

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Meryem YILMAZ Tarafından Hazırlanan**

**FİBER İLE İYİLEŞTİRİLMİŞ ZEMİNE GÖMÜLÜ BORULARIN SİSMİK ETKİLER
ALTINDAKİ DİNAMİK DAVRANIŞI**

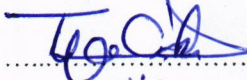
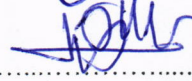
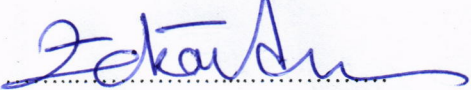
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2019 gün ve 1806 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Tufan ÇAKIR

Üye : Doç. Dr. S. Banu İKİZLER

Üye : Doç. Dr. Zekai ANGIN


.....

.....


Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Depremlerin gömülü borular üzerindeki dinamik etkisini azaltmak amacıyla fiber kullanılarak zemin iyileştirilmesinin yapıldığı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam süresinde her türlü yardım ve desteği saylayan tez danışmanım, değerli hocam Doç. Dr. S. Banu İKİZLER'e,

Çalışmamın gerek deneysel gerekse yorumlama aşamasında bilgilerini, deneyimlerini ve kaynaklarını benimle paylaşan sevgili hocam Dr. Öğr. Üyesi Berrak TEYMUR'a,

Ve yine çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Ar. Gör. Ümit KARADOĞAN'a,

Tüm hayatım boyunca üzerimden desteklerini, sevgilerini eksik etmeyen, maddi ve manevi her türlü imkânları sağlayan annem Emine YILMAZ, babam Yaşar YILMAZ'a ve kardeşlerime,

Bu süreçte her zaman yanımda olan eşim Burak Uğur YILMAZ'a,

Sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım....

Meryem YILMAZ

Trabzon, 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Fiber İle İyileştirilmiş Zemine Gömülü Boruların Sismik Etkiler Altındaki Dinamik Davranışı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. S. Banu İKİZLER’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/06/2019

Meryem YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	iii
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xii
SEMBOLLER DİZİNİ.....	xiii
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3. Literatür Özeti.....	4
1.4. Zemine Gömülü Borular.....	21
1.4.1. Gömülü Boruların Tasarımında Etkili Olan Zemin Ve Boru Özellikleri	22
1.4.2. Zemine Gömülü Borulara Etkiyen Dış Yükler	24
1.4.3. Zemine Gömülü Borularda Hasara Neden Olan Faktörler	30
1.5. Zemin İyileştirme Yöntemleri	35
1.5.1. Biyoteknik Ve Fiber Takviyesi.....	37
1.5.2. Geosentetik Kullanımı	37
1.6. Gömülü Boruların Depreme Dayanıklı Tasarımı	38
1.6.1. Türk Deprem Yönetmeliği (2007)	38
1.6.2. Avrupa Yönetmeliği	41
1.6.3. Amerikan Yönetmeliği	44
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR ve BULGULAR	47
2.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	47
2.1.1. Kum	47
2.1.2. Fiber.....	48
2.1.3. Kum- Fiber Karışımı.....	50

2.1.4. Boru Özellikleri	57
2.2. Deney Düzenegi.....	58
2.2.1. Numune Hazırlama	59
2.2.2. Model Kutusu	61
2.2.3. Sarsma Tablası.....	61
2.2.4. İvmeölçerler	63
2.3. DENEYLER	65
2.3.1. Kayma Gerilmesi – Kayma Şekil Değişirme İlişkisi.....	78
3. SONUÇLAR.....	80
4. ÖNERİLER.....	83
5. KAYNAKLAR	84
6. EKLER	91
ÖZGEÇMİŞ.....	103

Yüksek Lisans

ÖZET

FİBER İLE İYİLEŞTİRİLMİŞ ZEMİNE GÖMÜLÜ BORULARIN SİSMİK ETKİLER ALTINDAKİ DİNAMİK DAVRANIŞI

Meryem YILMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: S. Banu İKİZLER

2019, 90 Sayfa, 12 Sayfa Ek

Bu çalışmada, 32 mm çapındaki polipropilen (pprc) boru, fiber takviyeli ve takviyesiz temiz silis kumlu zemine gömülü boruların düşey doğrultudaki dinamik davranışı laboratuvarında bir dizi model sarsma tablası deneyleri yapılarak araştırılmıştır. Çalışmalarda, zemin numunesinin yerleştirildiği cam model haznesi, sarsma tablası, fiber, silis kumu, pprc boru ve ivmeölçerler kullanılmıştır. Araştırma kapsamında yapılan deneylerde, farklı boru gömme derinliklerine bağlı olarak, farklı rölatif sıklıktaki zeminlere ağırlıkça %1 ve %2 oranında fiber takviye edilmiş ve fiber takviye edilmemiş numuneler oluşturulmuştur. Boru, gömme derinliği boru çapına (D) bağlı olarak yüzeyden 1D, 1,2D ve 2D derinlikte olmak üzere farklı sıklıkta ve farklı orandaki fiber takviyeli zemin içerisine yerleştirilmiştir. Her deney ortamı için birçok farklı deprem verilerinden yararlanılarak rölatif sıklığa, fiber oranına ve boru gömme derinliğine bağlı çalışmalar yapılmıştır. Boru ve zeminin göstermiş olduğu yer değiştirmeler ivmeölçerler yardımıyla kaydedilip incelenmiştir. Yapılan hesaplamalarda deprem etkilerinden oluşturulan kayma gerilmesi-şekil değiştirme grafiklerinde fiber takviyeli ve takviyesiz gömülü boru bulunan zeminlerin dayanımı ve deformasyon durumu incelenmiş buna bağlı olarak boruda oluşabilecek deformasyonlar yorumlanmıştır. Sonuç olarak yapılan deneylerde sismik yüklemeler sırasında zemini iyileştirme amaçlı kullanılan fiber ile borunun düşey doğrultudaki deplasmanını azaltmak amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Gömülü Borular, Fiber, Silis Kumu, Dolgu Malzemesi.

Master Thesis

SUMMARY

DYNAMIC BEHAVIOR OF FIBER IMPROVED GROUNDED PIPES UNDER SEISMIC
EFFECTS

Meryem YILMAZ

Karadeniz Technical University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Civil Engineering Graduate Program

Supervisor: Assoc. Prof. S. Banu İKİZLER

2019, 90 Pages, 12 Pages Appendix

In this study, the dynamic behavior of 32 mm diameter polypropylene (pprc) pipe fiber reinforced and unreinforced clean silica sand in the vertical direction was investigated by a series of model shaking table experiments in the laboratory. Glass model chamber, shaking table, fiber, silica sand, pprc pipe and accelerometers were used in the studies. In the experiments carried out within the scope of the study, 1% and 2% by weight of fiber reinforced and non-fiber reinforced samples were formed on the surfaces with different relative tightness depending on the different pipe embedding depths. Depending on the pipe diameter (D) of the pipe, the pipe is placed in different hardness and in a different ratio of fiber reinforced floor at $1D$, $1.2D$ and $2D$ depth. For each experimental environment, many different seismic data were used, and studies were performed based on relative tightness, fiber ratio and pipe embedding depth. The displacements shown by the pipe and the ground were recorded and examined with the help of accelerometers. In the calculations, the strength and deformation status of the ground with fiber reinforced and non-reinforced buried pipe in the shear stress-strain graphs formed from earthquake effects were examined and accordingly deformations that may occur in the pipe were interpreted. As a result, it is aimed to reduce the displacement of the pipe in the vertical direction with fiber used to improve the ground during seismic loading.

Key Words: Buried Pipe, Fiber, Silica Sand, Filling Material

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Boru üzerindeki yükler (Balkaya,2002).	25
Şekil 2. Yol platformu altındaki gömülü boruya etkiyen hareketli yükler. (a) tipik kesit, (b) kabul edilen homojen durum (Balkaya,2002).	27
Şekil 3. Gerilme soğanı.....	28
Şekil 4. Zeminde dalga yayılımı	31
Şekil 5. Fay hareketlerine göre gömülü boru deplasmanın şematik gösterimi	32
Şekil 6. Zemin kaymalarına bağlı muhtemel basınç-gerilme hasar oluşumları.....	34
Şekil 7. Sıvılaşmaya bağlı muhtemel hasar oluşumları	35
Şekil 8. Geosentetiklerin çeşitli kullanımlarına örnekler (Uzuner; 2016).	38
Şekil 9. Kuma Ait Dane Çapı Dağılım Eğrisi.....	47
Şekil 10. Polipropilen fiber.....	49
Şekil 11. Kesme kutusu deney düzeneği (şematik)	51
Şekil 12. Kesme kutusu deney düzeneği (sistematik).....	51
Şekil 13. %20 sıklıkta ve %1 fiber katkı oranına sahip numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri.....	52
Şekil 14. %20 sıklıkta ve %1 fiber katkı oranına sahip numunelerin kırılma zarfı.....	53
Şekil 15. %20 sıklıkta ve %2 fiber katkı oranına sahip numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri.....	53
Şekil 16. %20 sıklıkta ve %2 fiber katkı oranına sahip numunelerin kırılma zarfı.....	54

Şekil 17.	%60 sıklıkta ve %1 fiber katkı oranına sahip numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri.....	54
Şekil 18.	%60 sıklıkta ve %1 fiber katkı oranına sahip numunelerin kırılma zarfı.....	55
Şekil 19.	%20 sıklıkta ve %1 oranında fiber katkılı numunelerin standart proktor eğrisi	56
Şekil 20.	%20 sıklıkta ve %2 oranında fiber katkılı numunelerin standart proktor eğrisi	56
Şekil 21.	Sarsma tablası üzerinde deney düzeneği.	58
Şekil 22.	Model Haznesi.....	61
Şekil 23.	Testbox-Shake Table	63
Şekil 24.	Dinamik Veri Toplama Cihazı.....	63
Şekil 25.	SENSEBOX-7001 İvmeölçer.	64
Şekil 26.	Model haznesi içinde ivmeölçerlerin yerleşimine ait kesit ve planı.....	66
Şekil 27.	Fiber Katkısız - Gömülü Boru Bulunmayan Kum Numunede 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).	67
Şekil 28.	Fiber Katkısız Kum Numunede (1,2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).	68
Şekil 29.	%1 Fiber Katkılı Kum Numunede (1,2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).	69
Şekil 30.	1,2D Boru Gömü Deriliğindeki Fiber Katkısız ve %1 Fiber Katkılı Numunelerin Arasındaki İvme Farkları (Dr:%20).....	70

Şekil 31.	%1 Fiber Katkılı Kum Numunede (2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).	71
Şekil 32.	%2 Fiber Katkılı Kum Numunede (2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).	72
Şekil 33.	%1 Fiber Katkılı, %20 Rölatif Sıklıktaki Kum Numunede Boru Gömme Derinliklerinin Kıyaslanması.....	73
Şekil 34.	%1 Fiber Katkılı kum numunede (1,2D) 10 cm ve 30 cm derinlikte optimum su muhtevasında ivmeölçerlerden alınan ivme kayıtları.	74
Şekil 35.	%1 Fiber Katkılı kum numunede (1,2D) 10 cm ve 30 cm derinlikte optimum su muhtevasında ivmeölçerlerden alınan ivme kayıtları.	75
Şekil 36.	%1 Fiber Katkılı, %20 Rölatif Sıklıktaki Kum Numunede 1,2D Derinlikteki Gömülü Boru.....	76
Şekil 37.	%2 Fiber Katkılı, %20 Rölatif Sıklıktaki Kum Numunede 2D Derinlikteki Gömülü Boru.	77
Şekil 38.	Fiber katkısız numuneye ait kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirmesi ilmeği (1,2D – Dr: %20).....	78
Şekil 39.	%1 Fiber katkılı numuneye ait kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirmesi ilmeği (1,2D – Dr: %20).....	78
Şekil 40.	%1 Fiber katkılı numuneye ait kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirmesi ilmeği (2D – Dr: %20).....	79

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Stabilizasyon çeşitleri.....	36
Tablo 2. İçme ve Kullanma Suyu Tesislerinde Deprem Sonrası Performans Hedefleri ..	39
Tablo 3. Atık Su Tesislerinde Deprem Sonrası Performans Hedefleri	39
Tablo 4. Kumun Özellikleri.....	48
Tablo 5. Elek analizi deney sonuçları.....	48
Tablo 6. Kullanılan Masterfiber 15 mf hakkında teknik bilgiler.....	49
Tablo 7. Zemin türleri için maksimum kuru birim ağırlık ve optimum su muhtevası.	57
Tablo 8. Deney setleri ve malzeme oranları	59
Tablo 9. Rölatif sıklığa göre, zeminlerin sınıflandırılması (Uzuner,2016).	60
Tablo 10. SENSEBOX-7001 ivmeölçer teknik özellikleri (Teknik Destek Grubu).	64
Tablo 11. Fiber katkılı (%1) ve katkısız zeminde derinliğe bağlı alınan ivme kayıtları.	70
Tablo 12. %1 ve %2 Fiber katkılı zeminde derinliğe bağlı alınan ivme kayıtları.....	73

SEMBOLLER DİZİNİ

a	: En yüksek zemin ivmesi
A	:Trafik yükünün hesaplandığı mecrâ uzunluğu
c	: Görünür dalga hızı
C_s	: Yük katsayısı
C_t	: Yük Katsayısı
d	: Yer değiştirme
Dr	: Rölâtif sıklık
e	: Boşluk oranı
E	: Young Modülü
E	: Borunun elastisite modülünü
e_{maks}	: En büyük boşluk oranı
e_{min}	: En küçük boşluk oranı
F'	: Etki faktörü
g	: Yerçekimi ivmesi
G_s	: özgül ağırlık
L	: Efektif boru uzunluğu
P	: Dolguya etkiyen tekil yük
P	: Tekerlek yükü
S	: Boru kalınlığı
t	: Zaman
v	: en yüksek zemin hızı
X_{maks}	: Enine parçacık hareketi zemin ve boru hattında oluşan maksimum eğilme
γ	: Birim hacim ağırlık
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık
γ_s	: Dane birim hacim ağırlığı
ε_{maks}	: Boyuna parçacık hareketi, zemin ve boru hattında oluşan maksimum gerilme

τ_{av} : Zemin ve boru arasındaki sürtünme katsayısına ve gömme derinliğine bağlı olan boru ile zemin arasındaki kayma gerilmesi.

I_C : Etki faktörü (statik yük $I_C=1$)

W_{sc} : Tekerlek yükünden dolayı borunun birim boyuna etkiyen ortalama yük

W_{sl} : Birim uzunluk için ortalama yük



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanlık tarihi boyunca çeşitli alanlarda yaşanan gelişimler, ortaya çıkan problemlerin aşılma çabası sonucunda meydana gelmiştir. Bu bağlamda mühendislik alanında değerlendirme yapıldığında, aşılmaya çalışılan problemlerin önemli kısmının yapı ile zemin etkileşimi üzerine olduğu görülmektedir. Zeminler, statik ve dinamik olmak üzere iki farklı yüke maruz kalırlar. Statik yükler; bina yükü, zemin kütesinin ağırlığı, hidrostatik vb. yükleri ifade ederken, dinamik yükler; rüzgâr, patlatma, dalga ve deprem sonucu oluşan sismik yüklerdir. Zeminin çalışmasını ve yapı ile ilişkisini etkileyen bu unsurlardan en önemlilerinden biri deprem olup, diğer doğa olayları gibi gerek yapıda, gerekse de zeminde çözülme ihtiyacı doğuran problemler oluşturmaktadır. Dünyada ve ülkemizde birçok bölge dolayısıyla birçok yapı bu unsur ile doğrudan karşı karşıya olup, tarih boyunca yaşanan büyük depremler ortaya konan bir gerçeğin çözümü konusunda insanları araştırmaya itmiştir. Deprem, gerek üst yapılarda gerekse de altyapılarda ortaya konan yapının kullanım ömrünü, verimliliğini, performansını etkileyen ve tasarım sırasında dikkate alınması gereken en önemli faktördür. Bu sebeple araştırmaların ve deneyimlerin sonrasında ortaya konan birçok standart ve yönetmelikte deprem esas belirleyici ve tasarımı etkileyen faktörlerin başında değerlendirilmiştir. Deprem sırasında zeminin deplasmanları, taşıma gücü kapasitesi, sıvılaşma gibi olaylar, yapıya etkiyecek yanıl yükler vb. durumlar değerlendirilerek yapının sağlıklı kalabilmesi için tasarım yapılır.

Tezin kapsamına da ilham veren gömülü borularda yaşanan problemler, altyapı alanında en sık karşılaşılan sorunlardan biridir. Genel itibariyle su, atık su, doğalgaz, petrol ve diğer birçok akışkanı iletimde kullanılan gömülü borular, zemin ile çevrili ve direk etki alanında olduklarından dolayı tasarımları sırasında birçok parametrenin değerlendirilmesi ihtiyacının gerekliliğine sahiptir. Bu parametrelerden en önemlisi de oluşan bir deprem sırasında, zeminde meydana gelen gerek geçici gerekse de kalıcı deformasyonlar ve deplasmanlar olup, gömülü borular için önemli bir problem teşkil etmektedir. Geçici zemin deformasyonları, sismik dalgaların geçişinden kaynaklanır. Kalıcı zemin deformasyonları

ise yüzeysel faylanma veya lokalize zemin göçmesi (sıvılaştırma, zemin kayması ve yüzey zemin tabakalarının yoğunlaşması) yol açan ikincil etkilerden kaynaklanır.

Zemin-Yapı etkileşimi dikkate alındığında meydana gelen depremler sonucunda oluşan zemin yer değiştirmeleri ve deformasyonlarının önüne geçmek, bu etkenlerin yapıya verdiği hasarları en aza indirmek amacıyla zeminde iyileştirme yapılması en yaygın uygulama metotlarından biridir. Zemin iyileştirme metotları, zemin mekaniği ve temel mühendislik uygulamaları açısından büyük öneme sahiptir. Farklı yöntemler kullanılarak, zeminin taşıma kapasitesini, stabilitesini ve yapıya uygunluğunu geliştirmek mümkün olup, bu sayede daha güvenli ve ekonomik çözümler geliştirilebilmektedir. Zemin iyileştirmeleri kapsamında birçok çeşit madde ve malzeme kullanılması tarih boyunca uygulanmış, günümüzde de yapılan araştırmalar ile en verimli ve etkili yöntemler belirlenmeye çalışılmaktadır. Sadece akademik-deneysel araştırmalar olarak kalmayan bu çalışmaların sonrasında, aktif olarak inşaat sektöründe de zemin özelliklerini iyileştirmek için çeşitli maddelerin kullanımı yaygın bir uygulama halini almıştır. Bu yaygın uygulamalarda kullanılan malzemelerden bazıları; uçucu kül, kireç, çimento ve fiber katkılarıdır. Tezin konusunu da oluşturan fiber katkıların kullanım fikri ise ağaç kökü-zemin sisteminden ortaya çıkmıştır. Fiberler, doğal ve sentetik olarak elde edilip zemine iyileştirme amacıyla eklenmektedir.

Bu tez kapsamında kumlu zeminde kullanılan fiber takviyesinin gömülü boruların üzerindeki etkisi ve dinamik davranışı laboratuvar deneyleri yapılarak belirlenmiştir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Gömülü borular, gerek küçük ölçekli, gerekse de büyük ölçekli kullanımları ile birlikte insan yaşamının her alanını ilgilendiren yapılar olup; bu çalışma kapsamında fiber ile iyileştirilmiş zeminlerde bulunan gömülü boruların sismik etkiler altındaki dinamik davranışlarının incelenmesi, ortaya konan deneysel veriler ve değerlendirmeler ile tasarım noktasında faydalı olması amaçlanmıştır. Bu hedefle yapılan çalışmalarda farklı oranlarda fiber ile iyileştirilmiş zeminlerde, farklı sıklık oranlarında ve değişken boru gömü

derinliklerinde, çeşitli deprem etkileri verilerek oluşan deplasmanlar ve ivme iletimleri incelenmiş, bunun üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında bahsedilen ve irdelenen konular şu şekildedir:

Birinci bölümde; literatür araştırmalarından da yararlanılarak gömülü borular ve fiber katkısı ile ilgili temel konular üzerinde durulmuştur. Çalışmaya esas olan gömülü boruların tasarımlarında gerekli kriterlere, gömülü boruların kullanım amacına bağlı olarak mamul oldukları maddelere göre çeşitlerine ve davranış biçimlerine göre sınıflarına yer verilmiştir. Rijit veya esnek olmasına göre davranış biçimleri açısından sınıflandıran boruların, özellikle sismik etkiler altında ve zeminde oluşan deplasmanlar sonucunda gösterdikleri davranışlara yönelik yapılan araştırmalara dair bilgilerden bahsedilmiştir. Ayrıca gömülü borulara etkileyen dış yüklerden; zemin yükü, hareketli yükler, don olayı sonucu oluşan yükler ve boruda eksen boyunca oluşan yüklere dair bilgilere değinilmiştir. Bu yüklerin yanı sıra gömülü borularda oluşan hasarlara sebep teşkil eden başlıca faktörlere ilişkin detaylara yer verilmiştir. Zemine bağlı olan bu faktörlerin giderilmesine yönelik olarak zeminde yapılabilecek çalışmalar, iyileştirme yöntemleri ve esas itibarıyla çalışmada ana inceleme konularından biri olan fiber katkıları hususunda detaylandırmalar yapılmıştır. Tüm bunlarından ardından da gömülü boruların tasarımı noktasında Türk Deprem Yönetmeliği, Avrupa Yönetmeliği ve Amerikan Yönetmeliğinden bilgiler sunulmuştur.

İkinci bölümde; belirtilen araştırma çalışması kapsamında laboratuvar ortamında yapılan deneylerde kullanılan düzeneklere, malzemelere, deney metotlarına ve farklı kombinasyonlar ile oluşturulan numunelere ait deneylerden bahsedilmiştir. Farklı sıklık oranlarında fiber katkısız kum zemin ile %1.00 ve %2.00 fiber katkılı kum zeminlerde, D-1.2D-2D gömü derinliklerinde PPRC boru kullanılarak deneyler yapılmıştır. Optimum su muhtevası belirlemek amacıyla Standart Proktor (Kompaksiyon) Deneyleri, zeminde oluşabilecek gerilmeleri belirlemek amacıyla Kesme Kutusu Deneyleri ve sismik etkiler altında dinamik davranışları belirlemek amacıyla Sarsma Tablası Deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda elde edilen ivme, kayma gerilmesi, kayma şekil değiştirmesi ve optimum su muhtevası verileri işlenerek, değerlendirmelere zemin oluşturması amacıyla kuru yoğunluk-su muhtevası, kayma gerilmesi-normal gerilme,

kayma gerilmesi-yatay yer deęiřtirme, kayma gerilmesi-kayma Őekil deęiřtirmesi ve ivme-zaman grafikleri hazırlanmıř, dūřey yer deęiřtirmeler hesaplanmıřtır.

Üçüncü bölümde; yapılan deneyler ve nihayetinde oluşturulan grafikler ile hesaplamalar ışığında, farklı oranlarda fiber kullanılarak iyileştirmenin sismik etkiler altında zemine ve gömülü borulara ait etkisi değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kapsamında iyileştirmelerde kullanılması planlanan fiber oranlarına, zeminin sıklık durumuna ve gömülü boru tasarımına ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

Son bölümde ise tez kapsamında yararlanılan veri, Şekil ve tablolar ekler halinde sunulmuştur.

1.3. Literatür Özeti

Gömülü boru yapılarının kaynaklarda yer alan ilk çalışmaları 20. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır. Dr. Anson Marston, Amerika'nın Iowa eyaletindeki gömülü menfezlerdeki zemin baskısını analiz eden ilk kişi olarak, gömülü boruların yapısal mekaniği hakkında en eski sistematik yaklaşımları ortaya koymuştur (Marston ve Anderson, 1913, Marston, 1930).

Spangler (1941)'ın gömülü esnek boruların davranışları üzerine yaptığı "Esnek Boruların Tasarımı" isimli araştırması, bu konu üzerinde yapılan çalışmaların ilki ve en önemlisi olarak kabul edilmektedir. Spangler (1941), Marston (1930)'un ortaya koymuş olduğu teorileri genişleterek, esnek boruların davranışlarını incelemiştir. Bahsedilen teoremlerin yanında farklı kabullere dayanan, elastik ve viskoelastik yaklaşımlar da bulunmakta olup, yıllar boyunca gömülü boruların davranış analizi için çeşitli analitik ve ampirik yöntemler geliştirilmiştir.

Gömülü negatif projeksiyonlu borular, nispeten dar ve sığ bir hendek içine boru üst seviyesi doğal zemin yüzeyinin altında kalacak Şekilde yerleştirilen ve daha sonra üzeri dolgu ile örtülen borulardır. Bu borular belirli bir dolgu yüksekliğinden kaynaklanan yükün

pozitif projeksiyonlu boru üzerindeki yükten az olması nedeniyle otoyol ve demiryolu menfezlerinin yerleştirilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Spangler (1966), Marston (1930)'un yapmış olduğu deneylerde dolgunun altına yerleştirilmiş rijit menfezlerin üzerindeki yüklerin, boru üzerindeki zeminin ağırlığından % 90-95 daha fazla olabildiğini göstermiştir. Boru üzerindeki yüklerde oluşan bu artışı engellemek için yaptığı çalışma eksik hendek metodunda gelişmesine yardımcı olmuştur.

Newmark (1967), boru hatlarının sismik dalga yayılımına maruz kalmasının, boru hattını çevreleyen zeminin verdiği gerilme (basınç) ile aynı olduğunu ileri sürmüştür. Tepe noktasındaki gerilmeyi, sismik dalganın sürekli bir dalga olarak yayıldığını varsayarak tahmin etmiştir. Bununla birlikte, bu yöntemde göreceli kaymayı dikkate almadan boru hattı ile çevresindeki zemin arasında, özellikle şiddetli zemin deformasyonu durumunda boru gerilimi için bir üst sınır sağladığını göstermiştir.

Sakurai ve Takahashi (1969), gömülü boru hatlarının gerçek depremlerde dinamik tepkisini ölçen tam ölçekli bir alan testi gerçekleştirmiştir. Matsushiro'daki ardışık depremlere maruz kalan zemin ve boru hatlarındaki gerilmeleri ölçerek, boru hatlarının çevredeki zeminle senkronize edilmiş olabileceğini savunmuşlardır.

Nasu vd. (1973) çalışmalarında, bir alan testi için 1.2 m çapında ve 84.0 m uzunluğunda gömülü boru hattı kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma sırasında, beş yapay titreşim kaynağının uyarılması ile (patlamalar, ağır yüklerin düşmesi, hava tabancaları, kazık ve çalışan arabaların düşmesi) oluşan yer değiştirmelerden kaynaklı boru hattındaki yer değiştirme ve gerilmeleri kaydetmişlerdir. Test sonuçları boru hattının zeminle senkronize edildiğini ve aralarında kayda değer bir nispi kaymanın gözlenmediğini göstermiştir.

Hindy ve Novak (1979), yeraltı boru hatlarının sismik tepkisini, dinamik zemin-boru etkileşimini dikkate alarak teorik olarak incelemiştir. Statik ve dinamik süreklilik teorilerinden elde edilen zemin reaksiyonlarında borunun topaklanmış bir kütle modelini kullanmışlardır. Boru içerisinde hareketli dalgalar nedeniyle oluşan aksel gerilme ve eğilme gerilmelerini inceleyerek, borudaki aksel gerilmelerin eğilme gerilmelerinden

çok daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Homojen bir ortamda zemin-boru etkileşimi, bu etkileşimi dikkate almadan yapılan hesaplamalarla kıyaslandığında borudaki gerilmelerin azaldığı görülmüştür. Homojen iki farklı ortamdan oluşan bir zeminde, boru gerilmelerinin sınırın yakınında en yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Gray ve Ohashi (1983), farklı tipte fiberlerle takviye edilmiş kuru kum üzerinde doğrudan kesme deneyleri gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada hem doğal hem de sentetik fiberler ile metal teller test edilmiştir. Fiber takviyeli kumun, kuvvet-denge modeline dayanan etkileri teorik tahminlerle karşılaştırılmış ve fiber takviyesinin kayma mukavemetini arttırdığını ve kayma mukavemetinin tepe noktasından sonra azalmanın sınırlı olduğunu göstermiştir. Fiber güçlendirme modeli ile oluşturulan malzeme (kayma, basma, çekme vb.) mukavemetinin artan fiber içeriğiyle arttığı da gözlemlenmiştir.

Trautmann vd. (1985), kurutulmuş kumda gömülü boru hatlarının maksimum kaldırma kuvvetini ölçmek için küçük ölçekli bir laboratuvar model deneyi yapmıştır. Gömülü boru hatlarının maksimum kaldırma kuvveti için kum yoğunluğu ve boru derinliği düşünülmüştür. Düzlem gerilme şartları altında, sonuçlar; gevşek kumun kaldırma gücünün, sıkı kumlardaki kaldırma gücüne kıyasla oldukça düşük olduğunu göstermiştir.

McGown vd. (1985), rastgele dağıtılmış polimerik örgü elemanlarının zemin güçlendirilmesinde, parçacıkların ve parçacık gruplarının üniter, uyumlu bir matris içinde birbirine kenetlenmesine etki ettiğini göstermiştir.

Bir tür fiber katkısı ile zeminlerin güçlendirilmesi kavramı, yapı malzemesi olarak kullanılan kurutulmuş tuğlanın dayanıklılığını ve mukavemetini arttırmak için saman veya başka bir fiberle karıştırılmış zemini kullanan, ilk uygarlıklar tarafından uygulanmıştır. Fiberli zeminin doğal zeminden daha iyi çalıştığını göstermişlerdir. Kuru tip kumların çeşitli tiplerde gömülü fiberlerle doğrudan kesme deneyleri, tüm numuneler için kesme mukavemetinde artışlara neden olmuştur. Freitag (1986), fiberlerin sıkıştırılmış ince taneli bir zeminin mukavemeti üzerindeki etkisini incelemiştir. Yaptığı çalışmada likit limiti 42 ve plastisite indisi 22 olarak bulunan yağsız kumlu kil olarak sınıflandırılan kalıntı kireçtaşı zemini ve bükülmüş naylon ip, polipropilen ip fiber ve polipropilen olefin beton

takviyesi olmak üzere üç farklı fiber kullanmıştır. Fiber uzunluğu yaklaşık 20 mm olarak belirlenmiştir. Yaptığı deneyde kullanılan fiberin tipinin mukavemeti önemli ölçüde etkilemediği ve kazanılan mukavemet yaklaşık % 25 olduğunu göstermiştir.

Gray ve Maher (1989), ayrık fiber, çimento, kireç veya diğer katkı maddelerini kuma ekleyerek oluşturdukları malzemenin mukavemet ve sertlikteki artışını incelemiştir. Betonun dayanımının, fiber içeriği, en boy oranı ve zemin fiberinin yüzey sürtünmesi arttıkça yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Maher ve Gray (1990), ayrık-rastgele dağıtılmış fiberlerle takviye edilmiş kumların, statik gerilme-uzama tepkisini belirlemek, çeşitli zemin ile özelliklerinin ve deney değişkenlerinin zemin davranışı üzerindeki etkisini gözlemlemek için üç eksenli sıkıştırma deneyleri yapmışlardır. Deneylere ek olarak, statik yükler altında mukavemete karşı fiber katkısını tahmin etmek için karışımın kuvvet teorisine dayanan bir model geliştirilmiştir. Mukavemet ve sertlikteki artış, kum granülometrisinin (parçacık büyüklüğü ve şekli) ve fiber özelliklerinin (ağırlık oranı, en boy oranı ve modül) bir fonksiyonudur. Rastgele dağılmış fiber kalıntılarının, kumların nihai mukavemetini ve sertliğini önemli ölçüde artırdığını tespit etmiştir.

Al Refai (1991), ayrık fiberleri zeminle karıştırarak yaptığı doğrudan kesme deneylerinde, rafine edilmemiş sıkıştırma deneylerinde ve konvansiyonel üç eksenli sıkıştırma deneylerinde kesme mukavemetinin arttığını ve tepe noktası sonrasında mukavemet kaybının azaldığını gözlemlemiştir.

Katayama (1991), gerçek depremlere maruz kalan zemin ve gömülü boru hatlarının yer değiştirmeleri ile gerilmelerini kaydetmek için bir dizi sensör kullanmıştır. Küçük depremlerde, boru hatlarındaki eksenel gerilmeler çevredeki zeminlerle neredeyse benzer bulunmuştur.

Yasuda vd. (1994), gömülü boruların sismik davranışı üzerinde yaptıkları deneysel ve sayısal çalışmada, zeminin ve borunun yoğunluğunun, zemin su seviyesinin, zemin dane

dağılımının ve borunun çapının sıvılaşma sırasında boru deformasyonunda etkili olduğunu göstermiştir.

Dickin (1994), gömü derinliği, dolgu yoğunluğu ve boru çapının kohezyonsuz zeminlerin kaldırma gücü üzerindeki etkisini bir santrifüj model deneyi ile araştırmıştır. Sonuçlar, boru çapının kaldırma gücü üzerindeki etkisinin 1 m'den büyük çaplı borular için önemsiz olduğunu göstermiştir. Borunun pürüzlülüğü, gömme derinliği ile boru çapı arasındaki oranın 3,5'den daha büyük gömme oranları için uygun olmayan bir parametredir ve bu parametre sıkı derinliklerdeki kaldırma gücü üzerinde çok etkilidir. Sıkı ve gevşek kumlar arasında karşılaştırıldığında, sıkı kumlarda modeller için daha yüksek kaldırma gücü elde edildiği görülmüştür.

Maher ve Ho (1994), zeminin çatlama karşı direncini artırma yöntemlerini değerlendirmiştir. Yapılan bazı çalışmalar, doğal ya da sentetik fiberin (polipropilen ve cam) zemine karıştırılmasının kayma dayanımını ve taşıma kapasitesini arttırdığını göstermiştir. Bu çalışmada fiberlerin kohezyonluden zeminin, statik yük altında kayma mukavemetini ve sünekliğini arttırdığını göstermiştir. Maksimum kuru yoğunluğu veya karışımın optimum su içeriğinin büyüklüğü üzerine ek olarak, su içeriğinin artırılması, fiberlerin karışım mukavemetine ve sünekliğe katkısını azaltmıştır. Ayrıca, artan fiber içeriğinin zeminin test edilen aynı fiber türleri ve uzunlukları için hidrolik iletkenliği arttırdığını tespit etmiştir.

Leung ve Vipulanandan (1995), fiber, kireç, çimento ve kum gibi zemin katkı maddelerinin hacimsel büzülme ve kil zemininin hidrolik iletkenliğe etkisini incelemiştir. Çalışmada zemin esnekliği azaltılan ve sıkıştırılan kilin kayma kuvvetleri nedeniyle çatlama potansiyeli artmıştır. Bu nedenle, zeminin fiziksel özelliklerini değiştirmeden, hidrolik bariyer olarak kil performansını daha iyi geliştirmek için fiber kullanımına ilgi artmıştır. Sonuçlar, katkı malzemesi kullanılan zeminde, büzülmenin azaldığını, ancak bazı durumlarda hidrolik iletkenliğin arttığını göstermiştir.

Ranjan vd. (1996), fiber özelliklerinin (ağırlık oranı, en boy oranı ve yüzey sürtünmesi), zemin özellikleri üzerindeki etkisini ve yoğunluğunu incelemek için sentetik

ve doğal olarak ayrık-rastgele dağılmış fiberlerle takviye edilmiş kohezyonsuz zeminler üzerinde bir dizi üç eksenli basınç deneyi gerçekleştirmiştir. Ayrıca, güçlendirilmiş zeminlerin kayma dayanımı üzerindeki gerilmenin sınırlandırılması için deneysel faaliyetler göstermiştir. Bu faktörlerin güçlendirilmiş zeminin kayma dayanımı üzerindeki etkisini ortaya çıkarmak için matematiksel bir model geliştirmek adına test sonuçları üzerinde regresyon analizi yapmıştır. Model, herhangi bir tür fiberle ve belirli bir gerilme ortamı altında güçlendirilmiş zeminlerin dayanımını tahmin etmiştir. Test sonuçları, zemin-fiber karışımının kırılma zarflarının, fiberlerin kayma eğiliminde olduğu "kritik sınırlama gerilimi" olarak adlandırılan, belirli bir sınırlama gerilmesinde meydana gelen bir geçiş ile birlikte, eğrisel bir kırılma zarfına sahip olduğunu göstermektedir. Kritik sınırlama gerilmesinin miktarı, fiber en boy oranından etkilenmektedir. Fiber katkısı, zeminin kayma dayanımını önemli ölçüde artırır. Mukavemetteki artışın, fiber ağırlık oranı, en boy oranı ve zemin dane büyüklüğünün bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir.

Webb (1996), Massachusetts Üniversitesi kampüs alanında yaptığı arazi deneyinde; hendek ortamına farklı yerleştirme koşulları altında konulan bir HDPE borunun davranışını incelemiştir. Farklı çaplardaki esnek borular, farklı genişliklerdeki hendeklere, farklı geri dolgu malzemeleri kullanılarak yerleştirilmiştir. İncelemeleri sonucunda, özellikle uzun süreli değerlendirmelerde, geri dolgu malzemesinin sıkıştırılmasında kullanılan yöntemin boru davranışına belirleyici bir etkisi olduğunu gözlemlemiştir.

Nataraj ve McManis (1997), doğal zemine göre rastgele dağılmış fiberlerle güçlendirilmiş zeminin, dayanım ve deformasyon özelliklerini incelemiştir. Yaklaşık 25 mm uzunluğunda polipropilen fiberler, toprağın kuru birim ağırlığının %0,1, %0,2 ve %0,3'ü olacak şekilde üç farklı ağırlık yüzdesiyle takviye edilerek kullanılmıştır. Sonuçlar kile fiberlerin eklenmesinin sınır kayma dayanımını, sınır sürtünme açısının değerlerini, yapışmayı ve basınç dayanımını arttırdığını göstermiştir. Bu karşılaştırma, fiber takviyeli zeminin daha fazla deformasyon ve dolayısıyla kopma sırasında daha yüksek gerilme değerleri için zemini bir arada tutabildiğini ve güçlendirilmiş zeminin daha fazla enerji emebileceğini göstermiştir.

