

ŞEVLİ ZEMİNLERDE GÖMÜLÜ BORULARIN DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF BEHAVIOR OF BURIED PIPES IN SLOPE

Selçuk BİLDİK¹, M. Salih KESKİN², Mustafa LAMAN³

ÖZET (14 PUNTO)

Gömülü boru sistemleri geoteknik mühendisliğinin önemli araştırma konularının başında gelmektedir. Gömülü borular bazı durumlarda şevli zemin ortamlarında da yer alabilmektedirler. Bu çalışmada, şevli kum zemine gömülü boruların davranışı model deneyler yardımıyla incelenmiştir. Deneylerde yüzeysel bir temel ile yük aktararak borunun konumunun etkisi incelenmiştir. Çalışmada, borunun gömülme derinliği (H/D), borunun şev tepesine olan uzaklığı (x/D) ve temelin şev tepesinden uzaklığı (b/B) parametrelerinin taşıma kapasitesine ve boruda oluşan gerilmelere etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda borunun şev içerisindeki konumunun ve temelin şev tepesine uzaklığının taşıma kapasitesini önemli derecede etkilediği görülmüştür. Ayrıca borunun gömülme derinliğinin ve temele uzaklığının, boruda oluşan gerilmeleri doğrudan etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Gömülü boru, taşıma kapasitesi, şev, gerilme, gömülme derinliği.

ABSTRACT (14 PUNTO)

Buried pipe systems are one of the most important research topics in geotechnical engineering. Buried pipes can also be located in sloped in some cases. In this study, the behavior of buried pipes located in sandy slope was investigated by model tests. In the experiments, the effect of the position of the pipe was investigated by transferring the load with a strip footing. In the study, the effects of the pipe embedment ratio (H/D), the distance of the pipe to the top of the slope (x/D) and the distance of the strip footing from the top of the slope (b/B) on the bearing capacity and the stresses on the pipe were investigated. As a result of the study, it was seen that the position of the pipe in the slope and the distance of the foundation to the top of the slope significantly affect the bearing capacity. In addition, it has been observed that the burial depth of the pipe and its distance to the foundation directly affect the stresses on the pipe.

Keywords: Buried pipe, bearing capacity, slope, stress, burial depth.

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

² Doç. Dr., Dicle Üniversitesi, mskeskin@dicle.edu.tr

³ Prof. Dr., Perform Geoteknik Müh&Müş., mlaman@performgeo.com

1. GİRİŞ

Gömülü boru sistemleri günlük yaşantımızda birçok alanda kullanılan yapısal elemanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Gömülü borular, gaz ve petrol gibi hammaddelerin taşınması, yağmur sularının drenajı, karayolları ve demiryolları altından geçen menfezler, elektrik ve telefon hatları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Yerleşim bölgelerinde günümüzde tüp geçitler, temiz su, pis su isale hatları, doğal gaz, zayıf akım hatları gibi yoğun alt yapı faaliyetlerinin yürütüldüğü uygulamalar dikkate alındığında, yapı yüklerinin de etkisinde kalabilecek bu sistemlerin projelendirilmesinde problem oluşturabilecek birçok parametrenin irdelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Boru hatları ekonomi, güvenlik ve estetik gibi birçok nedenden ötürü zemin içinde gömülü olarak inşa edilmektedirler. Bu yönden gömülü boruların tasarımında, boruya etkiyen yüklerin inşa edildiği zeminin özelliklerinin de dikkate alınarak tasarlanması büyük önem taşımaktadır.

Gömülü borular çoğu zaman kırsal alanlarda inşa edildiğinden topoğrafik olarak şevli zeminlerin yer aldığı ortamlarda da inşa edilebilmektedirler. Dolayısıyla gömülü boruların şevli zeminlerde yer alması durumunda zemin koşullarının yanı sıra, şevin kendi davranışı da boruyu doğrudan etkileyebilmektedir.

Bu çalışmada şev içerisinde yataklanmış boruların farklı yük ve koşullar altındaki davranışı deneySEL olarak incelenmiştir. DeneySEL çalışmalarda borunun gömülme derinliği ve üzerinde bulunan bir temelin şev tepesine uzaklığı ile borunun temele yatay uzaklığının taşıma kapasitesine etkileri araştırılmıştır. Deneylerde boru üzerine yerleştirilen gerinim pulları yardımıyla, yüklemeler altında boruda oluşan gerilme davranışı da incelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Günümüzde gömülü boru sistemleri uygulandıkları alana göre farklı zemin koşulları içerisinde yer almakta ve farklı yükleme durumlarına maruz kalabilmektedirler. Literatürde gömülü boruların davranışının incelenmesine yönelik birçok çalışma mevcuttur. Gömülü boruların davranışının incelenmesine yönelik ilk çalışma 1913 yılında Marston (1913) tarafından yapılmıştır. “Marston Yük Teorisi” olarak bilinen bu çalışma, hendek içerisinde yer alan bir boruya, zemin prizması tarafından yük aktarıldığı düşünülerek geliştirilmiştir. Terzaghi göçme teorisi dikkate alınarak geliştirilen bu teoreme, Marston kohezyonu ihmal etmiş ve zeminin birim hacim ağırlığı ile sürtünme özelliklerinin hendek boyunca sabit olduğunu kabul etmiştir. Bu teori dökme türü üretilen ve tamamen rijit davranış gösteren borular için geliştirilmiş olup, bu yöntemin en büyük eksikliği deformasyon büyüklüğünün belirlenememesidir. Spangler (1941), hendek içerisine yerleştirilen esnek boruların davranışının belirlenmesi amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Spangler yük altında şekil değiştiren bir borunun yanal deformasyon oranının zemin ve boru rijitlikleri ile birlikte belirlendiğini öne sürmüştür. Watkins (1958), Spangler’ın yaptığı çalışmayı kullanarak model çalışmalarda pasif direnç modülünü araştırmıştır. Bu yöntemde borunun yalnızca çember kesitinin yatay şekil değişiminin hesaplanabilmesi ve borunun yüzeye yakın yerleştirilmesi suretiyle yanlış sonuçlar vermesi yöntemin eksik yönleridir. Burns ve Richard (1964), elastik kabuk yöntemini esas alarak sayısal eşitliklerle boruların davranışını sayısal olarak incelemişlerdir. Bu yöntemde hendek ortamı tam elastik kabul edilmiş ve uygulanan yükler Poisson oranı kullanılarak yanal yüklere dönüştürülmüştür. Analizler, boru-zemin ara yüzeyi tamamen tutulu veya

tamamen serbest olduğu varsayımlarına göre yapılmıştır. Yöntemin küçük çaplı ve kalın duvarlı borularda doğru sonuç vermediği görülmüştür.

