



---

**Makale / Research Paper**

---

**Doğal Gaz Boru Hatlarının Gömme Derinliği**

Adil YİĞİT<sup>1a</sup>

<sup>1</sup>İGDAŞ Kavacık Hizmet Binası, Rüzgarlıbahçe Mahallesi Özalp Sokak No:8 Beykoz, İstanbul/TÜRKİYE  
[adilyigit75@hotmail.com](mailto:adilyigit75@hotmail.com)

**Received/Geliş:** 23.10.2020

**Accepted/Kabul:** 08.12.2020

**Öz:** Toplumsal hayatta önemli bir yere sahip olan ve bu nedenle de yaşam hattı olarak isimlendirilen gömülü boru hatlarının güvenliği son derece önemlidir. Yaşam kalitesini etkileyen bu hususun temini için gömülü boru hatlarının maruz kaldığı iç ve dış gerilmelere göre analiz edilmesi gerekmektedir. Bu analizlerde iç basıncın yanında trafik yükü ve boru gömme derinliğine bağlı oluşan dış basıncın etkisi önem arz etmektedir. Bu çalışmada İstanbul doğal gaz şebekesinde kullanılan çelik iletim hattı borularının gömülebileceği derinliklerin boru malzeme dayanımlarına göre analiz edilmesi amaçlanmıştır. Gömülü boru hatları inşa edilirken ilk etapta iç basınçları yoktur. Boru hattı şebeke inşası tamamlandıktan sonra materyal taşınmasına başlanacak, böylece bu aşamada iç basınç oluşacaktır. Bu nedenle bu makalede her iki durum da (boş ve dolu durum) analiz edilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Gömülü Çelik Boru Hattı, Boru Hattı Güvenliği, İç Basınç, Trafik Yükü, Toprak Yükü.

---

**Embedment Depths of Natural Gas Pipelines**

**Abstract:** The safety of buried pipelines, which have a significant place in social life and are thus called as lifelines, is extremely important. In order to provide this case which affects the quality of life, buried pipelines should be analyzed in terms of the internal and external stresses that they are exposed to. In these analyses, besides the internal pressure, the effects of external pressure caused by traffic loads and embedding depth of pipe are important. In this study, it is aimed to be analyzed the embedment depths of the steel transmission pipelines used in Istanbul natural gas network according to the material strengths of these pipes. When buried pipelines are constructed, they do not have internal pressure at first. After the pipeline network construction is completed, material transportation will begin, so internal pressure will occur at this stage. Therefore, in this paper both cases (empty and full situations) have been analyzed and the results have been examined.

**Keywords:** Buried Steel Pipeline, Safety of Pipelines, Internal pressure, Traffic Load, Soil Load.

---

**1. Giriş**

İnsan hayatının, toplumun can damarları olan yeraltı boru hatları insan vücudundaki damarlar gibi topluma hayat veren yapılardır. Köyden kente göçün son derece hızlı bir şekilde devam ettiği günümüzde kentleşme olgusuyla beraber bu boru hatlarının ehemmiyeti de her geçen gün artmaktadır. Su, kanalizasyon, elektrik, doğalgaz, internet gibi hayata can katan altyapı hatlarının bu ehemmiyetleri onların güvenliğini de ön plana çıkarmaktadır. Söz konusu altyapılar planlanırken statik ve dinamik yüklerin etkileri, deprem bölgeleri için kuvvetli yer hareketleri etkilerinin dikkate alınması kaçınılmazdır. Özellikle doğalgaz gibi güvenlik sorunu yaşanması halinde kenti sarsabilecek derecede etkileri olabilecek hatların daha da dikkatle projelendirilmesi önem arz etmektedir (Şekil-1).

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Yiğit, A., "Doğal Gaz Boru Hatlarının Gömme Derinliği" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8 (1); 471-480.

*How to cite this article*

Yiğit, A., "Embedment Depths of Natural Gas Pipelines" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8 (1); 471-480.

ORCID ID: \*0000-0003-1045-6127



Şekil 1. Gaziantep-Doğalgaz Hattında Patlama [1]

Boru hatları genel itibariyle sürekli boru hatları ve parçalı boru hatları diye iki gruba ayrılmaktadır. Sürekli boru hatları kaynakla birbirine bağlanan borularla imal edilip iç basınca sahip isale ve doğalgaz boru hatları gibi hatlardır. Parçalı (geçmeli) boru hatları ise kanalizasyon hatları gibi birbirine geçmeli, parçalı borular ile imal edilen ve basınçsız çalışan boru hatlarıdır.

Doğalgaz boru hatları iletim ve dağıtım hatları olmak üzere iki ana başlığa ayrılırlar. İletim boru hatları yüksek basınçta gaz taşır ve çelik borular kullanılarak imal edilirler. Şehir içi dağıtım hatları ise nispeten daha düşük basınçta doğalgazı polietilen (PE) borularla taşıyıp kullanıcıya ulaştıran gömülü boru hatlarıdır.

