

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Geliş/Received</u> 06.10.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 20.02.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.342119	

Gömülü çelik boru sistemlerinin zaman tanım alanında yapısal analizi

Serkan Çoban¹, Seyit Çeribaşı*²

ÖZ

İnsanların temiz suya erişimini sağlayan içme suyu boru hattı sistemleri toplumun yaşam kalitesini arttıran çok kritik tesislerdir. Kentlerde nüfus artışı ve sanayileşmenin gelişimine paralel olarak temiz suya erişim çok daha önemli bir hale gelmiştir ve içme suyu boru hatlarındaki herhangi bir aksaklık toplumsal ve ekonomik hayatı olumsuz etkilemektedir. Bakım onarım çalışmaları, hat deplase çalışmaları ve diğer altyapı tesislerinin imalatı sırasında meydana gelen operasyonel hasarlar içme suyu tesislerinin işlevinin sürdürmemesine neden olur. Bu sistemlerde önemli hasarlar oluşturan bir başka etken ise doğal afetlerdir ve bunların en yıkıcısı depremlerdir. Depreme dayanıklı boru hattı imalatı veya deprem öncesinde boru hatlarının bakım, onarım ve güçlendirilmesinin yapılması için yapısal analizlerin yürütülmesi son derece önemlidir. Bu 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 yapılmıştır. Yapılan analizlerde derinlik ve boru çapı parametreleri değiştirilerek çelik boruda meydana gelen gerilme ve deplasman miktarları araştırılmıştır. Ayrıca, uzun süren bu tür parametrik analizlerin pratik olarak yürütülebilmesi için pratik bir yöntem geliştirilip uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gömülü boru, çelik, sismik kuvvetler, yapısal analiz

¹ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Deprem Mühendisliği, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, serkan.coban@yandex.com

² Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Deprem Mühendisliği, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, seyitceribasi@gmail.com

* Corresponding Author: seyitceribasi@gmail.com

Structural time-history analysis of buried steel pipeline systems

ABSTRACT

Potable water pipeline systems, by which the population provides clean water, are critical facilities that increase the living quality of the society. Parallel to the increasing number of inhabitants and to the development of industry any breakdown of those systems will affect economy and human life negatively. Operational damages resulting from maintenance works, pipe relocation works, and construction of other infrastructures cause failure in services of potable water facilities. Another factor that causes damage in these systems is natural disasters, and the most harmful of them is earthquakes. Utilization of structural analyses is very important for production of earthquake resistant pipelines, or for maintenance, reparation, and retrofitting of pipelines before earthquake. In the scope of this study buried, internally pressurized, steel pipelines, which are frequently encountered in potable water systems, are three dimensionally modelled and their time-history analyses are done by using finite elements software ANSYS Workbench V17.1. The stress and displacement quantities of steel pipes are investigated by changing the parameters depth and pipe diameter in the performed analyses. Additionally, a practical method is developed for performing this type of parametric long-lasting analyses.

Keywords: Buried pipe, steel, seismic forces, structural analysis

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İçme suyu sistemlerinin kesintisiz olarak çalışmasını sağlamak çevresel felaketlerin yaşanmaması ve toplumun yaşam standardı ile ülke ekonomisinin bozulmaması açısından önemlidir. Duke ve Morgan [1] enerji (elektrik, gaz), su (içme suyu, kanalizasyon), ulaşım ve iletişim olarak candamarı (lifeline) sistemlerini sınıflandırmıştır. Gömülü boruların hasara uğrayarak işlevini sürdürmesini engelleyen yıkıcı doğal afetlerin en önemlisi depremlerdir. İçme suyu boru hatlarında meydana gelebilecek bir hasar şehrin sakinlerinin temiz suya erişimini engellediği gibi deprem sırasında ikincil bir felakete dönüşebilecek olan yangına müdahale edememe durumuna da neden olacaktır. 1995 yılında Japonya'da meydana gelen ve 6000 kişinin ölümüne neden olan Kobe depreminde 559 kişi deprem sırasındaki yıkımlardan kurtulmasına rağmen, deprem sonrasında meydana gelen yangınlar nedeniyle hayatını kaybetmiştir [2-4].

Boru hatları tasarlanırken farklı çevre koşulları ve iletilen akışkanın niteliği gözönünde bulundurularak uygun boru boyutları ve malzemesi seçilmelidir. Gömülü borular çeşitli özelliklerine göre farklı şekillerde kategorize

edilmektedir. Yapıldıkları malzemeye göre metalik borular (dökme demir, düktil demir, özel çelik vs.), metalik olmayan borular (Asbestli çimento boru, donatılı ve donatısız beton boru, plastik borular vs.); yükleme sırasında gösterdikleri performans göre rijit ve esnek borular; boru bağlantı şekillerine göre rijit bağlantılı ve esnek bağlantılı borular olarak gruplandırılmaktadır. Deprem esnasında boru hatlarında meydana gelebilecek hasarlar boruyu çevreleyen zeminin dinamik davranışına bağlı olduğu kadar, boru malzeme özellikleri ve boru bağlantı şekli ile de ilgilidir. Kaynaklı borular gibi boru gövdesinin boru bağlantı noktalarına göre daha zayıf ve daha az rijit olduğu borulara sürekli borular denilmektedir. Sürekli borularda çekme gerilmesinden kaynaklanan hasarlar, boru duvarındaki zayıflıktan dolayı lokal burkulmalar ve sığ bir derinliğe sahip boru hatlarında görülen kırılgan burkulması sık rastlanan boru hasar türleridir. Boru bağlantısının boru açıklığından daha zayıf olduğu borulara ise parçalı borular denilmektedir. Parçalı borularda boruların bağlantı noktasından ayrılması ve bağlantı noktalarında kırılmalar sık görülen hasar türleridir [3-8].

Boru hatlarındaki deprem kaynaklı hasarlar borunun etrafındaki zeminin hareketinden dolayı meydana gelmektedir. Bu hasarlar deprem esnasında ya da deprem sonrasında zeminde

meydana gelen yer hareketleri ile ilişkili olarak geçici yer deformasyonu ve kalıcı yer deformasyonu olarak iki kategoride ele alınır. Geçici yer deformasyonu deprem dalgalarının yayılımı ile meydana gelen yer hareketleridir. Kalıcı yer deformasyonu ise deprem anında ya da sonrasında oluşan geri dönüşü olmayan deformasyonlardır [2 – 4, 7 - 9].

