



GÖMÜLÜ ESNEK BORULARDA GERİLME ANALİZİ

Ziya Abdulaliyev¹, Osman Bulut² ve Şenol Ataoğlu³
^{1,2,3} İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ABSTRACT

Performing a comprehensive analysis of stress of the buried pipes under the external forces which are used vastly for many aims is important. In this study, the stress analysis of buried flexible pipes whose cross-sectional area is circular ring is realized without internal pressure using the method of photoelasticity. For this purpose, Araldite ring produced as the model of the cross-section of the pipe has been loaded into two different fields by set-ups designed specially. The load over the pipe consists of the effects of the force of weight of the burying field and external forces applied on the surface of this field. The first of the field is a polyethylene sheet assuming that the burying field is a continuous media. In the second set-up, araldite ring has been tested embedding into a type of real soil. The distributions of the difference of the principal stresses are obtained along the inner and outer edge by the photoelastic fringes which have been occurred on the models.

ÖZET

Çeşitli amaçlarla yaygın olarak kullanılan gömülü boruların maruz kaldıkları yükler altında gerilme analizinin detaylı bir şekilde yapılması önemlidir. Bu çalışmada iç basıncı olmayan, dairesel halka kesitli, gömülü esnek boruların gerilme analizi fotoelastisite yöntemi ile yapılmıştır. Bu amaçla, boru kesidinin modellenmesi için hazırlanan araldit halka özel olarak tasarlanmış düzeneklerle iki farklı ortamda yüklenmiştir. Modele gelen yükler, gömülme ortamının ağırlığı ve bu ortamın üst yüzeyinden uygulanan dış yük etkilerinin birleşiminden oluşmaktadır. Bu ortamlardan ilki, boru modelinin gömülü olduğu ortamın sürekli ortam olması yaklaşımı ile polietilen levhadır. İkinci olarak araldit halka, seçilen bir tür gerçek toprağın içerisine yerleştirilerek denenmiştir. Modellerde oluşan fotoelastik şeritler ile halkanın iç ve dış kenarları boyunca asal gerilmelerin farkının dağılımı elde edilmiştir.

GİRİŞ

Çelik veya plastik malzemelerden üretilen borular, basınçlı ya da basıncı olmayan akışkanların taşınması gibi amaçlarla kullanılırlar. Gömülü borularda kesit geometrisinin optimizasyonu amacıyla toprağın ağırlığından ve dış yüklerin etkisinden dolayı oluşan gerilmelerin analizinin detaylı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, iç basıncı olmayan, dairesel halka kesitli, gömülü esnek boruların gerilme analizi fotoelastisite yöntemi ile yapılmıştır.

Teknik literatürde gömülü esnek borular birçok çalışmaya konu olmuştur. Sayısal ve deneysel yöntemlere dayanan bu çalışmalarda en çok ilgilenilen problemlerden birisi bu tür boruların mukavemetidir [1-5]. Modellemede ana unsur boruya gelen yüklerin belirlenmesidir. İlgili literatürde gömülü boruya gelen yüklerle ilgili değişik yaklaşımlar mevcuttur [6].

