin sıvılaşma potansiyelini en aza indirmek.
4. Zeminin toplam ve farklı oturmalarını indirgemek.
5. Zeminin doğal ve dolgu şevlerinin stabilitesini arttırmaktır.

Sıvılaşma potansiyeli yüksek zemine taş kolon uygulandığı zaman zeminin özellikleri aşağıdaki gibi güçlenmektedir. (Ergün, 1992)

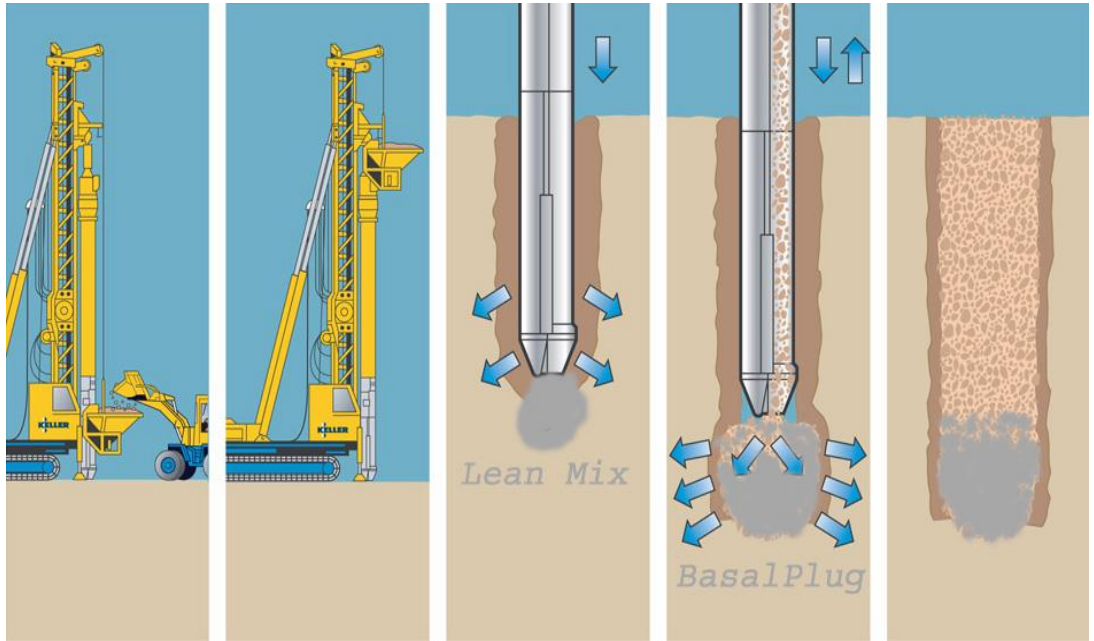
Uygulama esnasında zemindeki titreşim ve yer değiştirmeden kaynaklanan zeminin sıklığında artma meydana gelir. Taş kolon malzemesinin yoğunluğu ve dayanımı fazla olduğu için zeminin taşıma gücü potansiyelini artırır. Zemindeki aşırı boşluk suyu dren

vazifesi gören taş kolon yardımıyla önlenir. Zemine uygulanan taş kolonun zemine temas ettiği taş kolon çevresinde yanıl gerilme artışları meydana gelir. Taş kolon uygulanan alanda zeminle kolon arasında ki davranışı etkileyen faktörleri de aşağıda ki gibi sıralayabiliriz. (Demir S. ,2011)

Zeminin drenaj olamadan gösterdiği mukavemet, jeolojik gerilme, taş kolon çaplarından kaynaklanan radyal gerilme, birim boy değişiminden kaynaklanan özellikler, taş kolon için kullanılan malzemenin özellikleri.

### 3.2. Taş Kolon İmalatı

Taş kolonların yapımı öncelikle zeminin ağır, titreşimli bir uç yardımı ile sıkıştırılarak delinmesi ve içine kırma taş malzemenin doldurulması ile oluşturulur. Malzeme dolumu esnasında kuyuda göçme veya yanıl sıkışmalara karşı kuyu tasarlanandan geniş olacak şekilde oluşturulur. Genellikle 0,6-1,3m arası çaplarda, tipik olarak 20m'ye kadar derinliklerde yerleştirilmesi ve titreşimli uç vasıtası ile sıkıştırılması sonucu oluşturulur ve Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Taş kolon yapım aşamaları (Demir, 2011)

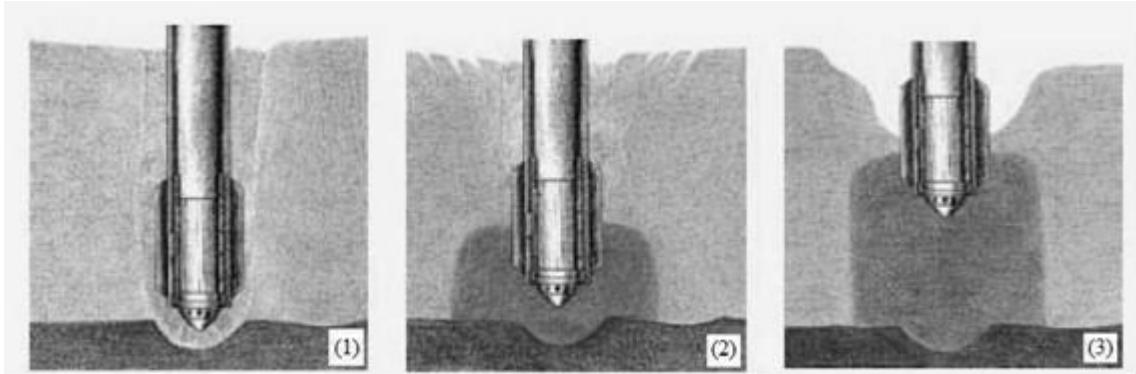
### 3.3. Taş Kolon İmalat Yöntemleri

Taş kolon imalat yöntemleri, taş kolon uygulanacak zeminin türüne, zemin üstünde herhangi bir üst yapının bulunup bulunmamasına göre birbirinden farklı uzunluk ve çaplarda üretilebilir.

#### 3.3.1. Vibro kompaksiyon yöntemi

Vibrokompaksiyon, kohezyonsuz zeminlerde derine inen vibratörler ile ince dane oranı %10'dan az olan zeminin sıkılığını arttırmada kullanılır. Vibratör, gerek su jeti, gerek hava jeti uygulaması ile istenilen derinliğe ulaştıktan sonra yaklaşık yarım metrede bir geri yukarı kaldırılmaya başlar. İşlem üstten veya yerinde uygulanan granüler malzeme ile sonlandırılır. Doğal zeminde yaptığımız kompaksiyon ile sıkışma sonucu zeminin hacminde azalmalar meydana gelir. Bu azalmalar kum ilave edilerek engellenebilir. Böylelikle arazi kotu korunmuş olur. Vibro kompaksiyon yöntemi ile ekonomik olarak 240- 480 kPa arasında taşıma gücü artışı sağlamaktadır. (Keller, 2010)

Yöntem Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.

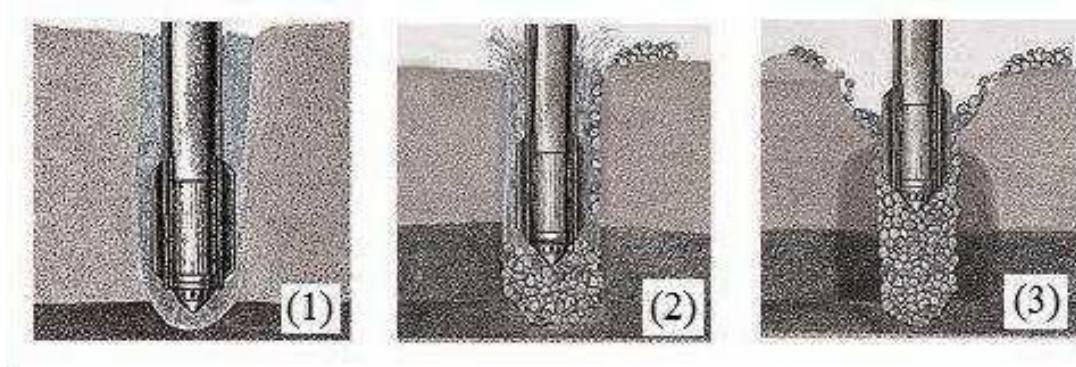


Şekil 3.2. Vibro kompaksiyon yöntemi imalat adımları (Kurt, 2011)

#### 3.3.2. Vibro yer değiştirme yöntemi

Islak yöntem olarak da bilinen bu yöntem kohezyonu karışık ve zeminin tabakalı olduğu yerlerde sıkıştırılma işlemi tam yapılamazsa uygulanır. Şekil 3.3.'deki gibi titreşimli

vibratör ve basıncı yüksek su jeti ile kuyu açılır (1). Jetten çıkan basıncı yüksek su ile probun etrafındaki bölge yıkanır. Granüler malzeme yüzeyden ilave edilerek taş kolon oluşturulur (2).Uygulama tamamlandıktan sonra bölgenin yüzeyi silindir ile düzlenir (3). Vibro yer değiştirme yöntemi ile diğer yöntemler arasındaki en büyük etken su jetidir. Su jetleri ince danelerin kuyu çevresinde taş kolonun geçirimsiz olmasını engelleyen ve kuyunun inşası sırasında stabilitesini sağlarlar. Yumuşak ile katı kıvamlı zemin koşullarında ( $c_u=15- 50$  kPa), yeraltı suyunun yüksek olduğu bölgelerde etkili kullanılan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Bu yöntemin maliyeti diğer vibrasyon tekniklerine göre maliyeti daha düşüktür. Vibro taş kolonlar zeminin cinsine, zemin için istenilen şartlara ve yükleme değerlerine göre farklı şekillerde projelendirilebilirler. Taş kolonlar arası mesafeler 1,8 ile 3m arasında farklılık gösterebilir.

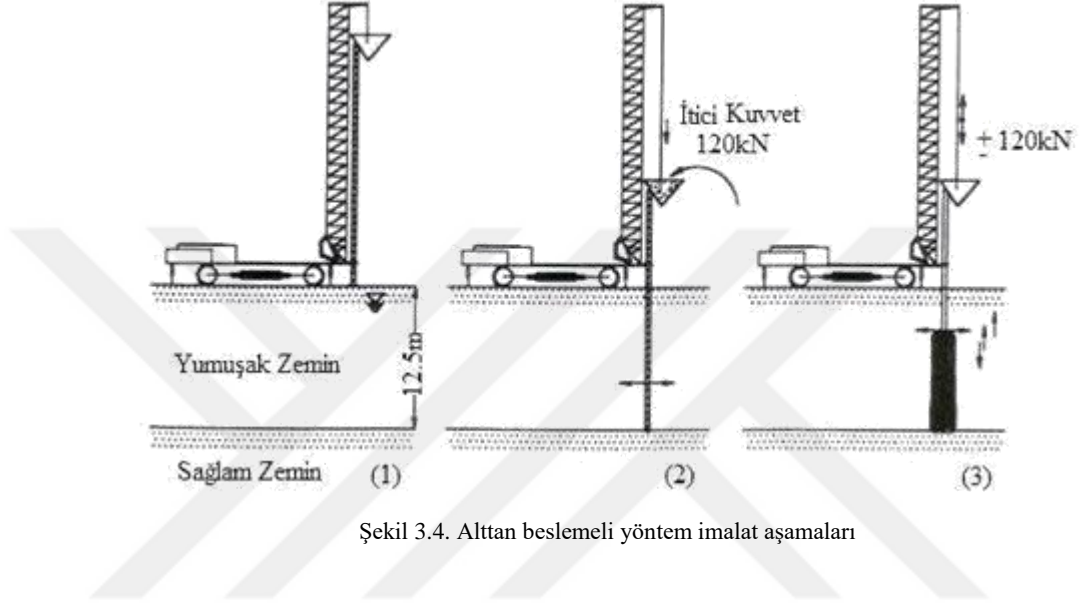


Şekil 3.3. Vibro yer değiştirme imalat adımları

### 3.3.3. Vibro öteleme yöntemi

Kuru yöntem olarak da bilinen bu yöntem, proje derinliğine kadar prob yardımı ile taş kolon uygulaması yapılacak yer yanal zemine baskı uygulayarak kuyu oluşturulur. Kuyu içinden prob geri çekilerek çıkartılır ve tabaka tabaka granüler malzeme kuyu içine doldurulur. Prob yardımı ile bu tabakalar üzerine baskı uygulanarak taş kolon sıkılaştırılır. Uygulanan bu baskı malzemenin düşey ve kuyu çeperine doğru sıkışmasını sağlar. Yöntemin amacı zemin kendini tutarak kuyu göçmeden sıkıştırılmış bir taş kolon oluşturmaktır. Vibro öteleme yöntemi, vibro yer değiştirme yöntemine oranla makavemeti yüksektir.( $c_u=30-60$  kPa)

Vibro öteleme yönteminde kuyu içine indirilen prob kuyudan çıkmadan granüler malzeme doldurulması ile alttan besleme uygulanarak taş kolon uygulanır. Bu yöntemle alttan beslemeli yöntem denir. Avantajı kuyu oluşturulurken kuyunun çökme riskini azaltır.



### 3.3.4. Darbeli yöntem

Bu yöntem basit olarak bir boru düşeyde yüksek darbeleme enerjisi ile zemine uygulanır. Kuyu açıldıktan sonra açılan bu kuyu içine granüler taş kolon malzemesi tabakalar halinde doldurulur. Her bir katmanın yani tabakanın malzemesi doldurulduktan sonra boru yavaş yavaş kaldırılarak işlem taş kolon tamamlanana kadar tekrarlanır. Boru geri çekilirken malzemenin üzerine uyguladığı etki ile katmanlar sıkıştırılır.

### 3.4. İmalat Yöntemlerinin Karşılaştırılması

İmalat yöntemlerinin karşılaştırılması sonucu bazı çıkarımlar yapılmıştır. Bu çıkarımlar aşağıda anlatılmıştır. Vibro kompaksiyon yöntemi kumlar ve siltli kumlar gibi zeminler için kullanılırken vibro yer değiştirme yöntemi ise vibro kompaksiyona oranla daha ince malzeme olan kil ve siltli kumlar için kullanılmaktadır. Göçme ihtimali düşük



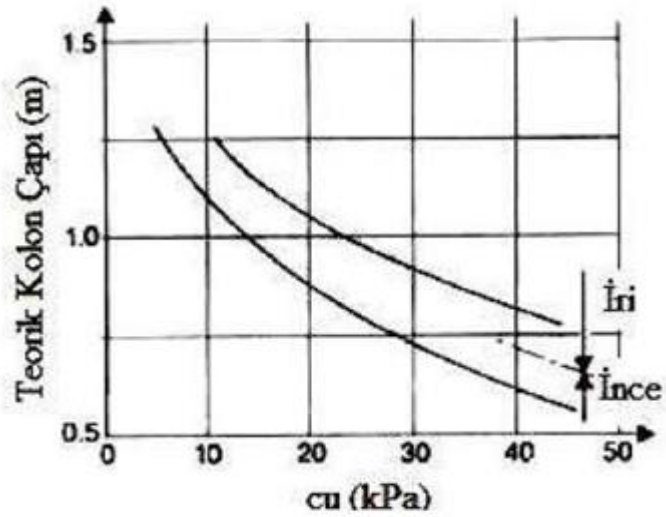
zeminlerde vibro yer değiştirme yönteminde zemini tutacak ekipmana gerek kalmamasından dolayı, taş kolon yapım hızı darbeli yönteme oranla daha hızlıdır. Su jeti kullanılmamasından dolayı kuru yöntem ıslak yönteme göre daha ekonomiktir. Vibro yer değiştirme uygulaması yapılırken su miktarı fazla kullanıldığı için uygulama sonrası zemin yüzeyinde oluşan su bertaraf edilmelidir. Vibro teleme yöntemi ise yer değiştirmeye göre daha temiz bir yöntemdir. Fakat bu yöntem, kuyunun gçmemesini sağlamak adına yeraltı suyunun daha diplerde olduğu ve kendini tutabilen zemin koşullarının olduğu zeminlerde kullanılmalıdır.

### **3.5. Taş Kolon Elemanlarının zellikleri**

Taş kolon üretmek için kullandığımız malzemelerin başlıca özellikleri, taş kolon çapı, taş kolon boyu ve taş kolonun içsel sürtünme açısıdır.

#### **3.5.1. Taş kolon apı**

Zemin dayanımına, taş kolon oluştururken kullandığımız sıkıştırma enerjisine ve uygulama için tercih yapılacak taş kolon imalat yöntemine göre taş kolon çapları değişmektedir. Vibro teleme ve vibro yer değiştirme yöntemi uygulanarak oluşturulan taş kolon çapları 100 cm gibi bir değer alırken, darbe yöntemi uygulanarak oluşturulan taş kolonların çapları ise 80 cm civarında değerler aldığı söylenebilir. Yapılan araştırmalar ve deneysel çalışmalar sonucu etkili kolon çapı ile kohezyonlu zeminin kayma mukavemeti arasındaki ilişki Şekil 3.5.'te gösterilmiştir. (Besancon vd., 1984)



Şekil 3.5. Zemin mukavemetinin teorik kolon çapına etkisi (Besancon vd., 1984)

### 3.5.2. Taş kolonun boyu

Taş kolon kullanarak yapılan zemin ıslahı işlemlerinde, zeminin taşıma gücünü arttırmak ve zeminin oturmasını azaltmak için taş kolon ucunun sağlam kaya zemine kadar ulaştırılması gerekmektedir. Eğer dayanımı yüksek zeminin taş kolonun ulaşamayacağı kadar derinlerde olması durumunda taş kolonlar istenilen zemine ulaşmadan durdurulabilir. Ancak sağlam zemine ulaşmadan kısa kesilen taş kolonların uç mukavemeti olamayacağından dolayı oluşan taş kolonlar yüzen kolon davranışı gösterecektir. Taş kolon boyunun sonlandırılacağı tabaka derinliği 6m ile 10m arasında değişecektir. Eğer taş kolonlar bu uzunluk bandında yapılırsa ekonomik bir sonuç alınacaktır. (Kurt, 2011)

### 3.5.3. Taş kolonun içsel sürtünme açısı

Taş kolon içsel sürtünme açısı taş kolon üretiminde kullanılan granüler malzemenin cinsine göre farklılaşmakta olup genelde 40° ile 45° arasında oluşmaktadır. Ancak uygulamada oluşan farklılıklardan dolayı meydana gelen güvenlik faktörü de dikkate alınarak içsel sürtünme açısının 38° kullanılması önerilmektedir. (Besancon vd., 1984)

#### **3.5.4. Taş kolon malzemesi dane çapı dağılımı**

Taş kolon uygulamasında kullanılan iyi derecelendirilmiş granüler malzeme çapları 1.3 cm ile 1.7 cm arasında değişen çakıldır. Eğer bu ürünler tedarik edilemez ise taş kolon yapımında kırmataş malzemeye başvurulabilir. Fakat kırmataş malzemede dikkat edilecek bir diğer nokta malzemenin granülometre eğrisidir. Kırmataş malzemenin çapları irili ufaklı farklı dane boyutlarından oluşmalıdır. (Kurt, 2011)

#### **3.6. Taş Kolon Tasarımı**

Dizilme yönünden taş kolonlar, ıslah edilmemiş alandaki temel oturmasının, ıslah edilmiş bölgedeki temel oturmasına oranı şeklinde tarif edilerek, oturma iyileştirmesi oranı (OİO) ile hesaplanır. (Clemente vd., 1999)

##### **3.6.1. Taş kolon taşıma kapasitesinin artırılması**

Zemindeki içsel sürtünme açısının artırılması sonucu zeminin taşıma gücü yükselir. Bundan dolayı zeminin kohezyonu ve sürtünme açısı zeminin taşıma gücünü sağlayan etkenlerdendir. İçsel sürtünme açısını da arttırmak için vibro sistemler kullanılabilir. Vibro kompaksiyon ise kohezyonsuz granüler zemini sıkıştırarak zeminin içsel sürtünme açısını artırır. Dolayısı ile içsel sürtünme açısının artması sonucu izin verilebilir taşıma kapasitesi de artar. Vibro yer değiştirme yöntemi ile zemin iyileştirmesi yapılacak olan zeminde taş kolon imal edilebilir. Taş kolon uygulaması yapılacak arazide granüler malzeme varsa, uygulama için o granüler malzemenin iyileştirilmiş parametreleri de hesaplanmalıdır.

##### **3.6.2. İyileştirilmiş zeminde oturma**

Zeminde oturma işlemi, doğal zeminin konsolidasyonuna ve o zeminin sıkışmasına göre farklılaşmaktadır. Temel altı zemindeki oturma miktarı, vibro sistemler uygulanarak iyileştirilmektedir. Dolayısı ile taş kolon uygulanacak alanın sıkışma katsayısında artma meydana gelir ve modülü yüksek vibro taş kolonlar üretilir.

Kohezyonu yok denecek kadar az veya kohezyonsuz granüler zeminlere yüksek enerji ile vibro kompaksiyon uygulandığında zeminin sıkışma katsayısında kayda değer artışlar meydana gelir. Daha sonra oturma hesabı yaparken iyileştirilmiş yeni katsayı değeri hesaba katılarak yinelenir. Taş kolonlar ile yapılan zemin ıslahında tahmin edilen oturma miktarı Pribe'nin yöntemi ile irdelenebilir. Pribe'nin yönteminde ıslah edilmiş alandaki taş kolon ile değiştirilen bölgenin alan değiştirme oranına ve taş kolon granüler malzemesinin içsel sürtünme açısına bağlı bir iyileştirme faktörü belirlenir. Ancak arazideki zemin iyileştirilmiş değerleri de dikkate alınmalıdır. (Pribe, 1995)

### **3.6.3. İyileştirilmiş zemin parametreleri**

Vibro kompaksiyon uygulaması ile kohezyonsuz tabii zemin sıkıştırılarak sıklık derecesi artırılır. Fakat vibro yer değiştirme yönteminde ise zemin içinde değerleri iyi granüler malzemeler kullanılır ve bu malzemeler çok iyi bir şekilde sıkıştırılırlar. Çalışmalarda irdelenecek kısım uygulamanın yapılacağı doğal zemin ile oluşturulan taş kolon malzemelerinin ne denli uyum sağladığı ve ne kadarlık bir iyileştirme yaptığıdır. Bu iyileştirme Pribe'ye göre öncelikle arazide yerinde deneyler yapılarak geliştirilir. Daha sonra taş kolon uygulaması yapılmış zemin ile uygulama yapılmamış zemin birbiri ile kıyaslanarak iyileştirme oranı hesaplanabilir. Yöntemin incelenmesi ve açıklaması aşağıdaki gibi yapılmıştır. Öncelikle taş kolonun iyileştirme etkisi ile zeminin başlangıçtaki durumu karşılaştırılmaktadır ve bu karşılaştırma ile bir iyileştirme faktörü elde edilmektedir. (Pribe, 1995)

### **3.6.4. İyileştirme faktörü hesabı**

Pribe yöntemine göre rijit tabakaya yerleştirilen taş kolon, zemin ile kolunun ancak yataydaki yer değiştirmeler sonucunda oturduğunu varsaymıştır. Taş kolon oluştuktan sonra kolonu çevreleyen zeminin davranışlarının elastik kabul edildiği görülmüştür. Taş kolon uygulaması yapılırken zemine uyguladığımız kuvvetten dolayı kolonun çevresindeki zeminlerde meydana gelecek yer değiştirme vardır. Bundan dolayı yanal toprak basıncı katsayısını bir alarak başlangıç yanal direncini sıvı olarak kabul eder. (Pribe, 1995) Sonuç olarak iyileştirme faktörü  $n_0$ :

$$K_{ac} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi_c}{2}\right) \quad (3.1)$$

$$f(\mu_s, A_c / A) = \frac{(1 - \mu_s)(1 - A_c / A)}{1 - 2\mu_s + A_c / A} \quad (3.2)$$

$$n_0 = 1 + \frac{A_c}{A} \left[ \frac{1/2 + f(\mu_s, A_c / A)}{K_{ac} f(\mu_s, A_c / A)} - 1 \right] \quad (3.3)$$

formülleri ile hesaplanmaktadır. Bu formüllerde;

A: Toplam alan

$K_{ac}$ : Taş kolon malzemesi aktif itki katsayısı

$\phi_c$ : Taş kolon malzemesi içsel sürtünme açısı

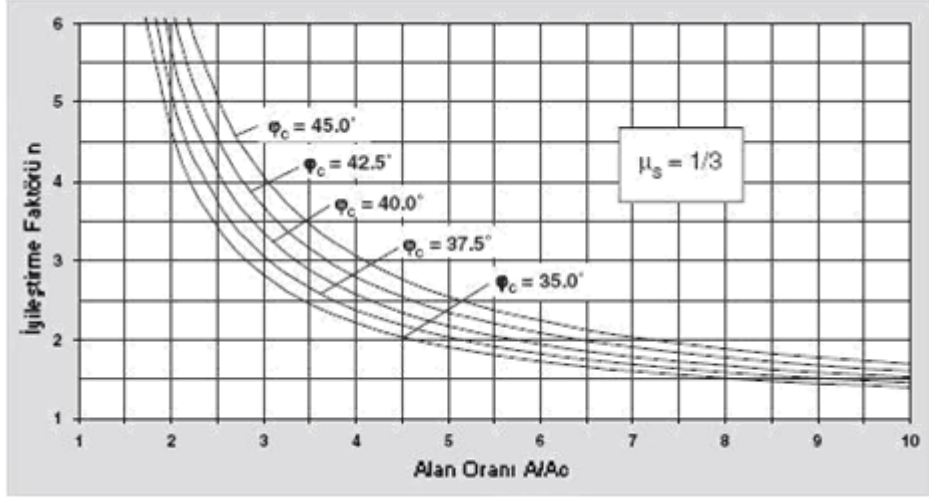
$\mu_s$ : Zeminin Poisson oranı

$A_c$ : Taş kolon alanı

Son oturma için poisson oranı 1/3 alınırsa;

$$n_0 = 1 + \frac{A_c}{A} \left[ \frac{5 - \frac{A_c}{A}}{4K_{ac}\left(1 - \frac{A_c}{A}\right)} - 1 \right] \quad (3.4)$$

formülü çıkarılmaktadır. Taş kolon malzemesinin ters alan oranı olan  $A/A_c$  ile iyileştirme faktörü arasındaki grafik Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6.  $\mu_s = 1/3$  için iyileştirme faktörü (Pribe, 1995)

### 3.6.5. Kolon sıkışabilirliğinin incelenmesi

Taş kolon uygulaması yerinde yapıldıktan sonra, taş kolon granüler malzemesi taş kolonun üzerine yük geldiği zaman genişleyip yayılma yapabilir ve ekstradan oturmalar meydana gelebilir. Hesaplamalar yapılır iken teorik olarak  $A/A_c = 1$  kabul edilerek zaman iyileştirme faktörü sonsuz çıkmakta; uygulama sonrası ise taş kolonun sıkışmasından dolayı farklılaşmalar meydana gelmektedir. Pribe'nın yaptıklarına göre zeminde iyileştirme etkisi taş kolon ve çevresel zemin arasındaki tek eksenli sıkışma modülü ( $D_c/D_s$ ) oranıyla sınırlıdır.  $\mu_s = 1/3$  için;

$$(A_c / A)_1 = -\frac{4K_{AC}(n_0 - 2) + 5}{2(4K_{AC} - 1)} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[ \frac{4K_{AC}(n_0 - 2) + 5}{4K_{AC} - 1} \right]^2 + \frac{16K_{AC}(n_0 - 1)}{4K_{AC} - 1}} \quad (3.5)$$

Taş kolon yapımında kullandığımız granüler malzemenin sıkışma miktarını tespit etmek amacıyla, alan oranında ( $A/A_c$ ) düzeltmeler yaparak, yeni bir iyileştirme faktörü;

$$\Delta(A / A_c) = \frac{1}{(A_c / A)_1} - 1 \quad (3.6)$$

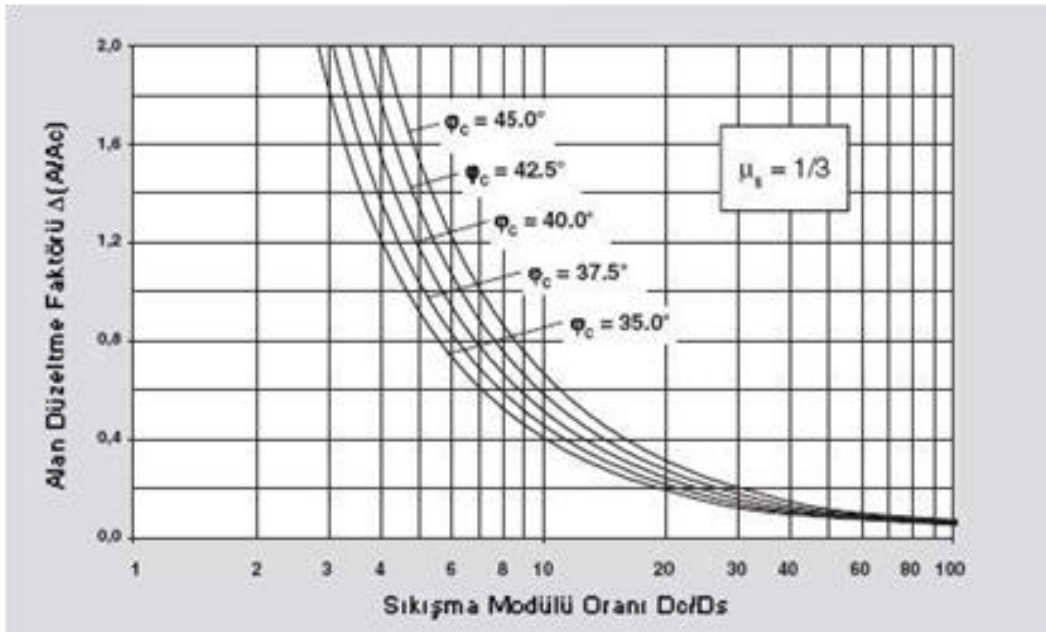
Düzeltilmiş alan oranı;

$$\left(\frac{\overline{A_c}}{A}\right) = \frac{1}{\frac{A}{A_c} + \Delta \left(\frac{A}{A_c}\right)} \quad (3.7)$$

ifadesi ile hesaplanır. Yeniden hesaplanmış düzeltilmiş iyileştirme faktörü aşağıdaki gibi elde edilir. Taş kolon granüler malzemesi farklı olduğu zaman içsel sürtünmeleri de farklı değerler alacaktır. Bu içsel sürtünme değerleri ile sıkışma modülü arasında aşağıdaki grafikteki gibi bir ilişki vardır.

$$n_1 = 1 + \frac{\overline{A_c}}{A} \left[ \frac{1/2 + f(\mu_s, \overline{A_c}/A)}{K_{AC} f(\mu_s, A_c/A)} - 1 \right] \quad (3.8)$$

Taş kolon granüler malzemesi farklı olduğu zaman içsel sürtünmeleri de farklı değerler alacaktır. Bu içsel sürtünme değerleri ile sıkışma modülü arasındaki ilişki Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Alan düzeltme faktörü ile sıkışma modülü eğrisi

### 3.6.6. Derinlik etkisinin değerlendirilmesi

Başlangıçta taş kolon ile taş kolonun oturduğu zemin arasındaki basınç farkından dolayı taş kolonda bir genişleme meydana gelebilir. Ancak yapı temelinden gelen yükün zemin ve taş kolonlar arasında dağıtılırken taş kolon derinliğinin hep aynı olduğu anlamlandırılmaktadır. İşte bu sebepten temelden gelen yüke zeminin ve taş kolonun ağırlıkları eklenmelidir. Taş kolon, zemin ve temel yükünden gelen yükler değerlendirildiğinde ilk baştaki basınç farkı, derinlik arttıkça azalacaktır. Dolayısı ile taş kolonlardaki dışa doğru genişleme azalacaktır. Sonuç olarak derinliğin artması ile beraber taş kolonların yanal olarak desteklenmesi artacak ve taş kolonun zemini taşıma gücü artacaktır.

### 3.6.7. Zemin ile taş kolonun uyumluluk kontrolü

İncelediğimiz denklemler ve formüller birbirinden bağımsız sadeleştirme ve kabullenmeler ile oluşturulmuştur. Sağlıklı sonuçlar alabilmek için uygulamada taş kolonların sıkışabilme miktarından fazla yükleme yapılmamalı ve taş kolonların bu yüklemelere uygun olup olmadığı kontroller ile irdelenmelidir. Taş kolon zeminin içine indikçe zeminin uyguladığı destek artmakta ve taş kolon dışa doğru deplasman yapamamaktadır. Bu deplasman sınır koşuluna ulaştığı zaman sabit olarak kalmaktadır. Ancak derinlik etkisinde de sürekli bir artış yaşanmaz. Tüm bu sebeplerden dolayı yapılması gereken ilk olarak uyumluluk kontrolü ve derinlik faktörü sınırlarının belirlenmesidir. Taş kolon yükünün sınırlandırılması ve kolonun içsel sıkışabilirliği ile oluşacak olan oturmanın, kompozit sistemin oturma değerini geçmemesi istenmektedir. Tüm bu uygulama kontrolü, arazi üzerinde kompakte zeminlerde yapılmalıdır. Derinliğin değişmesi ile farklılaşan iyileştirme faktörü düzenlemesinin sınırı:

$$f_d \leq \frac{D_c / D_s}{P_c / P_s} \quad (3.9)$$

ifadesi ile sınırlandırılmıştır. Sınırlandırmada kullanılanlar aşağıda gösterilmiştir:

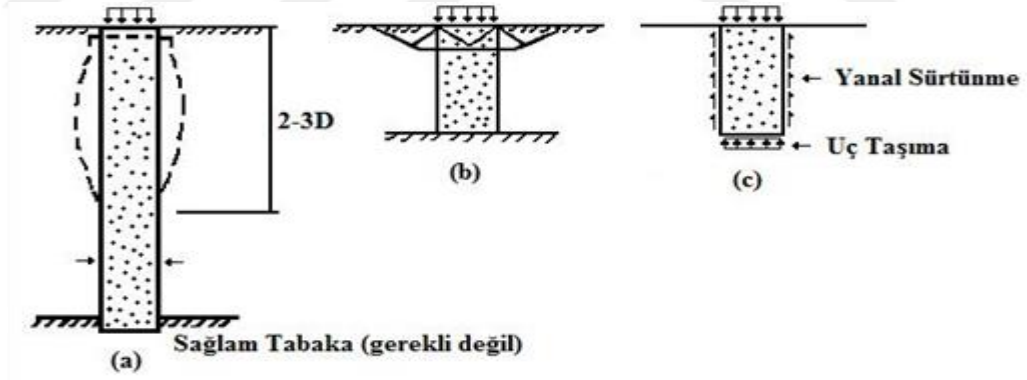


$D_c$ : Taş kolonda kullanılan malzemenin tek boyutlu sıkışma modülü

$D_s$ : Doğal zemin malzemesinin tek boyutlu sıkışma modülü

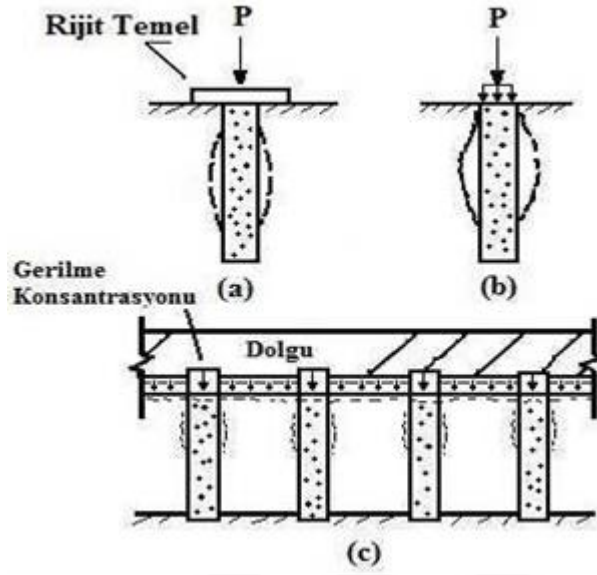
### 3.6.8. Zeminin taş kolon ile güçlendirilmesi sonucu taşıma gücü faktörü

Arazide taş kolon uygulaması yapılırken taş kolonun ucu sağlam kaya zemine saplanacak şekilde tasarlandığı gibi bu dayanıma sahip olmayan yumuşak zeminde kalabilecek konumda da üretilebilirler. Göçme türleri bakımından tekil taş kolonların göçmesi aşağıda Şekil 3.8.'de açıkça ifade edilmiştir. Birinci şekilden anlaşıldığı üzere, taş kolon boyunun kısa olmadığı zamanlarda taş kolon granüler malzemesinin dış yöne doğru kabardığı, daha sonra ise kolon çapının genişlediği anlaşılmaktadır. Bir diğeri Şekil 3.8.b'de gösterildiği üzere, taş kolonun kısa ve sağlam tabakaya erişebildiği konumda, zeminin yüzeyinde taş kolonu da kapsayan göçmeler meydana gelebilir. En son Şekil 3.8.c'de boyu kısa taş kolonun, yumuşak zemin içinde bulunduğu zaman, taş kolonun uç kısmında göçme gerçekleşebilir.



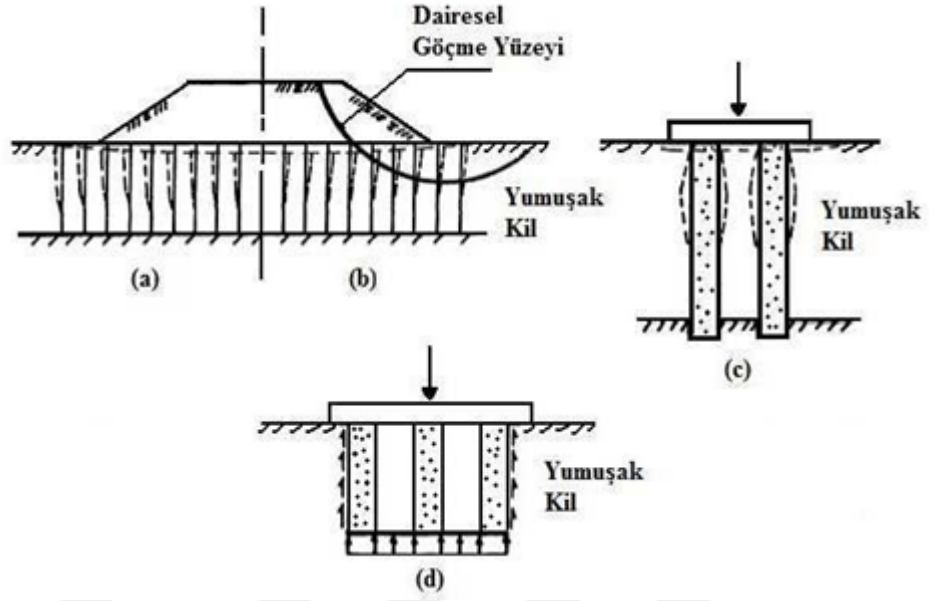
Şekil 3.8. Tekil taş kolon göçme mekanizmaları (Besancon vd., 1984)

Gerek arazide yapılan çalışmalar gerek laboratuvarında uygulanan yüklemeler sonucu, tekil taş kolonların zemin içindeki oturmasını etkileyen en önemli faktörün yükün uygulanış biçimi olduğu anlaşılmaktadır. Yöntem Şekil 3.9.'da gösterilmiştir. Temelden gelen yük taş kolona her tarafı rijit yüzey alanı geniş bir levha aracılığı ile iletirse şekilden de anlaşıldığı üzere yanal deplasmanlar ve oturmalar azaltılır.



Şekil 3.9. Taş kolona etkiyen farklı yükler (Besancon vd., 1984)

Zemin iyileştirmesinde grup taş kolon uygulaması, tekil taş kolona göre daha çok yüklemeyi karşılayabilmektedir. Yükleme kapasitesi bakımından tekil taş kolonlar zayıftır. Ancak tekil taş kolonun yakınında farklı bir tekil taş kolon daha yapılırsa, taş kolonların arasındaki zemin kolonlar tarafından çevrelenmiş olacaktır. Dolayısı ile taşıma gücünde artış meydana gelecektir. Taşıma gücü düşük zemin tiplerinde zemin üstündeki dolguya göre temelin altında kalan zeminde yanal olarak deplasmanlar meydana geleceğinden taş kolon ile zeminin yanal desteği düşecektir. Yöntem Şekil 3.10.a ve Şekil 3.10.b.'de gösterilmiştir. Grup taş kolonların yumuşak zemin içerisinde oluşturulması durumunda, tekil taş kolonlara benzer şekilde uç bölgede dışa doğru genişleyebilirler. Şekil 3.10.c. ve Şekil 3.10.d.'de açıkça ifade edilmiştir.

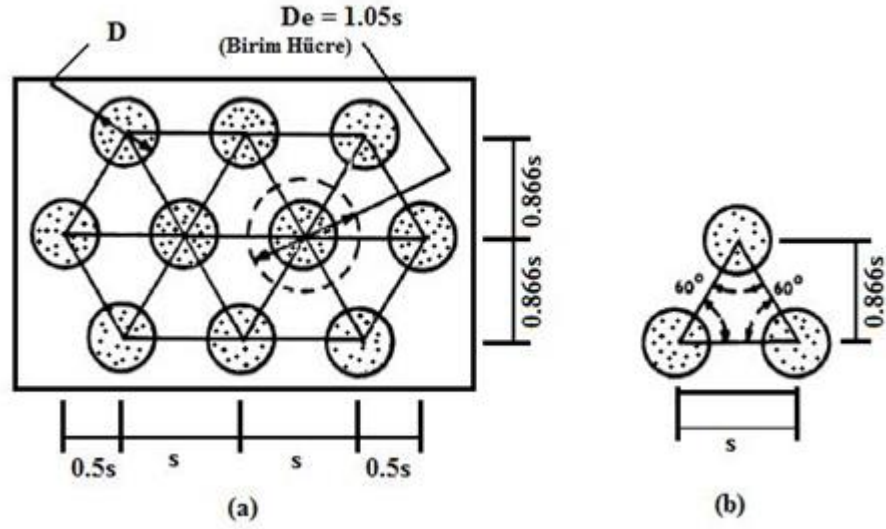


Şekil 3.10. Grup taş kolonlarının göçme mekanizmaları (Besancon vd., 1984)

Kil yada silt gibi zeminlerde taş kolon yapılırsa, uygulanan taş kolonlarda dışa doğru genişlemelerden kaynaklanan yerel göçmeler meydana gelmektedir.

### 3.6.9. Taş kolon birim hücre kavramı

Aşağıda birim hücre kavramı ile etkileşim halinde olan faktörler tanımlanmıştır. Eşdeğer çap, zemin içine uygulaması yapılmış taş kolon, zemin ile yekpare düşünülerek oturma miktarı sorgulanmaktadır. Aşağıda zemine uygulanmış taş kolon ve zemin planı ifade edilmiştir. Plandaki kolon dizilimleri düzgün altıgen şeklinde ayarlanmasından dolayı, bu dizilim aynı şartlara sahip daire olarak düşünülebilir. Eşdeğer çap taş kolonların eşkenar üçgen şeklinde dizilmesi sonucudur. Şekil 3.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Taş kolonlarda eşkenar üçgen dizilimi (a) plan, (b) geometrisi (Besancon vd., 1984)

Eşkenar üçgen şeklinde yerleştirilmiş taş kolon için eş değer çap;

$$D_e = 1.05s \quad (3.10)$$

Kare şeklinde yerleştirilmiş taş kolon için eş değer çap;

$$D_e = 1.13s \quad (3.11)$$

Formülleri ile işlemler yapılmaktadır. (Besancon vd., 1984) Burada kolon ortasından kolon ortasına mesafe  $s$  olarak tanımlanmıştır.  $D_e$  ise taş kolonun eşdeğer çapıdır.

### 3.6.9.1. Alan değiştirme oranı

Taş kolon uygulaması yapılmış zeminde, taş kolon için boşaltılan zeminin miktarı ve yerine koyulan taş kolonun hacmi önemlidir. Bu hacim değişiminden kaynaklanan alan değiştirme oranı ise,

$$a_c = \frac{A_c}{A} \quad (3.12)$$

İfadesi ile hesaplanabilir. Burada,

$A_c$ : Sıkıştırmadan sonra taş kolonun alanı

$A$ : Birim hücrenin toplam alanı şeklinde ifade edilebilir.

