

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEMİ PERVANELERİNİN KAZIKLI YANAŞMA
YAPILARINDA NEDEN OLDUĞU EROZYONUN
ARAŞTIRILMASI**

**İ.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İnş. Müh. Ayşe YÜKSEL

**F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

Prof. Dr. M. Sedat KARBADAŞLI

Y. Doç. Dr. Yesim GELİKOĞLU

İSTANBUL, 2002

128674

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	i
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1 GİRİŞ	1
1.1 Yanaşma Yerlerinde Gemi Pervaneleri Nedeniyle Meydana Gelen Erozyon Problemi.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı.....	2
2 YANAŞMA YAPILARINDA EROZYON.....	4
2.1 Yanaşma Yapılarında Erozyona Karşı Korunmada Tasarım Kriterleri (PIANC, 1997)	4
2.2 Açık Yapılarda Erozyon Mekanizması	13
2.3 Kapalı Yapılarda Erozyon Mekanizması	26
2.4 Üniform Akım Alanında Tek Kazık Etrafındaki Yerel Erozyon (Van Rijn, 1998)...	36
3 DENEYSEL ÇALIŞMA VE MODELLEME	40
3.1 Deney Sistemi	40
3.1.1 Deney Kanalı	40
3.1.2 Hız Ölçümleri	41
3.1.3 Debi Ölçümleri	43
3.1.4 Ölçme Yöntemi.....	44
3.2 Boyut Analizi ve Erozyonun Modellenmesi.....	49
4 DENEY SONUÇLARI VE KAZIK EROZYONUNUN İNCELENMESİ.....	54
4.1 Kazık Etrafındaki Akım ve Taban Hareketi	54
4.2 Maksimum Denge Oyulma Derinliği.....	61
4.3 Kazık Etrafında Oyulmanın Geometrisi	66
5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR	75

EKLER	77
Ek 1 Aynı jet debisinde pürüzlü taban ve cilalı (su içinde) hal için hızın jet eksenı boyunca değışimi	78
ÖZGEÇMİŞ	81



SİMGE LİSTESİ

d_0	Jet çapı
D_p	Pervane Çapı
Y	Jet ekseninin tabana olan uzaklığı
U_0	Pervane jetinin çıkış hızı
P_d	Motor gücü
c	Katsayı
n	Pervanenin bir dakikadaki dönüş sayısı
C	Pervane kanadının uç noktasının tabana olan uzaklığı
S_s	Denge durumunda kazığın memba kısmında meydana gelen maksimum oyulma derinliği
S	Denge durumunda kazığın hemen önünde (membada) meydana gelen maksimum oyulma derinliği
P_d	Pervane gücü
h	Su derinliği
D	Kazık çapı
Fr_d	Yoğunluk Froude Sayısı
ρ_s	Taban malzemesinin özgül kütlesi
g	Yerçekimi ivmesi
X	Etki mesafesi (Pervane jetinin çıkış noktası ile kazık arasındaki yatay mesafe)
σ_g	Geometrik standart sapma
θ	Taban malzemesinin sakin konumdaki içsel sürtünme açısı
d_{50}	Taban malzemesinin medyanı
C	Pervane uç noktası ile deniz tabanı arasındaki mesafe
ρ	Akışkanın özgül kütlesi
$\Delta\rho$	Akışkan ile taban malzemesinin özgül kütleleri arasındaki fark
ν	Akışkanın kinematik viskozitesi
n	Pervanenin dönüş sayısı
C_t	Pervane güç katsayısı
t	Süre
Γ, Ω	Katsayı
Re	Reynolds Sayısı

r	Regresyon katsayısı
S_{x1}	Denge durumunda oyulma başlangıcının kazığa olan yatay uzaklığı
S_{x2}	Denge durumunda oyulma bölgesinin boyu
S_{x3}	Denge durumunda yığılma bölgesinin boyu
S_x	Denge durumunda erozyon profilinin toplam boyu
S_y	Denge durumunda yığılma yüksekliği
$S_{mc\infty}$	Asimptotik konumda sınırlanmış maksimum oyulma derinliği (mm)
$S_{mu\infty}$	Asimptotik konumda sınırlanmamış maksimum oyulma derinliği (mm)
$S_{ma\infty}$	Asimptotik konumda pervanenin düşey eksenine rölatif olarak ölçülmüş sınırlanmamış maksimum oyulma derinliği (mm)
X_w	Pervanenin rıhtım duvarına uzaklığı (m)
X_{mu}	Dengedeki sınırlanmamış oyulma profilinde maksimum oyulma noktasının pervaneye uzaklığı (m)
α_1	Katsayı
α_2	Katsayı
α_3	Katsayı
α_4	Katsayı
U	Kazığın membasındaki kesitsel ortalama hız
d_{90}	Taban malzemesinin %90'ının geçtiği çap
d_{60}	Taban malzemesinin %60'ının geçtiği çap
σ	Standart sapma
C_r	Açıklık oranı
rpm	Dönüş sayısı
U_{kr}	Katı madde hareketinin başladığı kritik hız

