



## Düşey Yüzlü Duvar Önünde Pervane Jetinin Neden Olduğu Oyulma

### Scour Induced by Propeller Water Jet in front of a Vertical Wall

Ali Doğu <sup>1</sup> , Kubilay Cihan <sup>1</sup> , Ayşe Yüksel Ozan <sup>2</sup> , Osman Yıldız <sup>1</sup> , Hayri Ateş <sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 71450 Yahşihan, Kırıkkale, TÜRKİYE  
<sup>2</sup>Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 09010 Aydın, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 22/03/2022

Kabul / Accepted: 29/07/2022

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/07/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/07/2022

#### Öz

Gemilerin seyir ve manevraları sırasında deniz tabanında meydana gelebilecek oyulmalar, önlem alınmadığı takdirde ciddi sorunlara neden olabilir. Oluşacak oyulmaların tahmini liman yapılarının stabilitesi için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, düşey yüzlü bir duvar önünde oluşan oyulma deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, 3.2x2.0x1.0 m ölçülere sahip deney tankının tabanına ortalama elek çapı  $d_{50} = 0.24$  mm ve özgül kütlesi  $\rho = 2650$  kg/m<sup>3</sup> olarak belirlenen kuvars kumu serilmiştir. Deneylerde 0.06 m çaplı pirinçten imal edilmiş bir pervane kullanılmıştır. Pervane kendi eksenini ile polikarbon esaslı düşey yüzlü bir duvar arasında 4 farklı konumda yerleştirilmiş ve 3 farklı dönüş hızında çalıştırılmıştır. Hız ölçümleri Akustik Doppler prensibi ile çalışan ADVP kullanılarak elde edilmiştir. Düşey yüzlü duvar ile pervane eksenini arasındaki mesafenin ve ayrıca pervane dönüş hızının oyulma mekanizması üzerindeki etkileri hem pervane akımı doğrultusunda hem de duvar önünde yanıl doğrultuda irdelenmiştir. Deney sonuçları, literatürde duvar önündeki maksimum oyulmayı tahmin etmek için önerilen eşitliklerle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları ile eşitliklerden elde edilen maksimum oyulmalar arasındaki ilişkinin zayıf olduğu tespit edilmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“Oyulma, Düşey yüzlü duvar, Pervane jeti, Sınırlandırılmış oyulma”

#### Abstract

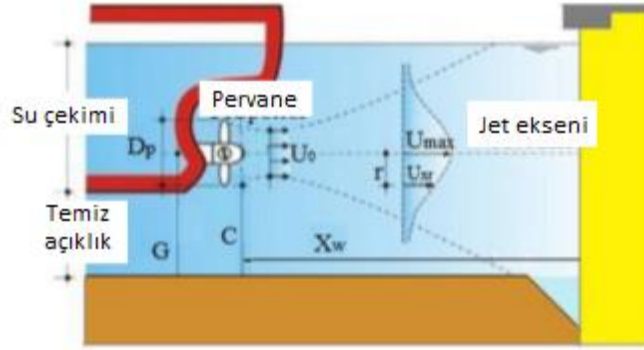
Scours that may occur on the sea floor during the navigation and maneuvers of ships can cause serious problems if precautions are not taken. The estimation of the scours to occur is of great importance for the stability of the port structures. In this study, scour in front of a vertical wall was investigated experimentally. For this purpose, quartz sand with an average sieve diameter of  $d_{50} = 0.24$  mm and a specific mass of  $\rho = 2650$  kg/m<sup>3</sup> was laid on the bottom of the 3.2x2.0x1.0 m test tank. A propeller made of brass with a diameter of 0.06 m was used in the experiments. The propeller was placed in 4 different positions between its axis and the polycarbon-based vertical wall and operated at 3 different rotation speeds. Velocity measurements were obtained using an ADVP operating on the Acoustic Doppler principle. The effects of the distance between the vertical wall and the propeller axis, as well as the propeller rotation speed, on the scour mechanism are investigated both in the direction of the propeller flow and in the lateral direction in front of the wall. The test results are compared with the equations proposed in the literature to estimate the maximum scour in front of the wall. It was determined that the relationship between the test results and the maximum scours obtained from the equations is weak.

#### Key Words

“Scour, Vertical wall, Propeller jet, Confined scour”

## 1. Giriş

Gemilerin liman içindeki seyirleri ya da manevraları sırasında özellikle su derinliğinin az olması durumunda pervane kaynaklı akım, deniz tabanında oyulmalara sebep olmaktadır. Pervane akımı ya pervaneden çıktıktan sonra gelişerek tabana ulaşmakta ya da bir yapıyla etkileşim sonucunda tabana etki etmektedir. Böylece taban malzemesi, askıya geçmekte ve taşınarak oyulma çukuru oluşturmaktadır. Oyulma çukurunun gelişimine dikkat edilmez ve önlem alınmazsa, zaman içerisinde önemli problemlere sebep olmaktadır. Örneğin yapı stabiliteleri bozulabilir ya da tabanda oluşacak yığılmalar sonucunda gemilerin su çekiminin yetersiz kalmasına sebep olabilir (Lull vd., 2021). Şekil 1’de kapalı bir yanaşma yapısının topuğunda oluşan oyulma şematik olarak görülmektedir (PIANC, 2015).



Şekil 1. Kapalı bir yanaşma yapısının topuğunda oluşan oyulma (PIANC, 2015)

Literatürde düşey yüzü bir yapı tarafından sınırlandırılmış tek ya da çift pervane kaynaklı su jeti etkisinde deniz tabanında oluşan oyulmayı inceleyen çalışmalar mevcuttur. Hamill vd. (1999), düşey yüzü bir duvar ile sınırlandırılmış pervane jeti etkileşimi sonucunda duvar önünde oluşan oyulma problemini deneysel olarak inceleyerek maksimum oyulma değerini veren bir ifade önermiştir. Çalışmadaki deneylerde kanat sayıları 3,4 ve 6 olan 4 farklı çapta pervane kullanılmış olup düşey yüzü duvar önünde oluşan oyulma profili incelenirken söz konusu duvar 19 farklı noktaya konumlandırılmıştır. Yüksel vd. (2019), düşey yüzü bir duvar önünde pervane jeti etkisinde oluşan oyulmayı deneysel olarak incelemiş ve oyulma değerini veren bir ifade önermiştir. Söz konusu çalışmada, 6.5 ve 10 cm çaplara sahip pervaneler kullanılmıştır. 3 ayrı duvar konumu için yapılan deneyler duvarsız durum için de tekrar edilmiş ve araştırmacılara sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış şartlar için meydana gelen oyulma profillerini kıyaslama imkânı sunulmuştur. Cui vd. (2020), gemilerin çift pervane kullanması durumunda, pervane dönüş yönlerinin düşey yüzü bir duvar önünde oluşacak oyulmayı nasıl etkilediğini deneysel olarak incelemiştir. Yapılan deneylerde içten dönen çift pervane (İDÇP) ve dıştan dönen çift pervane (DDÇP) kullanılmıştır. Lull vd. (2021), çift pervane kullanan bir geminin manevra hareketleri sırasında pervanenin çalışma yönlerine göre düşey yüzü bir duvar önünde oluşturacağı oyulmayı deneysel bir çalışma ile araştırmış ve oyulmayı veren bir ifade elde etmiştir.