### 3.6.9.2. Gerilme konsantrasyonu

Zemine uygulanmış taş kolon üzerine herhangi bir yük, dolgu zemin, yapı temeli gibi kuvvetler etki ettiği zaman gerilme artışının büyük kısmı taş kolona etki eder. Taş kolon çevresindeki zemin gerilmesinde azalmalar meydana gelecektir. Bu azalmanın sebebi taş kolonun zemine oranla daha rijit olmasından kaynaklanmaktadır. Dizilim bakımından kare veya eşkenar üçgen şeklinde projelendirilen taş kolon uygulaması için, ifade edilen düşey gerilim, gerilme konsantrasyonu ( $n$ ) ile tanımlanır.

$$n = \sigma_c / \sigma_s \quad (3.13)$$

Yukarıda ifade edilen bilinmeyenler;

$\sigma_c$ : Taş Kolon İçerisindeki Gerilme

$\sigma_s$ : Kohezyonlu Zemin İçerisindeki Gerilme

Şeklinde ifade edilir. Sonuç olarak konsantrasyon faktörü( $n$ ), üst yapıdan gelen yükün taş kolonlara ve zemine uyguladığı gerilmenin oranıdır. Ortalama gerilmesi birim hücre içinde olan ve düşeyde oluşan kuvvetlerin dengesi için verilen alan oranı ile olan bağıntısı;

$$\sigma = \sigma_c a_c + \sigma_s (1 - a_c) \quad (3.14)$$

Formülden anlaşıldığı üzere proje zeminindeki ve taş kolondaki gerilmeler, gerilme konsantrasyon faktörünü de kullanarak ifade edilebilir;

$$\sigma_s = \frac{\sigma}{[1 + (n - 1)a_c]} = \mu_s \sigma \quad (3.15)$$

### 3.6.10. Taş kolon sistemlerinin sonuçlarının değerlendirilmesi

Zemin türleri bakımından siltli kumların, yumuşak killerin, vibroflotasyon ya da derin sıkıştırma teknikleri ile iyileştirme bakımından yeterli şekilde sıkıştırılmayan gevşek granüler ve dolgu zeminlerin ıslah edilmesinde faydalı bir teknik olan taş kolonların

diğer zemin ıslah yöntemlerine göre üstün olduğu yerler ve sınırlayıcı faktörleri vardır. Bunlar:

1. Kohezyonlu zemine taş kolon uygulaması yapıldığında taş kolon drenaj görevi üstlendiği için zemindeki suyun boşaltılmasını hızlandırır. Dolayısı ile konsolidasyonu hızlandırarak yumuşak zeminlerin mukavemetinin artmasını kısa sürede gerçekleştirir. Fakat farklı zemin iyileştirme tekniklerinde benzer sonuçları elde etmek için birden fazla sistemin beraber kullanılmasına (kum dren +ön yükleme gibi)gerek duyulmaktadır.
2. Fore kazık, çakma kazık, derin temel sistemleri, tamamen yer değiştirme veya enjeksiyon gibi geleneksel zemin iyileştirme yöntemleri ile taş kolon kıyaslandığında, taş kolon üretiminde kullanılan granüler malzemenin kolay bulunabilir ve ucuz olması gibi nedenlerden dolayı oldukça ekonomik sonuçlar verir.
3. Taş kolon uygulaması için gerekli malzeme doğal zemin olduğundan yöntemin çevreye herhangi bir olumsuz etkisi (ıslak yöntemde kullanılan suyun deşarjı hariç) olmamaktadır.

### **3.7. Deprem Etkisine Maruz Kalmış Zemin Davranışı**

Yaptığı çalışmada sahanın yerel özellikleri ve zemin profili özelliklerinin zeminin yüzeyünde oluşacak yer deplasmanlarını, zeminin frekansını ve genliğini yüksek miktarda etkileyerek kapsadığını savunmuştur. Bu kapsama incelediği zeminin malzemelerinin fiziki ve granülometrik özelliklerini, saha zemininin jeolejik özelliklerini ve deprem sismik kuvvetlerini içermektedir. (Kramer, 2003)

Yaptığı çalışmada deprem özelliklerini belirlerken zemin fay sistemini, depremin oluştuğu ana merkez noktasının zeminin etkilendiği noktaya olan uzaklığını, zemin parametrelerini ve jeolojisini dâhil ederek hesaplamalar yapmıştır. Bu hesaplamalar dâhilinde en önemli parametreler yer kayanın üstündeki zeminin yüzeye olan mesafesi, zemin katmanlarının kalınlığı, zemin profilinin ve parametrik değerlerinin derinlikle farklılaşması denilebilmektedir. (Biringen, 2000)

Titreşim periyodu hesaplaması yapılırken kayma dalgası da dâhil edilmelidir. Hesaplama H derinliğinde seçilmiş bir saha zemininde hakim periyot:

$$T_n = \frac{4H}{(2n-1)V_s} \quad (3.16)$$

formüldeki gibidir. Formülde, n titreşim modunu ve Vs kayma dalgası hızını ifade etmektedir. Farklı bilim insanlarının zemin üzerine çalışmaları sonucu ortak bir yargıya varılmıştır. Zemin katmanları vasıtası ile deprem sırasında sismik kuvvetler yer kayadan yapı temeline zemin büyümesi ile aktarılır. (Özgirgin, 1997; Biringen, 2000)

### 3.7.1. Kayma Modülü

Kayma dalgası hızı testi ile zeminlerin kayma modülü basit bir şekilde hesaplanabilir. Zemine tepki uygulayarak zeminde dalga üretmenin bir çok yöntemi vardır. Bunlardan bazıları zemini patlatmak veya zemin çekici olabilir. Bu uygulamalardan herhangi biri yapıldıktan sonra üretilen dalganın hızı, zeminde herhangi bir uyarılmayı gerçekleştirmek ve delikte oluşan hızı ölçme ile yapılır. Zemin hakim periyodu depremden dolayı oluşacak etkilere dayanıklı yapıların projelendirilmesinde önemli bir parametredir. Bu periyodun tahmini deprem ölçümlerinin dağılımından yada analitik çalışmalarla belirlenir. Bununla birlikte arazi katmanlarının efektif periyodu sarsıntı şiddetine göre değişebilir. (Özgirgin, 1997; Tezcan vd., 2002).

Şekil değiştirme ve gerilme grafiğindeki eğrinin eğimi ile zemin kayma modülü hesaplanabilir. Ancak bu hesaplama az miktardaki deplasmanlar için geçerlidir. Fazla deplasman yapan zeminlerde, gerilme-şekil değiştirme eğrisi genelde doğrusallıktan uzaktır. Bundan dolayı zemin kayma modülü sabit değil fakat kayma şekil değiştirmesinin şiddetine bağlıdır. (Özgirgin, 1997)

### 3.8. Zemin Kritik Sönüm Oranı

Yer tabakasını oluşturan zeminlerde gerilme dalgası homojen malzemelerde olduğu gibi aynı boyutlarda ilerlemez. Zeminde oluşan mesafe ve boyutlardan dolayı gerilme dalgası sönümlenir. Zemin malzeme sönümü ile radyasyon sönümü olmak üzere iki farklı grupta sınıflandırılabilir. Herhangibir zeminin içinden geçen dalgadan kaynaklanan titreşim sönümleniyor ise bu zeminde malzeme sönümüdür. Zemin içerisinde harekete devam eden kuvvet dalgalarının enerjilerinin bir miktarı genelde ısı enerjisine dönüşürken dalganın genliğinde herhangi bir düşüş gözükmez. Isı enerjisine dönüşen dalganın enerjisinin bir miktarı azaldığından dolayı özgül enerjide de bir düşüş gözükür. Gerilme dalgası genliğinin mesafe ile beraber orantılı olarak azalmasına sebebiyet verir. Enerji azalması ile daha büyük bir hacimde yayılmasından kaynaklanan genlik değerindeki düşüşe radyasyon sönümü denilmektedir. Doğrusal olmayan farklı değerlerde deplasman yapan ve elastik olmayan gerilme-şekil değiştirme davranışı gösteren zemin türleri için sönüm oranları deplasman miktarının artması ile yükselme gösterir. Zemin sönümünü arttırmak için zeminin plastisite indisini yükseltmek yeterli olabilir. (Biringen, 2000).

### 3.9. Zemin Büyütmesinin Tanımı

Ana kayadan çıkan deprem sismik dalgalarının zeminde hareket ederek yüzeyde yumuşak zeminde genliklerinde büyüme meydana gelir. Bu büyümeye zemin büyütmesi denir. Bu büyüme zemin veya zemine yakın katmanların dirençsizliklerinden oluşmaktadır. Bu direnç empedans olarak tanımlanır ve zemin kütle yoğunluğu, dalga yayılma hızı ile bağlantılıdır. Z empedansı tanımlamaktadır.

$$Z = \rho \cdot V_s \quad (3.17)$$

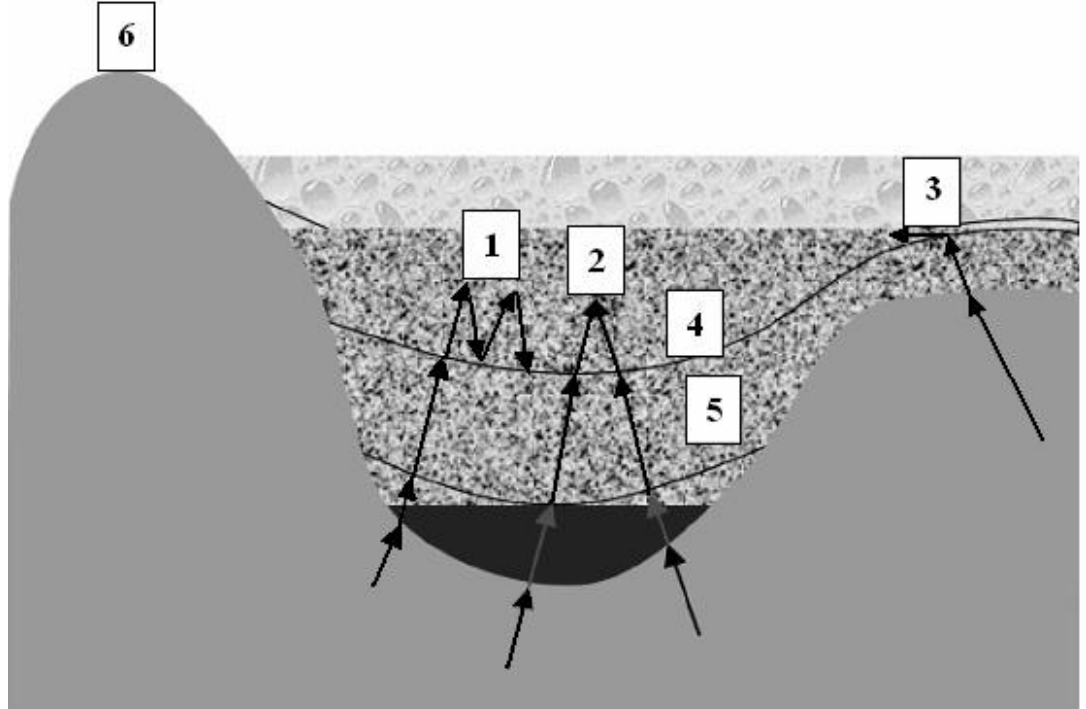
Uygulamada zemin büyümesi, empedans farklılığına bakılmaksızın birbirine yakın mesafedeki arazi zeminlerinin deplasman hareketlerindeki değişimlerini açıklamakda tercih edilir. Arazi sahasındaki zemin deplasmanlarını etkileyecek diğer



parametrelerden bazıları dalga odağı, kırılma doğrultusu ve topografyadır. Şekil 3.12. Zemin büyütmesini etkileyen parametreler şekilde gösterilmiştir. Yer kayada bulunan zemin katmanlarının, zemin yüzeyine çıktıkça özgül ağırlık ve kayma dalgası hızı miktarlarında düşme meydana gelmektedir. Bunun sebebi yer kayanın empedans değerinin yer yüzüne yakın tabakaların değerinden yüksek olmasıdır. Ana kayadan yüzeye yaklaşıldıkça zeminin empedans değerinde bir düşüş görülmesi demektir. Zemin büyümesi temel olarak sönümden kaynaklanan enerji kayıplarını hesaba katmayarak enerjinin korunumu kuralı benimsenerek ifade edilebilir. Sismik enerji akışı ifadesi için;

$$E = (\rho \cdot V_s) \cdot X^2 \quad (3.18)$$

formülü ile açıklanabilir. İfadede empedans  $\rho \cdot V_s$  olarak tanımlanmıştır. X bilinmeyen ise sismik sarsıntı hızını ifade etmektedir. Enerji miktarında bir değişim olmadan deprem dalgaları yayılmaya devam ederken zemin empedansındaki azalmalar sarsıntı hızının yükselmesi ile düzelecektir.



Şekil 3.12. Zemin büyütmesini etkileyen faktörler: 1) empedans değişimlerinden kaynaklanan rezonans, 2) yüzey altı topografyasından kaynaklanan odaklanma, 3) yüzey dalgalarına dönüşen cisim dalgaları, 4) su içeriği, 5) zemin ortamının düzensizliği, 6) yüzey topograf

### **3.10. Bir Boyutlu Modellerde Zemin Büyümesini Etkileyen Karakterler**

Zeminin şekil değişiminde bulunmasının nedenlerinden bazıları, arazi sahasının özellikleri ve deprem hareketinin özellikleridir. Daha önceden yapılan araştırmalarda (Özgirgin, 1994; Biringen, 1998; Tezcan ve diğ., 2001; tohumcu ve diğ., 2003; Haşal ve İyisan, 2004; Yalçınkaya, 2004; Bakır ve diğ., 2005; Hasancebi ve Ulusay, 2006; Kılıç ve diğ., 2006; Kutanis ve Bal, 2006) bir boyutlu modeller tercih ederek zeminin tabaka kalınlığı, sönüm değeri, zemin kayma dalga hızı, deprem dalgalarının geliş açısı ve birden fazla katmanın olması gibi birbiri ile aynı olmayan karakterlerin zemin büyümesine katkısı, yaşanmış sismik kayıtlar ile araştırılmıştır.

#### **3.10.1. Zemin sönümünün etkisi ile tabaka kalınlığı**

Arazideki zemin profilinin katman kalınlığı fazlaştıkça zeminin hakim frekansı azalmaktadır. Eğer bu olay periyodik olarak ele alınırsa yer kayanın üst kısmında bulunan zemin katman kalınlığı ne kadar fazla olursa, zeminin hakim periyodunun o denli fazla olacağını ifade eder. Zemin araştırmaları için zemin büyümesindeki en etkili parametre, temel frekans ve bu frekansa ait büyümedir. Nedeni ise yapı temelini etkileyen parametrelerin bunlar olmasıdır. Ancak yüksek değerlere sahip zemin büyümeleri, zeminin sönümüyle alakalı olarak düşük değerlere inebilmektedir.

#### **3.10.2. Kayma dalgası hızının zemin ile etkileşimi**

Empedans oranı yer kayada farklı, zeminde farklı olursa zeminin kayma dalgası hızı değişmiştir. Bu olay zemin büyümesini direkt olarak etkiler. Zeminin kayma dalgası hızındaki herhangi bir farklılaşma, zemine ait frekansın da dolaylı yoldan farklılaşması manasına gelmektedir. Zemin büyümesinin yükselmesi demek zemin ile yer kayanın empedans farklarının artması manasına gelebilmektedir. Bir ortamdan diğerine geçerken geçiş sert ve zor olursa zemin büyüme değeri o kadar fazla okunur. Bununla beraber zemin tabakası hızında düşme meydana gelirse zeminin hakim frekans değeri artan büyütme ile küçük frekanslara geriler.

### **3.10.3. Sismik dalgaların geliş açısının zemine etkisi**

Sismik deprem dalgalarının zemine geliş açısı zeminin hakim frekansını etkiler ama bu etkileme göz ardı edilebilecek kadar azdır. Geliş açısı yükselmeye başlarsa, zemin büyütme sonuçlarında çok az da olsa azalma görülmektedir. Zemin sismik verileri açısından çoğunlukla düşey S dalgalarını kabul etmek önemli bir hata doğurmayabilir.

### **3.10.4. Zeminde iki veya ikiden fazla tabakanın olması durumu**

Zemin büyütme karakteri temel doruk ve harmonikler şeklinde olmaz. Zemin büyümesi yelpazesi geniş bir frekans aralığına adapte olur. Bundan dolayıdır ki herhangi bir zeminin hakim periyodunun dile getirilmesi isteği oluşur. Zemin büyütmesi parametresi zeminde oluşan tüm tabakaların özelliklerinin ortak etkisini ifade eder. Pratik uygulamalarda alışılmış olan ikiden fazla tabaka var ise her bir tabakanın etkisinin toplamı alınır ve zemin hakim periyodunun hesaplaması yapılır.

### **3.10.5. Ana kaya derinliğine ulaşabilme sorunu**

Zemin karakterlerini irdelemek ve açığa çıkarmak için birçok kez başvurulmuş sismik kırılma araştırmalarında, tercih edilen kaynağın zemin özelliklerini karşılayamaması nedeni ile genellikle yer kaya derinliğine veya yer kaya gibi özelliklere sahip zeminin kayma dalgası hızına ulaşamamaktadır. Ancak yer kayanın bulunması ve bulunamaması gibi zamanlarda hesaplanan periyot ve zemin büyütme değerlerinde yüksek bir fark oluşacaktır. İşte bundan dolayıdır ki bir zeminde yer kayanın derinliği ile kayma dalgası hızının belirlenmesi ileri derecede önemlidir. Çünkü bu değerler ile zeminin hakim periyodu ile zeminin büyütme değerlerinin hesaplanmaktadır.

Fiziksel ve mekaniksel özelliklere bağlı olarak deprem etkisi altındaki zeminlerin göstermiş oldukları davranışlar farklılaşmaktadır. Arazi sahalarının yerel özelliklerinin güçlü zemin hareketleri üzerindeki etkisi, zeminin tabaka kalınlığı, sönüm oranı, kayma dalgası hızı, birden fazla katman durumu ve yer kayanın derinliği ile ilgilidir. Bu

saydığımız karakterlerden en çok etkili olanı zemin tabakasının kayma dalgası hızı, zeminin yer hareketi ile alakalı olarak ön plandadır. Zeminin kayma dalgası hızındaki en ufak bir farklılaşma empedans değerini farklılaştıracağından zemin büyütme değerinde etkilemektedir.

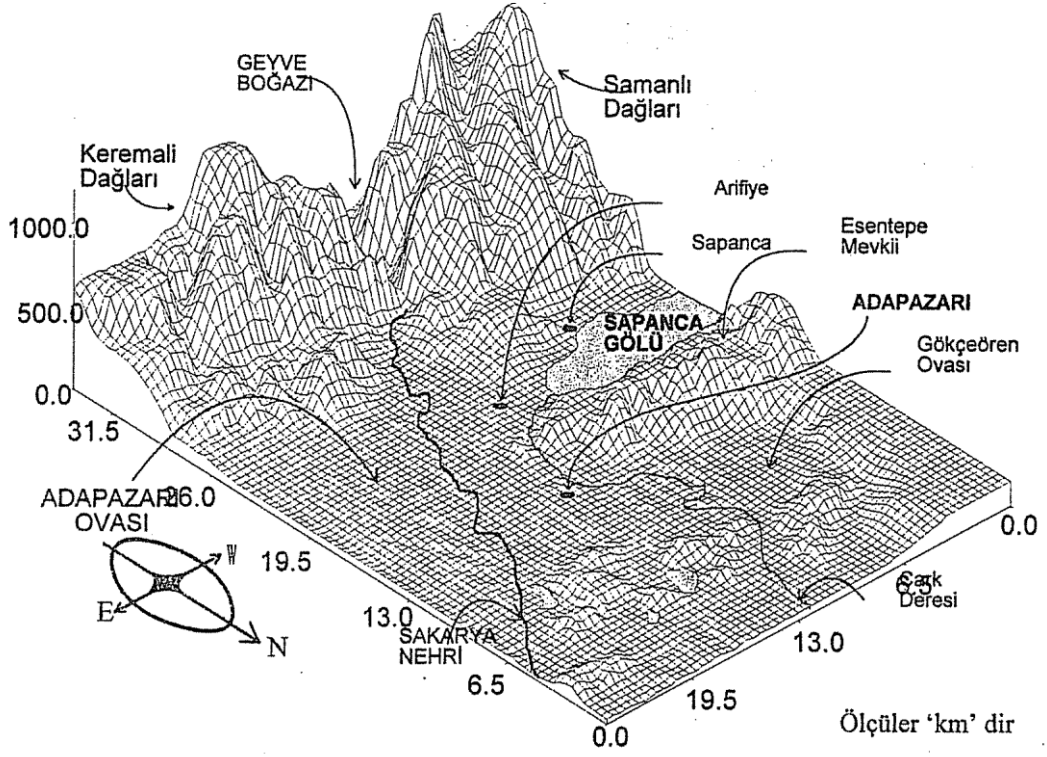


## **BÖLÜM 4. ADAPAZARI BÖLGESİNİN ZEMİN ÖZELLİKLERİ**

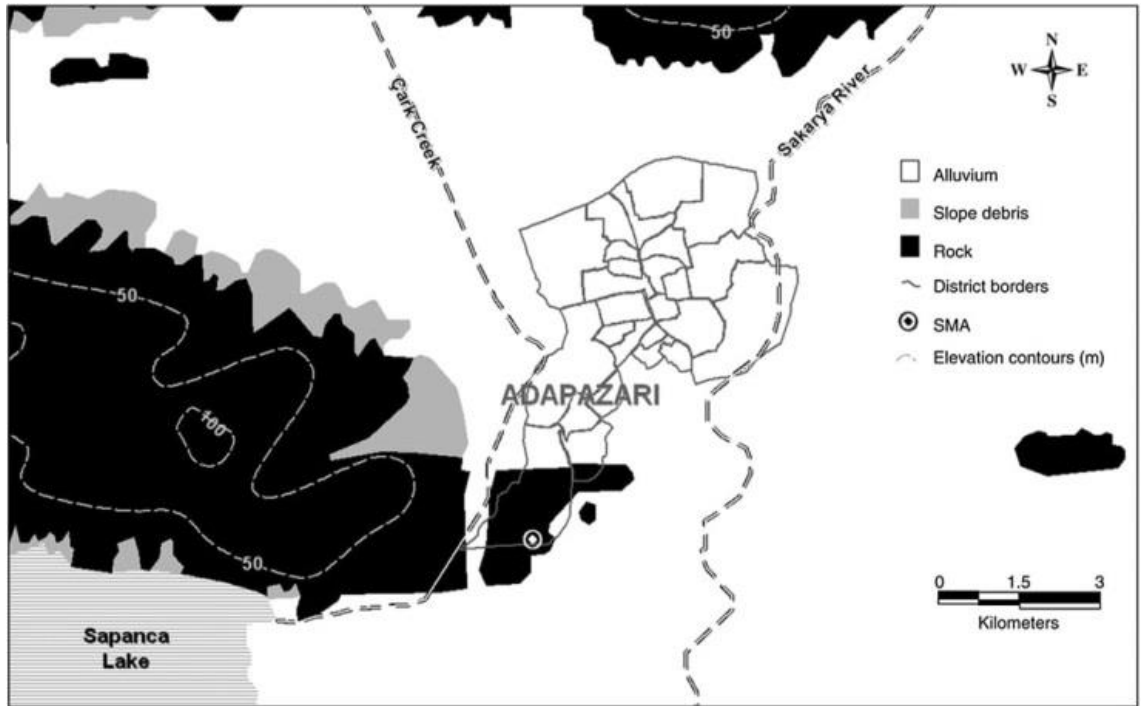
### **4.1. Adapazarı Bölgesinin Jeolojik Yapısı**

Adapazarı şehri, uzun doğrultuda Sapanca Gölü - Hendek güneybatısı arasında 32 km, kısa doğrultuda kuzeyde Mağara Boğazı - güneyde Akyazı batısı arasında 27 km kadar uzanan paralelkenar biçimindeki Adapazarı Ovası' nın batı kısmında kurulmuştur. Şehir alüvyal dolgu üzerinde ve yayılmanın daha ziyade kuzey - güney doğrultusunda olduğu tipik bir ova kentidir. Adapazarı şehrinin kurulmuş olduğu saha genelde düz bir görünüm ihtiva etmekte olup şehir merkezinin deniz seviyesine göre yüksekliği genelde 31m civarındadır. Adapazarı ve çevresinin büyük bir kısmını Sakarya ve Mudurnu nehirlerinin getirdiği çakıllı ve siltli kumlar içeren kuvaterner alüvyon birikintileri oluşturur. Şekil 4.1.'de Adapazarı'nın görünümü gösterilmiştir. Genellikle çakıl - kum - silt serileri devamlı bir şekilde görülür. Kil, kum, çakıl ve silt bazen tek başlarına belli seviyelerde bazen de bunların değişik kombinasyonları şeklinde görülmektedir. (Önalp vd. ,2000)

Sakarya Nehri ile taşınan çakıllı kum ve siltli kum içeren alüvyon çökeltileri, Adapazarı Vadisi'nin oluşmasında büyük rol oynamıştır. Bu birikintiler düşük plastikli kil ve silt serisi içerir. Bazen tek başlarına, bazense çeşitli kombinasyonlarda kil, kum, çakıl ve siltler belirli seviyelerde tekrarlanan formlar olarak görülür. Kuvaterner oluşumlar, farklı tabaka kalınlıkları, pürüzsüz çakıl dereceleri, kum ve siltler ile yaklaşık 200–250 m/s kayma dalgası hızları içindeki holojen alüvyon çökeltilerden oluşur. (Kutanis ve Bal, 2006)

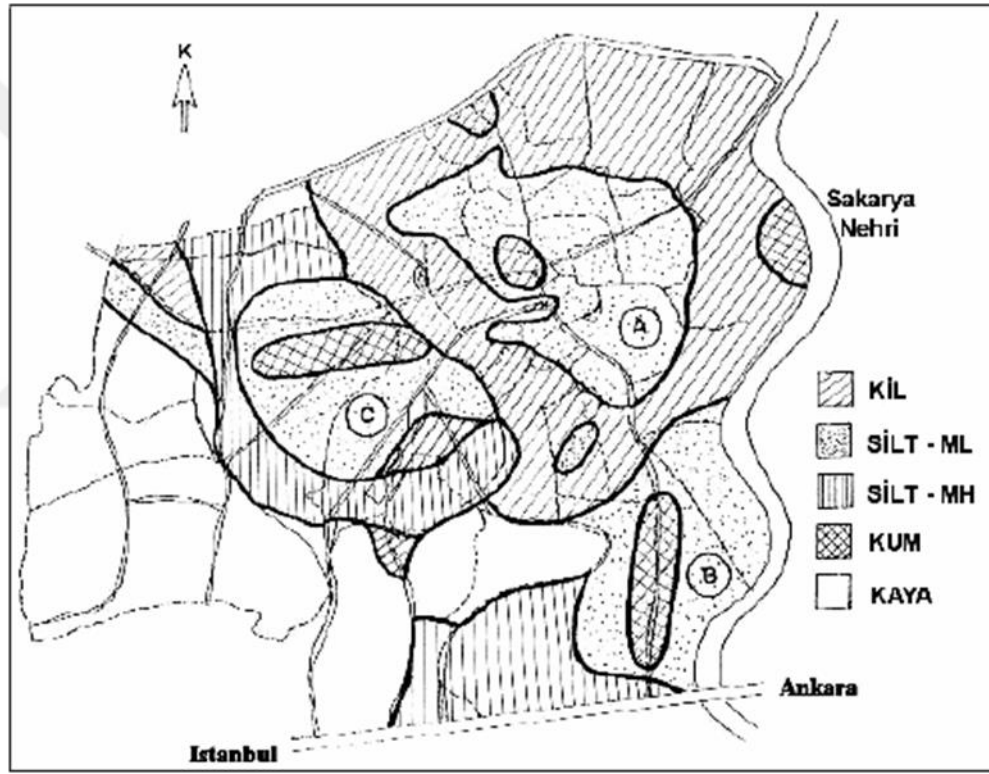


Şekil 4.1. Adapazari'nin K.B. ile G.D. yönündeki görünümü (Bol, 2003)



Şekil 4.2. Adapazari bölgesinin jeolojik haritası (Bakir vd. ,2005)

Eğim bakımından Adapazarı ovasının zemini yatay doğrultuda alüvyondan oluşmaktadır. Şekil 4.2.'de jeolojik haritada alüvyon kısımlar gösterilmiştir. Alüvyon katmanının kalınlığı farklı bilim insanları aracılığı ile araştırılmıştır. Fakat çoğu araştırmacı tarafından ana kayaya ulaşılammıştır. Bunun sebebi ana kayanın çok derinlerde olmasıdır. Ancak araştırmacılar yerçekimi temeline dayanan çalışmalarında ana kaya ile zemin tabakası arasındaki 500 kg/m<sup>3</sup>'lük yoğunluk farkını belirleyerek modellerini tamamlamışlardır.(Komazawa vd., 2002) Yaptıkları çalışma dâhilinde alüvyon katmanının kalınlığını 1000 ile 1500 m bandında olduğu kanısına varılmıştır.



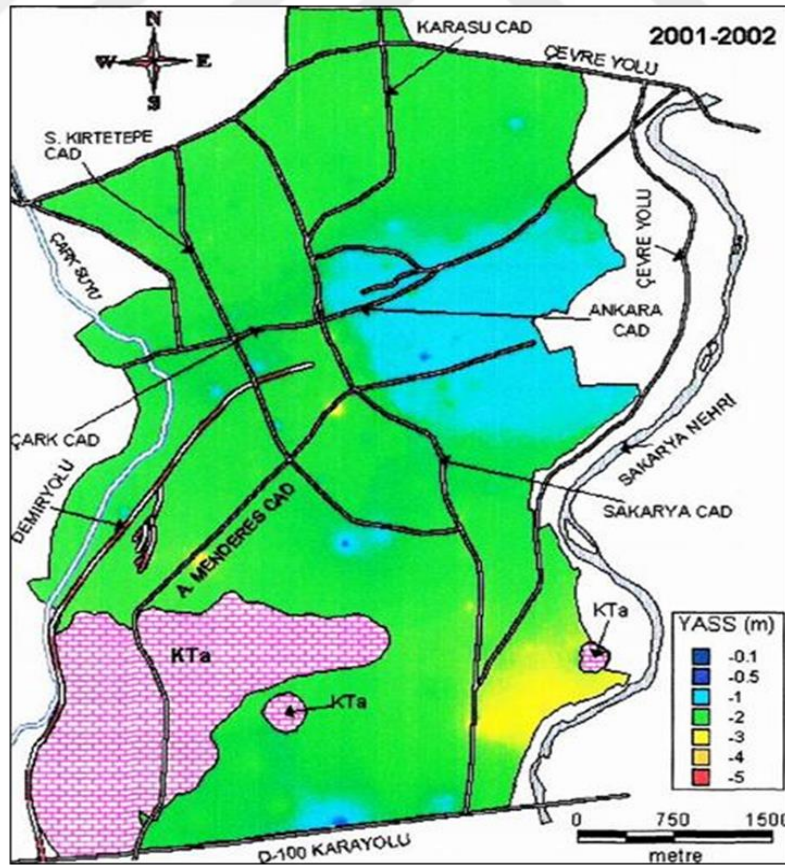
Şekil 4.3. Adapazarı' nın ilk 15 metredeki zemin tabakaları (Erken, 2001)

Şekil 4.3.'de yapılan çalışmada Adapazarı bölgesi zemininin yüzeyden ilk 15m'si için zemin katmanlarının türleri gösterilmiştir. Adapazarı merkezde daha çok silt tabakaları görülmektedir. Bu silt tabakalarının içinde kum oranı da yüksek miktarlarda bulunmaktadır.(Erken, 2001)

## 4.2. Adapazarı Bölgesinin Yeraltı Suyu

Adapazarı bölgesi zeminleri için yeraltı su seviyesi zemin yüzeyinde diyebilecek kadar yüzeyle yakındır. Bu yakınlık genel olarak Adapazarı zemin profilinde 2m civarındadır. Artan yağmur ve bahar aylarında eriyen karlar ile yeraltı su seviyesi yüzey seviyesine ulaşabilmektedir. 1999 yılına kadar yapılan 60 sondajdan alınan verilere göre ortalama yeraltı suyu seviyesi 1,56 m civarında, 2000 senesinde yapılan 488 sondaj sonuçlarına göre ortalama yeraltı suyu seviyesi 1,05 m'ye kadar artmıştır. Daha sonraki senelerde ortalama 1,5 m ile 2 m arasında yeraltı su seviyesi görülmeye devam edilmiştir. (Byrne, 2004)

2001–2002 senelerine ait yer altı su seviyeleri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Bu şekilden de anlaşılacağı üzere genel olarak 2 m civarında bir yeraltı su seviyesi vardır. Şekil 4.4.'te yer altı su seviyeleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Adapazarı YASS seviyeleri (BoI, 2003)



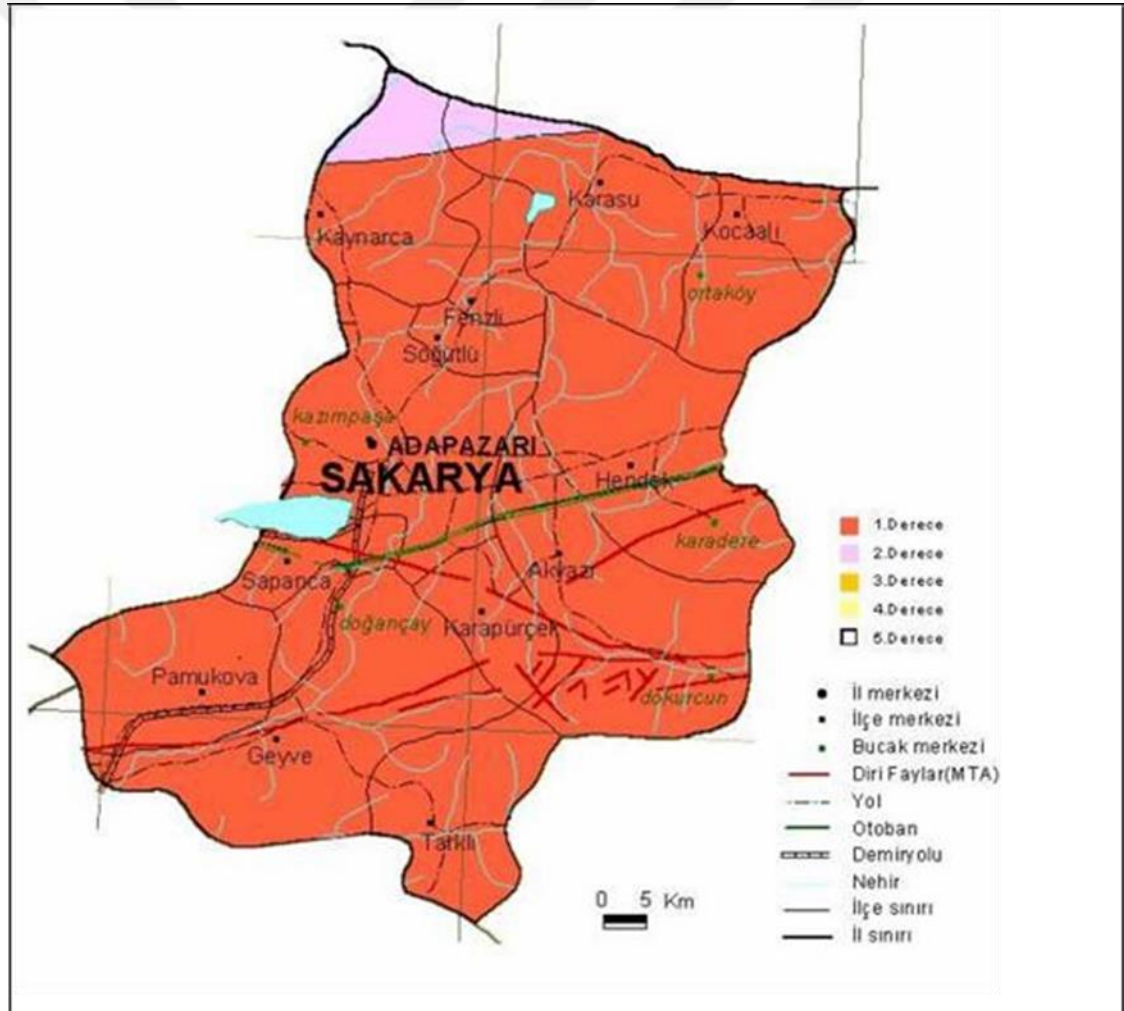
### 4.3. Adapazarı Bölgesinin Depremselliği

Kuzey Anadolu Fay Hattı Dünyanın en hızlı hareket eden ve en aktif faylarından biri olarak Türkiye'nin doğusundan batısına uzanması Şekil 3.5.'te gösterilmiştir. Bu fayda son dönemin yıkıcı örneklerinden 17 Ağustos 1999 Kocaeli ve 12 Kasım 1999 Düzce depremi meydana gelmiştir. Moment büyüklüğü (Mw) 7.4 olan 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi, eski bir göl yatağı ve taşkın havzası üzerine kurulmuş bulunan Adapazarı'nı etkiledi. Adapazarı deprem merkezinden oldukça uzakta olmasına rağmen, bölgenin jeolojik özellikleri nedeniyle büyük hasar gördü. Ana deprem, Adapazarı şehir merkezinde yumuşak zemin üzerinde alet yetersizliğinden kaynaklanan sebeplerle sağlıklı ölçümler yapılamamıştır. Model artçı şoklar dikkate alınarak lineer olmayan bir arazi reaksiyon analizi ile şehir merkezindeki yer ivmesi tahmin edildi. Şehir merkezinde tahmin edilen maksimum ivme 0.3g olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen bu değer, Adapazarı'nda yapılan araştırma çalışmalarından çıkarılacak sonuçları doğrudan etkilediğinden oldukça önemlidir.(Yılmaz ve Durgunoğlu, 2004)



Şekil 4.5. Kuzey Anadolu Fay Hattı (Yılmaz ve Durgunoğlu, 2004)

Şekil 4.6.'da Sakarya deprem haritası verilmiştir. İncelediğimiz Adapazarı zemininde eski zamanlardan şimdiki zamana kadar küçük, orta ve büyük ölçekli depremler meydana gelmiştir. Bunlardan bazıları Hendek (1943,  $M_s = 6.6$ ), Abant Depremi (1957,  $M_s = 7.1$ ), Adapazarı – Mudurnu Depremi (1967,  $M_s = 6.8$ ), Marmara Depremi (1999,  $M_w = 7.4$ ) ve Düzce Depremi (1999,  $M_w = 7.2$ ) Adapazarı zeminini direkt olarak kapsayan depremlerdir. Öncelikli olarak 1967 Adapazarı – Mudurnu ile 1999 Marmara Depremleri bölge zemininde yüksek şiddette yaşanmıştır. Çok fazla can ve maddi kayıplara sebep olmuştur. Bölgedeki binalarda devrilme, çökme, çatlama, kayma meydana gelmiştir. (Kutanis ve Bal, 2006)



Şekil 4.6. Sakarya ili deprem haritası (MTA, 2012)

#### 4.4. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi

Marmara bölgesinde 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen depremden İstanbul, Adapazarı, Yalova, İzmit gibi yerleşim yerleri maddi ve mali olarak çok fazla etkilenmişlerdir. Gece saat 03:02 sıralarında  $M_w = 7.4$  büyüklüğünde gerçekleşen bu deprem yaklaşık 45 s boyunca devam etmiştir. Zemin yüzeyinde 140 km civarında bir kırılma oluşmuştur.

İzmit Körfez bölgesinde deprem sırasında zemin yüzeyinde şev olan yerlerde kaymalar, zemin sıvılaşması ve zeminde ciddi oturmalar oluşmuştur. Bölge Türkiye'nin ekonomisine en çok katkı veren sanayi bölgesinden oluşmakta ve yüksek nüfus oranına sahip şehirlerden oluşmaktadır. Ayrıca depremin bu bölgeyi vurması mali yönden çok büyük bir kayıptır. Yapılarda meydana gelen hasar daha çok Gölcük, Değirmendere, Yalova ve Adapazarı'nda oluşmuştur. Bunun sebebinin daha çok bu bölgelerin yer altı su seviyelerinin zemin yüzeyine çok yakın olmasıdır. Bu bölgelerde daha çok yapı temellerinin göçmesi oluşmuştur. Adapazarı'nda yapılan araştırmalar sonucunda yapıların hiçbir hasar almadan döndüğü, yapı temellerinin yüzeye çıktığı ve çoğu yapının sıvılaşmaya uğramış zeminde 1.5 m kadar düşey aşağı doğrultuda deplasman yaptığı gözlenmiştir. İzmit ve Avcılar' da ağır hasarlı yapılar meydana gelmiştir. Gölcük'teki bir arazide 4 m kadar düşeyde yer değiştirme ve 0.40 m kadar yatayda ötelenme olmuştur. (Celep ve Kumbasar, 2004)

17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'nde en fazla hasarı Adapazarı görmüştür. Bunun en büyük sebepleri başta Adapazarı zemininin genç alüvyon tabakalardan oluşmasıdır. Bu katmanlardan dolayı yer altı su seviyesinin düşük olduğu bölgede zemin yüzeyinde sıvılaşma meydana gelmiştir. Alüvyonel zemin Adapazarı zemininde sıvılaşmalara, bazı yerlerde taşıma gücü problemlerine ve depremin etkisini fazlalaştırma olarak tarihe geçmiştir.

#### 4.5. Zemin Yüzeyinde Oluşan Sıvılaşma

Şiddetli sismik deprem kuvvetlerinden kaynaklanan sıvılaşma problemlerinin genelinde etkili olan parametre suya doymuş gevşek sıkılıktaki ve orta sıkılıktaki ince daneli kumlu ve siltli zeminlerin bulunmasıdır. Sürekli gerilmeye maruz kalmış doymuşluğa ulaşmış kum zemin bir vakitten sonra hacim azalmasına gider. Eğer zeminde herhangi bir drenaj yoksa veya drenaj az yapılabiliyor ise zeminin boşluk suyu basıncında artış gözlenir. Sürekli tekrarlanan gerilmeye sahip kum zemin içindeki boşluk suyu basıncının fazlalaşması ile zeminin gerilmesini yakalayabilir. Kayma direnci azalan kohezyonu olmayan zemin sıvı tarzında davranış göstererek zeminde deplasmanlar oluşur. Zeminde meydana gelen bu olaya sıvılaşma denerek tanımlanır. (Kaya vd., 2005) Sıvılaşma parametresi Terzaghi 'ye göre doyma noktasına ulaşmış zeminin göçmesi durumunda zemini kapsayan danelerin yükünü daneyi saran zemin suyuna aktarması olarak tanımlanmıştır. (Terzaghi, 1925) Youd zeminlerde meydana gelen sıvılaşma durumunu şu şekilde tanımlamıştır. Deprem etkisi sırasında doymuşluk noktasına ulaşmış kum ve silt, boşluk suyu basıncının fazlalaşması ile efektif gerilmeyi sıfırlar. Bu duruma sıvılaşma denir. (Youd, 1992) Sıvılaşma esnasında zeminde en ufak bir kuvvetle bozulmalar meydana gelebilir. Sıvılaşma esnasında zemin yüzeyinde meydana gelecek deformasyonun boyutu, zeminin gevşekliğine, zeminin derinliğine, zeminin kalınlığına ve sıvılaşma oluşan katmanın zeminde etki ettiği alana, eğim miktarına ve zemine etki eden yüklere bağlı kalmaktadır. (Aksu vd., 2002)

## **BÖLÜM 5. MATERYAL VE YÖNTEM**

### **5.1. Deprem Yüğü Altında Taş kolonlu ve Taş Kolonsuz Zemin Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi**

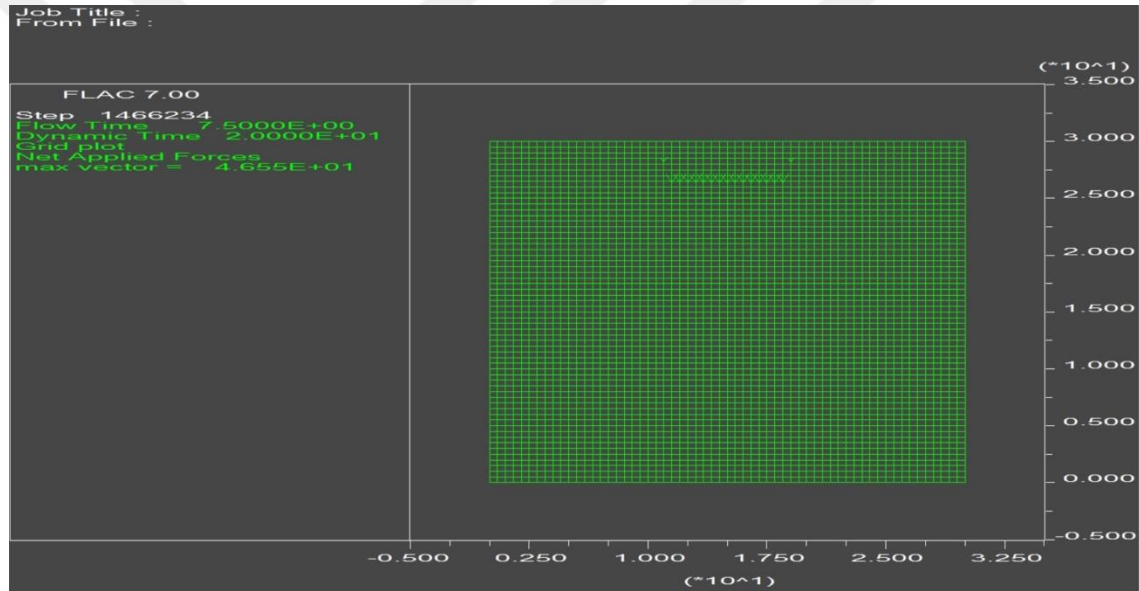
Taş kolonlu ve taş kolonsuz olmak üzere farklı deprem yükleri etkisi altında sonlu elemanlar yöntemi ile model incelenecektir.

