

## Enine Zemin Hareketine Maruz Gömülü Boru Hatlarının Tepkisi İçin Örnek Bir Çalışma

Adil YİĞİT\*<sup>1</sup> ORCID0000-0003-1045-6127

<sup>1</sup>*İstanbul Gaz Dağıtım A.Ş., Kavacık, Beykoz-İstanbul*

Geliş tarihi: 01.02.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

*Atıf şekli/ How to cite: YİĞİT, A., (2023). Enine Zemin Hareketine Maruz Gömülü Boru Hatlarının Tepkisi İçin Örnek Bir Çalışma. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 485-494.*

### Öz

Yaşam hatları olarak adlandırılan gömülü boru hatları, parçalı ve sürekli boru hatları olarak sınıflandırılmaktadır. Söz konusu bu altyapıların güvenliği insan hayatı için üst yapılar kadar önemlidir. Bu çalışmada, İstanbul ili Esenyurt ilçesi 2126. Sokak'ta meydana gelen düşey zemin deplasmanı nedeniyle bu bölgede gömülü olan parçalı ve sürekli boru hatları incelenmiştir. İnceleme alanında 20 cm zemin oturması tespit edilmiştir. Bu zemin oturmasına konu olan bölgede hem sürekli (24" çelik, Ø1400 çelik ve PE125 polietilen) hem de parçalı (Ø300 beton ve 100DF düktil) gömülü boru hatlarının davranışı enine kalıcı zemin deformasyonuna göre incelenmiş ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda bölgede mevcut olan boru hatlarının söz konusu zemin hareketine karşı güvenli olduğu ancak lokal burkulma incelemeleri sonucunda polietilen doğalgaz boru hattında (PE125) hasar oluşabileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Gömülü boru hattı, Enine zemin hareketi, Hasar analizi, Emniyet

### A Sample Study for the Response of Buried Pipelines Subject to Transverse Ground Motion

#### Abstract

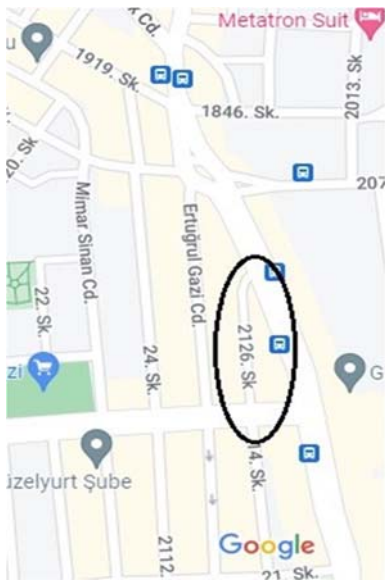
Buried pipelines, called lifelines, are classified as segmented and continuous pipelines. The safety of these infrastructures is as vital as superstructures for human life. This study analyses the segmented and continuous pipelines buried in the 2126th street of the Esenyurt district of Istanbul in terms of vertical ground displacement. 20 cm ground settlement has been determined in the investigated area. The response of both the continuous (24" steel, Ø1400 steel and PE125 polyethylene) and the segmented (Ø300 concrete and 100DF ductile) buried pipelines in the region subject to this ground settlement has been investigated according to transverse permanent ground deformation and the obtained results have been examined. As a result of the analyzes, it has been determined that the pipelines in the region are safe against ground movement but that damage may occur for the polyethylene natural gas pipeline (PE125) according to local buckling examinations.

**Keywords:** Buried pipeline, Transverse ground movement, Damage analysis, Safety

\*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Adil YİĞİT, [adilyigit75@hotmail.com](mailto:adilyigit75@hotmail.com)

## 1. GİRİŞ

Yeraltına gömülü olan boru hatları genel itibariyle sürekli (kaynakla birbirine bağlanmış) boru hatları ve parçalı (geçmeli) boru hatları olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Deprem kaynaklı olsun veya olmasın içinde buldukları zeminin hareket etmesinden bu gömülü boru hatları da üst yapılar gibi olumsuz etkilenmektedir. Sıvılaşma, heyelan, fay hareketi burada bahsedilen riski oluşturabilecek aktörler arasındadır. Ayrıca literatürde zeminin hareket yönü ile gömülü boru hattının konumlanma doğrultusuna bağlı olarak zemin boru etkileşimi iki alt başlıkta ele alınmaktadır. Boru hattı zemin hareketinin olduğu yön boyunca uzanıyorsa bu duruma “boyuna zemin hareketi durumu”, zemin hareketi boru eksenine dik yönde meydana geliyorsa da buna “enine zemin hareketi durumu” denilmektedir. Bunların dışında boru hattı-zemin hareketi arasında belli bir açının olması durumunda ise problem “enine” ve “boyuna” hareket diye iki tane alt bileşene ayrılarak çözümlenebilmektedir. Bu çalışmada 26 Nisan 2019 tarihinde İstanbul Esenyurt İlçesi Güzelyurt Mahallesi 2126 Sokak'ta (Şekil 1) meydana gelen zemin hareketine bağlı olarak sokakta mevcut olan gömülü boru hatlarının analizi amaçlanmıştır.