Bu çalışmada, tek pervane kullanılarak düşey yüzü bir duvar önünde oluşan oyulma mekanizması deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Hamill (1987), Hamill vd. (1999) ve Yüksel vd. (2019) tarafından önerilen bağıntularla hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. Hamill (1987), Hamill vd. (1999) ve Yüksel vd. (2019) yaptıkları çalışmalarda deniz tabanını benzeştirmek için kullandıkları kumun  $d_{50}$  değerleri sırasıyla 0.76-3.00 mm ve 0.52 mm’dir. Sunulan çalışmada ise daha ince kum malzemesi ( $d_{50} = 0.24$  mm) için deneyler gerçekleştirilmiş ve önerilen formüllerin geçerlilikleri bu çap değeri için incelenmiştir. Ayrıca, bu çalışmalardan farklı olarak pervane ve duvar etkileşimlerinin yanıl oyulma profilleri üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Deneyler, Kırıkkale Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarında bulunan ve deniz tabanında meydana gelebilecek oyulmaların pervane özelliklerinin, konumunun ve dönüş hızlarının değiştiği durumlarda test edilmesine olanak sağlayan bir deney tankında gerçekleştirilmiştir. Pervanenin farklı hızlarda çalışmasını sağlayan pervane sistemi ve Akustik Doppler prensibi ile çalışan Akustik Doppler Hız Profil Ölçer (ADVP: Acoustic Doppler Velocity Profiler) ile deney esnasında ve sonrasında hız ve taban profilleri ölçümleri gerçekleştirilmiştir. ADVP, Akustik Doppler prensibine göre çalışan, üç doğrultudaki hız bileşenlerini ölçen, yüksek doğruluğa sahip bir hız ölçerdir. Özellikle sınır tabakası ve bazı türbülans ölçümleri için oldukça elverişli olduğundan birçok farklı disiplinde kullanılmaktadır (Sarker, 1998). Çalışmada kullanılan ADVP cihazı titanyumdan yapılmış olup ucunda 4 adet alıcı ve 1 adet verici transdüser bulunan bir proba sahiptir. ADVP’nin çalışma prensibi özetle şu şekildedir: (i) merkezde bulunan sinyal üretici kısa ses sinyalleri üretir, (ii) sinyaller sudaki partiküllere çarpıp geri yansır, (iii) 4 adet alıcı tarafından Doppler kayması algılanır. Şekil 2’de bu durum şematik olarak gösterilmiştir. Şekildeki mavi renkli dalga çifti verici tarafından üretilen sinyali, kırmızı renkli nokta hareket halindeki partikülü, siyah dalga çifti ise alıcı tarafından algılanan Doppler kaymasına uğramış yansıyan sinyali temsil etmektedir. ADVP ile aynı anda hem hız profilleri hem de tabana olan uzaklık değerleri elde edilebilmektedir. Cihazın akustik frekansı 10 MHz’dir. Hız ölçümlerinde 100 Hz frekansında veri toplayabilmektedir. Taban ölçümlerinde frekans değeri 10 Hz’e ulaşabilmektedir. ADVP ile hız ölçümünde noktasal ve hücresele olmak üzere iki farklı yöntem kullanılabilir. Noktasal yöntemde örnek hacmi içindeki bir



$$\sigma_g = \sqrt{d_{84}/d_{16}} \quad (1)$$

Burada,  $d_{16}$  ve  $d_{84}$  sırasıyla taban malzemesinin ağırlıkça %16 ve %84'ünün geçtiği çapları göstermektedir.

Deneylerde kullanılan pervane, pirinç malzemenin yapılmıştır ve pervanenin çapı  $D_p=0.06$  m'dir. Pervane ekseninin tabandan yüksekliği  $y_0=10$  cm olarak seçilmiştir. Hong vd. (2013) ile Tan ve Yüksel (2018) tarafından yapılan çalışmalarda aynı  $y_0$  değeri kullanılmıştır. Çalışmamızda kullanılan pervaneye ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, Römisch (1975)'e göre  $K_T$  (itme katsayısı) belirlenemediği durumlarda 0.35 olarak kabul edilebilmektedir.

**Tablo 1.** Pervane özellikleri

Parametre	Değer
Çap $D_p$ (m)	0.06
Kanat Sayısı $N$	4
Kanat Alanı Oranı $\beta$	0.60
Hatve Oranı $P/D_p$	1.025
İtme Katsayısı $K_T$	0.35

Deneylerde pervane çıkış hızı değerlerini ölçmek ve tabandaki seviye değişimlerini belirlemek için Vectrino II ADVP kullanılmıştır. ADVP kullanarak deney esnasında suyu boşaltmadan ve hasara uğramış deniz tabanında bozulmaya sebep olmadan taban ölçümleri yapmak mümkün olmaktadır.

## 2.2. Pervane Çıkış Hızı Ölçümleri

Pervane çıkışında elde edilen düşey hız dağılımındaki maksimum hız, çıkış hızı olarak tanımlanmaktadır. Verhey (1983), Eşitlik (2) ve (3) ile hesaplanan pervane ve akım Reynolds sayılarının sırasıyla  $7.0 \times 10^4$  ve  $3.0 \times 10^3$  değerlerinden büyük olması durumunda viskoz etkilerin ihmal edilebileceğini ifade etmiştir.

$$Re_{pervane} = \frac{nD_p L_m}{\nu} \quad (2)$$

$$Re_{akım} = \frac{U_0 D_p}{\nu} \quad (3)$$

Burada,  $n$  pervane hızı,  $D_p$  pervane çapı,  $L_m$  pervanenin karakteristik uzunluğu,  $U_0$  pervane jet çıkış hızı ve  $\nu$  kinematik viskozitedir.  $L_m$  değerinin bulunması için Blaauw ve van de Kaa (1978) tarafından Eşitlik (4) önerilmiştir.

$$L_m = \beta D_p \pi \left( 2N \left( 1 - \frac{D_h}{D_p} \right) \right)^{-1} \quad (4)$$

Burada,  $\beta$  pervane kanat alanı oranını,  $N$  pervane kanat sayısını,  $D_p$  pervane çapını,  $D_h$  pervane göbek çapını ifade etmektedir. Pervane jet çıkış hızı için Fuehrer ve Römisch (1977) tarafından verilen Eşitlik (5) kullanılmıştır.

$$U_0 = 1.59nD_p \sqrt{C_t} \quad (5)$$

Burada,  $U_0$  pervane jet çıkış hızı,  $n$  pervane hızı (diğer bir ifade ile 1 saniyedeki dönme sayısı),  $D_p$  pervane çapı ve  $C_t$  ise itme katsayısıdır. Bu çalışmada, pervane dönüş hızı olarak 500, 750 ve 1000 rpm (revolution per minute: bir dakikalık süredeki devir sayısı) değerleri seçilmiştir. Söz konusu pervane dönüş hızları için Eşitlik (5) ile hesaplanan  $U_0$  değerleri sırasıyla 0.47, 0.70 ve 0.94 m/s olarak hesaplanmıştır. Eşitlik (2) ve (3) ile yapılan hesaplama göre, Pervane Reynolds sayısı ( $Re_{pervane}$ )  $1.0 \times 10^4$  ile  $1.4 \times 10^4$  arasında, akım Reynolds sayısı ( $Re_{akım}$ ) ise  $3.3 \times 10^4$  ile  $4.4 \times 10^4$  arasında değişmektedir. Burada,  $Re_{akım}$  değerlerinin  $3 \times 10^3$  değerinden küçük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, Blaauw ve van de Kaa (1978) ile Verhey (1983) tarafından belirtildiği gibi, ölçek etkisi ihmal edilmiştir.

