

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Düz Dairesel Plaka Kullanılarak Bir Kazık Etrafında Pervane Jet Akımı
Oyulmasının Azaltılması

AYŞE HAZEL HAFIZOĞULLARI

AĞUSTOS 2020

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Ayşe Hazel Hafizoğulları tarafından hazırlanan **DÜZ DAİRESEL PLAKA KULLANILARAK BİR KAZIK ETRAFINDA PERVANE JET AKIMI OYULMASININ AZALTILMASI** adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Orhan DOĞAN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Kubilay Cihan
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Osman YILDIZ _____

Üye (Danışman) : Doç. Dr. Kubilay CİHAN _____

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cihan ŞAHİN _____

07/09/2020

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

DÜZ DAİRESEL PLAKA KULLANARAK BİR KAZIK ETRAFINDA PERVANE AKIMI OYULMASININ AZALTILMASI

HAFIZOĞULLARI, Ayşe Hazel

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Kubilay CİHAN

Ağustos 2020, 104 sayfa

Kazık tipi yapıların etrafında, gemilerin pervane jetleri hasara neden olmaktadır. Bu çalışmanın amacı kazık etrafındaki oyulmanın azaltılarak, yapının daha uzun ömürlü ve güvenli olmasını sağlamaktır. Kazık tipi yapıların bakım ve onarım maliyetleri azalacak, böylece kazıklı yapının operasyonel ömrü uzatılacaktır.

Yapılan bu deneysel çalışma, üç farklı düz dairesel plaka genişliği (W) ve iki farklı düz dairesel plaka yüksekliği (h_c) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada üç farklı pervane dönüş hızı kullanılmıştır ve ölçümler Akustik Doppler Hızölçer Profil Kaydedici (ADVP) ile alınmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, bir kazık yapısı etrafındaki oyulma miktarının, düz dairesel plakanın genişliğine ve deniz tabanından yüksekliğiyle yakından alakalı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kazık Tipi Yapılar, Pervane Jeti, Oyulma, Düz Dairesel Plaka

ABSTRACT

REDUCTION OF PROPELLER JET FLOW SCOUR AROUND A PILE BY USING COLLAR PLATE

HAFIZOĞULLARI, Ayşe Hazel

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, MS. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kubilay CİHAN

August 2020, 104 pages

Ship's propeller jets caused damage around pile-type structures. The aim of this study is to provide longer and safer structure service life by reducing the scouring effect around the pile. By the way, maintenance and repairment costs of structures will be reduced, thus the operational life of the structure will be extended.

This experimental study was carried out using three different flat circular plate widths (W) and two different flat circular plate heights (h_c). Three different propeller rotation speeds were used in this study, and the measurements were performed with Acoustic Doppler Velocimeter Profiler (ADVP).

When the results obtained in this study are taken into consideration, it is seen that the amount of scouring around a pile structure is closely related to the width of the flat circular plate and its height from the seabed.

Keywords: Pile-Type Structures, Propeller Jet, Scour, Flat Collar Plate

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın bu zor süreçte gerçekleştirilmesinde çok fazla emeği olan danışmanım Doç. Dr. Kubilay CİHAN'a çalışma süresince olan ilgisi, paylaştığı bilgi ve vakti için teşekkür ederim. Bu süreçte çalışmama olan katkılarından ve desteğinden dolayı Prof. Dr. Osman YILDIZ'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamı tamamlamamda bana yardımcı olan Prof. Dr. İlhami DEMİR'e, Dr. Öğr. Üyesi Özer SEVİM'e, Arş. Gör. Orhan Gazi ODACIOĞLU'na, Arş. Gör. Ali DOĞU ve Arş. Gör. Akın DUVAN'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) 218M428 numaralı araştırma projesi ve Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi 218/074 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a ve BAP'a teşekkür ederim.

Bu tezin yazılması sırasında desteklerini esirgemedikleri için aileme, çalışma sürecinde paylaştığı tecrübeleri için dayım Cumhur TOKGÖZ'e ve en temel motivasyon kaynağım olan Mustafa Kemal ATATÜRK'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması.....	3
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	35
2.1. Deney Tankı.....	35
2.2. Taban Malzemesi	36
2.3. Pervane Sistemi.....	37
2.3.1. Sistemin Yapısı	37
2.3.1.1. Donanım.....	38
2.3.1.2. Yazılım.....	38
2.4. Pervane Özellikleri	39
2.5. Kazık ve Farklı Genişlikteki Plakalar	48
2.6. Ölçüm Sistemi.....	48
2.7. Boyut Analizi.....	51
2.8. Kazık Etrafında Akım	59
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	64
3.1. Sınırlandırılmamış Durum Deneyleri	66
3.2. Sınırlandırılmış Durum Deneyleri	70

3.2.1.	Sadece Kazık Bulunan Durum	70
3.2.2.	Kazık Üzerine Düz Dairesel Plaka Yerleştirilen Deneyler	75
4.	SONUÇLAR.....	98
	KAYNAKLAR	100



ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

1.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi (Hong vd., 2013 [1]).....	4
1.2. Tipik bir yıkama etkisi altında bir pervaneden kaynaklanan oyulma işleminin şematik diyagramı (Hong vd., 2013 [1]).....	5
1.3. Bir pervane jetinden kaynaklanan oyulma profilinin asimptotik durumda şematik diyagramı (Hong vd., 2013 [1])	6
1.4. Bir pervane jetinden kaynaklanan taban profilinin şematik gösterimi (Tan ve Yüksel, 2018 [4])	9
1.5. Farklı şartlarda oluşan oyulma profillerinin karşılaştırılması (Tan ve Yüksel, 2018 [4]).....	10
1.6. Çift pervane bulunan bir durumda oluşan oyulma profilinin boyutları ((Cui vd, 2019) [5])	12
1.7. Bir kazığın etrafındaki akım modeli (Zarrati vd., 2004 [10])	16
1.8. Kazık etrafında dairesel duvar jetinin oluşturduğu oyulma (Chiew vd., 1996) [9]	17
1.9. Oyulmanın zamansal gelişimi ($F_0 = 68,55$; $X_1 = 1050$ mm; $U_0 = 4,85$ m/s; $d_{50} = 25,4$; mm $D = 100$ mm) (Chiew vd. (1996)) [9]	18
1.10. Tanımlanan oyulma profili tipleri (Chiew vd. (1996)) [9].....	19
1.11. Denge durumunda pervane jetinden kaynaklanan bir kazık ile oyulma profilinin şematik gösterimi (Yüksel vd. (2018)) [12].....	20
1.12. Pervane jeti akımı etkisinde bir kazığın etrafında oluşan karakteristik oyulma profilleri (Yüksel vd. (2018)) [12]	21
1.13. Dikdörtgen iskeleye yerleştirilmiş plaka görünüşleri (Zarrati vd. (2004) [10])	23
1.14. Plaka ve iskele grubu (Heidarpour vd. (2010) [17])	25
1.15. Oyulma derinliğinin deneysel değerinin Melville ve Chiew'in denkleminin (Denklemin (1.25)) değerleri ile karşılaştırılması (Heidarpour vd., 2010 [17]) ...	26
1.16. Deney düzeneği plan görünümü (Masjedi vd. (2010) [21]).....	27
1.17. Plaka takılmış dikdörtgen iskele (Masjedi vd. (2010) [21])	28

1.18. Plakasız bir iskele için 60 ⁰ pozisyonunda oyulmanın dengeye ulaşma süresi (Masjedi vd. (2010) [21]).....	29
1.19. Deney kanalının planı ve profili (Jahangirzadeh vd., (2012) [22]).....	30
1.20. Laboratuvardaki köprü iskele modeli (Akib vd., (2014) [27])	31
1.21. Laboratuvarda kullanılan karşı önlemler; (a) alüminyum plaka, (b) Perspex plaka, (c) çelik plaka ve (d) palmiye yağı içeren ezilmiş betona sahip geobag (Akib vd., (2014) [27]).....	33
1.22. (a) plaka ve (b) geobag ile korunan bir kazık etrafında oyulma profili (Akib vd., (2014) [27])	33
2.1. Deney tankı	36
2.2. Dane boyutu dağılımı.....	37
2.3. Pervane sisteminin çalışma şeması	39
2.4. Pervanenin genel görünümü (Güner vd., 1999) [29]	41
2.5. Deneylerde kullanılan pervane.....	42
2.6. Wageningen B seri pervane için itme katsayısı, ilerleme katsayısı ve tork katsayısı arasındaki ilişkiyi gösteren eğriler (Ray ve Kinley, 1981) [31].....	43
2.7. İdeal bir aktüatör diski olarak pervane (Chadwick, 2005 [33])	44
2.8. Pervane jetinin şematik görünüşü (Hamill (1989) [36])	46
2.9. Plakaların kazık üzerindeki konumları.....	48
2.10. Vectrino II ADVP'nin çalışma prensibinin şematik gösterimi (Vectrino II, Manuel, 2019)	49
2.11. Vectrino II ADVP yazılımının ekran görüntüsü (Vectrino II, Manuel, 2019)..	50
2.12. 0,5D _p mesafede elde edilen hız değerleri	56
2.13. Ölçülen ve değişik yöntemlere göre hesaplanan pervane çıkış hızları	57
2.14. Dairesel silindir etrafında üç boyutlu akış taslağı (Sumer ve Fredsoe, 2006) [42]	59
2.15. Silindirik kazık etrafında akım rejimleri Sumer ve Fredsoe, 2006) [42]	61
2.16. Pervane jeti hedef noktasının şematik gösterimi a) sınırlandırılmamış durum; b) yakın topuk açıklığı ($X_m = X_t \leq X_{m,u}$); c) orta topuk açıklığı ($X_t > X_{m,u}$) * (X_m : sınırlandırılmış akımda denge durumunda oluşan maksimum oyulmanın pervaneye uzaklığı, X_t : topuk açıklığı, $X_{m,u}$: sınırlandırılmamış akımda denge durumunda oluşan maksimum oyulmanın pervaneye uzaklığı) (Wei ve Chiew (2017)) [11]	63

3.1. Sınırlandırılmamış durumda karakteristik denge oyulma profili (Hong vd., 2013)	
[1]	66
3.2. Sınırlandırılmamış durumda maksimum oyulma derinliklerinin zamansal gelişimi	67
3.3. Sınırlandırılmamış durumda oyulma profilinin zamansal gelişimi (840 rpm)....	68
3.4. Sınırlandırılmamış durumda denge oyulma profili	69
3.5. Sınırlandırılmamış durumda oluşan denge oyulma profilleri	69
3.6. Fr_d ve S_{max}/D_p'nin değişimi.....	70
3.7. Pervane jetinin bir kazık tarafından sınırlandırılmasıyla oluşan oyulma profilinin şematik görünümü	71
3.8. Kazıklı durumda denge oyulma profilleri	72
3.9. Kazık bulunan durumda denge oyulma profili.....	72
3.10. Kazık bulunan durumda oyulma çukurunun zamansal gelişimi (840 rpm)	73
3.11. Sınırlandırılmış durum ve sınırlandırılmamış durum için denge oyulma profilleri (840 rpm)	74
3.12. Fr_d sayısı ile S_{max}/D_p arasındaki ilişki	74
3.13. Bir düz dairesel plaka yerleştirilmiş kazığın etrafındaki akım ve oyulma modeli	75
3.14. Düz dairesel plakaların kazık üzerindeki yerleşimleri	76
3.15. Kazıklara yerleştirilmiş düz dairesel plakalar (a) Düz dairesel plaka yüksekliği 5 cm, (b) Düz dairesel plaka taban seviyesinde	77
3.16. W/D oranı 3 olan düz dairesel plakanın 5 cm yüksekliğe ($h_c/y_0=0,5$) yerleştirilmesiyle oluşan oyulma profili.....	78
3.17. W/D oranı 3 olan düz dairesel plakanın 5 cm yüksekliğe ($h_c/y_0=0,5$) yerleştirilmesiyle oluşan denge oyulma profili (840 rpm).....	79
3.18. W/D oranı 2 olan düz dairesel plakanın kazık üzerinde 5 cm yüksekliğe ($h_c/y_0=0,5$) yerleştirilmesiyle oluşan oyulma profili	80
3.19. W/D oranı 1,5 olan bir düz dairesel plakanın 5 cm yüksekliğe yerleştirilmesi ile oluşan oyulma profili	81
3.20. 600 rpm dönüş hızında farklı koşullarda oluşan oyulma profilleri	82
3.21. 720 rpm dönüş hızı için farklı koşullarda oluşan denge oyulma profilleri	83
3.22. 840 rpm hız için farklı koşullarda oluşan denge oyulma profilleri ($h_c/y_0=0,5$)	84

3.23. W/D oranı 3 olan bir düz dairesel plakanın tabana ($h_c/y_0=0$) yerleştirilmesi ile oluşan denge oyulma profili.....	85
3.24. W/D oranı 3 olan bir düz dairesel plakanın tabana ($h_c/y_0=0$) yerleştirilmesi ile oluşan denge oyulma profili.....	85
3.25. W/D oranı 2 olan bir düz dairesel plakanın tabana yerleştirilmesiyle oluşan denge oyulma profili ($h_c/y_0=0$).....	86
3.26. W/D oranı 1,5 olan bir düz dairesel plakanın tabana yerleştirilmesiyle oluşan denge oyulma profili	87
3.27. 720 rpm hız ile çalışan bir pervanenin, düz dairesel plakaların tabana yerleştirilmesiyle oluşturduğu denge oyulma profilleri ($h_c/y_0=0$).....	88
3.28. 840 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge oyulma profilleri ($h_c/y_0=0$)	89
3.29. 720 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profilleri ($W/D=3$).....	90
3.30. 840 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profilleri ($W/D=3$).....	91
3.31. 720 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profilleri ($W/D=2$).....	92
3.32. 840 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profilleri ($W/D=2$).....	93
3.33. 840 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profilleri ($W/D=1,5$).....	94
3.34. Fr_d ve L_p/D_p arasındaki ilişki.....	96
3.35. Fr_d ve S_{max}/D_p arasındaki ilişki.....	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

2.1. Pervane özellikleri.....	42
2.2. Pervane çıkış hızı için E_0 katsayıları (Tan ve Yüksel, 2019) [13]	47
2.3. Etkili büyüklükler	52
2.4. Değişken Boyutları.....	53
2.5. Boyutsuz büyüklüklerin üstel değerleri	54
2.6. Ölçülen U_0 hızları.....	56
2.7. Model ve prototip arasındaki ilişki	58
3.1. Deney koşullarının özeti	65
3.2. Maksimum oyulma derinlikleri ve derinliklerin azalması (%)	95

1. GİRİŞ

Limanlar, gemilerin taşıdığı yükleri yükleme-boşaltma ve barınma alanı olarak kullandıkları deniz yapılarıdır. Deniz ticaretinin, gemi yoğunluğunun ve gemi boyutlarının artmasıyla limanlarda bakım ve onarım gerektiren hasarlar oluşur. Gemi pervanelerinden kaynaklanan pervane jeti özellikle liman gibi sık bölgelerin tabanlarında katı madde hareketine neden olur ve deniz tabanının topografyasını bozar.

Gemi pervanelerinden kaynaklanan oyulma yoğun olarak yanaşma ve ayrılma bölgelerinde gözlemlenir. Yanaşma ve ayrılma bölgelerinde daha sık görülen oyulma probleminin nedeni o bölgelerin çok manevra yapılması, dolayısıyla pervane jetine daha uzun süre maruz kalmasıdır.

Liman ve iskele hasarlarının onarılması, zor ve maliyetli bir süreçtir. Oluşan hasarın belirlenmesi için pervane jetinden kaynaklanan oyulma çukuru sorunu araştırmacılar tarafından incelenmiş ve literatürde yer almıştır. Yapılan çalışmalar pervane jetinin herhangi bir yapı ile karşılaşmaksızın deniz tabanında oluşturduğu oyulma çukurunun; pervane ve taban arasındaki mesafe, pervane çapı, deniz tabanında bulunan danelerin büyüklüğü, tek ve çift pervane bulunma durumu, pervanenin çalışma hızı ve dümen etkisi gibi parametrelere bağlı olarak geliştiğini ifade etmiştir.

Kazıklı bulunan deniz yapılarında da oyulma sorunuyla karşılaşılır ancak pervane jetinin bir kazık yapısıyla engellenmesi oyulma çukurunun boyutlarının değişmesine sebep olur, oyulma profili daha farklı bir görünüm alır. Kazığın pervane ekseninde, pervaneye yakın tarafında kazık bulunmayan duruma kıyasla daha derin oyulma çukuru oluşur. Bu durum ilerleyen zamanlarda kazık için dayanıklılık açısından sorun yaratabilir.

Bu durumda önlem olarak kazık tipi yapıların korunması, onarımı veya oyulma oluşumunun önlenmesi gereklidir. Araştırmacılar kazığın korunması ve oyulma çukurunun engellenmesi veya oyulma çukurunun derinliğinin azaltılması konusunda çalışmalar yapmışlardır. Bu konuda etkili yöntemlerden biri olan plaka kullanımı ile

ilgili; farklı boyutlar, farklı yükseklikler ve çoklu plaka kullanımı gibi parametreler değişken kabul edilerek kararlı üniform kanal akımlarında köprü ayakları için yapılan çalışmalar literatürde yer almaktadır.

Bu çalışmada, pervane jetinden kaynaklanan oyulma çukuru sorunu incelenmiştir. Oyulma çukuru oluşumu sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış durumlar için araştırılmıştır. Modelleme yapılarak gerçekleştirilen deneyler sabit bir boşluk mesafesi için farklı hızlar kullanılarak tamamlanmıştır. Çalışmada oyulma çukurunun derinliğinin azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda dairesel bir kazık üzerinde dairesel bir plaka kullanılarak, farklı plaka yükseklikleri ve plaka genişlikleri uygulaması sonrasında oluşan oyulma çukuru profilleri incelenmiştir. Literatürde bulunan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, bir pervane jeti akımına maruz kalan, kazık bulunan durumda oluşan oyulma derinliğinin azaltılmasına odaklanılmıştır.

Sunulan tezi başlıklar şeklinde açıklamak gerekirse;

Bölüm 1’de daha önce pervane jetinden kaynaklanan oyulma konusunda yapılan çalışmaları içeren Literatür kısmı yer almaktadır. Bu bölümde çalışma ile ilgili temel kavramlar açıklanmıştır ve yapılan çalışmada dikkate alınan parametreler incelenmiştir.

Bölüm 2’te deney sistemi tanıtılmış ve değişen parametreler sunulmuştur.

Bölüm 3’te yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler sunulmuştur. Bu verilerin karşılaştırılması ve yorumlanması yapılmıştır.

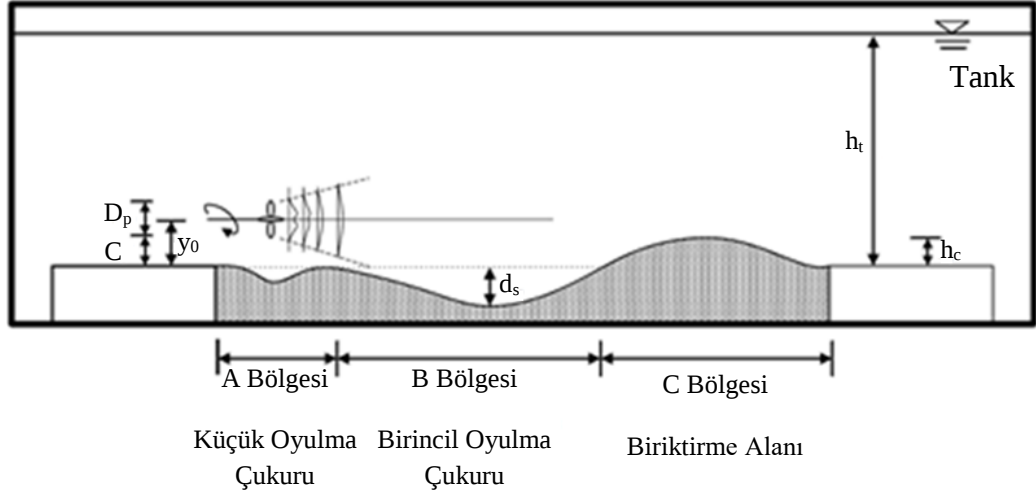
Bölüm 4’te çalışmada ulaşılan sonuçlar sunulmuştur.

1.1. Literatür Taraması

Gemilerin pervane jetinden kaynaklanan deniz tabanı oyulması, sığ sularda özellikle limanlarda hasarlara neden olur. Taban malzemesinin hareketi ile deniz dibinde oyulmalar ve yığılma alanları oluşur. Oyulma çukurunun gelişimiyle oyulma derinliği, denge oyulma derinliğine kadar artar ve oyulma olan bölgeden taşınan taban malzemesi biriktirme alanı oluşturarak deniz tabanının topografyasını değiştirir. Bu değişimin belirlenmesi gemilerin limanın içindeki hareket kabiliyeti açısından önemlidir.

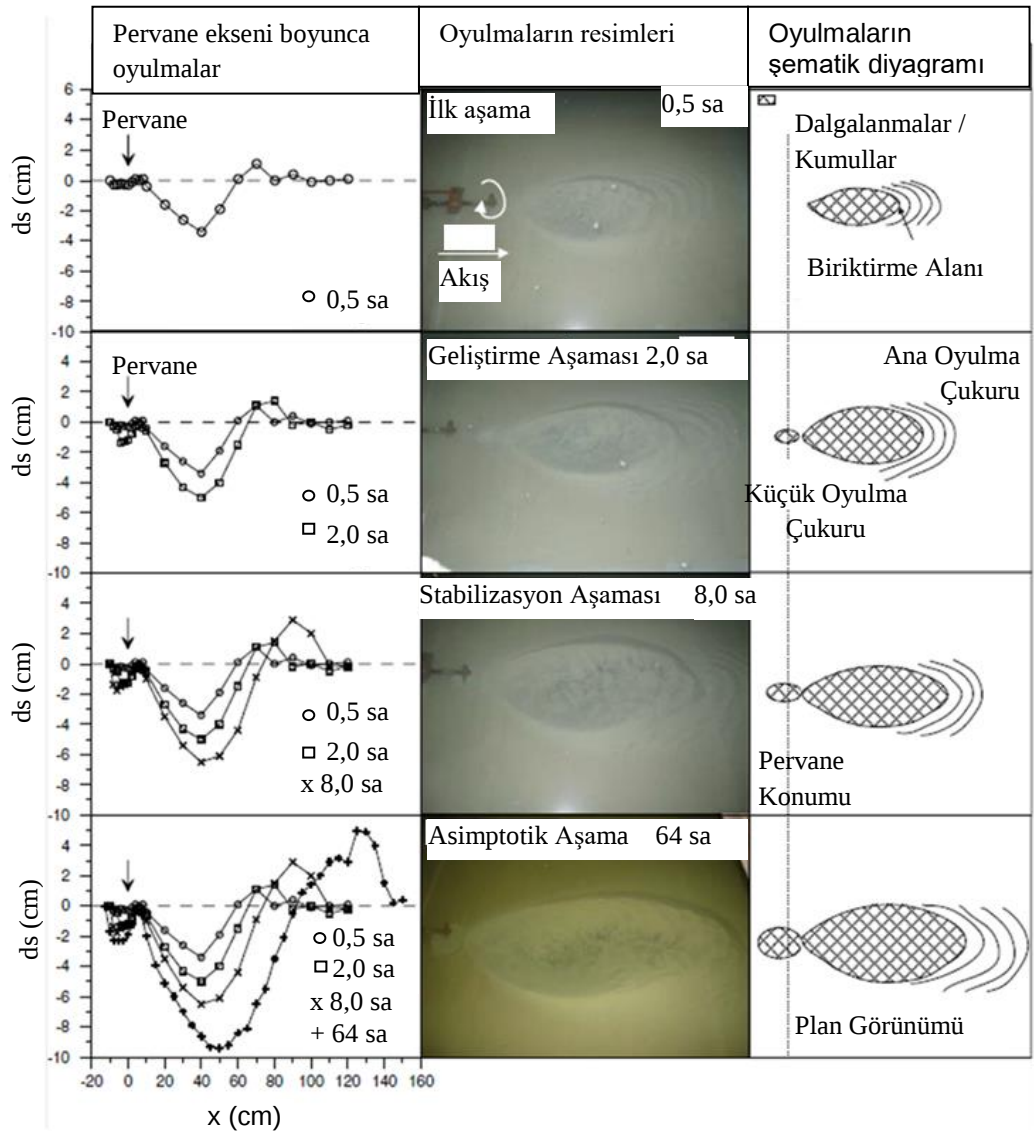
Pervane jetinin oluşturduğu oyulma çukuru, 2 grupta incelenebilir: sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış durum. Sınırlandırılmamış durumda, pervane jeti akımını engelleyen veya değiştiren yapılar bulunmaz. Pervane jet akımı bir etkiye maruz kalmadan ilerleyebilir. Sınırlandırılmış durumda ise ortamda jet akımını değiştiren kazık, iskele, duvar vb. yapılar bulunur. Pervane jetinin akımının değişmesiyle tabana ulaşan akım ve bu akımdan kaynaklanan oyulma çukuru profili de değişir.

Hong vd. (2013) [1] çalışmalarında pervane jeti akımının kohezyonsuz malzeme içeren bir deniz tabanında oluşturduğu oyulma çukurunun gelişimini deneysel olarak, sınırlandırılmamış bir durum için incelemiştir. Yapılan çalışma sürecinde oyulma profillerinin zamansal gelişimleri analiz edilmiştir, zamana bağlı maksimum oyulma derinliği üzerinde farklı pervanelerin etkileri gözlemlenmiştir. Deneylerin yapıldığı tank 1,8 m genişliğinde, 4,0 m uzunluğunda ve 1,0 m derinliğindedir. Bu tankın içerisine deniz tabanını temsil etmesi için yerleştirilen taban malzemesi 0,25 m derinliğe, 1,8 m uzunluğa ve 1,2 m genişliğe sahiptir. Deneylerde medyan dane boyutları 0,24 mm ve 0,34 mm olan iki tip taban malzemesi ve 10 cm ve 21 cm olmak üzere iki farklı çapta pervane kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi (Hong vd., 2013 [1])

Ayrıca bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde oluşan oyulma çukurlarının zamansal gelişimleri detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 1.2’de gösterildiği gibi tipik bir oyulma profilinin zamansal gelişimi 4 aşamaya ayrılmıştır.



Şekil 1.2. Tipik bir yıkama etkisi altında bir pervaneden kaynaklanan oyulma işleminin şematik diyagramı (Hong vd., 2013 [1])

1. İlk aşama: Pervanenin altında deniz tabanında belirgin bir oyulma çukuru oluşumu gözlemlenmez, pervanenin mansabında birincil (ana) oyulma çukuru oluşur. Oyulma çukurunun mansabında yığılma alanı gözlemlenir.
2. Geliştirme aşaması: Oluşan birincil oyulma çukurunun boyutu zamanla artar. Pervanenin altında küçük oyulma çukuru oluşur. Bu aşamada küçük oyulma çukuru ve birincil oyulma çukuru arasındaki taban seviyesi bozulmadan kalır.
3. Stabilizasyon aşaması: Birincil oyulma çukurunun ve küçük oyulma çukurunun boyutları zamanla artar. İki oyulma çukuru birbirine yaklaşır.

Zamana bağılı maksimum oyulma derinliğinin tahmini için deneysel verilerden faydalanılarak bir denklem önerilmiştir (Denklem (1.1)).

$$k_1 = 0,014 F_0^{1,120} \left(\frac{y_0}{d_p} \right)^{-1,740} \left(\frac{y_0}{d_{50}} \right)^{-0,170}$$

$$k_3 = 2,447 F_0^{-0,073} \left(\frac{y_0}{D_p} \right)^{0,53} \left(\frac{y_0}{d_{50}} \right)^{-0,045}$$

Burada $d_{s,t}$ zamana bağlı maksimum oyulma derinliğini, D_p pervane çapını, U_0 pervane çıkış hızını, F_0 Froude sayısını, y_0 ofset yüksekliğini, d_{50} medyan dane boyutunu ifade eder. Froude sayısı (F_0) ve ofset oranı (y_0/d_0), pervane jetlerinden kaynaklanan oyulmanın boyutlarının belirlenmesinde en önemli faktörlerdir. Denklem (1.2) bir pervane jeti sebebiyle oluşmuş oyulma derinliğini hesaplamak ve oyulma işleminin başlaması için gereken kritik şartı belirlemek için kullanılabilir. Denklem (1.3) ise atık su çıkışlarında, rıhtımlarda ve diğer hidrolik, kıyı ve liman yapılarında pervane jetinin neden olduğu oyulmanın başlangıcındaki sınır koşulu belirlemek için kullanılabilir.

$$13 \frac{d_{s,me}}{d_0} = 0,265 \left[F_0 - \left(4,114 \frac{y_0}{d_0} \right) \right]^{0,955} \left(\frac{y_0}{d_0} \right)^{-0,022} \quad y_0/d_0 < 0,5 \quad (1.2)$$

$$F_{0c} = 4,114 \frac{y_0}{d_0} \quad y_0/d_0 \geq 0,5 \quad (1.3)$$

Burada $d_{s,me}$ asimptotik aşamaya ulaşmış bir oyulma çukurunun maksimum oyulma derinliğidir, d_0 nozul veya pervane çapıdır, F_0 Froude sayısı, y_0 ofset yüksekliğidir. Yapılan deneylerin sonuçları birbiriyle kıyaslanarak oyulma çukurlarında oluşan benzer ve farklı oluşumlar incelenmiştir. Bunun sonucunda tipik bir oyulma çukurunun gelişim aşamaları belirlenmiştir ve bu aşamaların özellikleri detaylı bir şekilde sunmuştur.

Oyulma işleminin oluşumu, pervane jetinin akışına maruz kalan katı madde hareketi ile yakında ilgilidir. Hong vd. (2016) [2] yıkama mekanizmasını ve dönen bir pervane jetinden kaynaklanan taban malzemesi askıda taşınımını araştırmıştır. Genel olarak askıda katı madde konsantrasyonu tabana yakın yerlerde maksimum değerleri göstermiştir ve su yüzeyine yaklaştıkça azalmıştır. Ortalama konsantrasyonun büyüklüğü ise pervaneden uzaklaştıkça azalmıştır. Rouse denklemi bir pervane akımı etkisinde dane konsantrasyonundaki değişimleri zamansal ve konumsal olarak tahmin etmek için kullanılmıştır. Referans konsantrasyon ve Rouse sayısı, bozulmakta olan maksimum eksenel hızın ve yatak yapısının etkisi göz önüne alınarak değiştirilmiştir. Belirli bir konumdaki pervane jetinden dolayı oluşan askı malzemesi konsantrasyonu profili, sadece katı maddelerin kayma hızına bağlı değildir, aynı zamanda oyulma çukuru veya biriktirme alanı gibi pervane kaynaklı

yatak oluşumlarıyla da yakından ilgilidir. Denklem 1.4 ve Denklem 1.5 kullanılarak elde edilen sonuçlar ve ölçülen veriler arasında iyi bir uyum olduğu belirtilmiştir.

$$Z_{R,scour} = 5,208 \left(\frac{x}{D_p} \right)^{-4,061} \left(\frac{w_s}{u_*} \right)^{-0,688} \left[\frac{t}{(D_p/u_*)} \right]^{0,281} \quad (1.4)$$

$$Z_{R,deposit} \cong 0,21 \quad (1.5)$$

Burada $Z_{R,scour}$ oyulma çukurunun sediment konsantrasyonu için rouse sayısı, $Z_{R,deposit}$ biriktirme alanının sediment konsantrasyonu için Rouse sayısı, x pervaneden aşağı akış mesafesi, D_p pervane çapı, w_s dane parçacıklarının düşme hızı, u_* kesme hızı, t zamandır.

Yapılan bazı çalışmalar gemilerde çift pervane bulunması durumunda oluşacak oyulmaya odaklanmıştır. Yew vd. (2017) [3] kohezyonsuz taban malzemesi kullanarak ikiz pervane jetlerinden kaynaklanan oyulma oluşumu üzerine deneysel olarak çalışmıştır. Taban malzemesi üzerinde elde edilen oyulma profillerini araştırmak için 22 cm çapında bir çift pervane kullanılmıştır. Çalışmada dikkate alınan parametreler (F_0 , t , C ve U_0) değerlendirildiğinde, dönme hızları ve pervane ile taban arasındaki mesafeye ilişkin yapılan deneysel verilere dayanarak maksimum oyulma konumu hesabı için Denklem (1.6) önerilmiştir.

$$X_{max} = F_0^{0,9098} (C/D_p)^{0,1932} \quad (1.6)$$

Burada F_0 Froude sayısı, C pervane altı ve taban yüzeyi arasındaki mesafe, D_p pervane çapı ve X_{max} maksimum oyulma derinliğinin konumudur (cm).

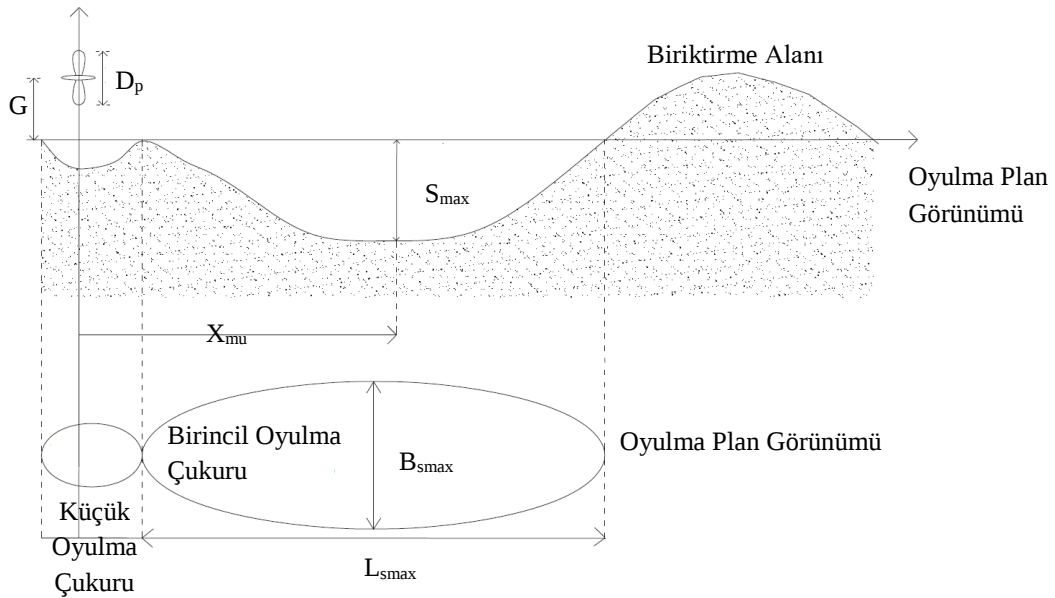
Ayrıca ikiz pervaneden kaynaklanan oyulmanın tahmini için bir denklem önerilmiştir.

$$\varepsilon_{max} = k (\log t)^{0,0231} \quad (1.7)$$

$$k = \left(\frac{c}{D_p} \right)^{-0,488} \left(\frac{U_0 t}{c} \right)^{0,241} \quad (1.8)$$

Burada $\varepsilon_{\max}$ maksimum oyulma derinliğidir, t saniye cinsinden zaman, C pervanenin altının taban malzemesi yüzeyine olan mesafesi (cm) ve D_p pervane çapıdır. Çift pervanenin $0,3D_p \leq C \leq 0,7D_p$ boşluk aralığında ve $U_0 > 400$ rpm dönüş hızında birleştirilmiş oyulma profili oluşumu gözlemlenmiştir.

Tan ve Yüksel (2018) [4] pervane jetinden kaynaklanan deniz tabanı oyulmasını deneysel olarak incelemiştir. Deneyler $6,02 \times 1,42 \times 1,10$ m boyutlarında bir tankın içerisinde $0,20$ m yüksekliğinde $1,56$ m uzunluğunda ve $1,42$ m genişliğinde bir kum yatağı yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Tüm deneyler, medyan dane boyutları (d_{50}) $0,52$ mm, $1,28$ mm, $4,00$ mm ve $8,30$ mm olan dört farklı homojen dağılmış deniz tabanı malzemesi ve $6,5$ cm, 10 cm ve 13 cm çaplarında üç farklı pervane kullanılarak yapılmıştır. Pervane jetinden kaynaklanan oyulma profili oluşumlarının incelenmesi, oyulmanın geometrik verileri ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Bu geometrik veriler; maksimum oyulma genişliği ($B_{\max}$), maksimum oyulma uzunluğu ($L_{\max}$), maksimum oyulma derinliği ($S_{\max}$), pervane yüzeyi ve maksimum oyulma derinliği arasındaki yatay mesafedir (X_{mu}). Şekil 1.5'te Tan ve Yüksel (2018) [4] tarafından gerçekleştirilen çalışmada farklı deney koşullarında oluşan taban profilleri sunulmuştur.



