

**DALGA ETKİSİNDE DENİZALTI BORU HATLARI İLE TABAN
ETKİLEŞİMİ VE MANAVGAT DENİZ DEŞARJLARI**

Esin ÇEVİK	Yalçın YÜKSEL	Sedat KAPDAŞLI
Yrd. Doç. Dr.	Prof. Dr.	Prof. Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi	Yıldız Teknik Üniversitesi	İstanbul Teknik Üniversitesi
İnş. Fak. İnş. Müh. Böl.	İnş. Fak. İnş. Müh. Böl.	İnşaat Fak.
İstanbul, Türkiye	İstanbul, Türkiye	İstanbul, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada hareketli tabana yerleştirilmiş dalga etkisine maruz boru hatları çevresindeki yerel oyulma mekanizması ve boyutsuz oyulma derinliği hakkında bilgi verilmekte ve ayrıca Manavgat Deniz Deşarjı örneği değerlendirilmektedir. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda oyulma derinliğini Keulegan-Carpenter sayısının kontrol ettiği belirtildiği halde sığlaşma bölgesinde su derinliğinin ve kıyı profillerinin oyulma derinliğini etkilediği görülmüştür. Bu etkiler dikkate alınarak yapılan çalışmalarda boyutsuz oyulma derinliği değiştirilmiş Ursell parametresi (Boru Ursell sayısı) ile de belirlenmiştir.

1. GİRİŞ

Kıyı mühendisliğinin uygulama ve araştırma konularından biri olan denizaltı boru hatları günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan deniz yapılarından biridir. Açık denizlerden çıkartılan petrol ve doğal gazın kıyıya taşınmasında, atık suların denize deşarjında boru hatları gittikçe artan oranda kullanılmaktadır. Ancak dalga ve/veya akıntı ile boru hattı hareketli taban arasındaki etkileşim boru hattı altında oyulmaya neden olmaktadır. Boru hatları altındaki oyulma denizaltı boru hatlarının inşaatı ve işletmesi açısından oldukça önemli bir rol oynamaktadır.

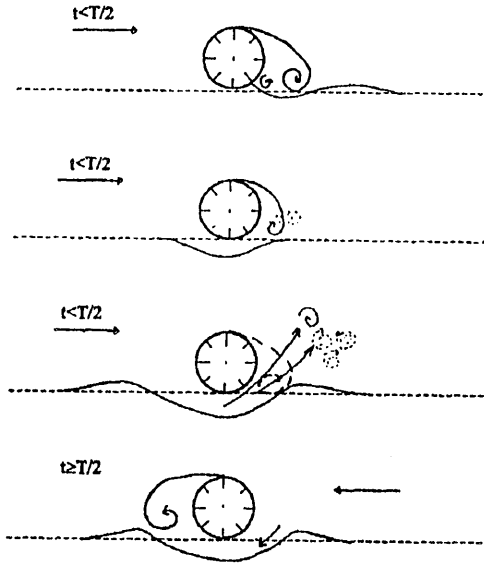
Boru hatları altındaki oyulmayla oluşan serbest açıklıklarda artan hidrodinamik kuvvetler boru hatlarında gerilmeleri artırmakta ve boru hattının sarkmasına hatta kırılmasına neden olmaktadır. Denizaltı boru hatlarının projelendirilmesi, oldukça karmaşık olan akım alanı ve deniz taban özelliklerinden dolayı son derece zor bir problem haline gelmektedir. Salımlı akım alanına yerleştirilmiş silindir etrafındaki akım alanı ile ilgili çalışmalar 1970'lerden Sarpkaya and Rajobi[1], Lundgren ve ark.[2], Jacobsen et al.[3], Ali and Narayanan [4], Bearman et al. [5], Willamson [6], Sümer et al.[7] itibaren başlamaktadır. Oyulma olayı ise 1980'lerden Çevik [8], Sümer and Fredsoe [9], Çevik and Yüksel [10] sonra çalışılmaya başlanmıştır.

