

Conta bağlantılı PVC boruların deformasyon davranışının laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi

Müge BALKAYA^{1*}, Ahmet SAĞLAMER¹, Ian D. MOORE²

¹ İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

² GeoEngineering Centre at Queen's – RMC, Queen's University, Kingston, Ontario, K7L 3N6 Canada

Özet

Gömülü boru hatlarının bağlantı yerlerinde karşılaşılan hasarlar, tüm boru sisteminin davranışını olumsuz yönde etkileyebilecek önemli sorunlara yol açabilir. Hasarlı boru bağlantılarında meydana gelen su sızıntısı ve buna bağlı olarak boru etrafındaki zeminde meydana gelen erozyon, zamanla borularda göçmeye neden olan en yaygın problemlerden biridir. Bu nedenle, boru bağlantılarının tasarımı, boruların uzun ve kısa dönemli davranışını büyük ölçüde etkileyen önemli bir konudur. Ancak, boru bağlantılarının boru hattı boyunca en kritik noktalardan biri olmasına ve boru performansı üzerinde büyük bir etkiye sahip olmalarına rağmen, boru ve conta arasındaki etkileşimin modellenmesindeki zorluk nedeniyle bu konu üzerinde çok sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, boru ve conta arasındaki sürtünme, boruların birbiri içine itilme boyu ve ek yerinde meydana gelen dönmenin boru davranışı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla conta bağlantılı bir PVC boru üzerinde laboratuvar deneyleri ve sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Deneyler, boruların birbiri içine itilmesi için gerekli itme kuvvetini ve boruların eğilme davranışını belirlemek amacıyla iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, aynı geometri ve malzeme özelliklerine sahip PVC boruların ABAQUS sonlu elemanlar programı kullanılarak modellendiği üç boyutlu sonlu elemanlar analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarıyla sonlu elemanlar analiz sonuçlarının karşılaştırılması, analizlerin boruların çeşitli şartlar altındaki temel fiziksel davranışını modellemekte başarılı olduğunu, ancak borularda üretim hataları ya da saklama koşullarındaki dikkatsizlikler nedeniyle ortaya çıkabilen boru en kesitlerinin tam dairesel olmaması durumunun boru davranışı üzerindeki önemli etkisini incelemenin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: PVC boru, boru bağlantısı, düşey yer değiştirme, eğilme.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Müge BALKAYA. balkayamu@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 37 02.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Investigation of the pipe-soil interaction around continuous and jointed pipes" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 04.03.2010 tarihinde dergiye ulaşmış, 23.03.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 29.02.2012 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Balkaya, M., Sağlamer, A., Moore, I.D., (2011) 'Conta bağlantılı PVC boruların deformasyon davranışının laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10: 4, 153-162" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

Experimental evaluation of the deformation characteristics of a jointed PVC pipe

Extended abstract

Modelling of joints in pipelines is a critical issue influencing both the short and long term performance of these systems. Defects at pipe joints can contribute significantly to reduction of the overall performance of the pipe system. The most common problems attributed to joint defects are infiltration, exfiltration, and erosion of the soil surrounding the pipe that can ultimately produce pipe failure. Joints are known to be the source of a number of pipe failures or installation problems due to the fact that in many cases they are the weakest points along a pipeline. Many design variables affect joint performance and it is difficult to predict the behavior of joints in service. The interaction between the pipe and the gasket is a complex phenomenon and represents a challenging modeling problem. Although joints can have a major influence on the pipe performance, little research has been conducted in regard to their design.

This research reports on preliminary comparisons of the FEA (finite element analysis) with pipe assembly experiments. In the FEA, the three dimensional response of a rubber-gasketed bell-and-spigot jointed PVC (polyvinyl chloride) pressure pipe was examined to develop an understanding of the effect of gasket modulus, friction coefficient, insertion length and joint rotation on the pipe-joint behavior. The numerical analyses were performed using ABAQUS version 6.7. The finite element analysis procedure was conducted in two steps representing the insertion of the spigot into the bell, and the bending of the pipe across the assembled joint. In the analyses, a pipe of SDR (standard dimension ratio) 28 and nominal size 135 mm has average internal diameter 133 mm, average wall thickness 5 mm, average external diameter 143mm, average bell depth of 100mm was modeled.

In this research, the jointed pipe specimens which were modeled using ABAQUS in the former study were tested in the laboratory to investigate the behavior of the pipe-joint assembly during insertion and bending. Two types of insertion tests were performed representing the joint behavior in conditions with and without gasket lubrication. The results of the insertion tests showed that lubrication decreases the amount of force needed for the insertion of the spigot into the bell end of the pipe. The peak forces

needed for the insertion of the lubricated and non-lubricated specimens correspond to an insertion distance where the outer surface of the cylindrical part of the spigot comes in contact with the gasket, and the gasket is fully compressed between the spigot and the bell. A similar trend was observed in the finite element analyses. The results of the laboratory tests confirm the general pattern of force versus displacement behavior calculated in the finite element analyses, though further work is needed to establish the exact constitutive characteristics of the gasket so that better direct comparisons can be made.

In order to check the accuracy of the experimental work, testings were carried out on two different test machines (Zwick Z020, and Instron 8802 test machines). The comparison of the results of the Zwick and Instron tests showed that almost the same results were obtained by the Zwick and Instron tests for the non-lubricated samples. However, although the general shapes of the curves were the same for the lubricated samples, the magnitude of the forces needed for 6.0 cm insertion were seen to be very different. The difference in the magnitudes of the forces might be caused by uneven spreading of the lubricant or the pipe's out of roundness, which are known to be very important parameters that may affect the insertion process for these pipes. The comparison of the results of the insertion tests for lubricated samples with the FEA results show that the best fit between the FEA and the experimental results was achieved for the lubricated sample tested in the Instron machine. The higher differences in the results of the other tests and the FEA are thought to be caused by some factors such as the pipe out of roundness, the change in the gasket stiffness along the spigot taper, and the experimental variability along spigot cylinder.