Şekil 1.4. Bir pervane jetinden kaynaklanan taban profilinin şematik gösterimi (Tan ve Yüksel, 2018 [4])

Test Koşulları	Oyulma Profili	Oyulma İşleminin Resmi
Durum 1 $D_p = 10$ cm $G = 15$ cm 745 rpm $d_{50} = 0,52$ mm		Durum 1
Durum 2 $D_p = 6,5$ cm $G = 15$ cm 745 rpm $d_{50} = 0,52$ mm		Durum 2
Durum 3 $D_p = 10$ cm $G = 15$ cm 590 rpm $d_{50} = 0,52$ mm		Durum 3

Şekil 1.5. Farklı şartlarda oluşan oyulma profillerinin karşılaştırılması (Tan ve Yüksel, 2018 [4])

Bu çalışmada incelenen denklemler ve deney sonucunda gözlemlenen veriler karşılaştırılarak oyulmanın maksimum derinliğinin tahmini için bir takım ampirik denklem (Denklem (1.9)) önerilmiştir.

$$\frac{s_{max}}{D_p} = k_1 \left[\log_{10} \left(\frac{U_0 t}{D_p} \right) - k_2 \right]^{k_3} \quad (1.9)$$

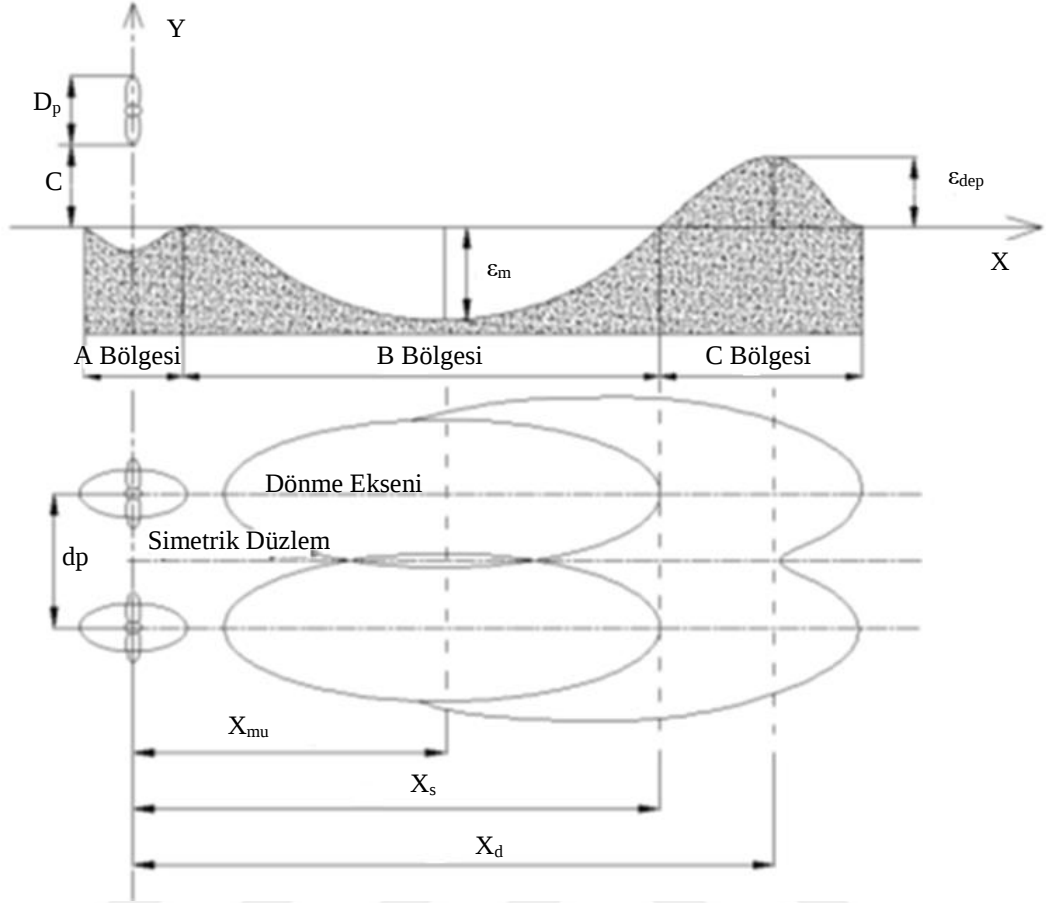
$$k_1 = 0,042 Fr_d^{1,2} \left(\frac{G}{D_p} \right)^{-0,40} \left(\frac{G}{d_{50}} \right)^{-0,17}$$

$$k_2 = 1,882 Fr_d^{-0,009} \left(\frac{G}{D_p} \right)^{2,302} \left(\frac{G}{d_{50}} \right)^{-0,441}$$

$$k_3 = 2,447 Fr_d^{-0,073} \left(\frac{G}{D_p} \right)^{0,53} \left(\frac{G}{d_{50}} \right)^{-0,045}$$

Burada $S_{\max}$ herhangi bir zamanda oluşan oyulma çukurunun maksimum derinliğini (cm), U_0 akış hızını (cm/s), D_p pervane çapını (cm), Fr_d yoğunluk Froude sayısını, d_{50} medyan dane boyutunu (cm), G deniz tabanı ve pervane eksenindeki uzaklığı (cm) ve t zamanı (s) ifade eder. Sınırlandırılmamış durumda oyulma profilinin temel boyutlarının pervane çapı (D_p), boşluk mesafesi (G) ve dönme hızına bağlı olduğu görülmüştür.

Cui vd. (2019) [5] çalışmalarında tek ve çift pervane bulunması durumunda oluşacak oyulma çukuru profilini incelemiştir, kullanılan pervanelerin çapları 55 mm'dir ve maksimum oyulma derinliğini ve konumunu göz önünde bulundurarak ampirik oyulma denklemleri önermiştir. İkiz pervanenin çalıştırılmasıyla oluşan oyulma profili Şekil 1.6'da gösterildiği gibidir. Yapılan çalışma ağırlıklı olarak ikiz pervanenin oluşturduğu akım ve oyulma profiline odaklanmıştır. On farklı ikiz pervane deneyi ve bir tek pervane deneyi yapılmıştır.



Şekil 1.6. Çift pervane bulunan bir durumda oluşan oyulma profilinin boyutları ((Cui vd, 2019) [5])

Ampirik oyulma dağılım denklemleri önerilirken Gaussian normal dağılım kullanılmıştır. Oyulmanın yapısı küçük oyulma çukuru, birincil oyulma çukuru ve biriktirme alanı olarak üç bölgeye ayrılmıştır. Denklem (1.10), Denklem (1.11) ve Denklem (1.12) tek bir pervane bulunan durumda oluşacak oyulma profilini tahmin etmek için önerilmiştir.

$$0,5 < X/X_m < 0 : \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_{max}} = -0,02 + (-0,138 * \exp(-0,5 * \left(\frac{\frac{X}{X_s} + 0,23}{0,12}\right)^2)) \quad (1.10)$$

$$0 < X/X_m < 1,8 : \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_{max}} = -0,038 + (-0,9 * \exp(-0,5 * \left(\frac{\frac{X}{X_s} - 1,09}{0,449}\right)^2)) \quad (1.11)$$

$$1,8 < X/X_m < 3 : \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_{max}} = 0,21 + (0,796 * \exp(-0,5 * \left(\frac{X}{X_s} - 2,5\right)^2 / 0,22)) \quad (1.12)$$

Oyulma profilinin x eksenindeki mesafesini tanımlamak için x kullanılır; burada X_m maksimum oyulma derinliğinin pervaneye olan yatay mesafesidir. ε_m t zamanında oluşan oyulma çukurunun maksimum oyulma derinliği, X_s birincil oyulma çukurunun uzunluğudur. Denklem (1.13), Denklem (1.14) ve Denklem (1.15) ikiz pervane bulunan bir durumda oluşan oyulma profilini tahmin etmek için önerilmiştir.

$$-0,5 < X/X_{m,twin} < 0 : \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_{max}} = -0,23 * \exp(-0,5 * \left(\frac{X}{X_s} + 0,14\right)^2 / 0,09) \quad (1.13)$$

$$0 < X/X_{m,twin} < 1,6 : \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_{max}} = 0,04 + (-1,03 * \exp(-0,5 * \left(\frac{X}{X_s} - 0,87\right)^2 / 0,36)) \quad (1.14)$$

$$1,6 < X/X_{m,twin} < 2,6 : \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_{max}} = -0,19 + (0,91 * \exp(-0,5 * \left(\frac{X}{X_s} - 2,08\right)^2 / 0,22)) \quad (1.15)$$

Burada $X_{m,twin}$ ikiz pervane bulunan durumda pervaneden maksimum oyulma derinliğine olan mesafe; ε_m t zamanındaki maksimum oyulma derinliği, X_s birincil oyulma çukurunun uzunluğudur.

Penna vd. (2019) [6] yaptıkları çalışmada sınırlandırılmamış durumda gemi pervanesinden kaynaklanan yerel oyulmanın üç boyutlu analizi üzerine çalışmıştır. Deneyler 18 m uzunluğunda, 0,985 m genişliğinde 0,70 m derinliğinde yatay bir kanalda yapılmıştır. 2,50 m uzunluğunda, 0,985 m genişliğinde 0,30 m yüksekliğinde bir taban malzemesi yerleştirilmiştir. Tüm testler 0,25 m su derinliğinde (h) yapılmıştır. Taban malzemesi, medyan dane çapı $d_{50} = 0,69$ mm, geometrik standart sapması $\sigma_g = 1,4$ olan katı madde ile doldurulmuştur. Pervane eksenini boyunca oluşan oyulmanın zamansal gelişimi incelenmiştir. Pervane tarafından üretilen etkinin pervanenin hemen altında küçük bir oyulma çukuru, pervane yönünde mansap doğrultusunda genişleyen bir ana oyulma çukuru ve oyulma çukurundan sonra oluşan ve yavaş yavaş genişleyen bir yığılma bölgesinin oluşumu incelenmiştir. Oyulma profilini oluşturan bölgelerin sınırlarının büyümesi, pervanenin dönme hızına bağlıdır ($n < 270$ rpm için küçük oyulma çukuru meydana

gelmez, dönme hızının (n) arttırılmasıyla oyulma çukurları hem genişler hem de daha uzun hale gelir). Ayrıca, oyulma profillerinin zaman içerisinde sabit olarak kabul edilebileceği gösterilmiştir. Bu sabitlik, oyulma işleminin denge durumuna ulaşmasıyla yığılma bölgesi için de korunmuştur.

Hamill vd. (1999) [7] sınırlandırılmamış bir pervane jetinden kaynaklanan oyulma oluşumu üzerine çalışmıştır. Serbest oyulma derinliğinin gelişimini tarif etmek için mevcut denklemler, daha geniş bir uygulanabilirlik aralığı elde etmek için modifiye edilmiştir. Bir pervane akımının düşey bir rıhtım ile karşılaşması durumunda oluşan denge oyulma profilinin sınırlandırılmamış durumda oluşan oyulma profili ile karşılaştırıldığında değiştirdiği bulunmuştur. Oyulma profilinin son şeklinin, duvarın pervaneye göre konumuna bağlı olduğu bulunmuştur. Duvar ve pervane arasındaki açıklığı hesaba katarak, denge profilindeki maksimum oyulma derinliğini veren bir denklem geliştirilmiştir.

$$X_{mu} = F_0^{0.94} C \quad (1.16)$$

Burada X_{mu} pervane yüzeyinden maksimum oyulma derinliğine olan mesafe (m), F_0 Froude sayısı ve C pervane açıklık mesafedir (m).

$$\varepsilon_m = k\Omega[\ln t]^T \quad (1.17)$$

$$\Omega = \Gamma^{-6.38} \quad (1.18)$$

$$\Gamma = \left(\frac{C}{d_{50}}\right)^{0.94} \left(\frac{D_p}{d_{50}}\right)^{-0.48} F_0^{-0.53} \quad (1.19)$$

Denklem (1.17), (1.18) ve (1.19) birlikte kullanıldığında dikey bir rıhtım duvarının bulunduğu durumlarda maksimum oyulma derinliğinin değeri tahmin edilebilir. Burada ε_m maksimum oyulma derinliği (mm), t saniye cinsinden zaman, C pervanenin alt seviyesi ve taban malzemesi arasındaki mesafe (m), d_{50} ortalama dane boyutu (m), D_p pervane çapıdır (m).

Bazı çalışmalarda deneylerin gerçek duruma olan benzeşimini sağlamak için deneyler farklı parametreler göz önüne alınarak yapılmıştır. Ryan ve Hamill (2011)

[8] bir rıhtım duvarının yakınında pervaneden kaynaklanan oyulma oluşumunu, bir geminin dümen etkisiyle birlikte incelemiştir. Deneylerde farklı pervaneler ve farklı katı madde tipleri kullanılmıştır. 0° ve 35° arasında değişen beş dümen açısı her pervane için 350, 500, 700, 1000 ve 1250 rpm dönüş hızlarında test edilmiştir. 76 mm ve 131 mm çaplarında iki farklı pervane ve medyan dane boyutları 0,76 mm, 1,14 mm, 1,40mm ve 3,35 mm olan taban malzemeleri ile deneyler yapılmıştır. Pervane ve dümenin birlikte olması sonucunda oluşan akım koşullarının etkisinde oluşan oyulma çukuru geometrisi paralel rıhtım duvarına oldukça bağımlıdır. Dümen açısının, rıhtım duvarının topuğundaki oyulma derinliğini artırdığı ve oyulma çukurunun simetrik olmadığı ifade edilmiştir. Duvar boşluğunun artmasıyla duvar yakınında oluşan oyulmanın azaldığı görülmüştür ve sabit bir duvar boşluğu ile yapılan deneylerde dümen açısının artışıyla oyulma derinliğinde de artış gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonucunda paralel bir rıhtım duvarı varlığında maksimum oyulma derinliğini belirlemek için Denklem (1.20) önerilmiştir.

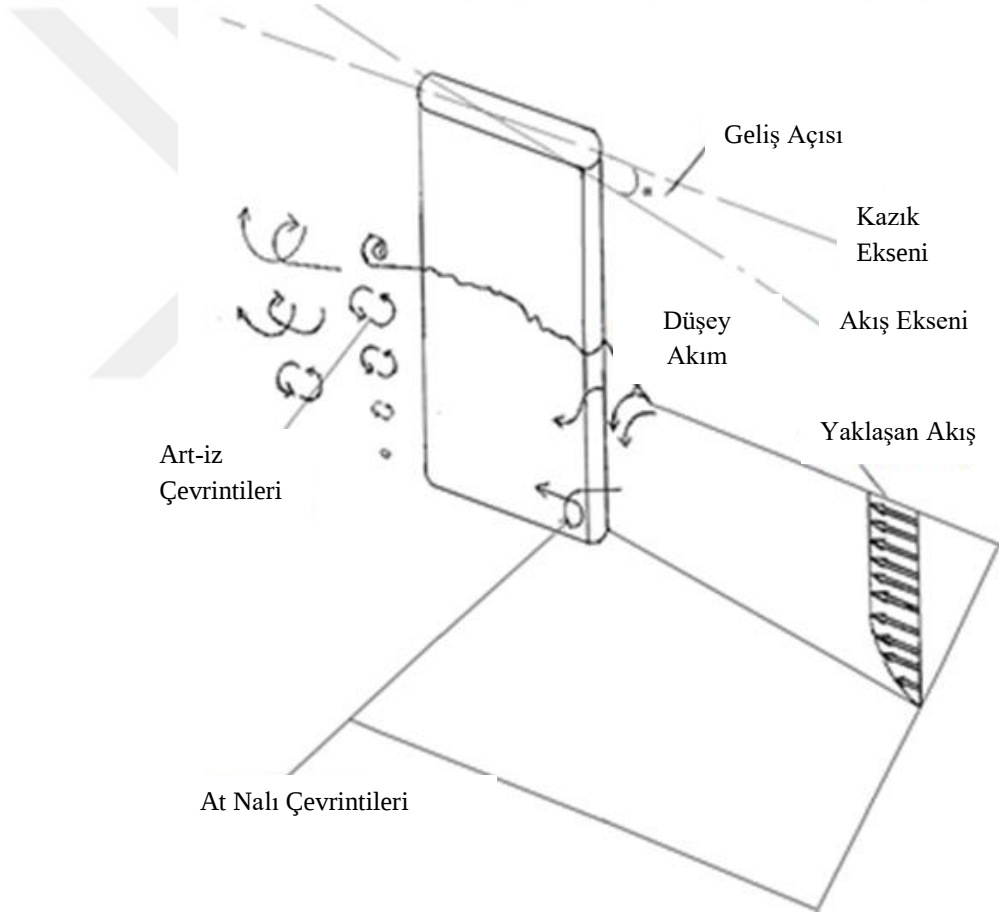
$$\frac{\varepsilon_{wp}}{d_{50}} = 6,47 * 10^{-5} \left(\frac{C}{d_{50}}\right)^{-5,42} \left(\frac{D_p}{d_{50}}\right)^{6,63} \left(\frac{Y_w}{D_p}\right)^{-0,437} F_0^{2,498} (1 + \alpha)^{-0,80} \quad (1.20)$$

Burada ε_{wp} rıhtım duvarının yanındaki maksimum oyulma derinliği (mm), d_{50} ortalama dane büyüklüğü (m), C pervane ucundan yatağa olan mesafe (m), D_p pervane çapı (m), Y_w rıhtım duvarına paralel uzaklık (m), F_0 Froude sayısı ve α dümen açısıdır (derece / radyan).

Pervane jetinin akış modeli, kazık ve benzeri bir yapıyla etkileşimi sonucunda değiştiğinde oluşan durum literatürde sınırlandırılmış durum olarak tanımlanmıştır. Sınırlandırılmış durum ve sınırlandırılmamış durum arasındaki fark temel olarak kazık yüzeyinde oluşan aşağı akıştan kaynaklanır (Chiew vd., 1996 [9]).

Kazığa yaklaşan akımın hızı bir kazığın yüzeyinde sifıra gider ve bu basınçta bir artışa neden olur. Akım hızı kazık yüzeyinden tabana yaklaştıkça, kazık yüzeyindeki dinamik basınç da tabana yaklaştıkça azalır. Bu basınç gradyanı dikey bir jeti andıran, kazık yüzeyinden aşağı doğru bir akım oluşturur (Şekil 1.7). Bu akış tabana çarptığında, kazığın önünde bir oyulma oluşturur. Yukarıdan gelen akışla etkileşerek

karmaşık bir girdap sistemi oluşur. Bu girdap aşağı doğru uzanır ve kazığın yanlarından geçer. At nalı ile olan benzerliğinden dolayı bu girdap atnalı girdabı olarak isimlendirilmiştir. At nalı girdabı, taban malzemesinin kayma gerilimi, kritik kayma gerilimlerinden daha az oluncaya kadar kazığın önündeki oyulma çukurunu derinleştirir. Kazığın iki tarafında hızlanan akım, taban malzemesinde harekete geçen danelerin akım yönünde taşınmasını kolaylaştıran iki bölge oluşturur. Kazığın yanlarındaki akışın ayrılması, art-iz çevrintileri oluşturur; bu girdaplar kararsızdır. Art-iz çevrintileri küçük kasırgalar gibi davranır, katı maddeyi tabandan ayırarak kendi oyulma çukurlarını oluşturur. (Zarrati vd., 2004 [10])



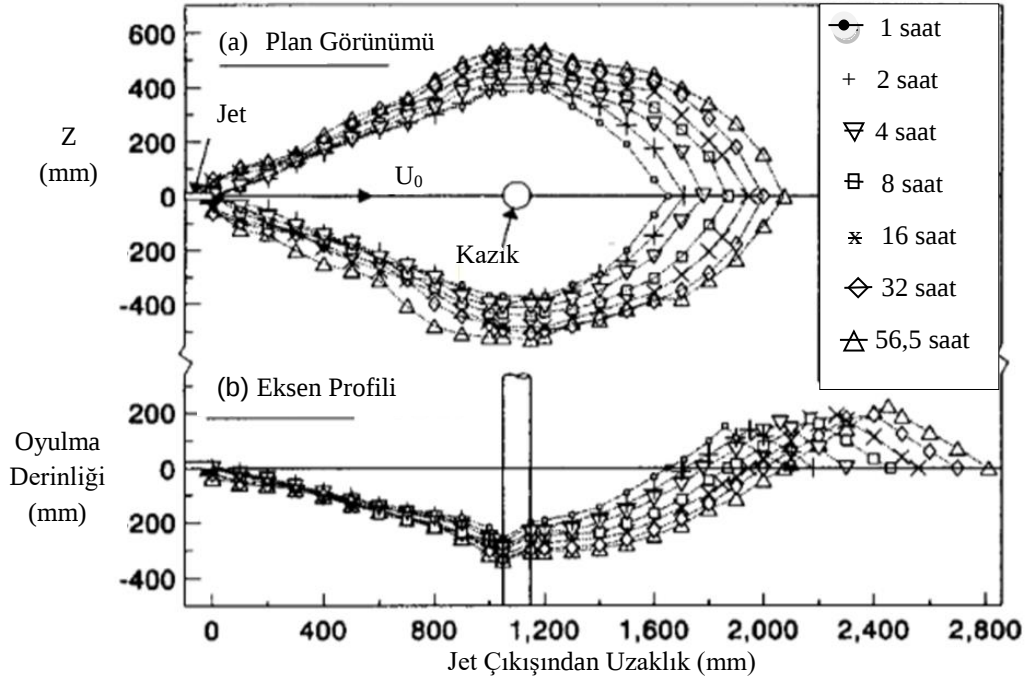
Şekil 1.7. Bir kazığın etrafındaki akım modeli (Zarrati vd., 2004 [10])

Başlangıçta düşey akım ve at nalı girdapları nispeten zayıftır ancak oyulma çukurunun gelişimiyle düşey akım ve çevrintiler güçlenir. Kazığın etrafındaki

Tabana yaklaştıkça dűşey akım, momentumunu kaybeder. Denge koşullarında dűşey akımın maksimum hızı, başlangıçtaki hızının yaklaşık 2,5 katına çıkar. Sonuç olarak oyulma başlangıcında yerel ivme etkilidir, oyulma geliştikçe yerel ivme etkisi azalır; oyulmanın sonraki aşamalarında ise aşağı akış ve at nalı çevrintileri sistemleri daha baskındır. (Chiew vd., 1996 [9])

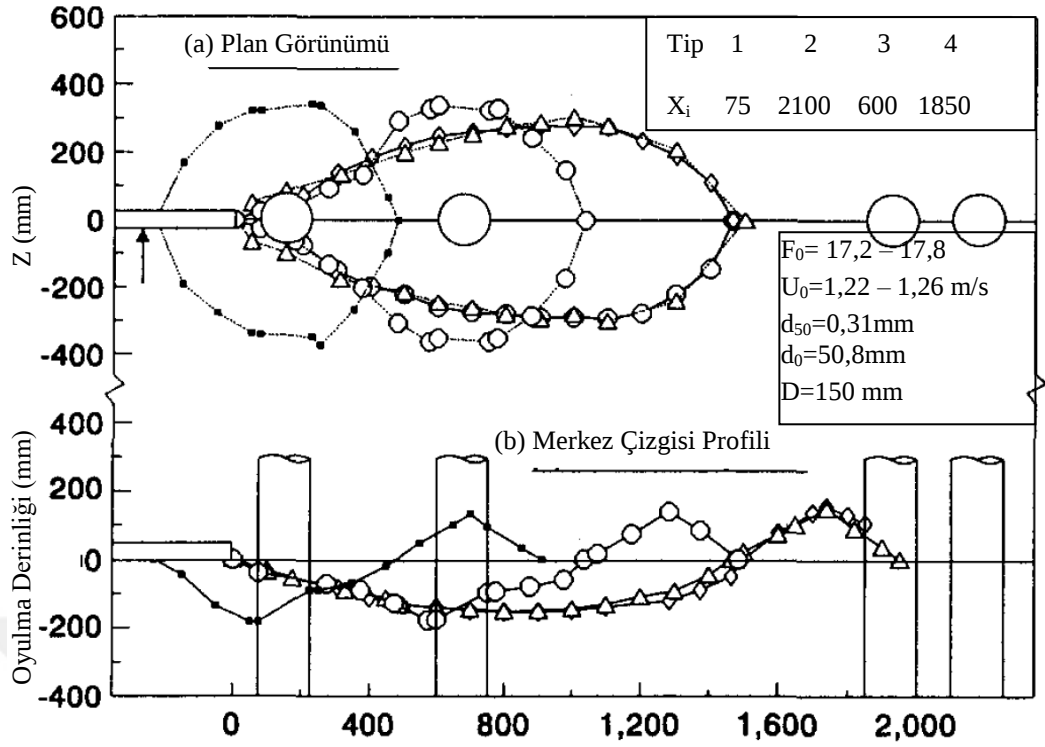
17

Chiew vd. (1996) [9] dikey bir kazık çevresinde oluşan oyulma çukurunu etkileyen kazık engeli ve jet dağılım mekanizması olmak üzere iki temel faktörü incelemiştir. Oluşan oyulma çukurlarının zamansal gelişimini ve plan görünümünü Şekil 1.9 göstermektedir. Oyulma derinliği, ilk 1 saat içerisinde denge durumundaki maksimum derinliğin %80'ine ulaşmıştır.



Şekil 1.9. Oyulmanın zamansal gelişimi ($F_0 = 68,55$; $X_l = 1050$ mm; $U_0 = 4,85$ m/s; $d_{50} = 25,4$ mm $D = 100$ mm) (Chiew vd. (1996)) [9]

İlk saat tamamlandıktan sonra oyulma derinliği çok fazla değişmemiştir. Ek olarak maksimum oyulma derinliğinin biriktirme alanına kadar olan (mansap) kısmı, jet çıkışı ve maksimum oyulma derinliğinin konumu arasındaki (memba) kısmına göre daha yavaş gelişmiştir. Bunun sebebi, önceden taşınmış katı maddelerin çukurun mansabında bir birikinti oluşturması ve bunun jet akımını giderek daha zayıf, dağınık bir akım haline getirerek hareketinin daha uzun sürmesidir. Deneylerde kullanılan katı madde türü kohezyonsuzdur. Su jetinden kaynaklanan tabandaki oyulma; jet kayma gerilmesinin ve türbülans çalkantılarının beraber hareketinden kaynaklanır. Bu iki etken sonucunda denge durumunda bulunan dört tip oyulma çukuru profili tanımlanmıştır. Şekil 1.10'da bu profilleri görülmektedir.



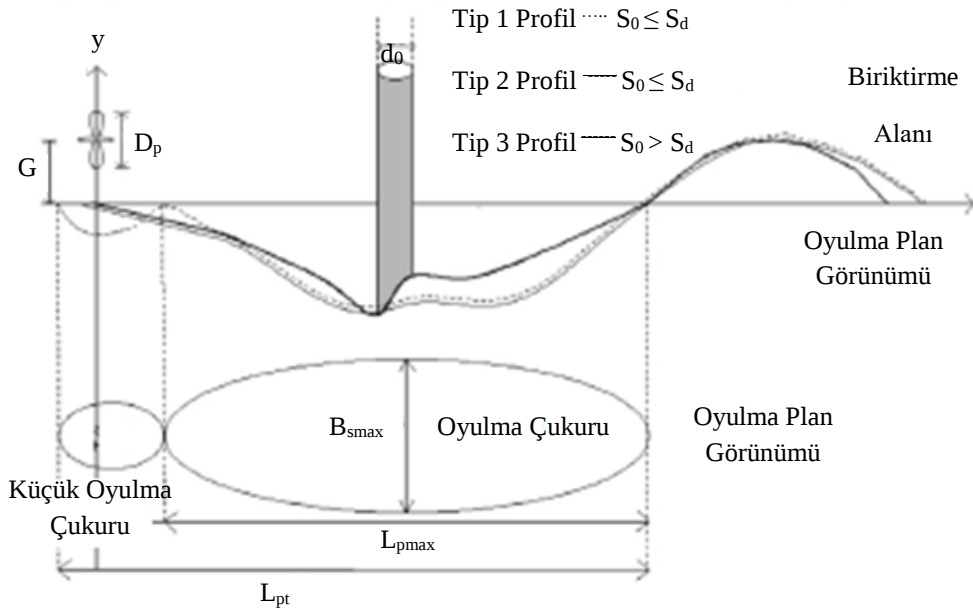
Şekil 1.10. Tanımlanan oyulma profili tipleri (Chiew vd. (1996)) [9]

Burada F_0 Froude sayısı, X_i kazığın ön yüzü ile jet çıkışı arasındaki yatay mesafe olarak tanımlanan etki mesafesi, d_0 ise kazık çapıdır. Sınır denklemleri, kazık konumu ve kazık çapına bağlı oluşacak oyulma profillerinin tahmin edilmesi için kullanılabilir.

Wei vd. (2017) [11] farklı test koşulları altında maksimum oyulma derinliğini, genişliğini ve oyulma profilinin uzunluğunu karşılaştırmıştır. Bu çalışmada pervane jet akımı, topuk bölgesinde deniz tabanı içine düşey bir duvar yerleştirilmiş bir şev ile sınırlandırılmıştır. Pervane kaynaklı bir oyulma çukuru değişiminin, pervane ve topuk arasındaki farklı mesafeler için benzer olduğu görülmüştür. Oyulma mekanizması üzerinde, jet difüzyonu ve rıhtım yapılarının sınırlama etkileri etkindir. Topuk boşluğu arttığında orta alanda, sınırlama mekanizmasının etkisi başlangıçta daha önemli hale gelir; ancak $X_t > 1,5 \cdot X_{m,u}$ olduğunda etkisi azalır. Uzak topuk boşluğu alanında oyulma işlemi sadece jet difüzyonu mekanizmasına bağlıdır.

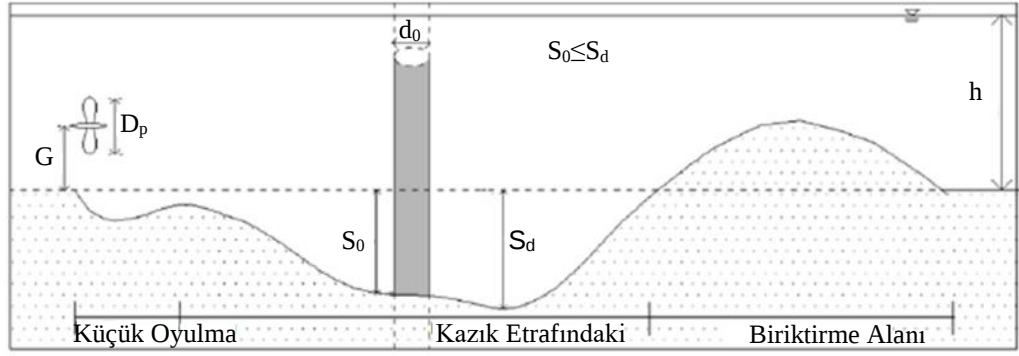
Burada X_t topuk açıklığı ve $X_{m,u}$ serbest durumda maksimum asimptotik oyulma derinliğinin uzunlamasına konumudur.

Yüksel vd. (2018) [12] kazıklı bir yapı çevresinde pervane jetinden kaynaklanan oyulma üzerine çalışmıştır. Yapılan deneylerde farklı tip rıhtımlar göz önüne alınarak oyulma sorununun oluşumu incelenmiştir. Deneylerde farklı çaplarda pervaneler, farklı boşluk mesafeleri ve farklı kazık konumları kullanılmıştır. Pervane jetinden kaynaklanan ve tek bir kazık olması durumunda gözlemlenen oyulma başlangıcı için kritik koşulun Froude sayısı (Fr_d) ve boşluk oranına (G/D_p) bağlı olduğu bulunmuştur.

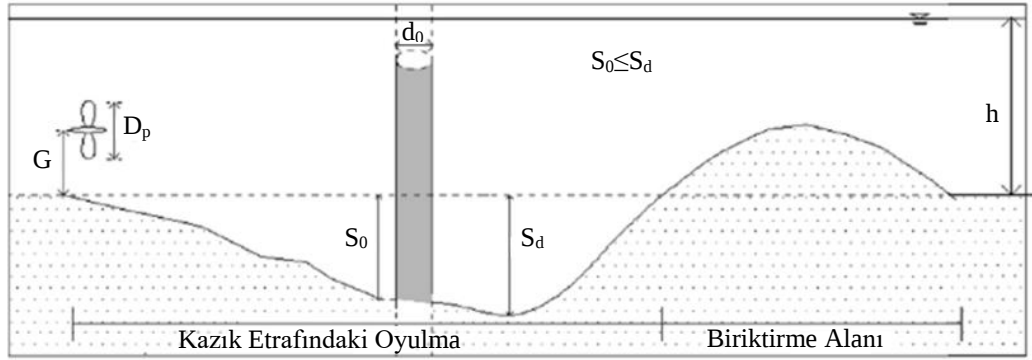


Şekil 1.11. Denge durumunda pervane jetinden kaynaklanan bir kazık ile oyulma profilinin şematik gösterimi (Yüksel vd. (2018)) [12]

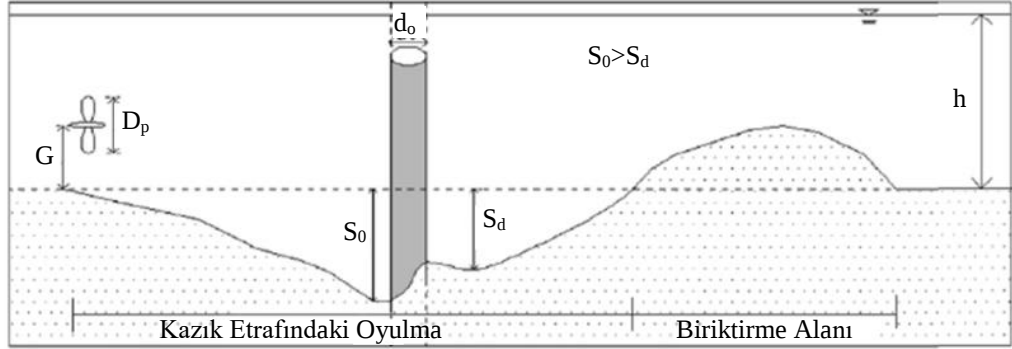
Bu çalışmada kazık tipi yanaşma yapısı etrafında sabit konumlar ve farklı kazık boyutlarında; $0,72 \leq X/d_0 \leq 2,5$ koşullarında üç tip oyulma profili tanımlanmıştır. Burada X kazığın konumu ve d_{50} medyan dane boyutudur. Tip 1 ve Tip 2 oyulma profilleri $G/d_0 > 2,3$ için (daha küçük kazık çapları kullanılırken) gözlemlenmiştir. Tip 3 oyulma profilleri $G/d_0 < 2,3$ şartı geçerliyken oluşmuştur. Bununla birlikte Tip 1 ve Tip 2 oyulma profilleri arasında belirtilen sınır pervanesinin altındaki küçük oyulma çukurunun varlığı ile tanımlanabilmektedir. Şekil 1.12’de pervane jet akımı etkisinde bir kazığın etrafında oluşan karakteristik oyulma profilleri gösterilmiştir.