Şekil 1. İncelenen bölge

### 1.1. Bölgenin İncelenmesi

Bu çalışma kapsamında ilgili alandaki zemin hareketinin nedenleri üzerinde durulmamış olup söz konusu bu zemin deformasyonunun sonuçları incelenmeye çalışılmıştır. Yerinde yapılan incelemeler sonucunda zeminde yatay bir deplasman tespit edilmemiş olup düşeyde yaklaşık 20 cm'lik bir oturma meydana geldiği anlaşılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Bölgeden zemin hareketi fotoğrafları

Yetkililer tarafından zamana yayılı olarak yapılan ölçümlerde (Şekil 3) inceleme konusu bu zemin hareketinin devam etmediği, ani bir oturmada ibaret olduğu ayrıca tespit edilmiştir.



Şekil 3. Zemin hareketinin takibi

Tüm bu incelemeler ışığında ilgili noktaya gömülü olan boru hatlarına etkisi anlamında sadece düşeyde 20 cm'lik bir defaya mahsus bir zemin hareketi varlığının tespiti söz konusu olmuştur.

## 1.2. Bölgedeki Mevcut Boru Hatları

Genel manada boru hatları parçalı boru hatları ve sürekli boru hatları olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Parçalı boru hatları kanalizasyon, yağmursuyu hatları gibi birbirine geçmeli şekilde imal edilen basınçsız madde taşıyan hatlardır. Sürekli boru hatları ise kaynakla birbirine bağlanan borulardan oluşan ve genelde basınçlı malzeme taşıyan isale ve doğalgaz hatları gibi boru hatlarıdır.

İncelenen bölgede sürekli boru hattı olarak 24" çelik doğal gaz hattı, Ø125 polietilen (PE125) doğalgaz boru hattı ve Ø1400 çelik isale hatlarının; parçalı boru hattı olarak ise Ø300 atık su boru ve 100DF içme suyu boru hattının mevcut olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 1'de bölgede mevcut boru hatlarının tespit edilen teknik ve fiziki özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 1.** Mevcut boru hattı malzeme özellikleri

	24" Çelik	PE125	Ø300	Ø1400	100DF
Malzeme	Grade-B	Polietilen	Beton	S235JR	Demir
Dış Çap (cm)	60,96	12,5	40	140	11,8
Et Kalınlığı (mm)	7,92	11,4	50	16	3
Boru parça boyu, L <sub>0</sub> (m)	-	-	1,58	-	6
Bağlantı Noktası Geçme Boyu, d (cm)	-	-	8	-	15
Derinlik, H (m)	1,9	1,0	3,5	2,6	1,2

## 1.3. Literatür Araştırması

İster parçalı boru hattı isterse sürekli boru hattı olsun gömülü boru hattı sistemleri içinde buldukları zeminin hareketi dolayısıyla bu hareketten etkilenirler. Bu nedenle hem parçalı boru hatları hem de sürekli boru hatlarının zemin hareketlerine karşı tepkisi bilimsel araştırmaların konusu olagelmıştır [1-13].

### a) Sürekli boru hattı durumu

Sürekli boru hattının enine zemin hareketi durumunda tepkisini tarif eden M. O'Rourke (1989) problemi iki ayrı şekilde izah etmektedir. Birinci durumda kalıcı zemin hareketi (KZH) bölgesinin geniş olduğu esnek boru durumu tanımlanmış ve Eşitlik 1 şeklinde ifade edilen en büyük eğilme şekil değiştirme miktarı ( $\epsilon_b$ ) eşitliği ve Eşitlik 2 gibi ifade edilen en büyük eksenel şekil değiştirme oranı miktarı ( $\epsilon_a$ ) eşitliği elde edilmiştir [8].

$$\epsilon_b = \frac{\pi^2 \delta D}{w^2} \quad (1)$$

$$\epsilon_a = \left( \frac{\pi \delta}{2w} \right)^2 \quad (2)$$

Burada  $\delta$  zemin deplasman miktarını, D boru çapını ve w ise hareket eden zemin bölgesinin genişliğini göstermektedir.

İkinci durum için ise kalıcı zemin hareketi (KZH) bölgesinin dar olduğu rijit boru durumu şeklinde tanımlanmış olup elde edilen en büyük eğilme şekil değiştirme miktarı ( $\epsilon_b$ ) eşitliği aşağıdaki gibi önerilmiştir:

$$\epsilon_b = \frac{P_u W^2}{3\pi E t D^2} \quad (3)$$

Bu eşitlikte  $P_u$  birim uzunluk başına maksimum yanal kuvvet (Eşitlik 13), t boru et kalınlığı ve E elastisitemodülüdür.

