

Koruge boruların zemin yükleri altında tasarımları ve boru yataklamasının tasarıma etkisi

Design of corrugated pipes under ground loads and evaluation of the effect of pipe bedding on the design

Fatih SAKA^{*1,a}, Taha ORTAKCI^{2,b}

¹ Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 78600, Karabük

² Karabük Üniversitesi, Safranbolu ŞYDMYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 78600, Karabük

• Geliş tarihi / Received: 25.01.2022

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 30.07.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 30.08.2022

Öz

Kanalizasyon sistemlerinde kullanılan koruge borular arazi şartları gereği yüksek gömülme derinliğine yerleştirilerek büyük zemin yüklerine maruz kalabilmektedir. Ancak zemin yükleri altındaki boru emniyeti genellikle göz ardı edilmektedir. Zemin yükleri altında koruge boru tasarımında; boruların mukavemeti, boru çevresine yerleştirilen zemin kalitesi ve yerel zemin belirleyici olmaktadır. Koruge borularda geliştirmiş Iowa formülü tasarım hesaplamaları için kullanılmaktadır. Zemin yükleri altında koruge borularda hem yataklama hem de gömlekleme işlemleri tasarımda etkili olmaktadır. Bu çalışmada örnek proje üzerinde riskli olabilecek noktalarda tasarım hesaplamaları yapılmıştır. Çalışmada çeşitli yataklama açılarında, $S_N 4$ ve $S_N 8$ rijitlikteki koruge boruların yük altında tasarımlarını kolaylaştıracak veriler grafiklerle ortaya konulmuştur. Grafikler ile farklı yataklama durumlarında gerekli zemin reaksiyon modülü değerleri elde edilmiştir. Değerler üzerinden gömlekleme zemin malzemesi ve özelliklerinin belirlenmesi gösterilmiştir. Elde edilen veriler karşılaştırıldığında, koruge boru tabanı yataklamanın borunun rijitlik sınıfından daha etkili olabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Boru yataklama faktörü, Koruge boru, Zemin yüklerinde boru tasarımı

Abstract

Corrugated pipes used in sewage systems can be placed at high burial depths due to field conditions and can be exposed to large ground loads. However, pipe safety underground loads is often overlooked. In corrugated pipe design underground loads; the strength of the pipes, the quality of the soil placed around the pipe and the local soil are decisive and the enhanced Iowa formula is used for calculations. Underground loads, both bedding and covering processes are effective in the design of corrugated pipes. In this study, design calculations were made at the risky points on the sample project. In the study, data that will facilitate the ground load design of $S_N 4$ and $S_N 8$ rigid corrugated pipes at various bedding angles are presented with graphics. With this graphics, soil reaction modules that will occur in different bedding conditions were obtained and it was shown that the covering soil properties were selected according to this value. When the data obtained are compared (evaluated), it is seen that corrugated pipe bedding can be more effective than the stiffness class of the pipe.

Keywords: Pipe bedding factor, Corrugated pipes, Pipe design on ground loads

*a Fatih SAKA; sakafatih@karabuk.edu.tr, Tel :370 418 7036, orcid.org/0000-0003-0956-8658

^b orcid.org/0000-0002-2704-7605

1. Giriş

1. Introduction

Yol, su, elektrik, gaz, kanalizasyon, çevre, ulaşım vb. unsurların tamamı olarak adlandırılan altyapı tesisleri, gün geçtikçe gelişimini sürdürmektedir. Altyapı çalışmaları denildiğinde akla ilk gelen unsurlardan biri kanalizasyon sistemleridir. Bu çalışmada, özellikle son yıllarda kanalizasyon sistemlerinde sıklıkla kullanılan koruge borular ele alınmıştır. Dış yüzeyinde dalgali görüntüsü sebebiyle İngilizce "Corrugated" kelimesinden "Koruge" olarak da isimlendirilen bu tip borular; bazı kaynaklarda hammaddesi olan yüksek yoğunluklu polietilen (high density polyethylene) kelimelerinin İngilizce baş harflerinin kısaltılması ile "HDPE" olarak da adlandırılmaktadır. HDPE borular sadece atık su ve yağmur suyu iletimiyle sınırlı olmayıp aynı zamanda basınçlı su hatları iletiminde de kullanılabilirlerdir.

Kanalizasyon sistemleri projelerinde genel olarak boruların hidrolik hesapları yapılmakta fakat zemin yükleri altında emniyeti göz ardı edilmektedir. Genellikle cazibeli akıtılan kanalizasyon boruları arazi şartları gereği yüksek gömülme derinliğine yerleştirilerek büyük zemin yüklerine maruz kalabilmektedirler. Boruların kapasite üstü yüke maruz kalması durumunda ise göçmeye neden olan; boru cidarının çatlaması, kırılması, burkulması, yüksek çekme gerilmelerinin oluşması ve enine - boyuna doğrultuda eğilmenin ortaya çıkması gibi çeşitli durumlarla karşılaşabilmektedir (Moser & Steven, 2001). Böyle durumlarda ise sokak ve caddelerde, yük altında tahribat gören borular, sağlıklı hizmet veremeyerek toplum hayatının aksamasına ve çevreye zarar verilmesine yol açmaktadır. Muhtemel sorunların önüne geçmek için yapılacak kanalizasyon sistemi çok yönlü değerlendirilerek planlanmalıdır. Bunun için boruların üzerlerindeki zemin yükleri yanında muhtemel trafik yükleri de hesaplanarak tasarım hesaplamaları yapılmalıdır. Bu çalışmada kanalizasyon sistemlerinde kullanılan koruge boruların tasarım ve yapım optimizasyonunu sağlamak amaçlanmıştır. Ayrıca tasarımda boru yataklama unsurunun etkileri karşılaştırılmak istenmiştir.

2. Çalışmanın kapsamı

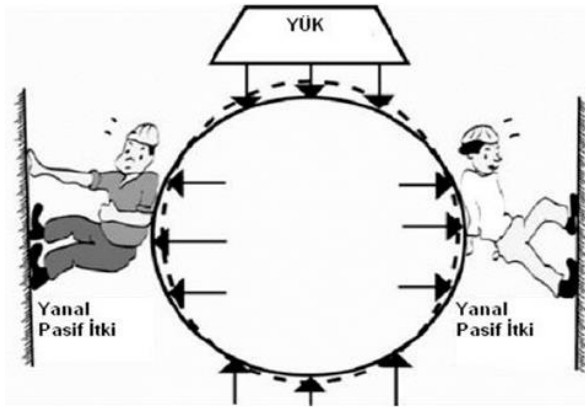
2. Scope of the study

2.1. Zemin yükleri altında boruların davranış biçimleri

2.1. Behavior of pipes under soil loads

Borular üzerlerine gelen yüklere karşı verdikleri tepkiye göre esnek veya rijit olarak sınıflandırılmaktadır. Kanalizasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan koruge borular esnek boru sınıfında; beton borular ise rijit borular sınıfında yer almaktadır (Ayalp, 2006). Beton boruların rijitlik özelliği koruge borulara nispeten ağır basarken koruge boruların da beton borulara göre süneklik özelliği daha fazla olmaktadır (Watkins, 1999).

Koruge borular her ne kadar esnek boru olarak tanımlansada belirli rijitliği olan alt yapı elemanlarıdır. Belirli bir limite kadar rijit özelliği ve limit üstünde hasar görmeden oldukça esneme yapabilme özelliğiyle yük taşıyan borulardır. Bu borular üzerlerine gelen yükün bir kısmını boru tabanına bir kısmını da yandaki zemine aktarmak üzere tasarlanmaktadır. Koruge borular geri dolgu malzemesi pasif etkileriyle dayanımlarının bir kısmını karşılarlar (Şekil 1) (Terzi, 2007).

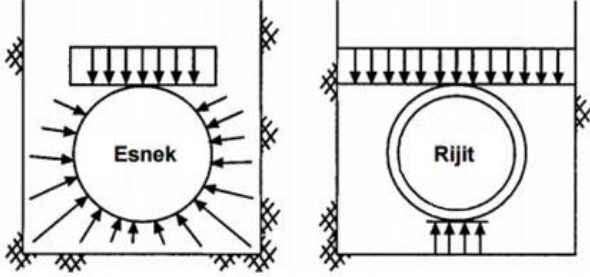


Şekil 1. Esnek boruların yük taşıma prensibi (Terzi, 2007).

Figure 1. Load bearing principle of flexible pipes.

Burada pasif itki etkisi koruge boruların etrafındaki dolgu malzemesinin rijitliği ve malzemenin düzgün yerleştirilmesi ile ilişkilidir. Rijit borular ise hasar görmeden deformasyon yapma kabiliyeti çok düşük olan borulardır. Rijit borular, gelen yükleri kendi dayanımlarıyla boru tabanına aktarmak üzere tasarlanırlar ve zemin pasif itki kuvvetlerinden etkilenmezler. Beton boru ve diğer rijit yapı borularda yükler borunun alt ve üst kısmında yoğunlaşmaktadır. Esnek olarak

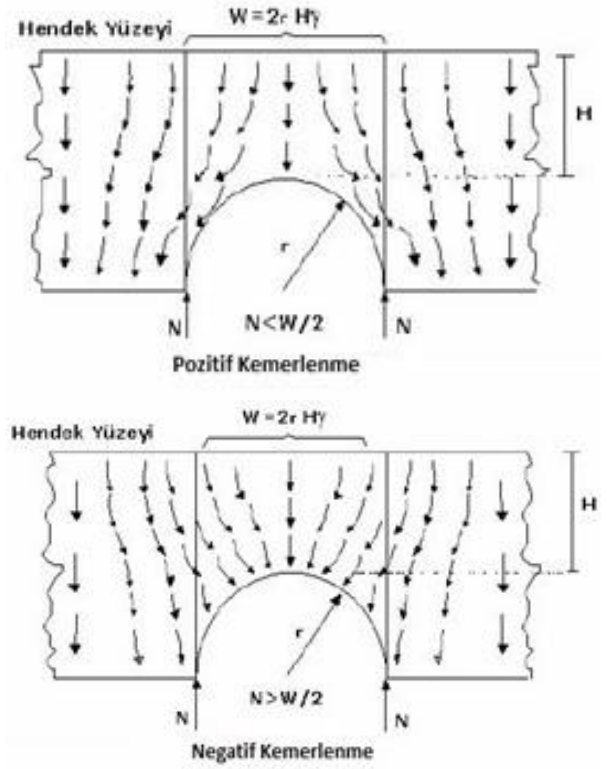
tanımlanan koruge borularda ise yükler borunun tüm çevresine uniform dağılmaktadır (Şekil 2). Bu nedenle esnek borularda borunun tüm çevresine yerleştirilen zemin malzemesi ön plana çıkarken, rijit borularda boru tabanına yerleştirilen zemin malzemesi etkili olmaktadır (Çoban, 2014).