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	İdealleştirilmiş pervane jeti.....	5
Şekil 2.2	Konteyner gemilerinde ana pervanelerin çap ve gücü.....	6
Şekil 2.3	Konteyner gemilerinde yan pervanelerin çap ve gücü.....	7
Şekil 2.4	Yan pervanenin çapı.....	7
Şekil 2.5	Ana pervanenin çapı.....	7
Şekil 2.6	Maksimum taban açıklığı.....	9
Şekil 2.7	Minimum taban açıklığı.....	9
Şekil 2.8	Tabandaki hız.....	12
Şekil 2.9	Verilen taban hızında oyulmaya neden olmayacak taş boyutu.....	12
Şekil 2.10	Pervane jetinin deniz tabanında meydana getirdiği oyulma.....	13
Şekil 2.11	I. Tip oyulma profili.....	16
Şekil 2.12	II. Tip oyulma profili.....	17
Şekil 2.13	III. Tip oyulma profili.....	18
Şekil 2.14	IV. Tip oyulma profili.....	18
Şekil 2.15	Bütün tip oyulma profillerinin bir arada gösterilmesi.....	19
Şekil 2.16a	I. ve III. Tip oyulma arasındaki sınır bölge.....	20
Şekil 2.16b	I. ve III. Tip oyulma arasındaki sınır bölge.....	20
Şekil 2.17a	II. ve IV. Tip oyulma arasındaki sınır bölge.....	21
Şekil 2.17b	II. ve IV. Tip oyulma arasındaki sınır bölge.....	21
Şekil 2.18	S_s/d_o 'ın Fr_d ile değişimi.....	22
Şekil 2.19	Farklı X/d_o değerleri için S/d_o 'ın Fr_d ile değişimi.....	23
Şekil 2.20	S/d_o ve S_s/d_o 'ın X/d_o ile değişimi.....	23
Şekil 2.21	Farklı kazık çapları için oyulma çukurunun eksenî boyunca oyulma profili ve sıfır çizgisi.....	24
Şekil 2.22	Fr_d ve X/d_o büyüklükleri ile denge oyulma çukurunun sınıflandırılması.....	25
Şekil 2.23a	Rıhtım duvarlarında erozyon - Kıç tarafındaki pervane suyunun tabanda ve rıhtım yapısından sapması.....	29
Şekil 2.23b	Rıhtım duvarlarında erozyon - Baş tarafındaki pervane suyunun sapması.....	29
Şekil 2.24	Ω ve Γ değerlerinin deneysel sonuçlarının karşılaştırılması.....	31
Şekil 2.25	Pervane suyunun taban üzerinde meydana getirdiği oyulma profilinin izometrik görünüşü.....	

Şekil 2.26	Rıhtım duvarındaki oyulmanın izometrik görünüşü.....	33
Şekil 2.27	Sınırlanmış ve sınırlanmamış durumdaki taban profillerinin karşılaştırılması.....	34
Şekil 2.28	Farklı açıklık oranı ve dönüş sayısı için oyulma verilerinin değişimi.....	35
Şekil 2.29	Kazık çevresindeki akım modeli ve oyulma.....	36
Şekil 3.1	Deney Sistemi.....	40
Şekil 3.2	Farklı jet debilerinde, $h=40$ cm su derinliğinde (su içinde) jet eksenini boyunca hız değişimi.....	41
Şekil 3.3	Farklı jet debilerinde, $h=40$ cm su derinliğinde pürüzlü taban üzerinde jet eksenini boyunca hız değişimi.....	42
Şekil 3.4	$Q = 35$ lt/dak jet debisinde pürüzlü taban ve cilalı (su içinde) hal için hızın jet eksenini boyunca değişimi.....	42
Şekil 3.5	$Q = 55$ lt/dak'lık jet debisinde tabandan olan açıklığa göre $X/D=2$ için hız değişimi.....	43
Şekil 3.6	Deney kumu granülometresi.....	44
Şekil 3.7a	Deney sistemine ait görünüşler, yandan görünüş.....	45
Şekil 3.7b	Deney sistemine ait görünüşler, boyuna görünüş.....	45
Şekil 3.7c	Deney sistemine ait görünüşler, elektronik debimetre.....	46
Şekil 3.7d	Deney sistemine ait görünüşler, kazık erozyonu.....	46
Şekil 3.7e	Deney sistemine ait görünüşler, orifis - jet erozyonu yandan görünüş.....	47
Şekil 3.7f	Deney sistemine ait görünüşler, orifis - jet erozyonu üstten görünüş.....	47
Şekil 4.1	Jet ekseninde kazık etrafında oyulma çukuru geometrisi.....	54
Şekil 4.2a	Denge konumunda iken jet ucunun sarkması hali.....	55
Şekil 4.2b	Denge konumunda iken jet ucunun sarkması hali.....	56
Şekil 4.3a	Oyulma derinliğinin zamanla değişimi.....	57
Şekil 4.3b	Oyulma derinliğinin zamanla değişimi.....	57
Şekil 4.3c	Oyulma derinliğinin zamanla değişimi.....	58
Şekil 4.3d	Oyulma derinliğinin zamanla değişimi.....	58
Şekil 4.3e	Oyulma derinliğinin zamanla değişimi.....	59
Şekil 4.3f	Oyulma derinliğinin zamanla değişimi.....	59
Şekil 4.3g	Oyulma derinliğinin zamanla değişimi.....	60
Şekil 4.3h	Oyulma derinliğinin zamanla değişimi.....	60
Şekil 4.4a	Rölatif maksimum oyulma derinliğinin yoğunluk Fr_d sayısı ile değişimi.....	62
Şekil 4.4b	Rölatif maksimum oyulma derinliğinin yoğunluk Fr_d sayısı ile değişimi.....	62