The results of the bending tests showed that the joint behavior is highly variable. Therefore, it is difficult to determine if lubrication influences bending in jointed pipes. However, these experiments were undertaken 6 weeks after insertion and it is not clear how much of the lubricant remained. This behavior results because time after insertion in the field could also influence the effectiveness of the lubrication, so that short term bending response under construction loads, for example, could be different to those after extensive time periods.

Keywords: PVC pipe, pipe joint, vertical deformation, bending deformation.

Giriş

Plastikler, termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Termoplastikler (polyvinyl chloride (PVC), polypropylene (PP), polybutylene (PB) ve acrylonitrile-butadienestyrene (ABS)), ısıl işlemler neticesinde eritilip valf ve flanş gibi çeşitli şekiller verilebilir. Termosetler (cam elyaf donatılı polyester (GFRP)) bir kez şekil verildikten sonra yeniden eritilip şekil verilebilme özelliğine sahip değildir. Buna karşılık termosetler, termoplastiklerden daha yüksek dayanıma sahiptir (Cowley, 1979; Larson, 1995; Troughton vd., 2006; Rahman ve Bird, 2006).

PVC, düşük maliyet, esneklik, hafiflik, nakliye, yerleştirme kolaylığı ve dayanıklılık gibi özellikleri sayesinde tüm dünyada temiz su ve atıksu borularında en yaygın olarak kullanılan malzemelerden biridir (Cowley, 1979; Larson, 1995; Troughton vd., 2006; Watkins ve Anderson, 1999; UNI-BELL PVC Pipe Association, 2003). Basınçlı PVC boruların birleştirilmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntem contalı birleştirmedir. Bu tür boru bağlantılarında borular iç içe yerleştirildiğinde conta iki boru parçası arasında sıkıştırılarak sızdırmazlık sağlanır (UNI-BELL PVC Pipe Association, 1990). Yerleşim sırasında borular arasındaki sürtünmeyi ve dolayısıyla da gerekli itme kuvvetini azaltmak amacıyla boruların iç ve dış yüzeylerine kayganlaştırıcı madde uygulanır. Kayganlaştırıcı madde olarak, bakteri oluşumuna fırsat vermeyen ve boru içerisindeki suyun kalitesini bozmayacak özellikte bir madde kullanılmalıdır. Ayrıca, kullanılan kayganlaştırıcı madde boru ve contanın malzeme özelliklerini de olumsuz yönde etkilememelidir (UNI-BELL PVC Pipe Association, 2002.a).

Boru bağlantılarında kullanılan contalar genellikle homojen ve donatısız lastikten üretilmektedir. Ancak, günümüzde PVC boru bağlantılarında kilitli conta ya da "rieber conta" olarak adlandırılan bir tür conta yaygın olarak kullanılmaktadır. Rieber contalar, imalat sırasında boru içine yerleştirilen içine ya da dışına bir çelik donatının monte edildiği, düzgün olmayan şekillere sahip contalardır. Bu tür contalarda

bulunan donatı bir yandan contaya destek sağlarken aynı zamanda contayı boruya doğru iterek öngerme de uygular. Elde edilen bu sıkı bağlantı, boru ve conta arasına toprak gibi yabancı malzemelerin girişini ve boru içerisindeki sıvının dışarı sızmasını önler (Alghamdi ve Al-Sanna, 2004; Rahman ve Bird, 2006; UNI-BELL PVC Pipe Association, 2000; UNI-BELL PVC Pipe Association, 1990; UNI-BELL PVC Pipe Association, 2002.b).

Boru bağlantılarının tasarımı, boru hattının performansı açısından oldukça kritik bir konudur. Boru bağlantı yerlerindeki herhangi bir hasar, boru hattının tamamının performansını olumsuz yönde etkileyebilecek problemlere yol açabilir (Dittel ve Quesada, 2008; Vidmar vd., 2008). Bağlantı yerlerinde en sık karşılaşılan hasar türü, yeraltı suyunun boru içine sızması ya da boru içindeki sıvının dışarı doğru sızması ve buna bağlı olarak da boru çevresindeki zeminde erozyon meydana gelmesidir. Çevre zeminde meydana gelen erozyonun boruda önemli stabilite problemlerine yol açabildiği bilinmektedir. Tasarım sırasında kullanılan pek çok parametre boru bağlantı yerlerinin performansını etkilediğinden kullanım sırasında bağlantı yerlerinin davranışını tahmin etmek oldukça güçtür. Boru ve conta arasındaki etkileşimin modellenmesi oldukça karmaşık bir problemdir ve bu nedenle bu etkileşimin incelenmesi ilgi çekici bir araştırma konusudur. Ancak, her ne kadar boru bağlantı noktaları boru performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olsa da, bu konuda çok az sayıda çalışma yapılmıştır (Kurdziel, 2004; Kurdziel ve Debb, 2002, Bucu, 2007; Krishna vd., 2007; Hau vd., 2005; Hau vd., 2004; Roberts, 2002; Toliver, 2002; Romer ve Kienow, 2004).