Şekil 2. Esnek ve rijit borularda yük dağılımı (Çoban, 2014).

Figure 2. Load distribution in flexible and rigid pipes.

Gömülü boruların performans değerlendirilmesi, boru çevresini kaplayan zemin malzemesiyle yapılmalıdır. Boru üzerine etkiyen yükün belirlenmesinde boru rijitliğinin zemin malzemesi rijitliğine oranı etkili olmaktadır. Eğer boru rijitliği etrafındaki zemin malzemesi rijitliğinin çok üzerinde ise yükün yaklaşık tamamı boru tarafından taşınmaktadır. Rijit olarak tanımladığımız beton borularda mekanizma bu şekilde işlemektedir. Boru üzerinde oluşan basınç birikmesi koruge boruda deformasyon oluşturmaktadır. Boru çevresine yüksek rijitlikte zemin malzemesi yerleştirildiğinde zemin malzemesi yapı üstünde taş kemer gibi işlev görür. Dolgu zeminin bu kemerlenme etkisi pozitif kemerlenme olarak adlandırılmakta ve boru üzerindeki basıncı düşürmektedir. Böylece deformasyon yapabilme kabiliyeti ve çevresindeki yüksek sıklıktaki malzeme etkisiyle hendek yükünün bir kısmını yan dolgulara taşıtabilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar esnek boru üzerindeki yükün, aynı şartlardaki rijit boruya gelen yükten çok daha az olduğunu göstermiştir (Spangler, 1966). Pozitif kemerlenme etkisi, zemin malzemesi mukavemetine ve zemin ile borunun etkileşimine bağlıdır. Oysa rijit borular yüksek rijitliği sebebiyle negatif kemerlenme meydana getirmektedir (Şekil 3). Boruya etkiyen düşey toprak basıncı, boru üstündeki zemin prizması ağırlığından büyük olmaktadır. Negatif kemerlenmede yan dolgular boru üzerine oturarak boruya ek bir yük getirmektedir. Bu durumda hendek yükünün neredeyse tamamı rijit boru tarafından karşılanmaktadır (Balkaya, 2001).



Şekil 3. Borularda pozitif ve negatif kemerlenme (Bashir, 2000).

Figure 3. Positive and negative arching in pipes.

Şekil 3'de pozitif ve negatif kemerlenme durumlarında boru üzeri zemin prizması ağırlığının boruda oluşturacağı etkiler gösterilmiştir. Boru üzeri toprak yüksekliği H, boru yarıçapı r ve geri dolgunun özgül ağırlığı γ ile ifade edilerek boru orta ekseninde alınan normal kuvvet ile düşey toprak basıncı arasında eşitsizlikler Şekil 3'de belirtilmiştir.

2.2. Koruge boruların özellikleri

2.2. Features of corrugated pipes

Bu boruların üretiminde TS EN 13476-1 ile TS EN ISO 9969 standartları uygulanmaktadır. Ø 600 çapa kadar olan koruge borular TS EN 13476-1 göre termoplastik grubu içerisinde bulunan polipropilen ve polietilen hammaddesinden imal edilmektedir. Bu hammaddeler kimyasallara karşı dirençli yapısı ile bilinmektedir. Partiküler halde fabrikaya gelen polietilen ve polipropilen madde ile plastiğe şekil verme yöntemi olan ekstrüzyon yöntemiyle koruge boru üretimi yapılmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Üretim aşamasında bulunan koruge borular.

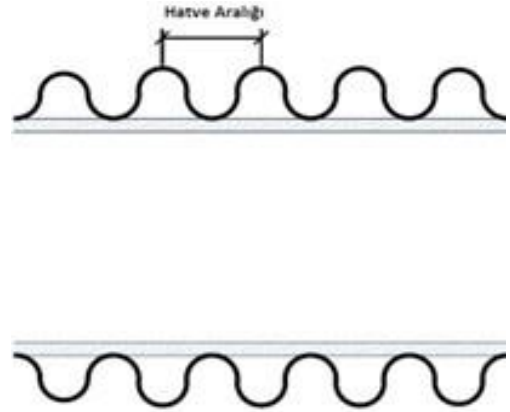
Figure 4. Corrugated pipes under production.

Koruge borularda Ø600 üzeri çaplarda imalat yöntemi değişmektedir. Çap büyüyünce gerekli halka rijitliğini sağlamak için spiral sarım metoduyla imalata geçilmektedir (Tulpar 2010). Spiral sarımlı koruge boruların üretimi, çelik takviyeli ya da takviyesiz polietilen katmanların sarılması yöntemiyle yapılmaktadır.

Boruların ek yerleri birleşimi; manşon contalı, imalat muf contalı ve elektrofizyon yöntemiyle sağlanabilmektedir. Elektrofizyon yöntemi bağlantılar, yüksek basınç dayanımı sağladığından daha çok basınçlı boru hatlarında tercih edilmektedir. Son zamanlarda kendiliğinden muf contalı borular, kolay birleştirme ve conta tasarrufu sağladığından yaygınlaşmıştır (Ece, 2022).

Koruge borular, içindeki akışkanı taşıyan düz yüzeyli boru ve bu boruya moleküler olarak

bağlanmış olan kıvrımlı katmandan oluşmaktadır (Şekil 5). Dıştaki kıvrımlı katman içi doluya yakın yük taşıyabilmesine olanak sağlamasının yanında hem ekonomik hem de hafif bir boru ortaya çıkarmaktadır. Bu boruların diğer üstünlükleri, son derece pürüzsüz bir yüzeyinin bulunması, polietilen hammaddesinin kimyasallar karşısında bozunuma uğramaması, su tutmayan ve geçirimsiz mikro dokuya sahip olması olarak sayılabilir (Yavuz, 2011). Ayrıca depremin yıkıcı etkilerinden malzemenin esnek yapısı sayesinde daha az etkilenirler. Bu boruların olumsuz yönü ise sıcaklık artışı ile elastisite modülünün azalması dolayısıyla dayanımlarının düşmesi ve deformasyon değerlerinin artış göstermesidir (Birtane, 2010).



Şekil 5. Koruge boru çift cidarlı kesit görünümü.

Figure 5. Double wall section view of corrugated pipes.

Koruge borulardan yeterli rijitlik değerlerine sahip olması istenilmektedir. Kesit atalet momenti, kesit atalet eksenleri, boru çapı ve malzemenin elastisite modülü polietilen boru dayanımını etkileyen faktörlerdir. Koruge borunun kesit atalet momenti, yüksek yoğunluklu et kalınlığı ve hatvesi ile ilişkilidir. Polietilenin elastisite modülünden maksimum faydanın sağlanabilmesi için boruların imkan dahilinde minimum hatve aralığında üretilmesi uygun görülmektedir (Birtane, 2010).

2.3. Kanalizasyon sistemlerinin inşası

2.3. Construction of sewer systems

Sistemlerin inşası için belirlenen güzergahta, projede verilen kotlara göre kazı işlerinin yapılması gerekmektedir. Kazının şevsiz, şevli veya iksalı olması zeminin jeolojik yapısı, yapılabirlik durumu, ekonomik olma hususları göz önünde bulundurulurken karar verilir. Şevli kazılarda, şev eğimleri zeminin jeolojik yapısına, yer altı suyu durumuna, iklim şartlarına göre arazide uygulama yapılarak belirlenmelidir. Açılan hendeklerde

akmalara, kaymalara, göçüklere müsaade etmeyecek şekilde iş sağlığı ve güvenliğiyle ilgili gerekli tedbirler alınmalıdır. Yapım işine öncelikle kolektör ve toplayıcılardan başlanılarak, hat mansaptan membaa doğru inşa edilmelidir (Tulpar

2010). Döşemesi biten boru hatları dolgu işlemlerine başlamadan sızdırmazlık deneyine tabi tutulmalıdır. Boru dış çapına (D) göre borunun her iki yanında eşit mesafe bırakılarak kazılması önerilen hendek genişlikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Hendek taban genişlikleri (Atık Su Uzaklaştırma Yönetmelik, 2017).

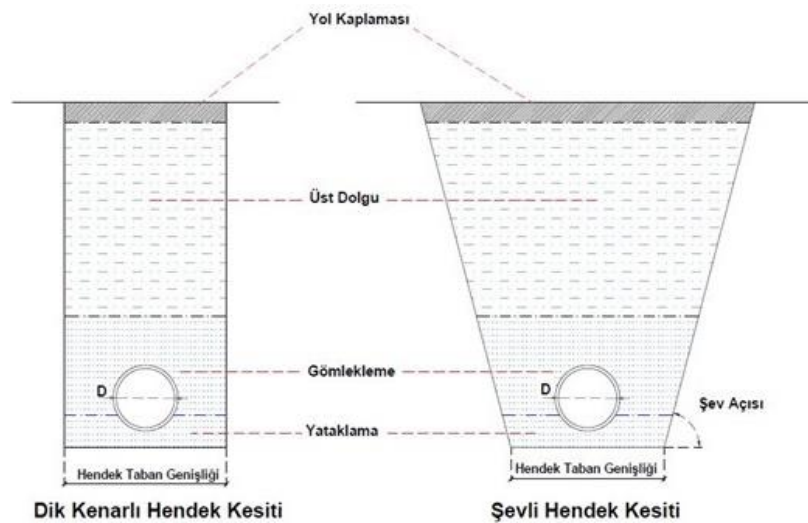
Table 1. Trench bottom width values.

| Boru Çapı(D) | Hendek Tipi | Hendek Genişliği(cm) |
|---------------------|----------------------------------|----------------------|
| $D \leq 40$ cm | Şevli Hendek | 60 |
| | İksalı Hendek | 70 |
| $40 < D \leq 70$ cm | Şevli Hendek ($\leq 60^\circ$) | D+40 |
| | Şevli Hendek ($> 60^\circ$) | D+70 |
| | İksalı Hendek | D+80 |
| $D > 70$ cm | Şevli Hendek ($\leq 60^\circ$) | D+90 |
| | Şevli Hendek ($> 60^\circ$) | D+120 |
| | İksalı Hendek | D+130 |

