

ZEMİN GÖÇME MEKANİZMASININ GÖMÜLÜ BORULARIN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BURIED PIPES ON FAILURE MECHANISM OF SOIL

Selçuk BİLDİK¹, Baran TULAN², Gizil TAK³, Peter ROGENBUKE⁴, Özer ÇİNİCİOĞLU⁵

ÖZET

Temel zemininin göçme mekanizması içinde yer alacak borunun göçme mekanizmasına etkisinin belirlenmesi oldukça zor ve karmaşık bir problemdir. Bu çalışmada laboratuvar model deneyleri ile temel zemini içindeki borunun göçme mekanizmasına etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda Parçacık Görüntülü Hız Ölçüm (PIV) tekniği kullanılarak, borunun yük aktaran temel altında oluşan göçme mekanizmaları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan borunun temel zemini içine yerleştirilmesi durumunda konumuna göre göçme mekanizmasının önemli mertebede etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Gömülü boru, PIV, göçme yüzeyi, temel.

ABSTRACT

It is a very difficult and complex problem to determine the effect of the pipe, which will be included in the failure mechanism of the foundation soil, on the failure mechanism. In this study, the effect of the pipe in the foundation soil on the collapse mechanism was investigated with laboratory model experiments. In experimental studies, the failure mechanisms that occur under the foundation under external loading were determined by using the Particle Image Velocity Measurement (PIV) technique. From the results obtained, it has been seen that the failure mechanism has a significant effect on the position of the pipe when it is placed in the foundation soil.

Keywords: Buried pipe, PIV, failure surface, foundation.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Nişantaşı Üniversitesi, selcuk.bildik@nisantasi.edu.tr (Sorumlu yazar)

² İnş. Müh., Boğaziçi Üniversitesi, barantulan963@gmail.com

³ İnş. Müh., Nişantaşı Üniversitesi, giziltak@gmail.com

⁴ İnş. Müh., Boğaziçi Üniversitesi, peterogenbuke@gmail.com

⁵ Prof. Dr., Boğaziçi Üniversitesi, ozer.cinicoglu@boun.edu.tr

1. GİRİŞ

Zeminlerle ilgili problemler genel olarak zemin özelliklerinin belirlenmesi ve zemin-yapı etkileşimi problemleri olmak üzere ikiye ayrılabilir. Zemin özelliklerinin belirlenmesinde konvansiyonel zemin mekaniği deneyleri kullanılmaktadır. Ancak zemini bir kütle olarak düşündüğümüzde zemin üzerinde ya da zemin içinde yer alan herhangi bir yapının zeminle etkileşimi model deneyler yardımıyla araştırılmalıdır. Geçmişten günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından üzerinde çalışmalar yapılan önemli zemin-yapı etkileşimi problemlerinden biri de gömülü boru sistemleridir. Gömülü borular zemin içinde yer alan yapılar olup, zemin ile doğrudan etkileşim içindedirler. Günlük kullanım açısından değerlendirildiğinde temiz su, atık su, elektrik, doğalgaz, petrol ve benzeri ürün/hammaddelerin taşınmasında kullanılan gömülü boruların yapısal güvenliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır.

Zemin içine gömülü boru sistemlerinin davranışları ile ilgili farklı problemlerle karşılaşılmaktadır. Gömülü boruların davranışının incelendiği ilk çalışmalarda genellikle boruya etkiyen yüklerin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Gömülü borularla ilgili ilk teorik çalışmalar 1913 yılında Marston ile başlamış olup, Spangler (1941), Burns ve Richards (1964), Hoeg (1968) tarafından yapılmış olup, bu çalışmalarda zemin-boru etkileşimi problemlerinin elastik çözümleri üzerinde durulmuştur. Teorik çalışmaların yanı sıra birçok araştırmacı gömülü boruların davranışını model deneyler kullanarak incelemişlerdir (Selig, 1993; Branchman, 1999; Cho, 2003; Rogers, 1996; Smith, 2004; Cameron, 2005; Terzi, 2007). Bu çalışmalarda genellikle hücresel bir basınç altında boruların davranışları incelenmiştir.

Pratik uygulamada gömülü boru sistemleri, şehir merkezleri içinden genel olarak yol güzergâhları boyunca, yol yapıları altında yer almaları nedeniyle sabit bir statik yükün yanı sıra sürekli devam eden tekrarlı yüklere maruz kalmaktadırlar. Gömülü borular döşendikten sonra geri dolguların yeterli kalitede olmaması ve borunun yüzeysel yüklerden dolayı oluşan gerilme ortamı altına yerleştirilmemesi durumunda, zeminde taşıma gücü yenilmeleri ve oturmalar meydana gelebilmekte, çoğu zaman bu oturmalar ve yenilmeler nedeniyle gömülü boru hatları zarar görmektedir. Bu nedenle borunun hücresel bir basınç altındaki davranışından çok, yüzeysel yükler altında zemin ve yapı ile etkileşiminin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Söz konusu etkileşimin doğru olarak belirlenmemesi durumunda zemin yüzeyinde yer alacak yapının ve boru hattının zarar görmesi olmak üzere iki boyutlu sonuçlar ortaya çıkabilir.