(a) Tip 1, $S_0 \leq S_d$ (Küçük oyulma çukuru ile birlikte)



(b) Tip 2, $S_0 \leq S_d$ (Küçük oyulma çukuru olmadan)



(c) Tip 3, $S_0 > S_d$ (Küçük oyulma çukuru olmadan)

Şekil 1.12. Pervane jeti akımı etkisinde bir kazığın etrafında oluşan karakteristik oyulma profilleri (Yüksel vd. (2018)) [12]

Bu çalışmada kazık konumunun sabit durumda olması ve kazığın farklı konumlara yerleştirilmesi durumunda kazık önünde oluşan maksimum oyulma derinliğinin (S_0)

tahmini için ampirik denklemler sunmaktadır. Yapılan testlerden elde edilen verilerin kullanılmasıyla Denklem (1.24) elde edilmiştir.

$$\frac{S_0}{d_0} = 0,496 \times Fr_d^{1,586} \times \left(\frac{G}{d_{50}}\right)^{-0,687} \times \left(\frac{X}{d_0}\right)^{0,575} \quad (1.24)$$

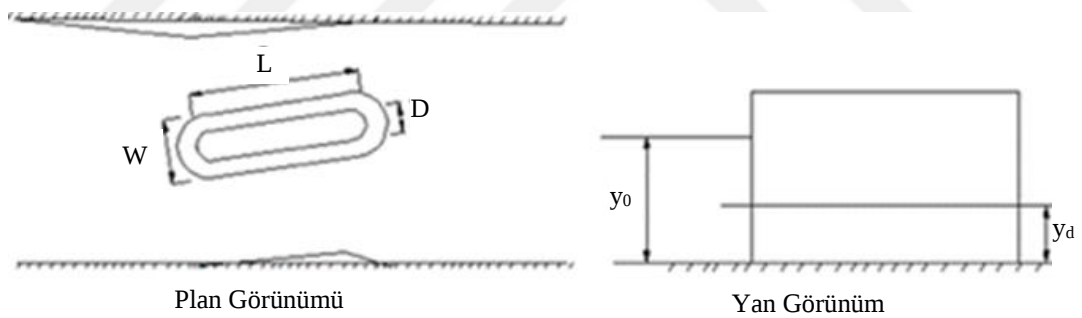
Burada S_0 kazığın ucundaki oyulma, D_p pervane çapı, G pervane ve yatak düzlemi arasındaki mesafe (boşluk), d_{50} ortalama dane boyutu, d_0 kazık çapı ve X , kazık ile pervanenin yüzeyi arasındaki yatay mesafedir.

Yüksel vd. (2019) [13] bir yanaşma yapısı yakınında pervane jet akımı etkisinde oluşacak oyulma üzerine çalışmıştır. Yapılan çalışma kapsamındaki deneyler hem serbest hem de sınırlı durumlar için kohezyonsuz bir kum yatağı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapıldığı tank 6,02 m uzunluğunda 1,42 m genişliğinde ve 1,0 m derinliğindedir. Su, 0,5 m yüksekliğinde doldurulmuştur ve pervane oyulma denge koşuluna ulaşana kadar sabit bir hızda çalıştırmıştır. Deneylerde 6,5 cm ve 10 cm çapında (D_p) pervane kullanılmıştır. Pervane ve duvar arasındaki mesafe 70 cm, 35 cm ve 17,5 cm olarak üç farklı uzaklıkta deneyler yapılmıştır. Pervaneler 590 rpm, 670 rpm ve 745 rpm olmak üzere üç farklı hızda test edilmiştir. Testler farklı boşluklar (G) ve pervane hızları gibi farklı koşullar için pervane jeti etkisi altında oluşan oyulma oluşumlarını gözlemlemek üzere medyan dane büyüklüğü (d_{50}) 0,52 mm olan taban malzemeleri kullanılmıştır. Bu çalışmada düşey bir duvarın varlığında; pervane ve duvar arasındaki mesafenin, pervane yüzeyinden maksimum oyulma derinliğine olan mesafeye oranı (X_w/X_{mu}) yaklaşık 2,0 olduğunda, duvar bulunmayan şartlara göre duvarın topuk bölgesinde daha büyük oyulma derinlikleri oluştuğu gözlemlenmiştir. Burada X_{mu} , pervane yüzeyinden serbest profilde maksimum oyulma noktasına olan mesafedir ve X_w pervane yüzeyinden duvarın bulunduğu yere olan mesafedir. Yapılan deneyler, oyulma oluşumlarının şekillerinin, pervane çapına, jet hızına ve pervane-duvar arasındaki mesafeye bağlı olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın sonucunda pervane ve duvar arasında bulunan mesafenin değişimi ile oyulma profilinin değiştiği belirlenmiştir.

Sınırlandırılmış durum incelemeleri, gemilerin ayrılma ve yanaşma durumlarında oluşabilecek oyulma profillerini ifade eder. Yapılan çalışmalar sınırlandırılmış

durumda sınırlandırılmamış duruma göre daha fazla oyulma derinliği oluştuğunu ortaya koymuştur. Bu durumun sonucunda oluşacak oyulma derinliğini azaltmak için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Örnek olarak, bir kazığın etrafına bir plaka yerleştirmek, oyulma derinliğini azaltmaktadır. Bir plaka, kazık yakınındaki düşey akımı yönlendirir ve taban malzemesini aşağı akışın direkt etkisinden korur (Zarrati vd. (2004) [10], Garg vd. (2005) [14], Heidarpour vd. (2010) [17]).

Zarrati vd. (2004) [10] dikdörtgen köprü iskelelerinin etrafındaki oyulmayı kontrol etmek için plaka uygulaması üzerine çalışmıştır. Deneyler 12 m uzunluğunda ve 0,75 m genişliğinde yatay bir kanalda gerçekleştirilmiştir. Kanal tabanı katı madde ile doldurulmuş bir çalışma alanına sahiptir. Çalışma alanı 0,75 m genişliğinde, 2 m uzunluğunda, 0,25 m derinliğindedir ve kanal girişinden 6 m ileridedir. Kullanılan taban malzemesinin medyan dane boyutu 1 mm'dir. Perspektsten yapılan dikdörtgen model iskelenin genişliği (D) 0,05 m, toplam uzunluğu (L) 0,25 m'dir. İskelenin genişliği, kanal yan duvarlarının ve dane boyutunun oyulma çukurunun derinliği üzerindeki etkisinin önemsiz olacağı şekilde seçilmiştir.



Şekil 1.13. Dikdörtgen iskeleye yerleştirilmiş plaka görünümleri (Zarrati vd. (2004) [10])

Deneylerin sonucunda, plakanın genişliğinin artırılması ve yüksekliğinin azaltılması ile oyulma derinliğinin azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni plakanın genişliğinin artmasıyla plakanın üzerindeki akışın iskeleden daha fazla uzaklaşmasıdır ve bu akışın enerjisinin büyük kısmı tabana ulaşmadan önce dağılır. Diğer yandan plaka yüksekliğinin azaltılması ile plakanın altına daha az akış nüfuz edebilir ve bu nedenle plakanın altında daha zayıf bir aşağı akış oluşur. Dikdörtgen köprü ayakları için

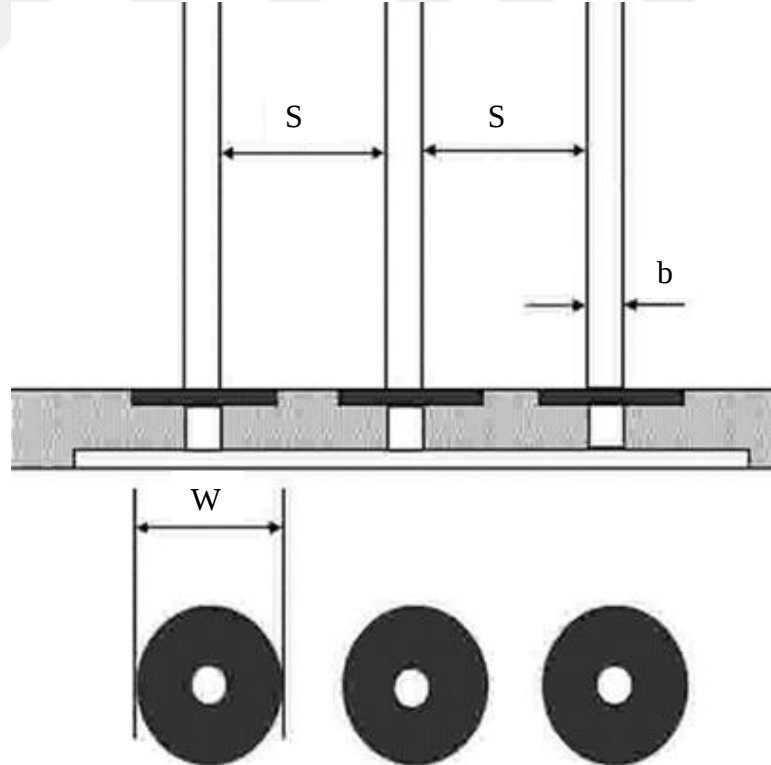
mevcut deney sonuçları ve dairesel köprü ayakları üzerinde yapılan önceki deneylerin karşılaştırılması; $W/D = 3$ oranına sahip bir plakanın, dikdörtgen köprü ayakları için, oyulma çukurunun derinliğini azaltmada dairesel köprü ayaklarında olduğundan daha etkili olduğunu göstermektedir.

Garg vd. (2005) [14] bir köprü iskelesi etrafındaki oyulmanın birden çok plaka kullanılmasıyla azaltılması üzerine çalışmıştır. Yapılan deneysel çalışma için 30 cm derinliğinde ince daneli taban malzemesi içeren 12 m uzunluğunda, 0,6 m genişliğinde ve 0,75 m derinliğinde bir kanal kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin medyan dane boyutu (d_{50}) 0,28 mm, standart sapması (σ_g) 2,51'dir. Deneyler 300 dakika boyunca devam etmiştir. İskele modeli olarak 0,062 m çapında pürüzsüz bir Perspex silindir kullanılmıştır. Akım derinliğinin oyulmaya etkisini en aza indirmek için Ettema (1980) [15] ve Chiew (1984)'un [16] belirttiği gibi akım derinliğinin iskele çapına oranı (h/D) 2,5 değerinden büyük kullanılmıştır.

Plakanın etkinliği, $(1-H_s / H_u) \times 100$ olarak tanımlanan performans potansiyeli (Setia 1997) ile belirlenmiştir; burada H_s plaka olan durumda maksimum oyulma derinliği ve H_u plaka olmayan durumda maksimum oyulma derinliğidir. Bu çalışmanın sonucunda iskeleye takılacak olan bir veya bir dizi plaka plakasının oluşabilecek potansiyel oyulmayı azaltmak için kullanılabileceği, ayrıca iskeleye ortalama yatak seviyesinde yerleştirilen kazık çapının üç katı genişliğinde veya daha geniş plakaların yerel oyulmayı %100 azalttığı bulunmuştur. Ek olarak yatak seviyesinde bulunan orta plaka plakası, bu plakanın yukarısına ve aşağısına $D/6$ boşluk mesafesiyle yerleştirilmiş iki plaka bulunan bir köprü ayağı modelinde oluşan oyulma derinliği, plaka bulunmayan bir köprü ayağı modelindeki oyulma derinliğine göre %84 oranında azalmıştır. Çoklu plaka düzenlemesinin, bir plakanın tabanda ve diğer plakanın tabanın altında bulunması ile daha verimli olduğu belirtilmiştir.

Heidarpour vd. (2010) [17] plaka kullanarak köprü ayak grupları üzerindeki oyulmanın azaltılması üzerine çalışmışlardır. Deneyler 7 m uzunluğunda, 0,32 m genişliğinde ve 0,36 m derinliğinde bir kanalda gerçekleştirilmiştir. Ayakların yerleştirildiği çalışma bölümü 1 m uzunluğunda ve 0,1 m yüksekliğinde bir taban malzemesi yatağıdır. Taban malzemesinin, tam gelişmiş bir akımda bulunması için

kanal girişinden 3 m ileriye yerleştirilmiştir. Kanal tabanına yerleştirilen katı maddenin medyan dane boyutları 0,72 mm'dir ve katı madde yatağı homojendir. Katı maddelerin geometrik standart sapması (σ_g) 1,23 hesaplanmıştır. Köprü ayağı modeli olarak 20 mm çapında silindirik Perspex borular kullanılmıştır. Chiew ve Melville (1987) [18] iskele çapının kanal genişliğinin %10'undan fazla olmaması gerektiğini belirtmiştir. Köprü ayaklarının çapları, kanalın kenarlarının oyulma çukurunun derinliği üzerinde bir etkisi olmayacak şekilde seçilmiştir. b/d_{50} (b: köprü ayağı çapı ve d_{50} : yatak malzemesinin çapı) 20~25'den fazla olduğu için ($b/d_{50} = 27.8$) katı madde boyutunun oyulma çukurunun derinliği üzerindeki etkisi önemsiz hale gelmiştir (Raudkivi ve Ettema, 1983) [19]. Deneyler akıma göre hizalanmış bir grup iskele üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.14). Her deney grubu için iskelelerin aralığı (S/b) değiştirilmiştir. Burada S iskeleler arasındaki mesafe ve b köprü ayağı çapıdır. Yatak seviyesinde yer alan ve köprü ayağı çapından 2 ve 3 kat daha geniş olan bir plakalı iki ve üç köprü ayağı grubu etrafında bir oyulma çukurunun gelişimi araştırılmıştır.

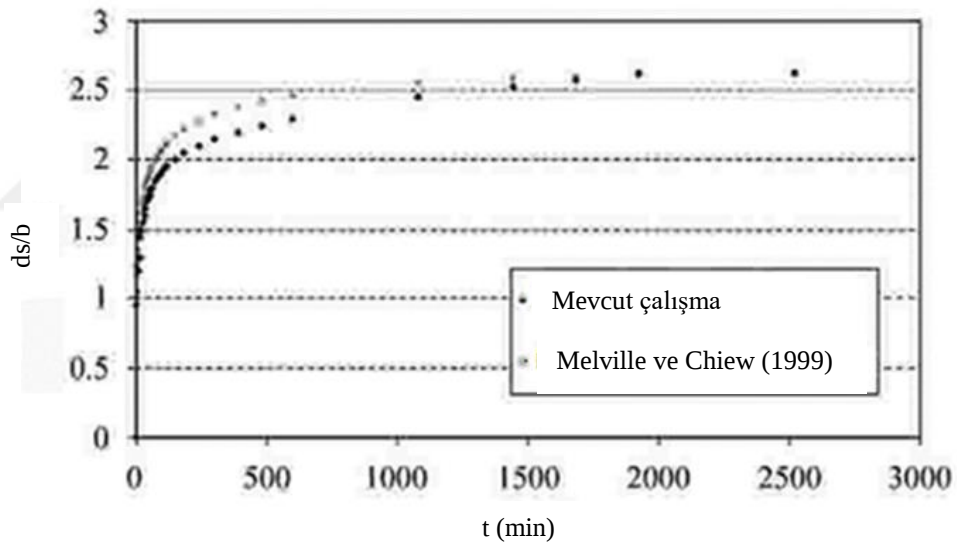


Şekil 1.14. Plaka ve iskele grubu (Heidarpour vd. (2010) [17])

Melville ve Chiew (1996) [20], denge oyulma derinliğine ulaşma süresini tahmin etmek için aşağıdaki denklemi geliştirmiştir.

$$\frac{ds}{ds_e} = \exp \left\{ -0,03 \left| \frac{u}{u_c} \ln \frac{t}{t_e} \right|^{1/6} \right\} \quad (1.25)$$

Burada d_s oyulma derinliği, u ortalama hız, u_c kritik hız ve t zamandır. Şekil 1.15, deney sonuçlarını ve Denklem (1.25) kullanılarak hesaplanan değerlerin karşılaştırılmasını göstermektedir. Şekil 1.15 incelendiğinde oyulma derinliğinin zamanla arttığı ve deneysel veriler ile Denklem (1.25) ile hesaplanan verilerin denge durumunda benzer şekilde sonuçlar gösterdiği görülmektedir. Denge oyulma derinliğine ulaşmak için 36 saat gerekli olduğu ve 1/3 denge süresinde denge oyulma derinliğinin %90'ına ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

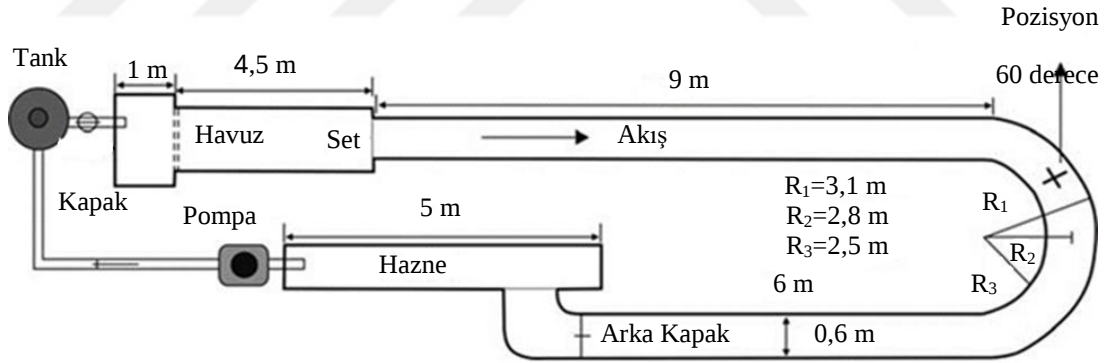


Şekil 1.15. Oyulma derinliğinin deneysel değerinin Melville ve Chiew'in denkleminin (Denklem (1.25)) değerleri ile karşılaştırılması (Heidarpour vd., 2010 [17])

Bu çalışmada sonuç olarak plaka kullanılması, maksimum oyulma derinliğini azaltmada etkili olmuştur. Ayrıca anroşman gibi önlem teknikleriyle karşılaştırıldığında çok daha ekonomik olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmada dairesel

plaka kullanılarak iki ve üç köprü ayağından oluşan ayak grupları homojen bir taban üzerinde test edilerek, oyulmaların azaltılması gerçekleştirilmiştir. Ek olarak deneylerde kullanılan ayaklar arasındaki boşluk artırıldığında, arkada konumlandırılmış ayaklarda daha büyük derinliğe sahip oyulma çukurlarının oluşumu gözlemlenmiştir.

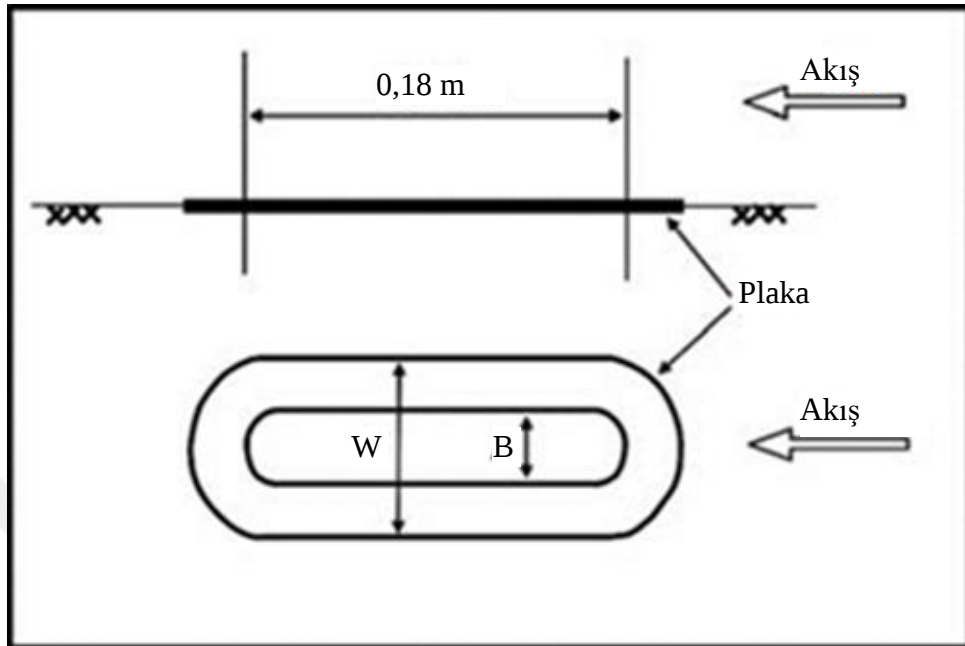
Masjedi vd. (2010) [21] dikdörtgen bir plakanın, 180^0 ve 60^0 eğimli bir nehirde iskele bulunması durumunda, iskele etrafında oluşacak oyulmanın zamansal gelişimi üzerindeki etkisini incelemek için deneysel olarak çalışmıştır. Çalışma, $R/B=4,67$ nispi yarıçapı, $R=2,8$ m merkez yarıçapı ve $B=0,6$ m genişliği olan 180^0 'lik laboratuvar kanalının eğimli bölümünde gerçekleştirilmiştir. Eğimin göreceli eğriliği, yumuşak bir kurp olarak tanımlanan $R/B=4,7$ 'dir. 9,1 m uzunluğunda düz giriş kanalı, 60^0 dirsek şeklindeki kanala bağlanmıştır. Bu eğimli kanal 5,5 m uzunluğunda başka bir düz kanala bağlanmıştır. Kanalin çalışılacak bölümü, görsel gözlemleri kolaylaştırmak için bir alüminyum taban ve Pleksiglas yan duvarlardan oluşturulmuştur. Bu kanalın sonunda, su yüksekliğini istenilen seviyelere ayarlamak için bir kontrol kapısı yerleştirilmiştir. Deney düzeneği Şekil 1.16'da gösterilmiştir.



Şekil 1.16. Deney düzeneği plan görünümü (Masjedi vd. (2010) [21])

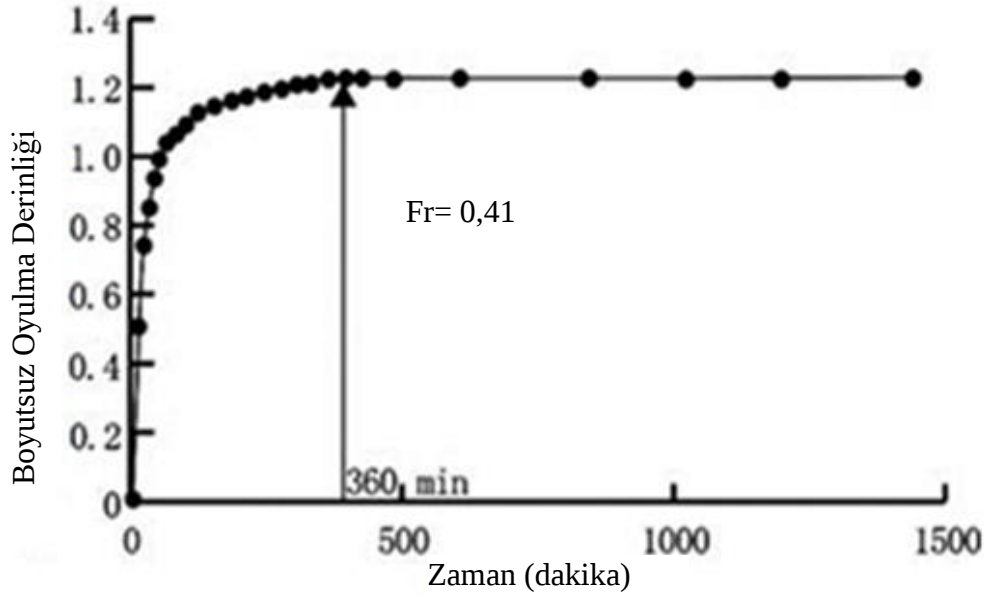
Çalışma için 60 mm genişlikte ve 180 mm uzunlukta bir dikdörtgen plaka kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan plakanın kalınlığı 2 mm'dir ve şeffaf Pleksiglas malzemeden yapılmıştır. 1.5B, 2B, 2.5B ve 3B olmak üzere dört farklı plaka genişliği kullanılmıştır (B = Genişlik). Şekil 1.17, bir plaka takılmış dikdörtgen bir

iskelenin şemasını göstermektedir. Plaka ile yapılan tüm testlerde plaka, önceki araştırmacıların önerileri doğrultusunda yatak seviyesine yerleştirilmiştir.



Şekil 1.17. Plaka takılmış dikdörtgen iskele (Masjedi vd. (2010) [21])

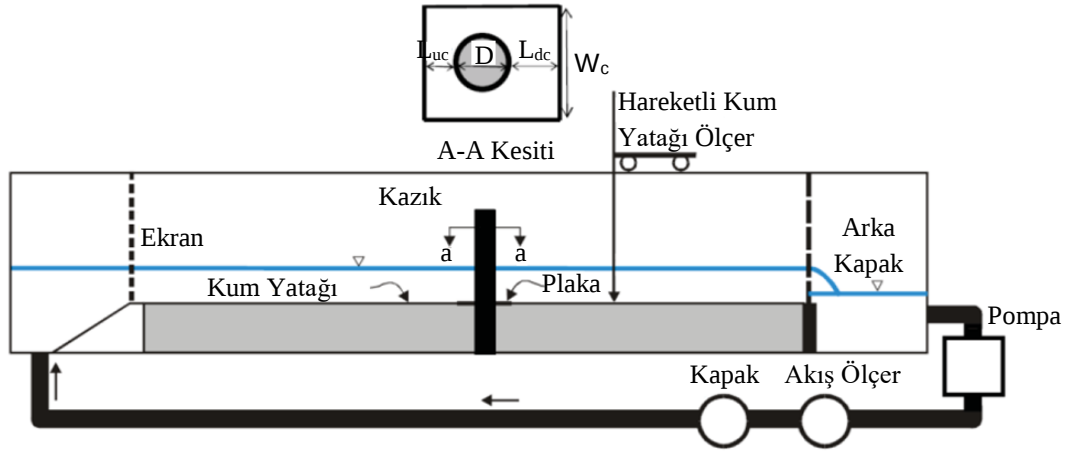
Yatak malzemesi medyan dane çapı (d_{50}) 2 mm ve geometrik standart sapması (σ_g) 1,7 olan uniform kumdan oluşmaktadır. Tüm deneyler aynı akış derinliğinde ve modellenen 180° nehir kıvrımının 60° olan bölümünde gerçekleştirilmiştir. Akışın ölçümü için kanalın akış yukarı bölümünde 60° açılı bir üçgen savak kullanılmıştır. Deneylerin denge zamanı elde edilmek için 0,41 Froude sayısında ve plakasız bir iskele modelinde 60° pozisyonda uzun süreli bir deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.18’de gösterilen eğriler göz önüne alındığında oyulma işleminin yaklaşık %93’ünün ilk 5 saat içerisinde meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle diğer tüm deneyler için deney süresi 5 saat seçilmiştir.



Şekil 1.18. Plakasız bir iskele için 60° pozisyonunda oyulmanın dengeye ulaşma süresi (Masjedi vd. (2010) [21])

Bu deneylerde sonuç olarak; plaka genişliği artırıldığında plakanın etkinliğini arttığı, herhangi bir oyulma derinliğine ulaşmak için gereken sürenin akış yoğunluğunun artmasıyla azaldığı, genişliği köprü ayağının üç katı olan plakanın (3B), 1,5B, 2B ve 2,5B plakalar ile karşılaştırıldığında daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Plaka takılı bir iskelede, plaka bulunmayan bir iskeledeki oyulmaya göre %78 daha az oyulma derinliği gözlemlenmiştir.

Jahangirzadeh vd. (2012) [22], köprüler etrafındaki oyulmayı azaltmak için dikdörtgen bir plaka boyutunun belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Deneylerin yapıldığı kanal 12 m uzunluğunda, 30 cm genişliğinde, 50 cm yüksekliğindedir ve 0,002 taban eğimine sahiptir. Kanalin bitiminde akım debisini 0,1 l/s hassasiyetle ölçmek için tasarlanan üçgen bir savak bulunmaktadır (Şekil 1.19).



Şekil 1.19. Deney kanalının planı ve profili (Jahangirzadeh vd., (2012) [22])

Aşağıdaki parametrelerin maksimum oyulma derinliğinde etkili olduğu düşünülmüştür ve deneyler buna göre tasarlanmıştır:

- İskele modeli çapı ve kanal genişliği (w). Eğer $\frac{D}{V} < 0,1 L$ ise oyulma derinliği genişlikten etkilenmez (Raudkivi ve Ettema, 1983) [23]. Buna göre 12 mm çap seçilmiştir.
- Daneilerin ortalama çapı $\frac{D}{d_{50}} > 25$ şartı sağlandığında oyulma dane boyutundan etkilenmez. (Melville, 1997) [24].

$$D = 14 \text{ mm} \quad d_{50} = 0,35 \text{ mm} \quad \frac{D}{d_{50}} = 42$$

- Su akış derinliği $\frac{D}{y} > 0,7$, oyulma çukurunun derinliğini etkilememek üzere korunmuştur (Melville, 1997) [24]
- $\frac{V}{V_c} = 1$ Şartı. Kritik hız, Neill (1973) [25] denklemleriyle karşılaştırılmıştır:

$$V_c = \theta_c^{1/2} K_u 31,08 y^{1/6} d_{50}^{1/3} \quad (1.26)$$

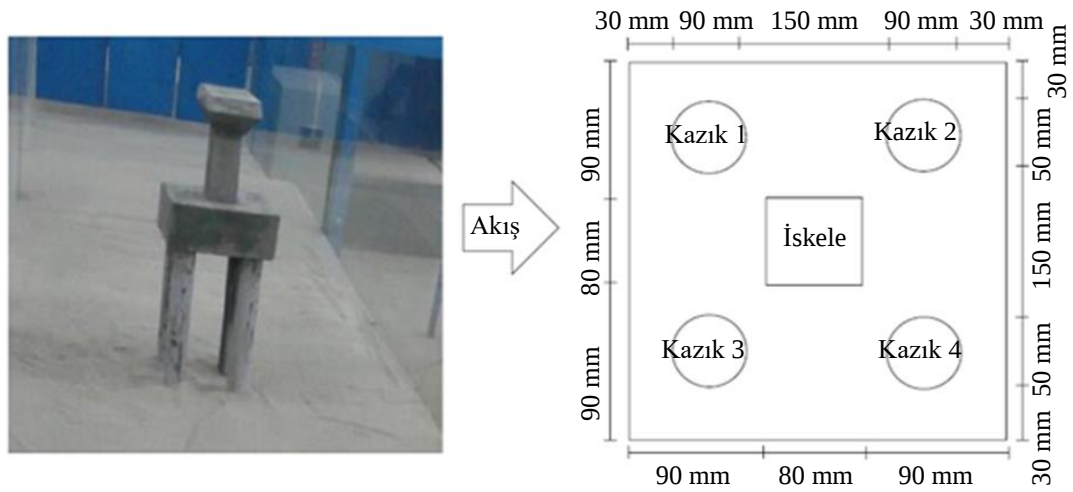
Bu denklemde V_c kritik hız (m/s), y su derinliği (m), d_{50} sedimetlerin medyan büyüklüğü ve K_u Amerikan sisteminde 1 ve Uluslararası sistemde 1,81'e eşit bir sabittir. Muller (1996) [26], kritik Shields parametresi θ_c 'yi hesaplamak için bir denklem (Denklem 1.27) geliştirmiştir:

$$\theta_c = 0,0019d_{50}^{-0,384} \quad d_{50} < 0,0009 \quad (1.27)$$

Deneyler sırasında $\frac{V}{V_c} = 1$ koşulunun korunması zordur, $\frac{V}{V_c} = 0,9$ ve $\frac{V}{V_c} = 0,95$ koşulları kullanılmıştır.

Farklı hidrolik parametreler altında hesaplanan ideal plaka boyutlarını elde etmek için çeşitli plaka boyutları uygulanmıştır. Plakalar 0,6 mm kalınlığında sert plastikten yapılmıştır. Hem yukarı akış hem de aşağı akış plaka uzunlukları, iskele gövdesine göre ölçülmüştür. İdeal değerlerin iskele çapından sırasıyla 0,93 ve 1,44 kat daha büyük olduğu belirlenmiştir. İdeal plaka genişliğinin köprü iskelesi çapından 2,8 kat daha büyük olduğu bulunmuştur. Yukarıda belirtilen optimize edilmiş plaka boyutunu kullanarak, denge oyulma derinliği 72 saat sonra minimum 0,44 mm'ye denk gelmiştir.

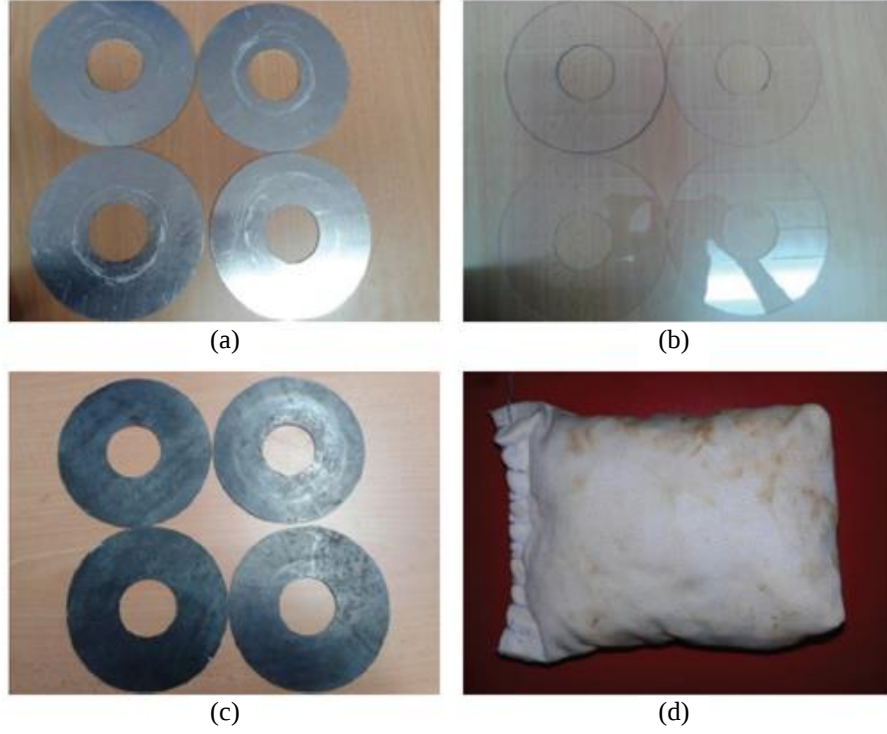
Akib vd. (2014) [27] köprü ayaklarındaki yerel oyulmayı azaltmak için geobag ve plaka kullanımı üzerine çalışmıştır. Deneyler 16 m uzunluğunda, 1 m genişliğinde ve 1 m yüksekliğinde, 0,001 sabit eğimli bir kanalda gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölümünün uzunluğu 4,4 m belirlenmiştir, 200 mm yüksekliğinde taban malzemesi kullanılmıştır. Köprü modeli olarak 50 mm çaplı 80 mm genişliğinde beton bir iskele kullanılmıştır. Şekil 1.20'de köprünün geometrisi gösterilmektedir.



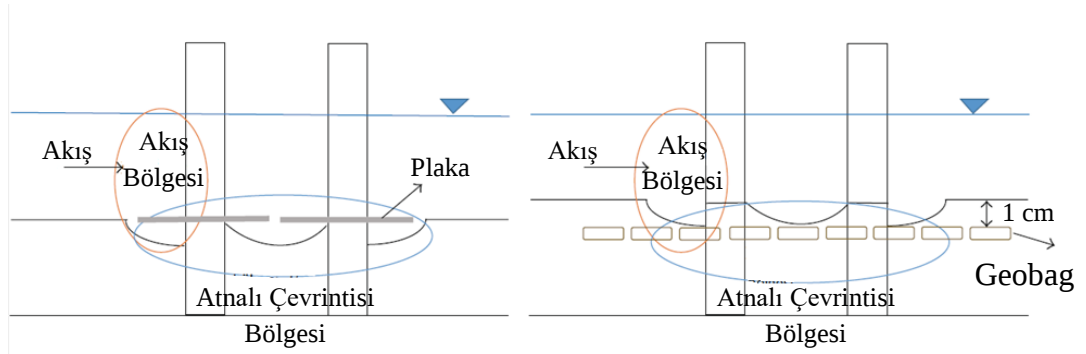
Şekil 1.20. Laboratuvarındaki köprü iskele modeli (Akib vd., (2014) [27])

Yatak malzemesi olarak medyan dane boyutu 0,8 mm olan kohezyonsuz, uniform katı madde kullanılmıştır ve geometrik standart sapması 1,29'a eşittir.

Yapılan tüm deneyler için aynı pervane hızı ve su yüksekliği kullanılmıştır. İlk deneyde, köprü ayaklarının etrafındaki oyulma gelişimi incelenmiştir, daha sonra farklı tip plakalar kullanılarak deneyler tamamlanmıştır. Plakaların genişliği ve yüksekliği önceki çalışmalar referans alınarak seçilmiştir. Deneylerde kullanılan oyulmaya karşı önlemler Şekil 1.21'de gösterilmiştir. Plakalar çelik, alüminyum ve Perspeksten yapılmıştır ve 2 mm kalınlığındadır. Geobag 25 mm, 105 mm ve 61 mm boyutlarında kullanılmıştır. Daha geniş plakalar teorik olarak daha etkilidir ancak köprü ayaklarının çapından üç kat fazla genişliğe sahip plakalar uygulanabilirlik açısından pratik değildir. Bir geobag kullanmak, köprü iskelelerinin etrafındaki oyulmayı kontrol etmek için koruma yöntemlerinden biri olarak belirtilmiştir. Köprü ayağının etrafına yerel bir geobag katmanı yerleştirilmesi, düşey akıma ve at nalı çevrintilerine karşı hidrolik direnci arttırmıştır. Şekil 1.22, bir plaka ve bir geobag varlığında bir köprü iskelesinin etrafındaki girdap alanlarını göstermektedir.



