

ÇELİK BORU HATTININ ŞEV HAREKETİ ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞI

STEEL PIPELINE RESPONSE UNDER SLOPE MOVEMENT

Selçuk TOPRAK¹

Volkan HELVA²

Özgür BALLI³

ABSTRACT

Pipelines are placed over long distances to transport materials (drinking water, oil, gas, etc.) to urban or rural settlements and they may be exposed to various natural hazards such as earthquakes, landslides in the regions they cross. Pipelines can be damaged due to these natural causes which prevent the proper transmission of materials. In this study, response of a continuous buried pipeline under the effect of slow landslide is evaluated. Ground movement took place perpendicular to the pipeline. Incurred movement were compared with the approaches in the literature and behaviour of the pipe was analyzed by finite element analysis. DIANA finite element program is used in the analysis. In addition, response of a similar pipeline under the effect of ground movement with different zone width ($W = 25, 50, 100, \text{ and } 150 \text{ m}$) and magnitude ($\delta = 200, 400, 600, 800, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 \text{ mm}$) were analyzed and the results were compared.

Keywords: DIANA, finite elements, landslide, pipeline.

ÖZET

Boru hatları ihtiyaçlar doğrultusunda gerekli malzemeleri (içme suyu, petrol, gaz vb.) yerleşim yerlerine ulaştırma amacıyla kilometrelerce mesafeler üzerine yerleştirilmekte ve bu mesafeler üzerinde deprem, toprak kayması, vb. gibi bir çok doğal etkiye maruz kalabilmektedir. Boru hatları bu doğal etkilerden meydana gelen yüklemelerle hasar alabilmekte ve böylece iletim hatlarında problemler oluşmaktadır. Bu çalışmada bir gömülü sürekli boru hattının yavaş gerçekleşen bir toprak kayması altındaki davranışı değerlendirilmektedir. Zemin hareketi boru doğrultusuna dik yönde gerçekleşmiştir. Oluşan yer hareketi literatürde mevcut yaklaşımlarla karşılaştırılmış ve borunun davranışı sonlu elemanlar analizleri ile belirlenmiştir. Analizlerde DIANA sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Ayrıca böyle bir borunun farklı genişlikte ($W = 25, 50, 100, 150 \text{ m}$) ve büyüklükte ($\delta = 200, 400, 600, 800, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 \text{ mm}$) zemin hareketleri etkisi altındaki davranışları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : DIANA, sonlu elemanlar, heyelan, boru hattı.

¹Prof. Dr. Pamukkale Üniversitesi, stoprak@pau.edu.tr (Selçuk Toprak)

² Yüksek Lisans Öğrencisi, Pamukkale Üniversitesi, vhelva09@posta.pau.edu.tr

³ Yüksek Lisans Öğrencisi, Pamukkale Üniversitesi, ozgurballi@yahoo.com

1. GİRİŞ

Boru hatları kaynağından aldıkları malzemeyi çok uzun mesafeler taşıyarak kullanım noktasına kadar iletmeye yararlar. Böylece tankerlerle taşındığı takdirde çok büyük sorunlara neden olabilecek bir malzeme transferi çok daha etkin ve daha düşük maliyetle gerçekleştirilmiş olur. Ancak bu uzun mesafeler üzerinde yerleştirilmiş boru hatları zemin ve doğa şartlarının uygun olmadığı pek çok bölgeden de geçmek zorunda kalır. Bu bölgelerdeki sorunlar önceden biliniyorsa borular yerleştirilirken özel önlemler alınabilir. Örneğin, gömülü boru hattı bir fay hattını kesiyorsa fayı geçiş noktası civarında yüzeyden geçiş sağlanabilir[1]. Bazı bölgelerde ise sorun boru yerleştirildikten sonra ortaya çıkabilir. Örneğin, yavaş bir toprak kayması vakası ya da nehrin borunun yerleştirildiği yamaç altındaki zemini erozyona uğratması gibi [2].

