

## **LİMAN SU ALANLARINDA GEMİ PERVANELERİNİN ETKİSİNDE TABANDA HAREKETİN BAŞLANGICI**

Yalçın Yüksel, Prof. Dr., YTÜ İnş. Fak., İnş. Müh. Böl., Hidrolik ABD,  
Tel: 2123835160, Faks: 2123835133, E-posta:yalcinyksl@gmail.com

Yeşim Çelikoğlu, Doç. Dr., YTÜ İnş. Fak., İnş. Müh. Böl., Hidrolik ABD,  
Tel: 2123835166, Faks: 2123835133, E-posta:ycelik@yildiz.edu.tr

R. İlayda Tan, Doktora Öğr., YTÜ İnş. Fak., İnş. Müh. Böl., Hidrolik  
ABD, Tel: 2123835168, Faks: 2123835133, E-posta:itan@yildiz.edu.tr

Taha ATİK, Y. Lisans Öğr., YTÜ İnş. Fak., İnş. Müh. Böl., Hidrolik ABD

### **ÖZET**

Özellikle limanların su alanlarında ve suyollarında, gemilerin seyirleri sırasında pervane jetleri deniz tabanını harekete geçirerek topuk olarak adlandırılan oyulma ve yığılmalara neden olmaktadır. Su alanlarında oluşan topuklar gemilerin güvenli olarak seyirlerini etkilemektedirler. Bu çalışmada gemilerin pervanelerinden çıkan jet akımlardan dolayı limanların su alanlarında oluşan oyulma ve yığılma etkisini anlayabilmek için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Pervane jetinin meydana getirdiği oyulma çukuru boyutları dikkate alınarak oyulmanın gerçekleşmesi için limit durum incelenmiştir. Deneylerde üç farklı pervane deniz tabanından farklı açıklıklarda yerleştirilmiş ve değişen pervane hızları için deniz tabanındaki oyulmanın değişimi belirlenmiştir. Deneyler farklı taban malzemeleri için yoğunluk Froude sayısının  $1.89 \leq Fr_d \leq 15.01$  aralığı göz önünde alınarak gerçekleştirilmiştir.

## **INITIATION of SEA BED SEDIMENT TRANSPORT in PORT WATER AREAS**

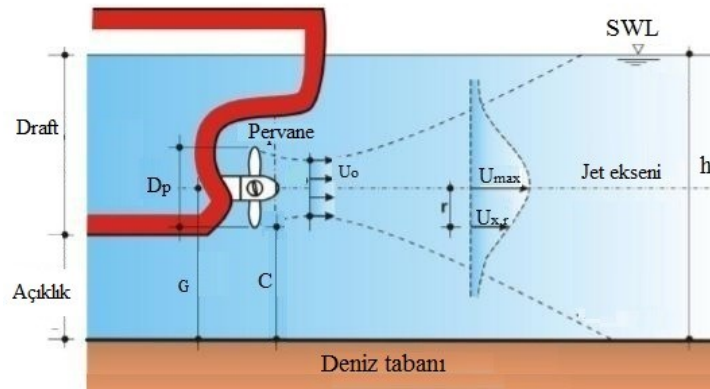
### **ABSTRACT**

Especially in the water areas and waterways of the ports, propeller jet flows are the contributors to the erosion/deposition problem encountered near berth structures. These erosion/deposition formations in the water areas affect the safe movement's of the ships. In this study, an experimental study was carried out to understand the effect of the scour and deposition formations in the water areas of the ports due to the jet flows from the ship's propellers. The critical conditions for the scour initiation was also investigated with considering the dimensions of scour hole induced by propeller jet flow. In the experiments, three different propeller were placed with different gaps from the seabed and the scour formation was investigated for varying propeller velocities. Experiments were carried out for the range of density Froude number  $1.89 \leq Fr_d \leq 15.01$  by considering different sediment bed materials.