#### **5.1.1. Nümerik model**

Zemin araştırmalarında genellikle maddi imkansızlıklardan kaynaklanan durumlarda sorunu çözmek için bilgisayar ortamında nümerik modellemeler yapılır. Bu çalışmada da yapı ortam şartlarının elverişsiz olmasından kaynaklanan nedenlerden dolayı FLAC 2D sonlu farklar programı ile nümerik analizler yapılmıştır. Kullanılan program mekanik problemlerinin çözümünde tercih edilmektedir. Normal şartlarda Flac geoteknik sorunlarının çözömlenmesi için türetilmiş bir program olmakla beraber mekanik sorunlarına FLAC ile çözüm aramak mümkündür. FLAC içeriğı itibari ile Lagrange hesap metodu ile malzeme hareketini en hassas şekilde hesaplayabilmektedir.

Bu program zaman ile etkileşim halinde dinamik analizler yapmaktadır. Programda model oluşturulurken tasarıma yapıya ait karakterler modifiye edilebilir. Dinamik analiz yeraltı suyu tasarımı ile birlikte analiz ettirilerek boşluk suyu basıncı sorgulanır. Sorgulama sonucunda basınç artar ve zeminde meydana gelen sıvılaşma sorunları hesaplanabilmektedir. FLAC programında kayma rijitliğı, yatay-düşey deplasmanlar, dalga hızları, ivmeler ve sönümlenmelerin hesaplanabilmesi için gerekli modeller mevcuttur.

Ayrıca ilave olarak FLAC, Byrne tarafından tasarlanmış olan boşluk suyu basıncı değişim modellerini de içermektedir. Byrne modelinin amacı statik yüklemelerden sonra dinamik yüklemeye geçildiği zaman birim hacim değişimlerini hesaplayabilmek için dinamik kayma birim deformasyonu ile hacimsel birim deformasyonları beraber kullanır. Byrne modeli hacimsel birim deformasyon hesapları için zemindeki boşluklardan zeminin boşluk suyu basıncını bulabilmekte ve sıvılaşma sorunları modele işlenebilmektedir. FLAC programı yardımı ile gerçeğe yakın sonuçlar en iyi şekilde elde edilebilmektedir. Bundan dolayıdır ki araştırmalar FLAC 2D programı ile gerçekleştirilmiştir. Programdan bir alıntı Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.

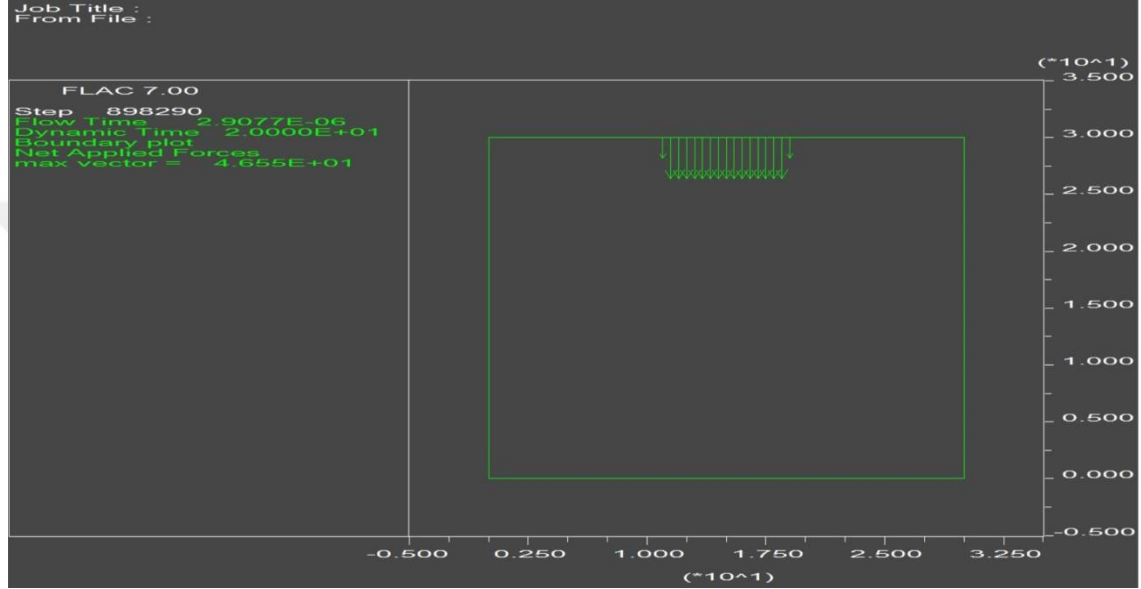


Şekil 5.1. FLAC programı grid gösterim şekli

### 5.1.2. Nümerik modelin boyutlandırılması

Programda model boyutlandırması yaparken gerçeğe daha yakın sonuçlar alabilmek için modelin boyutları önemlidir. Eğer yapılacak modelin boyutları büyük ise program analiz aşaması ve süresi çok fazla olacaktır. Küçük boyutlu tasarımlar ile hızlı analizler gerçekleştirilebildiği gibi özellikle dinamik hesaplamalarda sınır şartlarında ortaya çıkan dalga yansıma sorunları ile karşılaşmaktadır. Bu sebeple nümerik analiz çalışmalarında boyutlandırma geçerli sonuçlar alabilmek için çok önemlidir.

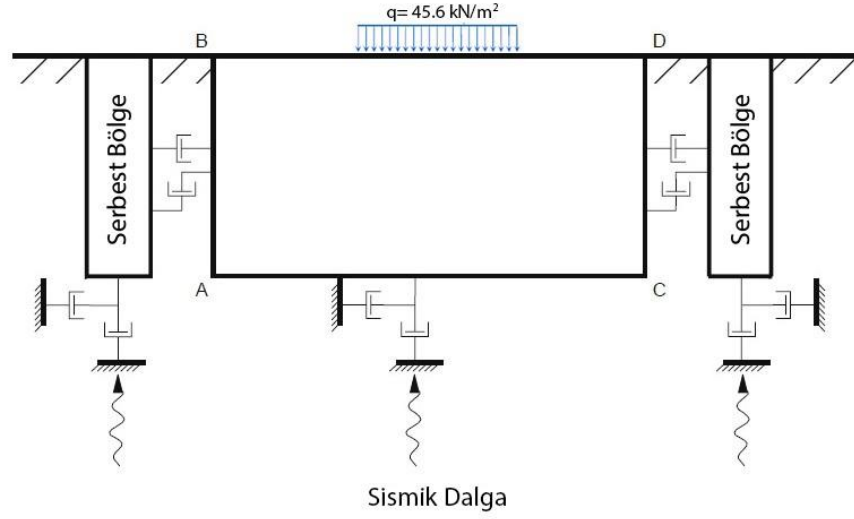
Vural'ın yaptığı çalışmalar sonucunda model tasarımının uzunluğu sabit olarak ele alınıp, yükseklik değerlerinin farklılaştırılması analiz sonuçlarını olumsuz olarak değiştirmektedir. Fakat 30 m sonrasında bu olumsuzluğun yok olduğu gözükmektedir. Dalga yansımalarının bloklandığı ve sınır şartlarının doğru modellenmesi sonucu yatay boyutlandırma sorunu yok denilecek kadar azalmaktadır. (Vural, 2012)



Şekil 5.2. FLAC programında model boyutlandırması

### 5.1.3. Modelin sınır şartları

Model bitiş, başlangıç ve köşe noktalarını belirlerken sınırlandırmayı doğru yapmak çok önemlidir. Nümerik modelleme ile tasarlanan uygulamalarda sınırlandırdığımız tabakalardaki dalga yansımalarını bertaraf etmenin yollarından biri de model boyutlarını arttırarak sönümlenme yardımı ile yansımaları sönümlenmektir. Fakat bu tarz modellemelerin çözüm aşaması çok uzun sürdüğünden dolayı araştırmacının şartlarını zorlamaktadır. Bu sorunun giderilmesi için FLAC 2D kapsamında olan sönümleyici sınır şartları tercih edilebilir. Bunun yanısıra FLAC 2D dinamik analizler yapılan kayma dalga hızı analizlerinde yeterli bir mesafe bırakıldığında serbest alan (Free-Field) sınır şartlarının dalga yansımalarını bertaraf etmek için güvenli olacağının garantisini vermiştir. Kurulan modelde serbest alan (Free-Field) sınırlandırma metodu uygulanmıştır. Şekil 5.2.'de yöntem uygulanmıştır.



Şekil 5.3. FLAC ile yapılmış boyutlandırma ve sınırlandırma örneği

#### 5.1.4. Çalışmanın yapıldığı zemin özellikleri

Sakarya Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde, Tığcılar mahallesinde yer alan 2001 yılında uygulanmış taş kolon projesi ve bölgenin zemin etüd raporlarına göre zemindeki iyileştirme incelenmiştir. Zemin etüd raporuna göre zeminin sıvılaşma potansiyeli taşıdığı belirtilmiştir. Rapor sonucu ve detayları göz önünde bulundurularak sıvılaşma riskine karşı iyileştirme, taş kolon ile yapılmıştır.

Yapı, dükkân + 4 kat olup, bina arsası tapuda 388 m<sup>2</sup> olmakla birlikte binanın oturma alanı 380m<sup>2</sup> dir. Yapının tamamı işyeri olarak kullanılmaktadır. Binanın arka cephesi tek katlı işyeri olup 250m<sup>2</sup>'lik oturma alanına sahiptir. Ön cephesi 149 m<sup>2</sup> olup dükkân +4 kattır. Bina 17/08/1999 depremi sonucunda orta hasar statüsüne girmiştir. Binanın yan ve arka cephesi bitişik nizam olup ön cephesi Kavaklar caddesine bakmaktadır. Binada yana yatma, dönme (burkulma) gibi davranış tespit edilememiştir. Fakat binada 5-10cm lik oturma tespit edilmesine karşılık kolon ve kirişlerde hasar gözlenmemiştir. Taşıyıcı sistemlerde büyük hasar olmamakla beraber 1997 deprem yönetmenliğine göre yapılan hasarlar sonucu taşıyıcı sistemin güçlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.



+4 katlı işyerlerinin 149 m<sup>2</sup> lik temel alanına taş kolon projesi uygulanmıştır. Zemin profiline ait sondaj verileri sonucu Şekil 5.4.'de gösterilmiştir.

Zemine ait diğer parametreler hesaplanırken aşağıdaki genel formülizasyonlardan faydalanılmıştır.

$$G = \rho \cdot C_s^2 \quad (5.1)$$

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} \quad (5.2)$$

$$B = \frac{E}{3 \times (1 - 2\nu)} \quad (5.3)$$

Formüllerde;

G: Kayma modülü (Shear modülü)

C<sub>s</sub>: Kayma dalgı hızı

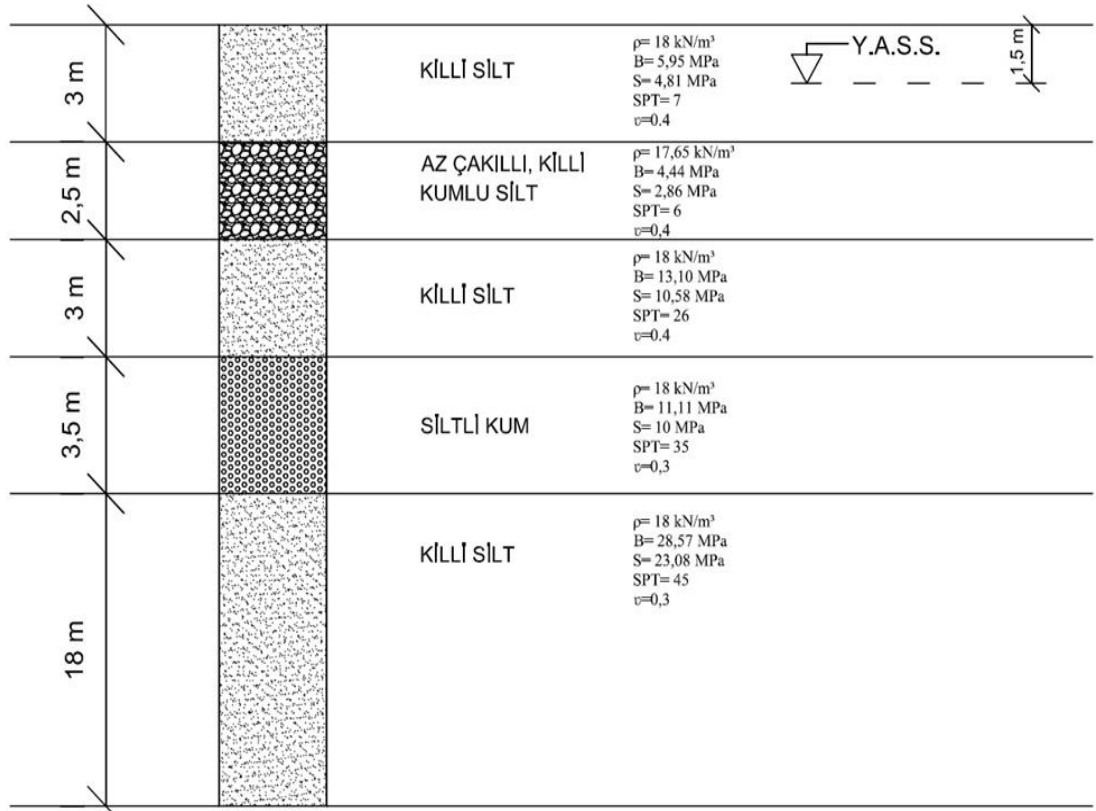
E: Elastisite modülü

B: Bulk modülü

V: Poisson oranı olarak belirtilmiştir.

Zemin etüd raporundan alınan sonuca göre temel zemini emniyet gerilmesi :  $\sigma_{emn} = 75$  kpa olarak verilmiştir. Elastisite modülü, Poisson oranı, porozite gerekli literatür taramaları sonucu Adapazarı bölgesi için alınmış ortalama değerlerdir.

Zemin etüd raporuna göre, yapılan standart penetrasyon direnci ölçümleri, yüzeğe yakın tabakaların 6m'ye kadar orta katı olduğunu göstermektedir ve sıvılaşımanın 0-6m'ler arasında olduğu belirlenmiştir. Alanda yer altı suyu - 1.50m'de ölçülmüştür. Yer altı suyu seviyesinin 1.50m olduğu ve zemin özelliklerinden yararlanılarak sıvılaşıma potansiyeline karşı iyileştirmenin, zeminin ilk 6m'sinde yapılması uygun olacaktır. Zeminin düşey profili 6m'den sonra çok katı killi silten oluşmakta ve bu sıkı birim taşıyıcı özelliktedir.



Şekil 5.4. Sondaj verileri doğrultusunda çıkarılan zemin profili

$$\text{Bina Temel Alanı}(A)=149.37\text{m}^2$$

Yapılan hesaplamalar 149m<sup>2</sup> lik dükkan +4 katlı iş yerlerinin statik hesaplarına aittir.

$$\text{Binanın temele intikal eden toplam ağırlığı } 708 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Gerilme tahkiki: I } GI = 708/149.37 = 4.73 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Gerilme tahkiki: II } GII = \text{Devrilme momenti} / b+h^2 / 6 = 460 / 20.05 * (7.45)^2 / 6 = 2.48 \text{ t/m}^2$$

$$G = GI + GII = 4.73 + 2.48 = 7.21 \text{ t/m}^2$$

$$7.21 \text{ t/m}^2 < 7.50 \text{ t/m}^2$$

Zemin emniyet gerilmesi binadan gelen statik ve dinamik yükleri karşılayacak büyüklüktedir. Ayrıca zemine yapılacak ıslah çalışması zeminin taşıma gücüne artı bir değer getirecek ve bu durumda zemin emniyet gerilmesi her koşulda bina yükünü karşılayacak değerdedir. Bu durumda zemine yapılacak iyileştirme müdahalesi sınılaşmaya karşı tedbir için olacaktır.

### 5.1.5. Taş kolon projesi

Çap:.....	25 cm
Derinlik:.....	6.00m
Genişlik:.....	1.50-2.50 m
Adeti:.....	41
Çakıl Boyutu:.....	0.5-4 cm
Yaklaşık olarak kullanılacak çakıl miktarı:.....	12-13 m <sup>3</sup>

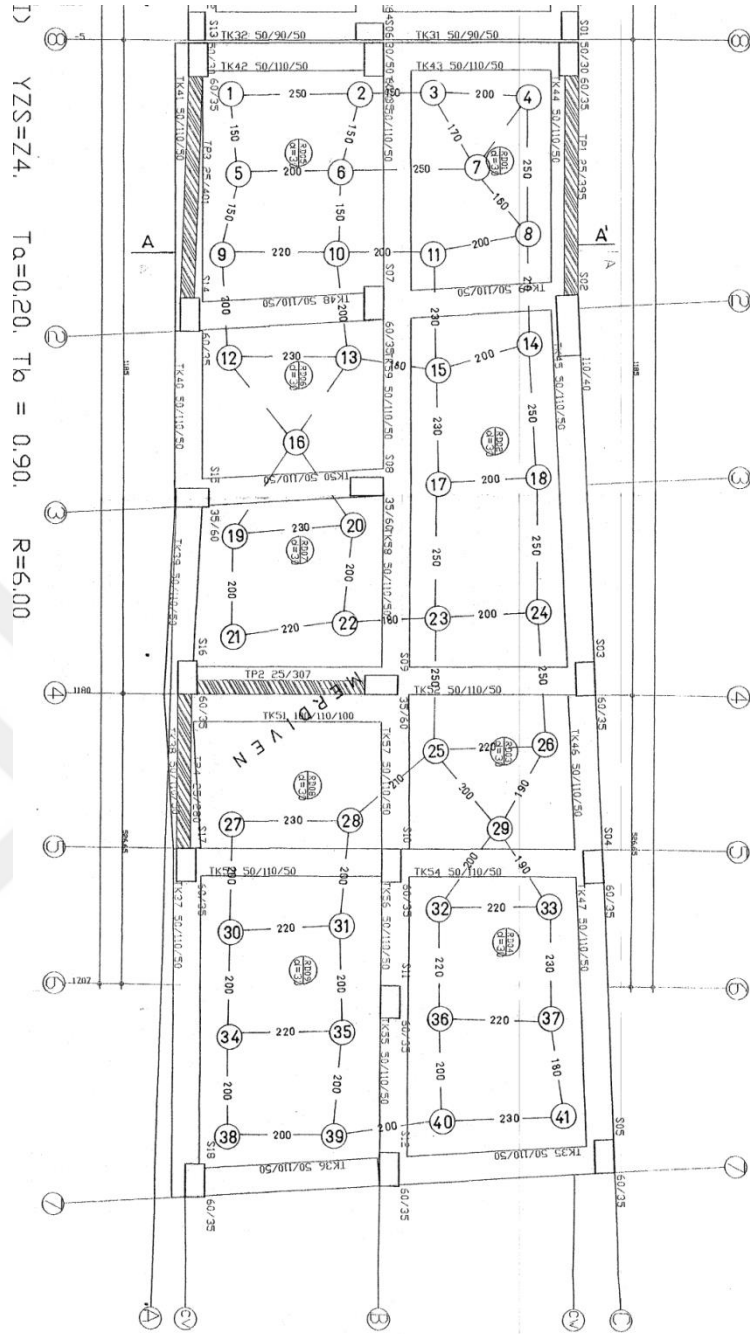
Şekil 5.5. Taş kolon boyutları

Taş kolon çapları temel zeminin kıvamının elverdiği ölçüde yapılmıştır. Yumuşak zeminlerde çap büyük olacağından kesin bir çap verilememiştir.

Taş kolon aralıkları taban kirişlerinin konumu ve bina içinin elverdiği duruma göre 1.80-2.50m arasında değişmektedir. Taş kolon sayıları ise iç duvarlardan çalışma mesafesi bırakılarak karelajlama yapılarak 41 adet olarak tespit edilmiştir.

41 adet taş kolon 149m<sup>2</sup> 'lik binada uygulandığında  $149/41=3.6\text{m}^2$ 'lik alana bir taş kolon düşmektedir. Buda 1,80m de bir taş kolon aralığına denk gelir. Şekil 5.5.'de taş kolon boyutları verilmiştir.

Taş kolon derinliği kesin olarak uygulama esnasında zemin değişkenliğine göre oluşmaktadır. Fakat zemin etüd raporuna göre 6.00m de çok katı killi silt (ML) biriminin bulunması kolonların düşeyden çok yatay olarak soketleneceği düşünülerek kolon çapının 40-50cm den büyük olacağı sonucuna varılmıştır. Çakıl boyutları 0.4-5cm lik temiz malzemedden seçilmiştir. Şekil 5.6.'da uygulanmış taş kolon planı verilmiştir.



Şekil 5.6. Uygulanmış taş kolon planı

### 5.1.6. Yerinde taş kolon uygulaması

Taş kolon makinesi, paletli bir makine olup, 1.80\*2.50m boyutunda, boam yüksekliği 2.10m'dir. 25 cm çapında Auger yardımıyla rotary + baskı ile toplam 6.00m derinliğinde kuyu açılıp, 0.50-4.00 cm çapında drenajı iyi sağlayacak çaptaki çakılla doldurulup, ters auger yöntemiyle sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Zeminde açılan

deliklerin çakıl ile doldurulması bu yöntemin esasını oluşturur. Taş kolonların, vibroflotasyon tekniğiyle zemine yerleştirilebilmesi, yapının mevcut olması, Adapazarı zeminin müsait olmaması nedeni ile mümkün olmamaktadır. Oysaki en fazla sıkıştırma vibroflotasyonla gerçekleştirilebilir.

Taş kolon çapları, zeminin kıvamının el verdiği ölçüde yapılacaktır. Zeminin yumuşak-sert ya da gevşek-sıkı olması durumuna göre değişecektir. Hesaplamalarda kolon çapı 25 cm olarak alınmıştır. Uygulamalar esnasında kuyuya verilen çakıl miktarı ölçülmekte ve kesin taş kolon boyutları belirlenmektedir. Kuyu bittikten sonra üzeri ızgara ile kapatılmıştır. Bu ızgara delikli biriket, delikli beton kalıp, (yerinde veya dışarıdan dökülerek) demir mazgal vb. gibi su dirençini engellemeyecek bir süzgeç şeklinde olmalı. Süzgecin estetik açıdan başka alternatifleri de düşünülebilir.

#### **5.1.7. Nümerik model tasarlarken kullanılan deprem kaydı özellikleri**

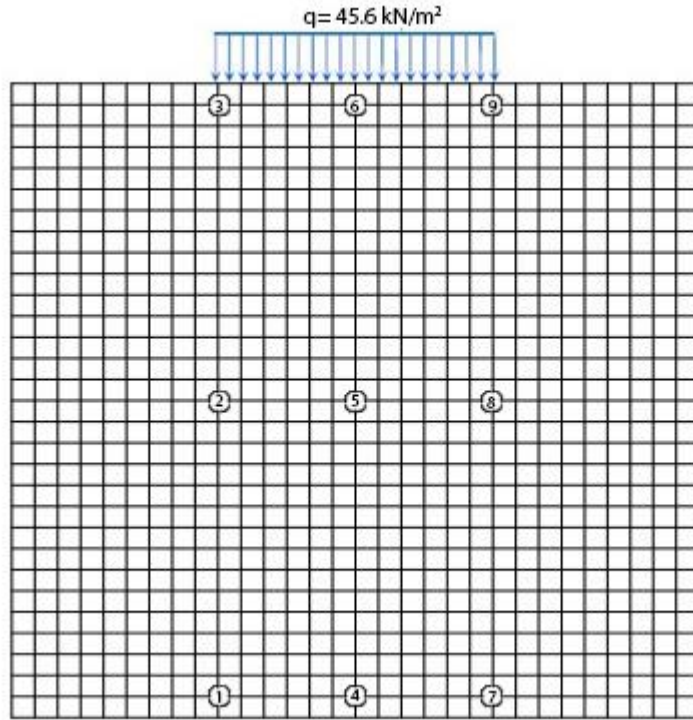
Model tasarlanırken kullanılan deprem kaydı 17.08.1999 de saat 3.02'de İzmit'in 11 km güney-doğusunda oluşan ve Adapazarı'nda çok büyük kayıp ve hasarlara sebebiyet veren Kocaeli depremidir. Sismik kayıtlara göre moment büyüklüğü  $M_w=7,4$  ve yüzeyde oluşan dalga boyutu  $M_s=7,8$  olarak hesap edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu, depremin odak noktası yüzeyden yaklaşık 15 km derinde olduğu, yanal atımlı 120 km'lik bir sismik hareket meydana geldiği hesap edilmiştir. (Erdik ,1999)

Model tasarlanırken kullanılan diğer deprem kaydı 18 Mayıs 1940 günü, saat 21.30 civarında, Güney Kaliforniya'daki İmparatorluk Vadisi'nde meydana gelen El Centro depremidir.  $M_w= 6,9$  ölçülerek hem ABD hem de Meksika'yı etkilemiş ve El Centro şehri en çok etkilenen yerlerinden biri olmuştur. El Centro depreminin geniş ve yaygın hasara neden olduğu bilinmektedir.

## BÖLÜM 6. ANALİZ SONUÇLARININ İNCELENMESİ

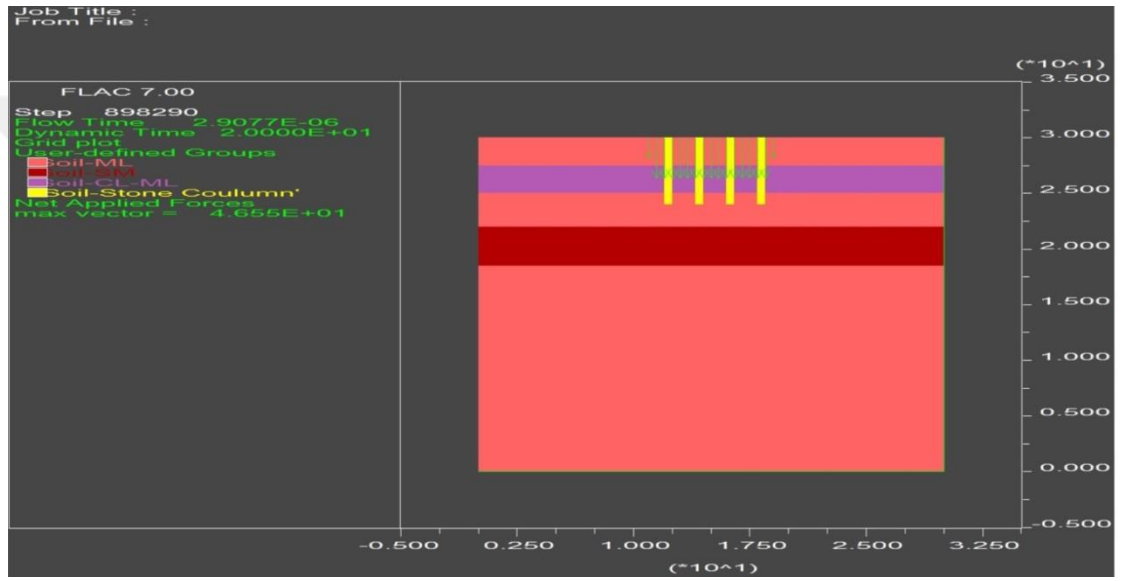
### 6.1. Model Anlatımı

Çok kalın alüvyal bir zemin jeolojisine sahip Adapazarı bölgesi Tığcılar Mahallesi için bölgedeki zemin büyütmesini tanımlamak amacıyla önceden açılmış olan derin bir sondajdan alınan zemin profil özellikleri kullanılarak FLAC 2D bilgisayar programı ile iki boyutlu zemin tepki analizi yapılmıştır. Analizlerde zemin profilinin alt katmanına uygulanan zemin hareketi nedeniyle zemin yüzeyindeki değişikliklere kuvvetli bir yer hareketi uygulamak için 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem kaydı kullanılmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda çıkarılan grafikler Şekil 6.1.'de verilmiştir.



Şekil 6.1. İnceleme yapılacak derinlik noktalarının gösterimi

1 noktası program için boyutlandırılan zeminin tabanında, 2 noktası ortada ve 3 noktası yüzeyde belirlenmiştir. Noktalar yatayda 2.5m aralıklarla ve yapı altında kalacak şekilde seçilmiştir. Model hazırlanırken 30m-30m zemin profili boyutları tasarlandı. 60-60 grid model oluşturuldu. Her grid arası 0.5m'dir. Zeminde 2.5m aralıklar ile 3 farklı nokta belirlendi. Bu 3 farklı noktanın yüzeyinde, 15m derinliğinde ve 30m derinliğinde ivme ve hız hesaplamaları yapıldı. Şekil 6.2.'de taş kolonlar modele modifiye edilmiş, yük verisi girilmiş ve zemin tabakaları tanımlanmıştır.

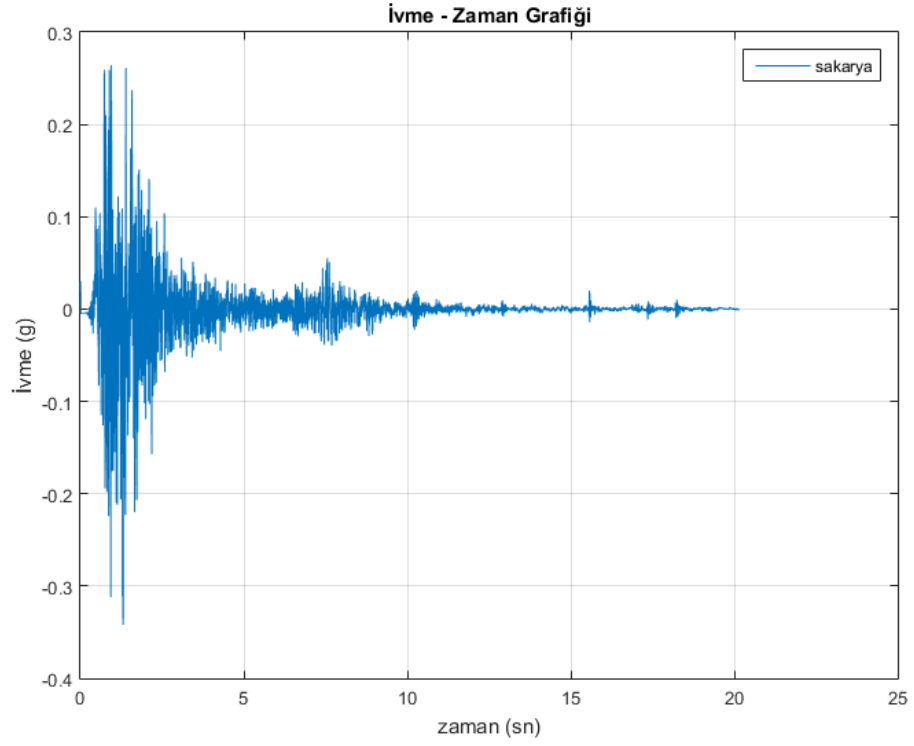


Şekil 6.2. FLAC programında yüklerin ve taş kolonların tasarlanmış görünümü

## 6.2. Program Analiz Sonuçları

### 6.2.1. Taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin x eksenine için hız-zaman grafiği

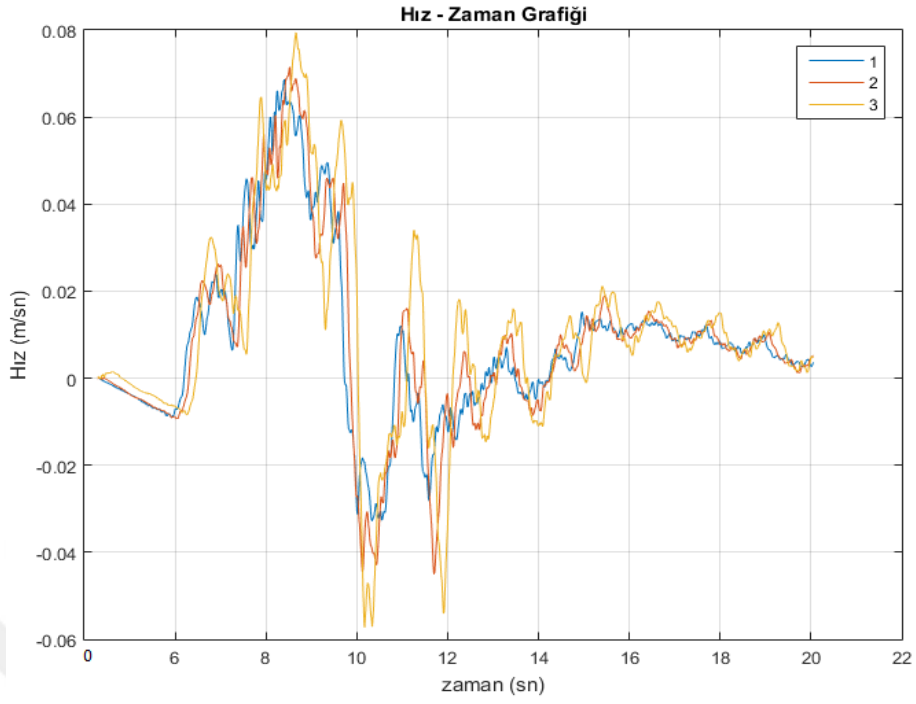
1, 4 ve 7 numaralı nokta zeminin tabanında 2, 5 ve 8 numaralı nokta zeminin ortasında 3, 6 ve 9 numaralı nokta zeminin yüzeyinde seçilmiştir. Bu çalışmada 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem kaydı kullanılmıştır.



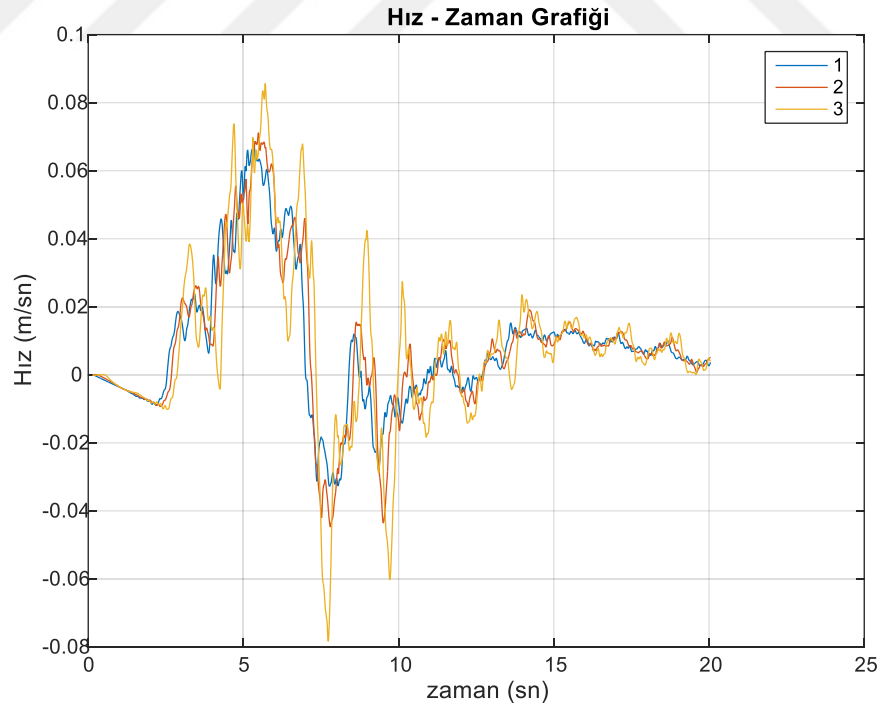
Şekil 6.3. 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem kayıtlarına göre ana kayada ölçülen ivme grafiği

Şekil 6.3.'de 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem kaydı verilerine göre ana kayada okunan ivme değerleri grafikleştirilmiştir. Maksimum ivme değeri 0.33g ölçülen deprem süresi yaklaşık 47 saniye olduğu belirtilmiştir. Fakat enerji sönümlenmesinin büyük bir bölümünün ilk 20 saniyelik kısımda gerçekleştiği bilinmektedir.



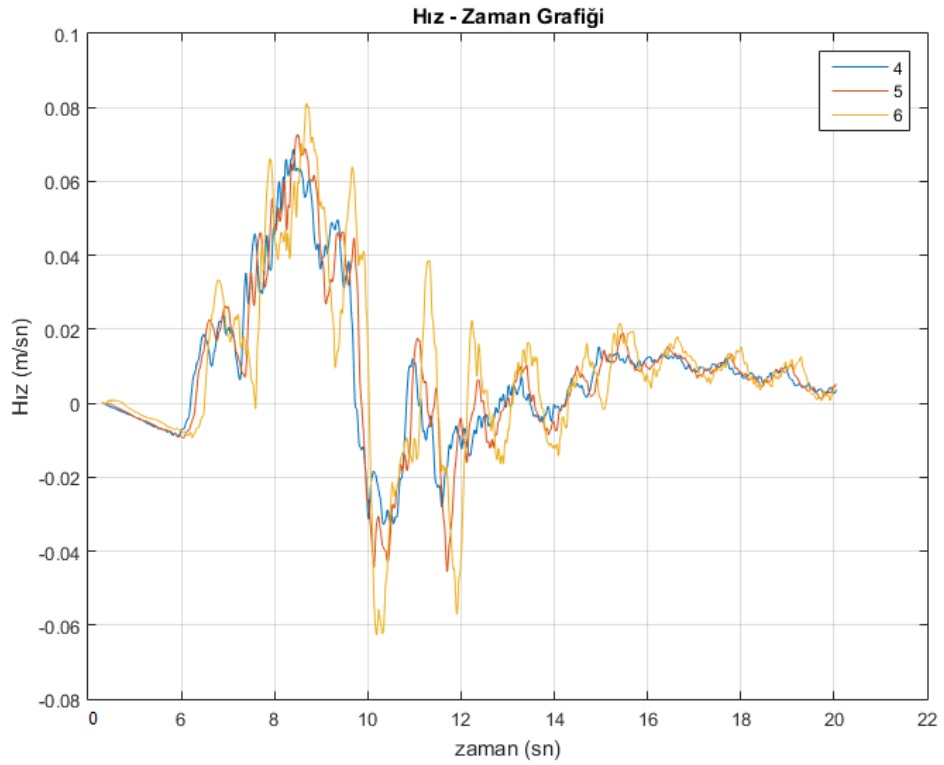


Şekil 6.4. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini içi derinlik 1, 2 ve 3 noktası)



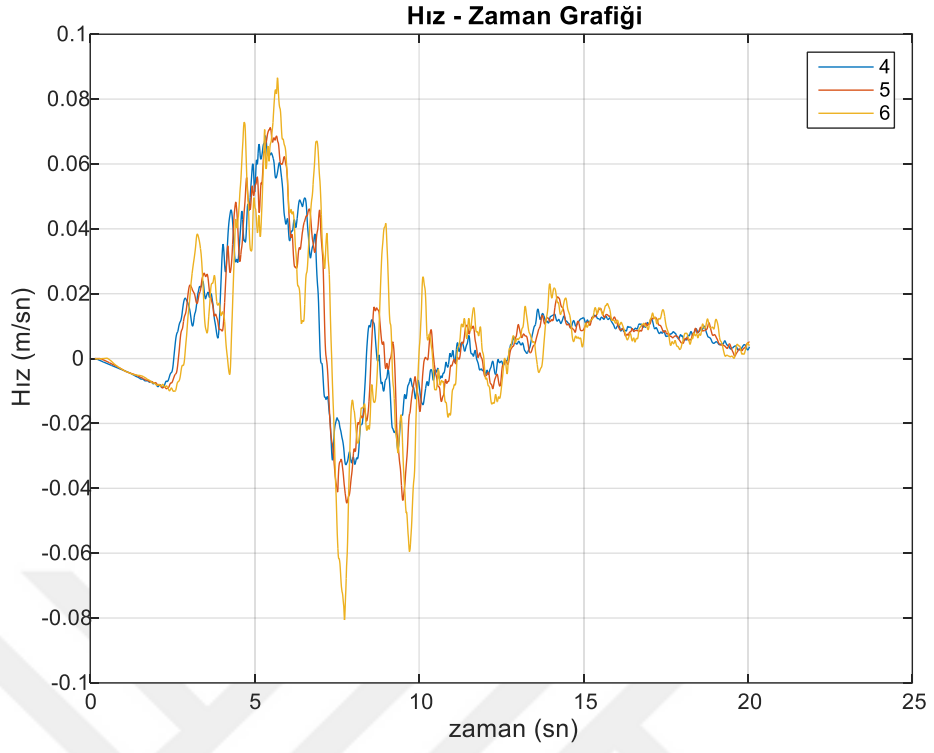
Şekil 6.5. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

Şekil 6.4. taş kolonsuz zeminde 1 noktasında x eksenini için 0.068 m/sn, 2 noktasında 0.07 m/sn, 3 noktasında 0.082 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.5.'de taş kolonlu zemin için ölçülen değerler, taş kolonsuz zemin ile karşılaştırıldığında yaklaşık eşit çıkmaktadır. Taş kolonlu ve taş kolonsuz zemin için tabandan yüzeye doğru çıkıldıkça değerlerde artış olarak zemin büyütmesi oluşmaktadır. Yaklaşık %20 civarında bir zemin büyütmesi meydana gelmiştir.