Gömülü boruların deprem davranışı üzerine araştırmacılar tarafından çeşitli çalışmalar yapılırken, ülkeler bazında ise gömülü boru hatlarının depreme karşı dayanıklı şekilde tasarlanmaları ve imalatların yapılması üzerine çeşitli standartlar hazırlanmıştır. Türkiye’de 15.02.2007 tarihinde Altyapılar İçin Afet Yönetmeliği [10] adı altında içme suyu ve kanalizasyon şebeke ve arıtmalarının doğal afetlere dayanıklı olarak tasarımlarının ve imalatlarının yapılması için yeni bir yönetmelik çıkartılmıştır. Mevcut yönetmelik kapsamlı olmasına rağmen, yönetmelikte boru hasar türleri, sismik risklerin boruya ne şekilde etki edeceği ve bir sismik analiz yöntemi belirtilmemiştir. Yönetmelikte belirtilmeyen durumlarda, pratik mühendislik açısından, TS EN 1998-4 standart numarası ile yayımlanan Eurocode-8 [9] depreme dayanıklı yapıların tasarımı standardının silolar, tanklar ve boru hatlarını içeren 4. Bölümü dikkate alınmaktadır. TS EN 1998-4 basitleştirilmiş bir analiz metodu sunmaktadır [4].

Gömülü boruların deprem davranışı konusu 3 boyutlu yapı-zemin ilişkisi içerdiğinden ve boruyu çevreleyen zeminin özdeş olmayan doğrusal ya da doğrusal olmayan bir ortam olmasından dolayı karmaşıktır ve hassas bir dinamik analiz gerektirir.

Bu çalışma kapsamında deprem dalgalarına maruz kalan içme suyu sistemlerinde karşılaşılan basınçlı gömülü çelik boru hattı 3 boyutlu zemin-boru modeli şeklinde sonlu elemanlar programı Ansys Workbench V17.1 kullanılarak modellenmiş ve zaman tanım alanında sismik analizler yapılmıştır. Zaman tanım alanında hesaplama yöntemi, zamana bağlı yüklerin etkisi altında, yapıların tepkisini ölçmek için kullanılan bir metottur. Bu yöntem sayesinde yapıda meydana gelen deplasman, gerilme ve kuvvetlerin zaman bağlı değişimleri belirlenebilmektedir. Genel olarak dinamik tepki hesaplamalarında hem lineer hem de nonlineer hesap için direkt integrasyon metodu ile çok yaygın olarak kullanılan bir hesap metodudur. Zaman tanım alanında yapılan analizler için maksimum yer ivmesi 0.3 g olan 31.18 saniye süresince gerçekleşen El centro (1940) deprem

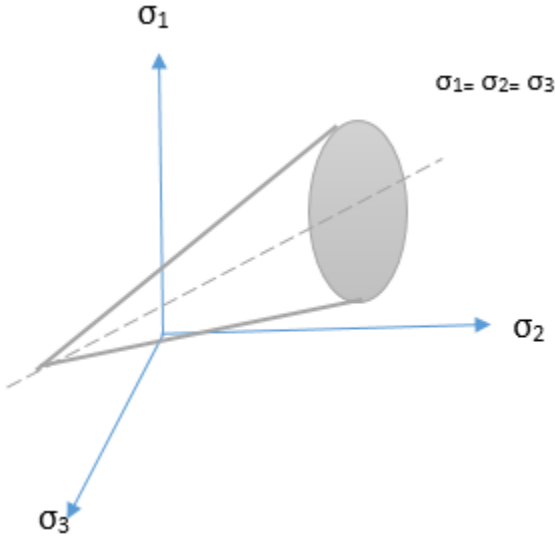
kaydı kullanılmıştır. Derinlik ve boru çapı parametreleri değiştirilerek çelik boruda meydana gelen gerilme ve deplasman miktarları araştırılmıştır. Ayrıca, uzun süren bu tür parametrik analizlerin pratik olarak yürütülebilmesi için pratik bir yöntem geliştirilip uygulanmıştır.

2. ÜÇ BOYUTLU BORU-ZEMİN SONLU ELEMAN MODELİNİN OLUŞTURULMASI (FORMATION OF THE THREE DIMENSIONAL PIPE-SOIL FINITE ELEMENT MODEL)

Mühendisliğin birçok alanında yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar metodu, sürekli sistemlerin probleme uygun şekilde sonlu elemanlara ayrılmasıyla çözüm sunan yaklaşık bir yöntemdir. Sonlu elemanlar programı olan Ansys Workbench v17.1 kullanılarak 3 boyutlu zemin boru modeli oluşturulmuştur. Bu çalışma zemin ve boru olarak iki farklı geometrik modelden ve eleman tipinden oluşmaktadır. Zemin modeli dikdörtgen prizma şeklinde solid eleman olarak modellenirken, boru modeli ise zemine gömülü bir şekilde dairesel bir kesite sahip shell eleman olarak modellenmiştir. Boru hatlarının gerçek davranışını modelleyip analizini yapmak çeşitli zorluklar içerdiğinden analizi kolaylaştırmak için bazı kabuller gerekmektedir. Çelik boru bağlantı noktaları dikkate alınmaksızın düz bir boru olarak modellenmiştir. Boru hattındaki sıcaklık değişimi ve korozyon etkisi gözardı edilmiştir. Boru ve Zemin birbirine sürekli bağlı olarak modellenmiştir [11-12].

3. MALZEME ÖZELLİKLERİ (MATERIAL PROPERTIES)

Üç boyutlu zemin ortamı toprak, kaya, beton gibi granüler yapıya sahip malzemelerde uygulanabilen elasto-plastik doğrusal olmayan Drucker-Prager malzeme modeli ile modellenmiştir. Drucker-Prager malzeme modeli, Von Mises akma kriterinin hidrostatik gerilme etkisini de dikkate alarak değiştirilmiş halidir. Asal gerilmeler uzayında Drucker-Prager yaklaşımının akma yüzeyi koni şeklindedir (Şekil 1).



Şekil 1. Asal gerilmeler uzayında Drucker-Prager akma yüzeyi (Drucker-Prager yield surface in the principle stresses space)

Modelde mekanik davranış parametreleri olarak zeminin elastik özellikleri olan elastite modülü, Poisson oranı ve yoğunluk değerleri tanımlanırken; plastik davranışı modellemek için ise kohezyon, sürtünme açısı ve dilatasyon açısı tanımlanmıştır. Kohezyon, sürtünme açısı ve dilatasyon açısı davranış modeli olarak kullanılan Drucker-Prager modelinin temel parametreleridir. Kohezyon akma dayanımı ile ilişkilidir ve sıfırdan büyük olmalıdır. Sürtünme açısı akma yüzeyinin eğimi ile ilişkili iken dilatasyon açısı ise akma potansiyeli ile ilgilidir [13-14]. Drucker-Prager ile elasto-plastik zemin ortamının fiziksel özelliklerini tanımlamak için ANSYS malzeme kütüphanesi yeterli değildir. Malzeme kütüphanesinde sadece zeminin elastik özellikleri tanımlanabilirken, plastik özelliklerinin atanması için APDL (ansys parametric design language) komutu girilmesi gereklidir.