**Anahtar Kelimeler :** Oyulma, Pervane jeti, Pervane oyulması

## GİRİŞ

Son yıllarda gemi boyutlarının artması ile gemilerin yanaşma ve ayrılma durumlarında yapı önlerinde meydana gelen oyulma ile birlikte yapı stabiliteleri bozulmakta ve yanaşma yapılarında büyük hasarlara yol açmaktadır. 3 boyutlu türbülanslı ve oldukça büyük hızlara sahip pervane jet akımları 1) Ulaşım kanallarının şevlerinde 2) Kapalı tip rıhtım yapıları önünde 3) Açık tip yanaşma yapılarında kazıkların etrafında, oyulmalara sebep olmaktadır. Pervane jetinden dolayı meydana gelen akım yapısı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1 Pervane jeti önünde meydana gelen hız dağılımının şematik gösterimi (PIANC, 2015)

Literatürde yapı önünde meydana gelen oyulmaların anlaşılabilmesi için önce yapının olmadığı durum göz önüne alınarak oyulma mekanizması araştırılmıştır.

Bu nedenle Chiew ve Lim (1996) batık dairesel duvar jeti etkisinde kohezyonsuz malzemeye sahip taban üzerinde jetin tabandan farklı yüksekliklerini dikkate alarak yerel oyulma çukurunu araştırmışlardır. Araştırmacılar dairesel duvar jeti etkisinde oluşan oyulma çukuru boyutlarının yoğunluk Froude sayısına oldukça bağlı olduğunu ve maksimum denge derinliğinin yoğunluk Froude sayısı arttıkça arttığını bulmuşlardır. Ayrıca, dairesel duvar jetinin tabandan yüksekliğini ilave bir parametre olarak vermişlerdir. Duvar jetinin tabandan yüksekliğinin artmasıyla maksimum oyulma derinliğinin azaldığını göstermişlerdir.

Hamill ve diğ. (1999), hem liman yapısının olmadığı durumda hem de rıhtım duvarlarının yakınında pervane jeti etkisinde meydana gelen oyulma olayını araştırmışlardır. Ayrıca yoğunluk Froude sayısına ( $Fr_d$ ), pervane çapına ( $D_p$ ), taban malzemesinin çapına ( $d_{50}$ ), ve pervane açıklığına ( $G$ ) bağlı olarak maksimum oyulma derinliği için bir denklem önermişlerdir.

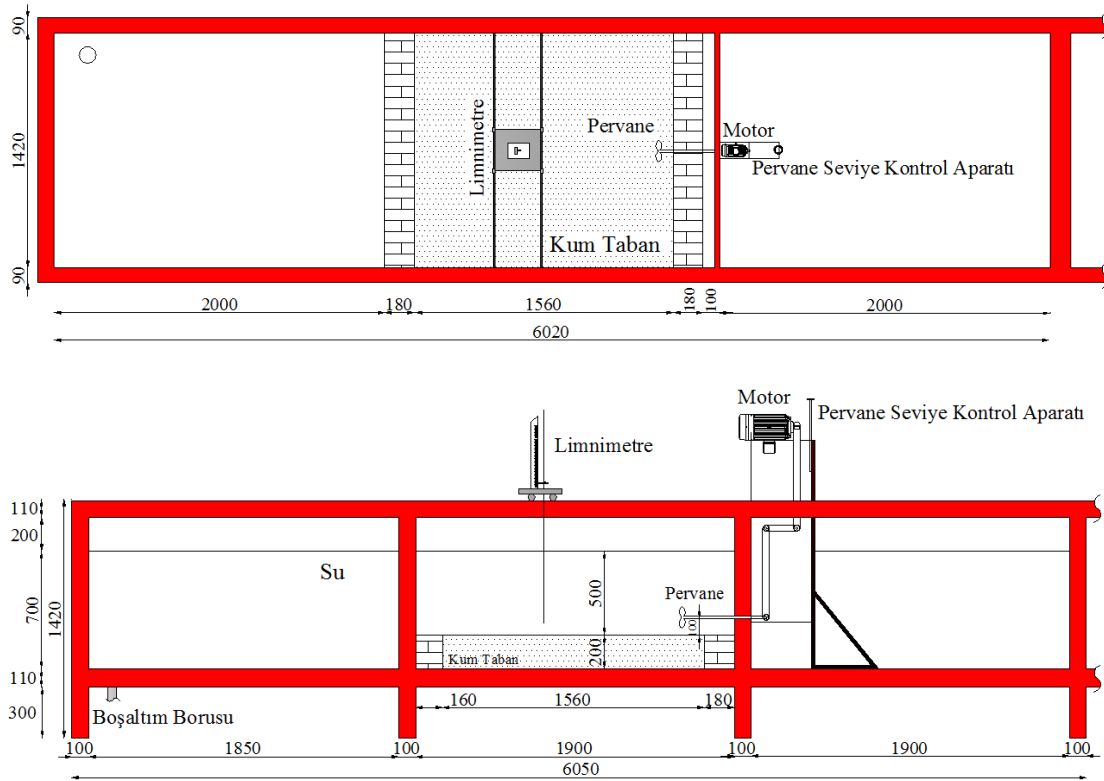
Hong ve diğ. (2013) rıhtım yapısının olmadığı durumda pervane jeti etkisinde meydana gelen oyulma olayını incelemişlerdir. Aynı zamanda pervane jeti ve duvar jetinin etkisinde oluşan maksimum oyulma derinlikleri arasındaki benzerliği vurgulamışlardır.