Boru hatları zemin hareket yönüne göre farklı doğrultularda yerleştirilmiş olabilmektedir: Boru hattı ve zemin hareketi paralel doğrultuda, boru hattı ve zemin hareketi dik doğrultuda, veya boru hattı ve zemin hareketi paralel ile dik doğrultu arasında [3]. Bu yerleştirilme şekline göre boru farklı çekme, basınç ve eğilme etkileri altında kalmaktadır. Bu etkiler borunun tasarlanmış olduğu değerleri geçtiği takdirde boruda çeşitli hasarlar oluşabilmektedir. Özellikle petrol ve doğal gaz boru hatlarında hasarlar oluşmadan önce sorunlu bölgelerin tespiti ve zemin hareketlerinin belirlenerek boruların değerlendirilmesi çok önem arz etmektedir. Yoksa oluşabilecek hasarların çevresel ve ekonomik boyutları astronomik rakamlara ulaşabilmektedir.

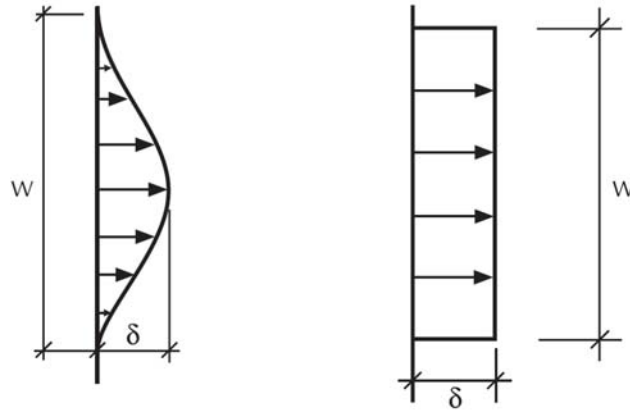
Bu çalışmada bir gömülü sürekli boru hattının yavaş gerçekleşen bir toprak kayması altındaki davranışı değerlendirilmektedir. Zemin hareketi boru doğrultusuna dik yönde gerçekleşmiştir. Oluşan yer hareketi literatürde mevcut yaklaşımlarla karşılaştırılmış ve borunun davranışı sonlu elemanlar analizleri ile belirlenmiştir. Benzer bir borunun farklı genişlikte ve büyüklükte zemin hareketleri etkisi altındaki davranışları karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

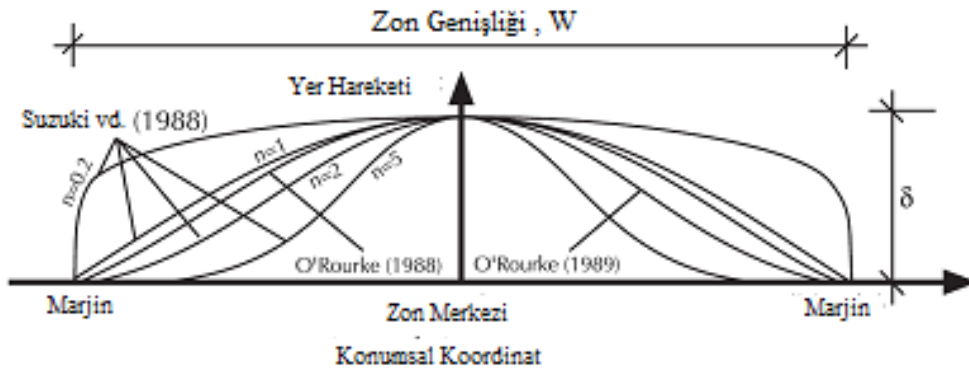
Boru hattına dik bir zemin hareketi boruda uzama ve eğilmelere neden olacaktır. Bu yükler altında borudaki göçme mekanizması, oluşan çekme gerilmelerinin ve eğilmeden oluşan gerilmelerin göreceli büyüklüklerine göre farklılıklar gösterecektir. Eğer çekme gerilmeleri düşük ve eğilme gerilmeleri yüksekse böyle bir durumda boruda basınç etkisi altında buruşma meydana gelebilecekken çekme gerilmelerinin ve eğilme gerilmelerinin yüksek olması durumunda boruda aşırı çekme gerilmelerinden dolayı kopmalar meydana gelebilecektir. Borunun yer hareketi etkisi altında davranışının değerlendirilebilmesi için zemin hareketinin ve borunun özelliklerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen özellikler sonraki aşamada modellenerek sonlu elemanlar analizinde kullanılmakta ve böylece yükler altında borunun şekil değiştirmeleri ve boruda oluşan gerilmeler belirlenebilmektedir.