Enine zemin hareketine maruz sürekli boru hattının bu etkiye tepkisini Yiğit ve arkadaşları (2018) aşağıdaki gibi tarif etmiştir [10]:

$$\epsilon_b = \frac{\delta \beta_v^2 e^{-\frac{\pi}{4}} D}{\sqrt{2} \cdot 2} \quad (4)$$

$$\epsilon_{at} = -1 + \sqrt{1 + \frac{\beta_v^2 \delta^2}{4}} \quad (5)$$

Burada  $\varepsilon_{at}$  ve  $\varepsilon_b$  sırasıyla enine zemin hareketi durumunda sürekli boru hattında meydana gelen maksimum eksenel şekil değiştirme ve maksimum eğilme şekil değiştirmesidir. D boru çapı,  $\delta$  zemin deplasman miktarını göstermektedir.

$k_v$  boru hattının gömülü olduğu zeminin enine yay katsayısı ve EI boru rijitliği olacak şekilde;

$$4\beta_v^4 = \frac{k_v}{EI} \quad (6)$$

ifade edilmektedir [14]. Buna göre;

$$k_v = \frac{2p_u}{y_u} \quad (7)$$

olarak belirtilmekte olup kum zeminler için (kohezyonsuz zeminler,  $c=0$ );

$$P_u = \bar{\gamma}HN_{qh}D \quad (8)$$

$$y_u = \begin{cases} (0,07\sim 0,10)(H + D/2); & \text{gevşek} \\ (0,03\sim 0,05)(H + D/2); & \text{orta} \\ (0,02\sim 0,03)(H + D/2); & \text{sıkı} \end{cases} \quad (9)$$

şeklinde tarif edilmektedir.

b) Parçalı boru hattı durumu

Enine zemin hareketi nedeniyle Parçalı boru hatlarındaki bir boru parçasının bir ucundaki toplam açılma, boru hattındaki dönmeye bağlı açılma ile eksenel açılmanın toplamı şeklinde ifade edilmektedir. M. O'Rourke ve Nordberg (1991) tarafından yapılan çalışma sonucu bu durum aşağıdaki şekilde matematiksel ifadeye çevrilmiştir [15]:

$$\Delta x = \begin{cases} \frac{\pi^2 L_0 \delta^2}{W^2} \left( \frac{2D}{\delta} \right); & 0,268 \leq \frac{D}{\delta} < 3,73 \\ \frac{\pi^2 L_0 \delta^2}{2W^2} \left( 1 + \left( \frac{D}{\delta} \right)^2 \right); & \text{Diğer} \end{cases} \quad (10)$$

Bu eşitlikte  $L_0$  boru parçası boyu, D boru çapı, W hareket eden zemin bölgesi genişliği ve  $\delta$  zemin deplasman miktarını ifade etmektedir.

Yiğit (2022) tarafından önerilen yöntemle göre de yine enine zemin hareketine maruz kalmış parçalı boru hattındaki bir boru parçası ucunda meydana gelebilecek olan en büyük toplam açılma ( $\Delta d_t$ ) dönmeden kaynaklı açılma ( $\Delta d_r$ ) ile eksenel açılmanın ( $\Delta d_{at}$ ) toplamıdır [1].

$$\Delta d_t = \Delta d_r + \Delta d_{at} \quad (11)$$

$$\Delta d_r = \frac{\beta_v \delta}{2} D \quad (12)$$

$$\Delta d_{at} = \varepsilon_{at} l_0 \quad (13)$$

Burada  $L_0$  boru parçası boyu,  $\delta$  zemin deplasman miktarı, D boru çapı olmak üzere  $\beta_v$  Eşitlik 6'da ve  $\varepsilon_{at}$  ise Eşitlik 5'te ifade edildiği gibidir.

#### 1.4. Hasar Görebilirlik Ölçütleri

Üretici firmaların vermiş olduğu sürekli borular için çekme ve basınç dayanımları, parçalı borular için düğüm (bağlantı) noktası açılma miktarlarının yanı sıra literatürde genel hasar oluşum kriterleri de tespit edilmiştir. Parçalı borular için herhangi bir izin verilen düğüm noktası açılma değeri yoksa bu değer boru ek yerlerindeki geçme boyunun yarısı ( $d/2$ ) şeklinde alınabileceği kabul edilmektedir [7].

Sürekli boru hatları için boru hattının taşımakta olduğu malzemeye ve boru türüne göre çekme ve basınç limitleri Çizelge 2'de verilmektedir [14,16].