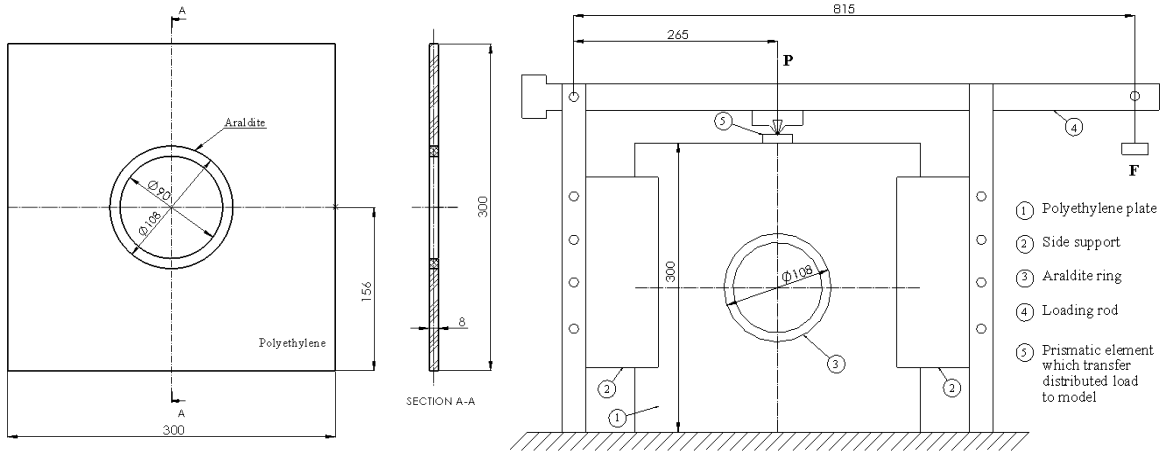
İlgili literatür incelendiğinde esnek boruların çökmesi için Iowa formülü olarak isimlendirilen amprik bir ifadenin kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca yarıçap doğrultusunda, eğilmeden dolayı oluşan en büyük normal gerilme için de amprik bir formül verilmiştir [7]. Fakat ilgili formüller bazı teknik soruların çözümü için yeterli değildirler. Örneğin dizayn esnasında, çökmenin hesaplandığı formül kullanılarak gerekli et kalınlığının hesaplanmasının yanlış olacağı ilgili teknik literatürde belirtilmektedir [8]. Gerilme durumu ile ilgili uygulanan formül bir dağılım değil, boruda oluşan en büyük gerilmenin değerini vermektedir. Başka bir deyişle en büyük gerilmelerin oluşacakları bölgeler konusunda gerekli bilgiler mevcut değildir.

Bu çalışmada, deney düzeneklerinde borunun gömülü olduğu ortam iki farklı şekilde modellenmiştir. Birinci deneyde, modelin gömülme ortamı, sürekli bir ortam olarak modellenmiştir. İkinci deneyde model özel bir kumun içerisine yerleştirilmiştir. Bu deneylere ek olarak gömülü olmayan halkadaki gerilme durumunun görülmesi amacıyla da bir deney gerçekleştirilmiştir. Bu modellerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile, toprağın sürekli bir ortam gibi kabul edilmesi yaklaşımının gerilme dağılımına etkisi gözlenmiş ve toprak-boru etkileşiminden doğan sonuçlar elde edilmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

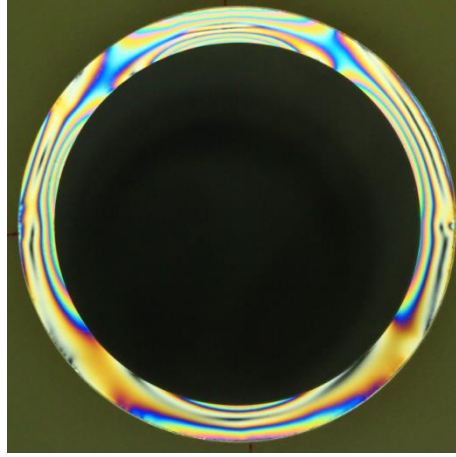
Uzun gömülü borunun durumu düzlem şekil değiştirme ile karakterize edildiğinden borunun modeli belirli kalınlıkta dairesel halka şeklindedir. Bu sebeple, boru modeli kalınlığı az olan bir Araldit plaktan kesilerek hazırlanmıştır. Araldit halkanın üretimi sırasında ısı veya diğer etkilerden kaynaklanabilecek artık gerilmelerin oluşmasını önlemek amacıyla plak üzerinde hassas şekilde kesim yapılmıştır. Kullanılan malzemenin mekanik özellikleri ayrıca yapılan deneyler ile belirlenmiştir.