Bu çalışmada, boru bağlantılarının boruların birleştirilmesi ve ek yerlerinde dönme meydana gelmesi durumlarındaki davranışını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri ve sonlu elemanlar analizlerinin karşılaştırılması verilmektedir. Deneyler, anma çapı 135mm, et kalınlığı 5mm olan conta bağlantılı bir PVC boru üzerinde gerçekleştirilmiştir. ABAQUS sonlu elemanlar programı kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde (Balkaya ve Moore, 2009), deney-

lerde kullanılan boru ile aynı geometri ve malzeme özelliklerine sahip bir boru modellenmiştir. Deneyler ve sonlu elemanlar analizleri, boruların birbiri içine itilmesi için gerekli itme kuvvetini ve boruların bağlantı yerlerindeki eğilme davranışını belirlemek amacıyla iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar kuvvet-yer değiştirme (F_y-U_y) grafikleri halinde sunulmuştur.

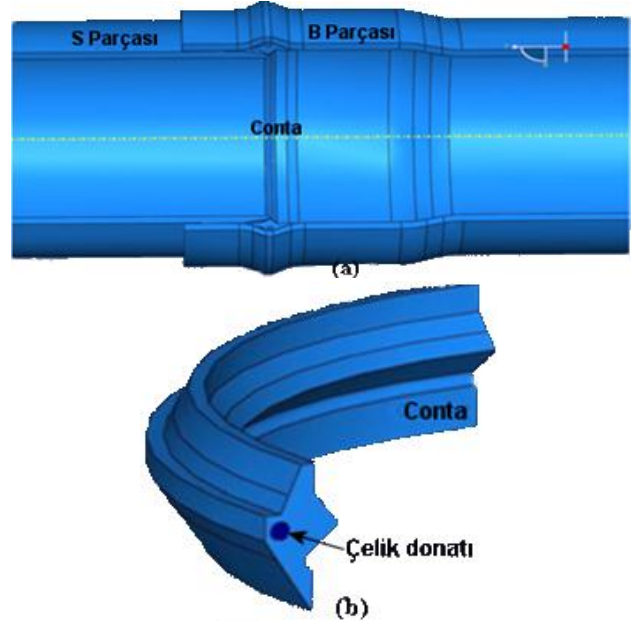
Sonlu eleman analizleri

ABAQUS 6.7 sonlu elemanlar programı kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde (Balkaya ve Moore, 2009), conta elastisite modülü, conta-PVC boru arasındaki sürtünme, boruların birbiri içine itilme boyu ve boru altındaki zemin desteğinde bir azalma ya da farklı oturmaya bağlı olarak ek yerlerinde ortaya çıkabilecek dönmenin kilitli conta (rieber conta) bağlantılı bir PVC borunun davranışına etkilerini inceleyen parametrik bir çalışma yapılmıştır.

Çalışmada incelenen boru birleşim detayları Şekil 1.a'da verilmiştir. Analizlerde kullanılan geometri ve boyutlar, boru numuneleri üzerinden doğrudan ölçüm yapılarak modellenmiştir. Boru birleşiminde kullanılan rieber conta, asimetrik şekle sahiptir ve ortasında çelik bir donatı bulunmaktadır (Şekil 1.b).

Analizler, boruların birbiri içine itilmesi ve boru birleşim yerlerindeki dönme modellemek amacıyla iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Boru birleşimi, bir borunun S parçasının (Spigot) diğer bir borunun B parçası (Bell) içine itilmesi suretiyle gerçekleştirilmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, S ve B parçaları aslında bir borunun iki farklı ucuna verilen isimlerdir (Şekil 2).

Sistem simetrik olduğundan, üç boyutlu sonlu elemanlar analizlerinde boruların yalnızca yarısı modellenmiştir. Analizlerde, conta ve boruyu modellemek amacıyla toplam 6784 adet elemandan oluşan bir sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Boru birleşim yerine yaklaştıkça gerilme ve deformasyonlarda beklenen ani değişimleri daha iyi modelleyebilmek amacıyla bu bölgede daha ince bir sonlu eleman ağı oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 1.(a) PVC boru birleşim detayı, (b) rieber conta detayı

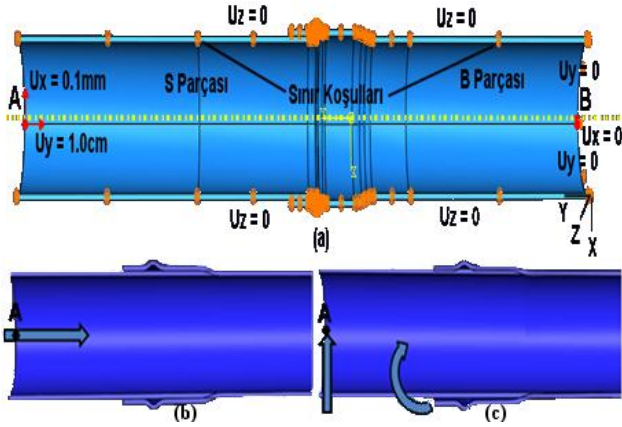


Şekil 2. Deneylerde kullanılan PVC borunun S ve B parçaları ve boru birleşim detayı



Şekil 3. Analizlerde kullanılan tipik bir sonlu elemanlar ağı örneği

İki aşamada gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri Şekil 4'te görülmektedir. İlk olarak, boruların birbiri içine itilmesi sırasında boru birleşim yerindeki contanın davranışını incelemek ve bu işlem için gerekli itme kuvvetini belirlemek amacıyla S parçasının B parçası içine itilmesi modellenmiştir (Şekil 4.b'de A noktası). İkinci olarak ise, boru birleşim yerinde meydana gelebilecek bir eğilmeyi modellemek amacıyla S parçasının üst orta noktasına yatay yer değiştirme uygulayarak (Şekil 4.c'de A noktası) bu parça B parçasına göre yatay yönde hareket etmeye zorlanmış, bu işlem sırasında B parçasının eksenel yöndeki hareketi ve dönmesine izin verilmemiştir.