**Çizelge 2.** Gömülü sürekli boru hatları için izin verilen şekil değiştirme oranları

Boru Fonksiyonu	Boru Türü	İzin Verilen Şekil Değiştirme Oranı	
		Çekme	Basınç
Petrol ve Gaz Boru Hattı	Düktül Dökme Demir Boru	%2	KZH için: $\varepsilon_{cr-c}$
	Çelik Boru	%3	Sismik Dalga Yayılımı Durumu İçin: $(0,5 - 1,0)\varepsilon_{cr-c}$
	Polietilen Boru	%20	
	DİRSEK ve Te'ler	%1	
Su Boru Hattı	Çelik ve Demir	0,25 $\varepsilon_u$ veya %5	$\varepsilon_{c-PGD}$
			$\varepsilon_{c-Wave}$

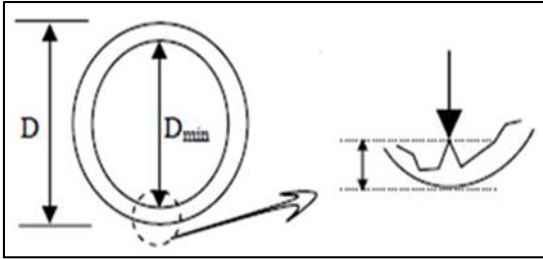
$$\varepsilon_{cr-c} = 0,175 \frac{t}{R} \quad (14)$$

$$\varepsilon_{c-PGD} = 0,88 \frac{t}{R} \quad (15)$$

$$\varepsilon_{c-Wave} = 0,75 \left[ 0,5 \frac{t}{D'} - 0,0025 + 3000 \left( \frac{PD}{2Et} \right)^2 \right] \quad (16)$$

$$D' = \frac{D}{1 - \frac{3}{D}(D - D_{min})} \quad (17)$$

Eşitliklerde ve Çizelge 2’de;  $\varepsilon_u$  boru kopma dayanımı şekil değiştirme oranı, D boru çapı, t boru et kalınlığı ve R boru yarıçapı olmak üzere  $D_{min}$  Şekil 4’teki gibi tanımlanmaktadır.



Şekil 4.  $D_{min}$  parametresinin tanımı [16]

Boru hattı ile zemin hareket yönünün birbirine dik bileşen oluşturacak şekilde konumlanmış olması durumu boru hattında eğilme gerilmesi ve şekil değiştirmesine neden olacaktır. Eğilmeye bağlı olarak sürekli boru hattının basınç tarafında meydana gelebilecek lokal burkulma boru hatlarının en önemli hasar risklerinden biridir. Burkulma ile boru çeperinde yerel geometri bozuklukları meydana gelmekte olup bu bozuklukların görüldüğü noktalarda oluşan gerilme yığılmaları çeperin yırtılmasına sebebiyet verebilmektedir. Teorik olarak eğilmeye bağlı şekil değiştirme oranının Eşitlik 18’den elde edilecek değere ulaşması lokal burkulma olarak kabul edilmekte olup Hall ve Newmark (1977) tarafından lokal burkulmanın teorik değerinin 1/3’ü ile 1/4’ü arasında başladığı tespit edilmiştir (Eşitlik 19) [14,17].

Bu çalışmada Eşitlik19’da belirtilen aralığın ortalaması olan ve Eşitlik14’te ifade edilen değer lokal burkulma başlangıcı olarak alınmaktadır.

$$\varepsilon_{teorik} = 0,6 \frac{t}{R} \quad (18)$$

$$0,15 \frac{t}{R} \leq \varepsilon_{cr} \leq 0,20 \frac{t}{R} \quad (19)$$

### 1.5. İlave Yükler

Boru hatları üzerine sıcaklık değişimi, toprak dolgu yükü, trafik yükü ve iç basınçtan kaynaklı ilave yükler, işletme yükleri gelmektedir.

İncelenen bölge için zemin yüzeyinin günlük sıcaklık değişiminin, toprak profili derinliği boyunca mevcut boru derinliğine ulaşır boru hatlarını etkilemediği tespit edilmiştir [18].

Ayrıca tranşeye gömülen boru hatları üzerindeki dolgu malzemesinin boru üzerine etkittiği ilave basınç aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [11]:

$$P = \gamma H \frac{1 + k_0}{2} \quad (20)$$

Burada  $\gamma$  dolgu birim hacim ağırlığı, H boru hattı derinliği ve  $k_0$  ise  $\emptyset$  dolgunun içsel sürtünme açısı olacak şekilde;

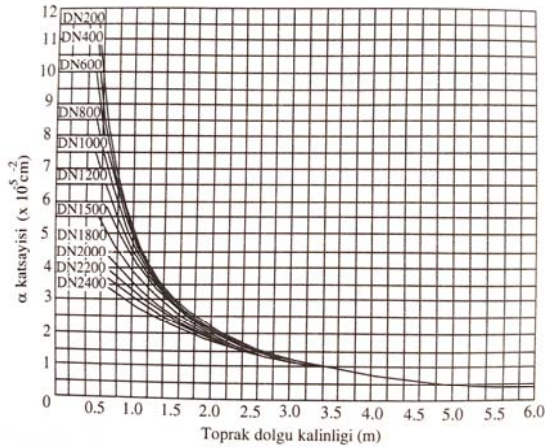
$$k_0 = 1 - \sin \emptyset \quad (21)$$

olarak ifade edilmektedir. T. O’Rourke ve arkadaşları (1985) tarafından  $k_0=1,0$  olarak alınması önerilmektedir [9].