Tan ve Yüksel (2018) yaptıkları çalışmada pervane jeti etkisinde meydana gelen oyulma olayını oldukça kapsamlı deney koşullarında araştırmışlardır. Araştırmacılar literatürde çalışılan yoğunluk Froude sayılarından daha geniş bir aralıkta ( $1.89 \leq Fr_d \leq 15.01$ ) deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla farklı parametrelerin oyulma işlemine etkisini belirleyebilmek için tasarıma yönelik formüller önermişlerdir. Deneylerde farklı taban malzemeleri kullanarak önceki çalışmalarla karşılaştırmışlardır.

Literatürde herhangi bir yavaşma yapısının olmadığı durumda pervanenin neden olduğu oyulma hakkında hali hazırda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, farklı çaplarda kohezyonsuz malzemeye sahip tabanlar üzerinde pervane jeti etkisinde oluşan oyulma olayının incelenmesini kapsamaktadır. Bunun için değişen pervane açıklığı, pervane çapı ve pervane hızları kullanılarak kapsamlı bir deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

## YÖNTEM

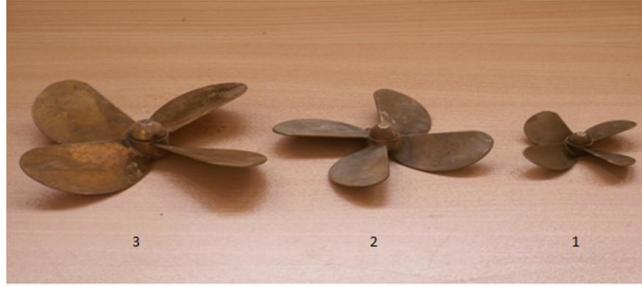
Deneyler Yıldız Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Kıyı-Liman Laboratuvarında  $12 \times 1 \times 1$  m<sup>3</sup> boyutlarında, ölçüm yapılan 6 m'lik bölgesinde her iki tarafı cam, kalan kısımlarda ise her iki tarafı saç olan bir kanalda yapılmıştır (Şekil 2). Kanalın içine pervane jetini oluşturacak sistem kurulmuştur. Kanal tabanına ortalama tane çapı  $d_{50} = 0.52, 1.28, 4.00$  ve  $8.30$  mm olan 20 cm yüksekliğinde serilen kum malzemenin üzerinde 50 cm'lik su yükü oluşturulmuştur.



Şekil 2 Deney sistemi (birimler mm cinsindedir)

Deneyleerde  $D_p=6.5, 10$  ve  $13$  cm çapa sahip üç pervane modeli kullanılmıştır (Şekil 3). Pervaneler 4 kanatlıdır ve pirinçten üretilmiştir. Pervane özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Her pervane modeli 590, 670 ve 745 rpm olmak üzere üç farklı dönüş hızında çalıştırılmıştır. Pervaneler tabandan  $G=10, 15$  ve  $20$  cm açıklıklarda yerleştirilmiştir. Böylece tabandan olan açıklığın ve pervane hızının etkisi araştırılmıştır. Kum tabana farklı taban malzemeleri ( $d_{50}=0.52, 1.28, 4.00$  ve  $8.30$  mm) serilerek pervane jetinin meydana getirdiği oyulma oluşumu detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 3 Pervanelerin görünümü

Tablo 1 Pervane Özellikleri

Pervane çapı, $D_p$	$D_{p1}=7$ cm	$D_{p2}=10$ cm	$D_{p3}=13$ cm
Kanat sayısı, $N$	4	4	4
Hatve, $P'$	1.35	1.4	1.4
Kanat alan oranı, $\beta$	0.5	0.4	0.6
İtiş katsayısı, $C_t$	0.35	0.51	0.35

### Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Oyulma profilinin pervane jeti etkisindeki gelişiminin belirlenmesi için belli bir zaman periyodu sonunda denge durumuna ulaşıldıktan sonra bir limnometre ile oyulma profili ölçülmüştür. Deneyleerde  $G=10$  cm açıklık için dört farklı taban malzemesi kullanılırken,  $G=15$  ve  $20$  cm açıklıklar için  $d_{50}=0.52$  mm ve  $d_{50}=8.30$  mm. olan taban malzemeleri kullanılmıştır.  $1.89 \leq Fr_d \leq 15.01$  aralığında toplam 63 adet deney gerçekleştirilmiştir. Deneyleerde kullanılan yoğunluk Froude sayısı ( $Fr_d$ ) aşağıdaki ifadeden elde edilmiştir,

$$Fr_d = \frac{U_0}{\sqrt{gd_{50}(\rho_s - \rho/\rho)}} \quad (1)$$

burada  $U_0$  jet çıkış hızı,  $d_{50}$  taban malzemesinin medyan çapı,  $\rho$  suyun özgül kütlesi,  $\rho_s$  taban malzemesinin özgül kütlesi,  $g$  yerçekimi ivmesidir. Deney şartları Tablo 2'de özetlenmiştir.

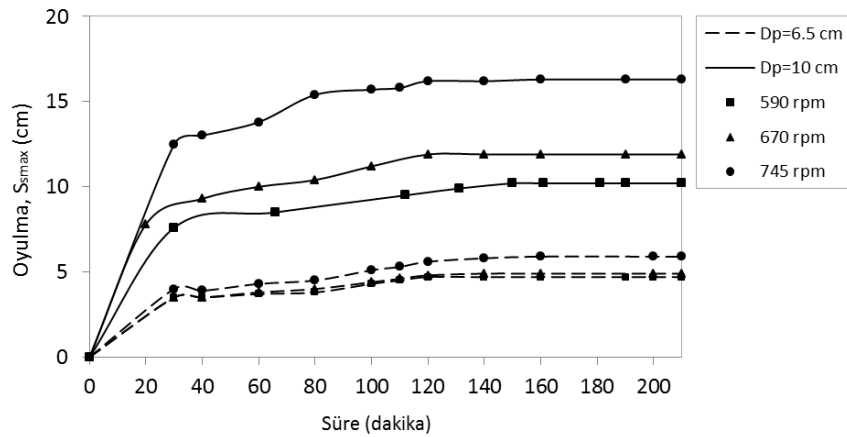
Tipik bir oyulma profilinin gelişimi, belirli bir süreden sonra denge koşullarına ulaşmaktadır. Bu süreden sonra, oyulma çukurunun boyutları değişmeden kalmaktadır. Chin ve diğ. (1996) su jeti etkisi altında deneyler yaparak oyulma profilinin zamanla gelişimini açıklamışlardır. Akımın katı madde tanelerini yığılma bölgesinin menba tarafındaki eğimi doğrultusunda yukarı doğru ittiği sonucuna varmışlardır ancak katı madde taneleri geri dönüp çökerek denge durumunda stabil kalmaktadır. Bu, tanelerin yığılma bölgesini geçmek için

yeterli momentuma sahip olmamalarından kaynaklanmaktadır. Mevcut çalışmada, maksimum oyulma derinliğinin zamana bağlı değişimi, her bir deney şartı için, oyulma çukuru denge durumuna ulaşana kadar geçen süre dikkate alınarak ölçülmüştür. Şekil 4, farklı pervane çapları ve hızları için  $d_{50}=0.52$  mm'ye sahip taban malzemesi üzerinde oluşan maksimum oyulma derinliğinin zaman gelişimini göstermektedir. Oyulma profili pervane dönmeye başladıktan sonra belirli bir zamanda denge koşullarına ulaşmaktadır. Bu nedenle, tüm deneyler göz önüne alınarak, denge şartlarının olduğu süre 160 dakika olarak seçilmiştir. Bu da toplam sürenin yaklaşık olarak %30'u geçtiğinde maksimum oyulma derinliğinin ( $S_{smax}$ ) %70'inden fazlasına ulaştığını göstermiştir. Aynı zamanda, oyulma profilinin büyük kısmının, toplam deney süresine kıyasla çok kısa bir sürede meydana geldiği de görülmüştür.