2.1. Zemin Hareketi

Boruya dik yönde hareket iki genel şekilde modellenenmektedir (Şekil 1a). Birisi W genişliğinde (zon genişliği) bir bölgenin ani blok hareketi şeklinde δ kadar hareket etmesi, diğeri ise W genişliğinde bir hareket bölgesi içerisinde maksimum hareket miktarının δ olduğu ama bölge içerisinde hareket miktarının değişken olduğu durumdur. İkinci durumda yer hareketinin bölge içerisinde değişkenliğini modellemek için farklı araştırmacılar Şekil 1b de gösterildiği gibi değişik modeller önermişlerdir. Suzuki vd. [4] ve Kobayashi vd. [5] zemin hareketini n değerine bağlı bir kosinüs fonsiyonuyla modellemişlerdir:



a) Dik Yönde Hareket İçin Genel Modeller



b) Değişken Yer Hareketi İçin Modeller

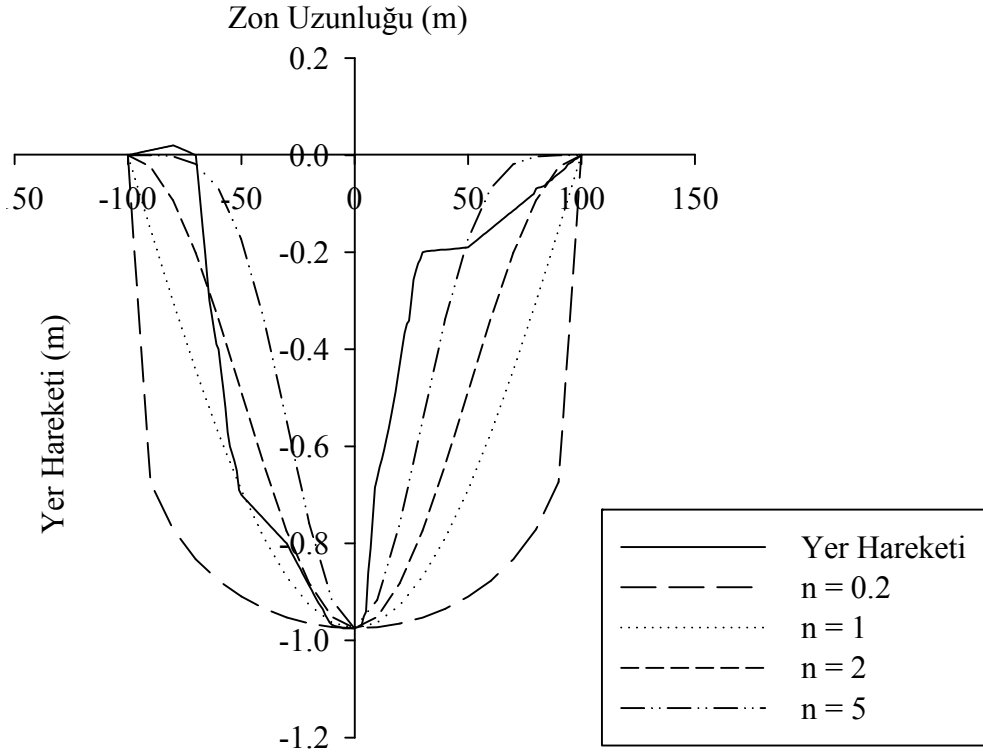
Şekil 1. Boruya Dik Yönde Gerçekleşen Zemin Hareketleri Türleri [6]