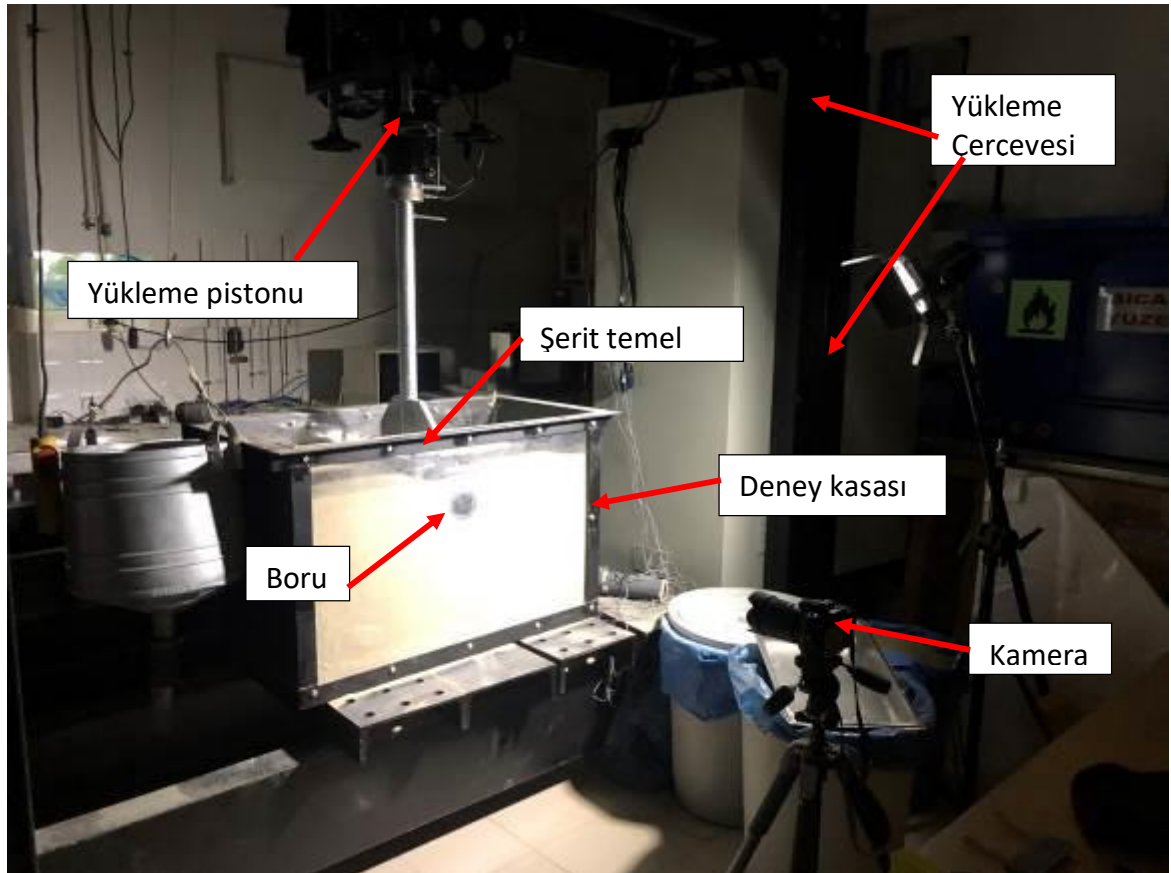
Gömülü boru tasarımını doğrudan etkileyen zemin parametreleri ile göçme yüzeylerinin deneySEL olarak belirlenmesi, problemi daha çözülebilir kılacaktır. Ancak özellikle göçme yüzeylerinin deneySEL olarak belirlenmesi en büyük zorluk olarak ortaya çıkmaktadır. Literatür çalışmaları değerlendirildiğinde düşey yüklü temel altında oluşacak göçme yüzeylerinin belirlenerek zemin içindeki boruya etkisinin araştırıldığı bir çalışma mevcut değildir.

Bu çalışmada son yıllarda geoteknik mühendisliği uygulamalarında da kullanılmaya başlanan “Parçacık Görüntülü Hız Ölçüm-PGHÖ” (PIV – particle image velocimetry) yönteminin düşey yüklü temel altında oluşacak göçme yüzeylerinin belirlenmesinde kullanılması hedeflenmiştir. Çalışmada farklı borunun farklı gömülme derinlikleri (H/D) ve borunun temelden uzaklığına (x/D) bağlı zemin-yapı-boru etkileşimi problemi ele alınmıştır. Yük-deplasman eğrileri ve PIV analizleri ile H/D ve x/D parametreleri araştırılmış