Boruların döşendikleri yerde stabil kalabilmeleri ve zeminle sağlıklı etkileşimi için yataklama ve gömlekleme uygulamaları yapılmaktadır. Yataklama ve gömlekleme işlemleri için taneli kum çakıl karışımı malzemeler kullanılmaktadır. Borular hendeğe indirilmeden önce kum, silt, sert kil, killi kum, küskülük ve kaya zeminlerde borunun yerleştirileceği kısım için yatak hazırlanmalıdır. Yerel zeminin elverişsiz olduğu durumlarda yani kürekle kolayca kazılabilen gevşek toprak, bitkisel toprak, gevşek kum ve silt zeminlerde, boru tabanı zemine sıkıştırma yapılarak çakıl, jeotekstil veya beton yerleştirme işlemleri değerlendirilerek boru tabanı yataklaması yapılır. Yataklama yapılacak olan hendekte su bulunuyorsa, suyun tahliyesi sağlanarak yataklama işlemi yapılmaktadır. Boruların döşenmesi ile boru çevresinden başlanarak her 30 cm stabilize malzeme kompaktör ile %95 mukavemet

sağlanana kadar sıkıştırılarak gömlekleme yapılır. Bu işlem aynı malzeme ile boru üzeri minimum 30 cm geçinceye kadar devam edilir. Gömlekleme yapımı ardından yol alt ve üst dolgu ile doldurma işlemi yapılmaktadır (Şekil 6). Bu işlemlerde yapılan sıkıştırma tokmakla yapılmamalıdır, borulara zarar vermeden kompaktör veya hafif silindirler vasıtası ile yapılmalıdır (Atık Su Uzaklaştırma Yönetmelik, 2017).

Yataklama borunun yerleşeceği yerin hazırlanması olarak tanımlanabilir. Yataklama borunun taşıma gücünü artırdığından yapımına özel itina gösterilmelidir. Kazısı yapılan hendek tabanı silindir ya da kompaktör yardımıyla sıkıştırılmalıdır. Hendek tabanı üzerinde stabilize malzemeyle yatak oluşturulduktan sonra borular yerleştirilmelidir (Balkaya, 2002).

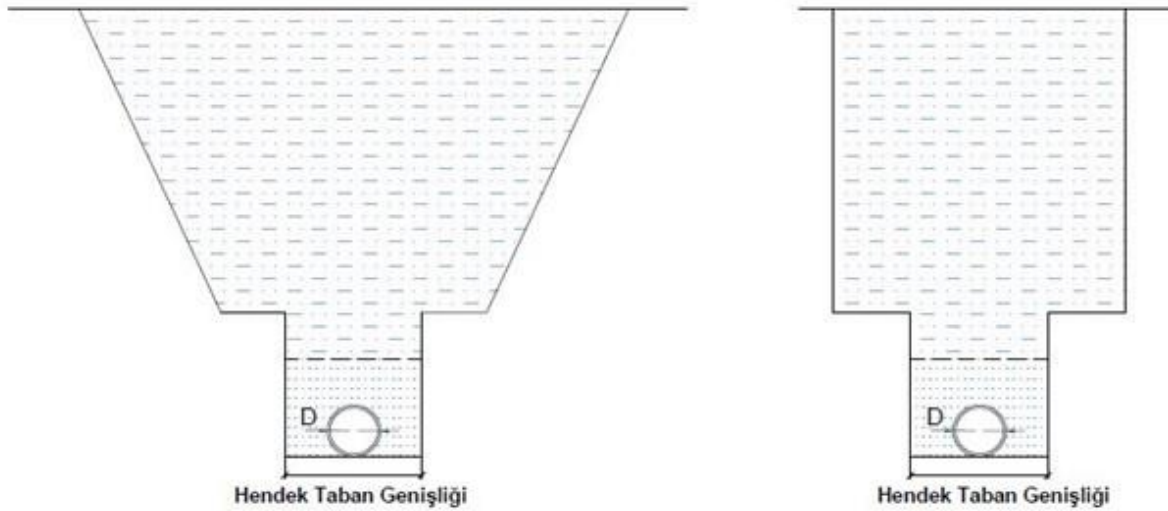


Şekil 6. Hendek en kesit detayları.

Figure 6. Trench cross-section details.

Kanal derinlikleri (akar kot ile yol kırmızı kotu arasındaki yükseklik farkı) bodrum katlarının atık su kanalına doğrudan bağlanıp bağlanmamasına ve cadde genişliklerine bağlı olarak tayin edilir. Yönetmelikte ortalama olarak boru üzeri 2.7 metre gömülme derinliği tavsiye edilmektedir. Bodrum kat olmayan yerleşkelerde 2.7 metreden daha düşük gömülme derinliği kullanılabilir. Yüksek gömülme derinliği hem boru emniyeti hem de şev stabilitesi için riskler barındırmaktadır. Ön projede belirlenen kazı derinlikleri tasarım aşamasında kesinleştirilir. Kesin kazı derinlikleri belirlenirken

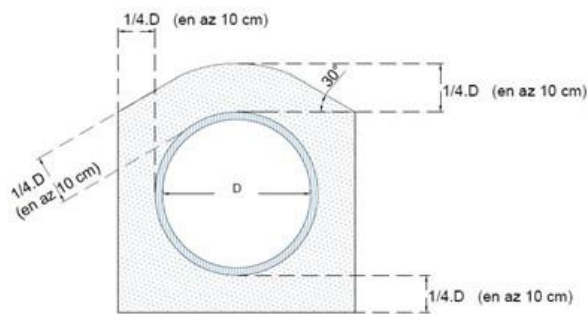
zemin özellikleri, eğim, taşma riskleri, yeraltı su seviyesi, diğer altyapı hizmetlerine yakınlık, ağaçlara ve diğer köklü bitkilere yakınlık, donma riski ve asgari örtü kalınlığı göz önünde bulundurulur (Atık Su Uzaklaştırma Yönetmeliği, 2017). 1.5 m'den daha derin kazılarda güvenlik için hendekler şevli veya iksalı olarak yapılabilir. Derin kazılarda hendek taban genişliği Tablo 1'de belirtilen değerleri aşması halinde, hendek tabanına dar dik kenarlı yeni bir hendek açılması hem ekonomik hem de pratik bir yöntemdir (Şekil 7).



Şekil 7. Hendek içerisine dar dik kenarlı yeni hendek kesiti.

Figure 7. New trench section with narrow steep sides into trench.

Ayrıca sistemde borulardan yük altında üstün dayanım bekleniyorsa, borular beton gömlek içine alınabilir. Beton gömkleme, aşındırıcı zeminlerde korozyona karşı da koruma sağlar. Beton gömklemenin boyutlandırılmasına ilişkin bilgiler Şekil 8'de yer almaktadır (Balkaya, 2002). Beton gömkleme ile negatif kemerlenme oluşur fakat betonun yüksek basınç dayanımı sayesinde koruge borunun pozitif kemerlenme etkilerine ihtiyaç kalmaz.



Şekil 8. Borularda beton gömkleme.

Figure 8. Concrete covering application in pipes.

Sızdırmazlık testi ve gömkleme işlemi yapılmış olan boru güzergahının zaman geçirmeden üst dolgusunun yapılması, iş sağlığı ve güvenliği riskini azaltacaktır. Dolgu toprağı hiçbir zaman taşıtlardan doğrudan doğruya hendeğe dökülmemelidir. Dolgular tabakalar halinde hendeğe serpilerek sıkıştırılması yapılmalıdır (Moser & Steven, 2001). Dolgunun sonradan meydana gelecek oturmalara sebep olmaması için sıkıştırılması gerekmektedir.

2.4. Koruge borulara etkiyen zemin yüklerinin hesaplanması ve tasarımı

2.4. Calculation and design of ground loads acting on corrugated pipes

Borulara gelen zemin yük etkisi; dolgu yüksekliği, çevresindeki zeminin özgül ağırlığı, borunun deformasyon kabiliyeti ve inşa yöntemlerine bağlı olarak değişebilmektedir. Boru ile çevresindeki zemin malzemesinin rölatif rijitliği, muhtemel yükler, boru malzemesi ve çapı, mevzuat normları ele alınarak zemin yükü altında boru tasarımı yapılabilmektedir (Balkaya, 2002). Teknolojinin

gelişmesiyle birlikte esnek boruların zemin yükleri hesabı için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ancak geliştirilen yeni yöntemler geliştirilmiş Iowa amprik formülünün önüne geçebilmiş değildir. Geliştirilmiş Iowa formülü sade ve kullanışlı olması sebebiyle saha uygulamalarında kullanılmaya devam etmektedir (Dizayn, 2022).

Esnek borular dayanımlarının büyük bir bölümünü geri dolgu yapılan zeminden karşılarlar. Bu sebeple, esnek boruların performansı gömlekleme malzemesi rijitliğine ve sıklığına bağlıdır. Koruge borularda rijitliği yüksek gömlekleme malzemesinin, hatve aralıklarını doldurabilecek granülometride olması istenmektedir. Ayrıca koruge boruların tasarımı halkanın eğilmesine bağlıdır bu sebeple koruge borularda halka rijitliği de belirleyicidir (Moser & Steven, 2001).

DIN standartlarında halka rijitliği (S_R) (kN/m^2) belirlemede boru yarıçapı, CEN ve EN standartları halka rijitliği (S_N) (kN/m^2) hesabında boru çapı kullanılmaktadır (Denklem 1).

$$S_R = E \cdot I / r^3 \text{ veya } S_N = E \cdot I / D^3 \quad (1)$$

D: Borunun İç Çapı(m)

r: Boru Yarıçapı (m)

I: Atalet Momenti(m^4/m)

E: Boru Malzemesinin Elastisite Modülüdür (kN/m^2)

Yukarıdaki formüller ele alındığında, $S_R = 8S_N$ şeklinde bir ilişki oluşmaktadır. Boruda halka rijitliği TS EN ISO 9969'e göre %3'lük deformasyona karşılık gelen test yükü olarak tayin edilir. Ayrıca boruların halka esnekliği TS EN ISO 13968 standardında belirtilen % 30'luk deformasyon yükü altında boruda çatlama, kırılma ve deformasyon olmamalıdır (Şekil 9). Zarar görmeden % 30'luk deformasyon kabiliyeti, koruge borunun güvenlik faktörü olarak görülebilir (Kalde, 2015).