Tablo 2 Deney şartları

Medyan Çapı	Açıklık	Pervane hızı	Pervane çapı	Yoğunluk Froude Sayısı	Akım Reynolds Sayısı	Pervane Reynolds Sayısı
( $d_{50}$ , mm)	(G, cm)	rpm	( $D_p$ , cm)	( $Fr_d$ )	( $Re_f \times 10^4$ )	( $Re_p \times 10^4$ )
0.52	10/15/20	590/670/745	6.5/10*	7.73–15.01	4.61–13.77	1.28–3.79
1.28	10	590/670/745	6.5/10/13	4.99–12.59	4.61–23.27	1.28–6.46
4.00	10	590/670/745	6.5/10/13	2.79–7.06	4.61–23.27	1.28–6.46
8.30	10/15/20	590/670/745	6.5/10/13	1.89–4.87	4.61–23.27	1.28–6.46

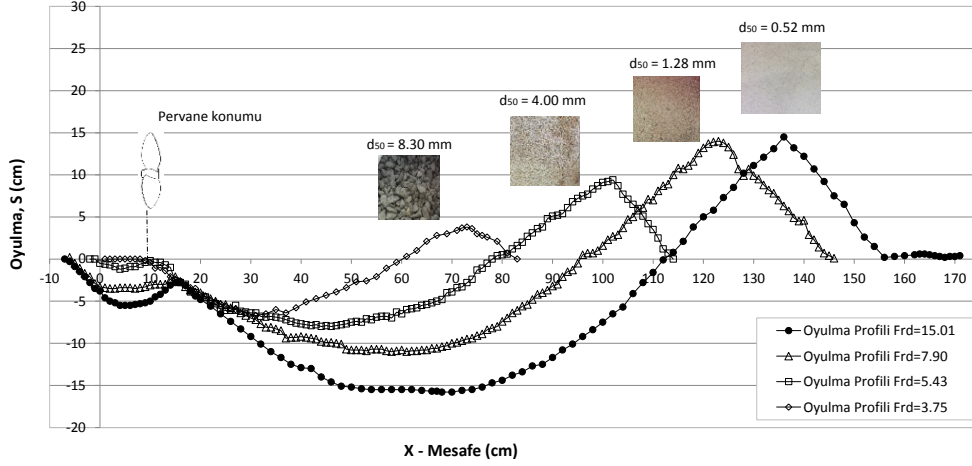
\*Oyulma derinliği kanal tabanına ulaştığı için pervane çapının 13 cm olduğu deneyler dahil edilmemiştir.



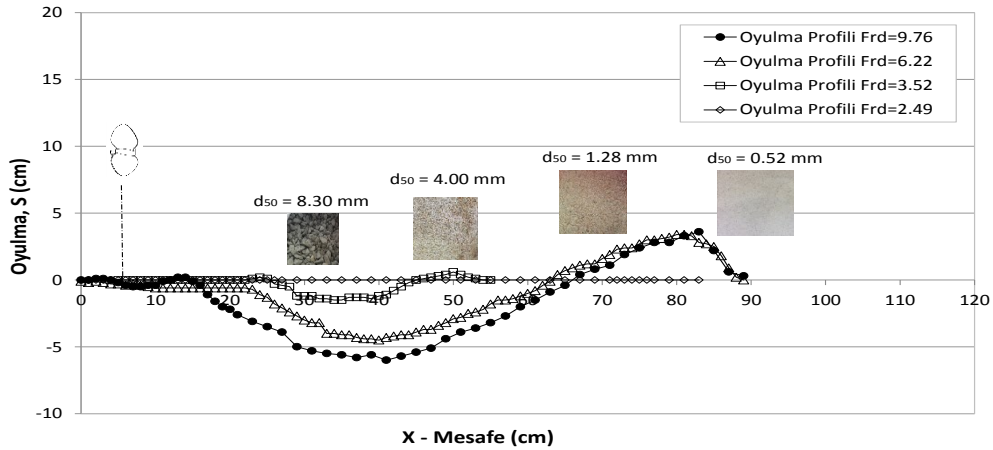
Şekil 4 Maksimum oyulma derinliğinin zamanla gelişimi (Tan ve Yüksel, 2018) ( $D_p = 6.5-10$  cm,  $G=10$  cm,  $d_{50}=0.52$  mm)