Zemin için girilen malzeme komutu şu şekildedir:

```
/prep7
```

```
Et,1,solid95
```

```
Mp,ex,1,20000000
```

```
Mp,nuxy,1,0.25
```

```
mp,dens,1,1700
```

```
Tb,dp,1
```

```
Tbdata,1,60000,29,2
```

Boru modellemesi için içme suyu sistemlerinde sıklıkla kullanılan çelik boru tercih edilmiştir. Shell eleman olarak modellediğimiz boru; elastik-mükemmel-plastik, homojen ve izotropik olarak modellenmiş ve analiz edilmiştir. Zemin ve boru

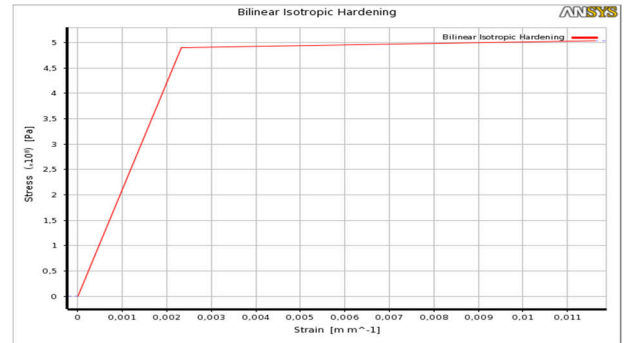
malzeme özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir. Çelik boru malzemesinin gerilme-birim uzama (σ - ϵ) davranışı ise Şekil 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Zemin malzeme özellikleri (Soil material properties)

Mekanik Özellik	Parametre	Değer
Elastik Özellik	Yoğunluk (kg/m^3)	1700
	Young modülü (MPa)	20
	Poisson oranı	0.25
Plastik Özellik	Kohezyon (kPa)	60
	Sürtünme açısı	29

Tablo 2. Çelik boru malzeme özellikleri (Steel pipe material properties)

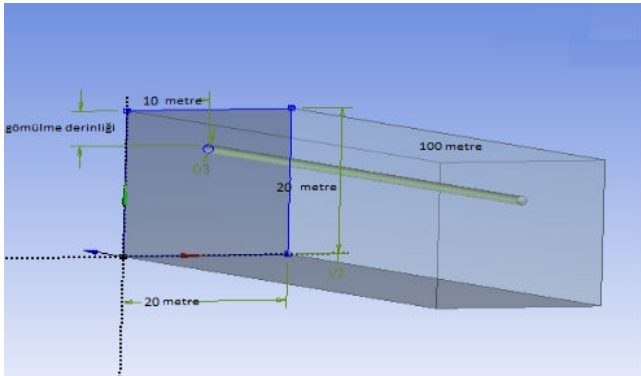
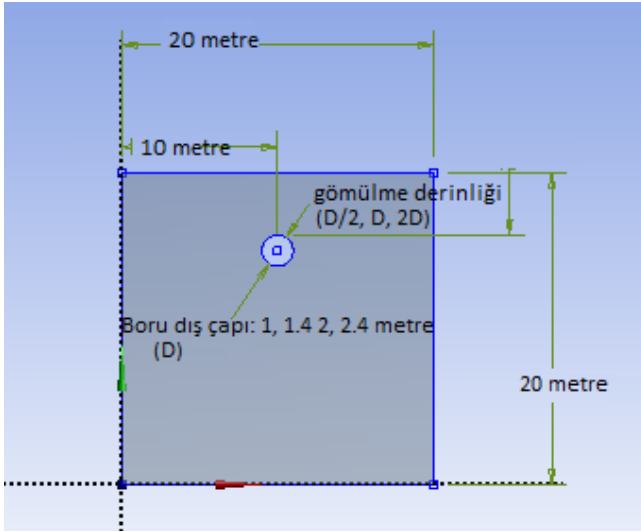
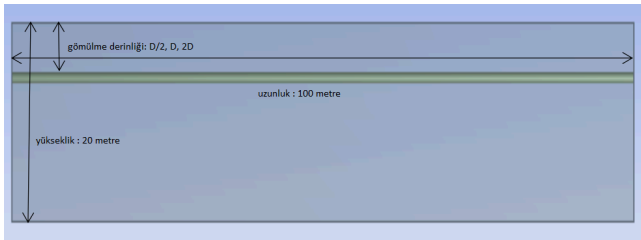
Mekanik Özellik	Parametre	Değer
Elastik Özellik	Yoğunluk (kg/m^3)	7850
	Young modülü (MPa)	210.7 x 103
	Poisson oranı	0.3
Plastik Özellik	Akma dayanımı (MPa)	490
	Kopma dayanımı (MPa)	690-840



Şekil 2. Çelik borunun gerilme-şekil değiştirme grafiği (Stress-strain graphic of the steel pipe)

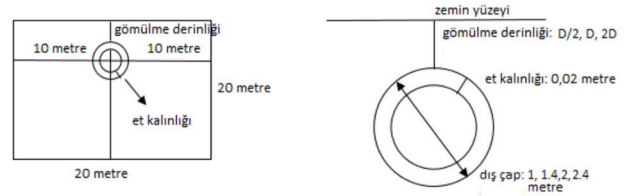
4. MODEL GEOMETRİSİ VE KULLANILAN ELEMAN TİPLERİ (THE MODEL GEOMETRY AND THE TYPES OF THE USED ELEMENTS)

Bu çalışma zemin ve boru olarak iki farklı geometrik modelden ve eleman tipinden oluşmaktadır. Zemin ortamı dikdörtgen prizma şeklinde solid eleman olarak modellenirken, çelik boru ise dairesel bir kesite sahip shell eleman olarak modellenmiştir. Zemin ortamı Şekil 3'te görüldüğü üzere 20 metre yüksekliğinde, 20 metre genişliğinde ve 100 metre uzunluğunda tek katmanlı olarak modellenmiştir. Zemin modellenirken her biri 3 serbestliğe sahip 20 düğüm noktalı 3 boyutlu solid 95 yapısal elemanı kullanılmıştır.



Şekil 3. Sonlu elemanlar modelinin geometrik ölçüleri (Geometrical dimensions of the finite elements model)

Boru elemanları 0.02 metre et kalınlığında; 1.0, 1.4, 2.0 ve 2.4 metre dış çaplarında (D) ve 100 metre uzunluğunda doğru eksenli shell 181 elemanı ile modellenmiştir. Shell 181 4 düğüm noktalı, her bir düğüm noktasında 6 serbestliğe sahip yapısal bir elemandır. Gömülü borular bu uzunluklarda tek parça olarak döşenmez. Kullanılan borunun malzeme özelliklerine ve kullanım amacına göre belirli uzunluklarda olan boru parçaları kaynaklı ya da kaynaklız olarak birleştirilerek boru hatları meydana gelir. Analizi kolaylaştırmak için borunun düz ve tek parça olduğu kabulü yapılmıştır. Borunun zemin içindeki konumu ise yatayda borunun merkez noktası zeminin orta noktasına gelecek şekilde belirlenmiş iken düşeyde zemin yüzeyinden boru tepe noktasına kadarki D/2, D ve 2D gibi farklı derinliklerde analizler yapılmıştır (Şekil 4).