Doğrudan Boussinesq yöntemi yanı sıra bu yöntemeye dayalı olarak trafik yüküne bağlı gömülü boru hattında oluşabilecek ilave yük aşağıdaki gibi de hesaplanabilmektedir:

$$W_t = F\alpha P \quad (22)$$

Burada;  $W_t$ , trafik yükü nedeniyle oluşan ilave basınç,  $F$  etki faktörü ( $F=1,5$  alınabilir);  $P$  tekerlek yükü (ağır trafik yükü için  $p=10.000$  kgf'tir),  $\alpha$  Boussinesq katsayısı olup iki kamyon olması durumuna göre Şekil 5'ten elde edilebilir.



Şekil 5. İki kamyon halinde  $\alpha$  katsayısı [19]

Boru hatları işletmeye alındıklarında ihtiyaca binaen basınçlı veya cazibeli akış ile çalışmaktadır. Basınçlı boru hatlarında iç basınç nedeniyle ilave gerilme ve dolayısıyla da şekil değiştirme oranı ortaya çıkmaktadır. Elastik sınırlar içinde kalarak iç basınçtan dolayı bir boru hattında ortaya çıkacak ilave şekil değiştirme miktarı;

$$\varepsilon_E = v \frac{pd}{2Et} \quad (23)$$

olarak hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte  $d = (d_{iç} + d_{dış})/2$ ,  $t$  boru et kalınlığı,  $v$  Poisson oranı (çelik malzeme için 0,3 ve polietilen malzeme için 0,4),  $p$  borudaki iç basınç olup  $E$  elastisite modülü olarak kullanılmaktadır.

### 1.6.Emniyet Faktörü

Boru hattı hasar analizleri yapılırken emniyetli tarafta kalabilmek için bir emniyet (önem) faktörü kullanılmaktadır. Bu faktör hasarın kaynağı ve türlerine göre Çizelge 3'teki gibi sınıflandırılmıştır [16,20].

Çizelge 3. Çeşitli Boru hattı sınıflarına göre önem katsayısı ( $I_p$ )

Boru Hattı Sınıfı	Dalga Yayılımı	Fay	Enine ve Boyuna KZH	Heyelan
I	1,5	2,3	1,5	2,6
II	1,25	1,5	1,35	1,6
III	1,0	1,0	1,0	1,0
IV	Sismik Hasar Yok			

Çizelgede Sınıf-I çok önemli su boru hatları ile yüksek basınçlı ( $\geq 10$  kgf/cm<sup>2</sup>) petrol ve gaz boru hatlarını kapsamaktadır. Sınıf-II kritik su hatları ile orta basınç (3 kgf/cm<sup>2</sup> ile 10 kgf/cm<sup>2</sup> arası) petrol ve gaz boru hatlarını ifade etmektedir. Sınıf-III su temin (dağıtım) hatları ile düşük basınç ( $\leq 3$  kgf/cm<sup>2</sup>) petrol ve gaz boru hatlarını içermektedir. Sınıf-IV ise düşük ve az önemli su boru hatlarını tarif etmektedir.

## 2. ANALİZLER

İncelenen bölgede tespit edilmiş olan 20 cm'lik düşey doğrultudaki zemin deplasmanı, boru hatlarının ehemmiyet durumuna göre Çizelge 3'te belirtilen kriterler de dikkate alınarak, dizayn deplasman miktarına Çizelge 4'te belirtildiği gibi dönüştürülmüştür.

Çizelge 4. Dizayn deplasman miktarları ( $\delta_{dizayn}$ )

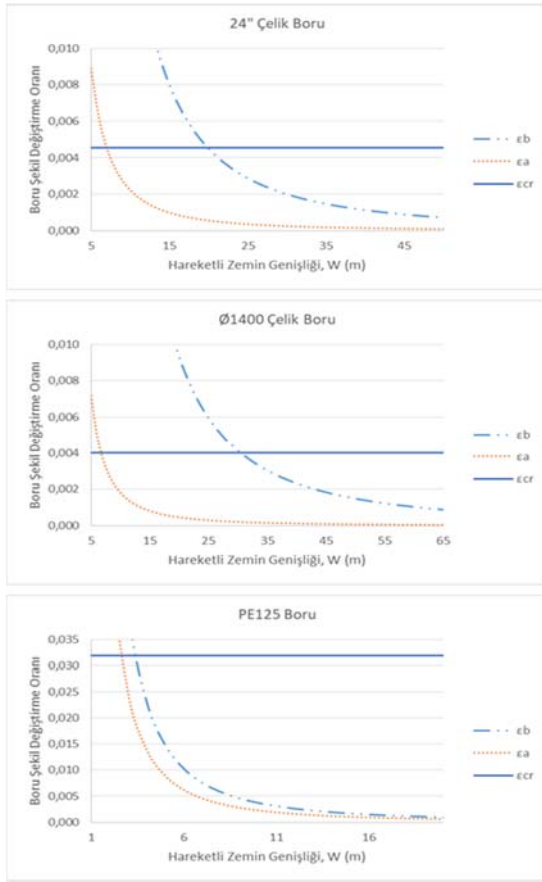
Boru Tipi	$\delta$ (cm)	$I_p$	$\delta_{dizayn}$ (cm)
24" Çelik	20	1,5	30
Ø1400 Çelik	20	1,35	27
PE 125	20	1,5	30
Ø300 Beton	20	1,0	20
100 DF	20	1,0	20