Şekil 5a ve b'de  $D_p=10$  ve 6.5 cm çaplı pervaneler kullanılarak pervane açıklığı  $G=10$  cm ve pervane hızı 745 rpm için büyük yoğunluk Froude sayılarında ( $Fr_d=7.90$ , 9.76 ve 15.01) iki oyulma çukuruna sahip tipik oyulma

formasyonunun oluştuğu gözlenmiş ancak pervane altında oluşan küçük oyulma çukuru daha küçük yoğunluk Froude sayılarında ( $Fr_d = 2.49, 3.52, 3.75, 5.43$  ve  $6.22$ ) belirgin olarak görülmemiştir. Taban malzemesinin değişmesinden dolayı yoğunluk Froude sayısı arttıkça oyulma profilinin büyüdüğü görülmüştür. Benzer eğilim diğer pervane çapları ve açıklıkları için de oluşmuştur. Şekil 5a ve c'de pervane çapı ve açıklığı sabit tutularak hız değiştirilmiştir. Küçük pervane hızında oyulma profilinin büyük hızdakine göre küçüldüğü gözlenmiştir. Şekil 5a ve d'de ise pervane çapı ve hızı sabit tutularak iki farklı taban malzemesi ( $d_{50}=0.52$  ve  $d_{50}=8.30$  mm) için pervane açıklığı değiştirilmiştir. Pervane açıklığının artmasıyla oyulma profilinin küçüldüğü görülmüştür. Dolayısıyla Şekil 5, farklı taban malzemeleri için pervane çapının, pervane açıklığının ve pervane hızının oyulma üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