Boru hatlarına etkileyen işletme kuvvetleri iç basınç, toprak yükü, trafik yükü ve sıcaklık değişimi kaynaklı gerilmeler olarak ele alınabilir. Bu gerilmelere deprem ve heyelan bölgeleri için depremden ve toprak kaymasından kaynaklı yükler de ilave edilmelidir. Deprem etkilerine karşı gömülü boru hatlarının davranışı hususu literatürde araştırılmaya devam edilen bir konu olup dolgu zeminin kendi ağırlığının etkisi yanı sıra boru hatları üzerindeki etkisi son derece ehemmiyet arz eden zemin hareket miktarının tahmini de ayrı bir çalışma alanı olarak değerlendirilmektedir [2-4].



Şekil 2. Türkiye Don Penetrasyon Derinlik Haritası [11]

Trafik yüklerinin dinamik etkileri köprü gibi sanat yapıları için önem arz etmekte olup doğalgaz üst yapı tesislerinde de çarpma etkisi anlamında dikkate alınması gereken bir durum olarak değerlendirilmektedir [5-7].

Hem trafik hem de dolgu yükünün boru hatları üzerine etkisini araştıran, sonlu elemanlar yöntemini kullanan çözümler ağırlıklı olmak üzere hem nümerik hem de analitik çalışmalar mevcuttur [8-10]. Bu çalışma kapsamında ise İstanbul İli'nde doğalgaz iletim hattı olarak kullanılmakta olan çelik boru hatlarının iç basınç, trafik ve dolgu yükleri altında güvenli gömme derinliği analizleri gerçekleştirilmektedir. Kaplıca suyu nakil sistemlerinde olduğu gibi doğalgaz boru hatlarını devreye almadan önce ve sonrası arasında çok büyük sıcaklık değişimleri olmamaktadır. Ayrıca Türkiye don haritası (Şekil-2) dikkate alındığında İstanbul için yüzeysel sıcaklık değişimlerinin toprak içinde en fazla 40 cm'ye kadar etkidiği görülmektedir. Bu nedenlerle sıcaklık değişiminden kaynaklı etki bir yük olarak bu çalışma kapsamında dikkate alınmamıştır.

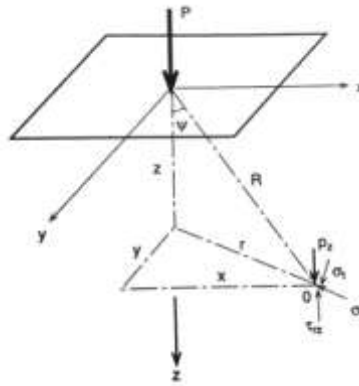
### 1.1. Trafik Yükü

Trafik yükü boru hatlarına etkisi anlamında büyük derecede ehemmiyete sahiptir. Karayolları Trafik yönetmeliğine göre araçların azami genişliği 2,55 metredir. Üç dingilli aks grubuna sahip araçlar için aks grubun zemine uygulayacağı maksimum yük en çok 24 ton olacak şekilde yine aynı yönetmelikte sınırlama mevcuttur (ki bu değer ilgili yönetmeliğin belirttiği en büyük yük sınırıdır).

Zemin yüzeyindeki bir yükün derinlik boyunca dağılımıyla ilgili literatürde kullanılan en yaygın yöntem Boissnesq yöntemi'dir. Bu yöntemde göre zemin yüzeyindeki bir nokta kuvvet için (Şekil 3) düşey gerilme;

$$P_z = \frac{P}{z^2} \frac{3}{2\pi} \left[ \frac{1}{1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2} \right]^{5/2} \quad (1)$$

olarak ifade edilmektedir [12].



Şekil 3. Derinliğe Göre Nokta Kuvvet Dağılımı [12]

Gömülü bir boru hattında trafik yükünden dolayı meydana gelecek eğilme gerilmesi Denklem-2'deki gibi ifade edilmektedir:

$$\sigma_{bt} = \frac{6k_t W_t}{4t^2} D^2 \quad (2)$$

Burada  $k_t$ , trafik yükü nedeniyle boruda oluşan eğilme momenti katsayısı;  $W_t$ , trafik yükünden gelen basınç ( $\text{kN/m}^2$ );  $t$ , boru et kalınlığı (m);  $D$ , boru çapı (m)'dir. Boru dibi için  $k_t=0,011$  ve boru tacı için  $k_t=0,076$  olduğu Türkdoğan vd. (2004) tarafından belirtilmektedir [13].