Şekil 1.21. Laboratuvarda kullanılan karşı önlemler; (a) alüminyum plaka, (b) Perspex plaka, (c) çelik plaka ve (d) palmye yağı içeren ezilmiş betona sahip geobag (Akib vd., (2014) [27])



Şekil 1.22. (a) plaka ve (b) geobag ile korunan bir kazık etrafında oyulma profili (Akib vd., (2014) [27])

Oyulma derinliğinin azaltılması ile ilgili verim yüzdesi Denklem (1.28) ile hesaplanmıştır.

$$r_{ds} = \frac{d_{so} - d_{sp}}{d_{so}} 100 (\%) \quad (1.28)$$

Burada d_{so} ve d_{sp} sırasıyla korunmasız ve korunmuş kazıklara yakın maksimum oyulma derinliğidir.

Plaka ve geobagler, düşey akımı yönlendirmekte ve nehir yatağının doğrudan hasar almasını engelleyerek; yerel oyulmayı azaltmaktadır. Deneyler 24 saat sürmüştür ve plakaların genişliği köprü ayağı çapının yaklaşık üç katıdır. Geobagler kanal tabanı yatağı seviyesinde konumlandırılmıştır. Bir çelik plaka ve geobag kombinasyonu ile kazıkların arkasındaki oyulmanın %96 oranında azaltıldığı belirtilmiştir. Bu çalışma, çelik plaka ve geobagin birlikte kullanılmasıyla denenmiş ve diğer yöntemlerden daha etkili olduğunu göstermiştir.



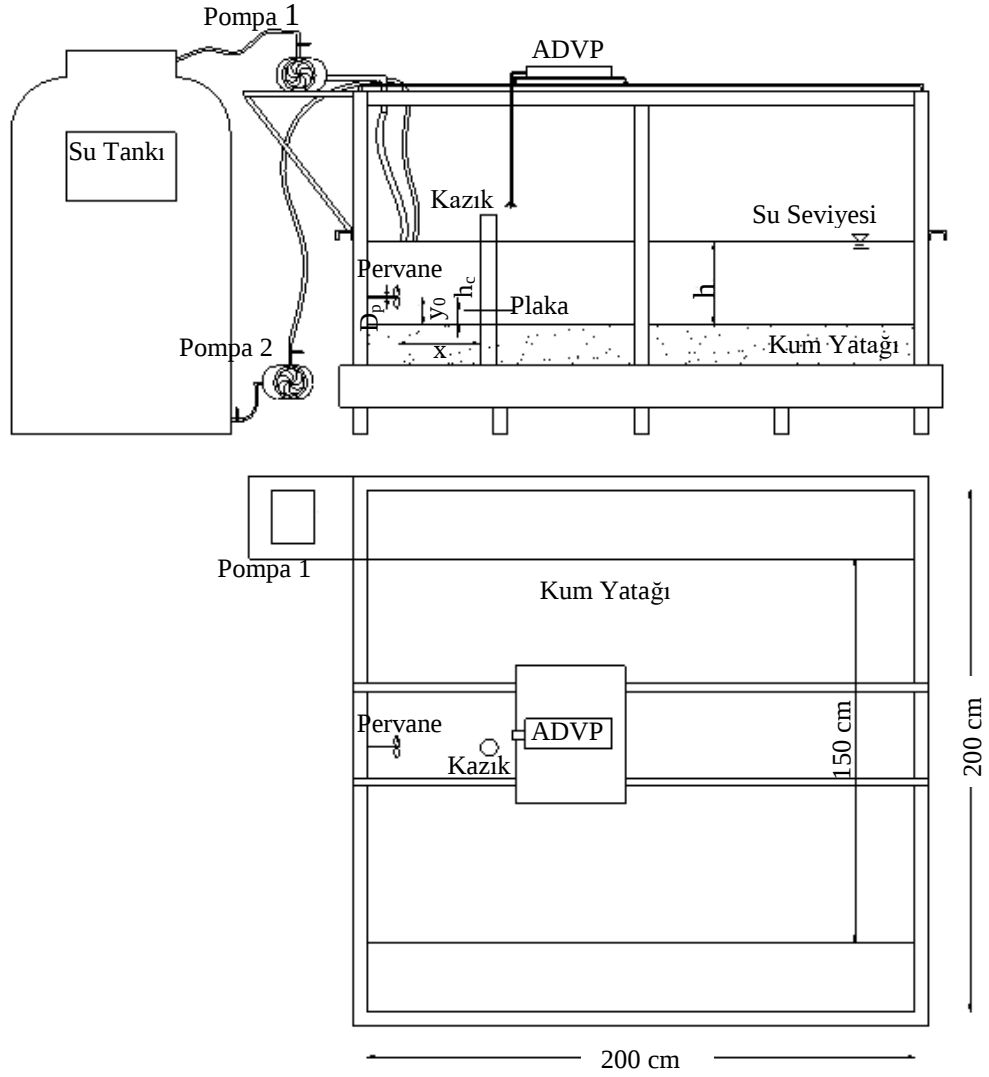
2. MALZEME VE YÖNTEM

Kazıklı yavaşma yapıları etrafında gemi pervanelerinin oluşturduğu jet akımından kaynaklanan oyulmanın azaltılabilmesi için yapılan çalışmalar üç farklı başlık altında incelenebilir. Bu başlıklar (1) sınırlandırılmamış durumda oluşan oyulma, (2) sadece kazık yerleştirilmesi durumunda oluşan oyulma, (3) kazık etrafına farklı genişlikte plaka yerleştirilen durumda oluşan oyulmalardır.

Yukarıda bahsedilen durumların incelenebilmesi için Kırıkkale Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı'nda bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneğini oluşturan elemanlar; deney tankı, deniz tabanını oluşturan kuvars kumu, taban profilinde oluşan değişimlerin ve pervane çıkış hızlarının ölçüldüğü Akustik Doppler Hızölçer Profil Kaydedici (ADVP) ve pervane sistemidir.

2.1. Deney Tankı

Deneylerin gerçekleştirilmesi için 2 m uzunluğa, 2 m genişliğe ve 1 m yüksekliğe sahip; bir tarafı camdan, diğer üç tarafı çelikten yapılmış bir deney tankı inşa edilmiştir. Deney tankına su doldurma/boşaltma işleminin yapılabilmesi için 1 adet depo ve 2 adet pompa kullanılmaktadır. Deney tankı üzerinde ölçüm cihazlarının yerleştirilebileceği, kızıllı, X-Y doğrultusunda hareket etmeyi sağlayan bir sistem yerleştirilmiştir. Şekil 2.1 deney tankını göstermektedir. Deney tankı içinde 1,5 m genişliğe, 2 m uzunluğa ve 0,2 m yüksekliğe sahip bir bölge deniz tabanını oluşturmak için kullanılmaktadır. Deneylerde su derinliği (h) 0,40 m seviyesinde sabit tutulmuştur.



Şekil 2.1. Deney tankı

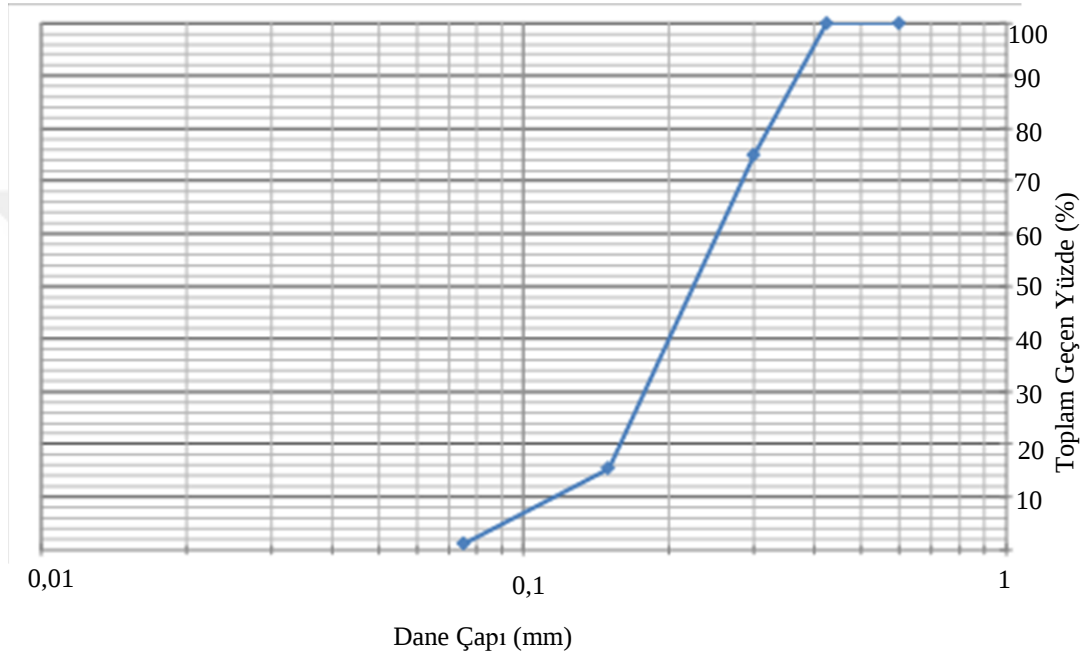
2.2. Taban Malzemesi

Deniz tabanını temsil edecek kohezyonsuz malzeme olarak kuvars kumu kullanılmıştır. Malzemenin ortalama elek çapı yaklaşık olarak $d_{50} = 0,24$ mm bulunmuştur. Hong vd. (2013 ve 2016) [1,2], Cui vd. (2020) [28] yaptıkları çalışmalarda aynı çap değerinde malzemeler ile deneysel çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Şekil 2.2 kullanılacak kuvars malzemesinin elek analizini göstermektedir. Kuvars kumunun özgül ağırlığı (σ_g) Denklem (2.1) kullanılarak

hesaplandığında 1,5 olarak bulunmaktadır. Bu değer, taban malzemesinin orta derecede iyi sınıflandırılmış olduğunu göstermektedir.

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} \quad (2.1)$$

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



Şekil 2.2. Dane boyutu dağılımı

2.3. Pervane Sistemi

İstenilen dönüş hızlarında, istenilen çaplarda pervanelerin dönüşünü sağlamak için Endura Mina tipi su altında çalışan bir motor kullanılmıştır. Bu motorun dönüş hızını kontrol edebilmek için aşağıda anlatılan sistem hazırlanmıştır.

2.3.1. Sistemin Yapısı

Oluşturulan motor hız kontrol düzeneği yazılım ve donanım olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir. Donanım kısmı 12V DC motor, 12V güç kaynağı,

sürücü, arduino kartları ve LCD ekrandan oluşmaktadır. Gömülü yazılım kısmı ise arduino kullanılarak oluşturulmuştur.

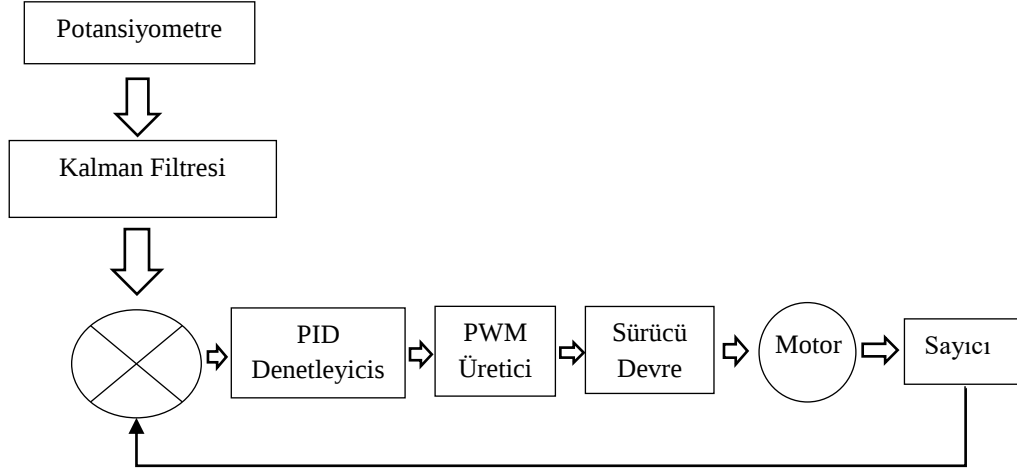
2.3.1.1. Donanım

Motorun çıkış miline mıknatıs ve hall sensörü yerleştirilerek PID kontrolü için gerekli olan geri besleme sinyali sağlanmıştır. Vnh2sp30 kodlu 16V 30a kapasiteli motor sürücü devresi ile motor çalıştırılmıştır. İstenilen motor devri ayarlamaları için potansiyometre, istenilen hız ve anlık hızın okunabilmesi için OLED grafik ekran kullanılmıştır.

2.3.1.2. Yazılım

PID kontrolcü ve Kalman filtreleri kullanılarak motorun kararlı çalışması sağlanmıştır. Sisteme giriş sinyali olarak potansiyometreden okunan değer kullanılmıştır. Giriş sinyalindeki dalgalanmaları azaltması için kalman filtresi uygulanmıştır. Motorun istenilen hızda çalışması için PID kontrolcüsü kullanılmıştır. Bu sayede motor istenilen hıza birkaç saniye içerisinde ulaşabilmekte ve istenilen hızda kararlı bir şekilde kalabilmektedir.

Şekil 2.3 pervane kontrol sisteminin çalışma şemasını göstermektedir.



Şekil 2.3. Pervane sisteminin çalışma şeması

2.4. Pervane Özellikleri

Deneylerde kullanılan pervaneye ait özellikler verilmeden önce pervaneler için önemli olan terimler aşağıda verilmiştir. Şekil 2.4 pervane ve pervaneye ait terimleri göstermektedir.

Pervane Göbeği: Pervanenin merkez kısmı olup, pervanenin şafta montajını sağlamak amacıyla yapılan disk şeklindeki parçasıdır. Bu diske pervane kanatları yerleştirilmiştir. Pervane göbeği hiçbir şekilde itme sağlamadığı için ideal bir pervanenin göbeğinin olmaması istenir, ancak pratik olarak bu mümkün değildir ve genelde göbek çapı pervane çapının %14'ünün altına pek düşmez.

Pervane Siğili, Kaması, Yuvası: Şafttan pervaneye güç aktarılırken genelde pervanenin göbek içerisinde dönmesini önlemek ve tork yükünü taşımak üzere pervane göbeğine bir kama yuvası açılır. Bu oluğa şaft üzerinde açılan bir kama oturtularak şaftın göbek içerisinde kayması engellenir ve bu aynı zamanda tork yükünü de taşır.

Pervane Kanatları: Pervane göbeğinden çıkan ve üzerinde oluşan basınç dağılımı ile elde edilen itme kuvveti ile geminin hareketini sevkini sağlayan parçasıdır. Pervanenin kanat sayısı kavitasyon, titreşim, pervane monte yerinin kısıtları vb. gibi

nedenlere bağılı olarak tespit edilir. Bazı durumlarda kanat uçlarının pala şeklinde yapılması zorunluluğı ortaya çıkar.

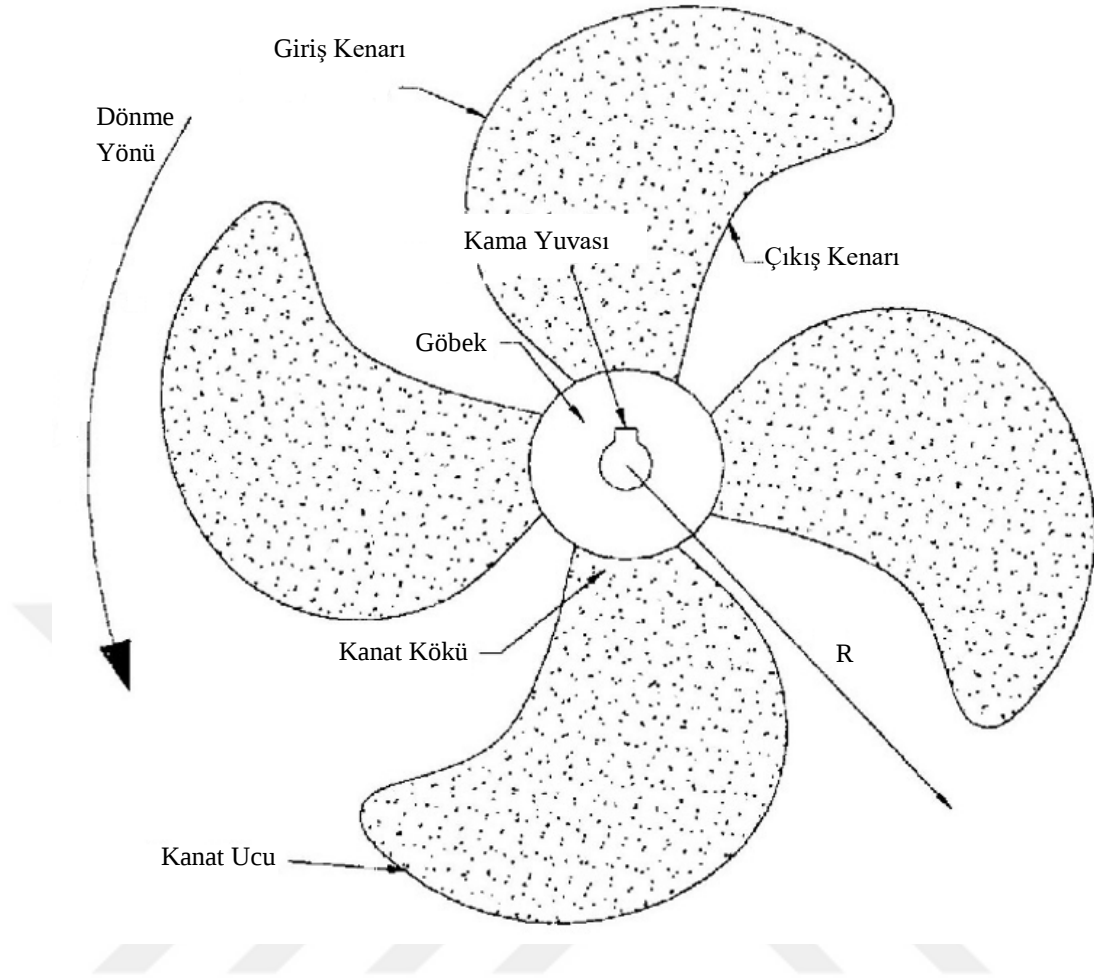
Kanat Yüzü, Kanat Sırtı: Kanat yüzü, pervane kanadının yüksek basınca maruz kalan yüzüdür. Gemi kış tarafından gemi baş tarafına bakıldığında pervanenin görülen yüzüdür. Kanat sırtı ise düşük basınca maruz kalan, vakum tarafı olarak da anılır. Kanat sırtı gemiye kıştan bakıldığında, bakan kişiye uzak, pervanenin gemi kışına yakın olan tarafıdır.

Kanat Kökü, Kanat Ucu: Pervane kanatlarının pervane göbeğı ile birleştiğı noktaya kanat kökü, kanadın şaft merkezinden en uzak noktasına da kanat ucu adı verilir.

Pervane Kanat Giriş Ucu (Önder Kenar) ve Kanat Çıkış Ucu (Takip Kenar): Pervanenin dönüşü sırasında kanat kesitinin suyu yardığı uca giriş ucu (önder kenar), suyun kanat yüzeyini terk ettiğı uca ise çıkış ucu (takip kenar) denir.

Pervanenin Dönüş Yönü (Sağı Pervane, Sola Pervane): Pervanelerin en önemli özelliklerinden biri de dönüş yönleridir. Dönüş yönü ile kastedilen pervanenin hangi yöne döndüğü zaman gemiyi ileri iteceğidir. Gemiye kış tarafından bakan bir kimse için sağı dönüşlü bir pervane (sağı pervane) saat yönünde döndüğünde gemiyi ileri götüren pervane olup, sola dönüşlü pervane de saatin aksi yönde döndüğünde gemiyi ileri götüren pervanedir.

Piç (Hatve): Piç kelimesi vida benzeşiminden gelme bir terimdir. Pervanenin su içerisinde ilerlemesi bir vidanın yumuşak bir ağaca girerken olan ilerlemesine benzer. Aslında pervane için kullanılan uygun terim “Uskur Pervane (Screw Propeller)” terimidir. Bir vidada olduğu gibi, pervane de her bir dönüşünde sabit bir miktar ilerleyecektir. Pervanenin tam bir dönüşü sırasında ilerlediğı mesafeye pervanenin hatvesi veya piçi denir. Bu şekilde tanımlanan piç, nominal piç olarak bilinir. Gerçekte, pervane katı bir ortamda değil bir akışkan ortamında, su içerisinde, çalıştığından her bir tur dönüşünde yukarıda tanımlanan piç değerinden daha az ilerleyebilir. Bu ilerleme gerçek piç olarak adlandırılır. Gerçek piç ile nominal piç arasındaki farka kayma (slip) denir.



Şekil 2.4. Pervanenin genel görünümü (Güner vd., 1999) [29]

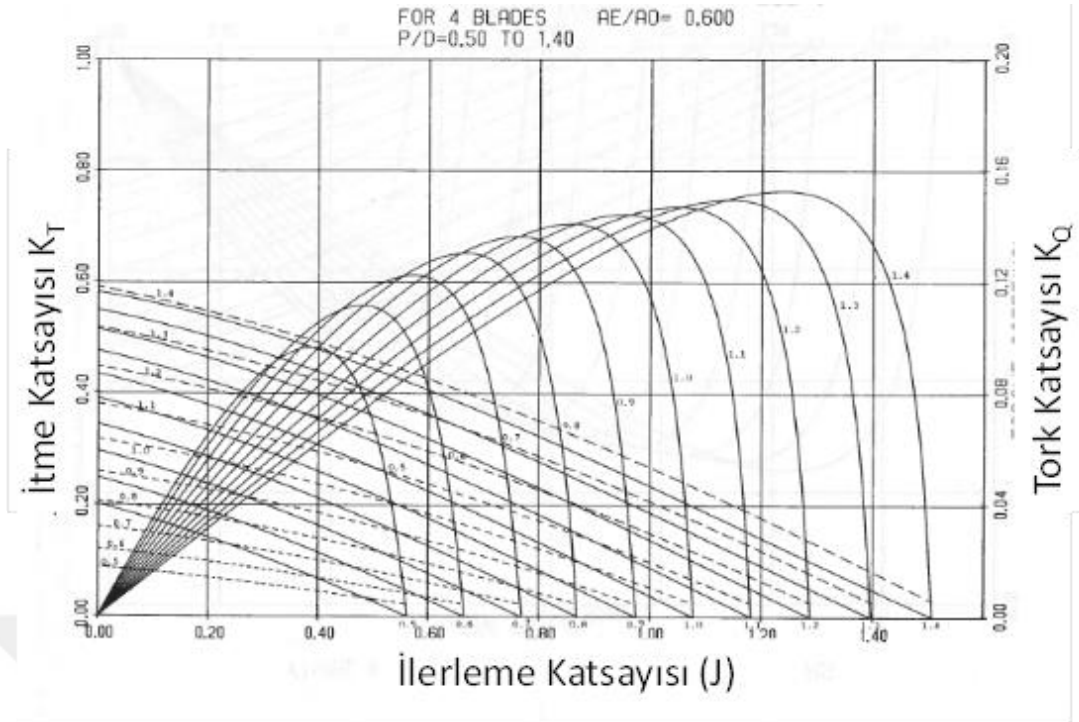
Deneylerde kullanılan pervane çapı 6 cm'dir. Pervane pirinçten imal edilmiştir. Şekil 2.5. pervaneyi göstermektedir. Pervane ekseninin deniz tabanından yüksekliği (y_0) 10 cm olarak seçilmiş ve tüm deneylerde bu değer kullanılmıştır. Pervaneye ait özellikler Çizelge 2.1. de verilmiştir. Römisch (1975)'e [30] göre K_T belirlenemediği durumlarda 0,35 olarak kabul edilebilmektedir. Deneylerde kullanılan pervane tipi B serisi Wageningen pervanesi olarak düşünüldüğünde, pervane özelliklerine bağlı olarak Şekil 2.6 kullanılarak 0,35 bulunmuştur.



Şekil 2.5. Deneylerde kullanılan pervane

Çizelge 2.1. Pervane özellikleri

Çap (D_p), (m)	0,06
Kanat Sayısı (N)	4
Kanat Alanı Oranı (β)	0,60
Hatve Oranı (P/ D_p)	1,025
İtme Katsayısı (K_T)	0,35
Malzeme	Pirinç



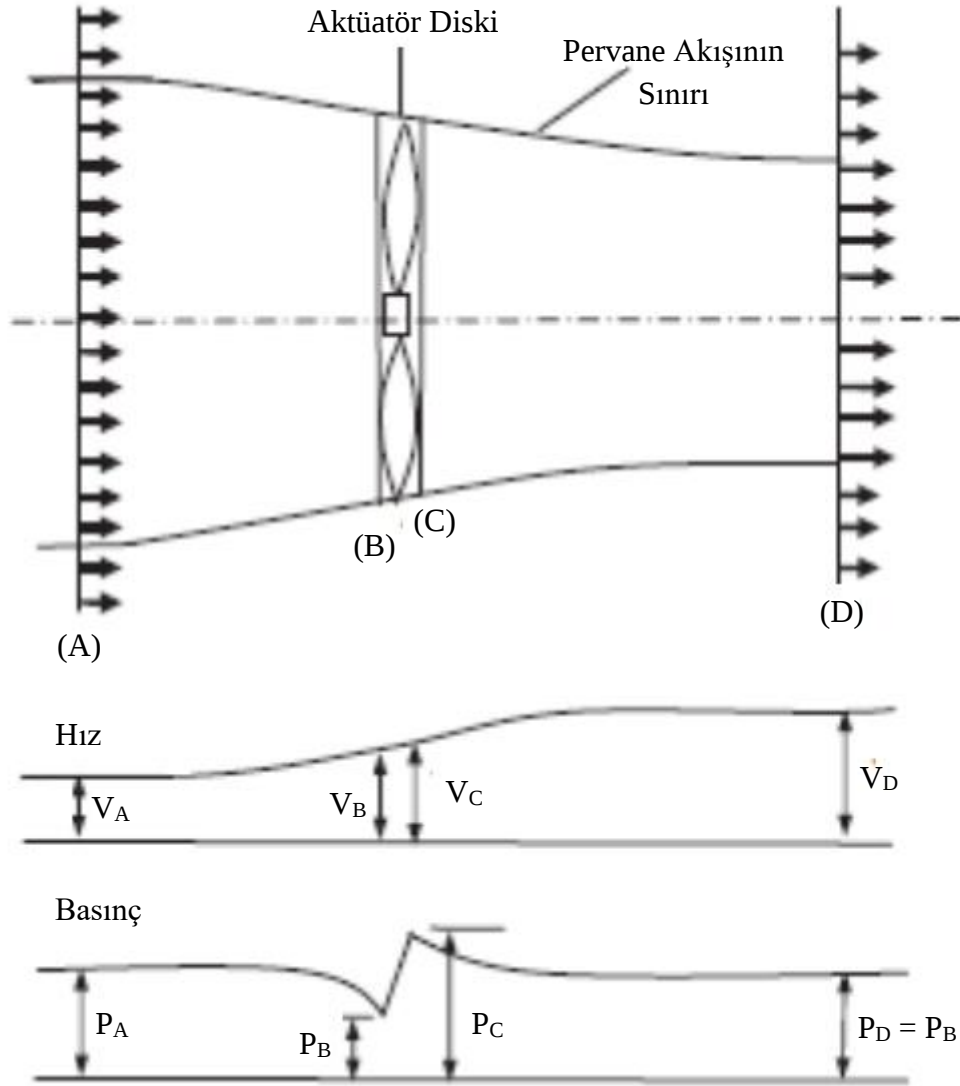
Şekil 2.6. Wageningen B seri pervane için itme katsayısı, ilerleme katsayısı ve tork katsayısı arasındaki ilişkiyi gösteren eğriler (Ray ve Kinley, 1981) [31]

Pervane çıkış hızı, pervane jet akımını tanımlayan en önemli parametredir. Çıkış hızının belirlenmesi için çeşitli yöntemler kullanılarak elde edilen formüller literatürde verilmiştir. Bu yöntemlerden en çok uygulanan eksenel momentum teorisidir. Blaauw ve Van de Kaa, Berger vd., Hamill pervane jetinin karakteristiklerini belirlemek için eksenel momentum teorisini kullanmışlardır. Bu teoride yapılan kabuller şu şekildedir (Lam vd., 2012) [32]:

1. Pervane, aynı çapa sahip bir disk olarak kabul edilmektedir.
2. Disk sonsuz sayıda dönen kanattan oluşmuştur ve sonsuz hızda dönmektedir.
3. Diskin kalınlığı ihmal edilebilir.
4. Disk, ideal akışkan içinde batık haldedir.
5. Diskten geçen tüm sıvı elementleri eşit basınç artışına maruz kalır.
6. Diske verilen enerji, dönüş hareketi meydana gelmeksizin sıvıya verilir.

Şekil 1.7, ideal bir disk olarak temsil edilen pervaneyi ve çevreleyen sıvıyı göstermektedir. Bu basitleştirilmiş gösterimde, pervane akımının sınırı, üzerinde basınç ve hızın süreksizliğinin olduğu bir yüzeydir (Chadwick vd, 2005) [33].

Gerçekte, pervane akımının kenarındaki basınç ve hız hareketsiz ortam akışkanı ile pervane akımının karışması nedeniyle azalır.



Şekil 2.7. İdeal bir aktüatör diski olarak pervane (Chadwick, 2005 [33])

Şekil 2.7'nin tanımladığı disk bölgesindeki basınç ve hız değerleri sonucunda oluşan momentum değişimi sonucunda bir itme oluşmaktadır. Bernoulli denkleminin uygulanması ile Denklem (2.2) elde edilmiştir (Stewart, 1992 [34]).

$$T = \frac{1}{2} \rho A (V_D^2 - V_A^2) \quad (2.2)$$

Boyut analizi ile pervane itmesi Denklem (2.3) kullanılarak elde edilmiştir (Stewart, 1992) [34].

$$T = K_t \rho n^2 D_p^4 \quad (2.3)$$

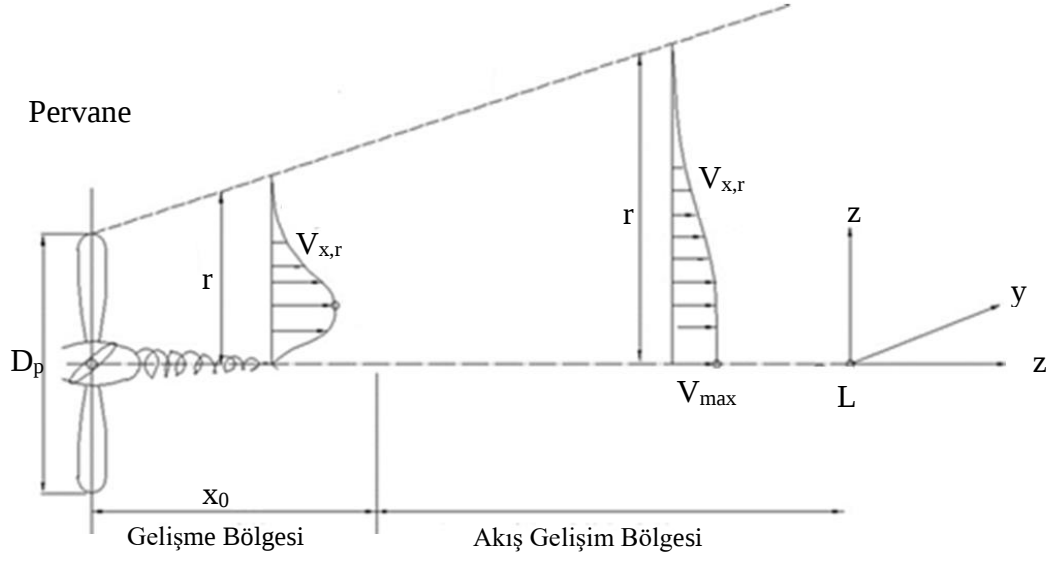
Burada T, pervane itmesi; ρ , akışkanın özgül ağırlığı; A, disk alanı; V_D ve V_A , D ve A noktalarındaki hızları göstermektedir. K_T , itme katsayısı; n, pervanenin saniyedeki dönüş hızı ve D_p , pervane çapıdır. Denklem (2.2) ve Denklem (2.3) birlikte düşünüldüğünde Denklem (2.4) elde edilir.

$$\frac{1}{2} \rho A (V_D^2 - V_A^2) = K_t \rho n^2 D_p^4 \quad (2.4)$$

Eğer ilerleme hızı çok düşük olursa $V_A=0$ ve $A=\frac{\pi D^2}{4}$ olarak kabul edilerek Denklem (2.5) halini alır.

$$V_D = U_0 = 1.59 n D_p \sqrt{C_t} \quad (2.5)$$

Denklem (2.5), pervane çıkış hızı denklemi olarak adlandırılmaktadır. Pervane çıkış hızı Ryan (2002) [35] tarafından pervane çıkış düzlemi boyunca ölçülen maksimum hız değeri olarak tanımlanmıştır. Hamill (1989) [36], pervane jeti dolayısıyla oluşan hız dağılımlarının Şekil 2.8’de gösterildiği gibi olduğunu ifade etmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi pervane yakınında hız dağılımı çift pikli, pervaneden uzaklaştıkça tek pikli bir hız dağılımı oluşturmaktadır.



Şekil 2.8. Pervane jetinin şematik görünüşü (Hamill (1989) [36])

U_0 , çıkış hızı PIANC (2015) tarafından verilen Denklem (2.6) ile hesaplanabilir.

$$U_0 = E_0 n D_p \sqrt{C_t} \quad (2.6)$$

Çizelge 2.2 literatürde önerilmiş olan E_0 katsayılarını göstermektedir.

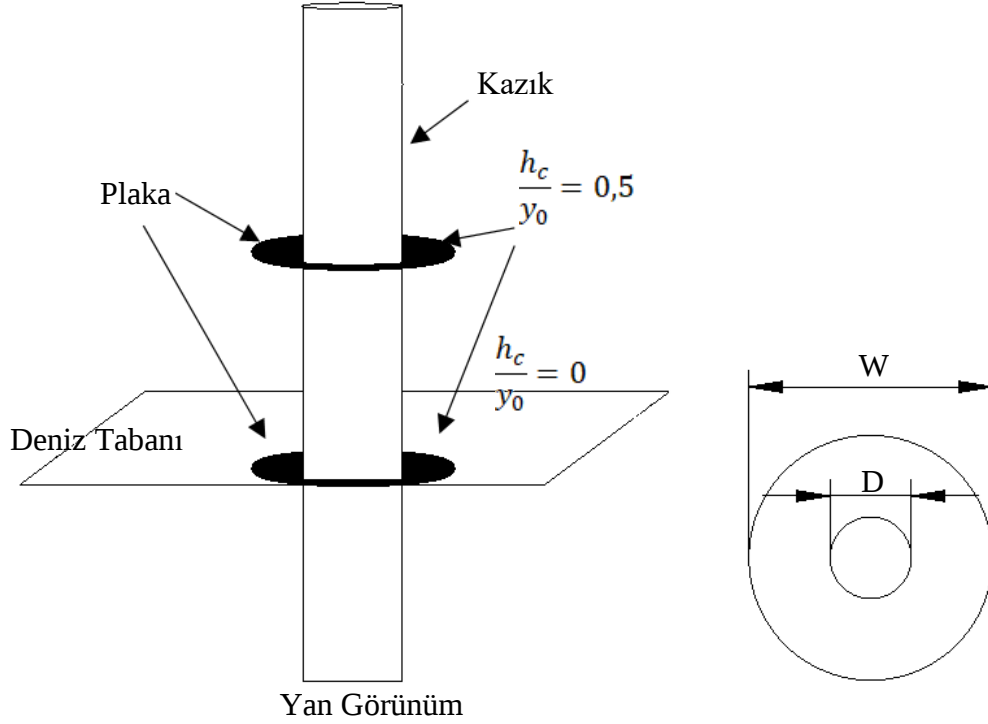
Çizelge 2.2. Pervane çıkış hızı için E_0 katsayıları (Tan ve Yüksel, 2019) [13]

Araştırmacı (lar)	E_0	Uyarılar
Fuehrer ve Römisch (1977)	1.59	Eksenel momentum teorisinden türetilmiştir
Hamill (1987)	1.33	Düz bir su jetini tek bir pervanenin jeti ile değiştirerek deneysel bir yöntem kullanılarak tanımlanır.
Stewart (1992)	$D_p^{-0,0686} \left(\frac{P}{D_p} \right)^{1,519} \beta^{0,323}$	$\beta = 0,47$ ve $P = 1,0$ için iki tip pervane için test edilmiştir.
Hasmi (1993)	$\left[\frac{D_p}{D_h} \right]^{-0,403} K_T^{-1,79} \beta^{0,744}$	Pervane çapının, pervane göbeği (D_h) çapının bölünmesiyle boyutlandırılmamasıyla tanımlanır. $D_h = 14,92$ mm.
Tsinker (1995)	1.1	Bir pervanenin kanal tasarımına bağlı olarak tanımlanır.
Lam vd. (2012)	0.89-1.71 arasında değişir	$P = 0.473$ ve 0.922 için $D_p = 7,6$ cm ve $13,1$ cm $C_t = 0,4$ ve $0,56$ 'da olan iki pervane için test edilmiştir.
Hamill vd. (2015)	1.22	$D_p = 7.6$ cm, 9.2 cm, 10.3 ve 13.1 cm'lik dört pervane için $0.4 \leq \beta \leq 0.922$ için $0.4 \leq C_t \leq 0.56$ ile test edilmiştir.
PIANC (2015)	1.6	K_t , Wageningen B ve K serisi pervanelerden türetilmediğinde kullanılır.
Tan ve Yüksel (2018a)	1.42	$D_p = 6,5$ cm, 10 cm ve 13 cm ve $C_t = 0,61$ olan üç Wageningen-B serisi pervane için test edilmiştir.