Şekil 4. (a) Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan sınır şartları, (b) boruların birbirine itilme aşaması, (c) birleşim yerindeki dönmenin modellenmesi

Analizlerde boru ve conta lineer-elastik malzeme olarak modellenmiştir. Kullanılan malzeme özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Sonlu eleman analizlerinde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme	Elastisite modülü, E (N/m ²)	Poisson oranı, ν (-)
PVC	3x10 ⁹	0.33
Rubber	2x10 ⁵	0.3
Steel	200x10 ⁹	0.3

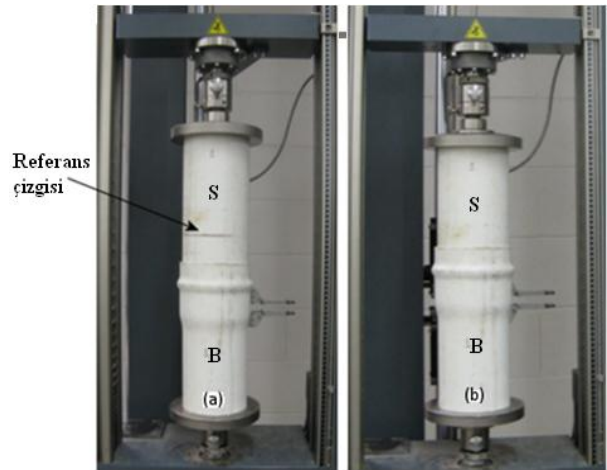
İtme deneyleri

Boruların iç içe itilmesi için gerekli kuvveti belirlemek amacıyla kayganlaştırıcı madde uygulanmış ve uygulanmamış numuneler üzerinde itme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kayganlaştırıcı madde olarak, üretici firma tarafından herhangi özel bir ürün kullanımı tavsiye edilmediği takdirde, sıvı sabun yada bitkisel yağ kullanımı yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde kayganlaştırıcı madde olarak sıvı sabun kullanılmıştır. Kayganlaştırıcı maddenin uygulanmasından önce boruların iç ve dış yüzeyleri iyice temizlenmiştir. Daha sonra üretici firma tarafından tavsiye edildiği şekilde, boru birleşimi boyunca B parçasının iç yüzeyi ve S parçasının contayla temas eden dış yüzeyine mümkün olduğunca homojen bir biçimde kayganlaştırıcı madde (sıvı sabun) sürülmüştür.

Deney sonuçlarının doğruluğunu kontrol etmek amacıyla Zwick Z020 ve Instron 8802 universal deney aletleri olmak üzere iki farklı deney aleti kullanılmıştır.

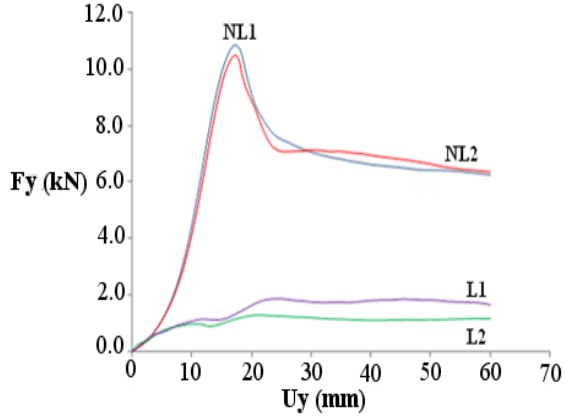
Zwick deneyleri

İki adet kayganlaştırıcı madde uygulanmış (L1, L2), iki adet de uygulanmamış (NL1, NL2) numune olmak üzere toplam dört adet numune üzerinde, 20 kN yükleme kapasitesine sahip Zwick Z020 universal deney aletinde basınç koşullarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Basınç uygulama hızı 10mm/dak. olarak seçilmiş ve deneyler sırasında S parçası üzerindeki referans çizgisine ulaşıncaya kadar (6.0cm itme boyu) bu parçanın B parçası içine itilmesine devam edilmiştir. ZWICK deney aletine bağlı bir bilgisayar yardımıyla deneylerden elde edilen yük-deformasyon verileri kaydedilmiştir. Şekil 5’te itme deneylerinin ilk ve son aşamaları görülmektedir.



Şekil 5. İtme deneyi (Zwick Z020 deney aleti), (a) ilk aşama, (b) son aşama

Deney sonuçları Şekil 6’da verilmektedir. Grafiklerden açıkça görüldüğü gibi, kayganlaştırıcı madde uygulaması boruların iç içe itilmesi için gerekli kuvveti azaltmaktadır. Kayganlaştırıcı madde uygulanmış ve uygulanmamış tüm numunelerin birleştirilmesi için gerekli en yüksek itme kuvveti, S parçasının eğimli ucunun geçilip, silindirik dış yüzeyinin conta ile temas haline geldiği ve contanın S ve B parçaları arasında tamamen sıkıştırıldığı bir itme boyuna karşılık gelmektedir.