Koruge borulara gelebilecek zemin yükünün, Marston Teorisi minimum yük değeri ile prizma yükü arasında olduğu kabul edilmektedir. Borunun hizmet ömrü uzadıkça yükün prizma yüküne kadar artacağı tahmin edilmektedir. Hendeklerde olumsuz şartlar olabileceğinden esnek boruların yük hesabında genellikle prizma yükü (P) baz alınmaktadır (Denklem 2) (Moser & Steven, 2001; Yimsiri & Ratananikom, 2021).



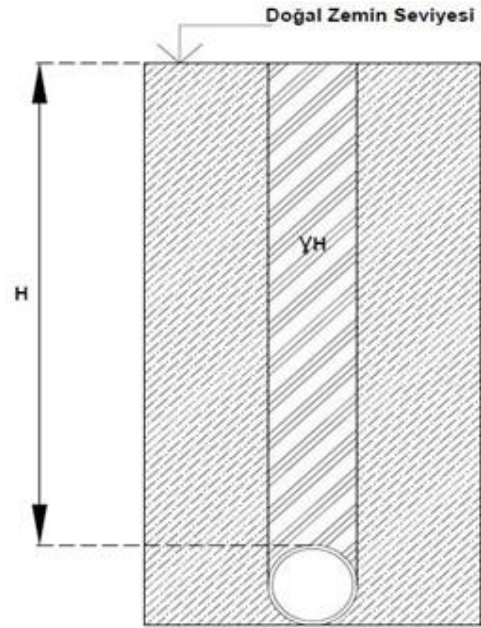
Şekil 9. Koruge borunun halka rijitliğinin test edilmesi.

Figure 9. Testing the ring stiffness of corrugated pipe.

$$P = \gamma \cdot H \quad (2)$$

H: Gömülme Derinliği (m)

γ : Zemin Birim Ağırlığı (kN/m^3)



Şekil 10. Gömülü esnek boruya etkiyen prizma yükü.

Figure 10. Prism load acting on buried flexible pipe.

Şekil 10'da prizma yükünün boru üzerine etkisi ifade edilmiştir. Prizma yükü hendek genişliğinden bağımsızdır. Prizma yükünün boru dış çapı ile çarpımı boru üzerine gelen yükü vermektedir (Denklem 3).

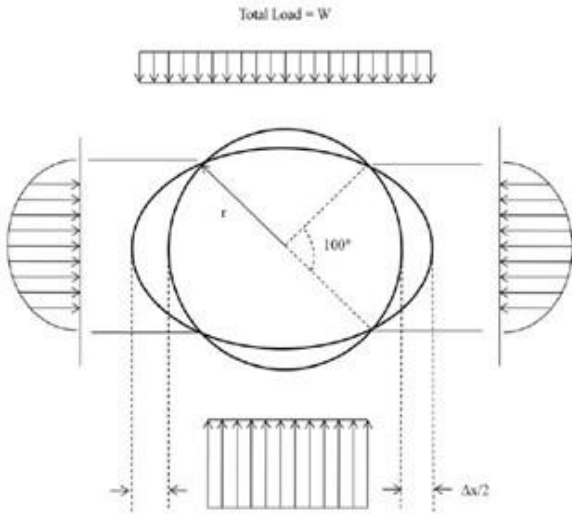
$$P_c = P \cdot B_c \quad (3)$$

P_c : Borunun birim uzunluğu üzerine düşen yük (kN/m)
 B_c : Borunun dış çapı (m)

Esnek boruların deformasyon değerlerini hesaplamak için Iowa formülünü geliştirilmiştir (Denklem 4). Borunun yeterince rijit olduğu ve deforme olmuş dairesel bir borunun elips şeklinde olacağı varsayımıyla, yatay eğilmenin yaklaşık düşey eğilmeye eşit olacağını belirlenmiştir (Şekil 11) (Spangler, 1966). Gömülü borunun uzun vadeli davranışını Iowa formülü iyi açıklamaktadır çünkü uzun vadede hendek genişliğinin etkileri azalmaktadır (Yimsiri & Ratananikom, 2021).

$$\Delta X = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P_c \cdot r^3}{E \cdot I + 0.061 \cdot e' \cdot r^4} \quad (4)$$

D_L : Eğilme gecikme faktörü
 K_y : Yataklama sabiti
 P_c : Borunun birim uzunluğuna düşen prizma yükü (P.B_c) (kN/m)
 r : Borunun ortalama yarıçapı (m)
 E : Boru malzemesinin elastisite modülü (kN/m²)
 E' : Zemin Reaksiyon Modülü (kN/m²)
 e' : Yan dolgunun pasif direnci (kN/m² m)
 ΔX : Yatay eğilme veya çapta değişim (m)



Şekil 11. Gömülü boru deplasmanından Iowa formülü türetme dayanağı (Spangler, 1966).

Figure 11. Basis for derivation of Iowa formula from buried pipe displacement.

İlerleyen yıllarda Iowa formülü üzerinde yapılan boyut analizinde, zemin pasif direnci e' 'nin zeminin özelliğini yansıtan bir unsur olmadığını belirlemiş ve başka bir zemin parametresi olan zemin reaksiyon modülünü $E' = e' \cdot r$ tanımlanmıştır. Bunun üzerine geliştirilmiş Iowa formülü olarak

bilinen formül ortaya çıkmıştır (Denklem 5) (Watkins, 1999).

$$\Delta X = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P_c \cdot r^3}{E \cdot I + 0.061 \cdot E' \cdot r^3} = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P_c}{\frac{E \cdot I}{r^3} + 0.061 \cdot E'} \quad (5)$$

Iowa formülünde yer alan bir unsur da eğilme gecikme (D_L) faktörüdür. Bu etki maksimum yük oluştuğundan bir süre sonra oluşan eğilme artışıdır. Eğilme artışının 40 yılda %30 artabileceği tahmin edilmektedir (Spangler, 1966). Marston teorisi yükünde D_L değerinin 1.5 alınmasının uygun olacağını belirtmiştir. Tasarımda prizma yükü Marston'un 1.5 katından fazla olması sebebiyle prizma yükü ile hesap yapıldığında; D_L değerinin 1 olarak alınması tavsiye edilmektedir (Watkins, 1999; Yimsiri & Ratananikom, 2021). Bu çalışma kapsamındaki vaka uygulamasında prizma yükünden hesap yapılmış ve D_L değeri 1 olarak kabul edilmiştir.

$P_c = P \cdot B_c$ olduğundan B_c değeri geliştirilmiş Iowa formülünde deplasman miktarının paydasına gönderilirse, borunun yüzdelik deplasmanı elde edilir. Böylelikle geliştirilmiş Iowa formülünün pratikte kullanımı ortaya çıkmaktadır (Denklem 6).

Esname Yüzdesi = (Yük Etkisi) / (Boru rijitliği + [Sabit] Zemin Rijitliği)

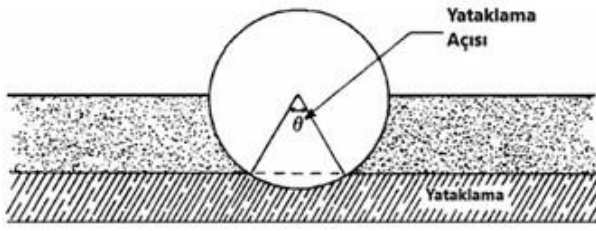
$$\frac{\Delta X}{B_c} = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P}{S_R + 0.061 \cdot E'} \quad (6)$$

veya

$$\frac{\Delta X}{B_c} = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P}{8 \cdot S_N + 0.061 \cdot E'}$$

şeklinde olmaktadır. Burada S_R borunun yarıçapına göre rijitlik hesabını, S_N ise borunun çapına göre rijitlik hesabını ifade etmektedir. Ülkemizde koruge boru üretimi yapan fabrikalar ürün dayanım sınıfı belirtmede genellikle S_N değerini kullanmaktadır.

Formülde yer alan K_y yataklama sabiti, aşağıda verilen Şekil 12'de gösterilen boru yataklama açısından yola çıkarak Tablo 2'den tespit edilmektedir. Yataklama açısının sahada belirlenebilmesi için; oluşturulan boru yatağından borunun kaldırılması ile örülenmeden kalabilen zemin olarak nitelendirilebilir (Moser & Steven 2001).



Şekil 12. Yataklama açısı (Moser & Steven 2001).
Figure 12. Bearing angle.

Tablo 2. Yataklama sabiti değerleri (Moser & Steven, 2001).

Table 2. Bearing constant values.

| Yataklama (derece) | Açısı | Yataklama Sabiti (K _y) |
|--------------------|-------|------------------------------------|
| 30° | | 0.108 |
| 60° | | 0.102 |
| 90° | | 0.096 |
| 120° | | 0.090 |
| 180° | | 0.083 |

Geliştirilmiş Iowa formülündeki E', gömülü esnek bir boruda yatay ekseninde meydana gelen şekil

değiştirmeye karşı, gömlekleme dolgusunun gösterdiği pasif direnç olarak ifade edilmiştir. Bu direnç değeri dolgu malzemesinin sıkılık derecesi, hendek genişliği, yerel zemin davranışı, boru çapı ve borunun esneme kabiliyeti ile ilişkilendirilmiş ve ilk aşamalarda değerin ölçülmesi için yapılan araştırmalar başarısız olmuştur. Daha sonraları bu değerin hesaplanabilmesine yönelik veriler elde edilebilmiştir. Bu değer zemin reaksiyon modülü (E') olarak tanımlanmıştır (Terzi, 2007).

Zemin reaksiyon modülünün belirlenmesindeki yöntemlerden biri; yerleştirilme koşullarının bilindiği bir boruda, tasarım deformasyon sınırına göre Iowa formülünden geri işlem yapılmasıdır. Bu işlemde yük, yataklama faktörü, eğilme gecikmesi faktörü ve boru rijitliği değerleri formülde yerine yazılmaktadır. Denklemde tek bilinmeyen olarak kalan E' hesaplanır ve E' değerini sağlayabilecek nitelikte dolgu zemin malzemesi belirlenir. 1977-2006 yılları arasında birçok arazi verisi derlenerek E' için ortalama tasarım değerleri hesaplanmıştır (Howard, 2006). Bu çalışmada zeminin cinsine ve proktor sıkılık yüzdesine göre E' değerleri yer almaktadır (Tablo 3).

