



## BETON BORULARIN ZEMİN YÜKLERİ ALTINDA TASARIMLARI

<sup>1</sup>Taha ORTAKCI , <sup>2</sup>Fatih SAKA 

Karabük Üniversitesi, Safranbolu Şefik Dizdar MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Karabük, TÜRKİYE  
Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük, TÜRKİYE

<sup>1</sup>tahaortakci@karabuk.edu.tr, <sup>2</sup>sakafatih@karabuk.edu.tr

(Geliş/Received: 25.01.2022; Kabul/Accepted in Revised Form: 20.04.2022)

**ÖZ:** Kanalizasyon sistemleri projelerinde, boruların hidrolik hesapları yapılmakta ancak zemin yükleri altında emniyeti genellikle göz ardı edilmektedir. Zemin yükleri altında boru tasarımında; boruların mukavemeti, yerleştirme koşulları, boru tabanına döşenen zemin kalitesi ve yerel zemin belirleyici olmaktadır. Beton borulara etkiyen zemin yüküne karşılık yeterli dayanıma sahip borular ve boru tabanı zemin hazırlanmalıdır. Bu çalışmada örnek projeler üzerinde riskli olabilecek noktalarda tasarım hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda yönetmelikteki maksimum hendek genişlikleri esas alınmıştır. Ayrıca uygulamada sıklıkla kullanılan Ø300- Ø1800 çapları arasındaki borularda, farklı zemin türlerine göre, gömülme derinliklerine karşılık birim boru üzerinde oluşan yüklerin değişimi grafiklerle elde edilmiştir. Böylelikle uygulamada sıklıkla kullanılan boru çapları için tasarımın kolaylaştırması amaçlanmıştır. Hendeklerde negatif kemerlenme etkisi sebebiyle hendek genişliğini, iş sağlığı ve güvenliği önlemlerini göz önünde tutarak minimum seviyede tutulmaya çalışılmalıdır. Böylelikle boru üzerine gelen yük etkileri de azaltılabilir. Yük hesaplamalarında yerel zeminin suya doygun kil olduğu durumda boru yükünün maksimum seviyeye çıktığı görülmüştür. Çalışmada, Ø800 ve üzeri çaplı beton borularda zemin yükleri altında daha fazla risk taşıdığı görülmüştür. Ayrıca boru tabanına yapılan beton yataklamanın zemin yüklerine karşı oldukça iyi performans gösterdiği anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Beton boru tasarımı, Birim boy boru yükleri, Boru yataklama

### Designs of Concrete Pipes Under Ground Loads

**ABSTRACT:** In sewage systems projects, hydraulic calculations of pipes are made, but their safety under ground loads is often ignored. In pipe design under ground loads; the strength of the pipes, the placement conditions, the quality of the floor laid on the pipe base and the local ground are decisive. The pipes and the pipe base with sufficient strength against the ground load acting on the concrete pipes should be prepared. In this study, design calculations were made on the sample projects at the points that may be risky. Calculations are based on the maximum trench widths in the regulation. In addition, the variation of the loads on the unit pipe according to the burial depths of the pipes between Ø300- Ø1800 diameters, which are frequently used in practice, were obtained with graphs. Thus, it is aimed to facilitate the design for pipe diameters that are frequently used in practice. Due to the negative arching effect in the trenches, the width of the trench should be kept at a minimum, taking into account occupational health and safety measures. Thus, the load effects on the pipe can also be reduced. In the load calculations, it was observed that the pipe load increased to the maximum level when the local soil was water-saturated clay. In the study, it was observed that concrete pipes with diameters of Ø800 and above carry more risks under ground loads. In addition, it has been understood that the concrete bedding made to the pipe base performs quite well against ground loads.

**Keywords :** Concrete pipe design, Unit length pipe loads, Pipe bedding

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya nüfusunun artmasına paralel olarak altyapı çalışmalarının önemi de artmaktadır. Yol, su, elektrik, gaz, kanalizasyon, çevre, ulaşım vb. altyapı tesisleri gün geçtikçe gelişimini sürdürmektedir. Bu çalışmada, alt yapı tesislerinde önemli bir yeri olan kanalizasyon sisteminde sıklıkla kullanılan beton borular üzerinde durulacaktır. Dünyada yaygın olarak kullanımı geçmişten günümüze kadar devam eden beton borular, çok farklı çaplarda üretilmektedirler. Künk ve büz olarak da adlandırılan bu borular, geçmişte agrega ve çimento harcının tokmakla ve şişlemeyle kalıbına yerleştirilerek üretimi yapılırken, günümüzde fabrikasyon yöntemlerle istenilen çimento dozlu harç ile boru kalıbında makinelerle vibrasyonu sağlanarak imal edilmektedir.

Kanalizasyon sistemleri projelerinde boruların zemin yükleri altında emniyeti tetkik edilmemektedir. Genellikle cazibeli projelendirilen kanalizasyon boruları arazi şartları gereği yüksek gömülme derinliğine yerleştirilerek büyük zemin yüklerine maruz kalabilmektedirler. Konuyla ilgili literatürde, teorik çalışmalar olmasına rağmen bu çalışmaların saha kullanımına yönelik pratikleri bulunamamıştır. Bu nedenle kanalizasyon sistemi inşasında çalışanlara katkıda bulunmak amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

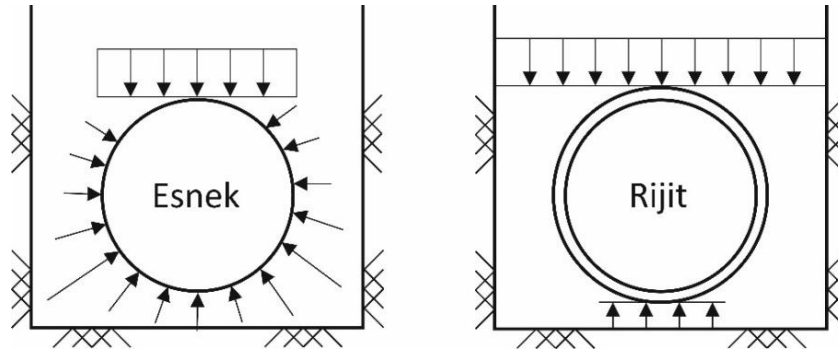
Boruların kapasite üstü yüke maruz kalması durumunda çeşitli kusurlarla birlikte göçmeler oluşabilmektedir. Göçmeye neden olan kusurlar; boru cidarının çatlaması, kırılması, yüksek çekme gerilmelerinin oluşması ve enine-boyuna doğrultuda eğilmenin ortaya çıkması olarak sayılabilir. Böyle durumlarda, yük altında tahribat gören borular, sokak ve caddelerde sağlıklı hizmet veremeyerek toplum hayatının aksamasına ve çevreye zarar verilmesine yol açmaktadır. Bu problemleri önlemek için yapılacak kanalizasyon sistemi çok yönlü değerlendirilerek yapılmalı ve toplum hayatında karşılaşılabilecek problemlerin minimuma indirgenmesi sağlanmalıdır. Bu sebeple boruların üzerlerine gelebilecek yüklerin analizini detaylı şekilde yapmak gerekmektedir. Gömülü borulara gelebilecek zemin yükleri ve bunun yanında muhtemel trafik yükleri hesaplanarak, tasarımda bu değerlere de dikkat edilmesi gerekmektedir (Balkaya, 2002; Steven ve Moser, 2001).

## KAYNAK ARAŞTIRMASI (LITERATURE SURVEY)

### Zemin Yükleri Altında Boruların Davranış Biçimleri (Behavior of Pipes Under Soil Loads)

Kanalizasyon sistemlerinde kullanılan borular üzerlerine gelen yüklere karşı verdikleri tepkiye göre esnek veya rijit olarak sınıflandırılmaktadır. Beton ve koruge borular kanalizasyon sistemlerinde tercih edilen en yaygın borulardır. Beton boruların rijitlik özelliği koruge borulara nispeten ağır basmaktadır ve rijit borular olarak sınıflandırılmaktadır. Koruge borular ise beton borulara göre süneklik özelliği daha fazla olmakta ve esnek borular sınıflandırılmasında yer almaktadır (Ayalp, 2006).

