T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BÜYÜK ÇAPLI KAZIKLAR ETRAFINDA PERVANE JETİ ETKİSİNDE EROZYON

Ata GÜNEŞER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Hidrolik Programı

Danışman

Doç. Dr. Yeşim ÇELİKOĞLU

Temmuz, 2023

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BÜYÜK ÇAPLI KAZIKLAR ETRAFINDA PERVANE JETİ ETKİSİNDE EROZYON

Ata GÜNEŞER tarafından hazırlanan tez çalışması 25.07.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Yeşim ÇELİKOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Yeşim ÇELİKOĞLU, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Veysel Şadan Özgür KIRCA, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Yeşim ÇELİKOĞLU sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "BÜYÜK ÇAPLI KAZIKLAR ETRAFINDA PERVANE JETİ ETKİSİNDE EROZYON" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ata GÜNEŞER

İmza

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez danışmanım Doç. Dr. Yeşim ÇELİKOĞLU'na yardımları ve desteği, hocam Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL'e her konuda bilgi ve birikimini paylaştığı için sonsuz teşekkürler. Yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyen Hidrolik Anabilim Dalı'ndaki bütün hocalarıma içten teşekkürler.

Sevgili anneme, ablama ve babama maddi, manevi desteklerini esirgemedikleri ve süreçte yanımda oldukları için çok teşekkür ederim.

Ata GÜNEŞER

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR iv
SİMGE LİSTESİ vi
KISALTMA LİSTESİ viii
ŞEKİL LİSTESİ ix
TABLO LİSTESİ xi
ÖZET xii
ABSTRACT xiv
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 6
1.3 Hipotez 6
2 YANAŞMA YAPILARI ETRAFINDA EROZYON 7
2.1. Kapalı Yanaşma Yapıları 8
2.2. Açık Yanaşma Yapıları 10
3 DENEYSEL ÇALIŞMA 19
3.1 Deney Sistemi 19
3.2. Taban Malzemesi 23
3.3 Pervane Sistemi 25
3.4 Boyut Analizi 27
4 DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME 31
4.1 Kazık Etrafında Meydana Gelen Oyulmanın Zamanla Değişimi 31
4.2 Kazık Etrafında Meydana Gelen Oyulmanın Yoğunluk Fr_d Sayısı ile Değişimi 42
4.3 Oyulma Profilinin Gelişimi 47
4.4 Oyulma Geometrisinin Belirlenmesi 58
5 SONUÇ 65
KAYNAKÇA 67
A EK 69
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 72

SİMGE LİSTESİ

Re_f	Akım Reynolds Sayısı
μ	Akışkanın Dinamik Viskozitesi
ν	Akışkanın Kinematik Viskozitesi
D_r	Bağıl Sıkıştırma Yoğunluğu
e	Boşluk Oranı
Fr_d	Densimetrik Froude Sayısı
σ_g	Geometrik Standart Sapma
N	Kanat Sayısı
L_d	Kazığın Arkasından Oyulma Çukurunun Mansap Sınırına Kadar Olan Uzunluk
L_u	Kazığın Önünden Küçük Oyulma Çukurunun Menba Tarafındaki Sınırı Arasındaki Uzunluk
d_0	Kazık Çapı
X	Kazık ile Pervane Arasındaki Mesafe
L_s	Küçük Oyulma Bölgesini de İçeren Oyulma Bölgesinin Toplam Uzunluğu
e_{maks}	Maksimum Boşluk Oranı
e_{min}	Minimum Boşluk Oranı
B	Oyulma Çukurunun Maksimum Genişliği
S	Oyulma Derinliği
D_p	Pervane çapı
U_0	Pervane çıkış hızı
n	Pervane devir sayısı
D_h	Pervane hub çapı
G	Pervane ile kum taban arası mesafe
C_t	Pervane itiş katsayısı
β	Pervane kanat alan oranı
Re_p	Pervane Reynolds Sayısı
rpm	Pervanenin dakikadaki devir sayısı
L_m	Pervanenin karakteristik uzunluğu
h	Su Derinliği
ρ	Suyun Özgül Kütlesi
d	Tane Çapı

ρs	Taban malzemesinin özgül kütlesi
g	Yerçekimi ivmesi
L_t	Yığılma bölgesi de dahil olmak üzere profilin toplam uzunluğu

KISALTMA LİSTESİ

ADV	Acoustic Doppler Velocimetry (Akustik Doppler hız ölçümü)
PIV	Particle Image Velocimetry (Parçacık Görüntü Hızı)
PIANC	Permanent International Association of Navigation
SWL	Still Water Level (Sakin Su Seviyesi)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 "Ephesus Seaways" ro-ro gemi görseli **1**
Şekil 1.2 Kruvaziyer gemi pervanesi **2**
Şekil 2.1 Ağırlık tipi rıhtım yapıları (PIANC, 2015) **8**
Şekil 2.2 Palplanş rıhtım yapıları (PIANC, 2015) **8**
Şekil 2.3 Ağırlık tipi yapıda pasif basınç kaybı hasarı (PIANC, 2015) **9**
Şekil 2.4 Palplanş rıhtım yapısında oluşabilecek hasarlar (PIANC, 2015) **10**
Şekil 2.5 Kazıklı rıhtım yapıları (PIANC, 2015) **11**
Şekil 2.6 Açık tip rıhtım yapısında oluşabilecek hasarlar (PIANC, 2015) **12**
Şekil 2.7 Yan pervanenin görünümü **13**
Şekil 2.8 Yan pervanelerin rıhtım duvarı önünde meydana getirdiği oyulma **13**
Şekil 2.9 Kapalı yapılarda şev üzerinde hasar oluşumu Veldhoven, (2001) **14**
Şekil 2.10 Kapalı yapılarda rıhtım duvarının topuğunda hasar oluşumu Schokking, (2002) **14**
Şekil 2.11 Pervane jeti etkisinde yanaşma yapısı etrafında meydana gelen oyulma (Chin ve diğ., 1996) **15**
Şekil 2.12 Kazık etrafında meydana gelen akım ve vorteksler **16**
Şekil 2.13 Chin ve diğ. (1996) tarafından farklı şartlarda belirlenen oyulma mekanizması **17**
Şekil 3.1 Deney kanalının genel görünümü **19**
Şekil 3.2 Deney sistemi **20**
Şekil 3.3 Pervane sistemi ve kontrol mekanizması **21**
Şekil 3.4 Pervane sisteminin şematik görünümü **21**
Şekil 3.5 Deneylerde kullanılan D_p=10 cm çaplı kazık **22**
Şekil 3.6 Su doldurmadan önce hazırlanan deney düzeneği **22**
Şekil 3.7 Ölçümlerde kullanılan limnimetre **23**
Şekil 3.8 Taban malzemesi granülometri eğrisi (d_{50}=0.52 mm) **23**
Şekil 3.9 Deneylerde kullanılan taban malzemesi **24**
Şekil 3.10 Pervanelerin görünümü **25**
Şekil 3.11 Tanımlanan parametreler ve deney sisteminin şematik görünümü **26**
Şekil 4.1 Farklı zamanlarda oluşan oyulma profilleri (X=d_0, D_p=6.5cm, 45Hz) **32**
Şekil 4.2 Oyulma derinliğinin zaman bağlı değişimi (kazık önünde oluşan) **33**
Şekil 4.3 Oyulma derinliğinin zaman bağlı değişimi (kazık arkasında oluşan) **37**

Şekil 4.4 Kazık önünde ölçülen ve hesaplanan göreceli oyulma derinliklerinin karşılaştırılması (S/D_p) **41**

Şekil 4.5 Kazık önünde ölçülen ve hesaplanan göreceli oyulma derinliklerinin karşılaştırılması (S/d_0) **42**

Şekil 4.6 Oyulma derinliğinin (S/D_p) yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) ile değişimi **43**

Şekil 4.7 Oyulma derinliğinin (S/d_0) yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) ile değişimi **45**

Şekil 4.8 Aynı deney şartlarında farklı kazık konumlarında meydana gelen oyulma profilleri (D_p=6.5cm, 40Hz) **49**

Şekil 4.9 Farklı kazık konumu, pervane çapı ve pervane hızlarında oluşan oyulma profilleri **50**

Şekil 4.10 Oyulmanın şematik gösterimi **58**

Şekil 4.11 Oyulma çukuru genişliğinin yoğunluk Fr_d sayısı ile değişimi **60**

Şekil 4.12 Oyulma profilinin toplam uzunluğunun yoğunluk Fr_d sayısı ile değişimi **61**

Şekil 4.13 Oyulma çukurunun kazık membasındaki uzunluğunun yoğunluk Fr_d sayısı ile değişimi **62**

Şekil 4.14 Oyulma çukurunun kazık mansabındaki uzunluğunun Fr_d sayısı ile değişimi **63**

Şekil 4.15 Oyulma çukurunun toplam uzunluğunun Fr_d sayısı ile değişimi **64**

Şekil Ek1.1 Pervaneye en yakın ($X=0.5d_0$) ve en uzak ($X=5d_0$) kazık konumları için denge durumundaki oyulma profili görselleri **69**

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Katı madde özellikleri **24**
Tablo 3.2 Pervane özellikleri **25**
Tablo 3.3 Deney şartları **27**
Tablo 3.4 Etkili parametreler **28**
Tablo 3.5 Farklı pervane hızları için hesaplanan Reynolds sayıları **29**
Tablo 4.1 Oyulma profilinin karakteristik uzunlukları **59**

ÖZET

Büyük Çaplı Kazıklar Etrafında Pervane Jeti Etkisinde Erozyon

Ata GÜNEŞER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Yeşim ÇELİKOĞLU

Taşıma kapasitesini artırmak, son yıllarda deniz taşımacılığının öncelikli amacı olmuştur. Bu nedenle gemiler, yüksek yük kapasitelerine ulaşabilmek için daha büyük boyutlarda tasarlanmıştır. Bu ilerlemeler, limanlarda önemli değişikliklere yol açmıştır. Liman içindeki su derinlikleri zamanla artış göstermiş, rıhtım duvarları genişletilmiş ve ulaşım kanalları genişletme çalışmalarına tabi tutulmuştur. Ancak, modern gemilerdeki artan güç, limanlarda taban koruması sorunlarına neden olmuştur. Su jetleri, büyük ve güçlü pervaneler sayesinde oluşturulan akımlar nedeniyle seyir yollarında, deniz tabanında, liman şevlerinde ve rıhtım duvarları ile rıhtım kazıkları çevresinde önemli hasarlara yol açabilir.

Bu araştırmada, gemi pervane jetlerinin neden olduğu oyulma olayı, kum tabana yerleştirilmiş dikey silindirik bir kazık etrafında deneysel olarak incelenmiştir. Su jeti, gemi pervanelerinden çıkan akış, dairesel kesitli bir duvar jetine benzetilmektedir. Bu benzetme, deneylerin bir parçası olarak laboratuvar tankında gerçekleştirilmiştir. Deneyler, yatay bir kum tabanı üzerine yerleştirilen silindirik bir kazık üzerinde yapılmıştır. Deneylerde, 6.5 ve 10 cm çapında iki farklı pervane ve 10 cm çapında bir kazık kullanılmıştır. Pervaneler tabandan 10 cm açıklıkta yerleştirilmiş, kazık ise pervane ekseni dikkate alınarak pervaneden kazık çapının katları olacak şekilde farklı mesafelerde konumlandırılmıştır. Bu konumlarda kazık önündeki oyulma miktarları belirlenmiştir. Yoğunluk Froude sayısı ve pervane çapı arttıkça, kazık önünde oyulma derinliğinin arttığı, kazık ile pervane arasındaki mesafe arttıkça kazık önünde oyulma miktarının azaldığı görülmüştür. Kazık

etrafında meydana gelen oyulmanın zamanla değişimi belirlenmiştir. Ayrıca oyulma profiline ait karakteristik uzunluklar belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kazık, Oyulma, Pervane jeti, Pervane erozyonu, Açık tip rıhtım.

ABSTRACT

Propeller Jet Erosion Around Large Diameter Piles

Ata GÜNEŞER

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Doç. Dr. Yeşim ÇELİKOĞLU

In recent years, the primary purpose of maritime transport has been to increase the carrying capacity. For this reason, the ships have been designed in larger sizes and have reached high load capacities. This situation also had an effect on the ports, the depths inside the port increased over time, the quay walls were extended and the transportation channels were widened. As a result of the increase in power in modern ships, the ports started to have problems with the bottom protection. Water jets from larger and more powerful propellers change the flow structure and cause serious damage by causing scour on the sea floor, cruise lines, beveled shores of ports and around quay walls and pier piles.In this study, scour due to ship propeller jets around a vertical cylindrical pile placed on a sand base was investigated experimentally. The water jet from the ship's propellers is simulated as a circular wall jet. The experiments were carried out by considering the cylindrical pile placed on a horizontal and sand base created in the laboratory tank. Two different propellers with 6.5 cm and 10 cm diameters and 10 cm diameter piles were used in the experiments. The propellers were placed at a distance of 10 cm from the base, and the pile was positioned at different distances from the propeller, in multiples of the pile diameter, taking into account the propeller axis. At these locations, the amount of scour in front of the pile was determined. It was observed that as the density Froude number and propeller diameter increased, the scour depth in front of the pile increased and the amount of scour in front of the pile decreased as the distance between the pile and the propeller increased. The variation of the scour around the pile over time was determined. In addition, the characteristic lengths of the scour profile were determined.

Keywords: Pile, Scour, Propeller jet, Propeller erosion, Open type quay**.**

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Gemilerin pervane etkisi, liman yapılarına zarar verecek şekilde akım yapısını değiştirir. Gemi pervanelerinden çıkan su jeti, yanaşma yapılarında aşınmaya ve temel oyulmalarına sebep olur. Bu oyulmalar, kazık çevresindeki erozyonlara benzer şekildedir. Gemi boyutlarının son yıllarda artış göstermesi ve ro-ro gemileri ile yüksek güçlü özel gemi tiplerinin kullanımının yaygınlaşması, söz konusu hasarları daha da artıran etkenler arasında yer almaktadır.



Şekil 1.1 "Ephesus Seaways" ro-ro gemi görseli (DFDS, 2019)

Yanaşma yapılarında ortaya çıkan zararlar, bakım ve onarım maliyetlerinin yanı sıra işletme süreçlerinde aksamalara yol açarak işletme kaybına sebep olabilir. Bu hasarlar, daha sonra yapının stabilitesinde bozulmalara neden olmaktadır. (Şahin ve Çelikoğlu, 2011).

Pervaneden kaynaklanan su jeti, sığ su koşullarında iken erozyon miktarını artırmaktadır. Gemilerin demirleme ve demir alma işlemleri sırasında oluşan jet akımı, katı madde hareketine ve dolayısıyla oyulma ve birikmeye yol açmaktadır. Erozyon etkisiyle biriken malzemeler, su derinliğini etkileyerek gemi ile taban arasındaki mesafeyi azaltmaktadır. (Çelikoğlu vd 2011).

Gemi pervanesi, merkez etrafında dönerken, eksenel, radyal ve teğetsel hız bileşenlerini içeren türbülans bir akım oluşturur. "Jet" terimi burada, bir açıklıktan sürekli olarak akışkanın dışarıya boşalmasını ifade eder ve aynı akışkan içinde sürekli bir akımı temsil eder.

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte yüksek güçte makinelerin kullanılması, pervane sayısının artması ve römorkör kullanmaya ihtiyaç olmaması pervanelerin meydana getirdiği oyulma problemlerini önemli miktarda arttırmıştır. (Hoffmans, 2012)



Şekil 1.2 Kruvaziyer Gemi Pervanesi (Baknalı ve Özcan, 2018)

Gemi pervaneleri etkisinde oluşan oyulmaların tahmin edilmesi, tasarım gemisi özelliklerine yakından bağlı olduğundan, pervane tipi ve çapı, motor gücü, ayrılma ve yanaşma anlarında kullanılan pervanelerin çalışma sistemi gibi çeşitli ve çoğunlukla yapı tasarımcısı tarafından bilinmeyen faktörlere bağlı olduğundan, proje çalışmalarında yeterli düzeyde incelenememektedir.

Kruvaziyer, dökme yük, kuru yük ve römorkör gibi tüm gemi tipleri için problem benzer iken kruvaziyer gemiler özelinde pervane etkisinde taban oyulması sorunu daha özel bir hal almaktadır. Bunun nedeni, kruvaziyer gemilerde kullanılan pervane tiplerinin farklılığından, manevra yeteneklerinin farklı olmasından ve büyük bir kurulu motor gücüne sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Şekil 1.2'de kruvaziyer gemi pervane örneği gösterilmiştir. (Baknalı ve Özcan, 2018)

Erozyona maruz kalan malzeme, limanların belirli bölgelerinde birikerek kanal su seviyesinin azalmasına neden olmakta ve bunun sonucunda navigasyonu etkilemektedir. Sığ su derinliklerinde, pervaneden kaynaklanan su jeti erozyon miktarını artırmaktadır. Erozyonun yaratabileceği sorunlar göz ardı edilirse, liman

yapılarının temellerinde oyulmalar meydana gelmektedir. (Tan ve Yüksel, 2018) Bu sebeple, liman yapılarının tasarımı açısından gemilerin yanaşma ve ayrılma işlemleri sırasında pervanelerinden çıkan su jetinin etkileriyle ilgili akım davranışının belirlenmesi son derece önemlidir.

Son yıllarda deniz taşımacılığında öncelikli amaç taşıma kapasitesini artırmak olmuştur. Deniz taşımacılığındaki temel hedeflerden biri, taşıma kapasitesini artırmaktır. Bu amaçla, gemiler daha büyük boyutlarda tasarlanarak yüksek yük kapasitelerine ulaşmıştır. Bu durum, limanlar üzerinde de etkili olmuş ve zamanla liman içindeki derinliklerin artması, rıhtım duvarlarının uzatılması ve ulaşım kanallarının genişletilmesi gibi önemli değişiklikleri beraberinde getirmiştir. Ancak, modern gemilerdeki artan güç, limanlarda taban koruması sorunlarına yol açmaya başlamıştır. Seyir yollarında, liman şevlerinde, deniz tabanında ve rıhtım duvarları ile rıhtım kazıkları etrafında, daha büyük ve güçlü pervanelerden kaynaklanan su jetleri ciddi hasarlara ve oyulmalara neden olmaktadır. Gemi pervanelerinin oluşturduğu jet akımı, genellikle oyulmanın temel sebebidir. Gemilerin yanaşma ve ayrılma süreçlerinde pervane jetinin taban ve yanaşma yapılarıyla etkileşimi nedeniyle tasarımcılar için önemli bir problem haline gelmiştir.

Pervane kaynaklı oyulmalara yönelik yapılan çalışmalarda, deneysel ve sayısal yöntemler kullanılarak çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Hamill ve diğ. (1999), yapının mevcut olması ve olmaması durumunda pervane jeti etkisinde oyulma oluşumunu deneylerle araştırmışlardır. Her iki durumda da maksimum oyulma derinliğini elde etmek için formüller geliştirmişlerdir.

Kurniawan ve diğ. (2001) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, düzlem bir jetle şekillenen oyulma çukurundaki iki boyutlu akım yapısı, deneysel olarak detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Hareketli bir tabana sahip bir kanala yerleştirilen bir kapak ile batık bir düzlem jet oluşturulmuştur. Jetin hareketli tabanda oluşturduğu erozyon profili zamanla gelişerek dengelenmiştir. Kapaktan çıkan jet, serbest bir jet gibi davranmıştır. Oyulma çukuru, kum üzerine püskürtülen özel bir yapıştırıcı ile sabitlenmiştir, bu sayede rijit bir oyulma çukuru profili elde edilmiştir. Oyulma

çukurundaki akım alanını ölçmek için, ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) kullanılarak farklı konumlarda düşey hız dağılımları ölçülmüştür.

Roulund ve diğ. (2005) tarafından, düşey silindirik bir kazığın çevresindeki akım sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, sayısal model sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Laminer akış koşullarında, at nalı vorteksinin boyutunun Reynolds sayısıyla arttığı, türbülanslı akış koşullarında ise tam tersinin geçerli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, taban pürüzlülüğünün at nalı vortekse etkisinin sınırlı olduğu gözlemlenmiştir.

Yüksel ve diğ. (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışma, kazık çevresindeki akım karakteristiklerini deneysel olarak belirlemeyi amaçlamıştır. Bu araştırmada, pervane jeti, dairesel bir türbülans jeti ile benzer özellikler taşıdığı şeklinde benzetilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, üç boyutlu dairesel türbülanslı su jetinin silindirik bir kazık etrafındaki akım mekanizmasını araştırmaktır. Bu kapsamda, serbest jet, duvar jeti ve kazık etrafındaki duvar jeti durumlarını içeren deneyler yapılmıştır. Taban boyunca farklı pozisyonlarda hız dağılımları ölçülmüştür.

Ozan ve Yüksel (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, bir kazık çevresindeki davranışı incelemek amacıyla batık üç boyutlu türbülans jet akımı, deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada hem rijit tabanda hem de oyulmuş tabanda akımın davranışı analiz edilmiştir. Hız dağılımlarını elde etmek için Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) kullanılmıştır. Deneysel ve sayısal olarak elde ettikleri sonuçların karşılaştırmasını yapmışlardır. Maksimum hız değerlerinin erozyona uğramış tabanda olduğu görülmüştür. Rijid taban ile karşılaştırıldığında maksimum hız değerlerinin azaldığı fakat hız değerlerinin elde edildiği alanın genişlediği belirlenmiştir.

Chin ve diğ. (1996) ile Yüksel ve Yüksel (2010), dairesel duvar jeti etkisi altında fiziksel bir model ile bir kazık etrafındaki oyulmayı araştırmışlardır. Chin ve diğ. (1996), kazıklı yapılar için jet difüzyon mekanizmasını tanımlamış ve oyulma profilleri için yarı ampirik denklemler vermiştir. Yüksel ve Yüksel (2010) küçük çaplı kazıklı yapılar kullanarak (d_0=33 ve 48 mm) farklı kazık konumları için kazık önündeki oyulma miktarlarını belirlemişlerdir. Yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) arttıkça kazık önünde meydana gelen oyulma miktarının arttığı belirlenmiştir.

Kazık etrafındaki maksimum denge oyulma derinliğinin öncelikle yoğunluk Froude sayısının bir fonksiyonu olduğu gösterilmiştir.

Yüksel ve diğ. (2012) kazık etrafında deniz tabanındaki akım özelliklerinin incelenmesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Gemi jetleri hem dairesel duvar jetleri hem de pervane jetleri olarak benzeştirilmiştir. Çalışmalarında, açık tip rıhtım yapıları için (silindirik kazıkların etrafında ve ayrıca şevlerde) jet ekseni boyunca deniz tabanında kayma gerilmesi ve hız profillerini belirlemişlerdir. Pervane jeti deneylerinden elde edilen sonuçlar, şevlerde oluşan erozyonu açıklamak için kullanılmıştır.

Hong ve diğ. (2013) pervane jeti nedeniyle kohezyonsuz taban malzemesi için deniz tabanındaki meydana gelen oyulmanın gelişimini incelemişlerdir. Aynı zamanda yapının mevcut olmadığı durumda maksimum oyulma derinliğinin zamanla değişimini de belirlemişlerdir. Pervane jeti etkisinde oluşan erozyonun boyutlarında en önemli rolün yoğunluk Froude sayısında olduğu görülmüştür.

P.I.A.N.C. (2015), pervaneden kaynaklanan oyulmanın nasıl önlenebileceğine dair bir rapor yayınlamıştır. Bu rapor, yanaşma yapılarının önünde ve çevresinde meydana gelen oyulmayı, yanaşma yapılarının zarar gören bölgelerini ve stabilite risklerini açıklayarak ön plana çıkarmıştır.

Wei ve Chiew (2018) Particle Image Velocimetry (PIV) tekniğini kullanarak, şevli rıhtım yapısı ile pervane arasında kalan bölgede gelişen oyulma çukuru içindeki akım alanını belirlemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Oyulmanın, şevli rıhtımın topuğu etrafında maksimum derinlikte olduğu görülmüştür.

Yüksel ve diğ. (2018), tek bir kazık etrafında pervane jetinin neden olduğu oyulmayı deneysel olarak incelemiştir. Oyulma profillerinin yüksek oranda densimetrik Froude sayısına (Fr_d), pervane çapına (D_p), pervane ile taban arasındaki mesafeye (G) ve kazık çapına (d_0) bağlı olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, kazık önündeki oyulma derinliğini tahmin etmek için yeni ampirik denklemler önermişlerdir.

Tan ve Yüksel (2018), farklı çaptan kohezyonsuz katı madde, farklı pervane yüksekliği, farklı pervane çapları kullanarak test koşullarını genişletmek için benzer bir deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca Hong ve diğ. (2013) tarafından

önerilen formülü de kendi deney sonuçlarından elde ettikleri verileri kullanarak modifiye etmişlerdir.

1.2 Tezin Amacı

Dönen gemi pervanesi, üç boyutlu türbülanslı bir jet akım alanı oluşturur. Ancak, bu akım alanına bir kazık yerleştirildiğinde, akım alanında önemli değişiklikler meydana gelir. Kazık etrafındaki akım alanı oldukça karmaşıktır ve bundan dolayı kazık etrafında tabanda oyulma meydana gelmektedir. Literatürde yapılan deneysel çalışmalarda küçük çaplı kazıklar etrafında oluşan oyulma olayı incelenmiştir. Bu nedenle bu çalışmada, kum taban üzerinde pervane etkisindeki akımın büyük çaplı bir kazık etrafında oluşturduğu oyulmanın belirlenmesi ve pervaneden dolayı oluşan oyulma çukurunun değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda kazıkla pervane arasındaki mesafenin oyulmanın oluşumu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Böylece her bir deney şartında oluşan oyulma profilleri dikkate alınarak oyulma geometrisine ait karakteristik uzunluklar belirlenmiştir.

1.3 Hipotez

Literatürdeki çalışmalara dayanarak, açık tip rıhtımlarda kazık etrafında oluşan oyulmanın pervane çapı, pervane-kazık arası mesafe ve pervane dönüş hızı gibi faktörlere bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, büyük çaplı bir kazık çevresindeki oyulma oluşumunun ve değişiminin belirlenmesi için farklı şartlar altında deneysel bir çalışma planlanmaktadır.

2
YANAŞMA YAPILARI ETRAFINDA EROZYON

Gelişen teknoloji ile birlikte deniz ulaşımı ve taşımacılığı da fazlasıyla gelişmektedir. Son yıllarda ulaşım ve taşımacılık taleplerini yerine getirebilmek için gemiler daha büyük boyutlarda ve daha güçlü tasarlanmaya başlamıştır. Bu gelişim limanlar üzerinde oldukça fazla etkili olmuştur, limanlar büyümüş ve kanalları genişlemiştir. Bunun sonucunda liman tabanlarında sorunlar yaşanmaktadır.

Yanaşma ve ayrılma sırasında gemilerde kullanılan pervaneler yaşanan sorunları büyütmektedir. Kıç pervaneleri, geminin arka kısmına yerleştirilirken, yan pervaneler ise gemi eksenine dik konumlanır. Bu pervaneler, geminin manevra kabiliyetini artırır ve büyük moment etkileri oluştururlar. Yan pervaneler sayesinde gemi yanlama hareketini kontrol edebilirken, kıç pervaneleri ileri-geri hareket kabiliyetini sağlar. Bu nedenle, gemi limanlarda, dar sularda veya diğer gemilerle yakın mesafelerde daha iyi kontrol edilebilir. Pervaneler, gemi dümenine ek olarak kullanılarak istenen rotayı alma veya değiştirme imkanı sunarlar.

Yanaşma yapılarında ortaya çıkan erozyon kıyı eğimi, dalga hareketi, yanaşma yapısı önündeki taban malzemesi, dalga hareketi ve gemi pervane akımlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Tan ve Yüksel, 2018).

Pervane etkisiyle oluşan oyulmanın aşamaları şu şekildedir:

- Pervane, akımı kendisine doğru çekerek deniz tabanında büyük hızlar oluşturur ve oyulma bu bölgede başlar.

- Pervanenin yakınında, akım jet formuna ulaşır. Pervanenin hemen altında daha hızlı akım oluşurken, diğer taraftaki akımdan daha yavaş olabilir. Bu aşamada, özellikle yanaşma yerine yakın olan gemilerin düşük hızlarda ilerlemesi, jetin çapını küçültür. Jet akımı, eksenel harekete benzer şekilde döner.

