

ZEMİN HAREKETİ DURUMUNDA GÖMÜLÜ BORU-ZEMİN ARA YÜZÜNÜN BORU DEFORMASYONUNA ETKİSİ

THE EFFECT OF BURIED PIPE-SOIL INTERFACE ON PIPE DEFORMATION IN CASE OF GROUND MOVEMENT

Adil Yiğit ¹

ÖZET

Ülkemiz (Türkiye) bir deprem kuşağı içindedir. Deprem en önemli etkilerinden biri zemin hareketlerine neden olmasıdır. Deprem kaynaklı olsun veya olmasın zemin kaymaları hem üst yapılar üzerinde hem de altyapılar üzerinde önemli etkilere sahiptir. Zemin hareketi sonucu gömülü boru yüzeyinde sürtünme kuvvetleri meydana gelir. Bu kuvvetler boru hatlarında gerilmelere ve dolayısıyla da şekil değiştirmelere neden olurlar. Bu deformasyonların en önemli etkenlerinden biri zemindeki hareket miktarı iken bir diğeri de boru yüzeyinin sürtünme katsayısıdır. Bu çalışma kapsamında zemin hareketinin gömülü boru hatları üzerine etkisi dikkate alınarak boru-zemin ara yüzünün önemi üzerinde durulmuştur. Bu ara yüzün sürtünme katsayısının yüksek veya düşük olması açısından gömülü çelik boru hatları üzerindeki etkileri araştırılmış ve sonuçlar kıyaslanarak irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin Kayması, Gömülü Boru, Boru-Zemin Etkileşimi

ABSTRACT

Our country (Turkey) is in an earthquake zone. One of the most important effects of an earthquake is that it causes ground movements. Landslides have significant effects on both superstructures and infrastructures whether they are earthquake-induced or not. Frictional forces occur on the buried pipe surface as a result of ground motion. These forces cause stresses and then deformations in pipelines. While one of the most important factors of these deformations is the amount of movement of ground, another is the friction coefficient of the pipe surface. In the scope of this study, considering the effect of ground movement on buried pipelines, the importance of the pipe-soil interface has been emphasized. The effects of this interface on buried steel pipelines have been investigated in terms of high or low friction coefficient and the results have been compared and examined.

Keywords: Landslide, Buried Pipeline, Soil-Pipe Interaction

¹ Dr, Teknik Şef, İstanbul Gaz Dağıtım A.Ş., adilyigit75@hotmail.com

1. GİRİŞ

Zeminde meydana gelecek olan kaymalar üst yapılar kadar altyapıları da etkiler. Sakarya’da 14 Ocak 2019 tarihinde meydana gelen heyelan sonucu 30 inç çapındaki çelik doğalgaz borusunda hasar oluşmuştur (Şekil-1). Bu hasar yerleşim yeri dışında meydana geldiği için buna bağlı can kaybı da meydana gelmemiştir. Aksi halde büyük can ve mal kayıplarından bahsedilmesi muhtemel olacaktı.



Şekil 1. Doğalgaz Borusu – Heyelan etkileşimi [Url-1]

Buna benzer zemin kayması nedeniyle boru hatları üzerinde oluşan hasarlar ve bu hasarların meydana getirdiği kayıplar ilgililerin bu konu üzerine odaklanmasına neden olmuştur. Zemin hareketi anında boru ile zemin arasında oluşan sürtünme kuvvetleri, boru dayanımı aşıldığında, gömülü boru hatlarında hasarlara sebebiyet vermektedir. Bu nedenle boru-zemin ara yüzünün sürtünme katsayısı önemiyet arz etmektedir.