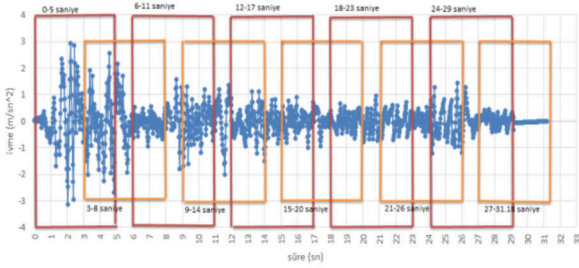


Şekil 4. Boru modelinin geometrik ölçüleri (Geometrical dimensions of the pipe model)

5. ÇÖZÜM ALGORİTMASI (SOLUTION ALGORITHM)

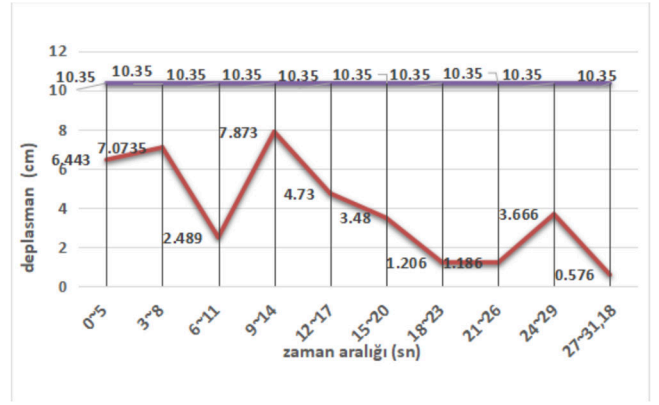
Gömülü borulara üzerindeki zeminin ağırlığı, trafik yükü, işletme basıncı, eğer boru yeraltı su seviyesinin altında ise su yükü gibi birçok farklı kuvvet etki etmektedir. Gömülme derinliği, hendek tipi, geri dolgu malzemesinin cinsi gibi etkenler boruya etkileyen kuvveti değiştirmektedir. Bu çalışmada modellenen zemin homojen kabul edilmiştir, yani her noktasında aynı özelliktedir. Aç kapa metodundaki gibi hendek içerisine geri dolgu ile yapılan boru döşeme yönteminde meydana gelen zeminin özelliklerinin değişimi bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Bir nevi kazısız teknolojik yöntemler ile yapılan boru döşeme işlemine yakın bir zemin ortamı modellenmiştir. Minimum boru iç basıncına sahip bir boru modelinin sonuçları gözlemlenmek istenildiğinden boru iç basıncı isale hatları için minimum sayılacak bir basınca yakın bir şekilde 250 kPa olarak kabul edilmiştir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde 0.3 g maksimum yer ivmesine sahip 31.18 saniyelik El Centro deprem kaydı (Şekil 5) kullanılmıştır. Deprem kaydının tüm süresini kullanmak parametrik analizlerde zaman kaybına neden olmaktadır ve çalışmanın devamlılığını zorlaştırmaktadır. Bu nedenden dolayı pencereleme yöntemini kullanarak uygun kısa zaman aralığının tespiti yapılmıştır. Şekil 5'teki El Centro deprem kaydı öncelikle 2 metre gömülme derinliğine sahip 2 metre çaplı boru hattı modeline tüm süre etkilmiştir. Daha sonra ise deprem kaydı beşer saniyelik bölümler halinde modele etki ettirilmiştir. Yükleri uygularken başlangıç koşulları önemli olabilmektedir. Bu yüzden bu beşer saniyelik kısımlar seçilirken ardışık bölümlerin birbirini kapsayacak şekilde olmasına dikkat edilmiştir ve bu yükler sisteme boru doğrultusuna dik olarak düşey doğrultuda etkilmiştir. Beşer saniyelik kısa kayıtların sisteme etkilmesi sonucu meydana gelen maksimum deplasman değerleri tüm sürenin etkilmesi ile meydana gelen deplasman değeri ile kıyaslanmış ve en yakın sonucu veren kısa aralığın analizlerde kullanılması uygun bulunmuştur.



Şekil 5. Pencerelemiş El Centro depremi ivme-zaman grafiği (Windowed acceleration-time graphic of El Centro earthquake)

Yapılan çalışmalar sonucunda Şekil 6'da yer alan grafik elde edilmiştir. Bu grafiğe göre tüm sürenin etkilmesi sonucunda borunun tepe noktasında 10.35 santimetre deplasman gözlemlenmiştir. Bu değere en yakın sonuç ise parametrik analizlerde kullanılacak olan 9. Saniye ile 14. Saniye aralığında meydana gelen 7.87 santimetre deplasman değeridir. Etkili kısa zaman aralığının tespiti ile tek bir analiz süresi 8 kat azaltılmıştır. Bu sayede birçok parametrenin değerlendirildiği analizlerde zamandan tasarruf sağlanmış ve analizlerin kontrolü daha kolay bir hale gelmiştir.

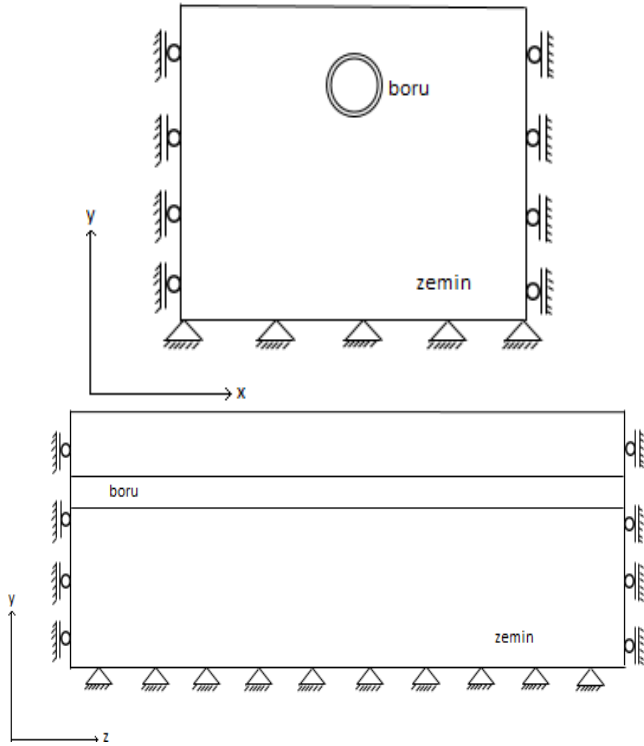


Şekil 6. Pencereleme yöntemi sonucunda meydana gelen deplasman sonuçları (Displacement results of the windowing method)

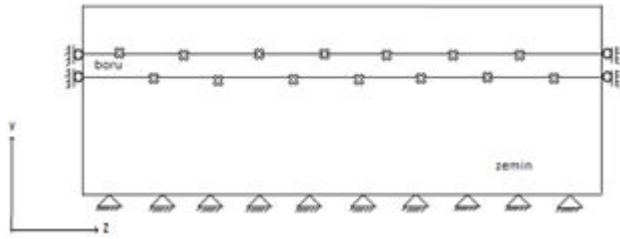
6. SINIR KOŞULLARI (BOUNDARY CONDITIONS)