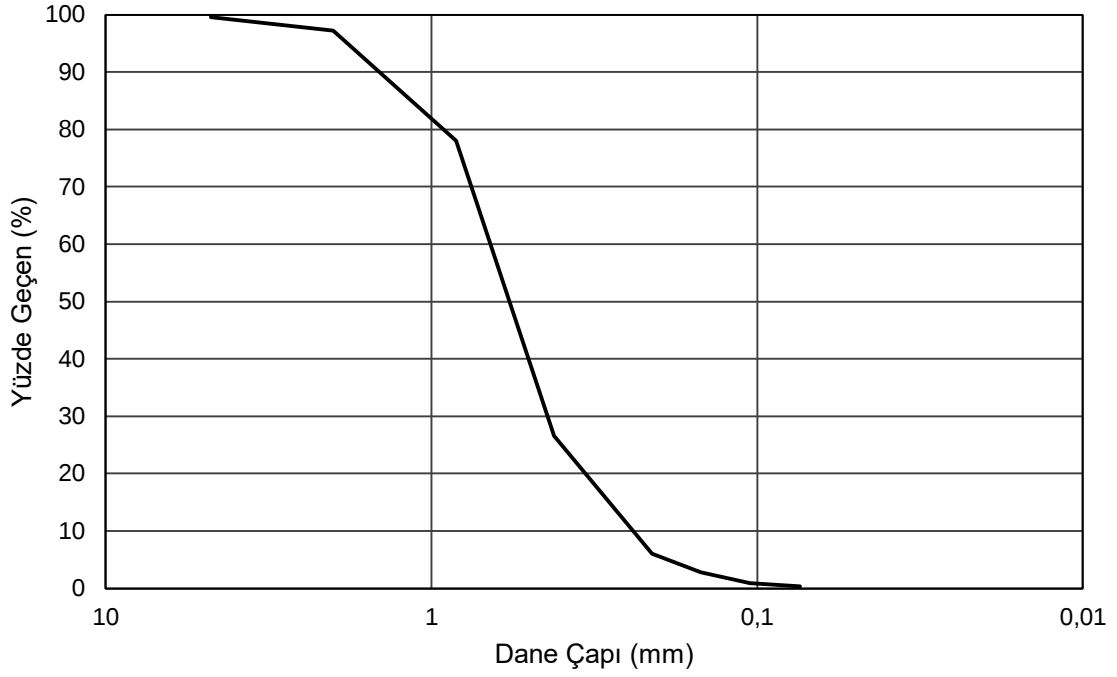
olup, bu parametrelerin temel zemininin taşıma gücünü ve temel zemininde oluşan göçme yüzeylerini doğrudan etkilediği görülmüştür.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Model deneyler Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Zemin Mekaniği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilecek deneyler için özel bir yükleme çerçevesi imal edilmiştir. Yükleme çerçevesi düşey yönde yükleme esnasında reaksiyon oluşturacak şekilde 20 ton kapasiteli olarak tasarlanmıştır. Çerçeve üzerine düşey yönde yüklemeyi sağlayacak hidrolik bir piston ve hidrolik pistonu kontrol eden özel elektronik bir ünite ile belirli deplasman veya yüke göre ayarlanmıştır. Özel olarak imal edilen bir kasaya kum ve boru yerleştirildikten sonra şerit bir temel yardımıyla yükleme gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin data okuyucu ile kaydedilerek analiz edilmiştir. Deneyler esnasında “Parçacık Görüntülü Hız Ölçüm-PGHÖ” (PIV – particle image velocimetry) yöntemi yardımıyla farklı koşullar altında göçme yüzeyleri belirlenmiştir. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü Şekil 1’de gösterilmektedir. Deneyler kum zemin koşullarında gerçekleştirilmiş olup, zeminin granülometri eğrisi Şekil 2’de sunulmaktadır.