Gömülü esnek boruların davranışı birçok araştırmacı tarafından arazi ve laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir. Arazi deneylerinin yanı sıra birçok araştırmacı laboratuvar deneyleri ile boruların davranışını incelemişlerdir. Selig (1993), gömülü boruların davranışını laboratuvar deneyleri ile incelemiştir. Bu çalışmada boru kesitine yapıştırılan gerilme ve deplasman ölçerler yardımıyla borunun çembersel gerilme ve şekil değiştirmeleri belirlenmiştir. Brachmann (1999) sonsuz bir ortamdaki gömülü esnek borunun davranışını belirlemek amacıyla deneyler yapmış, 1000 kPa'lık düşey yük altında %1'den az yanal deplasman meydana geldiği görülmüştür. Bu durum sistemin K0 koşullarını sağladığını göstermektedir. Terzi (2007), kum geri dolgu ortamına yerleştirilmiş 200, 242 ve 312mm çaplı HDPE esnek boruların düşey yüklemeler altındaki davranışını incelemiştir. Deneyler 700mm uzunluğunda, 500mm genişliğinde ve 700mm yüksekliğinde deney kasasında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada, geri dolgu malzemesinin denetimli ve denetimsiz olarak yerleştirilmesinin boru davranışına etkisi incelenmiştir. Talesnick ve ark. (2011), bir gömülü boru içerisine yerleştirdikleri zemin basınç ölçerler ve deplasman ölçerler yardımıyla, boru-zemin etkileşimini deneyler olarak araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçların Hoeg Teorisi ile uyumlu olduğunu görmüşlerdir. Gömülme derinliği, zemin sıklığı gibi parametrelerin sonuçları doğrudan etkilediği görülmüştür.

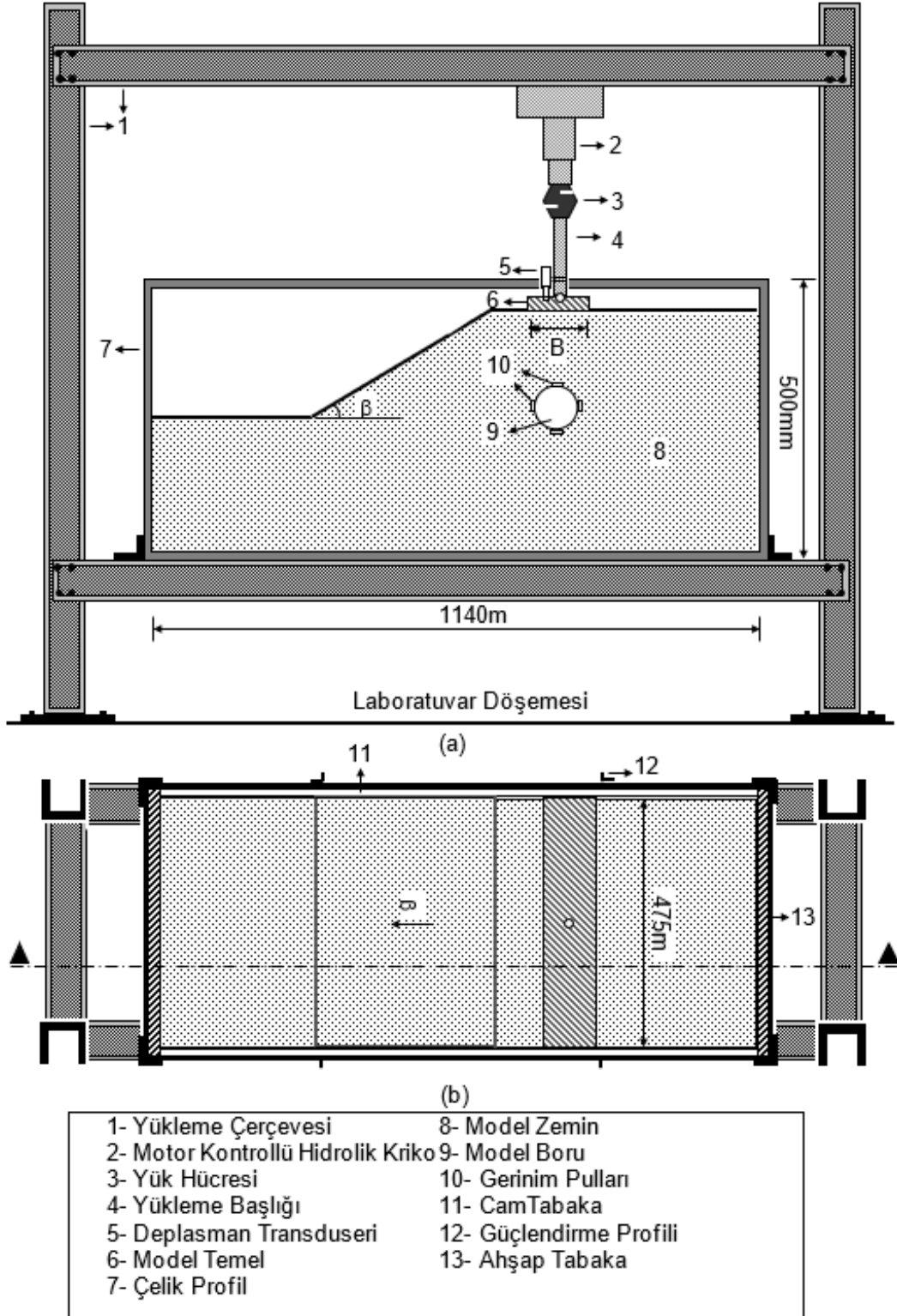
Literatürde yapılan teorik çalışmalarda, genel olarak bir boruya etkiyen yükler belirlenmeye çalışılmış ve borunun bu yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Yapılan deneyler çalışmaların büyük bir çoğunluğu boru davranışının belirlenmesine yöneliktir. Zemin-yapı-boru etkileşimi ile ilgili çalışmalar mevcut olsa da şevli zemin koşullarında yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada şev içine gömülü bir borunun taşıma kapasitesine etkisi incelenmiştir. Deneylerde boru ve temel konumlarının davranışa etkisi araştırılarak, boruda oluşan gerilmelerin değişimi incelenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında şevli zeminlere gömülü boruların davranışı, küçük ölçek laboratuvar deneyleri ile araştırılmıştır. Deneyler orijinal haliyle eğilmeye maruz elemanların testi için tasarlanmış olan çelik çerçeve sisteme monte edilmiş elektrikli yükleme sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 1'de sunulmaktadır. Deneyler iç ölçüleri 114cm x 47.5cm x 50 cm (uzunluk x genişlik x yükseklik) olan dikdörtgen kesitli deney kasasında gerçekleştirilmiştir. Deney kasası ön ve arka yüzeylerinde 10mm kalınlığında cam kullanılarak, zeminin kasaya yerleştirilmesi esnasında görülmesine ve deney esnasında zeminde oluşan deformasyonların izlenmesine imkân sağlanmıştır.