Şekil 4.4c	Rölatif maksimum oyulma derinliğinin yoğunluk Fr_d sayısı ile değişimi.....	63
Şekil 4.4d	Rölatif maksimum oyulma derinliğinin yoğunluk Fr_d sayısı ile değişimi.....	63
Şekil 4.5	Tüm X/D'ler için rölatif maksimum oyulma derinliğinin Fr_d ile değişimi.....	64
Şekil 4.6	Rölatif maksimum oyulma derinliğinin Fr_d ile değişimi.....	65
Şekil 4.7	Su jetinin açıklık oranının rölatif maksimum oyulma derinliğine etkisi ($Fr_d = 18.27$).....	65
Şekil 4.8a	Kazık membasındaki rölatif oyulma çukuru uzunluğunun Fr_d ile değişimi.....	67
Şekil 4.8b	Kazık membasındaki rölatif oyulma çukuru uzunluğunun Fr_d ile değişimi.....	67
Şekil 4.9a	Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun Fr_d ile değişimi.....	68
Şekil 4.9b	Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun Fr_d ile değişimi.....	68
Şekil 4.10a	Yığılma bölgesinin uzaklığının Fr_d ile değişimi.....	69
Şekil 4.10b	Yığılma bölgesinin uzaklığının Fr_d ile değişimi.....	69
Şekil 4.11a	Rölatif oyulma profili uzunluğunun Fr_d ile değişimi.....	70
Şekil 4.11b	Rölatif oyulma profili uzunluğunun Fr_d ile değişimi.....	70
Şekil 4.12a	Rölatif yığılma yüksekliğinin Fr_d ile değişimi.....	71
Şekil 4.12b	Rölatif yığılma yüksekliğinin Fr_d ile değişimi.....	71
Şekil 4.13	Rölatif yığılma yüksekliğinin Fr_d ile değişimi.....	72
Şekil Ek 1	Aynı jet debisinde pürüzlü taban ve cilalı (su içinde) hal için hızın jet eksenini boyunca değişimi.....	78
	$Q = 40 \text{ lt / dak.}$	78
	$Q = 45 \text{ lt / dak.}$	78
	$Q = 50 \text{ lt / dak.}$	79
	$Q = 55 \text{ lt / dak.}$	79
	$Q = 60 \text{ lt / dak.}$	80
	$Q = 70 \text{ lt / dak.}$	80

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Pervane hızı ve makine gücü.....	8
Çizelge 2.2	Hamill ve diğ. (1996)'nin deney parametreleri.....	30
Çizelge 3.1	Deney şartları.....	48
Çizelge 3.2	Etkili Büyüklükler.....	50
Çizelge 3.3	Değişken Boyutları.....	50
Çizelge 3.4	Boyutsuz büyüklüklerin üstel değerleri.....	51



ÖNSÖZ

Atatürk'ün geleceği Türk Kadını ve Türk Gençlerine emanet etmesi, çalışmalarım sırasında her zaman beni motive etmiş ve bilime katkıda bulunmaya teşvik etmiştir. Bu nedenle burada Mustafa Kemal ATATÜRK'e şükranlarımı sunuyorum ve yaptıkları önünde her bilinçli Türk Kadını gibi saygıyla eğiliyorum.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca teşvik ve tecrübesini esirgemeyen, desteğiyle her zaman yanımda olan değerli bilim adamı hocam Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL'e candan teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca verdiği destek ve deneylerim sırasında gösterdiği çaba için hocam Yrd. Doç. Dr. Yeşim ÇELİKOĞLU'na içtenlikle teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca ihtiyaç duyduğumda bilgisini esirgemeyen hocam Doç. Dr. Esin ÇEVİK'e teşekkür ederim.