Burada p , pervanenin hatvesi, β kanat alanı oranıdır ve D_h pervane göbek çapıdır, n pervane hızıdır, D_p pervane çapı ve K_T , itme katsayısıdır.

2.5. Kazık ve Farklı Genişlikteki Plakalar

Deneylerde kullanılan kazık çapı 6 cm olarak seçilmiştir ve tüm deneylerde sabit tutulmuştur. Kullanılan plakalar pleksiglastan imal edilmişlerdir. Üç farklı plaka kullanılmıştır. Plakanın çapı (W) ve kazığın çapı (D) ile gösterilirse, W/D oranı 3, 2 ve 1,5 olarak belirlenmiştir. Plakalar kazık üzerinde iki farklı yüksekliğe yerleştirilmiştir. Plaka yüksekliği (h_c) ile tanımlanırsa, plakalar deniz tabanından itibaren 5 cm yüksekliğe ($h_c/y_0 = 0,5$) ve tam deniz tabanına ($h_c/y_0 = 0$) yerleştirilmiştir. Şekil 2.9’da kazık ve plakaların konumları gösterilmiştir.



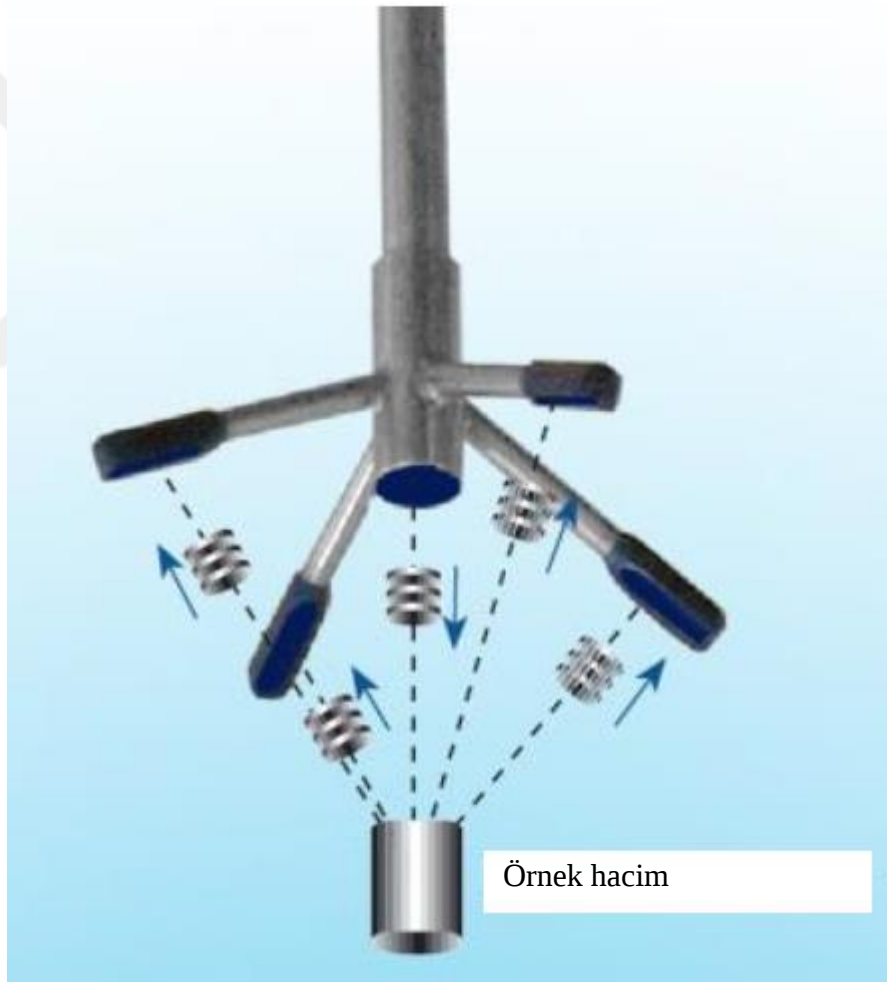
Şekil 2.9. Plakaların kazık üzerindeki konumları

2.6. Ölçüm Sistemi

Deneylerde iki tip ölçüm yapılmıştır. Bunlardan ilki, deniz tabanındaki değişimleri belirlemek için deney öncesi ve deneyler sırasında belirli zaman aralıklarında yapılan deniz tabanı ölçümleri, ikincisi ise pervane jetinin çıkış hızını ölçmek için yapılan hız ölçümleridir. Bu iki tip ölçüm ADVP ile gerçekleştirilmiştir. ADVP, Akustik

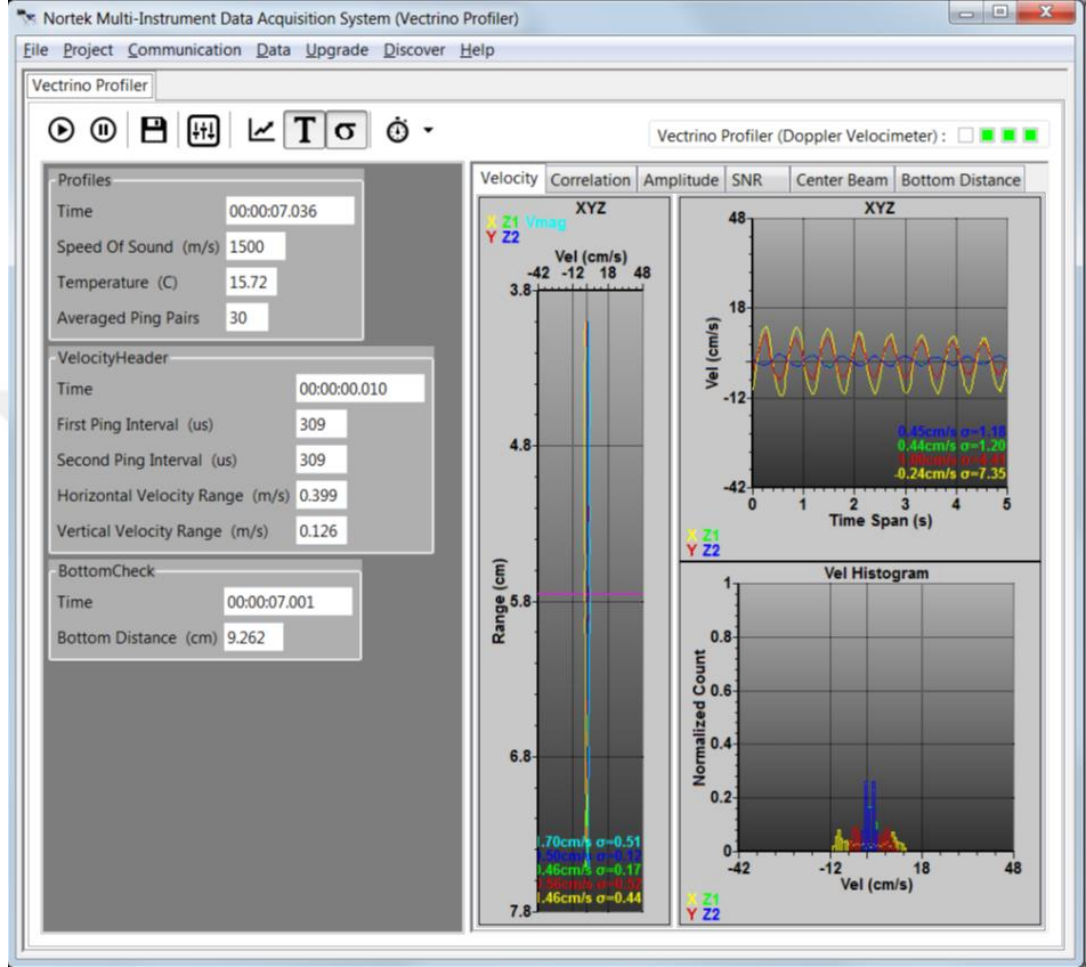
Doppler prensibine dayanan yüksek doğruluğa sahip, üç doğrultudaki hız bileşenlerini ölçen bir hız ölçerdir. Özellikle sınır tabakası ve bazı türbülans ölçümleri için oldukça elverişlidir ve birçok disiplinde kullanılmaktadır (Sarker, 1998) [37].

Vectrino II tip ADVP'nin çalışma prensibi kısaca şöyle özetlenebilir: Merkez transdüsörden bir sinyal iletilir ve suda asılı partiküllerden gelen yansımalar ile ortaya çıkan Doppler kayması, dört alıcı tarafından alınır. Şekil 2.10 bu durumu şematik olarak göstermektedir.



Şekil 2.10. Vectrino II ADVP'nin çalışma prensibinin şematik gösterimi (Vectrino II, Manuel, 2019)

Şekil 2.11 ADVP ile ölçüm yapılırken kullanılan yazılım görüntüsünü göstermektedir. Görüldüğü gibi ekran üzerinde birçok farklı ölçüm, anlık grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Vectrino II ADVP yazılımının ekran görüntüsü (Vectrino II, Manuel, 2019)

ADVP ile hız ölçümleri yapmak için iki farklı yöntem uygulanabilmektedir. Ölçümler noktasal olarak yapılabildiği gibi, 3 cm boyutunda bir su kolonu için hız profilini çıkartmak da mümkündür.

ADVP'nin akustik frekansı 10 MHz'dir. Tek nokta ölçümlerinde, ölçüm hacmi sensörden 45-55 mm uzaklıkta oluşturulabilmektedir. Buna karşın profil

ölçümlemlerinde ölçüm hacmi sensörden 40-70 mm'lik aralıkta oluşmaktadır. Her iki ölçüm seçeneği için hücre boyutlarını 1-4 mm aralığında seçmek mümkündür.

Hız ölçümlerinin örnekleme frekansının maksimum değeri 100 Hz iken, taban ölçümleri maksimum 10 Hz'lik frekans değerlerinde yapılabilmektedir.

ADVP ile hız ölçümlerinin yanında, ADVP'nin tabana olan uzaklığı 4-30 cm aralığında anlık olarak ölçülebilmektedir. Bu özelliği sayesinde deney sırasında, tanktaki suyu boşaltmadan ve hasara uğramış deniz tabanında bozulmaya sebep olmadan, taban ölçümleri yapmak mümkün olmaktadır.

2.7. Boyut Analizi

Pervane akımı etkisinde bir kazık etrafına plaka yerleştirilmiş/yerleştirilmemiş durumda oluşacak oyulma üzerindeki etkili boyutsuz parametrelerin bulunması için boyut analizi yöntemi uygulanmıştır.

Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'te ifade edildiği gibi Langhaar Metodu yardımıyla boyutsuz büyüklükler bulunmuştur. Çizelge 2.5'te ise boyutsuz büyüklüklerin üstel değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Etkili büyüklükler

	Büyüklük	Sembol	Birim	Boyut
Akışkanı Karakterize Eden Değişkenler	Akışkanın özgül kütlesi	ρ	kg/m^3	ML^{-3}
	Akışkanın dinamik viskozitesi	μ	Ns/m^2	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$
Akımı Karakterize Eden Değişkenler	Pervane jetinin çıkış hızı	U_0	m/s	LT^{-1}
	Pervanenin frekansı	n	$1/\text{s}$	T^{-1}
	Pervanenin çapı	D_p	m	L
	Su derinliği	h	m	L
	Pervanenin karakteristik uzunluğu	L_m	m	L
Taban Malzemesini Karakterize Eden Değişkenler	Taban malzemesinin boyutu	d_{50}	m	L
	Taban malzemesinin rölatif özgül kütlesi	$\rho'_s = \rho_s / \rho$	kg/m^3	ML^{-3}
Geometriyi Karakterize Eden Değişkenler	Kazık çapı	D	m	L
	Pervanenin kazığa olan yatay uzaklığı	X	m	L
	Pervane ekseninin tabana olan düşey uzaklığı	y_0	m	L
	Plaka genişliği	W	m	L
	Plakanın deniz tabanından yüksekliği	h_c	m	L
Diğer Değişkenler	Yer çekimi ivmesi	g	m/s^2	LT^{-2}

Çizelge 2.4. Değişken Boyutları

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}
	X	S_{maks}	μ	D_p	h	y_o	r_s	D	n	L_m	W	hc	g	d_{50}	r	U_o
M	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
L	1	1	-1	1	1	1	-3	1	0	1	1	1	1	1	-3	1
T	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-2	0	0	-1

$$k_3+k_7+k_{15}=0 \quad (2.7)$$

$$k_1+k_2-k_3+k_4+k_5+k_6-3k_7+k_8+k_{10}+k_{11}+k_{12}+k_{13}+k_{14}-3k_{15}+k_{16}=0 \quad (2.8)$$

$$-k_1-k_9-2k_{13}-k_{16}=0 \quad (2.9)$$

Bu ifadelerden,

$$k_{15}= -(k_1+k_7) \quad (2.10)$$

$$k_{16}= -k_3- k_9- 2k_{13} \quad (2.11)$$

$$k_{14}= -k_1-k_2-k_3-k_4-k_5-k_6-k_8+k_9-k_{10}- k_{11}- k_{12}+ k_{13} \quad (2.12)$$

elde edilir.

Çizelge 2.5. Boyutsuz büyüklüklerin üstel değerleri

	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈	k ₉	k ₁₀	k ₁₁	k ₁₂	k ₁₃	k ₁₄	k ₁₅	k ₁₆
Π ₁	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π ₂	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π ₃	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1
Π ₄	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π ₅	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π ₆	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π ₇	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
Π ₈	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π ₉	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	-1
Π ₁₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0
Π ₁₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0
Π ₁₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0
Π ₁₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	-2

(2.10), (2.11), (2.12) ifadeleri kullanılarak Çizelge 2.5'te görülen boyutsuzların üstel değerleri bulunur.

Çizelge 2.5'te görülen on üç boyutsuz büyüklük şu şekilde ifade edilmiştir:

$$\pi_1 = X d_{50}^{-1} \quad (2.13)$$

$$\pi_2 = S_{maks} d_{50}^{-1} \quad (2.14)$$

$$\pi_3 = \mu d_{50}^{-1} \rho U_0 \quad (2.15)$$

$$\pi_4 = D_p d_{50}^{-1} \quad (2.16)$$

$$\pi_5 = h d_{50}^{-1} \quad (2.17)$$

$$\pi_6 = y_0 d_{50}^{-1} \quad (2.18)$$

$$\pi_7 = \rho'_s \rho^{-1} \quad (2.19)$$

$$\pi_8 = D d_{50}^{-1} \quad (2.20)$$

$$\pi_9 = n d_{50} U_0^{-1} \quad (2.21)$$

$$\pi_{10} = L_m d_{50}^{-1} \quad (2.22)$$

$$\pi_{11} = W d_{50}^{-1} \quad (2.23)$$

$$\pi_{12} = h_c d_{50}^{-1} \quad (2.24)$$

$$\pi_{13} = gd_{50}U_0^{-2} \quad (2.25)$$

Yüksel vd. (2018) [12] yaptıkları çalışmada sadece kazık olması durumunda pervane jeti etkisinde oluşacak rölatif oyulma derinliğini veren boyutsuzları Denklem (2.26)'yı kullanarak hesaplamıştır.

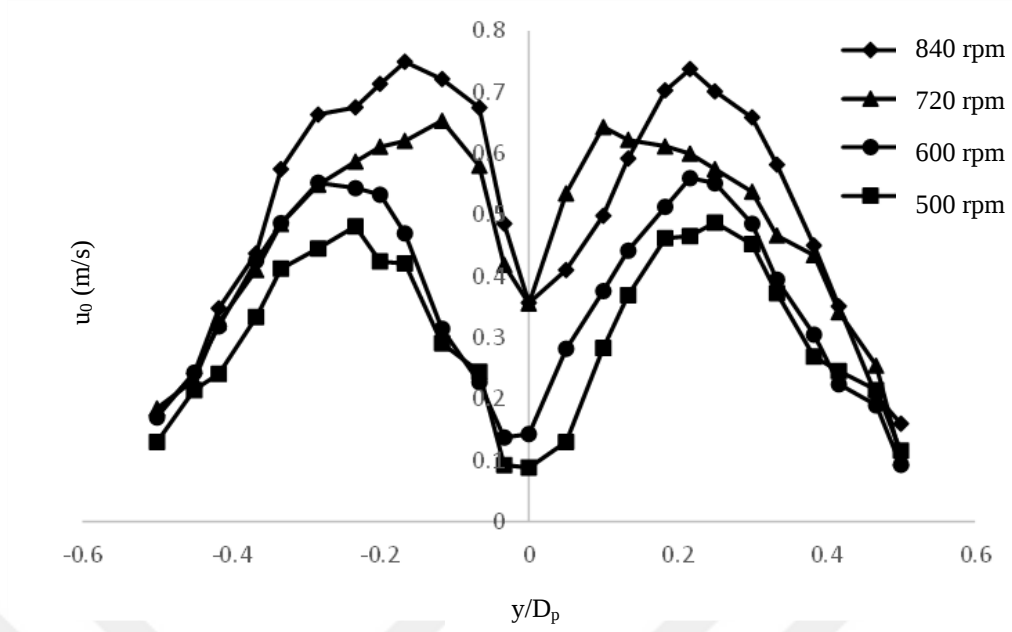
$$\frac{S_{max}}{D_p}, \frac{S_{max}}{D} = \left(\frac{U_0}{\sqrt{gD_{50}\Delta}}, \frac{D_p}{D}, \frac{y_0}{D_p}, \frac{y_0}{D}, \frac{X}{D}, \frac{y_0}{D_{50}} \right) \quad (2.26)$$

Bu çalışmada plakanın geometrik özelliklerini gösteren ilave parametreler ile rölatif hasarı gösteren boyutsuzlar Denklem (2.27) halini almıştır.

$$\frac{S_{max}}{D_p}, \frac{S_{max}}{D} = \left(\frac{U_0}{\sqrt{gD_{50}\Delta}}, \frac{D_p}{D}, \frac{y_0}{D_p}, \frac{y_0}{D}, \frac{X}{D}, \frac{y_0}{D_{50}}, \frac{W}{D}, \frac{h_c}{y_0} \right) \quad (2.27)$$

Burada $\frac{U_0}{\sqrt{gD_{50}\Delta}}$ boyutsuzuna yoğunluk Froude sayısı (Fr_d) ismi verilmektedir.

Deneylerde Froude modeli kullanılarak model oluşturulmuştur. Model ölçeği 1/15'tir. Modelde kullanılan pervanenin çapı 6 cm iken prototipteki karşılığı 90 cm'ye karşılık gelmektedir. Aynı şekilde kullanılan kazık çapı 6 cm ve prototipteki karşılığı ise 90 cm'dir. Deneylerde pervanenin dakikadaki dönüş hızları (rpm) 600, 720 ve 840 olarak seçilmiştir. Pervane çıkış hızları, pervaneden yaklaşık $0,5D_p$ mesafede ADVP ile ölçülerek belirlenmiştir. ADVP'nin çalışma prensibi gereği suyun içinde askıda malzeme bulunması gerekmektedir. Aksi halde hız ölçümleri yapılamamaktadır. Hız ölçümleri yapılırken rijit taban oluşturulmuş ve su içerisine 4 mikron ortalama çapa sahip kaolin kili katılarak ADVP ölçümlerinin korelasyon değerlerinin arttırılması sağlanmaya çalışılmıştır. Şekil 2.12'de elde edilen hız profilleri görülmektedir. Hız profilleri incelendiğinde pervane yakınında çift pikli dağılımın olduğu görülmektedir. Çizelge 2.6 elde edilen hız dağılımlarının maksimum değerleri, yani pervane çıkış hızları verilmektedir.



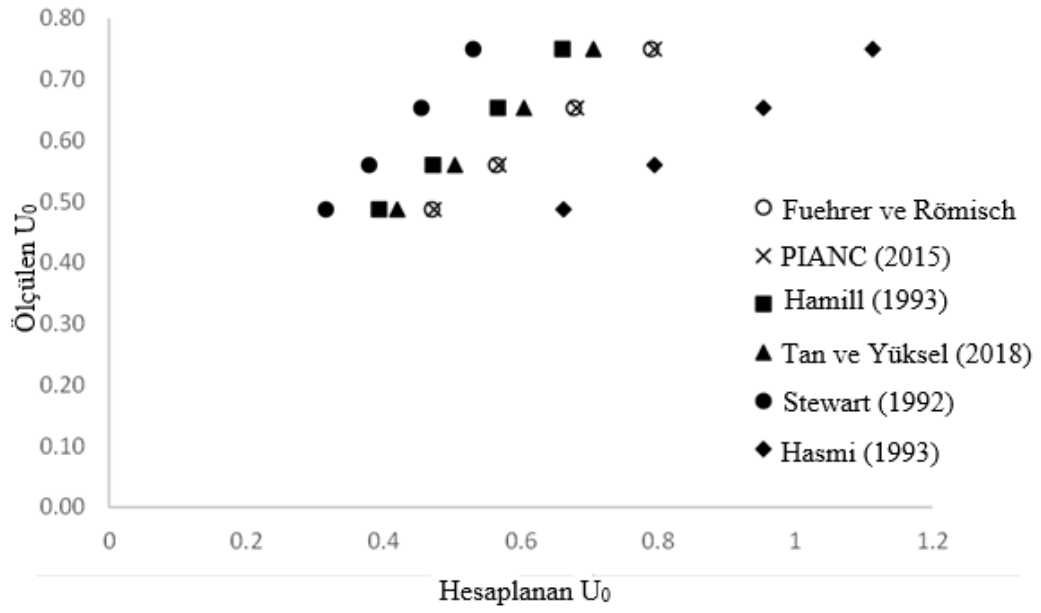
Şekil 2.12. 0,5D_p mesafede elde edilen hız değerleri

Çizelge 2.6, rpm değerlerine karşılık pik hız değerlerini (U_0) göstermektedir.

Çizelge 2.6. Ölçülen U_0 hızları

rpm	840	720	600	500
U_0	0,75	0,65	0,56	0,49

Şekil 2.13'te ölçülen ve hesaplanan pervane çıkış hızları gösterilmektedir. Her bir yöntem için RMS hata değerleri tespit edilmiş ve hata değerlerinin en küçüğü Fuehrer ve Römisch (1977) [38] yöntemi için 0,025 m/s olarak bulunmuştur. Fuehrer ve Römisch (1977) [38], E_0 1,59 olarak önermişlerdir.



Şekil 2.13. Ölçülen ve değişik yöntemlere göre hesaplanan pervane çıkış hızları

Modelde ölçülen pervane jet akımının hızları ile prototipteki değer arasında ise Denklem (2.28) ile ifade edilen bağıntı mevcuttur.

$$U_{0(model)} = U_{0(prototip)} \sqrt{\frac{D_p(model)}{D_p(prototip)}} \quad (2.28)$$

Bu çalışmada kullanılan pervane çapı ve dönüş hızlarının model ve prototipteki değerleri Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Model ve prototip arasındaki ilişki

Model					Prototip				
Frekans (n)	D _p (m)	U ₀ (m/s)	rpm	Kazık Çapı (D), (m)	Frekans (n)	D _p (m)	U ₀ (m/s)	rpm	Kazık Çapı (D), (m)
10	0,06	0,75	600	0,06	2,58	0,90	2,90	154,92	0,90
12	0,06	0,65	720	0,06	3,10	0,90	2,52	185,90	0,90
14	0,06	0,56	840	0,06	3,61	0,90	2,17	216,89	0,90

Verhey (1983) [39] pervane Reynolds sayısı ve akımın Reynolds sayısının sırasıyla 7×10^4 ve 3×10^3 değerlerinden büyük olması durumunda viskoz etkilerin ihmal edilebileceğini ifade etmişlerdir. Pervane Reynolds sayısı ve akımın Reynolds sayısı sırasıyla Denklem (2.29) ve Denklem (2.30) ile hesaplanmaktadır.

$$Re_{pervane} = \frac{nD_p L_m}{\nu} \quad (2.29)$$

$$Re_{akım} = \frac{U_0 D_p}{\nu} \quad (2.30)$$

Burada ν kinematik viskozite, n pervane frekansı, L_m pervanenin karakteristik uzunluğudur. L_m değerinin bulunması için Blaauw ve Van de Kaa (1978) [40] tarafından Denklem (2.31) verilmiştir.

$$L_m = \beta D_p \pi \left(2N \left(1 - \frac{D_h}{D_p} \right) \right)^{-1} \quad (2.31)$$

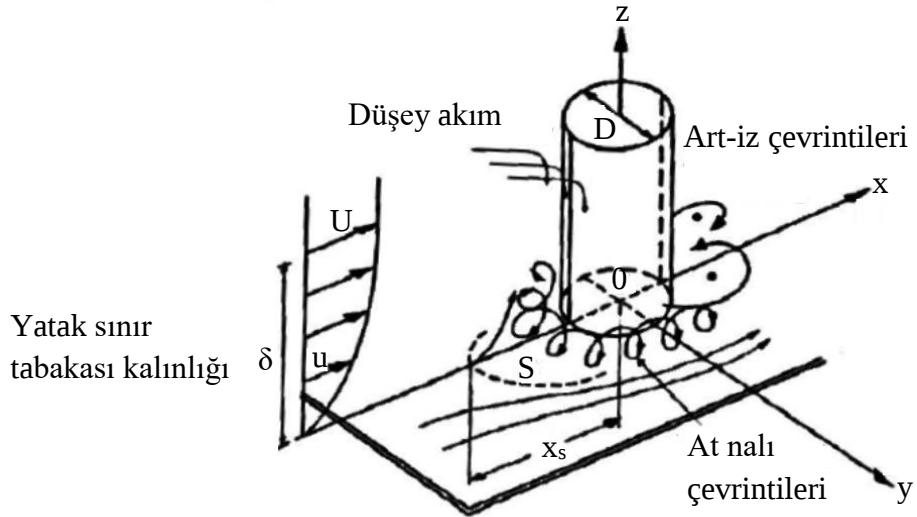
Burada β pervane kanat alanı oranını, N pervane kanat sayısını, D_p pervane çapını, D_h pervane göbek çapını ifade etmektedir.

Bu çalışmada, $Re_{pervane}$ 1×10^4 ve $1,4 \times 10^4$ arasında hesaplanırken $Re_{akım}$ ise $3,3 \times 10^4$ ve $4,4 \times 10^4$ arasında hesaplanmıştır. Bu değer 7×10^4 değerinden düşük olmasında rağmen, Blaauw ve Van de Kaa (1978) [40] ve Verhey (1983) [39] ölçek etkisinin ihmal edilebileceğini belirtmişlerdir.

2.8. Kazık Etrafında Akım

Rijit bir cisim etrafındaki akım akışkanlar dinamiğinin yıllardır en önemli konularından biridir. Akım karakteri cismin şekline bağlı olmaktadır. Herhangi bir şekle sahip cisim için, akım modeli ve ilgili kuvvetler, akışkanın özellikleri, akış yönü ve hızı gibi parametrelere bağlıdır (Farazımajd, 2015) [41].

Silindirik bir düşey kazık ile akım karşılaştığında, akım özellikleri değişecektir. Hızdaki azalmayla kazığın önünde düşey akım ve memba tarafında at nalı vorteksleri oluşmaktadır. Akım çizgileri daralacak ve mansap bölgesinde art-iz çevrintileri oluşacaktır (Sumer ve Fredsoe, 2006) [42]. Şekil 2.14, düşey yüzölöl silindirik bir kazık ile akım etkileşimi sonucunda, kazık etrafında oluşan akımı göstermektedir.



Şekil 2.14. Dairesel silindir etrafında üç boyutlu akış taslağı (Sumer ve Fredsoe, 2006) [42]

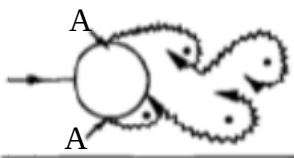
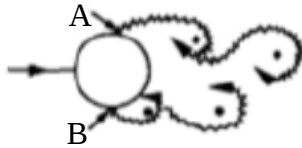
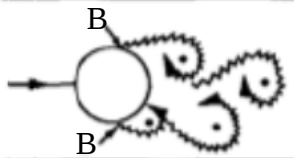
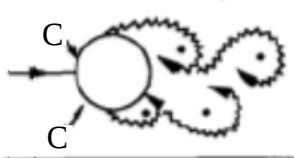
Kazık etrafındaki akım tipi Reynolds sayısı (Re) ile değişmektedir. Reynolds sayısı boyutsuz bir terimdir ve Denklem (2.32) ile ifade edilmektedir.

$$Re_D = \frac{UD}{\nu} \quad (2.32)$$

Burada D kazık çapını, U akım hızını ve ν kinematik viskoziteyi göstermektedir.

Şekil 2.15 farklı Reynolds sayılarına göre kazık etrafında oluşan akım rejimlerini göstermektedir.

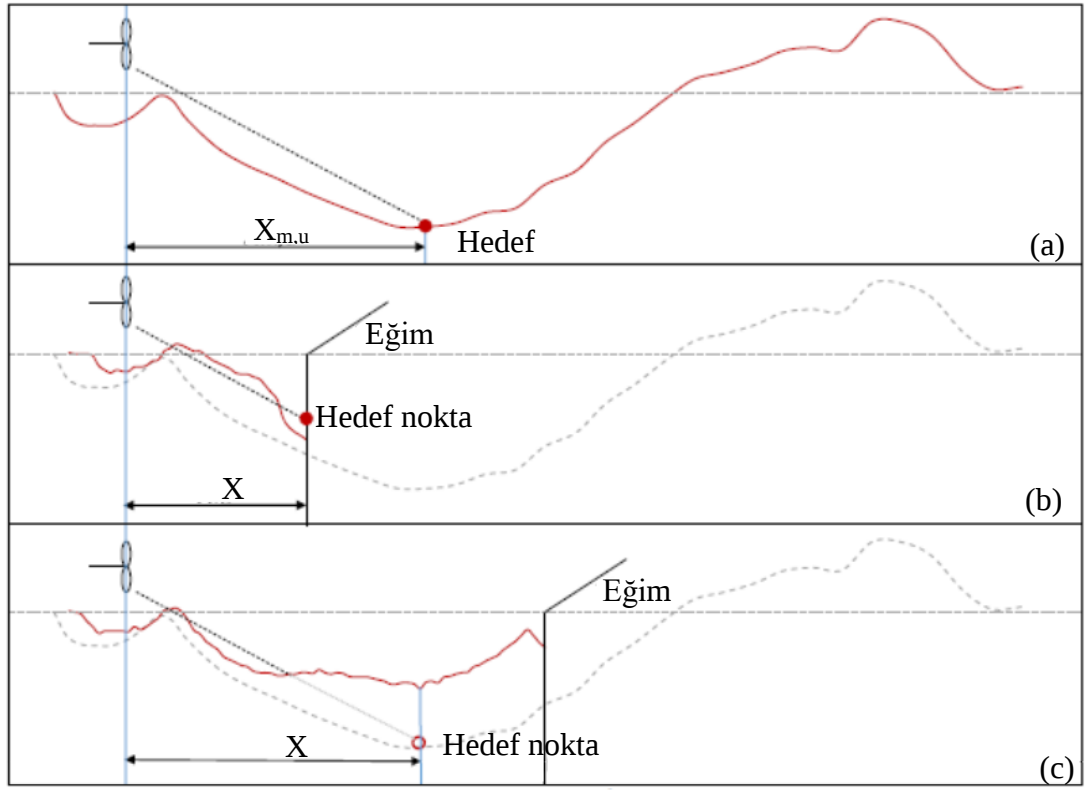


	Ayrılma yok.	$Re < 5$
	Sabit bir çift simetrik vortisit	$5 < Re < 40$
	Laminer vorteks bölgesi	$40 < Re < 200$
	İz bölgesinde türbülansa geçiş	$200 < Re < 300$
	Tamamıyla türbülanslı iz. A: Laminer sınır tabakası ayrılması	$300 < Re < 3 \times 10^5$
	A: Laminer sınır tabakası ayrılması; B: Türbülans sınır tabakası ayrılması fakat sınır tabakası laminar	$3 \times 10^5 < Re < 3,5 \times 10^6$
	B: Türbülans sınır tabakası ayrılması. Sınır tabakası kısmen laminar kısmen türbülanslı	$3,5 \times 10^5 < Re < 1,5 \times 10^6$
	C: Sınır tabakası bir tarafta tamamıyla türbülanslı	$1,5 \times 10^6 < Re < 4 \times 10^6$
	C: Her iki tarafta tamamıyla türbülanslı	$4 \times 10^6 < Re$

Şekil 2.15. Silindirik kazık etrafında akım rejimleri Sumer ve Fredsoe, 2006) [42]

Wei ve Chiew (2017) [11] yaptıkları çalışmada eğimli bir kıyı yapısı ile sınırlandırılmış bir pervane jeti akımının deniz tabanında oluşturduğu oyulma

mekanizmasını deneysel incelemişlerdir. Pervane eksen ve eğimli kıyı yapısının topuğu arasındaki açıklık testler sırasında değiştirilmiş ve denge durumunda ulaşan oyulma çukurunun üç boyutlu profili elde edilmiştir. Wei ve Chiew (2017) [11], pervane jet akımı kaynaklı oyulmayı sağlayan iki mekanizmanın (jet difüzyonu ve yapı etkileşim sonucu oluşan aşağı yönlü akım) etkili oldukları bölgelere göre üç farklı bölge tanımlamışlardır: (1) Yakın topuk açıklığı, (2) Orta topuk açıklığı, (3) Uzak topuk açıklığı. Wei ve Chiew (2017) [11], eğer akım herhangi bir şekilde sınırlandırılmazsa oyulmaya sebep olan mekanizmanın, jet difüzyonu olduğunu ifade etmişlerdir. Eğer akım herhangi bir şekilde sınırlandırılırsa (bir yapı ile karşılaşması durumu), yapıdan kaynaklı olarak akımda bir sapma meydana gelecektir. Bu durumda oluşan oyulma üzerinde, jet difüzyonu ve yapının varlığından kaynaklı akım sapmasının etkisi olacaktır. Yakın topuk açıklığı içinde jet difüzyonunun baskın olduğunu, ortak topuk açıklığında yapı etkisinin daha önemli hale geldiğini ve uzak topuk açıklığında ise oyulma üzerinde sadece jet difüzyonunun etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Şekil 2.16, yakın topuk açıklığı ve orta topuk açıklığı bölgelerini göstermektedir.



Şekil 2.16. Pervane jeti hedef noktasının şematik gösterimi a) sınırlandırılmamış durum; b) yakın topuk açıklığı ($X_m = X_t \leq X_{m,u}$); c) orta topuk açıklığı ($X_t > X_{m,u}$) *(X_m : sınırlandırılmış akımda denge durumunda oluşan maksimum oyulmanın pervaneye uzaklığı, X_t : topuk açıklığı, $X_{m,u}$: sınırlandırılmamış akımda denge durumunda oluşan maksimum oyulmanın pervaneye uzaklığı) (Wei ve Chiew (2017)) [11]

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Deneysel çalışma üç başlık altında gerçekleştirilmiştir.

1. Pervane jetinin herhangi bir yapı ile karşılaşmadığı sınırlandırılmamış durumda deniz tabanında oluşan oyulma
2. Pervane jetinin sadece kazık ile karşılaşması ile oluşan sınırlandırılmış durumda, kazık etrafında oluşan oyulma
3. Kazık etrafındaki oyulma miktarını azaltmaya yönelik kazığın etrafına düz dairesel plaka elemanının yerleştirilmesi sonucunda oluşan oyulma

Düz dairesel plakanın kullanıldığı deneyler farklı koşullar için gerçekleştirilmiştir.