$$y(x) = \delta \cdot \left(\frac{\cos \pi x}{W}\right)^n \quad (1)$$

Burada n 0.2, 1, 2, 5 değerleri alabilmektedir. M. O'Rourke [7] aşağıdaki modeli önermiştir ki bu model de Suzukivd. [4] ve Kobayashi vd. [5] modellerinde n=2 değerine karşılık gelmektedir (ancak başlangıç noktası kaymıştır).

$$y(x) = \frac{\delta}{2} \left(1 - \frac{\cos 2\pi x}{W}\right) \quad (2)$$

Bu çalışmanın konusu olan bölgede yapılan ölçümler sonucunda elde edilmiş yer hareketi grafiği diğer modellerle birlikte Şekil 2'de verilmektedir. Ölçüm değerleri yaklaşık 5 yıllık hareket miktarına karşılık gelmektedir. Yer hareketinin zon genişliği (W)200 m ve maksimum yer hareket miktarı 975 mm'dir. Ölçülen değerler simetrik olmaması açısından kosinüs modelleri ile tam uyuşmamaktadır. Bununla birlikte n=2 fonksiyonu güvenli tarafta kalacak şekilde ölçümlere en uygun olanı olarak görülmektedir.

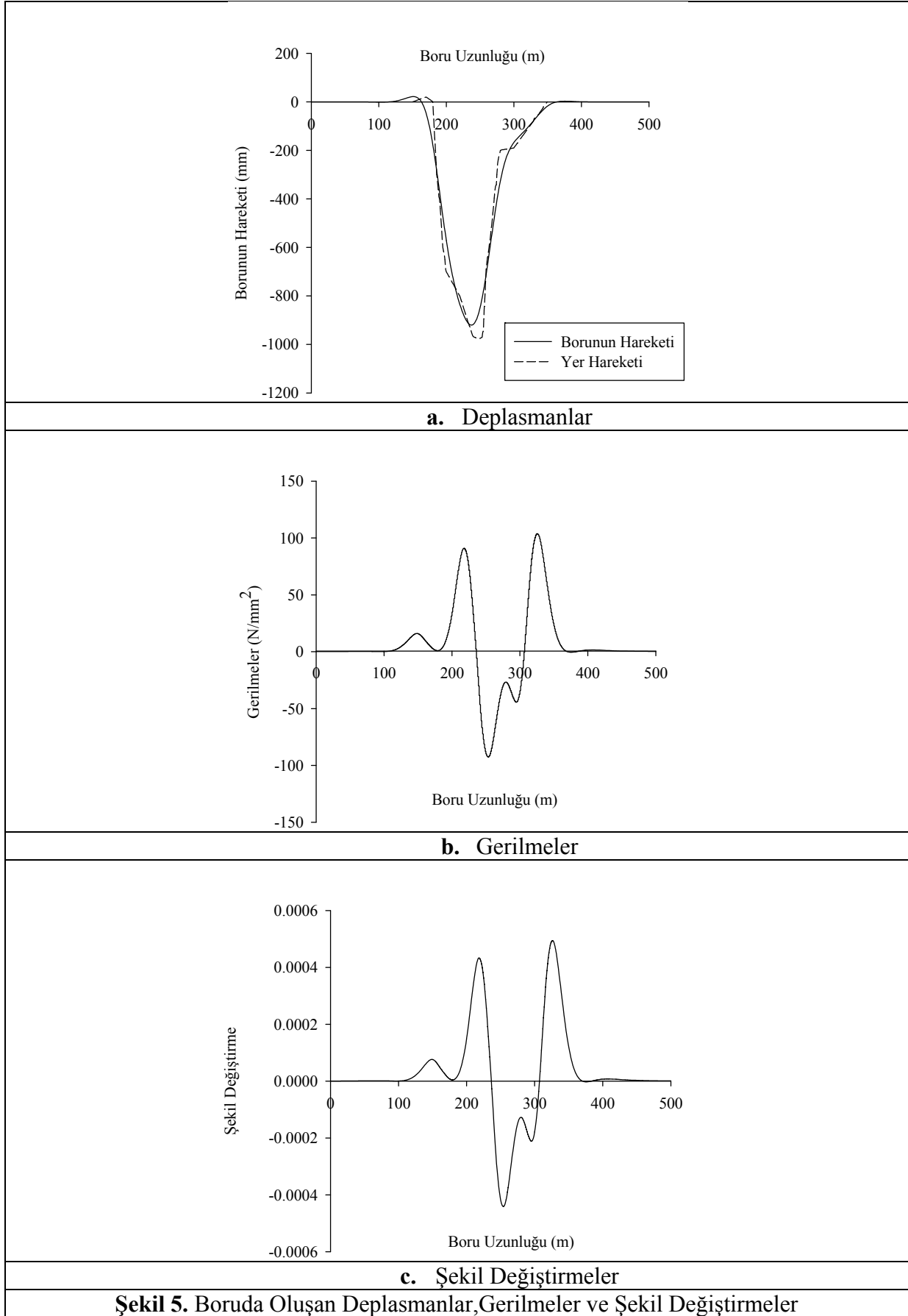


Şekil 2. Çalışma Bölgesindeki Yer Hareketi ve Modellerle Karşılaştırılması

2.2. Borunun Özellikleri

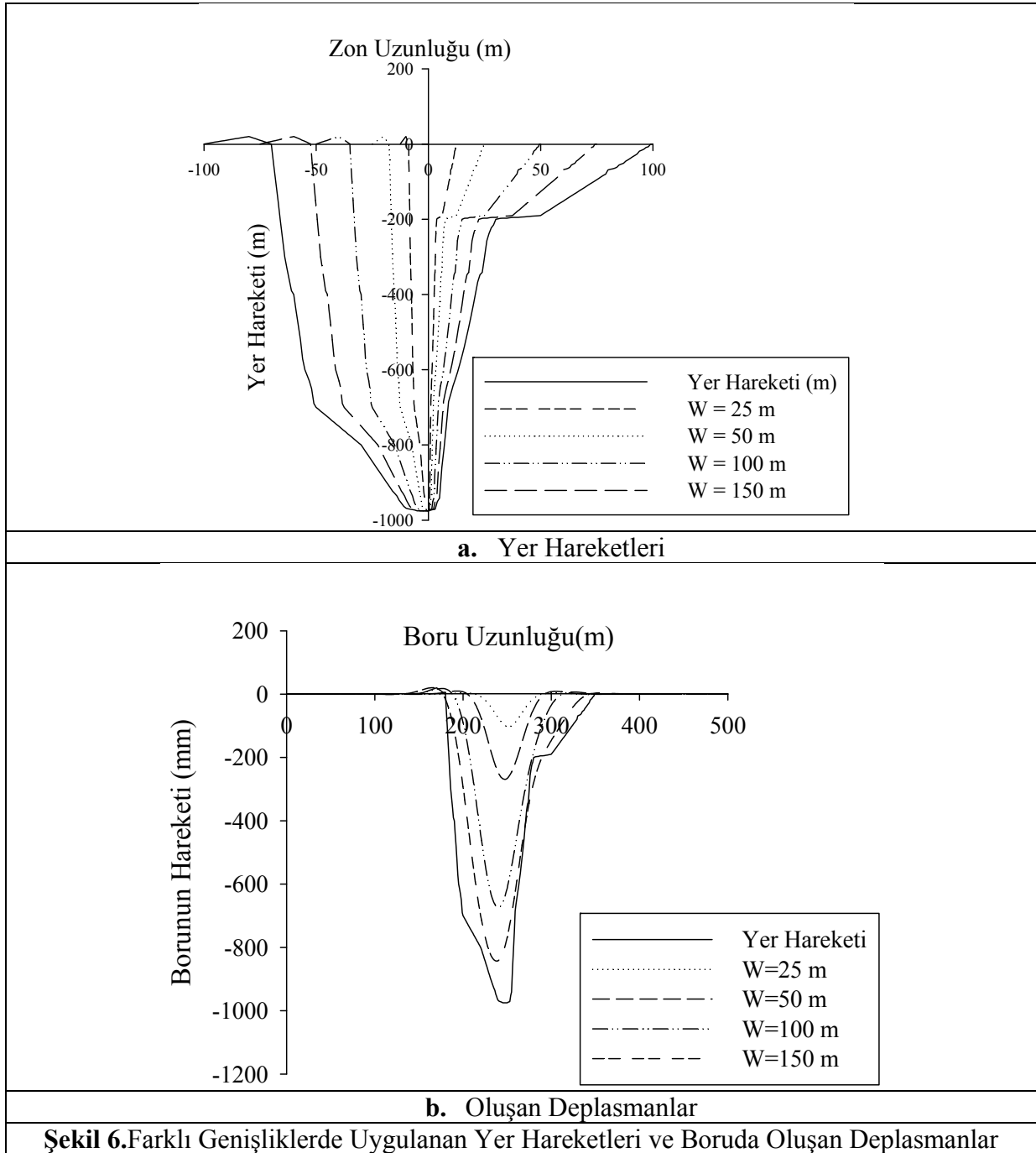
Çalışmanın konusu olan boru 1067 mm çapında (42 inç) yaklaşık 10,3 mm et kalınlığında ve boru üstü derinliği 1.00 metre olacak şekilde gömülmüştür. Boru malzemesi API 5L X65 standartlarına uygundur. Bu standartlar ile minimum akma dayanımı 440MPa ve borunun nihai çekme dayanımı en az 560 MPa ve en fazla 710 MPa'dır. Boru hattında maksimum işletme basıncı 62 bar civarındadır. Borunun üstünde kaplama (coating) malzemesi mevcuttur. Kaplama malzemesi olarak üç kat yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kullanılmıştır. İlk yüzey için sprej, sonraki yüzeyler için ısıtılmış işlem uygulanmıştır. Bu temel kaplama malzemesi yüksek veya düşük basınçta etilenin polimerizasyonuna olanak sağlayan bir malzemedir.

Şekil 3 borunun içine yerleştirildiği hendek kesitini göstermektedir. Boru hattı inşaatı esnasında açılan minimum kanal genişliği 1470 mm'dir. Boru altına en az 200 mm uygun yatak malzemesi serilmiştir. Taç yüksekliği en fazla 25 cm olabilir. Yataklama katmanında 6.5 mm den küçük iyi derecelenmiş çakıl malzeme kullanılmıştır. Yastıklama malzemesi olarak da kaya, taş, çakıl veya yabancı malzeme içermeyen 20-25 mm den küçük derecelendirilmiş malzeme kullanılmıştır. Yastıklama malzemesi boru yataklama katmanından borunun üst yüzeyinden 0.2 m yüksekliğe uygun şekilde yerleştirilmiştir. Bu katmanın üstüne kazılan doğal zemin gerekli sıkıştırma işlemleri yapılarak geri dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Hendek dolguları ve geri dolgu malzemelerinin yerleşimi hat boyunca benzer şekliyle uygulanmıştır.