İki senedir sürdürdüğüm asistanlık görevim sırasında manevi destekleriyle yanımda olan asistan arkadaşlarıma yürekten teşekkür ederim.

Ve, ailem... 1978 yılında başlayan yolculuğuma acı tatlı her anımda yanımda olarak desteklerini her zaman hissettiren ve sevgilerini sonsuz bir içtenlikle avuçlarıma bırakan anneme ve babama bütün kalbimle teşekkür ederim. İkinizi de çok seviyorum...

Ocak, 2002

İnş. Müh. Ayşe YÜKSEL

ÖZET

Hidrolik yapıların mansap bölgelerinde, örneğin menfez çıkışlarında, kapak altlarında veya dolu savaklarda meydana gelen yerel oyulmalara su jetleri neden olmaktadır. Oyulmanın bu çeşidi gemilerin pervanelerinden çıkan su jetinin etkisi altında, rıhtım duvarlarında ve kazıklar etrafında meydana gelen erozyon ile benzeşmektedir. Manevra yapan gemilerin pervane suyu navigasyon kanallarında veya limanlarda ciddi erozyon problemlerine neden olmaktadır. Deniz yatağı ve navigasyon kanallarının şevleri, limanların eğimli kıyıları, rıhtım duvarları ve kazıklı yapılar bu problemin meydana gelebileceği bazı bölgelerdir. Eğer, gemiler manevralarını bu yapılardan uzakta yapıyorsa deniz yatağındaki ve kanalların şevlerindeki erozyon liman yapılarının temellerinde etkili olmamaktadır. Bununla birlikte erozyona uğrayan malzeme limanların belli bölgesinde yığılarak kanalın su kesimini azalmasına neden olmakta ve böylece navigasyonu etkilemektedir. Liman yapısının yakınında, gemi yanaşma ve ayrılma faaliyetleri eğimli anroşman kıyılarda, rıhtım duvarlarında ve kazıkların etrafında ciddi bir erozyon meydana getirmektedir. Sığ su derinliğinde pervaneden kaynaklanan su jeti erozyonun miktarını çoğaltmaktadır. Projelendirme sırasında erozyon problemlerinin yaratacağı elverişsiz şartlar dikkate alınmadığında liman yapılarının temellerinde oyulmalar oluşabilmektedir.

Son yıllarda limanların bakımı ve projelendirilmesinde pervanelerin meydana getirdiği oyulma problemleri önemli miktarda artmıştır. Genellikle modern gemilerin seyir hızlarını daha hızlı yapmak için yüksek güçte makineler ve kolay manevra yapmak için de yan pervaneler teçhiz edilmektedir. İşletme ve ekonomik nedenler yüzünden son yıllarda birçok modern gemi kendi güçleri ile römorkörlerin yardımı olmaksızın yanaşmayı daha hızlı bir şekilde başarabilmektedirler. Bu faktörler, gemi pervanelerinin meydana getirdiği zararların daha fazla meydana gelmesine neden olmaktadır.

Bu çalışmada pervane suyunun kazıklar etrafında yarattığı oyulma mekanizması incelenmiştir. Deneyler bir laboratuvar tankında yapılmıştır. Chin ve diğ...(1996)'nin uyguladığı deney aşamaları takip edilmiştir. Su jeti yatay taban üzerinde belirli uzaklıklara yerleştirilerek pervane jetinin kazık etrafındaki durumu tasvir edilmeye çalışılmıştır. Deneylerde farklı kazık çapları kullanılmıştır. Maksimum denge oyulma derinliği ile boyutsuz parametreler arasında bir ilişki ifade edilmeye çalışılmıştır. Bu parametreler yoğunluk Froude Sayısı (Fr_d), X/D , Y/d_0 , D/d_0 . Denge oyulma derinliği üzerinde yoğunluk Froude Sayısının etkisi oldukça fazladır. Sonuçlar Chin ve diğ. (1996) ile karşılaştırılmıştır. Böylece oyulma için basitleştirilmiş denklem ifade edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Oyulma, kazık, erozyon, pervane, jet, rıhtım, yanaşma yapısı.