Deneylerde yüklemelerde kullanılan model şerit temel, 46cm uzunluğunda, 10cm genişliğinde ve 2cm kalınlığında olup rijit çelikten imal edilmiştir. Temel uzunluğu, düzlem-şekil değiştirme koşullarının sağlanması amacıyla, cam yüzeylere temas etmemek koşuluyla, kasa genişliğine yaklaşık olarak eşit olacak şekilde seçilmiştir. Deneyler hız kontrollü olup, yükleme kolu aşağı ve yukarı yönde hareket edebilen elektrikli bir yükleme düzeneği kullanılmıştır. Yükleme düzeneği çerçeveye monte edilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, model temel plakasına uygulanan yük değerlerini okumak amacıyla farklı kapasitelerde elektronik yük hücreleri kullanılmıştır. Model temel plakasının yüklenmesi sonucu, temel tabanında meydana gelen deplasmanları ölçmek

amacıyla düşey deplasman transdüserleri kullanılmış olup, deplasman transdüserleri 0.00-50.00mm arasında hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Yükleme süresince, temel plakası tabanında oluşan deplasmanlar, model temel merkezine eşit mesafedeki iki farklı noktada ölçülmüş ve oturma değeri olarak bu iki okumanın ortalaması alınmıştır.



Şekil 1. Deney düzeneği

Yapılan deneylerde boruda oluşan gerilmelerin belirlenmesi amacıyla gerinim pulları (strain gauge) kullanılmıştır. Gerinim pulları plastik yüzeylere uygun olacak tipte seçilmiş olup, zemin içerisinde zarar görmemeleri için koruyucu tabaka ile kaplanmıştır. Boru üzerine yerleştirilen gerinim pulları Şekil 2’de gösterilmiştir. Deneylerde, yük, deplasman ve gerilme olmak üzere üç farklı türde ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlerde kullanılan yük hücresi, deplasman transducerleri ve gerinim pullarının tamamı direnç tabanlı ölçüme uygun cihazlardan oluşmaktadır. Deneyler esnasında oluşan yük, deplasman ve gerilme değerleri, direnç tabanlı çalışan veri kaydetme ünitesine aktarılmıştır. Kullanılan veri kaydetme ünitesi 30 kanallı olup, 0.4 saniyede 1000 data okuma kapasitesine sahiptir. Veri kaydetme ünitesinden elde edilen datalar sayısal değerlere dönüştürülmüştür.

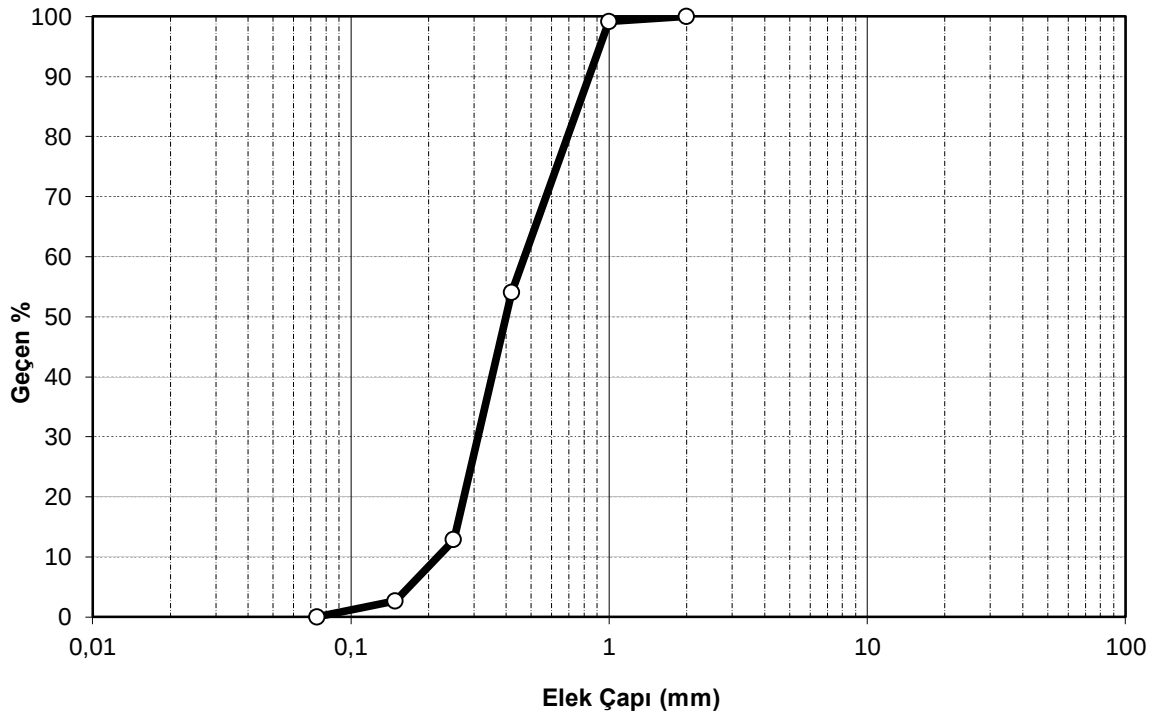


Şekil 2. Boruda gerilme ölçümünde kullanılan gerinim pulu (strain gauge)

Deneyisel çalışmalarda, Çukurova Bölgesi, Seyhan nehir yatağından getirilen kum zemin kullanılmıştır. Kum zemin, ASTM standartlarına göre sırasıyla 18 no’lu (1mm çaplı) ve 200 no’lu (0.074mm çaplı) eleklerden yıkanarak elenmiştir. Bu işlem sonunda Elek No. 18 ile No. 200 arasında kalan kumlar, 105 °C’de etüvde kurutulduktan sonra geniş bir alana serilerek oda sıcaklığında havalandırılmıştır. Deney kumunun endeks ve kayma mukavemeti özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarında bir seri deney yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan kum zemin, ASTM standartlarına göre önceden belirlenen bir seri elekten elenerek dane çapı dağılımı elde edilmiştir (Şekil 3). Dane çapı dağılım eğrisinden, zemin sınıfı, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi’ne (USCS) göre kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP) olarak elde edilmiştir. Elek analizi deney sonuçları toplu olarak Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Zemin Özellikleri

Granülometri Parametreleri	Birim	Değer
Kaba Kum Yüzdesi	%	0.0
Orta Kum Yüzdesi	%	45.90
İnce Kum Yüzdesi	%	54.10
Efektif Dane Çapı, D_{10}	mm	0.20
D_{30}	mm	0.30
D_{60}	mm	0.50
Üniformluk Katsayısı, C_u	-	2.50
Derecelenme Katsayısı, C_c	-	0.90
Zemin Sınıfı	-	SP

