

FİBER İLE İYİLEŞTİRİLMİŞ KUM ZEMİNE GÖMÜLÜ BORULARIN DİNAMİK DAVRANIŞININ SARISMA TABLASI DENEYLERİ İLE İNCELENMESİ

Meryem YILMAZ *^{ID}
Sabriye Banu İKİZLER **^{ID}
Berrak TEYMÜR ***^{ID}

Alınma: 09.10.2019; düzeltme: 10.12.2019; kabul: 06.01.2020

Öz: Altyapı sistemlerinden olan gömülü borular ülkemizde ve tüm dünyada yaşam standartlarını kolaylaştırmak adına su, petrol, doğalgaz, kanalizasyon gibi alanlarda kullanılmaktadır. Zeminde oluşabilecek deprem vb. olaylar zemin yapı etkileşiminden kaynaklı altyapıda bulunan gömülü boru sistemlerine de zarar vermektedir. Oluşabilecek zararları minimuma indirmek ve önlemek adına son zamanlarda zemin iyileştirmesi alanında fiber katkı malzemesi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan deney düzeneği temiz silis kumu, PPRC (polypropylene random copolymer) boru, fiber, sarsma tablası ve cam haznedan oluşmaktadır. Çalışmada temiz silis kumu 10 cm'lik 3 tabaka halinde, tabanda %80 rölatif sıklıkta yerleştirilerek deney setleri hazırlanmıştır. Çalışmada 32 mm çapında PPRC boru kullanılmıştır. Kullanılan boru gömü derinliği boru çapına (D) bağlı olarak yüzeyden 1,2D ve 2D olmak üzere iki farklı derinlikte fiber katkılı ve katkısız numuneler hazırlanmış ve bu numuneler üzerinde bir seri sarsma tablası deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan tek eksenli sarsma tablası deneyleri ile gömülü boruda meydana gelen ivme değişimleri incelenmiştir. Deneylerden elde edilen kayma gerilmesi- kayma şekil değiştirme grafiğinin eğiminden kayma modülü hesaplanmıştır. Sonuç olarak, grafikler ve hesaplamalara bakıldığında fiber katkısının temiz kum zeminlerin dinamik davranışını olumlu yönde etkilediği ve gömülü boru deplasmanlarında olumlu etkisinin olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gömülü Borular, Fiber, Kum, Kayma Modülü.

Investigation of Dynamic Behavior of Buried Pipe in Sandy Soil with Shaking Table Tests

Abstract: Buried pipes from infrastructure systems are used in areas such as water, oil, natural gas and sewerage in order to facilitate living standards in our country and all over the World. Earthquakes that may occur on the ground, etc. and the other incidents also damage buried pipe systems located in the ground structure interaction-induced infrastructure. Recently, fiber additive material has been widely used in the field of ground improvement in order to minimize and prevent damages that may occur. The test apparatus prepared within the scope of the study consists of clean silica sand, PPRC pipe, fiber, shaking table and glass box. Experimental sets were prepared by placing clean silica sand in 3 layers of 10 cm, 80% relative density at the base and 20% relative density at 1% to 2% fiber doping. In this study, 32 mm diameter PPRC (polypropylene random copolymer) pipe was used. Depending on the pipe burial depth (D), two different depths of fiber-doped and undoped samples, 1,2D and 2D, were prepared from the

* Haliç Üniversitesi Sütluce Mah., İmrahor Cad. No:82, 34445 Beyoğlu/İstanbul

** Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 61080, Trabzon

*** İstanbul Teknik Üniversitesi Maslak, 34467 Sarıyer/İstanbul

İletişim Yazarı: Sabriye Banu İKİZLER (banuh73@gmail.com)

surface and a series of shaking table experiments were performed on these samples. The changes in the buried pipe were investigated by uniaxial shaking table experiments. The shear modulus was calculated from the slope of the shear stress-shear strain graph obtained from the experiments. As a result, it is observed that fiber additive has a positive effect on the dynamic behavior of clean sand soils and has a positive effect on buried pipe displacements.

Keywords: Buried pipe, Fibre, Sand, Shear Modulus.

1. GİRİŞ

Dünyanın var oluşundan bu yana doğal afetler gerek canlı gerekse cansız varlıklar üzerinde önemli derece hasarlara neden olmaktadır. Meydana gelen doğal afetlerden en zarar verici olanı depremlerdir. Depremler nedeniyle zeminler dinamik yüklere maruz kalmakta ve zemin yapı etkileşimi münasebetiyle depremler hem yapı hem de zeminde çözülmesi gerekli problemleri oluşturmaktadır. Bu nedenle alt ve üst yapıda meydana gelen hasarları en aza indirebilmek için geçmişten günümüze birçok çalışma yapılmıştır. Altyapı alanında gömülü borular üzerinde yapılan çalışmalarda depremin yıkıcı etkilerini azaltmak ve hatta önlemek amacıyla birçok araştırmacı tarafından çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan araştırmalarda zemin boru etkileşimi, sismik etkilere maruz kalan gömülü boru hatları üzerinde incelenmiş ve deprem sırasında boruda oluşan deformasyonla, zeminde oluşan deformasyonun aynı olduğu gösterilmiştir (Sakurai ve Takahashi, 1969; Hindy ve Novak, 1979).