ABSTRACT

Local scour caused by jets often occurs downstream of hydraulic structures such as culvert outlets, sluices, or spillways. This type of scour is analogous to erosion at the piers and quay walls under the influence of a jet originated from a ship's propeller. The propeller wash of ships maneuvering in a confined waterway or harbor can cause serious erosion problems. Some areas where the problems can occur at the seabed and banks of navigation channels; the sloping banks of a harbor; quay walls; and piled structures. The erosion of seabed and banks of channels may not undermine the foundation of harbor structures if it occurs well away from them; however, the eroded material may cause a navigation hazard by reducing the draft of the channels. During a berthing or unberthing operation, a ship is in proximity to the harbor structures and serious erosion may occur to the sloping riprap banks, quay walls, or around piles. The degree of erosion is enhanced by shallow water depths where the propeller is located near the seabed. Inadequate provision for the erosion problem in design may lead to undermining of the foundation of the harbor structures.

The problem of propeller-induced scour has been of increasing importance in the design and maintenance of harbors in recent years. Modern ships are often equipped with high-power engines for faster navigation speed and side thrusters for ease of maneuvering. For operation and economic reasons, many large ships can now berth under their own power, without the aids of tugs, to achieve a short turn around time. These factors have led to a more widespread occurrence of ship propeller-induced damages.

In this work, propeller wash scour mechanism near piles were investigated. The experiments were conducted in a laboratory tank. Similar experimental procedure with Chin et al. (1996) was followed. A nozzle was placed a known distance above the undisturbed bed to simulate the propeller jet condition around piles. Different pile diameters were used during the experiment. A correlation for maximum equilibrium scour depth was tried to be found among the non-dimensional parameters. These parameters are Fr_d , X/D , Y/d_0 , D/d_0 . The scour depth at the pile is highly dependent on densimetric Froude Number. The results were compared with Chin et al. (1996). Hence a simplified equation was presented.

Keywords: Scour, pile, erosion, propeller, jet, quay, wharf.

1. GİRİŞ

1.1 Yanaşma Yerlerinde Gemi Pervaneleri Nedeniyle Meydana Gelen Erozyon Problemi

Hidrolik yapıların mansap bölgelerinde, örneğin menfez çıkışlarında, kapak altlarında veya dolu savaklarda meydana gelen yerel oyulmalara su jetleri neden olmaktadır. Oyulmanın bu çeşidi gemilerin pervanelerinden çıkan su jetinin etkisi altında, rıhtım duvarlarında ve kazıklar etrafında meydana gelen erozyon ile benzeşmektedir. Manevra yapan gemilerin pervane suyu, navigasyon kanallarında veya limanlarda ciddi erozyon problemlerine neden olmaktadır. Deniz yatağı ve navigasyon kanallarının şevleri, limanların eğimli kıyıları, rıhtım duvarları ve kazıklı yapılar bu problemin meydana gelebileceği bazı bölgelerdir. Eğer gemiler manevralarını bu yapılardan uzakta yapıyorsa deniz tabanında ve kanalların şevlerinde meydana gelen erozyon liman yapılarının temellerinde etkili olmamasına karşın erozyona uğrayan bu malzeme limanların belli bölgesinde yığılarak kanalın su kesiminin azalmasına neden olabilmekte ve böylece liman içi navigasyonunu etkilemektedirler. Liman yapısının yakınında, gemi yanaşma ve ayrılma faaliyetleri eğimli anroşman kıyılarda, rıhtım duvarlarında ve kazıkların etrafında ciddi bir erozyon meydana getirmektedir. Sığ su derinliklerinde pervaneden kaynaklanan su jeti erozyonun miktarını çoğaltmaktadır. Projelendirme sırasında erozyon problemlerinin yaratacağı elverişsiz şartlar dikkate alınmadığı durumlarda liman yapılarının temellerinde oyulmalar oluşabilmektedir.

Son yıllarda limanların bakımı ve projelendirilmesinde pervanelerin meydana getirdiği oyulma problemleri önemli hale gelmiştir. Genellikle modern gemilerin seyir hızlarını artırmak için yüksek güçte makineler ve kolay manevra yapmak için de ek pervaneler ilave edilmektedir. İşletme ve ekonomik nedenler yüzünden şimdi birçok modern gemi kendi güçleri ile römorkörlerin yardımı olmaksızın kısa bir zamanda yanaşmayı başarabilmektedirler. Bu faktörler, gemi pervanelerinin meydana getirdiği zararların daha sık meydana gelmesine neden olmaktadır.

Rıhtım yapıları ro-ro gemilerinin yüklerini yanaşma yerinde kapak atma rampa sistemine yanaşarak boşaltmaları esnasında ve bazı gemilerin de manevra işlemi sırasında baş ve kık (ana) pervanelerini kullanmaları nedeniyle pervanelerin su jetinin etkisinde kalmaktadırlar. Gemilerin demirlemeleri ve demir almaları sırasında pervane suyu ile oluşan katı madde hareketi oyulmayla birlikte yığılmaya da neden olabilmektedir ve bu da yanaşma yerlerinin stabilitelerini etkilemektedir. Pervanelerin meydana getirdiği bu oyulma problemlerinin artması artık uluslararası bir sorun haline gelmiştir.