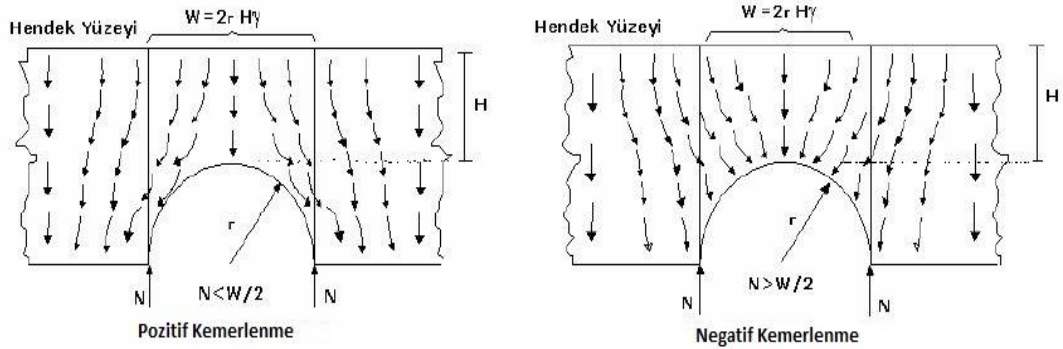
Beton boruların hasar görmeden deformasyon yapma kabiliyeti çok düşüktür, gelen yükleri kendi dayanımlarıyla boru tabanına aktarmak üzere tasarlanırlar. Beton boru ve diğer rijit yapıları borularda yükler borunun alt ve üst kısmında yoğunlaşmaktadır. Esnek borular her ne kadar esnek olarak tanımlansa da belirli rijitliği olan alt yapı elemanlarıdır. Belirli bir limite kadar rijit özelliği ve limit üstünde hasar görmeden oldukça esneme yapabilme özelliğiyle yük taşıyan borulardır (Şekil 1). Esnek olarak tanımlanan borularda, yükler borunun tüm çevresine uniform dağılmaktadır. Bu nedenle esnek borularda, borunun tüm çevresindeki zemin kalitesi ön plana çıkarken, rijit borularda ise boru tabanı zemin kalitesi etkili olmaktadır (Ayalp, 2006; Çoban, 2014).



Şekil 1. Esnek ve Rijit Borularda Yük Dağılımı

Figure 1. Load Distribution in Flexible and Rigid Pipes

Boru üzerine etkiyen yükün belirlenmesinde boru rijitliğinin zemin rijitliğine oranı etkili olmaktadır. Eğer boru rijitliği etrafındaki zemin 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(esnek) boruda deformasyon oluşturmaktadır. Boru tüm çevresine yüksek rijitlikte zemin malzemesi yerleştirildiği takdirde; zemin malzemesi yapı üstünde taş kemer gibi işlev görür. Dolgu zeminin bu kemerlenme etkisi pozitif kemerlenme olarak adlandırılmakta ve yapı üzerindeki basıncı düşürmektedir. Pozitif kemerlenme etkisi, zemin mukavemetine ve zemin ile borunun etkileşimine bağlıdır (Sağlamer ve Balkaya, 2014; Spangler, 1966). Oysa beton borular yüksek rijitliği sebebiyle negatif kemerlenme meydana getirmektedir (Şekil 2). Negatif kemerlenmede yan dolgular boru üzerine oturarak boruya ek bir yük getirmektedir. Böylece boruya etkiyen düşey toprak basıncı, boru üstündeki zemin prizması ağırlığından büyük olmaktadır (Steven ve Moser, 2001).



Şekil 2. Borularda Pozitif ve Negatif Kemerlenme (Bashir,2000)

Figure 2. Positive and Negative Arching on Pipes (Bashir, 2000)

Şekil 2 'de boru üzeri zemin prizması ağırlığının boruda oluşturacağı etkiler gösterilmektedir. Boru üzeri toprak yüksekliği H, boru yarıçapı r ve geri dolgunun özgül ağırlığı  $\gamma$  ile ifade edilerek boru orta ekseninde alınan normal kuvvet ile düşey toprak basıncı arasındaki eşitsizlik şekilden görülebilmektedir.

### Kanalizasyon Sistemlerinin İnşası (Construction of Sewer Systems)

Sistemlerin inşasında hendek kazısının şevli veya iksalı olmasına, zeminin jeolojik yapısı göz önünde bulundurularak karar verilir. Şevli kazılarda, şev eğimleri zeminin jeolojik yapısına ek olarak 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. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın "Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik" te boru çapına göre borunun her iki yanında eşit mesafe bırakılarak kazılması önerilen hendek genişlikleri Çizelge 1'de verilmiştir (Resmi Gazete, 2017).

**Çizelge 1.** Hendek Taban Genişlikleri (Resmi Gazete, 2017)*Table 1. Trench Base Widths (Official Gazette, 2017)*

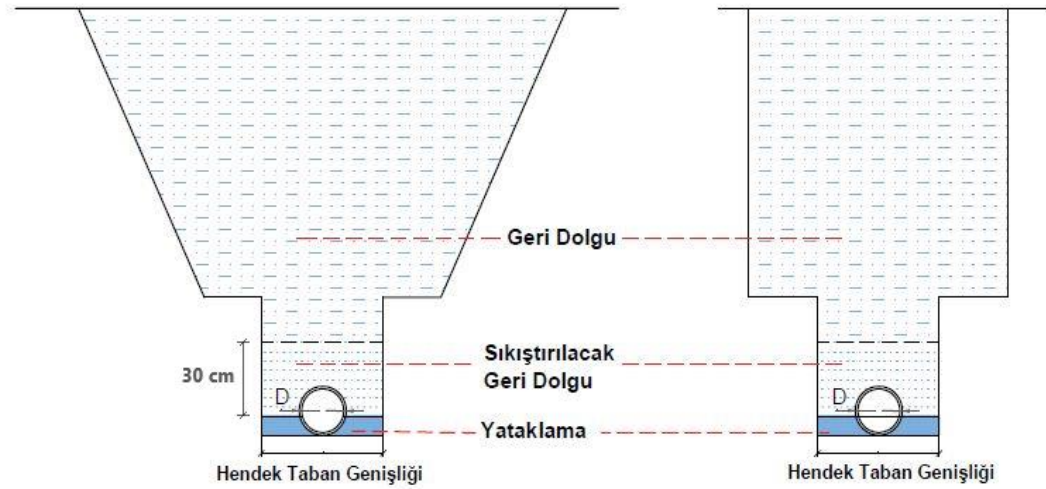
Boru Çapı(D)	Hendek Tipi	Hendek Genişliği(cm)
D ≤ 40 cm	Şevli Hendek	60
	İksalı Hendek	70
40<D≤70 cm	Şevli Hendek (≤60°)	D+40
	Şevli Hendek (>60°)	D+70
	İksalı Hendek	D+80
D>70 cm	Şevli Hendek (≤60°)	D+90
	Şevli Hendek (>60°)	D+120
	İksalı Hendek	D+130

Yer altına döşenen boruların verimli şekilde çalışabilmesi için zeminde oturma ve boru düzleminde sağa sola hareketlilik istenmez. Boruların döşendikleri yerde stabil kalabilmeleri ve zeminle sağlıklı etkileşimi için yataklama uygulaması yapılmaktadır. Borular hendeğe indirilmeden önce, hendek derinliği ve genişliği kontrol edilmeli, kum, silt ve yumuşak küskülük zeminlerde borunun yerleştirileceği kısım için yatak hazırlanmalıdır. Bu yatak sayesinde, zeminde çizgisel olarak oturmanın önüne geçilmiş olunur. Yerel zeminin elverişsiz olduğu durumlarda boru tabanı zemine sıkıştırma yapılarak, çakıl, jeotekstil veya beton yerleştirme işlemleri değerlendirilerek boru tabanı zemin güçlendirilmelidir. Hendekte su bulunuyorsa suyun tahliyesi sağlanarak boru tabanı yataklama işlemine geçilmelidir (Balkaya, 2001; Resmi Gazete, 2017).

Yataklama borunun taşıma gücünü artırdığından yapımına özel itina gösterilmelidir. Kazısı yapılan hendek tabanı silindir ya da kompaktör yardımıyla sıkıştırılmalıdır. D boru çapı olmak üzere, hendek tabanı üzerine  $D/10 + 10$  (cm) kalınlığında stabilize malzemeyle yatak oluşturulduktan sonra borular yerleştirilmelidir. Kayalık zeminlerde ise yataklama yapılabilmesi için 10 cm daha derin kazı yapılmalıdır. Kayalık zeminlerde yataklama kalınlığı  $(D/10+20)$  cm olmalı ve yataklama malzemesi kum gibi yumuşak malzemeden teşkil edilmelidir (Resmi Gazete, 2017; Kasap, 2016). Sistemde borulardan yük altında üstün dayanım bekleniyorsa, borular yerleştirildikten sonra yataklama yüksekliği kadar tabana beton dökülerek beton yataklama oluşturulabilir (Balkaya, 2002). Ayrıca beton yataklama ile beraber boru tüm çevresi de betonla kaplanırsa beton boruların negatif kemerlenme etkileri ortadan kaldırabilmektedir. Beton gömlekleme olarak adlandırılan bu durum, ekonomik olmasa da çok üstün dayanım gerekli ekstrem yerler için değerlendirilebilir.