2. OYULMA MEKANİZMASI

Daha önceki çalışmalardan bilindiği gibi oyulma mekanizması iki farklı modda gerçekleşmektedir. Bunlar tünel ve art-iz erozyonları olarak adlandırılmaktadır. Oyulma modları özellikle boru hatlarının kendi kendini gömme işleminde oldukça önemlidir. Salımlı akım ortamında boru hatları etrafındaki akım yapısının tek yönlü akım ortamındakinden en önemli farkı, tek yönlü akımda meydana gelen art-iz akım yapısının bu durumda borunun her iki tarafında da meydana gelmesidir. Bu akım yapısı borunun her iki tarafında daha az eğimli oyulma çukuru oluşturmaktadır. Simetrik oyulma çukurunda

maksimum oyulma derinliği borunun hemen altında meydana gelirken, oyulma çukurunun asimetric olması durumunda borunun tam altında oluşmamaktadır. Asimetric oyulma çukurunun meydana gelmesinin nedeni bu şartlarda dalga yapısının sinüzoidal değil non-lineer karakter taşıması yani daha dik dalga tepesi daha yayvan dalga çukuruna sahip olmasıdır. Dalga tepesi altında kıyıya doğru yörüngesel hızların daha büyük olması borunun kıyı tarafındaki art-iz yapısının daha şiddetli olmasına neden olmaktadır. Bilindiği gibi non-lineer karakter taşıyan dalga şartlarında tabanda asimetric bir akım yapısı mevcuttur. Her bir yarım periyotluk süre içerisinde borunun her iki tarafında oluşan vorteks yapısı tek yönlü akım şartlarında oluşan akım alanına benzer davranışlar göstermektedir. Ancak menba ve mansap tarafındaki akım yapısında meydana gelen vorteks şiddetinin farklılığından dolayı oyulma çukuru şeklinin tek yönlü akım halindeki asimetric oyulma çukuruna benzer şekil almasına neden olur. Art-iz vorteks yapısıyla askı haline geçen kum bulutu uzun mesafe taşınmaya fırsat bulamadan geriye dönmekte, böylece vorteks etki mesafesi tek yönlü akıma göre daha küçük kalmakta ve yerel oyulma çukuru tek yönlü akım şartlarına göre daha kısa mesafede şekillenmektedir.

Oyulma çukurunun başlangıç aşamasında tek yönlü akım haline benzer olarak boru hattının her iki tarafında iki küçük çevirinin oluştuğu böylece silindire yapışık olarak yığılmanın meydana geldiği belirlenmiştir. Ancak kısa bir süre sonra dalga tepesinin silindire yaklaşması esnasında silindirin ön tarafında artan basınç gradyanının etkisiyle bu yapının bozularak tünel erozyonunun yapılandığı gözlenmiştir (Şekil 1). Tünel erozyonunun şekillenmesinden sonra $T/2$ kadarlık süre içerisinde silindirde kopan ve art-iz vorteks sisteminden belli bir faz farkıyla silindirin altından geçen jet akımı, art-iz vorteksle askıya geçen kumu daha ileriye püskürttüğü ve sonraki $T/2$ periyotluk süre içerisinde bu akım yapısının silindirin üzerinden geriye doğru hareketlendirildiği gözlenmiştir. Borunun altından geçen jet akımının vortekslerin şekillenmesinden bir faz farkıyla meydana gelmesi boğulma etkisinden kaynaklanmaktadır. Bir süre sonra tünel erozyonunun artmasıyla şekillenen vortekslerin şiddetleri zayıflamakta ve dinamik dengeye ulaşılmaktadır. Dalga etkisinde oluşan bu vortekslerin şekillenmesi ve şiddeti dalga periyoduna önemli ölçüde bağlıdır.