Çağımızın getirdiği teknolojiyle birlikte zemin stabilizasyonu adına birçok çalışma yapılarak yeni yöntemler geliştirilmiştir. Sismik etkilerden kaynaklı zeminde meydana gelecek olan olumsuzlukların önüne geçebilmek ve bu olumsuzlukların gömülü borularda oluşturabilecekleri hasarları önlemek için zemini iyileştirmek amaçlı günümüzde doğal ve sentetik olmak üzere birçok katkı maddesi kullanılmaktadır (Ling vd., 2003; Söylemez, 2017;). Öztürk (2018), Nataraj ve McManis (1997), Gray ve Ohashi (1983), yaptıkları çalışmada doğal zemine farklı oranlarda rastgele yerleştirilen fiberler ile güçlendirilen zeminin dayanım ve deformasyon özelliklerini incelemiş ve çalışmalarda fiber katkısının zemin üzerinde olumlu etkisinin olduğunu, dayanımı artırdığını ve buna karşılık deformasyonu azalttığını göstermişlerdir. Edinçliler ve Ayhan (2010) çalışmalarında kum zemine rastgele karıştırılan fiber oranı ve miktarının artışı ile kayma mukavemetinin arttığını belirtmiştir. Ayrıca Maher ve Woods (1990) dinamik yükler altında fiber en/ boy oranının ve takviyesinin kum zeminlerde, kayma modülü ve sönümlenme oranı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Gömülü borular üzerinde Datta vd. (1984)'nin yaptığı çalışmada da dalga frekansları ile boruda oluşan gerilme ve yer değiştirmelerin artıp azalabileceği saptanmıştır.

Gömülü borular üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında gömülü borularda meydana gelen deformasyonların ana faktörünün zemin olduğu görülmüştür. Literatürde kullanılan malzemeler açısından fiberin gömülü borular üzerindeki etkisi kayma modülü üzerinden yeterli oranda incelenmemiştir. Bu amaçla yaptığımız çalışmada zemine gelecek dinamik yükler etkisiyle zeminde oluşabilecek deformasyonları önlemek adına zemin iyileştirmesi alanında fiber kullanımının gömülü borular üzerindeki etkisi literatüre katkı sağlamak için araştırılmıştır.

Bu amaçla çalışmada, literatürde daha önce yapılan çalışmalardan ilham alarak temiz silis kumuna ağırlıkça %1 ve %2 (Tran vd.; 2018) oranlarında fiberin rastgele karıştırılmasıyla iyileştirilen zemine 1,2D-2D derinliklerde yerleştirilen gömülü borunun depreme karşı dinamik davranışı ivme-zaman ve kayma modülü grafikleri üzerinden incelenmiştir. Çalışmadaki 1,2D ve 2D boru gömü derinlikleri, boru gömü derinliği (H) ve boru çapı (D) arasındaki H/D oranına bağlı olarak seçilmiştir (Mogaddas Tafreshi ve Khalaj, 2007). Yapılan çalışma kapsamında 5 adet sarsma tablası deneyi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, fiber katkısının zemine gelen sismik yüklerden kaynaklı oluşan dinamik etkileri azalttığı ve dolayısıyla gömülü borular üzerinde de olumlu etkisinin olduğu görülmüştür (Yılmaz, 2019).

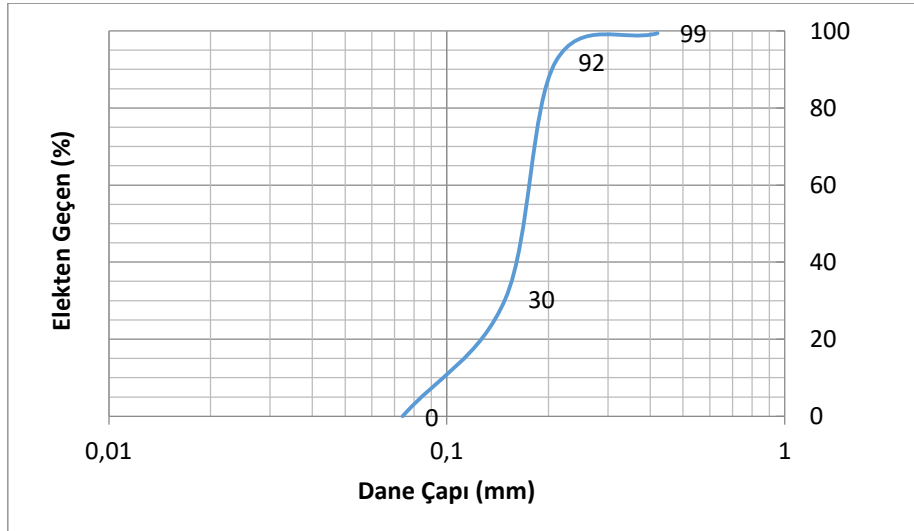
2. DENEY SİSTEMİ VE YÖNTEMİ

Çalışmada, farklı oranda zemine katkı malzemesi olarak takviye edilen fiberle zeminin dayanımını artırarak, gömülü boru sistemlerinin sismik etkilere karşı dayanımının güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda %20 rölatif sıklıktaki saf kum zemine, ağırlıkça %1 ve %2 oranında fiber katkısı ilave ederek oluşturulan numuneye 1.2D ve 2D olmak üzere farklı boru gömü derinlikleri üzerinde tek eksenli sarsma tablası deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerden fiber katkılı ve katkısız zeminlerin kayma modülüyle ilişkisi incelenmiştir. Ayrıca ivme zaman grafikleri üzerinden de deformasyon ilişkisi incelenmiştir.