Bu çalışmada yapılan analizlerde benzer sınır koşullarıyla modeller oluşturulmuştur. 3 boyutlu zemin modelinin alt kısmı hem yatay hem de düşey hareketi engelleyecek şekilde ($u_x=0, u_y=0, u_z=0$), 4 adet yan kısmı ise yataydaki hareketi engelleyecek ($u_x=0, u_z=0$) düşeyde hareket etmesine izin verecek (u_y serbest) şekilde sınır koşulları oluşturulmuştur (Şekil 7). Boru uç noktaları ise herhangi bir depo ya da bina gibi hareketini kısıtlayacak bir durum olmadığından yatayda hareketini kısıtlayacak düşeyde de serbest hareket edecek şekilde ($x=0, u_z=0, u_y$ serbest) sınır koşulları oluşturulmuştur (Şekil 8). Geoteknik problemlerine çözüm ararken zemin modellerinde çoğunlukla bu sınır şartı kullanılmaktadır. Lee [11] gömülü boru hatlarının deprem davranışını incelerken sonsuz uzunluktaki boru ve zemin ortamının sınır şartlarını bu şekilde oluşturmuştur. Analizlerin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için zemin ortamını 10 m x 15 m x (15, 50, 100) m boyutlarında oluşturmuştur. Ayrıca bina bağlantısı gibi rijit bir bağlantı noktasını modellemek için ise boru uç noktasının hareketini 3 yönde de kısıtlamış ve iki farklı sınır şartının etkilerini kıyaslamıştır. Sahoo ve diğ. [15] 20 m x 20 m x 50 m ve Almatian ve diğ. [12] 10 m x 5 m x 30 m ölçülerindeki zemin boru modelleriyle bu çalışmaya benzer şekilde sonsuz uzunlukta gömülü boru sistemleri modellemişler ve benzer sınır şartlarını oluşturmuşlardır. Bu çalışmada ise benzer şekilde boru-zemin ortamı modellenmiş olup, 20 m x 20 m x 100 m ölçülerinde ve benzer çalışmalardan daha büyük bir zemin modeli oluşturularak dalga yansımalarının

olası olumsuz etkilerinden kurtulmaya çalışılmıştır.



Şekil 7. Zemin sınır koşulları (Soil boundary conditions)

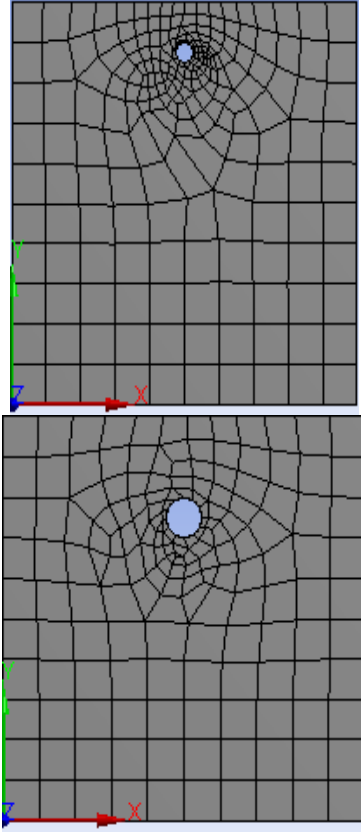


Şekil 8. Boru sınır koşulları (Pipe boundary conditions)

7. BÖLÜNTÜLEME BİLGİLERİ (MESHING INFORMATION)

Yapılan analizlerde Ansys Workbench V17.1 programının otomatik mesh seçeneği kullanılmıştır. Manuel bölüntüleme denemeleri yapılmakla beraber programın mesh algoritmasının daha başarılı olduğu anlaşılmıştır. Eleman boyutunun belirlenmesi aşamasında yine 2 metre gömülme derinliğine sahip 2 metre çaplı gömülü boru modeli ele alınmıştır. Program tarafından otomatik olarak belirlenen eleman boyutu maksimum 4.42 metre, minimum eleman boyutu ise 0.80 metredir. Ansys Workbench içerisinde yer alan “mesh metric” seçeneği ile oluşturulan mesh ağının kalitesini kontrol etme olanı sağlamaktadır. Mesh metric içerisinde yer

alan element quality, aspect ratio, jacobian ratio, warping factor, parallel deviation, maximum corner angle, skewness ve orthogonal quality seçenekleri ile kontroller yapılmıştır. Bu şekilde yapılan kontrollere örnek vermek gerekirse skewness ölçütü öncelikli bir kalite ölçüsüdür. 1 ile 0 arasında bir değer alan bu ölçütte, değer sıfıra yaklaştıkça mesh kalitesi mükemmelleşir. Otomatik olarak belirlenen eleman boyutları ile yapılan mesh işleminin ortalama skewness değerinin 0.74 olduğu görülmüştür. Eleman boyutlarının belirlenmesinde program içerisindeki seçeneklerin kullanılmasının yanı sıra farklı eleman boyutlarına sahip modeller analiz edilerek boruda meydana gelen maksimum gerilmeler karşılaştırılmıştır. Eleman boyutları küçültülerek farklı eleman boyutlarında yapılan analizler sonucunda ve program içerisinde kaliteli bir bölüntülemeyi kontrol etmek için sunulan mesh metric seçeneğinin de kullanılmasıyla maksimum eleman boyutunun 2 metre, minimum eleman boyutunun ise 0.20 metre seçilmesinin analizler için uygun olduğuna karar verilmiştir. Eleman boyutlarının daha fazla küçültülerek mesh yoğunluğunun artırılması sonucunda boruda meydana gelen gerilme değerinin anlamlı bir şekilde değişmediği görülmüştür. Bu boyutlar ile yapılan bölüntülemenin ortalama skewness değerinin 0.17 olduğu görülmüştür. ve bu değer 0'a çok yakın bir değerdir. 2D gömülme derinliğine sahip boru modellerinin bölüntülemesi Şekil 9'da verilmiştir ve yapılan bölüntüleme işleminden sonra tüm modellerde oluşturulan eleman ve düğüm sayıları da Tablo 3'de yer almaktadır.