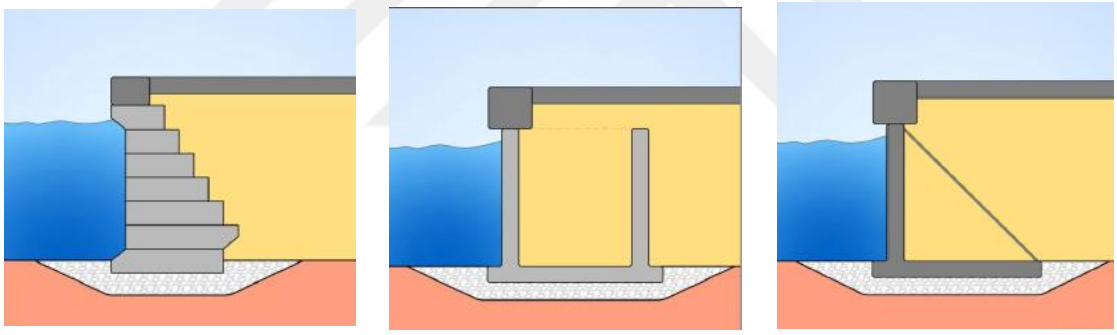
- Jet, çevresindeki akışkanın etkisiyle yavaşça yayılır. Bu aşamada, jet daha homojen ve dairesel bir şekil alarak, bir borudan çıkan basit eksenel bir jet akışına benzer bir görünüm kazanır. Jetin yayılma süreci sonucunda nihayetinde tabana çarparak, pervanenin yakınında daha geniş bir oyulma bölgesi oluşturur (Şahin ve Çelikoğlu, 2011).

2.1. Kapalı Yanaşma Yapıları

Kapalı yanaşma veya rıhtım yapıları deniz etkilerini ön yüzeyleri ile karşılayan ve arka taraflarına geçirmeyen yapılardır, bu yapılar stabiliteleri açısından iki ana gruba ayrılmaktadırlar.

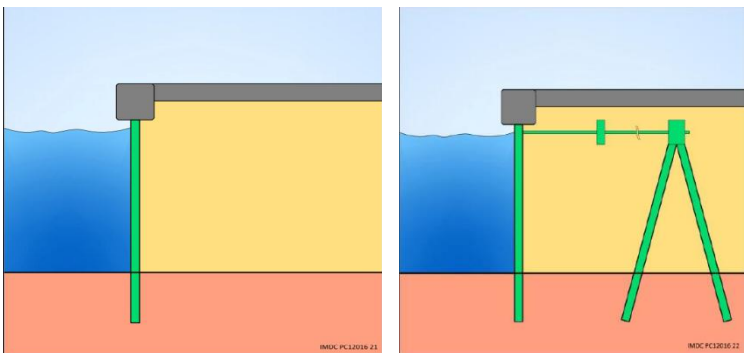
i) Ağırlık Rıhtım Duvarları kendi ölü ağırlıkları ve taban sürtünmesi ile kendisine etki eden yatay ve düşey yüklere karşı koyarlar.

ii) Palplanş Rıhtım Duvarları ise kazık ya da özel olarak imal edilmiş elemanların yan yana çakılması ile inşa edilirler.



Bloklu tip rıhtım yapısı Keson rıhtım yapısı L tipi rıhtım yapısı

Şekil 2.1 Ağırlık tipi rıhtım yapıları (PIANC, 2015)

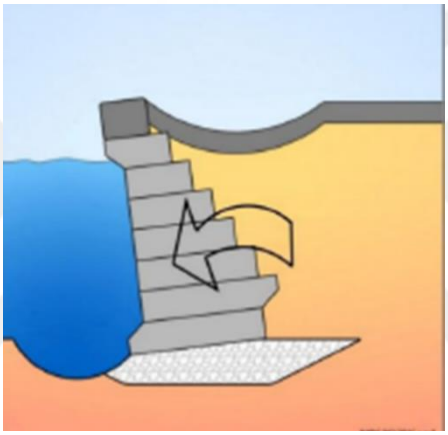


Şekil 2.2 Palplanş rıhtım yapıları (PIANC, 2015)

2.1.1 Kapalı Yapılar için Hasar Mekanizmaları

Bir rıhtım yapısının hasarı, yapının fonksiyonlarını kaybetmesi olarak tanımlanabilir. Çoğu hasar mekanizması, doğrudan veya dolaylı olarak, yapının topuğunda veya kazıklar etrafında pervane kaynaklı oyulma ile ilişkilidir. Ancak, diğer pervane kaynaklı etkilerden dolayı da hasar meydana gelebilir.

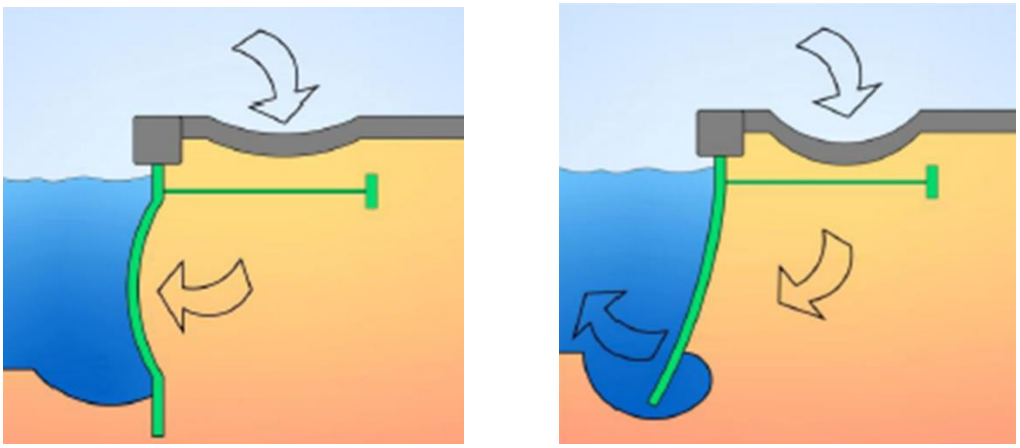
Örneğin, pervanelerden kaynaklanan yüksek jet hızları ile yüzen veya askıda kalan malzemelerin yapıyı zorlamaları sonucunda da hem kapalı hem de açık rıhtım yapılarında hasar meydana gelebilir. Bu gibi durumlar pervane akımının doğrudan bir sonucu olarak yapının zarar görmesine neden olur. Zamanla da korozyona ve bozulmaya yol açarak eğer giderilmezse hasara sebep olur.



Şekil 2.3 Ağırlık tipi yapıda pasif basınç kaybı hasarı (PIANC, 2015)

Ağırlık tipi yapılarda pasif toprak basıncı kaybı oluşur. Rıhtım yapısının önündeki taban malzemesi yapıya pasif toprak basıncını sağladığı için yapının topuğunda meydana gelen oyulma çukuru toprak kaybına neden olabilir.

Oyulma nedeniyle pasif toprak basıncı azaldığında, yapı üzerindeki aktif toprak basıncına karşı direnç azalır bu nedenle yapı dönebilir ve hareket edebilir (Şekil 2.3.).



(a) Pasif basınç kaybı (b) Palplanş ucunda toprak kaybı

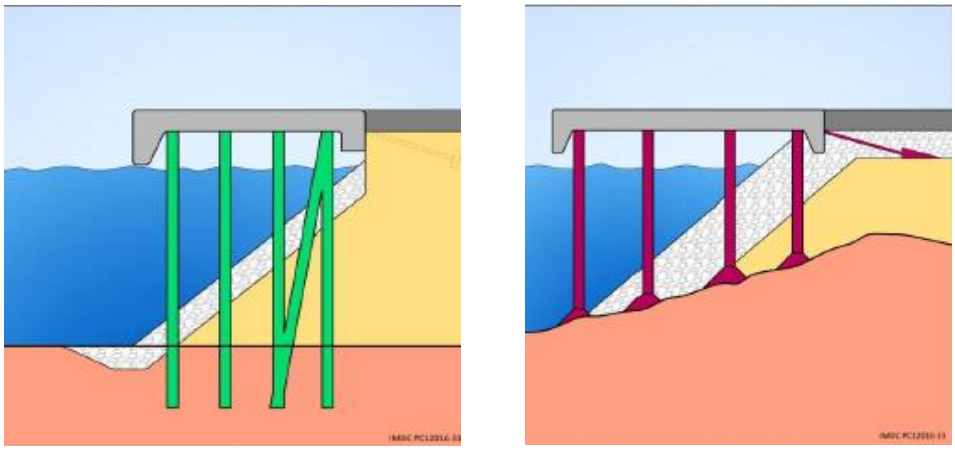
Şekil 2.4 Palplanş rıhtım yapısında oluşabilecek hasarlar (PIANC, 2015)

Yanaşma yapısının önünde bulunan taban malzemesi pasif basınç sağlar ve palplanşın zemin içinde sabitlendiği konumu belirler. Bu malzemenin oyularak taşınması sonucunda, palplanşın kendi üzerindeki yükü artar ve deformasyon meydana gelebilir veya palplanşın arkasında toprak kaybı olabilir.

Oyulma çukuru yeterince büyükse, palplanş ucunun açığa çıkmasına neden olabilir, palplanşın arkasındaki dolgu malzemesinde meydana gelen yıkanma, rıhtım üzerinde bulunan herhangi bir ekipman ve yapı da dahil olmak üzere rıhtımın kara tarafının zayıflamasına neden olabilir. Palplanşların stabilitelerinin bozulmaması ve sabitlendiği noktaların yerinin değişmemesi için, çoğu durumda, oyulma çukurunun ulaşamayacağı derinliklere çakılırlar (Şekil 2.4.)

2.2. Açık Yanaşma Yapıları

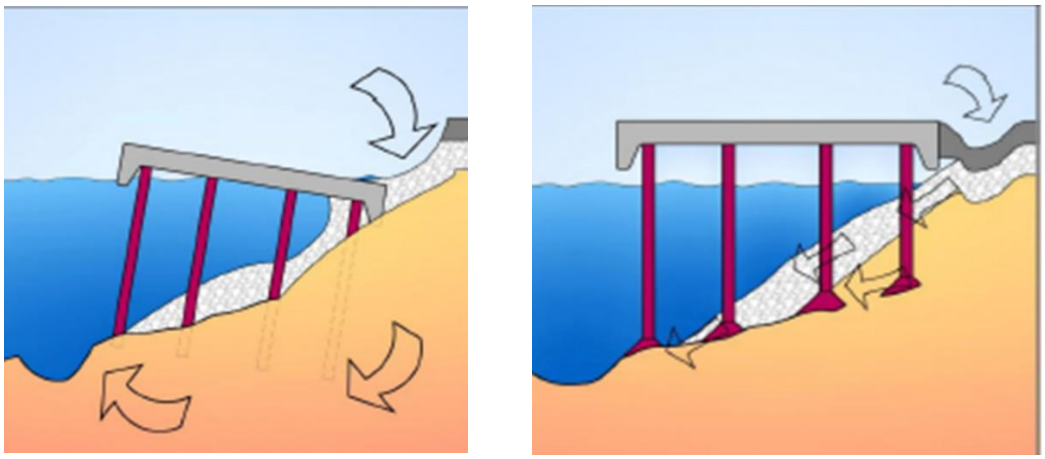
Açık tip rıhtımlar genellikle kazıklı olarak inşa edilir ve şevli bir yapı ile rıhtımı oluştururlar (Şekil 2.5). Bu şevli yapı farklı eğimlerde tasarlanabilir. Şevli yapının sakin su yüzeyine yakın bölgesi dalga etkisine maruz kalırken, tabana yakın kısmı ise gemi pervane jeti etkisine bağlı olarak erozyona uğrayabilir.



Şekil 2.5 Kazıklı rıhtım yapıları (PIANC, 2015)

2.2.1. Açık Tip Yapılar için Hasar Mekanizmaları

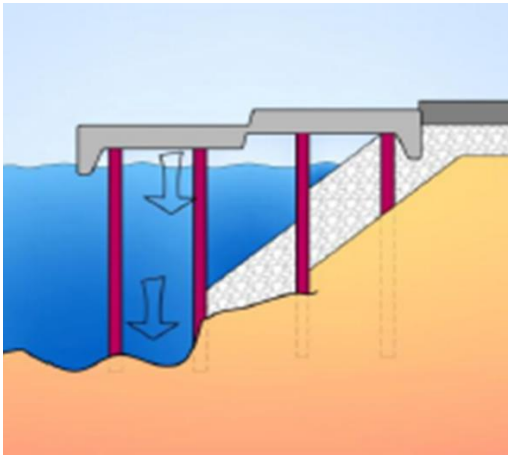
Açık rıhtım yapıları için potansiyel bir hasar mekanizması, rıhtımın altındaki şevle ilgilidir. Rıhtımın önünde meydana gelen oyulmadan dolayı şev topuğunda toprak kaybı oluşur ve dolayısıyla pasif direnç azalır. Bu durumda şevde kayma olabilir. Bu, hem rıhtıma zarar verebilir hem de şevde bulunan kazıklara zarar verebilir (Şekil 2.6a). Ayrıca eğer oyulma şev malzemesini veya varsa şevdeki koruma malzemesini aşındırırsa, erozyon şevde ilerleyebilir ve sonuç olarak rıhtımı zayıflatabilir (Şekil 2.6b).



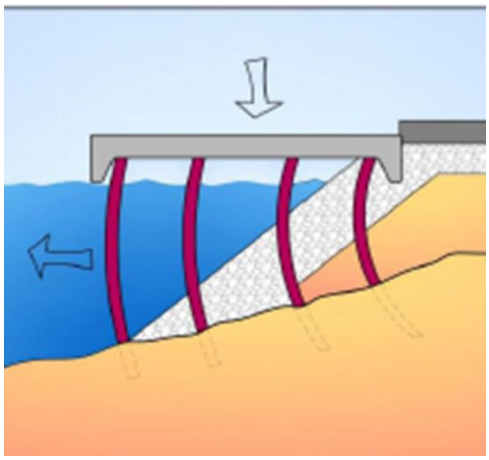
(a) Pasif basınç kaybı

(b) Şev malzemesinin/korumasının erozyonu

Şekil 2.6 Açık tip rıhtım yapısında oluşabilecek hasarlar (PIANC, 2015)



(c) Kazık taşıma kapasitesi kaybı



(d) Kazık burkulması

Şekil 2.6 Açık tip rıhtım yapısında oluşabilecek hasarlar (PIANC, 2015) (devamı)

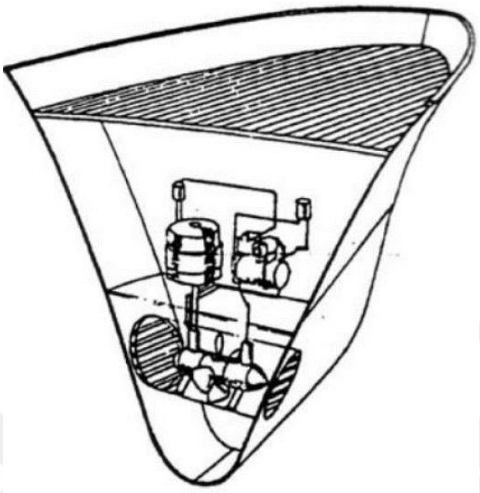
Pervane jeti akımlarına doğrudan maruz kalındığında şevde kademeli olarak erozyon oluşabilir. Kazıklar etrafında meydana gelen oyulma, kazık taşıma kapasitesini, kazık stabilitesini ve kazık bütünlüğünü tehlikeye atabilmektedir.

Kazıklar, toplam taşıma kapasitelerini, kazık ucu taşıma kapasitesi ve/veya kazık yüzeyinin sürtünme kapasitesi aracılığıyla sağlayacak şekilde tasarlanır. Kazık etrafında oluşan oyulma çukurunun derinliği; kazığın gömülü uzunluğunu ve dolayısıyla kazık ile toprak arasındaki temas alanını azalttığı için kazık sürtünme kapasitesi de azalır. Kazık ucunun taşıma kapasitesi ise oyulma çukuru kazığın gömüldüğü derinliğe veya yakınına ulaştığında risk altında olacaktır (Şekil 2.6c).

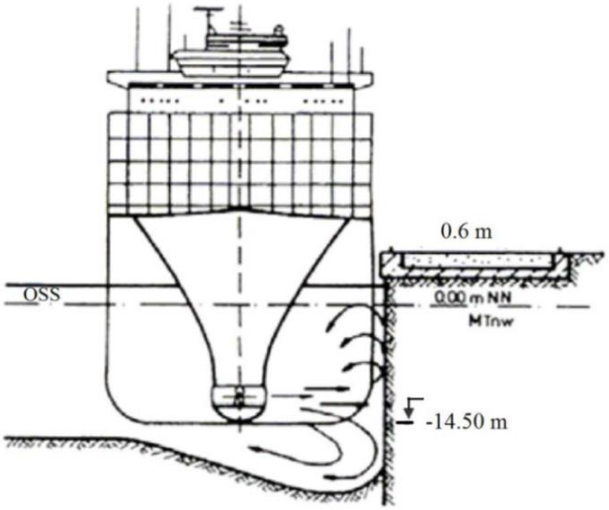
Kazıklar, toprağa gömülmeleri yoluyla yatay kuvvetlere direnirler. Bu nedenle kazıkların etrafında oluşan oyulma, kazığın toprağa gömülü kısmının uzunluğunu azaltır bundan dolayı kazıkların desteksiz kısımlarının uzunluğu artar ve böylece kazıkların eğilme ve burkulma riskinin artmasına da neden olabilir (Şekil 2.6d).

Yanaşma yapılarının etrafında meydana gelen bu oyulmaların en önemli nedenlerinden birisi gemi pervane jetinin yapıların yakınlarındaki akım yapısını değiştirmesidir. Modern gemilerin kıç tarafındaki ana pervanelere ilaveten gemi omurgasına dik olarak yerleştirilmiş genel olarak baş tarafta bazen de kıç tarafında yan pervaneler de bulunmaktadır (Şekil 2.7). Rıhtım altındaki şevlerde veya deniz tabanında meydana gelen en şiddetli erozyon etkisi genellikle hem ana pervaneden hem de yan pervanelerden kaynaklanabilir. Konteyner gemileri, Ro/Ro gemileri ve

feribotların pervanelerinin rıhtım yakınındaki erozyona büyük katkı sağladığı bilinmektedir. Bu pervaneler, gemilerin römorkör yardımı almadan kolayca manevra yapmasını sağlar. Gemilerin yanaşma ve ayrılma işlemlerinde kullanılırlar ve bu esnada rıhtım yapısının önündeki deniz tabanında veya rıhtım altındaki şevde oyulmaya neden olabilirler (Şekil 2.8).



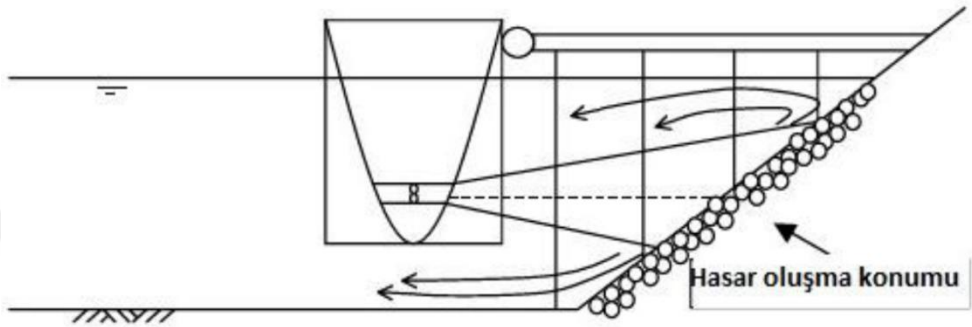
Şekil 2.7 Yan pervanenin görünümü



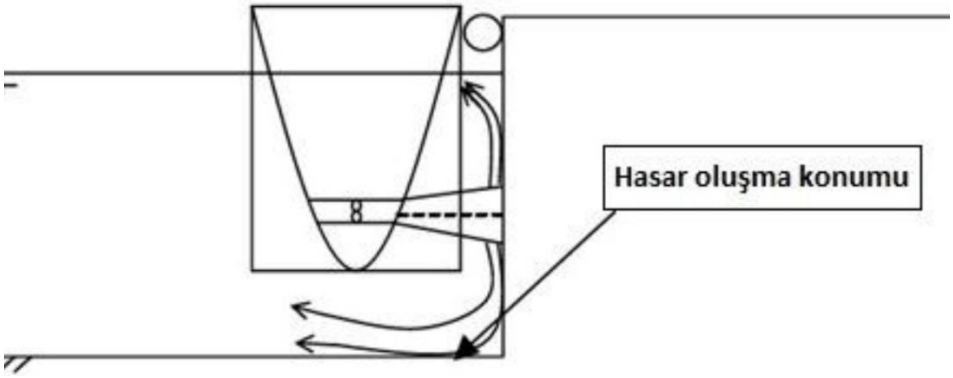
Şekil 2.8 Yan pervanelerin rıhtım duvarı önünde meydana getirdiği oyulma (Tsinker,1995)

Gemilerin yanaşma ve ayrılmaları sırasında, bir rıhtım yapısı üzerinde oluşan hasar genellikle iki şekilde meydana gelir: şev üzerinde ve düşey rıhtım duvarının topuğunda. Şev üzerindeki hasar oluşumuna baktığımızda, yan pervaneler doğrudan koruma tabakasına etki eder. Malzeme dayanıklılığı yeterli değilse, hasar

oluşumu kaçınılmaz olabilir (Şekil 2.9). Rıhtım duvarının alt kısmında meydana gelen hasar durumunda ise yan pervanelerin oluşturduğu jet, rıhtım duvarından yansıyarak tabana etki eder ve böylece tabanda derin bir oyulma çukuru oluşur (Şekil 2.10). Bu tür durumlar, rıhtım yapısının dayanıklılığının önemini vurgulamaktadır ve gemi pervanelerinin çevresel etkilerini dikkate almak gerekmektedir.

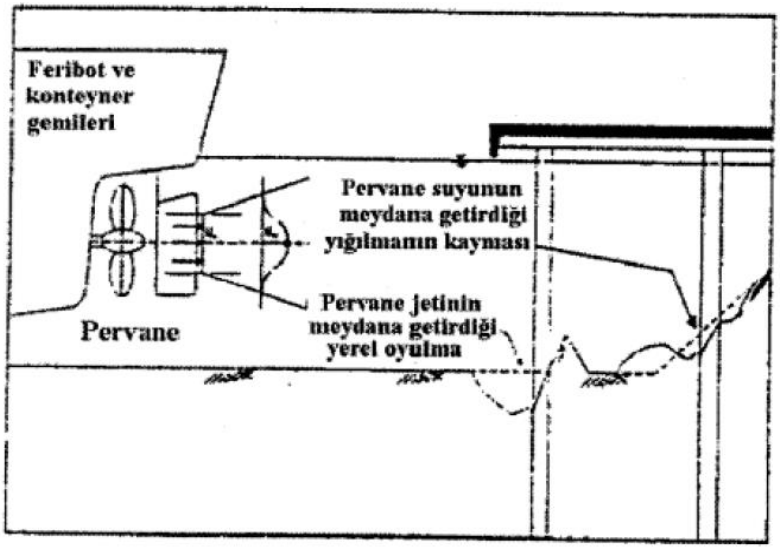


Şekil 2.9 Kapalı yapılarda şev üzerinde hasar oluşumu (Veldhoven, 2001)



Şekil 2.10 Kapalı yapılarda rıhtım duvarının topuğunda hasar oluşumu (Schokking, 2002)

Kazıklı olarak tasarlanan yanaşma yapılarında ise gemi pervanelerinin yarattığı su jeti kazık veya kazık grupları etrafında erozyona neden olur. Açık rıhtım yapılarında oyulmanın oluşumu oldukça karmaşıktır. Oyulma kazıkların etrafında meydana gelebilir veya rıhtım altındaki şevde meydana gelebilir (Şekil 2.11). Chin ve diğ (1996) tarafından yapılan çalışmada düşey bir kazık etrafında meydana gelen oyulma profilinin gelişiminde iki temel mekanizmanın etkili olduğu belirlenmiştir. Bunlar kazık mekanizması ve jetin difüzyon mekanizmasıdır.



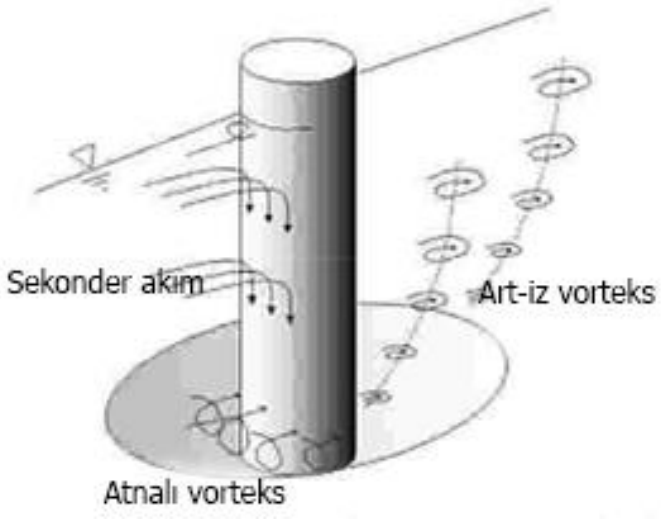
Şekil 2.11 Pervane jeti etkisinde yanaşma yapısı etrafında meydana gelen oyulma (Chin ve diğ., 1996)

Kazık Mekanizması

Kazık nedeniyle jet akımında meydana gelen değişim ve kazığın durgunluk yüzeyi boyunca yapılanan düşey akım kazık mekanizmasını oluşturmaktadır.

Bu mekanizma köprü ayaklarında oluşan yerel oyulma mekanizmasına oldukça benzemektedir. Kazık etrafındaki oyulma çukuru geliştikçe jetin düşey bileşeni dolayısıyla negatif düşey akım hızının artar ve bundan dolayı daha fazla akım oyulma çukuruna doğru yönelir.

İlk aşamada kazık etrafındaki oyulmanın gelişiminde yerel ivme etkili iken, daha sonra negatif akım hızının ve neden olduğu at nalı vorteksin daha etkili olduğu görülmüştür. Oyulma çukuru geliştikçe taban malzemesi vorteks mekanizması ile meydana gelen çevrintili akım yapısı nedeniyle oyulma çukurunun mansabında yığılma meydana getirir (Şekil 2.12).

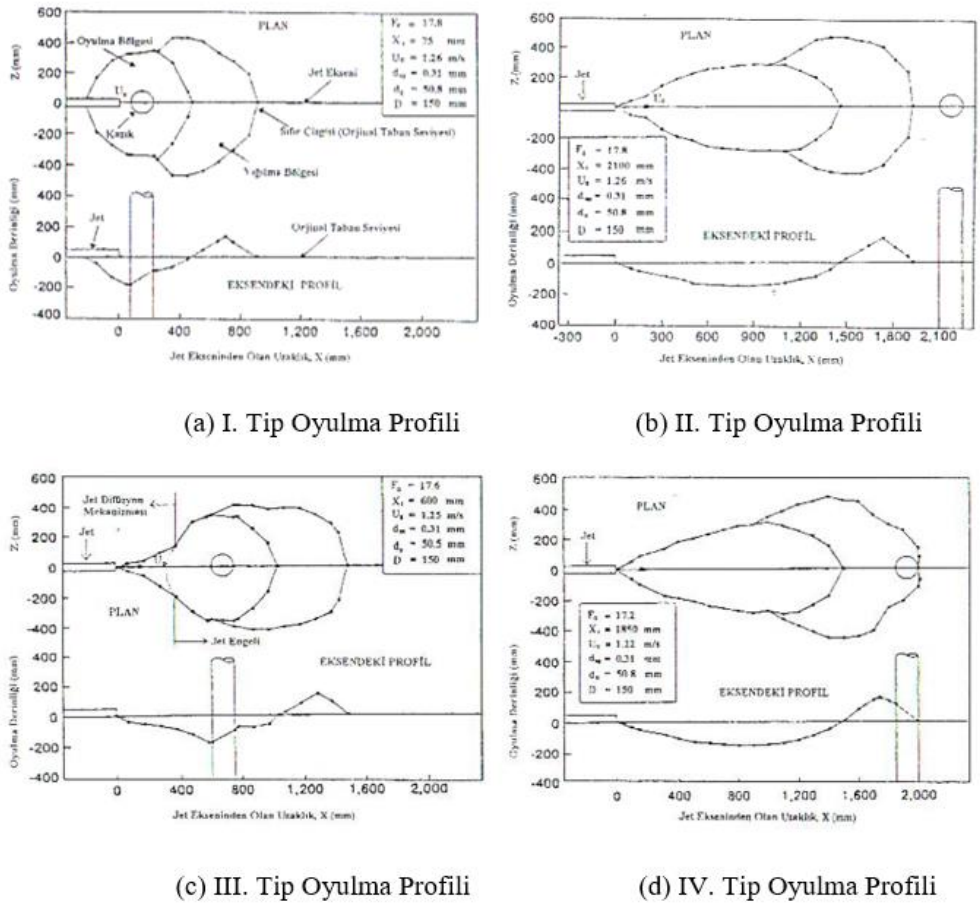


Şekil 2.12 Kazık etrafında meydana gelen akım ve vorteksler

Jet Mekanizması

Oyulmaya neden olan başlıca etkenin jet hızı olduğu bilinmektedir. Pervaneden dolayı oluşan dairesel türbülanslı jet tabanda oyulmaya neden olur. Bu oyulma bir duvar jetinin kazık olmadan meydana getirdiği oyulmaya benzerdir. Erozyona uğrayan katı madde oyulma çukurunun mansabında yığılır. Oyulma çukuru denge konumuna ulaştığında katı maddeler oyulma çukurunun art-iz bölgesinde artık daha fazla mansaba taşınamaz. Kazığın oyulmaya herhangi bir etkisi yoktur.