Al-Refeai ve Al-Suhaibani (1998), polipropilen fiber takviyeli kumun esnek davranışını araştırmak için bir çalışma yapmıştır. Üç eksenli deney, Kaliforniya taşıma oranı (CBR) ve esnek modül deneyleri, fiber takviyeli kumun yanı sıra takviyeli olmayan kum üzerinde de yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Optimum fiber içeriği ağırlıkça %0.4 olarak bulunmuştur. Sentetik fiber takviyeli kumun, takviyeli olmayan kumdan daha yüksek CBR değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Fiber takviyesinin esnekliğe etkisi, esnek modül model parametreleri açısından incelenmiştir. Kum numunelerinin kalıcı deformasyonu, fiber ilavesiyle azalmış ve fiber içeriği arttıkça kalıcı deformasyonun azaldığı gözlemlenmiştir.

Mohri vd. (1999), boruların performansının güçlendirilmesi amacıyla doymun zeminlerde birçok 1-g sarsma tablası deneyleri gerçekleştirmiştir. Bu deneylerde 40 cm derinliğe gömülen, 30 cm çapında PVC borular kullanılmıştır. Boruların statik durumlarda yeterli güvenlik katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak 0.3 g sinüzoidal dalga uygulandığında zeminin sıvılaşmış, direncini kaybetmiş ve borunun zemin yüzeyine çıktığını gözlemlenmiştir.

Towhata vd. (1999), dinamik yükleme öncesinde ve sonrasında borulara gelen kuvvetleri ölçmek amacıyla birçok sarsma tablası deneyi gerçekleştirmiştir. Dinamik yüklemenin frekansının ve zeminin rölatif sıklığının, boruya uygulanan kuvvete etkisinin olmadığı ölçülmüştür.

Sarıkaya ve Koyuncu (1999), yaptıkları çalışmalarda su ve doğalgaz borusu olarak kullanılan polietilen (PE) boruların, farklı boru malzemeleri ile kıyaslandığında deprem kuvvetlerine karşı daha iyi performansa sahip olduğunu göstermişlerdir. Buna rağmen, asbestli çimentolu malzemeler gevrek yani yer değiştirmeye, farklı oturmaya ve deprem kuvvetine göre daha dayanıksız olduğundan, deprem bölgesinde kullanılabilen en dayanıksız boru türü olduğu için bu tür malzemelerden yapılmış borular karşımıza çıkmaktadır. Bundan dolayı, deprem bölgelerinde polietilen, çelik, sünek demir ve cam fiber donatılı plastik boru gibi fleksibl boruların kullanılmasını önermişlerdir.

Faragher vd. (2000), gömülü esnek boruların döngüsel yüklemeler altında gerçek kurulum koşullarında performansını analiz etmek için tam ölçekli bir alan testi gerçekleştirmiştir. Borunun dikey deformasyonunun ilk yükleme döngüleri sırasında hızla arttığı, deformasyon oranının daha sonraki yükleme döngüleri uygulandığında belirgin bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.

White vd. (2001), kuru kumda boru yükselme mekanizmasını araştırmak için santrifüj model deneyleri gerçekleştirmiştir. Sonuçlar, tepe yükselme direncinin kumun nispi yoğunluğundan fazlaca etkilendiğini göstermiştir.

İşkan (2001), boru çapındaki artışın boru taban noktasındaki radyal ve teğetsel gerilmelerdeki etkisini araştırmıştır. Borunun çapı büyük olduğu zaman, boru çapındaki artışın sebep olduğu radyal gerilme artışının da büyük olduğunu belirlemiştir. Ayrıca borunun yerleştirildiği zeminde boru çapındaki artışın yarattığı gerilme, artış miktarından etkilenmektedir. Radyal gerilme açısından boru çapının değişiminden, en fazla orta sıkı kum zemine gömülen boruların etkilendiği ve teğetsel gerilme açısından ise boru çapındaki değişimden en fazla yumuşak kil zemine gömülen boruların etkilendiği görülmüştür. Sonuç olarak, teğetsel gerilme değerlerinin boru çap artışından daha fazla etkilendiği gözlemlenmiştir.

Gömülü boruların yüzeye yaklaşması, sıvılaşma sırasında zeminin kayma direncinin ve mukavemetinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Zhou vd. (2002), borunun yüzeye doğru hareketinin fazla boşluk suyu basıncı oluşumu ile ilişkisini incelemiştir. Borunun üstünde ve altındaki kuvvet dengesinin bozulmasının boru deformasyonunda etkili olduğu saptanmıştır.

Hosseini ve Tafreshi (2002), tekrarlanan yüklere maruz kalan küçük çaplı ince çelik borular üzerinde laboratuvar çalışması yapmıştır. Zemin yoğunluğunun ve boru gömülü derinliğinin, zemin-boru etkileşimini etkileyen en önemli faktörler olduğunu belirlemiştir.

Boominathan ve Hari (2002), uçucu küllerde sıvılaşmadan dolayı oluşacak dayanım kaybını azaltmak adına, gelişigüzel karıştırılmış geosentetik fiberler ile zemini

iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışma kapsamında birçok gerilme kontrollü, tekrarlı üç eksenli basınç deneyi gerçekleştirmişlerdir. Fiber içeriği, çevre basıncı, tekrarlı gerilme oranı ve rölatif sıklığı değişebilen nitelikte kabul edip uçucu küller üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneylerin sonuçları, fiber takviyelerinin, uçucu küllerdeki sıvılaştırma direncinin değişiminde önemli bir artış meydana getirdiğini göstermiştir. Buna ek olarak, düşük çevre basıncı etkisinde konsolide olmuş, başlangıçta gevşek olarak yerleştirilmiş numunelerin, fiber takviyesiz numunelere kıyasla daha yüksek dayanıma sahip olduğunu tespit etmiştir.

Yayımlanan birçok deneysel çalışma, örtülü olarak, fiberlerin rastgele zemin kütlesi boyunca yönlendirildiğini varsayar. Bu tür bir yönelim dağılımı, zemin mukavemeti izotropisini koruyacak ve sonuçta lokalize deformasyon düzlemlerinin oluşumunu önleyecek veya geciktirecektir. Michalowski ve C'ermák (2002), takviyeli numunelerin hazırlanması için en yaygın prosedürolan nemli sıkıştırmanın, fiberlerin tercih edilen alt-yatay yönelmesine yol açtığını bulmuştur. Laboratuvar deneyleri, fiber takviyeli zeminlerin büyük zorlamalara maruz kalması durumunda, fiber oryantasyon dağılımındaki değişimin, mukavemetinde anizotropik bir artış meydana getireceğini göstermiştir.

Consoli vd. (2003), polipropilen fiberlerle takviye edilmiş kumlu homojen zemin tabakası ve aynı tabaka kalınlığında fiber takviyesiz sıkıştırılmış kumlu zemin üzerinde bir çalışma gerçekleştirmiştir. Saha testlerine ek olarak, rastgele dağıtılmış polipropilen liflerle takviye edilerek sıkıştırılmış kumlu zeminin, statik gerilme-şekil değiştirme tepkisini belirlemek için laboratuvarında üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar deney sonuçları, takviyenin çok büyük basınçlarda gerilme-şekil değiştirme davranışını önemli ölçüde değiştirdiğini göstermiştir. Mukavemet, uygulanan basınçtan bağımsız olarak sabit bir oranda, %25 kadar büyük olan eksenel gerilmelerde bile asimptotik bir üst sınıra ulaşmadığı için sürekli olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Yetimoğlu ve Salbas (2003), doğrudan kesme deneyleri yaparak rastgele dağıtılan ayrı fiberlerle güçlendirilmiş kumların kesme mukavemetini araştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Fiber donatı içeriğinin kayma mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deneylerin sonuçları, tepe kesme mukavemetinin ve kumun başlangıç

sertliğinin fiber takviyesinden önemli ölçüde etkilenmediğini göstermiştir. Çökme anında yatay yer değiştirmeler, aynı dikey normal gerilme altında güçlendirilmiş veya takviyesiz kumlar için karşılaştırılabilir bulunmuştur. Bununla birlikte, fiber takviyeleri, daha az pik sonrası mukavemet kaybı sağlayarak zeminin kırılmasını azaltabildiği gibi elyaf takviyeleri ekleyerek de kumun kalıcı kayma dayanımı açısından bir artış meydana getirilebildiği görülmüştür.

Ling vd. (2003), sıvılaştırılabilir zemindeki büyük çaplı boruların yüzmeye karşı stabilitesini incelenmişlerdir. Santrifüj modelleme tekniği kullanılarak, laminer kasa içerisine gömülü boruların davranışı 30g'lik yerçekimi altında oluşturulan ölçekte, 8 adet sarsma deneyi ile irdelenmiştir. Bu çalışmada, zemin içindeki boşluk suyu basınçları ve ivmeler ölçülerek zamana bağlı davranış araştırılmıştır. Ayrıca sıvılaştırılabilir zemin içindeki boru sistemi, çakıl dolgu ve geogrid ile tecrit edilerek güçlendirmenin deplasmana etkisi incelenmiştir. Çakıl dolgu ve geogrid ile tecrit edilmesi durumunda, boru boyunca oluşan düşey yöndeki deplasmanların önemli mertebelerde azaldığı gözlemlenmiştir. Boru sisteminin tecridi ve güçlendirmesinde kullanılan dolgunun yoğunluğu ve sertliği ile kullanılan güçlendirme elemanının tasarım için önemli parametreler olduğu görülmüştür.

Ayalp (2006), sonlu elemanlar yöntemini kullanarak boru türü, geri dolgu malzemesinin ve hendek genişliğinin gömülü borulara etkisini incelemiştir. Çalışmada 1,6m çapında beton ve polietilen borular 4,3m derinliğe yerleştirilerek, çeşitli yerleşim planları üzerinde araştırma yapmıştır. Elde edilen sonuçlarda, Marston Yük Teorisinden elde edilen değerlerin sonlu elemanlar yöntemiyle ulaşılan verilerden daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Boruya sarmalanan malzemenin elastisite modülündeki artışla, boruya etki eden toplam yükte, eksenel kuvvette, kesme kuvvetinde, eğilme momentinde ve normal gerilmede azalma görülmüştür. Ayrıca hendekteki genişliğin artmasıyla boruya etki eden yüklerin de arttığı gözlemlenmiştir.

Zhang vd. (2008), geleneksel yatay takviyeler yerine yatay ve dikey (H-V) ortogonal takviye elemanları kullanarak yeni bir takviyeli zemin kavramı önermiştir. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ve kayma mukavemeti açısından güçlendirilmiş kumun davranışını anlamak için çok katmanlı H ve V ortogonal elemanlarla güçlendirilmiş kum üzerinde

kapsamlı bir üç eksenli deney seti gerçekleştirdiler. Deneysel sonuçlar, H ve V'nin ortogonal takviye elemanlarının dahil edilmesinin, zeminin içsel sürtünme açısında bir artışa neden olduğunu göstermiştir.

Sivakumar vd. (2008), hindistan cevizi fiberi ile güçlendirilmiş kumda üç eksenli basınç deneyleri yapmıştır ve fiberlerin kumun kayma dayanımını arttırmada yararlı olduğunu göstermiştir. Rastgele yönlendirilmiş fiberlerin sayısal analizdeki etkilerini göz önüne almak için bir yaklaşım önerilmiş ve sayısal simülasyonların sonuçları laboratuvarda üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Rastgele fiberlerin kumu güçlendirdiği mekanizmalar, farklı lokalize gerilme bantlarının oluşumunu önleyen ve çekme direncini artıran mikro yapı olarak açıklanmaktadır.

Choobbasti vd. (2009), küçük ölçekli laboratuvar model deneyi ile gömülü boru hatlarının yükselme direncine, kum ve gömme derinliğinin nispi yoğunluğunun etkisini araştırmıştır. Sonuçlar, boru hatlarının gömme derinliğini arttırarak daha fazla yükselme direncinin elde edildiğini göstermiştir. Ancak, kumun bağıl yoğunluğu, kum birim ağırlığında %20'lik bir artışın, gömülü boru hatlarının yükselme direnci üzerinde %40'lık bir gömme derinliği artışı ile aynı etkiye sahip olacağını bildirmiştir.

Diambra vd. (2010), kısa polipropilen fiberlerle takviye edilmiş kumu, geleneksel üç eksenli basınç ve çekme deneyi ile denemiştir. Fiberlerin mukavemete olan katkısı basınçta dikkat çekerken, çekmede sınırlı etkide olduğunu ve bu durumun çekme gerilmelerinin yönelimlerine bağlı olduğunu bulmuştur. Fiberlerin etkilerini, takviye edilmemiş zeminin gerilme-şekil değiştirme davranışları ile birleştirmek için bir modelleme yaklaşımı önermiştir. Fiber yönelimlerinin herhangi bir dağılımı hesaba katılarak fiber-kum karışımı için yapısal model, drenajlı üç eksenli basınç ve çekme deneylerinin sonuçlarına karşı kalibre edilmiştir. Kum matrisi için Mohr-Coulomb varsayımlarının basit yapısına rağmen, simülasyonlar, fiber yöneliminin gerilme koşullarından nasıl etkilendiğini ve deneysel verilerle iyi uyum sağladığını göstermiştir.

Oliveira vd. (2010), santrifüj deney düzeneği ile kil içinde yer alan bir borunun zeminle etkileşimini incelemişlerdir. Farklı gömülme derinliklerinde yer alan gömülü

boruların yanal hareketleri incelenmiş, gömülme oranının artmasıyla yanal yönde taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür.

Tafreshi ve Dawson (2010), statik ve tekrarlanan yüklerin bir kombinasyonu altında 3D ve düzlemsel geotekstil takviyeli kum yatakları üzerinde desteklenen şerit temellerin performansını incelemiştir. Farklı sayıda düzlemsel geotekstil tabakaları ve 3D geotekstil takviyesinin farklı yüksekliklerini içeren temeller üzerinde tekrar tekrar yükün çeşitli genliklerinin etkisi araştırmıştır. Sonuç olarak, deneylerde kullanılan geotekstil materyalin aynı kütlesi için, 3D geotekstil takviye sisteminin, dinamik yüklemenin etkileri için bir geciktirici olarak düzlemsel takviyeden daha etkili bir şekilde davrandığını gözlemlemiştir.

Balkaya vd. (2011), PVC borular üzerinde, boru ve conta arasındaki sürtünmenin, boruların birbiri içine geçme boyunun ve ek yerlerinde oluşan dönmenin, borunun davranışı üzerindeki etkisini araştırmak için bir dizi laboratuvar deneyleri ve sonlu elemanlar analizleri yapmıştır. Çalışmalar, boruların birbirleri içine geçmesi için gerekli olan itme kuvvetinin ve boruların eğilme davranışının belirlenmesi amacıyla iki aşamada yapılmıştır. Bulunan sonuçları, aynı geometrik yapıya ve malzeme özelliklerine sahip PVC borular, ABAQUS sonlu elemanlar programı kullanılarak modellenen üç boyutlu sonlu elemanlar analiz sonuçları ile karşılaştırmıştır. Deney sonuçları ile sonlu elemanlar analiz sonuçlarının karşılaştırılması, yapılan analizlerin boruların farklı şartlarda temel fiziksel davranışını modellemekte başarılı olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, borular üzerinde oluşan üretim hatalarının ya da depolanma koşullarındaki dikkatsizlik nedeniyle oluşabilecek boru en kesitlerindeki şekil bozukluğunun, borunun davranışı üzerindeki etkisinin incelemesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Çetin (2011), çalışmasında zemine takviye edilen fiberlerin zemin içerisinde donatı görevi gördüğünü belirtmiştir. Fiberin donatı görevi görmesi, zemin türlerinin bazılarında kireç ve çimento enjeksiyonu kadar etkili olduğunu göstermiştir. Fiberin, zeminde donatı görevi görebilmesi için zemin ile fiber yüzeyi arasındaki sürtünme kuvvetinin yüksek olması gerekmektedir. Meydana gelen sürtünme kuvveti, fiber ve zemin tanelerinin yüzeyinde oluşan gerilmenin yayılmasına imkân sağlamaktadır. İnce daneli (kil ve silt) kohezyonlu zeminlerdeki sürtünme miktarı, iri daneli (kum ve çakıl) kohezyonsuz

zeminlerinkinden daha fazla olacağı için, polimer esaslı fiberin kohezyonlu ve yumuşak zeminlerde iyileştirme amaçlı kullanılmasının daha uygun olacağını vurgulamıştır.

İbrahim vd. (2012), zemin numunelerinin deneylere hazırlanma sürecinin, mekanik özelliklerinin üzerinde önemli etkisinin olduğunu incelemiştir. Fiber katkılı zeminlerde, fiberlerin dağılımından dolayı karışım numunesinin bütün yapısında değişikliklerin olabileceğini ortaya koymuştur. Nemli kum-fiber karışımlı zeminlere titreşim uygulayarak numune hazırlamada yeni metotlar geliştirmiştir. Yaptığı çalışmada, nemli kum-fiber karışımına titreşim uygulayarak numunenin sıkıştırılmasıyla oluşan yeni yöntem, geleneksel yöntem ile yapılan drenajlı üç eksenli deneyler ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarının incelenmesiyle üç eksenli deney koşullarında her iki yöntemde mekanik reaksiyonlarının benzer nitelikte olduğunu ortaya koymuşlardır.

Noorzad ve Amini (2014), yaptıkları çalışmada zemine rastgele dağılmış fiberlerin, zeminin sıvılaşma direncini ve gevşek ve orta sıklıktaki kum tabakalarının kayma modülünü artırmadaki performansını incelemiştir. Drenajsız koşullarda fiber takviyeli ve takviyesiz doymuş numuneler üzerinde otuz adet gerilme kontrollü tekrarlı üç eksenli basınç deneyi gerçekleştirmiştir. Fiber içeriği, fiber uzunluğu, rölatif sıklık ve çevre basıncı parametrelerinin, takviyeli ve takviyesiz numunelerin sıvılaşma davranışları üzerindeki etkisini incelemiştir. Deney sonuçları, fiber takviyesinin zeminin sıvılaşma direncini arttırdığını göstermiştir. Fiber içeriği ve uzunluğu arttıkça, sıvılaşmaya neden olan çevrim sayısı artmıştır. Orta sıkı numunelerdeki fiber takviye etkisinin gevşek numunelerdeki takviye etkisine göre daha fazla olduğunu belirtilmiştir. Ayrıca, fiberle güçlendirmiş ve güçlendirilmemiş zeminlerin kayma modülü üzerindeki etkisini incelemiş ve kayma modülünün artan fiber içeriği ile arttığını gözlemlemiştir.

Eldesouky vd. (2016), kum kesme dayanımında izotropik bir artış sağlamak için rastgele dağıtılmış fiber takviyesi kullanmıştır. Fiber içeriği, bağıl yoğunluk, normal gerilme ve nem içeriği üzerindeki fiberlerin fiber dayanımı ve hacimsel değişim davranışları üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla 108 örnek üzerinde doğrudan kesme deneyleri yapmıştır. Sıkıştırılarak güçlendirilmiş takviyeli olmayan nemli kuma alternatif olarak, fiber takviyeli kuru kum kullanılması olasılığı da incelenmiştir. Nem, fiberlerin

tepe noktası ve sonrası kayma dayanımları ile genişlemesi üzerindeki etkisini azaltır. Fiber, fiber takviyeli gevşek kuru kumun fiber takviyesiz nemli sıkı kum ile aynı dayanıma sahip olmasını sağlamıştır. Sonuçlar kuma fiber takviyesi yapılmasının, kayma mukavemetini ve kumun genleşmesini arttırdığını göstermektedir.

Kılıç ve Akınay (2017), gömülü HDPE boru davranışının incelenmesi amacı ile yapılmış olan iki adet laboratuvar model deneyinden ve sonlu eleman yöntemi ile yapılan iki boyutlu sayısal analizden elde edilen sonuçlar paylaşmıştır. Deney zemininin modellenmesinde kullanılan parametreler, model deney ortamının yalnızca deney zemini ile oluşturulduğu deneyden alınan oturma ölçümlerinden yararlanarak geri hesaplama ile belirlenmiştir. Modellemede deney zemini ve HDPE boru için davranış modeli olarak sırası ile Pekleşen Zemin Modeli ve Doğrusal Elastik Model kullanılmıştır. Analizlerde, model deney tank duvarları ile deney zemini arasındaki ara yüzey etkileşimi ve boru ile deney zemini arasındaki ara yüzey etkileşimi göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan sayısal analizlerin sonucunda hesaplanan oturma, gerilme ve boru esnemelerinin ölçülen değerler ile genel olarak uyumlu olduğunu göstermiştir.

Festugato vd.(2017), yaptıkları çalışmada filament uzunluğunu dikkate alarak, suni çimentolu fiber takviyeli zeminler için çekme ve basınç dayanımına dayalı dozaj metodolojisi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Değerlendirilen kontrol parametreleri, fiber uzunluğu, çimento içeriği, porozite ve çimento boşluk oranıdır. Bu çalışmada bir dizi basınç ve çekme deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar çimentolu zemine, incelenen bütün çimento boşluk oranları için donatı uzunluğu büyük fiber yerleştirilmesinin, serbest basınç ve çekme dayanımlarını geliştirdiğini göstermiştir.

Söylemez (2017), zemine gömülü esnek boruların iyileştirilmesi amacıyla geofoam köpük kullanarak laboratuvarda bir seri 1-g fiziksel model deneyleriyle inceleme yapmıştır. Deneylerde, temiz kum üzerine 20 cm çapında PVC boru yerleştirilerek üzerine farklı boyutlarda ve yoğunlukta geofoam köpük malzemesi konulmuştur. Yüzeyde dairesel bir plaka ile uygulanan artan statik yükler altında borunun ve zemin yüzeyinin düşey deformasyonları ölçülmüştür. Geofoam köpüğün üzerine gelen dolgu yükünü kemerleme

etkisi yaparak yanalardaki zeminlere aktarması nedeniyle boru üzerindeki yüklerin ve boru yüzey alanında oluşacak deformasyonların azalmasına olanak sağladığını göstermiştir.

Depreme dayanıklı boru hattı imalatı veya deprem öncesinde boru hatlarının bakım, onarım ve güçlendirilmesinin yapılması için yapısal analizlerin yürütülmesi son derece önemlidir. Çoban ve Çeribaşı (2018), çalışma kapsamında içme suyu sistemlerinde sık karşılan zemine gömülü basınçlı çelik boru hattı, sonlu elemanlar yazılımı ANSYS Workbench V17.1 kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiş ve zaman tanım alanında sismik analizi yapmıştır. Yapılan analizlerde derinlik ve boru çapı parametreleri değiştirilerek çelik boruda meydana gelen gerilme ve deplasman miktarları araştırılmıştır.

Yüzer (2018), şev stabilitesini artırmak için kumlu şev zemine sentetik fiber katkısı uygulamıştır. Kullanılan fiber uzunluklarını 6mm ve 18mm seçerek, ağırlıkça %0.1,%0.2, %0.3, %0.4, %0.5, %0.6, %0.7,%0.8, %0.9 ve %1 olmak üzere fiber katkılı ve katkısız hidrolik geçirgenlik ve su tutma deneyleri yapmıştır. 10 farklı fiber oranında üç eksenli basınç ve konsolidasyonlu drenaj deneyleri uygulamıştır. Laboratuvar ortamında 3D şev elde edilecek şekilde fiber katkılı ve katkısız kum 3D erozyon kanalı içerisinde inşa edilmiştir. Üç boyutlu lazer tarayıcılar ile şev yüzeyinde meydana gelen şekil değiştirmeler taranarak erozyon hacimleri belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda zemin içerisindeki fiber katkısının sızma suyu erozyonunu önlediği gözlemlenmiştir.

İbrahim vd. (2018), bir laboratuvar ortamında fiber katkılı ve katkısız zemin numunelerinin sıkıştırılması için gerekli enerji tüketimi ile ilgili hususları incelemiştir. Sabit bir zemin yoğunluğuna fiberlerin eklenmesinin sıkıştırmaya karşı artan bir direnç gösterdiği bilinmektedir. Fiber katkısız sıkı bir zemin numunesinin tepe mukavemet özellikleri, az miktarda fiberle karıştırılan daha gevşek granüler zemin matrisleri kullanılarak da elde edilebilir. Yapılan çalışma hem deneysel hem de ayırık eleman modelleme (DEM) prosedürlerine dayanarak, fiber katkılı gevşek kum numuneleri oluşturmak, katkısız sıkı kum numunelerini oluşturmaya kıyasla daha az sıkıştırma enerjisinin gerekli olduğunu göstermiştir. Ayrıca her iki numunenin de benzer tepe mukavemet özellikleri gösterdiği gözlemlenmiştir.

Cui vd.(2018), çalışmalarında karbon fiber ve nanosilikanın, siltli zemin üzerindeki fiziksel, mikroyapısal ve kayma direnci etkilerini incelemişlerdir. Farklı oranlarda karbon fiber ve nanosilika takviyeli zemin numuneleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Numuneler farklı normal basınç seviyeleri altında doğrudan kesme deneyleriyle test edilmiştir. Ayrıca, mikroyapısal değişiklikleri incelemek için SEM (taramalı elektron mikroskobu) deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları, karbon fiber ve nanosilika takviyeli zemin numunelerinin, takviyesiz zemin numunelerine göre kesme mukavemetlerinin önemli ölçüde iyileştirildiğini göstermiştir.

Tayvan bölgesindeki nemli iklim nedeniyle, gömülü borular korozyondan zarar görmeye eğilimlidir ve sahile yakın yerlerde yüksek tuzluluk oranı nedeniyle daha fazla zarar görebilirler. Ayrıca, yeraltı boru hattı planlamasının uygulanmadığı hallerde, durum kötüleşebilir. Shou ve Chen (2018), bu çalışmada, korozyondan zarar görmüş gömülü boru hatlarını simüle etmek için sayısal simülasyon yazılımı olan ABAQUS'u kullanmıştır. Gerilme - yer değiştirme davranışı, farklı iç basınç ve yüzey yükleme koşullarına sahip ortamlar için analiz edilmiş ve yerinde kurlenmiş boru (CIPP) yönteminin performansı, kazısız iyileştirme yöntemi ile sayısal olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, gerilme konsantrasyonunu ve diferansiyel yer değiştirmeyi azaltarak hasarlı boruyu güçlendirebileceğini göstermiştir.

Öztürk (2018), doğal veya yapay olarak üretilmiş fiber ile temiz kumun karışımından oluşan malzemenin dinamik davranışına etki eden faktörleri belirlemeye çalışmıştır. Çalışma kapsamında ilk olarak kum zemin numunesinin, fiziksel mühendislik özelliklerini belirlemiş ve dinamik üç eksenli basınç deneyi ile farklı sıklıklarda ve boyutlarda fiber katkılı veya katkısız hazırlanan numunelere farklı kayma gerilmelerinde tekrarlı yüklemeler uygulayarak, numunelerin rijitlik ve sönüm özelliklerini incelemiştir. Başlangıçtaki kayma modülü, kayma modülü oranı ve sönüm özelliklerinin birim kayma gerilmesine göre değişimini etkileyen faktörleri araştırmıştır. Deney sonuçları, temiz kum zeminlere katılan fiber katkılarının zeminin dinamik davranışını belirli şartlarda olumlu yönde etkilediğini göstermiştir.

Tran vd. (2018), mısır püskülünün fiber olarak kullanıldığı güçlendirilmiş zeminlerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, fiber katkı miktarının (%0.5, %1, % 1.5 ve %2) ve uzunluklarının (10, 30 ve 50 mm) fiber takviyeli zeminin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini kompaksiyon, serbest basınç deneyi ve kopma-çekme deneyleri yaparak incelemişlerdir. Sonuçlar, mısır püskülü fiberinin zemine eklemesinin basınç dayanımı, kopma gerilme dayanımı, süneklik, dayanıklılık ve rijitlik içeren mekanik özelliklerini geliştirdiğini göstermiştir. Mısır püskülü fiberlerinin, zemin stabilizasyonunda iyi bir performans gösterdiği, zemini modifiye etmek için iyi bir fiber malzemesi olduğu ve gelecekte ilgi duyulabileceğinin sonucuna varılmıştır.

Shirvani vd. (2019), çalışmalarında kenaf bitkisine ait fiber takviyeli zeminin sıkıştırma ve kayma dayanımı özellikleri üzerine bir dizi büyük ölçekli doğrudan kesme deneyleri yapmışlardır. Fiber takviyeli ve takviyesiz kum-kil karışımlarının sıkıştırma ve kayma dayanımı özelliklerini belirlemek için toplam 128 deney yapmışlardır. Daha sonra, kenaf fiberi takviyesinin gerilme-yer değiştirme ilişkisi, hacim değişimi, süneklik ve takviyeli zeminin göçme durumu üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, kum-kil karışımına belirli miktarda kenaf fiberi eklenmesi, karışımın sünekliğini arttırmış, kayma dayanımı parametrelerini geliştirmiş ve sonuçta kaldırım tabakaları, şev korunması, dolgu ve bina temeli gibi inşaat projelerinde kullanılmaya uygun olduğunu göstermiştir.

Scussel vd. (2019), gömülü boru hatlarında oluşabilecek sızıntıları (kaçakları) tespit edebilmek için sızıntı gürültüsü korelatörleri kullanmıştır. Bu yöntemde borunun her iki yanına yerleştirilen hidrofona veya ivmeölçerler kullanılarak elde edilen sızıntı gürültüsü sinyallerine bağlı olarak çapraz bağıntılar kullanılır. Çalışmalarında zemin kütle ve kayma modüllerinin, gömülü plastik bir borudaki ağırlıklı olarak sıvı kaynaklı dalganın ölçümlerinden belirlenmesine yönelik yeni bir yaklaşım açıklamışlardır. Ölçülen veriler, modelden tahmin edilen verilere karşılık gelen veriler ile karşılaştırılıp, zemin özellikleri bir optimizasyon algoritması kullanılarak belirlenmiştir. Yöntem, doğada iki farklı şekilde olmak üzere boru dolgu zeminin kum ve kil olduğu ortamlarda uygulanmıştır. Deney sonuçlarında kum zeminde gömülü olan boruda kütle ve kayma modülünün tahmin

edilebileceği, ancak kil benzeri zeminlerde yalnızca kayma modülünü tahmin edebilmenin mümkün olduğu bulunmuştur.

1.4. Zemine Gömülü Borular

Geçmişte ve günümüzde gömülü boru hatları yaşamsal faaliyetlerimizi konforlu bir şekilde sürdürebilmemiz adına şehirleşmede ve mühendislik çözümlerinin gerekli olduğu ulaşım, iletişim ve haberleşme araçlarında; su, kanalizasyon, drenaj, petrol ve doğal gaz, telefon, elektrik, metro hatları ve menfezler gibi birçok alanda kullanılmak üzere inşaa edilmiştir. Bu inşai faaliyetlere birçok antik kentte eski medeniyetlere ait kazılarda yeraltı su kanalı ve kanalizasyon kalıntıları halinde rastlanılmıştır.

Zemine gömülü boru teknolojisinde kullanılacak malzeme, aktarılabacak olan akışkanın türüne, sıcaklığına ve basıncına bağlı olarak değişmektedir. Boru malzemesinin, kullanım alanına bağlı olarak dezavantajları ve avantajları değerlendirilir. Yüksek basınç gerektiren isale hatlarında dökme demir borular kullanılırken, düşük basınç gerektiren hatlarda asbestli çimento veya betonarmeden imal edilmiş borular kullanılır. Korozyona karşı koruma gerektiren durumlarda ise çelik borular yerine plastik borular kullanılır.

Depremlerin sismik etkilerinden dolayı gömülü boru hatlarında büyük yapısal hasarlar meydana gelmektedir. Deprem sırasında yer hareketinin etkisiyle borunun gömülü olduğu zeminin sıkışmaya, oturmaya veya kabarmaya başlaması sebebiyle oluşan hasarların önüne geçmek adına pek çok farklı amaç için değişik türlerde boru tasarımları kullanılmaktadır. En sık kullanılan boru türleri; “beton, font, karbon çeliği, dökme demir, düktil demir, cam ve teflon kaplı borular, plastik ve PVC borulardır.” Deprem bölgelerinde daha çok polietilen (PE), sünek demirden ve cam lifli donatıdan yapılmış plastik borular gibi fleksibl boruların kullanımını önerilmektedir. Bunun yanı sıra plastik borular da korozyona karşı dayanıklı olmaları ve esneklik kabiliyetleri ile kullanım alanlarını arttırmıştır (Balkaya,2002).

1.4.1. Gömülü Boruların Tasarımında Etkili Olan Zemin Ve Boru Özellikleri

Zemine gömülü boruların tasarımını etkileyen değişik parametreler vardır. Kullanılacak boru çeşidinin önemi olduğu kadar boruyu çevreleyen dolgu malzemesinin özellikleri de tasarımda önem taşımaktadır. Proje tasarım aşamasında zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak, boru çeşidi ve dolgu zemini yapılacak yatırımın gereksinimlerini karşılayacak şekilde seçilmelidir. Tasarım aşamasında malzemenin performans kriteri, maliyet etkinlik analizi, sistemsel güvenlik ve güvenilirlik göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca malzeme seçiminde dolgu zeminin cinsi, sıklığı, birim hacim ağırlığı, deformasyon modülü ve su içeriği özellikleri incelenmelidir. Borunun zemine yerleştirilmesinde gömü derinliği, zeminin cinsi, borunun mukavemeti ve rijitliği gibi özellikleri belirlenmelidir (Şendir, 2005).

Piyasada çeşitli amaçlara yönelik farklı malzemelerden üretilmiş çeşitli tasarım özelliklerine sahip boru çeşitleri bulunmaktadır. Bu boru çeşitlerinin kullanım alanlarına göre mukavemet, esneklik, hafiflik, korozyona dayanım gibi birçok öne çıkan özelliği mevcuttur. Bu özelliklerin yanı sıra tasarım sırasında yerleştirilecek borunun çapına bağlı olarak hendek genişliği de dikkate alınmalıdır. Borunun yerleştirilecek olduğu hendeğin kazıdan dolayı gevşememiş olmasına önem gösterilmelidir. Kazı sonrasında dolgu için hatalı malzeme seçimi ve kullanımı, imalat sürecini olumsuz etkileyebileceği gibi; yatırım maliyetlerinin artmasına, nihai ürün kullanım ömrünün azalmasına ve işletme giderlerinde artışa neden olmaktadır.

Tüm bu değerlendirmeler yapılırken tasarımlarda kullanılan boru çeşitlerinin genel özellikleri genel itibarıyla incelendiğinde;

Beton borular, donatılı, donatısız ya da öngermeli betondan sulama, drenaj, atıksu, yağmur veya içme suyu taşımak amacıyla yapılmış elemanlardır. Bu borular, geri dolgu ve dış basınç nedeniyle meydana gelen yüklere karşı dayanıklı ve korozyondan etkilenmemelerine rağmen asidik ve alkali ortamlarda korozyondan etkilenirler. Bu yüzden yüzeyde oluşabilecek çatlaklar sızıntıya neden olarak basınç dayanımını düşürebilir.

Korozyona karşı koruma sağlamak için ametal pas payları kullanılabilir. Tamir edilmeleri zor olmasına rağmen bakım maliyetleri düşüktür (Babitt vd., 1962; Kılıç,2010).

Çelik borular, kaynaklı, kaynaksız ve dökme borular olmak üzere şehir içi iletim ve dağıtım hatlarında kullanılırlar. Bu borular, beton boru ve dökme font borulara göre daha hafif olmaları nedeniyle taşınmaları ve montajları da basittir. İç basınca ve korozyona karşı dayanıksız oldukları için çok yüksek basınca ve nem şartlarına maruz kalabilecek durumlarda kaynaksız borular tercih edilebilmektedir. Borunun korozyona karşı korunmasını sağlamak veya korozyonu azaltmak adına ya paslanmaz çelik borular kullanılmalı ya da boru polietilen kaplama ile kaplanmalıdır (Balkaya, 2002, Yiğit, 2007).

Düktil Döküm Borular, santrifüj dökme tekniği ile dökme demirden imal edilirler. Normal dökme demir borulara göre daha esnek ve daha yüksek mukavemete sahip olan bu borular, ayrıca çelik borulara göre korozyona, zemin ve trafik yüklerine karşı daha dayanıklıdır. Düktil dökme demir küresel grafitli yapıya sahipken; normal dökme demirde grafitler, lameller şeklinde ve kırılğan yapıya sahiptir. Düktil dökme demirin küresel grafitli yapıya sahip olması çelik gibi esnek davranmasını sağlar. Yüksek mukavemet değerleri nedeniyle basınçlı hatlar için uygun olan bu borular epoksi, bitüm, poliüretan, çinko astarı gibi çeşitli malzemelerle kaplanarak kullanılır (Balkaya, 2002, Kılıç, 2010).