Şekil 9. Boru çapı (D) 1 m ve 2 m olan 2 D gömülme derinliğindeki modellerin bölüntülenmesi (The meshing of the models with the pipe diameter (D) of 1 m and 2 m at the burying depth of 2D)

Tablo 3. Farklı derinlik ve boru çapına sahip modellerdeki eleman ve düğüm noktası sayısı (The number of elements and nodes for the models with various depth and pipe diameter)

Boru Çapı (m)	Derinlik (m)	Düğüm Noktası Sayısı	Eleman Sayısı
1	0.5	78876	21329
1	1	86020	22976
1	2	76984	20841
1.4	0.7	67333	17402
1.4	1.4	65243	16910
1.4	2.8	67883	17918
2	1	57034	14408
2	2	59972	15108
2	4	49568	12717
2.4	1.2	48183	12019
2.4	2.4	48287	12015
2.4	4.8	46892	11936

8. ANALİZLER VE DEĞERLENDİRMELER (ANALYSES AND ASSESSMENTS)

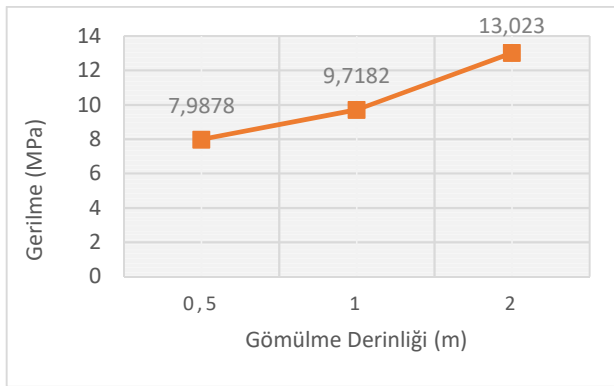
Bu çalışma kapsamında 20 m x 20 m x 100 m boyutlarında zemin ortamı ve içme suyu sistemlerinde kullanılan zemine gömülü basınçlı çelik boru hattı, sonlu eleman yazılım programı Ansys Workbench V17.1 kullanılarak, 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Deprem esnasında oluşan dalga yayılımının boru hatlarına etkileri zaman tanım alanında analiz yapılarak tespit edilmiş ve bu amaçla maksimum yer ivmesi yaklaşık olarak 0.3 g olan 31.18 saniye süreli El Centro deprem kaydı kullanılmıştır. Oluşturulan modele tüm sürenin etkilenmesi ciddi bir zaman almaktadır ve birden fazla analiz gerektiren parametrik çalışmalarda bu süreler kat be kat fazla olacağından analiz süresini kısaltmak çalışmayı kolay ve sürdürülebilir hale getirecektir. Bu sebeplerden ötürü bu makalede zemine gömülü boru hatlarına dalga yayılımı etkisini incelemek için zaman tanım alanında yapılacak olan analizlerin daha kısa sürelerde tamamlanmasını sağlayacak bir çalışma yapılmıştır. Uygun kısa aralığın tespiti ile ilgili yapılmış olan çalışmada, maksimum yer ivmesini kapsamayan bir aralığın kullanılmasının daha uygun olduğu görülmüş ve yapılan bu çalışmadaki tüm analizlerde bu kısa aralık kullanılmıştır. Bu çalışma sayesinde maksimum yer ivmesinin olduğu aralığın analizlerde yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır.

Öncelikle gömülü çelik boru hattının derinlik değişiminin dalga yayılımı ile ilişkisini anlamak amacıyla boru dışçapı (D) 1, 1.4, 2, 2.4 m olan boru hattı modelleri, boru gömülme derinlikleri D/2, D, 2D olacak şekilde oluşturulmuş ve analiz edilmiştir.

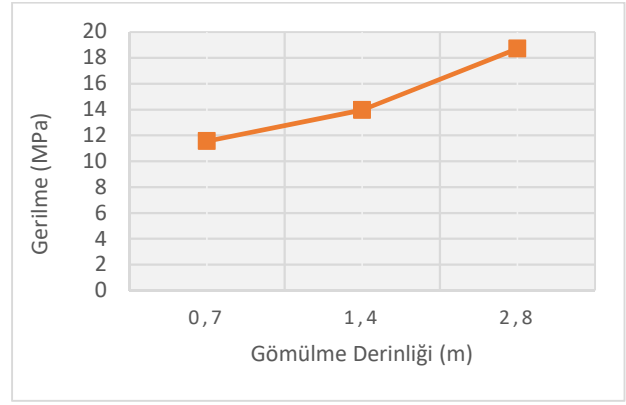
Tüm analizlerdeki gerilme sonuçları dikkate alındığında hepsinin benzer trend gösterdiği Şekil 10, 11, 12, 13'teki grafiklerde görülmektedir. Tüm analizlerde D/2'de minimum gerilme değeri meydana gelirken, 2D'de maksimum gerilme değeri meydana gelmiştir. Sahoo ve diğ. [15] 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile 2100 mm çaplı boru hattını modellemişlerdir. Yaptıkları çalışmada derinlik değişiminin çap ile ilişkisini ve birbirine paralel iki boru hattı arasındaki mesafenin değişiminin etkilerini araştırmışlardır. Yapılan analizler sonucunda bu çalışmalarda çıkan sonuçlardan farklı olarak, boru çapına eşit gömülme derinliğinde gerilmenin en fazla olduğu, D/2 ve 2D derinliklerinde daha az gerilme meydana geldiği görülmüştür. Meydana gelen

deplasman değerleri ele alındığında; 1 m, 1.4 m, 2 m ve 2.4 m çaplı boruların derinlik değişimine göre deplasman grafikleri Şekil 14-17'de sırasıyla verilmiştir. Sahoo ve diğ. [15]'nin yaptığı çalışmada deplasman ile ilgili sonuçlar gerilme grafiğine benzer bir şekildedir. Maksimum deplasman miktarı boru çapına eşit gömülme derinliğinde meydana gelirken, boru çapının yarısına eşit olan gömülme derinliğinde minimum değer meydana gelmiştir. Sahoo ve diğ. [15] tek bir çap üzerinden sonuçları irdelerken, bu çalışmada birden fazla boru çapı incelenmiştir. 1 ve 2 m boru çaplı modellerde oluşan deplasman değerlerinde (Şekil 14, Şekil 16) Sahoo ve diğ. [15]'nin yaptığı çalışma ile benzer bir sonuç elde edilmiştir. Şekil 17'de görüleceği üzere 2.4 m çaplı modelde ise yine boru çapına eşit olan gömülme derinliği diğerlerine göre büyük çıkmıştır. Boru çapı 1.4 m olan modelin deplasman sonuçları (Şekil 15) diğer sonuçlardan farklı çıkmıştır. Bu modelde en büyük deplasman değeri boru çapının yarısına eşit olan gömülme derinliğinde görülürken, en küçük deplasman değeri ise gömülme derinliği boru çapının iki katına eşit olan modelde meydana gelmiştir.

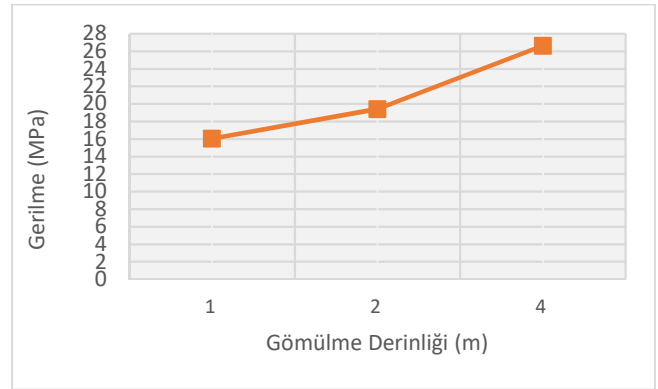
Son olarak da boru çapı değişiminin etkilerini incelemek amacı ile 2 metre gömülme derinliğine sahip 1, 1.4, 2, 2.4 çaplarındaki modeller analiz edilmiştir. Şekil 18'de gösterilen grafiğe göre analizler sonucunda boru çapı artışı ile gerilme doğru orantılı olarak değişmektedir. Deplasman değerleri (Şekil 19) için ise 2.4 metre çapa sahip modelde maksimum değer gözlemlenmiştir. 1.4 metre çapa sahip modelde ise deplasman değeri diğer modeller arasındaki en düşük değerdir.