Oyulma mekanizması Chin ve diğ., (1996) tarafından rölatif jet mesafesi (X/d_0) temel alınarak 4 farklı şekilde belirlenmiştir (Şekil 2.13).



(a) I. Tip Oyulma Profili

(b) II. Tip Oyulma Profili

(c) III. Tip Oyulma Profili

(d) IV. Tip Oyulma Profili

Şekil 2.13 Chin ve diğ. (1996) tarafından farklı şartlarda belirlenen oyulma mekanizması

I. Tip Oyulma Profili: Bu tip oyulmada büyük Frd sayısı ve küçük rölatif jet mesafesi (X/d0) söz konusudur yani kazık jete oldukça yakındır. Oyulmanın gelişimi üzerinde etkin olan büyüklük kazık mekanizmasıdır. Kazık etrafındaki oyulma simetriktir. Maksimum oyulma derinliği daima kazığın önünde meydana gelmektedir.

II. Tip Oyulma Profili: Bu tip oyulma çok büyük rölatif jet mesafesi ve/veya küçük Frd sayılarında oluşmaktadır. Oyulmanın gelişimi üzerinde etkin olan büyüklük jet difüzyonudur. Kazık oyulmanın gelişimini etkilemeyecek kadar uzaktadır. Kazık önünde oyulma meydana gelmemektedir.

III. Tip Oyulma Profili: Kazıkla jet arasındaki mesafe ve Frd sayısı orta büyüklükte olduğunda elde edilmektedir. Kazık oyulma çukurunun içinde kalmaktadır. İki farklı bölge meydana geldiği görülmektedir. Birinci bölge, jet ekseninde kazığın önündeki belli bir bölgeye kadar yayılmaktadır. Burada

erozyonun gelişimi üzerindeki en önemli etken jet difüzyonu mekanizmasıdır. İkinci bölge ise kazık etrafındaki oyulma çukurudur. Burada da erozyonun gelişimi üzerindeki en önemli etken kazık mekanizmasıdır. "Maksimum oyulma derinliği ya kazığın menba yüzünde ya da biraz önünde meydana gelmektedir.

IV. Tip Oyulma Profili: Orta büyüklükte Fr_d sayısı ve kazığın jetten uzak olduğu durumda elde edilmektedir. Oyulma profili hemen hemen II. Tip oyulma profili ile aynıdır. Maksimum oyulma derinliğinin oyulma bölgesinde meydana gelir. Ayrıca oyulma bölgesinden taşınan taban malzemesi kazığın etrafında yığılır.

3
DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Deney Sistemi

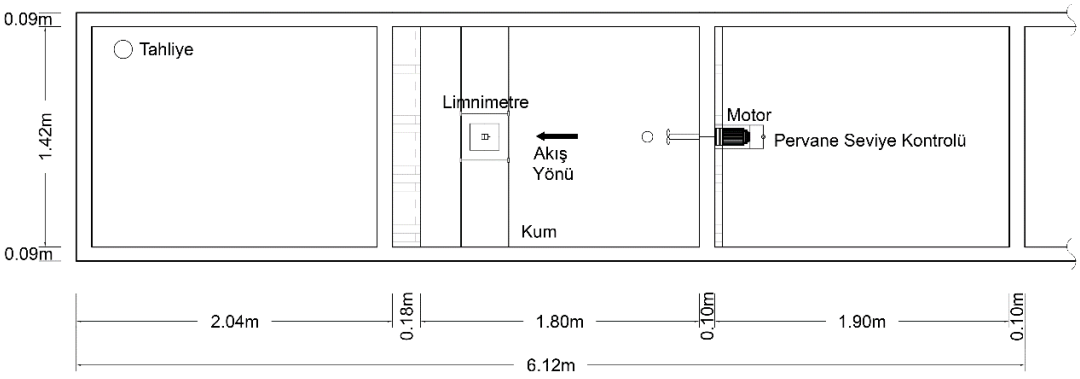
Deneysel çalışmalar, Yıldız Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Kıyı-Liman Laboratuvarı'nda bulunan 6 m uzunluğunda, 1.42 m genişliğinde ve 1 m yüksekliğinde bir su kanalında yapılmıştır. Deneylerin uygulandığı kanalın genel görünümü Şekil 3.1'de sunulurken, deney sisteminin şematik görünümü Şekil 3.2'de yer almaktadır.



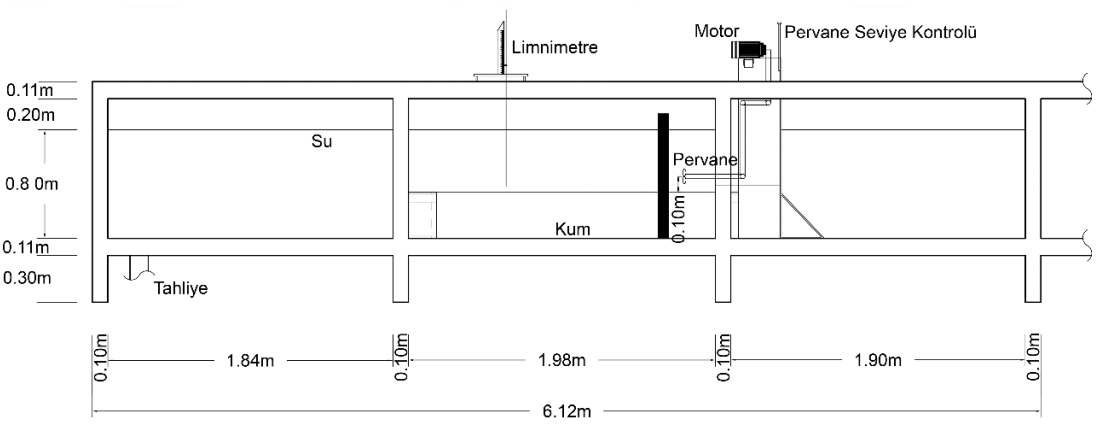
Şekil 3.1 Deney kanalının genel görünümü

Çalışma alanı olarak kanalın 1.56 m uzunluğundaki kısmı kullanılmış ve bu bölgede tabanın üzerine 30 cm yüksekliğinde ortalama tane çapı d_{50}=0.52 mm olan kum malzeme serilmiştir. Kum taban üzerinde 50 cm'lik su yükü oluşturulmuştur. Kanalın içine pervane jetini oluşturacak camdan yapılmış bir kutu sistemi kurulmuştur. Pervane şaftı bu sistemin üzerine yerleştirilmiştir. Pervaneleri sabit hızlarda döndürmek için bir doğru akım elektrik motoru kullanılmıştır. Motor çalıştırıldıktan sonra, pervaneyi farklı dönüş hızlarında döndürmek için motor tork kuvvetini kutudaki kayış sistemi ile aktarmış, böylece deney sırasında kullanılacak dönüş hızı ayarlanmıştır. Ayrıca, pervane şaftı ile kum taban (G) arasındaki mesafe

de bu sistemle ayarlanabilmektedir. Pervane sistemi ve kontrol mekanizması Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



(a) Plan

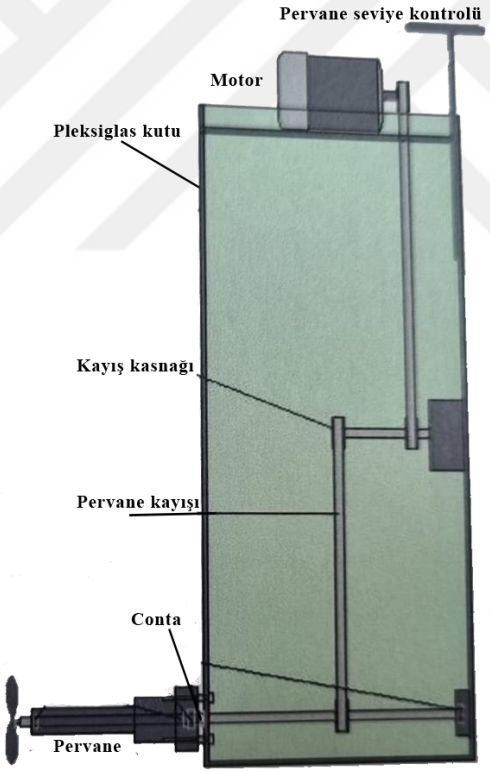


(b) A-A kesiti

Şekil 3.2 Deney sistemi



Şekil 3.3 Pervane sistemi ve kontrol mekanizması



Şekil 3.4 Pervane sisteminin şematik görünümü [16]

Deneylerde d_0=10 cm çapında ve 80 cm yüksekliğinde tek bir kazık modeli kullanılmıştır (Şekil 3.5). Kazığın 30 santimetrelik kısmı kumun içine gömülerek kum üstünde kalan 50 santimetrelik kısım su içinde bırakılmıştır.



Şekil 3.5 Deneylerde kullanılan D_p=10 cm çaplı kazık

Kanalda, her bir deney sona erdikten sonra suyun boşaltılabilmesi için bir tahliye sistemi oluşturulmuştur. Her testten önce kum taban tesviye edilmiş ve kanal, kum tabanı bozmayacak şekilde yavaşça suyla doldurulmuştur (Şekil 3.6). Her bir deney sonunda su tekrar yavaşça boşaltılarak meydana gelen oyulma profilinin bozulmaması sağlanmıştır.

Oyulma oluşumunun değerlendirilebilmesi için her bir deney sonrasında bir limnimetre ile oyulma profili ölçülmüştür. Ölçümler sırasında kullanılan limnimetre Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



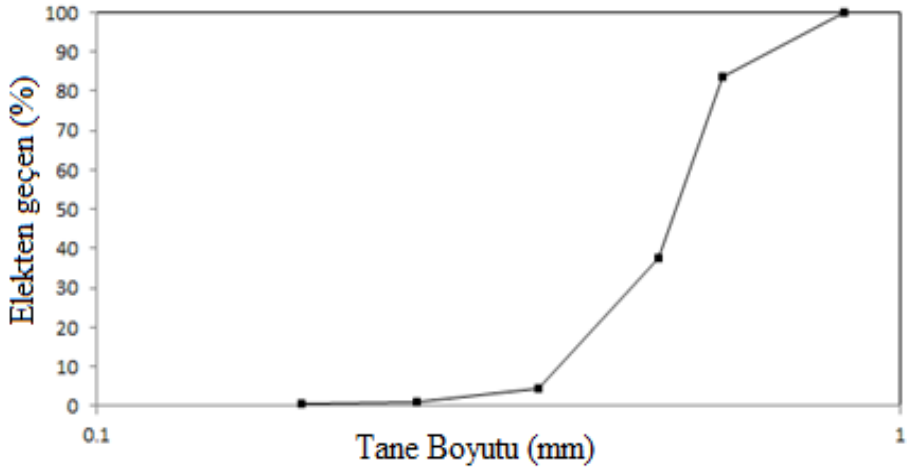
Şekil 3.6 Su doldurmadan önce hazırlanan deney düzeneği



Şekil 3.7 Ölçümlerde kullanılan limnimetre

3.2. Taban Malzemesi

Deneylerde kullanılan taban malzemesine ait granülometri eğrisi Şekil 3.8'de verilmiştir. Granülometri eğrisi kullanılarak malzemeye ait karakteristik çaplar belirlenmiştir. Şekil 3.9'da ise kullanılan taban malzemesi görülmektedir.



Şekil 3.8 Taban malzemesi granülometri eğrisi (d_{50}=0.52 mm)



Şekil 3.9 Deneylerde kullanılan taban malzemesi

Tablo 3.1'de deneylerde kullanılan malzemenin özellikleri verilmiştir. Burada; d_{50} medyan tane çapı, d_{90} malzemenin ağırlıkça %90'nının geçtiği elek çapını, D_r bağıl sıkıştırma yoğunluğunu, e_{maks}, e_{min} ve e boşluk oranlarını, σ_g geometrik standart sapmayı ($\sigma_g=(d_{84}/d_{16})1/2$), d_{84} ve d_{16} sırasıyla malzemenin ağırlıkça %84 ve %16'sının geçtiği elek çapını göstermektedir. Bu malzemeye ait rölatif sıkılık değeri ise Denklem 3.1 ile hesaplanmıştır.

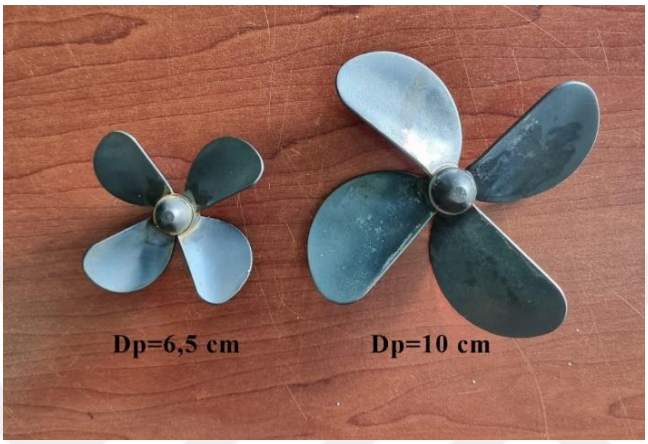
$$D_r = \frac{e_{maks} - e}{e_{maks} - e_{min}} \tag{3.1}$$

Tablo 3.1 Katı madde özellikleri

Parametreler	
d_{50} (mm)	0.52
d_{90} (mm)	0.68
σ_g	1.22
D_r	0.82
e_{maks}	0.91
E	0.54
e_{min}	0.46

3.3 Pervane Sistemi

Deneylerde D_p=6.5 ve 10 cm çapa sahip Wageningen B serisi iki farklı pervane modeli kullanılmıştır (Şekil 3.10). Pervaneler 4 kanatlıdır ve pirinçten üretilmiştir. Her pervane modeli 590, 670 ve 745 rpm (40Hz, 45Hz ve 50Hz) olmak üzere üç farklı dönüş hızında çalıştırılmıştır. Pervaneler tabandan G=10 cm açıklıkta yerleştirilmiştir. Pervane özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.10 Pervanelerin görünümü

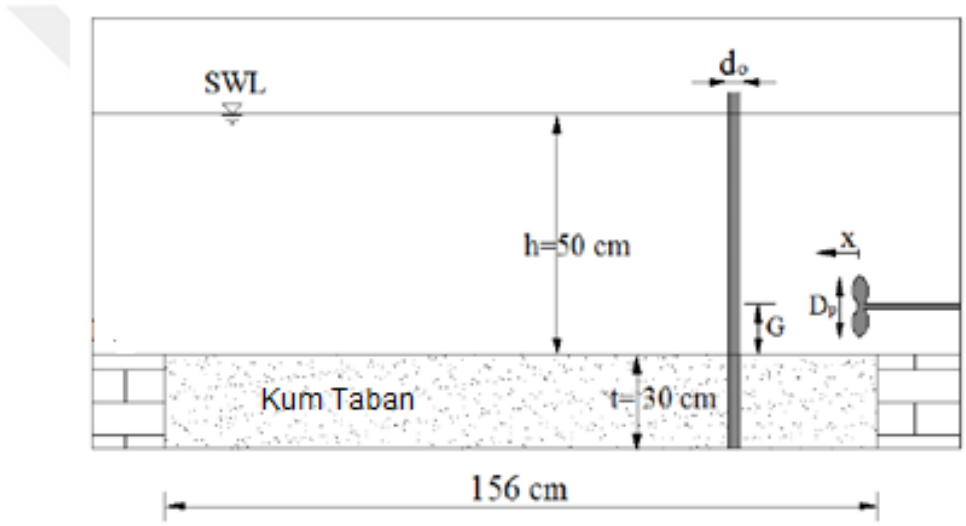
Tablo 3.2 Pervane özellikleri

Parametreler	Pervane 1	Pervane 2
Pervane çapı, D_p (cm)	6.5	10
Kanat sayısı, N	4	4
Kanat alan oranı, β	0.7	0.7
İtiş katsayısı, Ct	0.61	0.61

Deneylerde model ölçeği olarak 1:15 geometrik ölçek faktörü kullanılmıştır. Buna göre 10 cm'lik pervane ve kazık çapı prototipte 1.5 m'ye karşılık gelmektedir. Aynı ölçek Yüksel ve diğ. (2018) tarafından dikkate alınmış ve ayrıca bir kazık etrafındaki oyulmayı tahmin etmek amacıyla pratik uygulamalar için sayısal bir örnek de vermişlerdir. Tsinker (1994) ayrıca tasarımda pervane akımı etkisindeki oyulmayı etkileyen ana faktörlerden birinin, alt omurga açıklığına göre pervanenin konumu olduğunu belirtmiştir. Pervane ekseni ile kum taban arasındaki mesafe (G),

manevra alanlarında önerilen minimum 1.5 m omurga altı açıklığı dikkate alınarak belirlenmiştir (Tsinker, 1994). Dolayısıyla prototipte 1.5 m olan pervane ile taban arasındaki mesafe ölçek etkisi dikkate alınarak model için 10 cm olarak ayarlanmıştır.

Pervane jet akımı etkisinde kazık etrafındaki yerel oyulma mekanizmasının anlaşılabilmesi için kum taban üzerinde bir dizi deney yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılan parametreler kum taban ile pervane ekseni arasındaki yükseklik G, pervanenin dakikadaki devir sayısı rpm, pervane çapı D_p, pervane çıkış hızı U_0, kazık ile pervane arasındaki mesafe X ve kazık çapı d_0 olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Tanımlanan parametreler ve deney sisteminin şematik görünümü

Deneyler sırasında kazık, kazık çapının katları olacak şekilde 8 farklı konuma ($X=0.5d_0$ / d_0 / $1.5d_0$ / $2d_0$ / $2.5d_0$ / $3d_0$ / $4d_0$ / $5d_0$) yerleştirilmiştir. Tüm deneylerde yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) 7.73 – 15.01 aralığındadır ve aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Fr_{\boldsymbol{d}} = \frac{\boldsymbol{U_0}}{\sqrt{g d_{50}(\boldsymbol{\rho_s}-\rho/\boldsymbol{\rho})}} \tag{3.2}$$

Burada U_0 pervane jet çıkış hızı, d_{50} taban malzemesinin medyan çapı, ρ suyun özgül kütlesi, ρs taban malzemesinin özgül kütlesi, g yerçekimi ivmesidir. U_0 Yüksel ve Tan (2018) tarafından verilen Denklem (3.3) kullanılarak belirlenmiştir.

$$\boldsymbol{U_0}=1.42nD_{\boldsymbol{p}}\sqrt{\boldsymbol{C_t}} \quad (3.3)$$

Burada n pervane hızı D_p pervane çapı ve C_T itiş katsayısıdır. Yapılan bütün testler için deney şartları Tablo 3.3'te özetlenmiştir.

Tablo 3.3 Deney şartları

Pervane Konumu (X)	Pervane çapı (D_p, cm)	Pervane hızı (rpm)	Kazık Çapı (d_0, cm)	Yoğunluk Froude Sayısı (Fr_d)
$0.5d_0$	6.5	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
	10	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
d_0	6.5	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
	10	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
$1.5d_0$	6.5	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
	10	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
$2d_0$	6.5	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
	10	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
$2.5d_0$	6.5	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
	10	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
$3d_0$	6.5	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
	10	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
$4d_0$	6.5	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
	10	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
$5d_0$	6.5	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01
	10	590 / 670 / 745	10	7.73 – 15.01

3.4 Boyut Analizi

Kazık etrafındaki oyulma derinliğini belirleyebilmek için etkili parametrelerin tespiti gerekmektedir. Tabandaki oyulmanın oluşumu için Tablo 3.4'te bulunan parametreler kullanılarak aşağıdaki fonksiyon oluşturulmuştur.

Tablo 3.4 Etkili parametreler

	Parametreler	Sembol	Birim	Boyut
Akışkanı karakterize eden parametreler	Akışkanın özgül kütlesi	ρ	kg/m^3	ML^{-3}
	Akışkanın kinematik viskozitesi	ν	m^2/s	L^2T^{-1}
	Akışkanın dinamik viskozitesi	μ		
Akımı karakterize eden parametreler	Pervane jet çıkış hızı	U_0	m/s	LT^{-1}
	Pervane devir sayısı (dönüş hızı)	n	Rpm (Hz)	
	Su derinliği	h	m	L
Taban malzemesini karakterize eden parametreler	Taban malzemesi medyan çapı	d_{50}	m	L
	Katı madde özgül kütlesi	ρ_s	kg/m^3	ML^{-3}
	Oyulma derinliği	S	m	L
Geometriyi karakterize eden parametreler	Kazık çapı	d_0	m	L
	Pervane çapı	D_p	m	L
	Pervane ekseninden tabana olan düşey mesafe	G	m	L
	Kazıkla pervane arasındaki mesafe	X	m	L
	Pervanenin karakteristik uzunluğu	L_m	m	L
Diğer parametreler	Yerçekimi ivmesi	g	m/s^2	LT^{-2}

$$S=f(U_0, D_p, n, d_{50}, G, \rho, \mu, g, \nu, \rho_s, d_0, L_m, h, X) \quad (3.4)$$

Bu etkili parametreler esas alınarak Langhaar Metodu yardımıyla boyutsuz büyüklükler elde edilmiştir. Göreceli oyulma derinlikleri (S/D_p veya S/d_0) aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\frac{S_{maks}}{D_p}, \frac{S_{maks}}{d_0} = \left(Fr_d, Re, \frac{D_p}{d_0}, \frac{G}{D_p}, \frac{G}{d_0}, \frac{X}{d_0}, \frac{G}{d_{50}}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{L_m}{D_p}, \frac{h}{D_p} \right) \quad (3.5)$$

Rajatratham (1978), Reynolds sayısının 10^4'ü aşması durumunda viskoziteden kaynaklanan ölçek etkilerinin göz ardı edilebileceğini belirtmiştir. Bu çalışmada, pervane çalışma hızlarında (590, 670 ve 745 rpm) pervane Reynolds sayısı (Re_p) ve akım Reynolds sayısı (Re_f) sırasıyla 1.3×10^4 – 3.8×10^4 ve 4.6×10^4 – 14×10^4 aralıklarında değişmiştir. Bu nedenle, viskozitenin etkileri göz ardı edilmiştir. Tablo 3.5, pervanenin dönüş hızlarını ve karşılık gelen Reynolds sayılarını göstermektedir, burada Re_f akım Reynolds sayısı ($=U_0D_p/v$), Re_p pervane Reynolds sayısı ($=nD_pL_m/v$) ve n saniyedeki pervane dönüş hızıdır (rpm). L_m, Blaauw ve Van de Kaa [15] tarafından önerilen denkleme göre hesaplanmıştır.

$$L_m = \beta D_p \pi \left(2N \left(1 - \frac{D_h}{D_p} \right) \right)^{-1} \quad (3.6)$$

Burada D_h pervane hub çapı, β pervanenin kanat alanı oranı ve N kanat sayısıdır. Sistemde hub olmadığında D_h/D_p oranı 0 olarak kabul edilmektedir.

Tablo 3.5 Farklı pervane hızları için hesaplanan Reynolds sayıları

Pervane çapı D_p (cm)	Pervane dönüş hızı (rpm)	Akım Reynolds Sayısı Re_f ($\times10^4$)	Pervane Reynolds Sayısı Re_p ($\times10^4$)
6.5	590	4.6	1.3
6.5	670	5.2	1.5
6.5	745	5.9	1.6
10	590	11	3.0
10	670	12	3.4
10	745	14	3.8

Hong ve diğ. (2013) h/Dp'nin oyulma oluşumu üzerindeki etkisinin ihmal edilebileceğini belirtmişlerdir. Su derinliği (h), jet çapından (D_p) altı kat daha büyükse, bu etki Faruque ve diğerleri (2004) ve Sarathi (2015) tarafından batık jetler için de önerildiği gibi göz ardı edilebilir. Bu nedenle mevcut çalışmada su

seviyesi (h) pervane çapı (D_p) ile karşılaştırıldığında yeterince büyük olduğundan, bu çalışmada h/Dp'nin etkisi ihmal edilmiştir. ρ, ρ_s ve d_{50} deneylerde değişmediğinden etkileri ihmal edilmiştir. Bu çalışmada G=10 cm sabit olarak dikkate alınmıştır. Dolayısıyla G/d_0 parametresi ihmal edilmiştir.

Parametreler ihmal edildikten sonra, boyutsuz göreceli oyulma derinlikleri aşağıdaki gibi basitleştirilmiştir.

$$\frac{S_{maks}}{D_p}, \frac{S_{maks}}{d_0} = \left(Fr_d, \frac{D_p}{d_0}, \frac{G}{D_p}, \frac{X}{d_0}, \frac{L_m}{D_p} \right) \tag{3.7}$$

Benzer çalışma daha önceden küçük çaplı kazıklar için gerçekleştirilmiştir. Ancak mevcut çalışmada büyük çaplı kazık (d_0=10 cm) yapısı dikkate alınmıştır.

4
DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

4.1 Kazık Etrafında Meydana Gelen Oyulmanın Zamanla Değişimi

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 memba tarafındaki eğimi doğrultusunda yukarı doğru ittiği sonucuna varmışlardır ancak katı madde taneleri geri dönüp çökelerek 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 (± 1 mm olacak şekilde) ölçülmüş ve oyulma profilleri elde edilmiştir. Oyulma profili pervane dönmeye başladıktan sonra belirli bir zamanda denge koşullarına ulaşmaktadır. Bu nedenle, tüm deneylerde denge durumuna ulaşıldıktan sonra bu süre 240 dakika olarak belirlenmiştir Deneyler doğrulama amacıyla birkaç kez tekrar edilmiştir. Sonuç olarak oyulma derinliğinin 240 dakika sonra dengeye ulaştığı kabul edilmiştir. Bu da toplam sürenin yaklaşık olarak %30'u geçtiğinde maksimum oyulma derinliğinin (S_{maks}) %70'inden fazlasına ulaştığını göstermiştir. Aynı zamanda, oyulma profilinin büyük kısmının, toplam deney süresine kıyasla çok kısa bir sürede meydana geldiği de görülmüştür. Pervane $X=d_0$ konumunda iken 6.5 cm çaplı pervane 45Hz dönüş hızında çalışırken gerçekleştirilen deney için 20. ve 210. dakikalarda oluşan oyulma profillerinin görselleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.2 ve 4.3'te ise farklı pervane çapları ve hızları için farklı kazık konumlarında d_{50}=0.52 mm'ye sahip taban malzemesi üzerinde kazık önünde ve

arkasında oluşan maksimum oyulma derinliğinin zamanla gelişimi ayrı ayrı görülmektedir.