Yataklama sonrası boru üzerinde boşluk kalmaması ve dolgu ile boru etkileşiminin daha iyi olması için boru üzeri 30 cm geçinceye kadar geri dolgu sıkıştırılmaktadır. Geri dolgu malzemesi olarak genellikle yerel zemin malzemesi kullanılmakta ve bu şekilde sistemin inşası ekonomik olmaktadır. Ancak yerel zeminin taşıma gücü düşük ve sıkışabilirliği yüksek olduğu yani dolgu için elverişsiz olduğu durumlarda, farklı nitelikte zemin getirilerek geri dolgu yapılabilir. Bu durumda boru üzeri oluşacak yüklerin hesabında, geri dolgu olarak seçilen zemin malzemesinin değerleri kullanılmalıdır.

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 yönden hem de boru üzerine gelebilecek yükleri azaltmak için pratik bir yöntemdir (Şekil 3) (Balkaya, 2002)



**Şekil 3.** Hendek İçerisine Dar Dik Kenarlı Yeni Hendek Kesiti

*Figure 3.* New Trench Section with Narrow Vertical Sides Inside the Trench

**Beton Borulara Etkiyen Zemin Yüklerinin Hesaplanması ve Tasarımı** (Calculation of Soil Loads Acting on Concrete Pipes and Design)

Beton borulara gelen zemin yük etkisi; dolgu yüksekliği, hendek genişliği, çevresindeki zeminin yapısı ve inşaa yöntemlerine bağılı olarak değişebilmektedir. Boruya etkiyen yükün kabaca, boru üstündeki hendek düzleminin zemin yüküyle hendek duvarı boyunca oluşan düşey kayma gerilmeleri farkı kadar olduğu düşünülür. Gömülü boru üzeri yük hesabında birçok bağıntı geliştirilmiştir. Bu bağıntılardan Anson Marston'nun yöntemi en yaygın kullanılanıdır ve kapsamlı şekilde yük hesabını formülize etmektedir (Moser ve Steven, 2001). Teknolojinin gelişmesiyle birlikte gömülü boruların yük hesabı sonlu elemanlar metodu ile de yapılabilmiştir. Boru üzeri yüklerin hesabını, sonlu elemanlar programını kullanarak hesaplanmış ve Marston'un yükleri ile karşılaştırılmıştır. Marston yük hesabında boru yanal dolgusunun yük taşımada etkisi olmadığı varsayıldığından; Marston Formülü ile elde edilen yükün, Plaxis Sonlu Elemanlar yöntemiyle bulunan yükten daha fazla olduğu tespit edilmiştir. (Balkaya ve Sağlamer, 2014). Bu sebeple Marston Formülünün boru güvenliği için emniyetli tarafta kaldığı yorumu yapılabilir. Buna göre hendeklerde rijit boru yük hesabında aşağıdaki Eşitlik 1 kullanılabilir.

$$W = \frac{\gamma \cdot B_d^2 \cdot \left(1 - e^{-2 \cdot K \cdot \mu \cdot \left(\frac{H}{B_d}\right)}\right)}{2 \cdot K \cdot \mu} \quad (1)$$

$e$  : Doğal logaritma tabanı

$\gamma$  : Dolgunun birim hacim ağırlığı (KN/m<sup>3</sup>)

$W$  : Dolgu içindeki boru yatay düzlemdeki düşey basınç (KN/m)

$B_d$  : Boru üst seviyesinde hendeğin genişliği (m)

$H$  : Boru ile doğal zemin seviyesi arasındaki mesafe (m)

$\mu$  :  $\tan \varphi$  = Dolgu ve borunun kenarları arasındaki sürtünme katsayısı

$K$  : Yanal aktif birim basıncın düşey birim basınca oranı

Eşitlik 1'de yer alan  $K$  ve  $\mu$  zemin değerleri deneysel çalışmalar sonucu tespit edilmiştir (Çizelge 2).

**Çizelge 2.** Çeşitli Zeminlerde  $\gamma$ , K ve  $\mu$  Değerleri (Moser ve Steven)*Table 2.  $\gamma$ , K and  $\mu$  Values on Various Soils (Moser and Steven, 2001)*

Zemin Cinsi	Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	Rankine Oranı K	Sürtünme Katsayısı $\mu$	K. $\mu$
Kısmen sıkıştırılmış nemli bitkisel toprak	15	0.33	0.50	0.165
Suya doymun bitkisel toprak	18	0.37	0.40	0.148
Kısmen sıkıştırılmış nemli kil	17	0.33	0.40	0.132
Suya doymun kil	20	0.37	0.30	0.111
Kuru kum	17	0.33	0.50	0.165
Islak kum	20	0.33	0.50	0.165

Yük hesabı yapıldıktan sonra boru üzerinde oluşabilecek olağandışı yükler için güvenlik faktörü unsuru devreye sokulur. Uygulamada kullanılan güvenlik faktörleri çok çeşitlidir. Çelik donatısı olmayan bir boru numunesi için tavsiye edilen güvenlik faktörü değerleri 1.2-1.5 arasında değişir. Güvenliği yüksek tutmak amacıyla değer 1.5 olarak alınabilir. Betonarme borularda tavsiye edilen güvenlik faktörü değeri genellikle 1.0'dir (Balkaya, 2002).

Beton boruların gevrek özelliğinden dolayı kırılma mukavemeti öne çıkmaktadır. İller bankası beton/betonarme boru ve bağlantı parçaları özel şartnamesi (2009)'da, lastik ve entegre contalı boruların test minimum kırılma yükleri aşağıda Çizelge 3, Çizelge 4, Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilmiştir. Contalar, boruların birleşim kısımlarında akış esnasındaki sızmanın önlenmesi ve esnek bağlantının sağlanması amaçlı araçlardır. Boruların bağlantı bölgelerine imalat esnasında yerleştirilene entegre conta, saha uygulaması sırasında yerleştirilene lastik conta denilmektedir. Entegre contalı ve lastik contalı boruların üretim süreçlerinde farklılık bulunduğundan yüklere karşı dayanımları da farklı olmaktadır. Çizelgelerde belirtilen dayanım sınıfı, borunun enine doğrultuda birim uzunlukta yük taşıma kapasitesidir ve boru çapı arttıkça bu değer azaldığı gözlenmektedir. Borunun taşıma gücü hesabında her(m) uzunluğu minimum kırılma yükü yani tepe yükü deney sonucu olarak alınır.

**Çizelge 3.** Lastik contalı Ø 150- Ø 600 beton borularda taşıma gücü deneyinde en küçük kırılma yükleri ve dayanım sınıfları (İller Bankası, 2009)*Table 3. Minimum breaking loads and strength classes in the bearing capacity test of Ø 150- Ø 600 concrete pipes with rubber gaskets (İller Bankası, 2009)*

Anma Çapı(mm)	Borunun Her(m) Uzunluğu Minimum Kırılma Yükü(kN/m) (Tepe Yükü)	Dayanım Sınıfı (Tepe Yükü / İç Çap) (kN/m)
Ø 150	26	173
Ø 200	27	135
Ø 300	30	100
Ø 400	32	80
Ø 500	35	70
Ø 600	38	63

**Çizelge 4.**Entegre contalı Ø150- Ø600 beton borularda taşıma gücü deneyinde en küçük kırılma yükleri ve dayanım sınıfları (İller Bankası, 2009)

*Table 4. Minimum breaking loads and strength classes in the bearing capacity test of Ø150- Ø600 concrete pipes with integrated gaskets*

Anma Çapı(mm)	Borunun Her(m) Uzunluğu Minimum Kırılma Yükü(kN/m) (Tepe Yükü)	Dayanım Sınıfı (Tepe Yükü / İç Çap) (kN/m)
Ø 150	38	253
Ø 200	45	225
Ø 300	48	160
Ø 400	54	135
Ø 500	60	120
Ø 600	65	108

**Çizelge 5.** Lastik contalı Ø 500- Ø 2400 betonarme borularda taşıma gücü deneyinde en küçük kırılma yükleri ve dayanım sınıfları (İller Bankası, 2009)