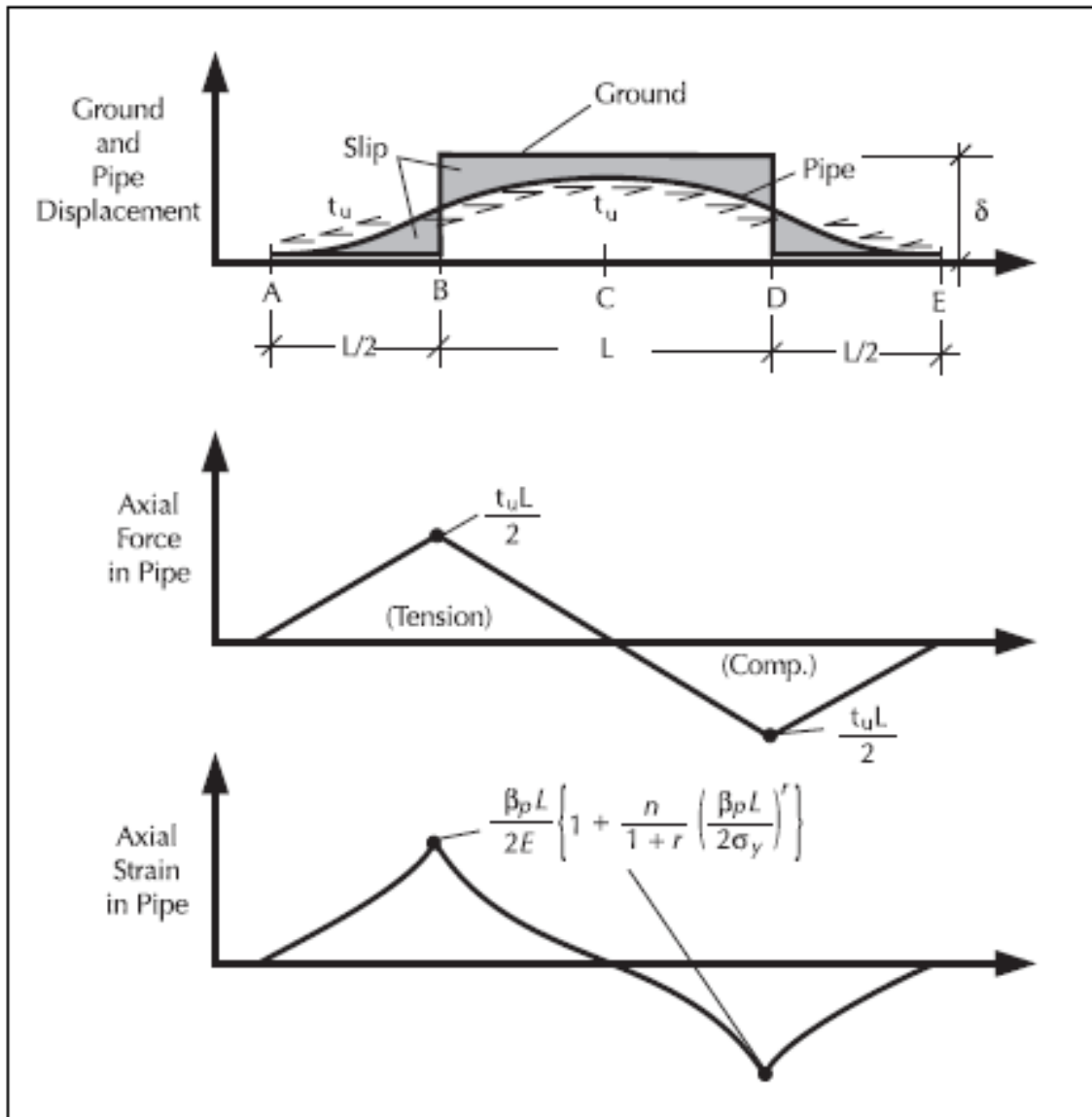
1.1. Ramberg-Osgood Modeli

Zemin hareket yönünün boru eksenine boyunca olduğu durumu dikkate alınarak Ramberg-Osgood (1943) aşağıdaki yaklaşımları geliştirmiştir. Bu yaklaşımlardan ilkinde (Durum-I) yer hareketi miktarı, δ , büyüktür ve boru dayanımı PGD (Permanent Ground Deformation, Kalıcı Zemin Hareketi) bölgesinin uzunluğu, L , tarafından kontrol edilmektedir. İkinci durumda (Durum-II), L büyük olup boru dayanımı δ tarafından kontrol edilmektedir. Her iki durumda da gerekli işlemler aşağıdaki denklemler yardımıyla gerçekleştirilmektedir:

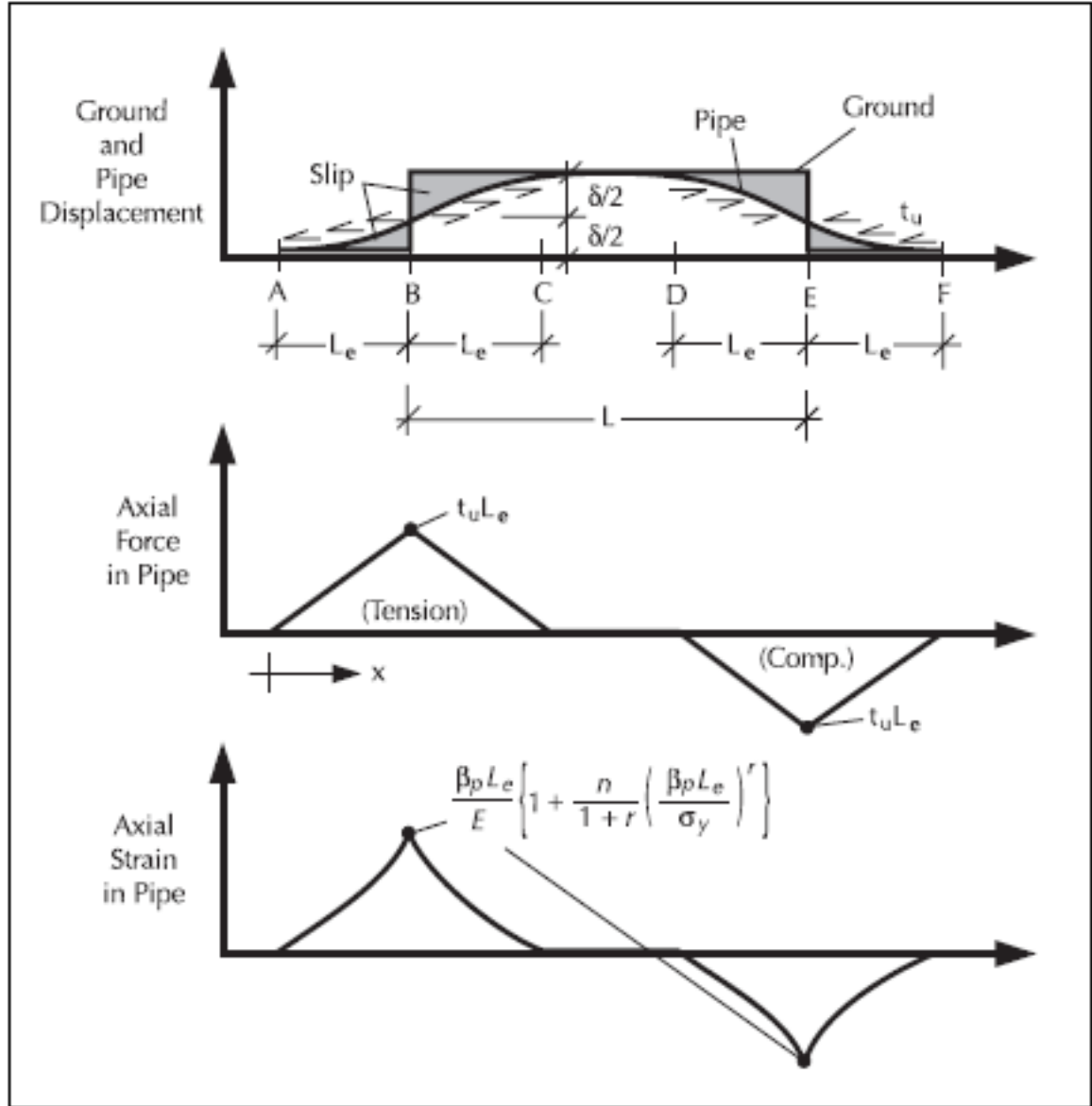
$$\varepsilon(x) = \frac{\beta_p x}{E} \left[1 + \frac{n}{1+r} \left(\frac{\beta_p x}{\sigma_y} \right)^r \right] \quad (1)$$

$$\delta(x) = \frac{\beta_p x^2}{E} \left[1 + \frac{2}{(2+r)} \frac{n}{(1+r)} \left(\frac{\beta_p x}{\sigma_y} \right)^r \right] \quad (2)$$

Aşağıdaki şekillerden de görülebileceği üzere (Şekil-2,3) burada t_u zemin-boru arayüzünde toprak kayması nedeniyle oluşan sürtünme kuvveti, δ zemin deplasmanı, σ_y boru malzemesinin çekme dayanımı, E elastik modülü, n ve r Ramberg-Osgood sayıları (Tablo-1), ε şekil değiştirme oranı ve β_p ise gömme parametresidir (Denklemler-1 ve 2).



Şekil 2. Durum-1 için Grafikler [O'Rourke ve Liu, 1999]



Şekil 3. Durum-II İçin Grafikler [O'Rourke ve Liu, 1999]

Boru hatları gömülürken etrafı mıcır, kum gibi kohezyonsuz ($c=0$) malzemeyle doldurulur. Bu nedenle hem kohezyonlu hem de kohezyonsuz dolguya göre gömme parametresi tanımlanmış olup burada kohezyonsuz dolgu malzemesine göre hazırlanmış olan ifade kullanılmaktadır [O'Rourke ve Liu, 1999].

$$\beta_p = \frac{\mu \gamma H}{t} \quad (3)$$

$$\mu = \tan(k\phi) \quad (4)$$

Burada β_p boru gömme parametresi, H gömme derinliği, t et kalınlığı, μ sürtünme katsayısı, $\emptyset$ dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı ve k boru-zemin arayüzüne göre Tablo-2’den elde edilen katsayıdır.