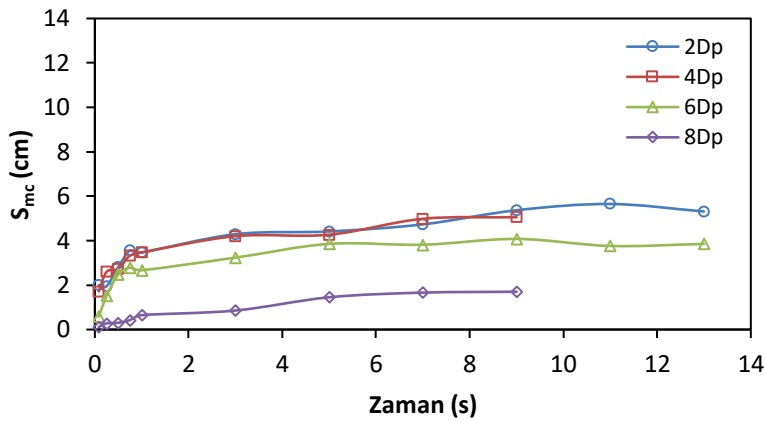
Bu çalışmada, düşey yüzü duvar ile pervane eksenini arasında 4 farklı uzaklık için deneyler yapılmıştır. Deney koşulları Tablo 2'de özet olarak verilmiştir.

**Tablo 2.** Deney koşulları

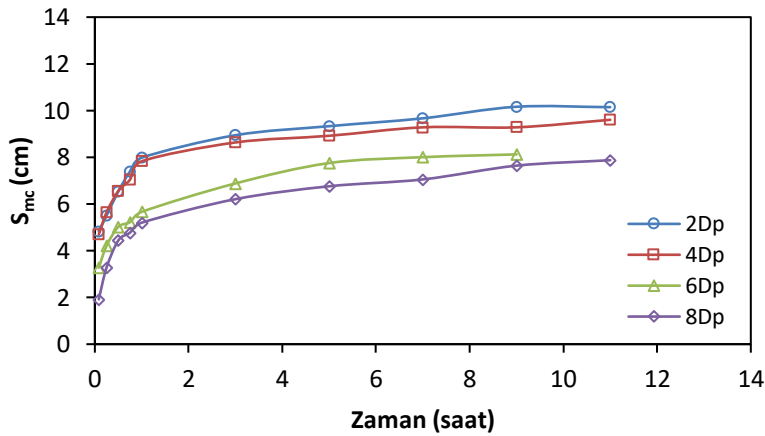
Pervane çapı $D_p$ (cm)	Pervane yüksekliği $y_0$ (cm)	Pervane dönüş hızı (rpm)	Pervane ekseninden uzaklık $X_t$
6.0	10.0	500	$2D_p, 4D_p, 6D_p, 8D_p$
		750	$2D_p, 4D_p, 6D_p, 8D_p$
		1000	$2D_p, 4D_p, 6D_p, 8D_p$

### 2.3. Pervane Akımı Etkisinde Oluşan Oyulmanın İncelenmesi

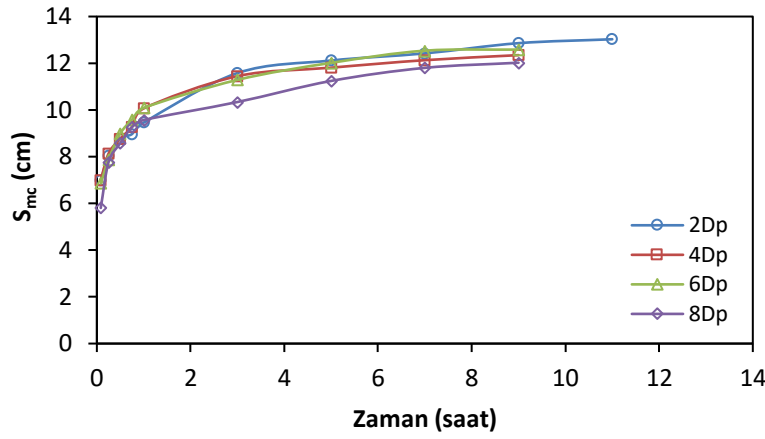
Düşey yüzü duvar önünde pervanenin oluşturacağı jet akımının etkisiyle meydana gelen oyulmanın araştırılması için deneyler Bölüm 2.2’de bahsedilen koşullarda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde pervane çalıştırılmadan önce hem pervane doğrultusunda (duvardan pervaneye doğru) hem de duvara en yakın noktada yanal (pervaneye dik) doğrultuda taban seviyeleri ölçülmüş ve bu değerler referans değerleri olarak kayıt altına alınmıştır. Ölçüm alın noktaları  $4D_p$ ,  $6D_p$  ve  $8D_p$  için 1 cm,  $2D_p$  açıklık için 0.5 cm aralıklarda belirlenmiştir. Her taban ölçüm alın noktası için, pervane çalışmadan önceki referans değerleri ile pervane çalıştırdıktan sonraki ölçülen değerler arasındaki fark o noktadaki oyulma ya da yığılma durumunu vermektedir. Farkın negatif olması tabanda oyulmanın, pozitif olması ise yığılmanın olduğunu gösterir. Pervanenin çalıştırılmasından sonra 5, 15, 30, 45 ve 60. dakikalarda, daha sonra 120 dakika aralıklarla pervane durdurulup sonra taban seviye ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Belirtilen zaman aralıkları için tabanda oluşan oyulmanın zamansal değişimi elde edilmiştir. Hong vd. (2013), pervanenin durdurulup çalıştırılması sırasında tabanda meydana gelebilecek değişimlerin ihmal edilebilir olduğunu ve hatta bunun gemilerin limana girmeleri ve limandan ayrılmaları esnasındaki gerçek manevralarına benzediğini söylemiştir. Deneyler, oyulma profilleri dengeye ulaşınca kadar, yani birbirini takip eden ölçümlerde oyulma derinlikleri arasındaki fark 1 mm oluncaya kadar devam ettirilmiştir. Bu amaca yönelik olarak iki saat aralıklarla taban ölçümüne devam edilmiştir. Şekil 4-6’da sırasıyla 500, 750 ve 1000 rpm dönüş hızlarında maksimum oyulma derinliğinin ( $S_{mc}$ ) zamansal değişimi gösterilmiştir. Söz konusu şekillerde görüldüğü gibi, deney süresi 7-13 saat arasında değişmektedir. Şekil 7’de ise 750 rpm dönüş hızı ve pervane konumu duvardan  $8D_p$  uzaklıkta bulunduğu durumdaki deney için oyulma profilinin zamansal değişimi verilmiştir. Şekilde (0,0) noktası, pervane ucunun kum taban üzerindeki izdüşümüdür. Denge durumu tüm profil boyunca oluşuncaya kadar deneylere devam edilmiştir.