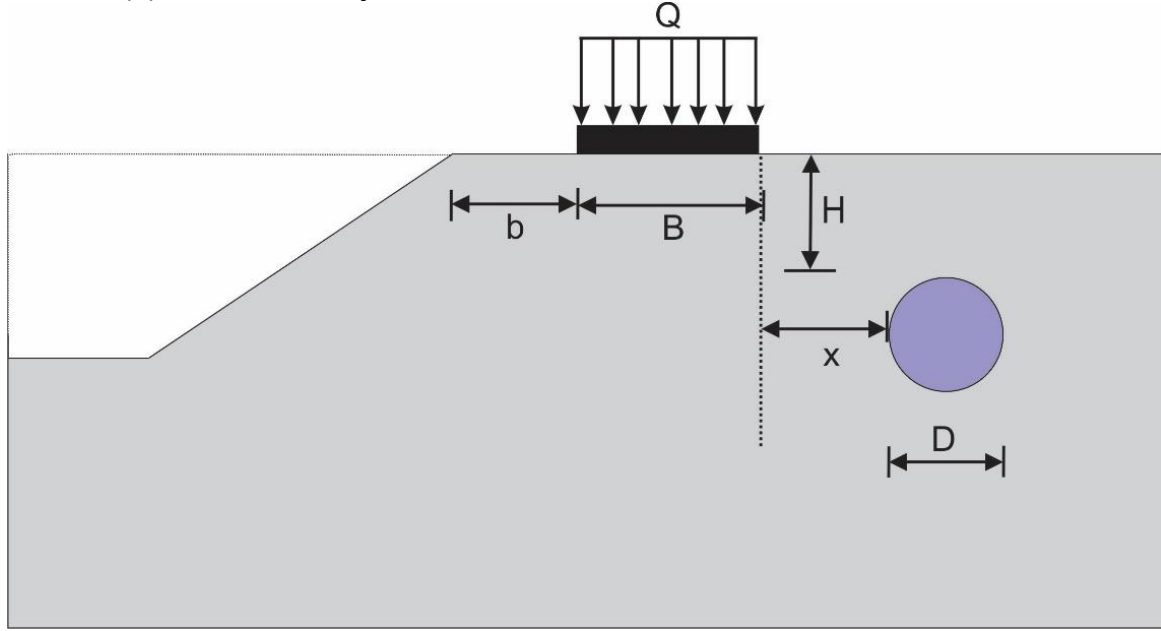


Şekil 3. Kumun dane dağılım eğrisi

Deneylerde kum numuneler, deney kasası içerisine tabakalar halinde, 30° şev açısında yerleştirilmiştir. Şevli yüzeylerin oluşturulmasında Keskin (2009) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Kum zemin, kasa içerisine şev topuğu seviyesine kadar yatay tabakalar halinde sıkıştırılarak yerleştirildikten sonra, şevli yüzeyi oluşturacak profil ve ahşap plaka düzeneği, şevli yüzeyin başlangıç noktasına yerleştirilmekte ve istenilen açıda sabitlenmektedir. Şevli ilk tabaka oluşturulduktan sonra, her ilave tabaka için ahşap plakalar profiller arasından geçirilmekte ve istenilen şev yüksekliğine ulaşıncaya kadar sıkıştırma işlemine devam edilmektedir. Geliştirilen düzeneğe, istenilen açıda şevli yüzey oluşturulmasına ve sıkıştırma işleminin düzgün bir şekilde gerçekleştirilmesine imkân sağlamaktadır. Şevli zemin yüzeyinde yapılan deneylerde, kum numuneler şev topuğuna kadar düz zemin yüzeyli deneylerde uygulanan yöntemle benzer şekilde doldurulmuştur.

4. DENEY SONUÇLARI

Deneysel çalışmada araştırılan parametrelere ait şematik gösterim Şekil 4’de sunulmuştur. Şevli zemin yüzeyinde yapılan deneylerde, zemin içine gömülü borunun zemin içindeki yerleşim konumunun etkisi (H/D ve x/D) ile şerit temelin şev tepesine uzaklığının davranışa etkisi (b/B) incelenmiştir. Şevli zemin yüzeyinde yapılan deneylere ait deney programı Tablo 2’de verilmiştir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında Taşıma Kapasitesi Oranı (BCR) olarak tanımlanan boyutsuz parametre kullanılmıştır. BCR ifadesi Denklem (1)’de ifade edilmiştir.



Şekil 4. Araştırılan parametreler

$$BCR = \frac{Q_{borulu}}{Q_{borusuz}}$$

Denklem (1)

Q_{borulu} : Şevli zemin içerisinde boru olması durumunda temelin taşıma yükü,
 $Q_{borusuz}$: Şevli zemin içerisinde boru olmaması durumunda temelin taşıma yükü.

Tablo 2. Deney Programı (Test Program)

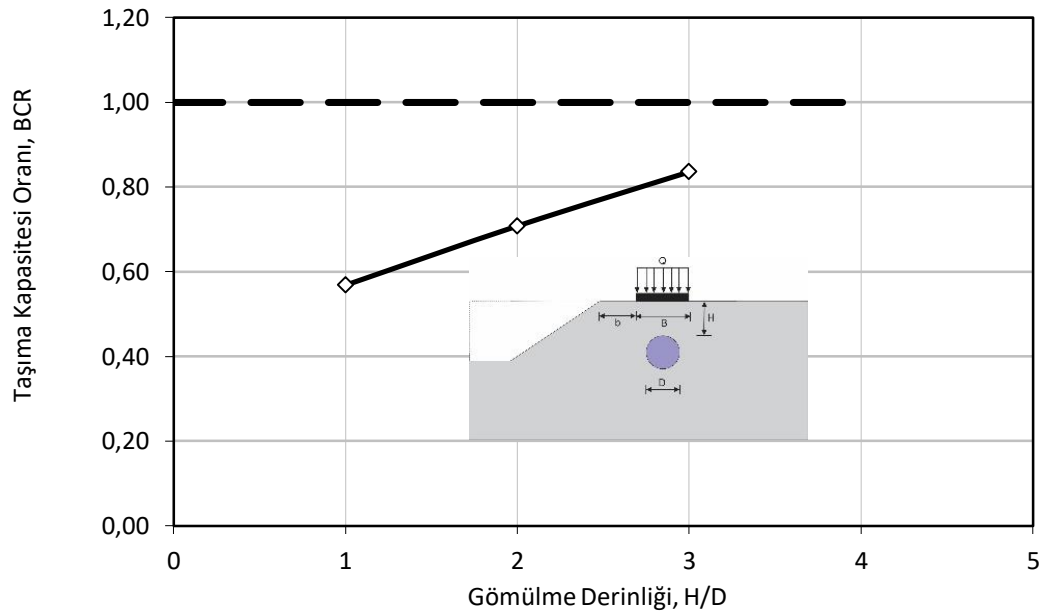
Deney No	D_r (%)	(b/B)	Gömölme Oranı (H/D)	Borunun Temele Uzaklığı (x/D)
URSEV1	65	1	-	-
URSEV2	65	1	1	Merkezde
URSEV3	65	1	2	Merkezde
URSEV4	65	1	3	Merkezde
URSEV5	65	1	3	0
URSEV6	65	1	3	1
URSEV7	65	1	1	2
URSEV8	65	1	1	Merkezde
URSEV9	65	2	1	Merkezde