2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Kum

Çalışmalarda, ince, temiz silis kumu kullanılmıştır. Deneysel çalışmaların öncesinde silis kumu 102 C⁰ sıcaklığında etüvde kurutulmuş ve ASTM D422-63 (2007) standardına göre elenerek elek analizi yapılmıştır. USCS zemin sınıflandırma yöntemi kullanılarak, silis kumu kötü derecelenmiş kum (SP) olarak sınıflandırılmış ve silis kumuna ait dane çapı dağılım grafiği Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1:

Kuma Ait Dane Çapı Dağılım Eğrisi

Kum üzerinde yapılan fiziksel özellik deneylerinden elde edilen malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kumun Özellikleri

D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	C _u	C _c	e _{maks}	e _{min}	G _s	γ _{k,maks} (t/m ³)	γ _{k,min} (t/m ³)
0,17	0,11	0,15	1,55	1,20	0,95	0,74	2,69	1,55	1,38

Yapılan deneylerde farklı rölatif sıklıkta kum numuneleri kullanıldığından dolayı kumun dane özgül ağırlığı, e_{min} ve e_{maks} değerleri hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında %80 rölatif sıklıkta saf kum ve %20 rölatif sıklıkta %1- %2 fiber katkılı kum olmak üzere numuneler hazırlanarak deneyler yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda istenilen rölatif sıklık oranı (D_r) (1) ve boşluk oranı (e) (2) ile elde edilmiştir (Uzuner; 2016).

$$(\%)D_r = \frac{e_{maks}-e}{e_{maks}-e_{min}} \quad (1)$$

$$e = \frac{Y_s}{Y_k} - 1 \quad (2)$$

Oluşturulan model haznenin hacmi her 10 cm'lik tabaka için (10x18x38) 6840 cm³ ve kum numunenin özgül ağırlığı 2,69 olduğundan deneyde kullanılan numuneler için gerekli kum zemin ağırlıkları (3) hesaplanmıştır.

$$\rho_k = \frac{G_s}{1+e} \times \rho_w = \frac{M_s}{V} \quad (3)$$

Zeminlerin sıklık derecelerine göre sınıflandırılması Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. 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

2.1.2. Fiber

Katkı malzemesi olarak ASTM C1116 / C1116M (2015) standardına uygun olarak BASF firması tarafından üretilmiş olan MasterFiber 15 MF kullanılmıştır. Bu ürün polipropilen malzemedan imal edilmiş lifli yapıya sahip olması nedeniyle birçok araştırmada zemini güçlendirerek, basınç dayanımını artırmak amaçlı kullanılmaktadır. Kullanılan MasterFiber 0,91 t/m³ özgül yoğunluk ve 50-70 kN/cm² gerilme dayanımına sahip ve uzunluğu 19 mm'dir (Şekil 2). Çalışmada farklı oranlarda fiber katkısına sahip olup kum numuneler içine gömülü boruların dinamik davranışlarını iyileştirmek amaçlanmıştır. Deneylerde kullanılan fiber katkısının miktarı hesaplanan (3) kuru kum miktarının ağırlıkça %1 ve %2'si (4) olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan miktar kadar 0,01 g. hassaslığa sahip terazide tartılarak karıştırılıp deneye hazır hale getirilmiştir.

$$\% \text{ Fiber oranı} = \frac{M_s}{100} x (\text{fiber yüzdesi}) \quad (4)$$



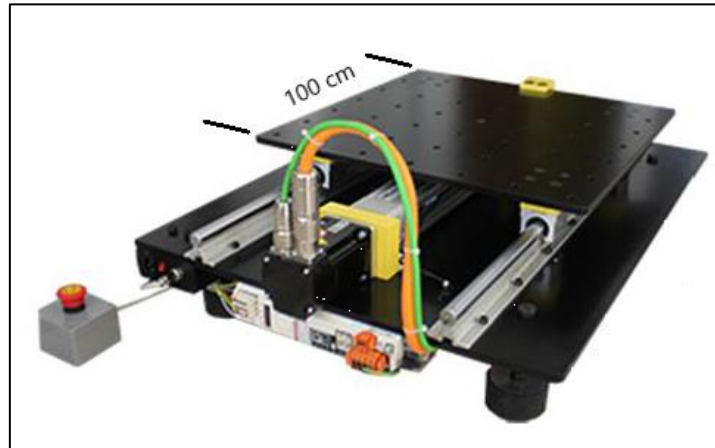
Şekil 2:
Polipropilen fiber

2.1.3. Boru

Gömülü boru olarak tercih edilen “Polipropilen (PPRC) Borular”, yüksek moleküler ağırlıklı ve yüksek esnekliğe sahip Polipropilen Random Kopolimer hammaddesinden imal edilmektedir. Sıcaklık ve basınca karşı dayanıklı ve çevre dostu olmaları nedeniyle günümüzde altyapı alanında da tercih edilmektedirler. Çalışmada; dış çapı 32 mm, et kalınlığı 3 mm ve boyu 18 cm olan PPRC borular kullanılmıştır.