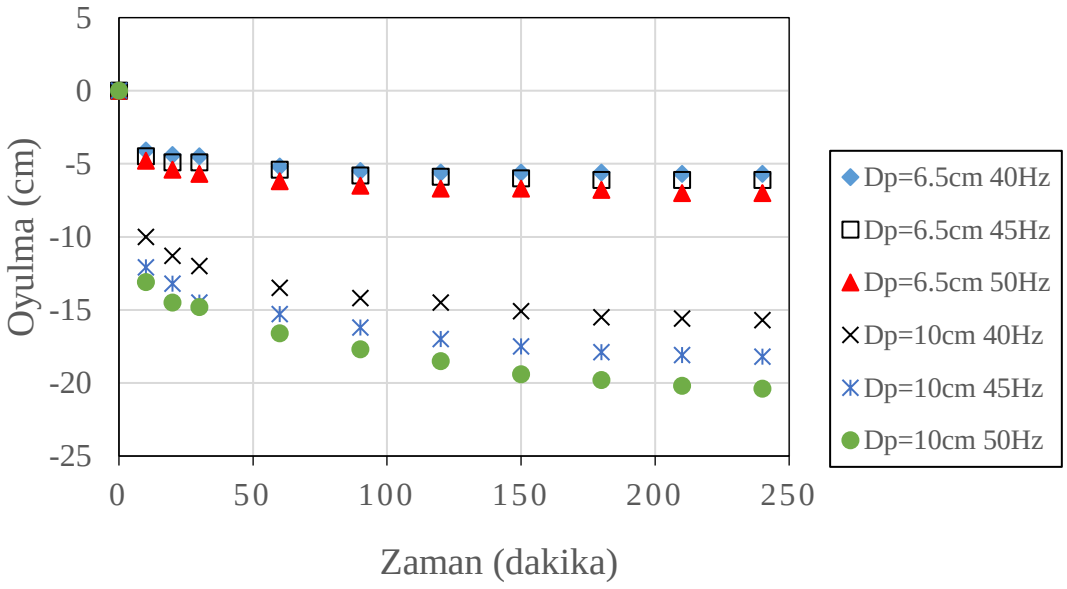


(a) t=20. dakika

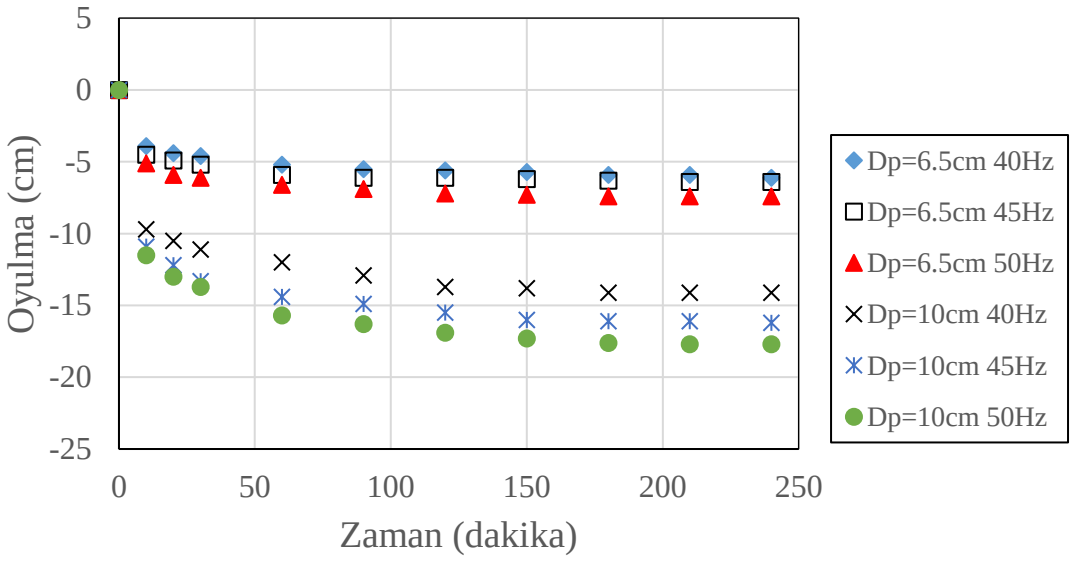


(b) t=210. dakika

Şekil 4.1 Farklı zamanlarda oluşan oyulma profilleri ($X=d_0$, D_p=6.5cm, 45Hz)

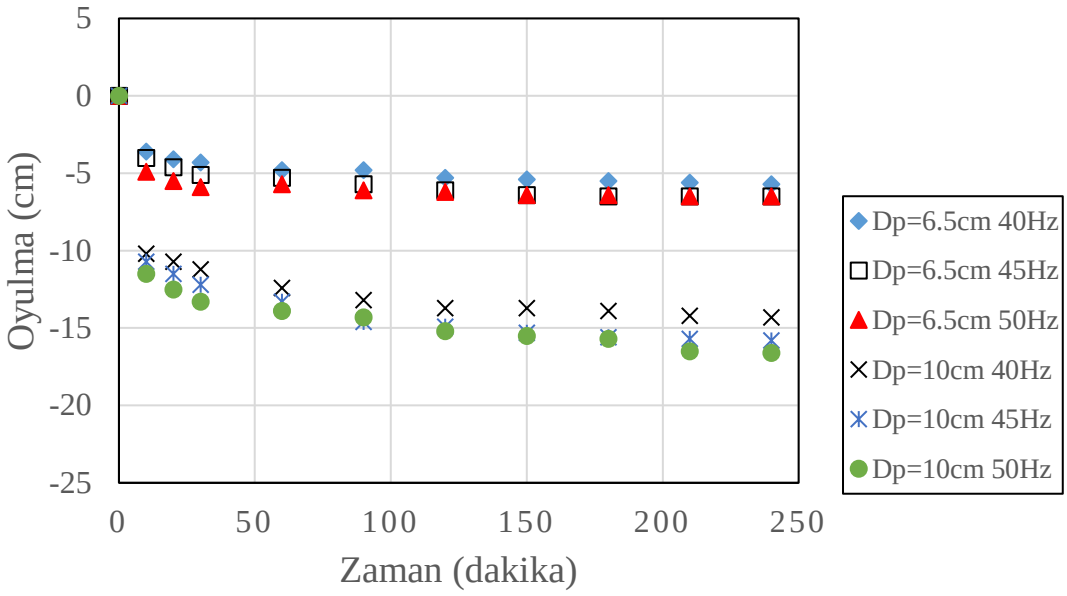


(a) $X=0.5d_0$

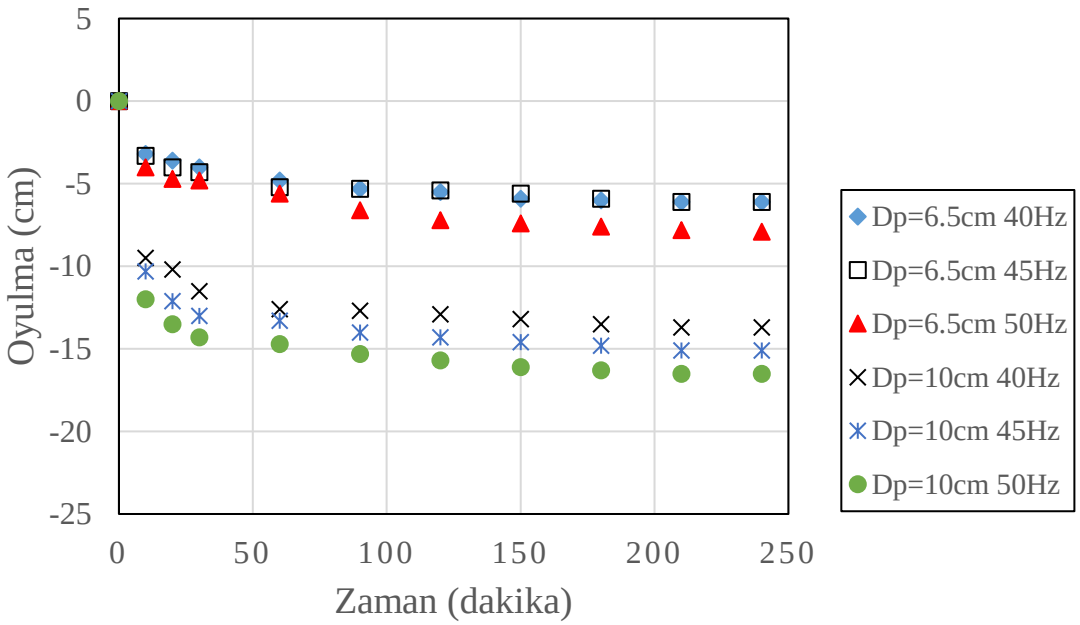


(b) $X=d_0$

Şekil 4.2 Oyulma derinliğinin zaman bağlı değişimi (kazık önünde oluşan oyulma)

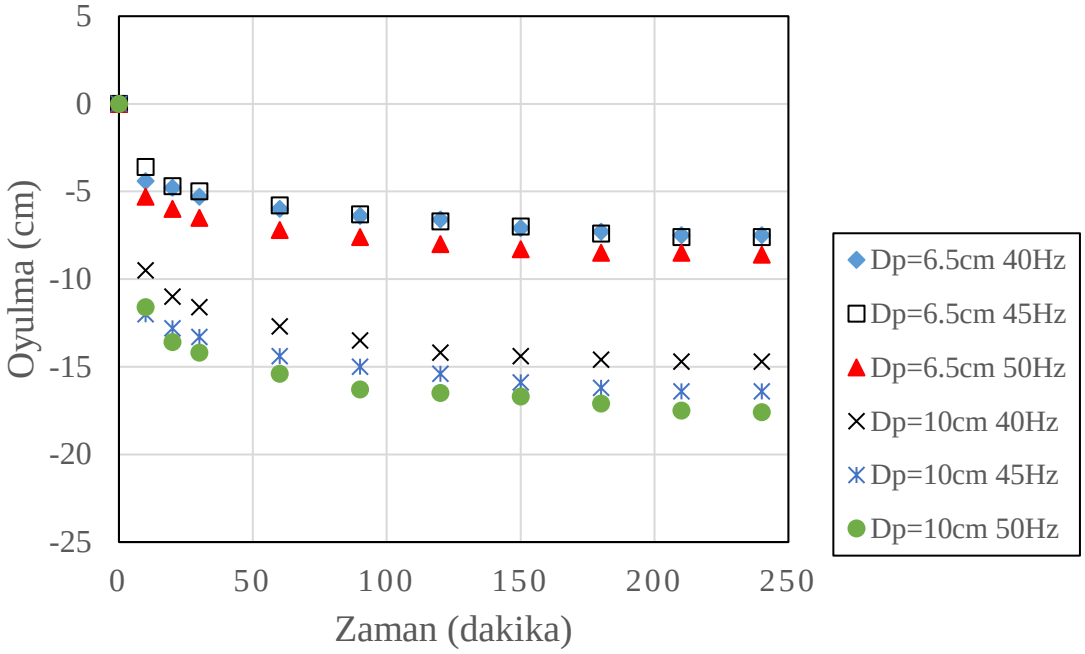


(c) $X=1.5d_0$

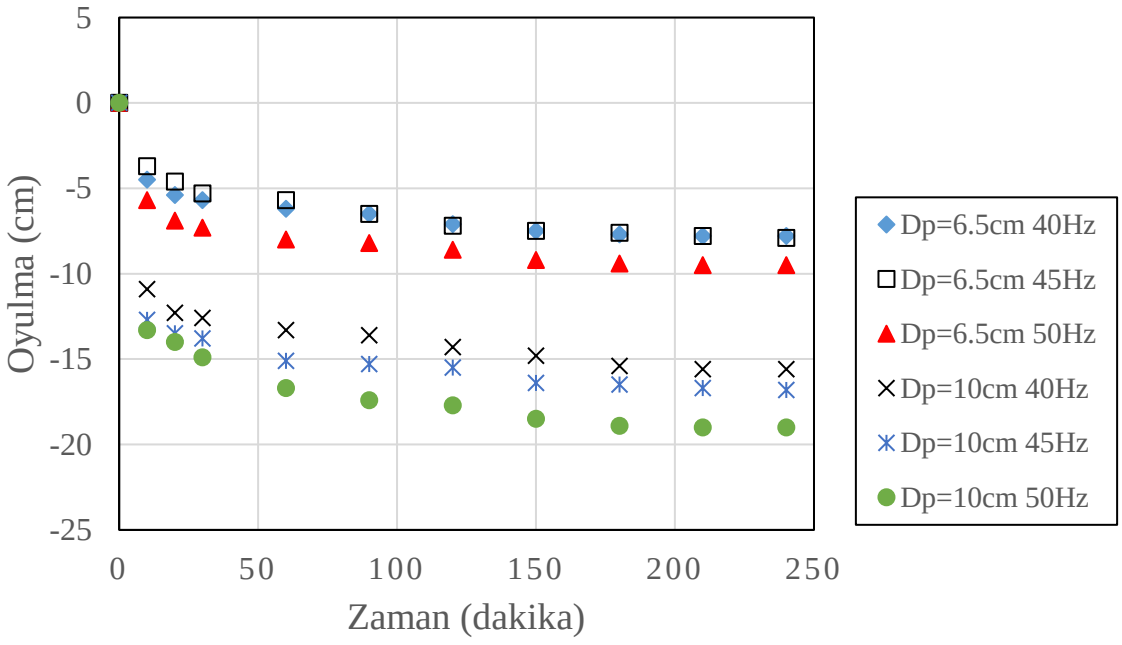


(d) $X=2d_0$

Şekil 4.2 Oyulma derinliğinin zaman bağlı değişimi (kazık önünde oluşan oyulma) (devamı)

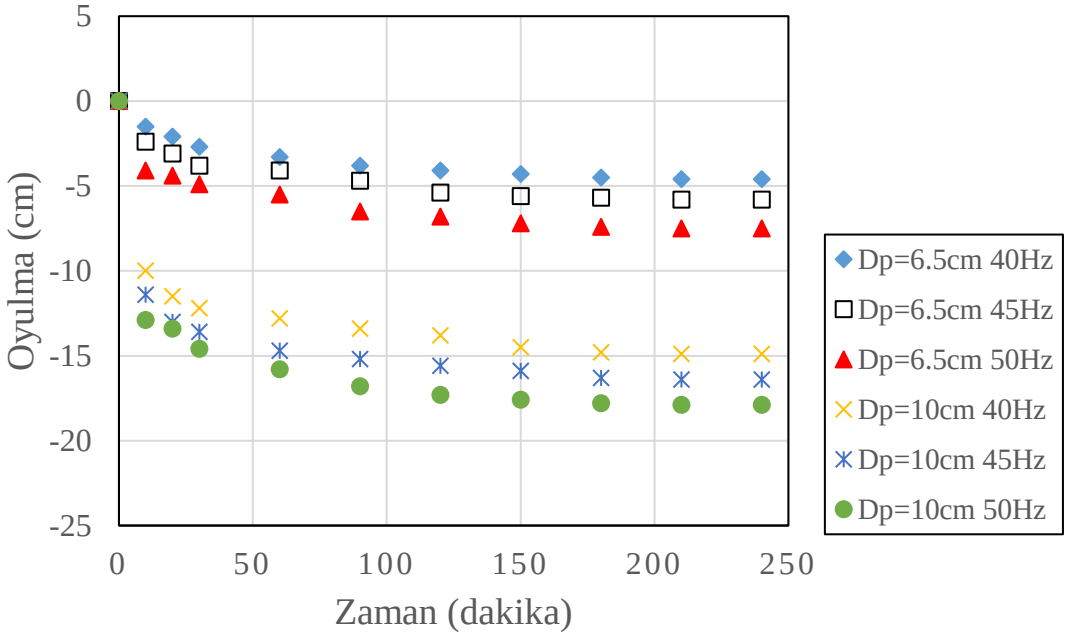


(e) X=2.5d_0

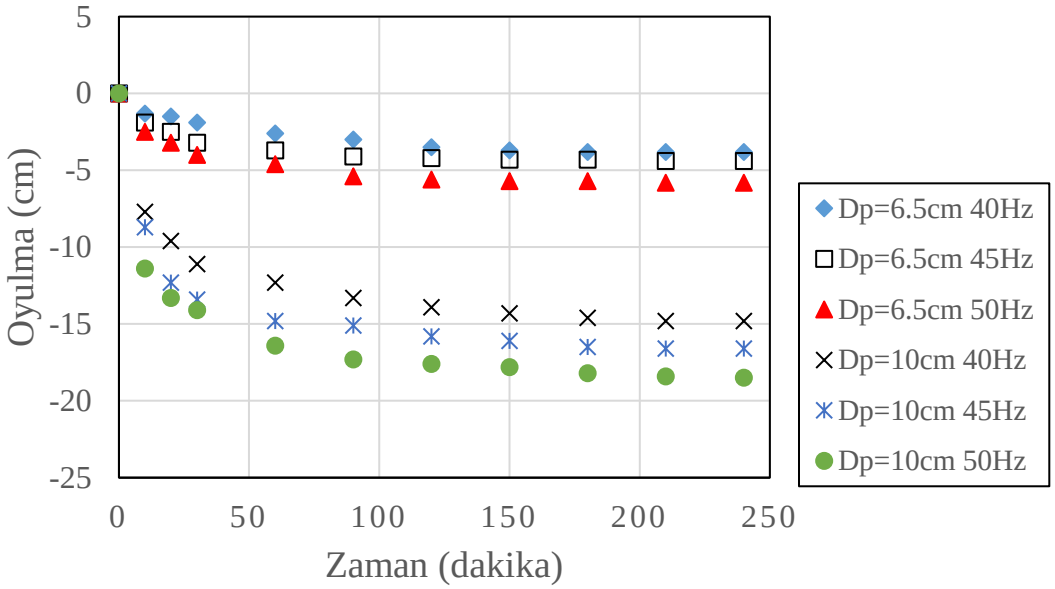


(f) X=3d_0

Şekil 4.2 Oyulma derinliğinin zaman bağlı değişimi (kazık önünde oluşan oyulma) (devamı)

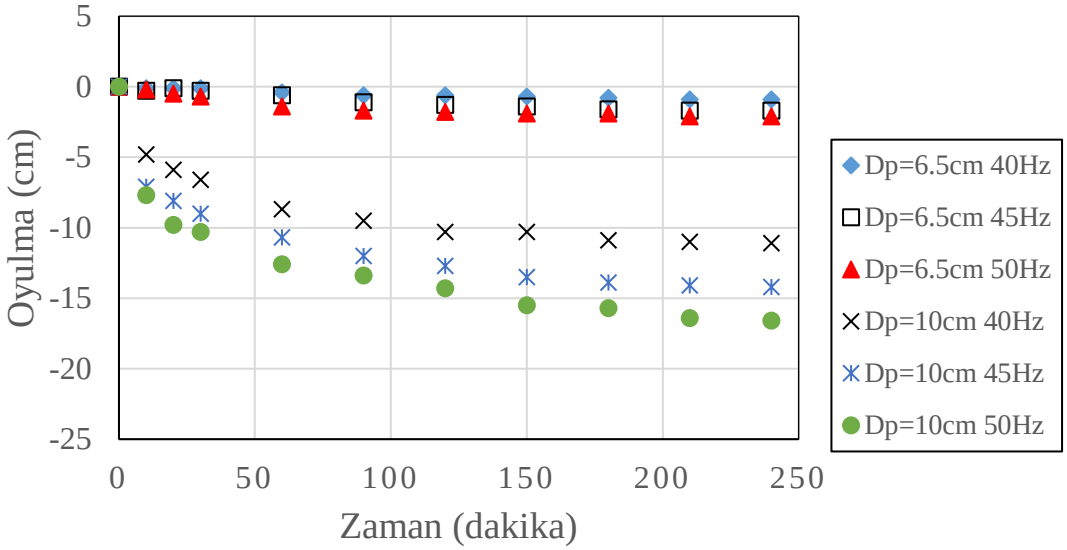


(g) X=4d_0

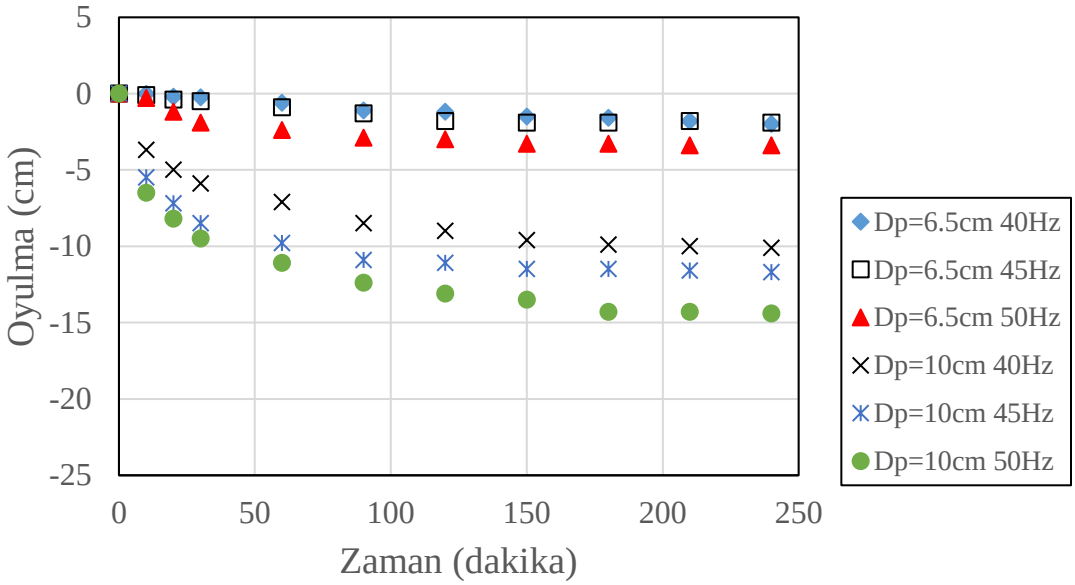


(h) X=5d_0

Şekil 4.2 Oyulma derinliğinin zaman bağlı değişimi (kazık önünde oluşan oyulma) (devamı)

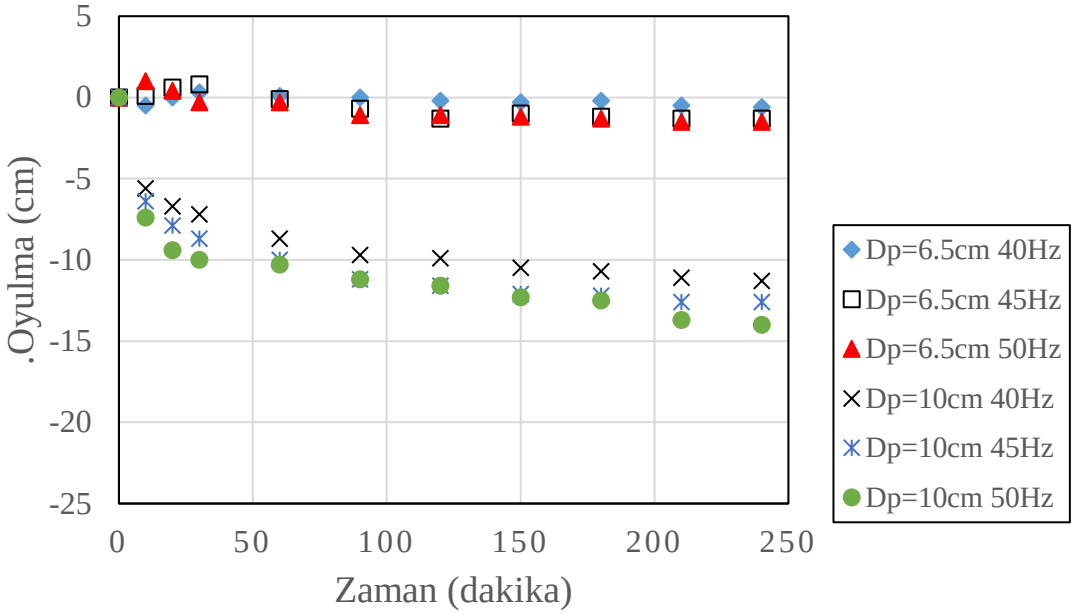


(a) $X=0.5d_0$

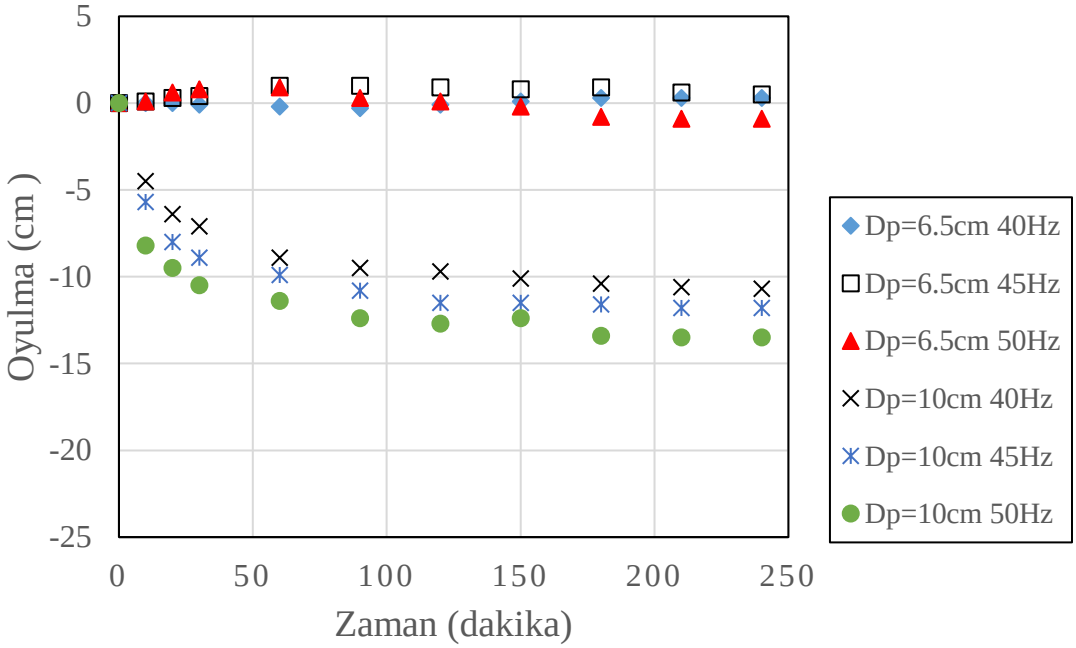


(b) $X=d_0$

Şekil 4.3 Oyulma derinliğinin zaman bağlı değişimi (kazık arkasında oluşan oyulma)

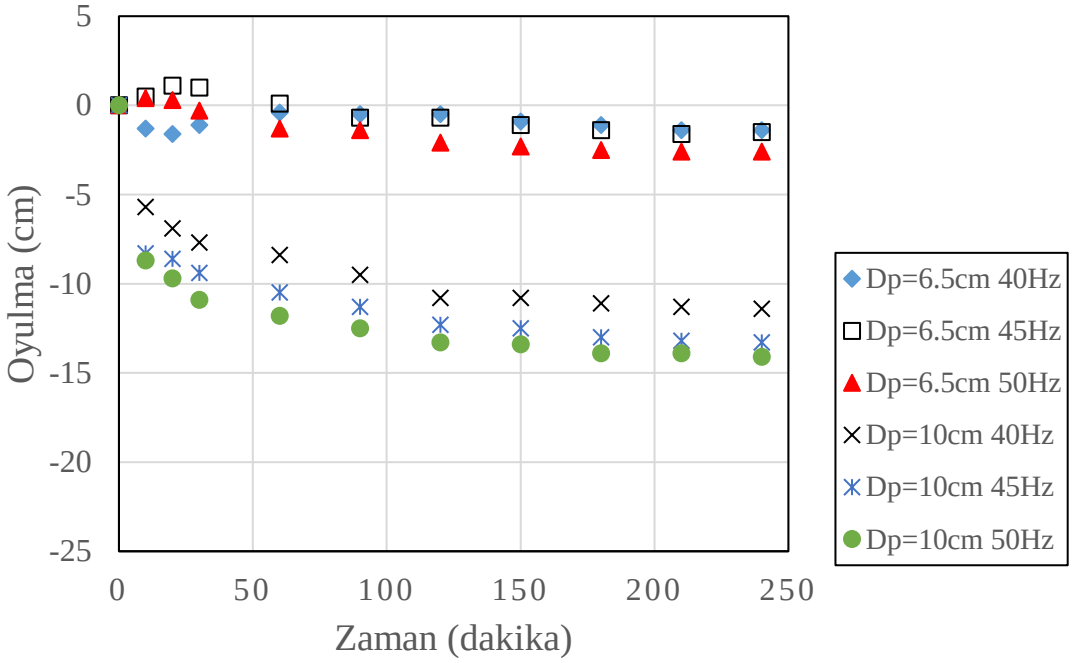


(c) $X=1.5d_0$

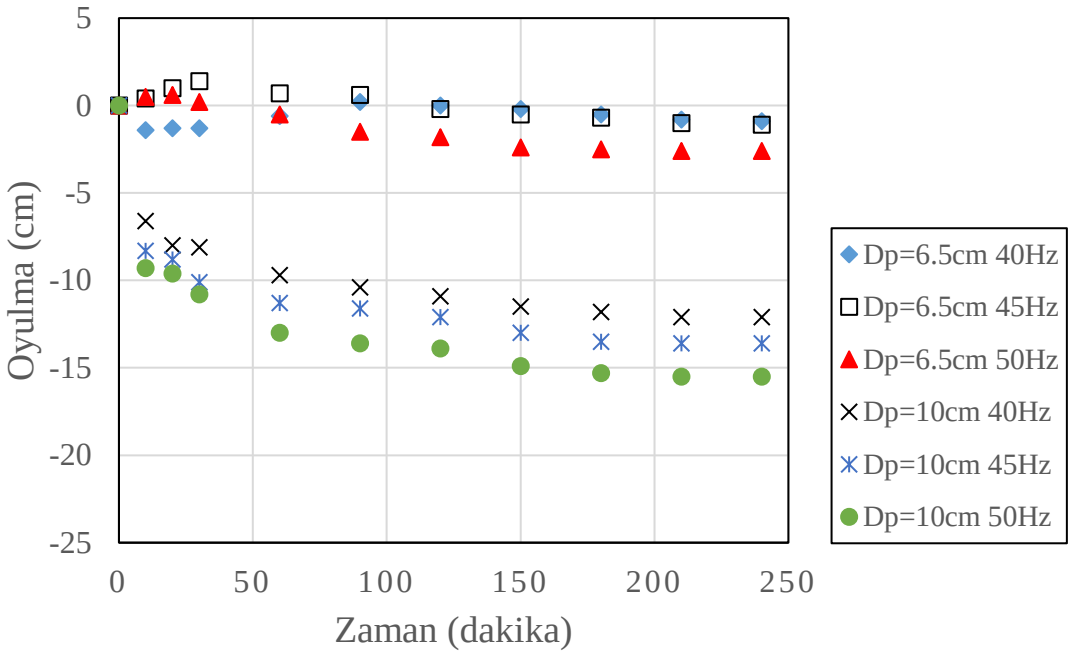


(d) $X=2d_0$

Şekil 4.3 Oyulma derinliğinin zaman bağlı değişimi (kazık arkasında oluşan oyulma) (devamı)