Kayan zemin bölgesinin genişliğinden bağımsız enine zemin hareketi problemini analiz edebilen Yiğit ve arkadaşları (2018) yöntemine göre incelenen bölgede mevcut bulunan sürekli boru hatları tetkik edilerek elde edilen sonuçlar Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Sürekli boruların analizleri

	$\varepsilon_b$		$\varepsilon_a$	
	O'Rourke (Eş.1)	Yiğit (Eş. 4)	O'Rourke (Eş. 2)	Yiğit (Eş. 5)
24" Çelik	Şekil 6	0,00341	Şekil 6	0,00130
Ø1400 Çelik	Şekil 6	0,00183	Şekil 6	0,00027
PE125	Şekil 6	0,06242	Şekil 6	0,11010

Buna göre Ø1400 çelik boru hattının 24" çelik doğalgaz boru hattına göre daha rijit bir yapıya sahip olduğu yani 24" borunun daha esnek olduğu söylenebilir. Aynı sonuç Kayan zemin bölgesinin genişliğine bağımlı olarak enine zemin hareketi problemini yorumlayan M. O'Rourke (1989) yönteminde de ortaya çıkmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Sürekli boru hattı analizleri

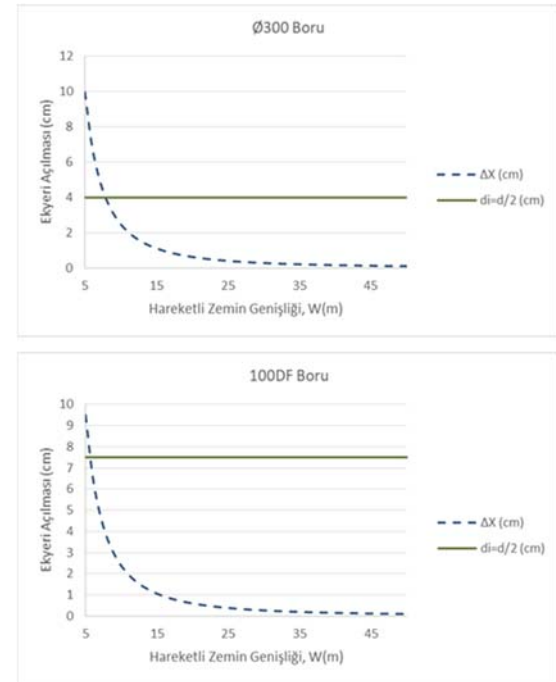
Bu yönteme göre hazırlanmış olan grafikler (Şekil 6) incelendiğinde araştırılan olaydaki zemin deplasman miktarına göre 24" çelik boru hattının yaklaşık 20 metrelik bir kayma bölgesi genişliğine katlanabildiği ancak aynı zemin deplasmanı durumunda daha rijit olan Ø1400 çelik boru için bu genişliğin yaklaşık en az 30 metre olması gerektiği anlaşılmaktadır. Çelik borulara göre çok daha esnek olan polietilen boru (PE125) ise 20 cm'lik bu deplasmanın meydana geldiği kayan

bölge genişliğinin yaklaşık 4 metre olması durumuna kadar dayanabilmektedir. Bu analizler ve kıyaslar boru hattındaki bir eğilmeden kaynaklı lokal burkulma durumuna göre gerçekleştirilmiştir. Eksenel gerilme (çekme gerilmeleri) ve işletme aşamasında meydana gelen ilave gerilmelerin de dikkate alındığı nihai durum analizi bir sonraki bölümde (3. Tartışma) ele alınmaktadır.

Aynı bölgede bulunan Ø300 ve 100 DF parçalı boru hatlarının mevcut 20 cm'lik zemin deplasmanına tepkisinin kayan bölgenin genişliğinden bağımsız (Yiğit 2022) hesabı ile bu genişliğe bağlı (M. O'Rourke ve Nordberg 1991) değişimleri Çizelge 6 ve Şekil 7'de özetlenmiştir.