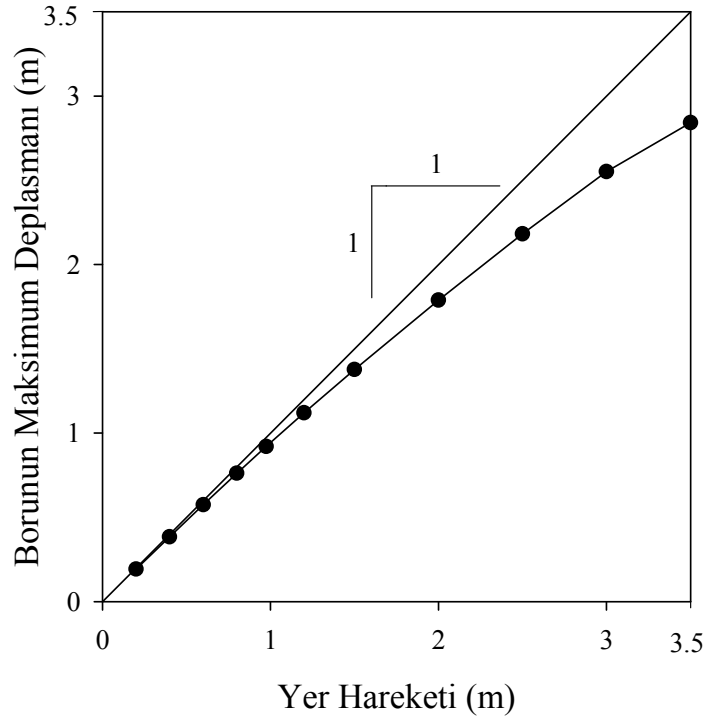


Şekil 5. Boruda Oluşan Deplasmanlar, Gerilmeler ve Şekil Değişimleri

Yukarıda açıklandığı üzere Şekil 2 ve 5a'da verilen yer hareketi yaklaşık genişliği $W=200$ m ve yer hareketinin $\delta = 975$ mm olduğu ölçülmüş değerleri göstermektedir. Ve sunulan analiz değerleri mevcut borunun bu yer hareketine karşı olan tepkisini göstermektedir. Bu borunun aynı yer hareketi büyüklüğünde ancak farklı genişliğe sahip bir şev hareketine maruz kalması durumunda tepkisini belirlemek için bir dizi analizler yapılmıştır. Analizde kullanılan yer hareketinin genişlikleri 25, 50, 100 ve 150 m olarak seçilmiş ve boru uzunluğu önceki analizlerdeki gibi 500 m kullanılmıştır. Şekil 6a'da ölçülen 200 m genişliğindeki yer hareketinin, yer hareketi genişlikleri 25, 50, 100, 150 m için ölçeklenmiş değerleri gösterilmektedir. Şekil 6b analizler sonucunda elde edilen boru deplasman değerlerini karşılaştırmaktadır. Maksimum boru hareketleri 25, 50, 100 ve 150 m şev genişlikleri için sırasıyla 103, 269.2, 674 ve 843.5 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5'te gösterildiği gibi ölçülen yer hareketi sonucunda boruda oluşan maksimum şekil değiştirmeler % 0.05 ve gerilmeler 100 MPa mertebesinde gerçekleşmiş ve bu değerler borunun kapasitesinin çok altında kalmıştır. Ancak analiz yapılan bölgede yer hareketi yavaş hareket şeklinde her yıl belli bir miktarda gerçekleştiğinden bir süre sonra boru ile ilgili tedbirlerin alınması gerekmektedir. Böyle bir durumda borunun gelecekteki hareketlerinin tahmin edilip analizlerin farklı yer hareketleri için tekrar edilip boru açısından bir risk olup olmadığının tespiti gerekmektedir. Bu amaçla ölçülmüş yer hareketinin genişliği sabit tutularak 200, 400, 600, 800, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 mm olarak maksimum yer hareketlerine göre ölçeklendirilen yer hareketi boruya uygulanmıştır. Bu farklı değerlerle yapılan analizler sonucunda elde edilen borudaki maksimum deplasman değerleri Şekil 7'de sunulmuştur. Yapılan analizler bu boru ve yer hareketi genişliği için yaklaşık 1 m olan yer hareketine kadar boru ile zeminin birlikte hareket ettiğini, bu değerden sonra boru hareketinin yer hareketine göre daha düşük kaldığını göstermektedir.