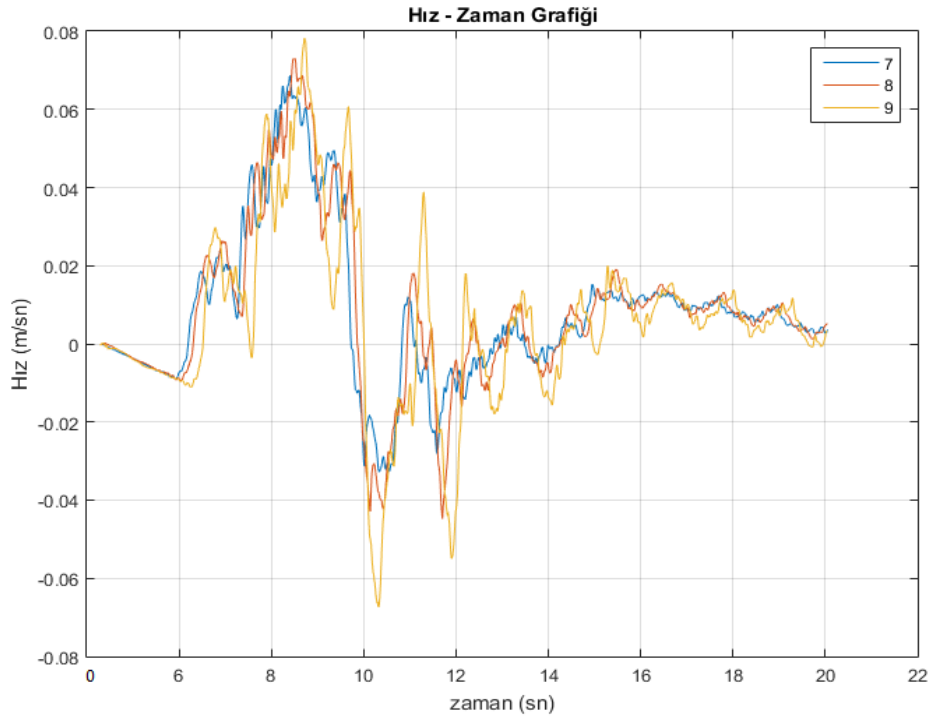


Şekil 6.6. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

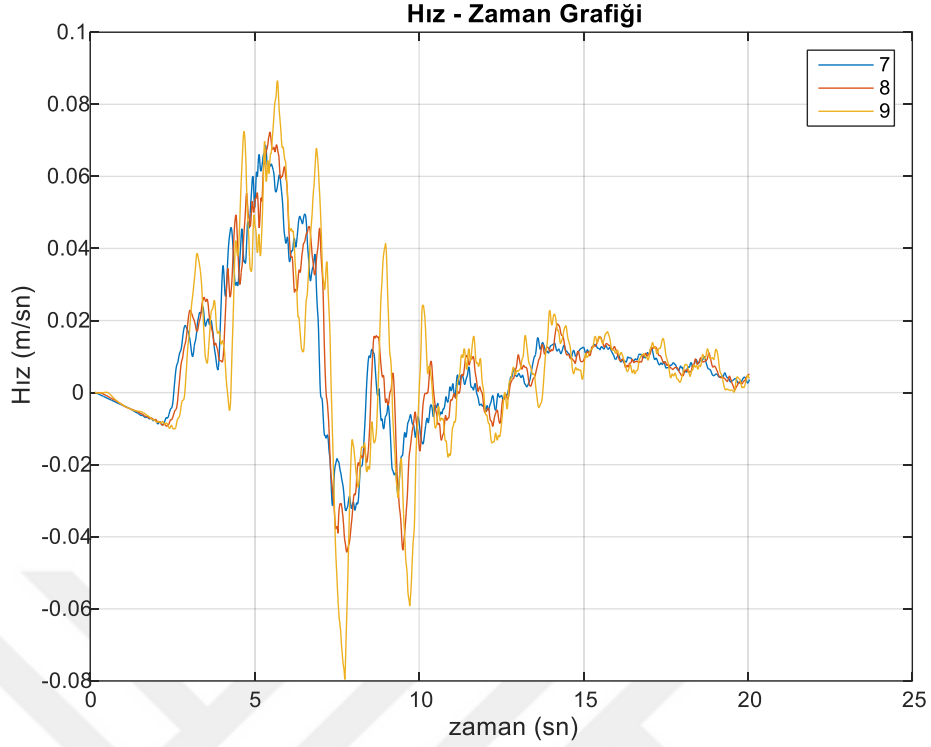
Şekil 6.6.'da taş kolonsuz zeminde 4 noktasında 0.068 m/sn, 5 noktasında 0.071 m/sn, 6 noktasında 0.082 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.7.'de taş kolonlu zemin için ölçülen değerler, taş kolonsuz zemin ile karşılaştırıldığında yaklaşık eşit çıkmaktadır. Taş kolonlu ve taş kolonsuz zemin için tabandan yüzeye doğru çıkıldıkça değerlerde artış olarak zemin büyütmesi oluşmaktadır. Yaklaşık %20 civarında bir zemin büyütmesi meydana gelmiştir.



Şekil 6.7. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksen için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)



Şekil 6.8. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksen için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)



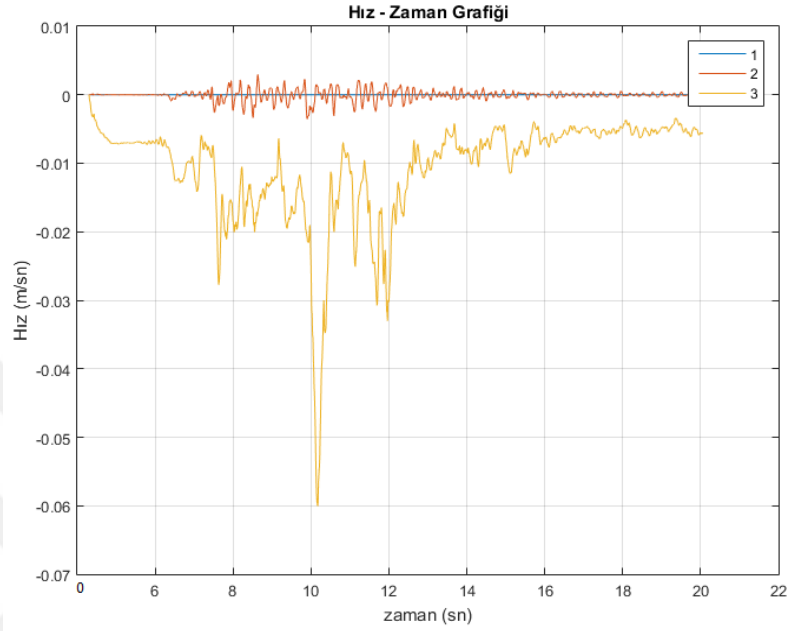
Şekil 6.9. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için 7, 8 ve 9 noktası)

Analizlerden elde edilen aktarım işlevinde, 3 farklı derinlikte ve 9 farklı noktada yapılan analizler incelenmiştir. 1, 4 ve 7 numaralı nokta zeminin tabanında 2, 5 ve 8 numaralı nokta zeminin ortasında 3, 6 ve 9 numaralı nokta zeminin yüzeyinde seçilmiştir. Zemin tabakasının en alt noktasına etki ettirilen deprem kuvveti sonucu hız değerlerinin zemin yüzeyine yaklaştıkça büyüdüğü görülmektedir. Bu grafikler yorumlanırken zaman ile etkileşim halindeki pik hız değerleri en büyük hız değerlerini belirtmektedir. En belirgin değişim Şekil 6.8.' de taş kolonsuz zemin için 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.068 m/sn iken 8 noktasında 0.072 m/sn ve 9 noktasında 0.08 m/sn okunarak değerlerde yükselme olduğu görülmüştür. Buradan anlaşıldığı üzere zemin yüzeyine yaklaştıkça değerlerde büyüme oluşmuştur. Şekil 6.9.' da taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonuçları ile taş kolonsuz zeminde yapılan analiz sonuçları yaklaşık eşit çıkarak kısmen taş kolonun zeminin hız değerleri üzerine etkisi görülemediği görülmüştür.

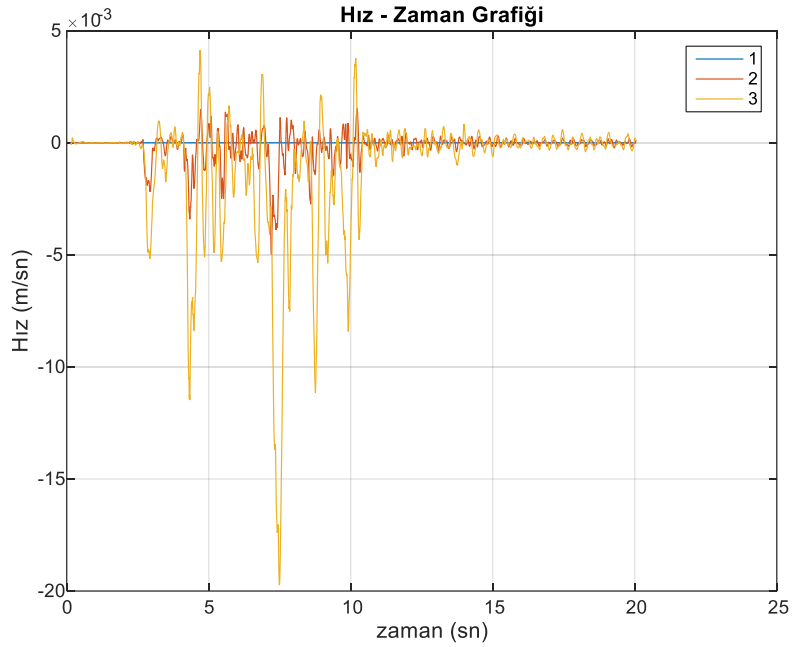
### 6.2.2. Taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin y eksenini için hız-zaman grafiği

1, 4 ve 7 numaralı nokta zeminin tabanında 2, 5 ve 8 numaralı nokta zeminin ortasında

3, 6 ve 9 numaralı nokta zeminin yüzeyinde seçilmiştir. 3 farklı derinlikte 3 farklı noktada düşey eksende hızın zamana göre değişimi grafikler oluşturularak aşağıda incelenmiştir.



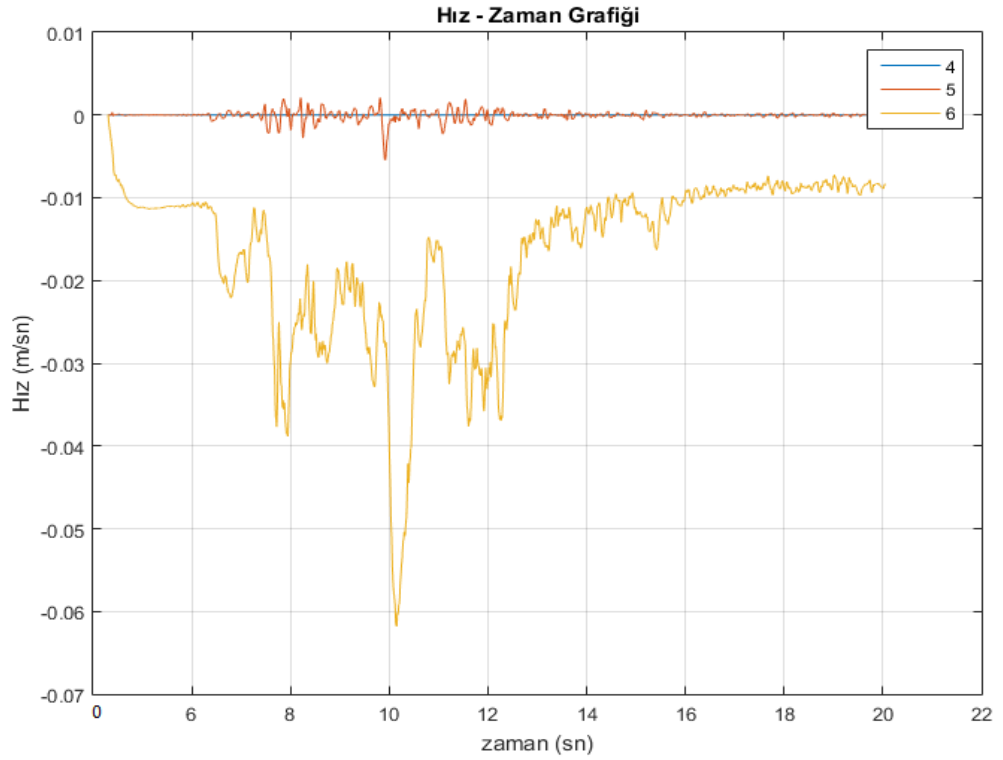
Şekil 6.10. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y ekseninde için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)



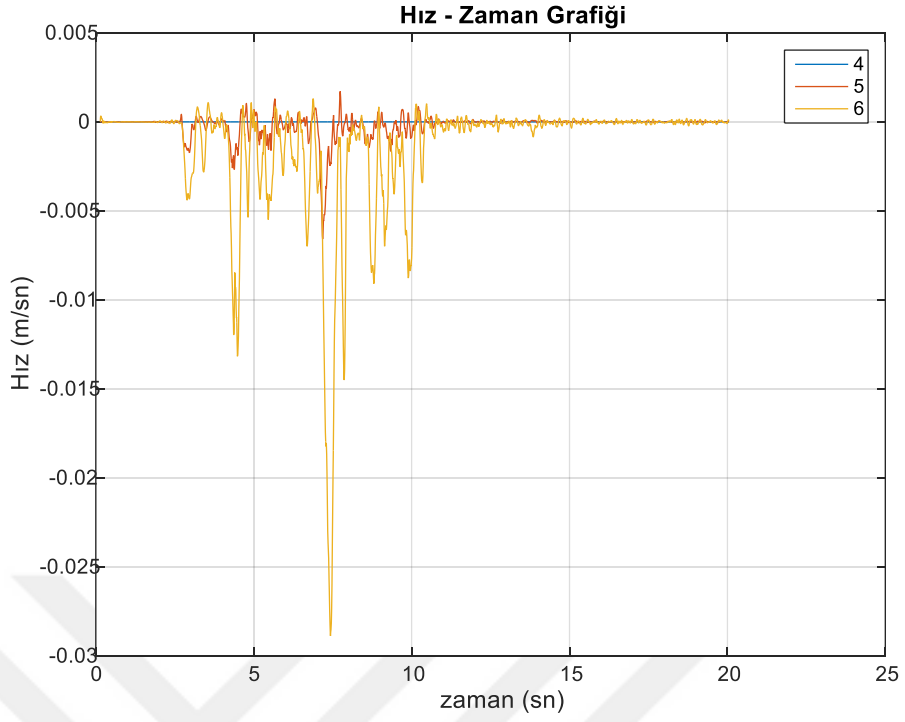
Şekil 6.11. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y ekseninde için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

Şekil 6.10. taş kolonsuz zeminde 1 noktasında y eksenini için 0.00005 m/sn, 2 noktasında 0.003 m/sn, 3 noktasında 0.06 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.11.'de taş kolonlu zemin için 1 noktasında 0.00013 m/sn, 2 noktasında 0.005 m/sn, 3 noktasında 0.02 m/sn dalga hızları okunmuştur. Taş kolonsuz zemin ile taş kolonlu zeminde tabandan yüzeye çıkıldıkça hız değerlerinde artış görülmüştür.

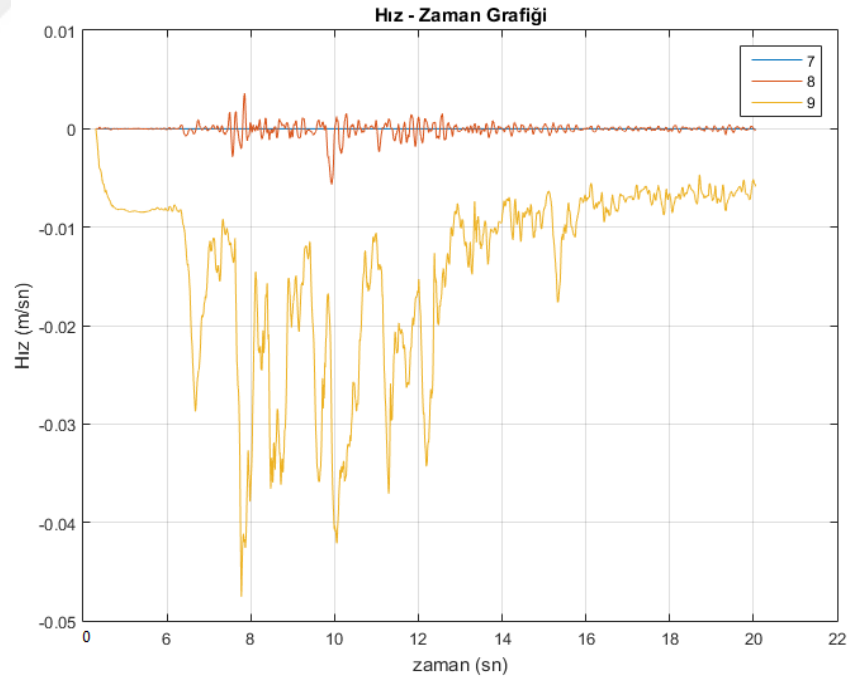
Şekil 6.12. taş kolonsuz zeminde 4 noktasında y eksenini için 0.00005 m/sn, 5 noktasında 0.005 m/sn, 6 noktasında 0.06 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.13.'de taş kolonlu zemin için 1 noktasında 0.00013 m/sn, 2 noktasında 0.0065 m/sn, 3 noktasında 0.03 m/sn dalga hızları okunmuştur. Taş kolonsuz zemin ile taş kolonlu zeminde tabandan yüzeye çıkıldıkça hız değerlerinde artış görülmüştür.



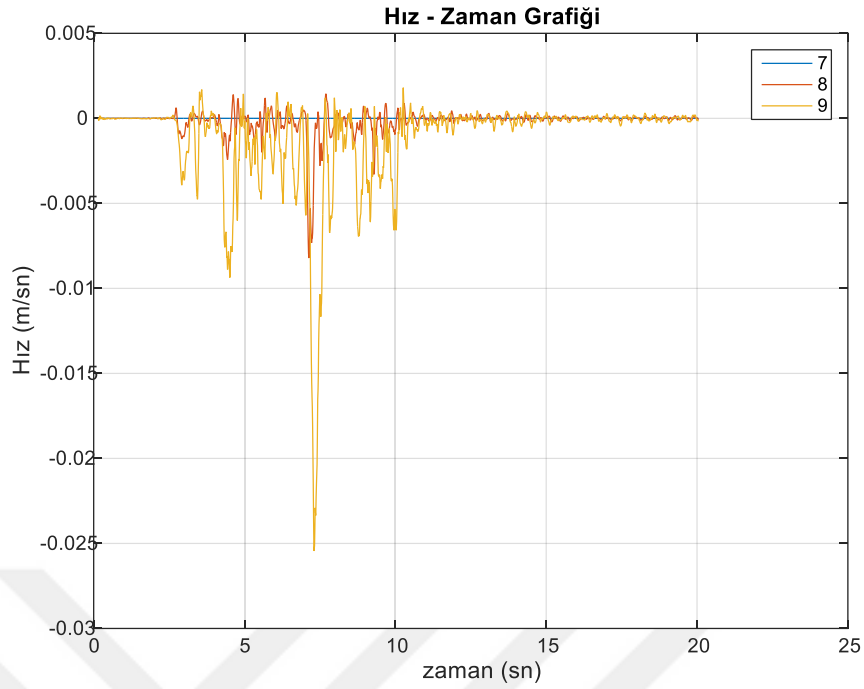
Şekil 6.12. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)



Şekil 6.13. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)



Şekil 6.14. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)



Şekil 6.15. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

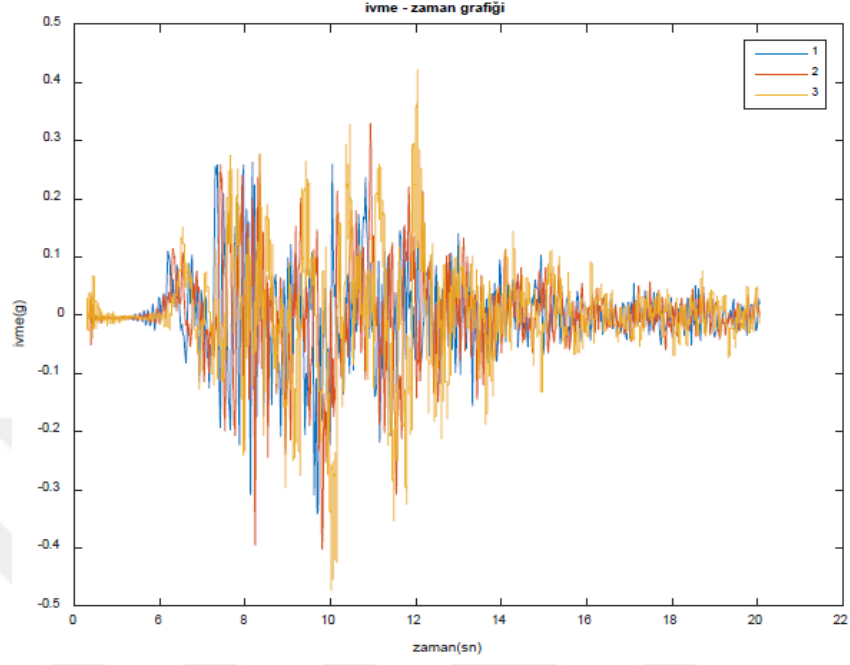
Analizlerden elde edilen aktarım işlevinde, 3 farklı derinlikte ve 9 farklı noktada yapılan analizler incelenmiştir. 1, 4 ve 7 numaralı nokta zeminin tabanında 2, 5 ve 8 numaralı nokta zeminin ortasında 3, 6 ve 9 numaralı nokta zeminin yüzeyinde seçilmiştir. Zemin tabakasının en alt noktasına etki ettirilen deprem kuvveti sonucu hız değerlerinin zemin yüzeyine yaklaştıkça büyüdüğü görülmektedir. Bu grafikler yorumlanırken zaman ile etkileşim halindeki pik hız değerleri en büyük hız değerlerini belirtmektedir. Şekil 6.14.' de taş kolonsuz zemin için 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.0002 m/sn iken 8 noktasında 0.008 m/sn ve 9 noktasında 0.025 m/sn okunarak değerlerde yükselme olduğu görülmüştür. Buradan anlaşıldığı üzere zemin yüzeyine yaklaşıldıkça değerlerde büyüme oluşmuştur. Şekil 6.15.' de taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonuçları ile taş kolonsuz zeminde yapılan analiz sonuçları yaklaşık eşit çıkarak kısmen taş kolonun zeminin hız değerleri üzerine etkisi görülememiştir.

### 6.2.3. Taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin x eksenini için ivme-zaman grafiği

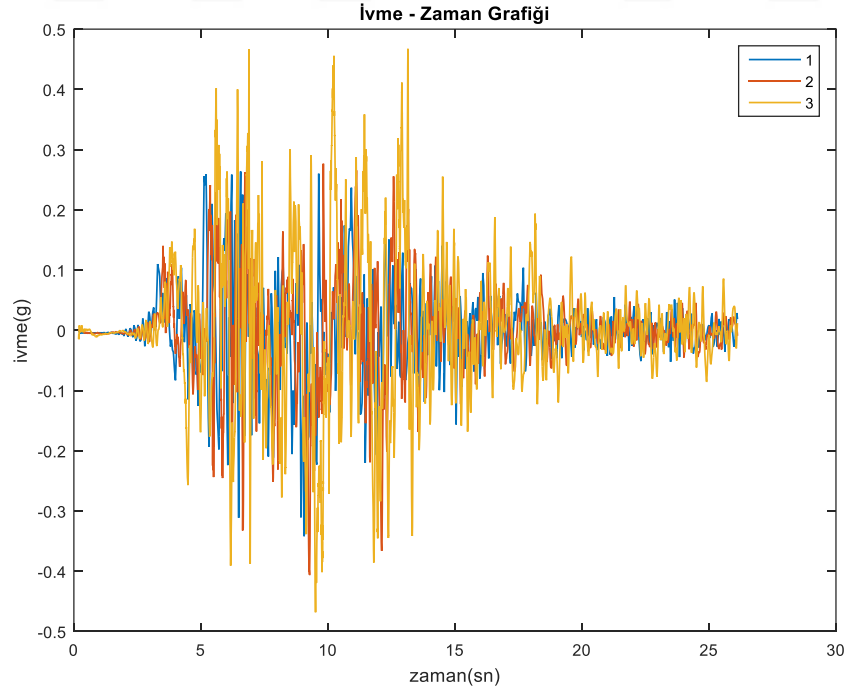
1, 4 ve 7 numaralı nokta zeminin tabanında 2, 5 ve 8 numaralı nokta zeminin ortasında 3, 6 ve 9 numaralı nokta zeminin yüzeyinde seçilmiştir. 3 farklı derinlikte 3 farklı



noktada düşey ekseninde hızın zamana göre değişimi grafikler oluşturularak aşağıda incelenmiştir.

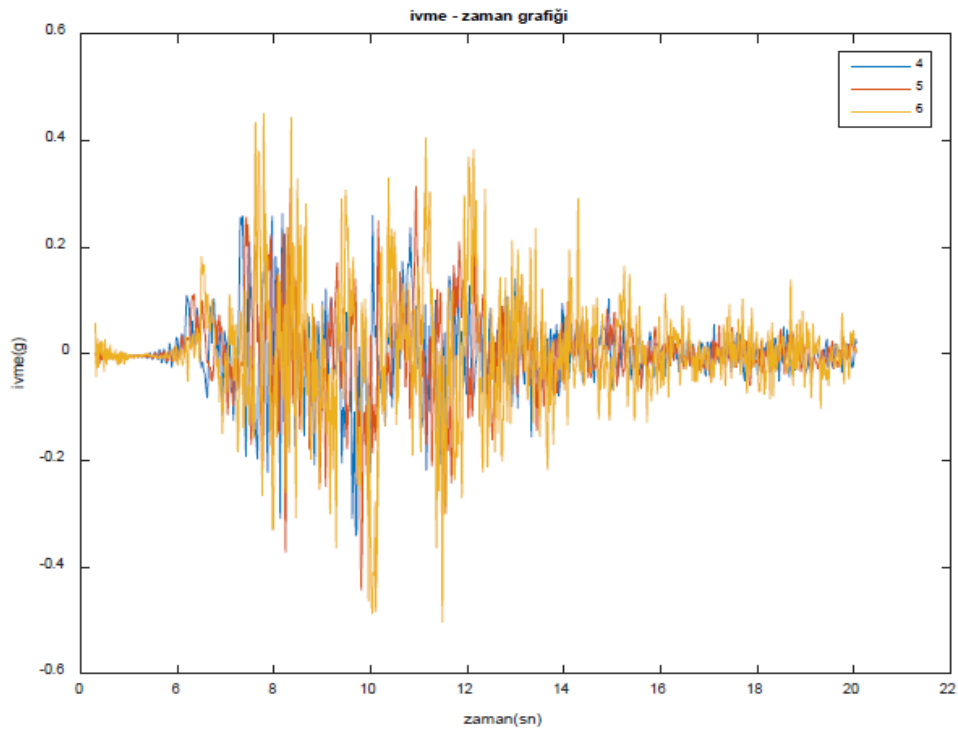


Şekil 6.16. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

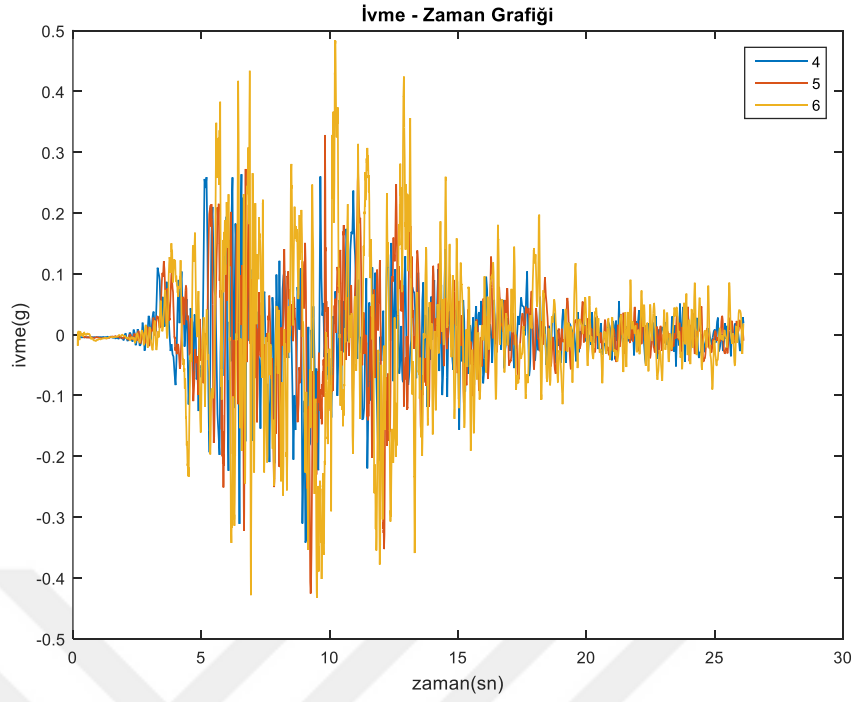


Şekil 6.17. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

Şekil 6.16.'da taş kolonsuz zemin için 1 noktasında ölçülen ivme değeri 0.33g, 2 noktasında 0.4g ve 3 noktasında 0.5g'ye yükselmiştir. Buradan anlaşıldığı üzere zemin sınıfının özelliklerine ve deprem verilerine bağlı olarak zemin yüzeyine yaklaştıkça değerlerde büyüme oluşmuştur. Şekil 6.17.' de taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonuçları taş kolonsuz zeminle yaklaşık eşit çıktığı görülmüştür. Taş kolonlu zemin için de yine yüzeye çıkıldıkça ivme değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Ancak taş kolonsuz zemin tabanında 0.33g'den yüzeyde 0.5g'ye yaklaşık %50 bir artış vardır.

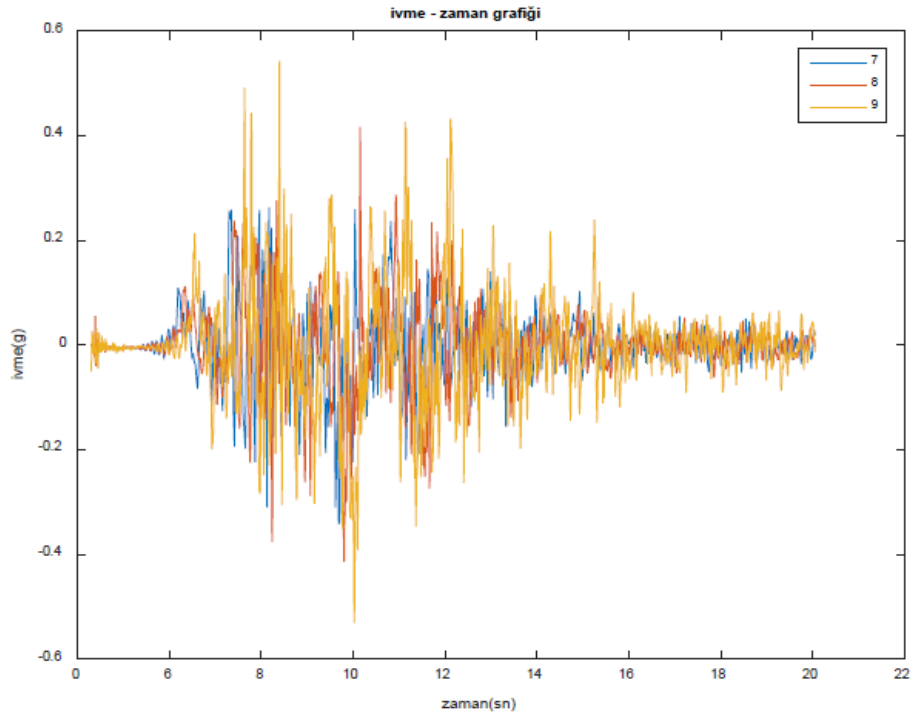


Şekil 6.18. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

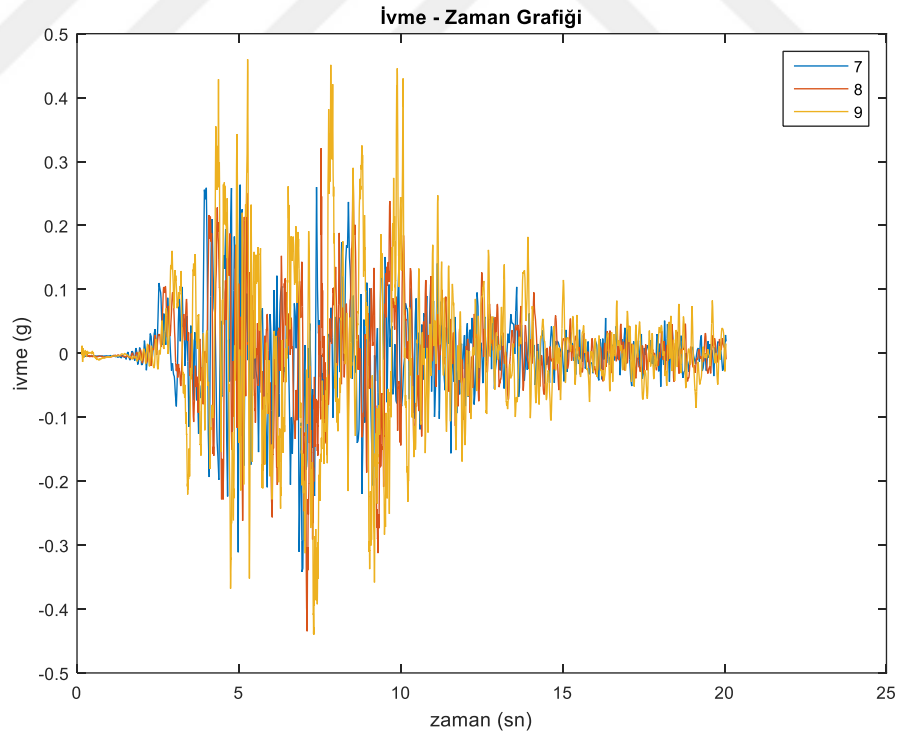


Şekil 6.19. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksen için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Şekil 6.18.'da taş kolonsuz zemin için 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.33g, 5 noktasında 0.45g ve 6 noktasında 0.5g'ye yükselmiştir. Buradan anlaşıldığı üzere zemin sınıfının özelliklerine ve deprem verilerine bağlı olarak zemin yüzeyine yaklaşıldıkça değerlerde büyüme oluşmuştur. Taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonuçlarına göre taş kolonsuz zeminle yaklaşık eşit çıktığı görülmüştür. Şekil 6.19. taş kolonlu zemin için de yine yüzeye çıkıldıkça ivme değerlerinde artış gözlemlenmektedir.



Şekil 6.20. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

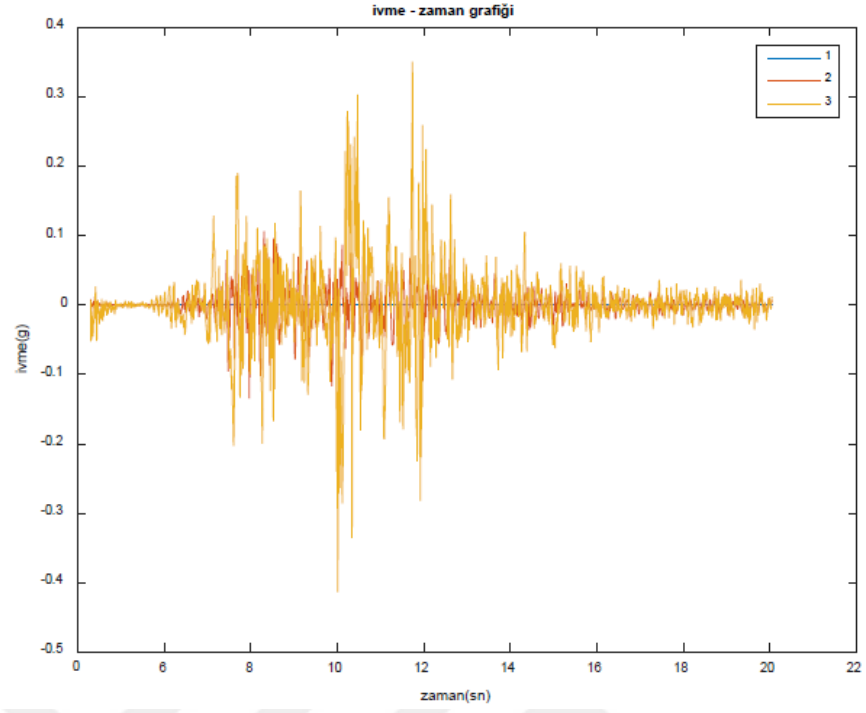


Şekil 6.21. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

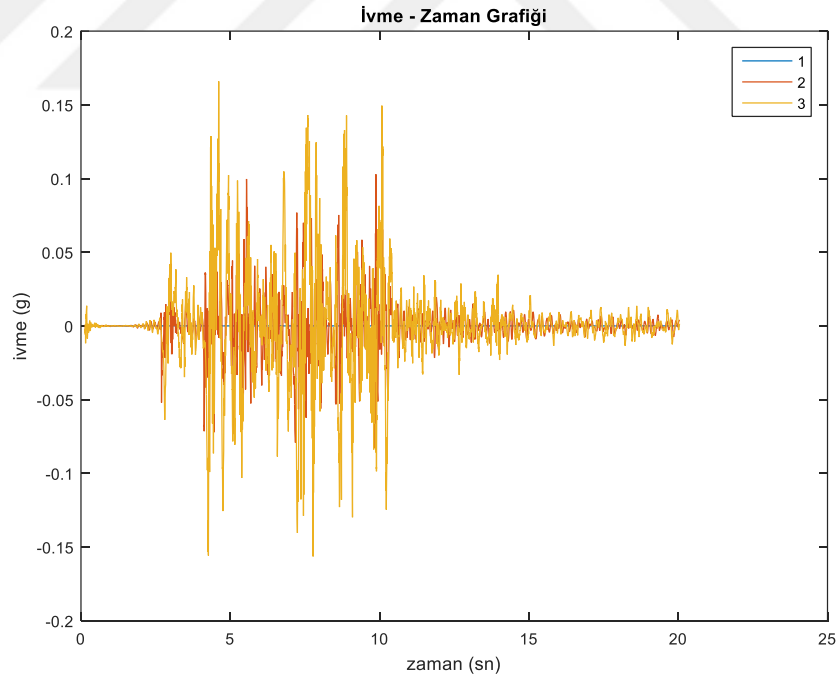
Analizlerden elde edilen aktarım işlevinde, 3 farklı derinlikte ve 9 farklı noktada yapılan analizler incelenmiştir. Zemin tabakasının en alt noktasına etki ettirilen deprem kuvveti sonucu ivme değerlerinin zemin yüzeyine yaklaştıkça büyüdüğü görülmektedir. Bu grafikler yorumlanırken zaman ile etkileşim halindeki pik ivme değerleri en büyük ivme değerlerini belirtmektedir. Şekil 6.20.'de taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.33g iken 8 noktasında 0.4g ve 9 noktasında 0.52g'ye yükselmiştir. Buradan anlaşıldığı üzere zemin yüzeyine yaklaştıkça değerlerde büyüme oluşmuştur. Bununla beraber taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonucu 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.33g, 8 noktasında 0.4g ve 9 noktasında 0.48g okunmuştur. Şekil 6.21. taş kolonlu zemin için de yine yüzeye çıkıldıkça ivme değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Ancak taş kolonsuz zemin yüzeyinde 9 noktasında 0.52g okunan değer taş kolonlu zeminde 9 noktasında 0.48g okunarak azaldığı görülmüştür. Bu da taş kolonsuz zemindeki büyüme ile taş kolonlu zemindeki büyümeyi karşılaştırdığımız zaman yaklaşık %17 gibi bir iyileşme elde edilmiştir. Fakat diğer noktalardaki okumalarda kaydadeğer bir değişim gözükmemiştir.

#### **6.2.4. Taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin y eksenini için ivme-zaman grafiği**

1, 4 ve 7 numaralı nokta zeminin tabanında 2, 5 ve 8 numaralı nokta zeminin ortasında 3, 6 ve 9 numaralı nokta zeminin yüzeyinde seçilmiştir. 3 farklı derinlikte 3 farklı noktada düşey ekseninde ivmenin zamana göre değişimi grafikler oluşturularak aşağıda incelenmiştir.



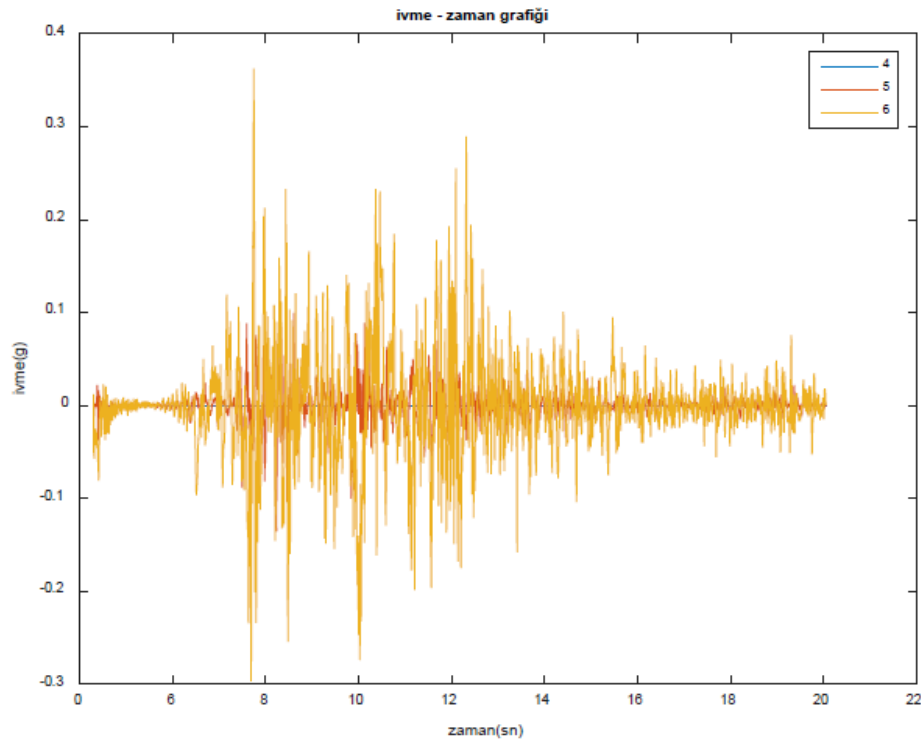
Şekil 6.22. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)



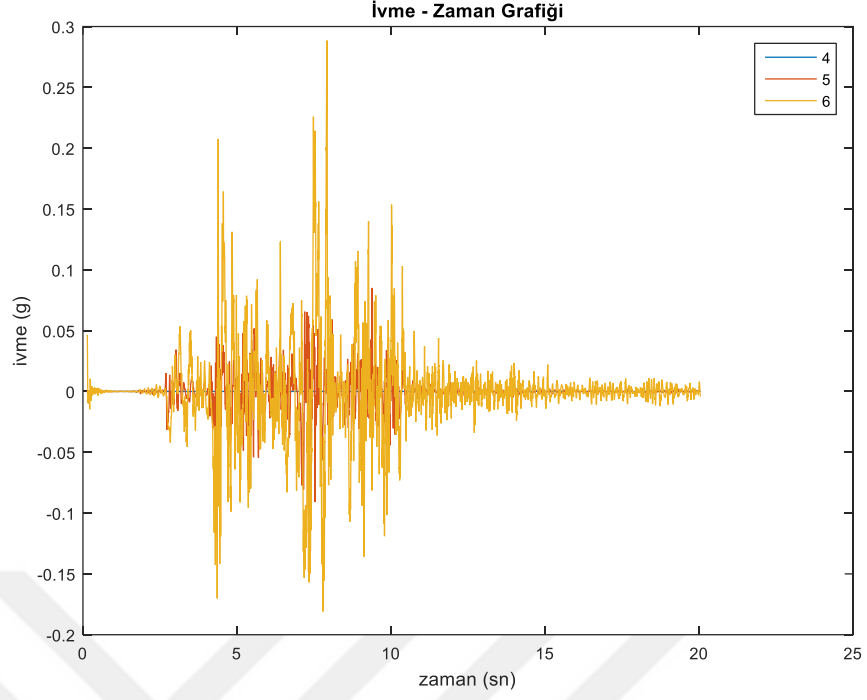
Şekil 6.23. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

Şekil 6.22.'de taş kolonsuz zemin için 1 noktasında ölçülen ivme değeri 0.007g, 2 noktasında 0.15g ve 3 noktasında 0.4g'ye yükselmiştir. Buradan anlaşıldığı üzere zemin

sınıfının özelliklerine ve deprem verilerine bağlı olarak zemin yüzeyine yaklaştıkça ivme değerlerinde büyüme oluşmuştur. Taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonuçlarına göre Şekil 6.23.'de 1 noktası için ölçülen ivme değeri 0.003g, 2 noktasında 0.1g ve 3 noktasında 0.15g'ye yükselmiştir. Taş kolonlu zemin için de yine yüzeye çıkıldıkça ivme değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Genel olarak taş kolonsuz zemin noktalarında ölçülen değerler taş kolonlu noktalara göre daha büyük çıkmışlardır. Taş kolonsuz zeminde 3 noktasında 0.4g olan değer taş kolonluda 0.15g'ye küçülmüştür. Taş kolonun etkisi analiz sonuçlarından görülmüştür.