Polietilen (PE, HDPE) Borular, petrolden elde edilen etilen gazının polimerizasyon işleminden sonra oluşan hammaddeden imal edilmiş geri dönüşümü olan bir boru çeşididir. Polietilenin korozyona uğramaması, kimyasallardan etkilenmemesi, aşınma dayanımının yüksek olması ömrünü alternatif ürünlere göre avantajlı duruma getirmektedir. Şebekelerin meydana gelen depremlerden sonraki durumları incelendiğinde görülmüştür ki, polietilen borular depremden sonra da kullanılabilirken, rijit borular tamamen devre dışı kalarak yeni hatlar döşenmek durumunda kalınmıştır. Erozyonun yaşandığı yerlerde ise PE borunun %600 uzama kabiliyeti sayesinde uzayarak, zeminde oluşan açılmaları absorbe ettiği, sık sık yenilenme ihtiyacının oluştuğu heyelan bölgelerinde de hatların kalıcılığını sağladığı gözlemlenmiştir. Projeye uygun olarak farklı basınçlarda üretilmesi hammadde tasarrufu sağladığından projelerin fizibil olmasında etkili olmuştur. Basınç kaybı hesaplarında, hidrolik pürüzsüzlük eğrisinde olduğundan daha düşük enerjili pompa

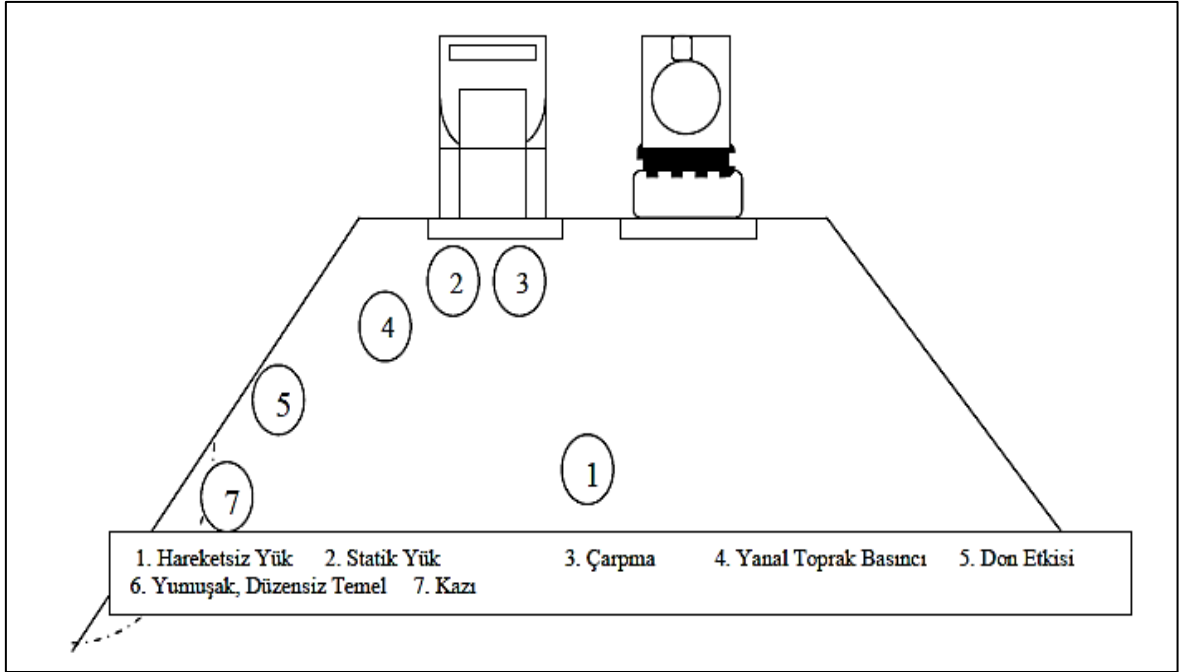
seçilerek ilk yatırım ve işletme maliyetlerinde tasarruf sağlamaktadır. Çelik boruların hepsi buz ile yarılrken, PE borular genişlererek hacim artışını absorbe etmektedir.

PVC Borular, atık su borusu olarak TS 275-1 EN 1329-1 kalite standardına göre polivinil klorür hammaddesinden üretilmektedir. PVC atık su boruları, pürüzsüz iç ve dış yüzeyi sayesinde tortu ve birikinti oluşumuna ve mikroorganizma üretimine izin vermez, koku yapmazlar. Aynı zamanda zor alev alan bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle PVC atık su boruları, olası yangınlarda alev almaz ve yangının katlar arası geçişine engel olurlar. Bu özelliğinden dolayı yapı sektöründe oldukça tercih edilen borular arasında yerini almaktadır. Kolayca takılıp, çıkarılabileceği gibi kesme, bükme, yapıştırma vs. gibi zahmetli işçilikler gerektirmez.

1.4.2. Zemine Gömülü Borulara Etkiyen Dış Yükler

Gömülü borulara etkiyen dış yükler, boru üzerindeki zemin ağırlığı, hareketli yükler, boru ve bileşenlerinin kendi ağırlıkları dolayısıyla meydana gelirler. Ayrıca, dolgunun yüksekliği, borunun üzerindeki ve etrafındaki zeminin yapısı ile yoğunluğu, hendeğin genişliği ve derinliği, borunun yük altında gösterdiği deformasyon ve inşaat yapım yöntemleri de boruya etki eden dış yükler üzerinde büyük öneme sahiptir (Sağlamer ve Balkaya, 2003).

Boru hatlarına iç ve dış basınç nedeniyle oluşan etkilerde etkimektedir. Dolayısıyla boru tasarımı esnasında iç basınç, dış basınç, borunun içinde bulunan akışkanın hareket değişimleri ve ortam ısısında meydana gelebilecek farklılıklardan kaynaklı oluşabilecek gerilmeler dikkate alınmalıdır. Bahsedilen iç basınçlar, iç sıvı basıncı ve su darbesi nedeniyle oluşurken; dış basınçlar ise, boru üzerindeki geri dolgunun ağırlığı, boru ve bileşenlerinin kendi ağırlıkları ile trafik yüklerinden dolayı meydana gelirler (Gümüş, 2009). Borular üzerine etkiyen yükler Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Boru üzerindeki yükler (Balkaya,2002).

1.4.2.1. Zemin Yükü

Gömülü boruların tasarımı, üzerinde bulunan zeminin ve hareketli yüklerin büyüklüğüne bağlıdır. Düşük kaplama kalınlığının olduğu durumda trafik yükü etkili olurken, yüksek kaplama kalınlığında ise zemin yükü daha etkili olur. Boruya etki eden zemin yükü, aslında borunun üzerindeki zemin ağırlığından oluşturmaktadır. Bununla birlikte, borunun etrafında bulunan zeminin oturması ve borudaki deformasyona bağlı olarak oluşan sürtünme kuvveti ile kemerlenme de boru üzerindeki zeminin yükünü etkilemektedir. Boruya dolgu nedeniyle aktarılan yük, esasen dolgunun ve borunun birbirlerine göre bağlı sıklıklarına bağlıdır. Boruya etki eden dolgu yükü, prizma yüküne göre daha az olabilmektedir. Bunun nedeni ise zeminin, kayma direnci yoluyla boru üzerindeki dolgu yükünün bir kısmını hendek kenarlarına ve tabanına iletilmesidir. Bu yük iletimine kemerlenme adı verilmektedir. Teorik olarak, gömülü borunun üzerine prizma yükünün etkimesi için boru ve boruyu çevreleyen zemin sıklıklarının birbirlerine eşit olması gerekmektedir. Kemerlenme, zeminin mukavemetine ve zemin ile yapının birbirlerine göre sıkışmasına bağlıdır. Boruya etki eden yük, boru ile yatak malzemesinin rijitliğine ve dolgu malzemesinin özelliklerine bağlıdır (Bulson,1985, ASTM, 2004).

1.4.2.2. Hareketli Yükler

Gömülü boruların üzerine, karayolu, demiryolu ve hava alanları gibi yerlerde zemin yüküne ilaveten sabit veya hareketli yükler de etkimektedir. Bu nedenle üzerindeki imalat ve yerleşim işlemleri sırasında borular, ağır iş makinelerinden kaynaklı yüzeysel yüklere maruz kalırlar. Maruz kaldıkları bu tür yüzeysel yüklere, trafik yükü adı verilmektedir. Gömülü boru tasarımı esnasında zeminden kaynaklı oluşan hareketsiz yüklerin yanı sıra trafikten kaynaklı hareketli yükler de dikkate alınır. Ayrıca tasarım aşamasında yüzeye yakın, yani kaplama derinliğinin yüksek olmadığı durumlarda sığ boruların dizaynı yapılırken, yüzeysel yükler daha fazla etkili olmaktadır (İşkan,2001, Bull, 1994).

Hareketli yüklerin hesabı, zemin yüzeyine etkileyen noktasal yüklerin neden olduğu gerilmelerin derinlikle dağılımında Boussinesq yarı sonsuz elastik gerilme dağılımı dikkate alınarak yapılır (Şekil 2 ve Şekil 3).

Boussinesq gerilme dağılımı kullanılarak hareketli yüklerin hesabı için,

$$W_{sc} = C_s \cdot \left(\frac{P \cdot F'}{L} \right) \quad (1)$$

formülü kullanılabilir.

Burada;

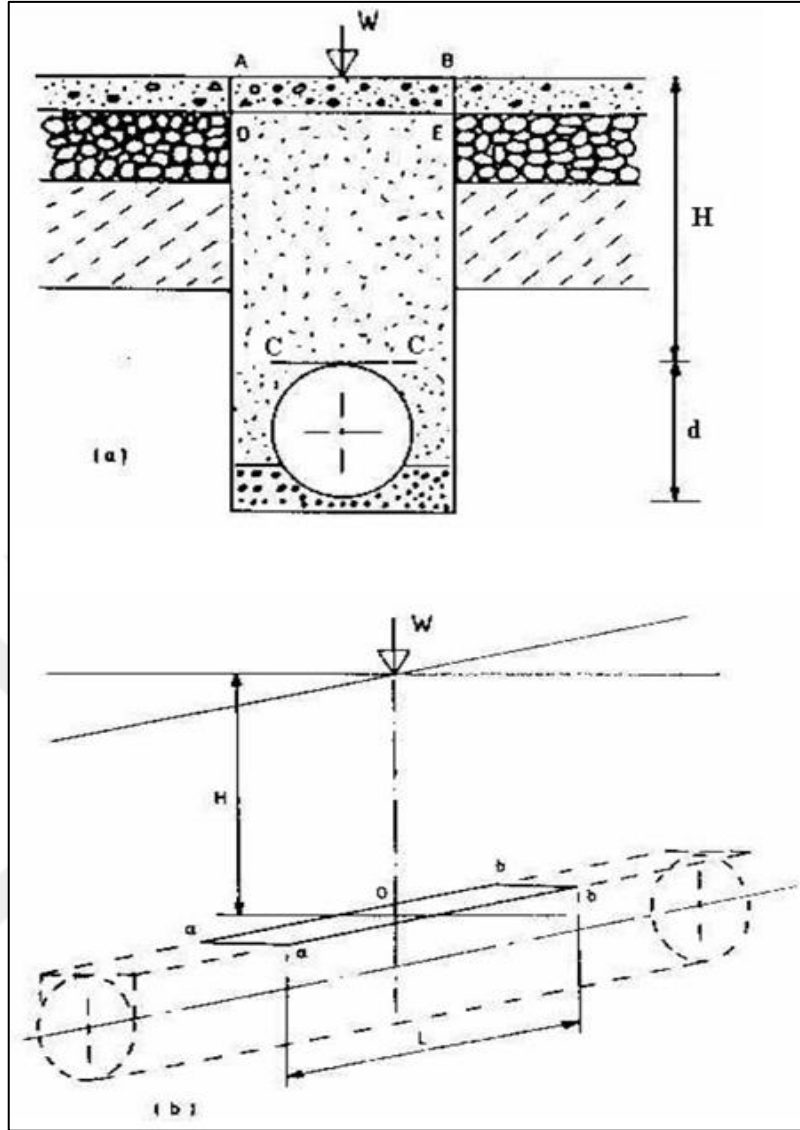
W_{sc} : Tekerlek yükünden dolayı borunun birim boyuna etkileyen ortalama yük (KN/m)

C_s : Yük katsayısı

P : Tekerlek yükü (KN)

L : Efektif boru uzunluğu (m)

F' : Etki faktörüdür (statik yük $F'=1$).



Şekil 2.Yol platformu altındaki gömülü boruya etkileyen hareketli yükler. (a) tipik kesit, (b) kabul edilen homojen durum (Balkaya,2002).

Marston, trafik yükünün etki ettiği derinliğe bağlı olarak hareketli yüklerin hesabı için,

$$W_{sl} = \frac{1}{A} \cdot I_C \cdot C_t \cdot P \quad (2)$$

formül kullanılabilir.

Burada;

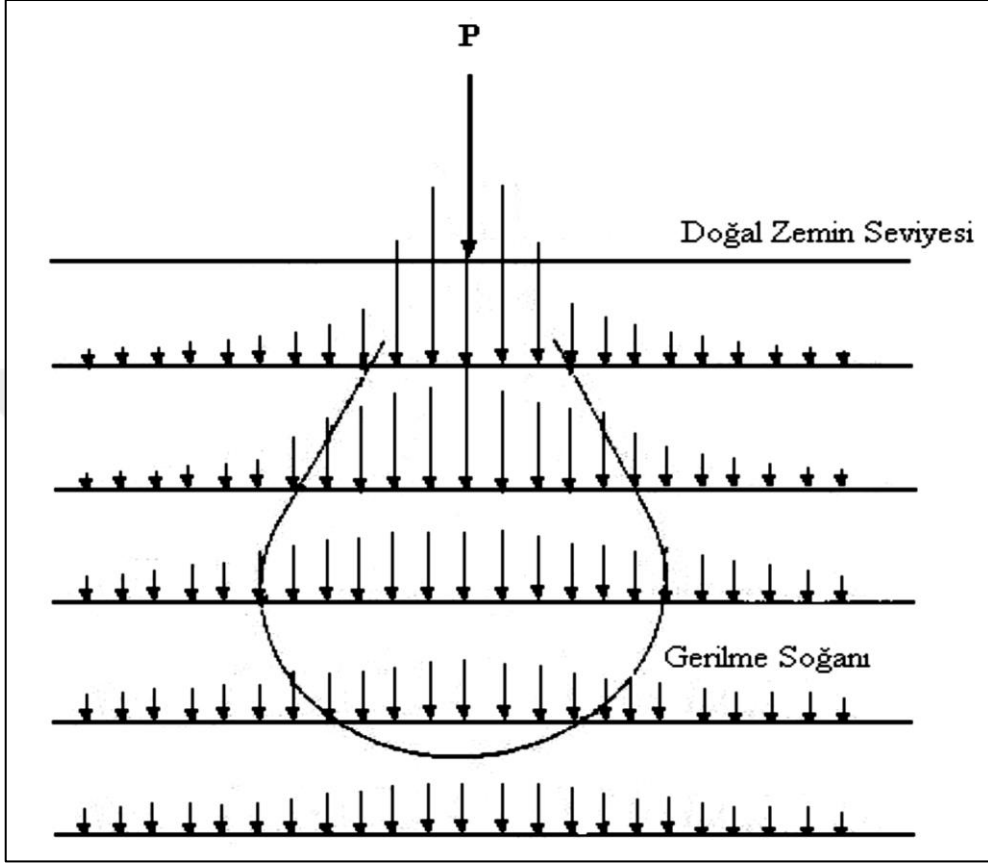
W_{sl} : Birim uzunluk için ortalama yük

A : Trafik yükünün hesaplandığı mecrâ uzunluğu

I_C : Etki faktörü (statik yük $I_C=1$)

C_t : Yük Katsayısı

P : Dolguya etkiyen tekil yüküdür.



Şekil 3. Gerilme soğanı

1.4.2.3. Borudan Ekseni Boyunca Oluşan Yükler

Zemin içerisine yerleştirilen gömülü boru hatlarının, yerleştirildikleri ortamda zarar görmeden stabil koşullar altında kalabilmeleri gerekir. Gömülü boru hatlarında meydana gelen hasarların yalnızca zemin ve hareketli yüklerden olanlarının hesaplanabildiği, bu yükler dışında kalan bölgesel, değişken ve eksenel eğilmeye neden olan yüklerin hesaplanamadığı bilinmektedir (Ayalp, 2006).

Temel malzemesinin sabit olmaması ve fazla kazı nedeniyle meydana gelen çeşitli oturmalar, üniform olmayan sıkıştırma ve boru sızıntısı veya su akımlarının neden olduğu

zeminde zayıflama medyana gelebilir. Ayrıca, boru altında oluşan zemin erozyonu sonucu üniform olmayan taban desteği ortaya çıkabilir. Kullanılacak olan boru seçiminde fleksibl boruların tercih edilmesi oluşabilecek olan basınç yoğunlaşmalarını ortadan kaldırdığı gibi borunun uygun bir şekilde yerleştirilmesiyle aksel eğilme etkisinde kalmasını önler ve zarar görmemesini sağlar (Balkaya, 2002, Moser,1990).

Zeminde oluşan fazla ısı ve nem değişimi, trafik yükleri, kanal, hendek veya tünel açma ve komşu kazı hareketleri gibi boru hattını etkileyen hareketler sonucu boru hattında farklı oturmalar meydana gelebilir. Boru hattının rijit bir şekilde bağlandığı baca veya diğer yapılarda oluşan farklı oturmalar boruda büyük eğilme momentlerinin ve kayma gerilmelerinin etkili olmasına neden olur. Bu kuvvetler, yapı veya boruların birbirlerine doğru yatay olarak hareket etmeleri sonucunda oluşurlar. Zeminde farklı oturmaların oluşmasını engellemek için tasarım aşamasında uygun temel ve yataklama malzemesi seçilerek sıkıştırılma yapılmalıdır (Balkaya, 2002).

Zeminin bazı türleri, özellikle şişebilen killer, ortamda bulunan su miktarından etkilenirler. Bu tür zeminler su içeriğindeki değişimlerden kaynaklı oluşabilecek mevsimsel kabarma ve çökmelerden dolayı boru döşenmesine uygun değildirler. Yeraltı suyu seviyesinin artıp azalması da yer hareketlerine neden olabilir. Bu yer hareketlerinden dolayı borularda büyük hasarlar meydana gelebilir. Boru seçiminde deformasyon özellikleri nedeniyle fleksibl boruların tercih edilmesi yapısal hasar oluşmadan borunun bu hareketlere uyum sağlamasına izin verir.

Gömülü boru hatlarında sismik etkilerden dolayı depremlerde önemli hasarlar meydana gelmektedir. Deprem sonucu oluşan dalga yayılımına bağlı zemin hareketi, fay hareketi, sıvılaşma ve zemin kayması gibi etkenlerden dolayı hasarlar oluşur. Bu hasarlar özellikle zemin koşullarında keskin değişimlerin olduğu, sıvılaşan veya zayıf zeminlerde, boru hatlarının bağlantı bölgelerinde, fay tabakalarında, zemin kayma düzlemlerinde, geçiş bölgelerinde ve borunun yapıya girdiği bölgelerde daha çok meydana gelmektedir. Deprem sonrasında borularda sızıntı ve kırılma oluşabilir. Borularda hasar oluşumunu en aza indirmek için fleksibl boru seçimi depremi hasar görmeden atlatabilir (Balkaya, 2002).

1.4.2.4. Don Yüğü

Soğuk mevsimlerde, şiddetli soğuk hava koşulları bir süre devam ettiğinde suya doymun sığ zemin tabakalarında su tanecikleri donduğunda buz tabakaları veya kristalleri oluşturarak don olayı meydana gelir. Kılcal kuvvetler etkisiyle don derinliğinin altındaki serbest su düzeyindeki bölgelerden su yukarı taşınır ve giderek don derinliği artar. Donan su, yaklaşık % 9 kadar bir hacim artmasına uğrar. Suyun donması sonucu, zemin hacminde bir kabarma meydana gelir. Bu kabarma olayından kaynaklı basınç gerilmeleri nedeniyle gömülü borular üzerindeki düşey yük önemli derecede artmış olur ve bu olay yapılarında önemli derecede hasara yol açabilir. Borular üzerinde oluşabilecek don etkisinin azaltılması amacıyla, borular don seviyesinden yaklaşık 1m aşağıya döşenmelidir (Balkaya, 2002).

1.4.3. Zemin Gömülü Borularda Hasara Neden Olan Faktörler

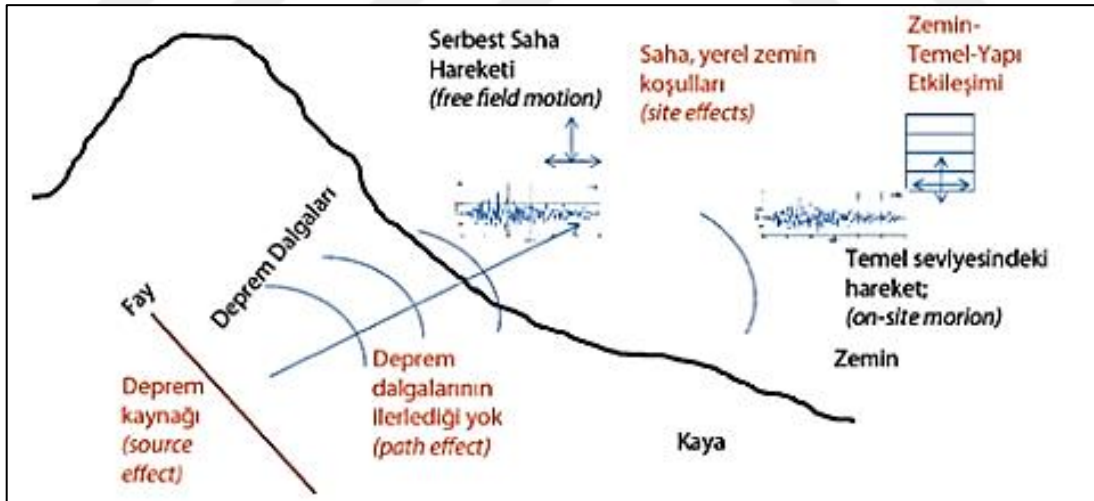
Geçmişten günümüze kadar meydana gelen depremler incelendiğinde gömülü boru hatlarındaki davranışın üst yapıda oluşan davranışlardan farklı olduğu görülmüştür. Üst yapı tasarımlarını etkileyen en önemli faktör eylemsizlik kuvveti iken gömülü boruların tasarımlarında daha etkili olan ise çevre zemin faktörüdür. Üst yapıda meydana gelen hasar, sadece o yapıyı etkilerken gömülü borularda meydana gelen hasar hattın diğer parçalarını da etkiler (Şendir, 2005, Datta ,1999).

Deprem sonucunda oluşan dalga yayılımına bağı zemin hareketinden kaynaklı oturma, faylanma, sıvılaşma ve zemin kayması gibi etkenler önemli hasarlara neden olmaktadır. Borunun, fay hareketlerine dayanma yeteneğı, boru hattı üzerine etki eden sürtünme kuvvetleri ile artmaktadır. Sünek malzemedden üretilmiş borular, fay hareketlerine daha fazla dayanmaktadır. Sıvılaşma ya da fay hareketi nedeniyle oluşan yer değıştirmeler, altyapılarda deprem kaynaklı hasarların başlıca nedenlerini oluşturmaktadır (Gümüş,2009).

Gömülü boru hatlarında oluşabilecek hasarlarda zemin deformasyonları ve deprem etkilerinin yanı sıra zemin korozyonu, boru cinsi, boru çapı ve ekleri gibi faktörlerin de önemli olduğu gözlenmektedir.

1.4.3.1. Dalga Yayılımı

Zemin içinde ilerleyen sismik dalgalar, zemindeki geçici şekil değiştirmelere ve eğriliklere yol açmaktadır. Farklı çaplardaki borular için zemindeki geçici şekil değiştirmeler araştırıldığında, bu geçici şekil değiştirmelerin borudaki deformasyon ve değişimlerin en önemli nedeni olduğu görülmüştür. Yüzey dalgalarının yayılım hızları, cisim dalgalarınınkinden daha az olması sonucunda yüzey dalgaları, aynı parçacık hızına sahip cisim dalgalarına göre daha büyük zemin ve boru şekil değiştirmelerine sebep olabilirler. Sismik dalgalar nedeniyle borunun zemin içerisindeki geçiş bölgelerinde yani sert zeminden yumuşak zemine geçtiği yerlerde farklı zemin davranışlarından dolayı boruda sismik hasarlar görülmektedir (Datta ve Mashalyi, 1986, O'Rourke, 2008).



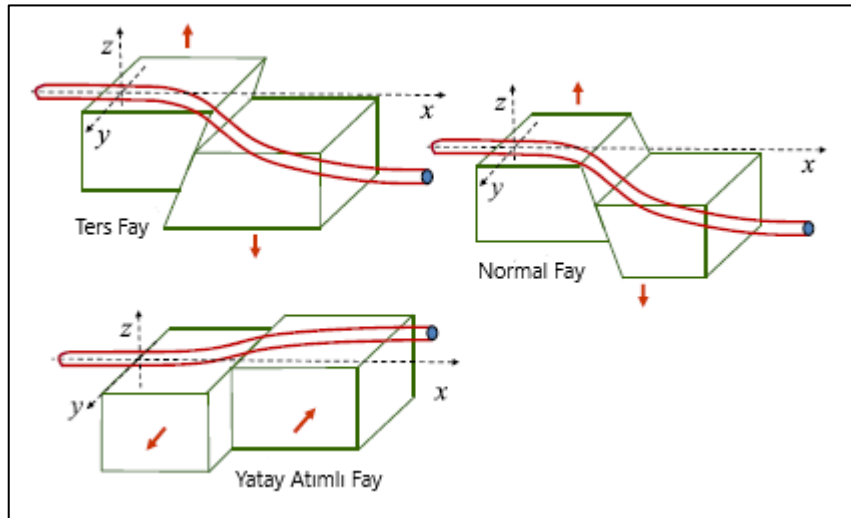
Şekil 4. Zeminde dalga yayılımı

1.4.3.2. Fay Geçişi Davranışı

Fay hareketi etkisi altında sürekli ve parçalı boru hatlarının davranışları karşılaştırıldığında sürekli boru hatlarının parçalı boru hatlarına göre daha fazla fay hareketlerine karşı koyabildiği görülmüştür. Parçalı boru hatlarında izin verilen fay yer değiştirmesi özellikle bağlantı elemanlarının esneme, sıkışma ve dönme yapabilme yeteneklerine bağlıdır (O'Rourke, 1995).

Bir darbe kayma fayında etkin hareket yatay olduğundan, boru ile fay kesişme açısına bağlı olarak, çekme veya basınca maruz kalan boru sürekli şekil değiştirir. Normal ve ters faylarda, hakim zeminin yer değiştirmesi düşey doğrultudadır. Fayın hareketli parçası aşağı yönde hareket ederse normal fay oluşur ve fay etkisiyle zeminde oluşan çekme gerilmelerinden dolayı yatay boru şekil değiştirir. Fayın hareketli parçası yukarı yönde hareket ederse ters fay oluşur ve fay etkisiyle zeminde oluşan basınçtan dolayı yatay boru şekil değiştirir (Yiğit, 2007).

Fay hareketlerine göre gömülü boru hattının göstermiş olduğu şekil değiştirme Şekil 5'deki gibidir.



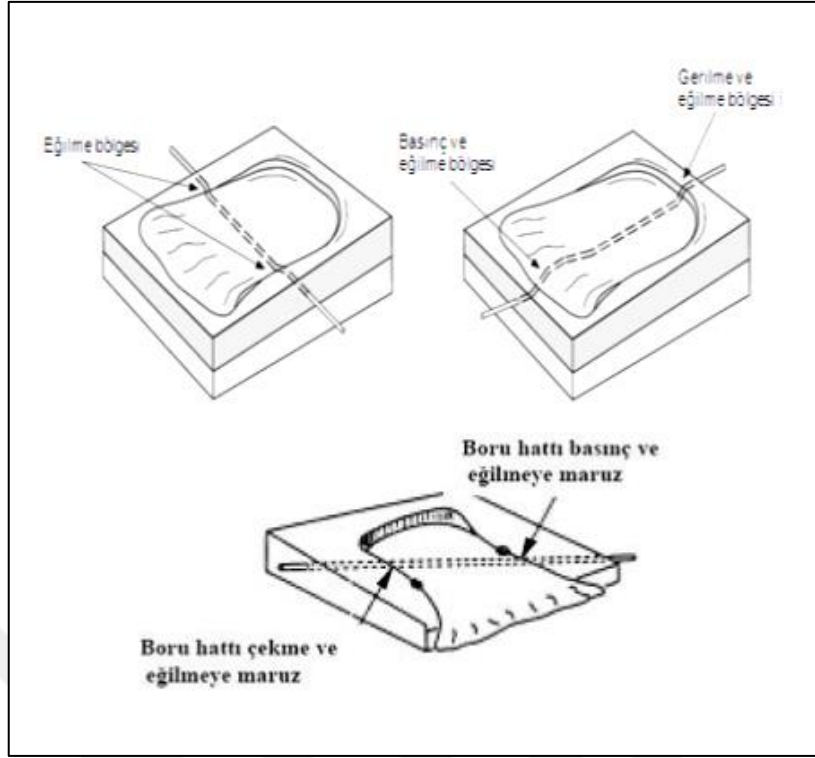
Şekil 5. Fay hareketlerine göre gömülü boru deplasmanının şematik gösterimi

1.4.3.3. Oturma

Doğal zeminden dolgu zemine geçiş bölgelerinde ve sivilaşmanın rahatlıkla oluşabileceği gevşek, doygun ve taneli zeminlerin bulunduğu alanlarda, farklı oturma sonucunda borularda kırılmalar meydana gelmektedir. Ayrıca yapıya giren veya yapıdan çıkan tesisat borularının ve drenaj sistemlerinin yapılara bağlandığı yerlerde de farklı oturmalarından dolayı boruda hasarlar meydana gelmektedir. Oturmanın miktarı kalıcı yer değiştirmelerden hesaplanmaktadır (G&E Engineering Systems Inc., 2001).

1.4.3.4. Zemin Kayması

Zemin kayması, zeminin bir blok halinde hareket ettiği zeminin kalıcı yer değiştirmesine denir ve kayma hareketinin miktarı kalıcı yer değiştirme cinsinden ölçülür. Bu olay genellikle doğal yamaçlarda, nehir kenarlarında ve zemin setlerinde meydana gelir. Zeminde oluşan kayma nedeniyle gömülü borular üzerinde bu bölgeye etkiyen büyük yer değiştirmeler önemli derecede hasara neden olur. Yağışlı dönemlerde depremlerin meydana gelmesi birçok zeminin kaymasına neden olabilir (G&E Engineering Systems Inc., 2001). Şekil 6'da zemin kaymalarına bağlı muhtemel basınç-gerilme hasar oluşumları gösterilmiştir.



Şekil 6. Zemin kaymalarına bağlı muhtemel basınç-gerilme hasar oluşumları.

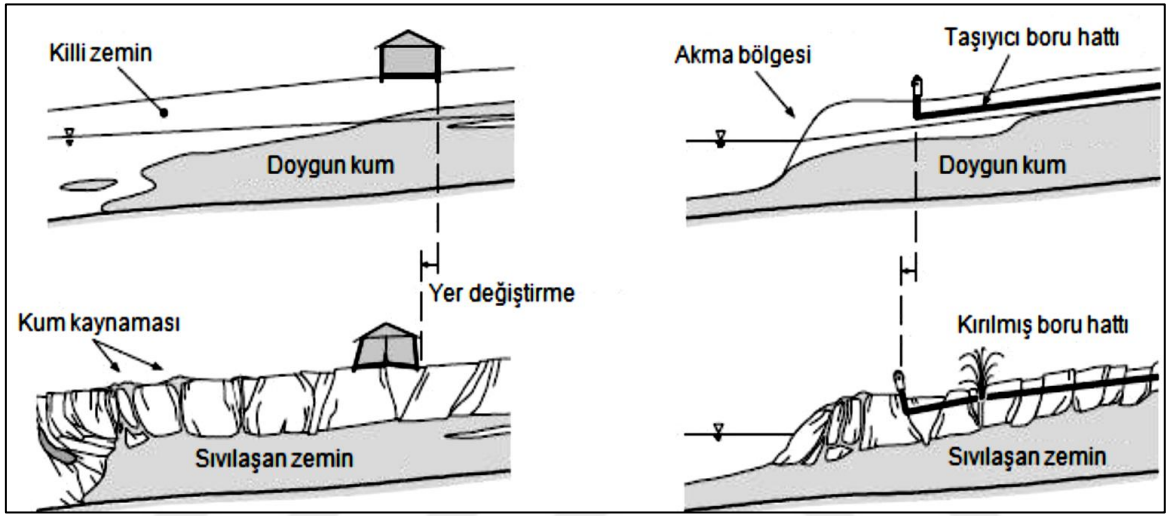
1.4.3.5. Sıvılaşma

Zemin sıvılaşması, doymun hale gelmiş kohezyonsuz zeminlerin geçici olarak mukavemetlerini kaybederek, katı yerine viskoz sıvı gibi davranmaları sonucu oluşur. Deprem gibi dinamik yüklemeler altında, gevşek daneli zeminlerde (kumlu-siltli zeminler) görülebilen bir durumdur. Ani yüklemeler sonucunda, suya doymun kohezyonsuz zeminlerin yapısında bozulma ve ayırık daneler arasında temas kuvvetinde azalma, boşluk suyu basıncında artma ve bunun sonucunda zeminin direncinde kayıplar meydana gelir.

Zeminin sıvılaşması sonucu, yapılarda zemine batma veya hafif yapılarda yukarı doğru hareket etme, yüzme eğilimi gözlenebilir. Bu nedenle gömülü boru sistemlerinde de sıvılaşma nedeniyle borular zemin yüzeyine doğru hareket ederler. Sıvılaşma sonucu kayma dayanımını kaybeden zeminde, yön değiştiren küçük kayma gerilmeleri büyük şekil değiştirmelere neden olur.

Yüze doğru çıkmaya, yer değiştirme, burkulma, sıyrılma, boru hatlarında basınç ve kolektörlerin ayrılması boru hatlarında gözlenen sıvılaşma nedeniyle oluşan hasarlara örnek gösterilebilir (Sun, 2001).

Sıvılaşma sonucu yer değiştirmeler nedeniyle boru hatlarında meydana gelen muhtemel hasarlar Şekil 7’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 7. Sıvılaşmaya bağlı muhtemel hasar oluşumları

1.5. Zemin İyileştirme Yöntemleri

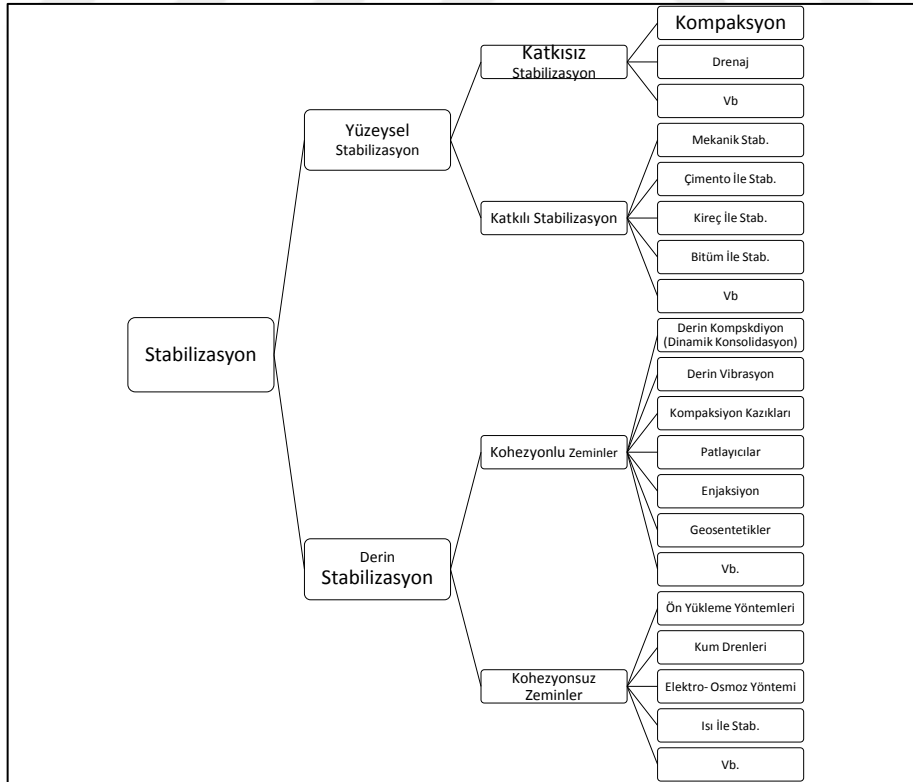
Zemin iyileştirme teknikleri, zeminlerin mühendislik özelliklerini geliştirmek için kullanılır. Bu teknikler, uygulama yöntemlerine ve iyileştirilebilecek zemin tiplerine göre değişir. Bu yöntemler, yalnızca üst zemin tabakası yapıları destekleyemediğinde değil, aynı zamanda daha derin tabakaların iyileştirilmesi gerektiğinde de kullanılır. Genel olarak, zemin iyileştirme yöntemlerinin amacı: (Das, Principles of Foundation Engineering,2007).

- Zeminlerin kayma mukavemetini ve sıg temellerin taşıma kapasitesini artırmak,
- Zeminlerdeki kabarma ve büzülme azaltmak,
- Yapıların oturmasını azaltmak,
- Geçirimliliği azaltmak,

- Dolgu ve zemin barajların muhtemel şev kayması için zemin güvenlik faktörünü artırmaktır.

Bir alan altındaki zemin, üzerine yapılması düşünülen yapı vb. için elverişsiz ise taşıdıkları yükleri zemine güvenle aktarabilmeleri ve kendini taşıyan zeminlerin stabilitelerini koruyabilmeleri için elverişsiz zemin uzaklaştırılıp, yerine uygun zemin koymak, derin temel yapmak veya mevcut zemini stabilizasyona (iyileştirmek, ıslah etmek, sağlamlaştırmak) tabi tutmak gerekir. Bu iyileştirme işlemi yüzeysel ve derin stabilizasyon olmak üzere ikiye ayrılır. Yüzeysel stabilizasyon; mevcut zemine herhangi bir madde katmaksızın kompaksiyon, drenaj vb. gibi yöntemlerle yapılan ve mevcut zemin granülometrisini düzeltmek üzere, başka zemin katarak veya bir kısım zemini uzaklaştırarak yapılan iyileştirmedir. Derin stabilizasyon ise; kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde farklılık gösterir. Zeminlerin stabilizasyon çeşitleri aşağıdaki Tablo1.'da gösterilmektedir (Uzuner, 2016).

Tablo 1. Stabilizasyon çeşitleri.