Birçok çalışmada rıhtım yapılarında pervane suyunun oluşturduğu zararların yarattığı problemler sınıflandırılmıştır. Bütün bu çalışmalarda problemlerin, rıhtım duvarına tesir eden ana pervanelerin veya baş pervanelerinin neden olduğu su jetinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Bu iki durum, geminin direk kıç tarafından rıhtıma yanaşmasını ve rıhtıma paralel manevra yaparken baş pervaneleri kullanılmasını içermektedir.

Bergh ve Cederwall'in (1981) İsveç limanlarında, pervanelerin meydana getirdiği zararlar üzerine yürüttüğü bir araştırmada, incelenen 53 rıhtımdan 18'inin zarar gördüğünü ve bunlardan 16'sının 10 yıllık periyot boyunca (1969-1978) meydana geldiğini belirlemişlerdir. Bu araştırmada, Stockholm Limanı'nda ahşap palplanş rıhtımın arkasında toprak kaymasının meydana geldiği de belirtilmiştir. Singapur'da 1970'den önce inşa edilen birçok rıhtım, pervane oyulmaları nedeniyle zarar görmüştür ve tamir edilmeleri birkaç milyon dolara mal olmuştur. Pervanelerin neden olduğu oyulma problemlerinden bazıları bu limanların fiziksel modelleri kullanılarak deneysel bir şekilde incelenmiştir.

Mc Killen (1985) Kuzey İrlanda'daki Larne Limanı'nda yaptığı araştırmada su jetinin neden olduğu erozyon sonucu palplanşların stabiliteilerinin bozulduğu ve bu nedenle ro-ro'nun yanaşması sırasında problemlerle karşılaştığını belirtmiştir.

Chait (1987) Güney Afrika limanlarında yaptığı çalışmada, en büyük zararın Elizabeth Limanı'nda meydana geldiğini belirlemiştir. Elizabeth Limanı'nda oluşan bu zarar nedeniyle manevra sırasında baş pervanelerinin kullanılmasına sınırlama getirilmiştir. Lange (1987)'nin yürüttüğü Fransa limanlarında yapılan çalışmalarda, erozyon problemlerinin manevra sırasında baş pervanelerinin veya ana pervanelerin çalışmasına bağlı olduğu belirlenmiş ve erozyon problemi olan 29 iskele teşhis edilmiştir.

Quarrain (1994) pervanelerin İngiliz limanlarında neden olduğu hasarı araştırmıştır. Bu araştırmada, büyük limanların %42'sinde hasar olduğunu, bunlardan %29'unun onarım gerektiren ciddi hasarlar olduğunu belirlemiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada kazıklı rıhtımlarda gemi pervanelerinden çıkan su jetinin etkisiyle tabanda meydana gelen erozyonun meydana geliş mekanizması ve büyüklükleri araştırılmıştır. Farklı kazık çaplarında su jetinin kazıktan farklı mesafelerde ve yine tabandan farklı açıklıklarda etkili olması durumunda kazıklar etrafında meydana gelen erozyon miktarı belirlenmiştir. Çalışmada sadece su jetinin, dümen etkisi dikkate alınmaksızın kum tabanda yarattığı oyulma

ukuru llmştr. Su jetinin farklı mesafelerde ve açıklıklarda ekseni boyunca hızları da ölçülmüştür. Böylece tek bir kazık etrafında kum tabandaki oyulma elde edilmiştr. Daha önce yapılmış çalışmalarda farklı açıklık oranlarında yerel oyulmada meydana gelecek değişim yeterince irdelenmemiştir. Böylece bu çalışmada tek bir kazık için erozyon morfolojisi hakkında daha detaylı bilgi verilmeye çalışılmıştır.



2. YANAŞMA YAPILARINDA EROZYON

2.1 Yanaşma Yapılarında Erozyona Karşı Korunmada Tasarım Kriterleri (PIANC, 1997)

Yanaşma yapılarında meydana gelen erozyon problemleri şu nedenlere bağlı olarak değişmektedir; kıyı eğimi, yanaşma yapısı önündeki taban malzemesi, dalga hareketi, gemi pervane akımları.

Batı Avrupa'da rıhtım yapısı olarak genellikle düşey yüzölçümlü duvarlar kullanılmaktadır, kazıklı rıhtımlar ise dalga yansımalarını en aza indirmek gerekmedikçe kullanılmamaktadır. Oyulma, özellikle düşey yüzölçümlü duvarların topuğunda meydana gelmektedir. Oyulma problemine baş ve kık pervanelerinin kullanılmasının neden olduğu belirlenmiştir. Batı Avrupa'da ro-ro ve konteyner gemilerinin kendi başlarına rıhtımlara yanaşıp ayrılmaları sonucu oyulma problemleri artmış ve hatta Güney Afrika'da baş pervanelerinin kullanılmasına acil durumlar haricinde kısıtlamalar getirilmiştir.