Tablo 3. Iowa eşitliğinde zemin reaksiyon modülü ortalama değerleri (Howard, 2006)

Table 3. Soil reaction modulus mean values in the Iowa equation.

| Zemin Türü | Zemin Sıklığı (Proktor Sıkıştırma Yüzdesi (%)) | | | |
|--|--|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | Gevşek Sıkıştırılmamış (MPa) | < % 85 Hafif Sıkıştırma (MPa) | % 85-%95 Orta Sıkıştırma (MPa) | > % 95 Yüksek Sıkıştırma (MPa) |
| İnce Daneli Zeminler (LL > 50)Orta ve Yüksek Plastisiteli CH, MH, | | | | |
| İnce Daneli Zeminler (LL< 50) orta veya düşük plastisite CL, ML ve %25'den az kaba daneli malzeme | 0.34 | 1.38 | 2.76 | 6.89 |
| İnce Daneli Zeminler (LL< 50) orta veya düşük plastisite iri daneleri %25 üzeri olan CL, ML ince dane içeriği %12'den fazla kaba daneli malzeme GM, GC, SM, SC | 0.69 | 2.76 | 6.89 | 13.79 |
| Kaba Daneli Zeminler (İnce daneli oranı %12 den az olan topraklar) GW, GP, SW, SP | 1.38 | 6.89 | 13.79 | 20.68 |
| Parçalanmış kaya | 6.89 | 20.68 | 20.68 | 20.68 |

Tabloda belirtilen zemin sıklığı dereceleri laboratuvar ortamında yapılan proktor deneyi ile belirlenir. Zemin kompaksiyonu ile hava boşlukları

azaltılarak zemin yoğunluğunu artırılmış olunur. Laboratuvar ortamında su muhtevası ayarlanarak yüksek sıkıştırma (> %95) oluşturulabilmektedir.

Zemin sıklık oranı artıka malzemeden daha yüksek zemin reaksiyon modülleri elde edilebilmektedir.

Tablo incelendiğinde ilk satırda belirtilen likit limit (LL) oranı 50 üzeri olan yüksek plastisiteli kil (CH) ve silt (MH) kullanımı belirtilmiştir. Bu içerikteki zeminler suyu tutarak boru etrafında balçık zemin oluşturur ve borudaki negatif kemerlenme etkilerini artırır dolayısıyla kullanılması önerilmemektedir. Diğer likit limit oranı 50'den küçük orta - düşük plastisiteli ve kaba dane oranı %25'den az kil (CL) ve silt (ML) malzeme kullanılması durumunda; gömleklemeden yüksek zemin reaksiyon modülü elde edebilmek için yüksek sıkıştırma uygulanmalıdır. Tabloda 3. satırda belirtilen likit limiti 50'den küçük orta-düşük plastisiteli ve kaba dane oranı %25'den fazla olan kumlu kil (CL), siltli kum (ML) ile ince dane oranı %12'den fazla olan siltli çakıl (GM), killi çakıl (GC), siltli kum (SM) ve killi kum (SC) zemin malzemelerinin aynı performans gösterdiği kabul edilir. Tabloda 4. satırda belirtilen ince dane oranı %12'den az kaba daneli; iyi derecelenmiş çakıl (GW), kötü derecelendirilmiş çakıl (GP), iyi derecelendirilmiş kum (SW) ve kötü derecelendirilmiş kum (SP) zemin malzemeleri iyi performans gösterirler. Koruge boru etrafı gömlekleme için genellikle bu çeşit zemin malzemeleri kullanılır. Parçalanmış kaya zeminler yüksek zemin reaksiyon modülleri oluştururlar ancak iri danelerinden koruge boru hatve aralıklarına giremezler (Howard, 2006).

Bu çalışmada vaka uygulamalarında Iowa formülünden geri işlem yapılarak minimum gerekli zemin reaksiyon modülü değerleri kullanılmıştır. Gerekli zemin reaksiyon modülü Tablo 3 verilerinden yararlanılarak belirlenmiştir. Uygulamalarda kullanımına müsaade edilmeyen ince taneli plastisiteli zeminler ile boru hatve aralıklarına girmesi muhtemel olmayan parçalanmış kaya zeminler göz önünde bulundurulmamıştır. Ayrıca Tablo 3'de belirtilen yüksek sıkıştırmanın arazi şartlarında sağlanmasının güç olduğu unutulmamalıdır.

2.5. Trafik yükünün boru üzerine etkisinin bulunması

2.5. Finding the effect of traffic load on the pipe

Borular genellikle insanların yoğun yaşadığı yerlerde bulunduğundan otoyol veya demiryolu gibi ulaşım araçlarının geçtiği yol zeminine inşa edilebilirler. Bu sebeple boruları tasarlarırken zemin yükünün yanında trafikten kaynaklı yük toplamı göz önünde bulundurulmalıdır. Gömülü borunun

trafik yüküne yakın derinlikte olması, yük etkisinin daha çok hissedilmesine yol açar. Derinlik artıka tekerlek yüklerinin etkisi azalmaktadır (Balkaya, 2002).

Borulara etkiyen trafik yükünün Bousnessq metodu ile saha uygulamasında pratik hesabı Denklem 7'deki formülle yapılabilmektedir (Civil Web t.y. ; Dizayn, 2022). Formülde bulunan değer prizma yükünü ifade eder. Trafik durumlarına göre tekerlek başına düşebilecek yükler Tablo 4'de verilmiştir.

$$P_{tr} = \frac{3 \cdot V_t}{2 \cdot \pi \cdot H^2} \left[\frac{1}{1 + (r_t/H)^2} \right]^{5/2} \quad (7)$$

P_{tr} : Boruya etkiyen trafik prizma yükü (kN/m²)

H : Gömülme derinliği (m)

r_t : Tekerlek yükünün boru merkez düzlemine yatay mesafesi

V_t : Tekerlek başına maksimum trafik yükü (kN/m) (Tablo 4)

Tablo 4. Trafik yükleri (Kalde, 2015).

Table 4. Traffic loads.

| Sınıflar | Toplam Yük(kN) | Tekerlek Başına Maksimum Yük(kN) (V_t) |
|--------------|----------------|--|
| Ağır Trafik | 600 | 100 |
| Orta Trafik | 300 | 50 |
| Hafif Trafik | 120 | 20 |
| Otomobil | 30 | 10 |

Çalışma kapsamında vaka uygulamasında tekerlek yükünün boru merkez düzleminde yer aldığı kabul edilerek r_t değeri sıfır kabul edilmiştir. Böylece tasarımın emniyetli tarafta olması sağlanmış ve formül daha sade bir hal almıştır (Denklem 8).

$$P_{tr} = \frac{3 \cdot V_t}{2 \cdot \pi \cdot H^2} \quad (8)$$

3. Vaka uygulaması

3. Case practice

Koruge boruların zemin yüklerine karşı performansı, Karabük Üniversitesi Atık Su Projesi üzerinde değerlendirilmiştir. Zemin yüklerinde koruge boru tasarımında, açıklanan yöntemlerin uygulamada kullanımı ele alınmıştır. Projede seçilen bir kesit üzerinden boru tetkik hesapları yapılmıştır. Uygulama hendek detayları, boy kesit ve en kesit çizimlerinde verilmektedir.

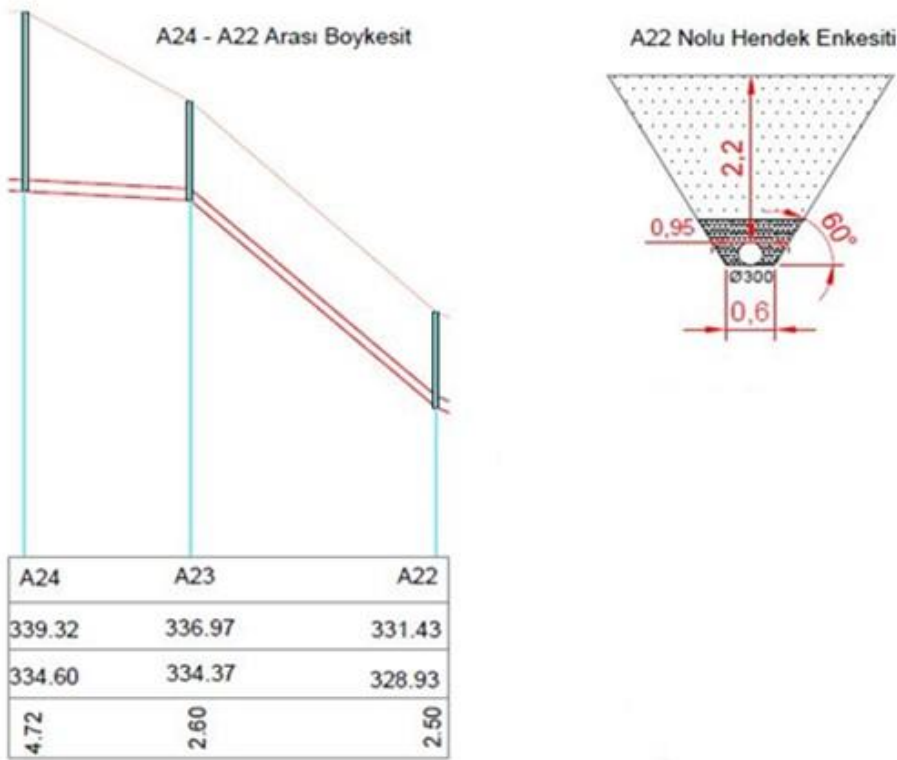
Koruge boruların tasarımında geliştirilmiş Iowa formülüne standartta müsaade edilen % 3'lük

deformasyon eşitliğinden işlem yapılmıştır. Çalışmada yataklama etkisini belirgin şekilde göstermek için yataklama açısı minimum ve maksimum değerleri alınmıştır. Belirtilen denklemde, boru rijitlik sınıfı (S_N), toplam prizma yükü ve yataklama etkisi değerleri yerine yazılmıştır. 0° 'lik yataklama açısına karşılık olan yatak oluşturulmaması durumu, yönetmelikte uygun görülmediği için hesaplanmamıştır.