4.1. Boru Gömülme Derinliğinin Etkisi

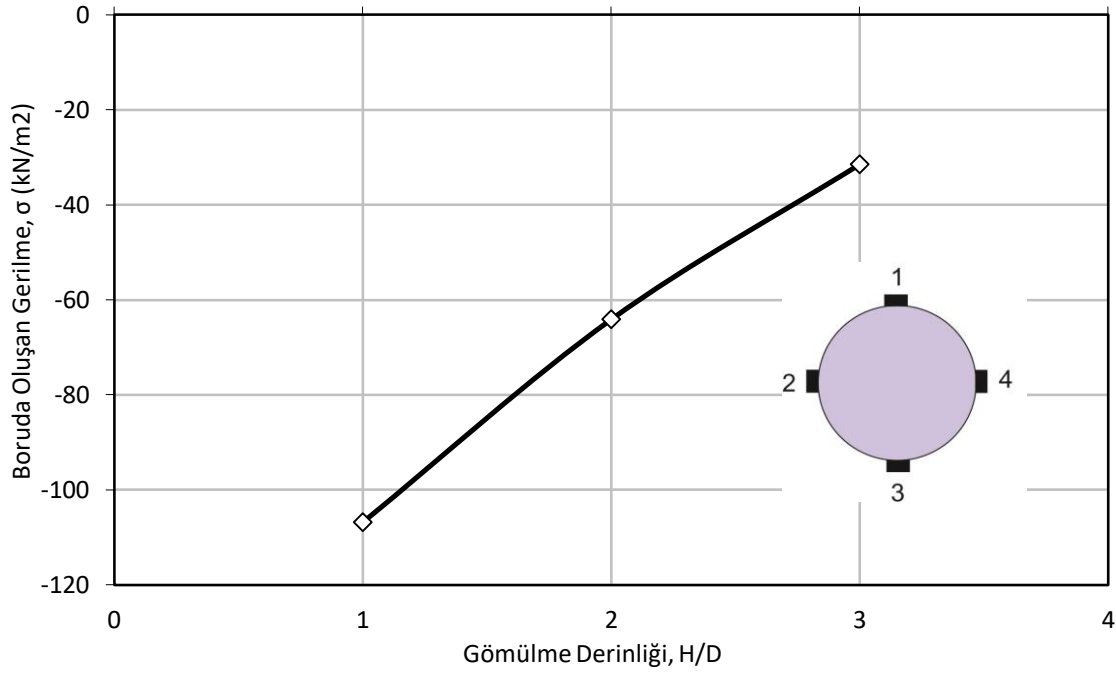
Bu grup deneylerde borunun, $D_r=65\%$ sıklıktaki zeminde oluşturulan 30° eğimli şev içerisinde farklı gömülme derinliklerinde ($H/D=1, 2$ ve 3) yerleştirilmesi durumunda, zemin yüzeyine oturan şerit temelin taşıma kapasitesindeki değişim incelenmiştir. Temel şevden $b/B=1$ mesafede yerleştirilmiştir. Deneylerde boru üzerine yerleştirilen gerinim pulları ile boruda meydana gelen gerilme değişimleri incelenmiştir. $D_r=65\%$ zemin sıklığında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen taban basıncı (q) – oturma yüzdesi (s/B) eğrilerinden elde edilen göçme yükü değerleri ile oluşturulan BCR değerlerinin, H/D 'ye bağlı olarak değişimi Şekil 5'de gösterilmiştir.

Sonuçlar, temelin hemen alt bölgesine yerleştirilmiş bir borunun, temelin taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Borunun zemin yüzeyinden aşağı doğru uzaklaşmasıyla, başka bir deyişle, temel altında oluşan gerilme bölgesinden uzaklaşmasıyla, taşıma kapasitesinin arttığı görülmektedir.

Deneylerde boru üzerine gerinim pulları yerleştirilerek boruda oluşan gerilmeler ölçülmüştür. Boru üzerinde en büyük gerilme, boru tepe noktasında (1 noktası) meydana gelmekte olup, bu noktada oluşan gerilmenin boru gömülme oranıyla ilişkisi Şekil 6'da sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, borunun gömülme derinliğinin artmasıyla boruda oluşan gerilmenin azaldığını göstermektedir. Boruda $H/D=1$ durumunda 106 kN/m^2 gerilme oluşurken, bu gerilme değeri $H/D=3$ durumunda yaklaşık 3.3 kat azalarak 32 kN/m^2 değerine düşmektedir.



Şekil 5. Gömülme derinliği- taşıma kapasitesi oranı ilişkisi

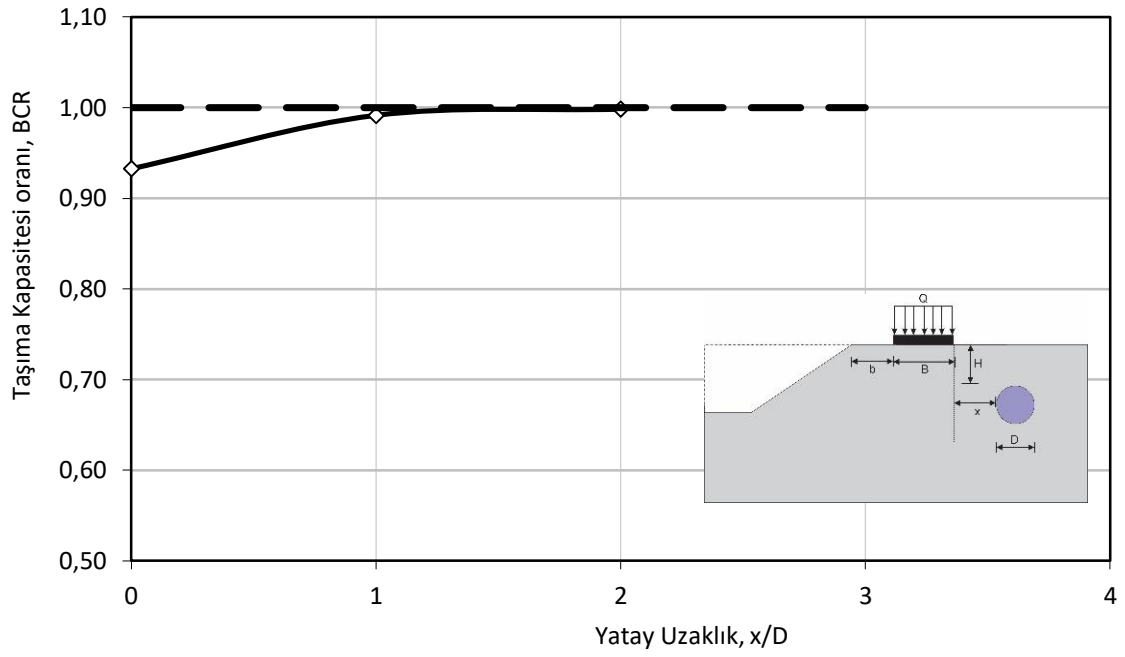


Şekil 6. Gömülme derinliği - gerilme ilişkisi, (Boru tepe noktası)