2.1.4. Sarsma Tablası ve Model Cam Hazne

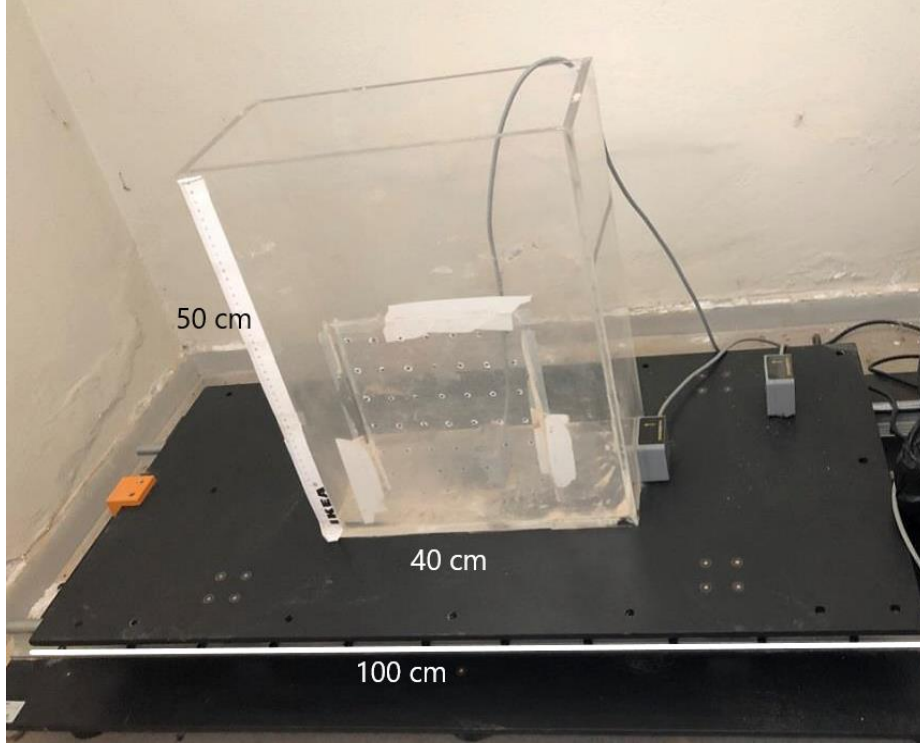
Sistemde kullanılan Sarsma Tablası 100cm x 50cm x 2cm boyutlarında olup 0-5Hz ve 0-1g arası deprem etki ettirebilir ve 100-150kg bir ağırlığı taşıyabilmektedir (Şekil 3). Sarsma tablası sayesinde model cam hazne içerisinde oluşturulan zemin deprem yüklerine maruz bırakılmıştır. Depreme maruz kalan yüzeyin ivmesi, ivmeölçerler (accelerometre) ile ölçülerek (‘g’ olarak) dinamik veri toplama sistemi tarafından kaydedilmiştir. Oluşan 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 ulaşılabilmektedir. Deplasmana dönüştürülmüş ivme değerleri bilgisayar arayüz programı ile sarsma tablası hareket kontrolörüne yüklenmektedir. Böylece sarsma tablası ile, servo-elektrik aktüatörün dahili enkoderi tarafından 2 µm/devir çözünürlükle yer değiştirme kontrolü yapılarak hassas bir şekilde deprem simülasyonu yapılabilmektedir.



Şekil 3:
Sarsma Tablası

2.1.5. Model Hazne

Model kutusu (Şekil 4) et kalınlığı (10 mm) dahil uzunluğu 400 mm, genişliği 200 mm ve derinliği 500 mm olan pleksiglas cam levhalardan oluşturulmuştur. Model kutusunun iç ölçüleri, cam levhaların et kalınlıkları nedeni ile 38 x18 x 50 cm'dir. Model haznenin cam olması nedeniyle deneyler esnasında zeminde oluşabilecek deformasyonların izlenmesine imkân sağlanmıştır. Sızdırmazlığın sağlanması için de cam levhalar birleştirilirken silikon kullanılmıştır.