Ş ekil 6. Kuvvet-düşey yer değiştirme grafiği

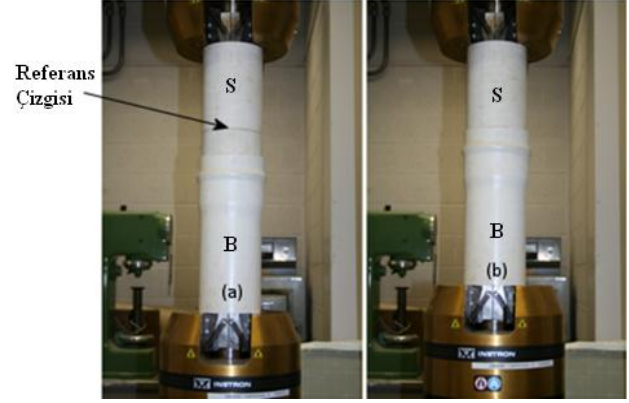
Instron deneyleri

Zwick deney aleti kullanılarak gerçekleştirilen deneylere ilaveten, kayganlaştırıcı madde uygulanmış ve uygulanmamış olmak üzere toplam iki adet boru numunesi aynı şartlar altında Instron 8802 deney aletinde basınç koşullarında test edilmiştir. Basınç uygulama hız ı diğ er deneylerdekiyle aynı olacak şekilde 10mm/dak. olarak seç ilmiş ve deneyler sırasında S parças ı üzerindeki referans çizgisine ulaş ılıncaya kadar (6.0cm itme boyu) bu parç anın B parças ı iç ine itilmesine devam edilmiştir. Instron deney aletine bağlı bir bilgisayar yardımıyla deneylerden elde edilen yük-yer değiştirme verileri kaydedilmiştir. Ş ekil 7'de itme deneylerinin ilk ve son aşamaları görülmektedir.

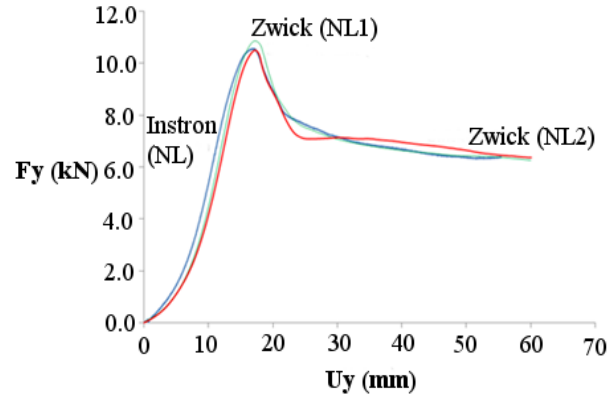
Deney sonuçlarının karşılaştırılması

Ş ekil 8 ve Ş ekil 9'da sırasıyla kayganlaştırıcı madde uygulanmış ve uygulanmamış numuneler üzerinde gerçekleştirilen Zwick ve Instron deney sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Ş ekil 8'de verilen grafik sonuçlarına göre, kayganlaştırıcı madde uygulanmamış numuneler üzerinde gerçekleştirilen Zwick ve Instron deney sonuçlarının hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Bununla beraber, kayganlaştırıcı madde uygulanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçlarından elde edilen grafiklerin şekli genel itibariyle aynı olmakla beraber, 6.0cm itme boyu için gerekli kuvvetin iki deneyde de oldukça farklı değ erler aldığı görülmektedir (Ş ekil 9). Kuvvetlerde gözlenen bu farklılığın sebebinin kayganlaştırıcı maddenin

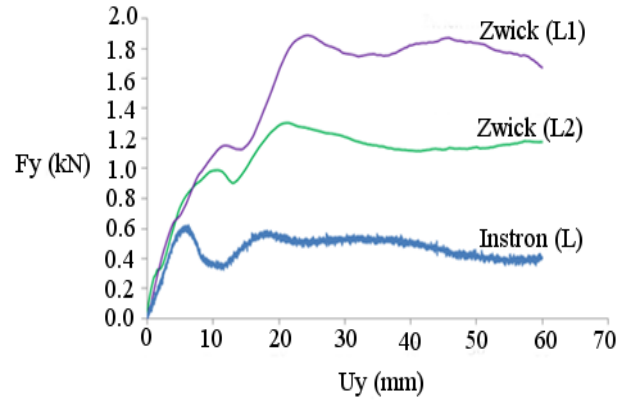
düzgün olarak dağılmamas ı yada boru enkesitle-
rinin tam dairesel olmamas ı gibi deney sonuçla-
rını önemli derecede etkileyebilecek parametre-
ler nedeniyle gerç ekleş tiğ i düşünölmektedir.



Ş ekil 7. İtme deneyi (Instron 8802 deney aleti),
(a) ilk aşama, (b) son aşama



Ş ekil 8. Kayganlaştırıcı madde uygulanmamış
numuneler



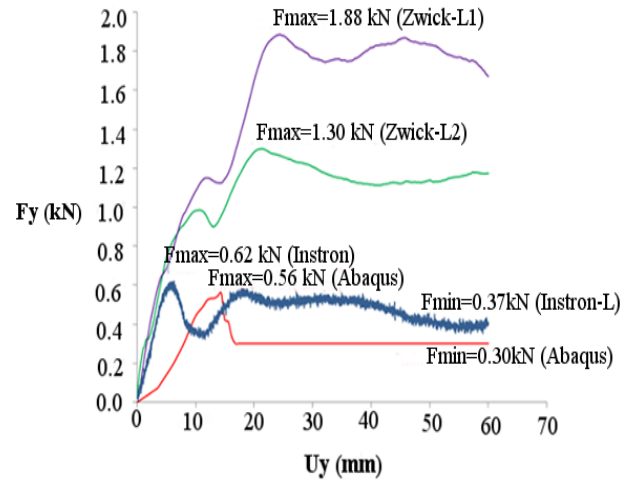
Ş ekil 9. Kayganlaştırıcı madde uygulanmış
numuneler