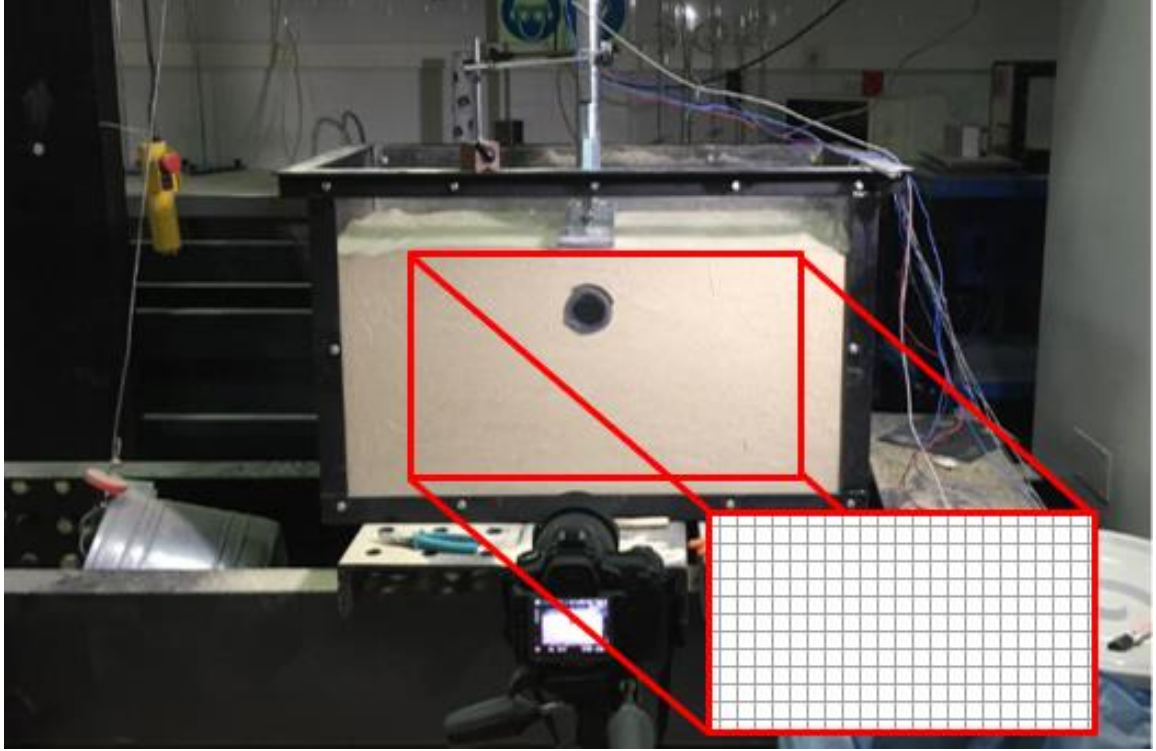


Şekil 1. Deney düzeneği

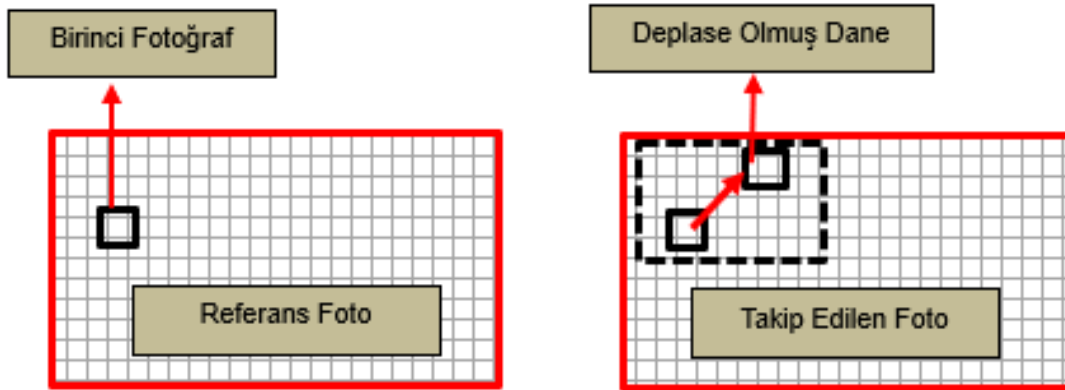


Şekil 2. Deneylerde kullanılan kuma ait granülometri eğrisi

Deneyler sonuçları iki aşamalı olarak analiz edilerek değerlendirilmiştir. Bu analiz aşamalarından ilki, hidrolik yükleme sistemi ile rijit temele aktarılan yüklerin analizi, yükler altında temelde meydana gelen düşey deformasyonların belirlenmesi ve yükleme aşamalarında boru üzerinde oluşan birim deformasyonların ve buna bağlı olarak gerilmelerin belirlenmesidir. Bu amaçla veri kaydetme ünitesinin bağlı olduğu bilgisayarda LabVIEW isimli program kullanılmıştır. İkinci analiz aşaması ise şerit temelin yüklenmesi esnasında düşey yönde oluşan deplasmana bağlı olarak temel zemininde meydana gelen göçme yüzeyleri “Parçacık Görüntülü Hız Ölçüm-PGHÖ” (PIV – particle image velocimetry) yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntemde deney esnasında çekilen yüksek çözünürlüklü fotoğraflar GeoPIV_RG isimli yazılımla analiz edilerek değerlendirilmiştir. Yenilme yüzeylerinin belirlenmesi, zemin parçacıklarının hareketinin anlık olarak izlenmesi ve hareketin grafiğinin çıkarılması ile mümkün olmaktadır. Öncelikle analiz edilecek bölge belirlenerek alan bu bölgedeki zeminlerin hareketleri istenen her yük kademesi için görüntülenmektedir (Şekil 3 ve 4). Daha sonra danenin hareketi program yardımıyla analiz edilerek yenilme yüzeyleri belirlenmiştir.



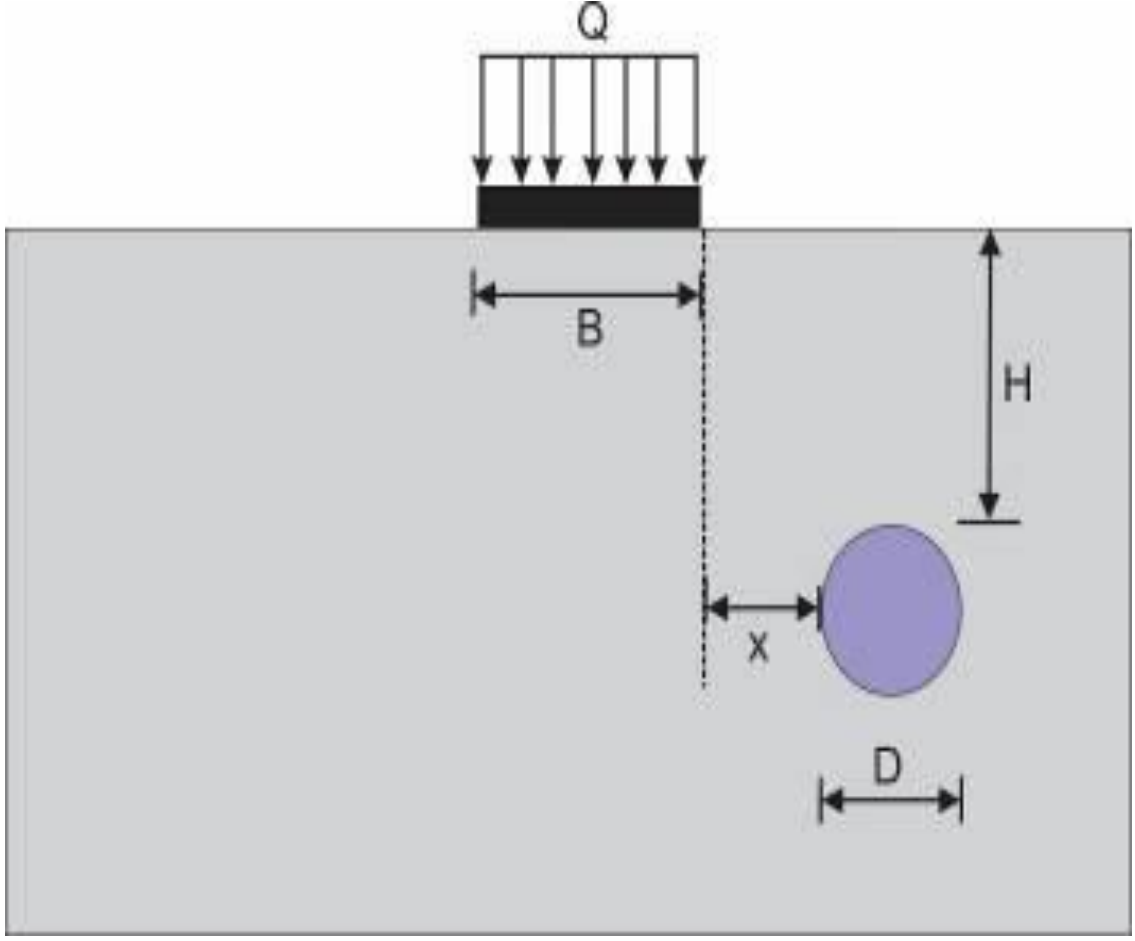
Şekil 3. Deney esnasında PIV analizi yapılan bölge



Şekil 4. PIV analizinde deforme olan danenin izlenmesi

3. DENEY SONUÇLARI

Model deneyler yardımıyla borunun gömülme derinliği ile belirli bir gömülme derinliği durumunda borunun temelden uzaklığının taşıma gücüne ve temel zemininde oluşan göçme yüzeylerine etkisi araştırılmıştır. Deneylerde araştırılan parametrelerin şematik gösterimi Şekil 5’de sunulmaktadır. Deneyler orta sıkı (%65) relatif sıklıktaki kum zeminlerde gerçekleştirilmiş olup, deney programı Tablo 1’de sunulmaktadır.