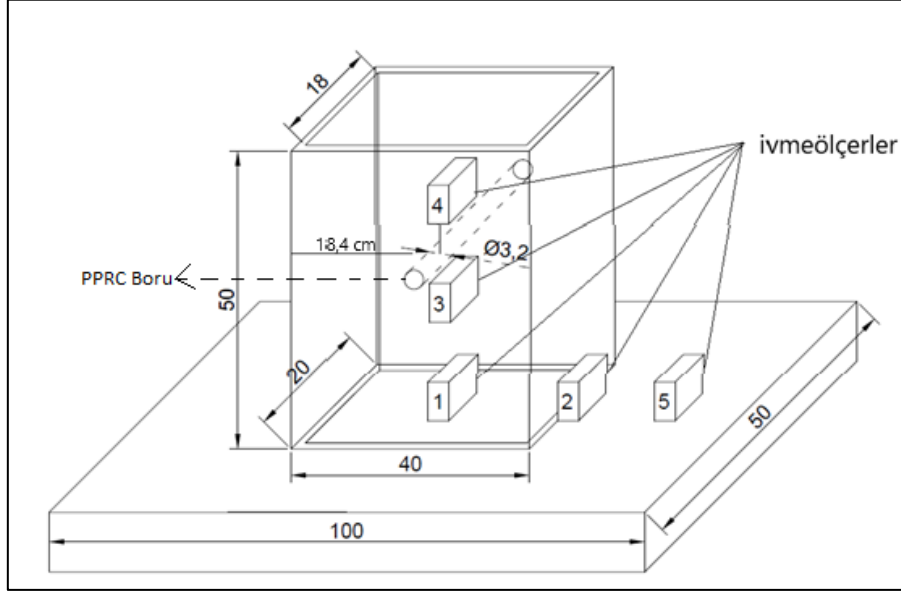
Şekil 4:
Model cam hazne

2.2. Deney Düzenine Hazırlanması ve Sarsma Tablası Deneyleri

Çalışma kapsamında fiber katkıların, temiz kum zeminlere gömülü boruların dinamik davranışlarına etkisini incelemek amacıyla ağırlıkça %1 ve %2 fiber katkısı, %20 rölatif sıklıkta silis kumu ile rastgele karıştırılarak 1-g sarsma tablası deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deney düzenine model haznesi, 1-g sarsma tablası, dinamik veri toplama cihazı ve ivmeölçerlerden oluşmaktadır. Sistemde 5 adet ivmeölçer bulunmaktadır. Bunlardan üçü hazne içine, ikisi hazne dışına yerleştirilmiştir. Sarsma tablasının taşıma kapasitesi dikkate alınarak, model haznesi üzerine yerleştirilecek zeminin her biri 10 cm olan 3 tabaka halinde serilmesi uygun görülmüştür. Gömülü borunun düşey doğrultudaki yer değiştirmesini saptamak adına zemine farklı sismik hareketler uygulayarak, hazne içine aynı doğrultuda yerleştirilen 3 ivmeölçerden alınan veriler kaydedilmiştir. Bu amaçla, ilk olarak hazne tabanına yerleştirilen ivmeölçer üzerine %80 rölatif sıklığa sahip 10 cm'lik zemin serilmesiyle oluşan yüzeye ikinci ivmeölçer yerleştirilmiştir. Bu ivmeölçer üzerine de %20 rölatif sıklıkta fiber katkılı (%1-%2) ve katkısız olmak üzere 20 cm'lik zemin serilerek oluşturulan son tabaka yüzeyine üçüncü ivmeölçer yerleştirilmiştir. Oluşturulan 20 cm'lik tabakanın ikinci 10 cm'lik kısmı içerisine yüzeyden 1,2D veya 2D olmak üzere PPRC boru yerleştirilerek deneyler

gerçekleştirilmiştir. %80 rölatif sıklığa sahip taban kısmı (ilk 10 cm) serilerek tokmakla sıkıştırılmıştır. %20 rölatif sıklığa sahip (20 cm) 2. ve 3. tabaka ise yağmurlama tekniği ile şişeler yardımıyla serilmiştir. %20 sıklık gevşek zemini temsil ettiği için sıkıştırmaya gerek duyulmamıştır. Malzeme serildikten sonra, istenilen harekete bağlı ivme değerinde, zemin tabakalarında oluşan titreşimler cihaz tarafından ölçülerek kaydedilmiştir. Sarsma tablası üzerinde hazne içine yerleştirilen ivmeölçerlerin ve borunun konumlandırılması Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5:
Sarsma tablası üzerinde deney düzeneği.

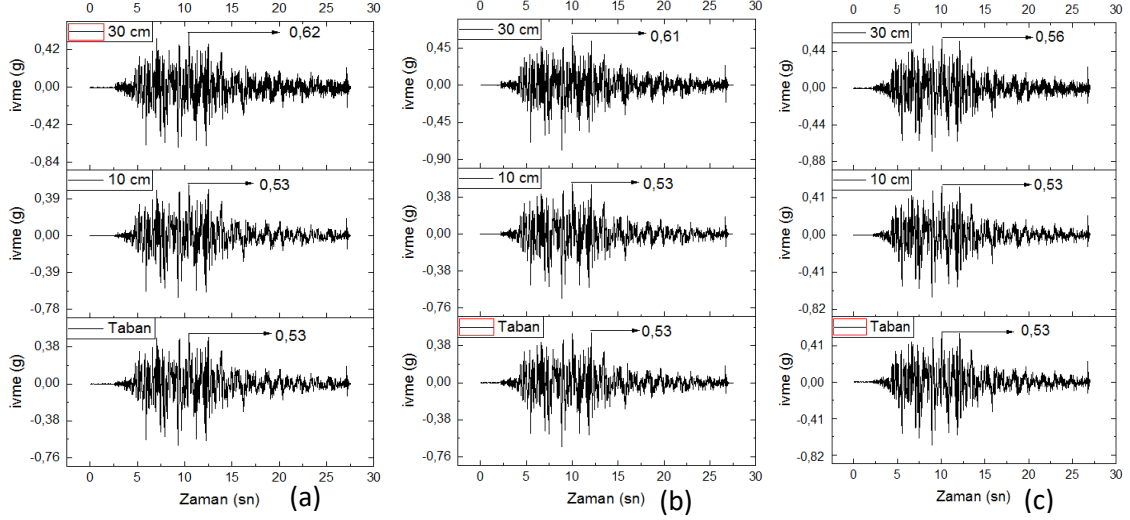
Sarsma tablası deneyleri Kobe depremi (0,53g) simülasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Sismik etki olarak çalışmada Kobe depreminin kullanılma nedeni 1g sarsma tablası için 0,53g değerinde deprem ivmesinin verilmesinin altyapı çalışmaları için optimum değeri teşkil etmesidir. 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine göre etkin yer ivmesi 1. Sınıf Deprem Bölgesi olan yerlerde 0.4 g değeri yer ivmesi olarak kabul edildiğinden bu değerinde üzerinde bir yer ivmesi olan 0,53g tercih edilmiştir. Kobe depremine ait ivme değerinde yapılan sarsma tablası deney setleri Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3: Kobe Depremi İvme Değerinde Yapılan Sarsma Tablası Deneyleri