Deneyler ve sonlu elemanlar analizlerinin karşılaştırılması

Kayganlaştırıcı madde sürülmüş numuneler üzerinde gerçekleştirilen itme deneyleri, aynı duruma karşılık gelen sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçlar ile (Balkaya ve Moore, 2009) de karşılaştırılmıştır. Şekil 9'dan görüldüğü gibi, kayganlaştırıcı madde uygulanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilen Zwick deneylerinden elde edilen kuvvet değerleri Instron deneylerinden elde edilen değerlerden yüksektir. Sonlu elemanlar analizleri ve deneyler arasındaki en yakın sonuç, kayganlaştırıcı madde uygulanmış numune üzerinde gerçekleştirilen Instron deneyinden elde edilmiştir. Şekil 10'da, deney sonuçları ve sonlu elemanlar analizi sonuçlarının karşılaştırması verilmektedir. Sonlu elemanlar analizi ve Instron deneylerinden elde edilen en yüksek itme kuvvetleri sırasıyla 0.56 kN ve 0.62 kN; en düşük kuvvetler ise 0.30 kN ve 0.37kN olarak belirlenmiştir. Zwick deneyleri ve sonlu elemanlar analizleri arasındaki en yüksek ve en düşük kuvvetler arasındaki fark yüksek olmakla beraber, Instron deneyi ve sonlu elemanlar analizleri arasındaki fark kabul edilebilir sınırlar dahilindedir.

Sonlu elemanlar analizi ve diğer deney sonuçları arasında gözlenen farklılıkların üretim hatası sonucu boru en kesitlerinin tam dairesel olmaması, S parçasının eğimli yüzeyi boyunca temas eden contanın rijitliğindeki değişim ve S parçasının silindirik dış yüzeyi boyunca oluşan pürüzlülük farklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonlu elemanlar analizlerinde boru birleşimini oluşturan S ve B parçaları düzgün silindirler olarak modellenmiştir. Bu nedenle, S parçası B parçasının içine itildiğinde, bu iki parça arasındaki çap farkı nedeniyle oluşan küçük boşluk bu parçalar arasındaki sürtünmeyi önlediğinden, itme deneyleri sırasında ölçülen kuvvet sürtünmeden etkilenmemiştir. Bununla beraber, deneylerde kullanılan boru numuneleri tam düzgün silindir şekillere sahip olmayabilir. Bu nedenle birleştirilen iki boru parçası arasında fazladan bir sürtünme kuvveti oluşarak itme kuvvetinde bir artış meydana gelmesine sebep olabilir. Aynı zamanda, sonlu elemanlar analiz-

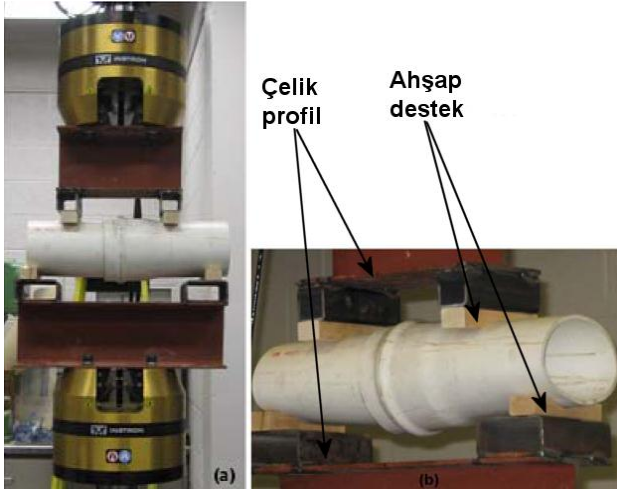
lerinde S parçası çap boyunca conta ile üniform bir temas sağlayacak şekilde, yani ideal durumda modellenmiştir. Ancak, deneyler sırasında boru ve conta geometrisinde olabilecek küçük üretim hataları nedeniyle bu temasın ideal şartları yansıtmayı yansıtmadığından kesin olarak emin olmak mümkün değildir. Deneylerde kullanılan borular saydam olmadığından, deneyden önce bu yerleşimin kontrolünü yapma fırsatı yoktur. Ayrıca, kullanılan kayganlaştırıcı maddenin deney sonuçları üzerinde oldukça büyük bir etkisi olduğu bilinmektedir. Ancak, deneylerden önce numune hazırlanması sırasında büyük bir özen gösterilmesine rağmen yeterli kayganlaştırıcı maddenin ulaşmadığı küçük bölgeler olabileceğinden, deney sırasındaki itme kuvvetlerinin bu nedenle yüksek çıkmasının söz konusu olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 10. Deneysel çalışma ve sonlu elemanlar analizleri sonuçlarının karşılaştırılması

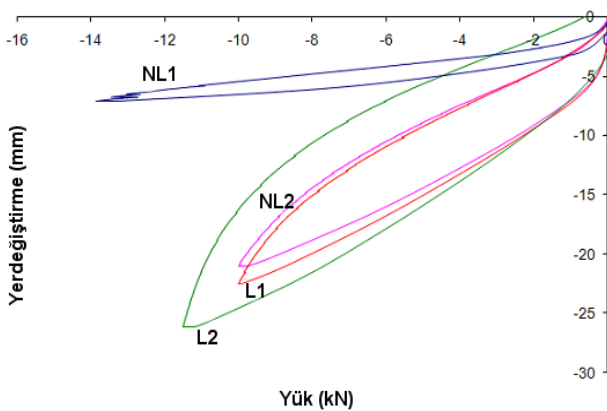
Eğilme deneyleri

Boru-counta birleşiminde meydana gelecek bir eğilmenin boruların davranışına etkisini incelemek amacıyla dört adet boru numunesi üzerinde eğilme deneyleri yapılmıştır. Deneyler, Instron 8802 deney aletinde dört noktalı eğilme şartları altında gerçekleştirilmiştir. Şekil 11'de deney düzeneği görülmektedir. Deneylerde PVC boru, Instron aletine sabitlenmiş çelik profiller üzerinde oturtulmuş ve boruların dış hatlarına tam uyacak şekilde imal edilmiş ahşap destekler arasına yerleştirilmiştir.