*Table 5. Minimum breaking loads and strength classes in the bearing capacity test of Ø 500- Ø 2400 reinforced concrete pipes with rubber gaskets*

Anma Çapı(mm)	Borunun Her(m) Uzunluğu Minimum Kırılma Yükü(kN/m) (Tepe Yükü)	Dayanım Sınıfı (Tepe Yükü / İç Çap) (kN/m)
Ø 500	41	82
Ø 600	44	73
Ø 800	52	65
Ø 1000	65	65
Ø 1200	73	61
Ø 1400	77	55
Ø 1600	86	54
Ø 1800	90	50
Ø 2000	105	53
Ø 2200	115	52
Ø 2400	125	52

**Çizelge 6.** Entegre contalı Ø 800- Ø 2400 betonarme borularda taşıma gücü deneyinde en küçük kırılma yükleri ve dayanım sınıfları (İller Bankası, 2009)

*Table 6. Minimum breaking loads and strength classes in the bearing capacity test of Ø 800- Ø 2400 reinforced concrete pipes with integrated gaskets (İller Bankası, 2009)*

Anma Çapı(mm)	Borunun Her(m) Uzunluğu Minimum Kırılma Yükü(kN/m) (Tepe Yükü)	Dayanım Sınıfı (Tepe Yükü / İç Çap) (kN/m)
Ø 800	72	90
Ø 1000	80	80
Ø 1200	85	71
Ø 1400	92	66
Ø 1600	103	64
Ø 1800	108	60
Ø 2000	126	63
Ø 2200	138	63
Ø 2400	150	63

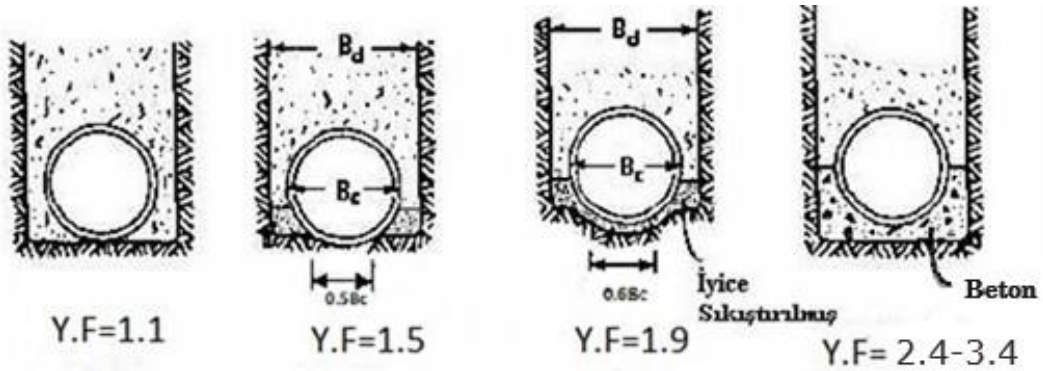
Beton boruların taşıma gücünün belirlenmesi için birkaç test metodu olmakla birlikte, üç kirişli taşıma gücü testinin kullanımı yaygındır (Şekil 4).



Şekil 4. Üç Kirişli Taşıma Deneyi

Figure 4. Three-Beam Load Experiment

Beton borular, çevresine yapılacak yataklama ile testlerde elde edilen dayanım değerlerinin üzerinde yükleri taşıyabilmektedir. Sahadaki yüklenme şartları testlerdekinden farklı olmakta ve yanıl zemin desteğiyle boruların yük taşıma kapasiteleri artmaktadır. Zemin malzemesinin saha taşıma gücüne sayısal etkisi yataklama faktörü (YF) olarak belirtilmektedir (Şekil 5). Yataklama faktörü; müsaade edilmeyen durumda 1.1, sıradan yataklama halinde 1.5, birinci sınıf yataklamada 1.9, beton yataklamada ise 2.4-3.4 arasında değerler aldığı kabul edilmektedir. Beton yataklamanın etkisi dökülecek betonun sınıfına göre değişebileceğinden değer aralığı olarak verilmiştir. Laboratuvar ortamında elde edilen taşıma gücü dayanımları ile yataklama faktörü çarpımları sahada taşınabilecek maksimum yükleri vermektedir (Ayalp, 2006; Balkaya 2002; Spangler, 1966).



Şekil 5. Çeşitli Yataklama Türlerinde Yataklama Faktörleri (Balkaya, 2002)

Figure 5. Bedding Factors in Various Bedding Types (Balkaya, 2002)

Bu çalışma vaka uygulamalarında Marston'un formülü kullanılarak yük hesabı yapılmıştır. Ayrıca Çizelge 3, Çizelge 4, Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilen beton boru minimum kırılma yükleri ile yataklama faktörü değeri çarpılarak saha taşıma gücü hesaplanmıştır. Buradan tasarımı sağlayan yataklama biçimi belirlenmiştir. Müsaade edilmeyen yataklama yani faktör değerinin 1.1 olduğu durum göz önünde tutulmamıştır.



### Trafik Yükünün Boru Üzerine Etkisinin Bulunması (Calculation of 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 tasarlarken zemin yükünün yanında trafikten kaynaklı yük toplamı göz önünde bulundurulur. Gömülü borunun trafik yüküne yakın derinlikte olması, yük etkisinin daha çok hissedilmesine yol açar. Derinlik arttıkça tekerlek yüklerinin etkisi azalmaktadır (Sağlamer ve Balkaya, 2004).

Borulara etkileyen trafik yükünün Boussinesq metodu ile saha uygulamasında pratik hesabı aşağıdaki formülle yapılabilmektedir (CivilWeb, 2022). Formülde  $m^2$  ye düşen yük bulunur ve bu değer boru dış çapı ile çarpılırsa birim boru üzerine düşen yük elde edilir (Eşitlik 2). Formülde yer alan trafik durumuna göre tekerlek başına düşebilecek yüklerde Çizelge 7’de verilmiştir.

$$W_t = \frac{3 \cdot P_t}{2 \cdot \pi \cdot H^2} \left[ \frac{1}{1 + (r_t/H)^2} \right]^{5/2} \cdot Bc \quad (2)$$

$W_t$ : Boruya etkileyen trafik yükü (kN/m)

$P_t$ : Eksenel tekerlek yükü (kN)

$Bc$ : boru dış çapı (m)

$r_t$ : Tekerlek yükünün boru merkez düzlemine yatay mesafesi (m)

Çizelge 7. Trafik Yükleri (Kalde, 2019)

Table 7. Traffic Loads (Kalde, 2019)

Sınıflar	Toplam Yük(kN)	Tekerlek Başına Maksimum Yük(kN) ( $P_t$ )
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 olarak alınmıştır. Böylece tasarımın emniyetli tarafta kalması ve formülün daha sade bir hal alması hedeflenmiştir.

### MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

#### Beton Borular (Concrete Pipes)

Beton boruların üretimi için kullanılan Türk Standardı TS 821 EN 1916’dır. Buna göre Ø150 –Ø600 arası çaplarda beton olarak imal edilirken, Ø600-Ø2400 arası oval hasır çelik takviyeli olarak üretimi yapılmaktadır. Beton malzemesinin teknik özellikleri bu borularda da görülmektedir. Basınç yüklerine karşı oldukça iyi performans gösterebilmekte ve rijitliklerini uzun yıllar sürdürebilmektedirler. Beton borular üretim tesislerinde “İller Bankası Beton/Betonarme Boru ve Bağlantı Parçaları Özel Teknik Şartnamesi” kurallarına göre imal edilirler (Şekil 6). Bu şartnameye göre borularda olması gereken minimum kırılma yükleri Bölüm 2.3. ‘de verilmiştir