Deney Numarası	1. Tabaka (10 cm)	2. Tabaka (20 cm)	3. Tabaka (30 cm)	Boru Gömme Derinliği
1	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum	1,2D
2	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum + %1 Fiber	%20 Sıkı Kum + %1 Fiber	1,2D
3	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum + %1 Fiber	%20 Sıkı Kum + %1 Fiber	2D
4	%80 Sıkı Kum	%20 Sıkı Kum + %2 Fiber	%20 Sıkı Kum + %2 Fiber	1,2D

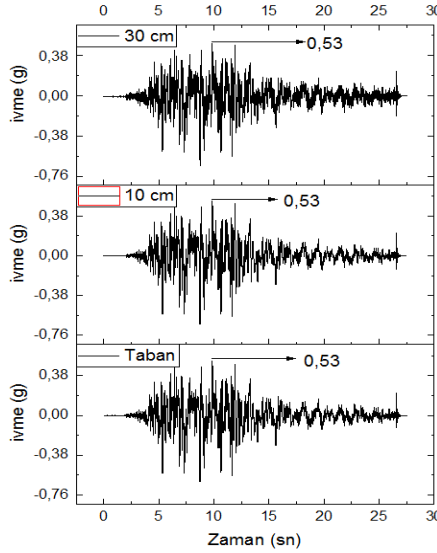
3. BULGULAR

Çalışma kapsamında, (%1-%2) fiber katkı ve katkısız yapılan deneylerden elde edilen ivme- zaman grafikleri Şekil 6 (a,b,c) ve Şekil 7’de gösterilmiştir. Oluşturulan ivme zaman grafiklerinden deformasyon ilişkisi incelenmiştir.



Şekil 6:

Fiber katkısız (a), %1 Fiber katkı (b) ve %2 Fiber katkı (c) numuneye ait ivme- zaman grafiği (1,2D – Dr: %20)



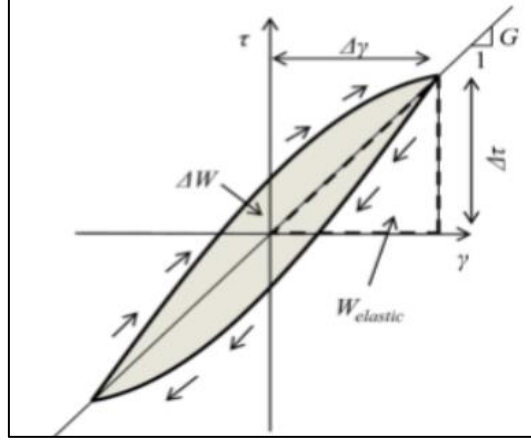
Şekil 7:

%1 Fiber katkı numuneye ait ivme- zaman grafiği (2D – Dr: %20)

Yapılan deneylerden elde edilen veriler yardımıyla kayma gerilmesi- kayma şekil değiştirmesi grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 9, 10, 11, 12). Oluşturulan kayma gerilmesi- kayma şekil değiştirmesi grafiklerinin eğiminden kayma modülleri (G) hesaplanarak, kayma modülü ile fiber katkı oranı (0-%1-%2) ve boru gömme derinlikleri (1,2D-2D) arasındaki ilişki sayısal verilere dayanarak yorumlanmıştır. Şekil 9’da fiber katkısız numune üzerinde elde edilen deney sonuçları gösterilirken, Şekil 10 ve Şekil 11’de %1 fiber katkı, Şekil 12’de ise %2 fiber

katkılı numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen grafikler ve laboratuvar ölçğine göre grafiklerden elde edilen sonuçlar ise Tablo 4’de gösterilmektedir.