Yataklama açısı (30° ve 180°) ve rijitlik sınıfı ($S_N 4$ ve $S_N 8$) etkilerini incelemek amacıyla ayrı ayrı hesaplar yapılmıştır. Prizma yükü hesabında, suya doymun maksimum zemin birim ağırlığı kullanılmıştır. Prizma yüküne ilaveten mevcut

trafik yükü de eklenmiş ve toplam prizma yükü bulunmuştur. İşlemler sonucu denklemde tek bilinmeyen olarak kalan zemin reaksiyon modülü (E') denkleminden çıkartılmıştır. Burada bulunan zemin reaksiyon modülü (E') değeri minimum gerekli olan değerdir. Zemin reaksiyon modülünü sağlayan gömlekleme zemin dolgusu, "Howard, 2006" çalışma tablosu değerlerinden belirlenmiştir. Tabloda tasarımı sağlamayan zemin değerleri kırmızıya boyanarak belirtilmiştir.

- ❖ Aşağıda Karabük Üniversitesi kampüsünde bulunan atık su hattının 22 nolu baca girişi boy kesiti ve hesap yapılan boru en kesiti verilmiştir.



Şekil 13. Karabük Üniversitesi atık su 22 nolu baca çıkışı en - boy kesitler

Figure 13. Karabuk University waste water shaft outlet no 22 cross - length sections.

- 22 Nolu En Kesit, 30° Yataklama Açısı Şartlarında Tetkik;

$$P = \gamma \cdot H = 20 \cdot 2.2 = 44 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{tr.} = \frac{3 \cdot Vt}{2 \cdot \pi \cdot H^2} = \frac{3 \cdot 50}{2 \cdot \pi \cdot 2.2^2} = 4.93 \text{ kN/m}^2 \text{ (Orta Trafik)}$$

$$P_{toplam} = 44 + 4.93 = 48.93 \text{ kN/m}^2$$

$$K_y = 0.108 \text{ (} 30^\circ \text{ Yataklama Sabiti)}$$

$$\frac{\Delta X}{B_c} = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P}{8 \cdot S_N + 0.061 \cdot E'} \rightarrow 0.03 = \frac{1 \cdot 0.108 \cdot 48.93}{8 \cdot S_N + 0.061 \cdot E'}$$

$176.15 = 8 \cdot S_N + 0.061 \cdot E'$ denkleminde S_N değerleri yerine yazılır.

30° yataklama durumunda, $S_N 4$ ve $S_N 8$ halka rijitliğinde koruge boru hesapları yapılarak Tablo 5'de ve Tablo 6'da verilmiştir.

- ❖ $S_N = 4 \text{ kN/m}^2$ göre tasarım;

$$176.15 = 8 \cdot 4 + 0.061 \cdot E'$$

$$144.15 = 0.061 \cdot E'$$

$$E' = 2363.11 \text{ kN / m}^2 \rightarrow 2.363 \text{ MPa}$$

Tablo 5. KBU atık su 22 nolu kesit, 30° yataklama ve S_N 4 halka rijitliğinde koruge boru tetkik sonucu;
Table 5. KBU waste water section 22, 30° bedding and SN 4 ring rigidity corrugated pipe inspection result.

| Zemin Türü | (Proktor Sıkışma Yüzdesi (%)) | | | |
|--|-------------------------------|--------|----------|--------|
| | Sıkıştırılmamış | < % 85 | % 85-%95 | > % 95 |
| İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisiteli CL, ML ve %25'den az kaba daneli malzeme | 0.34 | 1.38 | 2.76 | 6.89 |
| İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisite iri taneleri %25 üzeri olan CL, ML. İnce dane içeriği %12'den fazla kaba daneli GM, GC, SM, SC. | 0.69 | 2.76 | 6.89 | 13.79 |
| Kaba Daneli Malzeme İnce daneli oranı %12 den az olan zeminler GW, GP, SW, SP. | 1.38 | 6.89 | 13.79 | 20.68 |

❖ S_N = 8 kN/m² göre tasarım;

$$176.15 = 8 \cdot 8 + 0.061 \cdot E'$$

$$112.15 = 0.061 E'$$

$$E' = 1838.52 \text{ kN / m}^2 \rightarrow 1.838 \text{ MPa}$$

Tablo 6. KBU atık su 22 nolu kesit, 30° yataklama ve S_N 8 halka rijitliğinde koruge boru tetkik sonucu;
Table 6. KBU waste water section 22, 30° bedding and SN 8 ring rigidity corrugated pipe inspection result.

| Zemin Türü | (Proktor Sıkışma Yüzdesi (%)) | | | |
|--|-------------------------------|--------|----------|--------|
| | Sıkıştırılmamış | < % 85 | % 85-%95 | > % 95 |
| İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisiteli CL, ML ve %25'den az kaba daneli malzeme | 0.34 | 1.38 | 2.76 | 6.89 |
| İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisite iri taneleri %25 üzeri olan CL, ML. İnce dane içeriği %12'den fazla kaba daneli GM, GC, SM, SC. | 0.69 | 2.76 | 6.89 | 13.79 |
| Kaba Daneli Malzeme İnce daneli oranı %12 den az olan zeminler GW, GP, SW, SP. | 1.38 | 6.89 | 13.79 | 20.68 |

➤ 22 Nolu En Kesit, 180° Yataklama Açısı Şartlarında Tetkik;

$$P = \gamma \cdot H = 20 \cdot 2.2 = 44 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{tr.} = \frac{3 \cdot Vt}{2 \cdot \pi \cdot H^2} = \frac{3 \cdot 50}{2 \cdot \pi \cdot 2.2^2} = 4.93 \text{ kN/m}^2 \text{ (Orta Trafik)}$$

$$P_{toplam} = 44 + 4.93 = 48.93 \text{ kN/m}^2$$

$$K_y = 0.083 \text{ (180° Yataklama Sabiti)}$$

$$\frac{\Delta X}{B_c} = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P}{8 \cdot S_N + 0.061 E'} \rightarrow 0.03 = \frac{1 \cdot 0.083 \cdot 48,93}{8 \cdot S_N + 0.061 E'}$$

135.37 = 8 S_N + 0.061 E' denkleminde S_N değerleri yerine yazılır.

180° yataklama durumunda, S_N 4 ve S_N 8 halka rijitliğinde koruge boru hesapları yapılarak Tablo 7'de ve Tablo 8'de verilmiştir.

❖ S_N = 4 kN/m² göre tasarım yapılırsa;

$$135.37 = 32 + 0.061 E'$$

$$103.37 = 0.061 E'$$

$$E' = 1694.59 \text{ kN / m}^2 \rightarrow 1.694 \text{ MPa}$$

Tablo 7. KBU atık su 22 nolu kesit, 180° yataklama ve SN 4 halka rijitliğinde koruge boru tetkik sonucu.
Table 7. KBU waste water section 22, 180° bedding and SN 4 ring rigidity corrugated pipe inspection result.

| Zemin Türü | (Proktor Sıkışma Yüzdesi (%)) | | | |
|--|-------------------------------|--------|----------|--------|
| | Sıkıştırılmamış | < % 85 | % 85-%95 | > % 95 |
| İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisiteli CL, ML ve %25'den az kaba daneli malzeme | 0.34 | 1.38 | 2.76 | 6.89 |
| İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisite iri taneleri %25 üzeri olan CL, ML. İnce dane içeriği %12'den fazla kaba daneli GM, GC, SM, SC. | 0.69 | 2.76 | 6.89 | 13.79 |
| Kaba Daneli Malzeme İnce daneli oranı %12 den az olan zeminler GW, GP, SW, SP. | 1.38 | 6.89 | 13.79 | 20.68 |

❖ S_N = 8 kN/m² göre tasarım;

$$E' = 1170 \text{ kN / m}^2 \rightarrow 1.17 \text{ MPa}$$

$$135.37 = 64 + 0.061 E'$$

$$71.37 = 0.061 E'$$

S_N = 8 kN/m² rijitlikte boru tetkik sonucu 16. Sayfa, Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. KBU atık su 22 nolu kesit, 180° yataklama ve SN 8 halka rijitliğinde koruge boru tetkik sonucu.
Table 8. KBU waste water section 22, 180° bedding and SN 8 ring rigidity corrugated pipe inspection result.

| Zemin Türü | (Proktor Sıkışma Yüzdesi (%)) | | | |
|--|-------------------------------|--------|----------|--------|
| | Sıkıştırılmamış | < % 85 | % 85-%95 | > % 95 |
| İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisiteli CL, ML ve %25'den az kaba daneli malzeme | 0.34 | 1.38 | 2.76 | 6.89 |
| İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisite iri taneleri %25 üzeri olan CL, ML. İnce dane içeriği %12'den fazla kaba daneli GM, GC, SM, SC. | 0.69 | 2.76 | 6.89 | 13.79 |
| Kaba Daneli Malzeme İnce daneli oranı %12 den az olan zeminler GW, GP, SW, SP. | 1.38 | 6.89 | 13.79 | 20.68 |

Vaka uygulamasında elde edilen verilerin kıyaslanması Tablo 9’da verilmiştir. Çalışma bulgularında bu tablonun değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 9. KBU 22 nolu hendek kesitinde koruge boru yerleştirme koşullarında minimum E’ değerleri
Table 9. Minimum E’ values in the conditions of corrugated pipe placement in the trench section 22 KBU.

| | S _N 4 Rijitlikte Koruge Boru | S _N 8 Rijitlikte Koruge Boru |
|-----------------------------|---|---|
| 30° Yataklama Açısı Durumu | 2.363 MPa | 1.838 MPa |
| 180° Yataklama Açısı Durumu | 1.694 MPa | 1.170 MPa |