3.a. Düz dairesel plakanın toplam genişliğinin (W), kazık çapına oranı (D) olarak ifade edilirse; $W/D=3, 2$ ve $1,5$ olarak üç farklı tip düz dairesel plaka seçilmiştir.

3.b. Düz dairesel plakanın deniz tabanına göre iki farklı konumdaki etkisi incelenmiştir. Düz dairesel plakanın deniz tabanından yüksekliği h_c , pervane ekseninin deniz tabanından yüksekliği ise y_0 ile gösterildiğinde; pervane konumları $h_c/y_0=0$ ve $0,5$ olarak seçilmiştir.

Deneylerde pervane ekseninin deniz tabanından yüksekliği y_0 , pervane çapı D_p , su yüksekliği h , dane çapı d_{50} sabit tutulmuştur. Çizelge 3.1’de deney koşulları gösterilmektedir.

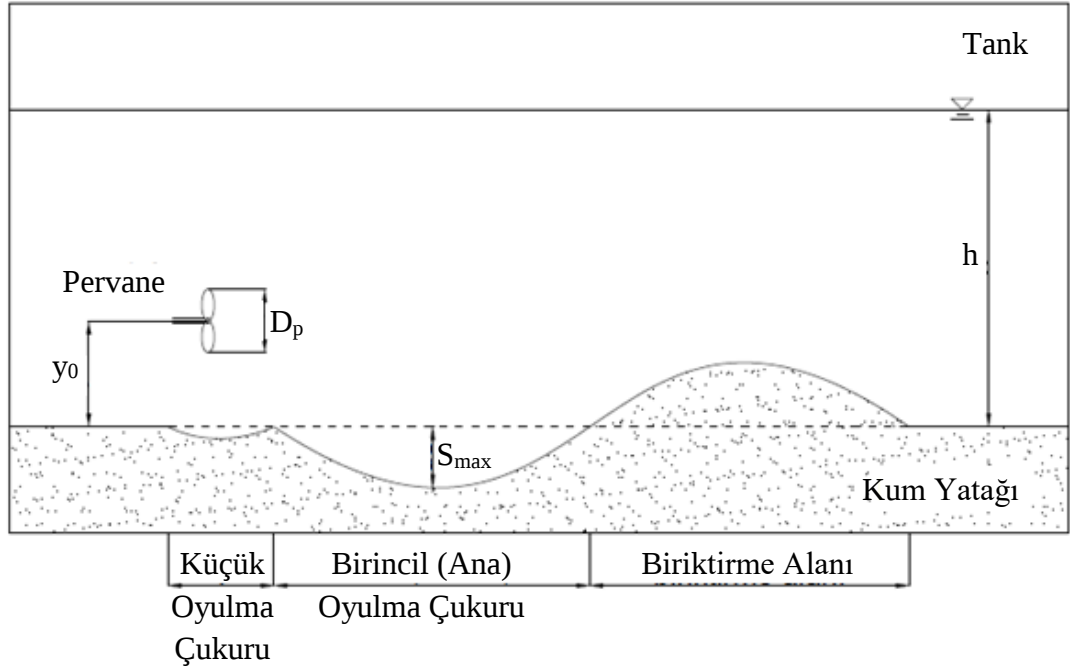
Çizelge 3.1. Deney koşullarının özeti

Deneyler	Kazık Çapı	Medyan Dane Boyutu	Ofset Yüksekliği	Pervane Çapı	Pervane Hızı	Akış Hızı	Kazık Mesafesi	Düz Dairesel Plaka Yüksekliği	Düz Dairesel Plaka Genişliği	Yoğunluk Froude Sayısı
	D, cm	d ₅₀ , mm	y ₀ , cm	D _p , cm	rpm	(m/s)	X, cm	h _c , cm	W, cm	Fr _d
Kazıksız Durum	-	0,24	10	6	600/720/840	0,56/0,65/0,74	-	-	-	8,98-11,71
Sadece Kazık	6	0,24	10	6	600/720/840	0,56/0,65/0,74	30	-	-	8,98-11,71
Düz Dairesel Plaka Bulunan Durum	6	0,24	10	6	600/720/840	0,56/0,65/0,74	30	5	12/18	8,98-11,71
	6	0,24	10	6	600/720/840	0,65/,74	30	0	12/18	10,43-11,71
	6	0,24	10	6	600/720/840	0,74	30	5/0	9	10,43-11,71

3.1. Sınırlandırılmamış Durum Deneyleri

Sınırlandırılmamış durum deneylerinde her pervane 600 rpm, 720 rpm ve 840 rpm dönüş hızlarında çalıştırılmıştır ve hızın oyulma profili üzerindeki etkileri incelenmiştir. Pervane jet akımının hiçbir etkiye maruz kalmadan gelişebildiği ve engellenmediği koşullar sınırlandırılmamış durum olarak ifade edilmiştir.

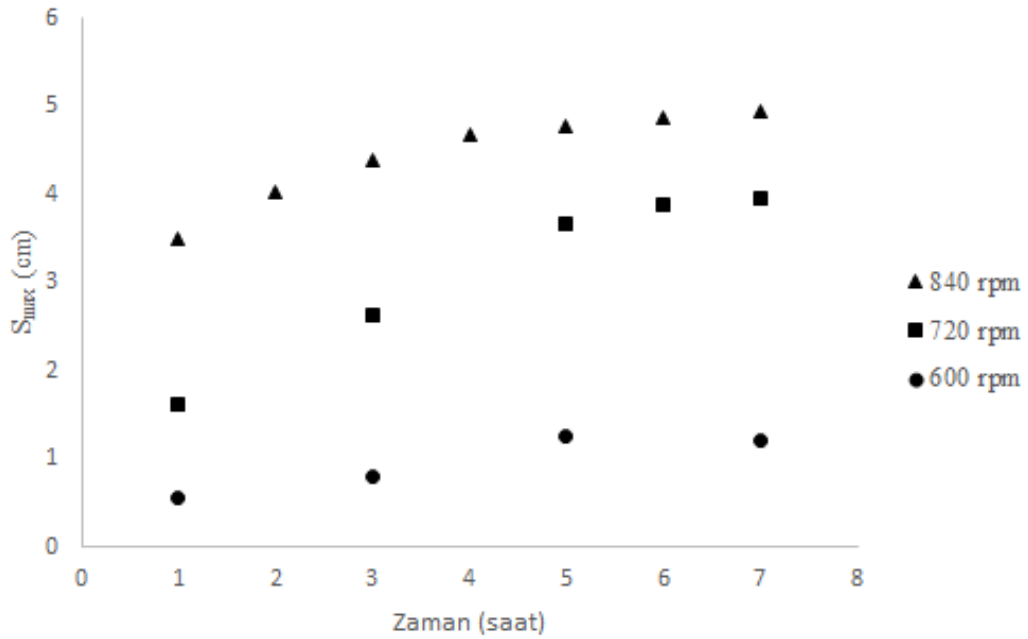
Yapılan deneyler sonucunda gözlemlenmesi beklenen denge oyulma çukuru profili Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Denge durumunda bir oyulma profilinde; küçük oyulma çukuru, birincil (ana) oyulma çukuru ve biriktirme alanı bulunur. Ana oyulma çukuru ve biriktirme alanı her denge durumundaki oyulma profilinde gözlemlenir ancak küçük oyulma çukuru; pervane ve deniz tabanı arasındaki mesafe (y_0), pervane çapı (D_p), dane boyutu (d_{50}) ve pervane çalışma hızına (rpm) bağlı olarak gözlemlenmeyebilir (Tan ve Yüksel, 2018) [4].



Şekil 3.1. Sınırlandırılmamış durumda karakteristik denge oyulma profili (Hong vd., 2013) [1]

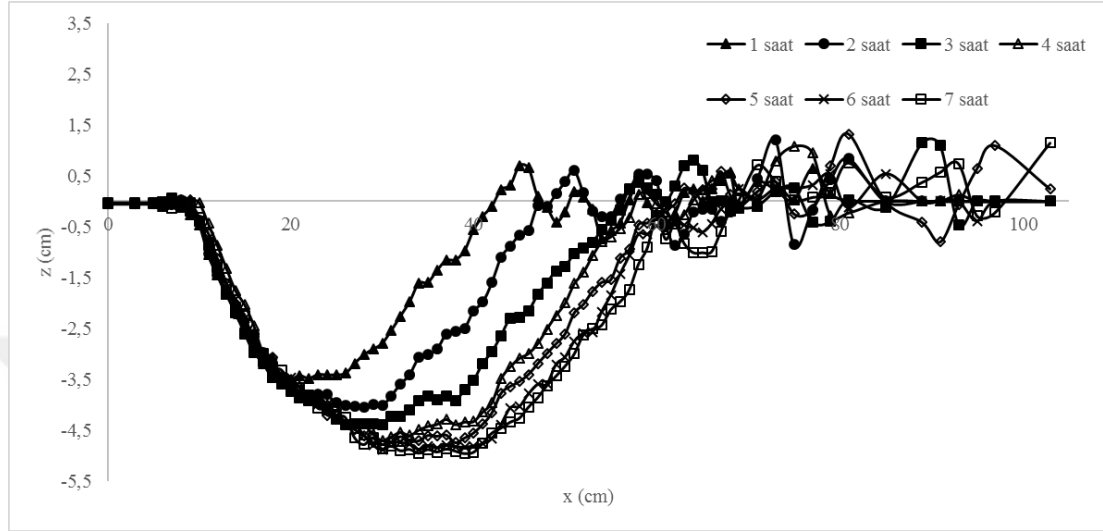
Hong vd. (2013) [1] çalışmalarında tipik bir oyulma çukurunun gelişimini 4 aşamaya ayırmıştır: ilk aşama, gelişme aşaması, stabilizasyon aşaması ve asimptotik aşama. Çalışmalarında oyulma çukurunun 64 saat sonra asimptotik aşamaya ulaşarak denge durumuna ulaştığını ifade etmişlerdir. Tan ve Yüksel (2018) [4] oyulma çukurunu deneysel olarak incelerken oyulma çukurunun geometrik parametreleri üzerine odaklanmıştır. Çalışmalarında oyulma oluşumunun denge süresini 160 dakika olarak belirlemişlerdir.

Yapılan çalışmada denge şartının, ardışık zaman aralıklarında belirlenen maksimum oyulma derinlikleri arasındaki farkın ± 1 mm olduğu anda oluştuğu kabul edilmiştir. Şekil 3.2’de maksimum oyulmaların zamansal değişimleri 600 rpm, 720 rpm ve 840 rpm için verilmiştir. Şekil 3.2’den de görüldüğü gibi 7 saat sonunda oyulma derinliğindeki değişim değeri yaklaşık olarak yatay bir seyir almış ve denge şartları oluşmuştur.



Şekil 3.2. Sınırlandırılmamış durumda maksimum oyulma derinliklerinin zamansal gelişimi

Şekil 3.3'te 840 rpm dönüş hızı için oyulma profilinin gelişimi zamansal olarak incelenmiştir. Oyulma çukurunun memba tarafındaki değişimin çok küçük olduğu ve neredeyse zamansal olarak sabitlendiği görülürken, oyulma çukurunun mansabındaki değişimin zamanla azalarak 7 saat sonunda sabitlendiği görülmektedir.



Şekil 3.3. Sınırlandırılmamış durumda oyulma profilinin zamansal gelişimi (840 rpm)

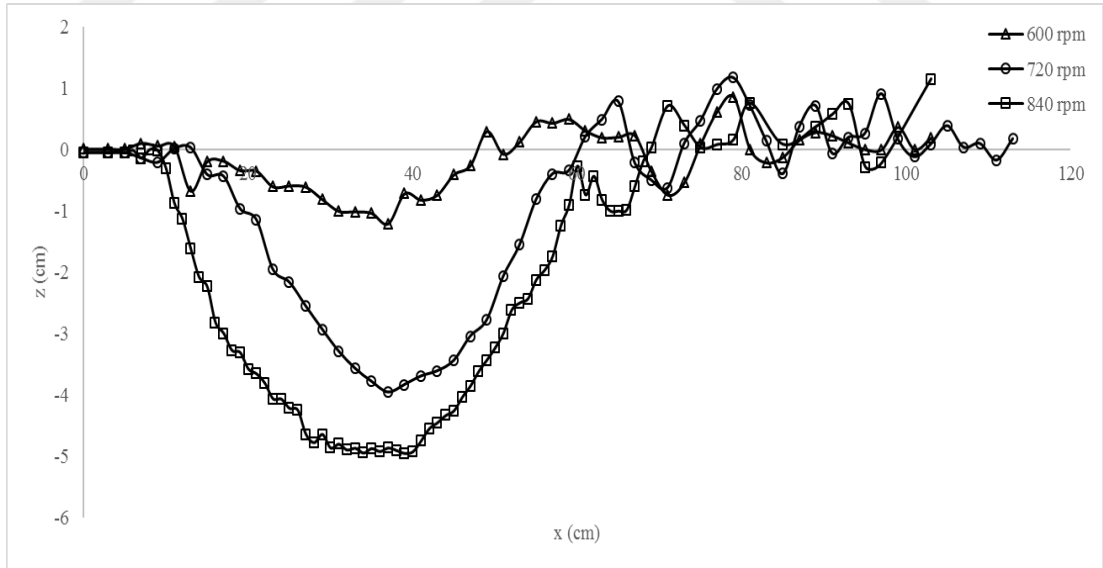
Oyulma profilinin zamansal gelişimi incelendiğinde deneylerin ilk saatinde oluşan oyulma derinliği oranları şu şekildedir: 840 rpm için %70, 720 rpm için %41, 600 rpm için %45. Pervane jetinin ilk üç saatte oluşturduğu oyulma oranları ise 840 rpm için %88, 720 ve 600 rpm için ise %66'dır. Denge oyulma süresi göz önüne alındığında, deneylerin ilk saatlerinde gerçekleşen oyulma derinliği değişimi daha fazladır.

Sınırlandırılmamış durumda pervane 840 rpm hızda çalıştırıldığında 7 saat sonra oluşan denge oyulma profili Şekil 3.4'te gösterildiği gibidir.



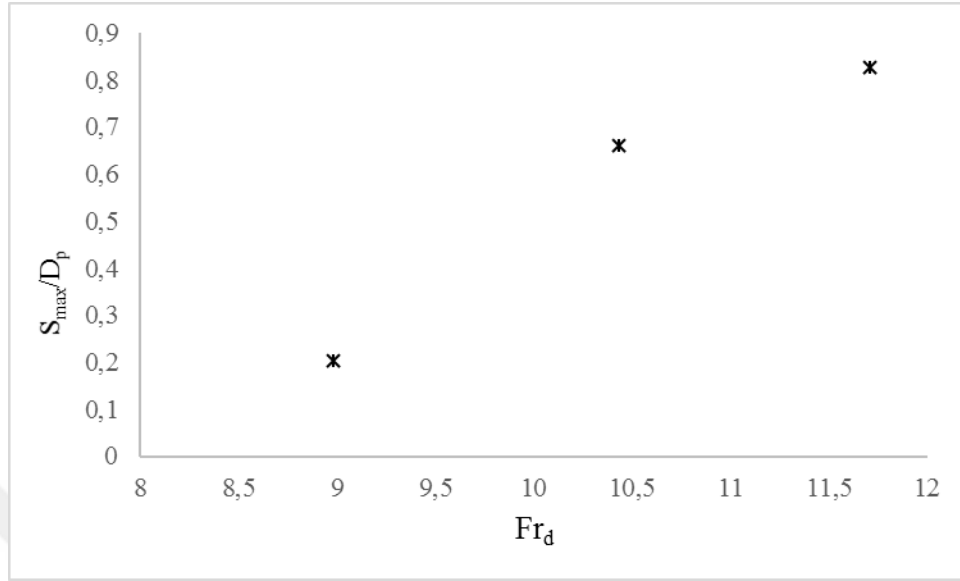
Şekil 3.4. Sınırlandırılmamış durumda denge oyulma profili

Şekil 3.5'te sınırlandırılmamış deney koşullarında 600, 720 ve 840 rpm dönüş hızları için denge durumunda oluşan taban profilleri gösterilmektedir. Pervane dönüş hızının artmasıyla, tabanda oluşan maksimum oyulma miktarı (S_{max}) artmaktadır.



Şekil 3.5. Sınırlandırılmamış durumda oluşan denge oyulma profilleri

Deney sonuçları incelenirken Fr_d ve S_{max}/D_p arasındaki ilişki de göz önüne alınmıştır. Fr_d sayısı arttığında S_{max}/D_p oranının da arttığı gözlemlenmiştir. Burada Fr_d yoğunluk Froude sayısı, S_{max} maksimum oyulma derinliği ve D_p pervane çapıdır (Şekil 3.6).

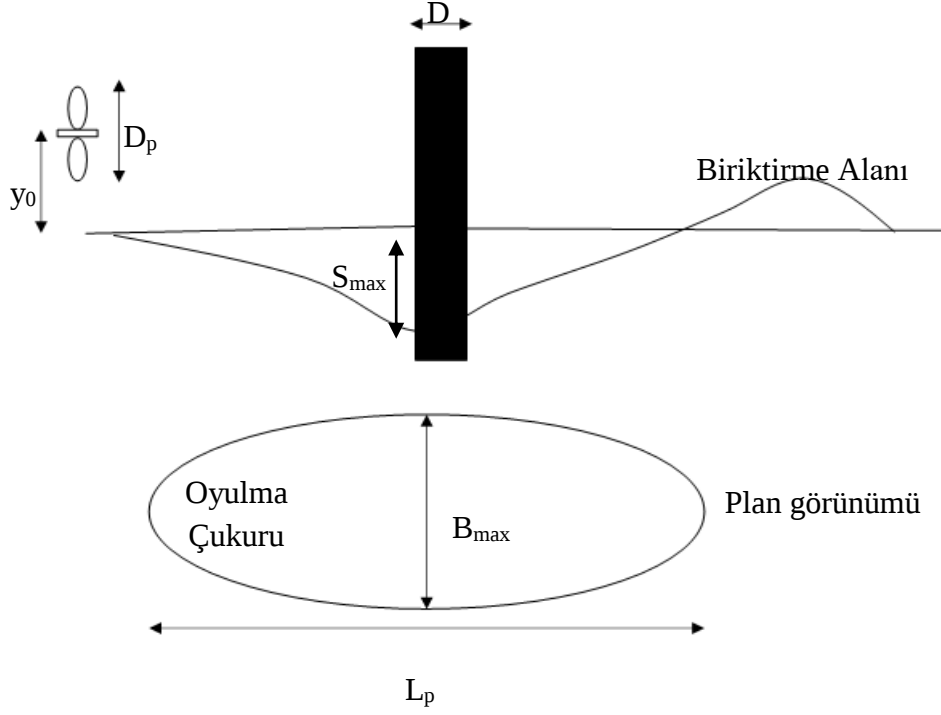


Şekil 3.6. Fr_d ve S_{max}/D_p ’nin değişimi

3.2. Sınırlandırılmış Durum Deneyleri

3.2.1. Sadece Kazık Bulunan Durum

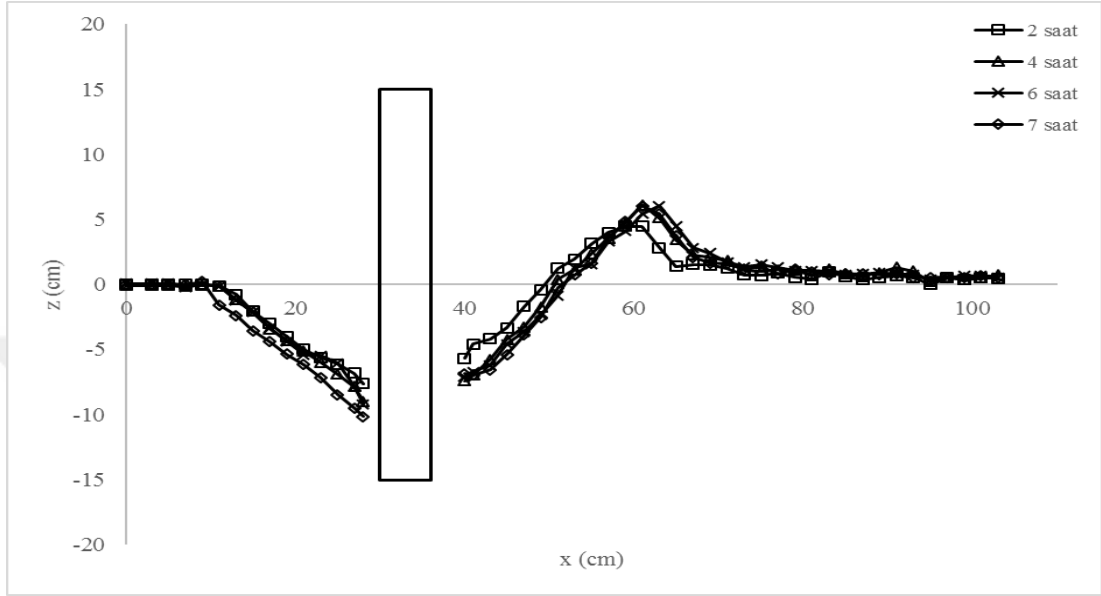
Sınırlandırılmış durum deneylerinde ilk olarak sadece kazıklı durum deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada sınırlandırılmış durumun modellenmesi için pervane jeti bir kazık tarafından sınırlandırılmıştır. Pervane ekseninde olmasına dikkat edilerek yerleştirilen kazık, pervaneden $5D_p$ (30 cm) uzaklıkta konumlandırılmıştır. Kazığın pervane su jeti ile karşılaşması durumunda oluşan oyulma profilleri Şekil 3.7’de gösterilmiştir. L_p oyulma çukurunun pervane eksenine boyunca oluşan maksimum uzunluğunu, B_{max} ise kazık eksenine dik yanal doğrultuda oluşan oyulma çukurunun maksimum genişliğini ifade etmektedir.



Şekil 3.7. Pervane jetinin bir kazık tarafından sınırlandırılmasıyla oluşan oyulma profilinin şematik görünümü

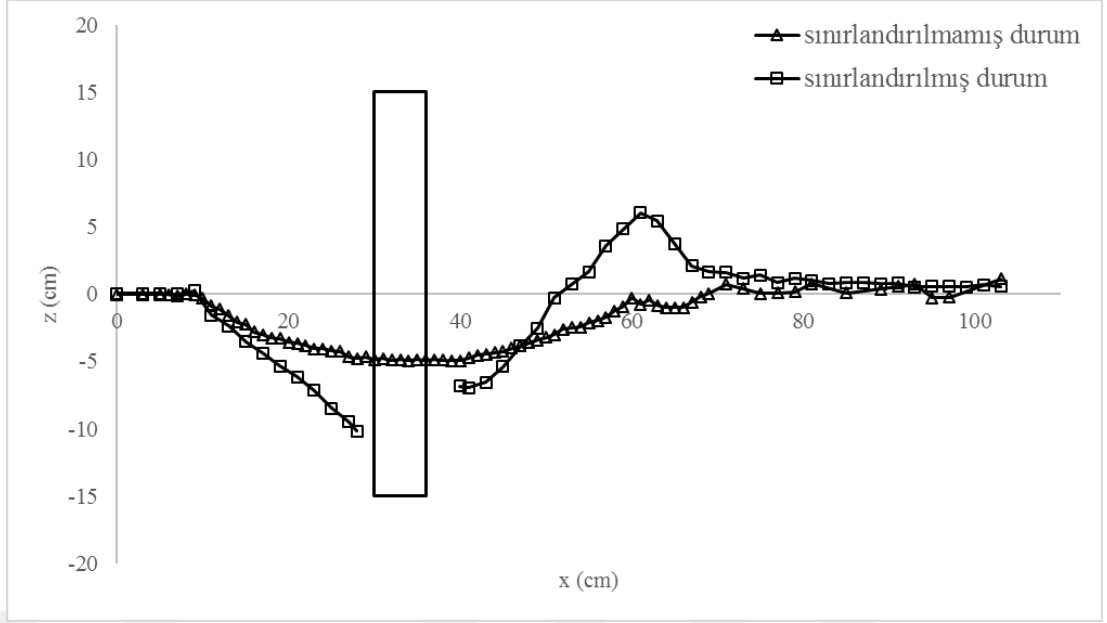
Yapılan deneylerin sonucunda sınırlandırılmış durumda da sınırlandırılmamış duruma benzer şekilde pervane dönüş hızının artmasıyla oyulma çukurunun maksimum derinliği (S_{max}) artmıştır (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9)

alıştırıldığında oluşan değişim, ilk iki saatte olan değişime göre daha yavaştır. Chiew vd. (1996) [9] dikey bir kazık etrafında oluşan oyulma çukurunu inceledikleri çalışmalarında; oyulma derinliğinin ilk 1 saat içerisinde denge durumundaki maksimum oyulma derinliğinin %80'ine ulaştığını ifade etmiştir.



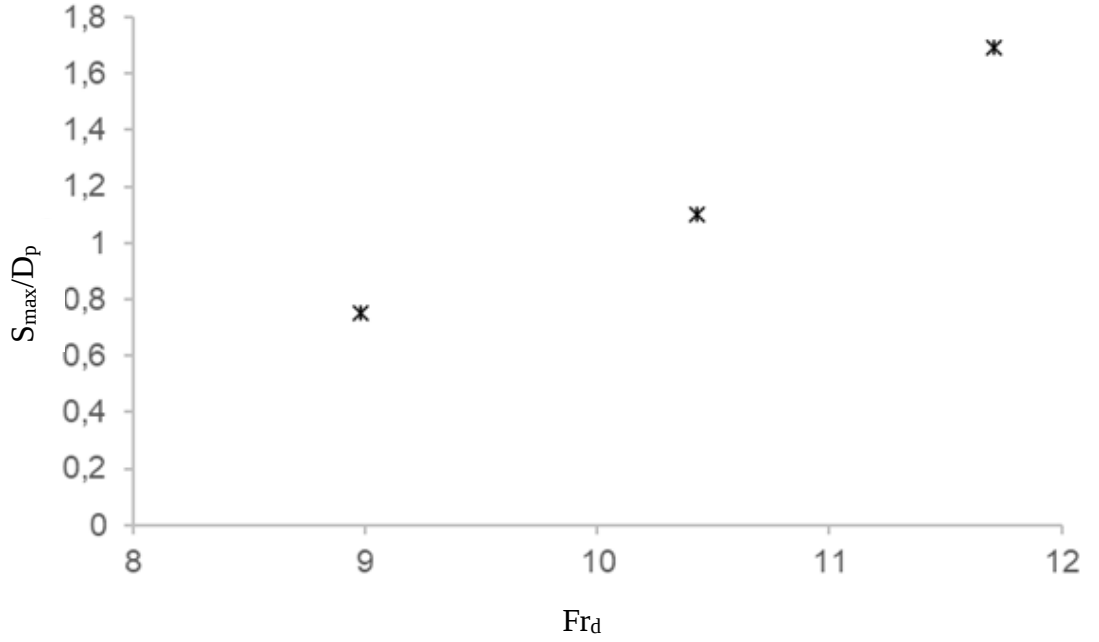
şekil 3.10. Kazık bulunan durumda oyulma çukurunun zamansal gelişimi (840 rpm)

Deney kapsamında uygulanan her pervane hızı için görülen, sınırlandırılmamış durum ve kazıklı durum denge oyulma profilleri göz önüne alındığında, kazıklı durumda oluşan oyulma çukuru derinliklerinin sınırlandırılmamış duruma kıyasla daha fazla olduğu grlmştir (şekil 3.11). Sınırlandırılmış durumda oluşan birikme alanı yüksekliği de sınırlandırılmamış duruma göre daha fazla yüksekliğe sahiptir.



Şekil 3.11. Sınırlandırılmış durum ve sınırlandırılmamış durum için denge oyulma profilleri (840 rpm)

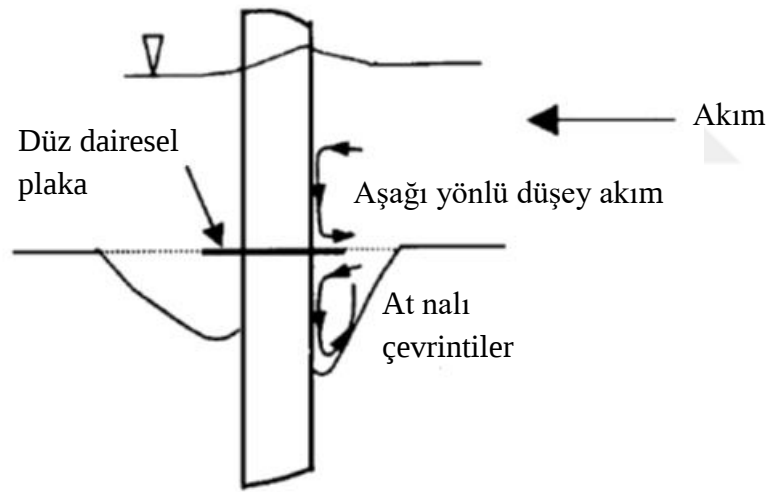
Şekil 3.12 Fr_d sayısı ile S_{max}/D_p arasındaki bağıntıyı göstermektedir. Fr_d sayısının artmasıyla S_{max}/D_p oranının da arttığı görülmüştür.



Şekil 3.12. Fr_d sayısı ile S_{max}/D_p arasındaki ilişki

3.2.2. Kazık Üzerine Düz Dairesel Plaka Yerleştirilen Deneyler

Kazık üzerinde farklı yüksekliklere düz dairesel plakalar yerleştirilerek bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Zarrati vd. (2004) [10], deniz tabanı üzerinde herhangi bir seviyede kazık üzerindeki bir düz dairesel plakanın, akışı üstünde ve altında olarak iki bölgeye ayırdığını belirtmişlerdir. Düz dairesel plakanın üzerindeki bölgede, kazık ile düz dairesel plaka etkileşimi sonucunda ortaya çıkan aşağı yönlü düşey akım önlenmektedir. Düz dairesel plakanın altındaki bölgede, aşağı yönlü düşey akımın etkisi ve dolayısıyla at nalı vorteksleri azalmaktadır. Ayrıca, Zarrati vd. (2004) [10] düz dairesel plakaların bir köprü ayağı çevresinde kararlı-üniform akım koşullarında oluşan oyulma üzerindeki etkisinin, düz dairesel plakanın konumuna ve düz dairesel plaka genişliğine bağlı olduğunu da ifade etmişlerdir. Şekil 3.13, kazık üzerine düz dairesel bir plaka yerleştirilmesi durumunda, kazığa yaklaşan akım modelini şematik olarak göstermektedir.



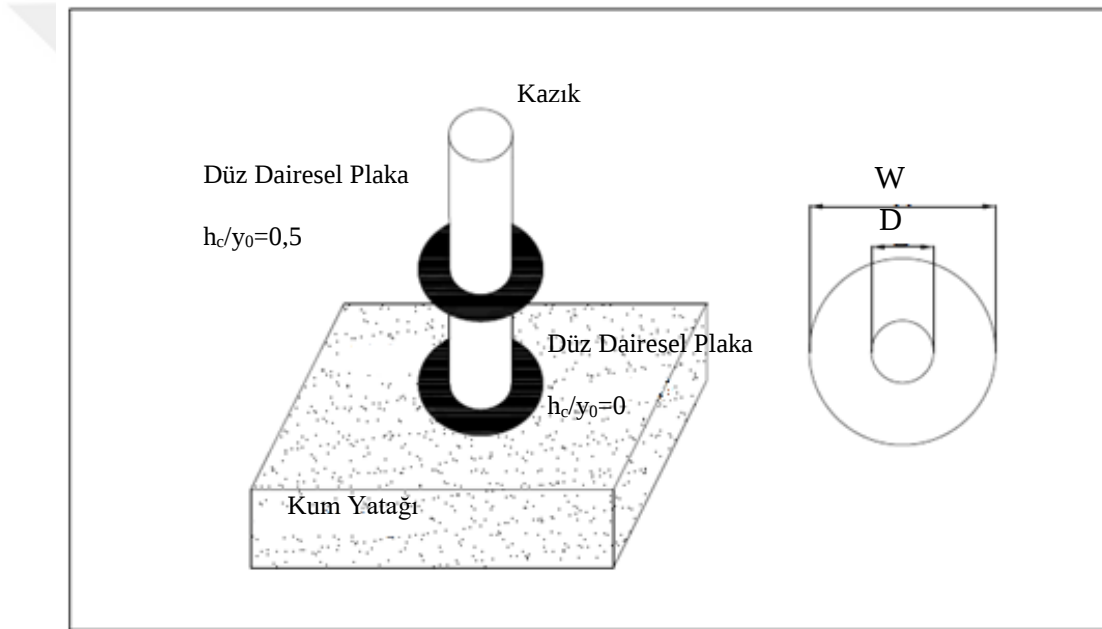
Şekil 3.13. Bir düz dairesel plaka yerleştirilmiş kazığın etrafındaki akım ve oyulma modeli

Garg vd. (2005) [14] köprü ayaklarında oyulmayı azaltmak için yaptıkları çalışmada kazığa yerleştirilen, kazık çapının 3 katı genişliğinde veya daha geniş bir düz dairesel plakanın yerel oyulmayı azalttığını ifade etmiştir. Yapılan çalışmada da kazığa yerleştirilen dairesel bir plakanın kazık yüzeyinde oluşacak aşağı yönlü düşey akımı engelleyeceği düşünülerek, farklı genişliklerdeki düz dairesel plakalar tabandan 5 cm

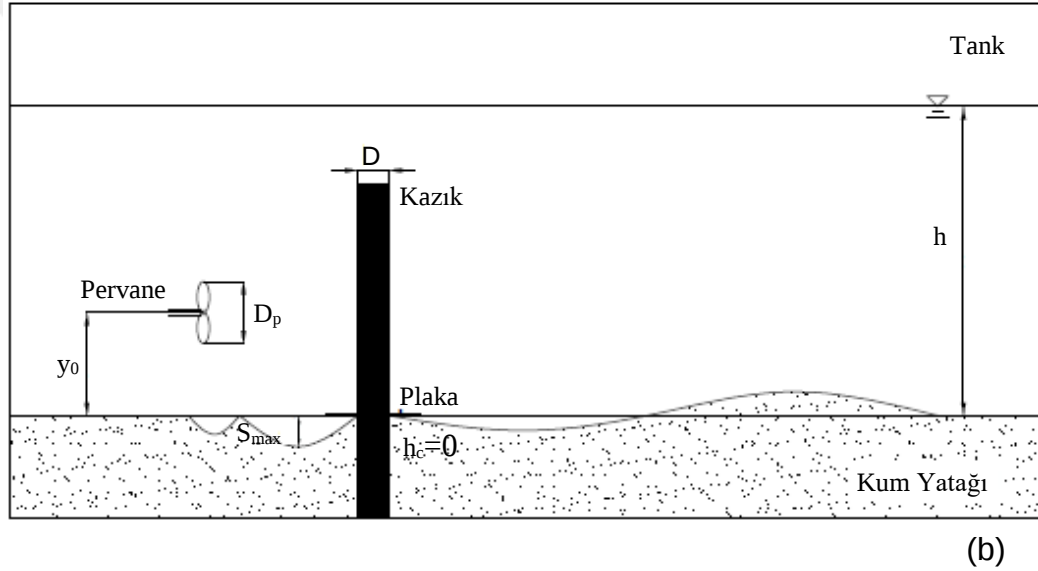
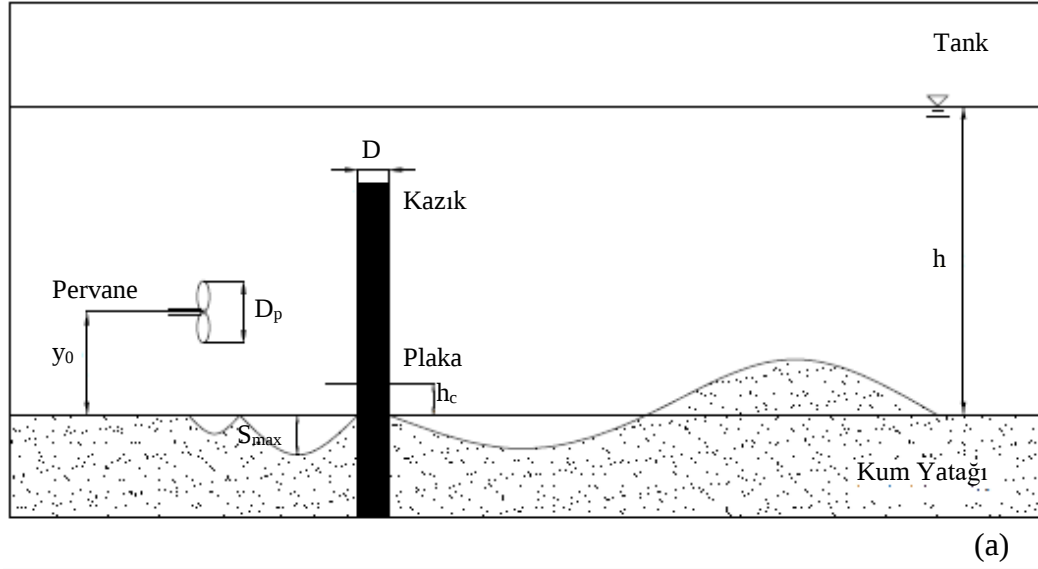
yüksekliğe ($h_c/y_0=0,5$) ve deniz tabanı seviyesine ($h_c/y_0=0$) yerleştirilerek oluşan oyulma profilleri incelenmiştir. Kullanılan düz dairesel plakaların genişlikleri 18 cm, 12 cm ve 9 cm'dir.