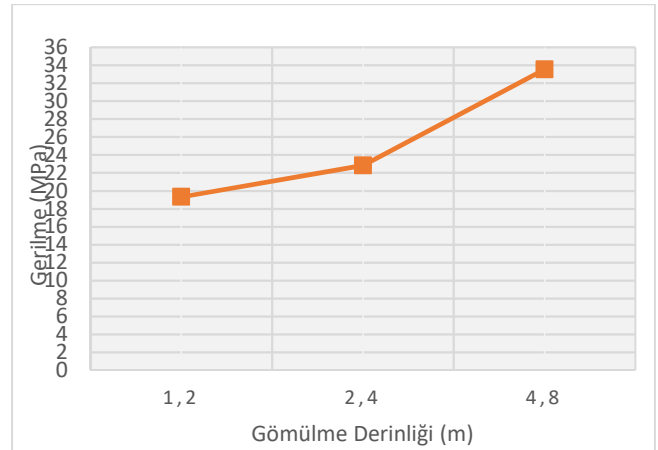
Şekil 10. 1 m boru çaplı modelin derinlik değişimine göre Von Mises gerilmesi (Von Mises stress with respect to the depth change for the model with 1 m diameter)



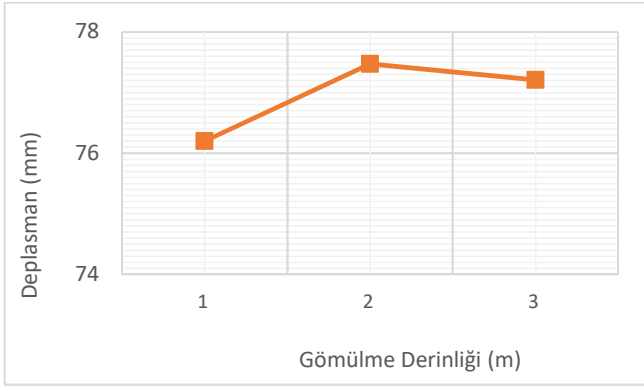
Şekil 11. 1.4 m boru çaplı modelin derinlik değişimine göre Von Mises gerilmesi (Von Mises stress with respect to the depth change for the model with 1.4 m diameter)



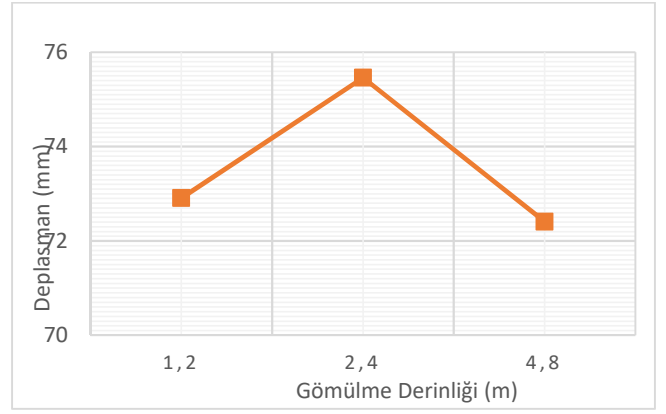
Şekil 12. 2 m boru çaplı modelin derinlik değişimine göre Von Mises gerilmesi (Von Mises stress with respect to the depth change for the model with 2 m diameter)



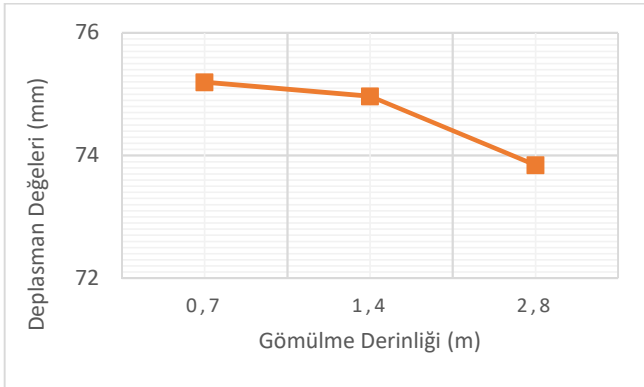
Şekil 13. 2.4 m boru çaplı modelin derinlik değişimine göre Von Mises gerilmesi (Von Mises stress with respect to the depth change for the model with 2.4 m diameter)



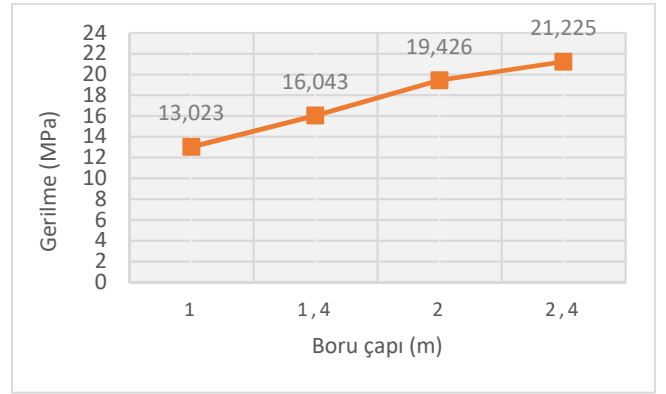
Şekil 14. 1 m boru çaplı modelin derinlik değişimine göre deplasmanı (The displacement with respect to depth for the model with 1 m diameter)



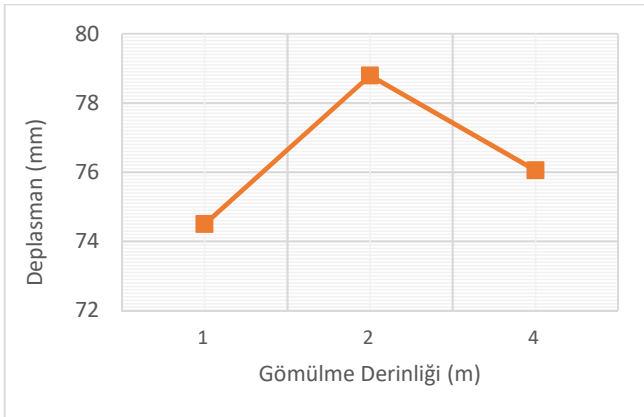
Şekil 17. 2.4 m boru çaplı modelin derinlik değişimine göre deplasmanı (The displacement with respect to depth for the model with 2.4 m diameter)