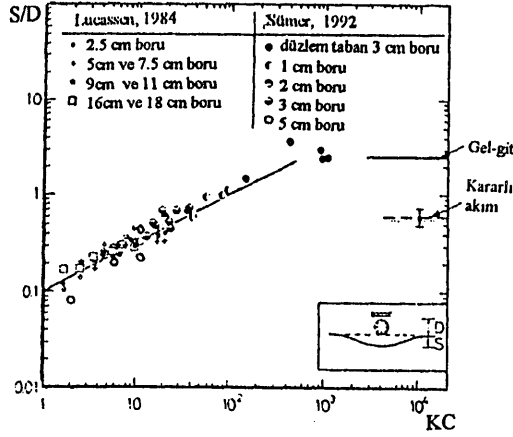


Şekil 1- Düzlem taban halinde oyulma çukurunun evreleri.

Sümer ve Fredsøe [9] boyutsuz oyulma derinliğinin (S/D) KC sayısı ile ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Bu ilişki Şekil 2'de boyutsuz denge oyulma derinliğinin artan KC sayısı ile arttığını göstermektedir. Şekil 2'den (1) nolu denklem elde edilmiştir;

$$S/D = 0.1\sqrt{KC} \quad (1)$$

Araştırmacılar, Re sayısı ve Shields parametresinin oyulma derinliği üzerine etkilerini hidrolikçe pürüzsüz borular için detaylı olarak tartışarak bu iki parametrenin oyulma üzerine etkilerinin oldukça zayıf olduğunu göstermişlerdir.

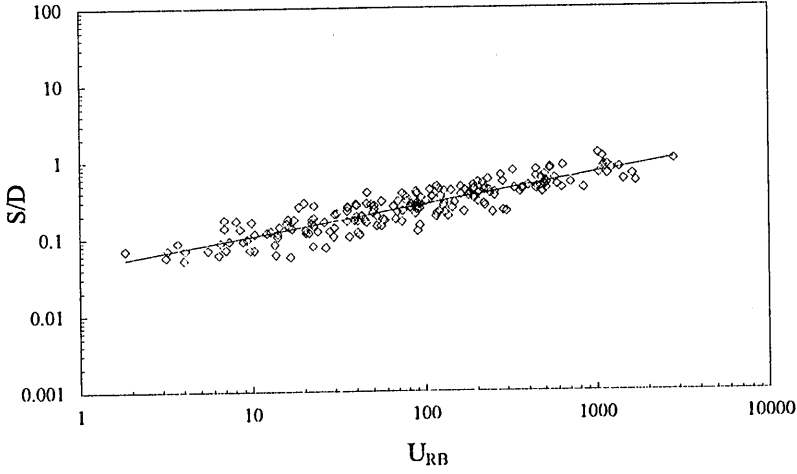


Şekil 2- Hareketli tabanda denge oyulma derinliğine karşı KC sayısı ($\theta > \theta_{kr}$) [9].

Sığ su şartlarında rölatif oyulma derinliğinin Ursell parametresi (HL^2/d^3) ile değişimi incelenmiş ve herbir boru çapı için ayrı ayrı çizilen eğrilerden rölatif oyulma derinliğinin Ursell parametresi (U_R) ile oldukça yüksek bir korelasyonla arttığı görülmüştür [8,10]. Ancak oyulma derinliği üzerinde oldukça etkili olan boru çapının etkisini ihtiva etmeyen bu parametre yerel dalga yüksekliğinin boru çapına oranı ile elde edilen dalga yüksekliği parametresi dikkate alınarak değiştirilmiştir $U_{RD}=U_R(H/D)^2=(H^3L^2/d^3D^2)$. Buna göre rölatif oyulma derinliği;

$$S / D = 0.042 U_{RD}^{0.41} \quad (2)$$

bağıntısı ile ifade edilmiştir. Bu ifade gerek düzlem taban şartlarında gerekse farklı kıyı şev eğimlerinde ölçülmüş oyulma derinliği verileri kullanılarak elde edilmiş olan oldukça genel bir ifadedir.