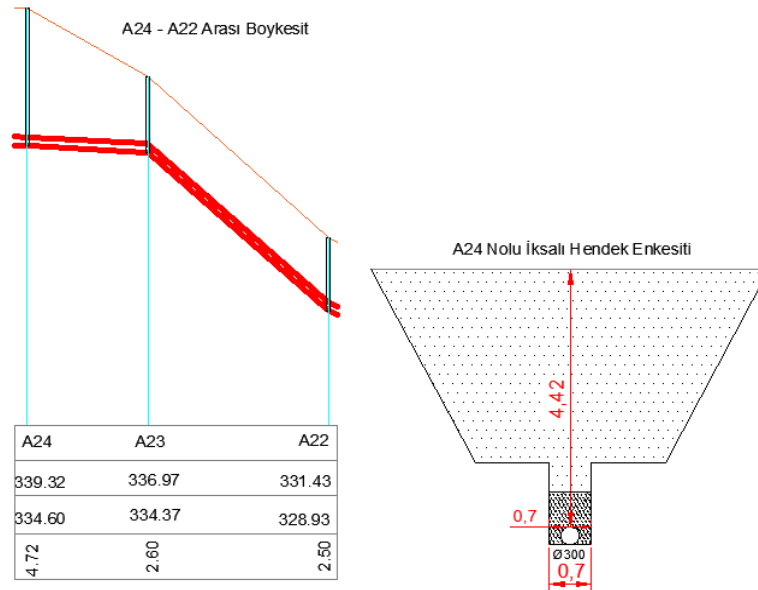


**Şekil 6.** Üretim Aşamasında Bulunan Beton Boru  
*Figure 6. Concrete Pipe in Production Phase*

#### Vaka Uygulaması (Proposed Method)

Beton boruların zemin yüklerine karşı performansı, Karabük Üniversitesi Atıksu ile Safranbolu Yağmursuyu Şebeke projelerinin riskli olabilecek boru kesitleri üzerinde değerlendirilmiştir. Zemin yüklerine karşı boru tasarımında, literatürdeki yöntemlerin uygulamada kullanımı ele alınmıştır. Projelerde yer alan en yüksek gömülme derinliğine sahip boru kesitleri için hesaplar yapılmıştır. Beton-betonarme boruların tasarım yükü ve beton-betonarme boru özel şartnamesinde tesislerde bulunması gereken minimum test yükleri vasıtasıyla 3 tip yataklama etkisinden güvenli tarafta kalanlar tablolarla belirlenmiştir. Güvenli tarafta kalmayan tasarımlar kırmızıyla boyanarak belirtilmiştir. Hesaplamalarda beton yataklama durumunda faktör değer aralığı, minimum değeri 2.4 olarak kabul edilmiştir.

Şekil 7'de Karabük Üniversitesi kampüsünde bulunan atık su hattının 22 ve 24 nolu bacalar arası Ø300 boru ile döşenmiş boy kesiti ve hesap yapılan 24 nolu bacada çıkan boru en kesiti verilmiştir.



**Şekil 7.** Karabük Üniversitesi Atıksu 22-24 Bacalar Arası En-Boy Kesitler  
*Figure 7. Karabuk University Wastewater 22-24 Cross Sections*

- 24 nolu baca çıkışı, Ø300 beton boru tetkik;

$$H=4.42m$$

$$B_d = 0.7 \text{ m (İksalı hendekte hendek genişliği) (ÇSB yönetmelik)}$$

$$B_c = 0.38 \text{ m}$$

$$\gamma: 20kN/m^3 \text{ Killi zemin (Suya doymun olduğu varsayılarak)}$$

$$K: 0.3 \text{ Suya doymun killi zemin}$$

$$\mu: 0.37 \text{ Suya doymun killi zemin}$$

$$W = \frac{\gamma B_d^2 \left(1 - e^{-2K\mu \left(\frac{H}{B_d}\right)}\right)}{2K\mu} = \frac{20 \cdot 0.7^2 \left(1 - e^{-2 \cdot 0.3 \cdot 0.37 \cdot \left(\frac{4.42}{0.7}\right)}\right)}{2 \cdot 0.3 \cdot 0.37} = 33.277 \text{ kN/m}$$

Boru düzlemi üzeri yolda ağır trafik yükü olduğu kabul edilirse, trafik yükü;

$$W_t = \frac{3 Pt B_c}{2 \pi H^2} = \frac{3 \cdot 100 \cdot 0.38}{2 \cdot \pi \cdot 4.42^2} = 0.928 \text{ kN/m bulunur.}$$

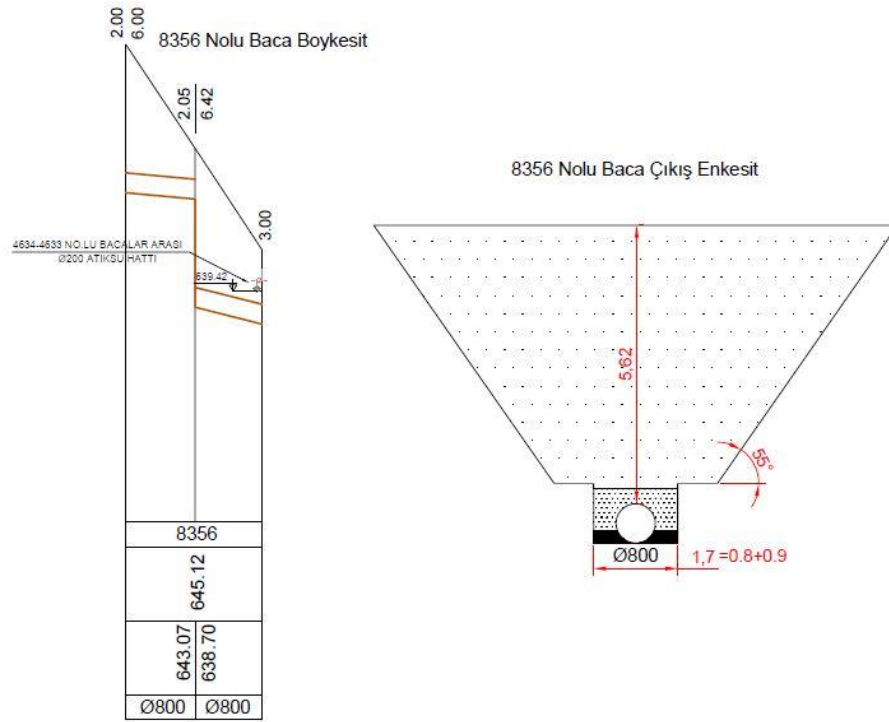
Toprak yükü ve trafik yükü toplamı 34.20 kN/m olarak elde edilmiştir. Beton borularda güvenlik faktörü 1.5 alınmakta ve toplam yükü çarpımı tasarım yükünü vermektedir. Elde edilen tasarım yükü 51.3 kN/m olmaktadır. Ø300 lastik ve entegre contalı beton boruların taşıma gücü deneyindeki minimum kırılma yükleri ve yataklama faktörüyle taşıyabileceği yükler ayrı ayrı tablolarda verilmiştir.

**Çizelge 8.** 24 nolu baca çıkışı lastik ve entegre contalı Ø300 beton boru tetkik sonuçları

**Table 8.** Ø300 concrete pipe inspection results with chimney outlet no.24 rubber and integrated gasket;

Conta Türü	Toplam Yük(kN/m)	Tasarım Yükü(kN/m)	Minimum Deneş Taşıma Gücü(kN/m)	Yataklama Faktörü Etkisi(Y.F)		
				Sıradan Yataklama (1.5)	1 Sınıf Yataklama (1.9)	Beton Yataklama (2.4)
Lastik Contalı	34.20	51.30	30	45	57	72
Entegre Contalı	34.20	51.30	48	72	91.2	115.2

Bir diğér proje Safranbolu yağmursuyu hattında ise 8356 nolu bacadan çıkan Ø800 betonarme boru üzerinde maksimum dolgu yüksekliğı oluşmaktadır. Şekil 8'de 8356 nolu bacaya ilişkin en-boy kesitler verilmiştir.