Kullanılan düz dairesel plaka genişliklerinin kazık çapına oranı göz önüne alındığında 18 cm, 12 cm ve 9 cm genişlikli düz dairesel plakalar ve 6 cm çapa sahip bir kazık için W/D oranı sırasıyla 3, 2 ve 1,5 hesaplanır.

Düz dairesel plakaların kazığa yerleştirilmesi ile oluşacak oyulma profilleri Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.14. Düz dairesel plakaların kazık üzerindeki yerleşimleri

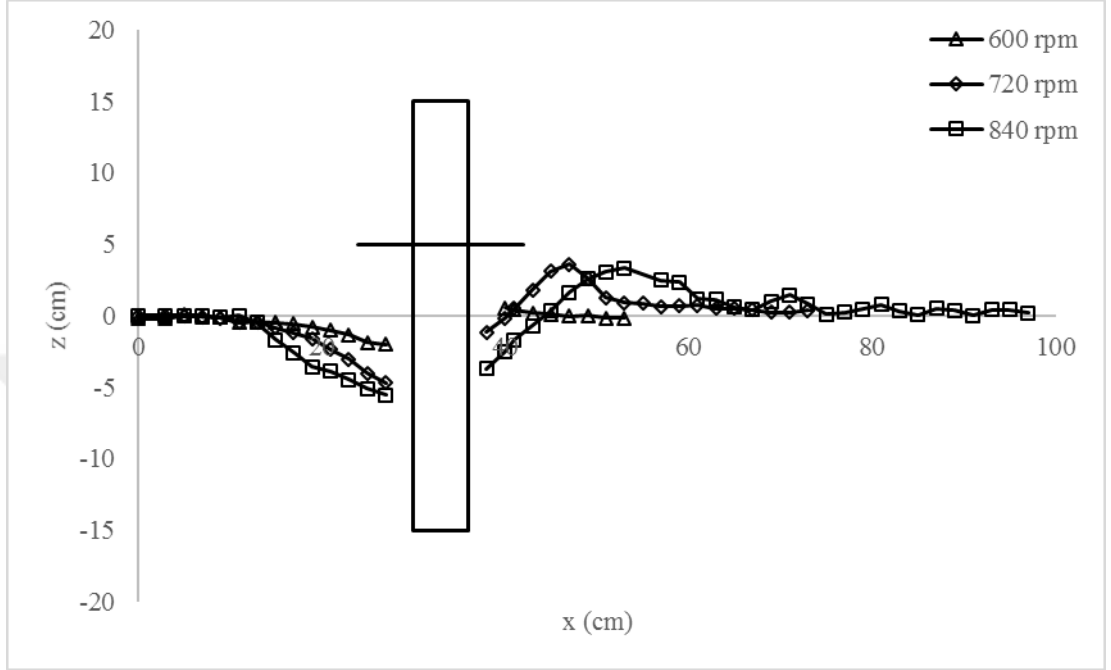


Şekil 3.15. Kazıklara yerleştirilmiş düz dairesel plakalar (a) Düz dairesel plaka yüksekliği 5 cm, (b) Düz dairesel plaka taban seviyesinde

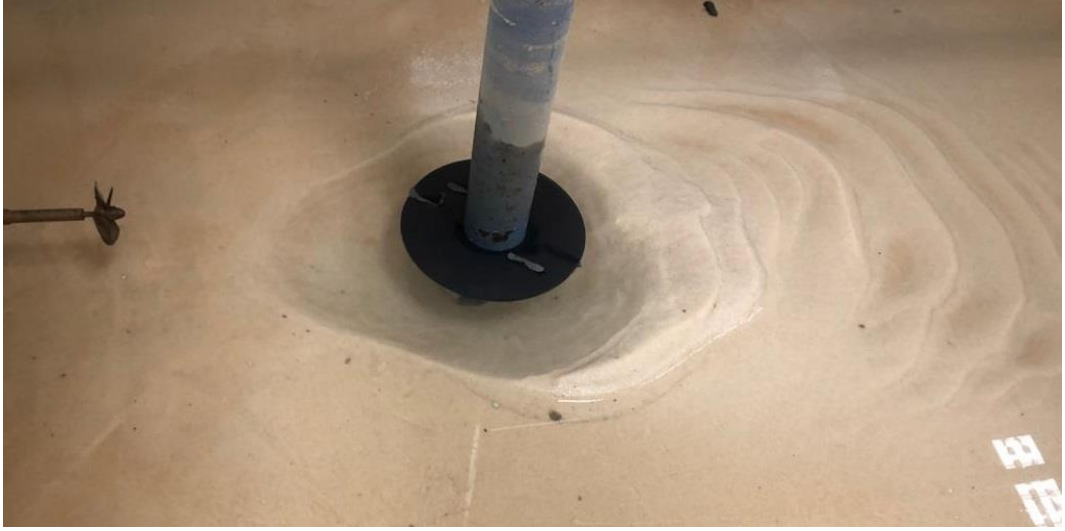
Kullanılan düz dairesel plakaların genişliğinin kazık çapına oranı 3 olduğunda kazık önündeki maksimum oyulma derinlikleri, sadece kazık bulunan duruma göre 600 rpm için %55, 720 rpm için %28, 840 rpm için %45 azalmıştır. Kazık arkasında oluşan oyulma derinliği 720 ve 840 rpm için azalma göstermiştir, 600 rpm için ise kazık arkasında oyulma çukuru oluşumu gözlemlenmemiştir. W/D oranı 3 olan düz dairesel plakanın 5 cm yüksekliğe ($h_c/y_0=0,5$) yerleştirilmesiyle oluşan oyulma

profili Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Oyulma çukurunun üzerindeki düz dairesel plaka verimi yüzde olarak Denklem (3.1) kullanılmasıyla hesaplanmıştır.

$$r = \frac{S_{max} - S_{max_{plaka}}}{S_{max}} \times 100 (\%) \quad (3.1)$$

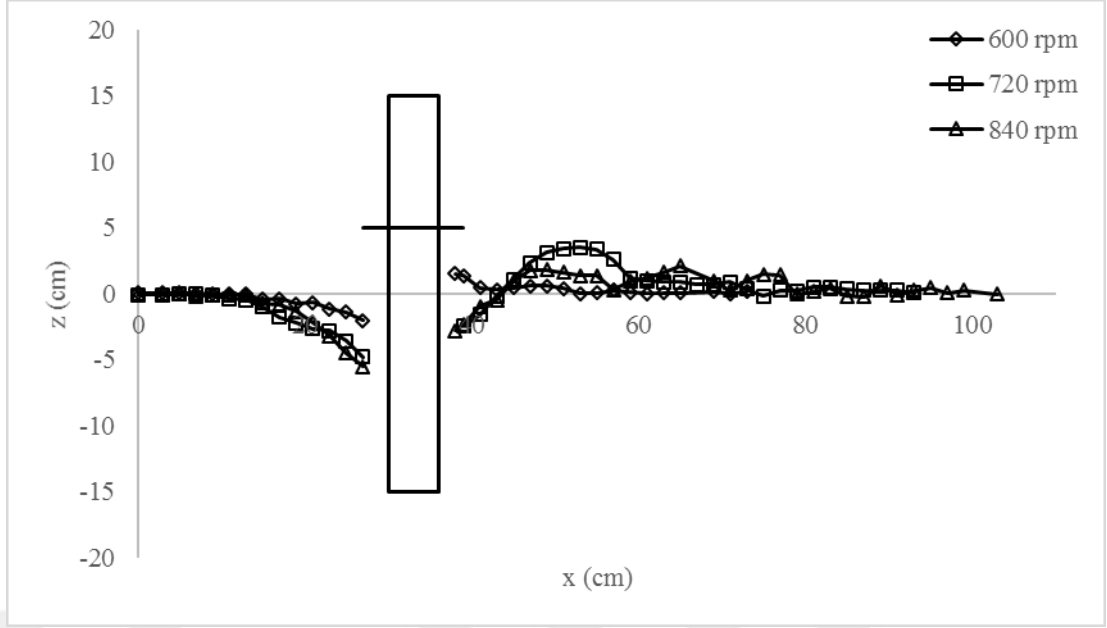


Şekil 3.16. W/D oranı 3 olan düz dairesel plakanın 5 cm yüksekliğe ($h_c/y_0=0,5$) yerleştirilmesiyle oluşan oyulma profili



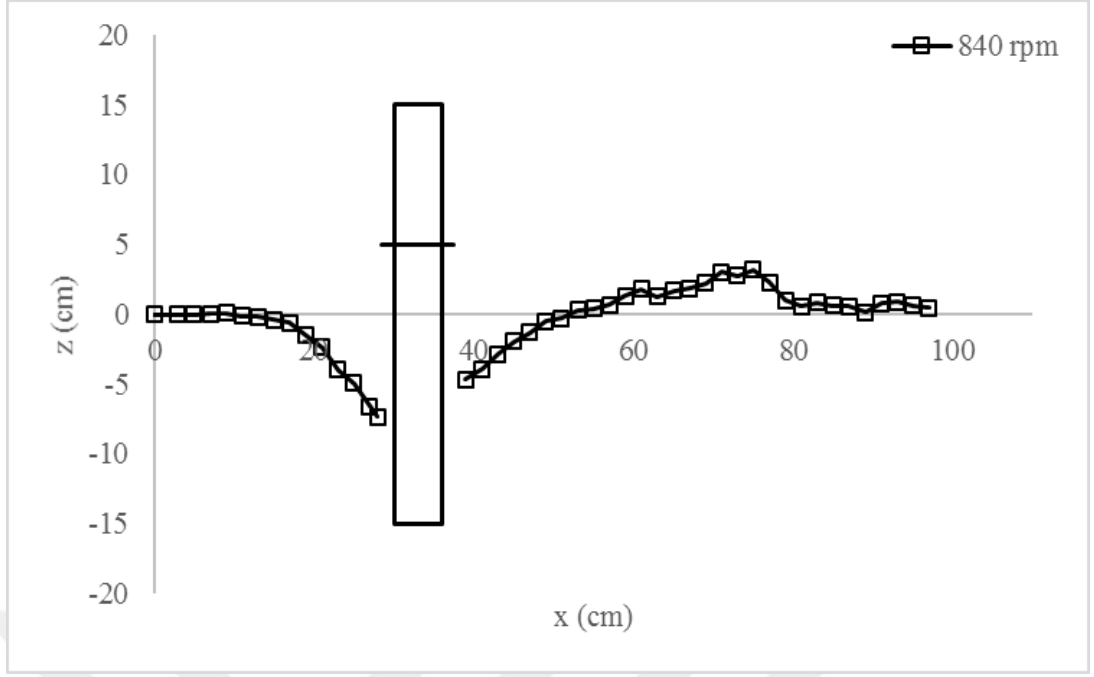
Şekil 3.17. W/D oranı 3 olan düz dairesel plakanın 5 cm yüksekliğe ($h_c/y_0=0,5$) yerleştirilmesiyle oluşan denge oyulma profili (840 rpm)

Kazık üzerine, W/D oranı 2 olan bir düz dairesel plaka yerleştirildiğinde, sadece kazık bulunan duruma göre kazık önündeki oyulma 600 rpm için %55, 720 rpm için %27, 840 rpm için %45 azalmıştır. Kazık arkasındaki derinlikler 720 rpm ve 840 rpm için azalırken, 600 rpm değerinde düz dairesel plakaya yaklaşan ufak bir biriktirme alanı gözlemlenmiştir. W/D oranı 2 olan düz dairesel plakanın kazık üzerinde 5 cm yüksekliğe ($h_c/y_0=0,5$) yerleştirilmesiyle oluşan oyulma çukuru profili Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Kazık arkasında oluşan büyük yığılma bölgesi, sadece kazık bulunan duruma göre kazığa daha yakın bir konumdadır ancak yüksekliği daha azdır.



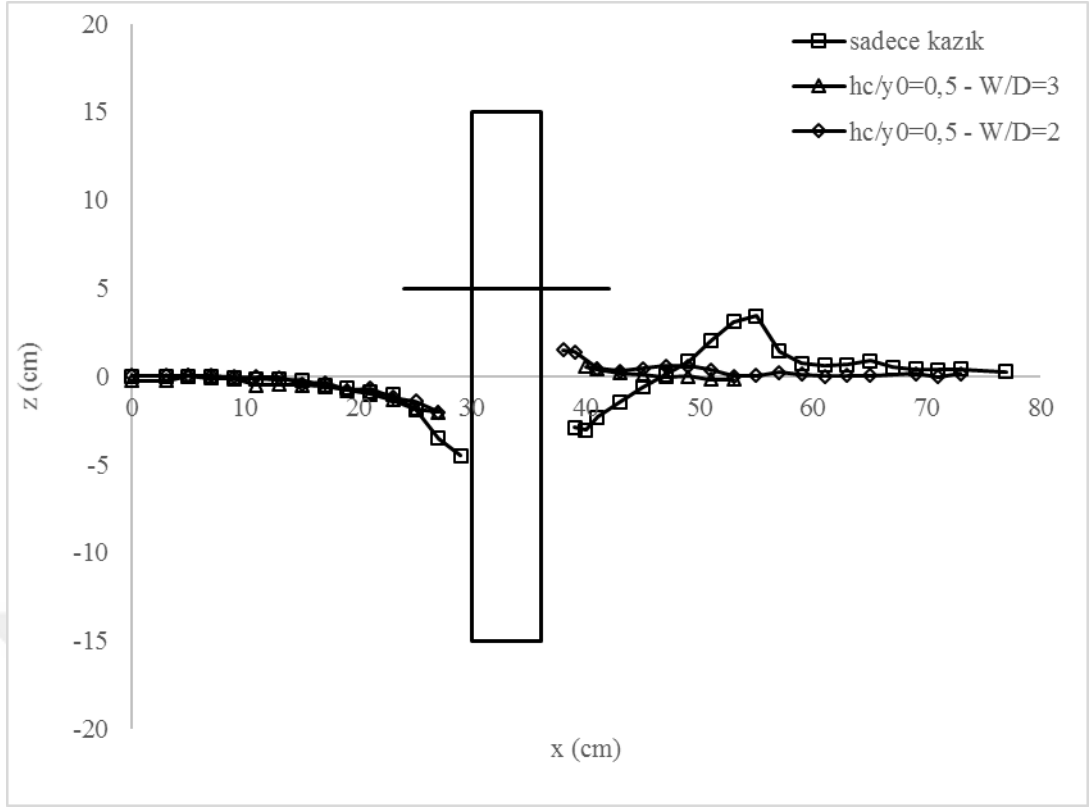
Şekil 3.18. W/D oranı 2 olan düz dairesel plakanın kazık üzerinde 5 cm yüksekliğe ($h_c/y_0=0,5$) yerleştirilmesiyle oluşan oyulma profili

Kazığa, W/D oranı 1,5 olan bir düz dairesel plaka tabandan 5 cm yüksekliğe ($h_c/y_0=0,5$) yerleştirildiğinde, sadece kazık bulunan duruma göre 840 rpm dönüş hızı için oyulma derinliğinde %27'lik bir azalma oluşmuştur. Bu oran, diğer düz dairesel plakaların oyulma üzerindeki etkilerine göre oldukça azdır. Şekil 3.19, W/D oranı 1,5 olan bir düz dairesel plakanın kazık üzerinde 5 cm yüksekliğe ($h_c/y_0=0,5$) yerleştirilmesiyle oluşan oyulma profilini göstermektedir.



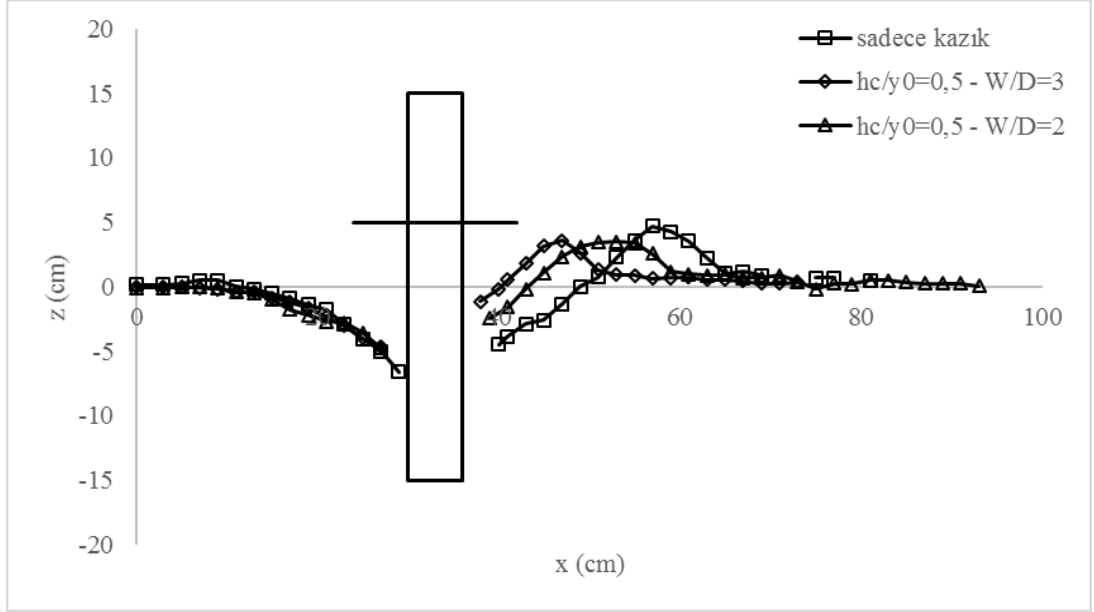
Şekil 3.19. W/D oranı 1,5 olan bir düz dairesel plakanın 5 cm yüksekliğe yerleştirilmesi ile oluşan oyulma profili

Şekil 3.20, 600 rpm dönüş hızı için farklı koşullar altında oluşan denge oyulma profillerini göstermektedir. 600 rpm dönüş hızında çalıştırılan bir pervane için; sadece kazık bulunan durum ve W/D oranı 3 olan düz dairesel plaka durumunda oluşan oyulma profilleri incelendiğinde; her iki düz dairesel plakanın da kazık önündeki maksimum oyulma derinliğini benzer olarak yaklaşık %55 azalttığı gözlemlenmiştir. Kazık arkasındaki oyulma profili incelendiğinde ise oyulma çukuru gözlemlenmemiştir, aksine kazık arkasındaki kum yatağı, düz dairesel plakaya yaklaşan bir yığılma alanı oluşturmuştur.



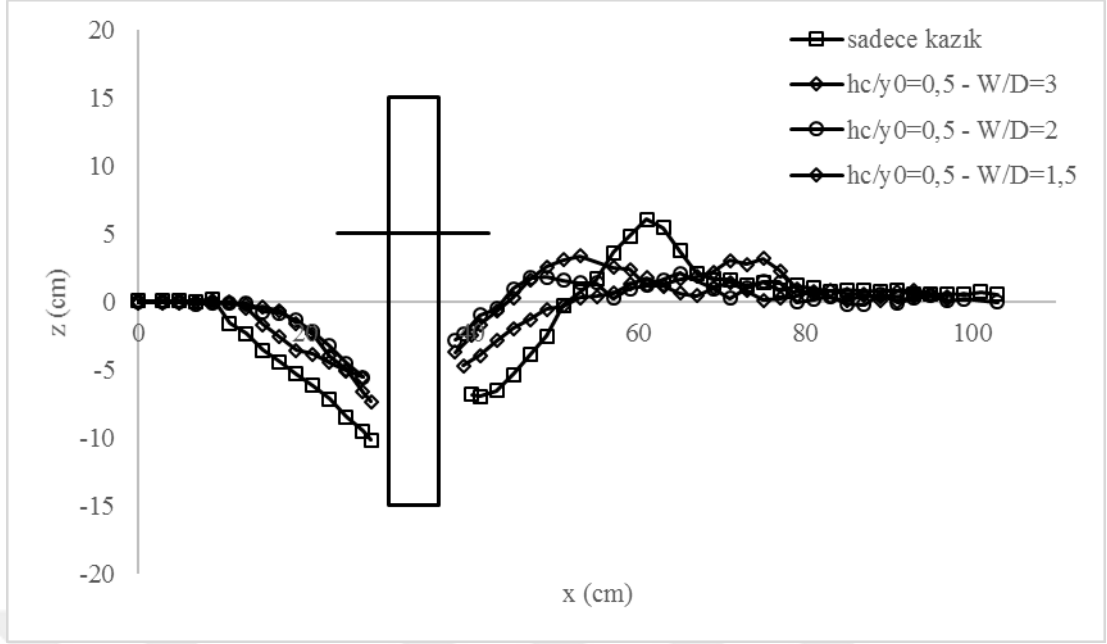
Şekil 3.20. 600 rpm dönüş hızında farklı koşullarda oluşan oyulma profilleri

720 rpm dönüş hızı için farklı koşullarda oluşan denge oyulma profilleri Şekil 3.21’de gösterilmiştir. 720 rpm için gerçekleştirilen sınırlandırılmış durum deneyleri kıyaslandığında, kazık önündeki oyulma profilinde bir değişim gözlemlenmemiştir. Sadece kazık bulunan duruma göre kazık arkasında oluşan biriktirme alanının yüksekliği %28 azalmıştır ve düz dairesel plaka genişliğinin kazık çapına oranı arttıkça biriktirme alanı kazığa yaklaşmıştır.



Şekil 3.21. 720 rpm dönüş hızı için farklı koşullarda oluşan denge oyulma profilleri

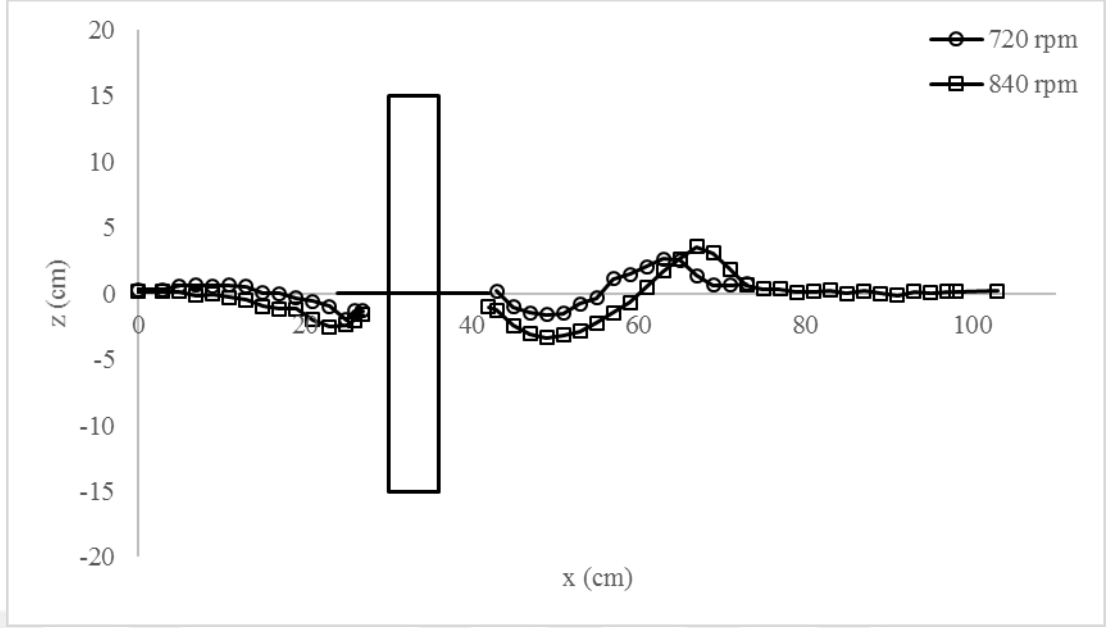
840 rpm dönüş hızı ile çalıştırılan pervanenin bulunduğu sınırlandırılmış durum deneyleri kıyaslandığında, düz dairesel plaka genişliği arttıkça oyulma çukurunun derinliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. 840 rpm hız için farklı koşullarda oluşan denge oyulma profilleri Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Düz dairesel plakanın yüksekliği (h_c) 5 cm olarak sabit tutulurken W/D oranının sırasıyla 3, 2 ve 1,5 olarak değiştirilmesiyle maksimum oyulma çukuru derinliği sırasıyla %45, %45 ve %28 azalmıştır.



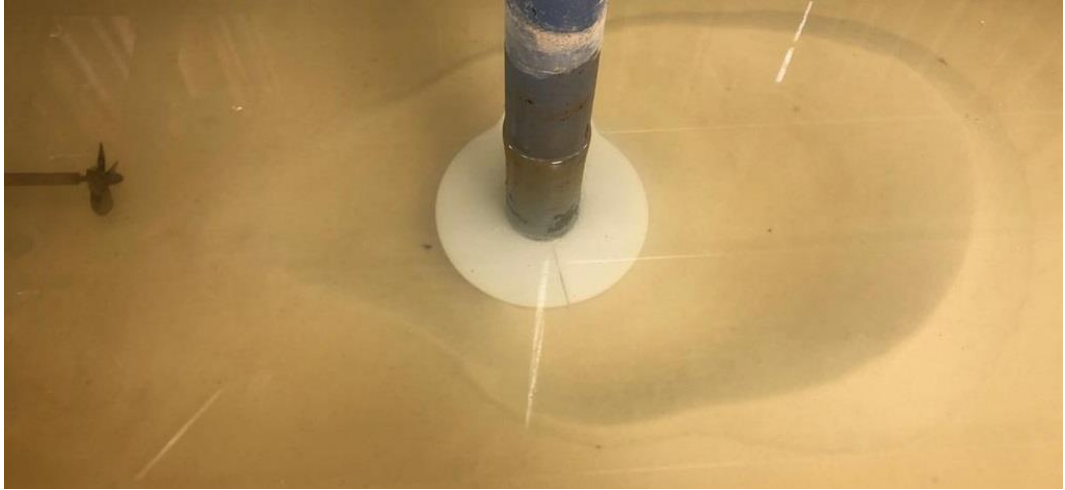
Şekil 3.22. 840 rpm hız için farklı koşullarda oluşan denge oyulma profilleri ($h_c/y_0=0,5$)

Kazığa yerleştirilen bir düz dairesel plakanın konumunun, oyulma oluşumu üzerindeki etkisini araştırmak için düz dairesel plakanın taban seviyesine ($h_c=0$ cm) yerleştirilmesiyle bir dizi deney gerçekleştirilmiştir.

W/D oranı 3 olan bir düz dairesel plakanın taban seviyesine ($h_c=0$) yerleştirilmesiyle, kazık önünde ve arkasında düz dairesel plakaya yaklaşan yığılma alanları gözlemlenmiştir. Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te W/D oranı 3 olan bir düz dairesel plakanın taban seviyesine yerleştirilmesiyle oluşan denge oyulma profilleri gösterilmektedir. Denge oyulma profili, düz dairesel plaka olmayan durum ile kıyaslandığında maksimum oyulma derinliği 720 rpm için %69, 840 rpm için %75 azalmıştır. Kazık arkasında gözlemlenen biriktirme alanının yüksekliğinde azalma belirlenmiştir.



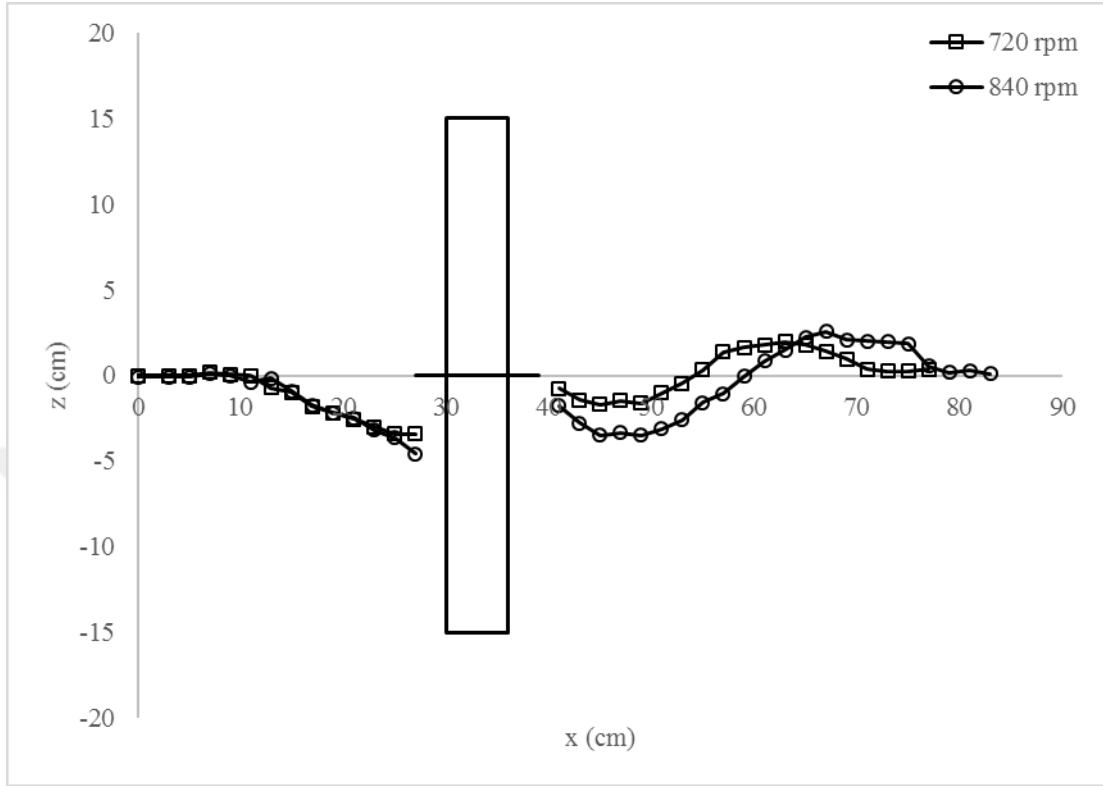
Şekil 3.23. W/D oranı 3 olan bir düz dairesel plakanın tabana ($h_c/y_0=0$) yerleştirilmesi ile oluşan denge oyulma profili



Şekil 3.24. W/D oranı 3 olan bir düz dairesel plakanın tabana ($h_c/y_0=0$) yerleştirilmesi ile oluşan denge oyulma profili

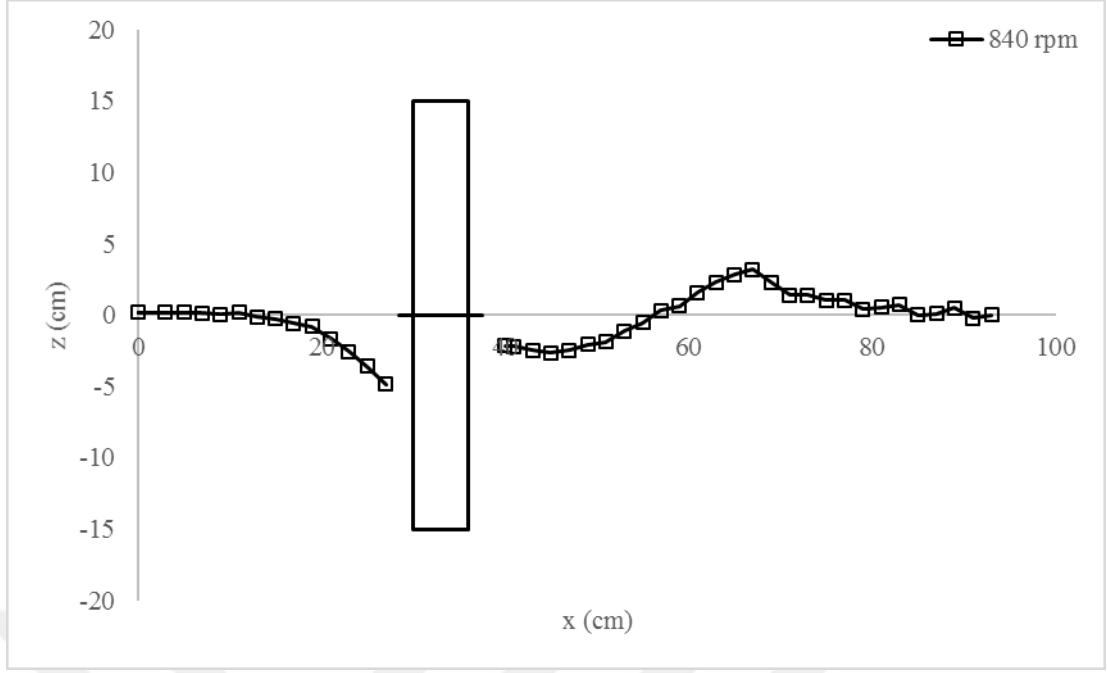
W/D oranı 2 olan bir düz dairesel plakanın tabana yerleştirilmesiyle ($h_c/y_0=0$) kazık önünde oluşan oyulma derinliği, sadece kazık bulunan duruma göre 720 rpm için %48 ve 840 rpm için %55 azalmıştır. Kazık arkasındaki alan, referans seviyesi olan bozulmamış kum yatağına yakın kalmıştır. W/D oranı 2 olan bir düz dairesel

plakanın tabana yerleştirilmesiyle oluşan denge oyulma profilleri Şekil 3.25'te gösterilmiştir.



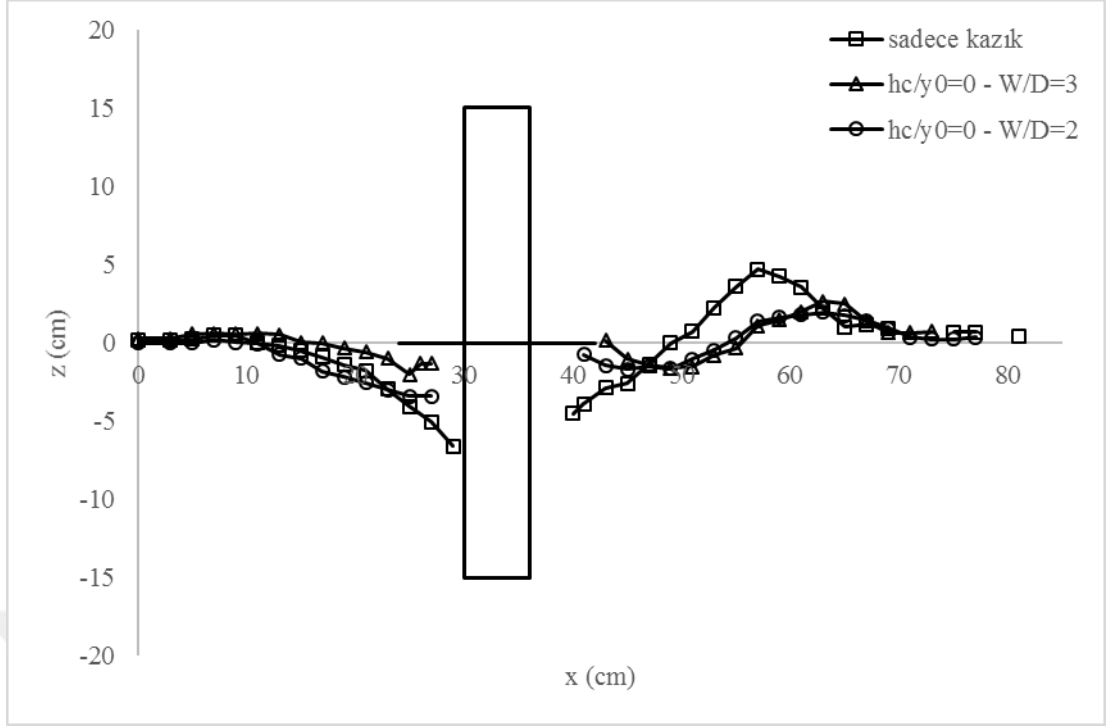
Şekil 3.25. W/D oranı 2 olan bir düz dairesel plakanın tabana yerleştirilmesiyle oluşan denge oyulma profili ($h_c/y_0=0$)

W/D oranı 1,5 olan bir düz dairesel plakanın tabana ($h_c/y_0=0$) yerleştirilmesiyle, sadece kazık bulunan duruma göre kazık önünde maksimum oyulma derinliği %52, kazık arkasındaki oyulma derinliği %62 azalmıştır. Biriktirme alanı kazıktan uzaklaşmıştır. Şekil 3.26'da W/D oranı 1,5 olan bir düz dairesel plakanın tabana yerleştirilmesi ile oluşan denge oyulma profili gösterilmiştir.