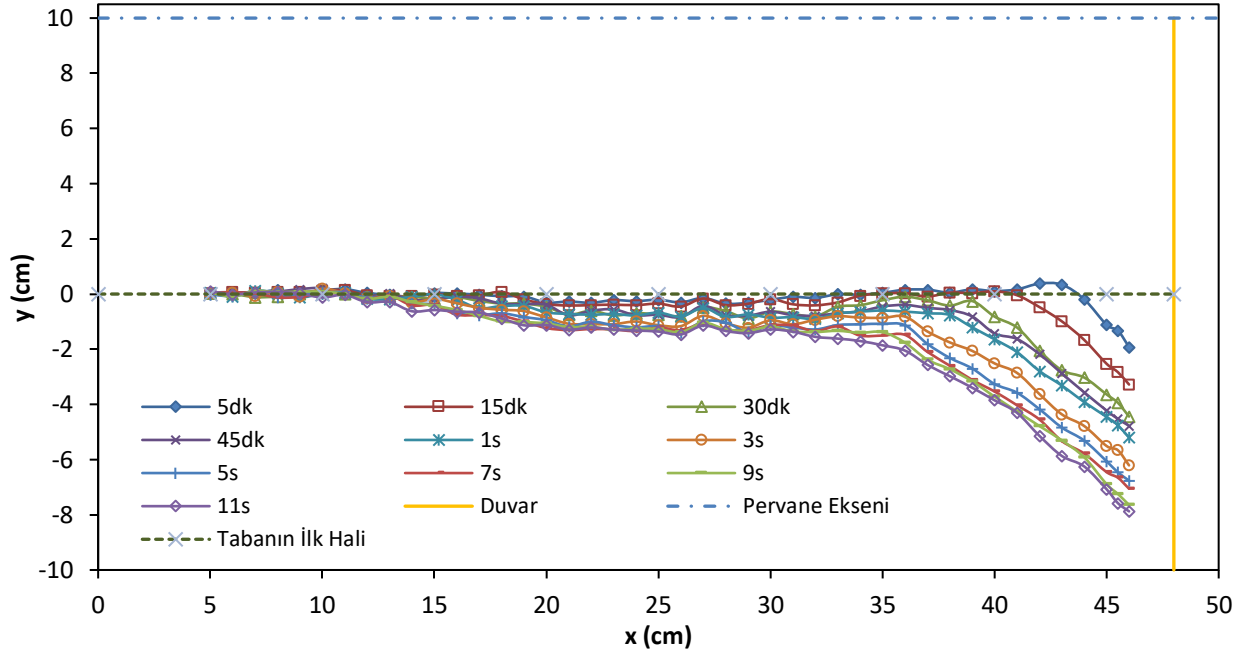
Şekil 4. 500 rpm dönüş hızında  $S_{mc}$  değerinin zamansal değişimi



Şekil 5. 750 rpm dönüş hızında  $S_{mc}$  değerinin zamansal değişimi



Şekil 6. 1000 rpm dönüş hızında  $S_{mc}$  değerinin zamansal değişimi

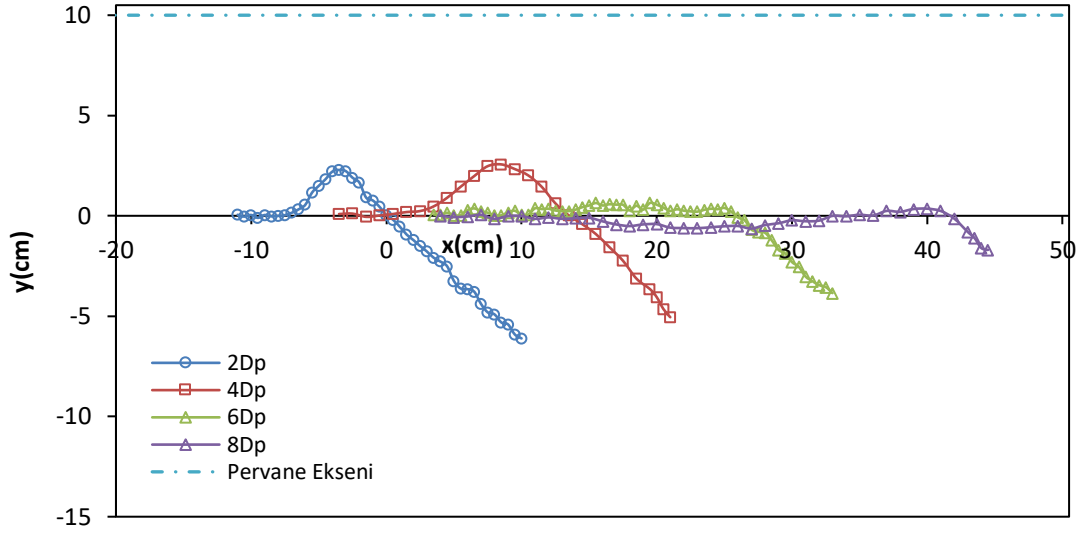


Şekil 7. 750 rpm dönüş hızında oyulma profilinin zamansal değişimi ( $X_w=8D_p$ )