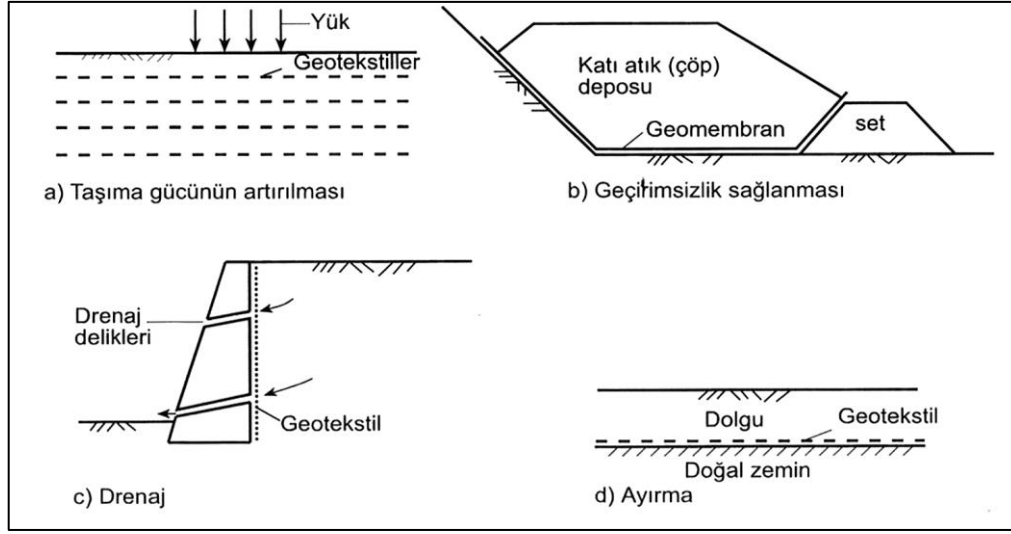
1.5.1. Biyoteknik Ve Fiber Takviyesi

Fiber takviyesi, zemin gerilmelerinde zemine yardımcı olmak amacıyla zeminde ayırık ve/veya rasgele yönlendirilmiş fiberlerin karıştırılmasıyla oluşur ve zeminin kuvvetini artırır. Zeminde fiberlerin kullanımı geçmişe dayanır, ancak 1960'larda fiber kullanımına ilgi yeniden başlamıştır. Fiber kullanımına ilişkin laboratuvar deneyleri ve bilgisayar modellemeleri yapılmış olsa da saha deneyleri ve değerlendirmeleri daha geride kalmıştır. Günümüzde, fiber takviyeli zemin karışımlarının sahada uygulanması, karıştırılması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması konusunda standart bir kılavuz bulunmamaktadır (Hejazi vd.,2011).

Biyoteknik güçlendirme ise zeminleri güçlendirmek için canlı bitki örtüsünün kullanılmasını içerir. Bu teknik genellikle şevleri erozyona ve yüzeysel kütle hareketlerine karşı stabilize etmek için kullanılır. Biyoteknik takviyenin en yaygın yöntemi, bir parçayı veya bütün şevi küçük ağaçlar veya düşük zemin örtüsü ile kaplamaktır. Uygulama 1930'lardan beri ABD'de yaygın olarak kullanılmaktadır. Son uygulamalar, şev koruma ve erozyon kontrolü için inert inşaat malzemelerini canlı bitki örtüsü ile birleştirmiştir. Bu uygulamanın geliştirilmesi için Ulusal Bilim Vakfı tarafından araştırmalar desteklenmiştir (Gunaratne, 2006).

1.5.2. Geosentetik Kullanımı

Geosentetikler, son yıllarda artan bir şekilde inşaat mühendisliğinde kullanılan, sentetik hammaddelerden üretilen, geçirimli dokuma (geotekstil), geçirimsiz örtü (membran), ağ biçimli (geonet veya geoağ), geoköpük (geofom, EPS) vb. ürünlere verilen genel isimdir. Geosentetikler, esas olarak güçlendirme (taşınma gücünün artırılması), drenaj, geçirimsizlik, ayırma (farklı zemin tabakalarını) vb. işlevler için kullanılabilirler. Geosentetik ürünlerden olan geoköpük hafif olması nedeniyle dolgularda kullanılır ve oturumları azaltır (Uzuner, 2016). Geosentetiklerin çeşitli kullanımına ait örnekler Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. Geosentetiklerin çeşitli kullanımına örnekler (Uzuner; 2016).

1.6. Gömülü Boruların Depreme Dayanıklı Tasarımı

Depremler, uygarlık tarihi boyunca insanlığa verdiği can ve mal kayıplarının oranı en yüksek olan doğal afetlerden biridir. Bu nedenle, özellikle deprem kuşağında bulunan ülkemizde, alt ve üst yapılarıdaki tasarımların önemli bir kısmı depremselliğin kontrolündedir. Altyapı sistemlerinden olan gömülü boru hatlarının depremlere dayanıklı olması ve depremlerin bu yapılarda yarattığı zararların en aza indirilmesi için gerekli yapı kurallarını belirleyen yönetmelikler vardır. Bu yönetmelikler yapı tasarımlarındaki gibi farklı yerleşim bölgelerinde de boru hattının tasarımları için değişiklik göstermektedir. Bu bölümde ilk olarak "Alt Yapılar için Afet Yönetmeliği" olan Türk Deprem Yönetmeliği ve bunlara ek olarak Avrupa ve Amerikan Yönetmeliklerinde depreme dayanıklı boru hattı tasarımıyla ilgili kısımlar anlatılacaktır.

1.6.1. Türk Deprem Yönetmeliği (2007)

Ülkemizde 2007 yılından önce gömülü boru hatlarının deprem etkisinden gördükleri zarar hakkında herhangi bir şartname ele alınmamıştır. Gömülü boru hatlarıyla ilgili sadece imalat ve tasarımı hakkında TSE'nin hazırlamış olduğu birtakım teknik şartlar vardı. 2007 yılında ise "Alt Yapılar için Afet Yönetmeliği" yayınlanmıştır. Bu yönetmelik, "içme

suyu ile kanalizasyon şebekelerini ve arıtmalarını içeren altyapı tesislerinin, doğal afetlere dayanıklı olarak tasarımı ve mühendislik hesapları ile malzeme seçimi, yapımı, işletilmesi, bakım ve onarımı için gerekli asgari şartlara dair usul ve esasları” belirlemek için oluşturulmuştur.

Tablo 2. İçme ve Kullanma Suyu Tesislerinde Deprem Sonrası Performans Hedefleri.

HİZMET KATEGORİSİ	MUHTEMEL DEPREM	MAKSİMUM DEPREM
Yaşam güvenliği	Minimum risk	Minimum risk
Yangın söndürme	Tüm alanlarda hizmet mevcuttur.	Hasarlı durumdaki sınırlı alanların vana ile kapatılmasından sonra rezervuarların %70'i kullanılır durumdadır.
Kritik hizmet İçme suyu ve halk sağlığı Evsel, ticari ve endüstriyel kaynak	Kış talep oranlarında tüm alanlara sürekli tam hizmet sağlanır. Su kalitesi korunur.	Servis alanının %70'ine, kış talep miktarının %70'i oranında hizmet verilir. Merkezi yerlerde 72 saat içerisinde içme suyu temin edilir. Kaynama suyu emri istenebilir. Açıkta su temin edilmez. 7 gün içerisinde birkaç alana kış talep oranlarında tam hizmet verilir. 1 ay içerisinde tüm bölgeye kış talep oranlarında tam hizmet verilir.

Tablo 3. Atık Su Tesislerinde Deprem Sonrası Performans Hedefleri

HİZMET KATEGORİSİ	MUHTEMEL DEPREM	MAKSİMUM DEPREM
Yaşam güvenliği	Minimum risk	Minimum risk
Halk sağlığı	Hidrolik akış ve dezenfeksiyon korunur.	Hidrolik akış ve dezenfeksiyon korunur.
Alıcı ortamın korunması (kurak iklim koşullarında)	Sürekli ön arıtma sağlanır. 2 hafta içerisinde arıtma sağlanır	2 hafta içerisinde ön arıtma sağlanır. 2 ay içerisinde arıtma sağlanır
Alıcı ortamın korunması (yağışlı iklim koşullarında)	2 hafta içerisinde ön arıtma sağlanır	6 ay içerisinde ön arıtma sağlanır

Yönetmeliğe göre, altyapı tesisi yapılacak olan bölgelerin zemin etüt ve planlamasında öncelikli olarak TSE standartları esas alınarak, AB düzenlemelerine uygun olacak şekilde çalışmalar yapılmalıdır. İçme suyu ve kanalizasyon altyapı projeleri

dahilinde yer alan iletim hatları ile üst yapı ünitelerinde, kaya veya zemin koşullarının belirlenmesi amacıyla geoteknik etüt çalışmaları yapılması gerektiği belirtilmektedir.

Yönetmelikte yapı zemin ilişkisi hakkında, yapılacak arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda belirlenecek su içeriği, birim hacim ağırlığı, kıvam limitleri, konsolidasyon, şişme, dayanım parametreleri, yataklama katsayısı, zemin grubu, yerel zemin sınıfı, spektrum karakteristik periyotları, sismik dalga hızı, maksimum yatay yer değiştirme ivmesi, sıvılaşma potansiyeli, şev duraylılığı gibi geoteknik parametreler ve değerlendirmeler esas alınarak, tasarımda kullanılmak üzere geoteknik etüt (zemin etüt) raporu hazırlanması gerekir. Geoteknik etüt (zemin etüt) raporu bunlarla sınırlı olmamak kaydıyla aşağıda verilen değerlendirmeleri içermelidir.

a) Alt yapı projelerinin uygulanacağı sahaların, doğal afet riski taşıyan bölgelerde bulunması durumunda; heyelan, taşkın, çığ, kaya düşmesi, yangın gibi doğal bir afetin etkisi altında iletim hatları ile sınıai yapıların, afet güvenliğinin ve gerekli risk azaltıcı önlemlerinin açıklaması olmalıdır.

b) Proje alanının; afet tehlike ve riskinin, çeşitli kurum ve kuruluşlarca yapılmış, temin edilmesi mümkün olan, envanter, duyarlılık, tehlike, risk haritaları gibi üst ölçek harita ve örnek çalışmalara atıfla belirtilmiş açıklaması bulunmalıdır. Önceki çalışmaların bulunmadığı durumlarda, jeolojik-geoteknik araştırma ve analizlere dayalı olarak gerekli veriler toplanmalı, kritik alanlarda gerekli görüldüğü takdirde, ayrıntılı çalışmalar ile doğal afet tehlike ve risk durumu 1/5000, 1/1000 veya 1/500 ölçekli haritalar üzerinde ortaya konulmalıdır.

c) Elde edilen veriler ışığında, güzergâh ve sınıai yapı yeri alternatiflerinin kıyaslaması yapılmalıdır.

ç) Alternatif güzergâhın tespit edilememesi durumunda uygulanabilecek zemin iyileştirme yönteminin güvenlik, maliyet ve teknik açıdan uygulanabilirlik karşılaştırmaları da yapılarak alternatifler halinde sunumu yapılmalıdır.

d) Proje alanı merkez olmak üzere sismolojik çalışmalar ve 100 km yarıçaplı bir alan dikkate alınarak deprensellik ve sismik risk analizi çalışmaları yapılarak elde edilen muhtemel deprem büyüklüğü, maksimum yatay yer değiştirme ivme değeri, deprem tekrarlama periyotları ve oluşma ihtimallerine ilişkin değerlendirmeler yapılmalıdır.

Afete duyarlı bölgelerde gerçekleştirilecek borulu imalatlarında; dinamik yükler altındaki performans, çökmeye bağlı emniyet katsayıları, aşınma direnci, ısı davranışı, kimyasallara karşı dayanımı vb. özellikler göz önüne alınarak yüksek performanslı ve zemin hareketlerine dirençli malzemeler kullanılması gerektiği belirtilmiştir (Afet Yönetmeliği, 2007).

1.6.2. Avrupa Yönetmeliği

Avrupa’da zemine gömülü boru hatları ile ilgili olarak “Avrupa Birliği Deprem Yönetmeliği” olan “Eurocode 8” kullanılmaktadır. Yönetmeliğin “EN 1998-4” bölümünde, sismik tasarım ve gömülü boru hattı sistemlerinin deprem direncinin değerlendirilmesi için ilkeler ve uygulama kuralları belirtilmektedir.

Bu yönetmelikte, tekli boru hatları ve yedek boru sistemleri gibi farklı boru hattı sistemleri arasında ayırım yapılabilir de, pratiklik açısından, sismik olay sırasında ve sonrasında mekanik davranışları diğer boru hatlarından etkilenmiyorsa, boru hattı tek bir hat olarak kabul edilir ve olası göçmenin sonuçları yalnızca ondan talep edilen işlevlerle ilgilidir. Hatlardan oluşan ağlar genellikle bütün olarak ele alınamayacak kadar geniş ve karmaşık olduğu için ağları işlevlerine göre ele almak gerekir. Boru hattı ağlarının tasarımı, mevcut standartta sağlananlara göre ek güvenilirlik gereksinimleri ve tasarım yaklaşımları içermektedir.

Gömülü boru hattı sistemleri, hasar sınırlama durumuyla ilgili sismik olaylardan sonra bütünlüklerini veya tedarik kapasitelerinin bir kısmını koruyacak şekilde tasarlanmalı ve inşa edilmelidir. Gömülü boru hat sistemlerinin sismik tasarımında, aşağıdaki doğrudan veya dolaylı sismik tehlike türleri dikkate alınmalıdır,

- a. Yüzeysel zemin deformasyonu (Sağlam zeminde yayılan sismik dalgalar)
- b. Kalıcı zemin deformasyonu (Sismik fay değiştirme, heyelanlar, sıvılaşma nedeniyle yer değiştirme).

1.6.2.1. Sismik Dalgaların Modellenmesi

Boru hattını etkileyen zemin gerilmeleri ve eğilmelerinin elde edilebileceği sismik dalgalar için bir model oluşturulmalıdır. Depremlerdeki zemin titreşimleri, kayma, genişleme, Love ve Rayleigh dalgalarının karışımından oluşur. En belirgin odak derinliğine ve odak ile arasındaki mesafeye bağlı olarak, depremin merkez üssüne yakın mesafelerde bulunan yerler, cisim dalgalarından (Kayma ve Dilatasyonel-kısa mesafeler) daha fazla etkilenirken; merkez üssüne uzak mesafelerdeki yerler, yüzey dalgalarından (Love ve Rayleigh-uzun mesafeler) daha fazla etkilenir. Dikkate alınacak dalgaların ve ona karşılık gelen dalga yayılma hızlarının seçimi, jeofizik sebeplere dayanmalıdır.

Çeşitli dalga tipleri farklı yayılma hızlarına ve parçacıkların farklı hareketlerine sahiptir (Yani dalganın yayılımına paralel, buna dik, eliptik, vb.). Jeofizik-sismolojik çalışmalar bazı bilgiler verse de, genellikle gerçek dalga modelini tahmin edemezler, bu nedenle koruyucu varsayımlar yapılmalıdır. Genellikle yapılan bir varsayım, dalga şeklinin tamamen tek bir dalga türünden oluştuğunu ve boru hattı üzerindeki belirli bir etki için neyin daha elverişsiz olduğunu düşünmektir. Bu durumda dalga dizileri, her bir frekans bileşenine yayılma hızının tahmini bir değerini atayarak, saha için uygun elastik yanıt spektrumunun altındaki frekans içeriğine dayanarak kolayca oluşturulabilir.

Teorik görüşler ve birtakım sayısal simülasyonlar, boru ve zemin arasındaki etkileşimden kaynaklanan atalet kuvvetlerinin, zemin deformasyonunun neden olduğu kuvvetlerden çok daha küçük olduğunu göstermektedir. Bu durum, zemin-boru hattı etkileşim probleminin, dinamik etkileri dikkate almadan, bir yer değiştirme dalgasının geçişi ile boru hattının deforme olduğu statik bir alana indirilmesine izin verir. Bu nedenle, boru hattı üzerindeki kuvvetler, zamana göre zemine radyal ve boyuna yaylar yoluyla

bağlanan yapı boyunca dalğanın veya uzunlamasına yer değiştiren bir parametre, zaman geçmişi analizi ile elde edilebilir.

Bu yöntemde göre zemin hareketi basit sinüzoidal dalga modeli;

$$u(x,t) = d \cdot \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \quad (3)$$

formülüyle temsil edilir.

Burada;

d : yer değiştirme

c : görünür dalga hızını tanımlamaktadır.

Parçacık hareketinin, yayılma yönü (sıkıştırma dalgaları) doğrultusunda ve buna normal (kayma dalgaları) doğrultuda olan ve en kötü durumda boru hattı eksenine yayılma yönünün çakışması yönünde olacağı varsayılmıştır.

Bu yöntemde boyuna parçacık hareketi, zemin ve boru hattında oluşan maksimum gerilme;

$$\epsilon_{\text{maks}} = \frac{v}{c} \quad (4)$$

formülüyle temsil edilir.

v: en yüksek zemin hızıdır.

Enine parçacık hareketi zemin ve boru hattında oluşan maksimum eğilme;

$$X_{\text{maks}} = \frac{a}{c^2} \quad (5)$$

formülüyle temsil edilir.

a= en yüksek zemin ivmesidir.

Boru ve zemin arasındaki mükemmel bağın sağlanması için birim uzunluk başına mevcut sürtünme kuvveti uzunlamasına kuvvetin değişimini dengelemelidir:

$$\tau_{\text{av}} = s \cdot E \cdot \frac{a}{c^2} \quad (6)$$

formülüyle temsil edilir.

Burada;

E: Borunun elastiklik modülünü

S: Boru kalınlığı

τ_{av} : Zemin ve boru arasındaki sürtünme katsayısına ve gömme derinliğine bağlı olan boru ile zemin arasındaki kayma gerilmesidir.

1.6.2.2. Fay Geçişi İçin Tasarım Önlemleri

Potansiyel olarak aktif fay zonlarının geçtiği boru hatları için özel fay geçişi tasarımları uygulama kararı; maliyet, fay aktivitesi, yırtılma sonuçları, çevresel etki ve boru hattının kullanım ömrü boyunca olası diğer tehlikelere maruz kalma ihtimaline bağlıdır.

Fay geçişi için boru hattı tasarımında uygulanması gerekenler aşağıda özetlenmiştir.

- Çekme deformasyonunu desteklemek için borunun yönünü seçin,
- Geçiş çevresindeki boru kalınlığını arttırın,
- Boru ve zemin arasındaki sürtünmeyi azaltın (Düz kaplama),
- Arızanın her iki tarafına 50 m'nin üzerinde gevşek dolgu uygulayın,
- Boru hattını yerel olarak zeminin üzerine yerleştirin (Bağıl harekete izin veren deforme olabilen desteklerle).

1.6.3. Amerikan Yönetmeliği

Amerika'da gömülü borular üzerine ASCE (American Society of Civil Engineers, 1984) kuralları, deprem mühendisliğinin mevcut bilgi ve tasarım araçlarını deprem analizi ve boru hatlarının tasarımına aktaran ve ayarlayan, esas olarak bu konuda yapılan çalışmaları temsil eden ilk şartnamedir. Daha sonra FEMA (Federal Emergency Management Agency) ve ASCE'nin işbirliği ile gömülü boru hatlarının tasarımına ilişkin en eksiksiz hükümlerin bulunduğu belge olan, ALA (American Lifelines Alliance) tasarım şartnamesinin temeli oluşturulmuştur.

Amerika'da gömülü boru hatlarının tasarımına ilişkin birçok şartname bulunmaktadır. Bunlar, AWWA (American Water Works Association), API (American Petroleum Institute), ASME (American Society of Mechanical Engineers) ve ANSI (American National Standard Institute) ait şartnameleridir.

Boru hattı deprem tasarımı ve değerlendirmesi için PRCI (The Pipeline Research Council International) Boru Hattı Araştırma Konseyi Uluslararası kılavuzları (PRCI 2004), doğal gaz ve sıvı hidrokarbonları taşıyan gömülü boru hatları için ASCE (1984) kılavuzlarının bir güncellemesi olarak düşünülmüştür. Özellikle, gömülü boru hatlarına ve gerilme temelli boru hattı sınır durumlarına zemin yüklemesi konusunda daha yeni araştırmalar yapmışlar ve boru hattı gerilme analizi için daha gelişmiş araçlar önermişlerdir. Daha yakın zamanda, PRCI, heyelan alanlarındaki (PRCI 2009); petrol ve gaz kılavuzlarının tasarımı için PRCI (2004)'de önerilenlere benzer analiz ve tasarım metodolojilerini benimseyen tasarım şartnameleri yayınlamıştır.

ASME Amerikan Makine Mühendisleri Birliği, B31.4 (ASME 2006) ve ASME B31.8 (ASME 2006) standartları, sırasıyla, petrol ve doğal gaz boru hattı tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler tipik olarak gömülü yağ, gaz veya ürün boru hatları ve pompalama ve kompresör istasyonları, hidrokarbon ürünleri için depolama tankları ve çeşitli terminal tesislerini içeren yer üstü tesislerinden oluşur. Bu şartnamede, sismik tehlikelerin tanımlanması; sismik tehlikelerin ölçümü; boru hattı sistemleri için tasarım kriterleri; gömülü borularda diferansiyel yer hareketi etkileri; gömülü boru hatları üzerinde dalga yayılım etkileri; sismik tepki ve sıvı depolama tanklarının tasarımı; yapı, ekipman ve yer üstü boru hatlarının sismik cevap analizi; ve işletme ve bakım konularının üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte, bu standartlar boru hattındaki sismik eylemin nasıl hesaplanması gerektiği hakkında bilgi vermemektedir.

ALA şartnamesinde farklı yük koşulları için gömülü boru hatlarının bütünlüğünün değerlendirilmesinde kullanılacak tasarım hükümleri üzerinde durulmuştur. ASTM veya API malzeme özelliklerine göre imal edilmiş ve ASME B31 basınçlı boru kodlarına uygun olarak yapılmış hem yeni hem de mevcut kaynaklı gömülü borular göz önünde bulundurulmuştur. Bu şartlar altında ele alınan yükler; iç basınç, dikey zemin yükleri,

yüzey hareketli yükleri, yüzey etki yükleri, suyun kaldırma kuvveti, ısıl genleşme, rölatif boru ile zeminin yer değiştirmesi, boru dirseklerindeki hareket, maden çökmesi, deprem yer hareketi, hattın yakındaki patlamanın etkisi, geçici sıvı hareketi ve servis sırasındaki yer değiştirmedir.

Zemine gömülü boruların deprem tehlikesi, zemindeki sarsıntı ve yüzeyde oluşan faylanma sonucu kalıcı yer değiştirmelerden meydana gelen farklı zemin yer değiştirmesi, yanal yayılma, zemin kayması (heyelan) ve sıkışma ya da sıvılaşmanın sonucunda meydana gelen oturma nedeniyle geçici şekil değiştirmeleri kapsamaktadır. Bu standardın sismik tasarım kısmında boru hatlarının tasarımına yer verilmiştir. Boru hattının analizi ve tasarımını için sonlu elemanlar yöntemi kullanılır. Düşük maliyetli, yüksek güçlü kişisel bilgisayarların ortaya çıkmasıyla, sonlu elemanlar yönteminin kullanımı, yer sarsıntısı, sıvılaşma, toprak kayması ve yüzey faylanma tehlikelerini kapsayan birçok boru hattı uygulaması için kullanılabilir. Daha çok deprem nedeniyle kalıcı yer değiştirmelerde genel amaçlı olarak 3 boyutlu sonlu eleman programları (ANSYS veya ABAQUS) kullanılarak, özel amaçlı olarak ise 2 boyutlu boru hattı deformasyon analiz programları (PIPLIN) kullanılarak hesaplanmaktadır.

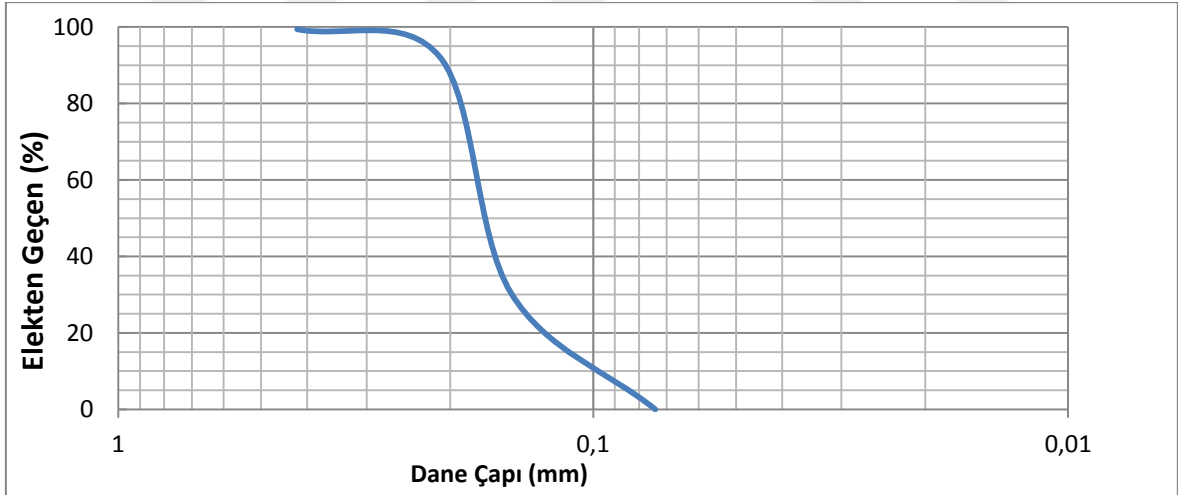
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

2.1.1. Kum

Yapılan deneysel çalışmalarda, İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemeleri laboratuvarından temin edilen ince, temiz silis kumu kullanılmıştır. Deneysel çalışmaların öncesinde kum 102 C⁰ sıcaklığındaki etüvde bekletilerek kurutulmuş ve ASTM standardına göre eleme işlemine tabii tutularak, elek analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 5’de verilmiştir.

Bileştirilmiş zemin sınıflandırma (USCS) yöntemi kullanılarak, silis kumu derecelendirilmiştir. Şekil 9’de silis kumuna ait dane çapı dağılım grafiği gösterilmektedir.



Şekil 9. Kuma Ait Dane Çapı Dağılım Eğrisi

Yapılan fiziksel özellik deneyleri sonrasında silis kumuna ait malzeme özellikleri Tablo 4’ de verilmiştir.

Tablo 4. Kumun Özellikleri

D_{60}	0,17 mm
D_{10}	0,11 mm
D_{30}	0,15 mm
C_u	1,55
C_c	1,20
e_{maks}	0,95
e_{min}	0,74
γ_s	2,69 Mg/m ³
$\gamma_{k,maks}$	1,55 Mg/m ³
$\gamma_{k,min}$	1,38 Mg/m ³

Tablo 5. Elek analizi deney sonuçları

Elek No	Delik Çapı	Eleğin Üstünde Kalan	Elekten Geçen	
#	mm	Gr	Gr	%
40	0,42	1,76	292,94	99,40
70	0,21	21,63	271,31	92,06
100	0,149	181,51	89,8	30,47
200	0,074	89,8	0	0,00

Deneyleerde farklı rölatif sıklık değerleri kullanılacağından dolayı dane özgöl ağırlığı, e_{min} ve e_{maks} değerleri hesaplanmıştır. Karışım numunelerinin hazırlanmasında bu değerler kullanılmıştır.

2.1.2. Fiber

Bu çalışmada fiber katkı malzemesi olarak BASF firması tarafından üretilen MasterFiber 15 MF kullanılmıştır. Ürün, ASTM C 116/C standardına uygun üretilmiştir. Polipropilen malzemededen yapılmış, lifli yapıya sahip olan MasterFiberin uzunluğu 19 mm olan ürüne ait görsel şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. Polipropilen fiber.

Tablo 6. Kullanılan Masterfiber 15 mf hakkında teknik bilgiler

Özellikler	MasterFiber 15 Multiflament (MF)
Saflık	% 100 PP
Uzunluk	19 mm
Kesit	Dairesel
Uzama	% 25
Özgül yoğunluk	0,91 gr/cm ³
Renk	Şeffaf (natürel)
Gerilme dayanımı	500-700 N /mm ²
Yumuşama	145° C
Ergime	160° C
Asit reaksiyonu	Durağan
Oksitleyici reaksiyonu	Durağan
Alkali reaksiyonu	Durağan
Biyolojik reaksiyon	Durağan
Organik reaksiyon	Yüksek sıcaklarda klor içeren çözücüler eritir.
Termal büzülme	Havada 30 dakikada 130°C = % 0 Suda 30 dakikada 100°C = % 0
Çimento ile uyum	Mükemmel
Aşınma direnci	Durağan
Anti bateriyallik	İsteğe bağlı
Nem alma	% 70

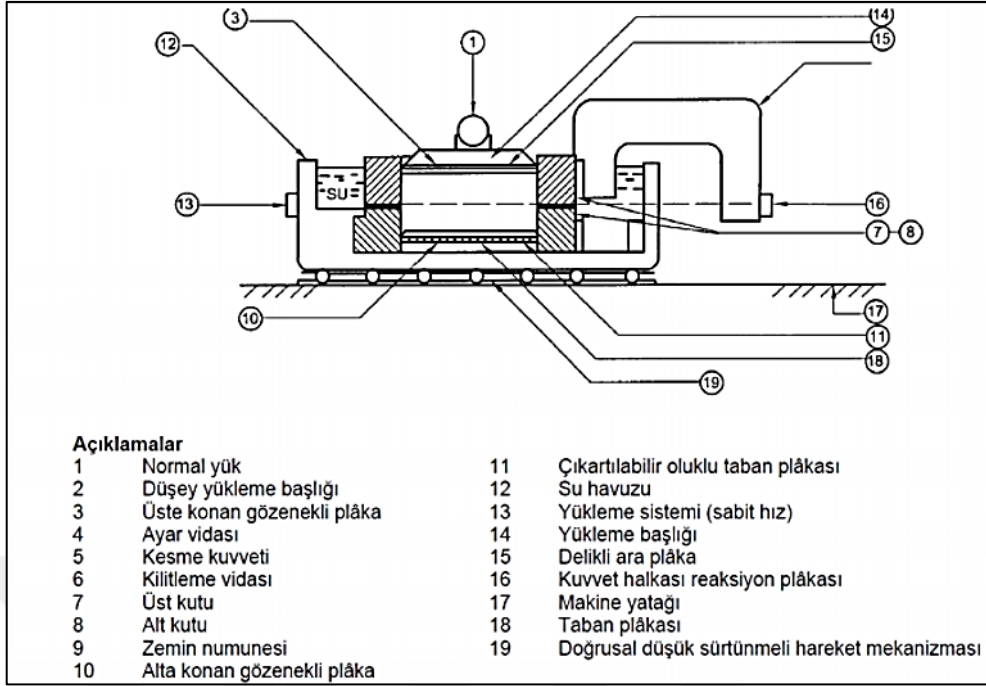
Polipropilen fiberler birçok araştırmada zeminin basınç dayanımını artırabilmek için zemin takviyesi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada farklı orandaki fiber katkılarına sahip kum numunelerinde gömülü boruların dinamik davranışları araştırılmıştır. Fiber malzemesine ait teknik özellikler Tablo 6'de verilmiştir.

2.1.3. Kum- Fiber Karışımı

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmalarda, farklı rölatif sıklıkta kum numunelerine ağırlıkça farklı oranlardaki fiber katkısı karıştırılarak oluşturulan malzemenin dayanım ve kompaksiyon özellikleri incelenmiştir.

2.1.3.1. Dayanım Özellikleri

Farklı sıklıkta kum ile ağırlıkça farklı oranlarda fiber karışımından oluşan zemin üzerinde, zeminin kayma dayanımı özelliklerini belirlemek için kesme kutusu deneyleri ASTM D3080 standardına göre yapılmıştır. Kesme kutusu deneyinde, zemin numunesi dikdörtgen kesitli ve iki parçadan oluşan rijit bir kutu içine yerleştirilmektedir. Zemine uygulanan makaslama kuvveti ile zemin, numunenin ortasından geçen yatay bir düzlem boyunca zemin kırılmaya (göçmeye) zorlanmaktadır. Numune üzerine normal gerilme uygulayarak, kesmeden önce zeminin konsolide olmasını ve makaslama sırasında normal gerilmelerin kontrol altında tutulmasını sağlamaktadır. Kesme kutusu deney düzeneği (Şekil 11) şematik ve (Şekil 12) sistematik olarak gösterilmiştir.



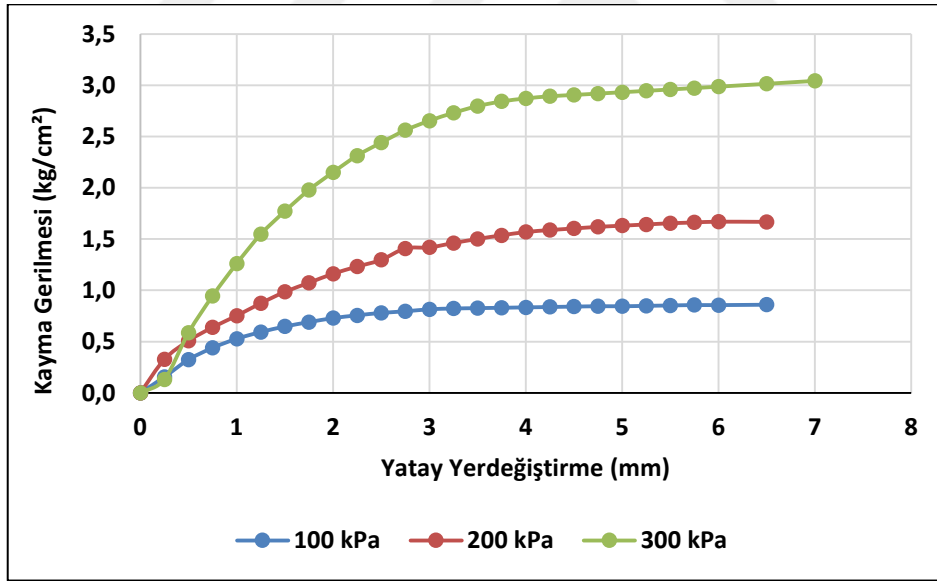
Şekil 11. Kesme kutusu deney düzeneği (şematik)



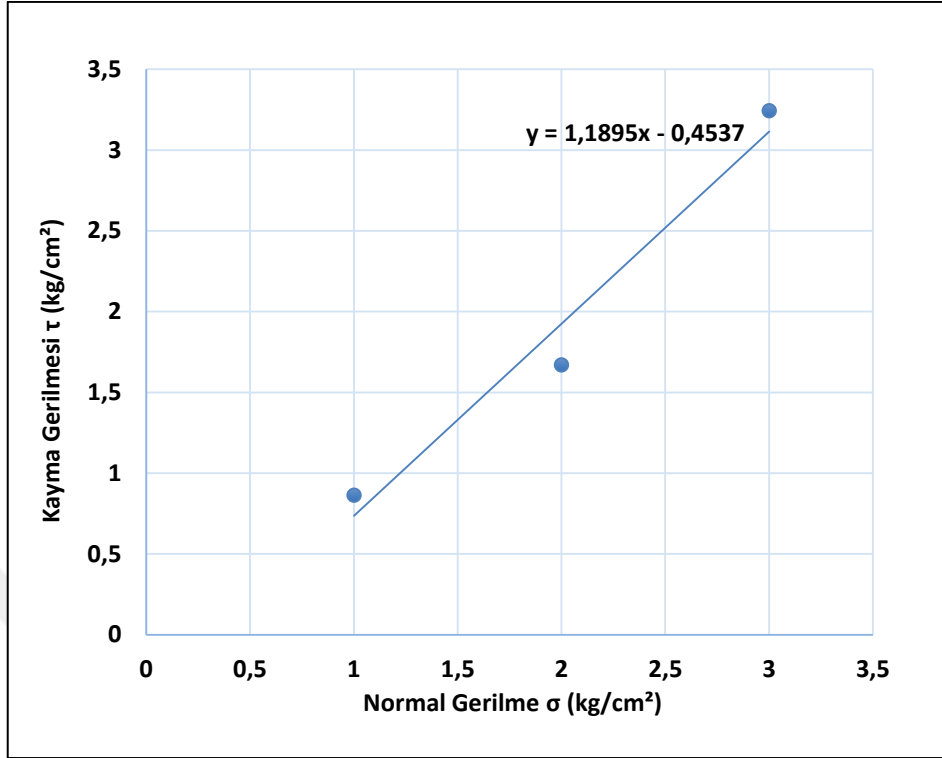
Şekil 12. Kesme kutusu deney düzeneği (sistematik)

Deneysel olarak 100, 200 ve 300 kPa normal gerilmeler altında, uygulanan kesme kuvveti ile meydana gelen yatay yer değiştirmeler ölçülmüş ve Şekil 13-15-17’de gerilme Şekil değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Grafikte oluşan eğrilerin Şekli, zeminin cinsine ve deney başlangıcındaki haline bağlıdır.