Tablo 1. Çelik Sınıflarına Göre Ramberg-Osgood Parametreleri [Ramberg ve Osgood, 1943]

	Grade-B	X-42	X-52	X-62	X-70
σ_y (MPa)	227	310	358	413	517
n	10	15	9	10	5,5
r	100	32	10	12	16,6

Tablo 2. k Değerleri [O’Rourke ve Liu, 1999]

Boru Kaplaması	k
Beton	1.0
Kömür Katranı	0.9
Sert Çelik	0.8
Düz Çelik	0.7
Epoksi	0.6
Polietilen	0.6

2. ANALİZLER

Boru- zemin ara yüz malzemesine göre gömülü boru hatlarında boyuna zemin hareketi halinde oluşması muhtemel şekil değiştirmeler hem Durum-I hem de Durum-II için çeşitli δ veya L değerleri dikkate alınarak bu bölümde ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Sadece ara yüz k değerine göre değişimin analiz edilebilmesi için diğer parametreler $\emptyset=32^0$; $\gamma=15$ kN/m³; $\sigma_y=358 \times 10^3$ kN/m² (X-52 Çelik); $t= 0,0064$ m; $H=1,2$ m; $n=9$, $r=10$, $E= 2 \times 10^8$ kN/m² olacak şekilde sabitlenmiştir. Çelik borular için izin verilen maksimum çekme şekil değiştirme oranı 0,03 olup bu değer aşılması halinde boru hattının hasar göreceği kabul edilmektedir [IITK-GSDMA 2007, ASCE 1984].

2.1. Durum-I Analizleri

Yukarıda verilen parametre değerleri ışığında Durum-I için Tablo-2’deki “k” değerlerine bağlı olarak elde edilen şekil değiştirme oranları Tablo-3’te verilmiştir. Bu analiz için kıyas yapabilmek amacıyla L=200 m alınmıştır.

Tablo 3. Durum-I için Analiz

k	δ (x=L/2, m) (Denklem- 2)	ϵ (Denklem-1)
1,0	0,09	0,000879
0,9	0,08	0,000773
0,8	0,07	0,000674
0,7	0,06	0,000580
0,6	0,05	0,000490

Burada “k” sürtünme katsayısı arttıkça, doğal olarak, boruya etkiyen sürtünme kuvvetlerinin, buna bağlı gerilme ve şekil değiştirme oranlarının da arttığı görülebilmektedir. Boru-toprak ara yüzünün polietilen veya epoksi olmasıyla beton olması arasında yaklaşık olarak, başka parametre değerlerine bağlı değişkenlik arz etmek üzere bu analiz parametre değerleri için, %80 bir artış olmuştur. Bu oran çok yüksek bir oran olup boru-toprak arayüz malzemesinin önemini ortaya koymak açısından önemli bir göstergedir. Limit şekil değiştirme oranının da aşılmadığı (%3) ayrıca tespit edilmiştir. Ancak kayan bölgenin uzunluğu, “L” değeri, arttığında bu limitin aşılabileceği gözden kaçırılmamalıdır. Yine “L” değeri arttığında, boru-toprak ara yüzünün polietilen veya epoksi olmasıyla beton olması arasındaki farkın da arttığı gözlemlenmiştir. Mesela L=300 m olduğunda bu fark %86 olmaktadır.

Tablo-3’te elde edilmiş olan sonuçların $x = L/2$ noktası için elde edilmiş olduğuna dikkat edilmelidir. Bu nokta Şekil-2’den de görülebileceği üzere eksenel kuvvetin ve şekil değiştirme oranının en yüksek olduğu noktadır.