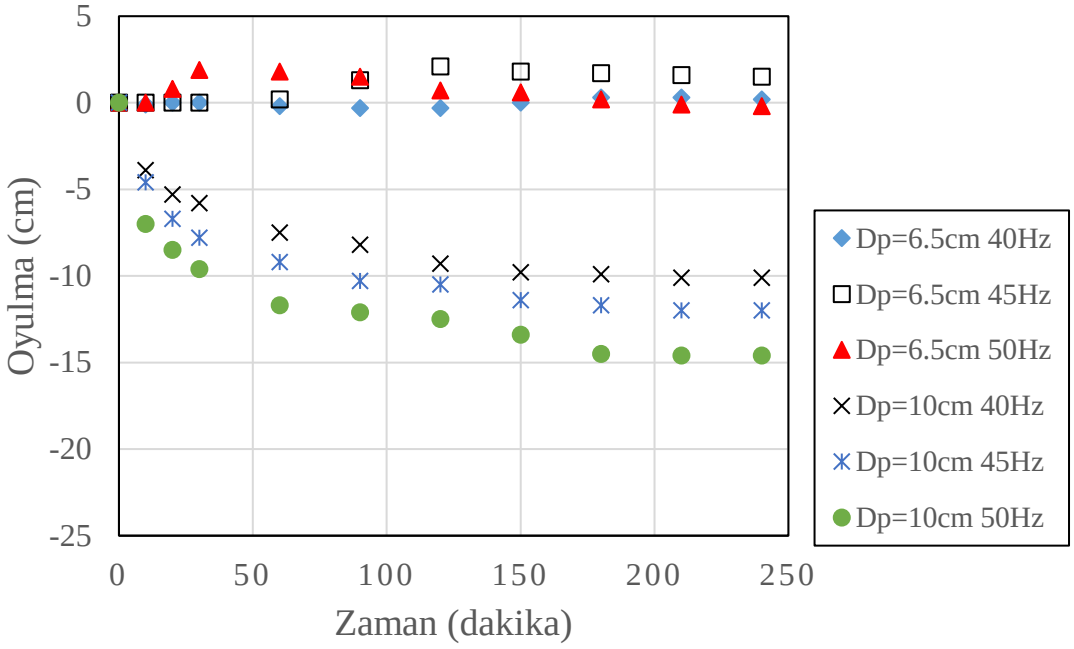


(e) X=2.5d_0

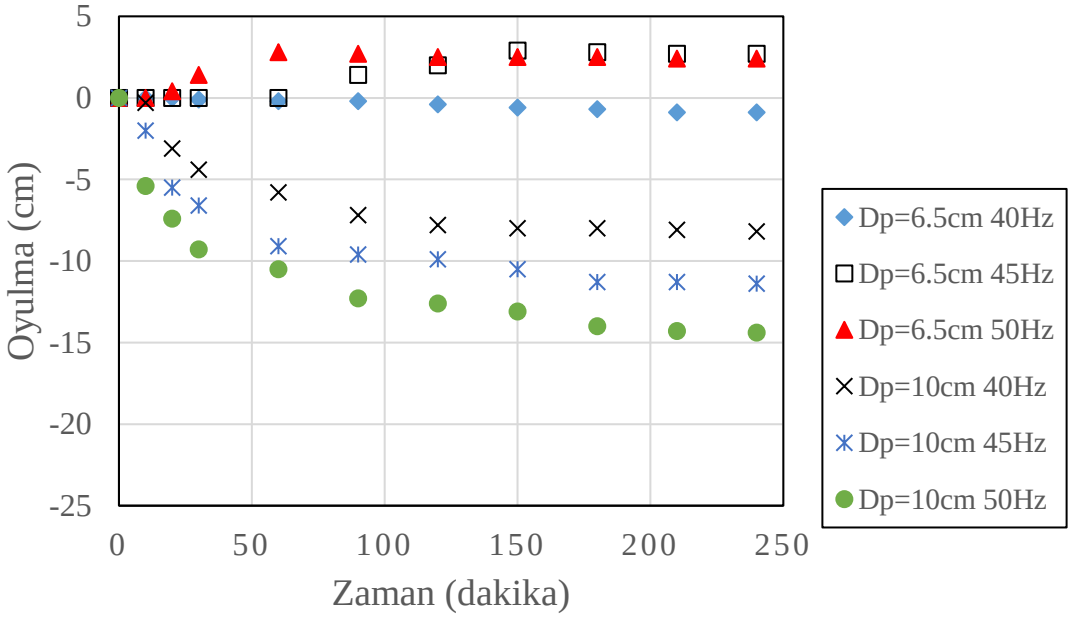


(f) X=3d_0

Şekil 4.3 Oyulma derinliğinin zaman bağlı değişimi (kazık arkasında oluşan oyulma) (devamı)



(g) X=4d_0



(h) X=5d_0

Şekil 4.3 Oyulma derinliğinin zaman bağlı değişimi (kazık arkasında oluşan oyulma) (devamı)

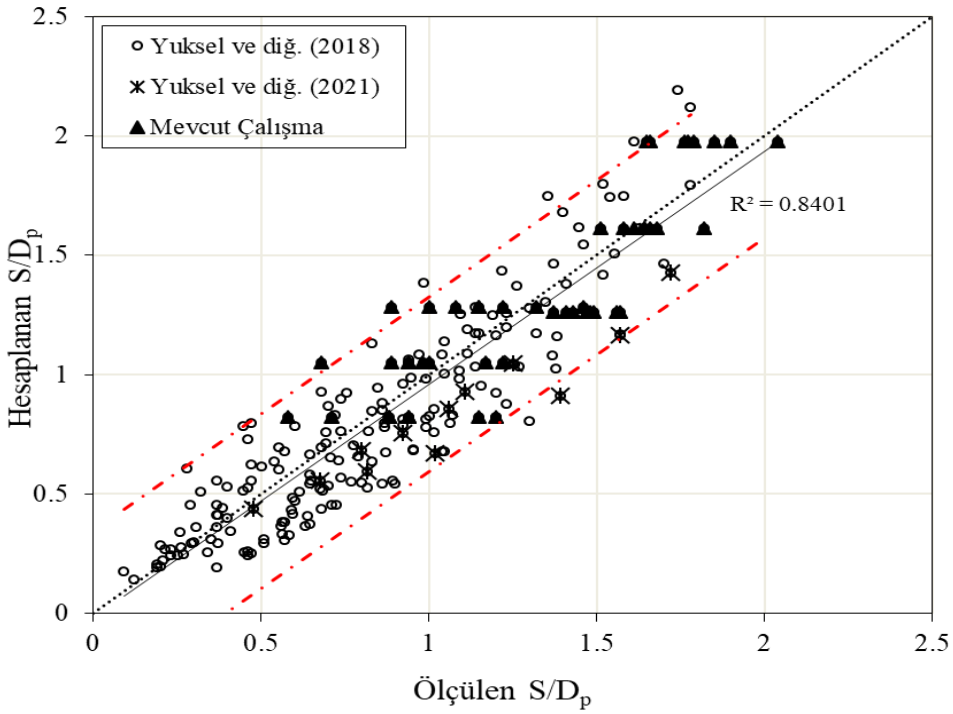
Yüksel ve diğ. (2018), pervane jet akımı altında tek bir kazık etrafındaki oyulmayı incelemiş ve kazık önündeki oyulma derinliğinin tahmini için denklemler önermiştir. Mevcut deneylerde ölçülen göreceli oyulma derinlikleri (S_0/d_0 ve S_0/D_p), Yüksel ve diğ. (2018) tarafından önerilen denklem kullanılarak hesaplanan verilerle bir arada çizilmiştir (Şekil 4.4 ve 4.5). Bu denklemler aşağıdaki gibidir:

$$\frac{S_0}{D_p} = 0.232 \cdot Fr_d^{1.911} \cdot \left(\frac{G}{d_{50}}\right)^{-0.577} \cdot \left(\frac{D_p}{d_0}\right)^{-0.914} \quad (7)$$

$$\frac{S_0}{d_0} = 0.496 \cdot Fr_d^{1.586} \cdot \left(\frac{G}{d_{50}}\right)^{-0.687} \cdot \left(\frac{X}{d_0}\right)^{0.575} \quad (8)$$

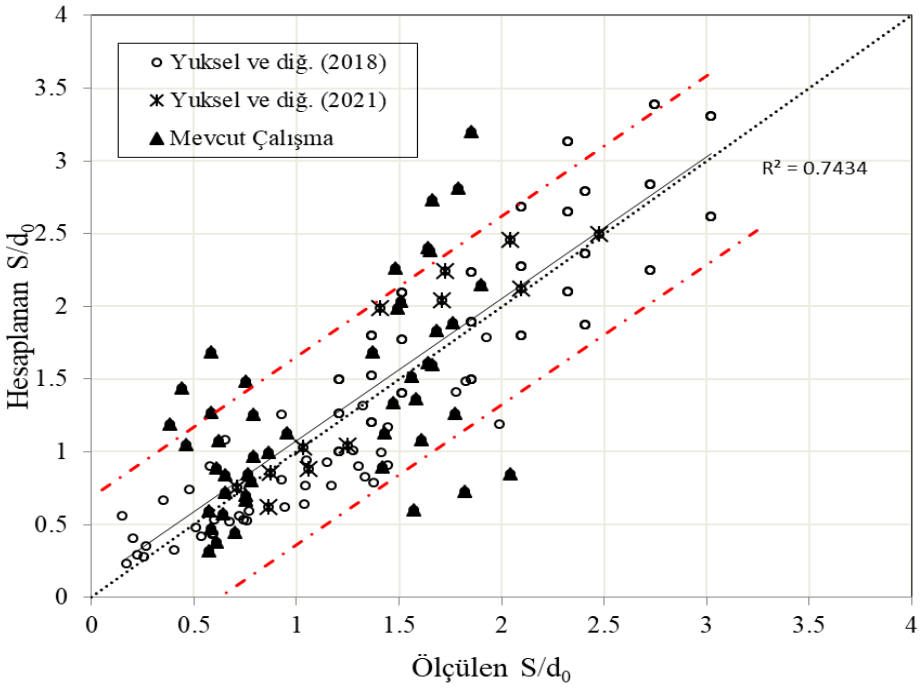
Burada S_0 kazık önündeki maksimum oyulma derinliği, G pervane ile kum taban arasındaki düşey mesafe, d_{50} medyana kum çapı, X pervane ile kazık arasındaki yatay mesafe, D_p pervane çapı ve d_0 kazık çapıdır.

Şekil 4.4'te Yüksel ve diğ. (2018), Yüksel ve diğ. (2021) ve mevcut çalışma bir arada değerlendirildiğinde hesaplanan verilerle ölçülen verilerin iyi bir uyum sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.4 Kazık önünde ölçülen ve hesaplanan göreceli oyulma derinliklerinin karşılaştırılması (S/D_p)

Şekil 4.5 incelendiğinde ise kazık çapına göre göreceli oyulma derinliğinin kısmen, daha önceki çalışmaların güven aralıklarının dışına çıktığı görülmektedir. Çünkü bu çalışmada göreceli olarak çok büyük çaplı kazık modeli dikkate alınmıştır. Büyük çaplı kazık etrafındaki akım yapısı, daha küçük çaplı kazıklara göre farklılık göstermektedir ve kazık kısmen duvar gibi davranmaktadır. Bu durum pervane özelliklerine göre kendini göstermektedir. Deney sonuçları incelendiğinde büyük çaplı pervanelerde oluşan büyük Froude sayılarında göreceli oyulma derinliğinin güven aralığı dışında kaldığı belirlenmiştir.



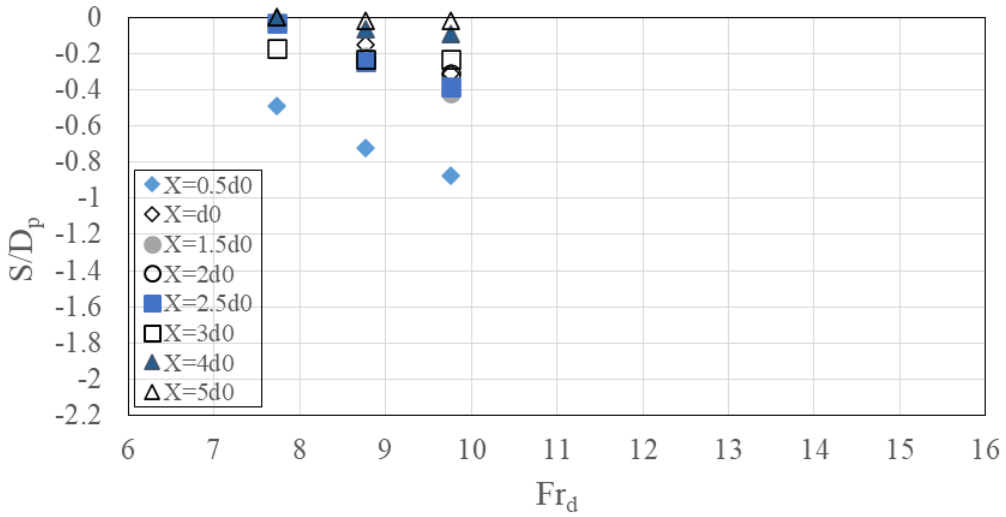
Şekil 4.5 Kazık önünde ölçülen ve hesaplanan göreceli oyulma derinliklerinin karşılaştırılması (S/d_0)

4.2 Kazık Etrafında Meydana Gelen Oyulmanın Yoğunluk Fr_d Sayısı ile Değişimi

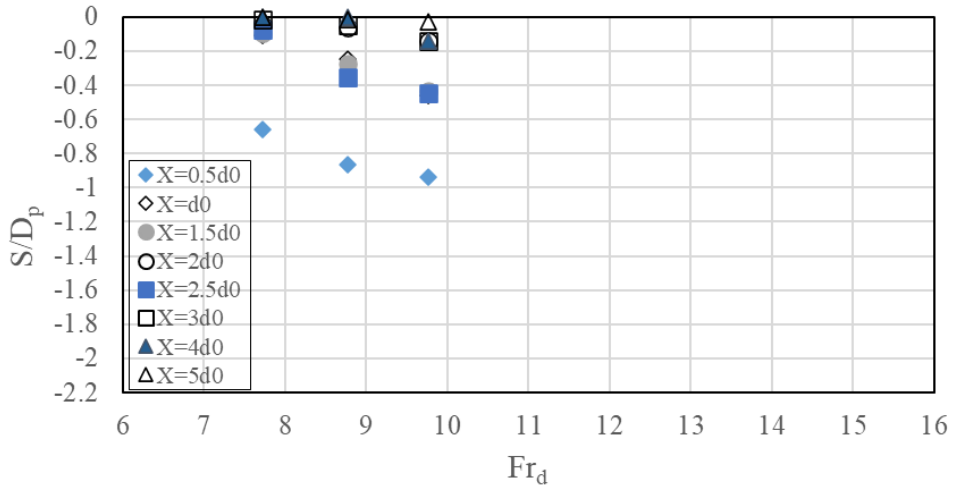
Tabana yerleştirilmiş kum malzemeye sahip 10 cm çaplı kazık önünde, farklı çaplarda pervane jetlerinin (Dp=6.5 ve 10 cm) üç farklı hız (40, 45 ve 50 Hz) için oluşturduğu göreceli oyulma derinliği (S/Dp) yoğunluk Froude sayısı ile değişimi, kazığın farklı konumları için Şekil 4.6'da görülmektedir. Grafiklerde açıkça görüldüğü üzere, oyulma derinliği yoğunluk Froude sayısı ile doğru orantılı olarak

artmaktadır. Aynı zamanda, pervane çapının oyulma mekanizmasına olan etkisi de gözlemlenmektedir. Pervane çapı arttıkça oyulma derinliği de artmaktadır. Bu nedenle, yoğunluk Froude sayısı ve pervane çapı, rıhtım yapısı ve deniz tabanı için önemli parametrelerdir ve gemi pervanesinin etkilerini anlamak için dikkate alınmalıdır.

Ayrıca kazıkla pervane arasındaki mesafenin artmasıyla kazık önündeki oyulma derinliklerinin azaldığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyumludur.

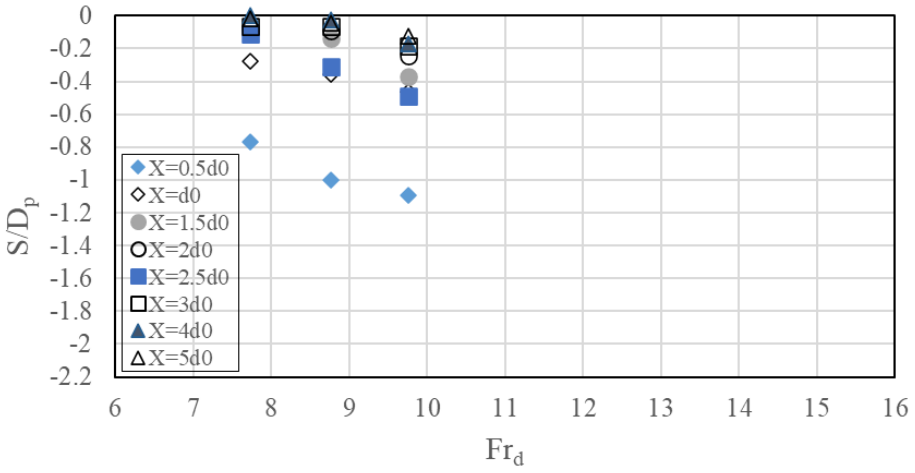


(a) D_p=6.5 cm, 40 Hz

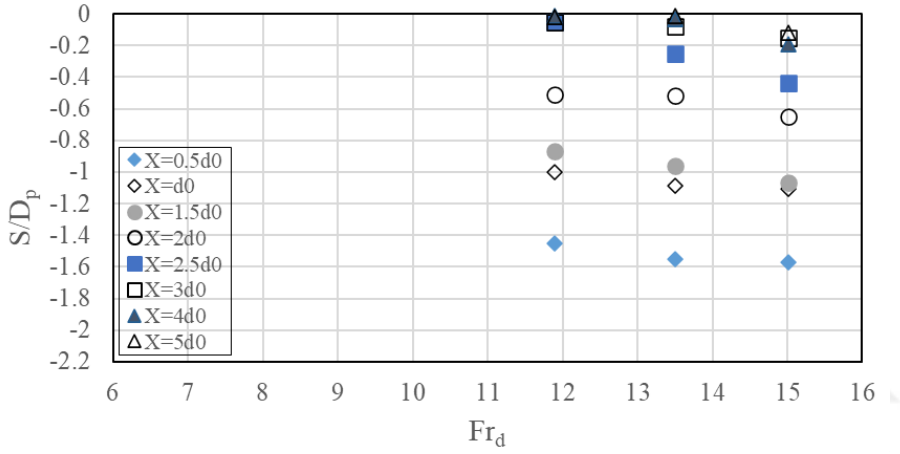


(b) D_p=6.5 cm, 45 Hz

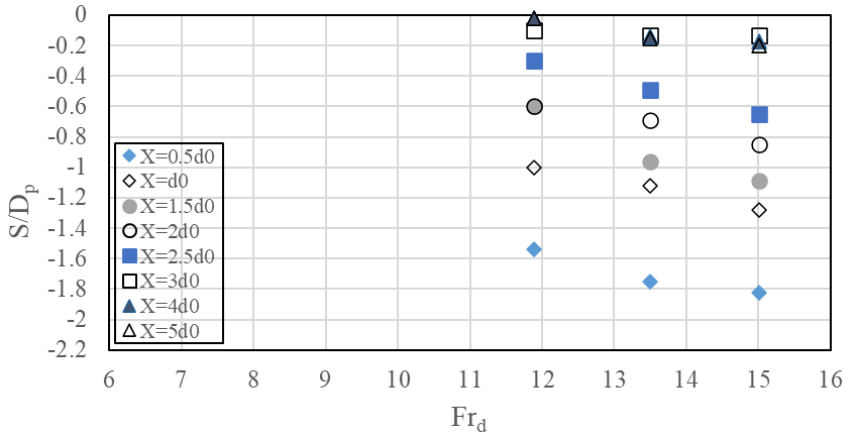
Şekil 4.6 Oyulma derinliğinin (S/D_p) yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) ile değişimi



(c) D_p=6.5 cm, 50 Hz

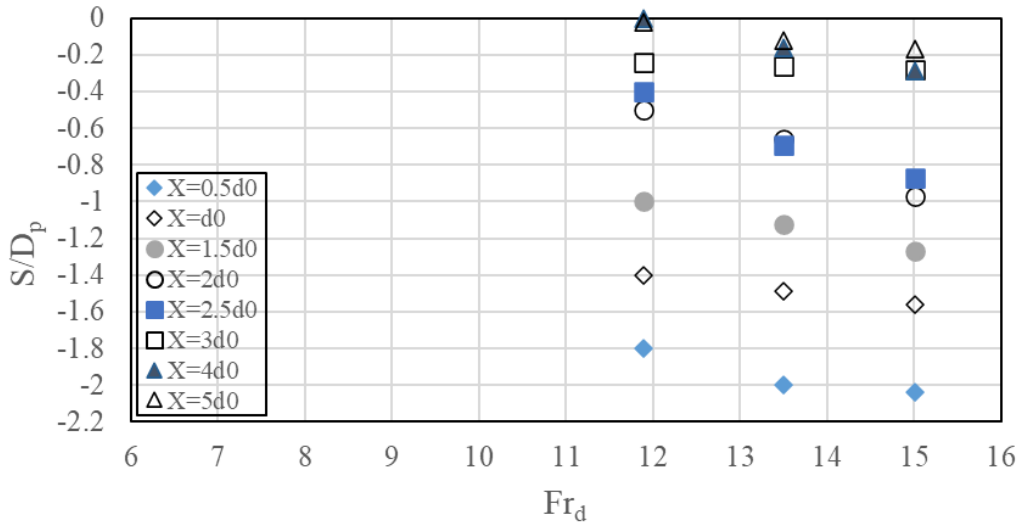


(d) D_p=10 cm, 40 Hz



(e) D_p=10 cm, 45 Hz

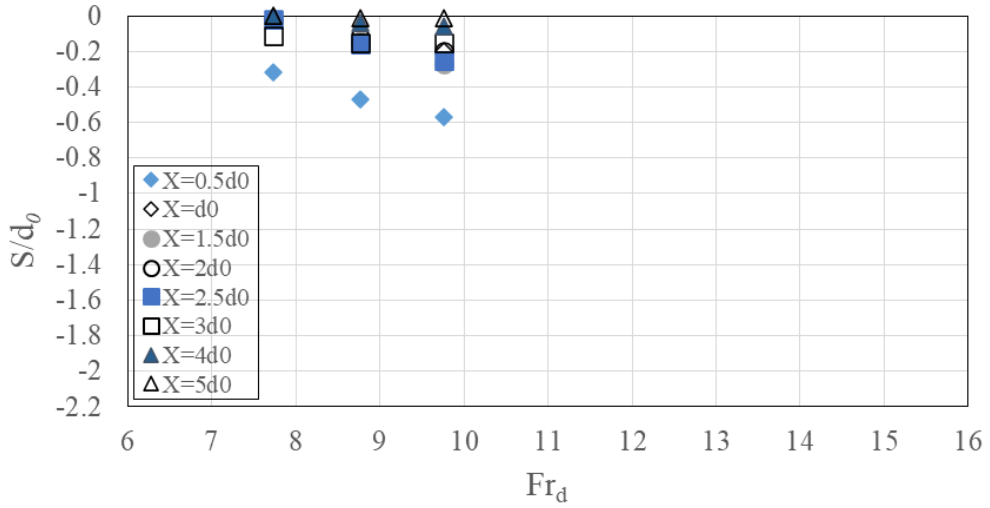
Şekil 4.6 Oyulma derinliğinin (S/D_p) yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) ile değişimi (devamı)



(f) Dp=10 cm, 50 Hz

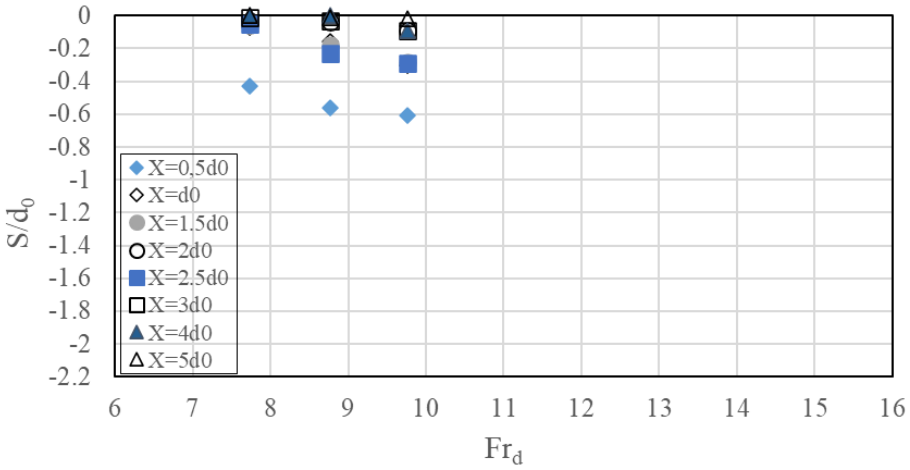
Şekil 4.6 Oyulma derinliğinin (S/D_p) yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) ile değişimi (devamı)

Şekil 4.7'de ise S/d_0'a karşılık yoğunluk Froude sayısının değişimi kazığın farklı konumları için çizilmiştir. Bu grafiklerde de benzer şekilde oyulma derinliği yoğunluk Froude sayısı ile artmaktadır. Pervane çapının da belirgin bir şekilde etkili olduğu görülmektedir. Pervane çapı arttıkça oyulma derinliği artmaktadır. Ayrıca kazıkla pervane arasındaki mesafenin artmasıyla kazık önündeki oyulma derinliklerinin azaldığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyumludur.