## 1.2. Toprak Yükü

Boru hatlarının üzerinde boru hattının gömülme derinliğine bağlı olarak değişen ve dolgu zeminden kaynaklı dış yük etkisi de meydana gelmektedir. Bu etki aşağıdaki Denklem-3 yardımıyla ifade edilmektedir.

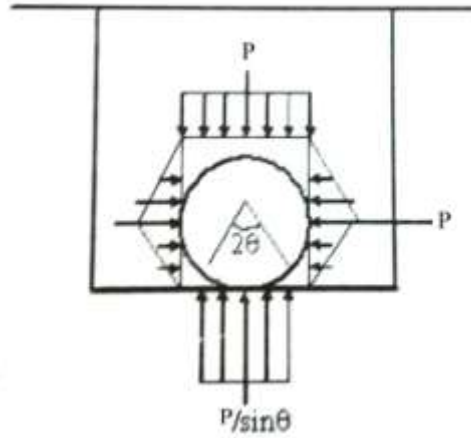
$$P_T = \gamma H \frac{1 + k_0}{2} \quad (3)$$

Burada  $P_T$ , toprak yükünden dolayı oluşan basınç ( $\text{kN/m}^2$ );  $\gamma$ , dolgu zemin birim hacim ağırlığı ( $\text{kN/m}^3$ );  $H$ , boru gömme derinliği (m);  $k_0$ , durağan konumda yanal toprak basıncı katsayısıdır [14].

Söz konusu  $P$  toprak yükünden dolayı boru hattında oluşacak eğilme gerilmesi;

$$\sigma_{bf} = \frac{6k_f P}{4t^2} D^2 \quad (4)$$

olarak ifade edilmektedir [13]. Burada  $k_f$ , dolgu toprağı nedeniyle boru mesnetlenme açısına bağlı olarak (Şekil-4), Tablo-1'de belirtildiği şekilde değer alan eğilme momenti katsayısıdır. Mesnetlenme açısı boruya gelebilecek eğilme momentinin büyüklüğünü doğrudan ilgilendirdiği için önem arz etmektedir.



Şekil 4. Toprak Yükü ve Mesnetlenme Açısı [13]

Tablo 1.  $K_f$  Değerleri [13]

Mesnetlenme Açısı ( $2\theta$ )	$60^\circ$	$90^\circ$	$120^\circ$
Boru Tacında	0,132	0,120	0,108
Boru Dibinde	0,223	0,160	0,123

## 1.3. Boru Malzemesi ve İç Basınç

Doğalgaz şebeke tasarımları düşük ( $\leq 3 \text{ kg/cm}^2$ ) veya yüksek basınç ( $\geq 10 \text{ kgf/cm}^2$ ) şebeke ağı şeklinde iki farklı biçimde gerçekleştirilebilir [15,16]. İncelenen bölge ve şebeke için tasarımların yüksek basınç şebekeye göre olduğu tespit edilmiştir. Doğalgaz şebekesinde ana başlık anlamında iletim ve dağıtım hatları diye iki tür boru malzemesi bulunmaktadır. Ele alınan şebeke içinde şehir içi (İstanbul) dağıtım hattı olarak polietilen (PE) boru malzemesi, iletim hattı olarak da çelik boru kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında iletim hattı olarak bilinen, aşağıdaki tabloda (Tablo 2) özellikleri verilen çelik borular incelenmiştir. İncelenen bu çelik borular 20 bar basınçta doğalgaz taşıyan yüksek önem gösteren boru hatları olup emniyetleri de o derece önem arz etmektedir.

**Tablo 2.** İncelenen Doğalgaz Boru Hattı Malzeme Özellikleri [17]

Anma Çapı (inç)	Dış Çap D (m)	Et Kalınlığı t (m)	Çekme Dayanımı, $\sigma_D$ (kN/m <sup>2</sup> )
8"	0,2191	0,00478	
12"	0,3238	0,00556	
16"	0,4064	0,00635	
20"	0,508	0,00714	241.000
24"	0,6096	0,00792	
28"	0,7112	0,00952	
30"	0,762	0,01113	

İç basınca bağlı olarak gömülü boruda meydana gelen çekme gerilmesi Denklem-5 ile elde edilebilmektedir.