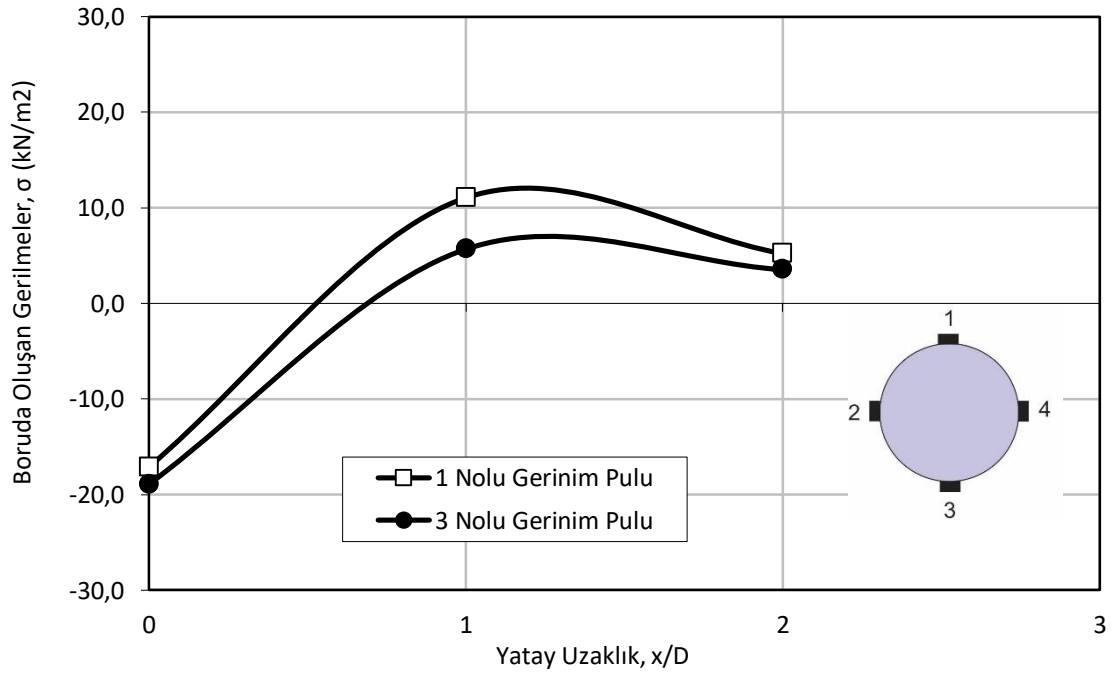
4.2. Boru Konumunun Taşıma Kapasitesine Etkisi

Bu grup deneylerde borunun, $Dr=\%65$ sıklıktaki 30° eğimli zeminde oluşturulan şev içerisine farklı uzaklıklarda ($x/D=0, 1$ ve 2) yerleştirilmesi durumunda, zemin yüzeyine oturan şerit temelin taşıma kapasitesindeki değişim incelenmiştir. Deneylerde boru üzerine gerinim pulları yerleştirilerek, borunun temelden uzaklaşmasıyla gerilmelerde meydana gelen gerilme dağılımları incelenmiştir. Borunun temelden uzaklaşmasıyla, temel altında oluşan taban basıncı (q) – oturma yüzdesi (s/B) grafikleri çizildikten sonra elde edilen BCR değerleri kullanılarak, x/D – BCR ilişkisi grafik olarak Şekil 7’de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Sonuçlara göre borunun temelden uzaklaşmasıyla, zeminin taşıma kapasitesi artmaktadır. Borunun $x/D=1$ değerinde taşıma kapasitesi, borusuz durumdaki taşıma kapasitesine ulaşmaktadır. Bu durum göçme mekanizmasının şev içerisinde olmasından ve borunun şevde oluşan göçme mekanizması dışında kalmasından kaynaklanmaktadır.

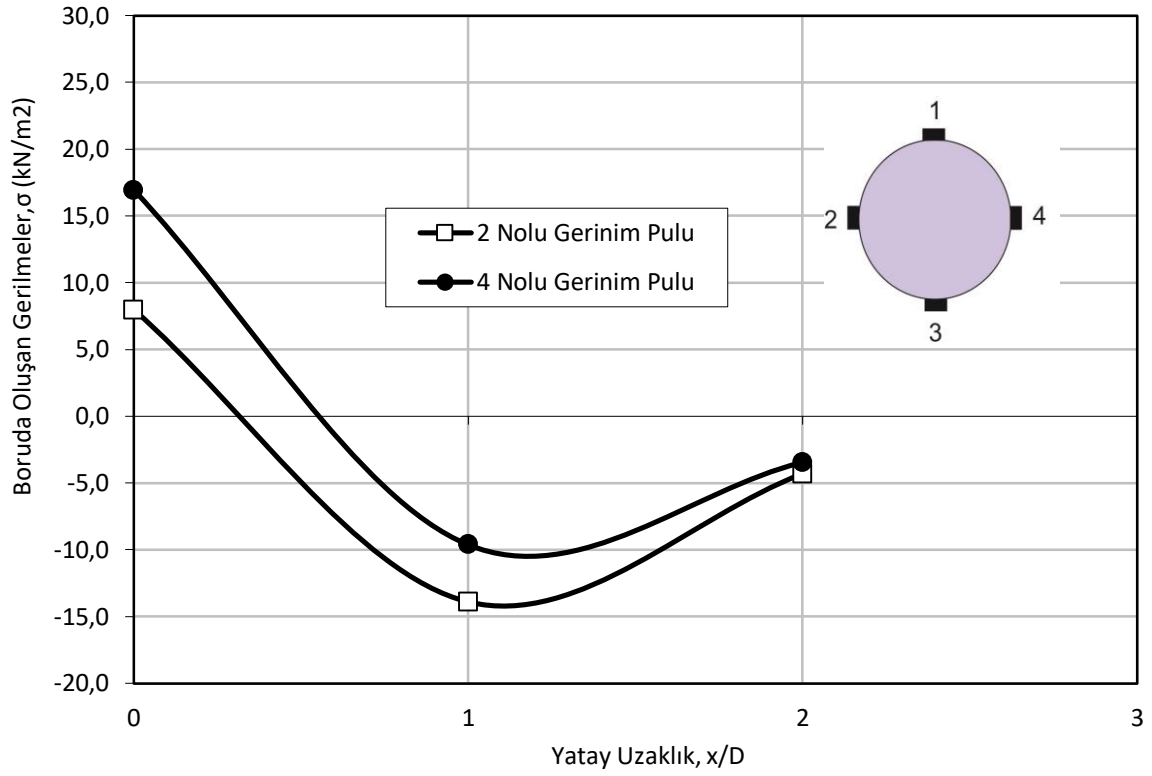
Borunun temele farklı uzaklıklarda bulunması durumunda boruda oluşan gerilme değişimleri de incelenmiştir. Borunun tepe (1) ve alt (3) noktalarında oluşan gerilmeler Şekil 8’de, yan yüzey (2 ve 4) noktalarında oluşan gerilmeler ise, Şekil 9’da sunulmuştur. Şekil 8 incelendiğinde boru tepe ve alt bölgelerinde oluşan basınç gerilmeleri borunun temelden uzaklaşmasıyla çekme gerilmesine dönüşmekte, temelden $x/D=2$ mesafeye gelindiğinde ise, boruda oluşan gerilmeler sıfıra yaklaşmaktadır. Borunun yan yüzeylerinde ise borunun temelden uzaklaşmasıyla gerilmeler önce basınç gerilmelerine dönüşmekte, daha sonra $x/D=2$ durumunda sıfıra yaklaşmaktadır. Boruda oluşan bu gerilme değişimleri, borunun şevde oluşan göçme mekanizmasına olan uzaklığıyla ilgili olup, gerilme bölgesinden uzaklaştıkça, borunun yük etkisinden uzaklaştığı görülmektedir. Taşıma gücü ve gerilme dağılımları dikkate alındığında, borunun $x/D=2$ mesafeye yerleştirilmesi taşıma gücü ve gerilme davranışı açısından uygun olacaktır.