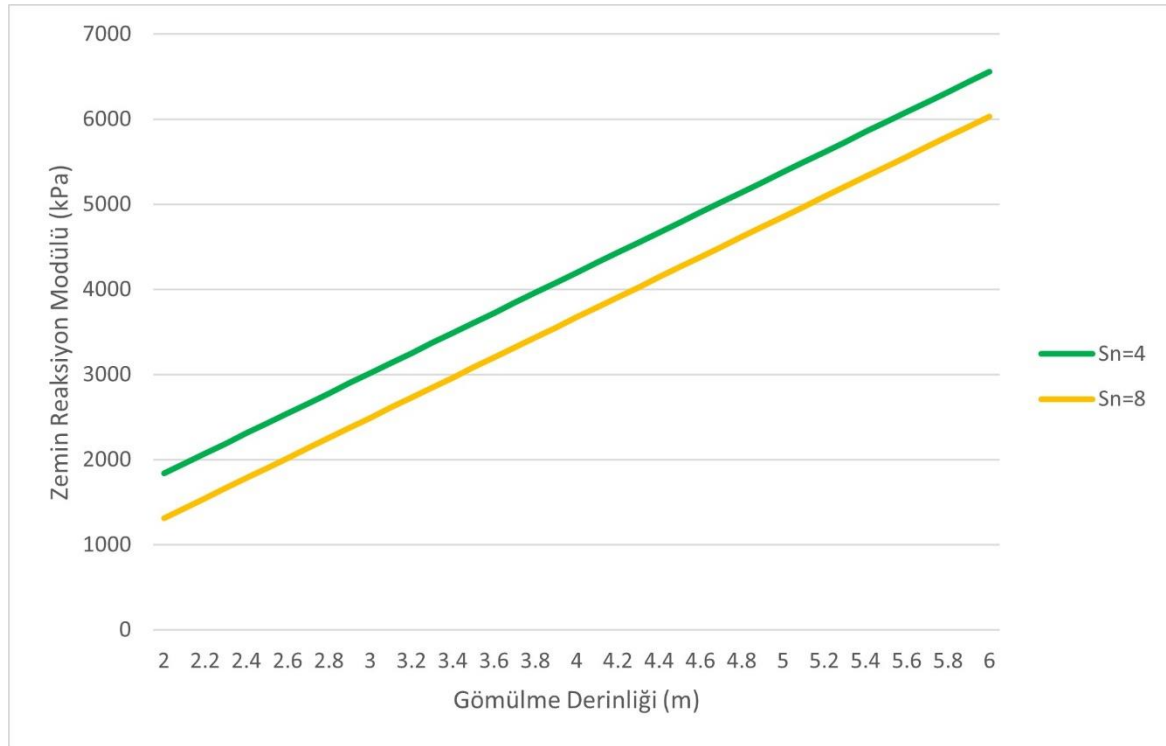
4.Bulgular

4. Findings

Vaka analizi bölümü Tablo 9’da tetkik verileri karşılaştırıldığında; 180° yataklama açısı ve S_N 4 boru rijitliği durumunda gerekli olan zemin reaksiyon modülünün, 30° yataklama açısı ve S_N 8 boru rijitlikteki gerekli olan zemin reaksiyon modülünden daha düşük değer yeterli olduğu görülmektedir. Buradan boru yataklamasının borunun rijitlik sınıfından daha etkili olabileceği anlaşılmaktadır.

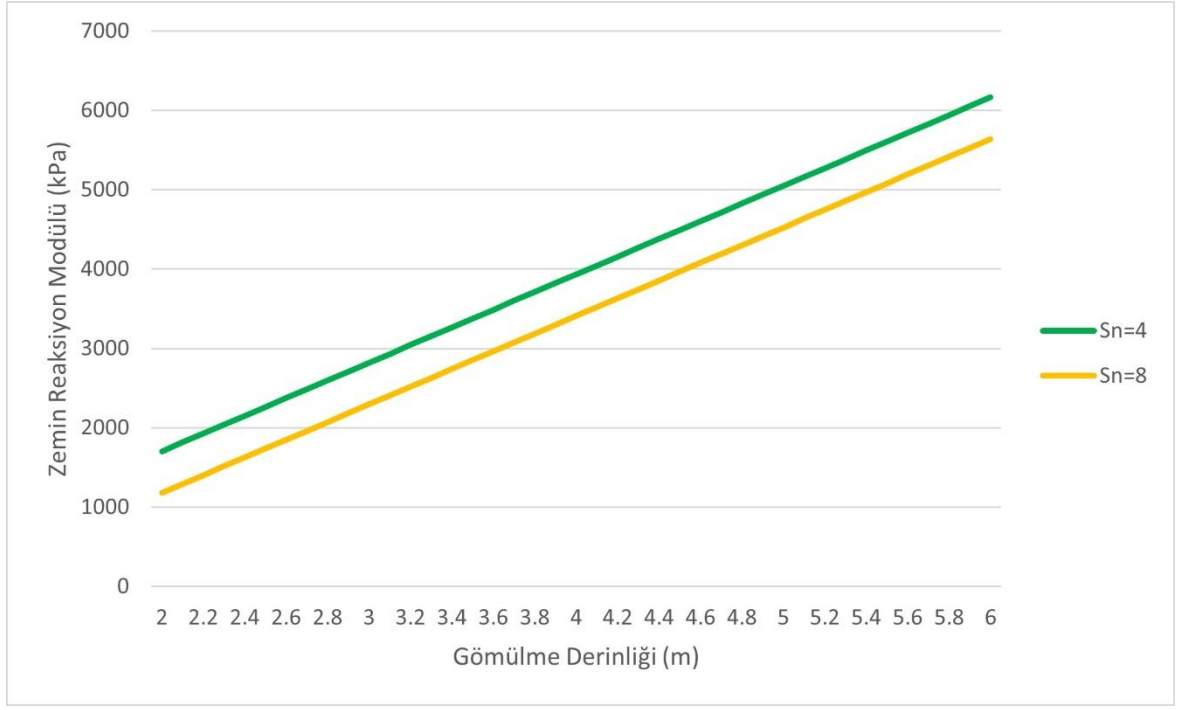
Boru üzeri gömülme yüksekliğinin 2 m’yi geçtiği durumlarda, boru mukavemetinin dolgu yükünü taşıyacak nitelikte olmasına dikkat edilmelidir (Ayalp, 2006). Bu hususta koruge borularda rijitlik

sınıfı, gömülme derinliği, yataklama açısı ve gömlekleme dolgusu ön plana çıkmaktadır. Prizma yükünde, hesabın emniyetli tarafta kalması düşünüldüğünden maksimum zemin birim ağırlık değeri olarak 20 kN/m³ alınmıştır. Hesaplanan prizma yükü geliştirilmiş Iowa formülü üzerinden S_N 4 (kN/m²) ve S_N 8 (kN/m²) rijitlik sınıflarında, çeşitli yataklama açılarındaki borular için gerekli gömlekleme (zemin) dolgusu reaksiyon modülleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler grafikler halinde aşağıda verilmiştir (Şekil 14 - Şekil 18). Şekillerdeki grafikler vasıtasıyla proje parametrelerine uygun gömlekleme dolgusu minimum reaksiyon modülü tespit edilebilir. Gerekli reaksiyon modülünü verecek dolguyu saptamak için “Howard, 2006” çalışması zemin reaksiyon modülü tablosundan faydalanılabilir.

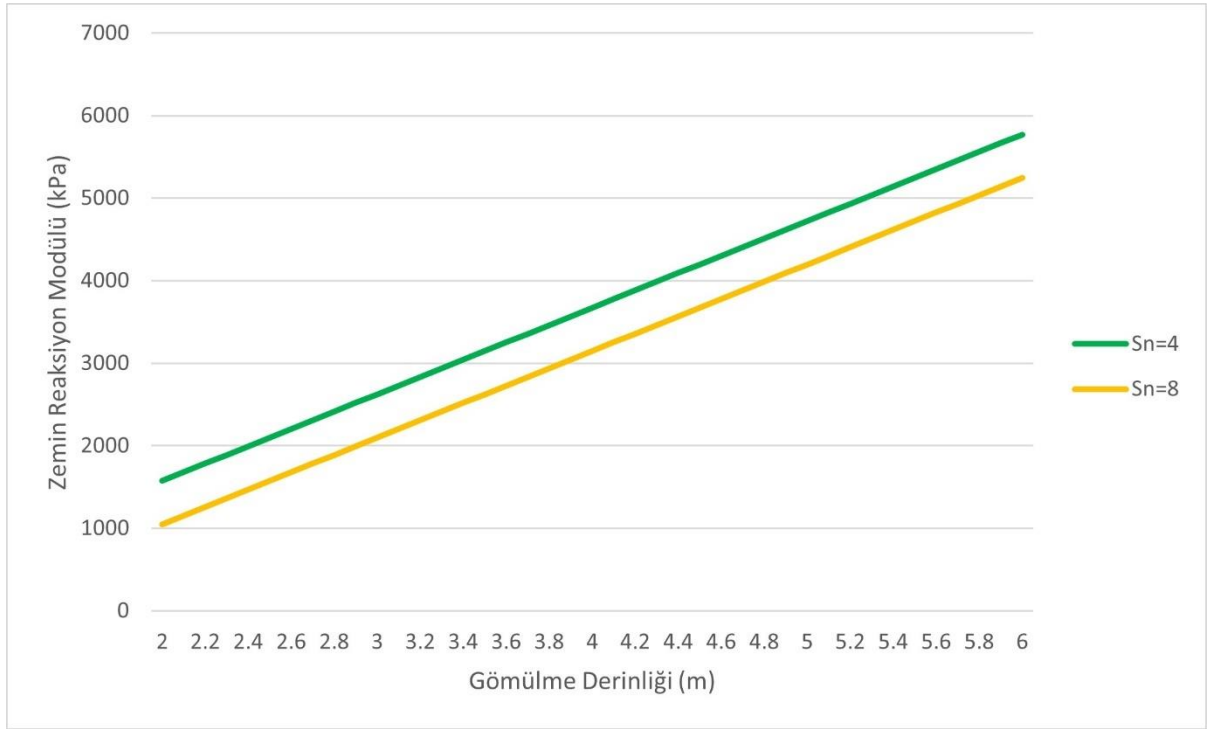


Şekil 14. Koruge boru 30° yataklamada gömülme derinliği – zemin reaksiyon modülü grafiği.