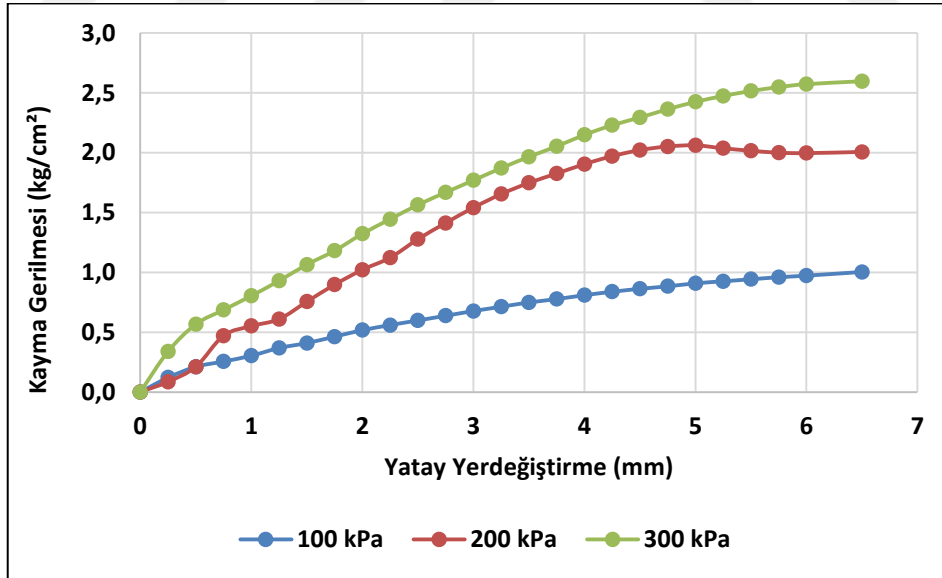
Deney esnasında oluşan en büyük kayma gerilmesi, zeminin normal gerilmeler (100, 200, 300 kPa) altındaki kayma mukavemetini vermektedir. Deney üç farklı normal gerilmeler altında tekrarlanarak Şekil 14-16-18’de gösterildiği gibi zeminin kırılma zarfı oluşturulmuştur. Başka bir ifadeyle, farklı normal gerilme değerleri için (100, 200, 300 kPa) farklı kayma mukavemeti değerleri bulup ve bu değerler kullanılarak Şekil 14-16-18’de kırılma zarfları elde edilmiştir. Zeminlere ait sürtünme açısını ve kohezyon kuvvetini hesaplayabilmek için Mohr - Coulomb kırılma zarfı çizilir. Bu zarfın altında kalan gerilme değerlerinde göçme olmaz, ancak zarf üzerindeki her nokta limit durumunu ifade eder.



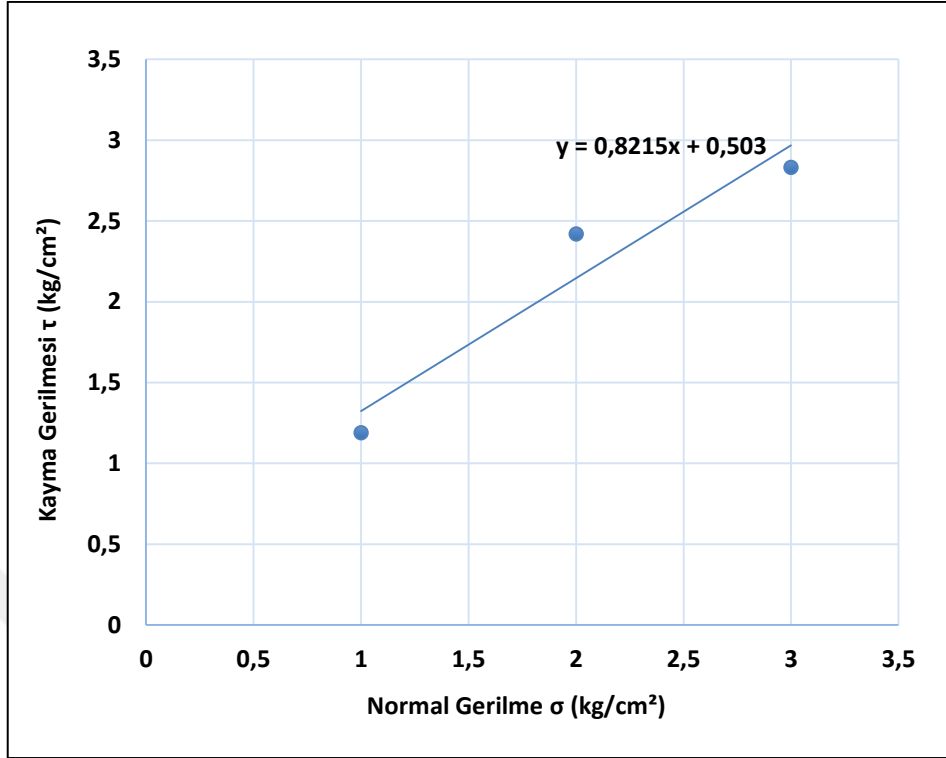
Şekil 13. %20 sıklıkta ve %1 fiber katkı oranına sahip numunelerin gerilme Şekil değiştirme grafikleri



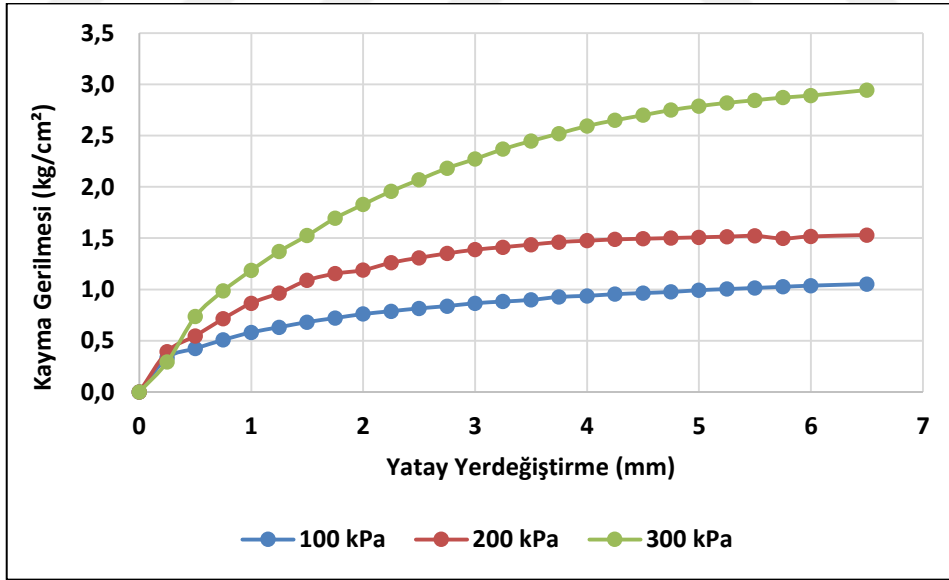
Şekil 14. %20 sıklıkta ve %1 fiber katkı oranına sahip numunelerin kırılma zarfı



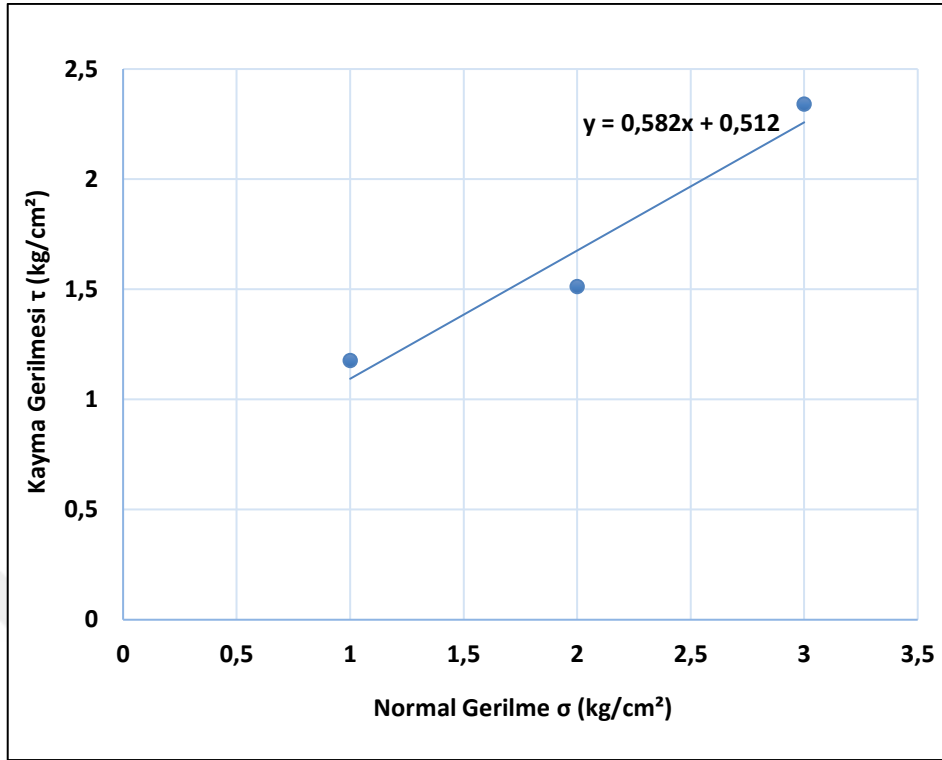
Şekil 15. %20 sıklıkta ve %2 fiber katkı oranına sahip numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri



Şekil 16. %20 sıklıkta ve %2 fiber katkı oranına sahip numunelerin kırılma zarfı



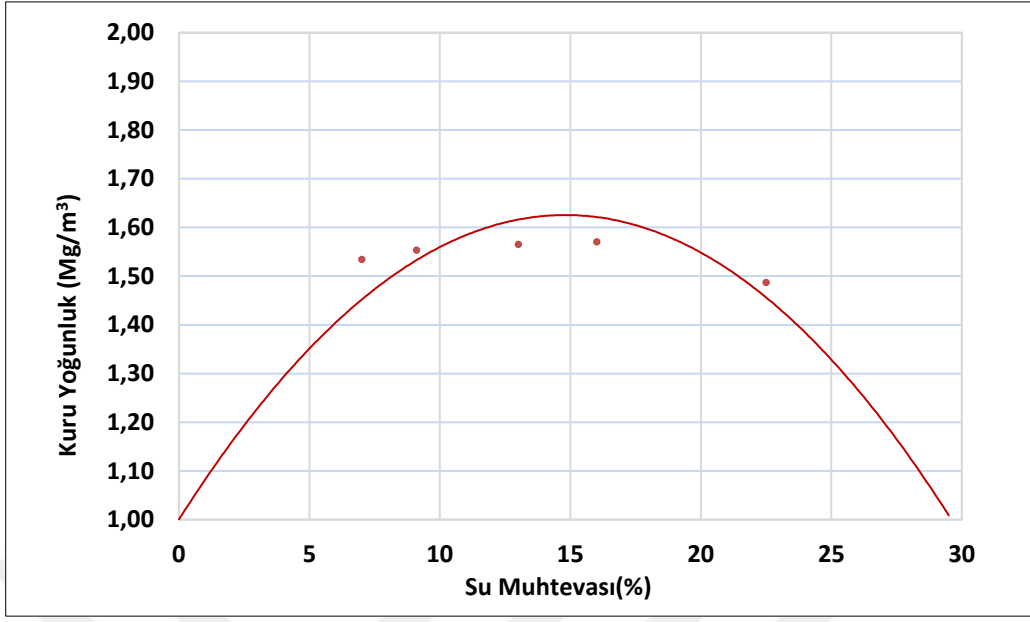
Şekil 17. %60 sıklıkta ve %1 fiber katkı oranına sahip numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri



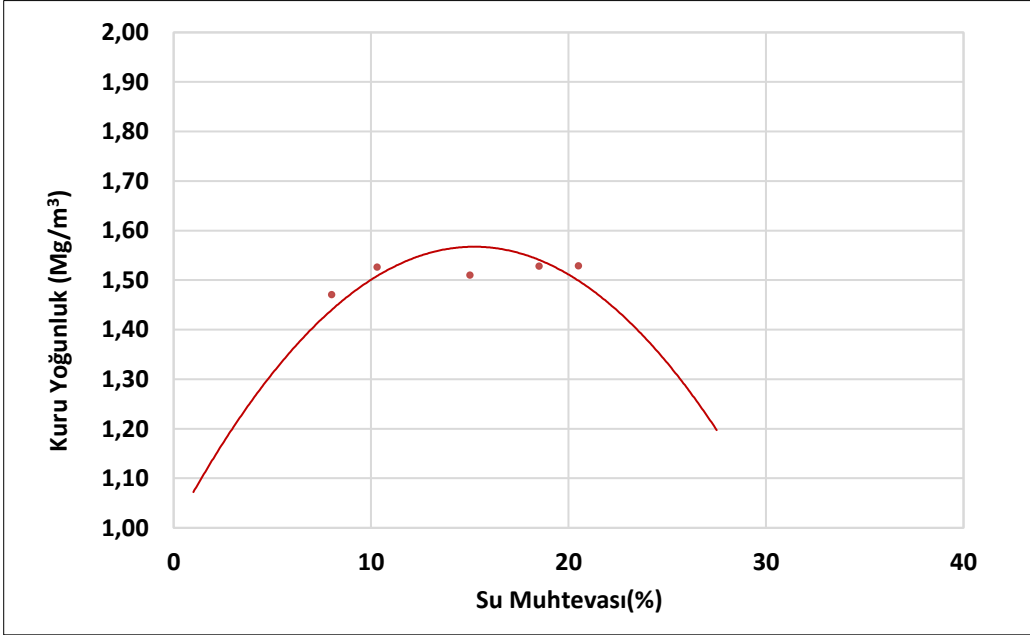
Şekil 18. %60 sıklıkta ve %1 fiber katkı oranına sahip numunelerin kırılma zarfı

2.1.3.2. Kompaksiyon Özellikleri

%20 rölatif sıklığa sahip kuma karıştırılan, ağırlıkça %1 ve %2 oranında fiber katkılı malzemenin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim ağırlığını (γ_{dmax}) belirlemek için standart proctor deneyleri yapılmış ve aşağıdaki Şekil 19 ve Şekil 20'de gösterildiği gibi kuru birim ağırlık ve su muhtevası arasındaki ilişkiyi gösteren eğrileri çizilmiştir. Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim ağırlık değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Şekiller kıyaslandığında kumdaki fiber oranının artırılmasının, maksimum kuru birim ağırlığını azalttığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, kumdaki fiber oranı artışının optimum su muhtevası açısından pek bir değişikliğe neden olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 19. %20 sıkılıkta ve %1 oranında fiber katkıli numunelerin standart proktor eğrisi



Şekil 20. %20 sıkılıkta ve %2 oranında fiber katkıli numunelerin standart proktor eğrisi

Tablo 7’de, %20 rölâtif sıklığa sahip kuma karıştırılan, ağırlıkça %1 ve %2 oranında fiber katkılı malzemenin, optimum su içeriği ve maksimum kuru birim ağırlık ölçümlerinin yapıldığı standart proctor deneyinin sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 7. Zemin türleri için maksimum kuru birim ağırlık ve optimum su muhtevası.

Zemin Türü	Maks Kurum Birim Ağırlık $\gamma_{k\text{maks}}$ (Mg/m ³)	Optimum Su Muhtevası W_{opt} (%)
%20 kum+ %1 fiber	1,62	15
%20 kum+ %2 fiber	1,56	15,2

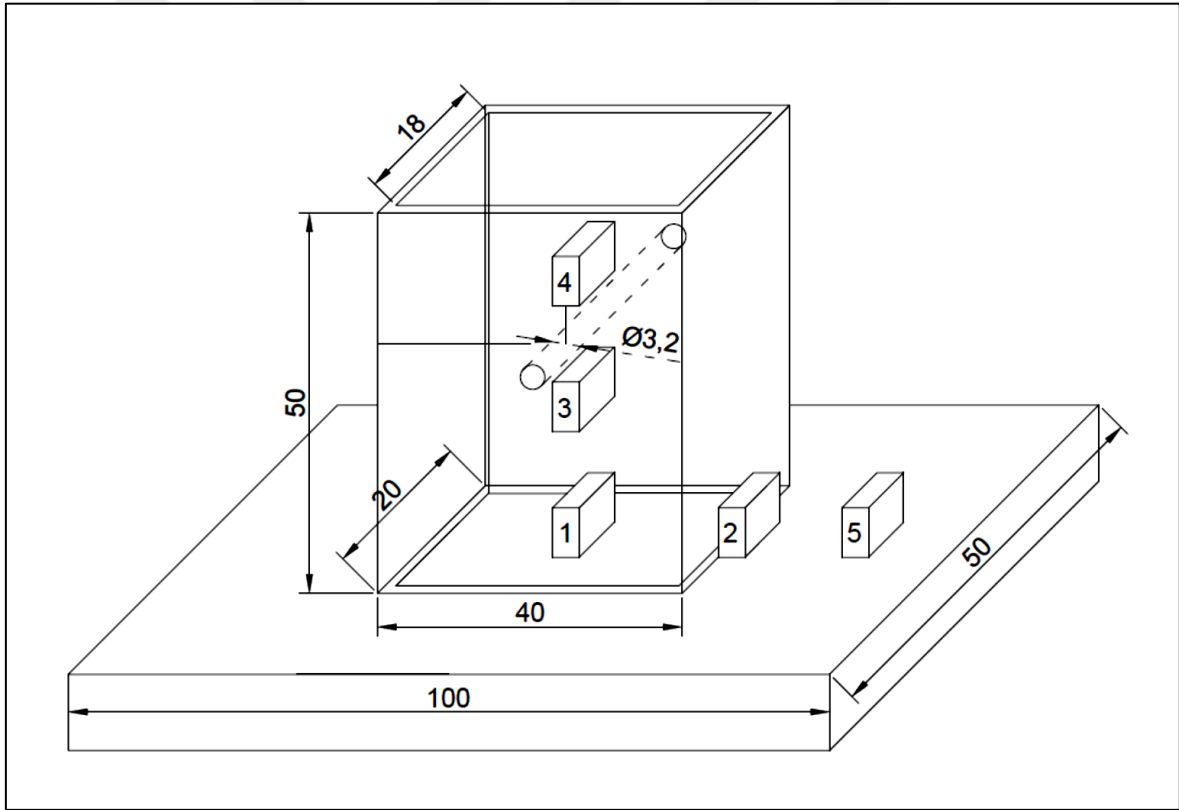
2.1.4. Boru Özellikleri

Polipropilen (PPRC) Borular, yüksek moleküler ağırlıklı ve yüksek esnekliğe sahip Polipropilen Random Kopolimer hammaddesinden imal edilmektedir. Polipropilen hammaddeler, ham petrolün damıtılması ile elde edilen propilen monomerlerinin kontrollü sıcaklık ve basınç altında polimerizasyonu ile elde edilmektedir. Plastik sektöründe bu hammaddenin en büyük özelliği ısıya ve kimyasal etkilere karşı olan direncidir. Bu nedenle sıcak ve soğuk su tesisatlarında güven ile kullanılmaktadır. PPRC hammaddesinin monomer yapısı rastgele zincir oluşturduğundan dolayı bünyesinde biyolojik bir yapı barındırmaz. Bu da PPRC boru ve ek parçalarında renk ve koku vermeyen üstün özellik göstermesinde en büyük etkidir. Ayrıca zor alev alması, korozyona dayanıklılığı, ısı ve ses yalıtım özelliği, kimyasallara gösterdiği direnci, montaj firesinin olmaması, çevre dostu olması gibi özellikleri tercih edilme avantajlarındandır (URL-1)

Çalışmada kullanılan pprc borunun dış çapı 32 mm olup et kalınlığı 3 mm ve boyu 18 cm’dir. Model sistemde kullanılan boru çapı gerçekte kullanılacak olan boru çapının 1/16 ölçeğine göre düzenlenmiş halidir.

2.2. Deneý Düzenegi

Tez çalışması kapsamında, fiber katkıların, temiz kum zeminlere gömülü borular üzerindeki dinamik davranışlarına etkisini incelemek amacıyla ağırlıkça %1 ve %2 fiber katkı, farklı rölatif sıklıkta silis kumu ile rastgele karıştırılmıştır. Fiber katkılı ve katkısız numuneler farklı rölatif sıklık oranlarında farklı boru gömme derinliğiyle hazırlanmış ve dinamik davranışları araştırılmıştır. Deneyler İstanbul Teknik Üniversitesi Geoteknik Laboratuvarında gerçekleştirilmıştir. Deneý düzenegi model haznesi, 1-g sarsma tablası, dinamik veri toplama cihazı ve ivmeölçerlerden oluşmaktadır. Őekil 21’de deneý düzenegi şeması verilmiştir.



Őekil 21. Sarsma tablası üzerinde deneý düzenegi.

2.2.1. Numune Hazırlama

Deney kapsamında farklı rölatif sıklıkta temiz kum, fiber katkılı ve katkısız üzere olmak toplam 14 adet numune hazırlanmıştır. Bunların içinde 2 adet optimum su muhtevasında da deneyler yapılmıştır. Deney düzeneği 3 tabaka halinde oluşur. Burada 3,2 cm (D) çapındaki borunun gömüldüğü tabaka 3. tabaka olup en üst tabakayı oluşturur. Deney setlerinin malzeme oranları Tablo 8’da verilmiştir.

Tablo 8. Deney setleri ve malzeme oranları

Deney Set Numarası	1.Tabaka (10 cm)	2.Tabaka (10 cm)	3.Tabaka (10 cm)	Boru Gömme Derinliği (D)
Set-1	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum	Boru Yok
Set-2	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum	1,2 D
Set-3	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum + %2 Fiber	%20 Sıkı Kum+ %2 Fiber	1,2 D
Set-4	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum + %2 Fiber	%20 Sıkı Kum+ %2 Fiber	D
Set-5	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum + %1 Fiber	%20 Sıkı Kum+ %1 Fiber	2 D
Set-6	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum + %1 Fiber	%20 Sıkı Kum+ %1 Fiber	D
Set-7	%80 Sıkı Kum	%60 Sıkı Kum + %2 Fiber	%20 Sıkı Kum+ %2 Fiber	D
Set-8	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum + %2 Fiber	%20 Sıkı Kum+ %2 Fiber	2D
Set-9	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum + %1 Fiber	%20 Sıkı Kum+ %1 Fiber	1,2 D
Set-10	%80 Sıkı Kum	%60 Sıkı Kum + %1 Fiber	%20 Sıkı Kum+ %1 Fiber	D
Set-11	%20 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum + %1 Fiber	%20 Sıkı Kum+ %1 Fiber	D
Set-12	%20 Sıkı Kum + %2 Fiber	%20 Sıkı Kum + %2 Fiber	-	D
Set-13	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum + %1 Fiber + %15 Opt. Su Muh.	%20 Sıkı Kum + %1 Fiber + %15 Opt. Su Muh.	D
Set-14	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum + %2 Fiber + %15,2 Opt. Su Muh.	%20 Sıkı Kum + %2 Fiber + %15,2 Opt. Su Muh.	D

Çalışmada yapılacak deneylerde kullanılan, fiber katkılı ve katkısız kum numunenin rölatif sıklığı ve karışım miktarlarına göre ağırlıkları hesaplanmıştır. Rölatif sıklık, zeminin boşluk oranına bağlı olarak, bu zeminin minimum ve maksimum boşluk oranlarının karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Kum numunelerinin laboratuvar

deneylerindeki rölatif sıklık değerlerinin arazideki sıklık ile aynı değerleri temsil etmesi önemlidir. İstenilen rölatif sıklık oranı, boşluk oranı ve özgül ağırlık aşağıdaki denklemlerden elde edilir;

$$({}^{\circ}\%)D_r = \frac{e_{maks}-e}{e_{maks}-e_{min}} \quad (9)$$

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_k} - 1 \quad (10)$$

Bu denklemde;

D_r : rölatif sıklık, e_{maks} : zeminin en gevşek durumdaki boşluk oranı, e_{min} : zeminin en sıkı durumdaki boşluk oranı, e ise zeminin rölatif sıklığının belirlenmek istendiği duruma ait boşluk oranı ve G_s : özgül ağırlıktır (Uzuner, 2016).

Numunenin hacmi her 10 cm'lik tabaka için (10x18x38) 6840 cm³, özgül ağırlığı 2,69 olduğundan deneyde kullanılan numuneler için gerekli zemin ağırlıkları aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır.

$$\rho_k = \frac{G_s}{1+e} \times \rho_w = \frac{M_s}{V} \quad (11)$$

Zeminlerin sıklık derecelerine göre sınıflandırılması aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

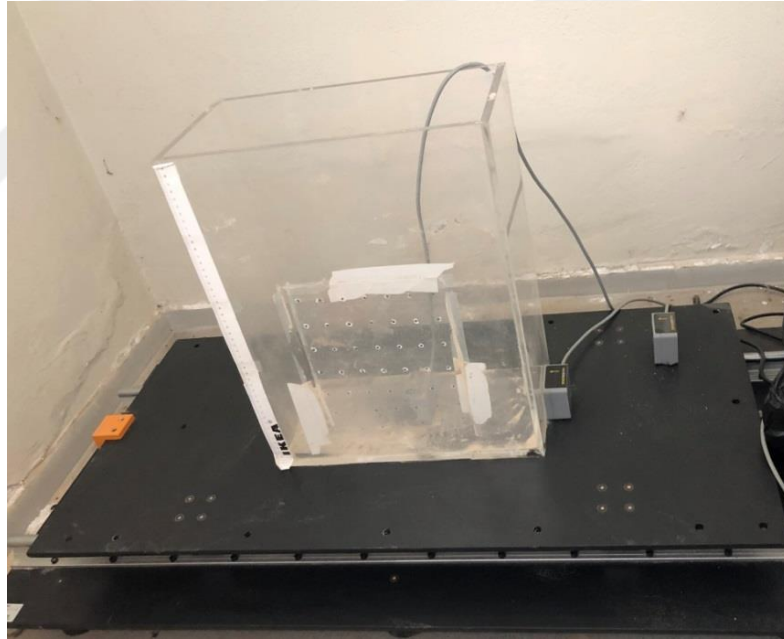
Tablo 9. Rölatif sıklığa göre, zeminlerin sınıflandırılması (Uzuner,2016).

Rölatif Sıklık (%)	Sıklık Derecesi
0-15	Çok Gevşek
15-35	Gevşek
35-65	Orta Sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok Sıkı

Yukarıdaki denklemlerden hesaplanan kuru kumun kütlesi ile karışımın ağırlıkça %1 ve %2'si kadar olan fiber miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanan miktar kadar 0,01 g. Hassaslığa sahip terazide tartılarak karıştırılıp deneye hazır hale getirilmiştir.

2.2.2. Model Kutusu

Model kutusu (Şekil 22) et kalınlığı (10mm) dahil uzunluğu 400mm, genişliği 200mm ve derinliği 500mm olan pleksiglas cam levhalardan oluşturulmuştur. Model kutusunun iç ölçüleri, cam levhaların et kalınlıkları nedeni ile 38x18x 50 cm şeklindedir. Kutunun cam malzemeden oluşturulma nedeni, deneyler sırasında zeminde oluşabilecek deformasyonların izlenmesine imkân sağlamaktır. Sızdırmazlığın sağlanması için cam levhalar birleştirilirken silikon kullanılmıştır.



Şekil 22. Model Haznesi

2.2.3. Sarsma Tablası

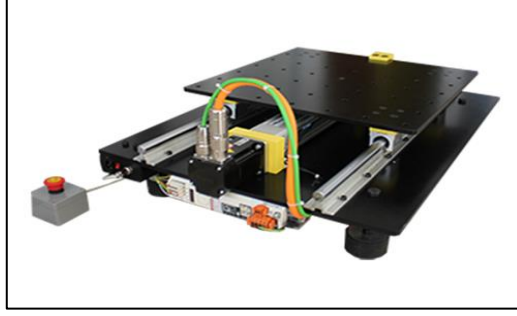
Depremlerin, yapılar üzerindeki etkilerini simüle etmek için kullanılan deneysel yöntemlerden biri "Sarsma Tablası (Shake Table)" dir. Sarsma tablası en basit tanımıyla,

bir, iki ya da üç boyutlu titreşim hareketlerini yapay olarak üretmek için platforma denir. Test edilecek model sarsma tablası üzerine yerleştirilir ve depreme maruz bırakılarak dinamik davranışı gözlemlenir.

Teknik Destek Grubu tarafından geliştirilen TESTBOX-SHAKE TABLE (Şekil 23), alt tabla, sarsma tablası, servo-elektrik aktüatör (sarsıcı), servo motor sürücüsü, hareket kontrolörü ve güç ünitesinden oluşmaktadır. Servo motor sürücüsü, hareket kontrolörü ve güç ünitesi küçük bir otomasyon panosunda toplanmıştır. Yazılımsal olarak ayarlanabilen hassas PID parametreleri ile sarsma tablasına, sinüzoidal hareketin yanı sıra gerçek deprem hareketleri ve kullanıcı kontrollü hareketler de verilebilmektedir.

Deprem esnasında depreme maruz kalan yüzeyin ivmesi, ivmeölçerler (accelerometre) ile ölçülerek ('g' olarak) dinamik veri toplama sistemi (Şekil 24) tarafından kaydedilir. Kaydedilen ivme-zaman grafiğinin yerçekimi ivmesine göre oranlanmasından sonra zamana göre integrali alınarak hız-zaman grafiğine, hız-zaman grafiğinin de zamana göre integrali alınarak yer değiştirme - zaman grafiğine ulaşılabilir. Deplasmana dönüştürülmüş ivme değerleri bilgisayar arayüz programı ile sarsma tablası hareket kontrolörüne yüklenir. Böylece sarsma tablası ile, servo-elektrik aktüatörün dahili enkoderi tarafından $2\mu\text{m}/\text{devir}$ çözünürlükle yer değiştirme kontrolü yapılarak hassas bir şekilde deprem simülasyonu yapılabilmektedir.

Sarsma Tablası, 100x50x2 cm boyutlarındadır. Deneylerde kullanılan sarsma tablası sistemi ile üretilen depremin frekansı 0 ile 5Hz arasında değişebilmekte ve ivmesi de 0 ile 1g arasında olabilmektedir. Bu tabla üzerinde 100-150 kg'lık bir ağırlık taşıyabilmektedir. Sarsma tablasında yapılan araştırmalar, sınırlama olaylarına, deprem sonrası yerleşim yerlerine, temel tepkisine ve yanal zemin basıncı sorunlarına ilişkin görüş sağlamıştır.



Şekil 23. Testbox-Shake Table



Şekil 24. Dinamik Veri Toplama Cihazı.

2.2.4. İvmeölçerler

İvmeölçer 35x65x65 mm boyutlarında ve 85 gr ağırlığındadır. Şekil 25’de ivmeölçere ait görüntü gösterilmektedir. Teknik Destek grubu tarafından üretilen SENSEBOX-7001 adı verilen ivmeölçerlerin, ölçüm aralığı $\pm 2g$, ölçüm hassasiyeti $5\mu g/\sqrt{Hz}$, frekans tepkisi 2000mV/g ‘dır. Tablo 10’ da SENSEBOX-7001 ivmeölçer teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 25. SENSEBOX-7001 İvmeölçer.

Tablo 10. SENSEBOX-7001 ivmeölçer teknik özellikleri (Teknik Destek Grubu).

Eksen Sayısı	1/2/3
Tipi	MEMS – nitrojen sönümlemeli
Maximum İvme Ölçüm Aralığı	± 2 g'den ± 400 g'ye kadar
Çıkış gürültü performansı	$5 \mu\text{g} / \sqrt{\text{Hz}}$ - ± 2 g versiyonu için
Frekans aralığı	0 – 400 Hz - ± 2 g versiyonu için
Hassasiyet	2000 mV/g - ± 2 g versiyonu için
Şok dayanımı	2000 g - ± 2 g versiyonu için
Beslenme voltajı	+5VDC / 8 mA
Çalışma sıcaklığı	-55°C ~ +125°C
Kutulama	Saha tipi/laboratuvar tipi IP65 koruma sınıfı

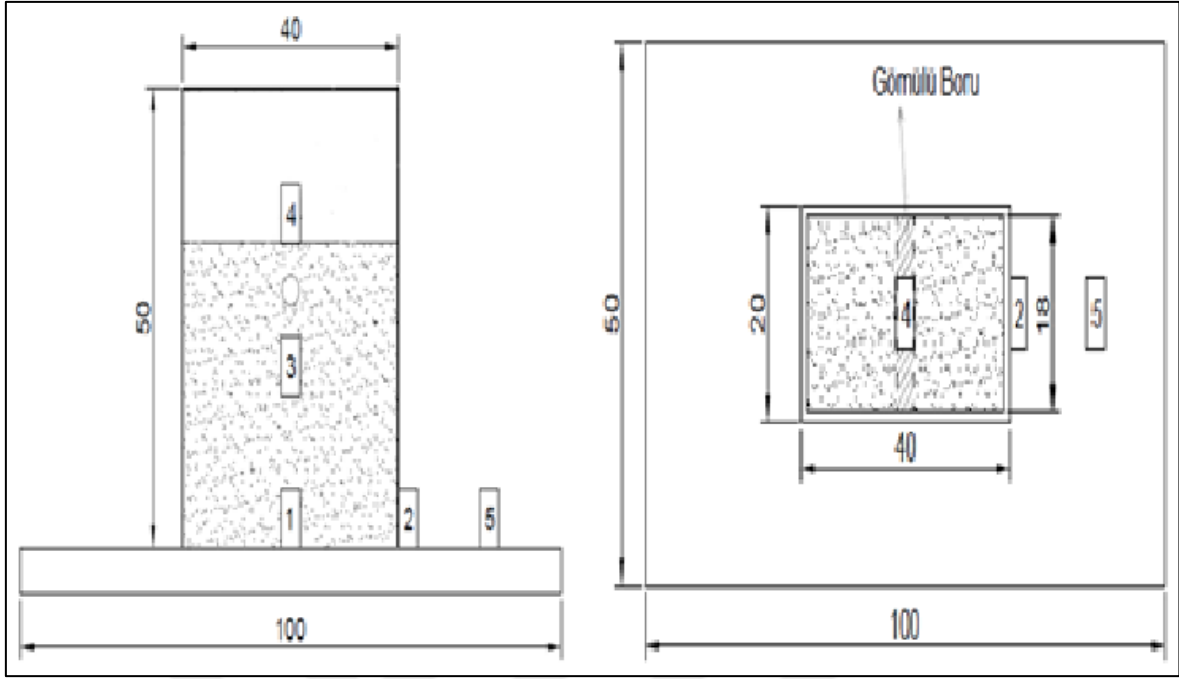
Eksen sayısına göre SENSEBOX 7001/7002/7003 şeklinde isimlendirilen bu ivmeölçerler, nitrojen-sönümlemeli MEMS teknolojisine dayanan çok düşük gürültü seviyesinde sensörlerdir.

Demiryolu testleri, araç dinamikleri, hızlı tren, taşıtlarda güvenlik ve konfora yönelik titreşim testleri, makine/balans testleri, patlama etkisi testleri, tilt takibi, çarpışma testleri ve robotik gibi hassas titreşim ölçümü gerektiren uygulamalar için güçlü, stabil, pratik çözümler sağlar. (URL-3).

2.3. Deneyleler

Sarsma tablasının taşıma kapasitesi dikkate alınarak, model haznesi üzerine yerleştirilecek zeminin miktarı hesaplanıp 10 cm'lik 3 tabaka halinde serilmesi uygun görülmüştür. Malzeme hazneye yağmurlama tekniğı ile şişeler yardımıyla serilerek, belirlenen rölatif sıklık oranına göre sıkıştırılmıştır. Malzeme serildikten sonra sarsma tablası bir defaya mahsus olmak üzere ilk olarak kalibrasyon amaçlı çalıştırılmıştır. Daha sonra istenilen harekete bağılı ivme değıerinde, zemin tabakalarında oluşan titreşimler cihaz tarafından ölçülerek kaydedilmiştir.

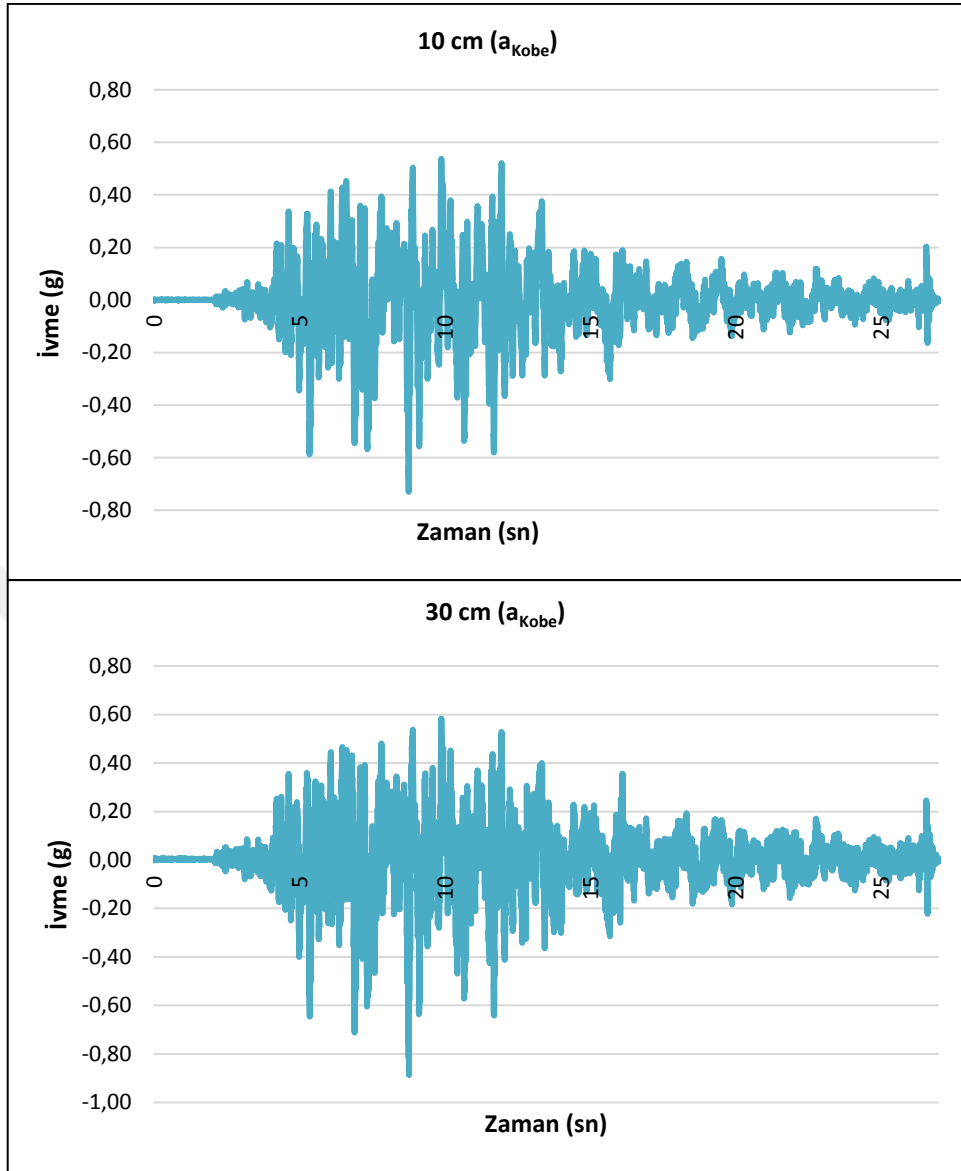
Sistemde 5 adet ivmeölçer bulunmaktadır. Bunlardan üçü hazne içinde, ikisi hazne dışında yer almaktadır. Düşey doğrultudaki yer değıştirmeyi saptamak adına zemine farklı sismik hareketler uygulayarak, hazne içine aynı doğrultuda yerleştirilen üç ivmeölçerden veriler kayıt altına alınmıştır. Bu amaçla, ilk olarak hazne tabanına yerleştirilen ivmeölçerin üzerine 10 cm'lik zemin serilmesiyle oluşan yüzeye ikinci ivmeölçer yerleştirilir. Bu ivmeölçer üzerine de 20cm'lik zemin serilerek oluşturulan son tabaka yüzeyine üçüncü ivmeölçer yerleştirilir. İvmeölçerlerin yerleşim kesiti ve planı Şekil 25'de verilmiştir. Daha sonra boru gömme derinliğine bağılı farklı fiber oranlarına ve farklı rölatif sıklılığa sahip kum-fiber karışımı üzerinde birkaç deney yapılmıştır. Deneyin amacı kuma karıştırılan fiberin gömülü borular üzerindeki dinamik yüklerin etkisini araştırmaktır.