Şekil 7. Yatay uzaklık- taşıma kapasitesi oranı ilişkisi

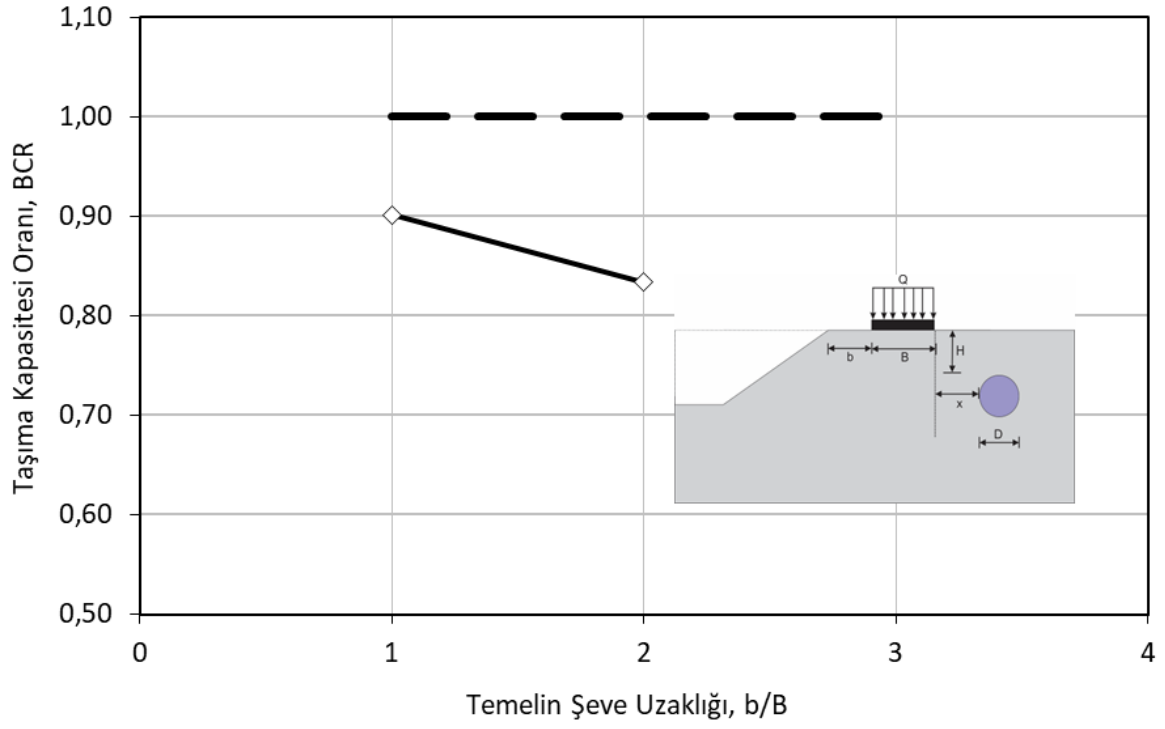


Şekil 8. Farklı x/D değerleri için gerilme dağılımı

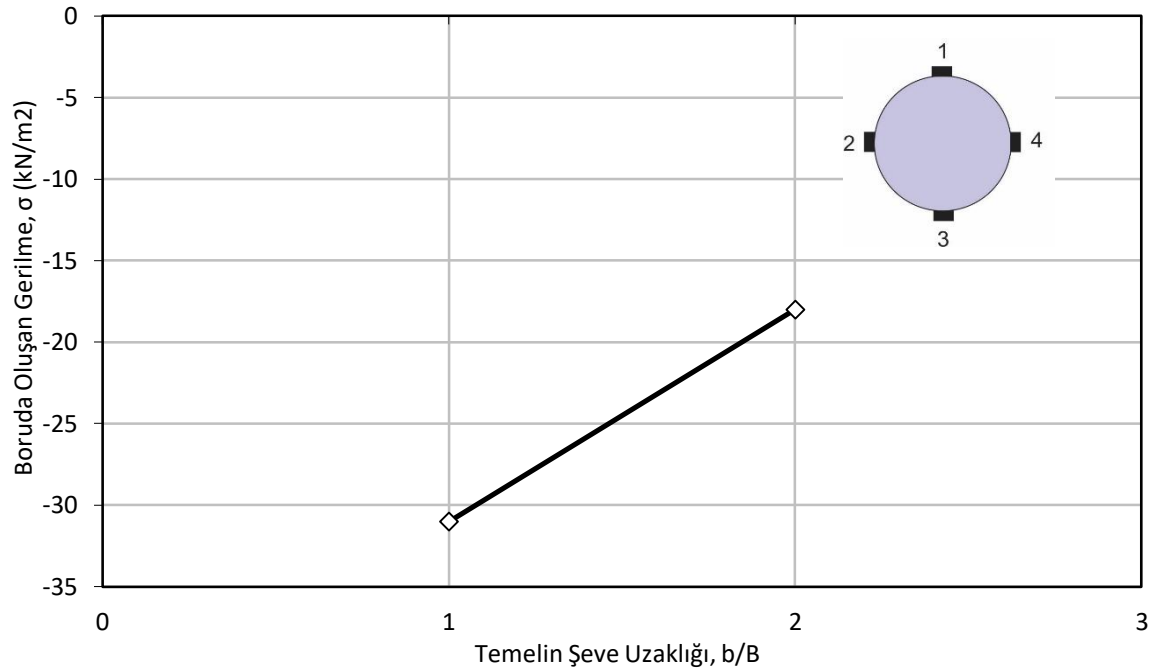
Şekil 9. Farklı x/D değerleri için gerilme dağılımı