İlk modelde gömülme ortamı, ticari ürün ismi PE-HML 500, Simona olan polietilen plak ile modellenmiştir. Bu sayede ilgili ortam sürekli ortam gibi düşünülmüştür. PE plak içerisine yerleştirilmiş halkanın şeması Şekil 1'de verilmiştir.



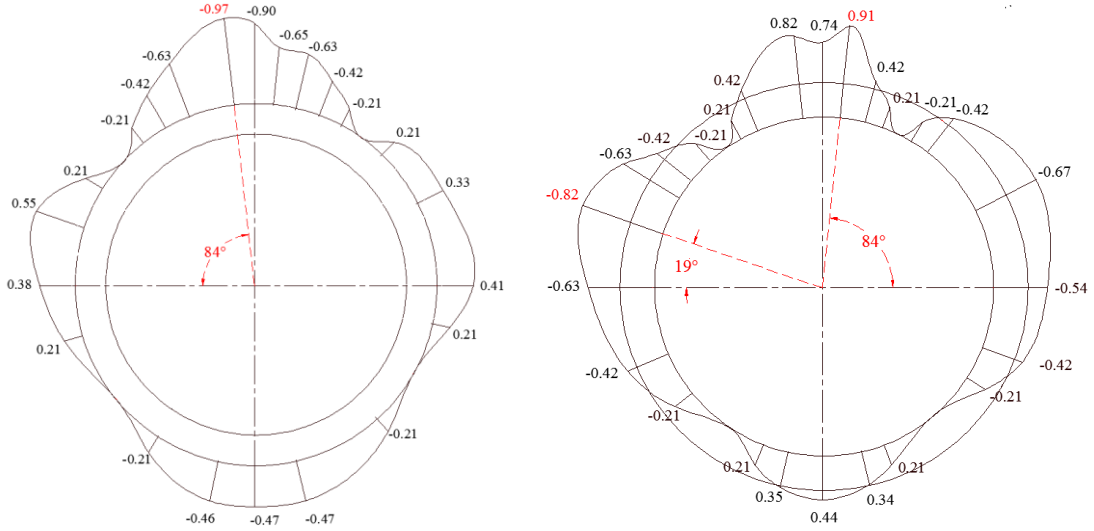
Şekil 1. Birinci model ve yükleme düzeneğinin şemaları

Borunun gömüldüğü ortamda toprakla ilişkisi dikkate alınarak bu düzenekte modelle PE plak arasında hiçbir yapıştırıcı malzeme kullanılmamıştır. Halkanın iç ve dış çapları ile et kalınlığı sırasıyla 90 mm, 108 mm ve 8 mm'dir. Deneyde modelin yerleştiği plaka 5.7 MPa baskı uygulanmıştır. Halka optik hassas malzemenin yapılmıştır. Optik hassas malzemenin oda sıcaklığında elastisite modülü ve optik hassasiyet katsayısı sırasıyla 3500 MPa ve 9.57 N / (mm.şerit) olarak belirlenmiştir. Dış baskının etkisinde halkada oluşan gerilme durumunu karakterize eden interferens şeritlerinin fotosu Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. Birinci modelde interferens şeritlerinin fotoğrafı

İnterferens şeritlerinin fotoğrafı kullanılarak modelin istenilen noktasında asal gerilmelerin farkının mutlak değeri hesaplanmıştır ve dağılım çizilmiştir. İç yüzey boyunca radyal gerilme sıfır olduğundan elde edilen değerler teğetsel doğrultuda etkiyen asal gerilmelerin dağılımını vermektedir. İlgili dağılımlar boyutsuz olarak Şekil 3' de verilmiştir.