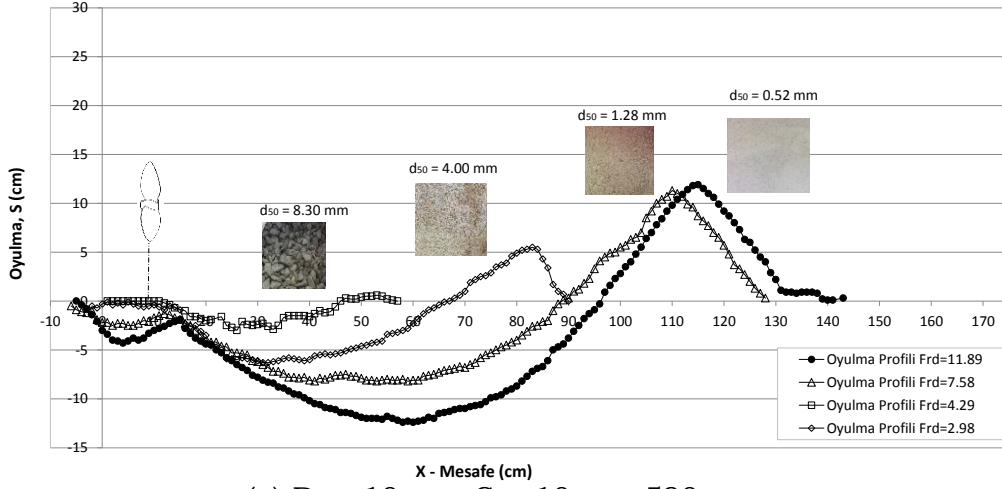


(a)  $D_p = 10$  cm,  $G = 10$  cm, 745 rpm

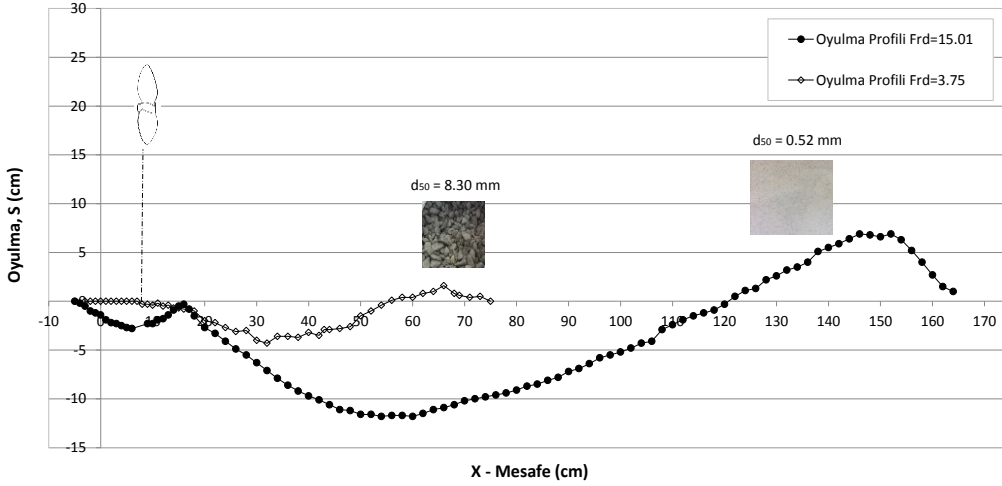


(b)  $D_p = 6.5$  cm,  $G = 10$  cm, 745 rpm

Şekil 5 Farklı tabanlar üzerinde farklı pervane çapı, pervane hızı ve açıklık için oluşan oyulma profilleri (Tan, 2018)



(c)  $D_p = 10$  cm,  $G = 10$  cm, 590 rpm



(d)  $D_p = 10$  cm,  $G = 15$  cm, 745 rpm

Şekil 5 Devam

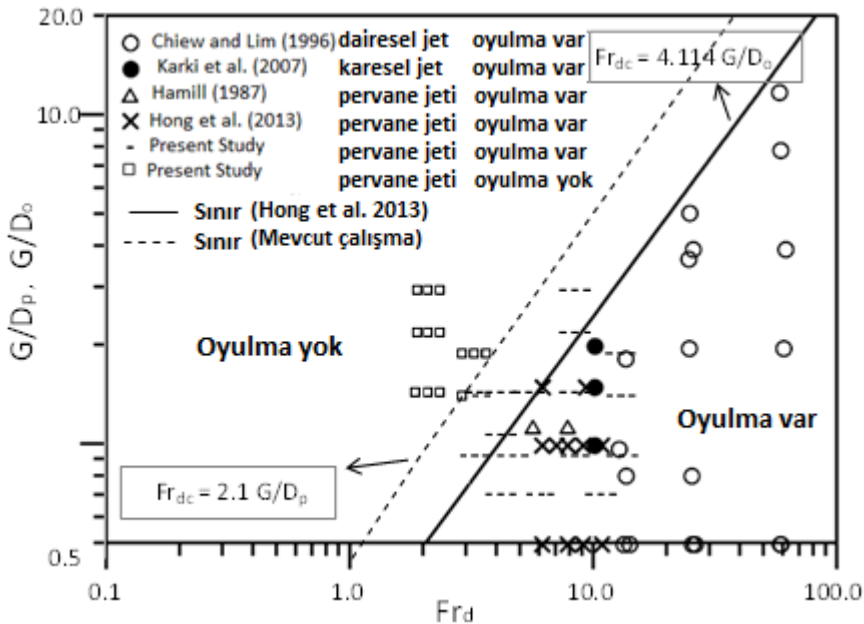
Şekil 6'da önceki literatür çalışmaları da dikkate alınarak pervane jeti etkisinde tabanda hareketin diğer bir tanımlamayla oyulma ve yığılma işleminin başlangıcı için sınır koşulları gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi eğrinin sağ tarafı oyulmanın olduğu şartları, sol tarafı ise oyulmanın oluşmadığı şartları göstermektedir. Mevcut çalışmada pervane jeti etkisinde oyulma başlangıcı için elde edilen sınır bütün deney şartlarında ( $1.89 \leq Fr_d \leq 15.01$ ) denklem (2) ile tanımlanmıştır.

$$3.08 \geq \frac{G}{D_p} \geq 0.77 \text{ için } Fr_{dc} = 2.1 \frac{G}{D_p} \quad (2)$$

burada  $Fr_{dc}$  kritik yoğunluk Froude sayısını göstermektedir. Kritik oyulma başlangıcı şartları Hong ve diğ. (2013) tarafından belirlenmiştir ve Chiew ve