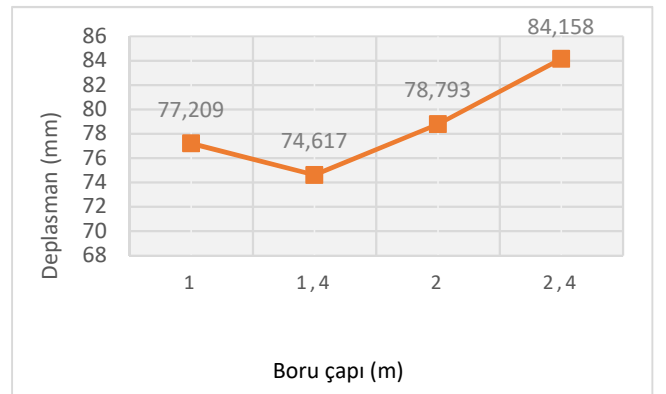
Şekil 15. 1.4 m boru çaplı modelin derinlik değişimine göre deplasmanı (The displacement with respect to depth for the model with 1.4 m diameter)



Şekil 18. Aynı gömülme derinliğindeki farklı çaplardaki borulardaki gerilme (The stresses of pipes with different diameters for the same embedding depth)



Şekil 16. 2 m boru çaplı modelin derinlik değişimine göre deplasmanı (The displacement with respect to depth for the model with 2 m diameter)



Şekil 19. Aynı gömülme derinliğindeki farklı çaplardaki borulardaki deplasman (The displacements of pipes with different diameters for the same depth)

9. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak gömülü boru hatlarının 3 boyutlu modellenmesi ve zaman tanım alanında sismik analizi anlatılmıştır. Ayrıca, gömülü boru hatlarını hasara uğratabilecek sismik risklerin değerlendirilmesinde kullanılabilir bir analiz yöntemi bu çalışmada sunulmuştur.

Zaman tanım alanında yapılan analizlerde maksimum yer ivmesi yaklaşık olarak 0.3 g olan El Centro deprem kaydının 31.18 saniyelik tüm süresinin kullanımı analiz süresini arttırmakta ve parametrik analizleri zorlaştırmaktadır. Bu amaçla uygun bir kısa aralığın tespitinin yapılması için bir çalışma yapılmıştır. Maksimum yer ivmesini içeren aralığın analizler için en uygun aralık olmayabileceği anlaşılmıştır.

Boru çapı 1, 1.4, 2, 2.4 metre olan modeller oluşturularak gömülme derinliğinin - boru çapı ikilisinin gerilme ve deplasman ile ilişkisi araştırılmıştır. D boru çapına sahip bir çelik borunun D/2, D, 2D gömülme derinliklerine yerleştirilerek yapılan analizlerde meydana gelen gerilme ve deplasman değerleri Şekil 10-17'deki grafiklerde gösterilmiştir. Gerilme değerlerinin verildiği grafikler incelendiğinde gömülme derinliğinin artması ile gerilme değerinin arttığı görülmektedir. Deplasman grafikleri incelendiğinde ise 1, 2, 2.4 metre boru çapına sahip modellerin D gömülme derinliğinde maksimum değere ulaştığı tespit edilmiştir. 1.4 metre boru çaplı modelin deplasman grafiği ise diğer grafiklerden farklı olmuştur. Bu nedenle boru çapı ve gömülme derinliği arasındaki ilişkiyi anlamak için farklı zemin koşulları ve boru tipleri de dikkate alınarak daha fazla analiz yapılması gereklidir. Meydana gelen deplasman değeri boru bağlantı noktasının zayıf olduğu parçalı borularda önemlidir.

Son olarak, boru çapı değişiminin deplasman ve gerilme değerleri üzerindeki etkilerini anlamak amacıyla 1, 1.4, 2, 2.4 metre çaplı boru hattı 2 metre gömülme derinliğine yerleştirilerek analizler yapılmıştır. Şekil 18'de yer alan gerilme grafiğinde boru çapı arttıkça gerilme değerinin arttığı görülmektedir. Şekil 19'daki deplasman grafiğinde ise 1.4 metre çaplı boru hattı modeli dışındaki modellerde boru çapı arttıkça meydana gelen deplasman miktarının da arttığı görülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Duke CM, Moran DF. "Guidelines for Evolution of Lifeline Earthquake Engineering". In *Proceedings of US National Conference on Earthquake Engineering*, 367-376, Oakland: Earthquake Eng Res Inst.1975.
- [2] American Lifelines Alliance. "Seismic Guidelines for Water Pipelines". *American Lifelines Alliance*, Oakland, USA, 2005.
- [3] Flores-Berrones R, Li Liu X. "Seismic Vulnerability of Buried Pipelines". *Geofisica Internacional*, 42(2), 237-246, 2003.
- [4] Çoban S, Çeribaşı S. "İçme suyu ve kanalizasyon borularının sonlu elemanlar metodu ile 3 boyutlu sismik analizi". *Proceeding of 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016)*, Adana, Türkiye, 26-28 October 2016.
- [5] Karamanos SA, Keil B, Card RJ. "Seismic Design of Buried Steel Water Pipelines". *Pipelines 2014: from Underground to the Forefront of Innovation and Sustainability: Proceedings of the Pipelines 2014 Conference*, Portland, Oregon, USA, August 3-6 2014.
- [6] Suresh RD, Sudhir KJ. "Seismic Design of Buried Pipelines in India Context". In *Proceedings of the Conference of the National Information Center of Earthquake Engineering*, Bangalore, India, 2005.
- [7] O'Rourke MJ, Lui X. "Response of Buried Pipelines Subject to Earthquake Effects". In *Response of Buried Pipelines Subject to Earthquake Effects*, New York, USA, US Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER), 1999.
- [8] Dash SR, Jain S K. "IITK-GSDMA Guidelines for Seismic Design of Buried Pipelines: Provisions with Commentary and Explanatory Examples". Kanpur, India, National Information Center of Earthquake Engineering, 2007.
- [9] Türk Standartları Enstitüsü. "Eurocode 8: Depreme dayanıklı yapıların tasarımı-Bölüm 4: Silolar, tanklar ve boru hatları". *TS EN 1988-4*, Türkiye, 2006.

- [10] Resmî Gazete. “Altyapılar İçin Afet Yönetmeliği, Türkiye, 2007.
- [11] Lee H. Finite Element Analysis of a Buried Pipeline. Master Thesis, The University of Manchester, School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, Manchester, UK, 2010.
- [12] Alamatian E, Ghadamkheir M, Karimpou B.”Stress Estimation on Pipeline and Effect of Burying Depth”. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 6(2), 228-235. 2013.
- [13] Ansys Inc. “ANSYS Mechanical APDL Material Reference”.2013.
- [14]http://ansys.net/ansys/tips_sheldon/STI0802_Drucker_Prager.pdf (05.04.2017)
- [15] Sahoo S, Manna B, Sharma KG. “Seismic Behaviour of Buried Pipelines: 3D Finite Element Approach”. *Journal of Earthquakes*, vol. 2014, Article ID 818923, 2014.