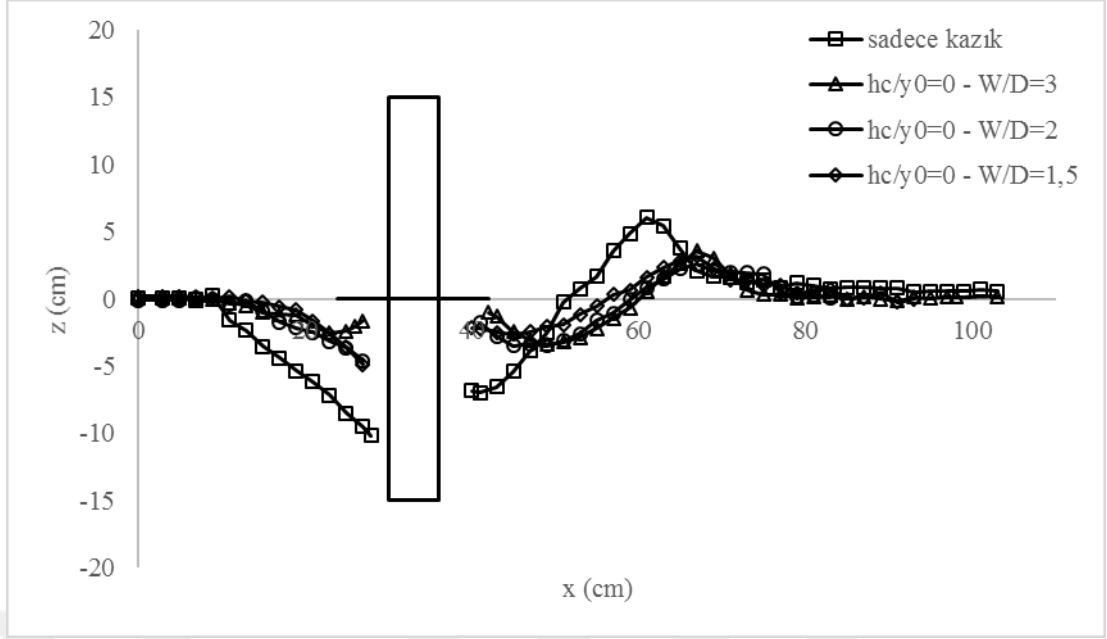
Şekil 3.26. W/D oranı 1,5 olan bir düz dairesel plakanın tabana yerleştirilmesiyle oluşan denge oyulma profili

720 rpm hız ile çalışan bir pervanenin, tabanda bir düz dairesel plaka bulunmasıyla oluşturduğu denge profilleri incelendiğinde, düz dairesel plaka genişliğinin kazık çapına olan oranının artmasıyla oyulma derinliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Düz dairesel plaka yüksekliğinin (h_c) 0 olması durumunda W/D=3 ve W/D=2 oranlarına sahip düz dairesel plakalar sırasıyla %69 ve %48 azalma sağlamıştır. Kazık arkasında düz dairesel plakaya yaklaşan bir yığılma bölgesi görülmüştür. 720 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge oyulma profilleri Şekil 3.27'de gösterilmiştir.



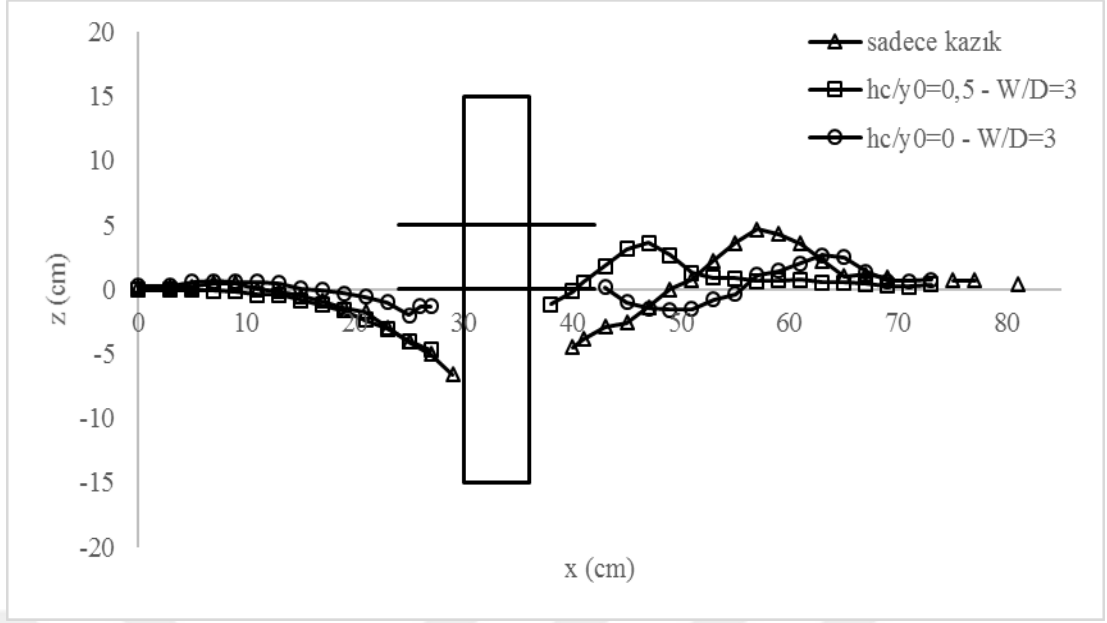
Şekil 3.27. 720 rpm hız ile çalışan bir pervanenin, düz dairesel plakaların tabana yerleştirilmesiyle oluşturduğu denge oyulma profilleri ($h_c/y_0=0$)

840 rpm hızda çalıştırılan bir pervane bulunmasıyla oluşan denge oyulma profilleri incelendiğinde, kullanılan düz dairesel plakaların oyulma çukurunun derinliğini azalttığı görülmüştür. $W/D=1,5$ ve $W/D=2$ oranlarına sahip düz dairesel plakalar kazık arkasında oyulmayı sırasıyla %61 ve %50 azaltırken, $W/D=3$ oranına sahip düz dairesel plaka bulunan durumda denge oyulma profilinde kazığın arkasında olduğu gibi kazığın önünde de düz dairesel plakaya yaklaşan bir biriktirme alanı gözlemlenmiştir. Şekil 3.28, düz dairesel plakanın tabanda bulunması durumunda, 840 rpm hız ile çalıştırılan bir pervanenin oluşturduğu denge oyulma profillerini göstermektedir.



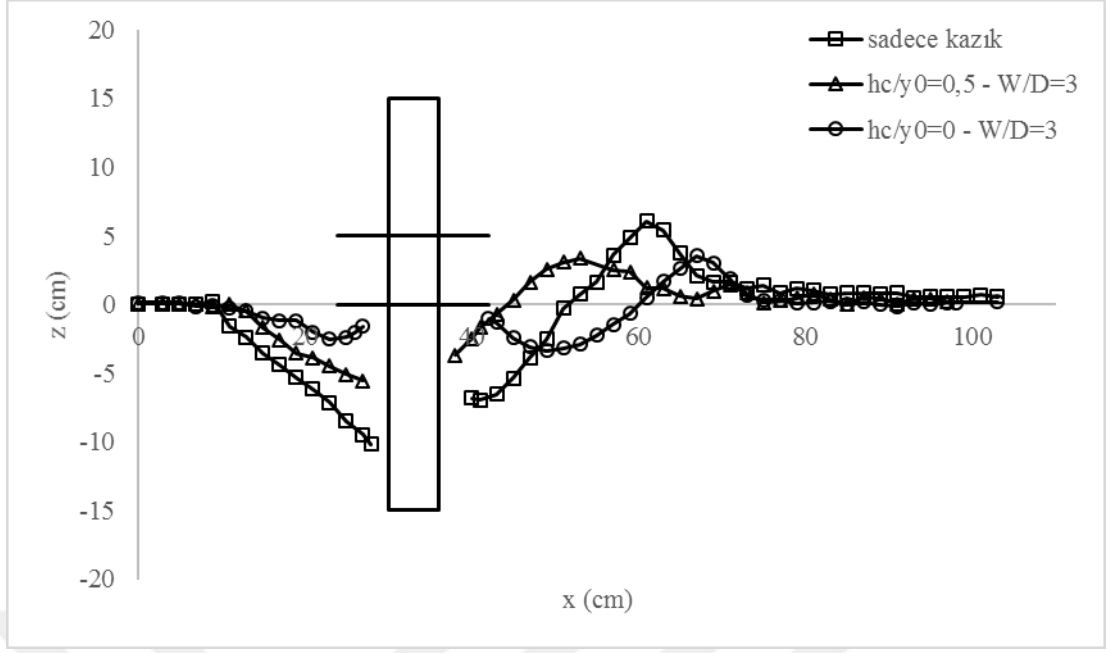
Şekil 3.28. 840 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge oyulma profilleri ($h_c/y_0=0$)

W/D oranı 3 olan bir düz dairesel plakanın sabit bir kazık üzerinde farklı yüksekliklere yerleştirilmesi incelendiğinde, 720 rpm için tabana yerleştirilen ($h_c/y_0=0$) düz dairesel plakanın daha verimli olduğu görülmüştür. W/D oranı 3 olan düz dairesel plaka kullanıldığında, düz dairesel plakanın 5 cm yükseklikte sağladığı azalma %28 iken düz dairesel plakanın tabanda olması durumunda bu azalma %69'dur. 720 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge oyulma profilleri Şekil 3.29'da gösterilmiştir.



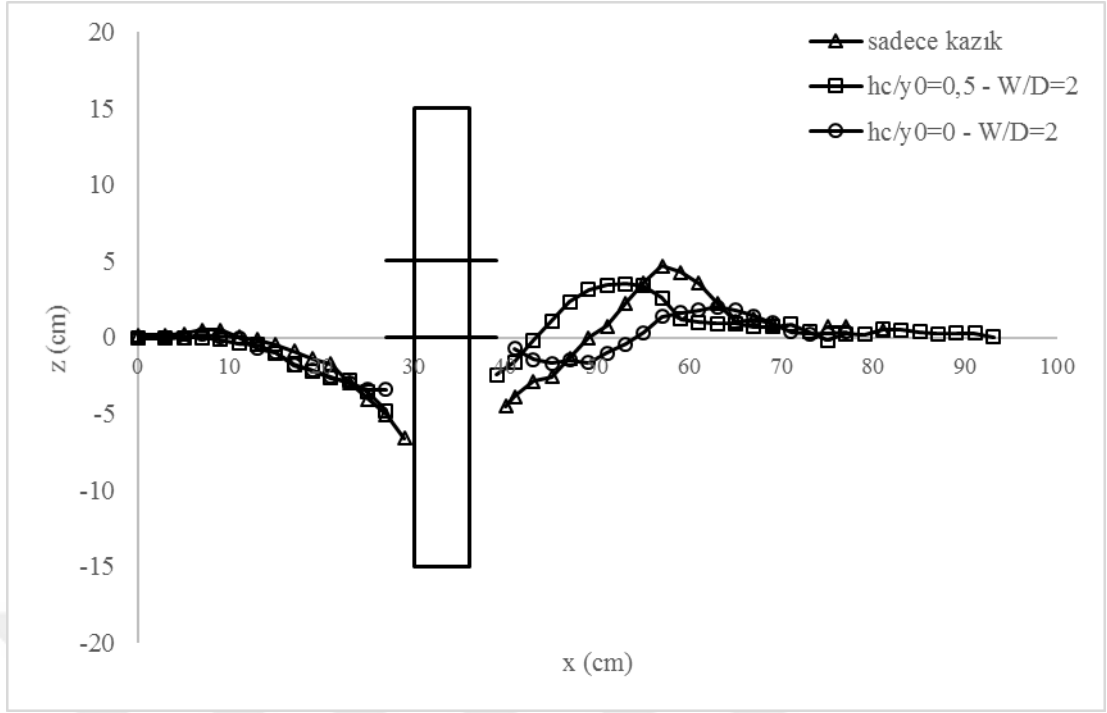
Şekil 3.29. 720 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profilleri ($W/D=3$)

840 rpm için de benzer şekilde düz dairesel plakanın tabana ($h_c/y_0=0$) yerleştirilmesi düz dairesel plaka etkinliğini artırmıştır. W/D oranı 3 olan düz dairesel plaka, kazık üzerinde tabandan 5 cm yüksekliğe yerleştirildiğinde %45 azalma sağlarken; düz dairesel plaka taban seviyesinde yerleştirildiğinde bu azalma %75 değerine ulaşmıştır. 840 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profilleri Şekil 3.30'da gösterilmiştir.

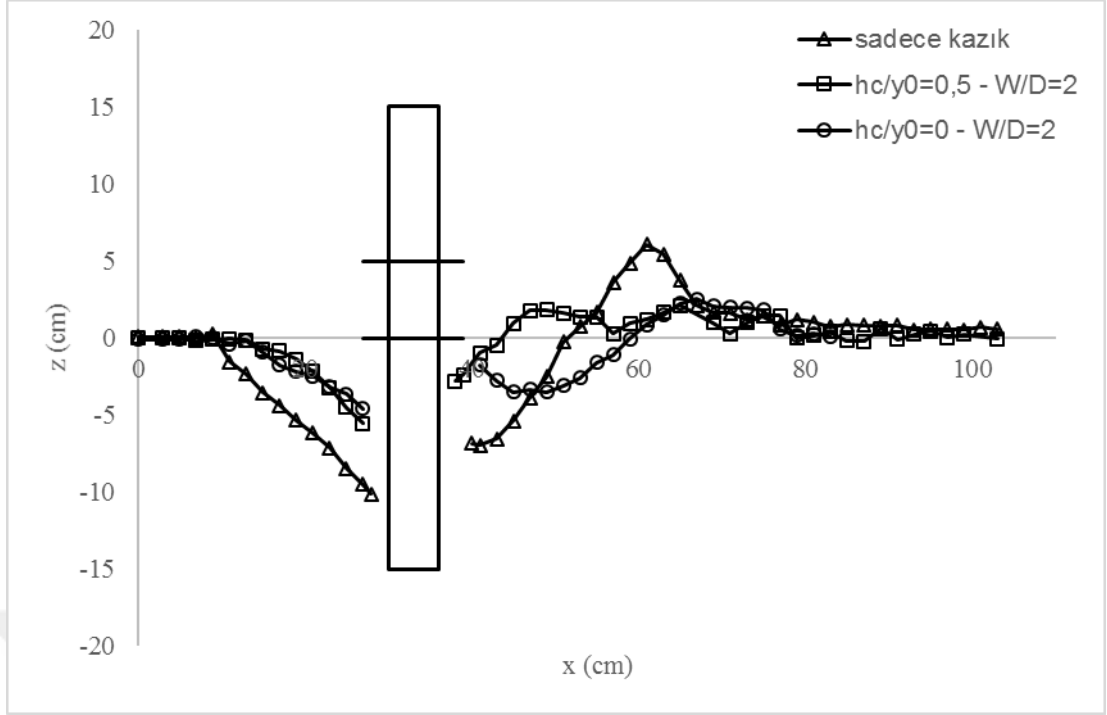


Şekil 3.30. 840 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profilleri (W/D=3)

W/D oranı 2 olan bir düz dairesel plakanın kazık üzerine farklı yüksekliklerde yerleştirilmesi, oluşan oyulma profillerini değiştirmiştir. 720 rpm ve 840 için düz dairesel plakanın tabana yerleştirilmesi ($h_c/y_0=0$) oyulma çukuru derinliğini sadece kazıklı duruma göre sırasıyla %48 ve %54 azaltmıştır. Şekil 3.31'de kullanılan W/D oranı 2 olduğunda, 720 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profilleri gösterilmektedir. Şekil 3.32'de ise kullanılan W/D oranı 1,5 olduğunda, 840 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profilleri gösterilmektedir.

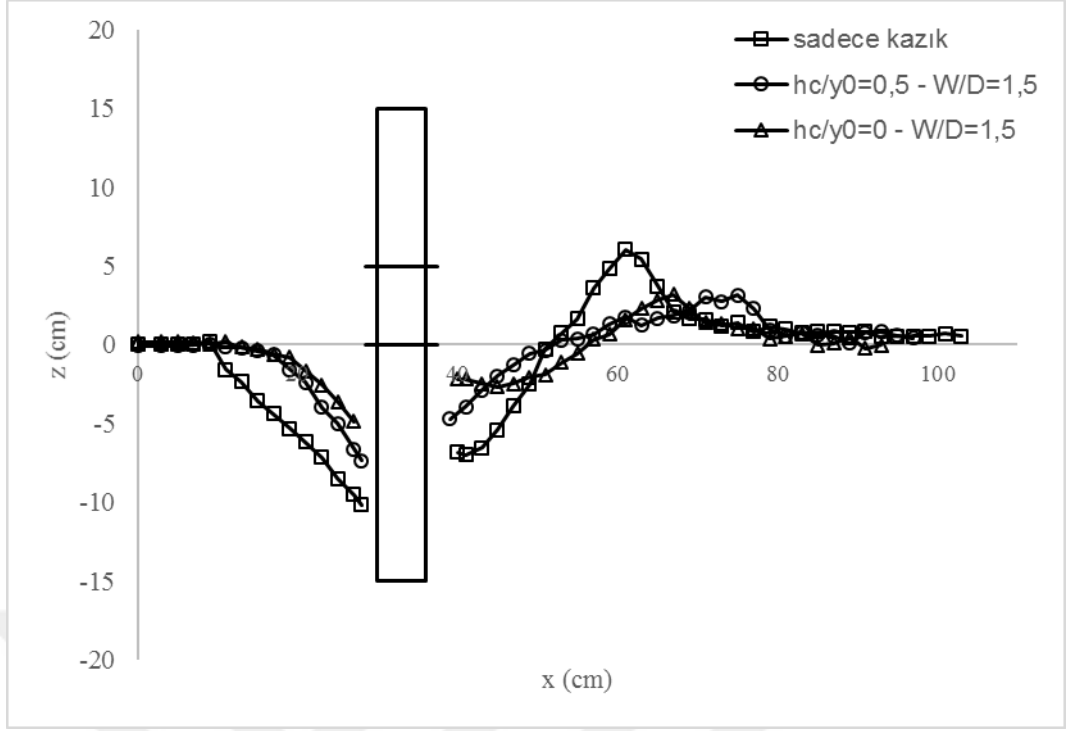


Şekil 3.31. 720 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profilleri ($W/D=2$)



Şekil 3.32. 840 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profilleri ($W/D=2$)

W/D oranı 1,5 olan bir düz dairesel plakanın farklı yüksekliklere yerleştirilmesi incelendiğinde, düz dairesel plakanın tabana yerleştirilmesinin ($h_c/y_0=0$) plakanın etkisini önemli ölçüde artırdığı söylenebilir. Şekil 3.33, W/D oranı 1,5 olan bir düz dairesel plakaya sahip kazık etrafında, 840 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profillerini göstermektedir. W/D oranı 1,5 olan düz dairesel plaka, kazık üzerinde 5 cm yükseklikte ($h_c/y_0=0,5$) iken %27, taban seviyesinde iken %52 oyulma çukuru derinliği azalması sağlamıştır.

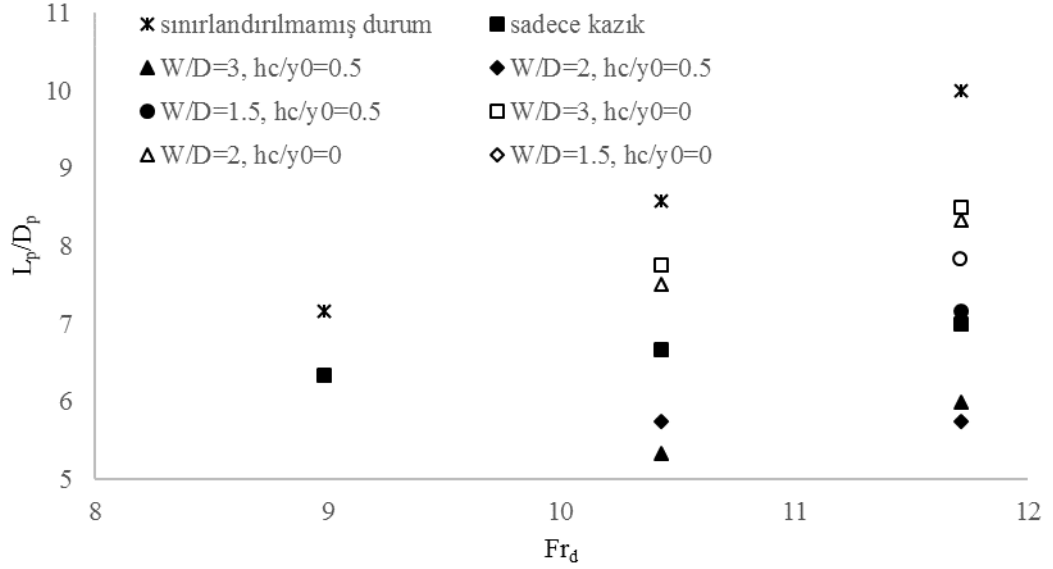


Şekil 3.33. 840 rpm hız ile çalışan bir pervanenin oluşturduğu denge durumu oyulma profilleri ($W/D=1,5$)

Yapılan deneylerde, denge durumundaki oyulma profillerinin maksimum oyulma derinlikleri dikkate alınarak, bu derinliklerin azalma miktarlarının yüzde olarak ifadeleri Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

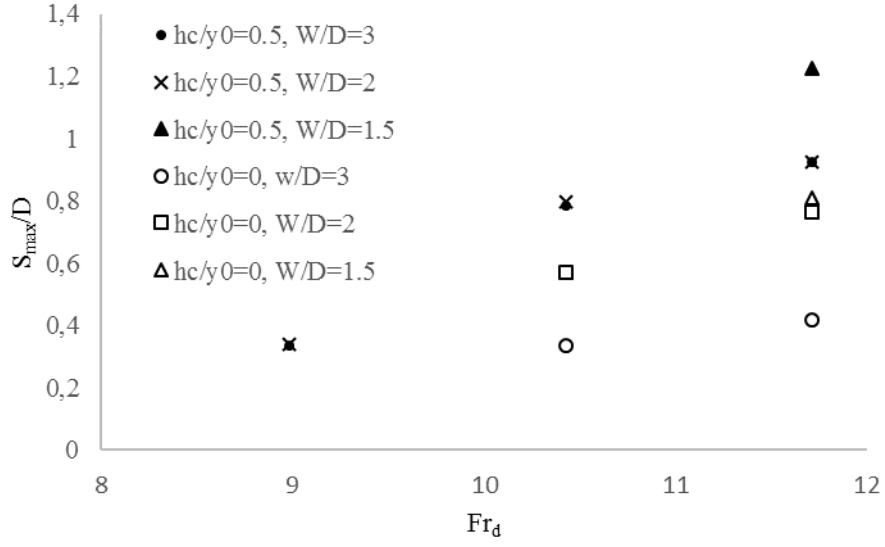
Çizelge 3.2. Maksimum oyulma derinlikleri ve derinliklerin azalması (%)

Deney	h_c/y_0	W/D	Maksimum Oyulma Derinliği (S_{max})			Oyulma Derinliği Azalma Yüzdesi (%)		
			600 rpm	720 rpm	840 rpm	600 rpm	720 rpm	840 rpm
Kazıksız Durum	-	-	1,21	3,96	4,95	-	-	-
Sadece Kazıklı Durum	-	-	4,50	6,60	10,15	-	-	-
Plaka ve Kazık	0,5	3	2,01	4,70	5,54	55,42	28,77	45,45
Plaka ve Kazık	0,5	2	2,04	4,79	5,54	54,73	27,39	45,39
Plaka ve Kazık	0,5	1,5	-	-	7,35	-	-	27,61
Plaka ve Kazık	0	3	-	2,01	2,52	-	69,61	75,20
Plaka ve Kazık	0	2	-	3,41	4,58	-	48,27	54,83
Plaka ve Kazık	0	1,5	-	-	4,86	-	-	52,09



Şekil 3.34. Fr_d ve L_p/D_p arasındaki ilişki

Şekil 3.34'te Fr_d ve L_p/D_p arasındaki ilişki gösterilmiştir. En büyük L_p/D_p oranı sınırlandırılmamış durum için oluşmuştur, bu oran 7 ve 10 arasında değişmektedir. Sadece kazık bulunan durum için L_p/D_p oranı 6 ve 7 aralığındadır. Düz dairesel plaka, kazık üzerinde 5 cm yüksekliğe yerleştirildiğinde (h_c/y₀=0,5) L_p/D_p, sadece kazık bulunan durumdan daha fazla azalmıştır. Ayrıca aynı Fr_d sayısı koşullarında sadece kazık bulunan durum ve W/D oranı 1,5 olan durumda L_p/D_p benzerlik göstermiştir. Kazığa yerleştirilen düz dairesel plaka taban seviyesinde (h_c/y₀=0) olduğunda, L_p/D_p değerleri 7 ve 8,5 değerleri arasındadır. Bu değer, sadece kazık olan durumdan, daha fazladır ve sınırlandırılmamış duruma yakındır. Biriktirme alanı ve kazık arasındaki mesafenin arttığı da söylenebilir.



Şekil 3.35. Fr_d ve S_{max}/D_p arasındaki ilişki

Yapılan tüm deneyler için Fr_d ve S_{max}/D_p arasındaki ilişki Şekil 3.35'te gösterilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda düz dairesel plakanın tabana ($h_c/y_0=0$) yerleştirilmesinin, tabandan 5 cm yüksekliğe ($h_c/y_0=0,5$) yerleştirilmesinden daha verimli olduğu görülmüştür. Aynı zamanda düz dairesel plakanın genişliği arttıkça oyulmayı engelleme oranında da bir artış gözlemlenmiştir. Deney sonuçları göz önüne alınarak, daha geniş düz dairesel plakaların tabana yerleştirilmesinin oyulma için daha faydalı olduğu ifade edilebilir.

4. SONUÇLAR

Bir kazık yapısı etrafında, pervane jetinden kaynaklanan yerel oyulmayı azaltmak için, üç farklı plaka genişliği ve kazık üzerinde iki farklı yükseklikte deneysel olarak incelenmiştir.

Yapılan çalışmada tüm deney koşulları için, pervane dönüş hızının artmasıyla, oluşan maksimum oyulma derinlikleri artmıştır. Sadece kazık bulunan durumda maksimum oyulma derinlikleri, sınırlandırılmamış durum ve kazık ve plaka bulunan durumlara göre daha fazladır.

Kazık üzerinde bir düz dairesel plaka yerleştirilmesi ile pervane jetinin akım modeli değişir ve bu değişim, deniz tabanındaki oyulmanın profilini de etkiler. Kazık üzerinden tabana ulaşan düşey akım, kazık üzerinde bir dairesel düz plakanın bulunmasıyla engellenir. Kazık üzerindeki düz dairesel plakanın yüksekliğinin oyulma profiline etkisi araştırıldığında; tabana yerleştirilen düz dairesel plaka ($h_c/y_0=0$), kazık üzerine yerleştirilen ($h_c/y_0=0,5$) düz dairesel plakaya göre daha fazla oyulma derinliği azalması sağlamıştır.

Düz dairesel plaka tabana yerleştirildiğinde ($h_c/y_0=0$), kazığın arka tarafında oluşan biriktirme alanının tepe noktası ve kazık arasındaki mesafe artmıştır. Düz dairesel plakanın kazık üzerine yerleştirildiği durumda ise biriktirme alanının tepe noktası kazığa daha yakın olur.

Düz dairesel plakanın genişliği oyulma profilini etkileyen bir başka önemli parametredir. Deneysel çalışmaların sonuçları incelendiğinde, düz dairesel plakanın genişliğinin artmasının maksimum oyulma çukurunun derinliğini azalttığı görülmüştür. Ek olarak taban seviyesine yerleştirilen bir düz dairesel plakanın, aynı özellikteki ve kazık üzerindeki bir düz dairesel plakadan daha etkili olduğu söylenebilir.

Bir kazık yapısı etrafındaki oyulma profiline; pervane çapı, kazık yeri, kazık çapı, dane çapı gibi parametrelerin ve kazık üzerinde bir plaka kullanımının etkisinin belirlenmesi için deneysel çalışmalar yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- [1] Hong, J.H., Chiew, Y.M., M.ASCE, Cheng, N.S., Scour Caused By A Propeller Jet, Journal of Hydraulic Engineering, 139 (9), 2013
- [2] Hong, J.H., Chiew, Y.M., M.ASCE, Hsieh, S.C., Cheng, N.S., Propeller Jet-Induced Suspended-Sediment Concentration, Journal of Hydraulic Engineering, 142 (4), 2016
- [3] Yew, W.T., Hashim, R., Ng, K.C., Experimental Investigation of Scour Induced by Twin-Propeller Wash, Journal Of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 143(4), 2017
- [4] Tan, R.İ., Yüksel, Y., Seabed Scour Induced By A Propeller Jet, Ocean Engineering, 160, 132-142, 2018
- [5] Cui, Y., Lam, W.H., Zhang, T., Sun, C., Hamill, G., Scour Induced By Single And Twin Propeller Jets, Water, 11(5), 2019
- [6] Penna, N., D'Alessandro, F., Gaudio, R., Tomasicchio, G.R., Three-Dimensional Analysis Of Local Scouring Induced By A Rotating Ship Propeller, Ocean Engineering, 188, 2019
- [7] Hamill, G.A., Johnston, H.T., Stewart, D.P., Propeller Wash Scour Near Quay Walls, Journal Of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 125, 170-175, 1999
- [8] Ryan, D., Hamill, G.A., Estimating Propeller Scour At Quays Alongside A Berthing Ship, Maritime Engineering, 164 (MA2), 2011
- [9] Chiew, Y.M., Lim, S.Y., Lim, F.H., Jet Scour Around Vertical Pile, Journal Of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 122 (2), 1996

- [10] Zarrati, A.R., Gholami, H., Mashahir, M.B., Application Of Collar To Control Scouring Around Rectangular Bridge Piers, *Journal of Hydraulic Research*, 42(1), 2004
- [11] Wei, M., Chiew, Y.M., M.ASCE, Influence Of Toe Clearance On Propeller Scour Around An Open-Type Quay, *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(7), 2017
- [12] Yüksel, Y., Tan, R.İ., Çelikoğlu, Y., Propeller Jet Flow Scour Around A Pile Structure, *Applied Ocean Research*, 79, 160-172, 2018
- [13] Yüksel, Y., Tan, R.İ., Çelikoğlu, Y., Determining Propeller Scour Near A Quay Wall, *Ocean Engineering*, 188, 2019
- [14] Garg, V., Setia, B., Verma, D.V.S., Reduction Of Scour Around A Bridge Pier By Multiple Collar Plates, *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 11(3), 2005
- [15] Ettema, R., Scour At Bridge Piers, (No. 216 Monograph), 1980
- [16] Chiew, Y., Local Scour At Bridge Piers, PhD Thesis, Auckland University, Auckland, 1984
- [17] Heidarpour, M., Afzalimehr, H., Izadinia, E., Reduction Of Local Scour Around Bridge Pier Groups Using Collar, *Internal Journal of Sediment Research*, 25, 411-422, 2010
- [18] Chiew, Y., Melville, B.W., Local Scour Around Bridge Piers, *Journal of Hydraulic Research*, 25(1), 1987
- [19] Raudkivi, A.J., Ettema, R., Clear-Water Scour at Cylindrical Piers, *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(3), 338-350, 1983
- [20] Chiew, Y., Melville, B.W., Temporal Development Of Local Scour Depth At Bridge Piers, *Kuzey Amerika Su ve Çevre Kongresi, ASCE, Anaheim, California, ABD*, 1996

- [21] Masjedi, A., Bejestan, M.S., Esfandi, A., Reduction Of Local Scour At A Bridge Pier Fitted With A Collar In A 180 Degree Flume Bend (Case Study: Oblong Pier), Journal of Hydrodynamics, 22 (5), 669-673, 2010
- [22] Jahangirzadeh, A., Akib, S., Ismail, Z., Kamali, B., Kakouei, M., Behnia, A., Determination Of Rectangular, Collar Dimensions For Reducing Scour Around Bridge Pier, ICSE 6-219, Ağustos 27-31, 2012
- [23] Raudkivi, A., Ettema, R., Clear-Water Scour at Cylindrical Piers, Journal of Hydraulic Engineering, 109(3), 338–350, 1983
- [24] Melville, B.W., Pier and Abutment Scour: Integrated Approach, Journal of Hydraulic Engineering, 123(2),1997
- [25] Neill, C.R., Guide to bridge hydraulics, University of Toronto press, Toronto, Canada, 1973
- [26] Muller, D.S., Local Scour At Bridge Piers In Non-Uniform Sediment Under Dynamic Conditions, Ph.D dissertation, Department of Civil Engineering, Colorado State University,1996
- [27] Akib, S., Mamat, N.L., Bassar, H., Jahangirzadeh, A., Reducing Local Scouring At Bridge Piles Using Collar And Geobags, The Scientific World Journal, 2014, 2014
- [28] Cui, Y., Lam, W.H., Robinson, D., Hamill, G., Temporal And Spatial Scour Caused By External And Internal Counter-Rotating Twin-Propellers Using Acoustic Doppler Velocimetry, Applied Ocean Research, 97, 2020
- [29] Güner, M., Kükner, A., Baykal, M. A., “Gemi pervaneleri ve sevk sistemi”, İTÜ Yayınları, 1999

- [30] Römisch, K., Der Propellerstrahl als erodierendes Element bei An- und Ablegmanövern im Hafenbecken Seewirtschaft 7, 431- 434, 1975
- [31] Barnitsas, M.M., Ray, D., Kinley, P., KT, KQ and efficiency curves for the wageningen b-series propellers, University of Michigan, 1981
- [32] Lam, W. H., Hamill, G., Robinson, D., Raghunathan, S., & Song, Y., Analysis of the 3D zone of flow establishment from a ship's propeller, KSCE Journal of Civil Engineering, 16(4), 465-477, 2012
- [33] Chadwick, A.J., Karunarathna, H., Gehrels, W.R., Massey, A.C., O'Brien, D., Dales, D., A New Analysis Of The Slapton Barrier Beach System, Proceeding Of The Institution Of Civil Engineers – Maritime Engineering, 158(4), 147-161, 2005
- [34] Stewart, D.P.J., Characteristics of a Ship Screw Wash and the Influence of Quay wall Proximity, Ph.D. Thesis, Queen's University of Belfast, Northern Ireland, UK, 1992.
- [35] Ryan, D., Methods For Determining Propeller Wash Induced Scour In Harbours, Thesis submitted to the Queen's University of Belfast for the degree of Doctor of Philosophy, 2002
- [36] Hamill, G.A., Characteristics Of The Screw Wash Of A Manoeuvring Ship And The Resulting Bed Scour, 1989
- [37] Sarker, A., Flow Measurement Around Scoured Bridge Piers Using Acoustic-Doppler Velocimeter (ADV), Flow Measurement and Instrumentation, 9, 217-227, 1998
- [38] Fuehrer, M., Romisch, K., Effects Of Modern Ship Traffic On Islands And Ocean Waterways And Their Structures, PIANC 24th Congress, 1-3, 1977

[39] Verhey, H., The Stability Of Bottom And Banks Subjected To The Velocities In The Propeller Jet Behind Ships, International Harbour Congress, 8th, 1983

[40] Blaauw, H. G., Evert, Van de Kaa, J., Erosion of bottom and sloping banks caused by screw race of maneuvering ships: paper presented at the 7. International Harbour Congress Antwerp, May 22-26, 1978. Delft Hydraulics Laboratory, 1978

[41] Farazimajd, S., Flow And Turbulence Structure Around Inclined Emergent Isolated Cylinder Under Steady Conditions, M.Sc. THESIS, Istanbul Technical University Graduate School of Science Engineering And Technology, 2015

[42] Sumer, B. M., Fredsoe, J., Hydrodynamics Around Cylinder Structures, 2006