Şekil 3 PE plağa gömülü halkada iç ve dış kenar boyunca boyutsuz gerilmenin dağılımı

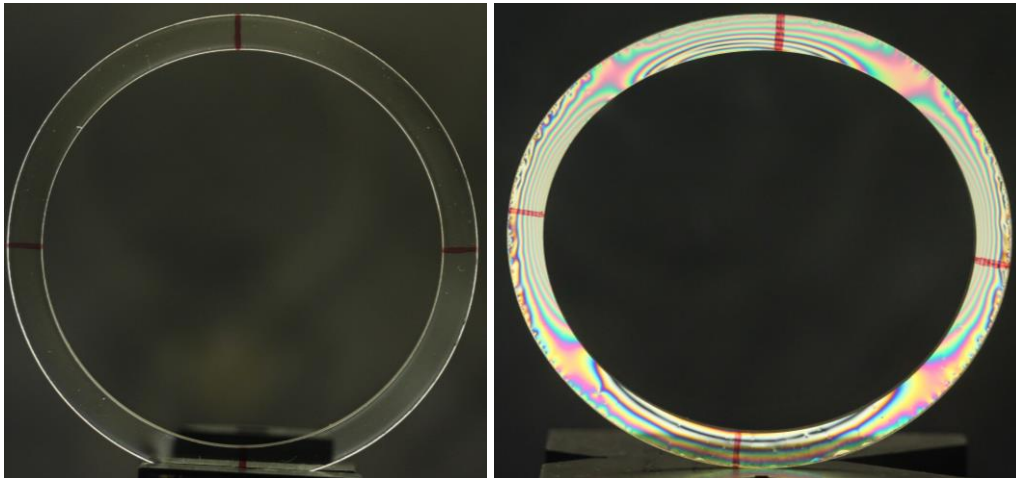
Gömülü borunun ikinci modeli gerçek kum ortamına yerleştirilerek denenmiştir. Modelin yüklenmesi için özel bir deney düzeneği geliştirilmiştir. Bu düzende çelikten yapılmış dış çerçeve içerisine yerleştirilen iki cam plak arasında kum ve model yerleştirilmiştir. Modelin görülebilmesi için bu seviyede çerçevenin ön ve arka yüzeyine dairesel delikler açılmıştır (Şekil 4). Model optik hassas malzemeden yapılmıştır; dış ve iç çapları 107.72 mm ve 91.72 mm' ye eşittir. Modelin kalınlığı ise 4 mm' dir. Model malzemesinin viskoelastik sıcaklığı ve bu sıcaklıktaki elastisite modülü, optik hassasiyet katsayısı ilgili testlerle belirlenmiştir ve sırasıyla 150 °C, 17 MPa ve 0.217 N/ (mm.şerit) değerlerine eşittirler.



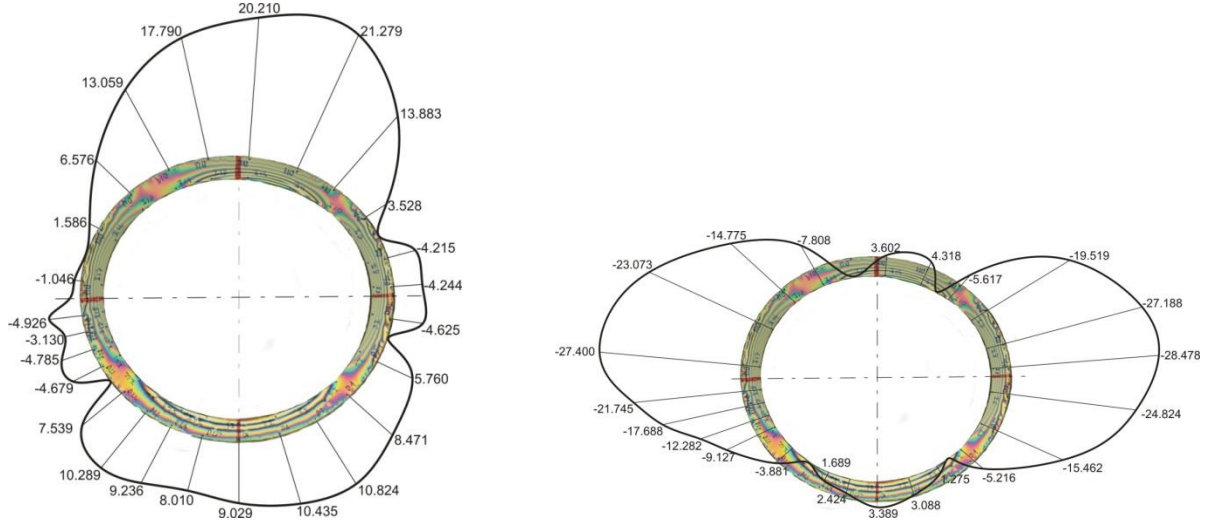
Şekil 4. İkinci model için hazırlanan deney düzeneği ve özel çerçeve