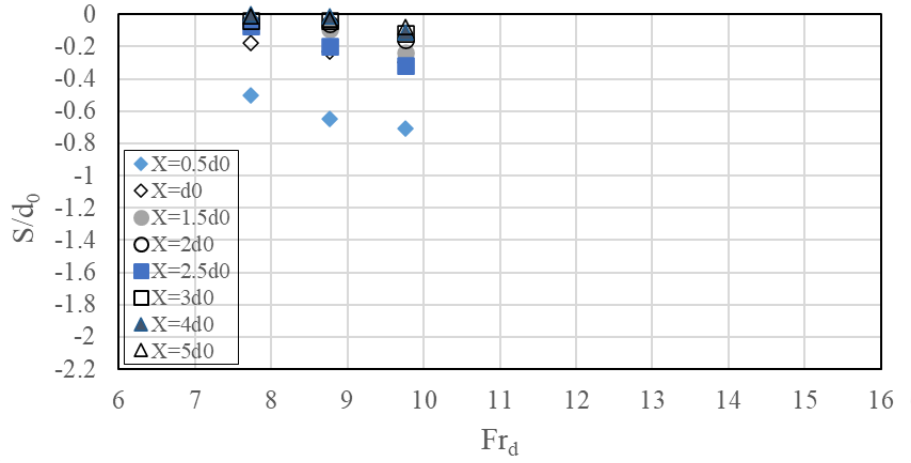


(a) D_p=6.5 cm, 40 Hz

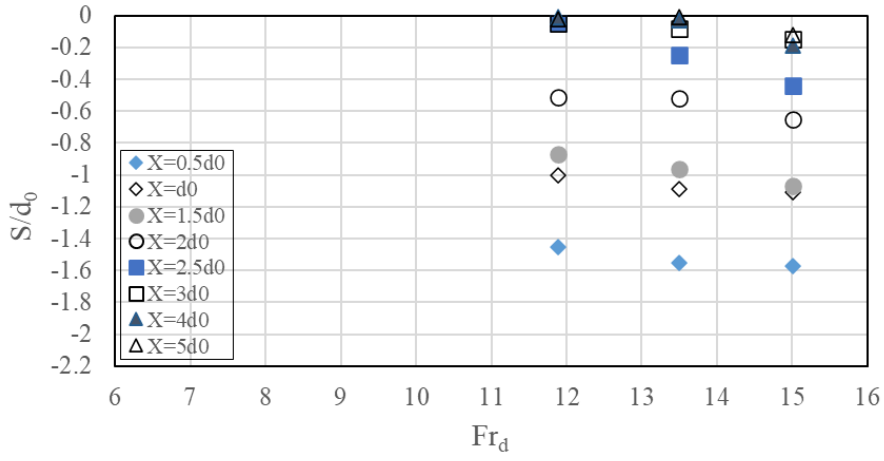
Şekil 4.7 Oyulma derinliğinin (S/d_0) yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) ile değişimi



(b) D_p=6.5 cm, 45 Hz

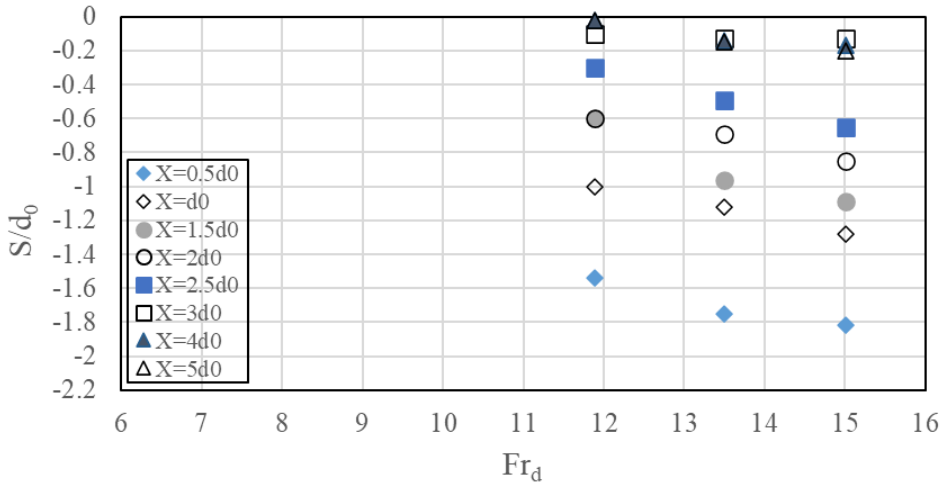


(c) D_p=6.5 cm, 50 Hz

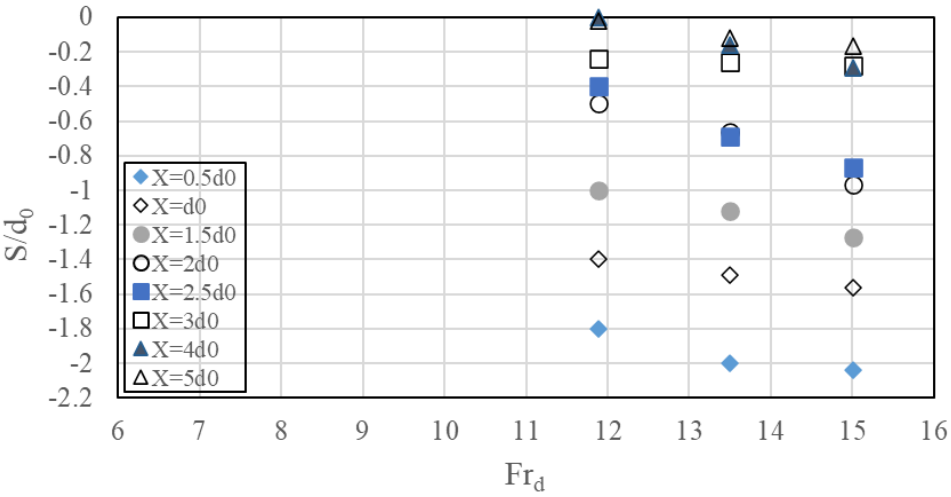


(d) D_p=10 cm, 40 Hz

Şekil 4.7 Oyulma derinliğinin (S/d_0) yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) ile değişimi (devamı)



(e) D_p=10 cm, 45 Hz



(f) Dp=10 cm, 50 Hz

Şekil 4.7 Oyulma derinliğinin (S/d_0) yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) ile değişimi (devamı)

4.3 Oyulma Profilinin Gelişimi

Kazıklı bir yapıya etki eden pervane jet akımının d_{50}=0.52 mm olan bir kum taban üzerindeki etkisi, farklı pervane konumları, çapları ve hızları için oyulma profilinin gelişimi deney kanalında incelenmiştir. Oyulma deneylerinde yoğunluk Froude sayısı 7.73-15.01 arasında değişmektedir. Pervanenin X=0.5d_0, d_0, 1.5d_0, 2d_0, 2.5d_0, 3d_0, 4d_0 ve 5d_0 mesafelerinde konumlandırılması durumlarında oluşan oyulma profilleri denge koşullarına ulaşıldıktan sonra her bir deney sonunda limnimetre ile kazık ekseni boyunca ölçülmüştür. Şekil 4.8'de X=0.5d_0 ve 5d_0 mesafelerinde

oluşan oyulma profillerinin dengeye ulaştıktan sonraki hali görülmektedir. Bu görseller pervane çapının D_p=6.5cm ve pervane hızının 40Hz olduğu deneylerden sonra oluşan oyulma profillerini göstermektedir. Şekil 4.9'da ise farklı kazık konumu (X=0.5d_0, d_0, 1.5d_0, 2d_0, 2.5d_0, 3d_0, 4d_0 ve 5d_0), farklı pervane çapı (D_p=6.5 ve 10 cm) ve farklı pervane hızlarında (40Hz, 45Hz ve 50Hz) meydana gelen oyulma profilleri çizilmiştir. Bu grafiklerin incelenmesiyle şu sonuçlar çıkarılmıştır. Aynı kazık konumunda pervane çapı ve pervane hızı arttıkça kazık önündeki oyulma derinliği artmaktadır. Kazık ile pervane arasındaki mesafenin artmasıyla D_p=6.5 cm çaplı pervane için oyulma derinliği X=d_0'a kadar artmış, X=1.5d_0'da azalmış, X=2.5d_0'a kadar artmış ve bu konumdan sonra azalmıştır. D_p=10 cm çaplı pervane için ise X=1.5d_0'a kadar azalmış, X=2.5d_0'a kadar artmış ve X=5d_0'a kadar azalıp artarak devam etmiştir. En büyük oyulma derinliği D_p=6.5 cm çaplı pervane için kazık X=2.5d_0 konumunda iken, D_p=10 cm çaplı pervane için X=0.5d_0 konumunda meydana gelmiştir. Kazık pervaneye yakın konumlandırıldığında kazık oyulma üzerinde daha fazla etkilidir. Kazık pervane arasındaki mesafe arttıkça eğer kazık hala oyulma çukurunun içinde kalıyorsa kazıkla pervane arasındaki bölgede oyulmanın gelişimi üzerinde en önemli etken pervane jeti akımıdır. Kazık arkasındaki bölgede ise oyulmanın gelişimi üzerindeki en önemli etken kazık mekanizmasıdır. Maksimum oyulma derinliği ya kazığın menba yüzünde ya da biraz daha menbaya doğru meydana gelmektedir. Ayrıca oyulma, kazık stabilitesi üzerinde etkili olurken, yığılma da gemilerin emniyetli bir şekilde seyir etmeleri için bir sorun teşkil etmektedir. Şekil 4.9'da verilen oyulma profillerine bakıldığında yoğunluk Froude sayısı arttıkça yığılma miktarının da büyüdüğü görülmektedir.

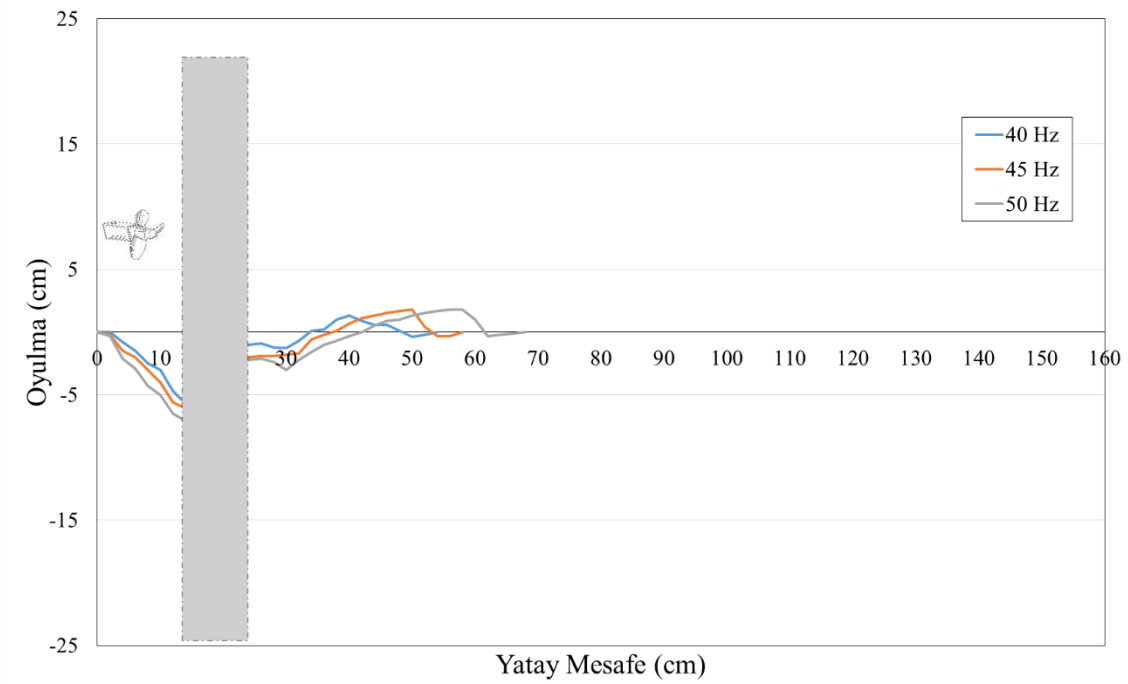


(a) $X=0.5d_0$

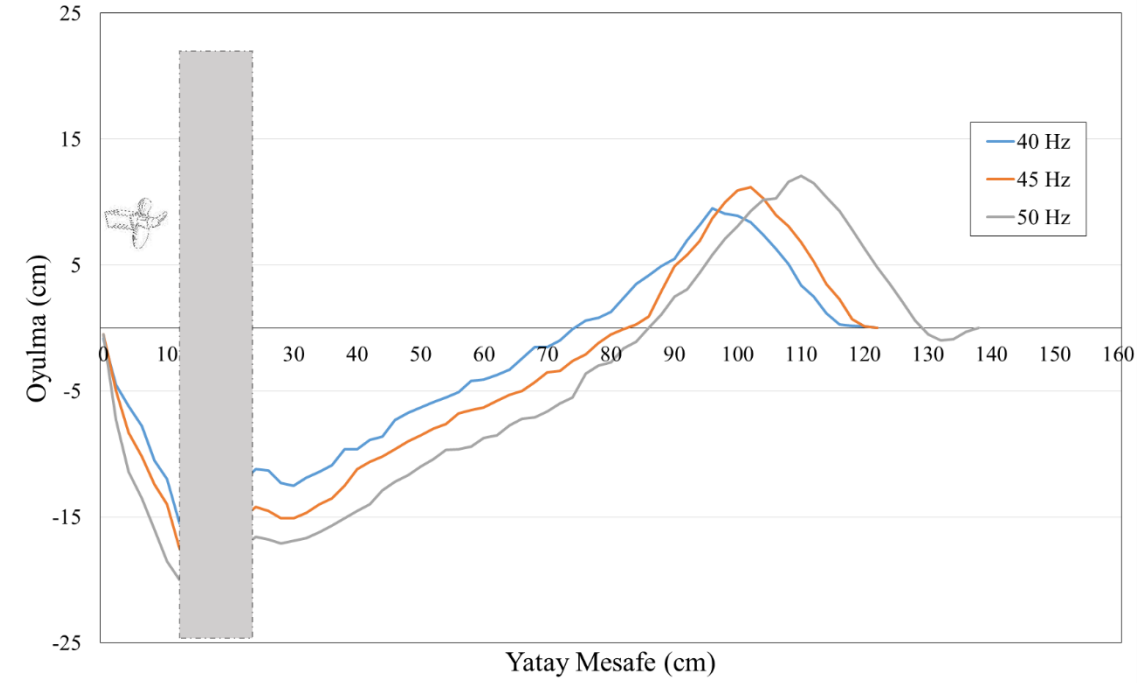


(b) $X=5d_0$

Şekil 4.8 Aynı deney şartlarında farklı kazık konumlarında meydana gelen oyulma profilleri (D_p=6.5cm, 40Hz)

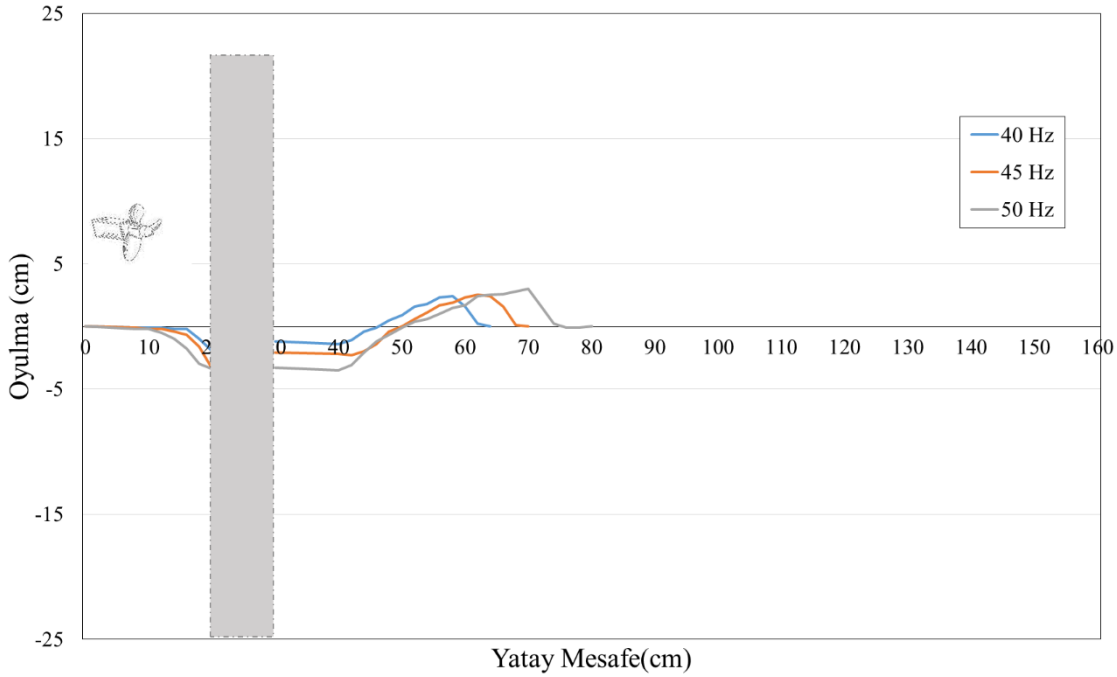


(a) $X=0.5d_0$, $D_p=6.5$ cm

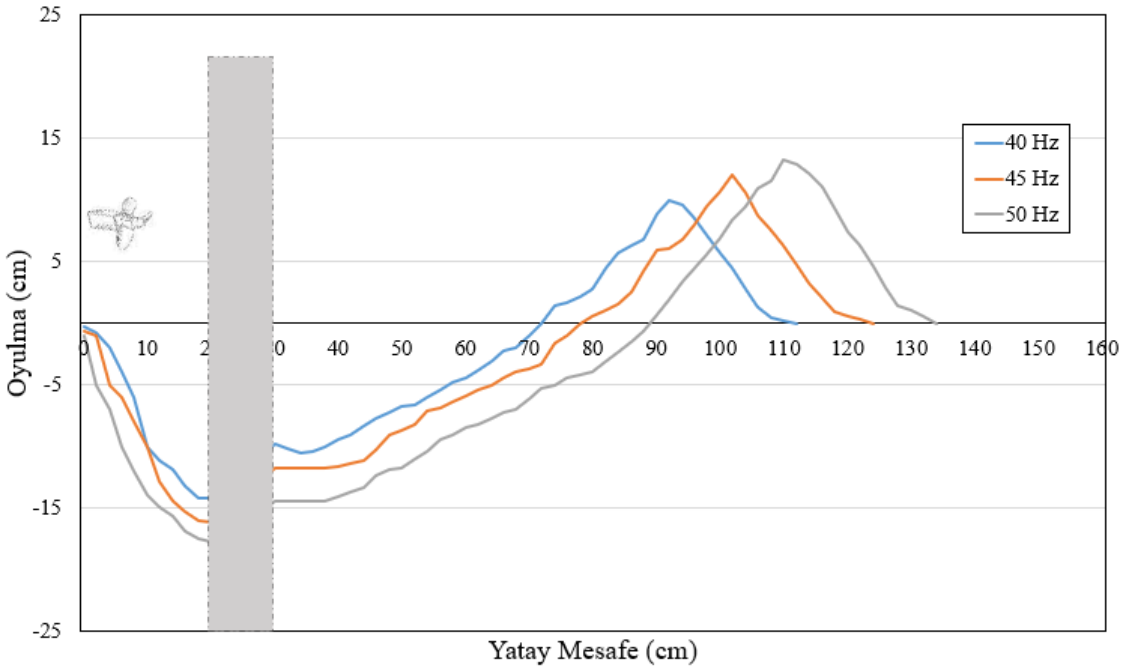


(b) $X=0.5d_0$, $D_p=10$ cm

Şekil 4.9 Farklı kazık konumu, pervane çapı ve pervane hızlarında oluşan oyulma profilleri

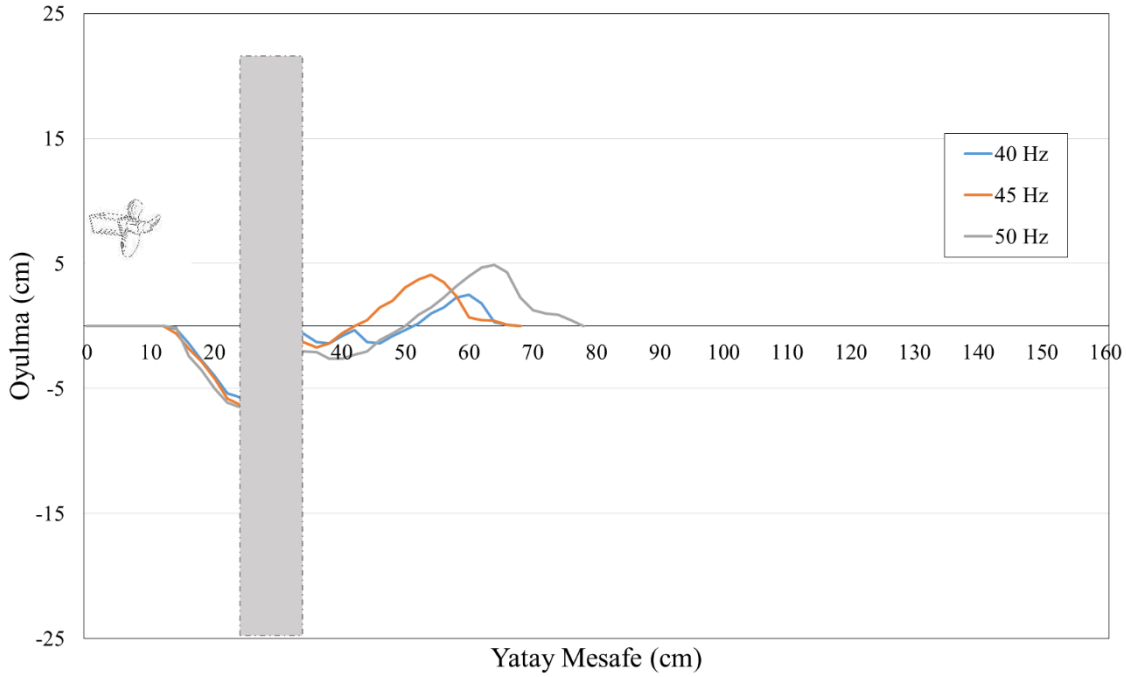


(c) X=d_0, D_p=6.5 cm

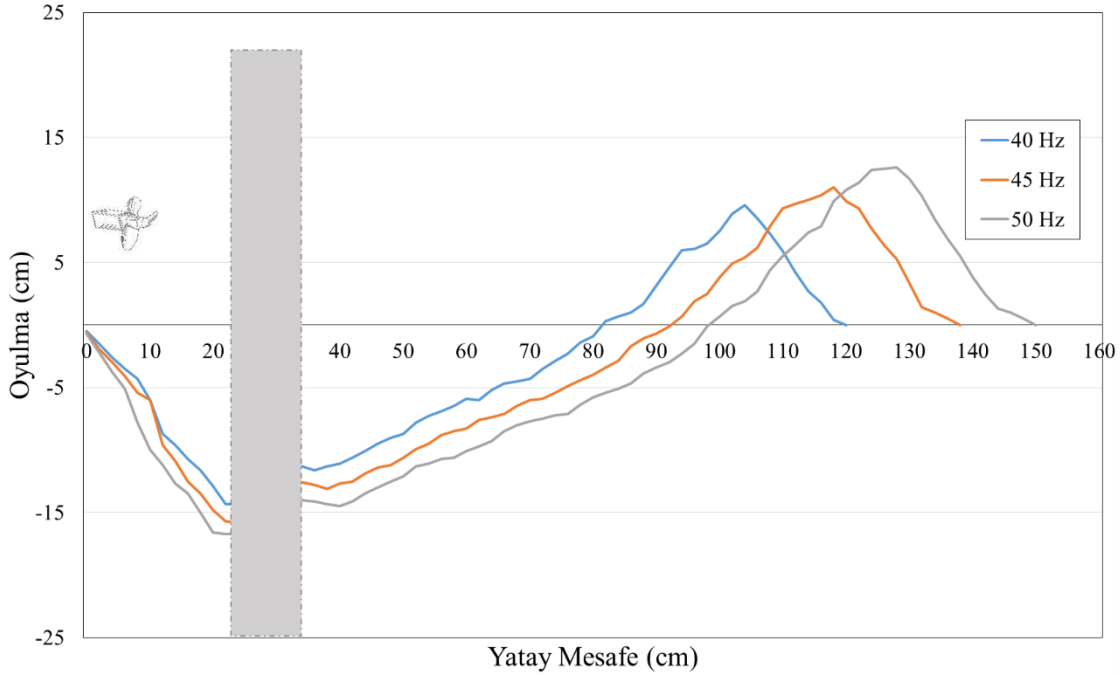


(d) X=d_0, D_p=10 cm

Şekil 4.9 Farklı kazık konumu, pervane çapı ve pervane hızlarında oluşan oyulma profilleri (devamı)

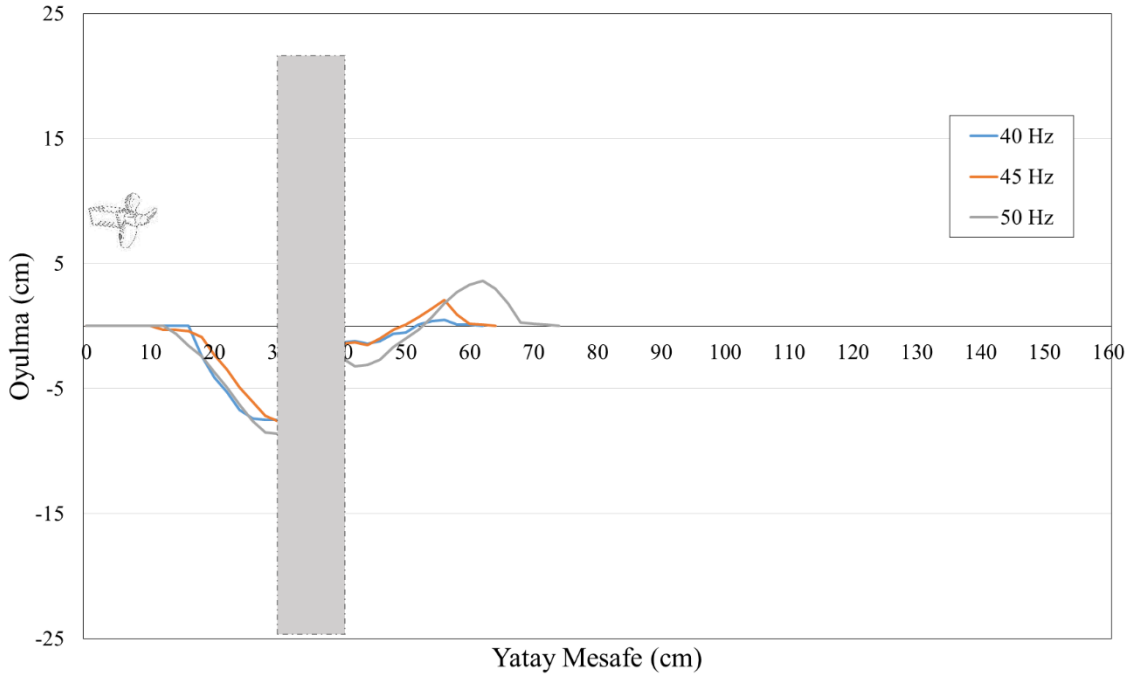


(e) $X=1.5d_0$, $D_p=6.5$ cm

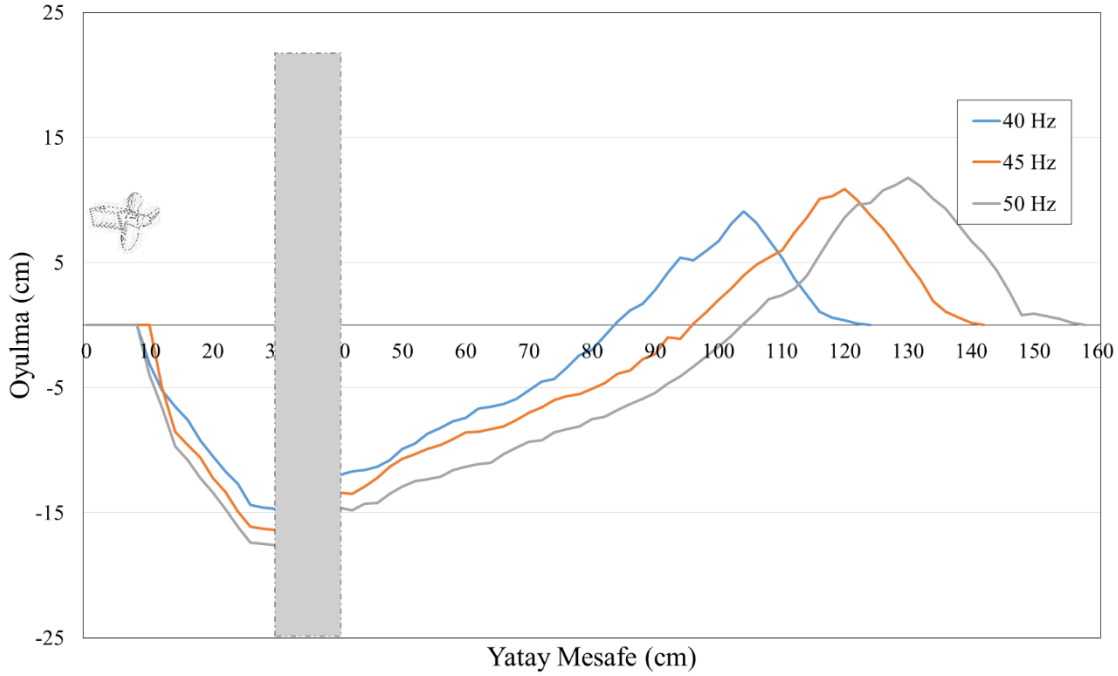


(f) $X=1.5d_0$, $D_p=10$ cm

Şekil 4.9 Farklı kazık konumu, pervane çapı ve pervane hızlarında oluşan oyulma profilleri (devamı)