4.2. Temelin Şev Tepesine Uzaklığının Taşıma Kapasitesine Etkisi

Temelin şev tepesine olan uzaklığının (b) taşıma kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla, temeli şev tepesinden $b/B=1$ ve $b/B=2$ mesafelere yerleştirerek deneyler yapılmıştır. Deneylerde zemin sıklığı $Dr=\%65$, boru gömülme derinliği $H/D=3$ ve şev açısı 30° alınmıştır. Deneylerden elde edilen taban basıncı (q) – oturma yüzdesi (s/B) grafikleri çizildikten sonra elde edilen BCR değerleri kullanılarak, x/D – BCR ilişkisi grafik olarak Şekil 10'da gösterildiği gibi elde edilmiştir. Ayrıca boru tepe noktasında oluşan gerilmeler gerinim pulları yardımıyla ölçülmüş ve Şekil 11'de gösterilmiştir. Temelin şev tepesinden uzaklaşmasıyla, taşıma kapasitesinde artış meydana gelmektedir. Şev tepesinden uzaklaştıkça, temelin taşıma kapasitesinin artması, şevden etkisinde kaybolan yanal zemin desteğinin şevden uzaklaştıkça tekrar devreye girmesindendir. Şev içerisine gömülü borunun tepe noktasında gerilme değerleri, temelin şev tepesinden uzaklaşmasıyla azalmaktadır. Bu durum, boru üzerinde kalan zeminin daha fazla gerilme taşıyarak, boruya daha az gerilme aktarması olarak açıklanabilir.



Şekil 10. Temelin şev tepesine uzaklığının taşıma kapasitesine etkisi



Şekil 11. Temelin şev tepesine uzaklığının borudaki gerilmeye etkisi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kum zeminlere gömülü boruların şev içerisindeki konumunun taşıma kapasitesine ve boruda oluşan gerilmelere etkisi incelenmiştir. Ayrıca temelin şev tepesine uzaklığının davranışa etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Deneylerde, borunun 30° eğimli şevde, şev tepesinden $b/B=1$ mesafelerde farklı gömülme derinliklerine yerleştirilmesi durumunda temelin taşıma kapasitesi incelenmiştir. Borunun temelin merkezine gelecek şekilde yerleştirilmesi durumunda, gömülme derinliğinin artmasıyla temelin taşıma kapasitesi artmaktadır. Borunun $H/D=3$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda ise taşıma kapasitesi, borusuz durumdaki taşıma kapasitesi değerinin yaklaşık %85'ine karşılık gelmektedir. Benzer şekilde, borunun $H/D=3$ derinlikte, yatay yönde temelden uzaklaşması durumunda temelin taşıma kapasitesi artmaktadır. Borunun $x/D=1$ uzaklığa yerleştirilmesi durumunda temelin taşıma kapasitesi, borusuz durumdaki taşıma kapasitesine ulaşmaktadır. Bu durum, göçme mekanizmasının şev içerisinde olmasından ve borunun şevde oluşan göçme mekanizması dışında kalmasından kaynaklanmaktadır.
- Boruda meydana gelen gerilmeler incelendiğinde, borunun gömülme derinliğinin artmasıyla, gerilmeler azalmaktadır. Borunun temel merkezinde $H/D=1$ durumunda bulunması ile elde edilen gerilme değeri, $H/D=3$ durumunda %30 mertebelerine inmiştir. Benzer şekilde, borunun temelden uzaklaşmasıyla boruda meydana gelen gerilmeler azalmakta ve $x/D=2$ mesafesinde minimum olmaktadır.
- Temelin şev tepesinden uzaklığının temelin taşıma kapasitesine etkisi incelenmiştir. Yapılan deneylerde, temelin şev tepesinden uzaklaşmasıyla, temelin taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür. Şev içerisine yerleştirilen boruda oluşan gerilmeler, temelin şev tepesinden uzaklaşmasıyla azalmaktadır. Bu azalma boru üzerinde kalan zeminin daha fazla gerilme taşıyarak, boruya daha az gerilme aktarmasından kaynaklanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Brachman., R.W.I., Structural Performance Of Leachete Collection Pipes, PhD. Thesis, Department of Civil and Environmental Eng. University of Western Ontario, London/Canada, 1999.
- Burns., J.Q., and Richard., R.M., "Attenuation of Stresses for Buried Cylinders", Proc. Of Soil Symposium on Soil-Structure Interaction, Univ. of Arizona, pp 379-392, 1964.
- Marston, A., and Anderson, A.O., Bulletin No 31., Iowa Engineering Experiment Station, Ames Iowa/USA, 1913.
- Keskin, M.S., Güçlendirilmiş Kumlu Şevlere Oturan Yüzeysel Temellerin Deneysel ve Teorik Analizi, Doktora Tezi, Ç. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009.
- 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.
- Spangler, M., G., "Structural design of flexible pipe culverts". Bulletin No 153., Iowa Engineering Experiment Station, Ames Iowa/ABD, 1941.

- Terzi, N.U., Gömülü Borulara Etkiyen Düşey ve Yatay Yüklerin Boru Stabilitesine Olan Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi. YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- Talesnick, M.L., Xia, H.W., and Moore, I. D., “Earth Pressure Measurements On Buried HDPE Pipe”, *Geotechnique*, 61, No. 9, 721–732, 2011.
- Watkins, R.K., and Spangler, M.G., “Some Characteristics of the Modulus of Passive Resistance of Soil: A Study of Similitude”, *Highway Research Board Proceedings*, 37: 576-583, 1958.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
B	Model temel genişliği	BCR	Taşıma kapasitesi oranı
c_u	Üniformluk katsayısı	C_c	Derecelenme katsayısı
D	Boru çapı	H/D	Boru gömülme oranı
Q_u	Temel taşıma kapasitesi	s/B	Oturma yüzdesi
α	Yenilme eğrisinin açısı	ϕ	Zemin içsel sürtünme açısı
γ	Zemin birim hacim ağırlığı	γ_k	Zemin kuru b. h. a.