Bu deney şekil değiştirmelerin dondurulması tekniği kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemde, malzemenin 150 °C viskoelastik sıcaklığa kadar ısıtılıp yüklenen modelde oluşan interferens şeritleri, modeli belirli bir rejimle soğutarak sabitlenirler. Bundan sonra modele etkiyen yükler kaldırılırlar ve modelde sabitlenmiş gerilme durumu fotoelastisitenin ilgili yöntemleri ile incelenirler.

Halkanın tepe noktasından kumun üst seviyesine kadar olan yükseklik 106.06 mm' dir. Düzenekte halkanın oturmasının simetrikliğini sağlayabilmek için halkanın gömülme ortamının alt kısmında rijit bir metal levha yerleştirilmiştir. Yükleme kolundan gelen yük iki noktadan bir rijit metal levhaya iletilerek kuma aktarılmıştır. Böylece istenmeyen dönmeler ve uniform olmayan çökme davranışının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Rijit levhanın kuma aktardığı toplam baskı 0.173 MPa' dır. Deney sonucunda elde edilen interferens şeritlerinin dağılımının polariskopta siyah zeminde fotoğrafı çekilmiştir (Şekil 4). Belirli noktalarda iç ve dış yüzeylerde ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler için Berek kompensatörlü polarize mikroskop kullanılmıştır. Bu sayede şerit sayıları istenilen noktalarda daha hassas ölçülebilmştir. Şekil 5' de ilgili halkanın deney öncesi fotosu ile deney sonrası fotoelastik şeritlerin dağılımı, Şekil 6' da ise halkada iç ve dış kenarı boyunca boyutsuz gerilme dağılımları görülmektedir.

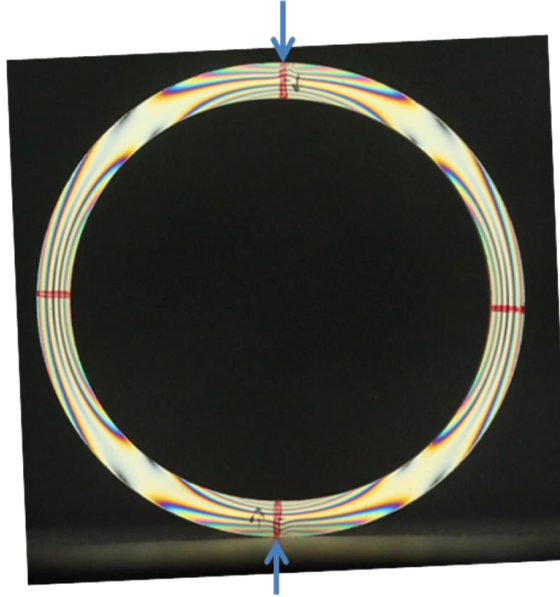


Şekil 5. İkinci modelin deney öncesi çekilmiş fotoğrafı ve deney sonrası modelde interferens şeritlerinin dağılımı



Şekil 6. Toprağa gömülü araldit halkada iç ve dış kenar boyunca boyutsuz gerilmelerin dağılımı

Borunun gömülü olmadığı durumda çapı doğrultusunda tekil yükle yüklenmesi durumunda üzerinde oluşan gerilmeleri görmek amacıyla gerçekleştirilen deney sonucunda fotoelastik şeritlerin dağılımlarını gösteren fotoğraf Şekil 7' de görülmektedir.