Lim (1996) ile Karki ve diğ. (2007)'nin batık dairesel ve karesel su jetleri ile gerçekleştirdikleri deney sonuçları ile uyumludur. Hong ve diğ. (2013)'nin çalışmasında oyulma başlangıcı için kritik yoğunluk Froude sayısı ( $Fr_{dc}$ )  $5.55 \leq Fr_d \leq 11.1$  limitleri içindedir. Hong ve diğ. (2013) deneylerini  $5.55 \leq Fr_d \leq 11.1$  ve  $0.5 < G/D_p < 2.87$  limitleri içinde gerçekleştirirken mevcut çalışmada yapılan deneylerde ise daha geniş aralıktaki ( $1.89 \leq Fr_d \leq 15.01$  ve  $0.77 \leq G/D_p \leq 3.08$ ) veriler kullanılmıştır. Böylece Hong ve diğ. (2013) tarafından tanımlanan sınır Denklem (2)'de ifade edilen pervane jet akımı için tekrar elde edilmiş ve bu sınır,  $1.89 \leq Fr_d \leq 15.01$  çalışma aralığını kapsayacak şekilde sola kaydırılmıştır.

Mevcut çalışmada gerçekleştirilen bütün deneyler oyulmanın olduğu ve olmadığı durumlar için Şekil 6'da gösterilmiştir. Hong ve diğ. (2013) oyulmanın olmadığı şartlar için deney sonuçlarını vermemişlerdir ve bu nedenle şekil üzerinde görülmemektedir. Hong ve diğ. (2013)'nin elde ettiği kritik eğriye göre oyulmanın olmadığı bölgede mevcut çalışma için oyulma olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin mevcut çalışmada Hong ve diğ. (2013)'nin çalışmasına göre daha geniş bir veri aralığının kullanılmış olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 6 Oyulma başlangıcı için sınır koşullarının karşılaştırılması (Tan ve Yüksel, 2018)

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada herhangi bir yapı dikkate alınmadan pervane jeti etkisinde kohezyonsuz malzemeye sahip farklı tabanlar üzerinde oluşan oyulma formasyonu açıklanmaya çalışılmıştır. Yoğunluk Froude sayısının ( $Fr_d$ ), pervane çapının, pervane hızının ve pervane açıklığının ( $G$ ) oyulma formasyonunun şekli üzerinde oldukça etkili parametreler olduğu belirlenmiştir. Pervane jeti etkisinde oyulma formasyonunun küçük oyulma



çukuru, ana oyulma çukuru ve yığılma bölgelerinden oluştuğu Hong ve diğ. (2013) tarafından tanımlanmıştır. Mevcut deneylerde elde edilen oyulma formasyonunun da buna benzer olduğu görülmüştür.

Yoğunluk Froude sayısı ( $Fr_d$ ) üzerinde etkin bir parametre olan taban malzemesi medyan çapı için; kaba malzeme kullanıldığında oyulma miktarı azalırken, ince malzeme üzerinde oyulma miktarı artmaktadır.

Pervane jeti etkisinde oyulmanın gerçekleşip gerçekleşmediği sınır durum için boyutsuz yoğunluk Froude sayısı ve rölatif açıklık ( $G/D_p$ ) parametresine bağlı olarak yeni bir denklem önerilmiştir.

### **KAYNAKLAR**

Chiew, Y.M ve Lim, S.Y., 1996. Local scour by a deeply submerged horizontal circular jet. *Journal of Hydraulic Engineering*, 122, 529-532.

Hamill, G.A., Johnston, H.T., Stewart D.P., 1999. Propeller wash scour near quay walls. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 125, Sayfa no:170-175.

Hong, J.H., Chiew Y.M., Cheng, N.S., 2013. Scour caused by a propeller jet. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 139, Sayfa no: 1003-1012.

Karki, R., Faruque, M.A.A., and Balachandar, R., 2007. Local scour by submerged offset jets. *Water Management*, 160 (3), pp. 169-179

PIANC., 2015. The world association for waterborne transport infrastructure. Guidelines for Protecting Berthing Structures from Scour Caused by Ships. Rapor No:180, Belçika.

Tan, R. İ. ve Yüksel, Y., 2018. Seabed Scour Induced by a Propeller Jet. *Ocean Engineering* 160, 132-142.

Tan, R. İ., 2018. Propeller Jet Induced Erosion at Berths. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kıyı ve Liman Mühendisliği Programı.

Yüksel, Y., Tan, R.İ. ve Çelikoğlu, Y., 2018. "Propeller jet flow scour around a pile structure", *Appld. Ocean Research*, 79, pp. 160-172.