Şekil 5. Deneylerde araştırılan parametrelerin şematik gösterimi

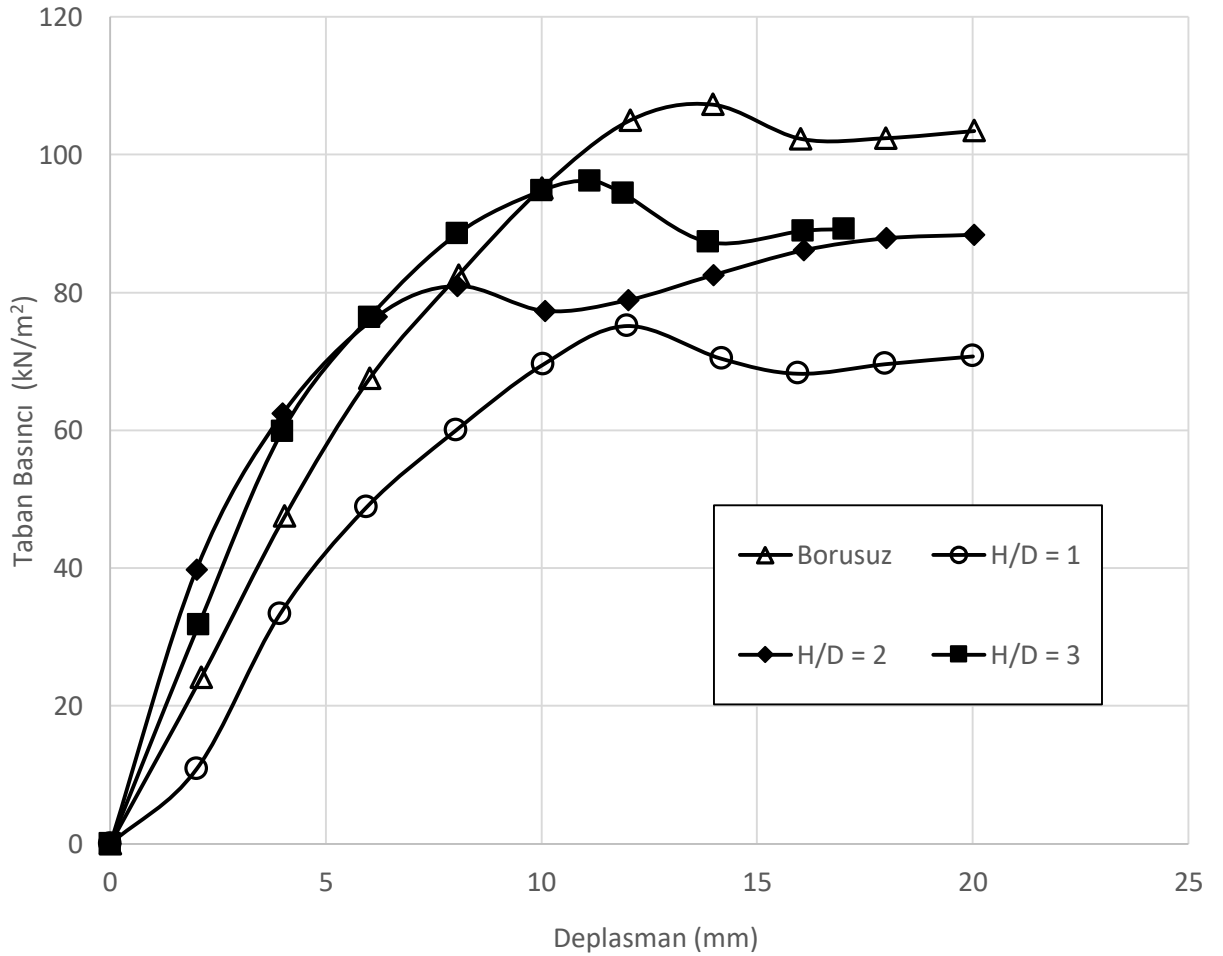
Tablo 1. Deney programı

Deney No	Gömülme derinliği (H/D)	Borunun temelden uzaklığı (x/D)
UR1	Borusuz	Borusuz
UR2	1	Merkezde
UR3	2	Merkezde
UR4	3	Merkezde
UR5	1	0
UR6	1	1
UR7	1	2