Şekil 7. Çapı doğrultusunda tekil yükle yüklenmiş boru modeli

SONUÇLAR

İlgili teknik literatürde gömülü boruların çökme değerinin hesabında bazı belirsizlikler vardır. Çünkü yataklama katsayısı, çökme gecikme faktörü gibi bazı katsayılar tecrübe ile belirlenmektedir. Bu yapılar için gerilme dağılımı, bahsedilen çökme değeri kullanılarak hesaplandığından tam olarak belirlenmemiştir. Yapılan tüm hesaplamalar amprik formüllere dayanmaktadır.

Bu çalışmadaki ilk deney düzeneğinde amaç toprağı sürekli bir ortam olarak modelleme ile yeterli yaklaşımın sağlanıp sağlanamayacağını görülmek istenmesidir. Sonuçlar incelendiğinde iç kenar boyunca radyal gerilmenin en büyük gerilmenin diğer modelden farklı

yerde çıktığı görülmüştür. Dolayısıyla toprağı sürekli bir ortam gibi kabul ederek yapılacak modeller başarılı olmayacaktır.

Gerilme dağılımları incelendiğinde bunun tüm bölgelerde eğilmeden kaynaklanan gerilme dağılımı karakteristiğinde olduğu görülebilir. İç kenar boyunca oluşan radyal gerilmelerin işaretleri beklendiği gibi çıkmıştır. Bununla birlikte ikinci deneyde yanlarda tek işaretli gerilme olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak yan kum reaksiyonlarının daha etkin olması gösterilebilir.

En son yapılan deneyde halkanın çapı doğrultusunda tekil yükü yüklenmesi sonucunda en büyük radyal gerilme tepe ve alt noktalarda oluşmuştur. Ancak gömülü durumda bahsedilen maksimumlar yanlarda oluşmuştur. Bu, yanal toprak basıncının bir sonucu olabilir. Sonuç olarak, gömülü borunun performansının halihazırda boruların performansının belirlenmesi için kullanılan paralel plak testinde yapıldığı gibi bu şekilde bir yükleme ile belirlenmesinin doğru olmadığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] M. S. A. Siddiquee, S.M. Seraj, and A.N. Sinha, An experimental study of buried PVC pipes: *Eleventh Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, S. W. Hong ve d., eds., Rotterdam, 1999: s. 321-324.
- [2] Y. Bai, R. T. Igland, and T. Moan, Tube collapse under combined external pressure, tension and bending, *Marine Structures*. 10(5) (1997) 389-410. doi:10.1016/S0951-8339(97)00003-8.
- [3] E. Corona, and S. Kyriakides, On the Collapse of Inelastic Tubes under Combined Bending and Pressure, *International Journal of Solids and Structures*. 24(5) (1998) 505-535. doi:10.1016/0020-7683(88)90005-4.
- [4] S. G. L. Babu, M. B. R. Srinivasa, and R. S. Rao, Reliability analysis of deflection of buried flexible pipes, *Journal of Transport Engineering*. 132(10) (2006) 829-836. doi:10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000041.
- [5] K. F. Tee, L. R. Khan, and H. P. Chen, Probabilistic failure analysis of underground flexible pipes, *Structural engineering and mechanics*. 47(2) (2013) 167-183. Doi: 10.12989/sem.2013.47.2.167.
- [6] A. P. Moser, and S. Folkman, *Buried Pipe Design*, McGraw Hill, 2008.
- [7] Guideline for the Design of Buried Steel Pipe, *American Lifelines Alliance/ASCE/FEMA*, 2001.
- [8] G. Smith, ve R. Watkins, The Iowa Formula: Its Use and Misuse when Designing Flexible Pipe, *Proc. of Pipelines 2004 Int'l Conf.*, ASCE, 2004