Şekil 8. Safranbolu Yağmursuyu Şebekesi 8356 Nolu Baca En-Boy Kesitler

Figure 8. Safranbolu Stormwater Network Chimney No. 8356 Across Sections

- 8356 nolu baca çıkışı, Ø800 betonarme boru tetkik;

$H=5.62\text{m}$

$B_d = 1.7 \text{ m (D+0.9)}$ (hendek genişliği <60)

$\gamma$ :  $20\text{kN/m}^3$  Kum zemin (Suya doymun olduğu varsayılarak)

$K$ : 0.33 Suya doymun kum zemin

$\mu$ : 0.5 Suya doymun kum zemin

$$W = \frac{\gamma B_d^2 \left(1 - e^{-2 K \mu \left(\frac{H}{B_d}\right)}\right)}{2 K \mu} = \frac{20 \cdot 1.7^2 \left(1 - e^{-2 \cdot 0.33 \cdot 0.5 \left(\frac{5.62}{1.7}\right)}\right)}{2 \cdot 0.33 \cdot 0.5} = 116.318 \text{ kN/m}$$

Boru üzerinde trafik yükü bulunmadığından toprak yükü toplam yük olarak kabul edilir. Betonarme borularda güvenlik faktörü 1 olarak tavsiye edildiğinden tasarım yükünü 116.318 kN/m olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 9. 8356 nolu baca çıkışı lastik ve entegre contalı Ø800 boru tetkik sonuçları

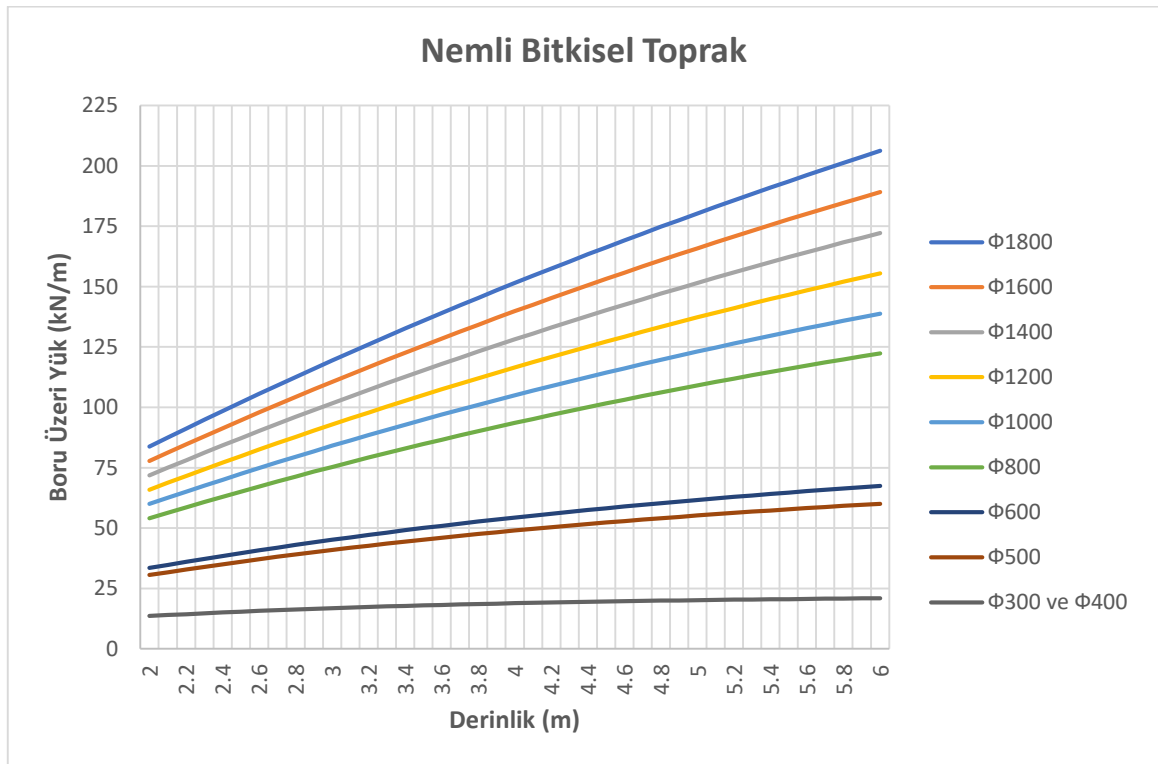
Table 9. Inspection results of Ø800 concrete pipe with 8356 chimney outlet rubber and integrated gasket

Conta Türü	Toplam Yük(kN/m)	Tasarım Yükü(kN/m)	Minimum Deneş Taşıma Gücü(kN/m)	Yataklama Faktörü Etkisi(Y.F)		
				Sıradan Yataklama (1.5)	1 Sınıf Yataklama (1.9)	Beton Yataklama (2.4)
Lastik Contalı	116.318	116.318	52	78	98.8	124.8
Entegre Contalı	116.318	116.318	72	108	136.8	172.8

### ANALİTİK BULGULAR (ANALYTICAL FINDINGS)

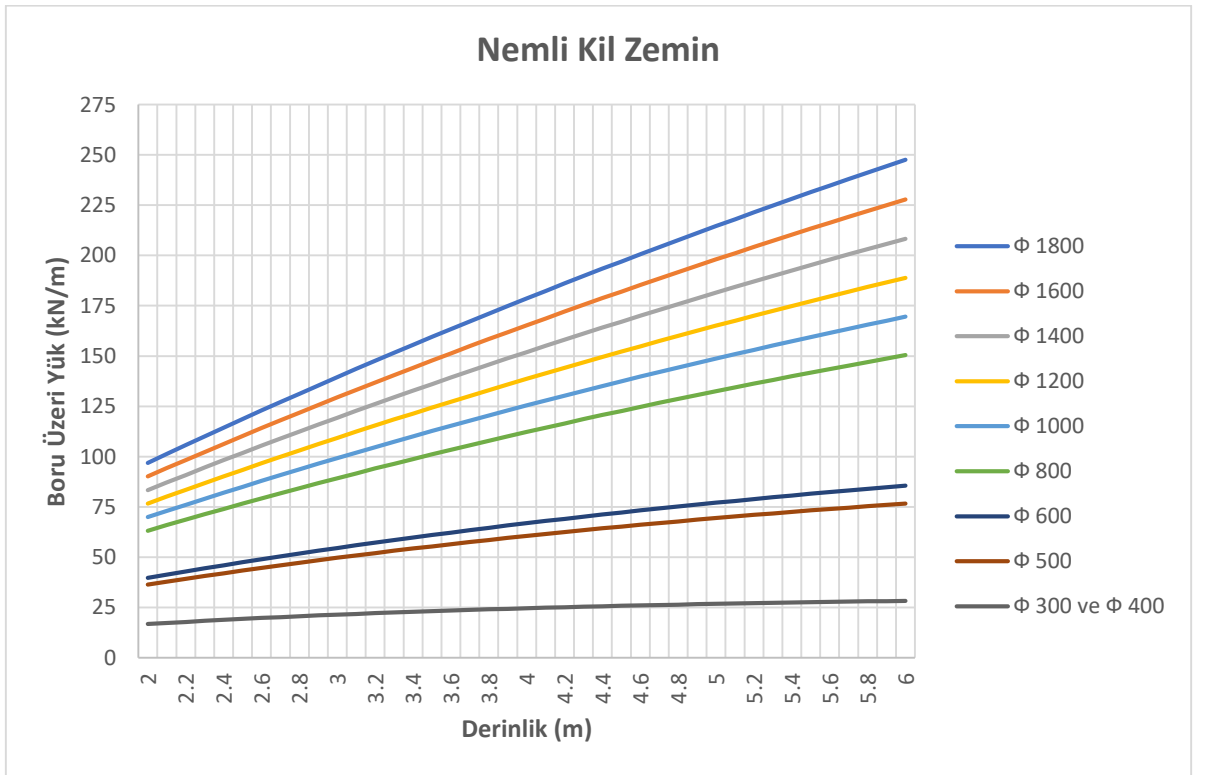
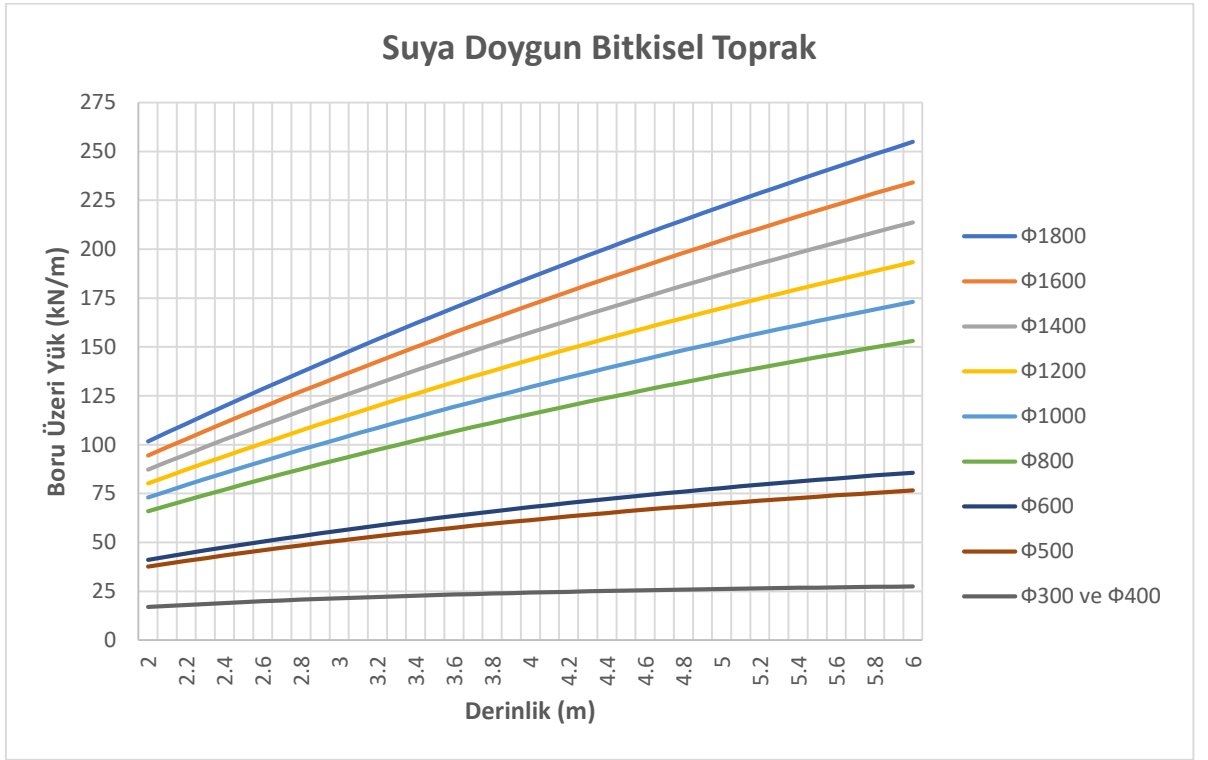
“Gömülü Borulara Etkiyen Zemin Yüklerinin Bulunması” başlıklı Ayalp (2006) çalışmasında boru üzeri gömülme yüksekliğinin 2 m’yi geçtiği durumlarda boru mukavemetinin dolgu yükünü taşıyacak nitelikte olması vurgusu yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında Marston’un değişen yerel zemin parametreleri ve yönetmelikte belirtilen maksimum hendek genişliği baz alınarak, sıklıkla kullanılan Ø300- Ø1800 arası beton boruların artan gömülme derinliği ile tasarım yükleri hesaplanmıştır.