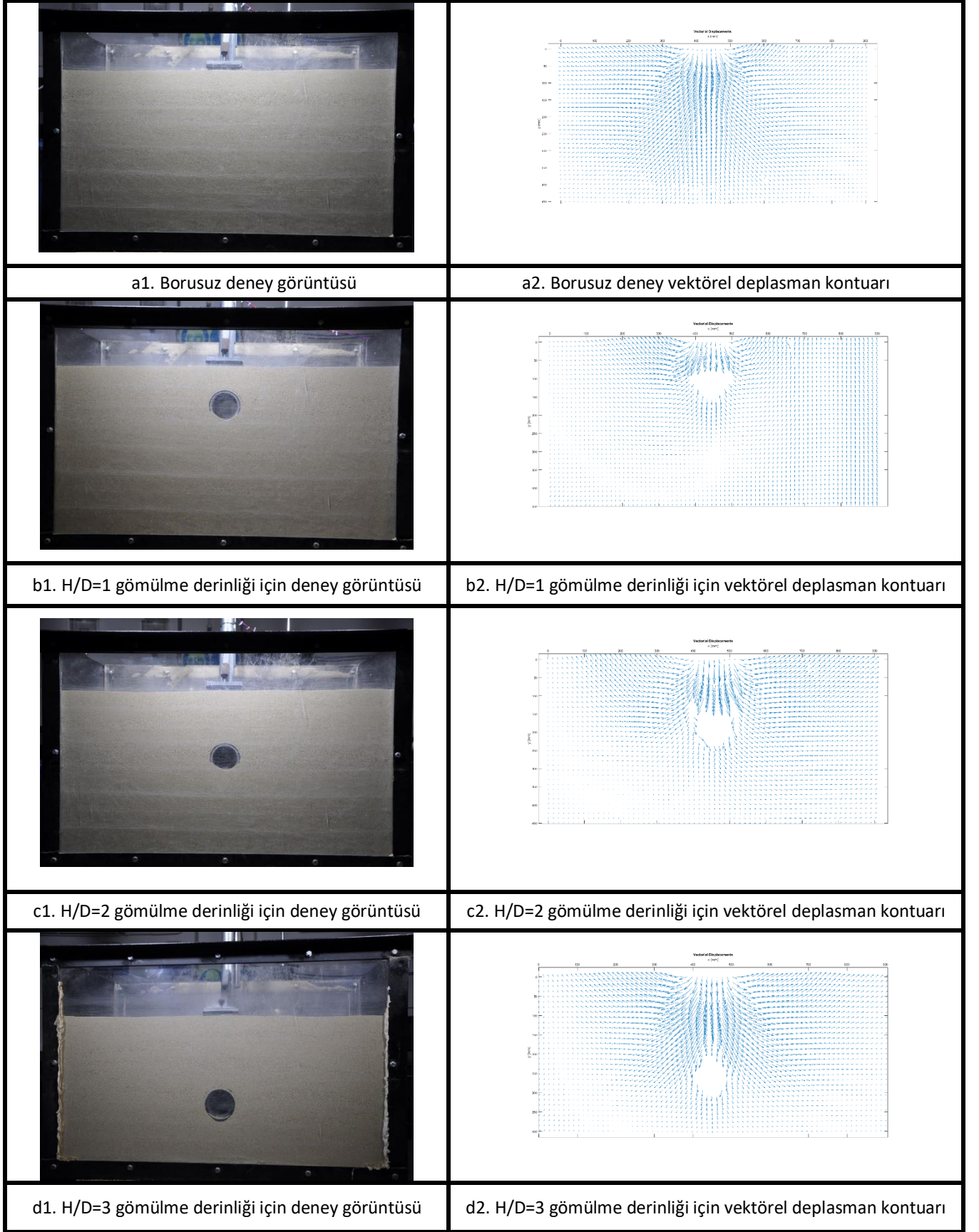
3.1. Gömülme Derinliğinin Etkisi

Borunun gömülme derinliğinin araştırıldığı deneylerde, boru $H/D=1$, 2 ve 3 derinliğine yerleştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil 6'da sunulmaktadır. Ayrıca deneylerden elde edilen PIV analiz sonuçları vektörel olarak Şekil 7'de sunulmaktadır. PIV analizlerinin vektörel dağılımı incelendiğinde borunun gömülme derinliğinin artmasıyla birlikte temel zemininde meydana gelen yenilme yüzeylerinin borudan bağımsız olarak oluştuğu görülmektedir. Ayrıca aynı deneyler için taban basıncı-deplasman eğrisi incelendiğinde borunun gömülme derinliğinin artmasıyla birlikte temel zemininin taşıma kapasitesinin borusuz duruma yaklaştığı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak gömülme derinliğinin etkisinin araştırıldığı deneylerin PIV analizleri ve yük-deplasman eğrileri ilişkisi incelendiğinde, borunun gömülme derinliğinin artmasıyla birlikte temel zeminin taşıma kapasitesinin arttığı, boruya etki eden gerilmelerin azaldığı anlaşılmaktadır. Elde edilen sonuçları PIV sonuçları da benzer şekilde desteklemektedir. Borunun gömülme derinliğinin $H/D=3$ seçilmesi durumunda temel-boru arasındaki etkileşimin önemli ölçüde azaldığı ve borusuz koşulların oluştuğu görülmektedir.