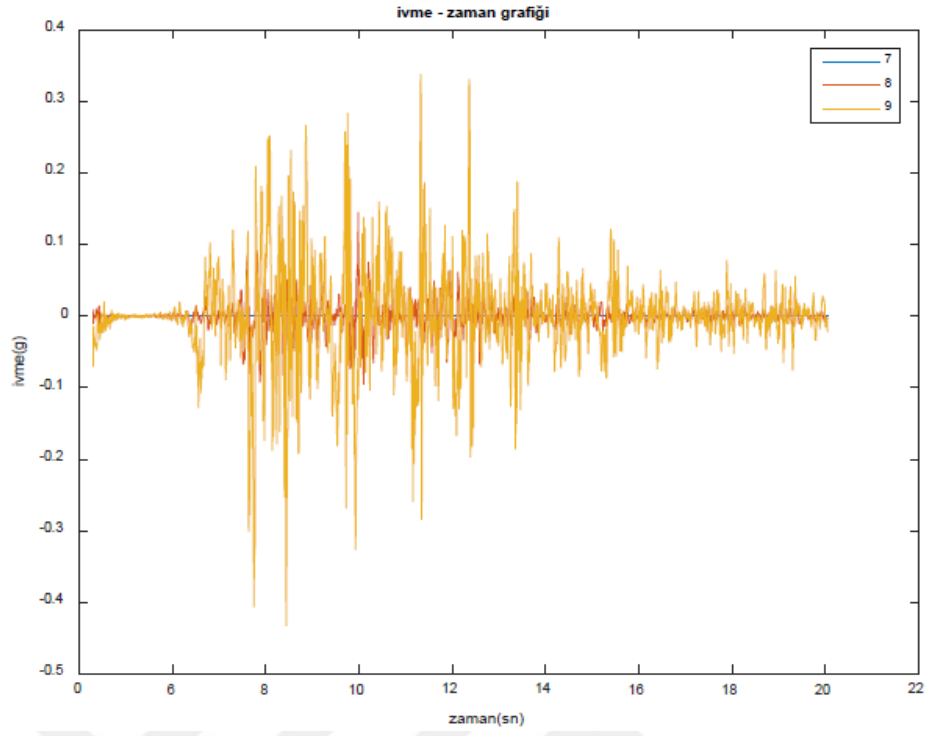
Şekil 6.24. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)



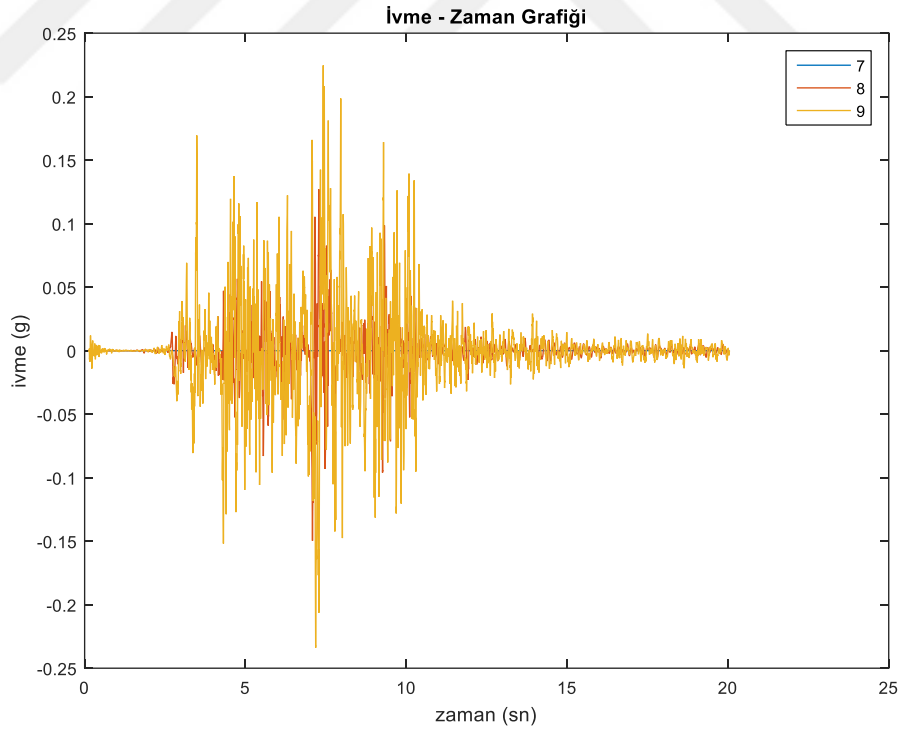
Şekil 6.25. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Şekil 6.24.'de taş kolonsuz zemin için 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.01g, 5 noktasında 0.15g ve 6 noktasında 0.4g'ye yükselmiştir. Buradan anlaşıldığı üzere zemin sınıfının özelliklerine ve deprem verilerine bağlı olarak zemin yüzeyine yaklaşıldıkça ivme değerlerinde büyüme oluşmuştur. Taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonuçlarına göre Şekil 6.25.'de 4 noktası için ölçülen ivme değeri 0.03g, 5 noktasında 0.09g ve 6 noktasında 0.3g'ye yükselmiştir. Taş kolonlu zemin için de yine yüzeye çıkıldıkça ivme değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Genel olarak taş kolonsuz zemin noktalarında ölçülen değerler taş kolonlu noktalara göre daha büyük çıkmışlardır. Taş kolonsuz zeminde 6 noktasında 0.4g olan değer taş kolonluda 0.3g'ye küçülmüştür. Taş kolonun etkisi analiz sonuçlarından görülmüştür.





Şekil 6.26. Kocaeli Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

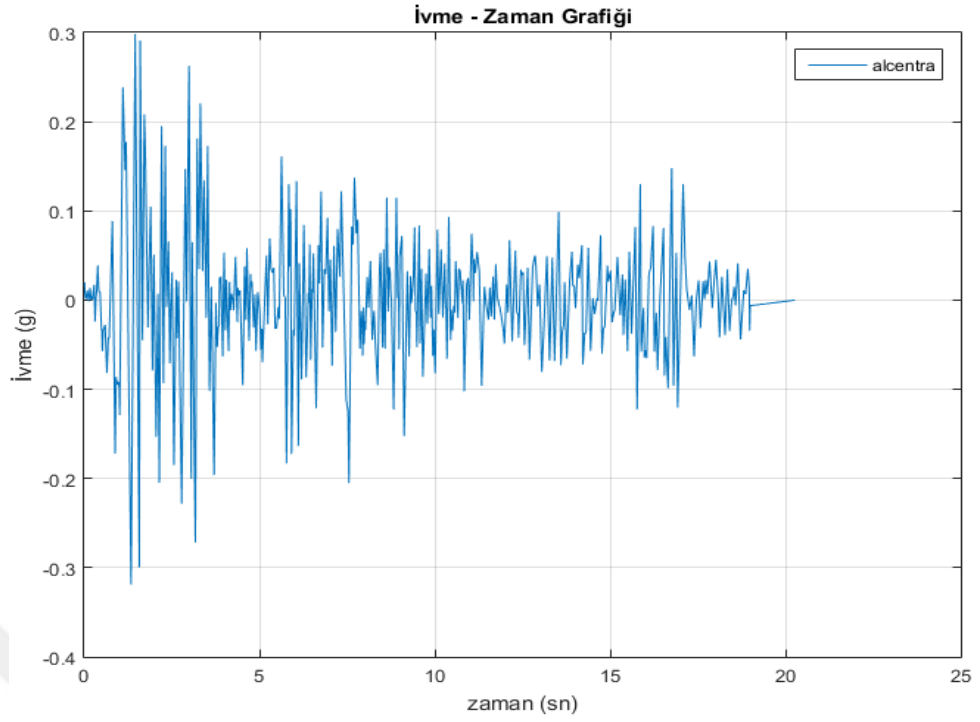


Şekil 6.27. Kocaeli Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

Analizlerden elde edilen aktarım işlevinde, 3 farklı derinlikte ve 9 farklı noktada yapılan analizler incelenmiştir. Zemin tabakasının en alt noktasına etki ettirilen deprem kuvveti sonucu ivme değerlerinin zemin yüzeyine yaklaştıkça büyüdüğü görülmektedir. Bu grafikler y ekseninde yorumlanırken zaman ile etkileşim halindeki pik ivme değerleri en büyük ivme değerlerini belirtmektedir. Şekil 6.26.'da taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.008g, 8 noktasında 0.15g ve 9 noktasında 0.4g'ye yükselmiştir. Buradan anlaşıldığı üzere zemin yüzeyine yaklaşıldıkça değerlerde büyüme oluşmuştur. Bununla beraber Şekil 6.27.'de taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonucu 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.025g, 8 noktasında 0.15g ve 9 noktasında 0.25g okunmuştur. Taş kolonlu zemin için de yine yüzeye çıkıldıkça ivme değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Ancak taş kolonsuz zemin yüzeyinde 9 noktasında 0.4g okunan değer taş kolonlu zeminde 9 noktasında 0.25g okunarak azaldığı görülmüştür. Bu da taş kolonsuz zemindeki büyüme ile taş kolonlu zemindeki büyümeyi karşılaştırdığımız zaman yaklaşık %37 gibi bir iyileşme görülmüştür.

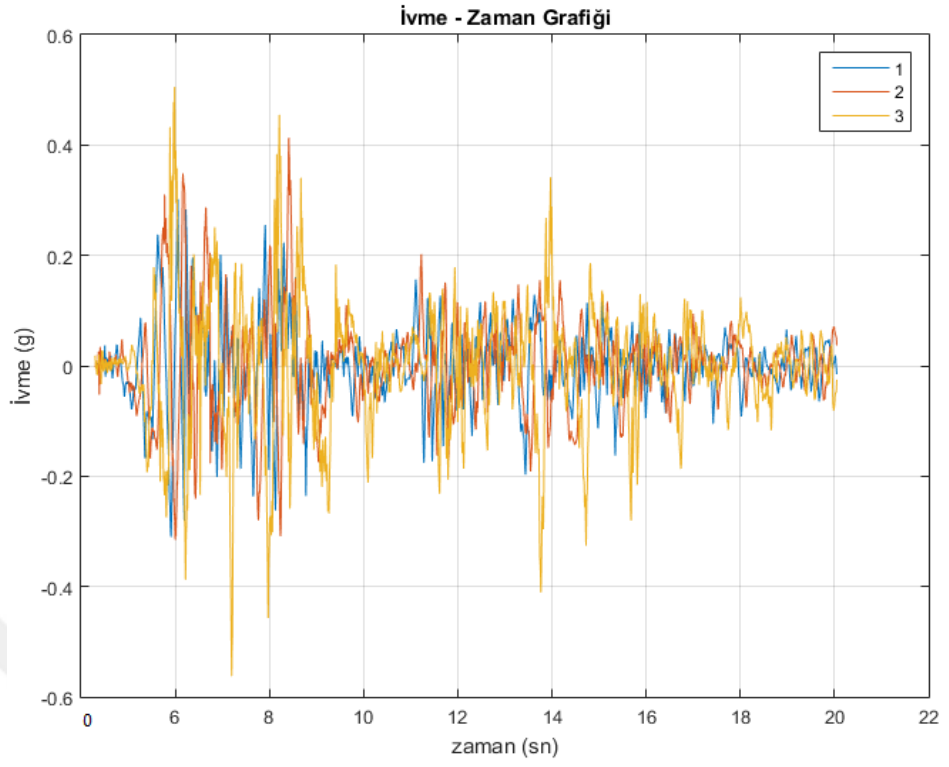
#### **6.2.5. El Centro Depremine göre taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin x eksenini için ivme-zaman grafiği**

1, 4 ve 7 numaralı nokta zeminin tabanında 2, 5 ve 8 numaralı nokta zeminin ortasında 3, 6 ve 9 numaralı nokta zeminin yüzeyinde seçilmiştir. 3 farklı derinlikte 3 farklı noktada yatay ekseninde ivmenin zamana göre değişimi grafikler oluşturularak aşağıda incelenmiştir.

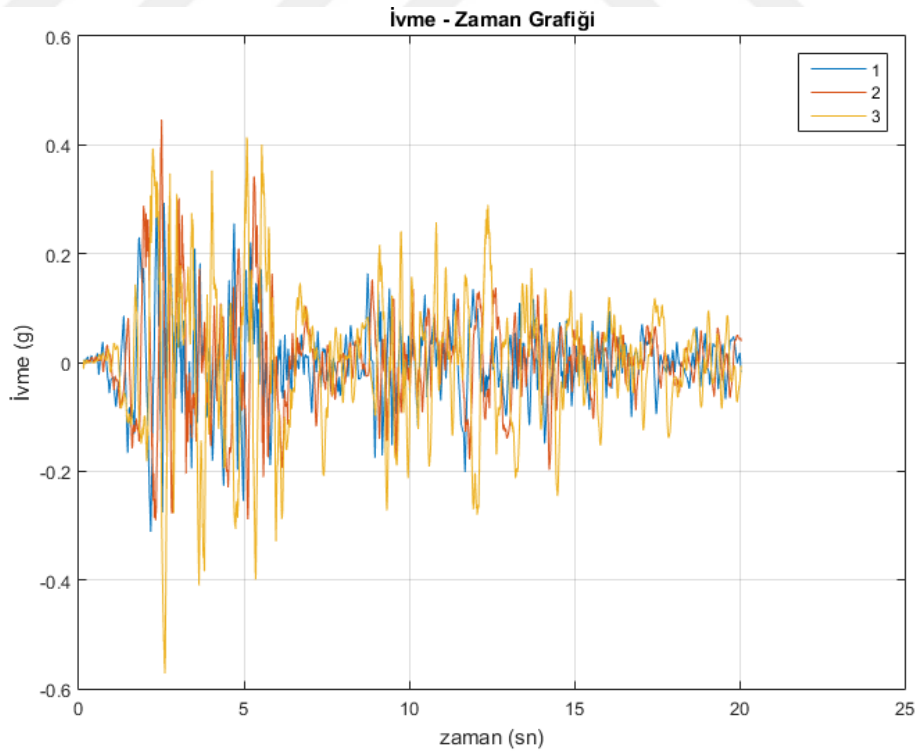


Şekil 6.28. El Centro Depremi ana kayada oluşan ivme-zaman grafiği

Şekil 6.28.'de El Centro Depremi uygulanmış ana kayada ivme-zaman etkileşimi gösterilmiştir. Aşağıdaki analizler El Centro Deprem verileri kullanılarak oluşturulmuş grafiklerdir.

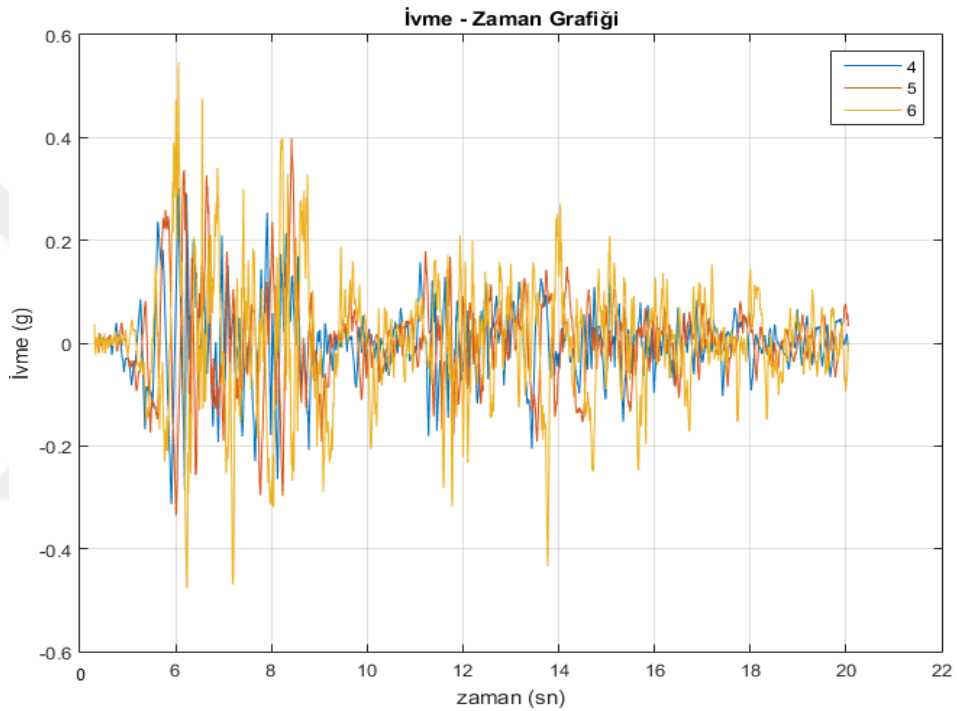


Şekil 6.29. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)



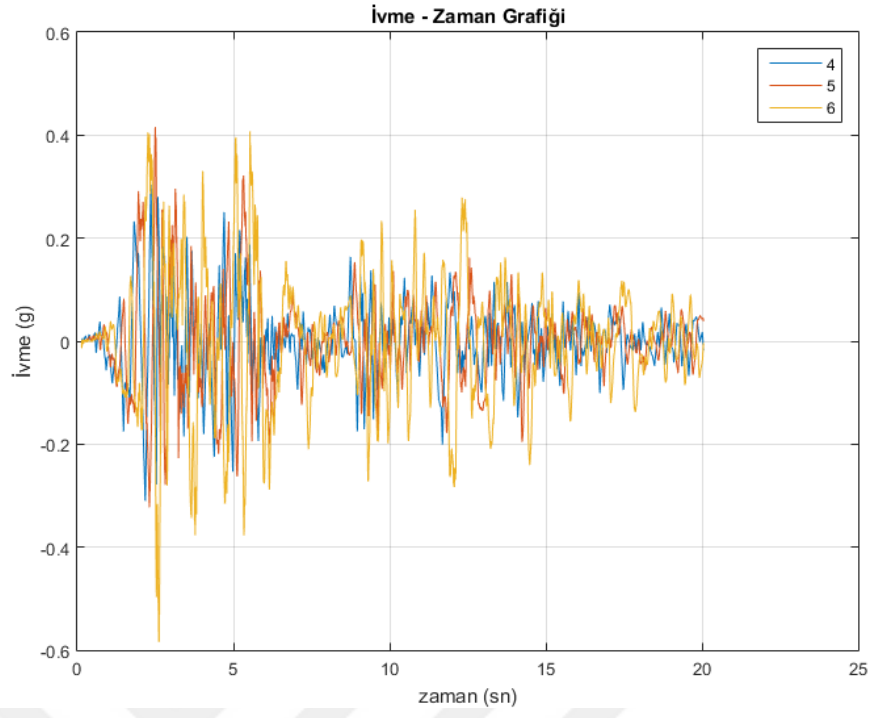
Şekil 6.30. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

Şekil 6.29.'da taş kolonsuz zemin için 1 noktasında ölçülen ivme değeri 0.31g, 2 noktasında 0.41g ve 3 noktasında 0.58g'ye yükselmiştir. Buradan anlaşıldığı üzere zemin sınıfının özelliklerine ve deprem verilerine bağlı olarak zemin yüzeyine yaklaşıldıkça değerlerde büyüme oluşmuştur. Şekil 6.30.'da taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonuçları taş kolonsuz zeminle yaklaşık eşit çıktığı görülmüştür. Taş kolonlu zemin için de yine yüzeye çıkıldıkça ivme değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Ancak taş kolonsuz zemin tabanında 0.31g'den yüzeyde 0.58g'ye yaklaşık %80 bir artış vardır.

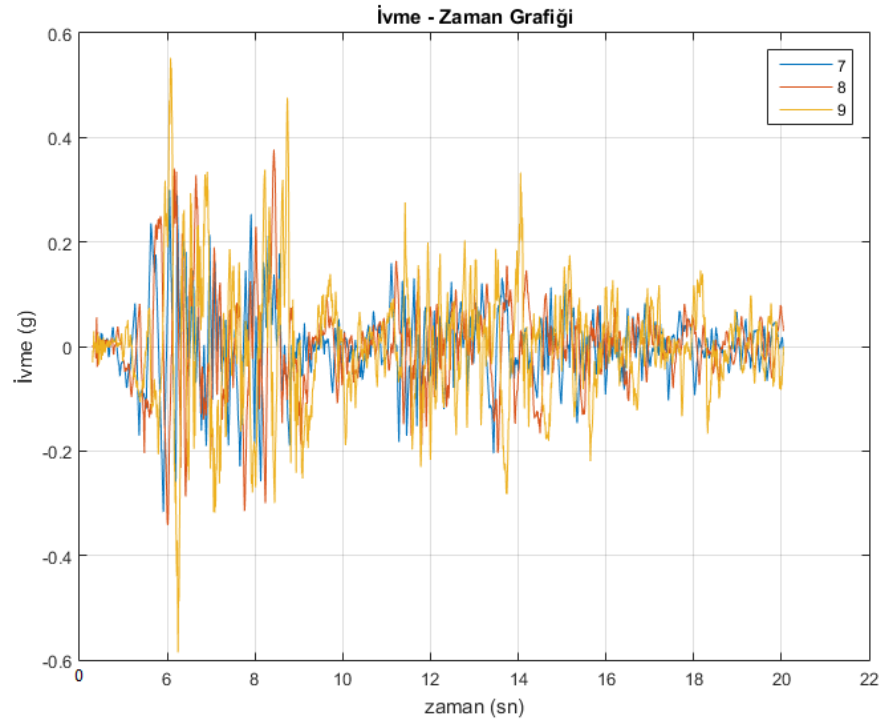


Şekil 6.31. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

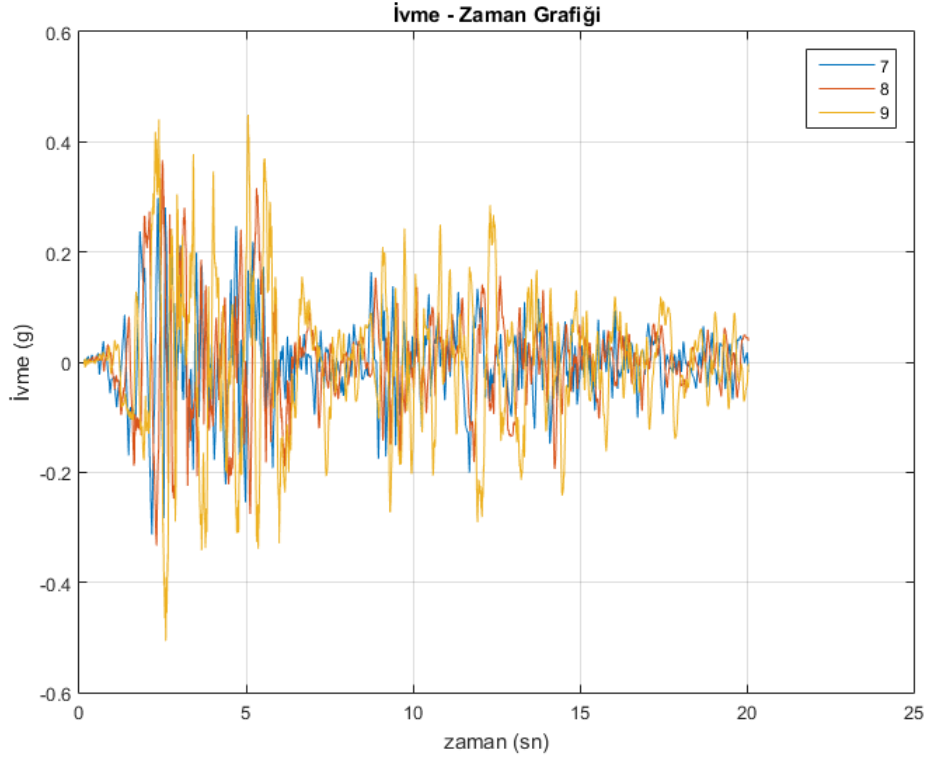
Şekil 6.31.'de taş kolonsuz zemin için 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.31g, 5 noktasında 0.41g ve 6 noktasında 0.58g'ye yükselmiştir. Buradan anlaşıldığı üzere zemin sınıfının özelliklerine ve deprem verilerine bağlı olarak zemin yüzeyine yaklaşıldıkça değerlerde büyüme oluşmuştur. Taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonuçları taş kolonsuz zeminle yaklaşık eşit çıktığı görülmüştür. Şekil 6.32. taş kolonlu zemin için de yine yüzeye çıkıldıkça ivme değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Ancak taş kolonsuz zemin tabanında 0.31g'den yüzeyde 0.58g'ye yaklaşık %80 bir artış vardır.



Şekil 6.32. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)



Şekil 6.33. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

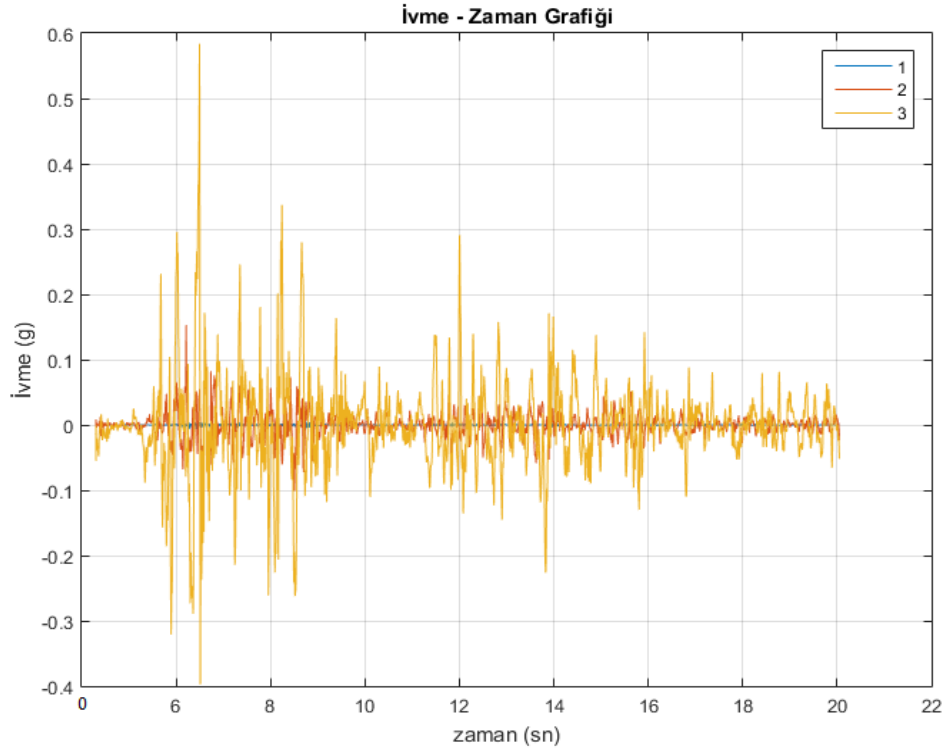


Şekil 6.34.El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

Zemin tabakasının en alt noktasına etki ettirilen deprem kuvveti sonucu ivme değerlerinin zemin yüzeyine yaklaştıkça büyüdüğü görülmektedir. Bu grafikler yorumlanırken zaman ile etkileşim halindeki pik ivme değerleri en büyük ivme değerlerini belirtmektedir. Şekil 6.33.'de taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.31g iken 8 noktasında 0.38g ve 9 noktasında 0.58g'ye yükselmiştir. Buradan anlaşıldığı üzere zemin yüzeyine yaklaşıldıkça değerlerde büyüme oluşmuştur. Şekil 6.34.'de taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonucu 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.31g, 8 noktasında 0.38g ve 9 noktasında 0.5g okunmuştur. Taş kolonlu zemin için de yine yüzeye çıkıldıkça ivme değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Ancak taş kolonsuz zemin yüzeyinde 9 noktasında 0.58g okunan değer taş kolonlu zeminde 9 noktasında 0.5g okunarak azaldığı görülmüştür. Bu da taş kolonsuz zemindeki büyüme ile taş kolonlu zemindeki büyümeyi karşılaştırdığımız zaman yaklaşık %13 gibi bir iyileşme elde edilmiştir. Fakat diğer noktadaki okumalarda kaydadeğer bir değişim gözükmemiştir.

### 6.2.6. El Centro Depremine göre taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin y eksenini için ivme-zaman grafiği

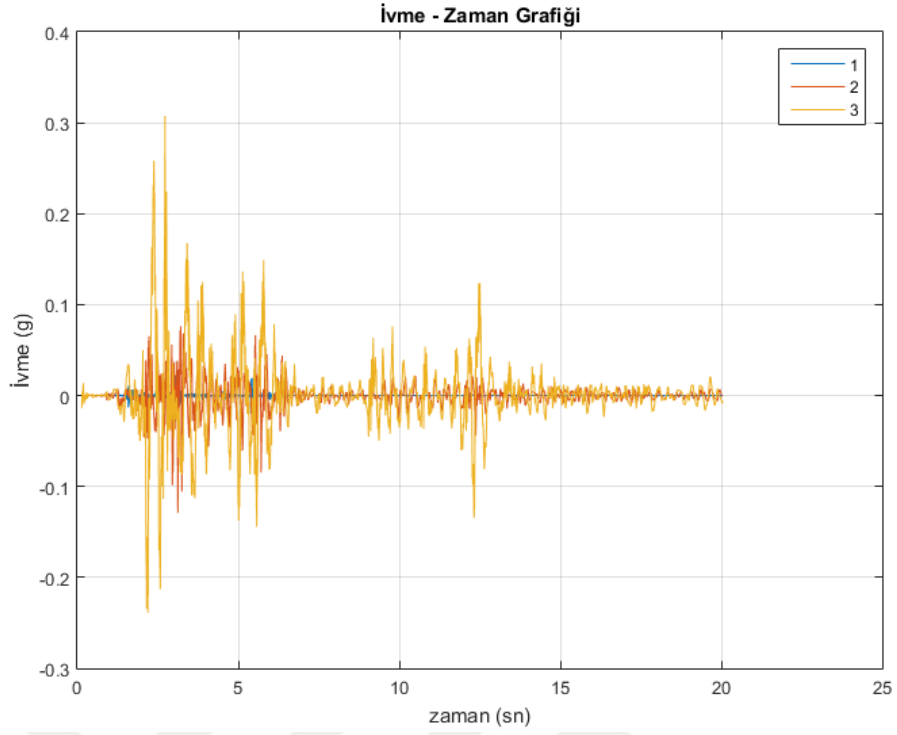
1, 4 ve 7 numaralı nokta zeminin tabanında 2, 5 ve 8 numaralı nokta zeminin ortasında 3, 6 ve 9 numaralı nokta zeminin yüzeyinde seçilmiştir. 3 farklı derinlikte 3 farklı noktada düşey ekseninde ivmenin zamana göre değışimi grafikler oluşturularak aşağıda incelenmiştir.



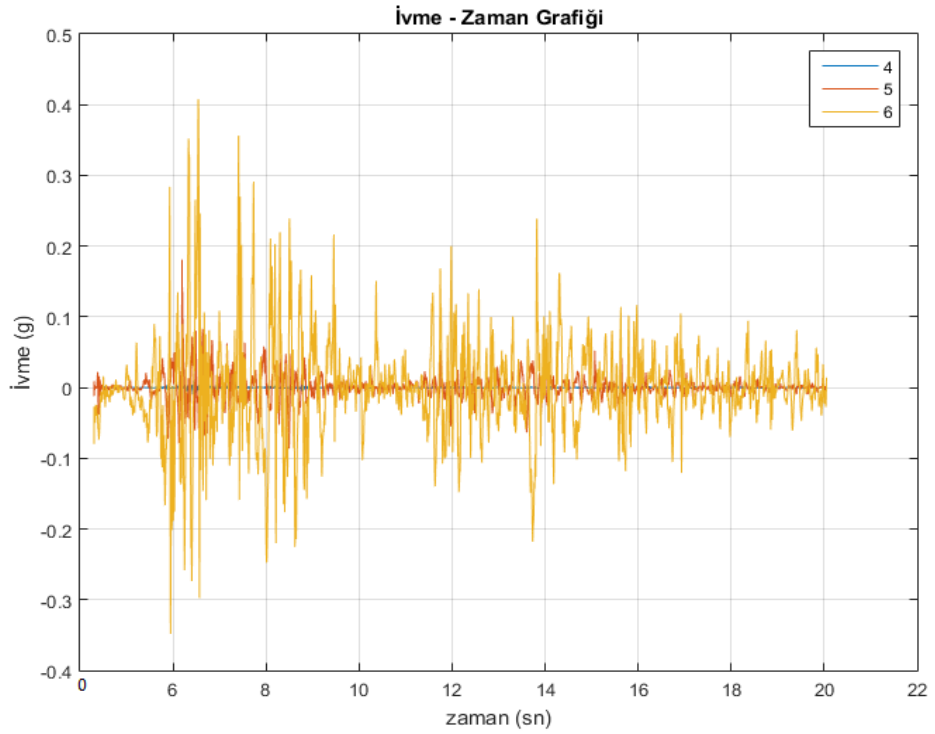
Şekil 6.35. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

Taş kolonsuz zeminde Şekil 6.35. için düşey ekseninde 1 noktasında okunan ivme değeri 0.007g iken 2 noktasında 0.15g ve 3 noktasında 0.6g ölçülmüştür. Tabandan yüzeye çıkıldıkça değerlerde artış görülmüştür. Taş kolonlu zeminde Şekil 6.36. için 1 noktasında 0.03g, 2 noktasında 0.12g ve 3 noktasında 0.3g okunarak yüzeye çıktıkça arttığı görülmüştür.

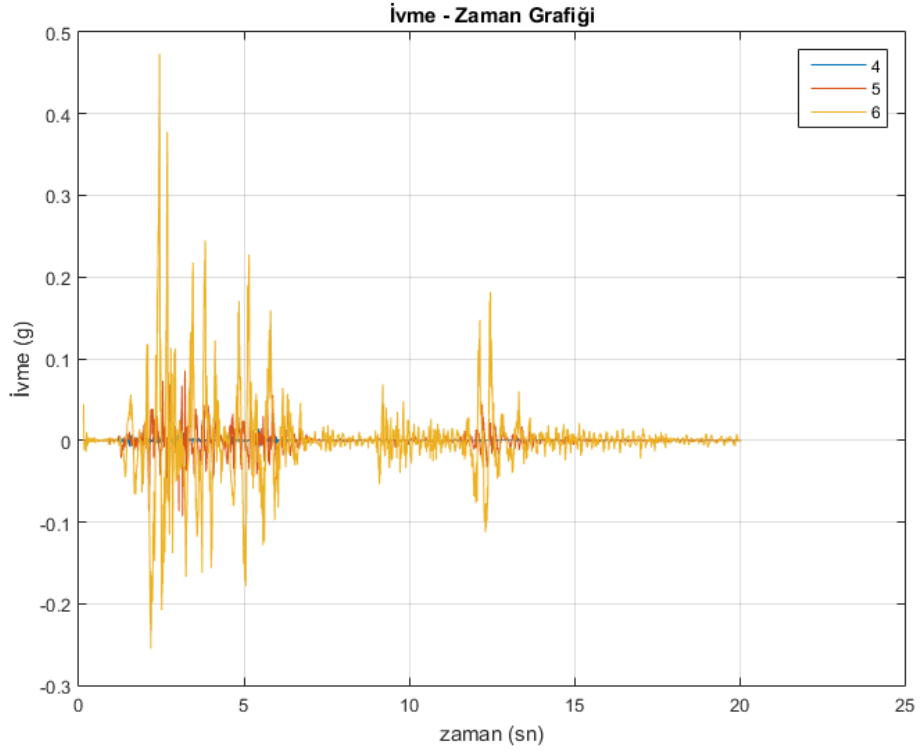




Şekil 6.36.El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

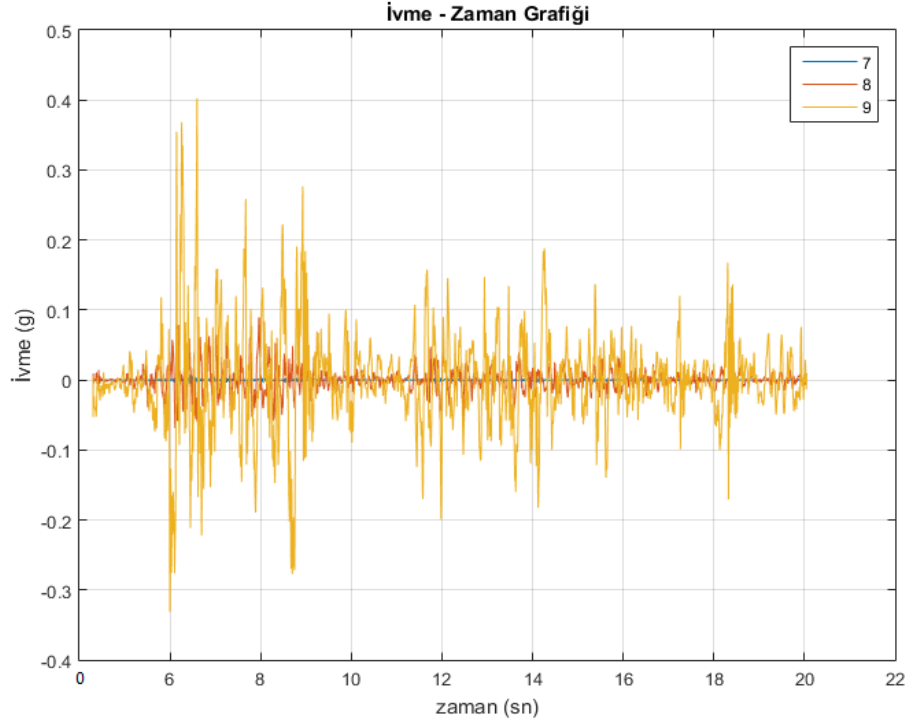


Şekil 6.37. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

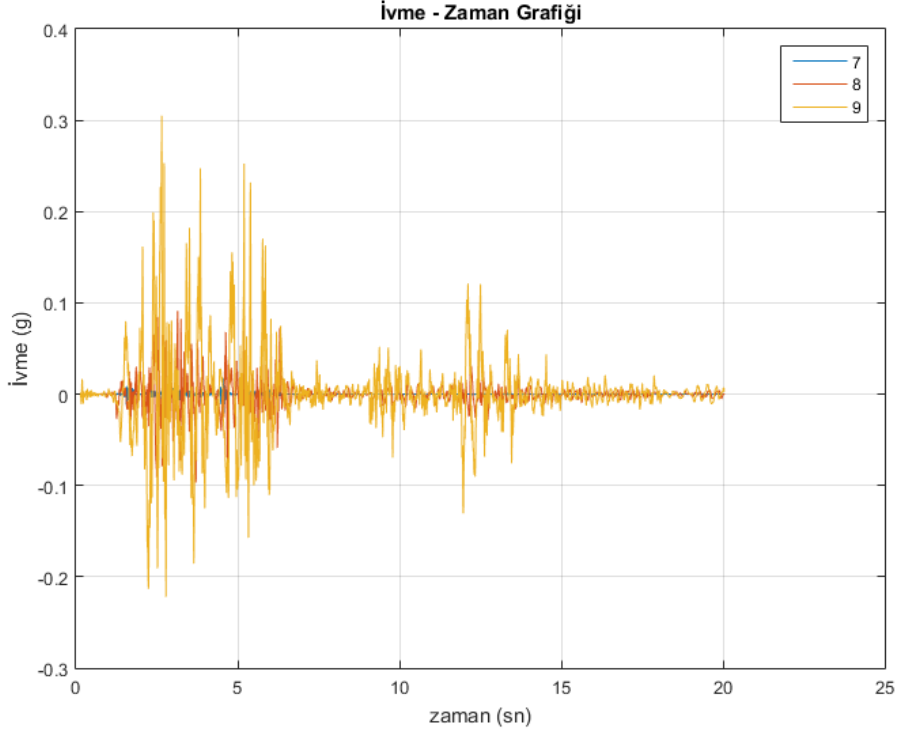


Şekil 6.38.El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'ü ivme-zaman grafiği (Y ekseni için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Şekil 6.37. için taş kolonsuz zeminde 4 noktası için ölçülen ivme değeri 0.009g, 5 noktasında 0.18g ve 6 noktasında 0.4g'ye yükselmiştir. Buradan anlaşıldığı üzere zemin sınıfının özelliklerine ve deprem verilerine bağlı olarak zemin yüzeyine yaklaştıkça değerlerde büyüme oluşmuştur. Şekil 6.38. için taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonuçları 4 noktasında 0.03g, 5 noktasında 0.09g ve 6 noktasında 0.4g çıktığı görülmüştür. Taş kolonlu zemin için de yine yüzeye çıkıldıkça ivme değerlerinde artış olduğu görülmüştür.



Şekil 6.39. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

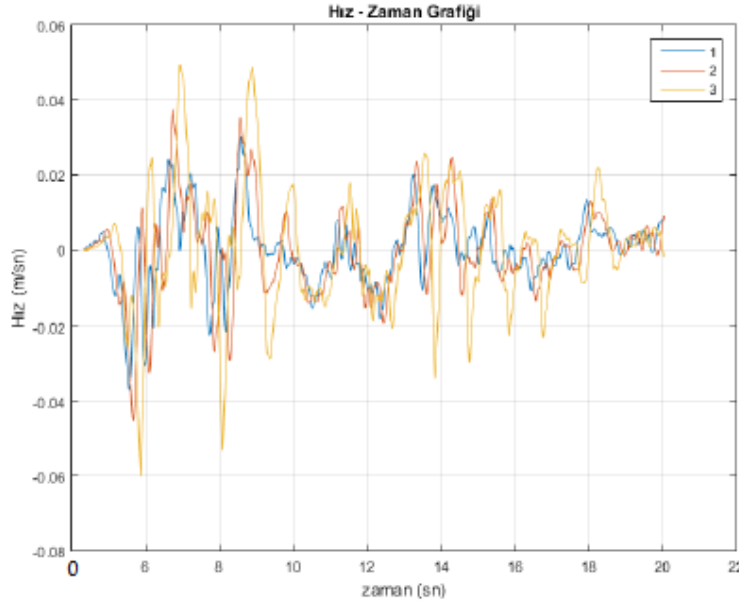


Şekil 6.40. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

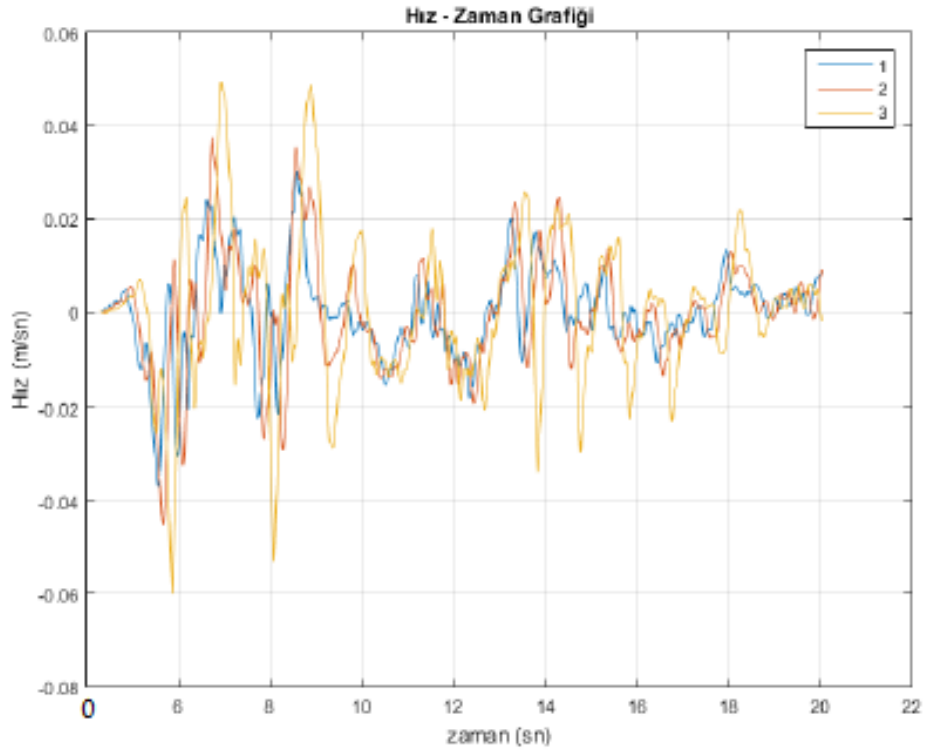
Analizlerden elde edilen aktarım işlevinde, 3 farklı derinlikte ve 9 farklı noktada yapılan analizler incelenmiştir. Zemin tabakasının en alt noktasına etki ettirilen deprem kuvveti sonucu ivme değerlerinin zemin yüzeyine yaklaştıkça büyüdüğü görülmektedir. Bu grafikler y ekseninde yorumlanırken zaman ile etkileşim halindeki pik ivme değerleri en büyük ivme değerlerini belirtmektedir. Şekil 6.39. için taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.008g iken 8 noktasında 0.09g ve 9 noktasında 0.4g'ye yükselmiştir. Buradan anlaşıldığı üzere zemin yüzeyine yaklaşıldıkça değerlerde büyüme oluşmuştur. Şekil 6.40. taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonucu 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.025g iken 8 noktasında 0.09g ve 9 noktasında 0.3g okunmuştur. Taş kolonlu zemin için de yine yüzeye çıkıldıkça ivme değerlerinde artış görülmüştür.