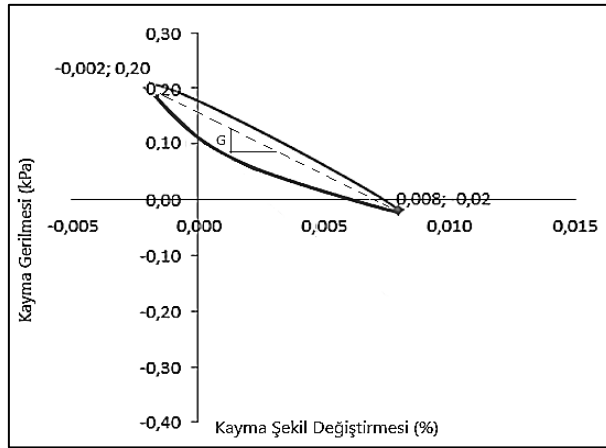
Düzensiz bir döngüden temsili Kayma modülü (G) hesabı, maksimum ve minimum kayma gerilmesi farkının, maksimum ve minimum kayma şekil değıştirmesi farkına oranıyla elde edilir (5). Örnek teşkil etmesi adına kayma gerilmesi- kayma şekil değıştirmesi ilmeği Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8:

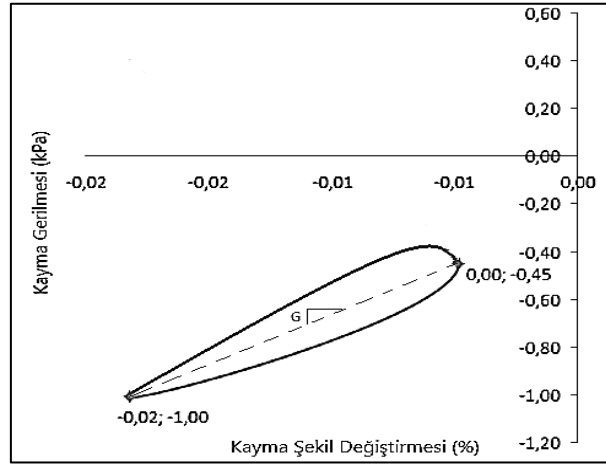
Kayma gerilmesi - Kayma şekil değıştirmesi ilmeğinin şematik gösterimi (Wang ve Brennan;2019)

$$G = \frac{\Delta\tau}{\Delta\gamma} \quad (5)$$



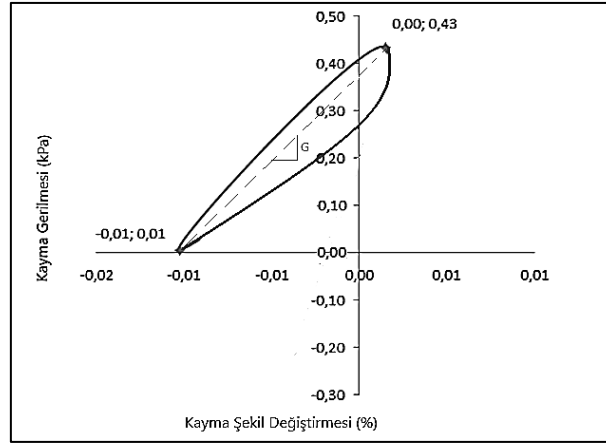
Şekil 9:

Fiber katkısız numuneye ait kayma gerilmesi - kayma şekil değıştirmesi ilmeği (1,2D – Dr: %20)



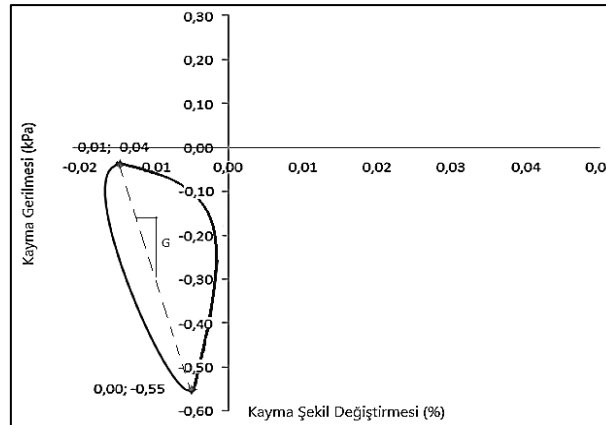
Şekil 10:

%1 Fiber katkılı numuneye ait kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirilmesi ilmeği (1,2D – Dr: %20)



Şekil 11:

%1 Fiber katkılı numuneye ait kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirilmesi ilmeği (2D – Dr: %20)



Şekil 12:

%2 Fiber katkılı numuneye ait kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirilmesi ilmeği (1,2D – Dr: %20)

Tablo 4: Fiber katkısız ve %1-%2 fiber katkılı kum numunelere ait kayma modülü değerleri

Kayma Modülleri			
Şekil 9 (Fibersiz/1,2D)	Şekil 10 (%1 Fiber/1,2D)	Şekil 11 (%1 Fiber/ 2D)	Şekil 12 (%2 Fiber/ 1,2D)
22,29 kPa	41,485 kPa	36,429 kPa	52,88 kPa

Kobe depremine ait verilen ivme değerinde (0,53g) 5 numune üzerinde inceleme yapılmıştır. Yapılan incelemede %20 rölatif sıklıkta, fiber katkısız 1,2D boru gömü derinliği ile %1 ve %2 fiber katkılı 1,2D ve 2D boru gömü derinliğinde yapılan deneylerden alınan veriler kullanılarak gerilme ilmekleri oluşturulmuş ve bu oluşturulan kayma gerilmesi - şekil değiştirme ilmeğinin eğiminden kayma modülü hesaplanmıştır. Tablo 4'te 1,2 D boru gömü derinliğinde fiber oranlarının artışı ile kayma modüllerinde artış görülmektedir. Bununla birlikte %1 fiber katkılı zeminde 1,2D ve 2D boru gömü derinlikleri ile kayma modülü arasında boru gömü derinliği arttıkça kayma modülü azalmaktadır.