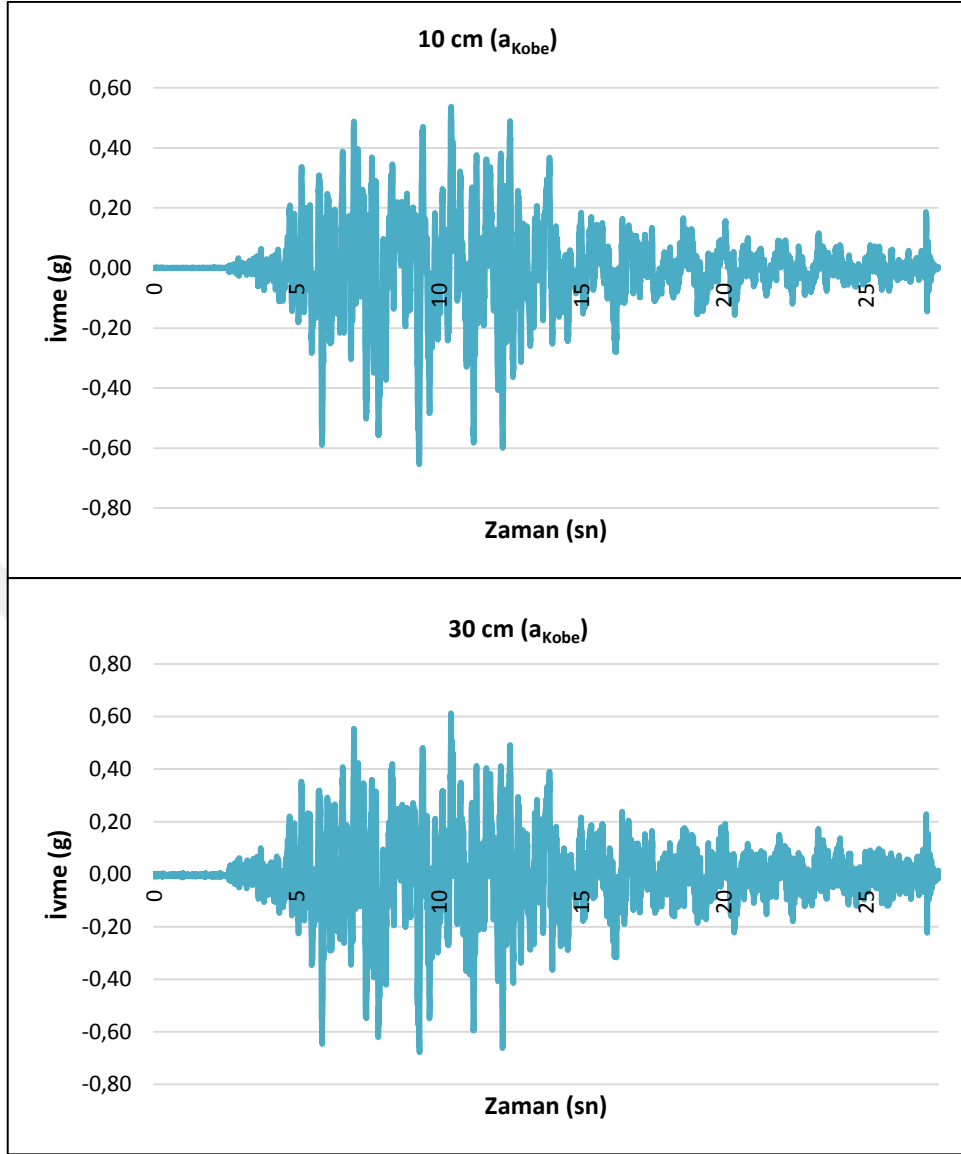
Şekil 26. Model haznesi içinde ivmeölçerlerin yerleşimine ait kesit ve planı.

Deney sonuçlarının rezonans etkisinden etkilenmesi engellemek adına deneylerin, zeminin doğal periyodundan daha düşük frekanslarda gerçekleşmesi sağlanmıştır.

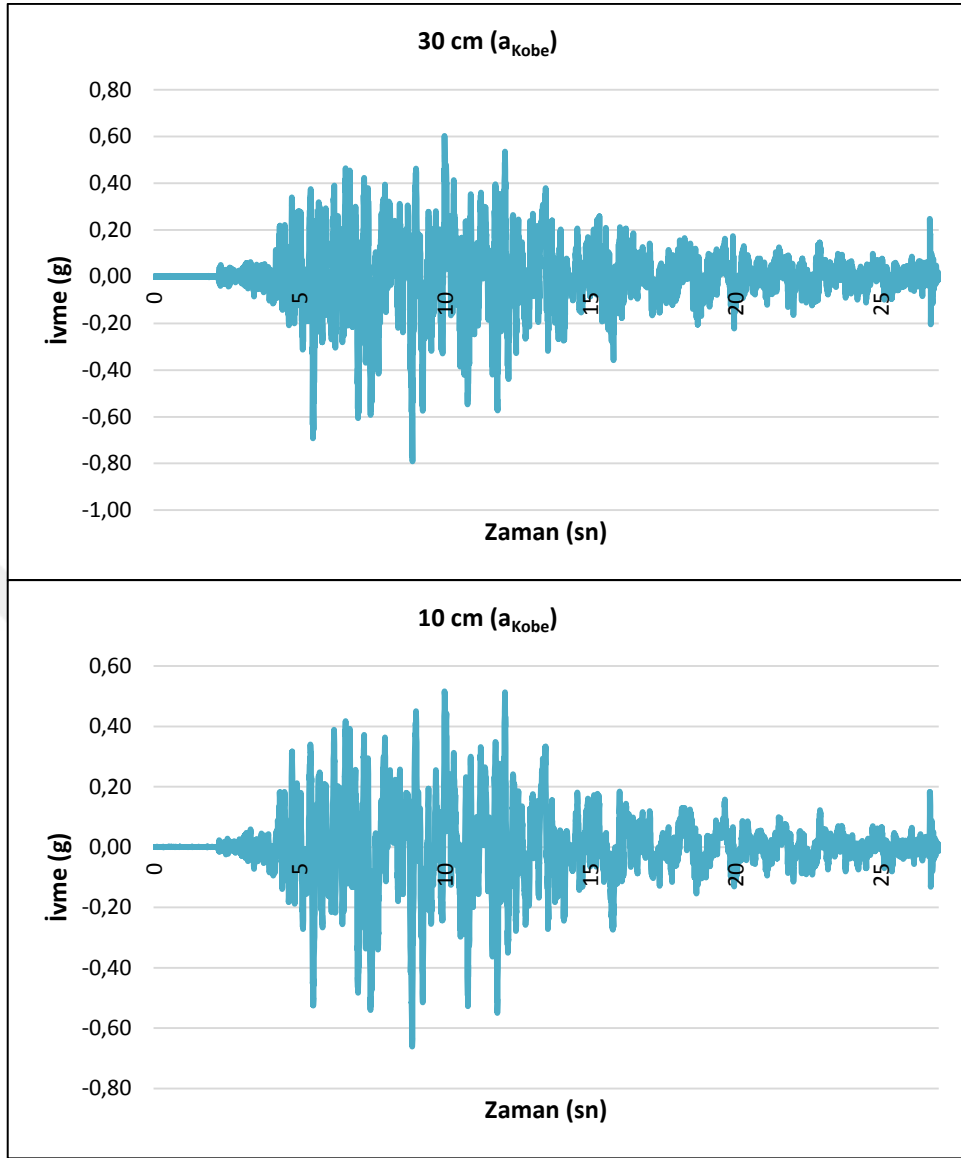
Fiber katkısı ve boru bulunmayan (Şekil 27), fiber katkısız gömülü boru bulunan (Şekil 28) ve %1 fiber katkılı gömülü boru bulunan (Şekil 29) kum numunelerde Kobe depremine ait ivme değerinde gerçekleştirilen deneylerden, borunun altındaki (tabandan 10 cm yükseklikteki) ve üstündeki (tabandan 30 cm yükseklikteki) ivmeölçerlerden alınan veriler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Diğer ivme değerlerinden alınan kayıtlar Ekte verilmiştir.



Şekil 27. Fiber Katkısız - Gömülü Boru Bulunmayan Kum Numunede 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).



Şekil 28. Fiber Katkısız Kum Numunedeki (1,2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (D_r :%20).



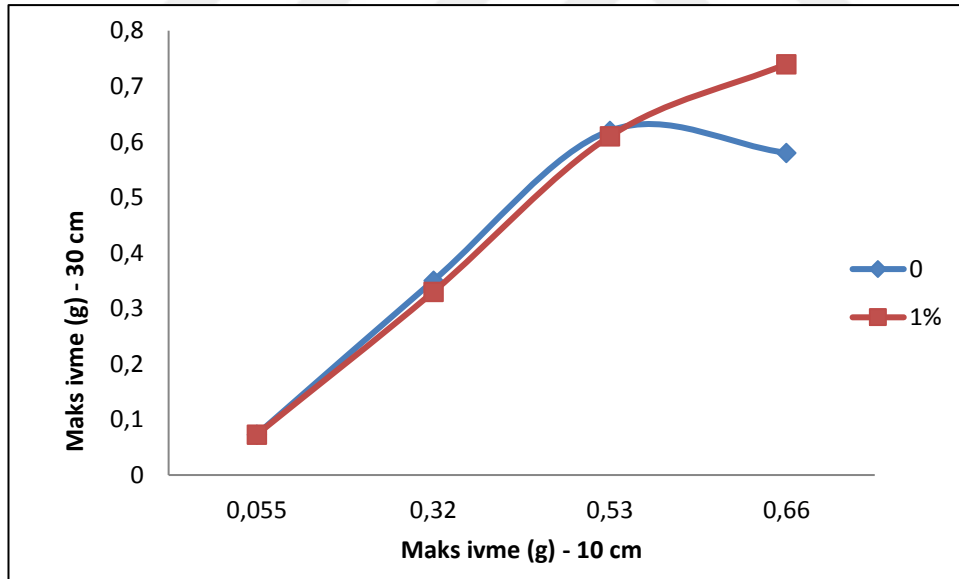
Şekil 29. %1 Fiber Katkılı Kum Numunede (1,2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

Kayıtlardan elde edilen sonuçlar Tablo 11' de özetlenmiştir. Şekil 30'da saf kuma ve %1 fiber katkılı kuma 1,2D derinlikte gömülü borunun, verilen ivme değerlerinde borunun altındaki ve üstündeki ivmeölçerden alınan ivmeler arasındaki ilişki grafiğe dönüştürülmüştür. Tablo 11'den ve Şekil 29'dan görülebileceği gibi Deney 1, Deney 2 ve Deney 3'e bakıldığında fiber katkısız ve %1 fiber katkılı kuma gömülü borulu numunede verilen aynı ivme değerlerinde borunun altındaki (10cm) ve üstündeki (30cm) ivmeölçerlerden alınan ivme verileri karşılaştırıldığında arasındaki artış oranlarının hemen

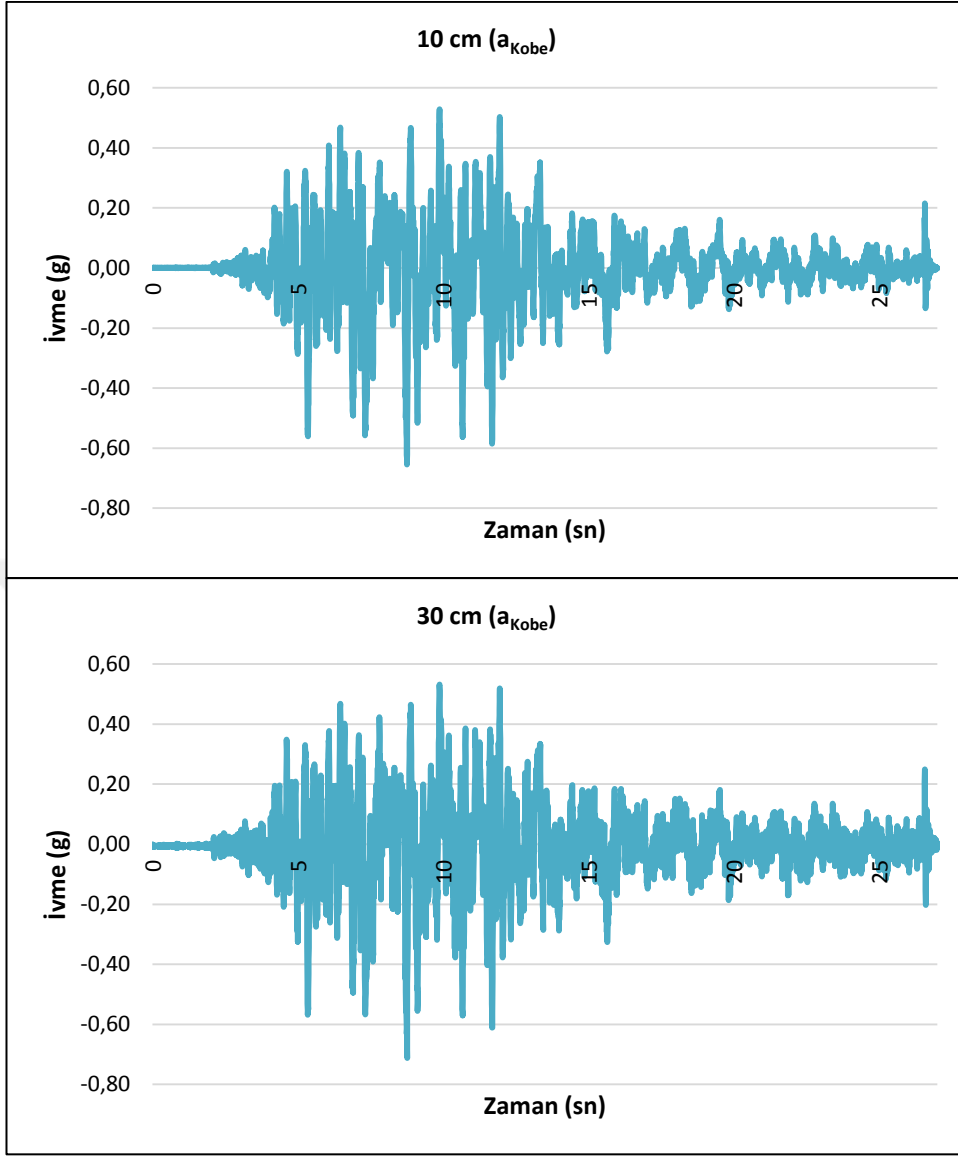
hemen aynı olduğu görülmüştür. Deneysel 4'e bakıldığında ise verilen aynı ivme değerinde saf kuma gömülü boruda borunun altındaki ve üstündeki ivmeölçerlerden alınan ivme verilerinde azalma görülürken, %1 fiber katkılı kuma gömülü boru bulunan numunede ivme verilerinde artış görülmüştür.

Tablo 11. Fiber katkılı (%1) ve katkısız zeminde derinliğe bağlı alınan ivme kayıtları.

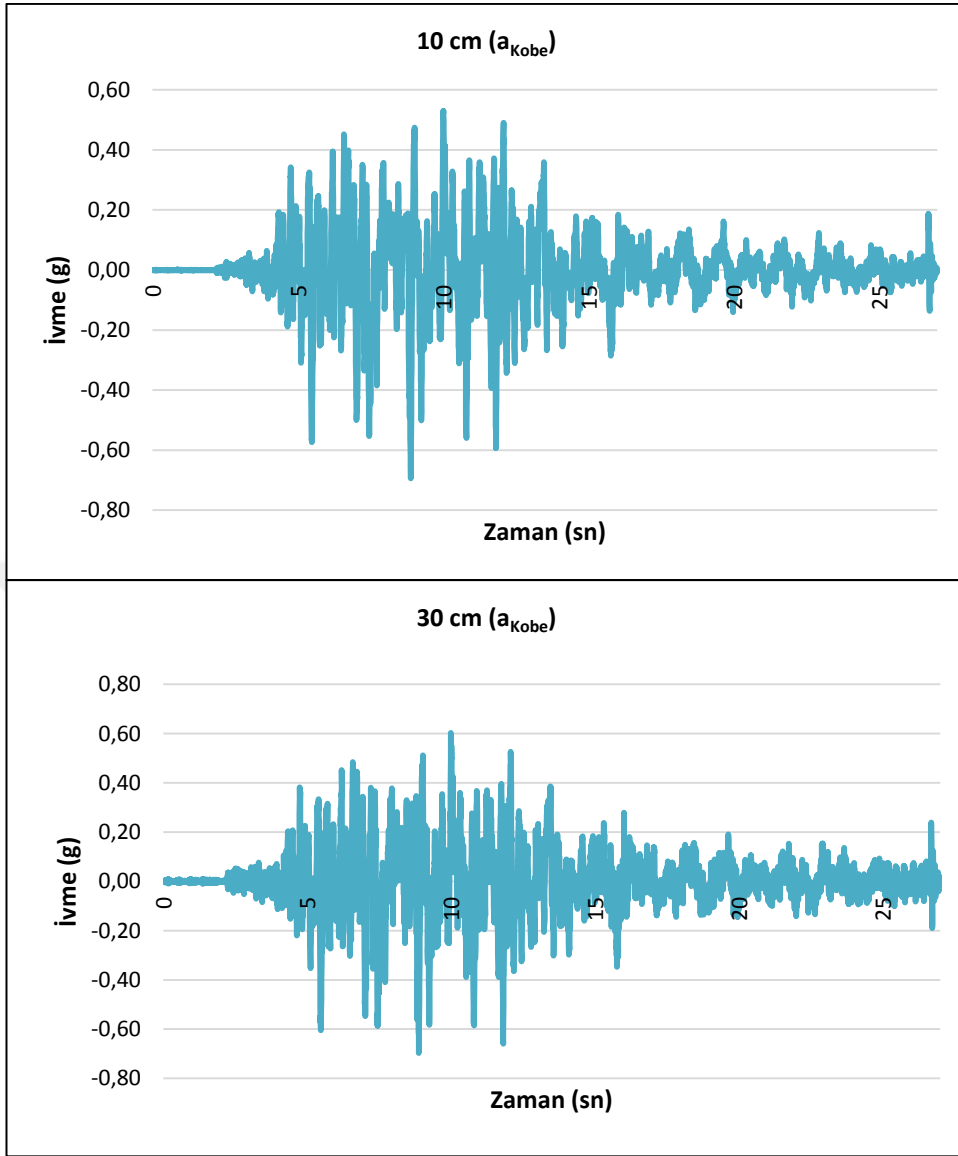
1,2D Boru Gömme Derinliği	Saf Kum Zemin			Gömülü Boru+ Kum			%1 Fiber + Kum + Gömülü Boru		
	Taban	10 cm	30 cm	Taban	10 cm	30 cm	Taban	10 cm	30 cm
1.Deney (amin)	0,08g	0,08g	0,08g	0,055g	0,055g	0,074g	0,055g	0,055g	0,073g
2.Deney (aorta)	0,32g	0,32g	0,35g	0,32g	0,32g	0,35g	0,31g	0,31g	0,33g
3.Deney (akobe)	0,53g	0,53g	0,58g	0,53g	0,53g	0,62g	0,53g	0,53g	0,61g
4.Deney (amaks)	0,65g	0,65g	0,64g	0,66g	0,66g	0,58g	0,65g	0,65g	0,74g



Şekil 30. 1,2D Boru Gömü Deriliğindeki Fiber Katkısız Ve %1 Fiber Katkılı Numunelerin Arasındaki İvme Farkları (Dr:%20).



Şekil 31. %1 Fiber Katkılı Kum Numunede (2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

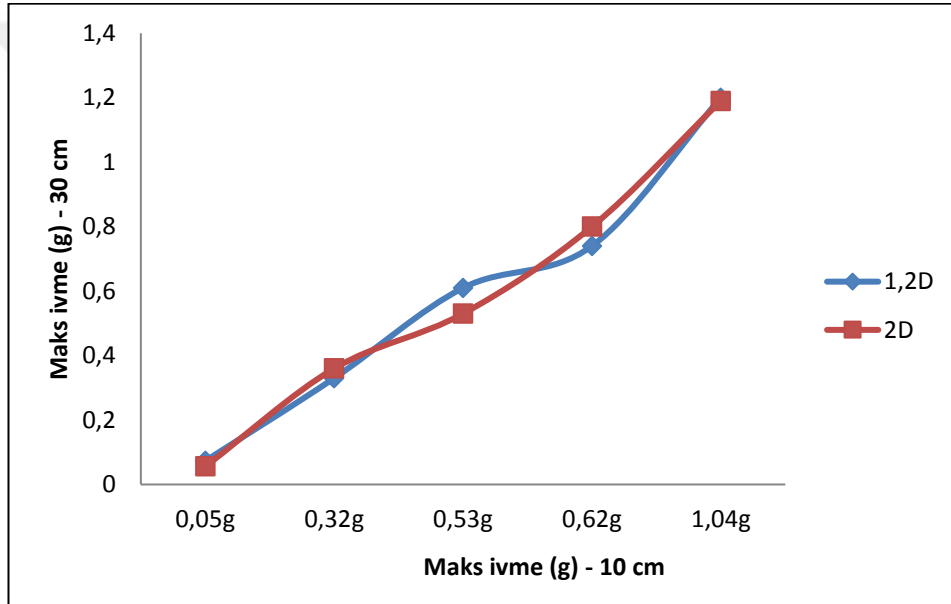


Şekil 32. %2 Fiber Katkılı Kum Numunede (2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

Boru derinliğini (2D) sabit tutarak fiber oranlarındaki değişimin, zemin dolayısıyla boru üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amaçlı yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 12'de özetlenmiştir. Tablo 12'ye bakıldığında ivmeölçerlerden alınan kayıtlar sonucunda numunelerdeki %1 ve %2 fiber oranı etkisinin kısım kısım artıp azaldığı görülmüştür.

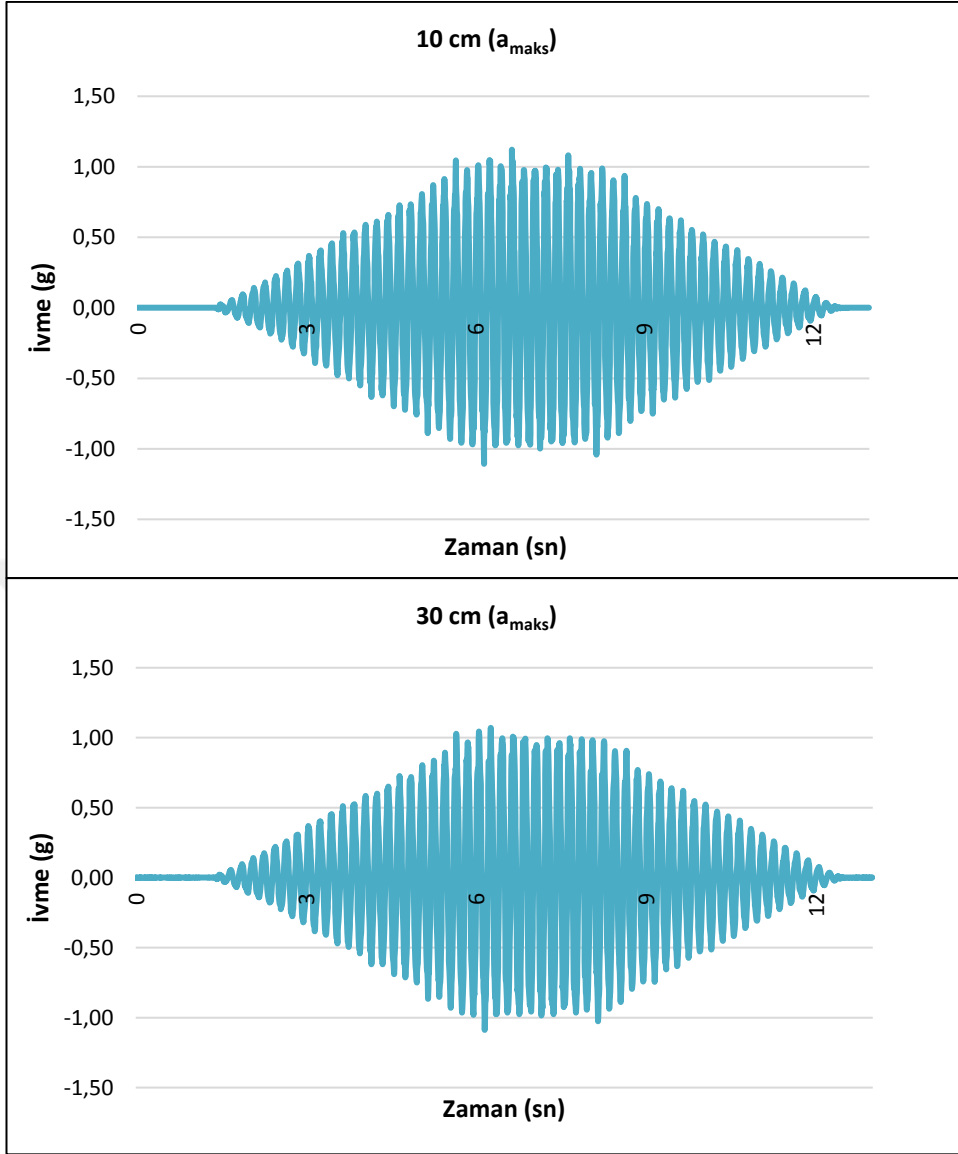
Tablo 12. %1 ve %2 Fiber katkılı zeminde derinliğe bağlı alınan ivme kayıtları

2D Boru Gömme derinliği	%1 Fiber + Kum + Gömülü Boru			%2 Fiber + Kum + Gömülü Boru		
	Taban	10 cm	30 cm	Taban	10 cm	30 cm
İvmeölçerlerin Konumu	Taban	10 cm	30 cm	Taban	10 cm	30 cm
1.Deney (a_{\min})	0,05g	0,05g	0,056g	0,05g	0,05g	0,067g
2.Deney (a_{orta})	0,32g	0,32g	0,36g	0,32g	0,32g	0,36g
3.Deney (a_{kobe})	0,53g	0,53g	0,53g	0,53g	0,53g	0,60g
4.Deney (a_{maks1})	0,62g	0,62g	0,8g	0,62g	0,62g	0,71g
5. Deney (a_{maks2})	1,04g	1,04g	1,19g	1,02g	1,02g	1,06g

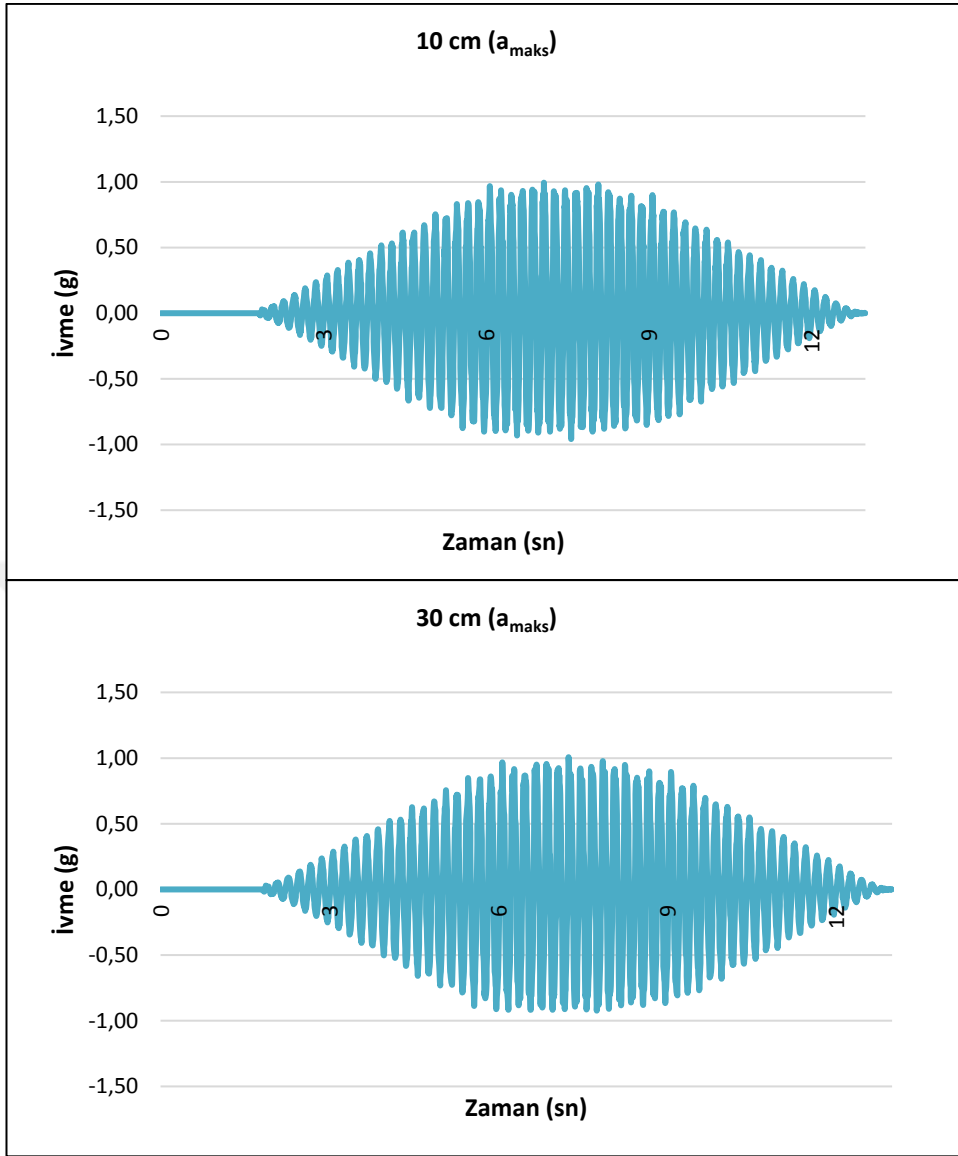


Şekil 33. %1 Fiber Katkılı, %20 Rölatif Sıkılıktaki Kum Numunede Boru Gömme Derinliklerinin Kıyaslanması.

Çalışma kapsamında sismik hareketler sonucu, boru gömme derinliğinin boru deplasmanı üzerinde etkisinin olup olmadığı incelenmiştir. Şekil 33'den de görülebileceği gibi boruda meydana gelecek deplasmanların boru gömme derinliğine bağlı olarak incelenemeyeceği tespit edilmiştir.



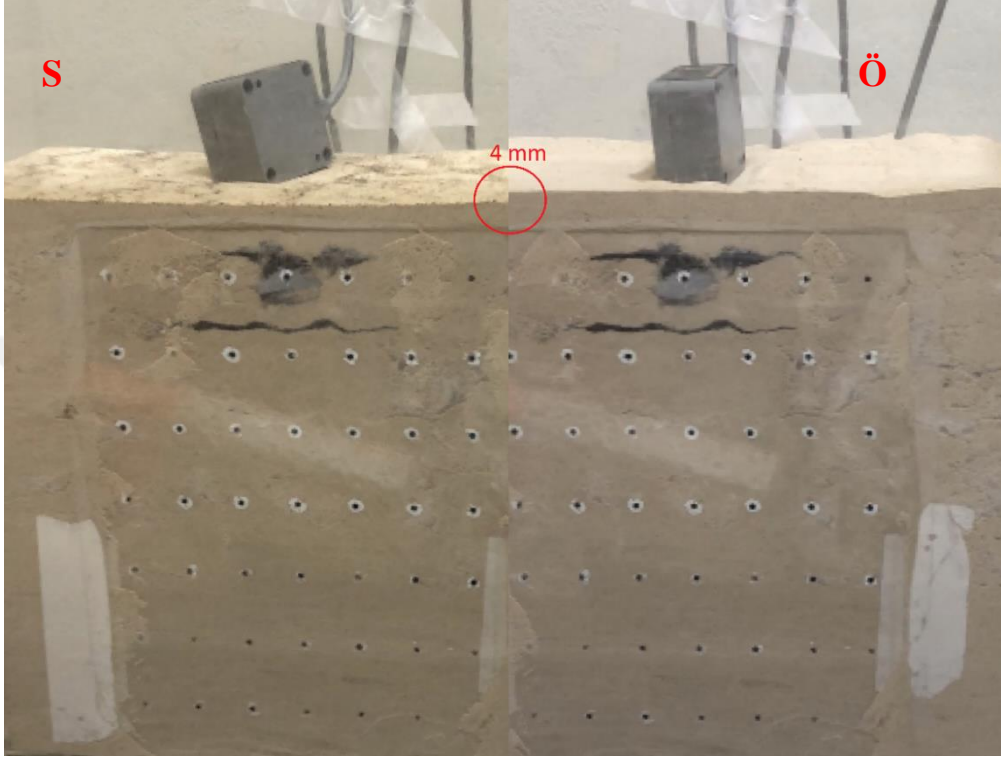
Şekil 34. %1 Fiber Katkılı kum numunedeki (1,2D) 10 cm ve 30 cm derinlikte optimum su muhtevasında ivmeölçerlerden alınan ivme kayıtları.



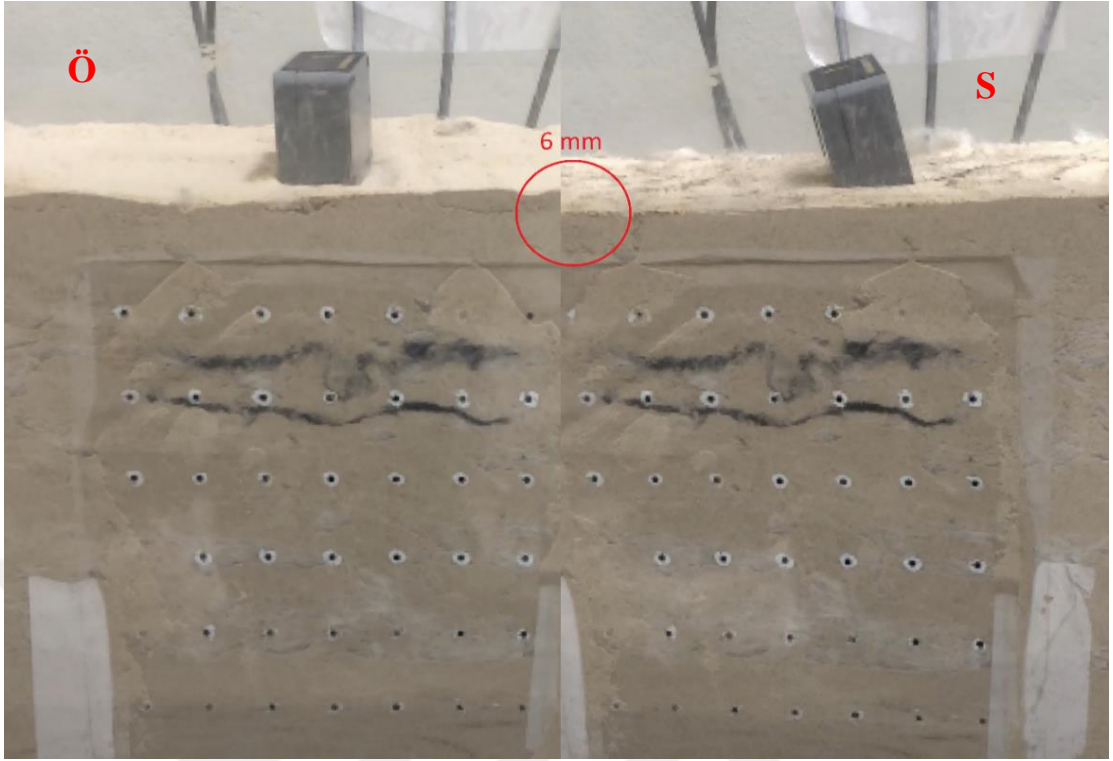
Şekil 35. %1 Fiber Katkılı kum numunede (1,2D) 10 cm ve 30 cm derinlikte optimum su muhtevasında ivmeölçerlerden alınan ivme kayıtları.

Yapılan kompaksiyon deneyleri sonucunda %1 ve %2 fiber katkı oranına bağlı olarak her iki tip numune için belirlenen optimum su muhtevalarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Fiber oranı artışı ile su muhtevasının arttığı ve buna bağlı olarak da maksimum kuru birim hacim ağırlığın azaldığı görülmüştür. Verilen maksimum ivme değerinde Şekil 34 ve Şekil 35’de her iki numunede kayda değer bir ivme değişimi gözlenmemiştir. Optimum su muhtevasında iri taneli zeminler sıkı duruma geldiği için zemin yüksek dayanım ve düşük geçirimsizliğe sahip olur. Bu nedenle zeminin fiber katkı ve boşluklardaki suyun tutulmasından kaynaklı zeminde sıkılaşıma olduğundan dayanımın

arttığı tespit edilmiştir. Maksimum ivme değerinde optimum su muhtevasında %1 ve %2 fiber katkısı bulunan zeminlerde ve gömülü boruda herhangi bir düşey deplasman görülmemiştir.