Şekil7. Farklı Büyüklüklerdeki Yer Hareketlerinin Boruda Oluşturduğu Deplasmanlar

4.SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında boru doğrultusuna dik yönde zemin hareketine maruz kalan boruların davranışı değerlendirilmiştir. Bir vaka olarak, bir gömülü sürekli boru hattının yavaş gerçekleşen bir toprak kayması altındaki davranışı sunulmuştur. Arazide ölçülen zemin hareketi literatürdeki mevcut yaklaşımlarla karşılaştırılmış ve borunun davranışı sonlu elemanlar analizleri ile belirlenmiştir. Zemin hareketinin tam kosinüs şeklinde olmaması nedeniyle literatürdeki modellerden ayrıldığı ancak M. O'Rourke [7] ile Suzuki vd. [4] ve Kobayashi vd. [5] modellerinde $n=2$ değerine karşılık geldiği gözlemlenmiştir. Benzer bir borunun farklı genişlikte ve büyüklükte zemin hareketleri etkisi altındaki davranışları da karşılaştırılmıştır. Burada analiz edilen borunun mevcut hareket altında maruz kaldığı şekil

değişiklikler ve gerilmeler düşük olmasına rağmen şev hareketinin devam etmesinden dolayı ileride borunun hasar görmesi riskine karşılık gerilme azaltma yöntemleri uygulanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 114M258 numaralı TÜBİTAK projesiyle desteklenmiştir. Ayrıca PAÜ BAP kongre katılım desteği için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Toprak, S., Nacaroglu, E., Koc, A.C., “Seismic response of underground lifeline systems”, Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology Vol. 2, Chapter:10, pp: 245-263, 2015, Springer.
- [2] Toprak, S., “Altyapı Sistemlerinin Deprem Güvenliği, Geoteknik Sorunlar ve Yönetmelikler”, Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Davetli Konuşmacı, 30 Mayıs -3 Haziran 2011, İstanbul.
- [3] Toprak, S. ve Yoshizaki, K., “Boru Hatlarına Deprem Yüklerinin Etkisi”, 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Kongresi, CDROM Bildiri No: 25, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul.
- [4] Suzuki, N., Arata, O., and Suzuki, I., “Subject to Liquefaction-Induced Permanent Ground Displacement,” pp. 155-162. Proceedings of First Japan- U.S. Workshop on Liquefaction, Large Ground Deformation and Their Effects on Lifeline Facilities, (1988) Tokyo, Japan.
- [5] Kobayashi, T., Nakane, H., Suzuki, N., and Ishikawa, M., “Parametric Study on Flexibility of Buried Pipeline Subject to Large Ground Displacement,” Proceedings of the Second U.S.-Japan Workshop on Liquefaction, Large Ground Deformation and Their Effects on Lifelines, Buffalo, New York, Technical Report NCEER-89-0032, pp. 348-362. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, (1989), Buffalo, New York.
- [6] O’Rourke, M.J. and Liu, X. (1999), “Response of Buried Pipelines Subject to Earthquake”, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research
- [7] O’Rourke, M.J., “Approximate Analysis Procedures for Permanent Ground Deformation Effects on Buried Pipelines,” Technical Report NCEER-89-0032 pp. 336-347 Proceedings of the Second U.S.- Japan Workshop on Liquefaction, Large Ground Deformation and Their Effects on Lifelines, Buffalo, New York, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, (1989), Buffalo, New York.
- [8] Toprak, S., Çetin, O. A., Nacaroglu, E., ve Koç, A. C., (2010), “Pipeline Performance Under Longitudinal Permanent Ground Deformation”, Paper No: 1407 14th European Conference on Earthquake Engineering, 30 August - 3 September 2010, Ohrid, Macedonia.
- [9] TNO DIANA (2010), "Diana 9.6 User's Manual," www.tnodiana.com, TNO DIANA BV, Delft, The Netherlands.