Şekil 11. (a) Eğilme deney düzeneği, (b) Eğilmeye maruz kalmış boru

Eğilme deneylerinin sonuçları Şekil 12'de yük-yerdeğiştirme grafikleri haline sunulmaktadır. Şekillerden de görüldüğü üzere (Şekil 8'de NL1-NL2, Şekil 7'de L1-L2), boru bağlantılarının eğilme davranışı oldukça değişkendir. Bu nedenle, kayganlaştırıcı madde uygulamasının boruların eğilme davranışı üzerindeki etkisini belirlemek güçtür. Bununla beraber, eğilme deneyleri itme deneylerinden 6 hafta sonra gerçekleştirildiğ inden dolayı borularda ne kadar kayganlaştırıcı maddenin kaldığı veya etkisinin ne kadar azaldığı belli değildir. Bu sonuçlar, arazide boru yerleşiminin ardından geçen sürenin kayganlaştırıcı maddenin etkisini azaltabileceğini ve bu nedenle de kısa süreli eğilme davranışının uzun süreli davranıştan farklı olabileceğini göstermektedir.



Şekil 12. Eğilme deneyleri sonucunda elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme grafikleri

Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kayganlaştırıcı madde uygulaması, boruların iç içe itilmesi için gerekli kuvveti azaltmaktadır.
- Kayganlaştırıcı madde uygulanmış ve uygulanmamış tüm numunelerin birleştirilmesi için gerekli en yüksek itme kuvveti, S parçasının eğimli ucunun geçilip, silindirik dış yüzeyinin conta ile temas haline geldiği ve contanın S ve B parçaları arasında tamamen sıkıştırıldığı bir itme boyuna karşılık gelmektedir.
- Kayganlaştırıcı madde uygulanmamış numuneler üzerinde gerçekleştirilen Zwick ve Instron deney sonuçlarının hemen hemen aynı olduğu gözlenmiştir.
- Kayganlaştırıcı madde uygulanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçlarından elde edilen grafiklerin şekli genel itibariyle aynı olmakla beraber, 6.0cm itme boyu için gerekli kuvvetin iki deneyde de oldukça farklı değerler aldığı görülmektedir. Kuvvetlerde gözlenen bu farklılığın sebebinin kayganlaştırıcı maddenin düzgün olarak dağılması ya da boru enkesitlerinin tam dairesel olmaması gibi deney sonuçlarını önemli derecede etkileyebilecek parametreler nedeniyle gerçekleştiği düşünülmektedir.
- Sonlu elemanlar analizi ve Instron deneylerinden elde edilen en yüksek itme kuvvetleri sırasıyla 0.56 kN ve 0.62 kN; en düşük kuvvetler ise 0.30 kN ve 0.37kN olarak belirlenmiştir.
- Zwick deneyleri ve sonlu elemanlar analizleri arasındaki en yüksek ve en düşük kuvvetler arasındaki fark yüksek olmakla beraber, Instron deneyi ve sonlu elemanlar analizleri arasındaki fark kabul edilebilir sınırlar dahilindedir.
- Sonlu elemanlar analizi ve diğer deney sonuçları arasında gözlenen farklılıkların boru

enkesitlerinin tam dairesel olmaması, S parçasının eğimli yüzeyi boyunca temas eden contanın rijitliğindeki değişim ve S parçasının silindirik dış yüzeyi boyunca oluşan deneysel farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

- Sonlu elemanlar analizlerinde borular düzgün silindirler olarak modellenmiştir. Bu nedenle, borular iç içe itildiğinde aradaki çap farkı sonucu oluşan küçük boşluk bu parçalar arasındaki sürtünmeyi önlemekte ve böylece itme deneyleri sırasında ölçülen kuvvet sürtünmeden etkilenmemektedir. Ancak, deneylerde kullanılan boru numuneleri tam düzgün silindir şekillere sahip olmayabilir. Bu nedenle birleştirilen iki boru parçası arasında fazladan bir sürtünme kuvveti oluşarak itme kuvvetinde bir artış meydana gelmesine sebep olabilir.
- Sonlu elemanlar analizlerinde S parçası çap boyunca conta ile üniform bir temas sağlayacak şekilde, yani ideal durumda modellenmiştir. Ancak, deneyler sırasında boru ve conta geometrisinde olabilecek küçük üretim hataları nedeniyle bu temasın ideal şartları yansıtmayı yansıtmadığından kesin olarak emin olmak mümkün değildir.
- Deneylerde kullanılan borular saydam olmadığından, deneyden önce bu yerleşimin kontrolünü yapma fırsatı yoktur.
- Kullanılan kayganlaştırıcı maddenin deney sonuçları üzerinde oldukça büyük bir etkisi olduğu bilinmektedir. Ancak, deneylerden önce numune hazırlanması sırasında büyük bir özen gösterilmesine rağmen yeterli kayganlaştırıcı maddenin ulaşmadığı küçük bölgeler olabileceğinden, bu bölgelerde artan sürtünmeye bağlı olarak deney sırasındaki itme kuvvetlerinin yüksek çıkma ihtimalinin söz konusu olabileceği düşünülmektedir.
- Eğilme deneylerinin sonuçları boru bağlantılarının eğilme davranışı oldukça değişken olduğunu gösterdiğinden, kayganlaştırıcı madde uygulamasının boruların eğilme davranışı üzerindeki etkisini belirlemek güçtür.