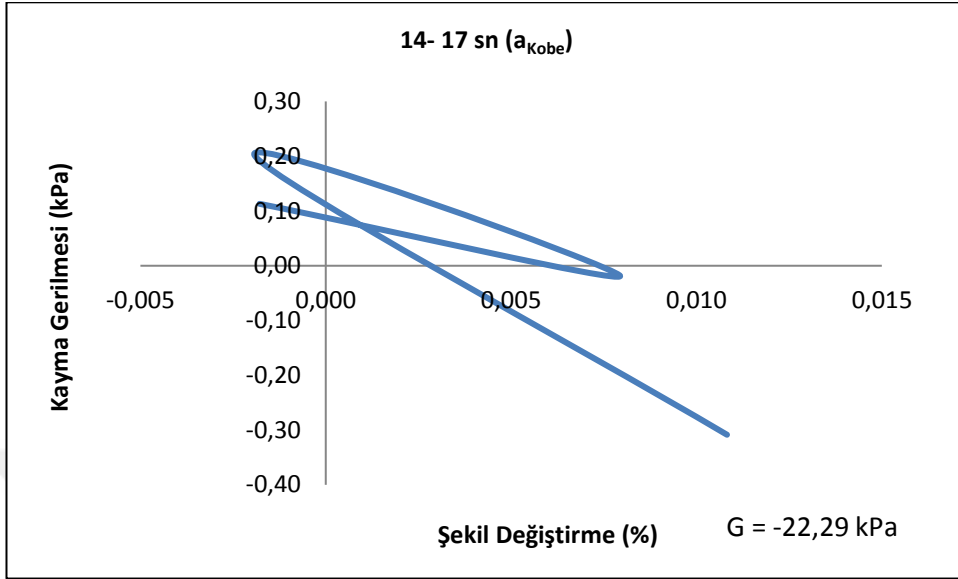
Şekil 36. %1 Fiber Katkılı, %20 Rölatif Sıklıktaki Kum Numunede 1,2D Derinlikteki Gömülü Boru.



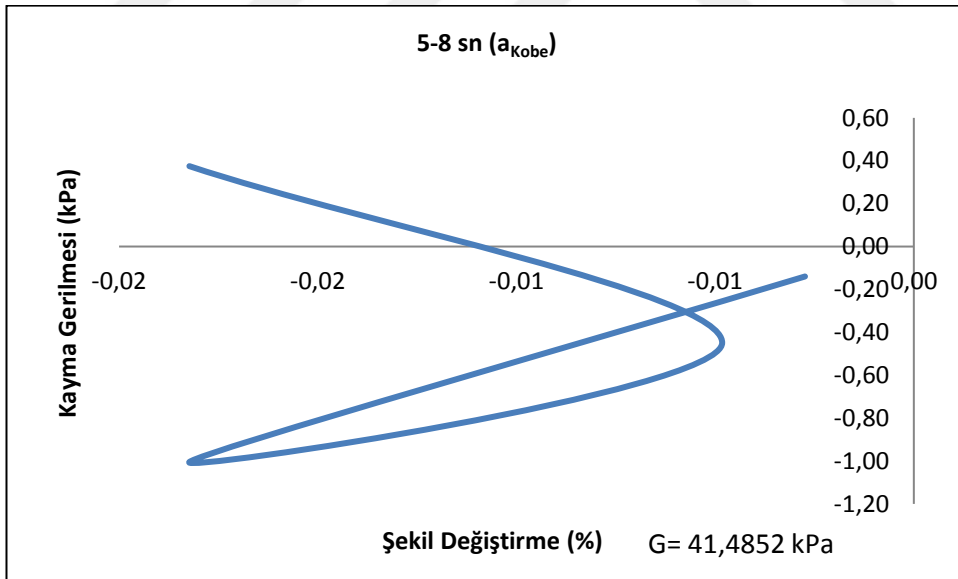
Şekil 37. %2 Fiber Katkılı, %20 Rölatif Sıklıktaki Kum Numunede 2D Derinlikteki Gömülü Boru.

Ayrıca Şekil 36 ve Şekil 37'den görüldüğü gibi yapılan deneyler sonucunda fiber katkılı numunelerde boru konumunda herhangi bir yer değiştirme görülmezken, borunun üstünde kalan yüzeysel zemin tabakasında ölçülebilen oturmalar tespit edilmiştir.

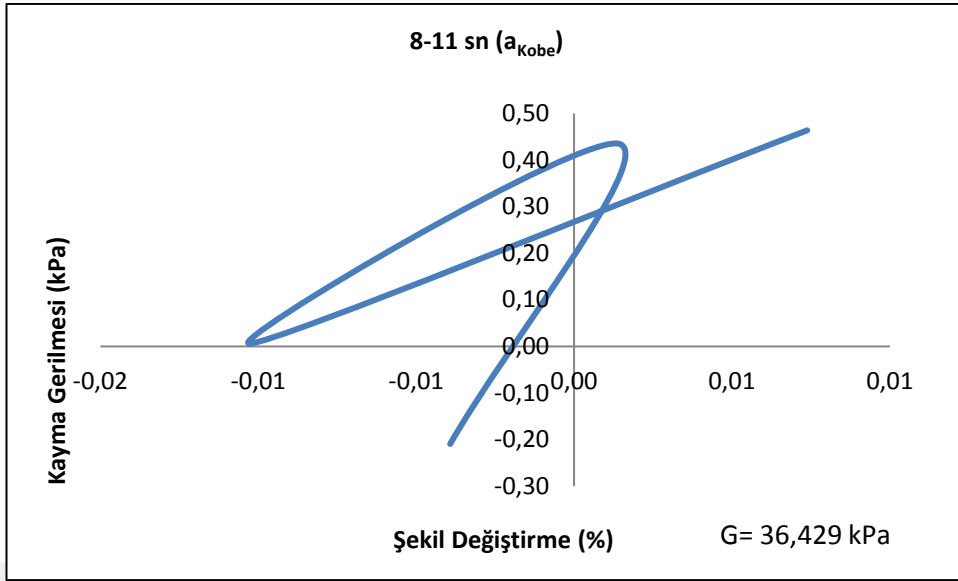
2.3.1. Kayma Gerilmesi – Kayma Şekil Değişirme İlişkisi



Şekil 38. Fiber katkısız numuneye ait kayma gerilmesi - kayma şekil değişirme ilişkisi ilmeği (1,2D – Dr: %20).



Şekil 39. %1 Fiber katkılı numuneye ait kayma gerilmesi - kayma şekil değişirme ilişkisi ilmeği (1,2D – Dr: %20).



Şekil 40. %1 Fiber katkılı numuneye ait kayma gerilmesi - kayma şekil değişirmesi ilmeği (2D – Dr: %20).

Kobe depremine ait verilen ivme değerlerinde 3 numune üzerinde inceleme yapılmış ve kayma gerilmesi - şekil değişirme ilmeğinin eğiminden kayma modülü hesaplanmıştır. %20 sıklıkta, fiber katkısız 1,2D boru gömü derinliği ile %1 fiber katkılı 1,2D ve 2D boru gömü derinliğinde yapılan deneylerden alınan veriler kullanılarak ilmekler oluşturulmuştur. Gerçek yapıların sarsma tablasında ölçekli modellemesinde kullanılan geometrik ölçekleme faktörü (λ) bu model hazinesi için 1/16 olarak belirlendiğinden elde edilen veriler dönüştürülerek, Şekil 38’de fiber katkısız kumda oluşan kayma modülü 357,99 kPa iken, Şekil 39’de 664 kPa olarak hesaplanmıştır. Kayma modülü (G) dayanımla doğru, deformasyonla ters orantılı olduğundan fiber katkılı numunelerin katkısız numunelere göre kayma modülündeki artış, dayanımın arttığını, deformasyonun azaldığını göstermiştir.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, rastgele dağılmış belirli oranlarda fiber katkılarının farklı rölatif sıklık oranlarına sahip temiz kuma gömülü boru hatlarının, sismik etkiler altındaki dinamik davranışını incelemek amacıyla bir dizi model deneyler yapılmıştır. Fiber katkılı ve katkısız temiz kum numunelere verilen sismik hareket sonucunda farklı gömülme derinliklerinde boruda meydana gelen gerilmelerin ve şekil değiştirmelerin kayma modülü ve ivmeölçerlerden alınan ivme kayıtları ile incelenmesi amaçlanan bu çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda elde edilen analiz ve değerlendirmeler aşağıda özetlenmiştir;

1. İlk olarak kullanılan malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi için fiziksel özellik deneyleri yapılmış ve polipropilen fiber katkılı numunelerde mukavemet parametrelerindeki değişimlerin belirlenebilmesi için kesme kutusu ve kompaksiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.
2. Yapılan sarsma tablası deneylerinde, farklı derinliklere yerleştirilen ivmeölçerler ile sinüzoidal hareketin frekans ve ivme değerleri değiştirilerek kayıtlar alınmıştır. 10 cm ve 30 cm'ye yerleştirilen ivmeölçerde alınan kayıtlara göre, %20 rölatif sıklıkta %1 ve %2 fiber katkılı numunelerde maksimum ivmede yapılan incelemelerde zeminde sadece yüzeysel oturmalar görülmüş olup boru konumunda herhangi bir yer değiştirme görülmemiştir. Bu nedenle dalga yayılımı sonucunda boruda meydana gelecek şekil değiştirmeler üzerinde derinlik etkisi incelenememiştir.
3. %1 ve %2 fiber bulunan zeminlerin optimum su muhtevaları sırasıyla %15 ve %15,2 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere bağlı olarak yapılan optimum su muhtevastaki sarsma tablası deneylerinde zemin sıkı konumda olduğundan gömülü boruda ve zeminde herhangi bir oturma gözlenememiştir.
4. Grafikler ve oluşturulan tablolar incelendiğinde maksimum ivmelenme tepkisinin %20 rölatif sıklıktaki %1-%2 fiber katkılı zeminde, minimum ivmelenme tepkisinin

ise %20 rölâtif sıklıktaki gevşek fiber katkısız zeminde meydana geldiği tespit edilmiştir.

5. Kayma gerilmesi- birim kayma şekil değiştirme grafiğinden hesaplanan kayma modülü; fiber katkısız zeminde 357,99 kPa, %1 fiber katkılı zeminde 664 kPa olarak bulunmuştur. Yani kayma modülündeki bu değişimden de anlaşılacağı gibi fiber katkılı numunelerin dayanımı fiber katkısız numunelerin dayanımından daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca deformasyon açısından da fiber katkılı numuneler, katkısız numunelere göre daha az deformasyon göstermektedir.

Fiber katkısının zemin iyileştirmesi ve gömülü borular üzerindeki etkisinin incelenmesi kapsamında çalışılan bu tezde sonuç olarak; fiber katkısının zemini iyileştirme konusunda fayda sağladığı gözlemlenmiştir. Gerek ivme iletimlerinden, gerek deplasman ölçümlerinden, gerekse de hesaplanan kayma modüllerinden görülüp, analiz sonucu yorumlandığı gibi fiber katkısı zeminin dayanımını arttırmıştır. Bu etki özellikle yüksek şiddetli depremlerde daha belirgin şekilde farkını ortaya çıkarmaktadır. Ancak farklı fiber katkı oranlarının iyileştirmeye etkisi incelendiğinde belli bir orandan sonra fiber katkısı artışının lineer biçimde faydayı arttırmadığı gözlemlenmiştir. % 1 ve %2 oranlarında fiber katkısı kullanılarak yapılan deneylerde, % 1 fiber katkılı numuneler ile %2 fiber katkılı numuneler arasında iyileştirme ve dayanım artışı açısından verilerden yorumlanabilecek bir fark oluşsa da bu fark lineer olmayıp, daha yüksek oranlı fiber katkılarda daha yüksek dayanım sonuçlarına ulaşabileceği konusunda kesin bir sonuca ulaşılammış, yüksek fiber katkı oranlarında homojenize olmayan zemin ayrışmaya sebebiyet verme olasılığı ayrı bir deney ve araştırmanın konusu olabileceği düşünülmüştür.

Fiber katkısının zemini iyileştirmesinin gömülü boru üzerinde yarattığı etki de ivmeölçerler ve hesaplanan yer değiştirmeler ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda gömülü borudaki oluşabilecek deformasyonların azaldığı gözlemlenmiştir. Fiziksel olarak da gözlenebileceği şekilde borunun üstünde bulunan tabakada yüzeysel oturmalar olsa da gömülü boru düzleminde kayda değer bir oturma, buna bağlı olarak boruda bir deformasyon gözlenmemiştir.

Tüm bu veri ve değerlendirmelerin ışığında fiber katkı ile zeminin iyileştirilmesi, gömülü boru tasarımlarında kullanılabilir bir yöntem olup, maliyet konusu ayrıca proje-araştırmalarda ele alınmalıdır.



4. ÖNERİLER

Depremlerin verebileceği hasarlara karşı altyapı mühendislik projelerinin ve çevre sağlığının güvenliğini sağlamak adına içme suyu ve atık su sistemlerinin insan sağlığı açısından afetler sonrasında hala çalışabilir olması gerekmektedir. Bu hem medeniyet konusunda geline nokta, hem de yaşam standartlarında oluşan kazanımların sürdürülebilir olması açısından önemlidir. Bu bağlamda önem katsayısı yüksek olan bu gömülü boru yapılarında, zemin iyileştirmesinin fiber katkısı ile yapılması önerilebilecek ve tasarım esnasında değerlendirilebilecek bir yöntemdir. Bu yöntemin maliyet ve verimi konusunda ayrıca araştırmalar yapılması da faydalı olabilecektir.

Bu tez kapsamında yapılan araştırmalarda zemin cinsi olarak kum kullanılmış olup, farklı araştırmalarda çeşitli zemin türlerinde fiber katkısının faydasının incelenmesi de ayrıca yararlı olacaktır. Özellikle Türkiye coğrafyasında karşılaşılabilecek zemin türlerinde fiber katkısının etkileri araştırılabilir. Bunun yanı sıra PPRC boru çeşidinin dışında diğer hammaddelerden mamul borularda da benzer deneyler uygulanarak, gömülü boruların tasarımı konusunda daha geniş kapsamlı bir çalışma yelpazesi oluşturulabilir. Bu deney çalışmalarında borunun bizatihi kendisine de ivmeölçer yerleştirilmesi, zeminden bağımsız boru davranışlarının incelenmesine de olanak verebilir.

Nihayetinde bu tezin kapsamında fiber katkısının zemini iyileştirdiği ve gömülü boru deformasyonlarını azalttığı tespit edilse de tasarım noktasında öncelikler ve hedefler belirlenerek, fiber katkısının oranı bu minvalde belirlenmelidir. Örnek olarak bahsetmek gerekirse % 1 oranında da %2 fiber oranında da zeminde iyileştirme ve dayanım artışı görülse de, zeminin süneklik durumu farklılık arz etmekte olup, bu oranın belirlenmesinde tasarımcının istekleri esas olmalıdır.

5. KAYNAKLAR

- Al Refeai, T. O., 1991. Behaviour of Granular Soils Reinforced with discrete Randomly Oriented Inclusions, *Geotextiles and Geomembranes*, 10, 319–333.
- Al-Refeai, T. O. and Al-Suhaibani, A., 1998. Dynamic and Static Characterization of Polypropylene Fiber-Reinforced Dune Sand, *Geosynthetics International*, 5, 5, 443-458.
- ALA (American Lifelines Alliance), 2005. Seismic Guidelines for Water Pipelines, www.americanlifelinesalliance.org
- ALA (American Lifelines Alliance), 2001. Guidelines for the Design of Buried Steel Pipes, www.americanlifelinesalliance.org.
- ASCE (American Society of Civil Engineers), 1984. Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems, Prepared by the ASCE Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, D. J. Nyman Principal Investigator.
- ASME (The American Society of Mechanical Engineers), 2006. Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids, ANSI/ASME B31.4, New York.
- ASME (The American Society of Mechanical Engineers), 2007. Gas Transmission and Distribution Piping Systems, ANSI/ ASME B31.8, New York.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) B 788/B 788M, 2004. Standard Practice for Installing Factory-Made Corrugated Aluminum Culverts and Storm Sewer Pipe, West Conshohocken, United States.
- Ayalp, G., 2006. Gömülü Borulara Etkiyen Zemin Yüklerinin Bulunması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ayraçma, B. B., 2015. Sentetik Fiber ve Çimento Katkılı Kumların Mukavemet Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Babbitt, H. E., Donald, J. J. and Cleasby, J. L., 1962. *Water Supply Engineering*, McGraw-Hill Book Comp. Inc., New York.
- Balkaya, M., 2002. Zemine Gömülü Boruların Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Balkaya, M., Sağlamer, A. and Moore, I. D., 2011. Conta Bağlantılı PVC Boruların Deformasyon Davranışının Laboratuvar Deneyleri İle Belirlenmesi İtü Dergisi/D Mühendislik Cilt: 10, Sayı: 4, 153-162 Ağustos 2011.

- Boominathan, A. and Hari, S., 2002. Liquefaction Strength of Fly ash Reinforced With Randomly Distributed Fibers, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22, 1027-1033.
- Bull, J. W., 1994. *Soil Structure Interaction: Numerical Analysis and Modeling*, Chapman & Hall, London.
- Bulson, P. S., 1985. *Buried Structures: Static and Dynamic Strength*: Chapman and Hall, London.
- Chen, M., Shen, S. L., Arulrajah, A., Wu, H. N., Hou, D. W. and Xu Y. S., 2015. Laboratory Evaluation on The Effectiveness of Polypropylene Fibers on The Strength of Fiber-Reinforced and Cement-Stabilized Shanghai Soft Clay, *Geotextiles and Geomembranes*, 1-9.
- Choobbasti, A. J., Vahdatirad M., Bandpey, F. S., Barari A. and Rezaei D., 2009. Modeling of The Uplift Response of Buried Pipelines, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 14, 1–15.
- Consoli, N.C., Casagrande, M., Prietto, P. and Thome, A., 2003. Plate Load Test on Fiber-Reinforced Soil, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 129, 10, 951-955.
- Cui, H., Jin, Z., Bao, X., Tang, W. and 2018. Effect Of Carbon Fiber and Nanosilica on Shear Properties of Silty Soil and The Mechanisms, *Construction and Building Materials*, 189, 286–295.
- Çetin, A. Y., 2011. Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Alternatif Malzemeler İle Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 121 s.
- Çoban, S. ve Çeribaşı S., 2018. Gömülü Çelik Boru Sistemlerinin Zaman Tanım Alanında Yapısal Analizi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2), 581-592.
- Das, B. M., 1993. *Principles of Soil Dynamics*. Boston: PWS-KENT Publishing Company.
- Datta, T. K., 1999. Seismic Response Of Buried Pipelines: A State-of-The-Art Review, *Nuclear Engineering and Design*, Elsevier, 192, 271-284.
- Datta, T. K. and Mashalyi E. A., 1986. Pipeline Response to Random Ground Motion by Discrete Model, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 14, 4, 559-572.
- Diambra, A., Ibraim, E., Muir, W. D. and Russell, A. R., 2010. Fibre Reinforced Sands: Experiments and Modelling. *Geotextiles and Geomembranes*, 28, 238–250.
- Dickin, E. A., 1994. Uplift Resistance of Buried Pipelines in Sand, *Soils Found*, 34, 41–48.

- Eldesouky, H. M., Morsy M. M. and Mansour M. F., 2016. Fiber-Reinforced Sand Strength and Dilation Characteristics, *Ain Shams Engineering Journal*, 7, 517–526.
- Faragher, E., Fleming, P. R. and Rogers, C. D. F., 2000. Analysis of Repeated Load Field Testing of Embedded Plastic Pipes. *Transp. Res. Rec.* 1514. Transportation Research Board, Washington, DC, 271-277.
- Festugato, L., Menger, E., Benezra, F., Kipper, E. A. and Consoli, N. C., 2017. Fibre-Reinforced Cemented Soils Compressive And Tensile Strength Assessment as a Function of Filament Length, *Geotextiles and Geomembranes*, 45, 77-82.
- Freitage, D. R. 1986. Soil randomly reinforced with fibers, *Journal of Geotechnical Engineering*, 112, 8, 823–826.
- G&E Engineering Systems Inc., 2001. Seismic Fragility Formulations For Water Systems, Web Site Report, 27-59.
- Gao, Z. and Zhao, J., 2013. Evaluation on Failure of Fiber-Reinforced Sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139, 95-106.
- Gray, D. H., and Maher, M. H., 1989. Admixture Stabilization Of Sands With Discrete, Randomly Distributed Fibers, *Proc. XIIth Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg.*, Rio de Janeiro, Brazil, 1363-1366.
- Gray, D. H. and Ohashi, H., 1983. Mechanics Of Fiber Reinforcement In Sands. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE 109 (3), 335–353.
- Gunaratne, M., 2006. *The Foundation Engineering Handbook*. Boca Raton FL: Taylor & Francis Group.
- Gümüş, M., 2009. Farklı Zeminlerdeki Boruların Dinamik Yükler Altında Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Hejazi, S. M., Sheikhzadeh, M., Abtahi, S. M. and Zadhoush, A., 2011. A Simple Review Of Soil Reinforcement By Using Natural And Synthetic Fibers, *Construction and Building Materials*, Elsevier, 30, 100-116,
- Hindy, A. and Novak, M., 1979. *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 7, 451-476.
- İbrahim, E., Diambra, A., Russell, A. R. and Wood, D. M., 2012. Assessment Of Laboratory Sample Preparation For Fibre Reinforced Sands, *Geotextiles and Geomembranes*, 34, 69-79.
- İbrahim, E., Camenen, J. F., Diambra, A., Kairelis, K., Visockaite, L. and Consoli, N. C., 2018. Energy Efficiency Of Fibre Reinforced Soil Formation At Small Element

- Scale: Laboratory And Numerical Investigation, *Geotextiles and Geomembranes*, 46, 497–510.
- İşkan, E., 2001. *Zemine Gömülü Boruların Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Katayama, T., 1991. Use Of Dense Array Data İn The Determination Of Engineering Properties Of Strong Motions, *Struct Saf.*, 10, 27–51.
- Kılıç, G., 2010. *İstanbul Su Şebekelerinin Sismik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kılıç, H. ve Akınay E., 2017. Gömülü Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) Boru Davranışının Sayısal Analizi 2017 3rd International Soil-Structure Interaction Symposium, At İzmir, Turkey.
- Leung, M., and Vipulanandan, C., 1995. Treating Contaminated, Cracked And Permeable Field Clay With Grouts. *Proc., Specialty Conf. On Geotechnical Practice İn Waste Disposal*, Geotechnical Special Publication, ASCE, New York, 829–843.
- Ling, H. I., Mohri, Y., Kawabata, T., Liu, H., Burke, C., and Sun, L., 2003. Centrifugal Modeling of Seismic Behavior of Large-Diameter Pipe İn Liquefiable Soil, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129, 12.
- Maher, M. H., and Ho, Y. C., 1994. Mechanical Properties Of Kaolinite/ Fiber Soil Composite, *Journal of Geotechnical Engineering*, 120, 8, 1381–1393.
- Maher, M. H. and Gray, D. H., 1990. Static Response of Sands Reinforced With Randomly Distributed Fibers, *Journal of Geotechnical Engineering*, 116, 11, 1661-1677.
- Marston, A., 1930. *Iowa Engineering Experiment Station. Bulliton No: 6 Ames, Iowa.*
- McGown, A., et al. 1985. Soil Strengthening Using Randomly Distributed Mesh Elements, *Proc, XIth Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg., HI, San Francisco, Calif.*, 1735-38.
- Michalowski, R. L. and Cerma' K, J., 2002. Strength Anisotropy of Fiber-Reinforced Sand, *Computers and Geotechnics* 29, 279–299.
- Mir Mohammad Hosseini, S. M. and Moghaddas Tafreshi, S. N., 2002. Soil Structure Interaction of Embedded Pipes Under Cyclic Loading Conditions, *International Journal of Engineering* 15, 2, 117–124.
- Moghaddas Tafreshi, S. N. and Dawson, A. R., 2010. Behaviour Of Footings On Reinforced Sand Subjected To Repeated Loading E Comparing use of 3D and Planar Geotextile, *Geotextiles and Geomembranes*, 28, 434-447.
- Moser, A. P., 1990. *Buried Pipe Design*, McGraw-Hill, New York.

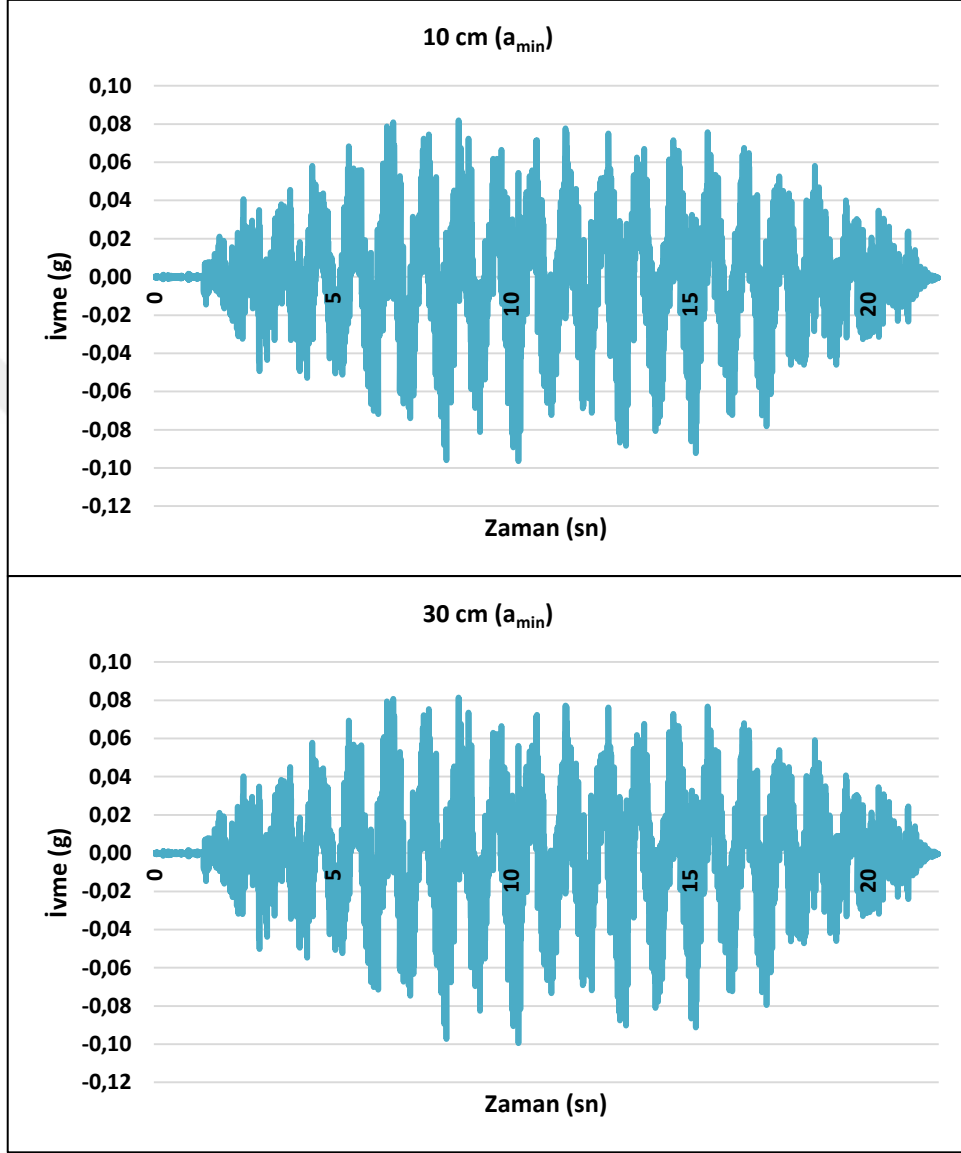
- Nasu, M., Kazama, S., Morioka, T., et.al.,1973. Vibration Test Of The Underground Pipe With A Comparatively Large Crosssection, In: Proceedings Of The Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, 583–392.
- Nataraj, M. S., and McManis, K. L., 1997. Strength And Deformation Properties Of Soil Reinforced With Fibrillated Fibers, *Geosynthetic. Int.*, 4, 1, 65–79.
- Newmark, N. M., 1967. Problems In Wave Propagation In Soil And Rock. In: Proceedings Of The International Symposium On Wave Propagation And Dynamics Properties Of Earth Materials. Albuquerque, New Mexico, United States, 7–26.
- Noorzad, R. and Amini, P. F., 2014. Liquefaction Resistance Of Babolsar Sand Reinforced With Randomly Distributed Fibers Under Cyclic Loading, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 281-292.
- O'Rourke, M. J., 1995. Seismic Behavior Of Buried Pipeline Components: A State-Of-The-Art Review, 10th European Conference On Earthquake Engineering, Ed. Duma, Balkema, Rotterdam.
- O'rourke, M. J., 2008. Wave Propagation Effects On Buried Pipe At Treatment Plants, *Earthquake Spectra*, 24,3, 725-749
- Oliveira, J. R. M. S., Almeida, M. S. S., Almeida M. C. F. and Borges R. G., 2010. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136, 7.
- Öztürk, O., 2018. Fiber Katkılarının Temiz Kum Zeminlerin Dinamik Davranışlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- PRCI (Pipeline Research Council International), 2004. Guidelines For The Seismic Design And Assessment Of Natural Gas And Liquid Hydrocarbon Pipelines, Houston.
- PRCI (Pipeline Research Council International), 2009. Guidelines For Constructing Natural Gas And Liquid Hydrocarbon Pipelines Through Areas Prone To Landslide And Subsidence Hazards, Houston.
- Ranjan, G., Vasan, R. M. and Charan, H. D., 1996. Probabilistic Analysis Of Randomly Distributed Fiber-Reinforced Soil, *Journal of Geotechnical Engineering*, 122, 419-426.
- Sağlamer, A. and Balkaya, M., 2003. Gömülü Boru Davranışları, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul.
- Sakurai, A. and Takahashi, T., 1969. Dynamic Stresses of Underground Pipelines During Earthquakes. In: Proceedings of The Fourth World Conference on Earthquake Engineering, Santiagode Chile, 81–95.

- Sarıkaya, H. Z. and Koyuncu I., 1999. ITU-IAHS International Conference on the Kocaeli Earthquake 17 August 1999, Istanbul.
- Scussel, O., Brennan M. J., Muggleton J. M., Almeida F. C. L. and Paschoalini A. T., 2019. Estimation of The Bulk and Shear Moduli of Soil Using Measurements of The Predominantly Fluid Wave in a Buried Plastic Water Pipe. *Journal of Applied Geophysics*, 18, 30674-8.
- Shirvani, N. E., Ghalesari, A. T., Tabari, M. K. and Choobbasti, A. J., 2019. Improvement of The Engineering Behavior of Sand-Clay Mixtures Using Kenaf Fiber Reinforcement, *Transportation Geotechnics*, 19, 1–8.
- Shou, K. J. and Chen, B. C., 2018. Numerical Analysis of The Mechanical Behaviors of Pressurized Underground Pipelines Rehabilitated by Cured-in-Place-Pipe Method. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 71, 544–554.
- Sivakumar, B. G. L., Vasudevan A. K. and Sumanta H., 2008. Numerical Simulation of Fiber-Reinforced Sand Behavior, *Geotextiles and Geomembranes*, 26, 181–188.
- Spangler, M. G., 1966. *Soil Engineering*, International Textbook Company, Scranton.
- Spangler, M. G., 1941. The Structural Design of Flexible Pipe Culverts. In: Bulletin 153, Iowa Engineering Experiment Station, Ames, Iowa.
- Sun, L., 2001. Centrifuge Modeling And Finite Element Analysis Of Pipeline Buried In Liquefiable Soil, PhD Thesis, Columbia University.
- Şendir, S., 2005. Zeminde Gömülü Boruların Sismik Etkiler Altındaki Davranışları, Yüksek Lisans Tezi., İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Towhataa, I., Vargas-Mongeb, W., Orensec, R. P. and Yaod, M., 1999. Shaking Table Tests on Subgrade Reaction Of Pipe Embedded In Sandy Liquefied Subsoil, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 18, 347–361.
- Tran, K. Q., Satomi, T., and Takahashi, H., 2018. Effect of Waste Cornsilk Fiber Reinforcement on Mechanical Properties of Soft Soils. *Transportation Geotechnics*, 16, 76–84.
- Trautmann, C. H., O'Rourke, T. D. and Kulhawy F. H., 1985. Upliftforce – Displacement Response of Buried Pipe, *J. Geotech. Eng. – ASCE*, 111, 1061–1076.
- Uzuner, B. A., 2016. *Temel Mühendisliğine Giriş*, Derya Kitapevi, Trabzon.
- White, D. J., Barefoot, A. J. and Bolton, M. D., 2001. Centrifuge Modeling Of Up Heaval Buckling In Sand, *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, 21, 19–28.