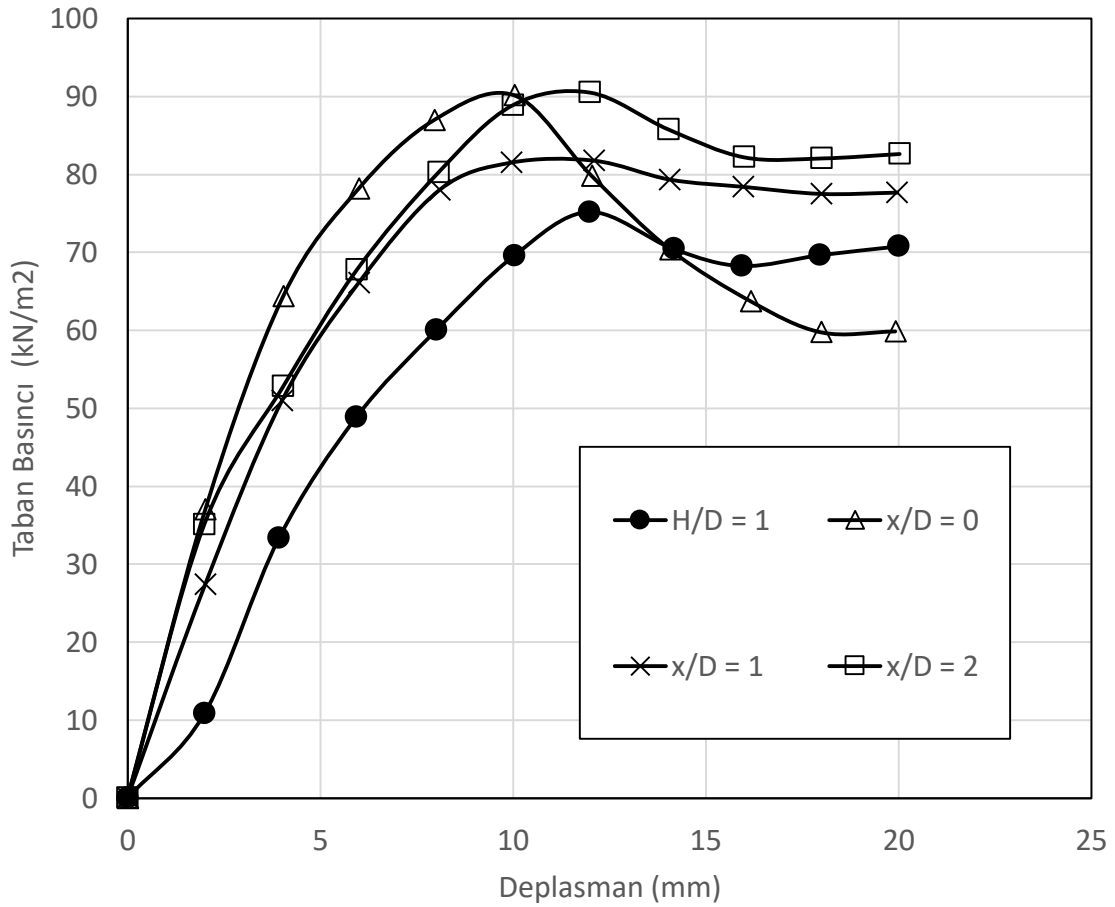
Şekil 6. Farklı gömülme derinlikleri için elde edilen yük-deplasman eğrileri



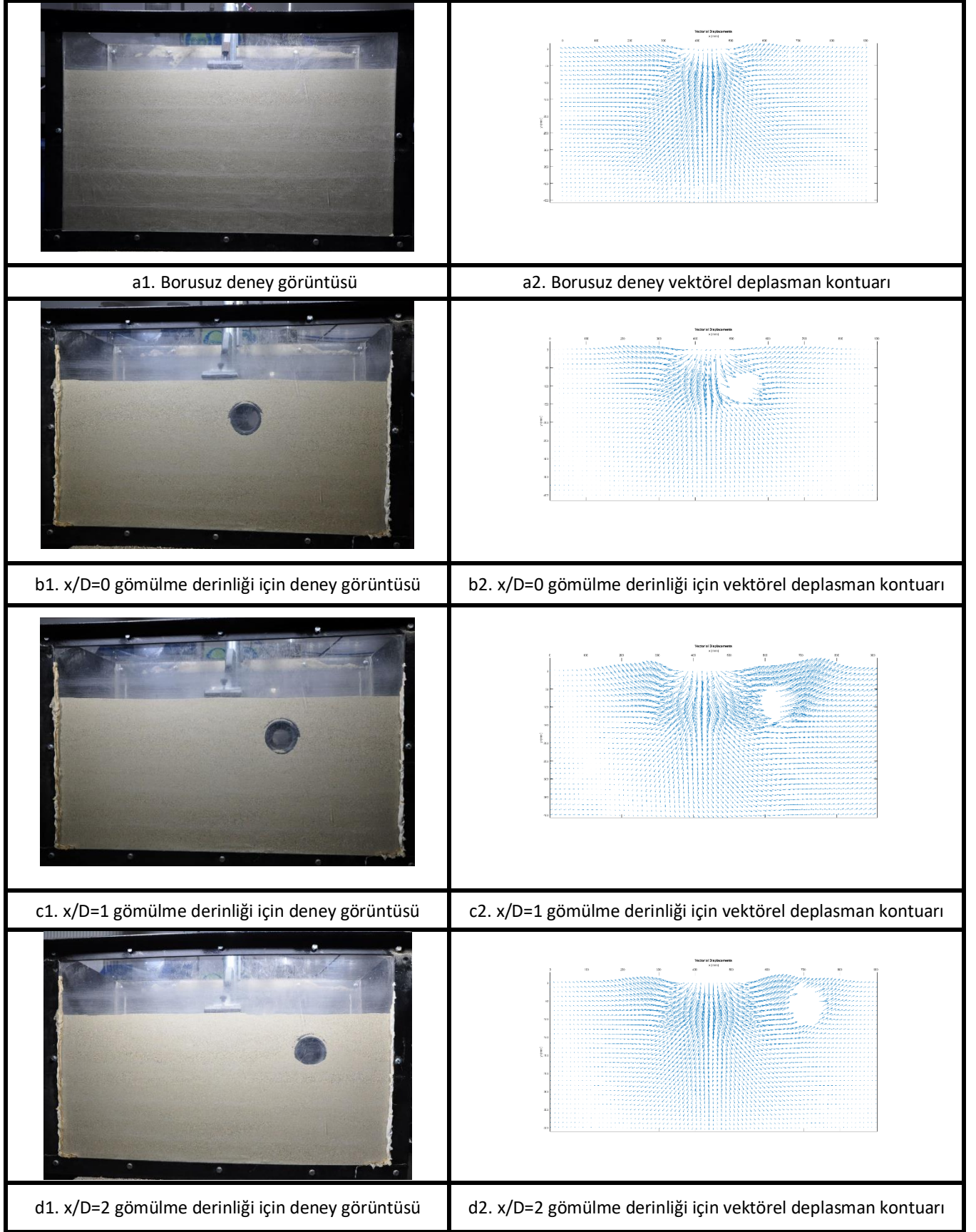
Şekil 7. Farklı gömülme derinlikleri için elde edilen PIV analiz sonuçları