$$\sigma_i = \frac{P_i R}{t} \quad (5)$$

Burada  $P_i$ , iç basınç; R, boru iç yarıçapı ve t ise et kalınlığıdır. Gömülü boruda iç basınç, trafik yükü ve toprak basıncından kaynaklı oluşan toplam çekme gerilmesi;

$$\sigma_T = \sigma_i + 0,7(\sigma_{bt} + \sigma_{bf}) \quad (6)$$

olarak ifade edilmektedir [13]. Kontrol kriteri olarak da güvenlik katsayısının

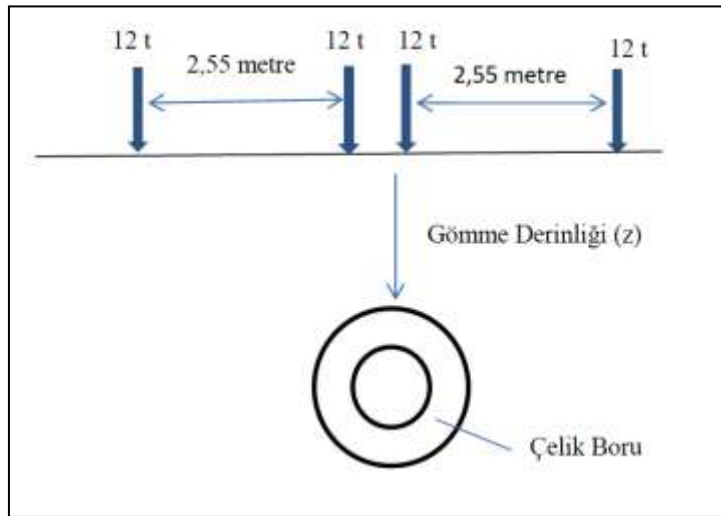
$$GK = \frac{\sigma_D}{\sigma_T} > 2 \quad (7)$$

olması önerilmektedir [13].

## 2. Analizler

### 2.1. Trafik Yükü Nedeniyle Gömülü Boru Hattında Oluşan Gerilme

Gömülü boru hattının üst yüzeyindeki trafik akışı nedeniyle oluşabilecek maksimum gerilmeyi hesaplayabilmek için yönetmelikte karşılık bulan en büyük dingil yükü (24 ton) baz alınmıştır. Ayrıca Şekil-5'teki gibi 24 tonluk dingil yüküne sahip iki aracın yan yana geçtiği kabul edilmiştir.



**Şekil 5.** Trafik Yükü – Gömülü Boru Hattı

Burada (Şekil-5) en elverişsiz yük durumu dikkate alınmış olup dingilin bir ayağının tam boru üzerine denk düştüğü varsayılmıştır. Diğer ayağın ise ilgili yönetmeliğe göre maksimum açıklığa bastığı kabul edilmiştir. Bu şekilde modellenen sistem Boussinesq yöntemi yardımıyla çözümlenmiş ve boru üzerine gelen trafik yükü hesaplanmıştır.

## 2.2. Toprak Yükü Nedeniyle Gömülü Boru Hattında Oluşan Gerilme

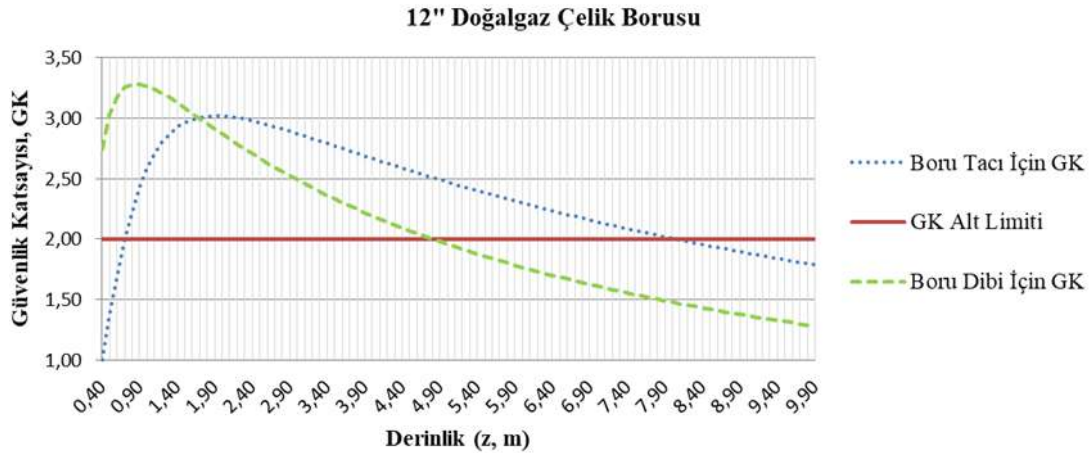
Doğalgaz çelik boru hattı açılan tranşeye yerleştirilirken öncelikle tranşe tabanına (boru altına) dolgu kumu ile 10 cm yastıklama yapılmaktadır. Sıkıştırılarak yapılan bu yastıklamaya bağlı olarak boru mesnetlenme açısı  $60^0$  olarak alınmıştır. Boru hattı üzerine uygulanan dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ )  $18 \text{ kN/m}^3$  olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Denklem-3'te mevcut olan parametrelerden  $k_0$  katsayısının gömülü boru hatları için T. O'Rourke vd. (1985) tarafından  $k_0=1,0$  olarak alınması tavsiye edilmektedir [18,19]. Buna göre Denklem-3'ten hareketle;

$$P_T = \gamma z = 18z \quad (8)$$

şeklinde ifade edilebilecek, gömme derinliğine ( $z$ ) bağlı olarak değişen toprak yükü doğrusal bağıntısı elde edilmiştir.