- Yasuda, S., Nagase H., Itafuji S., Sawada H. and Mine K., 1994. Shaking Table Test on Flootation of Buried Pipes Due to Liquefaction of Backfill Sands. Transactions on the Built Environment, 94-0026, 665.
- Yetimoğlu, T. and Salbaş, O., 2003. A Study on Shear Strength of Sands Reinforced With Randomly Distributed Discrete Fibers. Geotextiles and Geomembranes, 21,103–110.
- Yiğit, A., 2007. Gömülü boru hatlarının deprem etkilerine karşı davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yzer, Y., 2018. Lif Katkılı Kumun Hidrolik Ve Mekanik zelliklerinin Belirlenmesi ve Yeraltı Suyu Sızma Erozyonuna Karşı Uygulanmasının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, , Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhang, M. X., Zhou, H., Javadi, A. A. and Wang, Z. W., 2008. Experimental and Theoretical Investigation of Strength of Soil Reinforced With Multi-Layer Horizontalevertical Orthogonal Elements. Geotextiles and Geomembranes, 26, 1, 1-13.
- Zhou, D. G., Kong, X. J., Ling H. I., etal. 2002. Experimental Study On The Uplift Behavior Of Pipeline İn Saturated Sand Foundation and Earthquake Resistant Measures During An Earthquake. ChinJGeotechnEng, 24,3, 323–6.
- URL-1,http://www.plastikpazari.com/urunler/pprc-boru-20-mm-pn-25-pprc-tesisat-borusu_185.html/ 05 Nisan 2019
- URL-2, http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/def4d3801e2c7f3_ek.doc, Alt Yapılar için Afet Yönetmeliği (2007). 05 Nisan 2019
- URL-3, <http://www.teknikdestek.com.tr> , Teknik Destek Grubu,15 Nisan 2019

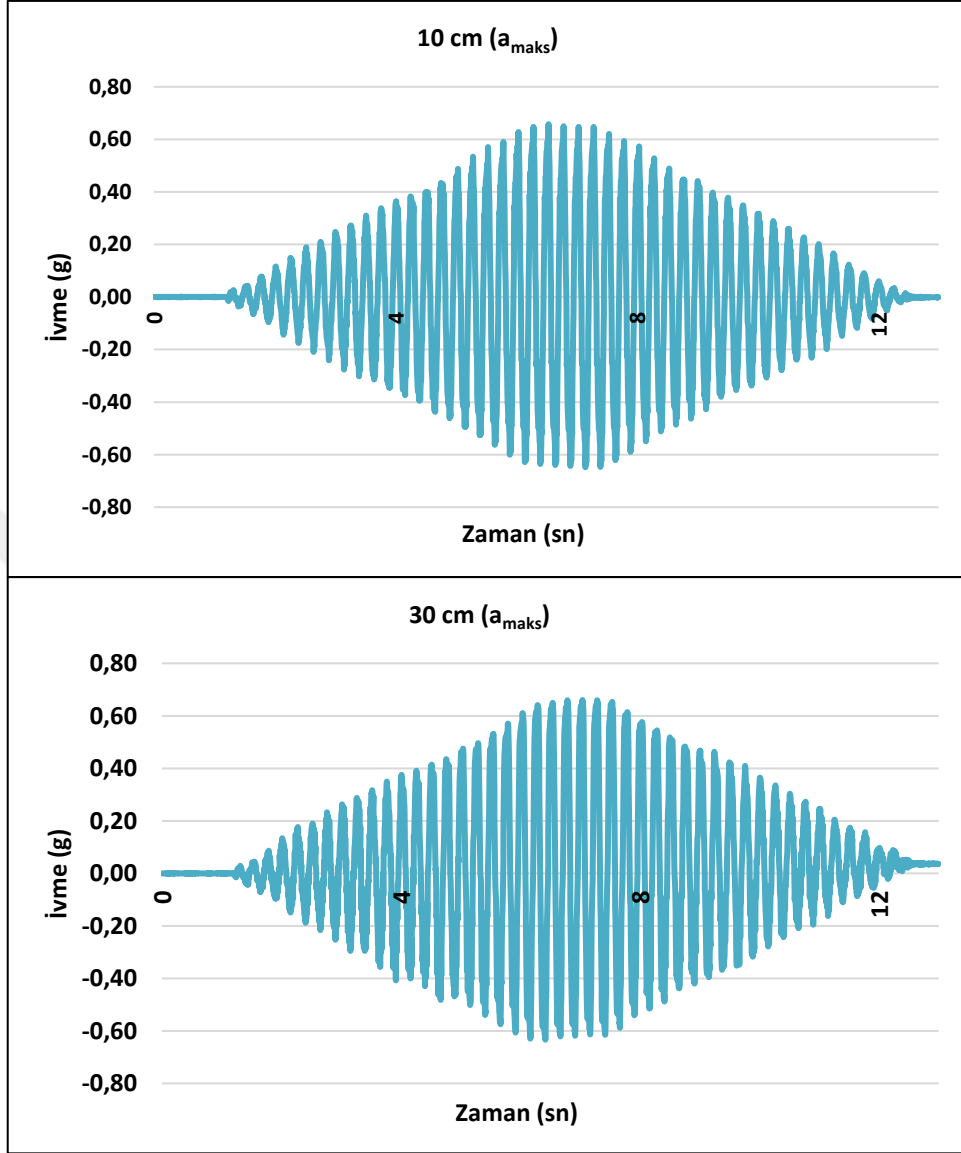
6. EKLER

Ek 1. Yapılan Çalışmalara ait ivme kayıtları



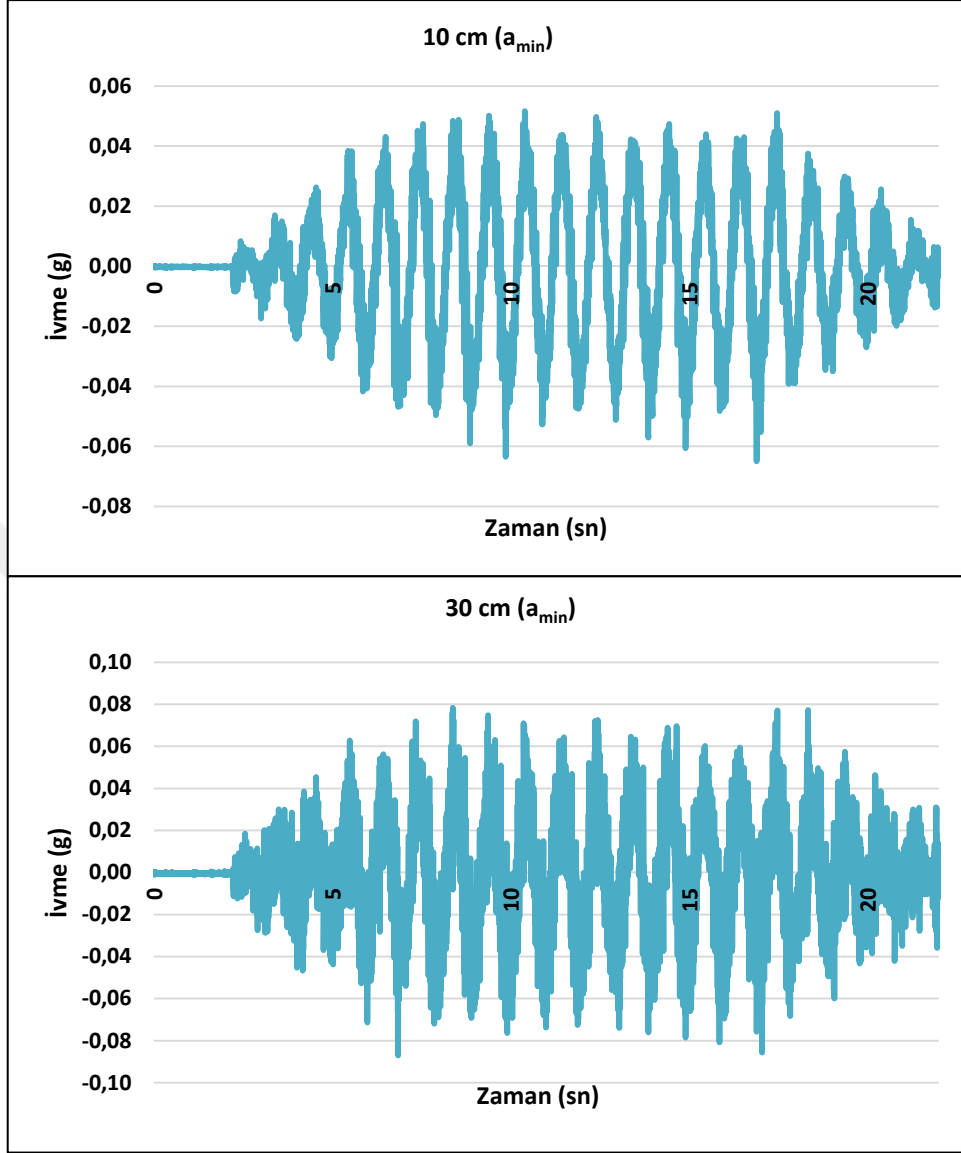
Ek Şekil 1. Fiber Katkısız - Gömülü Boru Bulunmayan Kum Numunede 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

Ek 1'in devamı



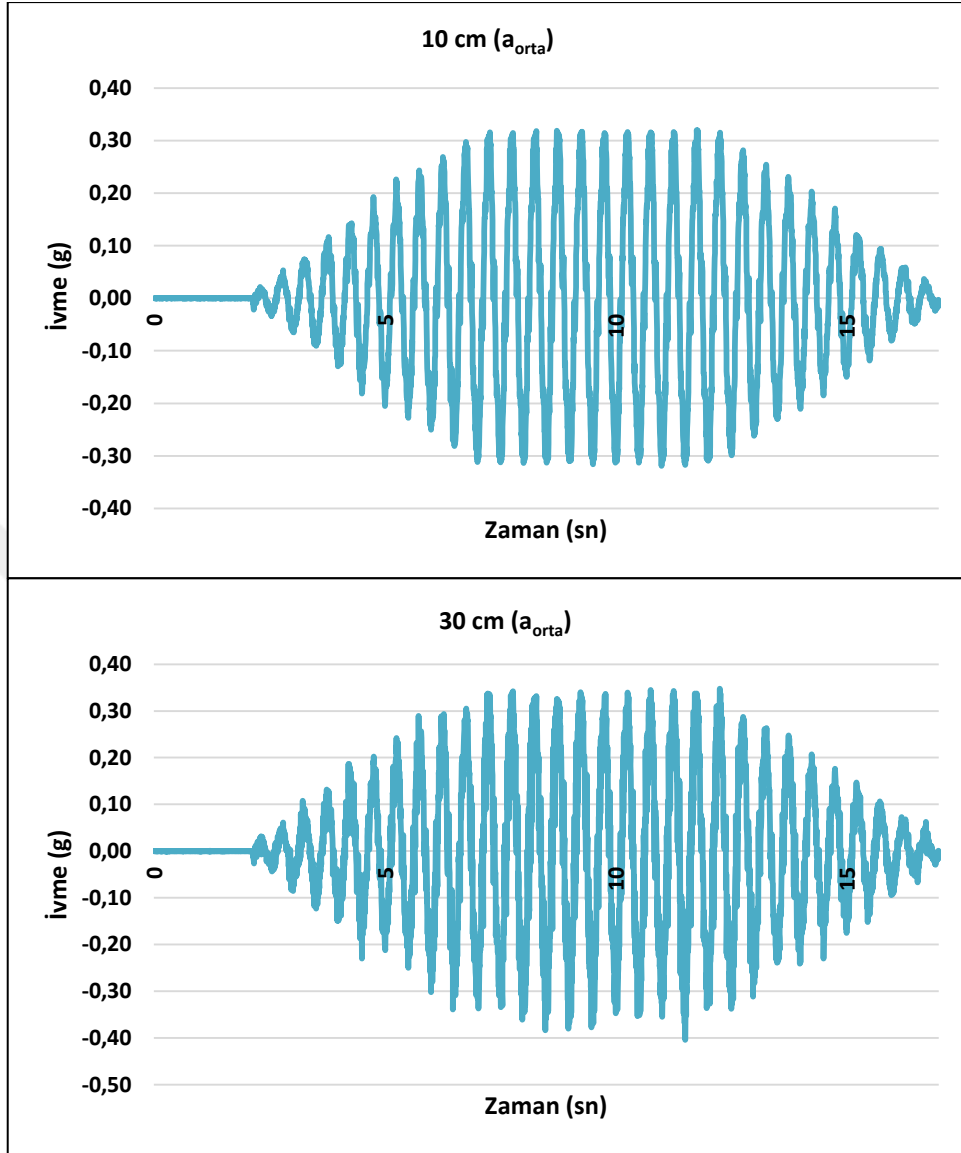
Ek Şekil 2. Fiber Katkısız - Gömülü Boru Bulunmayan Kum Numunede 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

Ek 1'in devamı



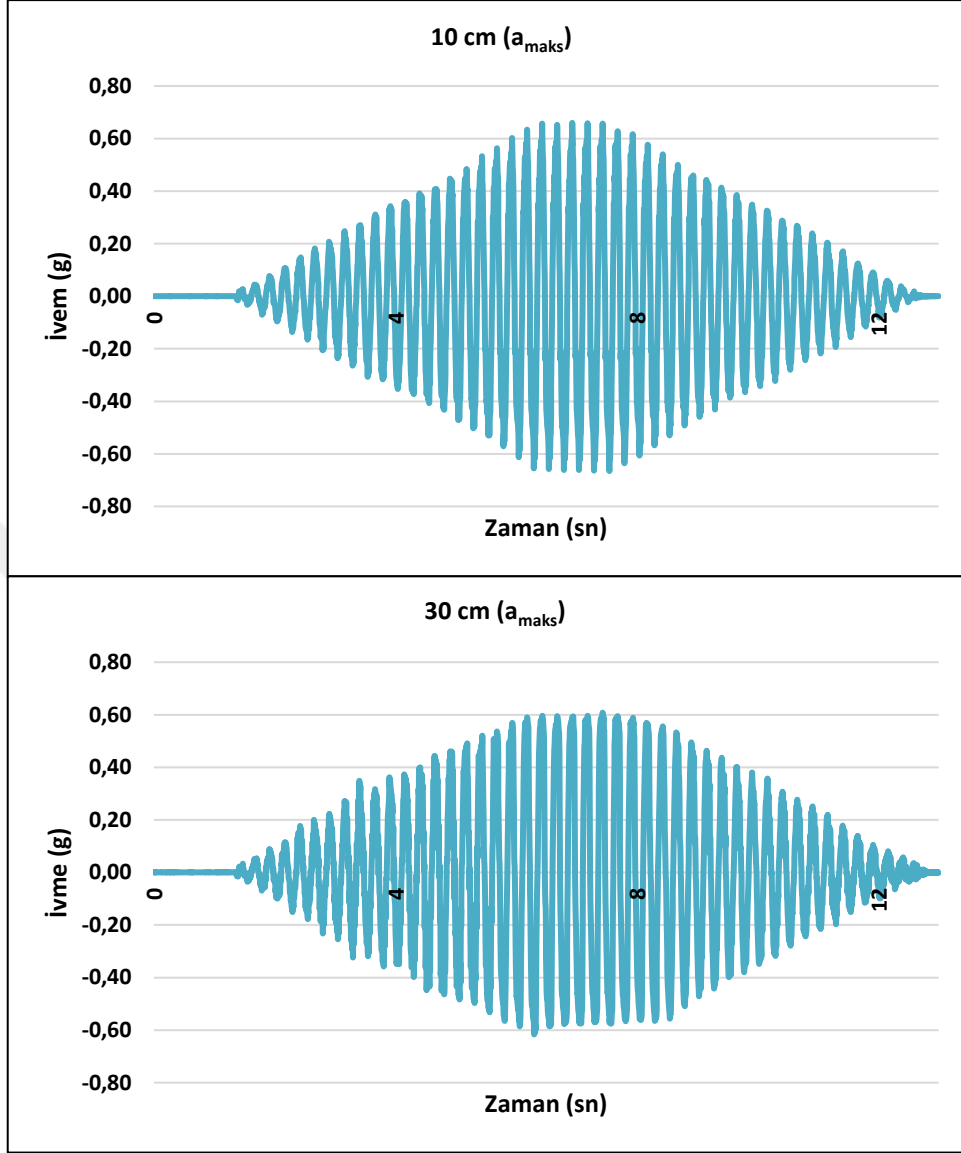
Ek Şekil 3. Fiber Katkısız Kum Numunede (1,2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

Ek 1'in devamı



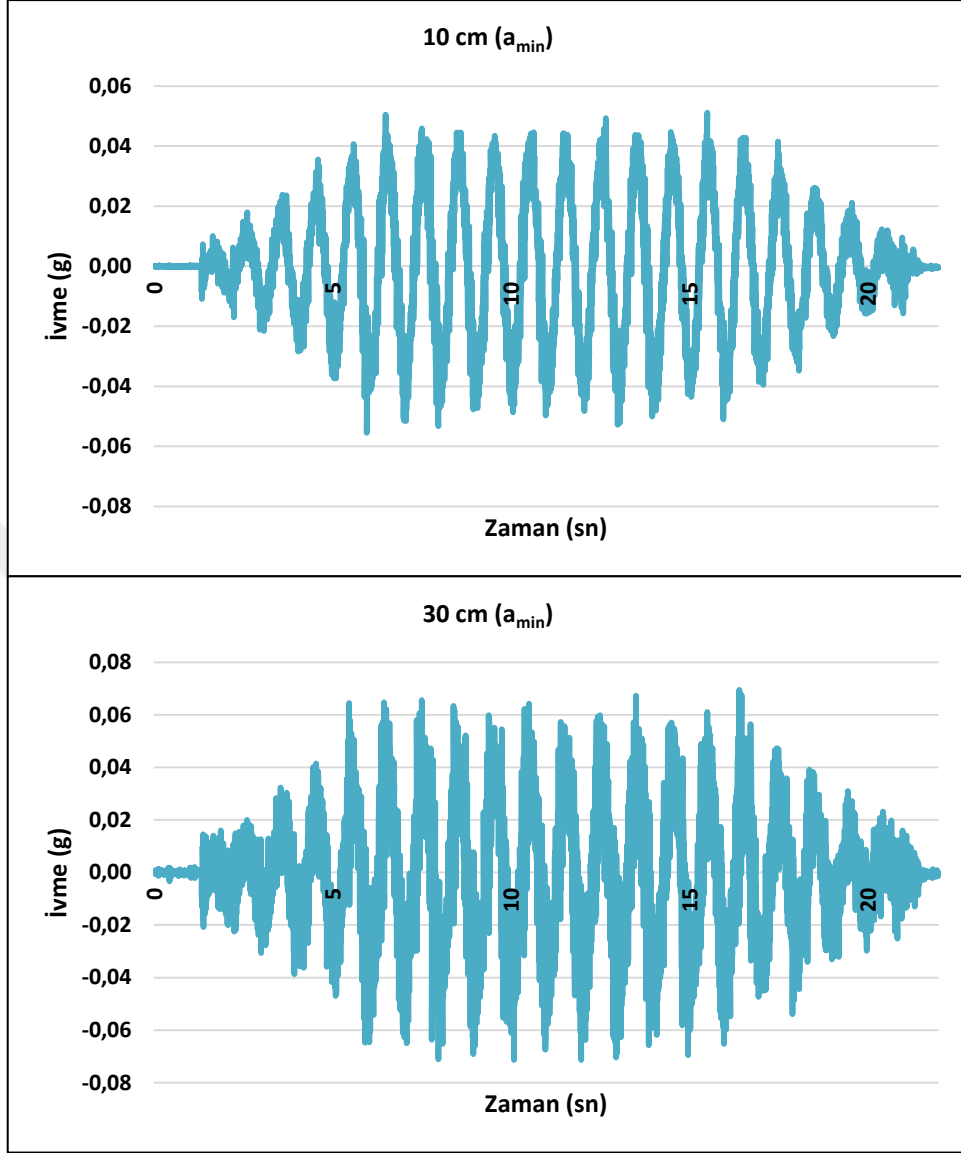
Ek Şekil 4. Fiber Katkısız Kum Numunede (1,2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

Ek 1'in devamı



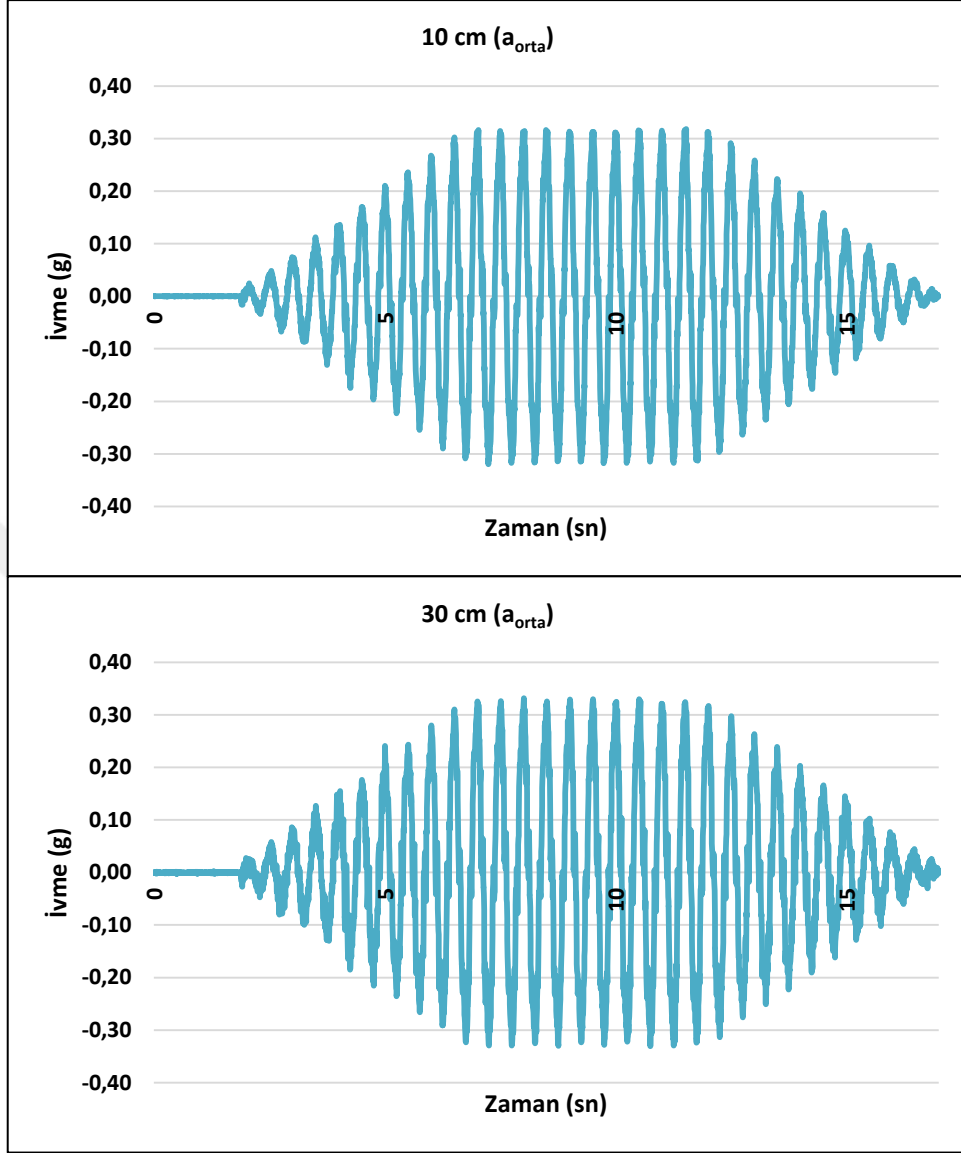
Ek Şekil 5. Fiber Katkısız Kum Numunede (1,2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

Ek 1'in devamı



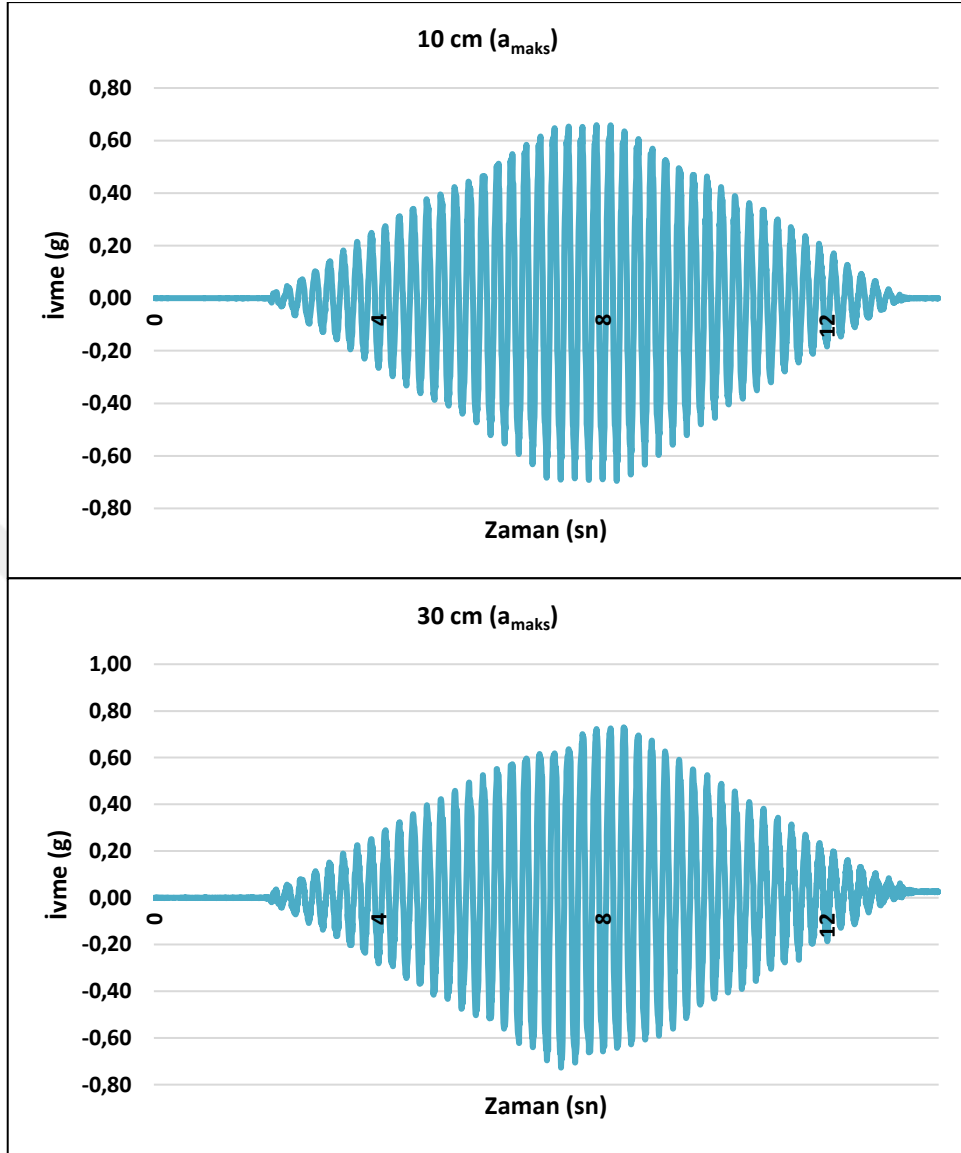
Ek Şekil 6. %1 Fiber Katkılı Kum Numunede (1,2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

Ek 1'in devamı



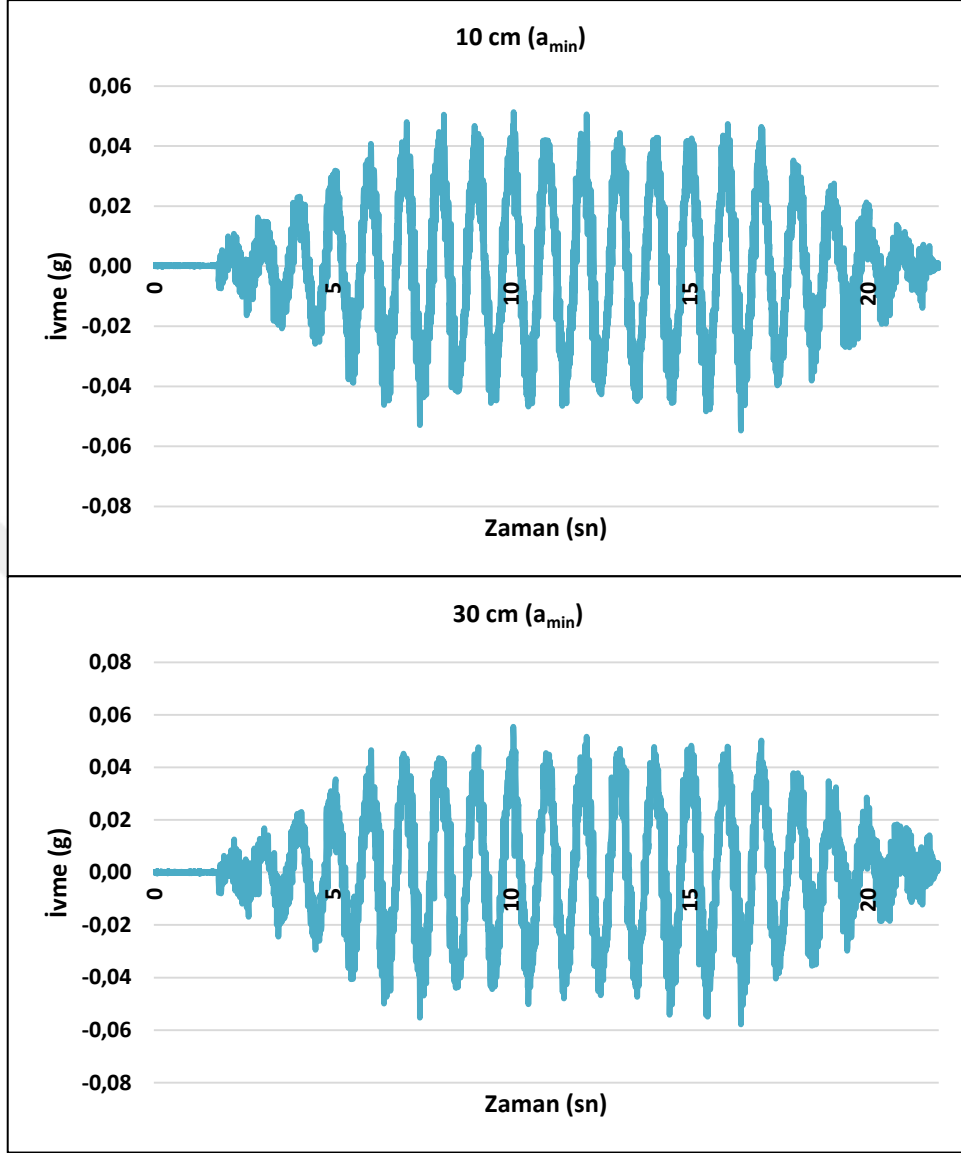
Ek Şekil 7. %1 Fiber Katkılı Kum Numunede (1,2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

Ek 1'in devamı



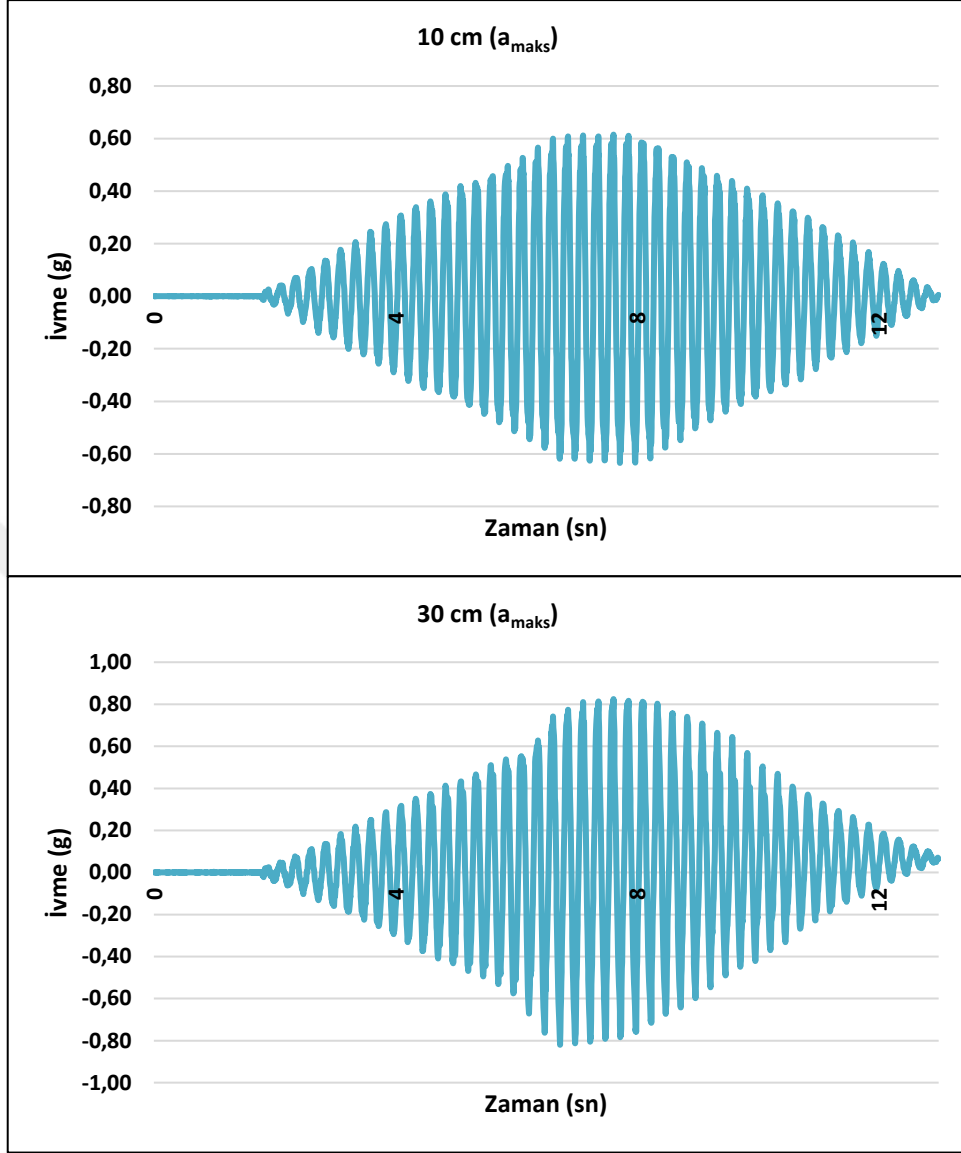
Ek Şekil 8. %1 Fiber Katkılı Kum Numunede (1,2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

Ek 1'in devamı



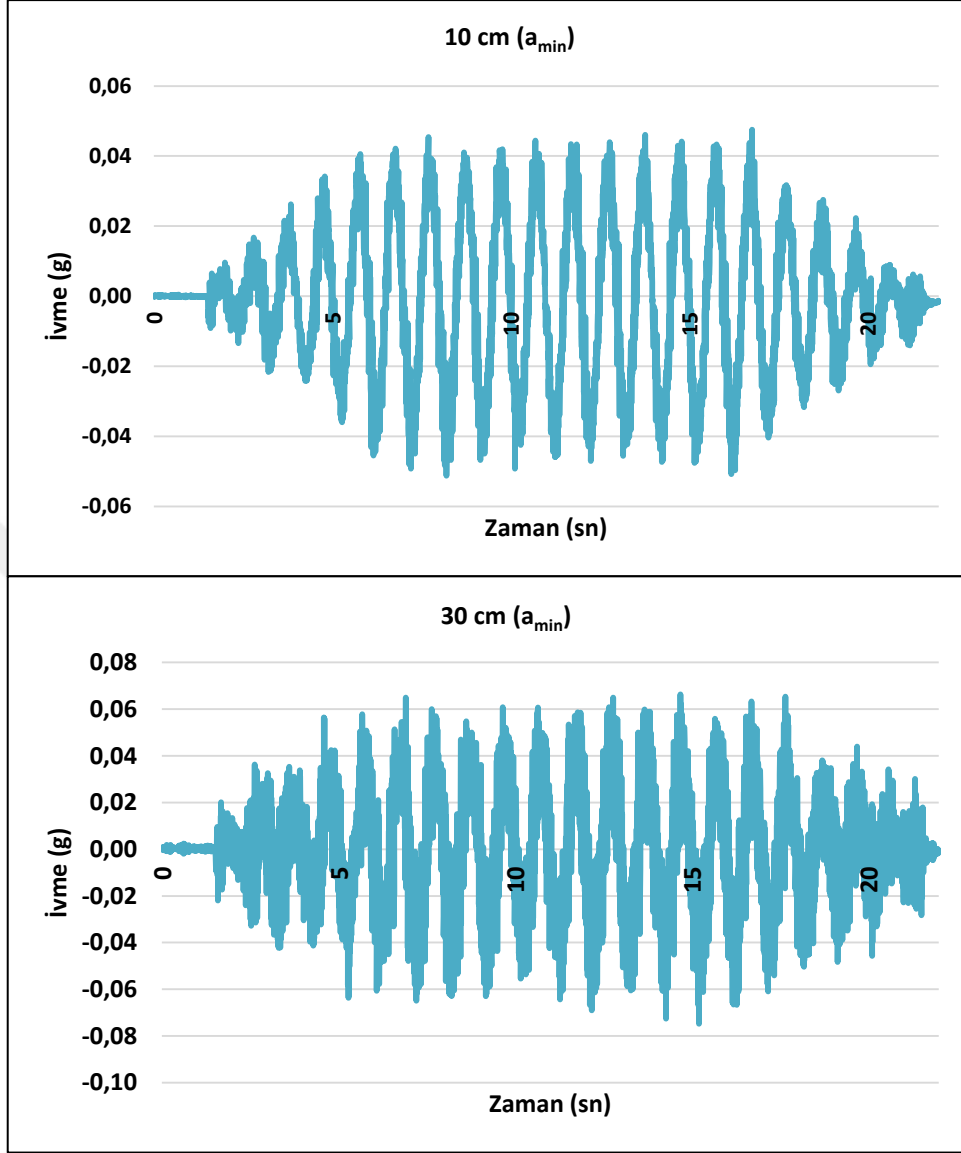
Ek Şekil 9. %1 Fiber Katkılı Kum Numunede (2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

Ek 1'in devamı



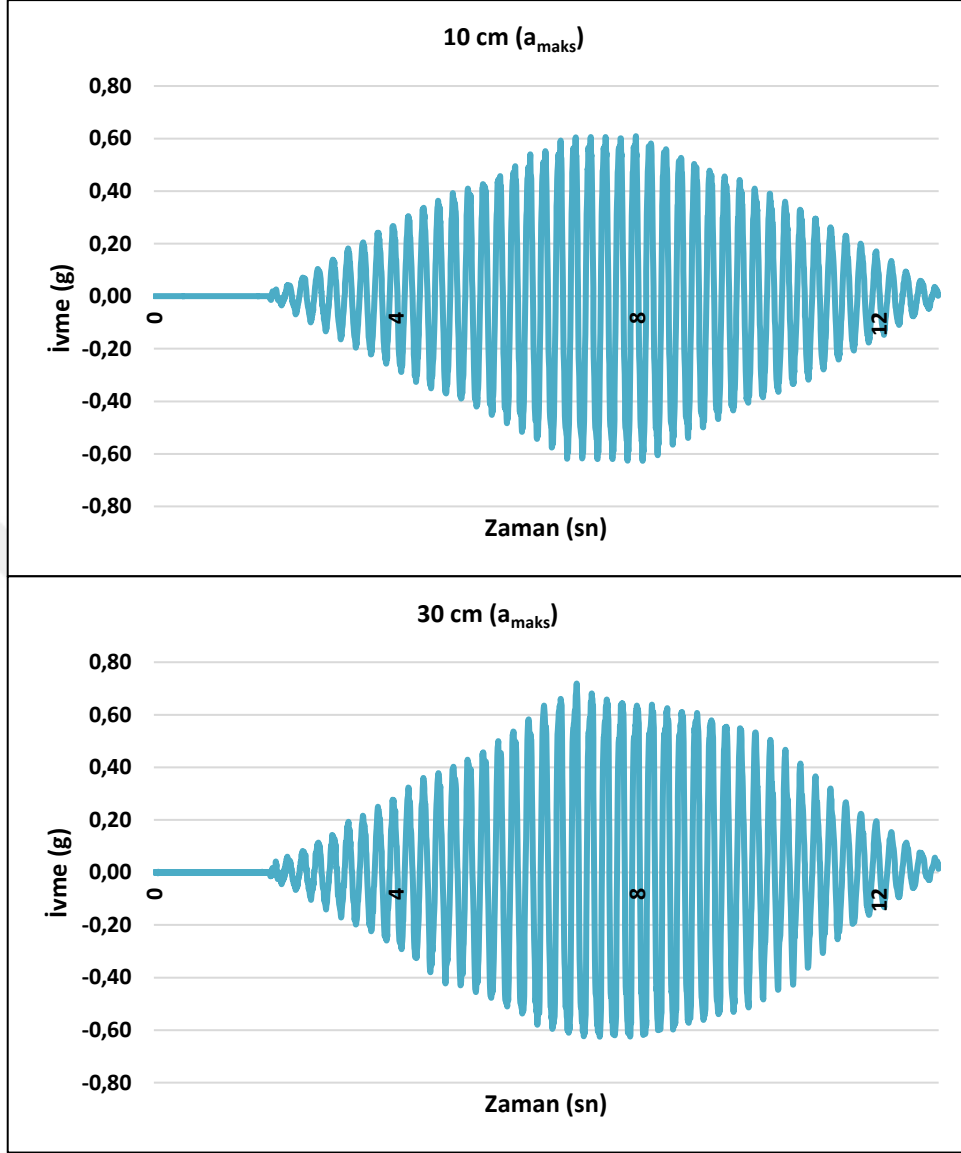
Ek Şekil 10. %1 Fiber Katkılı Kum Numunede (2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

Ek 1'in devamı



Ek Şekil 11. %2 Fiber Katkılı Kum Numunede (2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

Ek 1'in devamı



Ek Şekil 12. %2 Fiber Katkılı Kum Numunede (2D) 10 cm ve 30 cm'deki İvmeölçerlerden Alınan İvme Kayıtları (Dr:%20).

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Trabzon’lu bir ailenin dördüncü çocuğu olarak Trabzon’da doğdu. İlköğretimini Akçaabat Merkez İlköğretim okulunda ve ortaöğretimini de Akçaabat Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi’nde tamamladı. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden İnşaat Mühendisi unvanı ile mezun oldu. Yine aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programına başladı. 2012-2017 yılları arasında özel sektörde çalıştı. 2018 yılı itibariyle Haliç Üniversitesi Meslek Yüksekokulu’nda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.