Birçok yapıda eğimli koruma yapısı, deniz tabanında anroşman olup olmaması gözetilmeksizin, sürekli ve yanaşma yapısının derinliği boyunca yapılandırılmaktadır.

Eğimli Koruma Yapı Tipleri

- a- Anroşman koruyucu tabaka ve rip-rap
- b- Anroşman içine çimento enjeksiyonu ile
- c- Anroşman içine asfalt enjeksiyonu ile
- d- Beton bloklara çimento enjeksiyonu ile
- e- Çeşitli döşeme tipleri

Rip- rap ile ahşap

Asfalt

Sentetik doku enjeksiyonu

Koruma yapısının tipi seçilirken pervane suyunun yanı sıra dalga ve akıntı etkisi de dikkate alınmalıdır.

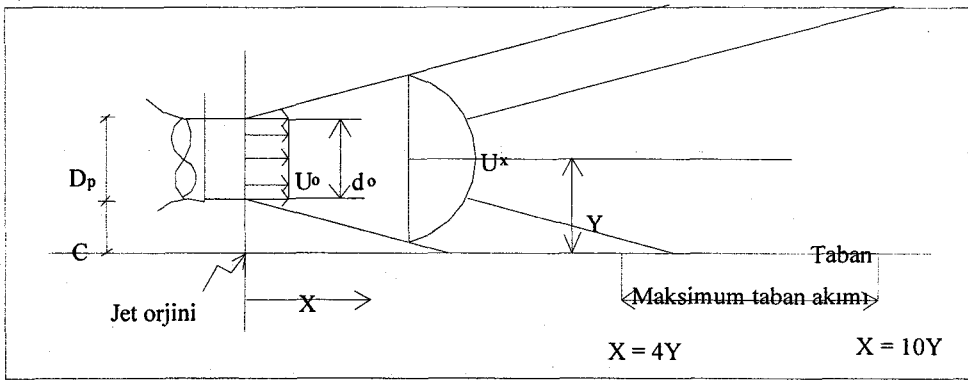
Rıhtım altındaki eğimli zeminde oluşturulan koruma yapısı iki tabaka olabilmektedir. Bu tip koruma yapıları için çeşitli limanlarda birinci ve ikinci anroşmanı oluşturan anroşman kalınlıkları 0.2 m ile 0.6 m arasındadır. Dalgakıran tasarımındaki stabilite kurallarına göre ikinci anroşman tabakasındaki taş ağırlıkları birinci anroşman tabakasındaki taş ağırlıklarının 1/10'u ya da 1/15'i olmaktadır. Bazı koruma yapılarında ikinci tabaka geotekstile serilerek oluşturulmaktadır. Ayrıca verilen örneklerde rıhtım önündeki şev korumasının yatay boyutları 2 m ile 7 m arasında değişmektedir. Kazıklı rıhtım yapılarının altındaki şev koruması, yuvarlanma veya kayma hareketinin yaratacağı zarar dikkate alınarak tasarlanmaktadır.

Oyulma problemleri özellikle konteyner, ro-ro gemileri ve feribotların yanaşma yerlerine yanaşma ve ayrılmaları sırasında yan pervanelerini kullanmaları sonucu meydana gelmektedir.

Yapılan araştırmalarda, taban koruma yapısının tasarımı için kritik jet hızı belirlenmeye çalışılmıştır. Genellikle ölçülen değer hesaplanan değerden fazla çıkmaktadır.

Ana pervane

Ana pervanenin yarattığı jet akımı, yan pervanelerin yarattığı jet akımından daha tehlikeli olabilir. Ana pervane jeti özellikle dümen çevrildiğinde sapmaktadır ve yan pervane jeti etkisi yaratmaktadır. Dümen açısının sıfır olması durumunda dümen etkisi ihmal edilir. Böylece pervane jeti serbest türbülanslı bir jet gibi düşünülebilir. Bu durumda, pervanenin merkez hızının pervaneden uzaklaştıkça azaldığı kabul edilebilir ve akışkan elemanlarının çevrinti hareketi ihmal edilebilir. Maksimum hızın jet ekseninde meydana geldiği kabul edilir (Prosser, 1986).