2.2. Durum-II Analizleri

Yukarıdaki analizde (Durum-I için) kullanılmış olan aynı çelik boru, aynı gömme derinliği ve aynı dolgu malzemesi için zemin deplasman miktarı (δ) biliniyor veya tahmin edilebiliyor ancak kalıcı zemin hareket (KZH) bölgesinin boyu (L) bilinmiyor veya tahmin edilemiyorsa Durum-II söz konusu olmaktadır. Buna göre Şekil-3 dikkate alınarak Denklem-2 yeniden düzenlendiğinde;

$$\delta/2 = \frac{\beta_p L_e^2}{E} \left[1 + \frac{2}{(2+r)} \frac{n}{(1+r)} \left(\frac{\beta_p L_e}{\sigma_y} \right)^r \right] \quad (5)$$

olarak elde edilir. Buna göre yapılan analizler sonucu elde edilen değerler, $\delta=50$ cm zemin deplasman tahminine göre Tablo-4’te verilmektedir.

Tablo 4. Durum-II için Analiz

k	L_e (m) (Denklem- 5)	ϵ (Denklem-1)
1,0	169	0,00166589
0,9	180	0,00148106
0,8	193	0,00134048
0,7	208	0,00122239
0,6	226	0,00111384

Bu inceleme kapsamında kullanılmış olan veriler ışığında, beklenildiği üzere, “k” boru-zemin arayüz sürtünme katsayısı değeri arttığında şekil değiştirme oranının da yaklaşık olarak %50 arttığı tespit edilmiştir. Bu oran kullanılan parametre değerleri değiştiğinde değişmekte olup $\delta=35$ cm’ye düştüğünde %35 mertebesine düşmektedir. Aynı zamanda “k” değeri azaldığında efektif boru boyunun (L_e) arttığı gözlemlenmektedir. Bu husus düşük sürtünme katsayısına bağlı olarak boru yüzeyine etkiyen sürtünme kuvvetlerinin az olması ile izah edilebilir. Bu durum ise daha fazla etkilenen boru boyu miktarına (L_e) dayanabilme avantajı sağlar.

Sadece sürtünmeden kaynaklı etki dikkate alındığında %3 izin verilen şekil değiştirme oranının, çalışılan analiz değerleri için, aşılmadığı görülmüştür. Ancak başka değerlerin ortaya çıkması veya ilave başka etkilerin meydana gelmesi bu olumsuzluğu gündeme getirecektir.

3. SONUÇLAR

Heyelan ve depreme bağlı zemin kaymaları sıkça karşılaşılabilecek olumsuzluklar olarak hem alt yapı hem de üst yapılara zarar verebilme kapasitesine sahiptir. Bu tür bölgelerden kaçınmak en önemli tedbir olmakla beraber bunun mümkün olmadığı durumlarda etkiyi minimize etmek ve kabul edilebilir sınırlara çekmek diğer bir önemli yaklaşımdır. Bu çalışmada gömülü boru hatlarında boru-toprak ara yüzünün sürtünme katsayısının azımsanmayacak derecede ehemmiyetli olduğu ortaya konmuştur. Kalıcı zemin hareketine maruz olabilecek boru hatlarında hasarı azaltmak ve hatta limitler dahiline çekebilmek için bu ara yüzün mutlaka düşük sürtünme kuvveti doğuracak düşük sürtünme katsayısına sahip malzeme olması sağlanmalıdır. Sürtünmenin sıfırlanmasının mümkün olmadığı bilindiğine göre boru yüzeyleri gerekiyorsa düşük sürtünme katsayısına sahip polietilen malzeme gibi bir malzemeyle pürüzsüz bir şekilde kaplanmalıdır. Bununla beraber dolgu malzemesinin özellikleri (yoğunluğu, içsel sürtünme açısı gibi parametreler), gömme derinliği ve boru et kalınlıkları da dikkate alınması gereken diğer bazı hususlardır.

KAYNAKLAR

- American Society of Civil Engineers (ASCE). (1984). Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems, Committee on Gas and Liquid Fuel Lifeline, ASCE.
- Indian Institute of Technology Kanpur. IITK-GSDMA Guidelines for Seismic Design of Buried Pipelines. November, 2007.
- O'Rourke M.J. and Liu X. (Editors) (1999) Response of Buried Pipelines Subject to Earthquake Effects, Monograph No. 3, Multidisciplinary Center for Earthquake Research, University of Buffalo, Buffalo.
- Ramberg, W. and Osgood, W., (1943), Description of Stress-Strain Curves by Three Parameters, Technical Note, No. 902, National Advisory Committee for Aeronautics, 28p.
- Url-1 < <http://www.hurriyet.com.tr/>>, erişim tarihi: 14.01.2019.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
ε	Şekil değiştirme oranı	δ	Zemin deplasman miktarı
E	Elastisite modülü	μ	Sürtünme katsayısı
γ	Birim hacim ağırlık	ϕ	İçsel sürtünme açısı
σ_y	Akma dayanımı		