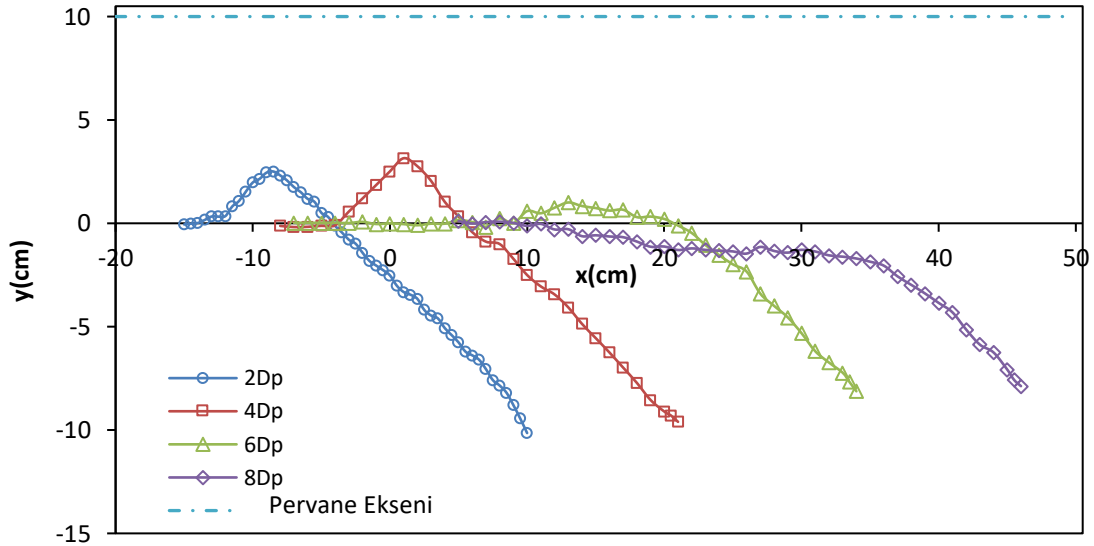
Şekil 8-10'da ise sırasıyla 500, 750 ve 1000 rpm dönüş hızlarında  $2D_p$ ,  $4D_p$ ,  $6D_p$  ve  $8D_p$  pervane-duvar açıklığı için denge durumuna ulaşmış oyulma profilleri gösterilmiştir. Şekillerde (0,0) noktası, pervane ucunun kum taban üzerindeki izdüşüm noktasıdır. 500 rpm dönüş hızında oluşan profillere göre,  $2D_p$  ve  $4D_p$  pervane mesafelerinde oluşan oyulma profilleri aynı özellikler göstermektedir. Duvar önündeki maksimum oyulmalar birbirine oldukça yakın iken, pervane bölgesindeki yığılma yükseklikleri de oldukça yakındır. Her iki durum için hesaplanan şev eğimleri ise sırasıyla  $32^\circ$  ve  $34^\circ$  olarak belirlenmiştir. Pervane açıklığı  $6D_p$ 'ye ulaştığında yığılma yüksekliği ve duvar önü maksimum oyulma azalmıştır.  $8D_p$  pervane açıklığında duvar etkisi önemli ölçüde azalmış ve pervanenin mansabında derinliği az olmasına rağmen, sınırlandırılmamış akım şartlarına benzer bir oyulma profili oluşmuş, ayrıca duvar önünde yine bir oyulma bölgesi ortaya çıkmıştır.

750 rpm pervane dönüş hızında denge durumunda oluşan profiller incelendiğinde, 500 rpm deneylerine benzer şekilde  $2D_p$  ve  $4D_p$  pervane açıklıkları için benzer profillerin oluştuğu görülmektedir. Duvar önünde oluşan oyulma çukuru şev eğimleri ise  $2D_p$  ve  $4D_p$  için sırasıyla  $34^\circ$  ve  $32.52^\circ$ 'dir.  $6D_p$  pervane açıklığında yığılma yüksekliğinin oldukça azaldığı ve benzer şekilde duvar önündeki maksimum oyulmanın da azaldığı görülmektedir.  $8D_p$  pervane açıklığında ise duvar etkisi ile pervane akımının tabanı yıkama etkisinin etkileşimi görülmektedir. Duvar önündeki oyulma çukuru ile pervane yıkama etkisi sonucu oluşmaya başlayan oyulma çukuru sınırları kesişme göstererek her iki profil bu bölgede birleşmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre pervane devir sayısının (rpm) artışı her iki etkiyi de artırmıştır.

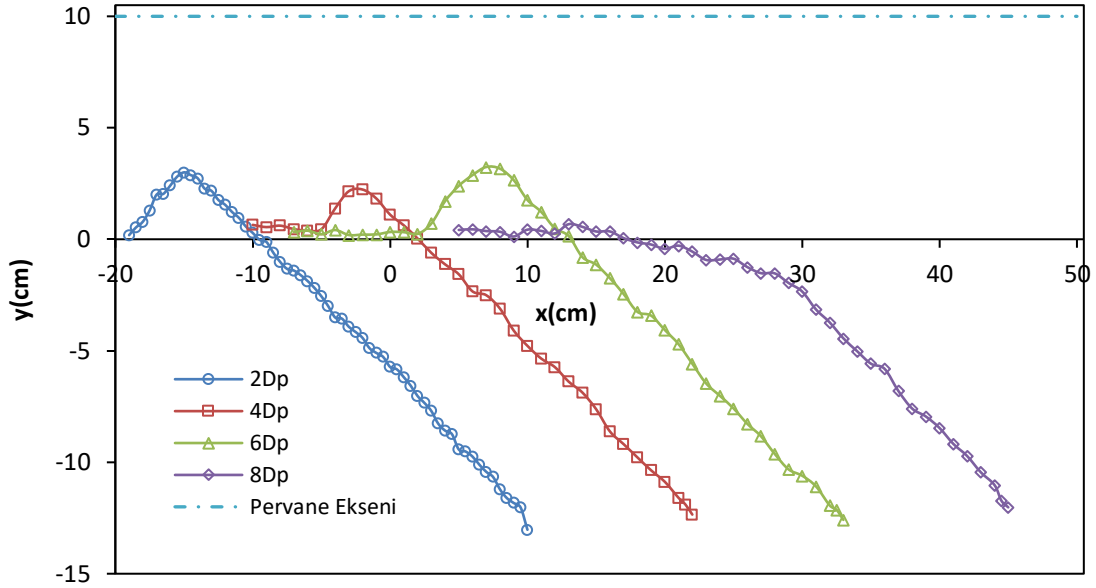
1000 rpm pervane dönüş hızında denge durumunda oluşan profiller incelendiğinde, pervane çıkış hızının artması sonucunda duvar etkisi artmış,  $2D_p$ ,  $4D_p$  ve  $6D_p$  pervane açıklıkları için benzer profillerin oluşmuştur. Duvar önünde oluşan oyulma çukuru şev eğimleri ise  $2D_p$ ,  $4D_p$  ve  $6D_p$  için sırasıyla  $32.62^\circ$ ,  $33.78^\circ$  ve  $32.21^\circ$  olarak ele edilmiştir.  $8D_p$  pervane açıklığında ise duvar etkisi ile pervane akımı tabanı yıkama etkisine göre daha baskın olmasından dolayı sadece duvar önünde oyulma çukuru oluşmuştur. Oyulma derinliği ise daha yakın pervane açıklıklarına oldukça yakın mertebelerde oluşmuştur. Duvar önündeki oyulma çukuru ile pervane yıkama etkisi sonucu oluşmaya başlayan oyulma çukuru sınırları kesişme göstererek, her iki profil bu bölgede birleşmiştir. Yine burada da pervane devir sayısının artışı her iki etkiyi de artırmıştır.