### 6.2.7. El Centro Depremine göre taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin x eksenini için hız-zaman grafiği

1, 4 ve 7 numaralı nokta zeminin tabanında 2, 5 ve 8 numaralı nokta zeminin ortasında 3, 6 ve 9 numaralı nokta zeminin yüzeyinde seçilmiştir. 3 farklı derinlikte 3 farklı noktada yatay ekseninde hızın zamana göre değişimi grafikler oluşturularak aşağıda incelenmiştir.

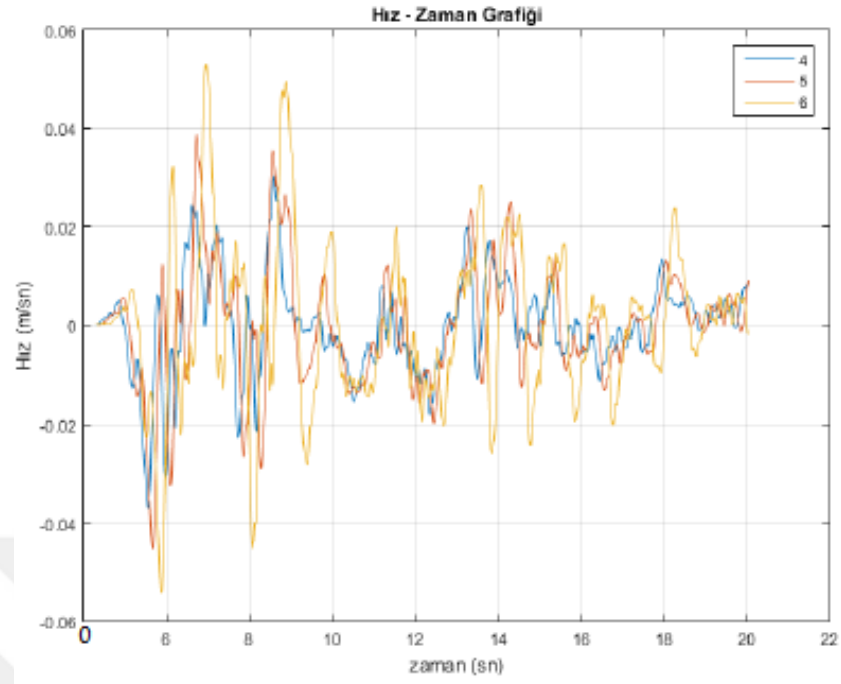


Şekil 6.41. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)



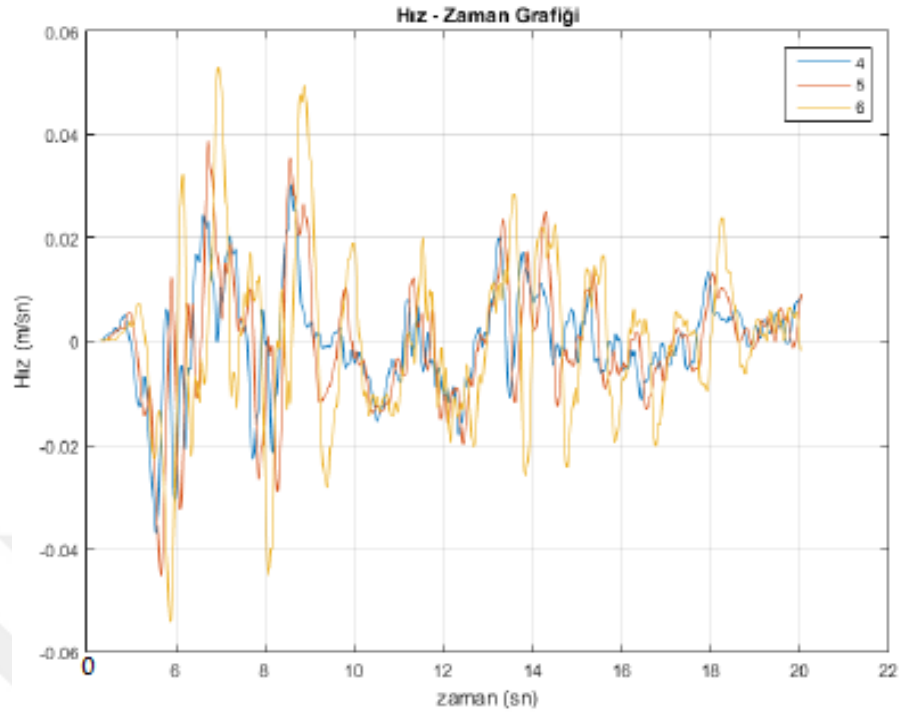
Şekil 6.42. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

Şekil 6.41. taş kolonsuz zeminde 1 noktasında x eksenini için 0.036 m/sn, 2 noktasında 0.045 m/sn, 3 noktasında 0.06 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.42. taş kolonlu zemin için ölçülen değerler, taş kolonsuz zemin ile karşılaştırıldığında yaklaşık eşit çıkmaktadır. Taş kolonlu ve taş kolonsuz zemin için tabandan yüzeye doğru çıkıldıkça değerlerde artış olarak zemin büyütmesi oluşmaktadır.

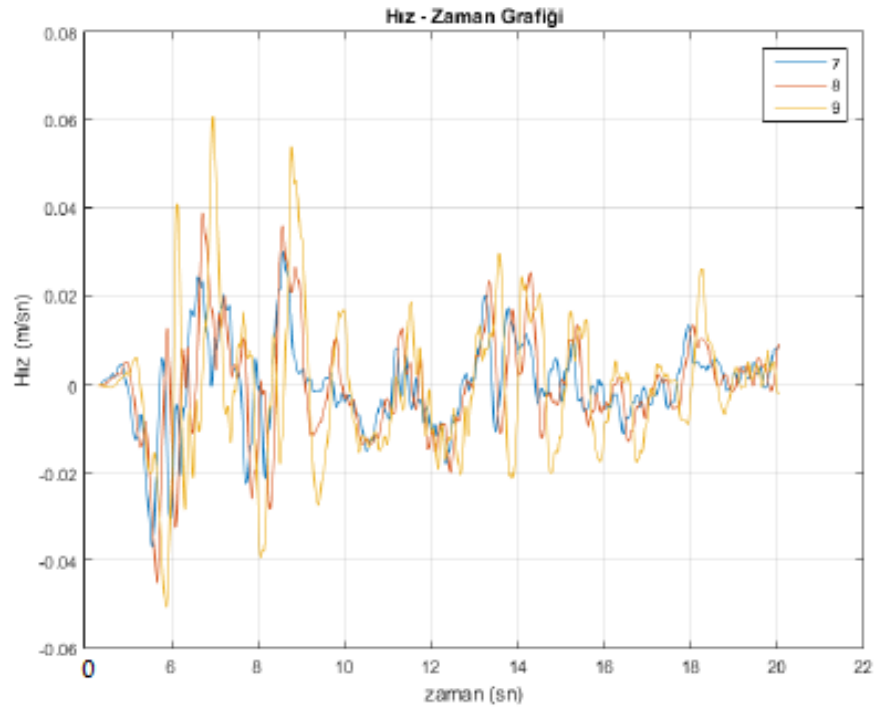


Şekil 6.43. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

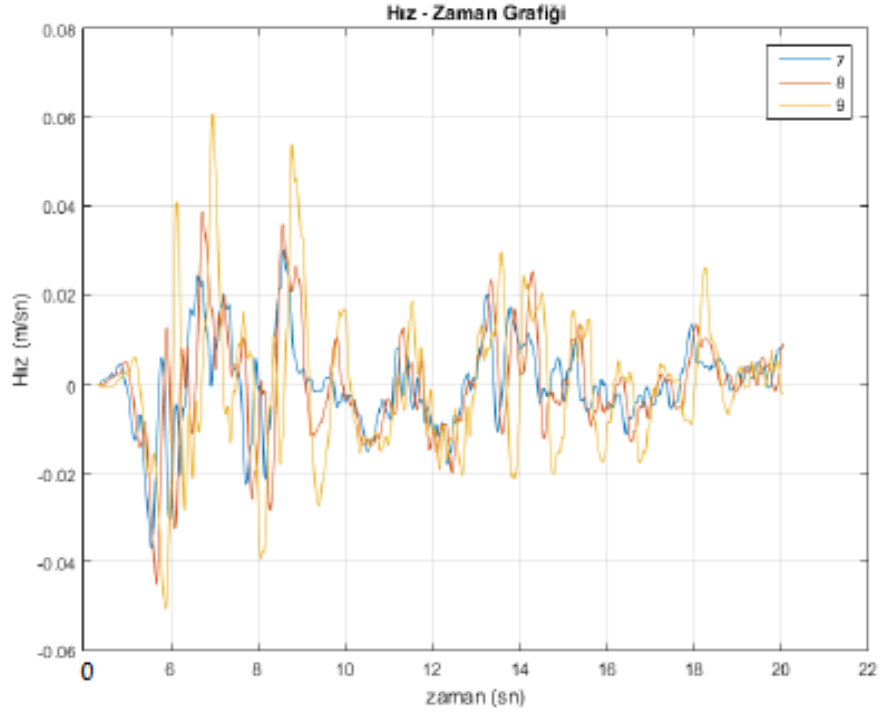
Şekil 6.43. taş kolonsuz zeminde 4 noktasında x eksenini için 0.036 m/sn, 5 noktasında 0.045 m/sn, 6 noktasında 0.052 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.44.'de taş kolonlu zemin için ölçülen değerler, taş kolonsuz zemin ile karşılaştırıldığında yaklaşık eşit çıkmaktadır. Taş kolonlu ve taş kolonsuz zemin için tabandan yüzeye doğru çıkıldıkça değerlerde artış olarak zemin büyütmesi görülmüştür.



Şekil 6.44. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)



Şekil 6.45. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)



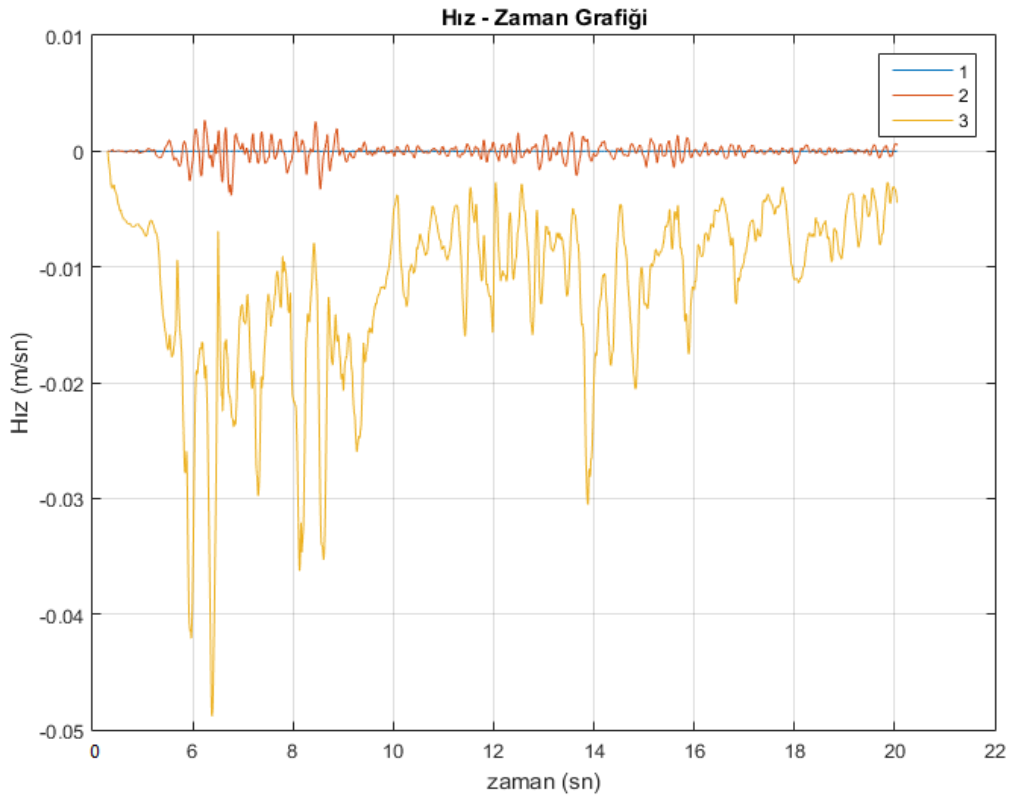
Şekil 6.46. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

Analizlerden elde edilen aktarım işlevinde, 3 farklı derinlikte ve 9 farklı noktada yapılan analizler incelenmiştir. 1, 4 ve 7 numaralı nokta zeminin tabanında 2, 5 ve 8 numaralı nokta zeminin ortasında 3, 6 ve 9 numaralı nokta zeminin yüzeyinde seçilmiştir. Zemin tabakasının en alt noktasına etki ettirilen deprem kuvveti sonucu hız değerlerinin zemin yüzeyine yaklaştıkça büyüdüğü görülmektedir. Bu grafikler yorumlanırken zaman ile etkileşim halindeki pik hız değerleri en büyük hız değerlerini belirtmektedir. Şekil 6.45. taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.036 m/sn iken 8 noktasında 0.045 m/sn ve 9 noktasında 0.06 m/sn okunarak değerlerde yükselme olduğu görülmüştür. Buradan anlaşıldığı üzere zemin yüzeyine yaklaşıldıkça değerlerde büyüme oluşmuştur. Bununla beraber Şekil 6.46. taş kolonlu zeminde yapılan analiz sonuçları ile taş kolonsuz zeminde yapılan analiz sonuçları yaklaşık eşit çıkarak taş kolonun x eksenindeki ivme değişimine bir etkisi olmadığı görülmüştür.



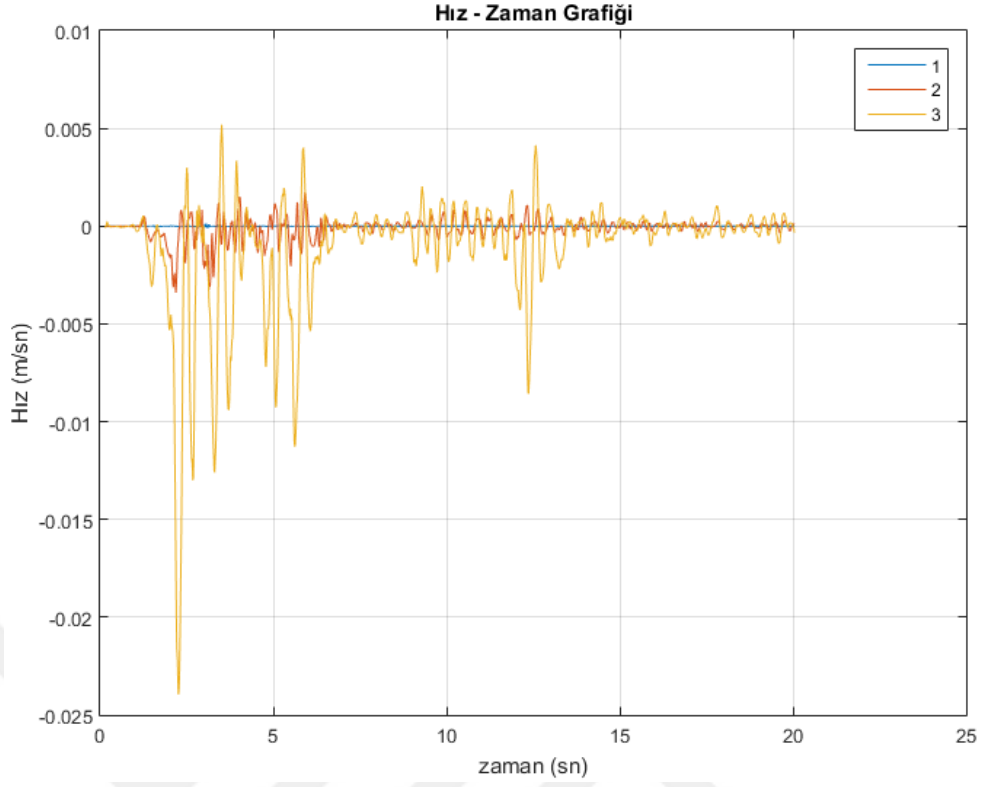
### 6.2.8. El Centro Depremine göre taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminin y eksenine göre hız-zaman grafiği

1, 4 ve 7 numaralı nokta zeminin tabanında 2, 5 ve 8 numaralı nokta zeminin ortasında 3, 6 ve 9 numaralı nokta zeminin yüzeyinde seçilmiştir. 3 farklı derinlikte 3 farklı noktada düşey ekseninde hızın zamana göre değişimi grafikler oluşturularak aşağıda incelenmiştir.



Şekil 6.47. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

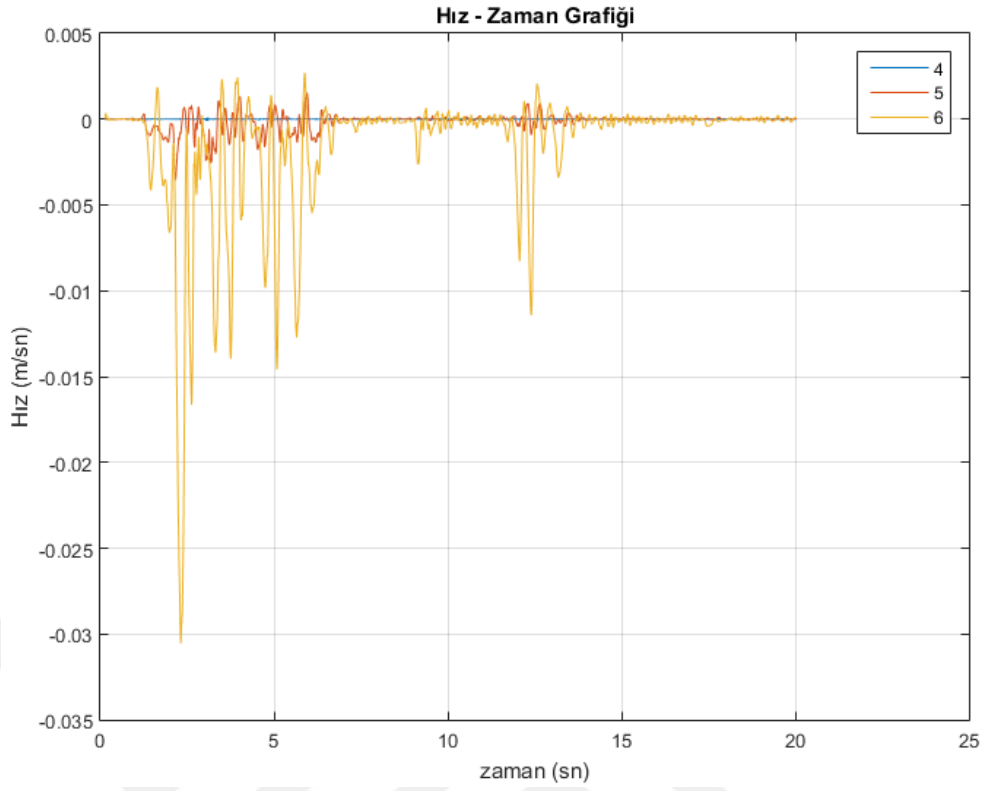
Taş kolonsuz zeminde Şekil 6.47. için düşey ekseninde 1 noktasında okunan ivme değeri 0.00005g iken 2 noktasında 0.004g ve 3 noktasında 0.05g ölçülmüştür. Tabandan yüzeye çıkıldıkça değerlerde artış görülmüştür. Taş kolonlu zeminde Şekil 6.48. için 1 noktasında 0.000013g, 2 noktasında 0.0035g ve 3 noktasında 0.025g okunarak yüzeye çıktıkça arttığı görülmüştür. Zemin büyümesi olduğu görülmüştür.



Şekil 6.48. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

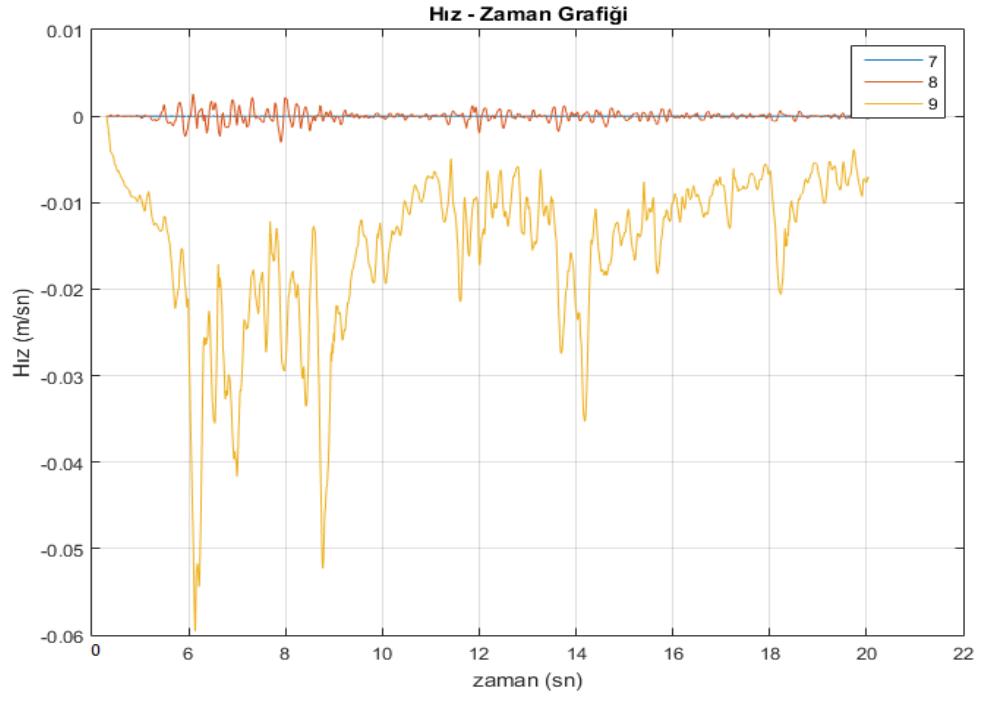


Şekil 6.49. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

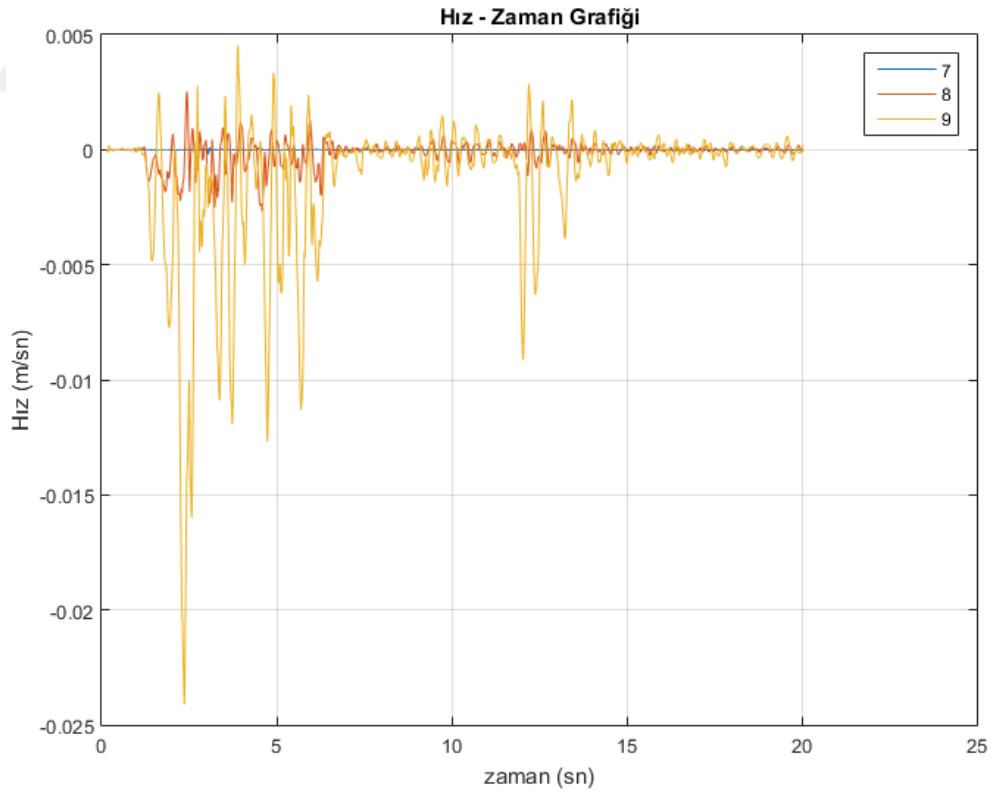


Şekil 6.50. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Taş kolonsuz zeminde Şekil 6.49. için düşey ekseninde 4 noktasında okunan ivme değeri 0.00005g iken 5 noktasında 0.0025g ve 6 noktasında 0.058g ölçülmüştür. Tabandan yüzeye çıkıldıkça değerlerde artış görülmüştür. Taş kolonlu zeminde Şekil 6.50. için 4 noktasında 0.00001g, 5 noktasında 0.0035g ve 6 noktasında 0.03g okunarak yüzeye çıktıkça arttığı görülmüştür.



Şekil 6.51. El Centro Depremi taş kolonsuz zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)



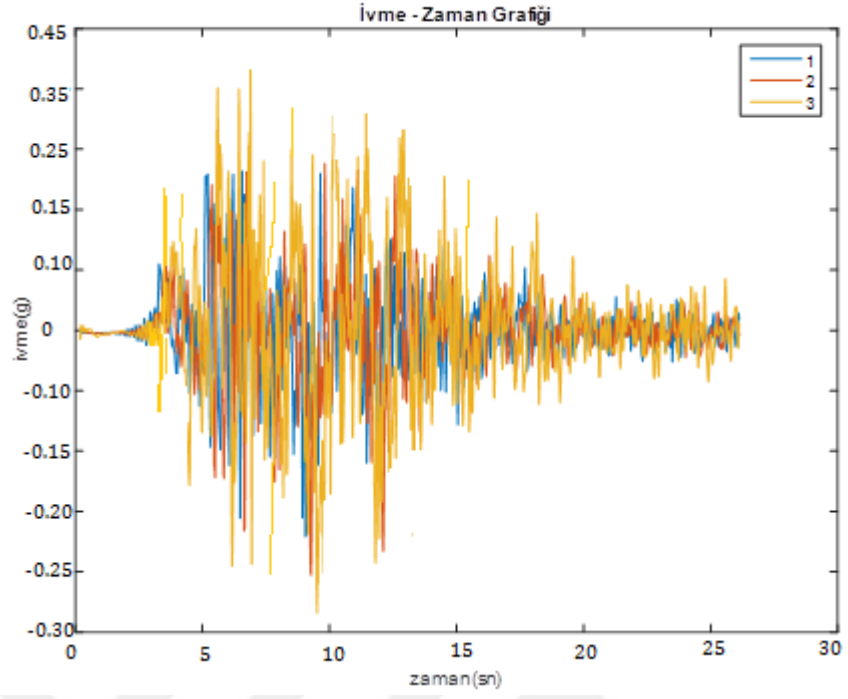
Şekil 6.52. El Centro Depremi 6m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

Analizlerden elde edilen aktarım işlevinde, 3 farklı derinlikte ve 9 farklı noktada yapılan analizler incelenmiştir. 1, 4 ve 7 numaralı nokta zeminin tabanında 2, 5 ve 8 numaralı nokta zeminin ortasında 3, 6 ve 9 numaralı nokta zeminin yüzeyinde seçilmiştir. Zemin tabakasının en alt noktasına etki ettirilen deprem kuvveti sonucu hız değerlerinin zemin yüzeyine yaklaştıkça büyüdüğü görülmektedir. Bu grafikler yorumlanırken zaman ile etkileşim halindeki pik hız değerleri en büyük hız değerlerini belirtmektedir. En belirgin değişim Şekil 6.51.'de taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.00005 m/sn iken 8 noktasında 0.003 m/sn ve 9 noktasında 0.06 m/sn okunarak değerlerde yükselme olduğu görülmüştür. Buradan yapılan çıkarımlara göre zemin yüzeyine yaklaşıldıkça değerlerde büyüme oluşmuştur. Taş kolonlu zeminde Şekil 6.52. için 7 noktasında 0.0002 m/sn okunan değer 8 noktasında 0.0025 m/sn, 9 noktasında 0.025 m/sn okunmuştur. Zemin yüzeyine yaklaşıldıkça değerlerde büyüme oluşmuştur.

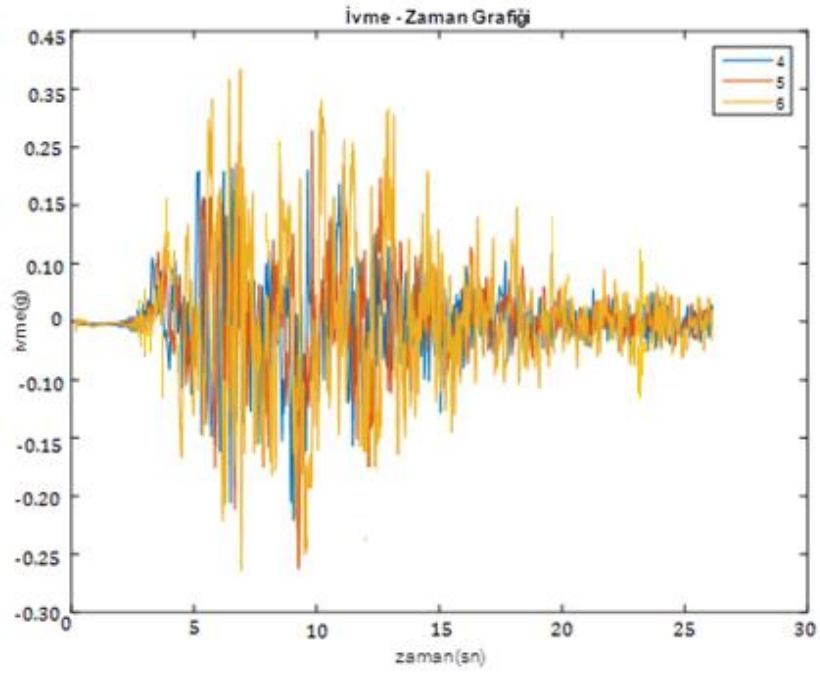
#### **6.2.9. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (10m) arttırılmış zeminin x eksenini için ivme-zaman grafiği**

Model tasarımı yapılırken taş kolon uzunluğu 10m, taş kolon çapı 50cm olarak programa modifiye edilmesi sonuçları grafiklere yansıtılmıştır. Modelde 1999 Marmara depremi kullanılmıştır.

Şekil 6.16.'da taş kolonsuz zemin için 1 noktasında ölçülen ivme değeri 0.33g, 2 noktasında 0.4g ve 3 noktasında 0.5g'ye yükselmiştir. Şekil 6.53.'de 1 noktasında ölçülen ivme değeri 0.22g, 2 noktasında 0.26g ve 3 noktasında ölçülen ivme değeri 0.38g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %24 iyileşme sağlamıştır.



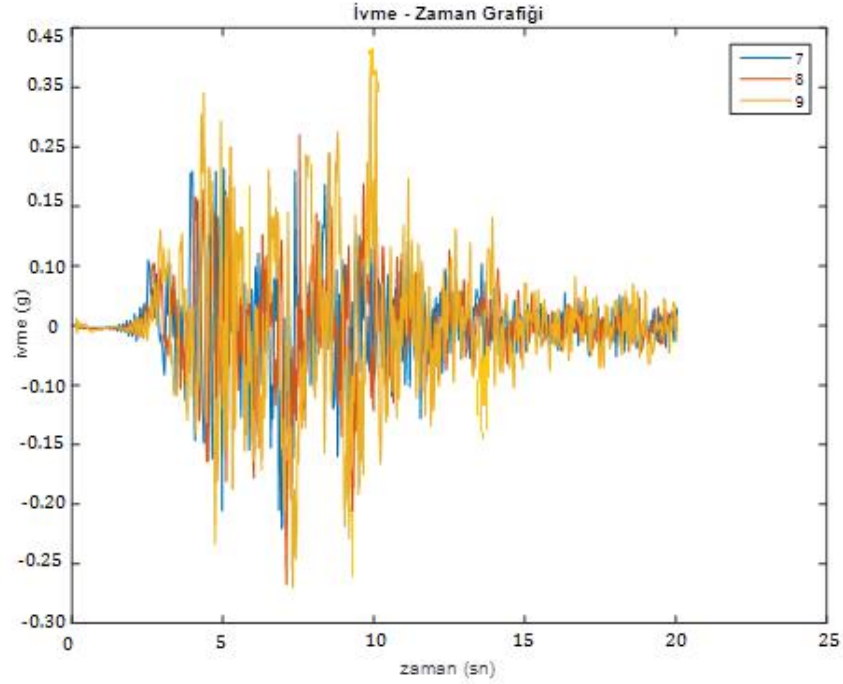
Şekil 6.53.Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)



Şekil 6.54.Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Şekil 6.18.'de taş kolonsuz zemin için 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.33g, 5 noktasında 0.45g ve 6 noktasında 0.5g'ye yükselmiştir. Şekil 6.54.'de 4 noktasında

ölçülen ivme değeri 0.23g, 5 noktasında 0.25g ve 6 noktasında ölçülen ivme değeri 0.40g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %20 iyileşme sağlamıştır.



Şekil 6.55. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

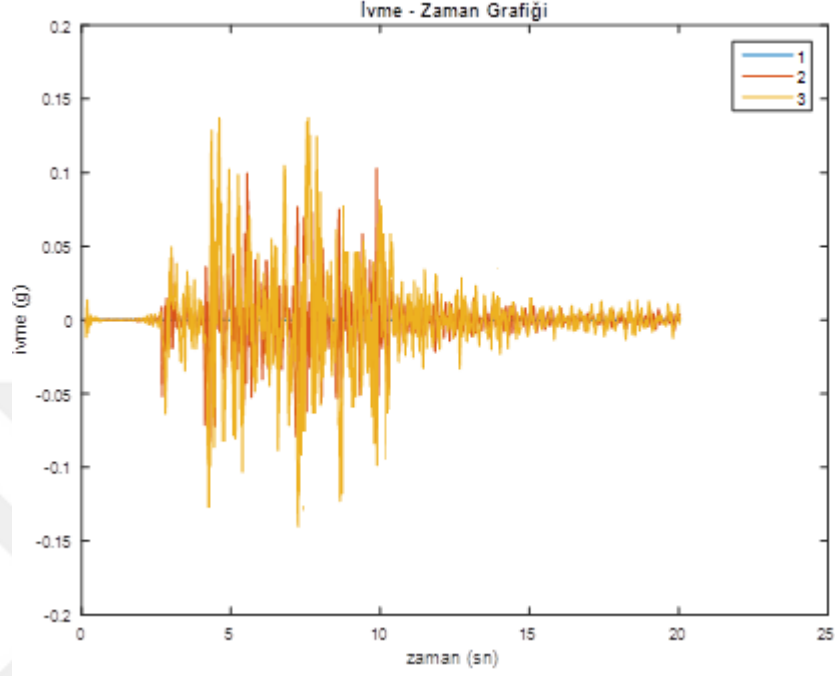
Şekil 6.20.'de taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.33g iken 8 noktasında 0.4g ve 9 noktasında 0.58g'ye yükselmiştir. Şekil 6.55.'de 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.23g, 8 noktasında 0.28g ve 9 noktasında ölçülen ivme değeri 0.43g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %26 iyileşme sağlamıştır.

#### **6.2.10. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu arttırılmış (10m) zeminin y eksenini için ivme-zaman grafiği**

Model tasarımı yapılırken taş kolon uzunluğu 10m, taş kolon çapı 50cm olarak programa modifiye edilmesi sonuçları grafiklere yansıtılmıştır. Modelde 1999 Marmara depremi kullanılmıştır.

Şekil 6.22.'de taş kolonsuz zemin için 1 noktasında ölçülen ivme değeri 0.007g, 2 noktasında 0.15g ve 3 noktasında 0.4g'ye yükselmiştir. Şekil 6.56.'da 1 noktasında

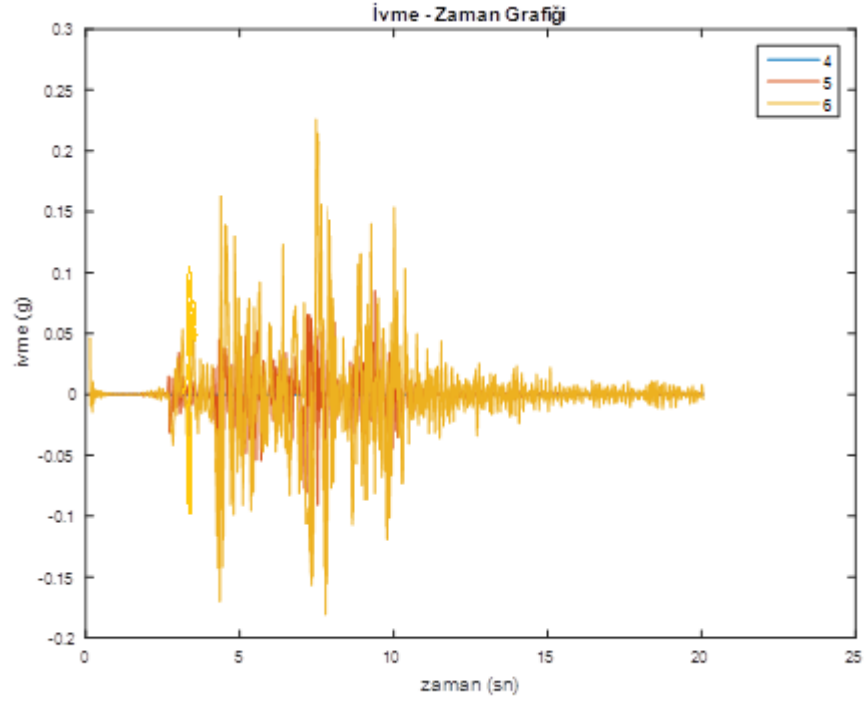
ölçülen ivme değeri 0.004g, 2 noktasında 0.11g ve 3 noktasında ölçülen ivme değeri 0.14g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %65 iyileşme sağlamıştır.



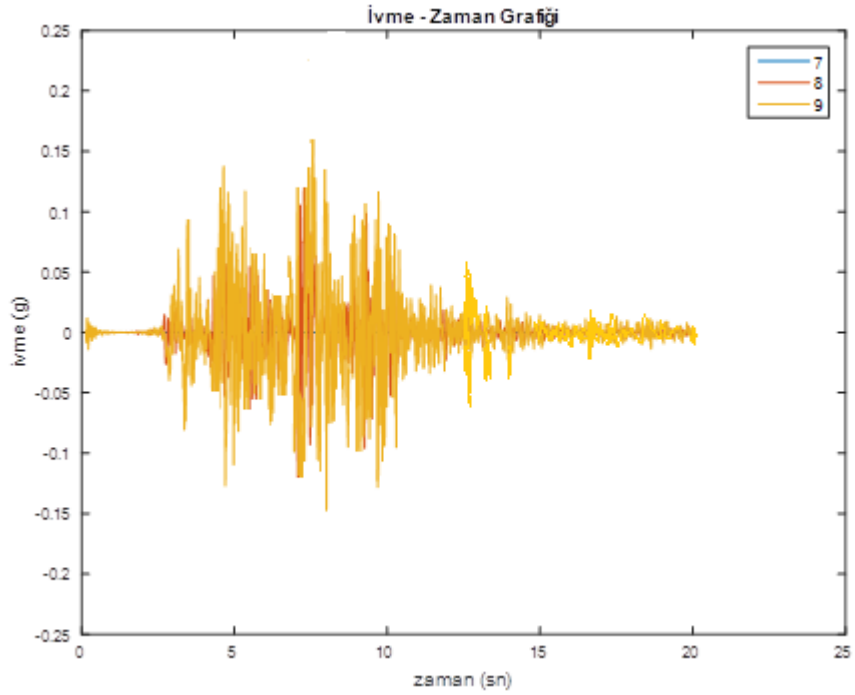
Şekil 6.56. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

Şekil 6.24.'de taş kolonsuz zemin için 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.01g, 5 noktasında 0.15g ve 6 noktasında 0.4g'ye yükselmiştir. Şekil 6.57.'de 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.0025g, 5 noktasında 0.1g ve 6 noktasında ölçülen ivme değeri 0.23g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %42 iyileşme sağlamıştır.





Şekil 6.57. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktaları)



Şekil 6.58. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktaları)

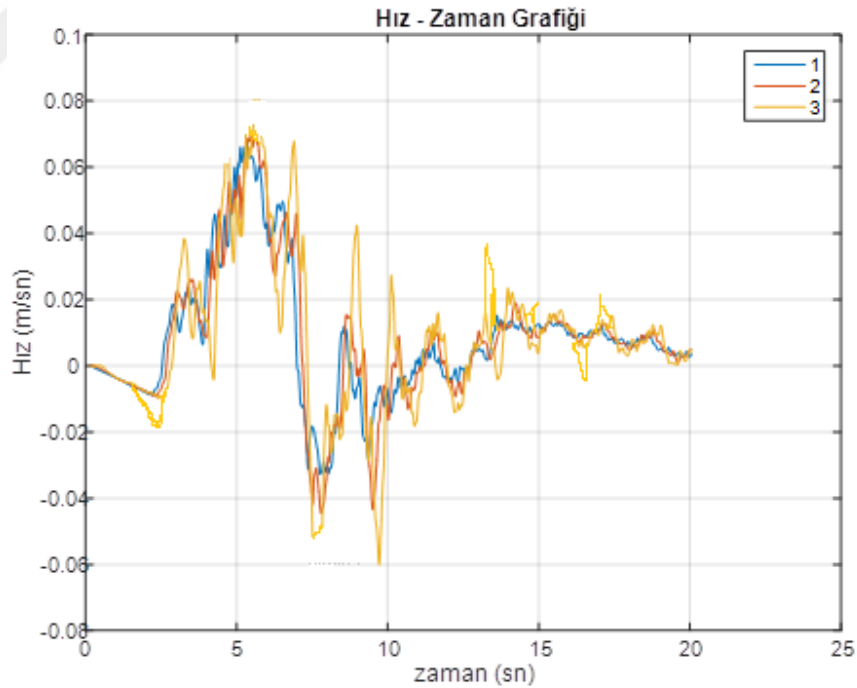
Şekil 6.26.'da taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.008g, 8 noktasında 0.15g ve 9 noktasında 0.4g'ye yükselmiştir. Şekil 6.58.'de 7 noktasında

ölçülen ivme değeri 0.006g, 8 noktasında 0.12g ve 9 noktasında ölçülen ivme değeri 0.16g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %60 iyileşme sağlamıştır.