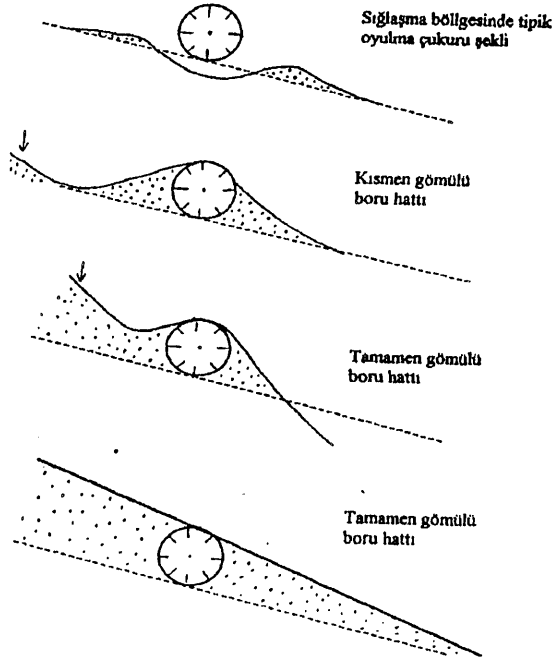


Şekil 3- S/D'nin U_{RB} ile değişimi [8, 10].

Boru hatları etrafında meydana gelen yerel taban hareketinin diğer bir sonucu da boru hattının oyulma çukuruna doğru sarkması ve sonra gömülmesi olayıdır. Bu bir seri olaylar zincirinin sonucunda meydana gelmektedir. Boru hattı altındaki oyulma çukuru oyulmanın ilk safhalarında dar bir alanda başlamakta ancak zamanla oyulma çukuru boru hattı boyunca yayılmaktadır. Boru hattı boyunca yayılmakta olan bu oyulma çukuru yeterli uzunluğa eriştiğinde boru oyulma çukurunun tabanına doğru sarkmaya başlar. Oyulmanın ilk safhalarında borunun sarkmasının boru hattı altındaki akım hızını artırması nedeniyle oyulma miktarı artmaktadır. Ancak daha ilerki safhalarda borunun oyulma çukuruna daha da sarkması ile boru akıma karşı kısmen korunaklı hale gelmektedir. Bu nedenle boru hattı altındaki oyulma miktarı azalmaya başlamakta ve bir süre sonra boru oyulma çukurunun tabanına eriştiğinde oyulma tamamıyla durmaktadır. Daha sonra ise rahatsız edilmemiş kum tabandaki mevcut katı madde hareketinden dolayı boru hattı kısmen kumla kaplanarak gömülmektedir.

Sığlaşma bölgesine doğru boru hattının yerleştirilmesi durumunda artan kayma gerilmesinin etkisiyle birlikte, meydana gelen oyulma çukuru daha yaygın görünüm almaktadır. Ancak kıyı profilinin olduğu bölgeye girildiğinde boru hattı etrafında meydana gelen oyulmanın yerini yığılma almaktadır, hatta profilin tepesine yakın bölgede boru hattı

tamamen gömülebilmektedir. Kıyı profilinin etkisiyle boru hattının gömülmesi boru çapına ve profilin yerine bağlı olarak kısmen veya tamamen gömülme şeklinde görülmektedir. Küçük çaplı borular kıyı profilinin şeklini etkilemeksizin tamamen örtülmektedir.



Şekil 4-Sığlaşma bölgesinde oyulma ve gömülmenin evreleri.