Şekil 8. 500 rpm dönüş hızında  $2D_p$ ,  $4D_p$ ,  $6D_p$  ve  $8D_p$  pervane-duvar açıklığı için denge durumuna ulaşan oyulma profilleri

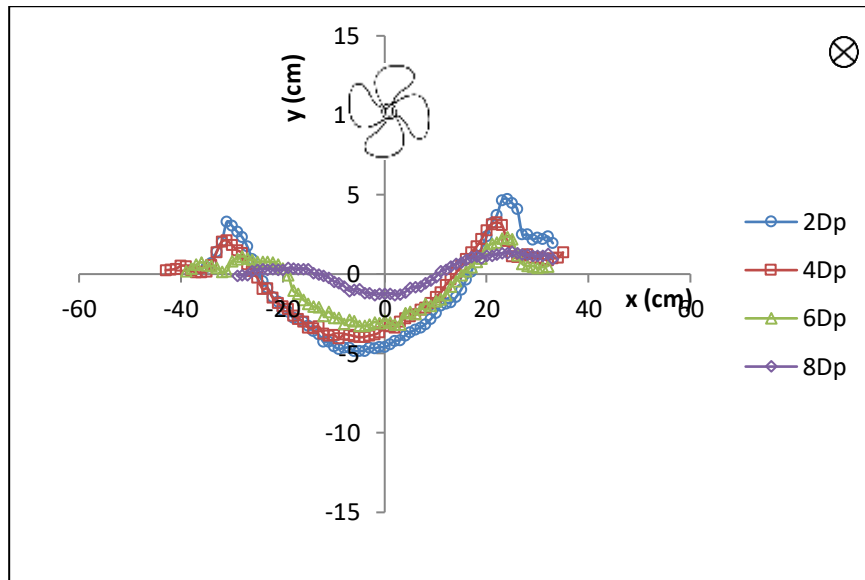


Şekil 9. 750 rpm dönüş hızında  $2D_p$ ,  $4D_p$ ,  $6D_p$  ve  $8D_p$  pervane-duvar açıklığı için denge durumuna ulaşan oyulma profilleri



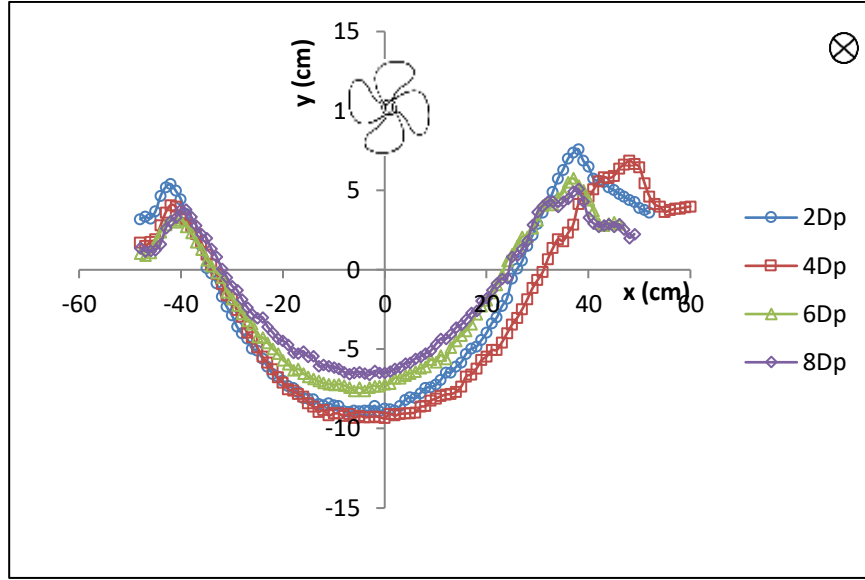
Şekil 10. 1000 rpm dönüş hızında  $2D_p$ ,  $4D_p$ ,  $6D_p$  ve  $8D_p$  pervane-duvar açıklığı için denge durumuna ulaşan oyulma profilleri

Oyulma profillerinin dengeye ulaşması sonucunda yanıl doğrultuda duvar önünde profiller elde edilmiştir. Şekil 11-13'te sırasıyla 500, 750 ve 1000 rpm dönüş hızlarında farklı pervane açıklıklarında oluşan yanıl profiller verilmiştir. Şekillerde (0,0) noktası, pervane ucunun kum taban üzerindeki izdüşüm noktasıdır. Bakış ve pervane yönü sayfa düzleminde içeri doğrudur. 500 rpm için oluşan yanıl profillerde, pervane açıklığının etkisi belirgin iken, 750 rpm dönüş hızında oluşan yanıl profillerde  $2D_p$  ve  $4D_p$  pervane açıklığında profiller birbirine yakın değerler almıştır. 1000 rpm dönüş hızında oluşan yanıl profillerde ise her dört pervane açıklığı için oluşan profillerin birbirine benzer şekilde olduğu gözlenmiştir. Buna göre, pervane çıkış hızındaki artışın pervane açıklığının oyulma profili üzerindeki etkisinin azalmasına neden olacağı sonucuna varılmıştır.