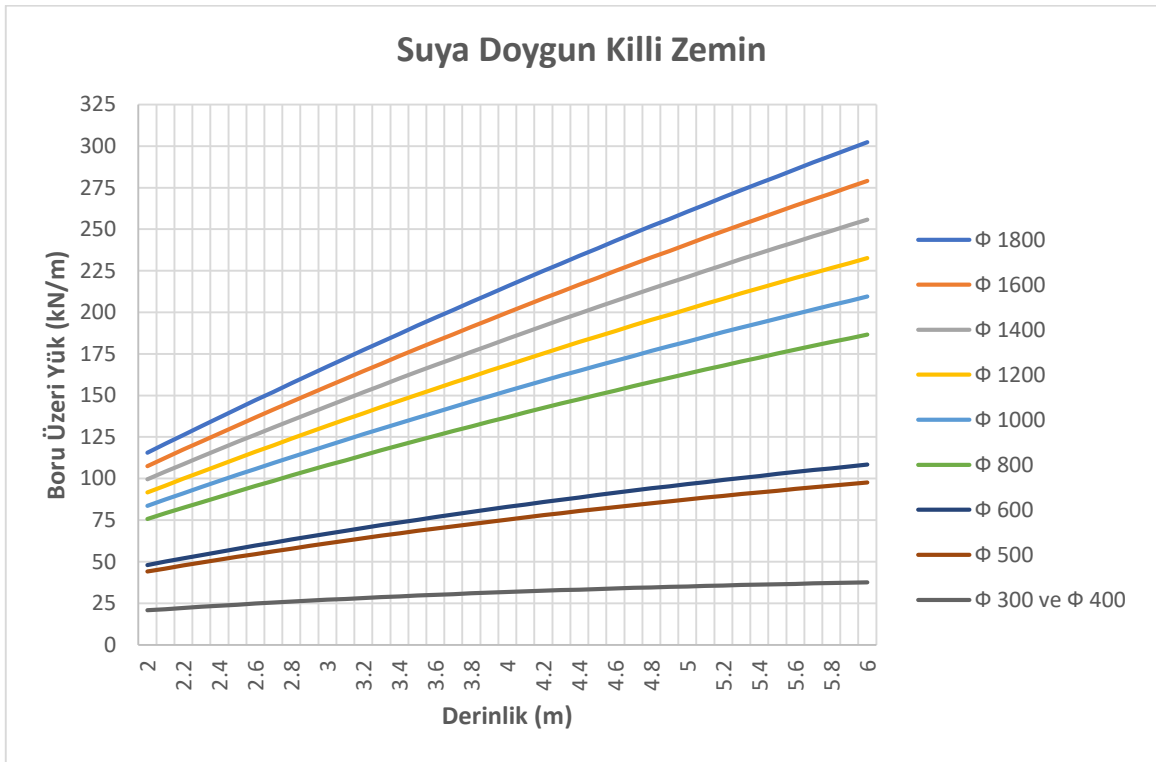
Beton borularda Marston formülünde yer alan yerel zemin değerlerine göre; birim ağırlık, Rankine oranı ve sürtünme katsayısı ve boru çapına göre maksimum hendek genişliği belirlenerek gömülme derinliğiyle boru üzerinde yüklerin değişimi grafiklerle gösterilmiştir. (Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14) Aşağıda verilen grafiklerden yerel zemin ve proje parametrelerine göre gelebilecek yükler belirlenerek, beton borunun yataklama biçimine karar verilebilir ve/veya yüksek dayanımlı boru üretim kararı alınabilir.



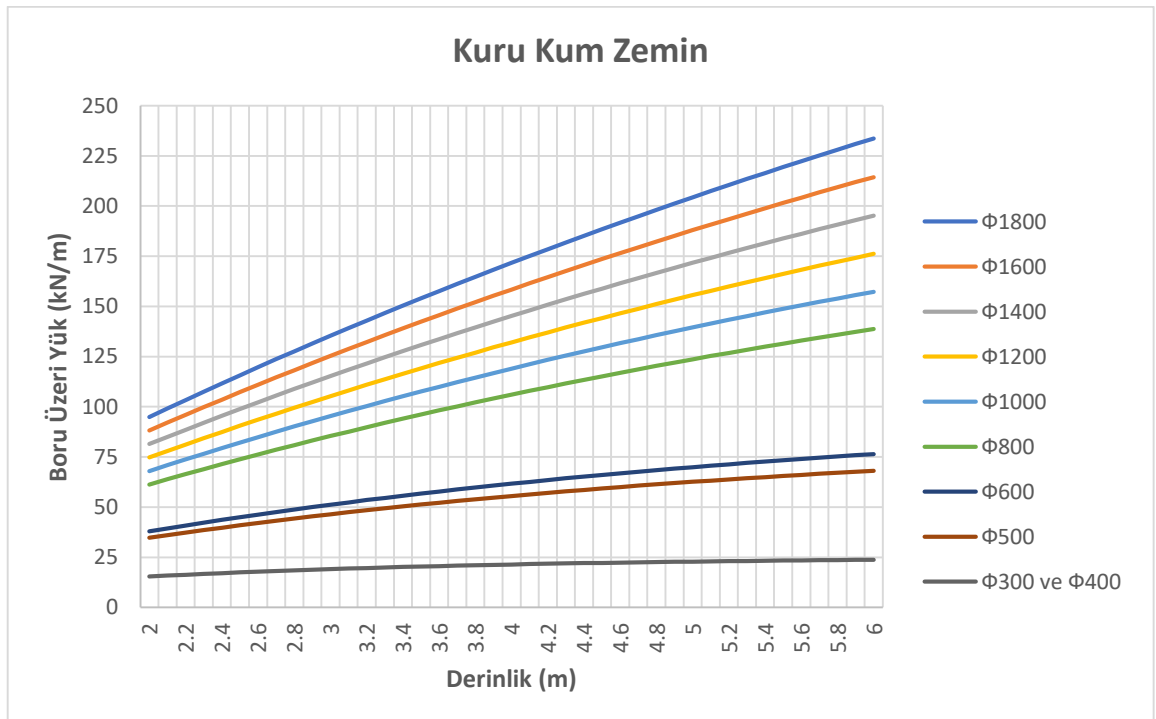
Şekil 9. Nemli Bitkisel Zeminde Gömülme Derinliği -Yük Grafiği