Çizelge 6. Parçalı boruların analizleri

		Ø300	100DF
<b>Toplam Açılma (cm)</b>	M. O'Rourke-1991 (Eşitlik 10)	Şekil 7	Şekil 7
	Yiğit-2022 (Eşitlik 11)	2	4



Şekil 7. Parçalı boru hattı analizleri

Bu tetkiklere göre kayan bölgenin genişliğinden bağımsız parçalı boru hatlarında meydana gelmesi



beklenen maksimum düğüm noktası açılma miktarları Ø300 ve 100 DF boru için sırasıyla 2 ve 4 cm olarak elde edilmiştir. Kayan zemin bölgesinin genişliğine (W) bağımlı olacak şekilde parçalı boru hattındaki en büyük düğüm noktası açılmasını gösteren Şekil 7’de Ø300 boru için W=8 m’de kritik eşiğe ( $d_i=4$  cm) ulaşıldığı, 100DF boru için ise w=5,7 m’den sonra bu eşiğe ( $d_i=7,5$  cm) ulaşıldığı tespit edilmiştir.

### 3. TARTIŞMA

İncelenen bölgedeki hem parçalı hem de sürekli borularda oluşması beklenen ilave işletme gerilmeleri ve zemin kaymasından doğacak gerilmelere bağlı en büyük şekil değiştirme oranları ve düğüm noktası açılmaları (Yiğit 2018 ve Yiğit 2022’ye göre) elde edilmiştir (Çizelge 7 ve 8). İşletme şekil değiştirme oranı olarak iç basıncın yüksek olduğu doğalgaz boruları ve basınçlı isale hatlarında bu iç basınçtan kaynaklı şekil değiştirme oranları dikkate alınmıştır. Yapılan analizler sonucu incelenen bölgedeki gömme derinliğine göre trafik ve toprak dolgudan kaynaklanan ilave gerilme ve şekil değiştirme oranlarının ihmal edilebilecek kadar düşük olduğu ayrıca tespit edilmiştir. Ancak yine de yüzeysel sıcaklık değişimlerinin etkilemediği bu boru hatlarına etkileyen işletme şekil değiştirme oranı ve düğüm noktası açılma miktarları elde edilip tabloda (Çizelge 7 ve 8) gösterilmiştir.

Çizelge 7. Sürekli boru hattı kıyasları

	24" Çelik	PE125	Ø1400
İşletme Şekil Değiştirme Oranı (çekme), $\epsilon_i$	0,0001	0,0006	0,0001
Zemin Hareketine Bağlı Eğilme Şekil Değiştirme Oranı (basınç/çekme), $\epsilon_b$	0,0034	0,0624	0,0018
Zemin Hareketine Bağlı Eksenel Şekil Değiştirme Oranı (çekme), $\epsilon_a$	0,0013	0,1101	0,0003
Toplam Eğilme Şekil Değiştirme Oranı (basınç), $\epsilon_{Tb}$	0,0033	0,0619	0,0017
Toplam Eğilme Şekil Değiştirme Oranı (çekme), $\epsilon_{Tc}$	0,0035	0,0630	0,0019
Toplam Eksenel Şekil Değiştirme Oranı (çekme), $\epsilon_{Ta}$	0,0014	0,1107	0,0004
İzin Verilen Şekil Değiştirme Oranı (basınç), $\epsilon_{erc}$	0,0042	0,0319	0,004
İzin Verilen Şekil Değiştirme Oranı (çekme)	0,03	0,2	0,05

Çizelge 8. Parçalı boru hattı kıyasları

	Ø300	100DF
İşletme Ekyeri Açılması (cm)	-0,4	0,02
Zemin Hareketine Bağlı Ekyeri Açılması (cm)	2	4
Toplam Ekyeri Açılması (cm)	1,6	4,0
İzin Verilen Ekyeri Açılması ( $d/2$ , cm)	4	7,5

Aynı çizelgelerde söz konusu bu boru hatları için izin verilebilen şekil değiştirme oranları ve ek yeri açılma miktarları da tespit edilerek kıyaslama yapılmıştır. Buna göre parçalı boru hatlarında beklenen ek yeri açılma miktarlarının izin verilen değerlerin altında, güvenli durumda olduğu görülmektedir (Çizelge 8). Sürekli boru hatları için ise PE125 borunun basınç kontrolü hariç diğer tüm boruların basınç ve çekme durumuna göre izin verilen sınırlar dâhilinde kaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 7). PE125 polietilen doğalgaz borusunun ise basınç durumunun izin verilen değerleri aştığı tespit edilmiş olup bu boru hattının bu anlamda kontrolünün gerektiği tespit edilmiştir.

### 4. SONUÇLAR

Mevcut boru hatları açısından incelenen bölgede düşey doğrultuda meydana gelen zemin hareket miktarının yaklaşık 20 cm olduğu ve bu hareketin devam etmediği anlaşılmıştır. Zemin hareketinin ortaya çıktığı sokakta sürekli (kaynaklı) boru anlamında 24" çelik ve PE125 polietilen doğalgaz boru hatları ile Ø1400 çelik isale hattının bulunduğu, parçalı (geçmeli) boru hattı anlamında da Ø300 ve 100DF boru hatlarının mevcut olduğu tespit edilmiştir.