- Eğilme deneyleri itme deneylerinden 6 hafta sonra gerçekleştirildiğinden dolayı borularda ne kadar kayganlaştırıcı maddenin kaldığı ve etkisinin ne kadar azaldığı belli değildir.
- Bu sonuçlar, arazide boru yerleşiminin ardından geçen sürenin kayganlaştırıcı maddenin etkisini azaltabileceğini ve bu nedenle de kısa süreli eğilme davranışının uzun süreli davranıştan farklı olabileceğini göstermektedir.

Kaynaklar

- Alghamdi, A.A. ve Al-Sanna, M.S., (2004). Two-Dimensional Finite Element Analysis for Large Diameter Steel Flanges, *Journal of Pressure Vessel Technology*, **126**, 399-403.
- Balkaya, M., and Moore, I.D., (2009). Analysis of a Gasketed PVC Pipe-Joint, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, **2131/2009**, 113-122.
- Buco, J., (2007). Analyse et Modélisation du Comportement Mécanique des Conduites Enterrées, *Doktora Tezi*, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- Cowley, W. E., (1979). Design Aspects of Butt Welded Thermoplastic Pipes, *Materials in Engineering Applications*, **1**, 323-327.
- Dittel, C. ve Quesada, G., (2008). Innovation by Evolution: Modern Techniques for Integral Pipe Joint Design. *Pipelines 2008, CD-ROM*, American Society of Civil Engineers, 1-10, Atlanta, Georgia.
- Hau, Y., Clarke, B., Howes, C., Cunningham, R., ve Matthews, M., (2005). Defects in Sewer Pipe Joints and Water Tests, *Water Management*, **158**, WM3, 119-125.
- Krishna, M.M., Shunmugam, M.S. ve Prasad, N.S., (2007). A Study on the Sealing Performance of Bolted Flange Joints with Gaskets Using Finite Element Analysis. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, **84**, 349-357.
- Kurdziel, J.M., (2004). Design of Profile Gaskets for Corrugated Polyethylene Pipe. *Pipelines 2004 International Conference, Part of Pipeline Engineering and Construction: What's on the Horizon?*, 1-10, San Diego, California.
- Kurdziel, J.M., and Debb, F.M., (2002). Design of Profile Pipe Gaskets. *TRB 2002 Annual Meeting, CD-ROM*, Transportation Research Board of the National Academies, 02-2828, Washington, DC.
- Larson, L.E., (1995). *Plastics Pipes for Water Supply and Sewage Disposal*, Stockholm.

- Rahman, S. ve Bird W., (2006). PVC Pipe Jointing: The Rieber System in North America. *Plastic Pipes XIII Conference Proceedings CD-ROM*, 1-10, Washington, DC.
- Roberts, B.C., (2002). Coupling Systems for Corrugated Steel Pipe. *TRB 2002 Annual Meeting CD-ROM*. Transportation Research Board of the National Academies, 02-4092, Washington, DC.
- Romer, A.E., ve Kienow, K.K., (2004). Rubber Gasket Concrete Pipe Joints...Eliminating the Smoke and Mirrors. *Pipelines 2004 International Conference. Part of Pipeline Engineering and Construction: What's on the Horizon?*, 1-13, San Diego, California.
- Toliver, T., (2002). Composite Material Pipe Joint Design and Analysis for 36 Diameter Corrugated High Density Polyethylene (HDPE) Pipe, *TRB 2002 Annual Meeting CD-ROM*, Transportation Research Board of the National Academies, 02-4134, Washington, DC.
- Troughton, M., Brown, B., Hessel, J., ve Piovano, M., (2006). Comparison of long term and short term tests for electrofusion joints in PE pipes. *Plastic Pipes XIII Conference Proceedings CD-ROM*, 1-10, Washington, DC.
- Uni-Bell PVC Pipe Association, (2000). *Handbook of PVC Pipe: Design and Construction*, 4th Edition, Dallas, Texas, USA.
- Vidmar, T., Rosser, M., Parks, R., (2008). Insights Gained from October 2006 Failure of the Hometown Pipeline, *Pipelines 2008 CD-ROM*, 1-10, American Society of Civil Engineers, Atlanta, Georgia.
- Watkins, R.K., ve Anderson, L.R., (1999). *Structural Mechanics of Buried Pipes*, CRC Press., New York.
-
- Uni-Bell PVC Pipe Association, (2002.a). Recommended Specification for Thermoplastic Pipe Joints, Pressure and Non-Pressure Applications. <http://www.unibell.org/pubs/uni-b-1.pdf>, (24.01.2008).
- Uni-Bell PVC Pipe Association, (1990). Recommended Performance Specifications for Polyvinyl Chloride (PVC) Profile Wall Gravity Sewer Pipe and Fittings Based on Controlled Inside Diameter (Normal Pipe Sizes 4-48 inches). <http://www.uni-bell.org/pubs/unib-9.pdf>, (24.01.2008).
- Uni-Bell PVC Pipe Association, (2002.b). Thermoplastic Pressure Pipe Design and Selection. <http://www.uni-bell.org/pubs/uni-tr-7.pdf>, (24.01.2008).
- Uni-Bell PVC Pipe Association, (2003). The Effects of Ultraviolet Radiation on PVC Pipe. <http://www.uni-bell.org/pubs/uni-tr-5.pdf>, (24.01.2008).