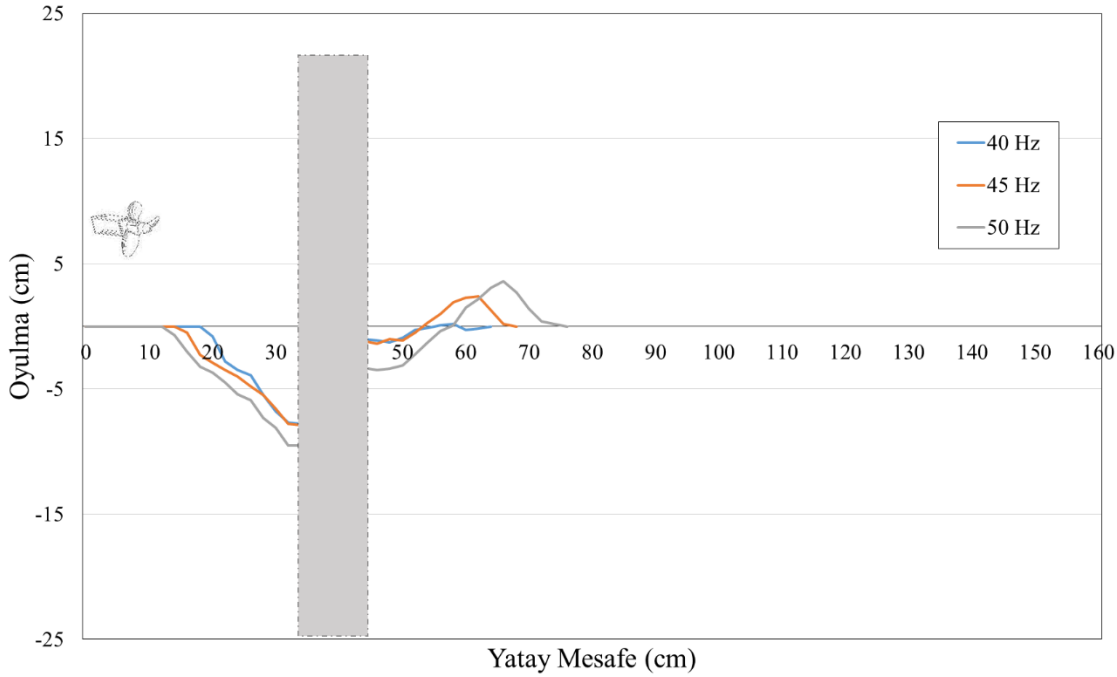


(g) X=2d_0, D_p=6.5 cm

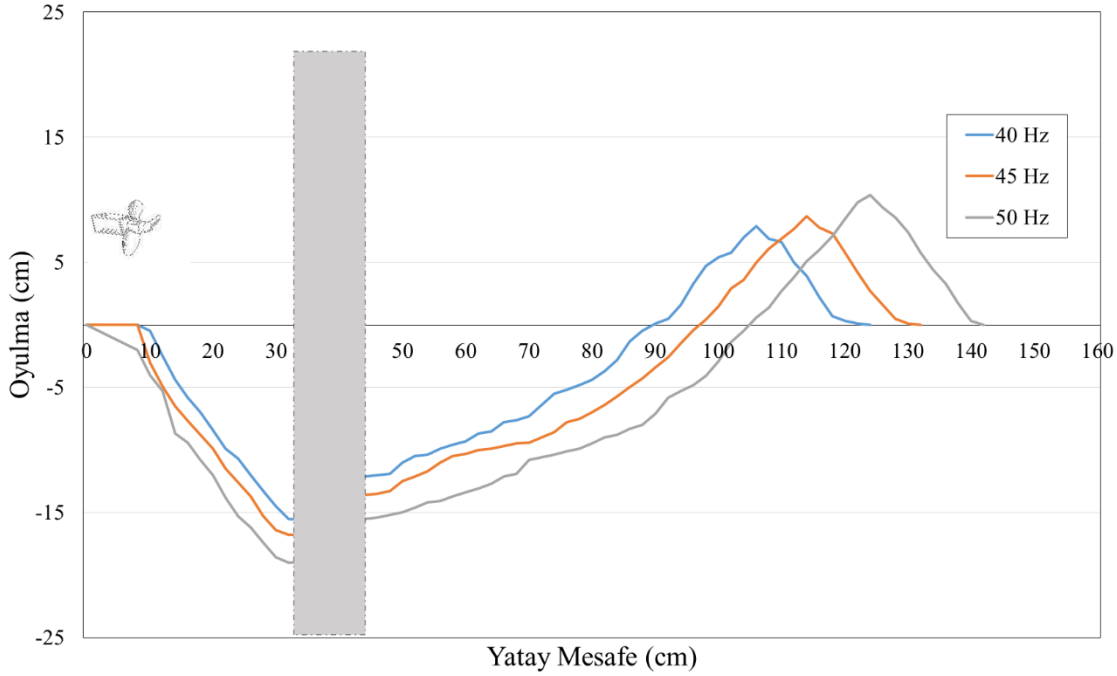


(h) X=2d_0, D_p=10 cm

Şekil 4.9 Farklı kazık konumu, pervane çapı ve pervane hızlarında oluşan oyulma profilleri (devamı)

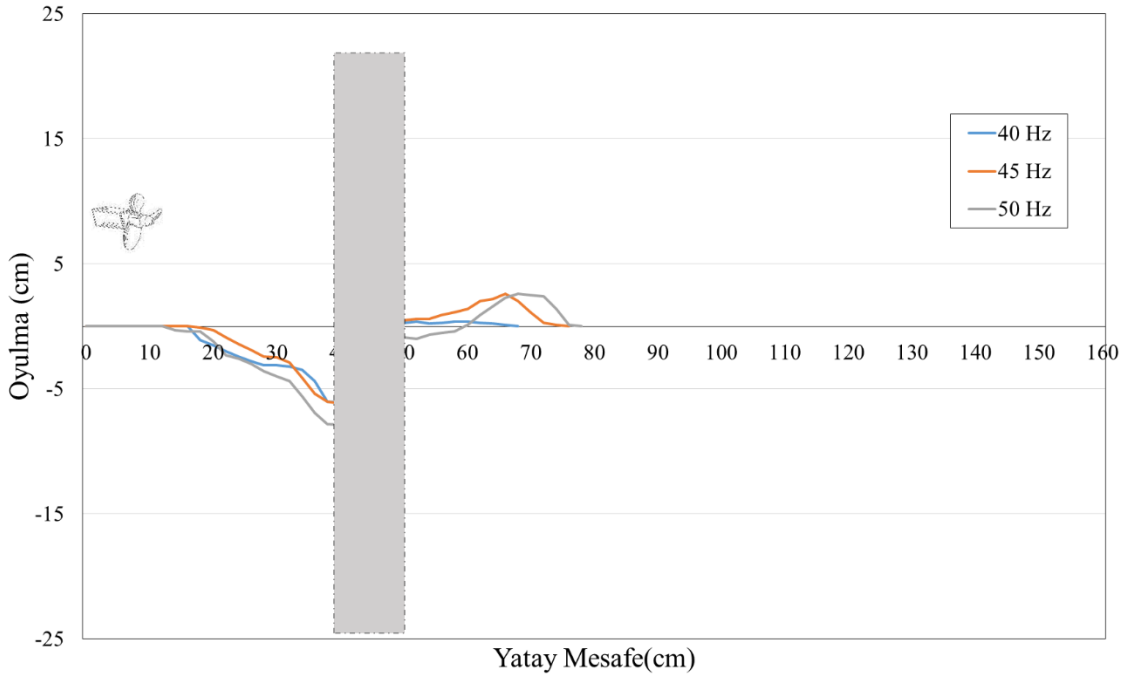


(i) X=2.5d_0, D_p=6.5 cm

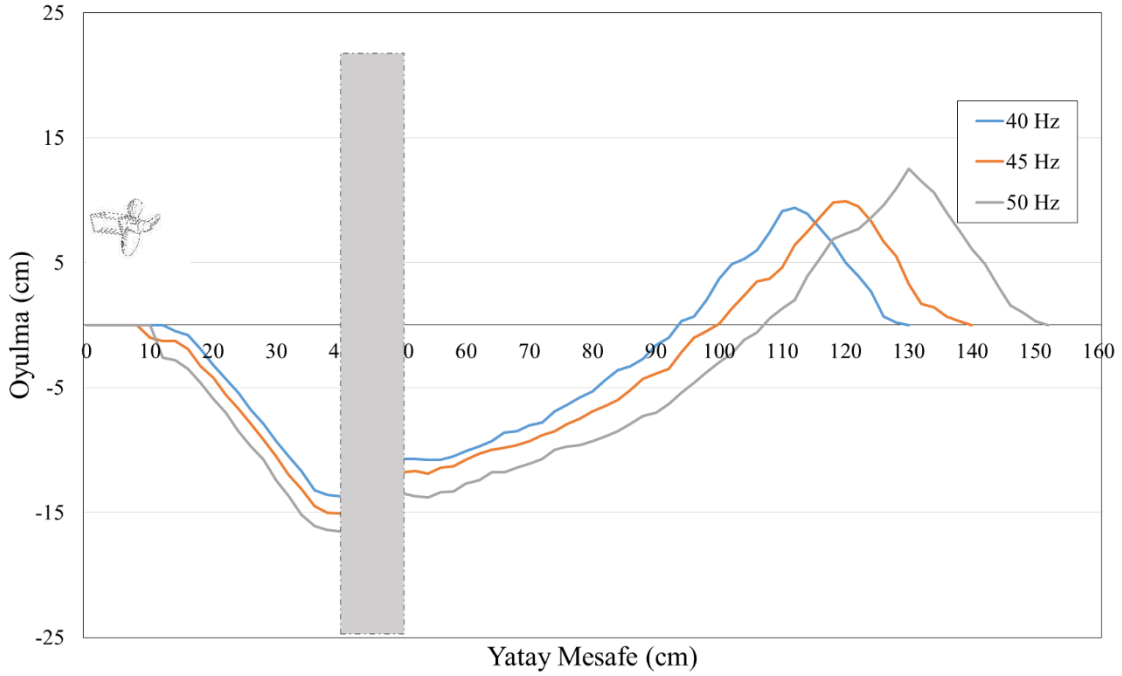


(j) X=2.5d_0, D_p=10 cm

Şekil 4.9 Farklı kazık konumu, pervane çapı ve pervane hızlarında oluşan oyulma profilleri (devamı)

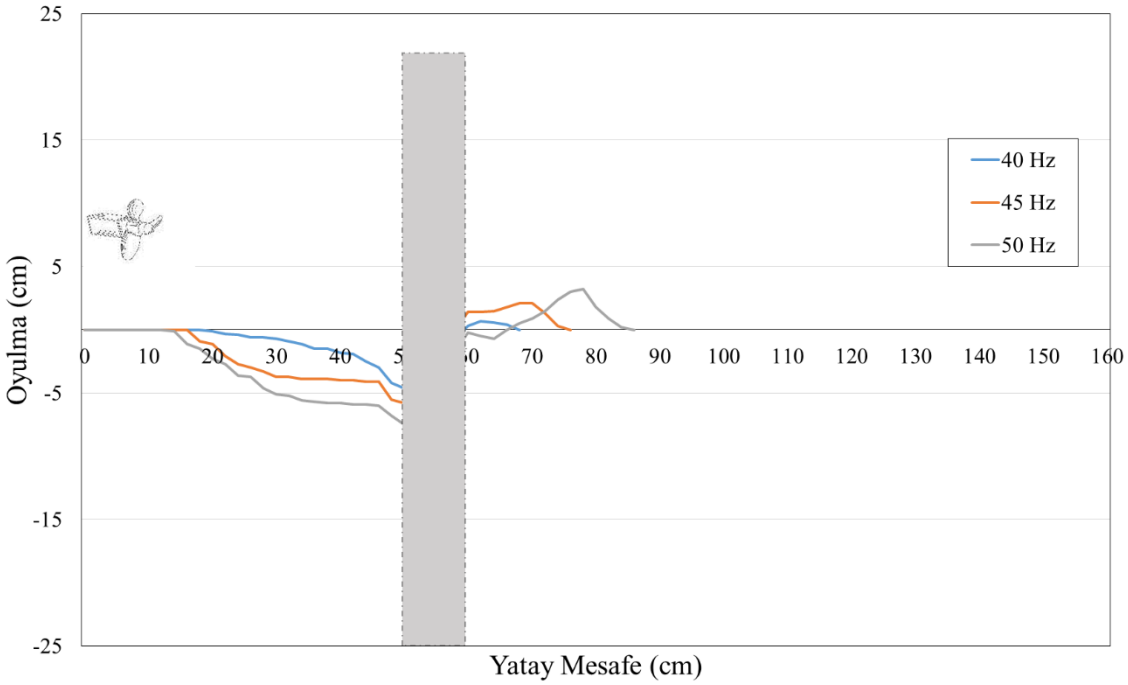


(k) X=3d_0, D_p=6.5 cm

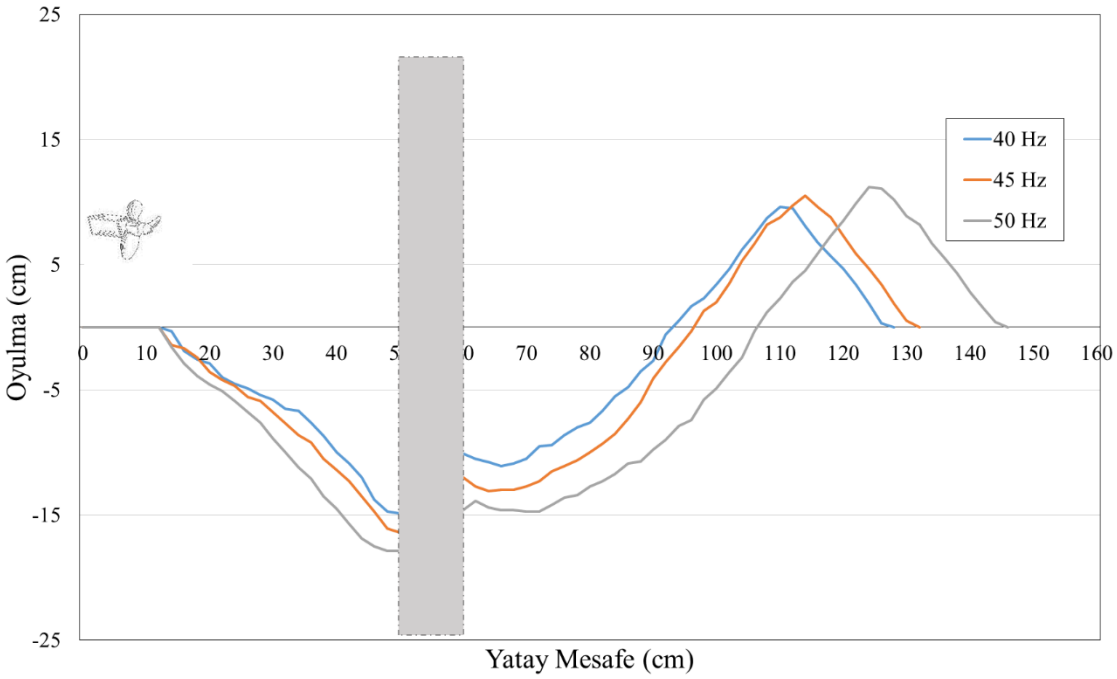


(l) X=3d_0, D_p=10 cm

Şekil 4.9 Farklı kazık konumu, pervane çapı ve pervane hızlarında oluşan oyulma profilleri (devamı)

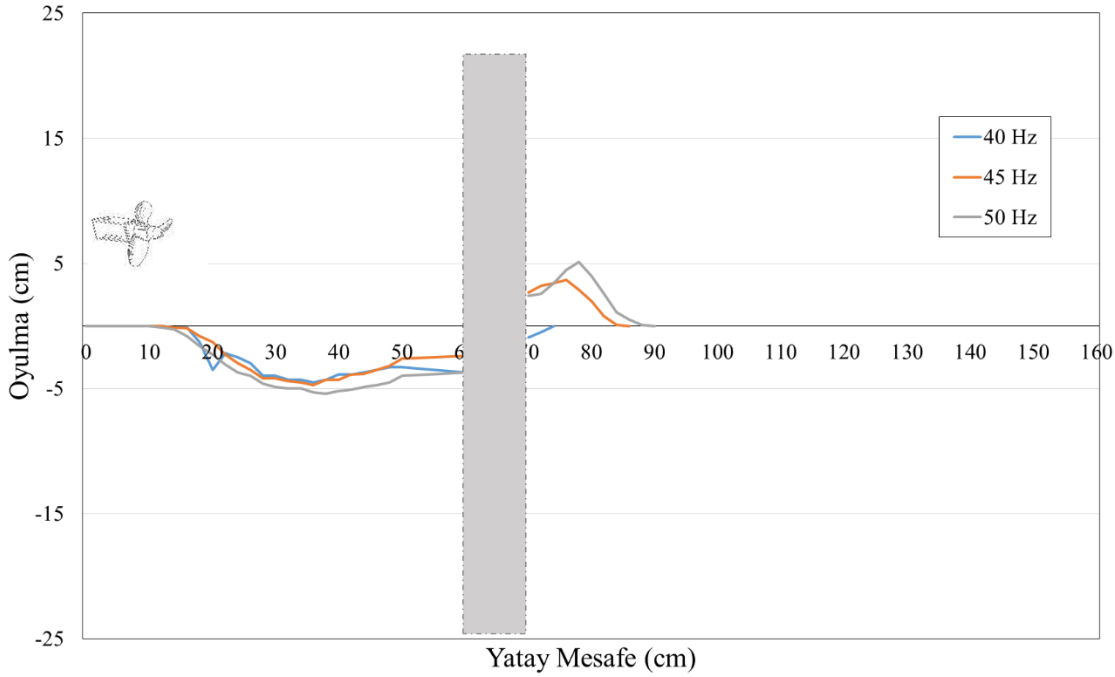


(m) $X=4d_0$, $D_p=6.5$ cm

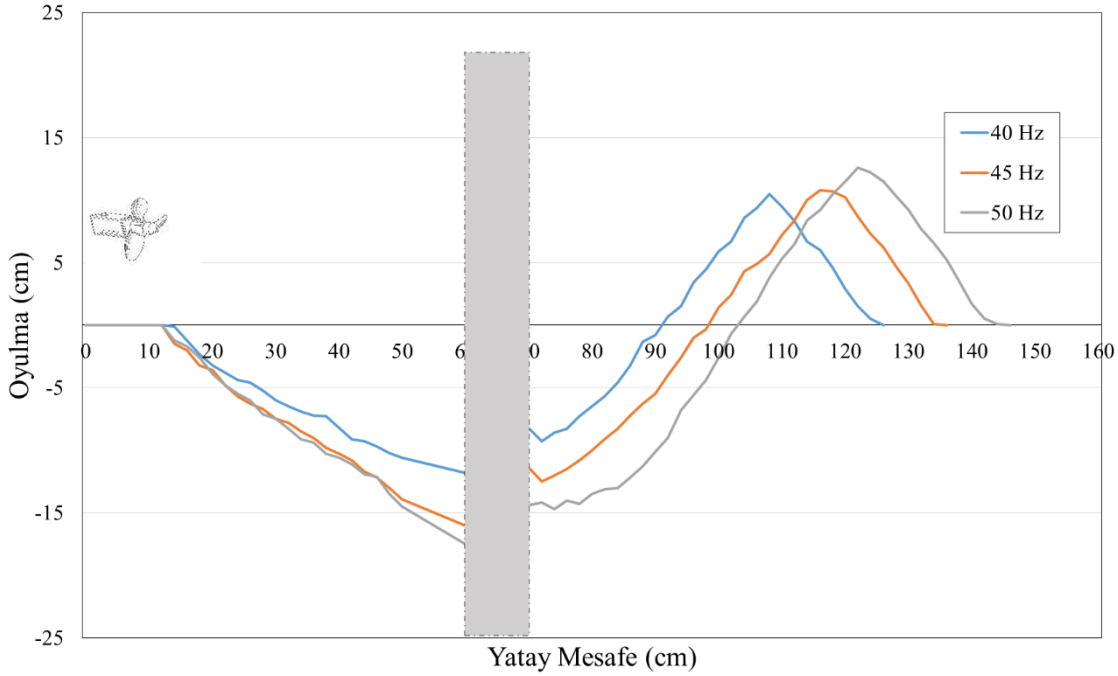


(n) $X=4d_0$, $D_p=10$ cm

Şekil 4.9 Farklı kazık konumu, pervane çapı ve pervane hızlarında oluşan oyulma profilleri (devamı)



(o) $X=5d_0$, $D_p=6.5$ cm

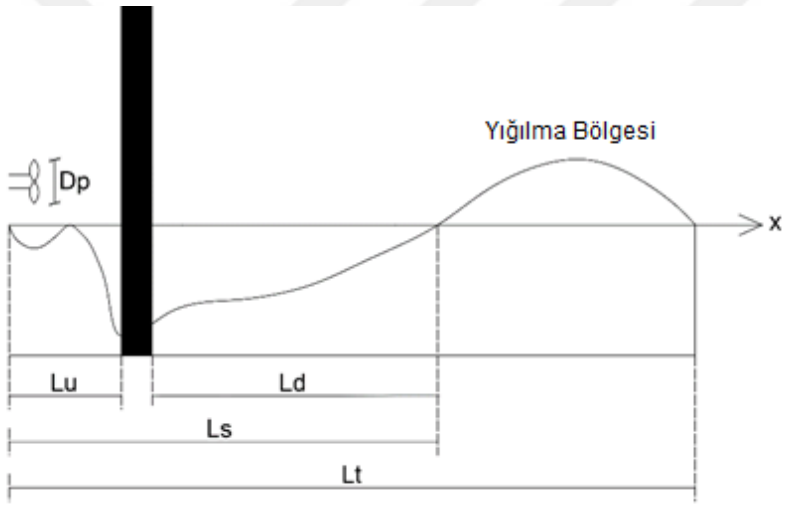


(p) $X=5d_0$, $D_p=10$ cm

Şekil 4.9 Farklı kazık konumu, pervane çapı ve pervane hızlarında oluşan oyulma profilleri (devamı)

4.4 Oyulma Geometrisinin Belirlenmesi

Uygulamada, oyulma problemine karşı koruma alanının boyutlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yani oyulma alanının boyutlarının tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada her bir deney şartında elde edilen oyulma profilinin boyutları da ölçülmüştür. Oyulma profilinin geometrik uzunlukları Şekil 4.10'da gösterilmektedir, burada L_t, yığılma bölgesi de dahil olmak üzere profilin toplam uzunluğu; L_s, Tan ve Yüksel (2018) tarafından tanımlanmış olan küçük oyulma bölgesini de içeren oyulma bölgesinin toplam uzunluğu; L_u, kazığın önünden küçük oyulma çukurunun menba tarafındaki sınırı arasındaki uzunluk; L_d, kazığın arkasından oyulma çukurunun mansap sınırına kadar olan uzunluk ve B, oyulma çukurunun maksimum genişliğidir.



Şekil 4.10 Oyulmanın şematik gösterimi

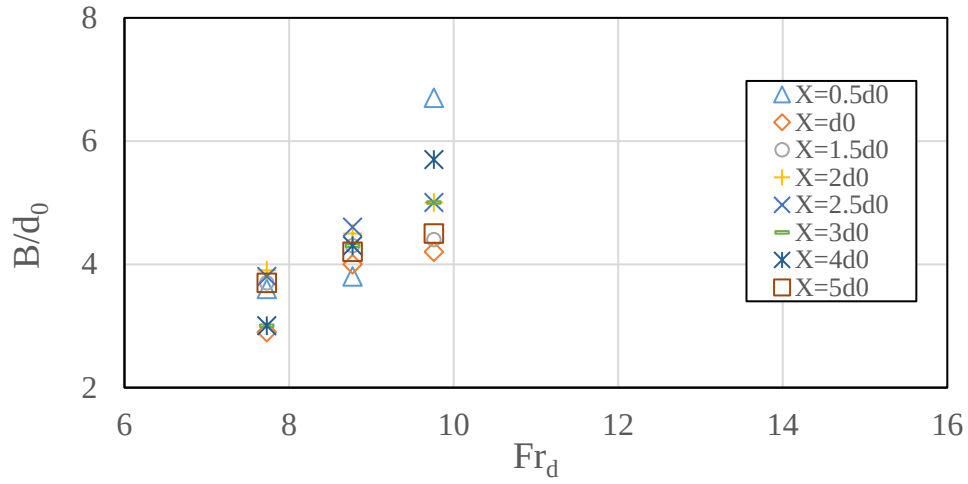
Pervane jeti etkisinde kazık etrafında meydana gelen oyulma profilinin geometrisinin özelliklerinin belirlenebilmesi için her bir deneyden sonra oluşan oyulma profilinin üzerinden boyutları ölçülmüş ve elde edilen değerler Tablo 4.1'de verilmiştir. Oyulma profiline ait karakteristik uzunlukların farklı pervane çapları için karşılaştırmalı olarak grafikleri ise Şekil 4.11-4.15'te gösterilmiştir.