Bölgedeki boru hatlarının zemin hareketine karşı davranışları analiz edilmiş olup PE125 boru hattının çekme durumu kriterlerini sağladığı ancak basınç durumuna göre hasar görebileceği ve kontrolünün gerektiği diğer borularda ise hem basınç hem de çekme durumuna göre herhangi bir hasar oluşumunun beklenmediği sonucuna varılmıştır. PE125 boru hattında lokal burkulmanın (basınç hali) oluşması durumunda, hasar oluşumu yanında, kesitte daralmanın olabileceği ve bu daralmanın da gaz akışını engelleyebileceği hususuna dikkat edilmedi. Bina girişlerinde



oluşan 20 cm'lik düşey zemin deplasmanlarının doğalgaz ve su bina bağlantı noktaları hasarlarına neden olabileceği ayrıca tespit edilmiş olup bu bina bağlantılarının tetkikinin elzem olduğu sonucuna varılmıştır.

## 5. KAYNAKLAR

1. Yigit, A., 2022. Response of Segmented Pipelines Subject to Earthquake Effects, *Geomechanics and Engineering*, 30(4), 353-362.
2. Wham, B., P., Davis, A.,C., 2019. Buried Continuous and Segmented Pipelines Subjected to Longitudinal Permanent Ground Deformation. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 10(4).
3. Banushi, G., Wham, B., P., 2021. Deformation Capacity of Buried Hybrid-Segmented Pipelines Under Longitudinal Permanent Ground Deformation. *Canadian Geotechnical Journal*, 58(8), 1095-1117.
4. Toprak, S., Nacaroglu, E., Ballegooy, S.V., Koc, C.A., Jacka, M., Manav, Y., Torvelainen, E., O'Rourke, T.D., 2019. Segmented Pipeline Damage Predictions using Liquefaction Vulnerability Parameters. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 125, 105758
5. Toprak, S.,Nacaroglu, E., Koc, C., A., 2015. Seismic Damage Probabilities for Segmented Buried Pipelines in Liquefied Soils. 6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, 1-4 November, Christchurch, New Zealand, 9.
6. O'Rourke, M., Londono, T.V., 2016. Analytical Model for Segmented Pipe Response to Tensile Ground Strain. *Earthquake Spectra*, 32(4), 2533.
7. O'Rourke M.J., Liu X., 1999. Response of Buried Pipelines Subject to Earthquake Effects. Multidisciplinary Center for Earthquake Research, University of Buffalo, Buffalo, 276.
8. O'Rourke M., 1989. Approximate Analysis Procedure for Permanent Ground Deformation Effect on Buried Pipelines, Proceedings of 2nd Japan-U.S. Workshop on Liquefaction, Large Ground Deformation and Their Effects on Lifeline Facilities, Buffalo, New York, Technical Report NCEER-89-0032, Multidisciplinary Centre for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York 1989, 336-347
9. O'Rourke, T.D., M.D. Grigoriu, M.M. Khater, 1985. Seismic Response of Buried Pipe-lines. *Pressure Vessel and Piping Technology*, Ed. C. Sundararajan, ASME, NewYork, NY, 281-323.
10. Yigit, A., Lav, M.,A, Gedikli, A., 2018. Vulnerability of Natural Gas Pipelines Under Earthquake Effects, *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 9(1).
11. Yigit A., 2015. Deprem Etkisi Altındaki Gömülü Sürekli Boru Hatları. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 140.
12. Gedikli, A., Lav, M.A., Yiğit, A., 2008. Seismic Vulnerability of a Natural Gas Pipeline Network. *ASCE Pipelines 2008*. Atlanta, July 22-27.
13. Yiğit, A., 2007. Gömülü Boru Hatlarının Deprem Etkilerine Karşı Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 228.
14. 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, Reston, 473.
15. O'Rourke, M., Nordberg, G., 1991. Analysis Procedures for Buried Pipelines Subject to Longitudinal and Transverse Permanent Ground Deformation. Proceedings of the Third Japan-U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, San Francisco, California, Technical Report NCEER-91-0001, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York, 439-453.
16. Indian Institute of Technology Kanpur, 2007. IITK-GSDMA Guidelines for Seismic Design of Buried Pipelines, Kanpur, 105.
17. Hall, W., Newmark, N., 1977. Seismic Design Criteria for Pipelines and Facilities, Current

- State of Knowledge of Lifeline Earthquake Engineering, ASCE, New York, 18-34.
18. Yiğit, A. 2021. Çelik Doğal Gaz Boru Hatlarının Güvenli Gömme Derinliği. *El-Cezeri*, 8(1), 471-480.
  19. Türkdoğan, F. İ., Yetilmezsoy, K., 2004. Su Getirme ve Kanalizasyon Uygulamaları. İstanbul: Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 455.
  20. American Lifelines Alliance (ALA), 2005. Seismic Guidelines for Water Pipelines. A Report by Public-Private Partnership between Federal Emergency Management Agency (FEMA) and National Institute of Building Sciences (NIBS), Washington, 48.