### 6.2.11. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (10m) arttırılmış zeminin x eksenini için hız-zaman grafiği

Model tasarımı yapılırken taş kolon uzunluğu 10m, taş kolon çapı 50cm olarak programa modifiye edilmesi sonuçları grafiklere yansıtılmıştır. Modelde 1999 Marmara depremi kullanılmıştır.

Şekil 6.4. taş kolonsuz zeminde 1 noktasında x eksenini için 0.068 m/sn, 2 noktasında 0.07 m/sn, 3 noktasında 0.082 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.59.'da taş kolonlu zeminde 1 noktasında ölçülen hız değeri 0.062 m/sn, 2 noktasında 0.068 m/sn ve 3 noktasında ölçülen hız değeri 0.074 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %10 iyileşme sağlamıştır.



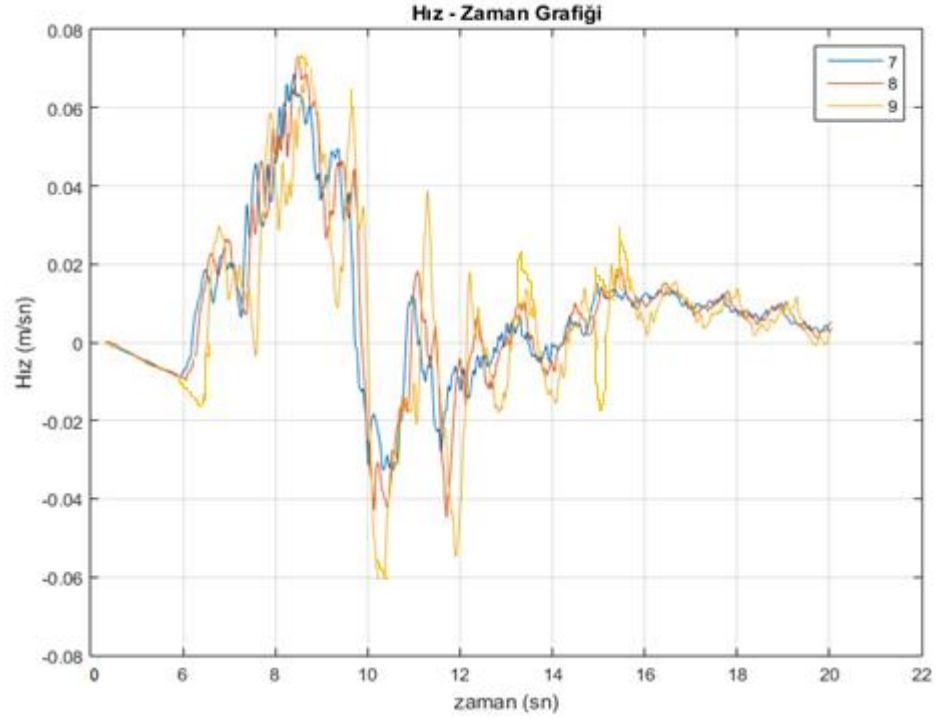
Şekil 6.59. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)



Şekil 6.60. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Şekil 6.6.'da taş kolonsuz zeminde 4 noktasında 0.068 m/sn, 5 noktasında 0.071 m/sn, 6 noktasında 0.082 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.60.'da taş kolonlu zeminde 4 noktasında ölçülen hız değeri 0.066 m/sn, 5 noktasında 0.07 m/sn ve 6 noktasında ölçülen hız değeri 0.077 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %6 iyileşme sağlamıştır.

Şekil 6.8.'de taş kolonsuz zemin için 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.068 m/sn iken 8 noktasında 0.072 m/sn ve 9 noktasında 0.08 m/sn okunarak değerlerde yükselme olduğu görülmüştür. Şekil 6.61.'de taş kolonlu zeminde 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.068 m/sn, 8 noktasında 0.072 m/sn ve 9 noktasında ölçülen hız değeri 0.075 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %6 iyileşme sağlamıştır.

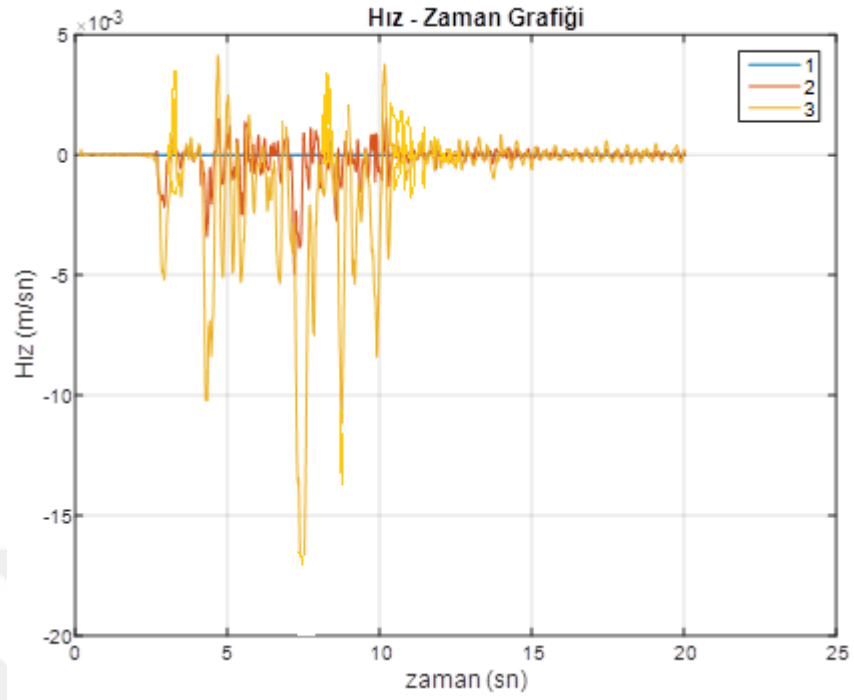


Şekil 6.61. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

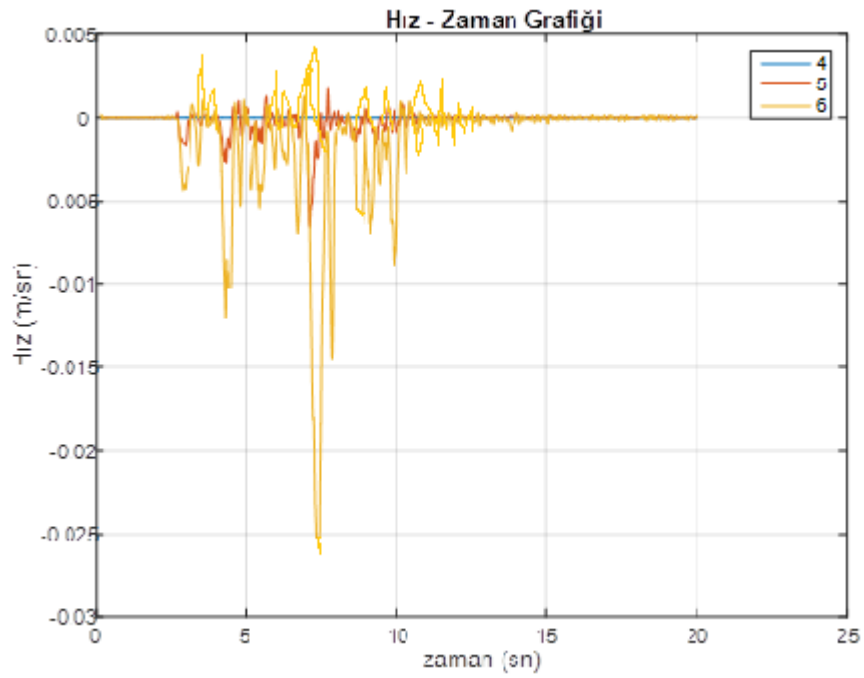
### 6.2.12. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (10m) arttırılmış zeminin y eksenini için hız-zaman grafiği

Model tasarımı yapılırken taş kolon uzunluğu 10m, taş kolon çapı 50cm olarak programa modifiye edilmesi sonuçları grafiklere yansıtılmıştır. Modelde 1999 Marmara depremi kullanılmıştır.

Şekil 6.10. taş kolonsuz zeminde 1 noktasında y eksenini için 0.00005 m/sn, 2 noktasında 0.003 m/sn, 3 noktasında 0.06 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.62.'de taş kolonlu zeminde 1 noktasında ölçülen hız değeri 0.00005 m/sn, 2 noktasında 0.004 m/sn ve 3 noktasında ölçülen hız değeri 0.017 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %70 iyileşme sağlamıştır.



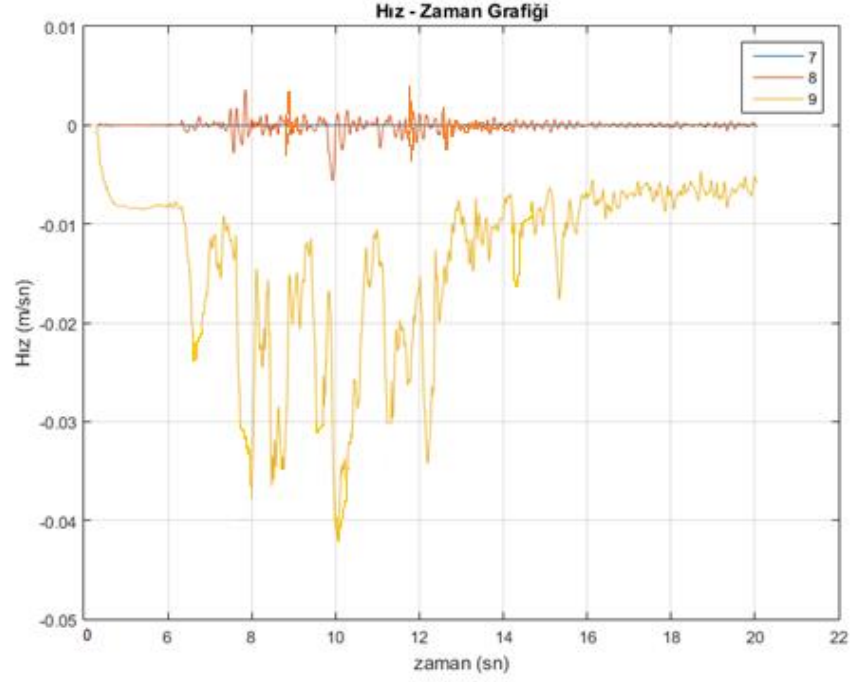
Şekil 6.62. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)



Şekil 6.63. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Şekil 6.12. taş kolonsuz zeminde 4 noktasında y eksenini için 0.00005 m/sn, 5 noktasında 0.005 m/sn, 6 noktasında 0.06 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.63.'de taş kolonlu

zeminde 4 noktasında ölçülen hız değeri 0.00005 m/sn, 5 noktasında 0.007 m/sn ve 6 noktasında ölçülen hız değeri 0.026 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %56 iyileşme sağlamıştır.



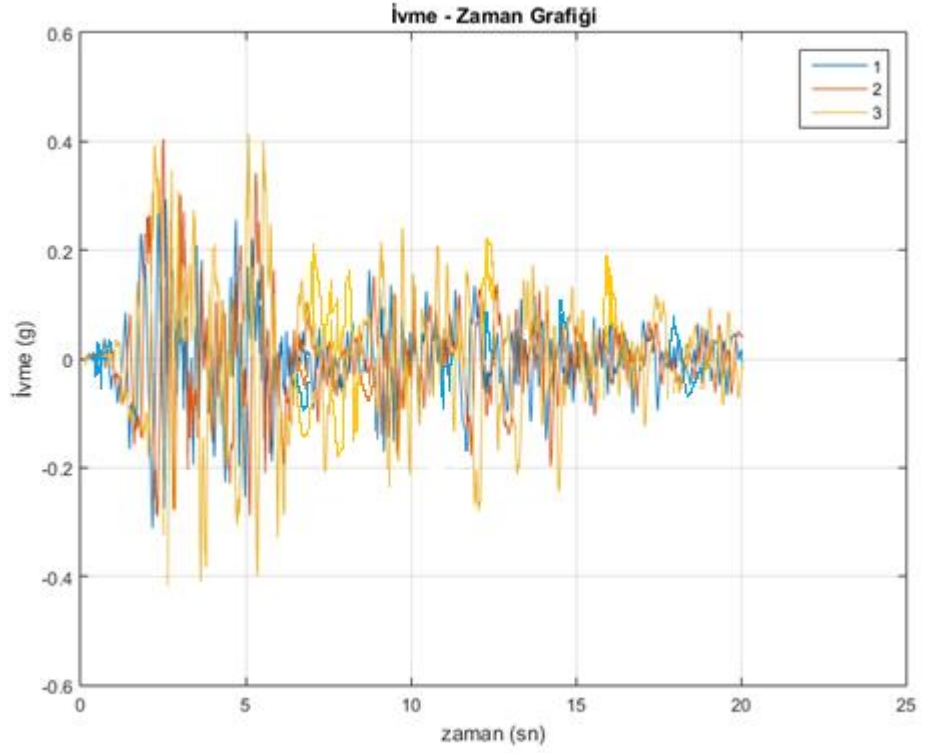
Şekil 6.64. Kocaeli Depremi 10m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

Şekil 6.14.' de taş kolonsuz zemin için 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.0002 m/sn iken 8 noktasında 0.008 m/sn ve 9 noktasında 0.025 m/sn okunarak değerlerde yükselme olduğu görülmüştür. Şekil 6.64.'de taş kolonlu zeminde 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.000035 m/sn, 8 noktasında 0.004 m/sn ve 9 noktasında ölçülen hız değeri 0.042 m/sn'dir.

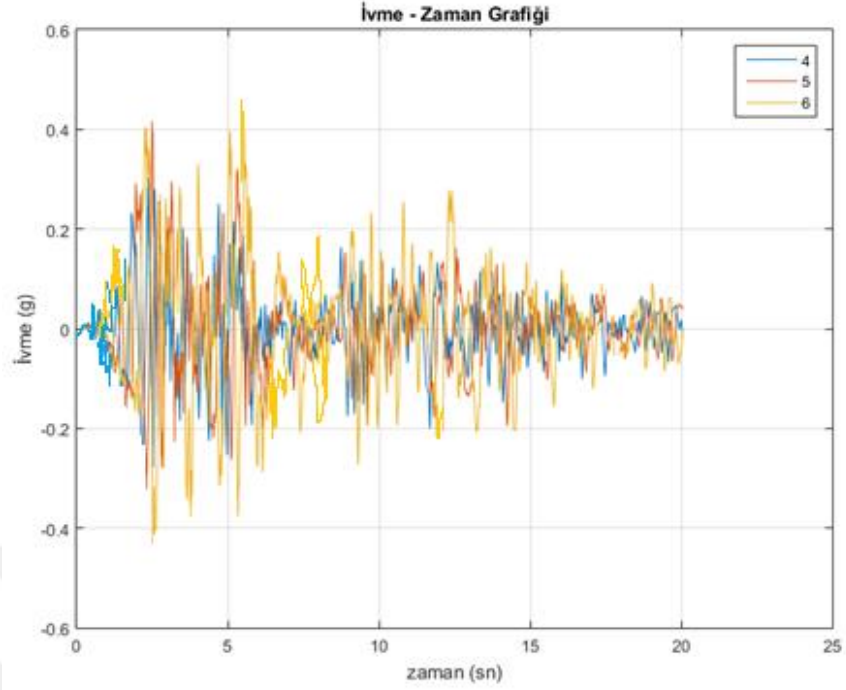
### 6.2.13. El Centro Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin x eksenini için ivme-zaman grafiği

Model tasarımı yapılırken taş kolon uzunluğu 9m, taş kolon çapı 50cm olarak programa modifiye edilmesi sonuçları grafiklere yansıtılmıştır. Modelde El Centro Deprem verileri kullanılmıştır.

Şekil 6.29.'da taş kolonsuz zemin için 1 noktasında ölçülen ivme değeri 0.31g, 2 noktasında 0.41g ve 3 noktasında 0.58g'ye yükselmiştir. Şekil 6.65.'de 1 noktasında ölçülen ivme değeri 0.29g, 2 noktasında 0.4g ve 3 noktasında ölçülen ivme değeri 0.43g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %25 iyileşme sağlamıştır.



Şekil 6.65.El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

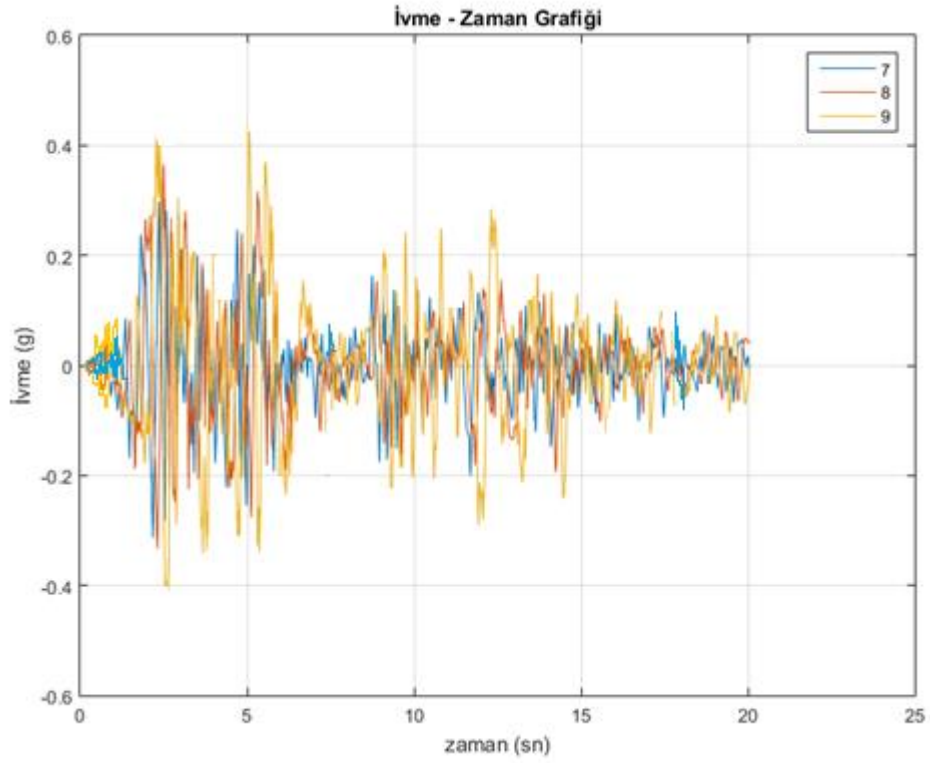


Şekil 6.66.El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Şekil 6.31.'de taş kolonsuz zemin için 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.31g, 5 noktasında 0.41g ve 6 noktasında 0.58g'ye yükselmiştir. Şekil 6.66.'da 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.3g, 5 noktasında 0.41g ve 6 noktasında ölçülen ivme değeri 0.47g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %19 iyileşme sağlamıştır.

Şekil 6.33.'de taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.31g iken 8 noktasında 0.38g ve 9 noktasında 0.58g'ye yükselmiştir. Şekil 6.67.'de 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.3g, 8 noktasında 0.36g ve 9 noktasında ölçülen ivme değeri 0.42g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %27 iyileşme sağlamıştır.



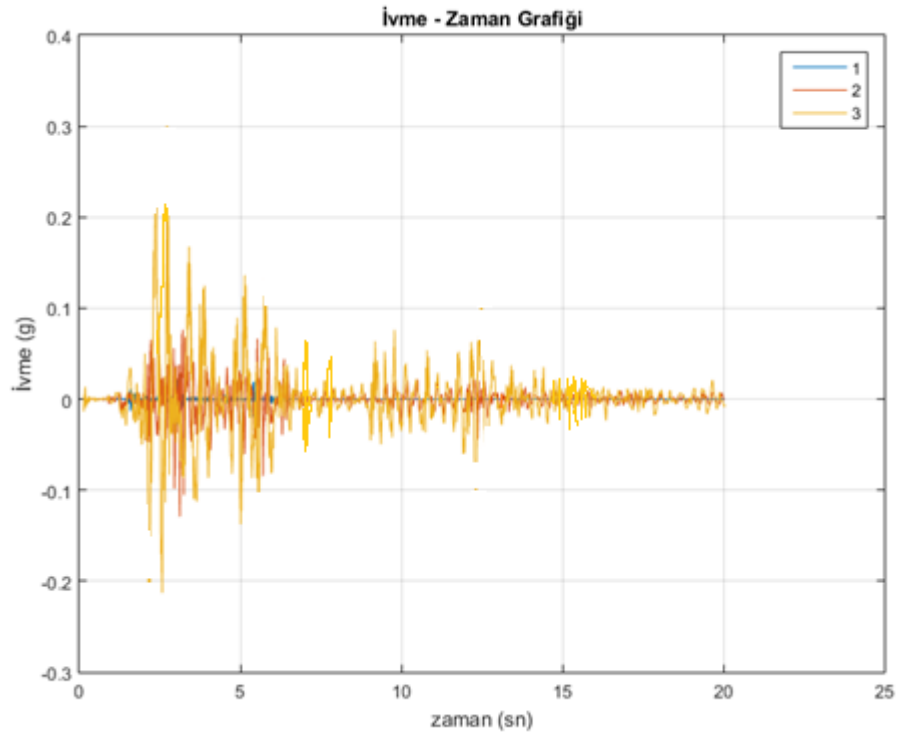


Şekil 6.67.El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

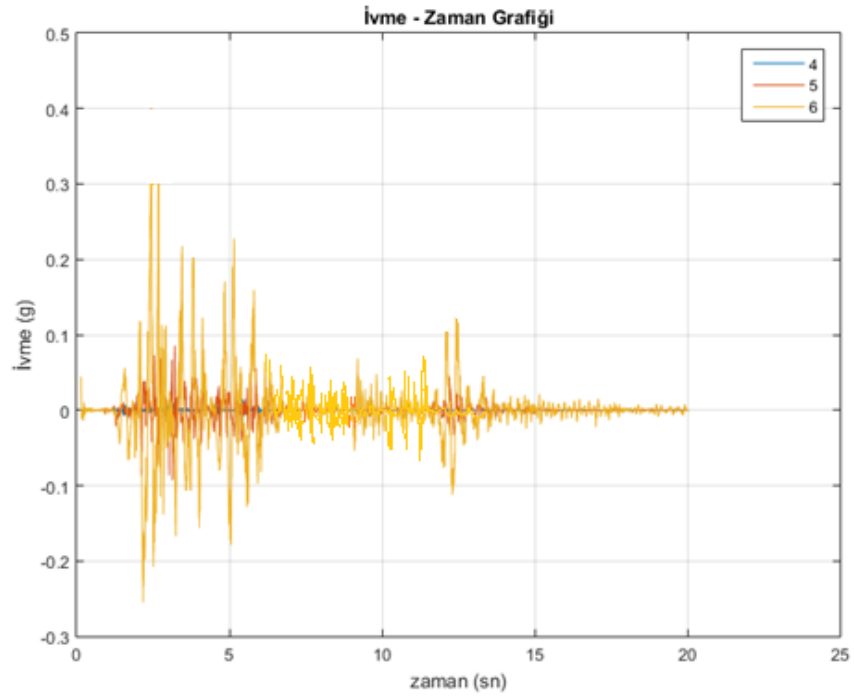
#### 6.2.14. El Centro Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin y eksenini için ivme-zaman grafiği

Model tasarımı yapılırken taş kolon uzunluğu 9m, taş kolon çapı 50cm olarak programa modifiye edilmesi sonuçları grafiklere yansıtılmıştır. Modelde El Centro Deprem verileri kullanılmıştır.

Taş kolonsuz zeminde Şekil 6.35. için düşey ekseninde 1 noktasında okunan ivme değeri 0.007g iken 2 noktasında 0.15g ve 3 noktasında 0.6g ölçülmüştür. Şekil 6.68.'de 1 noktasında ölçülen ivme değeri 0.005g, 2 noktasında 0.13g ve 3 noktasında ölçülen ivme değeri 0.22g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %63 iyileşme sağlamıştır.

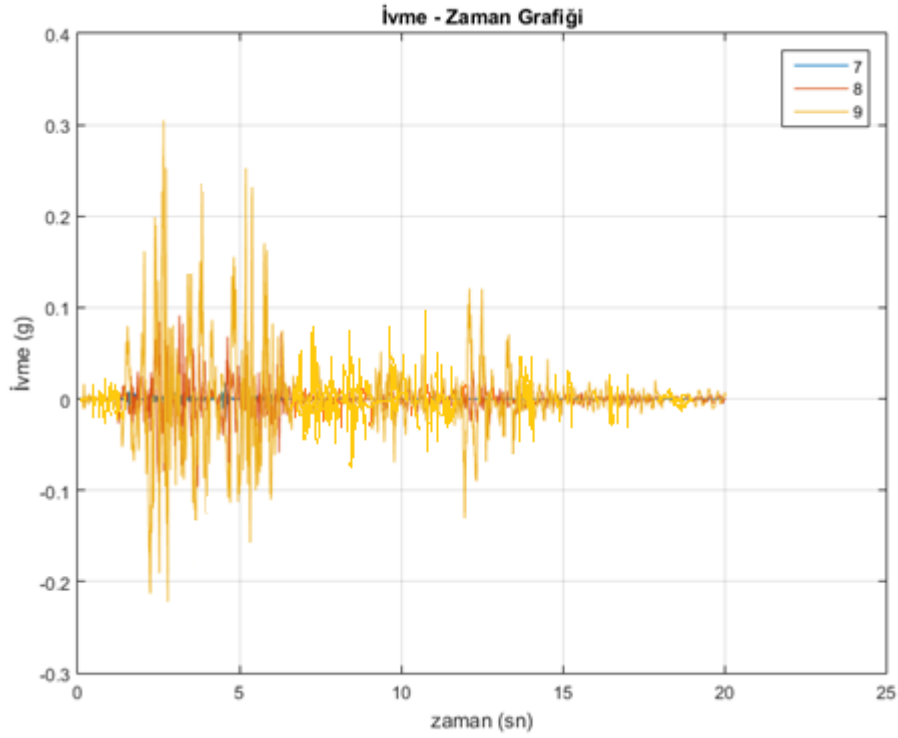


Şekil 6.68.El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)



Şekil 6.69.El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Şekil 6.37. için taş kolonsuz zeminde 4 noktası için ölçülen ivme değeri 0.009g, 5 noktasında 0.18g ve 6 noktasında 0.4g'ye yükselmiştir. Şekil 6.69.'da 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.005g, 5 noktasında 0.1g ve 6 noktasında ölçülen ivme değeri 0.3g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %25 iyileşme sağlamıştır.



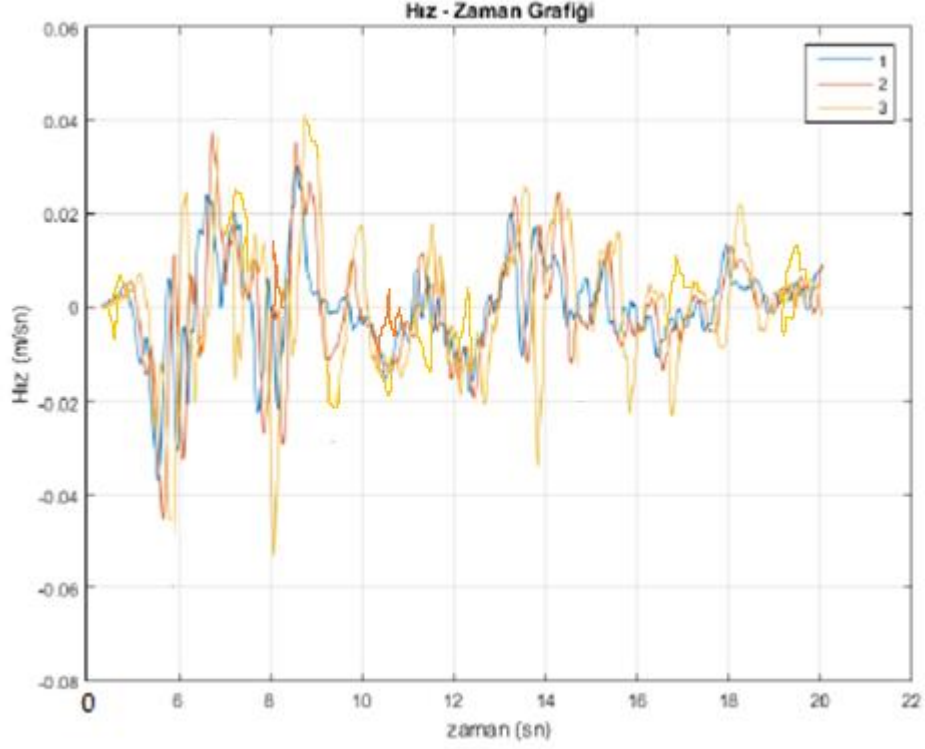
Şekil 6.70. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

Şekil 6.39. için taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.008g iken 8 noktasında 0.09g ve 9 noktasında 0.4g'ye yükselmiştir. Şekil 6.70.'de 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.004g, 5 noktasında 0.08g ve 6 noktasında ölçülen ivme değeri 0.31g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %24 iyileşme sağlamıştır.

#### 6.2.15. El Centro Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin x eksenini için hız-zaman grafiği

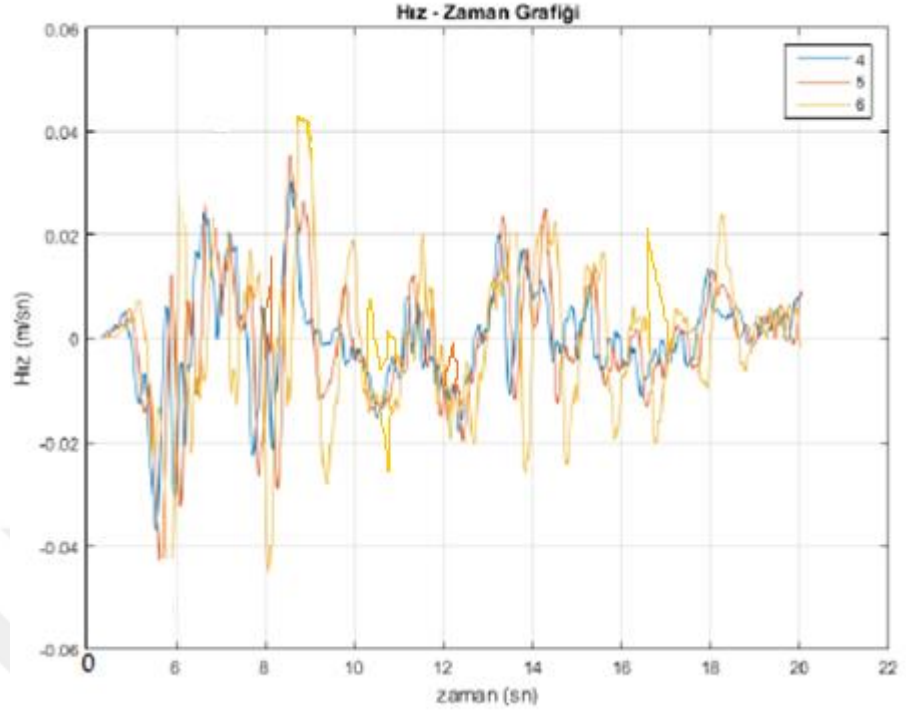
Model tasarımı yapılırken taş kolon uzunluğu 9m, taş kolon çapı 50cm olarak programa modifiye edilmesi sonuçları grafiklere yansıtılmıştır. Modelde El Centro Deprem verileri kullanılmıştır.

Şekil 6.41. taş kolonsuz zeminde 1 noktasında x eksenini için 0.036 m/sn, 2 noktasında 0.045 m/sn, 3 noktasında 0.06 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.71.'de taş kolonlu zeminde 1 noktasında ölçülen hız değeri 0.038 m/sn, 2 noktasında 0.042 m/sn ve 3 noktasında ölçülen hız değeri 0.05 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %16 iyileşme sağlamıştır.

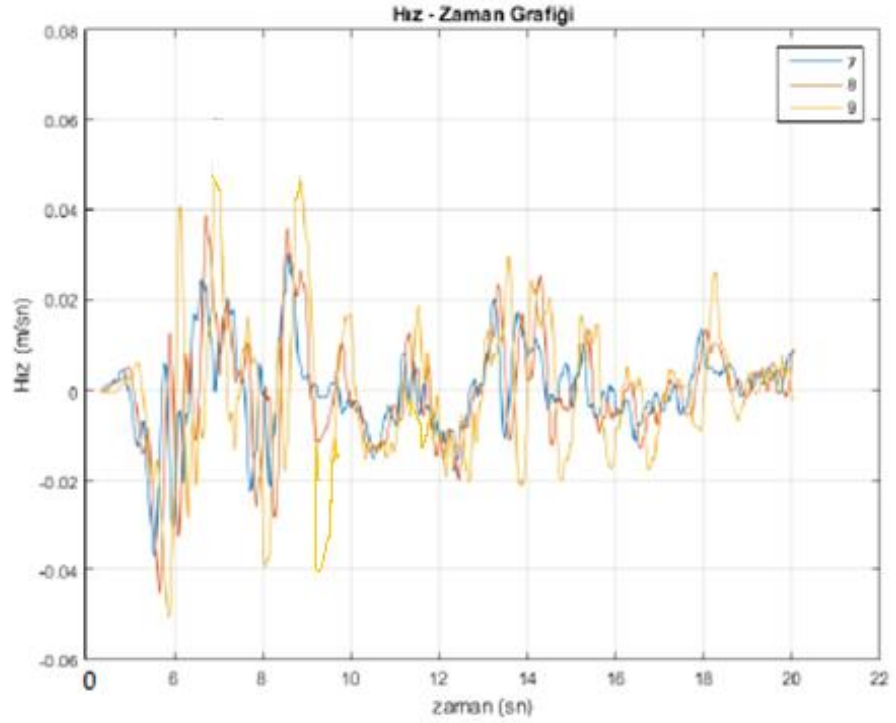


Şekil 6.71.El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

Şekil 6.43. taş kolonsuz zeminde 4 noktasında x eksenini için 0.036 m/sn, 5 noktasında 0.045 m/sn, 6 noktasında 0.052 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.72.'de taş kolonlu zeminde 4 noktasında ölçülen hız değeri 0.038 m/sn, 5 noktasında 0.042 m/sn ve 6 noktasında ölçülen hız değeri 0.05 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %3 iyileşme sağlamıştır.



Şekil 6.72.El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)



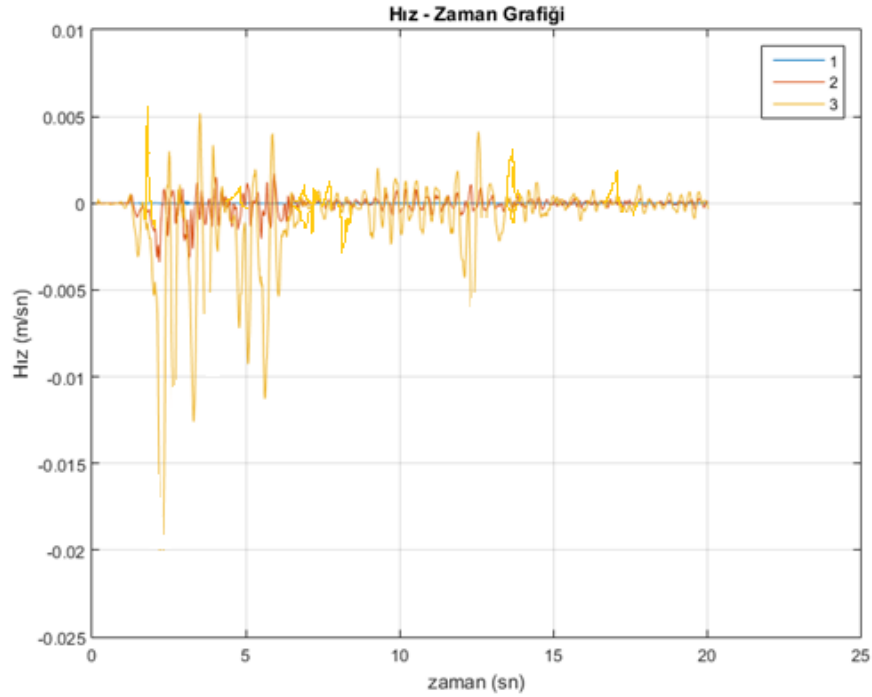
Şekil 6.73. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

Şekil 6.45. taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.036 m/sn iken 8 noktasında 0.045 m/sn ve 9 noktasında 0.06 m/sn okunarak değerlerde yükselme olduğu görülmüştür. Şekil 6.73.'de taş kolonlu zeminde 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.036 m/sn, 8 noktasında 0.044 m/sn ve 9 noktasında ölçülen hız değeri 0.049 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %19 iyileşme sağlamıştır.

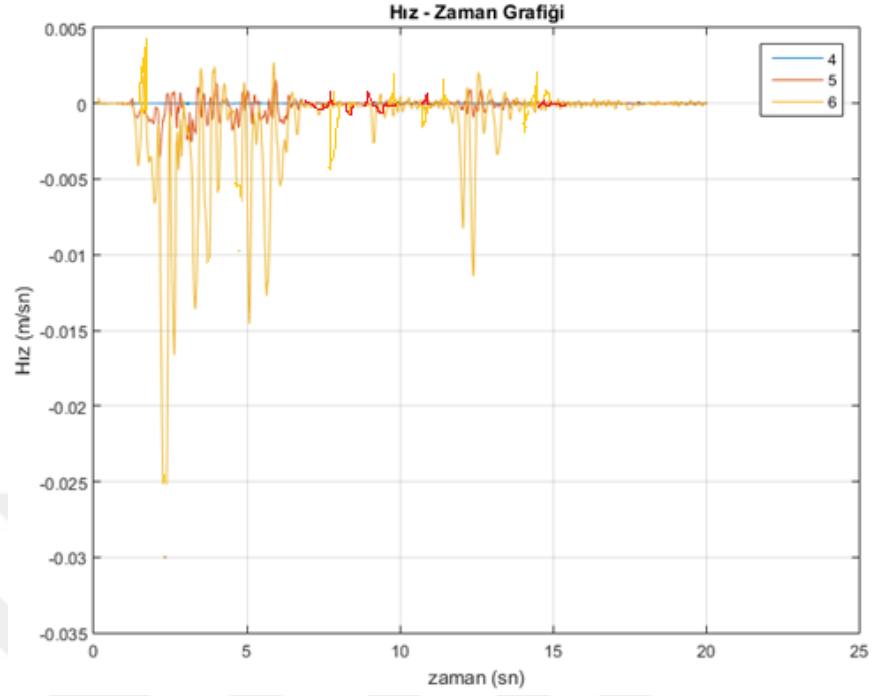
#### 6.2.16. El Centro Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin y eksenini için hız-zaman grafiği

Model tasarımı yapılırken taş kolon uzunluğu 9m, taş kolon çapı 50cm olarak programa modifiye edilmesi sonuçları grafiklere yansıtılmıştır. Modelde El Centro Deprem verileri kullanılmıştır.

Taş kolonsuz zeminde Şekil 6.47. için düşey ekseninde 1 noktasında okunan ivme değeri 0.00005 m/sn iken 2 noktasında 0.004 m/sn ve 3 noktasında 0.05 m/sn ölçülmüştür. Şekil 6.74.'de taş kolonlu zeminde 1 noktasında ölçülen hız değeri 0.00004 m/sn, 2 noktasında 0.0025 m/sn ve 3 noktasında ölçülen hız değeri 0.02m/sn'dir.

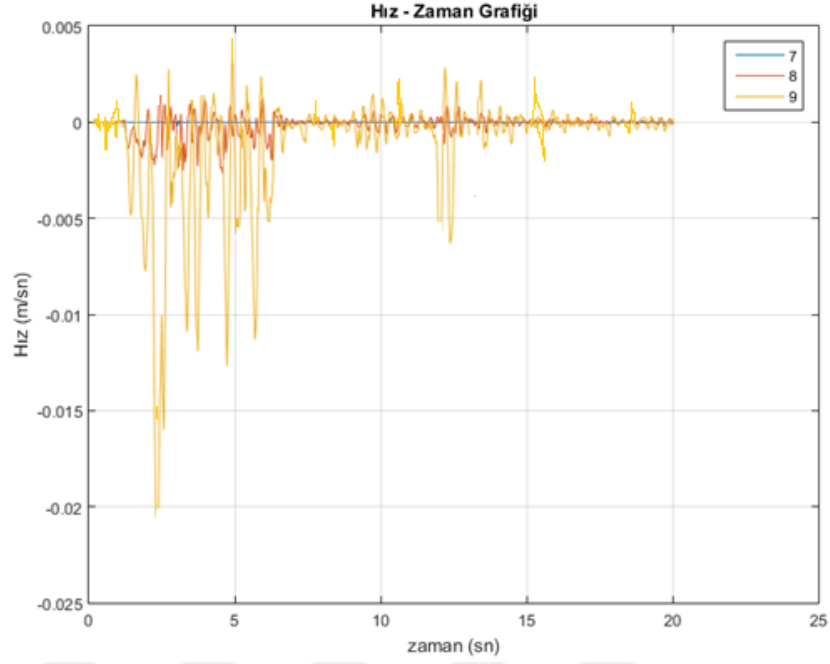


Şekil 6.74. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)



Şekil 6.75. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Taş kolonsuz zeminde Şekil 6.49. için düşey ekseninde 4 noktasında okunan hız değeri 0.00005 m/sn iken 5 noktasında 0.0025 m/sn ve 6 noktasında 0.058 m/sn ölçülmüştür. Şekil 6.75.'de taş kolonlu zeminde 4 noktasında ölçülen hız değeri 0.00004 m/sn, 5 noktasında 0.003 m/sn ve 6 noktasında ölçülen hız değeri 0.025 m/sn'dir.



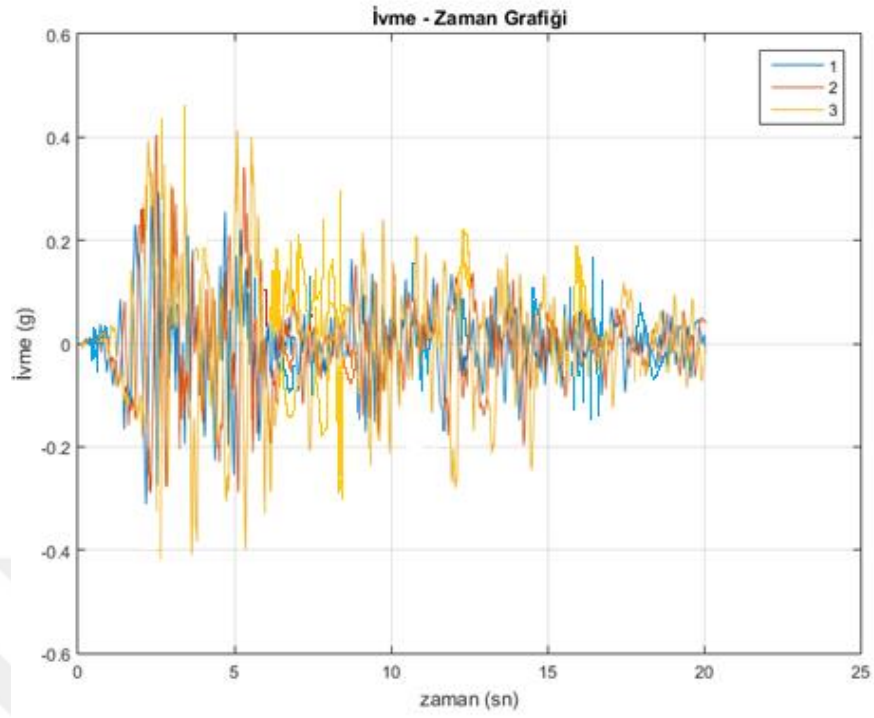
Şekil 6.76. El Centro Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

Şekil 6.51.'de taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.00005 m/sn iken 8 noktasında 0.003 m/sn ve 9 noktasında 0.06 m/sn okunarak değerlerde yükselme olduğu görülmüştür. Şekil 6.76.'da taş kolonlu zeminde 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.00004 m/sn, 8 noktasında 0.0035 m/sn ve 9 noktasında ölçülen hız değeri 0.02 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %66 iyileşme sağlamıştır.