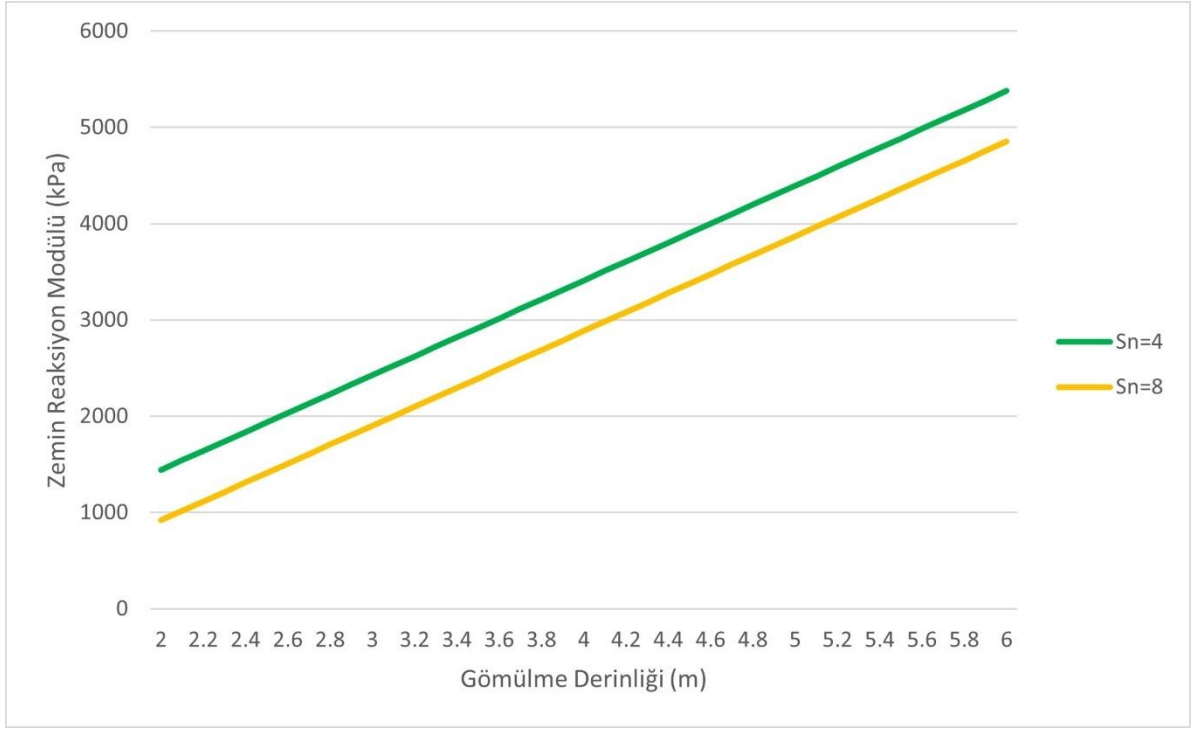
Figure 14. Corrugated pipe burial depth – soil reaction modulus graph at 30° bedding.



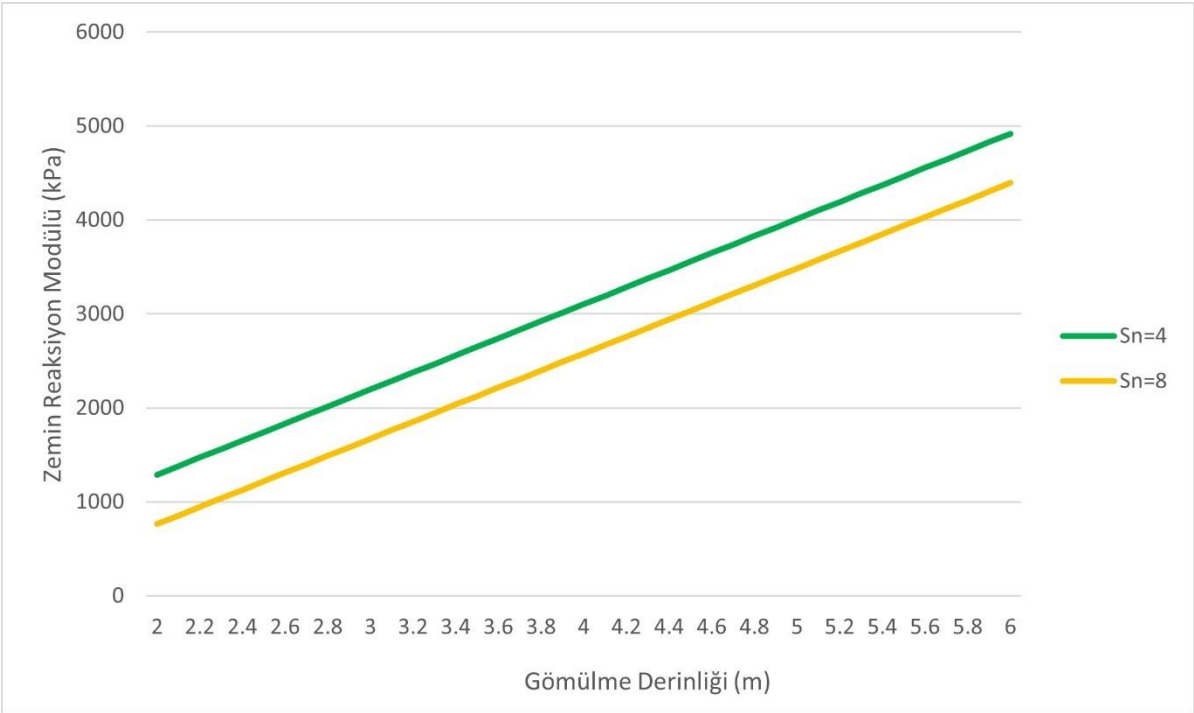
Şekil 15. Koruge boru 60° yataklamada gömülme derinliği – zemin reaksiyon modülü grafiği.
Figure 15. Corrugated pipe burial depth – soil reaction modulus graph at 60° bedding.



Şekil 16. Koruge boru 90° yataklamada gömülme derinliği- zemin reaksiyon modülü grafiği.
Figure 16. Corrugated pipe burial depth – soil reaction modulus graph at 90° bedding.



Şekil 17. Koruge boru 120° yataklamada gömülme derinliği-zemin reaksiyon modülü grafiği.
Figure 17. Corrugated pipe burial depth – soil reaction modulus graph at 120° bedding.



Şekil 18. Koruge boru 180° yataklamada gömülme derinliği-zemin reaksiyon modülü grafiği.
Figure 18. Corrugated pipe burial depth – soil reaction modulus graph at 180° bedding.

5. Sonuçlar ve Tartışma

5. Results and Discussion

Çalışma kapsamında yapılan vaka uygulaması ve bulgularda elde edilen grafikler irdelendiğinde aşağıdaki tespitlerde bulunulmuştur.

- Zemin yükleri altında koruge boruların tasarımında, uygulamada yeterli hassasiyet gösterilmeyen boru çevresi zemin etkileşimi çok önemli olmaktadır. Yapılan vaka çalışmayla yataklama açısı etkisinin borunun

rijitlik sınıfından daha etkili olabileceği gösterilmiştir. Ayrıca bu etki Şekil 14 (30° yataklama koşulu) ve Şekil 18 (180° yataklama koşulu) verilerin karşılaştırılmasından da görülebilmektedir.

- Koruge borular gömlekleme dolgusu yardımıyla dayanımlarının büyük kısmını sağladığından; Şekil 14 - Şekil 18 grafiklerde gömülme derinliği artışı ile gömlekleme zemini reaksiyon modülü değerleri artmaktadır. Ayrıca bu grafiklerdeki doğrusal artan zemin reaksiyon modülü değeri, tasarım formülünde parametrelerin dereceden üssü bulunmadığından prizma yükü artışıdaki doğrusallığın yansımasıdır.
- Şekil 14 - Şekil 18’de verilen grafiklerde $S_N 8$ kN/m^2 rijitlikte koruge boru ve yüksek yataklama açılarının kullanımı; gömlekleme zemin reaksiyon modülü değerlerini düşürmektedir. Böylece tasarımın emniyeti artırılmaktadır.
- Etkin bir tasarım için $S_N 8$ boru rijitliği, yüksek yataklama açısı ve gömleklemede yüksek zemin rijitliği tercih edilmelidir. Etkin bir tasarıma rağmen Tablo 3’te belirtilen zemin reaksiyon modüllerinden yüksek değerler çıkması durumunda; yüksek rijitlikte boru üretim yapan tesislerden $S_N 8$ (kN/m^2) üzeri rijitlikte imalat talebi veya Bölüm 2.3’te açıklanan beton gömlekleme uygulaması değerlendirilebilir.

Yazar katkısı

Author contribution

Yazarların araştırmaya olan katkı oranları eşittir ve çalışmanın her aşamasında birlikte görev yapmışlardır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Atık Su Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik (2017). *T.C. Resmi Gazete* (29940, 6 Ocak 2017).
- Ayalp, Ö. G. (2006). *Gömülü Borulara Etkiyen Zemin Yüklerinin Bulunması* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Balkaya, M. (2002). *Zemine Gömülü Boruların Mühendislik Davranışı* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Bashir, R. (2000). *Analysis and design of buried pipelines* [Master Science Thesis, Diss. King Fahd University of Petroleum and Minerals].
- Birtane, T. (2010). *Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) spiral sarımlı borularda elastiklik modülü ile profil hatvesi arasındaki ilişkinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- CivilWeb Spreadsheets. (2020). *Loads on Buried Pipes*. <https://civilweb-spreadsheets.com/drainage-design-spreadsheets/buried-pipe-design-spreadsheet/loads-on-buried-pipes/>
- Çoban, S. (2014). *İçme suyu ve kanalizasyon boru hatlarının deprem performansı* [Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Dizayn Altyapı Sistemleri. (2022). *Kanalizasyon Boruları ve Ek Parçaları Teknik Kataloğu*. http://yildizlimited.com/assets/9_dizayn_korige_boru.pdf
- Ece Boru Sistemleri (EBS). (2022). *Basınçlı ve basınçsız polietilen borular*. <http://www.ebsboru.com/kataloglar/ebs-pe-and-katalog.pdf>
- Howard, A. K. (2006, October). The reclamation E' table, 25 years later. *Plastic Pipes Symposium XIII*. Washington D.C.
- Kalde Boru Sistemleri. (2015). *Koruge Teknik Katalog*. http://www.zengileryapi.com.tr/katalog/kalde1_katalog.pdf
- Moser, A. P., & Steven F. (2001). *Buried pipe design*. McGraw-Hill Education.
- Spangler, M. G. (1966). *Soil engineering*. International Textbook Co. Scranton.
- Terzi, N. U. (2007). *Gömülü borulara etkiyen düşey ve yatay yüklerin boru stabilitesine olan etkilerinin*

araştırılması [Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

Tulpar, H. (2010). *Kanalizasyon şebekelerinde kullanılan boruların hidrolik ve maliyet açısından değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

Watkins, R. K. (1999). *Structural mechanics of buried pipes*. First edition. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781420049572>.

Yavuz, A. O. (2011). *Yüksek Yoğunluklu Polietilenden Üretilmiş Boruların, Dın 16961-2: 2010-03 Standardına Göre Halka Rijitliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü].

Yimsiri S., & Ratananikom W. (2021). Long-term response of flexible pipe in sand trench due to consolidation of native clay, *Soils and Foundations*, 61(4), 1018-1032, ISSN 0038-0806. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.05.003>.