## 2.3. Bulgular

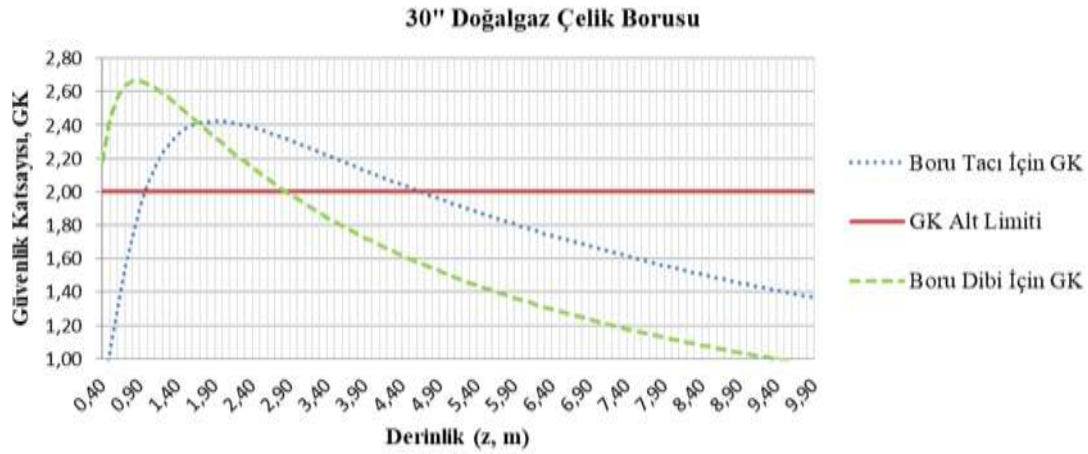
Yapılan analizler gerekli incelemelerin boru tacı ve boru dibi olmak üzere iki farklı nokta için yapılmasının zorunluluğunu ortaya koymuştur. Örnek olarak 12" çelik boru malzemesi (Tablo-2) için hazırlanmış olan Şekil-6'dan da görülebileceği üzere boru tacı için elde edilen güvenlik katsayısı (GK), gömme derinliğinin alt limitini (en düşük gömme derinliğini) belirlemede etkindir.



**Şekil 6.** Çelik Boru (12") İçin Güvenlik Katsayısı Grafikleri

Ayrıca boru dibi güvenlik katsayısının ise gömme derinliğinin üst limitini (en yüksek gömme derinliğini) belirlemede etkin olduğu görülmektedir. Boru dibine göre çizilen güvenlik katsayısı grafiğinin hem alt limit hem de üst limit değerlerinin boru tacına göre daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni boru tacında trafik yükünün belirleyici aktör, boru dibinde ise toprak yükünün etkin faktör olması olarak açıklanabilir. Buna göre minimum gömme derinliği için boru tacı grafiği, maksimum gömme derinliği içinse boru dibi grafiği sınırlayıcı olmaktadır.

Yapılan analizler sadece 12" boru için değil diğer tüm çelik boru malzemeleri için bu tespitlerin geçerli olduğunu ortaya koymuştur (Şekil-7).



**Şekil 7. Çelik Boru (30") İçin Güvenlik Katsayısı Grafikleri**

Örneğin 30" çelik boru için hazırlanmış olan grafik (Şekil-7) ile Şekil-6 karşılaştırıldığında bu tespitlerin aynen geçerliliğini korumasının yanı sıra boru tacı grafiği ile boru dibi grafiğinin kesişmiş olduğu derinliğin aynı olduğu görülmüştür. Boru çapına bağlı olarak kesişme noktasının güvenlik katsayısı değeri değişmekle beraber, 60<sup>0</sup>'lik mesnetlenmeye göre, bu değerın z=1,68 m olduğu tespit edilmiştir. Bu nokta hem boru tacında hem de boru dibinde oluşan gerilmelerin birbirine eşit olduğu nokta olup mesnetlenme açısı değiştiğinde ise farklı bir değer olarak ortaya çıkmaktadır.

60<sup>0</sup>'lik mesnetlenme açısına göre Tablo-2'de belirtilen çelik doğalgaz boruları için maksimum ve minimum emniyetli gömülme derinlikleri Tablo-3'te belirtildiği gibi elde edilmiştir.