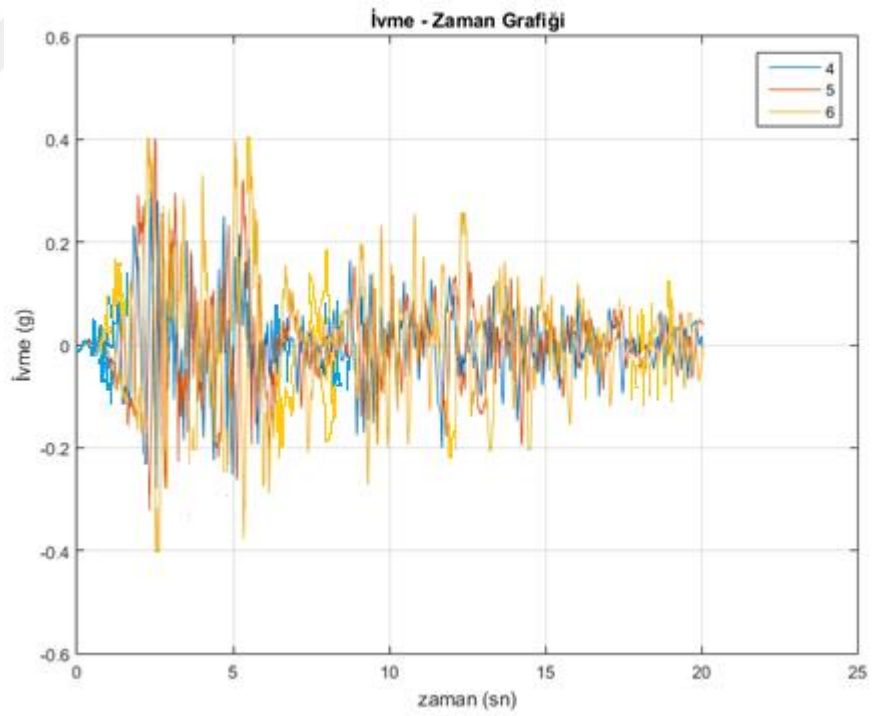
#### 6.2.17. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin x eksenini için ivme-zaman grafiği

Model tasarımı yapılırken taş kolon uzunluğu 9m, taş kolon çapı 50cm olarak programa modifiye edilmesi sonuçları grafiklere yansıtılmıştır. Modelde 1999 Marmara depremi kullanılmıştır.





Şekil 6.77. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksen için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

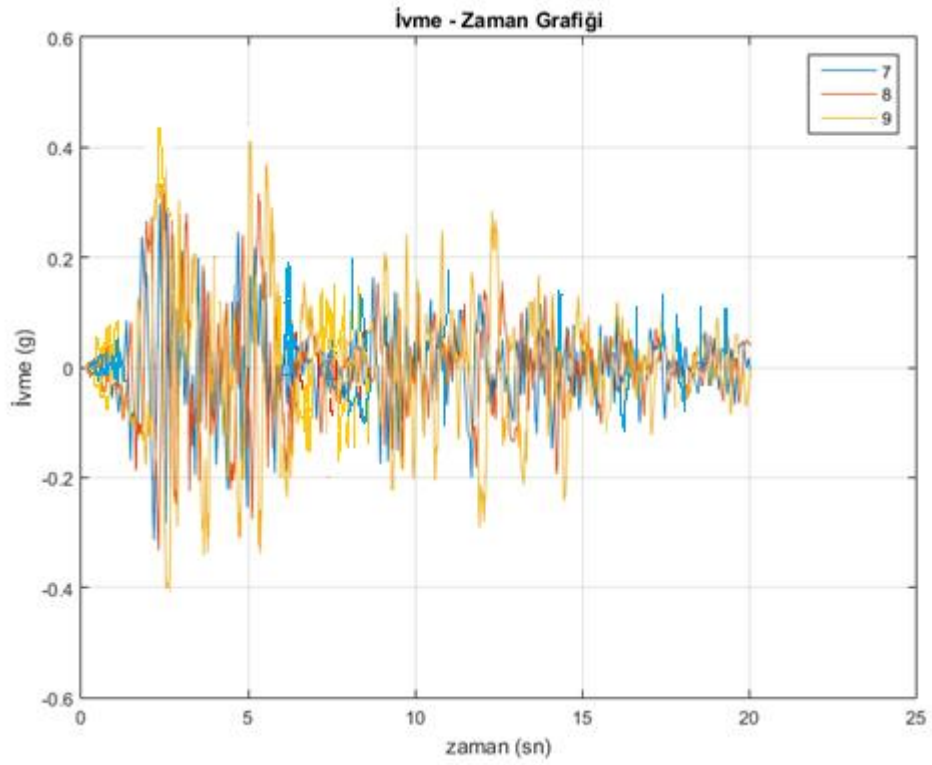


Şekil 6.78. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksen için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Şekil 6.16.'da taş kolonsuz zemin için 1 noktasında ölçülen ivme değeri 0.33g, 2 noktasında 0.4g ve 3 noktasında 0.5g'ye yükselmiştir. Şekil 6.77.'de 1 noktasında

ölçülen ivme değeri 0.22g, 2 noktasında 0.27g ve 3 noktasında ölçülen ivme değeri 0.44g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %12 iyileşme sağlamıştır.

Şekil 6.18.'de taş kolonsuz zemin için 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.33g, 5 noktasında 0.39g ve 6 noktasında 0.5g'ye yükselmiştir. Şekil 6.78.'de 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.23g, 5 noktasında 0.25g ve 6 noktasında ölçülen ivme değeri 0.40g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %20 iyileşme sağlamıştır.

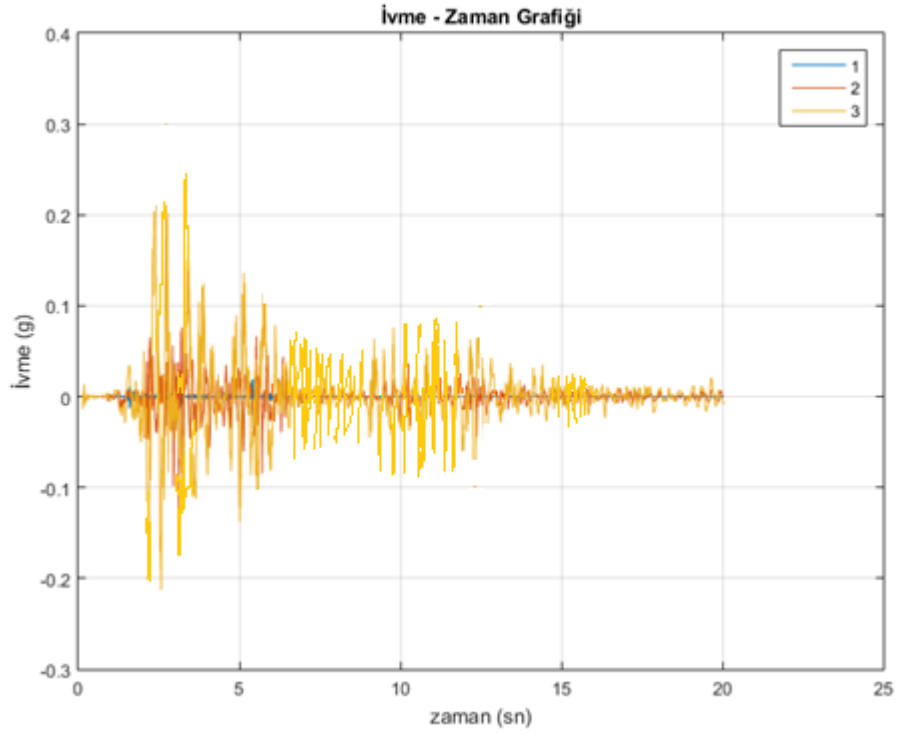


Şekil 6.79. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

Şekil 6.20.'de taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.33g iken 8 noktasında 0.4g ve 9 noktasında 0.52g'ye yükselmiştir. Şekil 6.79.'da 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.23g, 8 noktasında 0.3g ve 9 noktasında ölçülen ivme değeri 0.44g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %15 iyileşme sağlamıştır.

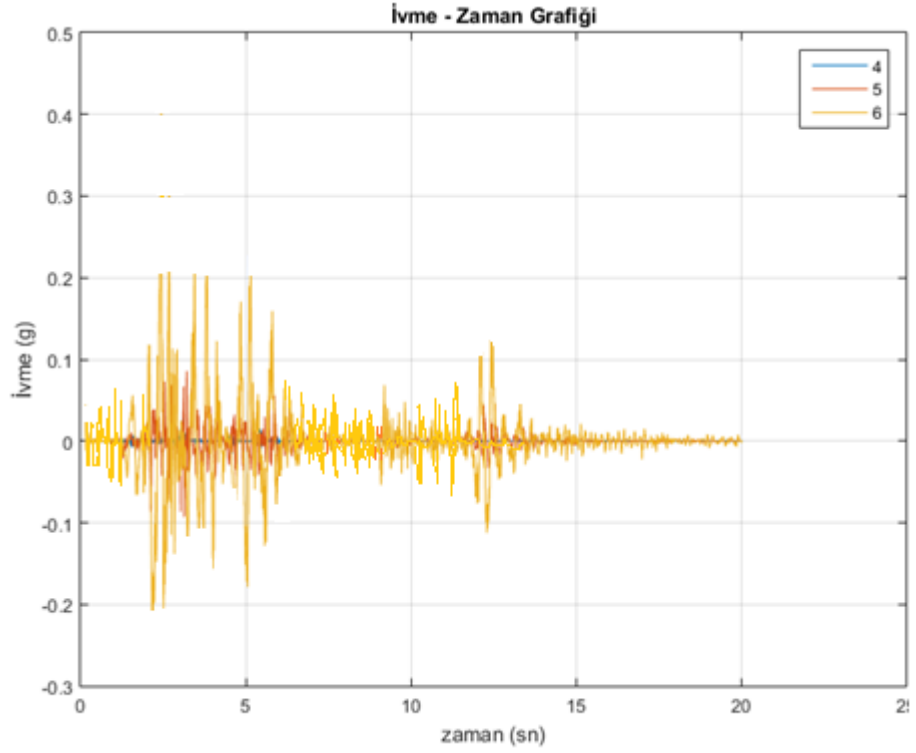
### 6.2.18. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin y eksenini için ivme-zaman grafiği

Model tasarımı yapılırken taş kolon uzunluğu 9m, taş kolon çapı 50cm olarak programa modifiye edilmesi sonuçları grafiklere yansıtılmıştır. Modelde 1999 Marmara depremi kullanılmıştır.



Şekil 6.80. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

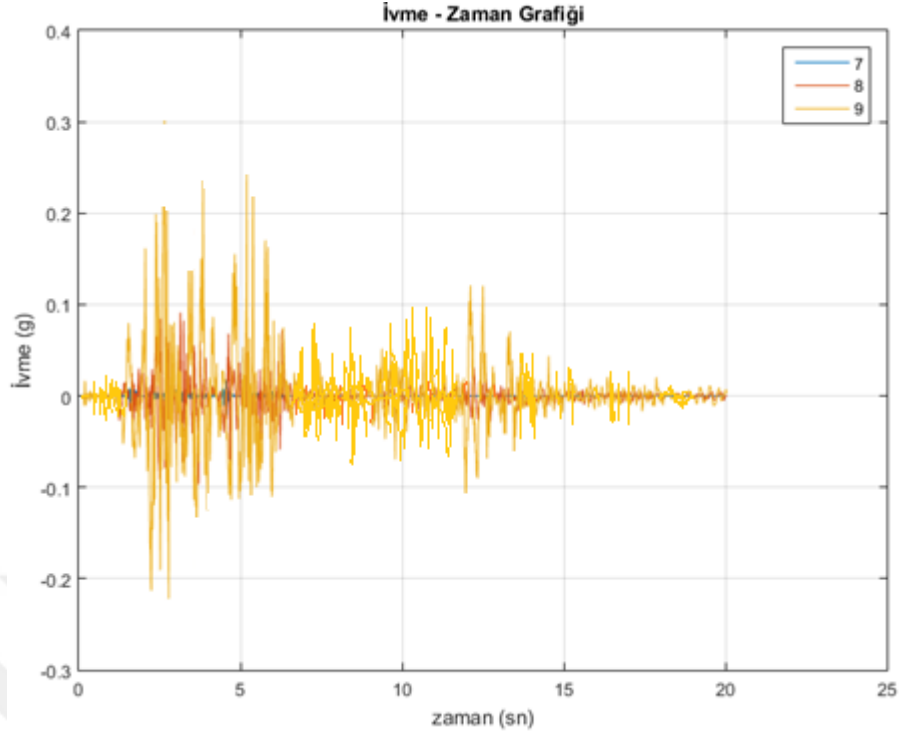
Şekil 6.22.'de taş kolonsuz zemin için 1 noktasında ölçülen ivme değeri 0.007g, 2 noktasında 0.15g ve 3 noktasında 0.4g'ye yükselmiştir. Şekil 6.80.'de 1 noktasında ölçülen ivme değeri 0.004g, 2 noktasında 0.11g ve 3 noktasında ölçülen ivme değeri 0.24g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %40 iyileşme sağlamıştır.



Şekil 6.81. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Şekil 6.24.'de taş kolonsuz zemin için 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.01g, 5 noktasında 0.15g ve 6 noktasında 0.4g'ye yükselmiştir. Şekil 6.81.'de 4 noktasında ölçülen ivme değeri 0.0025g, 5 noktasında 0.1g ve 6 noktasında ölçülen ivme değeri 0.2g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %50 iyileşme sağlamıştır.

Şekil 6.26.'da taş kolonsuz zeminde 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.008g, 8 noktasında 0.15g ve 9 noktasında 0.4g'ye yükselmiştir. Şekil 6.82.'de 7 noktasında ölçülen ivme değeri 0.006g, 8 noktasında 0.12g ve 9 noktasında ölçülen ivme değeri 0.24g'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %40 iyileşme sağlamıştır.

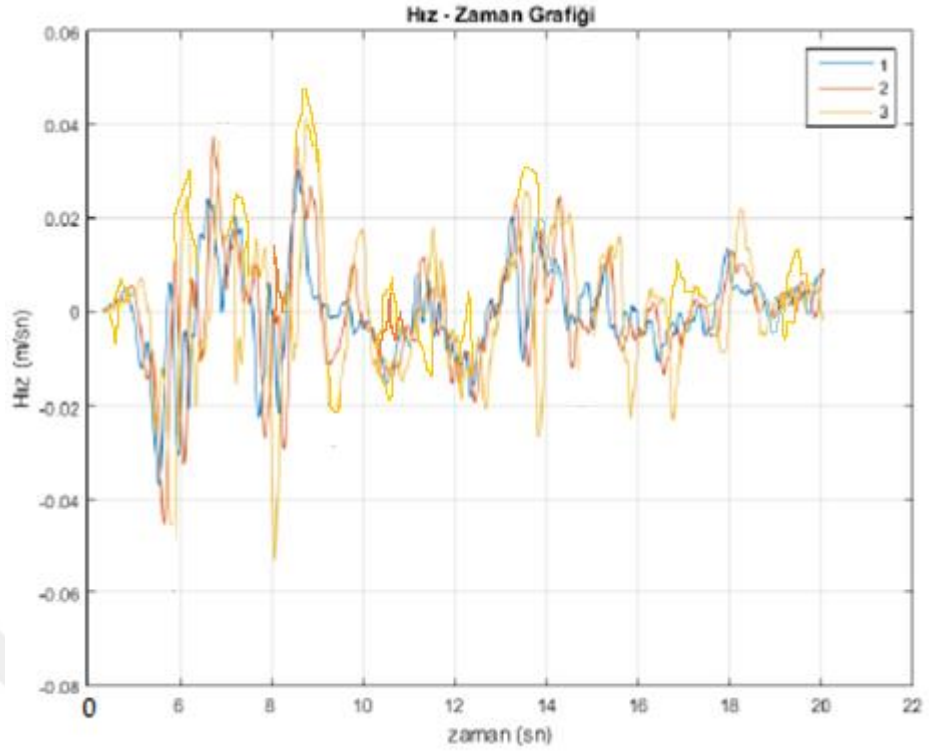


Şekil 6.82. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü ivme-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

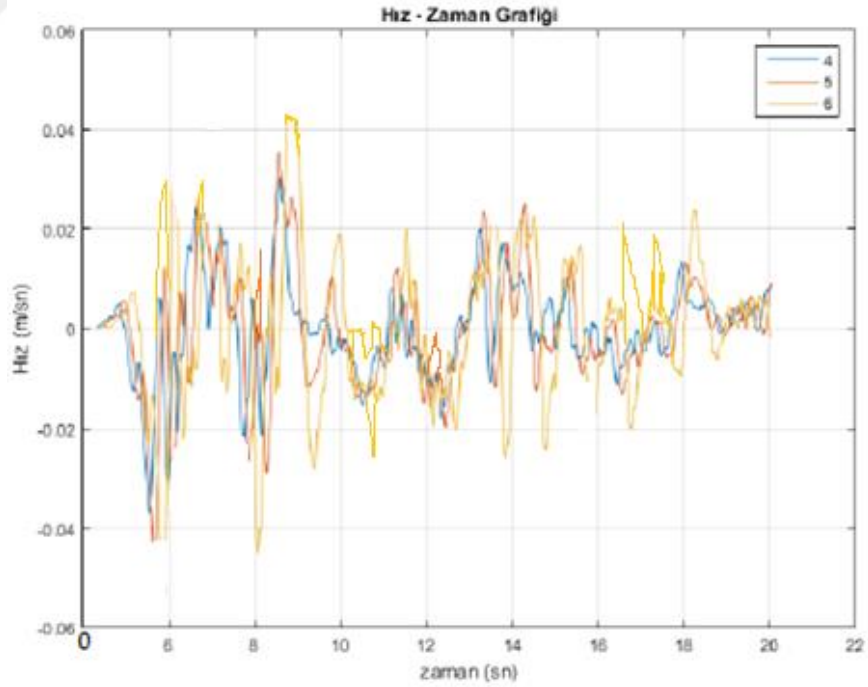
### 6.2.19. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin x eksenini için hız-zaman grafiği

Model tasarımı yapılırken taş kolon uzunluğu 9m, taş kolon çapı 50cm olarak programa modifiye edilmesi sonuçları grafiklere yansıtılmıştır. Modelde 1999 Marmara depremi kullanılmıştır.

Şekil 6.4. taş kolonsuz zeminde 1 noktasında x eksenini için 0.068 m/sn, 2 noktasında 0.07 m/sn, 3 noktasında 0.082 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.83.'de taş kolonlu zeminde 1 noktasında ölçülen hız değeri 0.035 m/sn, 2 noktasında 0.048m/sn ve 3 noktasında ölçülen hız değeri 0.05 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %3 iyileşme sağlamıştır.



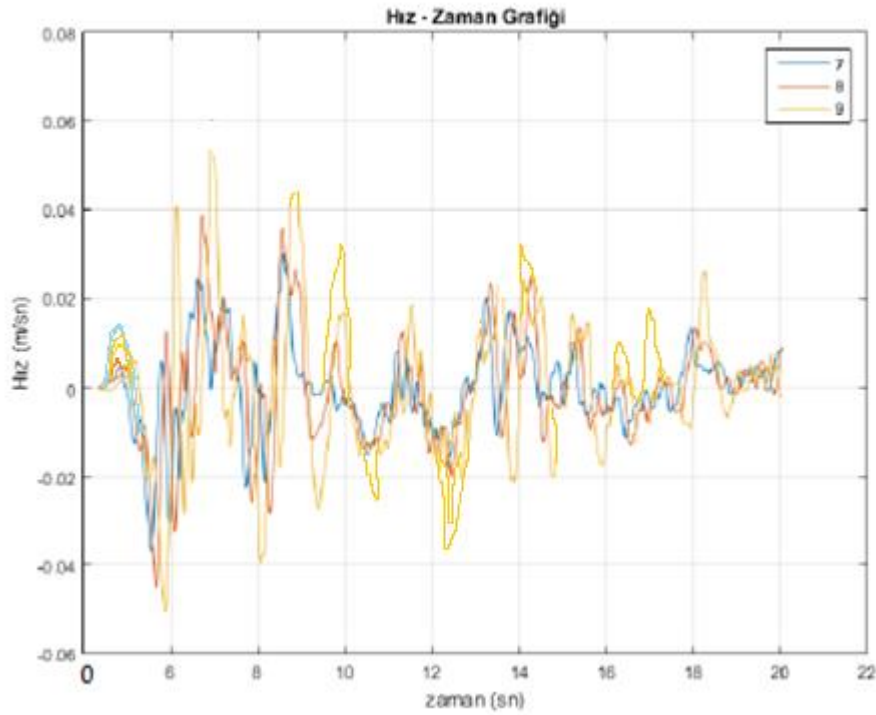
Şekil 6.83. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)



Şekil 6.84. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X eksenini için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Şekil 6.6.'da taş kolonsuz zeminde 4 noktasında 0.068 m/sn, 5 noktasında 0.071 m/sn, 6 noktasında 0.082 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.84.'te taş kolonlu zeminde 4 noktasında ölçülen hız değeri 0.038 m/sn, 5 noktasında 0.4 m/sn ve 6 noktasında ölçülen hız değeri 0.042 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %48 iyileşme sağlamıştır.

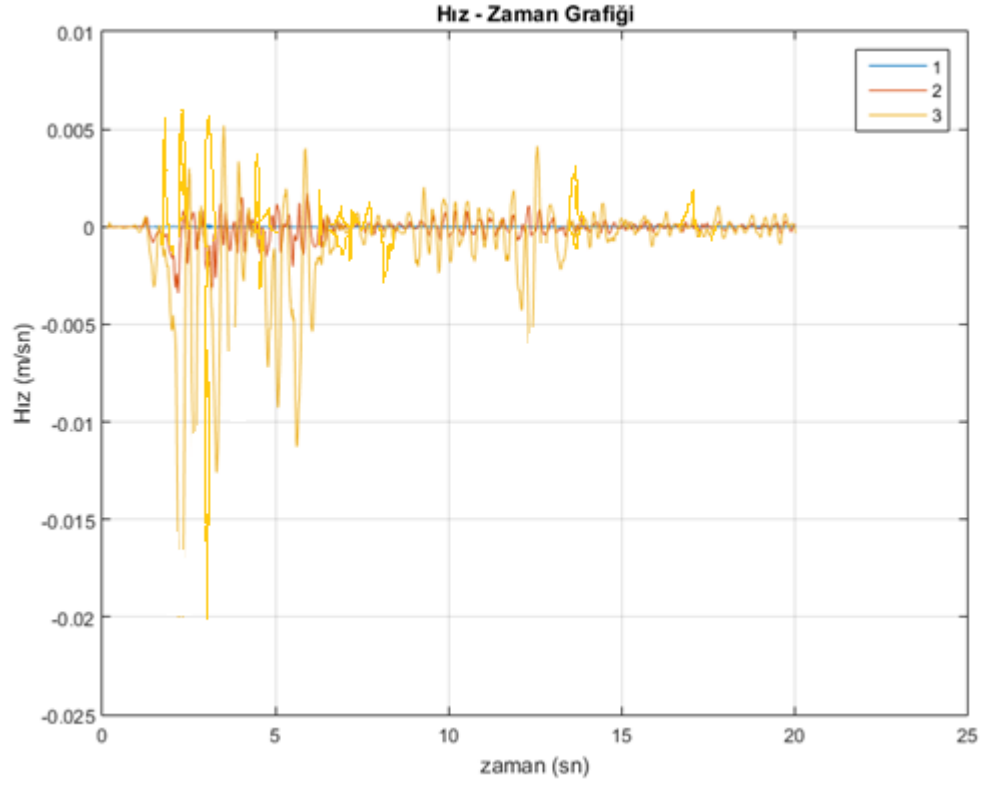
Şekil 6.8.'de taş kolonsuz zemin için 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.068 m/sn iken 8 noktasında 0.072 m/sn ve 9 noktasında 0.08 m/sn okunarak değerlerde yükselme olduğu görülmüştür. Şekil 6.85.'de taş kolonlu zeminde 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.035 m/sn, 8 noktasında 0.042 m/sn ve 9 noktasında ölçülen hız değeri 0.05 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %37 iyileşme sağlamıştır.



Şekil 6.85. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (X ekseni için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

### 6.2.20. Marmara Depremine göre taş kolon uzunluğu (9m) arttırılmış zeminin y eksenini için hız-zaman grafiği

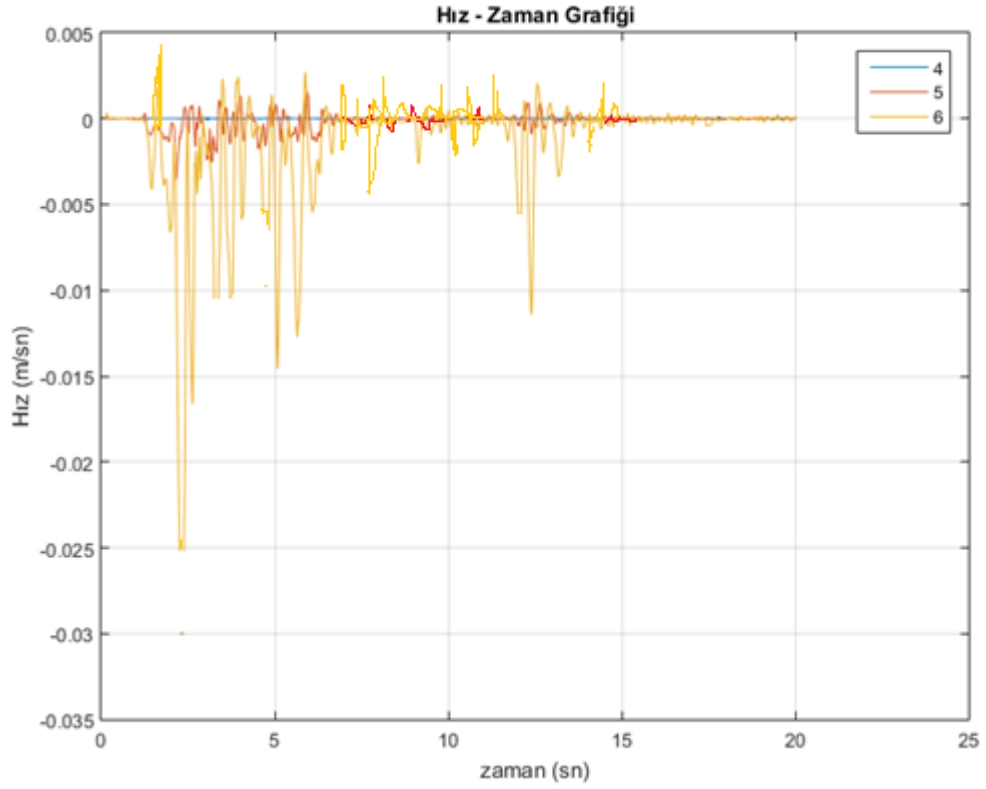
Model tasarımı yapılırken taş kolon uzunluğu 9m, taş kolon çapı 50cm olarak programa modifiye edilmesi sonuçları grafiklere yansıtılmıştır. Modelde 1999 Marmara depremi kullanılmıştır.



Şekil 6.86. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 1, 2 ve 3 noktası)

Şekil 6.10. taş kolonsuz zeminde 1 noktasında y eksenini için 0.00005 m/sn, 2 noktasında 0.003 m/sn, 3 noktasında 0.06 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.86.'da taş kolonlu zeminde 1 noktasında ölçülen hız değeri 0.00005 m/sn, 2 noktasında 0.004 m/sn ve 3 noktasında ölçülen hız değeri 0.02 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %66 iyileşme sağlamıştır.

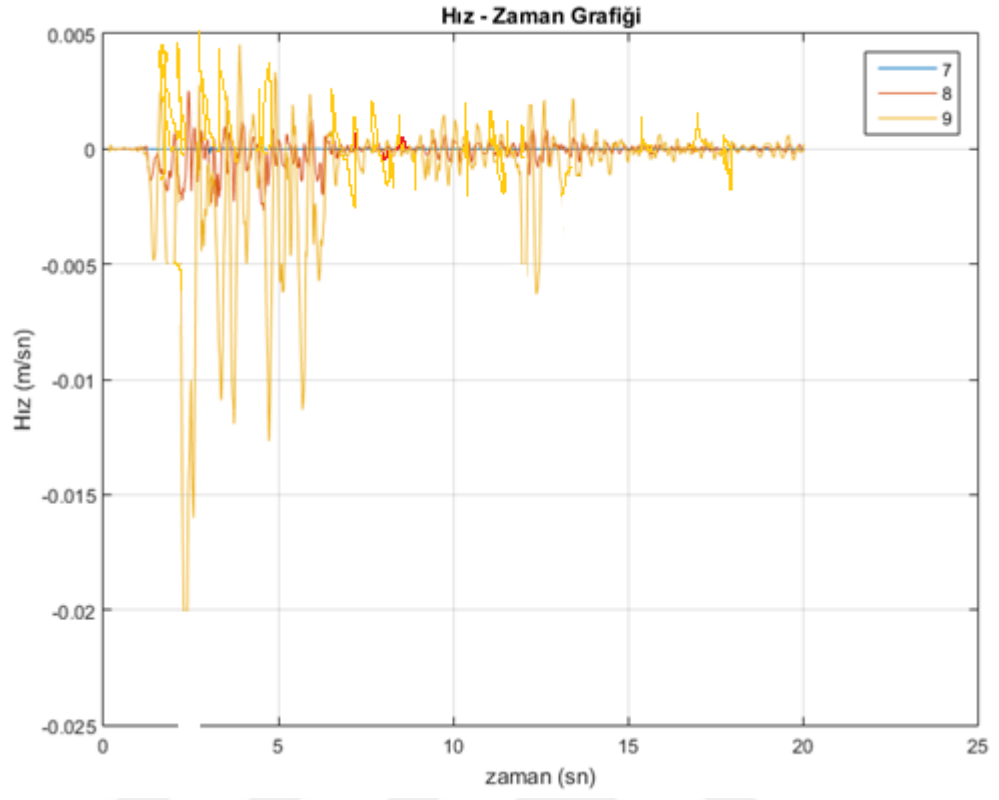




Şekil 6.87. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y ekseni için derinlik 4, 5 ve 6 noktası)

Şekil 6.12. taş kolonsuz zeminde 4 noktasında y ekseni için 0.00005 m/sn, 5 noktasında 0.005 m/sn, 6 noktasında 0.06 m/sn dalga hızları ölçülmüştür. Şekil 6.88.'de taş kolonlu zeminde 4 noktasında ölçülen hız değeri 0.00005 m/sn, 5 noktasında 0.003 m/sn ve 6 noktasında ölçülen hız değeri 0.025 m/sn'dir. Taş kolon uygulaması yüzeyde %58 iyileşme sağlamıştır.

Şekil 6.14.'de taş kolonsuz zemin için 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.0002 m/sn iken 8 noktasında 0.008 m/sn ve 9 noktasında 0.025 m/sn okunarak değerlerde yükselme olduğu görülmüştür. Şekil 6.87.'de taş kolonlu zeminde 7 noktasında ölçülen hız değeri 0.00003 m/sn, 8 noktasında 0.003 m/sn ve 9 noktasında ölçülen hız değeri 0.02 m/sn'dir.



Şekil 6.88. Kocaeli Depremi 9m taş kolonlu zemin 3'lü hız-zaman grafiği (Y eksenini için derinlik 7, 8 ve 9 noktası)

## BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sakarya ve çevresi, Kuzey Anadolu Fayından dolayı tektonik hareketlilik açısından aktif bir alandır. Bu bölge aynı zamanda alüvyon dolgu zeminde yer alması sebebiyle geçmişte meydana gelen kuvvetli depremlerde büyük yıkımlara uğramıştır. Bölge zemininin jeolojik ve geoteknik özellikleri değerlendirildiğinde, deprem esnasında sıvılaşma ve oturmaya bağlı deformasyonların oluşması bakımından büyük bir potansiyele sahip oldukları görülmektedir. Bu oturma ve yer değiştirmeler, bu zeminlerin üzerinde yada içerisinde yer alacak mühendislik yapılarının deprem sırasındaki performansını özellikle etkilemekte ve bu yapılar üzerinde ek yüklerin oluşmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmada alüvyon zemine sahip Adapazarı bölgesi için taş kolonlu ve taş kolonsuz zeminlerde zemin büyütmesini incelemek amacı ile daha önceden yapılan sondaj verileri alınarak FLAC 2D programı ile zemin analizi yapılmıştır. Analizde zemin profilinin alt katmanına uygulanan zemin hareketi nedeniyle zemin yüzeyindeki değişikliklere kuvvetli bir yer hareketi uygulamak için 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem kaydı ve El Centro deprem kaydı verileri kullanılmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda düşeyde ve yatayda ivme-zaman ve hız-zaman değişim grafikleri oluşturulmuş ve yorumlanmıştır.

Model tasarımında 6m, 9m ve 10m uzunluğunda taş kolonlar oluşturulmuş ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli ve El Centro deprem verileri modele modifiye edilmiştir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem verisi altında 6 m uzunluğa ve 50 cm çapa sahip taş kolonlu zeminin seçilmiş sağ nokta yüzeyinde 0.48g olan en yüksek pik ivme değeri, taş kolonsuz zemin yüzeyinde 0.52g görülmüştür. Bu da taş kolonsuz zemindeki büyüme ile taş kolonlu zemindeki büyüme karşılaştırıldığı zaman yaklaşık %8 gibi bir iyileşme olduğu görülmüştür. Zeminin sol ve orta yüzeyindeki değerler yaklaşık eşit çıkmıştır.

Burada değerlerin genel olarak birbirine yakın çıkmasının ve taş kolonun zemin büyütmesine fayda sağlayamamasının sebebi taş kolon boyutunun yetersiz kaldığından kaynaklandığı düşünölmektedir.

17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem verisine sahip modelde taş kolonsuz zemin sol ve sağ yüzeyinde 0.52g okunan değer 9 m uzunluğa ve 50 cm çapa sahip taş kolonlu zeminin yüzeyinde 0.44g okunarak azaldığı görölmüştür. Bu da taş kolonsuz zemindeki büyüme ile taş kolonlu zemindeki büyüme karşılaştırıldığı zaman yaklaşık %15 gibi bir iyileşme olduğu görölmüştür. Zemin yüzeyinin orta kısmında ise taş kolonlu zeminde 0.41g ve taş kolonsuzda 0.5g okunmuş, %19 bir iyileşme sağlanmıştır. Alınan sonuçlara göre taş kolon uygulaması, taş kolonsuza göre iyileştirme sağlayarak zemin büyümesini azaltmıştır. Aynı deprem yükü altındaki 6m ve 9m uzunluğa sahip taş kolon modelinde 9m uzunluğa sahip model diğerine göre daha çok iyileştirme sağlamıştır. Bunun sebebinin 6m taş kolon uzunluğunun zeminde yetersiz kaldığından kaynaklandığı düşünölmektedir.

El Centro deprem verisine sahip modelde taş kolonsuz zemin sol ve sağ yüzeyinde 0.52g okunan değer 9 m uzunluğa ve 50 cm çapa sahip taş kolonlu zeminin yüzeyinde 0.43g okunarak azaldığı görölmüştür. Bu da taş kolonsuz zemindeki büyüme ile taş kolonlu zemindeki büyüme karşılaştırıldığı zaman yaklaşık %25 gibi bir iyileşme olduğu görölmüştür. Zemin yüzeyinin orta kısmında ise taş kolonlu zeminde 0.4g ve taş kolonsuzda 0.5g okunmuş, %20 bir iyileşme sağlanmıştır. Alınan sonuçlara göre taş kolon uygulaması, taş kolonsuza göre iyileştirme sağlayarak zemin büyümesini azaltmıştır.

17 Ağustos 1999 Kocaeli depremine sahip modelde taş kolonsuz zemin sağ ve sol yüzeyinde 0.52g okunan değer 10 m uzunluğa ve 50 cm çapa sahip taş kolonlu zeminin yüzeyinde 0.42g okunarak azaldığı görölmüştür. Bu da taş kolonsuz zemindeki büyüme ile taş kolonlu zemindeki büyüme karşılaştırıldığı zaman yaklaşık %27 gibi bir iyileşme olduğu görölmüştür. Zemin yüzeyinin orta kısmında ise taş kolonlu zeminde 0.47g ve taş kolonsuzda 0.52g okunmuş, %10 iyileşme sağlanmıştır. Alınan sonuçlara göre taş

kolon uygulaması, taş kolonsuza göre iyileştirme sağlayarak zemin büyümesini azaltmıştır.

Farklı deprem yükleri altında 3 farklı derinlikte ve 9 farklı noktada yapılan analizler ile zemin tabakasının en alt noktasına etki ettirilen deprem kuvveti sonucu ivme değerlerinin zemin yüzeyine yaklaştıkça büyüdüğü görülmektedir.

Zeminlerin lineer olmayan özelliklerinden dolayı, bir zemin profiline ait transfer fonksiyonunda, büyük ivmelerde küçük zemin büyütmesi, küçük ivmelerde ise daha büyük zemin büyütmesi olmaktadır. Büyütme oranlarının çok yüksek değerler göstermesi, ana kaya derinliğinin belirlenememesinin ortaya çıkardığı bir olumsuzluk olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak, sıvılaşma potansiyeline sahip zeminlerde ivme değerleri ile hız değerlerinin yüzeye yaklaştıkça büyüdüğü sonucuna ulaşılmış ve taş kolon uygulaması, taş kolonsuza göre iyileştirme sağlayarak zemin büyümesini azaltmıştır. Bu çalışmada zemin özelliklerinin yer hareketini arttırdığı düşünülmektedir. Zeminde meydana gelen büyüme nedeniyle önerilen tasarım spektrumlarını aşabileceği ve Adapazarı bölgesi gibi alüvyonel zemin yapısına sahip bölgelerde yerel zemin koşullarının dikkate alınması gerektiği önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- AKSU, O. ve TOZ, G., Zemin Sıvılaşmasına Yönelik Fotogrametrik Uygulamalar *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi/d Mühendislik* 1, Vol.2, pp.7-13, 2002.
- AKYOL, N., AKINCI, A., EYİDOĞAN, H., “Site Amplification of S-Waves in Bursa and its Vicinity, Northwestern Turkey: Comparison of Different Approaches”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22, 579-587, 2002.
- Ambily, A.P., ve Gandhi, S.R., (2009) “Behavior of Stone Columns Based on Experimental and FEM Analysis”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(4), 405-415
- Bakir BS, Yılmaz MT, Yakut A, Gulkan P (2005) *Re-examination of damage distribution in Adapazarı: geotechnical considerations*. Eng Struct 27:1002–1013
- Barksdale, R.D. ve Bachus, R.C. (1983). “*Design and Construction of Stone Columns: Vol.1-2*”, Report No. FHWA/RD-83/026, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 6-55.
- Besancon, G., Iorio, J.P., and Soyez, B., (1984) “*Analyses des parametres de Calcul Intervenent dans le Dimensionnement des Colonnes Ballastees*”, International Conference on In-Situ Soil and Rock Reinforcement, Paris, 119-126.
- BİRİNGEN, E., “*Soil Amplification and Case Studies for Clayey Soils*”, Master Thesis, Boğaziçi University, İstanbul, 2000.)
- BOL, E., *Adapazarı Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri*, Doktora Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- BYRNE, P.M., PARK, S.S., BEATY, M., SHARP, M.K., GONZALEZ, L. ABDOUN, T., *Numerical modeling of liquefaction and comparison with centrifuge tests*, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 41 (2):193-211, 2004.
- CELEP, Z., KUMBASAR, N., “*Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*”, Beta Dağıtım, İstanbul, 2004.
- Clemente, J.L. ve Davie, J.R., (1999). “*Stone Columns for Settlement Reduction*”, American Society for Testing and Materials, 1-2.

- Demir, S., (2011). *Darbeli Kırmataş Kolonların İmalatında Zemin Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 9-59.
- Demir, H., (2007). *Taş Kolon ve Geopier Uygulaması ile Zemin İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 14-58.
- Durgunoğlu, T., Kulaç, H.F., Đkiz, S. ve Karadayılar, T., 1992. *Taş Kolonlar ile Zemin Islahı Üzerine Bir Uygulama*. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dördüncü Ulusal Kongresi, ZMTM Türk Milli Komitesi, Cilt-II, İTÜ, İstanbul.
- ERDIK, M., *Report On 1999 Kocaeli and Duzce (Turkey) Earthquakes*,
- 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, 30: 842-854.
- ERKEN, A., *The Role of Geotechnical Factors on Observed Damage in Adapazarı*, XV ICMGE Satelite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, İstanbul, 2001.
- Gautray J., Laue J., ve Springman S.M. (2013), “*Development of pore water pressure around a Stone column.*”, Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris.
- HAN, J., AND YE, S.L., 2002. “*A theoretical solution for the rate of consolidation of a stone column reinforced foundation accounting for smear and well resistance.* International Journal of Geomechanics, 2(2), 135-151.
- KAYA, Ş., SAROĞLU, E., MUSAOĞLU, N., *Deprem 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.
- Keller, (2010). *Deep Vibro Techniques*, Brochure 10-02E, İngiltere.
- Kousik Deb .,(2008). “*Modeling of Granular Bed-Stone Column- Improved Soft Soil*”, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 32(10), 1267-1288
- Kurt, E., (2011). *Darbeli Kırmataş Kolon ve Taş Kolon Elemanlarına Ait Yükleme Testlerinin Sayısal Analizi ve Sonuçlarının Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 19-70.
- KRAMER, S.L., “*Geoteknik Deprem Mühendisliği*”, Gazi Kitapevi, 708, Ankara, 2003.
- ÖZGİRGİN , F., “*Case Studies on Soil Amplification*”, Master Thesis, Boğaziçi University, İstanbul, 1997.

- KUTANİS, M., BAL, İ.E., “*Yerel Zemin Şartlarının Yapı Hasar Dağılımı Üzerinde Etkileri*”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi, Trabzon, 99-113, 2006.
- Liew, S.S. and Tan, S.K., 2007. *Performance of Reinforced Soil Wall Supported on Stone Columns*, Proc. 16th Southeast Asian Geotechnical Conferences, Malaysia.
- Önalp A, Sert S, Bol E (2000) *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi* 26-27 Ekim 2000, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Priebe, H.J., (1995). “*The Design of Vibro Replacement.*”, Ground Engineering, 1-1
- TERZAGHI, K., *Erdbaumechnik auf Bodenphysikalischer Grundlage*, Vienna, Deuticke, 1925.
- Vural İ., (2012). *Alüvyal ve sıvılaşılabilen zeminlerde alt yapıların deprem risk analizi*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya,21-113
- YALÇINKAYA, E., “*Bir Boyutlu Modeller İçin Zemin Büyütmesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi*”, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yer Bilimleri Dergisi, c.17, s.1, 47-56, 2004.
- Yılmaz D, Durgunoğlu T (2004) *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi* 16-17 Eylül 2004, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- YOUD, T.L., *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.
- ZASLAVSKY, Y., SHAPIRA, A., ARZI, A.A., “*Amplification Effects from Earthquake and Ambient Noise in the Dead Sea Rift (Israel)*”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 20, 187-207, 2000.
- White, D.J., Wissmann, K.J., Barnes, A.G. and Gaul A.J., (2002). *Embankment Support: Comparison of Stone Column and Rammed Aggregate Pier Soil Reinforcement*, Transportation Research Board, 81st Annual Meeting, Washington D.C.
- 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, 26-28 Mart 2002, Kuala Lumpur, Malasia, 8.
- Url-1 <<http://www.deprem.gov.tr/depbolge/sakarya.gif>> , erişim tarihi 21.04.2019
- Url-2 <<http://www.koeri.boun.edu.tr/earthqk/earthqk.html>> , erişim tarihi 21.04.2019



## ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ILDIR, 20/11/1993'de Antalya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Antalya'da tamamladı. 2012 yılında Metin Nuran Çakallıklı Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2012 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2016 yılında bitirdi. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 ve 2018 yıllarında özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalıştı. Mayıs 2019'da yüksek lisans eğitimini tamamladı.