Şekil 4.11-4.15 incelendiğinde oyulma profiline ait boyutsuz karakteristik uzunluklar genel olarak D_p=6.5 ve 10 cm çapa sahip pervanelerin her ikisi için de yoğunluk Froude sayısı arttıkça artmaktadır. Bütün pervane konumları dikkate alındığında her iki pervane için de en büyük oyulma çukuru genişliği (B)

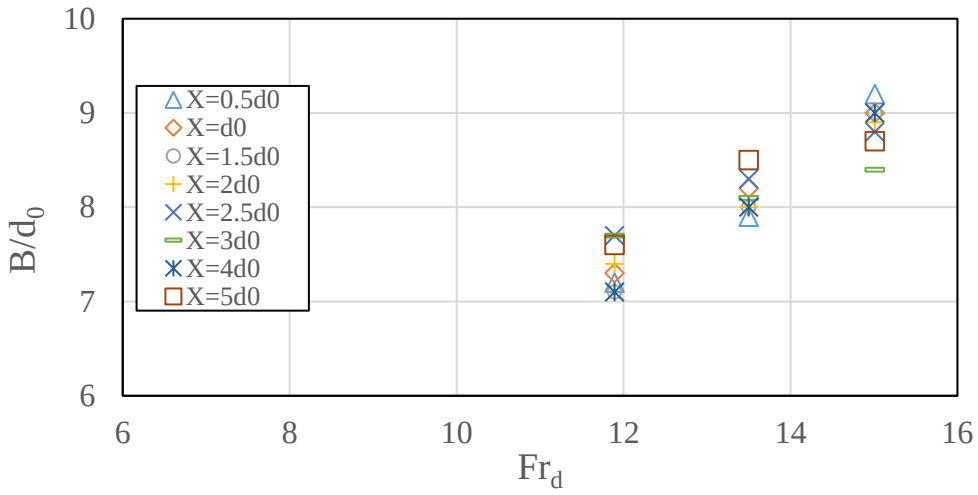
pervanenin X=0.5d_0 konumunda yerleştirilmesi durumunda iken elde edilmiştir. Bu konumda D_p=6.5 cm çaplı pervane için oyulma çukuru genişliği kazık çapının 6.7 katı, D_p=10 cm çaplı pervane için kazık çapının 9.2 katı olarak bulunmuştur (Şekil 4.11). Kazık pervaneden uzaklaştırıldıkça oyulma çukuru genişliğinin artıp azalarak çok fazla değişmediği görülmüştür. Ancak pervanenin 40 ve 45Hz hızlarında çalışması durumunda kazığın ilk konumundakine göre X=5d_0'da oyulma çukuru genişliğinin biraz arttığı, pervanenin 50Hz hızında çalışması durumunda ise oyulma çukuru genişliğinin azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 4.1 Oyulma profilinin karakteristik uzunlukları

Pervane Konumu (X)	Pervane hızı	L_t (cm)		B (cm)		L_s (cm)		L_d (cm)		L_u (cm)	
	(rpm)	D_p (6.5cm)	D_p (10cm)	D_p (6.5cm)	D_p (10cm)	D_p (6.5cm)	D_p (10cm)	D_p (6.5cm)	D_p (10cm)	D_p (6.5cm)	D_p (10cm)
0.5d_0	590	58	124	36	72	30	77	9	52	11	15
	670	64	129	38	79	35	84	12	59	13	15
	745	70	138	67	92	41	87	18	62	13	15
d_0	590	46	102	29	73	41	72	13	42	18	20
	670	61	128	40	82	42	79	14	49	18	20
	745	68	136	42	90	43	89	15	59	18	20
1.5d_0	590	44	112	37	71	37	82	17	47	10	25
	670	52	124	43	80	28	94	8	59	10	25
	745	60	137	44	90	37	100	16	65	11	25
2d_0	590	43	115	39	74	33	73	11	43	12	20
	670	51	129	45	80	37	83	9	55	18	18
	745	60	140	50	89	39	92	13	63	16	19
2.5d_0	590	44	114	38	77	34	80	11	45	13	25
	670	54	123	46	83	39	88	10	53	19	25
	745	61	138	50	88	43	102	13	61	20	31
3d_0	590	50	110	30	77	32	79	0	43	22	26
	670	55	121	43	81	32	89	0	49	22	30
	745	62	131	50	84	45	95	9	57	26	28
4d_0	590	49	111	30	71	40	79	0	33	30	36
	670	53	115	43	80	42	83	0	37	32	36
	745	68	132	57	90	51	93	5	47	36	36
5d_0	590	60	107	37	76	59	77	3	21	46	46
	670	68	125	42	85	56	85	0	29	46	46
	745	76	130	45	87	58	89	0	33	48	46



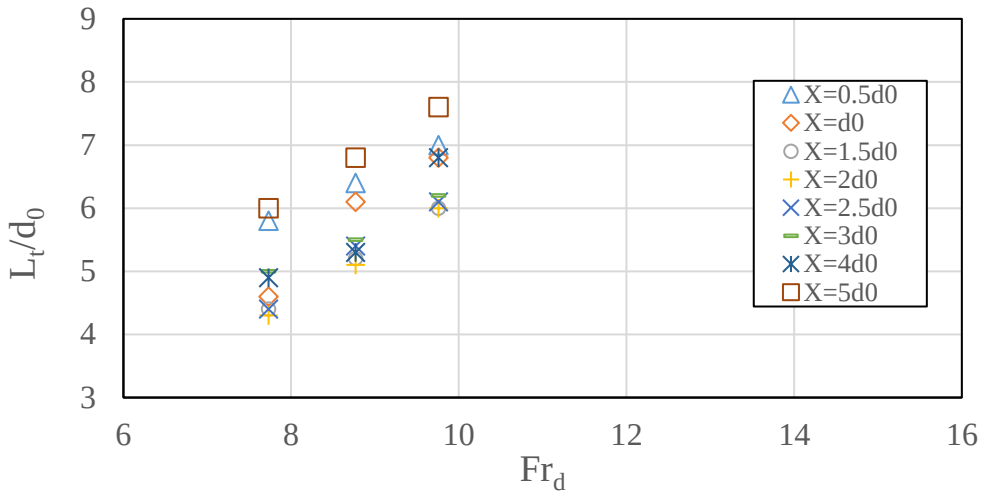
(a) D_p=6.5 cm



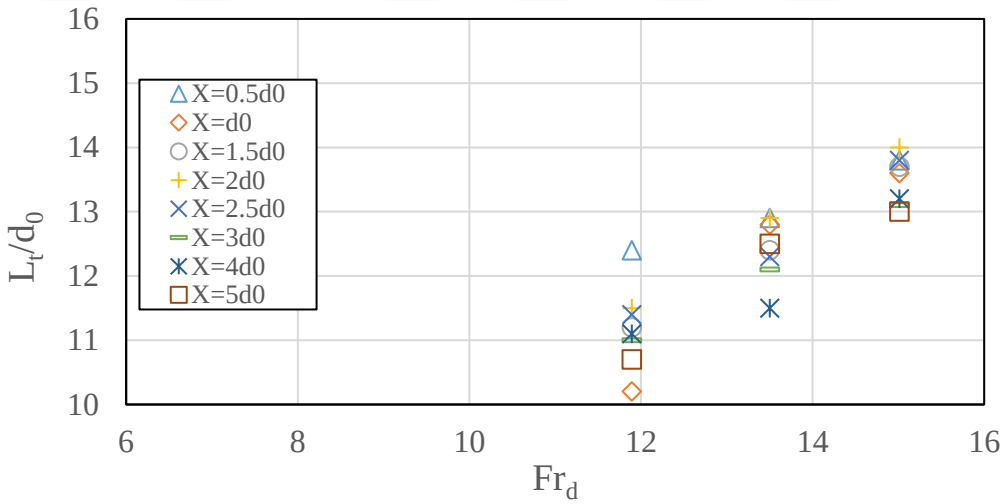
(b) D_p=10 cm

Şekil 4.11 Oyulma çukuru genişliğinin yoğunluk Fr_d sayısı ile değişimi

Yine bütün pervane konumları dikkate alındığında oyulma profilinin toplam uzunluğunun (L_t) maksimum değeri D_p=6.5 cm çaplı pervane için kazığın X=0.5d_0 konumunda yerleştirilmesi durumunda kazık çapının 8 katı, D_p=10 cm çaplı pervane için X=1.5d_0 konumunda kazık çapının 15 katı olarak bulunmuştur (Şekil 4.12). Kazık pervaneden uzaklaştırıldıkça oyulma profilinin toplam uzunluğunun bir miktar artıp bir miktar azalarak çok fazla değişmediği görülmüştür.



(a) D_p=6.5 cm

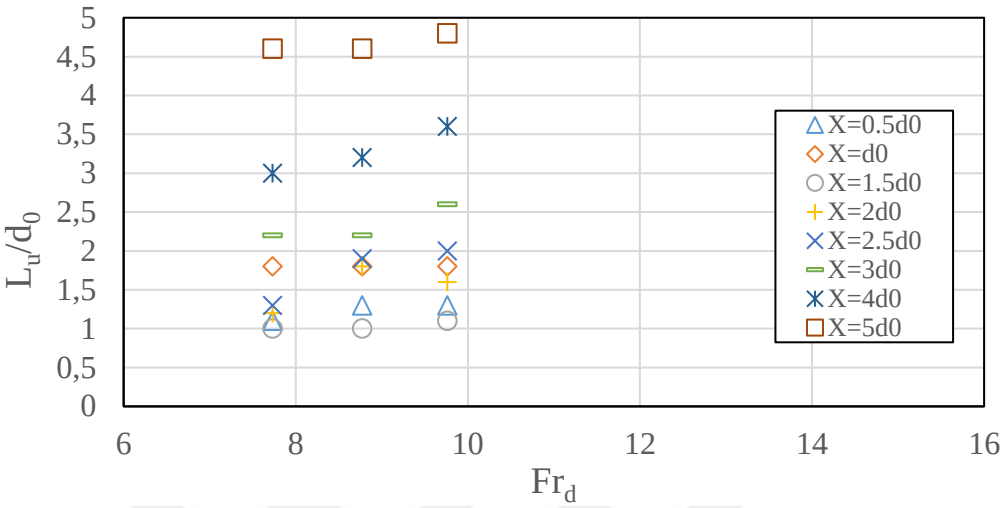


(b) D_p=10 cm

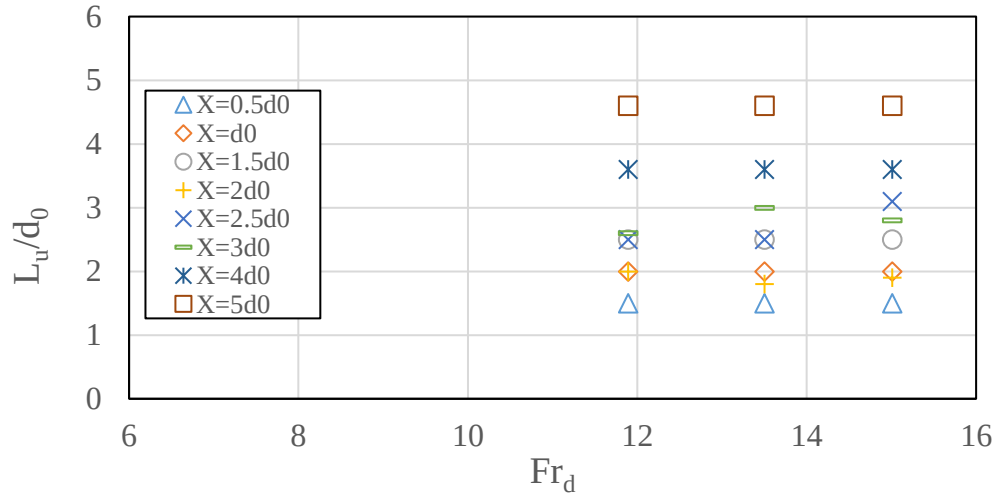
Şekil 4.12 Oyulma profilinin toplam uzunluğunun yoğunluk Fr_d sayısı ile değişimi

Şekil 4.13'de oyulma çukurunun kazık menbasındaki uzunluğunun yoğunluk Froude sayısı ile değişimi çizilmiştir. Oyulma çukurunun kazığın menba tarafında kalan uzunluğunun (L_u) D_p=6.5 cm çaplı pervane için bütün pervane hızlarında kazığın bulunduğu X=d_0 konumuna kadar arttığı, X=1.5d_0'da azaldığı ve bu konumdan sonra tekrar arttığı görülmüştür. D_p=10 cm çaplı pervane için ise bütün pervane hızlarında kazığın bulunduğu X=1.5d_0 konumuna kadar arttığı, X=2d_0'da

azaldığı ve bu konumdan sonra yeniden arttığı belirlenmiştir. L_u uzunluğu kazık pervaneden uzaklaştıkça büyümüştür ve maksimum değeri her iki pervane çapı için de $X=5d_0$ konumunda elde edilmiştir (Şekil 4.13).



(a) D_p=6.5 cm

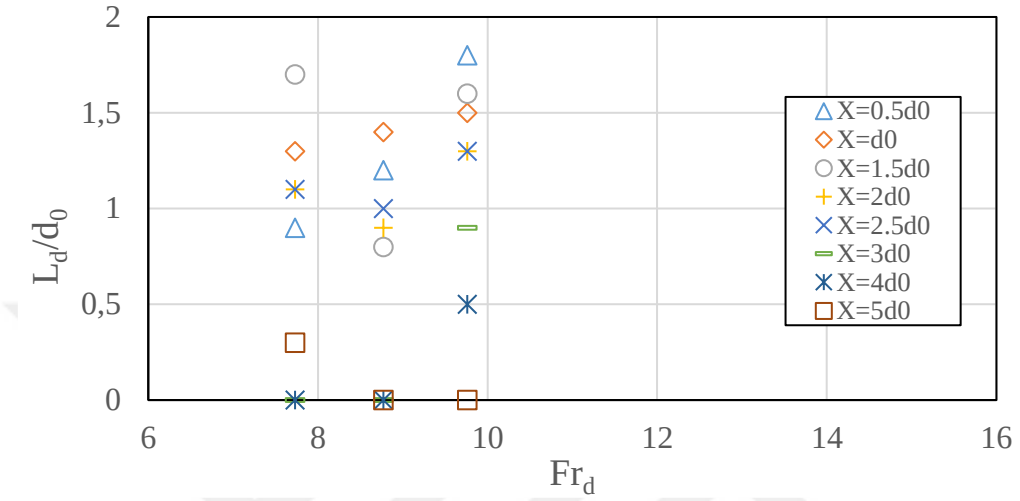


(b) D_p=10 cm

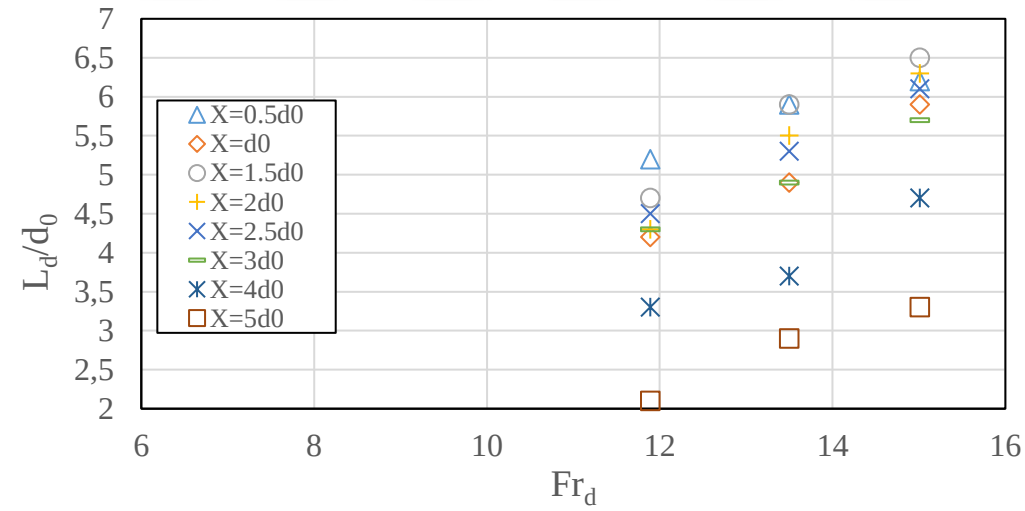
Şekil 4.13 Oyulma çukurunun kazık menbasındaki uzunluğunun yoğunluk Fr_d sayısı ile değişimi

Şekil 4.14'de oyulma çukurunun kazık mansabındaki uzunluğunun yoğunluk Froude sayısı ile değişimi çizilmiştir. Oyulma çukurunun kazığın mansap tarafında kalan uzunluğunun (L_d) D_p=6.5 cm çaplı pervane için pervane 40 Hz hızında çalışırken $X=1.5d_0$ konumuna kadar artarak sonra azaldığı, 45 Hz hızında çalışırken

$X=d_0$ konumuna kadar artarak sonra azaldığı ve 50 Hz hızında çalışırken kazık pervaneden uzaklaştıkça azaldığı belirlenmiştir. D_p=10 cm çaplı pervane için ise bütün pervane hızlarında kazığın bulunduğu $X=d_0$ konumuna kadar azaldığı, $X=1.5d_0$'da arttığı ve bu konumdan sonra yeniden azaldığı belirlenmiştir.



(a) D_p=6.5 cm

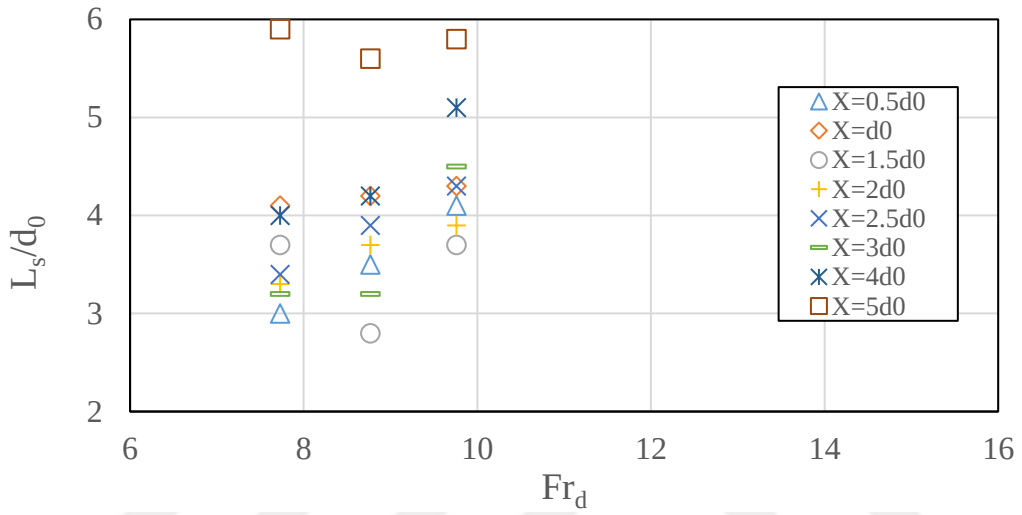


(b) D_p=10 cm

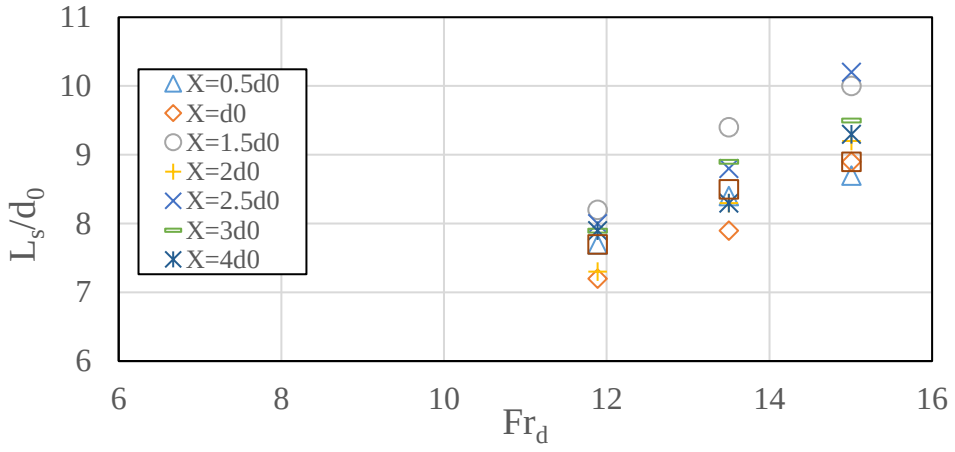
Şekil 4.14 Oyulma çukurunun kazık mansabındaki uzunluğunun Fr_d sayısı ile değişimi

Şekil 4.15'te oyulma çukurunun toplam uzunluğunun (L_s) yoğunluk Froude sayısı ile değişimi çizilmiştir. Oyulma çukuru uzunluğunun D_p=6.5 cm çaplı pervane için bütün pervane hızlarında kazığın bulunduğu $X=3d_0$ konumuna kadar bir miktar

artıp bir miktar azalarak çok fazla değişmediği ancak bu konumdan sonra arttığı görülmüştür. Maksimum oyulma çukuru uzunluğu $X=5d_0$ konumunda kazık çapının 5.9 katı olarak meydana gelmiştir. D_p=10 cm çaplı pervane için ise oyulma çukuru uzunluğu bütün pervane hızlarında kazık pervaneden uzaklaştıkça bir miktar artıp bir miktar azalarak değişmiştir. Maksimum oyulma çukuru uzunluğu $X=2.5d_0$ konumunda kazık çapının 10.2 katı olarak meydana gelmiştir.



(a) D_p=6.5 cm



(b) D_p=10 cm

Şekil 4.15 Oyulma çukurunun toplam uzunluğunun Fr_d sayısı ile değişimi

5
SONUÇ

Bu çalışmada kazıklı yapılar için gemi pervane jetinin yarattığı akım yapısından dolayı oluşan oyulma mekanizması deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde farklı çapa sahip pervane modelleri (D_p=6.5 ve 10 cm) üç değişik hızda (40, 45, 50 Hz) çalıştırılmıştır. Çapı d_0=10 cm olan kazık modeli, kazık çapının katları olacak şekilde 8 farklı konuma ($X=0.5d_0$ / d_0 / $1.5d_0$ / $2d_0$ / $2.5d_0$ / $3d_0$ / $4d_0$ / $5d_0$) yerleştirilmiştir. Tüm deneylerde yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) 7.73 – 15.01 aralığındadır. Gerçekleştirilen deneyler sonunda elde edilen veriler aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

- Pervanenin yaklaşık 240 dakika boyunca çalışması sonucunda oyulma derinliğinin maksimuma ulaştığı yani denge durumunun oluştuğu gözlenmiştir.
- Mevcut çalışmada deneylerde ölçülen göreceli oyulma derinlikleri (S_0/d_0 ve S_0/D_p), Yüksel ve diğ. (2018) tarafından önerilen denklem kullanılarak hesaplanan verilerle bir arada çizilmiştir. Yüksel ve diğ. (2018), Yüksel ve diğ. (2021) ve mevcut çalışma bir arada değerlendirildiğinde pervane çapına göre göreceli oyulma derinliği (S/D_p) için hesaplanan verilerle ölçülen verilerin iyi bir uyum sağladığı görülmüştür. Kazık çapına göre göreceli oyulma derinliğinin (S/d_0) ise büyük çaplı kazık kullanılmasından dolayı kısmen, daha önceki çalışmaların güven aralıklarının dışına çıktığı ve bu durumun da büyük çaplı pervanelerde oluşan büyük Froude sayılarında meydana geldiği belirlenmiştir.
- Yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) arttıkça kazık önünde oyulma derinliğinin arttığı görülmüştür.
- Pervane çapı ve hızı arttıkça kazık önünde oluşan oyulma derinliğinin arttığı belirlenmiştir.
- Kazık ile pervane arasındaki açıklık arttıkça kazık önündeki oyulma derinliğinin azaldığı belirlenmiştir.

- Pervane çapı ve pervane hızı arttıkça, oyulma profilinin büyüdüğü görülmüştür.
- Pervane çapı ve pervane hızı arttıkça, kazık arkasında oluşan yığılmanın arttığı gözlenmiştir.
- Yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) arttıkça genel olarak oyulmanın geometrik uzunluklarının arttığı belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, gelecekte yapılacak çalışmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

1. Çalışmada tek taban malzemesi dikkate alınmıştır. Farklı çapa sahip taban malzemesi kullanılarak ölçümler yapılabilir.

2. Mevcut çalışmada pervane konumu sabit tutulmuştur. Pervane ile taban arasındaki mesafe değiştirilerek oyulmaya olan etkisi araştırılabilir.

3. Mevcut çalışmada d_0=10 cm çaplı kazık modeli kullanılmıştır. Daha büyük çaplı kazıklar kullanılarak ta deneyler tekrarlanabilir.

KAYNAKÇA

Baknalı, I., Özcan, M. (2018). Kruvaziyer Gemi Rıhtımlarında Pervane Jeti Etkisine Karşı Taban ve Temel Koruması. *9. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*. Adana.

Blaauw, H., ve Kaa, E. (1978). Erosion of bottom and sloping banks caused by the screw race of manoeuvring ships. *in 7th International Harbour Congress*. Antwerp.

Chiew, Y. M., ve Lim, S.Y. (1996). Local scour by a deeply submerged horizontal circular jet. *J. Hydraul. Eng*, 122, 529–532.

Chin, C. O., Jain, S. C., Melville, B., M., ve Raudkivi, A. J. (1996). Discussion and Closure: Streambed Armoring, *Journal of Hydraulic Engineering*, 122.

Çelikoğlu, Y., Yüksel, Y., Şahin, E., ve Bostan, T. (2011). Kazıklı Yapılar Etrafındaki Akım Alanının Araştırılması. *7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*. Trabzon.

Faruque, M., Sarathi, P., ve Balanchar, R. (2004). Transient local scour by submerged three-dimensional wall jets: effect of tailwater depth. *in Second International Conference on Scour and Erosiaon.* Singapore.

Hamill, G. A., Johnston, H. T., ve Stewart, D. P. (1999), Propeller Wash Scour Near Quay Walls, J. Waterway, Port, Coastal, *Ocean Eng*, 125, 170-175.

Hoffmans, G. (2012), The Influence of Turbulence on Soil Erosion, *Eburon Academic Publishers*, Delft.

Hong, J. H., Chiew, Y. M., ve Cheng, N. S. (2013), Scour caused by a propeller jet, *Journal of Hydraulic Engineering*, 139 (9), 1003-1012.

Kurniawan, A., Altinakar, M.S. and Graf, W.H. (2001), Flow Pattern of an Eroding Jet,. Proc. *of XXIX IAHR Congress*, pp. 537-544, Beijing, China.

Ozan, A., ve Yüksel, Y. (2010). Simulation of a 3D submerged jet flow around a pile. *Ocean Engineering*, 819-832.

Permanent International Association of Navigation Congresses (P.I.A.N.C.) (2015), The world association for waterborne transport infrastructure, *Guidelines for Protecting*.

Rajaratnam (1981), Erosion by plane turbulent jets, *J. Hydraulic Research*, vol. 19, no. 4, pp. 339-358.

Roulund, A., Sumer, B. M., Fredsoe, J., Michelsen, J. (2005). Numerical and

experimental investigation of flow and scour around a circular pile. *Journal of Fluid Mechanic*, 534: 351-401.

Rowell, L., ve Hong, E. (2013). Academic motivation: Concepts, strategies, and counseling approaches. *Professional School Counseling*, 16(3), 158–171.

Sarathi, P. (2015), Scour by submerged square wall jets at low densimetric Froude number, Yüksek Lisans Tezi, University of Windsor, Ontario.

Schokking, L.A. (2002). Bowthruster-induced Damage, Yüksek Lisans Tezi, Delft University of Technology.

Şahin, E. (2011), Batık Jet Akımı Etkisinde Bir Kazık Etrafındaki Akım Alanının Hidrodinamiği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Tan, İ. R., ve Yüksel, Y. (2018), Seabed scour induced by a propeller jet. *Ocean Engineering*, 160, 132-142.

Tsinker, G. P. (1995). Marine Structures Engineering: Specialized Applications. Boston.

Veldhoven, V. (2001). Vooronderzoek schroefstraal op een talud met breuksteen, Yüksek Lisans Tezi, Delft University of Technology.

Yüksel, A. (2002). Gemi Pervanelerinin Kazıklı Yanaşma Yapılarında Neden Olduğu Erozyonun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yuksel, Y., Kayhan, S., Celikoglu, Y., ve Cihan, K. (2012). Open type quay structures under propeller jets. *Coastal Engineering Proceedings*.

Yuksel, Y., Celikoglu, Y., ve Sen, E. (2021), Propeller jet flow scour around pile group supported piers, *Ocean Engineering*, 239, 1-16.

Wei, M., ve Chiew, Y. (2018). Characteristics of Propeller Jet Flow within Developing Scour Holes around an Open Quay. *Journal of Hydraulic Engineering*, 144(7).

A
EK



(a) D_p=6.5 cm, 40 Hz, X=0.5d_0



(b) D_p=6.5 cm, 40 Hz, X=5d_0



(c) D_p=6.5 cm, 45 Hz, X=0.5d_0



(d) D_p=6.5 cm, 45 Hz, X=5d_0

Şekil Ek1.1 Pervaneye en yakın (X=0.5d_0) ve en uzak (X=5d_0) kazık konumları için denge durumundaki oyulma profili görselleri



(e) D_p=6.5 cm, 50 Hz, X=0.5d_0



(f) D_p=6.5 cm, 50 Hz, X=5d_0



(g) D_p=10 cm, 40 Hz, X=0.5d_0



(h) D_p=10 cm, 40 Hz, X=5d_0

Şekil Ek1.1 Pervaneye en yakın (X=0.5d_0) ve en uzak (X=5d_0) kazık konumları için denge durumundaki oyulma profili görselleri (devamı)



(i) D_p=10 cm, 45 Hz, X=0.5d_0



(j) D_p=10 cm, 45 Hz, X=5d_0



(k) D_p=10 cm, 50 Hz, X=0.5d_0



(l) D_p=10 cm, 50 Hz, X=5d_0

Şekil Ek1.1 Pervaneye en yakın (X=0.5d_0) ve en uzak (X=5d_0) kazık konumları için denge durumundaki oyulma profili görselleri (devamı)

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Güneşer, A., Çelikoğlu, Y. (2022), Gemi Pervane Jeti Etkisinde Büyük Çaplı Kazıklı Yapılar Etrafında Oluşan Oyulmanın İncelenmesi, *4. Uluslararası Mühendislik Bilimleri ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi*, İstanbul.