**Tablo 3. 60<sup>0</sup> Mesnet Açısına Göre Emniyetli Gömme Derinliği**

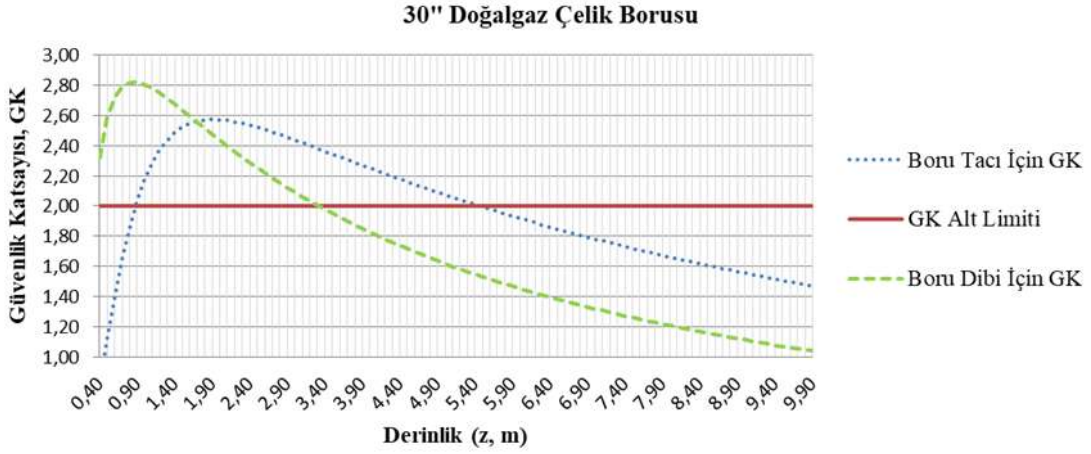
Anma Çapı (inç)	Minimum Gömme Derinliği - Alt Limit (m)	Maksimum Gömme Derinliği - Üst Limit (m)
8	0,5	9,4
12	0,8	4,8
16	0,9	3,5
20	1,1	2,4
24	1,5	1,8
28	1,3	2,0
30	1,0	2,8

Gömülü boru mesnetlenme açısı arttığında bu tabloda (Tablo-3) belirtilen limitlerin değiştiği gözlemlenmiştir. Minimum gömme derinlikleri çok fazla değişmemekle beraber maksimum gömme derinliklerinde kayde değer bir artış tespit edilmiştir. Buna göre iyi bir yataklama (mesnetleme) sağlanarak boru hattının katlanabileceği gerilme kapasitesi de artırılabilir. Bunun yanı sıra bu yataklama kalitesinin boru hattı boyunca boru hattının altında ara ara boşluk olmayacak şekilde (üniform olarak) sağlanması yine boru hattının dayanım kapasitesini kuvvetlendirecektir.

Tablo-3 ile belirlenen limitleri aşacak şekilde çelik boruyu gömme zorunluluğu doğarsa, istenen debinin sağlanması halinde, boru çapında küçülme yapılabileceği açıkça görülebilmektedir. Yani daha küçük çaptaki boruların emniyetli gömme derinliği marjı daha yüksek olmaktadır.

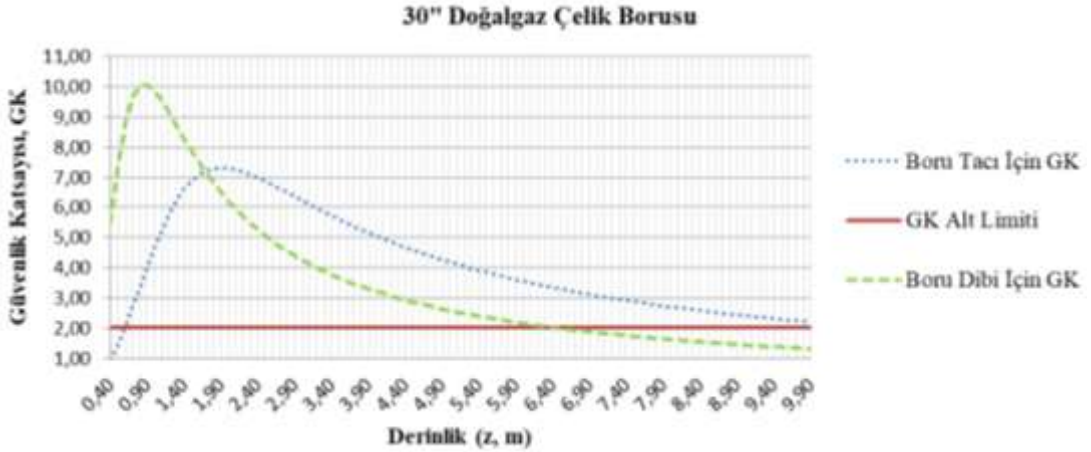
Boru et kalınlığının bu çalışma kapsamında yapılan analizler için son derece etkin bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Örneğin Tablo-2'de özellikleri belirtilen 30" çelik borunun et kalınlığı 1,113 cm'den 1,163 cm'ye çıkarıldığında (yaklaşık % 4,5 oranında arttırıldığında) alt emniyetli

gömme limitinin (% 10 düşerek) 0,9 m ve üst emniyetli gömme limitinin ise (% 17,9 artarak) 3,3 m olduğu görülmüştür (Şekil-8).