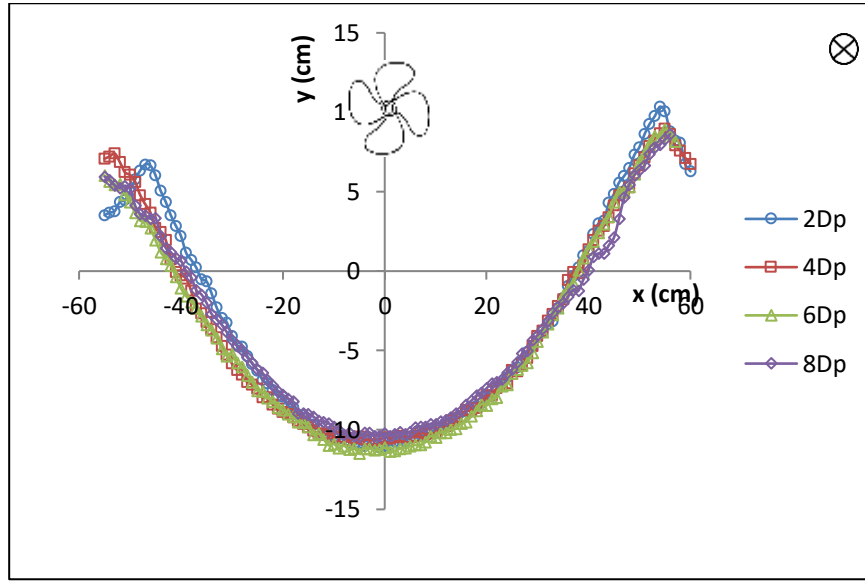


Şekil 11. 500 rpm dönüş hızında ölçülen yanıl profiller



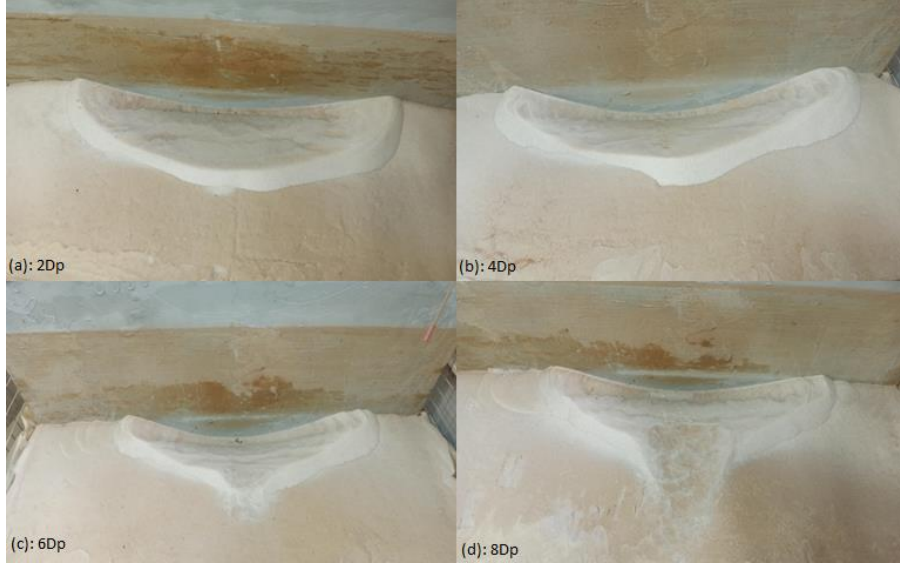


Şekil 12. 750 rpm dönüş hızında ölçülen yanal profiller



Şekil 13. 1000 rpm dönüş hızında ölçülen yanal profiller

Şekil 14'te 750 rpm dönüş hızında denge durumuna ulaşmış oylulma profillerinin deney sonrası çekilen fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 14. 750 rpm dönüş hızında denge durumuna ulaşmış oyulma profillerinin deney sonrası çekilen fotoğrafları

#### 2.4. Maksimum Oyulma Derinliğinin Hesaplanması

Oyulma derinliğinin aldığı en yüksek değer tasarım kriterlerinin en önemli parametresi olduğu için birçok araştırmacı bu yönde odaklanmıştır (Wei vd., 2020). Pervane açıklığına ( $X_w$ ) bağlı olarak oluşan oyulmanın maksimum değerini belirlemek için Hamill (1987) tarafından Eşitlik (7), Hamill vd. (1999) tarafından Eşitlik (6) ve (8)'deki bağıntılar kullanılmıştır.

$$\left(\frac{S_{mc}-S_{mu}}{Z_b+S_{mu}}\right) + 1 = 1.18 \left(\frac{X_w}{X_{mu}}\right)^{-0.2} \quad (6)$$

$$\frac{S_{mu}}{Z_b} = 0.0467 F_0^{1.39} \left(\frac{Z_b}{D_p}\right)^{-1.39} \quad (7)$$

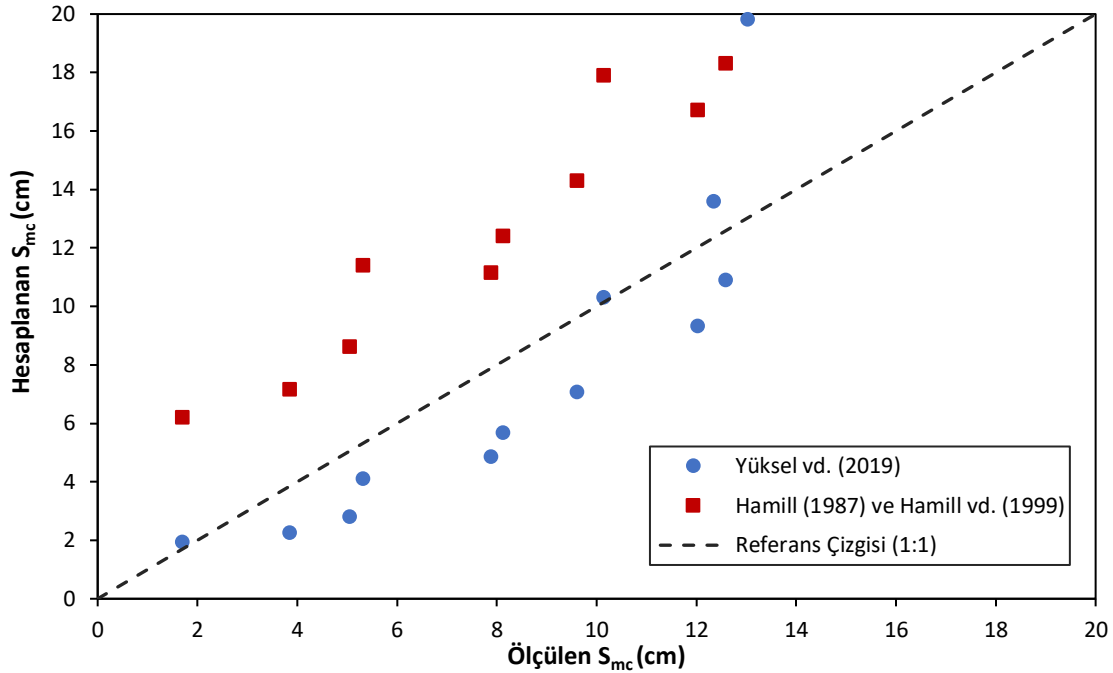
$$X_{mu} = F_0^{0.94} C \quad (8)$$

Burada,  $S_{mc}$  duvar ile sınırlandırılmış pervaneden kaynaklı tabanda oluşan denge durumundaki maksimum oyulma derinliği,  $S_{mu}$  serbest jet durumunda (duvar olmaksızın) denge durumunda tabandaki maksimum oyulma derinliği,  $C$  pervane kanadının ucu ile taban arasındaki mesafe,  $Z_b=D_p/2+C$ ,  $X_w$  pervane açıklığı,  $F_0$  ise yoğunluk Froude sayısı ( $F_0 = \frac{U_0}{\sqrt{gd_{50}\Delta}}$ ),  $D_p$  pervane çapı,  $X_{mu}$  ise pervane ile maksimum oyulma noktasına olan uzaklıktır.

Ayrıca, Yüksel vd. (2019), yaptıkları çalışma sonucunda maksimum oyulma yüksekliği için Eşitlik (9)'da verilen bağıntıyı önermiştir.

$$\frac{S_{mc}}{D_p} = 0.512 F_0^{2.27} \left(\frac{y_0}{d_{50}}\right)^{-0.65} \left(\frac{X_w}{D_p}\right)^{-0.543} \quad (9)$$

Bu çalışmada ölçülen oyulma derinlikleri ile Hamill (1987), Hamill vd. (1999) (Eşitlik (6-8)) ve Yüksel vd. (2019) (Eşitlik (9)) tarafından önerilen bağıntılardan hesaplanan oyulma derinlikleri karşılaştırmalı olarak Şekil 15'te gösterilmiştir. Gözlenen ve hesaplanan değerler arasındaki uyumu belirlemek amacıyla Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) değerleri kullanılmıştır. Buna göre, gözlenen değerler ile Hamill (1987), Hamill vd. (1999) ve Yüksel vd. (2019) tarafından önerilen bağıntılar ile elde edilen sonuçlar arasındaki RMSE değerleri sırasıyla 6.24 ve 2.71 olarak bulunmuştur. Buradaki sonuçlara göre, bu çalışmada elde edilen gözlenen oyulma değerlerinin Yüksel vd. (2019)'nin verdiği bağıntıya (Eşitlik (9)) göre hesaplanan değerlerle daha uyumlu olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 15. Ölçülen ve hesaplanan maksimum oyulmalar ( $S_{mc}$ )