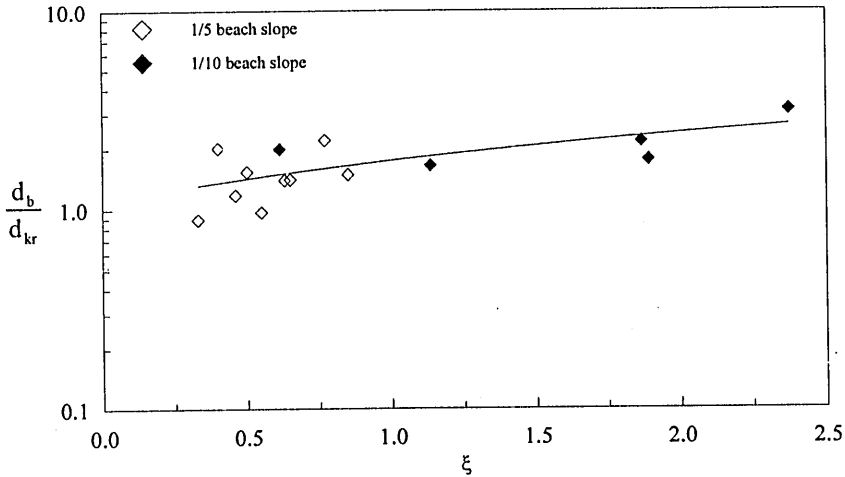
Maksimum oyulma derinliğinin yeri Şekil 5'de görüldüğü gibi aşağıdaki ifade ile belirlenmektedir[8]. Bu şekilden görüldüğü gibi, sığlaşma bölgesi boyunca, maksimum oyulma derinliğinin yeri ile surf parametresi arasında bir korelasyon mevcuttur.;

$$\frac{d_{kr}}{d_b} = 0.645\xi + 1.1$$

(3)

Burada, kritik derinlik, d_{kr} , maksimum oyulma derinliğinin meydana geldiği su derinliği, d_b , kırılma derinliği ve ξ , surf parametresidir. Şekil 5 kritik derinliğin orijinal taban halindeki dalga kırılma derinliğine olan oranının surf parametresiyle değişimini göstermektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi maksimum oyulma derinliğinin meydana geldiği derinlik kırılma derinliğine göre daha büyüktür.

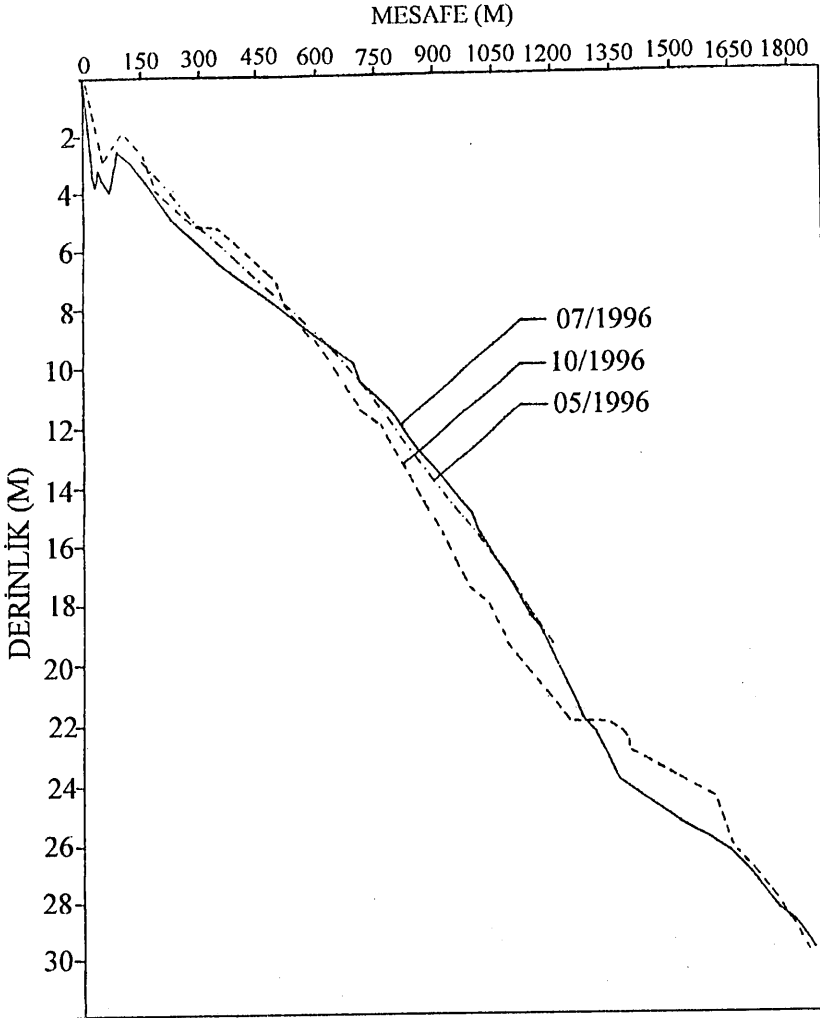
Bu ifade denizaltı boru hatlarının projelendirilmesinde son derece önem taşımaktadır. Çünkü boru hatlarının projelendirilmesinde kırılan dalgaların oluşturduğu büyük dalga kuvvetlerinden kaçınılmak için boru hatları genellikle kırılma derinliğine kadar gömülmektedir. Oysa kırılma derinliğinden daha açıkta ki boru hatları etrafında meydana gelen yerel oyulma bu yapılar etrafındaki akım alanında çok daha büyük değişimlere neden olarak önemli problemler doğurmaktadır.