**Şekil 8.** Çelik Boru (30") İçin Arttırılmış Et Kalınlığına Göre Güvenlik Katsayısı Grafikleri

Ayrıca çekme mukavemeti yüksek boru kullanılması alt ve üst emniyetli gömme derinliği limitlerini değiştirecektir. İncelenen doğalgaz şebeke ağında Grade-B boru kullanılmakta olup çekme dayanımı 241 Mpa'dır. Buna göre hesaplanmış olan gömme derinliği limitlerinin aşılmasını gerektirecek bir durum ile karşılaşıldığında daha yüksek dayanımlı boru kullanılması da bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Örneğin Tablo-2'de özellikleri verilmiş olan 30" çelik boru Grade-B sınıfı (çekme dayanımı 241 Mpa) yerine X-52 (çekme dayanımı 359 Mpa) sınıfı tercih edilmiş olsa emniyetli gömme aralığı 0,7-6,0 m olarak değişmektedir.



**Şekil 9.** İç Basıncısız Çelik Boru (30") İçin Güvenlik Katsayısı Grafikleri

Gömülü sürekli (kaynaklı) çelik boru hatları imal edilirken iç basınçları mevcut değildir. İç basınç, malzeme (doğalgaz vb.) taşınmaya başlandığında yani işletme aşamasında ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında ele alınan probleme bu anlamda yaklaşıldığında; yani iç basıncın sıfır olduğu, sadece trafik ve toprak yükü altındaki boru hattının dayanımının nasıl değiştiği ve dolayısıyla bu senaryonun emniyetli gömme derinliğini ne şekilde etkilediği hususu araştırıldığında yeni alt ve üst limitlerin ortaya çıkması muhtemel olacaktır. İç basıncın etkisini kıyaslayabilmek için 30" çelik boru hattının devreye alınmadan (iç basıncın sıfır) olduğu durumu analiz edilmiştir (Şekil 9). Yine 60°'lik boru yastıklama (mesnetlenme) açısı durumu dikkate alınarak yapılan bu analize göre en düşük emniyetli gömme derinliği 0,6 m ve en büyük emniyetli gömme derinliği ise 6,4 m olmaktadır. Buna göre iç basıncın mevcut olduğu (20 bar) durumda 1,0 – 2,8 m olan emniyetli



gömme derinliği aralığı iç basıncın sıfır olduğu durumda 0,6 – 6,4 m olmaktadır. İç basınç düştükçe bu aralık genişlemekte, arttıkça da bu aralık daralmaktadır. Elde edilmiş olan bu sonuca göre cazibeli hatların, emniyetli gömülme derinlikleri açısından, basınçlı hatlara göre daha avantajlı olduğu söylenebilir.

### 3. Sonuçlar

Gömülü boru hatlarının işletme güvenliği ile ilgili alınabilecek ilk önlemin boru hattına gelen yükleri azaltmaya yönelik çalışmalar olduğu söylenebilir. Hem bu dış yükleri azaltmaya yönelik olsun hem de olası acil müdahale kolaylığı sağlaması açısından olsun hat güzergahı tespit edilirken (özellikle yüksek basınçta gaz taşıyan iletim hatları için) trafiğin düşük hatta hiç olmadığı güzergahlar tercih edilmelidir. Ancak uygulamada tercih yapabilmek her zaman olmayabilir. Böyle durumlarda diğer teknik tedbirlerin alınması elzem hale gelmektedir. Bunlardan biri boru hattı altına serilen yastıklama malzemesinin (genellikle kum malzemesinin) boruyu her iki yanından da destekleyecek şekilde, tam bir mesnetlenme sağlayacak biçimde, boşluksuz ve sıkışmış olarak serilmesinin temin edilmesidir. Mesnetlenme açısının artırılması gömülü borunun mukavemetine destek sağlayacağından, yastıklama malzeme kalınlığının artırılması emniyetli gömme derinliği hususunda olumlu yönde etkili olacaktır. Ayrıca küçük çaplı boru, et kalınlığı fazla olan boru malzemesi, yüksek dayanımlı malzeme kullanımı emniyetli gömme derinliğine olumlu yönde katkı sağlar. İşletme basıncının düşük seçilmesi (düşük iç basınç) de diğer bir olumlu katkı olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmayla elde edilmiş olan emniyetli gömme derinliklerinin doğalgaz boru hattı güvenliği açısından aşılmaması önem arz etmektedir. Ancak uygulamada boru emniyetli gömme derinliğini aşan (yeraltı engeli bulunması, dere ve kanal geçişleri gibi) durumlarla karşılaşılması halinde, zorunlu olmadıkça, böyle lokal noktalar için boru malzemesinde değişiklik yapılması (et kalınlığının artırılması, daha dayanıklı boru sınıfı kullanılması gibi durumlar) tercih edilen bir durum değildir. Böyle bir halde malzeme değişimi yerine mevcut boru hattının mukavemetini artırıcı teknik tedbirlerin alınması gerekir. Bu çalışma kapsamında, emniyetli boru gömme derinliğinin aşılmamasının kaçınılmaz olduğu durumlarda boru etrafını tamamen saracak şekilde betonarme koruma (zırh) yapılması tavsiye edilmektedir. Böylece emniyet sınırı dışına gömülen çelik borunun taşıyamayacağı yük bu betonarme koruma vasıtasıyla taşınmış olacaktır.