3.2. Borunun Temele Uzaklığının Etkisi

Bu deneylerde boru sabit bir gömülme derinliğinde iken ($H/D=1$), borunun temelden uzaklığı $x/D=0, 1$, ve 2 seçilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil 8’de, PIV analiz sonuçları ise vektörel olarak Şekil 9’da sunulmaktadır. PIV analizlerinin vektörel dağılımı incelendiğinde borunun temelden uzaklığının artmasıyla birlikte temel zemininde meydana gelen yenilme yüzeylerinin borudan bağımsız olarak oluştuğu görülmektedir. Ayrıca aynı deneyler için taban basıncı-deplasman eğrisi incelendiğinde borunun temelden uzaklığının artmasıyla birlikte temel zemininin taşıma kapasitesinin artarak borusuz duruma yaklaştığı anlaşılmaktadır. Sonuç olarak $H/D=1$ gömülme derinliğinde, PIV analizleri ve yük-deplasman eğrileri incelendiğinde, borunun temele olan uzaklığının artmasıyla birlikte temel zeminin taşıma kapasitesinin arttığı anlaşılmaktadır. Elde edilen sonuçları PIV sonuçları da benzer şekilde desteklemektedir. Borunun temelden uzaklığının $x/D=2$ seçilmesi durumunda temel-boru arasındaki etkileşimin önemli ölçüde azaldığı ve borusuz koşulların oluştuğu görülmektedir.



Şekil 8. Borunun temelden farklı uzaklıkları için elde edilen yük-deplasman eğrileri



Şekil 9. Borunun temelden farklı uzaklıkları için elde edilen PIV analiz sonuçları

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada son yıllarda geoteknik mühendisliği uygulamalarında da kullanılmaya başlanan “Parçacık Görüntülü Hız Ölçüm-PGHÖ” (PIV – particle image velocimetry) yönteminin düşey yüklü temel altında oluşacak göçme yüzeylerinin belirlenmesinde kullanılması hedeflenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

- Borunun gömülme derinliğinin artmasıyla birlikte temel zemininin taşıma kapasitesinin borusuz duruma yaklaştığı ve $H/D=3$ oranı için borusuz durumdaki davranış elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar PIV analizleri ile de benzer sonuçlar vermiştir.
- Borunun temelden uzaklığının artmasıyla birlikte temel zeminin taşıma kapasitesinde artış elde edilmiştir. Borunun temelden uzaklığının $x/D=2$ seçilmesi durumunda, borusuz durumdaki taşıma gücüne ulaşıldığı görülmüştür.
- PIV yöntemi ile temel zemininde oluşan göçme yüzeyleri başarı ile belirlenmiş olup, borunun zemin içindeki konumuna bağlı olarak etkileşimin elde edilmesini sağlamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen Gömülü Boruların Statik Yükler Altındaki Davranışının Deneysel Olarak Belirlenmesi başlıklı ve 116R020 no’lu Araştırma Projesi kapsamında yürütülmüştür. Yazarlar desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a teşekkürlerini bir borç bilirler.

KAYNAKLAR

- Brachman, R.WI., Rowe, R.K., Tognon, A.R. 1999. “Evaluation of Side Wall Friction for a Buried Pipe Testing Facility”, Geotextiles and Geomembranes, 17, 193-212.
- Burns, J. Q., Richard, R. M. 1964. “Attenuation of Stresses Forburied Cylinders”, Proceedings of the Symposium on Soil-Structure Interaction, Arizona Üniversitesi, 379-392.
- Cameron, D.A. (2005) “Analysis of Buried Flexible Pipes in Granular Backfill subjected to Construction Traffic”, Ph.D. Thesis, University of Sydney, Graduate School of Engineering, 390, Sydney/Australia.
- Cho, S., 2003. Behaviour of Flexible Plastic Pipes with Flowable Backfill in Trench Conditions. Phd Thesis, University of Houston, Houston/USA.
- Hoeg, K., 1966. Pressure distribution on underground structural cylinders. Technical Report No. AFWL TR 65-98, Kirtland Air Force Base /ABD.
- Marston, A., and Anderson, A.O., Bulletin No 31., Iowa Engineering Experiment Station, Ames Iowa/USA, 1913.
- Rogers, C.D.F., 1988. “Some Observations on Flexible Pipe Response under Load”, Transportation Reseach Record, 1191, 1-11.

- Selig, E.T., DiFrancesco, L.C., and McGrath, T.J, "Laboratory tests of buried pipe in hoop Compression", Buried Plastic Pipe Technology, ASTM STP 1222, pp 119-132, Philadelphia / USA. 1993.
- Smith., M.E. 2004. "Drainage Pipe Deflection for High Heaps", Mining Record 4th qt 2004.
- Spangler, M., G., 1941. "Structural Design of Flexible Pipe Culverts" Bulletin No 153. Iowa Engineering Experiment Station, Ames Iowa/ABD.
- Terzi, N.U. 2007. "Gömülü Borulara Etkiyen Düşey ve Yatay Yüklerin Boru Stabilesine Olan Etkilerinin Araştırılması", Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 260, İstanbul.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
x/D	Borunun temele uzaklığı	H/D	Borunun Gömülme Derinliği