Figure 9. Burying Depth-Load Graph in Moist Vegetal Soil

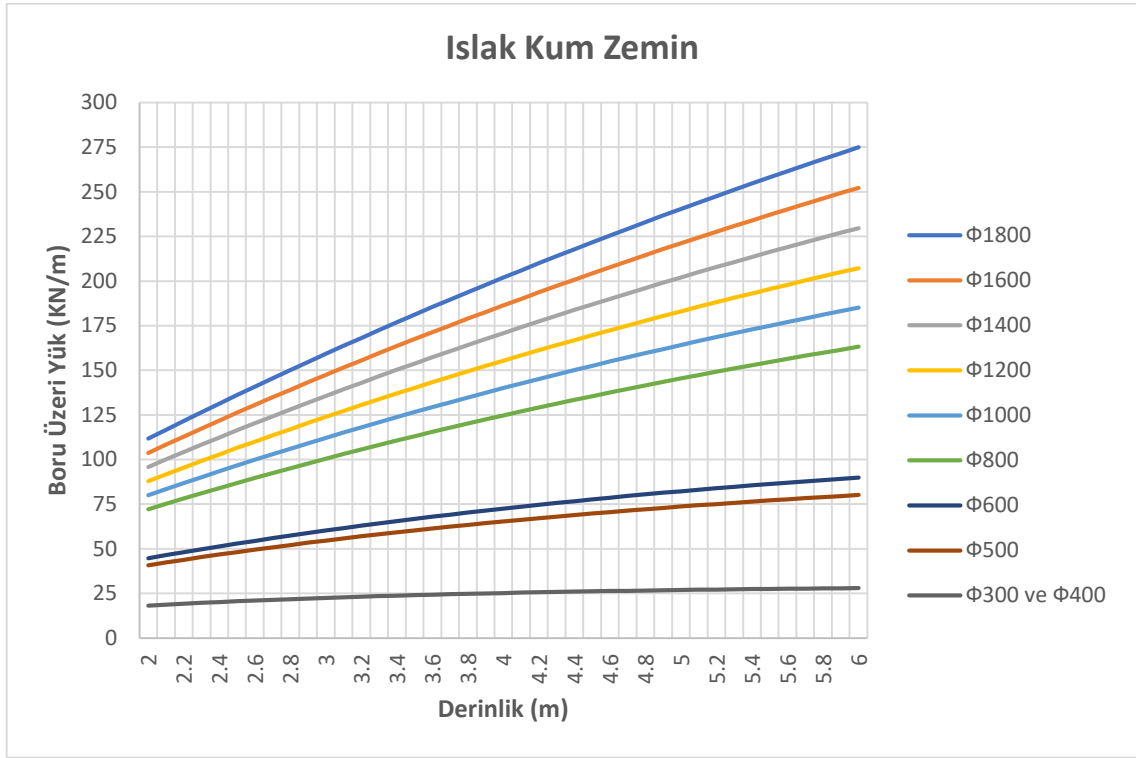




Şekil 12. Suya Doygun Kil Zeminde Gömülme Derinliği-Yük Grafiği  
 Figure 12. Buried Depth-Load Graph in Water-Saturated Clay Soil



Şekil 13. Kuru Kum Zeminde Gömülme Derinliği-Yük Grafiği  
 Figure 13. Buried Depth-Load Graph in Dry Sand Soil



Şekil 14. Islak Kum Zeminde Gömülme Derinliği-Yük Grafiği

Figure 14. Buried Depth-Load Graph in Wet Sand

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Çalışmada kapsamında yapılan vaka analizi ve bulgularda verilen grafikler irdelendiğinde aşağıdaki tespitlerde bulunulmuştur.

- Ø300-Ø400 çaplı borularda hendek genişliği aynı olmasından yükler eşit saptanmıştır. Bu halde negatif kemerlenme etkisinin boru çapından ziyade hendek genişliğinden kaynaklandığı yorumu yapılabilir. Ancak boru çapı hendek genişliğini belirleyen en önemli parametredir. Yönetmelik gereği Ø400'den Ø500'e ve Ø600'den Ø800'e geçen borularda hendek genişliği belirlemedeki ani değişimler grafiklere yansımıştır. Belirtilen çaplar arası yük eğrilerinde bariz yük farkları oluşmaktadır.
- Hendeklerde negatif kemerlenme etkisi sebebiyle hendek genişliğini, iş sağlığı ve güvenliği önlemlerini göz önünde tutarak minimum seviyede tutulmaya çalışılmalıdır. Grafiklerde verilen yükler yönetmelikte verilen maksimum hendek genişliklerine göre hesaplanmıştır. Bu hendek genişliklerinden daha küçük genişlikler hesabı emniyetli tarafta tutacaktır.
- Boru çapı yükselmesiyle birlikte gömülme derinliği etkilerinin arttığı gözlenmektedir yani derinlik arttıkça çaplarda orantılı yük artışı oluşmamaktadır. Grafiklerde verilen derinlik-etkiyen yük eğrileri eğimine bu durum yansımıştır. Buradan yüksek çaplı betonarme borularda derinlik arttıkça borunun göçme emniyetine karşı daha dikkat edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.
- Boru üzeri gelebilecek zemin yüklerinde en elverişsiz durum, yerel zeminin suya doymun kil olduğunda görülmüştür.
- Yataklama faktörü, beton borunun zemin yükleri altında performansında son derece önemlidir. Örnek uygulamalarda beton yatak oluşturma işleminin, ekonomik olmasa da ağır zemin yüklerinde iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Beton yataklamadan maksimum performansı alabilmek için beton kalitesi artırımı değerlendirilebilir.
- Hesaplamalarda yataklama faktörlerinden herhangi biri mukavemeti sağlamıyorsa veya emniyetli tarafta kalmayan bir yataklama yöntemiyle çalışılmak istendiğinde; şartnamedeki minimum kırılma yükü yerine üretim tesisi test sonuçları doğrultusunda yataklama faktörleriyle hesap yenilenebilir.



Eğer bu durumda da tasarım emniyetsiz tarafta kalıyorsa; boru üretim tesisinden çimento dozu artırılmış ya da çeşitli katkılarla dayanımı yükseltilmiş betonla üretim yapılması veya donatı seviyesi daha yüksek boru imalatı talep edilebilir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışmada kullanılan Safranbolu Yağmursuyu Projesini temin ettiğimiz Kastamonu İller Bankası Bölge Müdürlüğü'ne ve Karabük Üniversitesi Atıksu Projesini temin ettiğimiz KBU Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT of INTEREST)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Ayalp, Ömer G., "Gömülü Borulara Etkiyen Zemin Yüklerinin Bulunması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2006).
- Balkaya, M., "Zemine Gömülü Boruların Mühendislik Davranışı" Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2002).
- Balkaya, Müge, and Ahmet Sağlamer. "The effect of trench width on the behavior of buried rigid pipes." *AIP Conference Proceedings*. Vol. 1637. No. 1. American Institute of Physics, 2014. <https://doi.org/10.1063/1.4904565>
- Bashir, R. "Analysis and design of buried pipelines." *Diss. King Fahd University of Petroleum and Minerals* (2000).
- CivilWeb Spreadsheets, "Loads on Buried Pipes", <https://civilweb-spreadsheets.com/drainage-design-spreadsheets/buried-pipe-design-spreadsheet/loads-on-buried-pipes/> (2022)
- Çoban, S., "İçme suyu ve kanalizasyon boru hatlarının deprem performansı." Yüksek Lisans Tezi, *Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2014).
- Gazete, Resmi "Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik", *T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sayı 29940* (2017).
- Gazete, Resmi. "Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik", *T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sayı 30105* (2017).
- İller Bankası, "İller Bankası Beton/Betonarme Boru ve Bağlantı Parçaları Özel Teknik Şartnamesi" *T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sayı 17/217* (2009)
- Kalde Boru Sistemleri, "Koruge Teknik Katalog", [http://www.zengileryapi.com.tr/katalog/kalde1\\_katalog.pdf](http://www.zengileryapi.com.tr/katalog/kalde1_katalog.pdf). (2019)
- Kasap A. "Kanalizasyon ve İçme Suyu İnşaatlarında Kullanılan Boru Tiplerine Göre Maliyet Analizi ", <https://www.ilbank.gov.tr/index.php?Sayfa=UzmanlikTezleri> (2016)
- Moser, Alma P. and Steven L. Folkman. "Buried pipe design", Vol. 2. New York: *McGraw-Hill* (2001).
- Sağlamer, A., M. Balkaya, M., "Gömülü Boru Hatlarının Statik ve Dinamik Yükler Altındaki Davranışı." *İMO Teknik Dergi* (2004).
- Spangler, M. G. "Soil engineering" *International Textbook Co. Scranton, Po* (1966).