Şekil 5- Maksimum oyulma derinliğinin yerinin belirlenmesi [8,10].

bölgesinde dikkate alınan iki ayrı hat boyunca yapılan mevsimlik batimetrik ölçümlerden Titreyen Göl mevkiinin %16, Kumköy mevkiinin %6.7 taban eğimine sahip olduğu belirlenmiştir.

Şekil 7'deki karşılaştırmalı boy kesitlerden görüldüğü gibi, proje alanında, taban topografyaları mevsimlere göre büyük değişimler göstermektedir. Aynı noktada 1.5≈2m'ye



Şekil 7- Karşılaştırmalı taban boy kesitleri [11]

varan farklı derinlikler gözlenmektedir. Bu durum yöredeki dalga iklimi ile akıntı yapısından kaynaklanmaktadır. Taban malzemesinin granülometri eğrisi incelendiğinde ise malzemenin kaba kum ile ince çakıldan oluştuğu belirlenmiştir ($d_{50}=3.7$ mm, $d_{90}=10$ mm). Görüldüğü gibi sığlaşma bölgesinde oldukça aktif bir taban hareketi mevcuttur. Dolayısıyla bu bölgede inşa edilecek bir boru hattının bu taban hareketinden etkilenmesi kaçınılmazdır.

Bu amaçla yapılan arazi ve teorik çalışmalar sonucunda boru hattının kırılma bölgesinin dışına kadar, taban hareketinden etkilenmeyecek şekilde korunmasına karar verilmiştir. Deşarj hatlarının difüzörleri de teleskop biçiminde tasarlanmıştır.

4. SONUÇLAR

1. KC sayısı tabandaki yörüngesel deplasmanı veya hızı içermesi dolayısıyla özellikle dalgaların kırılma şartlarında bu parameterenin belirlenmesi oldukça güçtür. Çünkü kırılma bölgesi yakınlarında dalga kinematiklerini belirleyecek herhangi bir geçerli teori mevcut değildir ve deneyler esnasında bu parametrelerin ölçümlerindeki zorluklar nedeniyle KC sayısının belirlenmesinde hesap ve ölçüm hatalarına neden olunabileceği dikkate alınmalıdır.
2. Boru Ursell sayısı yörüngesel taban hızını içermeyip, sadece yerel dalga karakteristiklerine akım derinliğine ve boru çapına bağlı olduğundan sığlaşma bölgesinde hesaplama kolaylığına sahiptir.
3. Sığlaşma bölgesinde değişen dalga koşullarına göre maksimum oyulma çukurunun meydana geldiği kritik su derinliği (d_{kr}) ile surf parametresi arasındaki ilişki, kırılma derinliğine göre;

$$\frac{d_{kr}}{d_b} = 0.645\xi + 1.1$$

şeklinde belirlenmiştir.