Kayma modülü (G) dayanımla doğru, deformasyonla ters orantılı olduğundan fiber katkılı numunelerin katkısız numunelere göre kayma modülündeki artışın, dayanımın arttığını, deformasyonu ise azalttığını göstermiştir. Ayrıca kıyaslanan boru gömü derinliğine göre derinlik arttıkça deformasyon da artmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, zemine belirli oranlarda fiber katkısının rastgele katılması ile hazırlanan numunelerde gömülü boru hatlarının, sismik etkiler altındaki dinamik davranışını incelemek amacıyla bir seri model deneyler yapılmıştır. Fiber katkılı ve katkısız temiz kum numunelere verilen sismik yükleme sonucunda farklı gömülme derinliklerindeki boruda meydana gelen gerilmeler ivmeölçerlerden alınan ivme kayıtları ile incelenerek grafiğe dönüştürülmüştür.

Elde edilen veriler ile kayma gerilmesi- kayma şekil değiştirme grafiğinden hesaplanan kayma modülü; fiber katkısız zeminlerde, %1 ve %2 fiber katkılı zeminlere oranla yaklaşık %50 düşük çıkmıştır. Oluşturulan grafiklere ve tablolara bakıldığında kayma modülündeki değişimin, zemine takviye edilen fiber oranındaki artışla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Kayma modülündeki artış deformasyonla ters, dayanımlı doğru orantılı olduğundan fiber katkısının dayanım üzerinde olumlu etkisinin olduğu görülmüştür. Ayrıca ivme zaman grafiklerinde de fiber katkılı numunelerin, katkısız numunelere göre daha az deformasyon yaptığı gösterilmektedir.

Fiber takviyesinin zemin iyileştirmesi ve gömülü borular üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmada, fiber katkısının zemini iyileştirme konusunda fayda sağladığı ve bu sayede deformasyonların azaltılarak gömülü boru hatlarının daha sağlıklı olacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. ASTM C1116 / C1116M, (2015) Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete.
2. ASTM D422 – 63, (2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
3. Datta, S.K., Shah, A.H. and Wong, K.C. (1984) Dynamic stresses and displacements in buried pipe, Journal of Engineering Mechanics, 110, 1451-1466. doi:[10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(1984\)110:10\(1451\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(1984)110:10(1451))

4. Edinçliler, A. ve Ayhan, V. (2010) Influence of Tire Fiber Inclusions on Shear Strength of Sand, *Geosynthetics International*, Geosynthetics International, 17, No. 4, 183–192. doi: [10.1680/gein.2010.17.4.183](https://doi.org/10.1680/gein.2010.17.4.183)
5. Gray, D.H. and Ohashi, H. (1983) Mechanics of fiber reinforcement in sands, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE 109(3), 335–353. doi: [10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1983\)109:3\(335\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:3(335))
6. Hindy, A. and Novak, M. (1979) Earthquake response of underground pipelines, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 7, 451-476. doi: [10.1002/eqe.4290070506](https://doi.org/10.1002/eqe.4290070506)
7. Ling, H.I., Mohri, Y., Kawabata, T., Liu, H., Burke, C., and Sun, L. (2003) Centrifugal modeling of seismic behavior of large-diameter pipe in liquefiable soil, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129, 12. doi: [10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2003\)129:12\(1092\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2003)129:12(1092))
8. Maher, M.D. ve Woods, R.D. (1990) Dynamic response of sand reinforced with randomly distributed fibers, *ASCE Journal of Geotechnical Engineering*, 116:1116-1131. doi: [10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1990\)116:7\(1116\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1990)116:7(1116))
9. Moghaddas Tafreshi, S.N. and Khalaj, O. (2007) Laboratory tests of small-diameter hdpe pipes buried in reinforced sand under repeated-load, *Geotextiles and Geomembranes*, 26 (2008) 145–163. doi: [10.1016/j.geotextmem.2007.06.002](https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2007.06.002)
10. Nataraj, M.S. and McManis, K.L. (1997) Strength and deformation properties of soil reinforced with fibrillated fibers, *Geosynthetics International*, 4, 1, 65–79. doi: [10.1680/gein.4.0089](https://doi.org/10.1680/gein.4.0089)
11. Öztürk, O. (2018) Fiber Katkılarının Temiz Kum Zeminlerin Dinamik Davranışlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
12. Sakurai, A. and Takahashi, T. (1969) Dynamic stresses of underground pipelines during earthquakes, In: *Proceedings of The Fourth World Conference on Earthquake Engineering*, Santiago De Chile, 81–95.
13. 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. doi: [10.1016/j.trgeo.2018.07.003](https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.07.003)
14. Uzuner, B.A. (2016) *Temel Mühendisliğine Giriş*, Derya Kitapevi, Trabzon.
15. Wang, K. and Brennan, A. (2019) Behaviour of saturated fibre-reinforced sand in centrifuge model tests, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 125 (2019) 105749. doi: [10.1016/j.soildyn.2019.105749](https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105749)
16. Yılmaz, M. (2019) Fiber ile İyileştirilmiş Zemine Gömülü Boruların Sismik Etkiler Altındaki Dinamik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.