### Kaynaklar

- [1]. Url-1:<https://www.haberler.com/fotogaleri/gaziantep-te-dogalgaz-patlamasi/>
- [2]. O'Rourke, M.J. and Liu, X., Response of Buried Pipelines Subject to Earthquake Effects, Monograph No. 3, Multidisciplinary Center for Earthquake Research, University of Buffalo, Buffalo, 1999.
- [3]. Yiğit, A., Prediction of Amount of Earthquake-Induced Slope Displacement by Using Newmark Method, Elsevier, Engineering Geology, 2020, 264.
- [4]. Yigit, A., Lav, M., A, Gedikli, A., Vulnerability of Natural Gas Pipelines Under Earthquake Effects. ASCE, Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 2018, Vol.9, Issue 1.
- [5]. Liu, Y., Wang, Q., Lu N., Probabilistic Evaluation of Maximum Dynamic Traffic Load Effects on Cable-Supported Bridges under Actual Heavy Traffic Loads, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part O Journal of Risk and Reliability, 2020.
- [6]. Koç, M.A., Esen, İ., Eroğlu, M., Çay, Y., Çerlek, Ö., "Dynamic Analysis of Flexible Structures Under The Influence of Moving Multiple Vehicles" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2018, 5(1); 176-181.

- [7]. Apak, M.Y., Ergün, M., Özen, H., “Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile Tehlikeli Yol Kenarı Tesislerine Araç Çarpma Risklerine Karşı Bir Duyarlılık Analizi” *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* 2019, 6(3); 836-846.
- [8]. Meesawasd, N., Boonyasiriwat, C., Kongnuan, S., Chamchod, F., 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2016.
- [9]. Shirokov, V.S., *Soil and Traffic Loads on Underground Pipelines, Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2018, 55(2).
- [10]. Roshanbaksh, M.Z., Neya, B.N., Alijani, M., Delavar, A.G., 1st. International Conference on Applied Research in Structural Engineering and Construction Management At: Sharif University of Technology, 2016, Tehran, Iran Volume: International Conference.
- [11]. Karayolları Genel Müdürlüğü, Türkiye Don İndeksi ve Don Penetrasyon Derinliği Haritası, 2006.
- [12]. Kumbasar, V., Kip, F., *Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul*, 1999.
- [13]. Türkdoğan, F.İ., Yetilmezsoy, K., *Su Getirme ve Kanalizasyon Uygulamaları, Su Vakfi Yayınları, İstanbul*, 2004.
- [14]. Gedikli, A., Lav, M.A., Yiğit, A., *Seismic Vulnerability Of A Natural Gas Pipeline Network, ASCE Pipelines*, 2008, Atlanta, July 22-27.
- [15]. JSCE (2000b), *Recommended Practices for Earthquake Resistant Design of Gas Pipelines, Earthquake Resistant Codes in Japan, Japan Society of Civil Engineering (JSCE), Japan Gas Association, January 2000.*
- [16]. Indian Institute of Technology Kanpur, IITK-GSDMA, *Guidelines for Seismic Design of Buried Pipelines, November 2007.*
- [17]. Türkel, V., *Doğalgaz Dağıtımında Tasarım, İmalat ve Yönetim, İBB İstanbul Gaz Dağıtım A.Ş. (İGDAŞ) Yayınları, 2012.*
- [18]. Yiğit A., *Deprem Etkisi Altındaki Gömülü Sürekli Boru Hatları, Doktora Tezi, I.T.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eylül 2015.*
- [19]. O'Rourke, T.D., Grigoriu, M.D., and Khater, M.M., “A State of the Art Review: Seismic Response of Buried Pipelines,” *Decade of Progress in Pressure Vessel Technology*, (C. Sundararajan, Editor), ASME, 1985.