### 3. Sonuçlar

Bu çalışmada, düşey yüzü bir duvara belirli mesafelerde konumlandırılan 0.06 m çaplı pervanenin  $d_{50}=0.24$  mm çapa sahip ve özgül kütlesi  $\rho=2650$  kg/m<sup>3</sup> olarak belirlenen kuvars kumlu tabanda meydana getirdiği oyulma profilleri ile duvara uzaklık ve pervane dönüş hızının oyulma profilleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, kum 3.2x2.0x1.0 m ölçülere sahip deney tankının tabanına yerleştirilmiş 2.0x1.5x0.2 m boyutlarında bir kutu içine serilmiştir. Pervane kendi eksenini ile düşey yüzü duvar arasında 4 farklı konumda yerleştirilmiş ve 3 farklı dönüş hızında çalıştırılmıştır. Pervanenin duvara olan uzaklıkları 2D<sub>p</sub>, 4D<sub>p</sub>, 6D<sub>p</sub> ve 8D<sub>p</sub>, pervane dönüş hızları ise 500, 750 ve 1000 rpm olarak seçilmiştir. Hız ölçümleri Akustik Doppler prensibi ile çalışan ADVP kullanılarak elde edilmiştir.

Dengeye ulaşmış profiller incelendiğinde; 500 ve 750 rpm dönüş hızında oluşan profillerde 2D<sub>p</sub> ve 4D<sub>p</sub> uzaklıkta oluşan profiller benzerlik gösterirken, 6D<sub>p</sub> mesafede oluşan profilde duvar önündeki oyulma derinliğinde ve yığılma yüksekliğinde azalma meydana gelmiştir. 500 rpm hızda 8D<sub>p</sub> uzaklıktaki profilde duvar etkisinin azalmasıyla duvar önünde daha az derinlikte oyulma çukuru oluşmuş ve oyulma profilinin duvar olmadığı durumda meydana gelecek profile benzediği gözlenmiştir. 750 rpm hızda 8D<sub>p</sub> mesafede duvar etkisiyle pervane akımının tabanı yıkaması arasında oluşan etkileşim nedeniyle duvar önü profil ile pervane yıkama etkisiyle oluşan profilin birleştiği görülmüştür.

1000 rpm hızında duvar etkisinin arttığı gözlenmiş olup 2D<sub>p</sub>, 4D<sub>p</sub> ve 6D<sub>p</sub> durumları için benzer profiller elde edilmiştir. Aynı pervane hızında 8D<sub>p</sub> uzaklıkta pervane akımının tabanı yıkama etkisine baskınlığının arttığı ve bunun sonucunda duvar önü oyulma profili ile pervane yıkama profilinin birleştiği gözlenmiştir. 1000 rpm hızında oyulma derinliklerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, dönüş hızı arttıkça duvar etkisi artmakta, diğer taraftan açıklık arttıkça duvar etkisi azalmaktadır.

Duvar önünde oluşan oyulma profilleri yanıl doğrultuda da incelenmiştir. 500 rpm hızında dönen pervanenin oluşturduğu yanıl profillerde pervane açıklığının etkisi belirgin olduğu görülmektedir. Açıklık arttıkça oyulma profillerinin derinliği ve yığılma bölgelerinin yüksekliği azalmaktadır. 750 rpm dönüş hızında oluşan yanıl profillerde, 2D<sub>p</sub> ve 4D<sub>p</sub> pervane açıklığında birbirine uyumlulukta bir artış gözlenmiştir. 1000 rpm dönüş hızında oluşan yanıl profillerde ise her dört pervane açıklığı için oluşan profillerdeki uyumluluk daha da artmıştır. Buna göre, pervane çıkış hızının artması ile yanıl oyulma profilindeki pervane açıklığı etkisinin azaldığı sonucuna varılmıştır.

Maksimum oyulma derinliğini belirlemek için literatürde Hamill (1987), Hamill vd. (1999) ve Yüksel vd. (2019) tarafından verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanan değerler ile deneylerde ölçülen değerler arasındaki uyumu tespit etmek için Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen oyulma değerlerinin Yüksel vd. (2019) tarafından bağıntıyla hesaplanan değerlere uyumunun daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje No: 2018/074) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) (Proje No: 218M428) tarafından desteklenmiştir.

## Referanslar

- Blaauw, H. G., and van de Kaa, E. J. (1978). "Erosion of bottom and sloping banks caused by the screw race of manoeuvring ships." Delft Hydraulics Laboratory, Delft, Netherlands, 1–12.
- Cui, Y., Lam, W. H., Zhang, T., Sun, C., Robinson, D., & Hamill, G. (2019). Temporal model for ship twin-propeller jet induced sandbed scour. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(10), 339.
- Cui, Y., Lam, W. H., Ong, Z. C., Ling, L., Siow, C. L., Robinson, D., & Hamill, G. (2020). Experimental Scours by Impinging Twin-Propeller Jets at Quay Wall. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(11), 872.
- Fuehrer, M., Römisch, K., (1977). Propeller jet erosion and stability criteria for bottom protection of various constructions. In: *Proceedings of P.I.A.N.C, Bulletin No.58.*
- Hamill, G. A. (1987). "Characteristics of the screw wash of a manoeuvring ship and the resulting bed scour," Ph.D. thesis, Queen's University of Belfast, 1987.
- Hamill, G. A., Johnston, H. T. ve Stewart, D. P., (1999). "Propeller Wash Scour Near Quay Walls", *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 125(4):15616, 1999.
- Hong, J. H., Chiew, Y. M., & Cheng, N. S. (2013). Scour caused by a propeller jet. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(9), 1003-1012.
- Llull, T., Mujal-Colilles, A., & Gironella, X. (2021). Twin propeller time-dependent scouring processes. Physical experiments. *Ocean Engineering*, 236, 109461.
- Nortek AS. The Comprehensive Manual for Velocimeters. Technical Report, 2018. Available online: <https://support.nortekgroup.com/hc/en-us/articles/360029839351-The-Comprehensive-Manual-Velocimeters>.
- P.I.A.N.C, (2015). The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, "Guidelines for Protecting Berthing Structures from Scour Caused by Ships". Report No.180, Belgium.
- Römisch K., (1975). Der propellerstrahl als erodierendes element bei anund ablegenamovem von schiffen, *Seewirtschaft Berlin*, Vol.7, Part 7.
- Sarker, A., Flow Measurement Around Scoured Bridge Piers Using Acoustic-Doppler Velocimeter (ADV), *Flow Measurement and Instrumentation*, 9, 217-227, 1998.
- Tan, R. İ., & Yüksel, Y. (2018). Seabed scour induced by a propeller jet. *Ocean Engineering*, 160, 132-142.
- Verhey, H. J. (1983). "The stability of bottom and banks subjected to the velocities in the propeller jet behind ships." Delft Hydraulics Laboratory, Netherlands.
- Wei, M., Chiew, Y. M., & Cheng, N. S. (2020). Recent advances in understanding propeller jet flow and its impact on scour. *Physics of Fluids*, 32(10), 101303.
- Yuksel, Y., Tan, R. I., & Celikoglu, Y. (2019). Determining propeller scour near a quay wall. *Ocean Engineering*, 188, 106331.