4. Manavgat örneğinde, sığlaşma bölgesinde oldukça aktif bir deniz taban hareketi mevcuttur. Bu durumda deniz tabanı ile boru hattının etkileşimi kaçınılmazdır. Boru hatlarının dizaynı sırasında, bu etkileşim problemi göz önüne alınmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Sarpkaya, T. and Rajabi, F., "Hydrodynamic Drag on Bottom Mounted Smooth and Rough Cylinders in Periodic Flow", OTC Paper 3761, 1979, pp.219-226.
2. Lundgren, H., Mathiesen, B. and Gravesen, H., "Wave Loads on Pipelines on the Seafloor", Proc. 1st Intl. Conf. On the Behaviour of Offshore Structures (BOSS 76), Vol.1, 1976, pp.236-247.
3. Jacobsen, V., Bryndum, M.B. and Fredsøe, J., "Determination of Flow Kinematics Close to Marine Pipelines and Their Use in Stability Calculations", Proc. 16th Annual Offshore Technology Conf. Paper OTC 4833, 1984.
4. Ali, N. and Narayanan, R., "Forces on Cylinders Oscillating Near a Plane Boundary", Proc. 5th Intl. Offshore Mech. and Arctic Eng. (OMAE) Symp., Tokyo, Japan, Vol.3, 1986, pp.613-619.
5. Bearman, P.W., Graham, J.M.R., Naylor, P. and Obasaju, E.D., "The Role of Vortices in Oscillatory Flow About Bluff Cylinders", Proc. Intl. Symp. On Hydrodyn. In Ocean Engr., Trondheim, Norway, 1981.
6. Williamson, C.H.K., "The Existence of Two Stages in the Transition to Three-Dimensionality of a Cylinder Wake", Phys. Fluid, Vol.31(11), 1988, pp.3165-3168.

7. Sümer, B.M., Jensen, B.L. and Fredsøe, J., "Effect of a Plane Boundary on Oscillatory Flow Around a Circular Cylinder", J. Fluid Mech., Vol.225, 1991, pp.271-300.
8. Çevik, E., "Dalga Etkisinde Denizaltı Boru Hatları ve Deniz Taban Etkileşiminin Modellenmesi", Doktora Tezi, 1997, 262 Sayfa.
9. Sümer, B.M. and Fredsøe, J., "Scour Below Pipelines in Waves", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng. Div., ASCE, Vol.116, No.3, 1990, pp.307-323.
10. Çevik, E. and Yüksel, Y., "Scour Under Submarine Pipelines in Waves in Shoaling Conditions", ASCE, will be published in 1998.
11. Kapdaşlı, S., Yüksel, Y., Ünal, E. Mutlu, T., Fer, İ., Kırdaglı, M., ve Aydın Gakko, A., "Titreyen Göl ve Kumköy Deniz Deşarjları Araştırma ve Proje Çalışmaları", İTÜ, 1997.

ABSTRACT

In this paper, the local scour mechanism of submarine pipelines on movable bed in oscillatory flow was discussed and a model was proposed for dimensionless scour depth in solving the problems. Also a case study of Manavgat Sea Outfall was discussed. In past studies, although Keulegan-Carpenter number was given as controlling parameter of equilibrium scour depth, in shoaling region it has been understood that the water depth and beach profiles are influential parameters on equilibrium scour depth. In the studies by considering these parameters the dimensionless scour depth has also been obtained by using the modified Ursell parameter.