Şekil 2.1 İdealleştirilmiş pervane jeti (PIANC, 1997)

Taban oyulmasında iki önemli parametre belirlenmiştir. Bunlar, pervanenin tabana uzaklığı ve tabandaki malzemenin boyutudur. Verhey (1983) yaptığı çalışmada maksimum taban hızının 4Y ile 10Y arasındaki bölgede meydana geldiğini belirlemiştir. Burada Y pervane eksenini ile taban arasındaki mesafedir. Pervane jeti gemi gövdesinin şeklinden etkilenmektedir. Pervane jetinin sapmasının jetin enerjisini önemli ölçüde azalttığı kabul edilmiştir.

Yan pervaneler

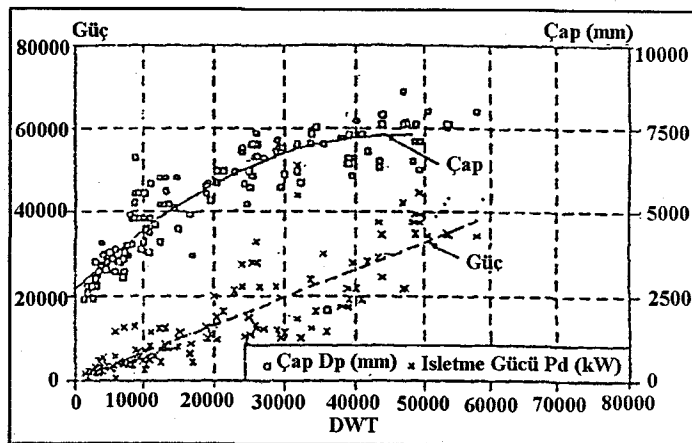
Yan pervane çapları genel olarak 1.5 m ile 2.5 m arasında ve gücü 3 t ile 10 t arasında değişmektedir. Konteyner gemileri genellikle bir yan pervaneye sahip olmasına karşın ro-ro gemileri ve feribotlar hem baş hem de kıçta yan pervaneye sahip olabilmektedir. Kıyı duvarının eğimli yüzünde pervane jetinin su içinde dağılmasının ya da sapmasının şev tasarımı üzerinde önemli ölçüde bir etkisi yoktur.

Gemi karakteristikleri

Tasarım için gerekli olanlar;

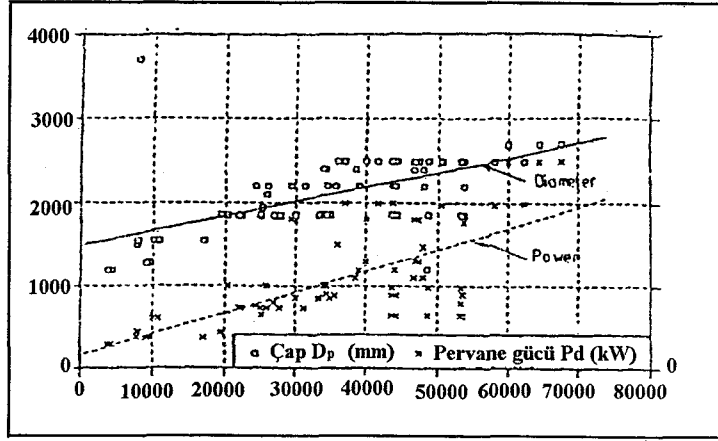
- i) Ana veya yan pervanelerin gücü
- ii) Ana veya yan pervanelerin ekseninin tabandan yüksekliği ve çapları
- iii) Yan pervane tüpünün uzunluğu

Ana Pervane: Konteyner gemileri için çap ve güç Şekil 2.2'de verilmiştir.

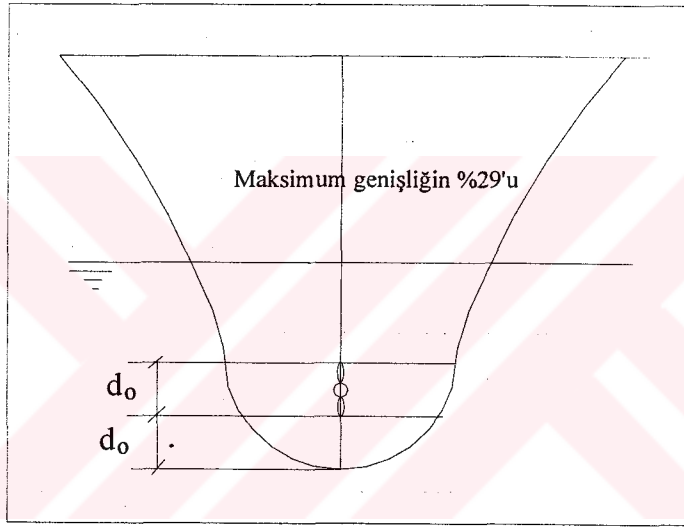


Şekil 2.2 Konteyner gemilerinde ana pervanelerin çap ve gücü (PIANC, 1997)

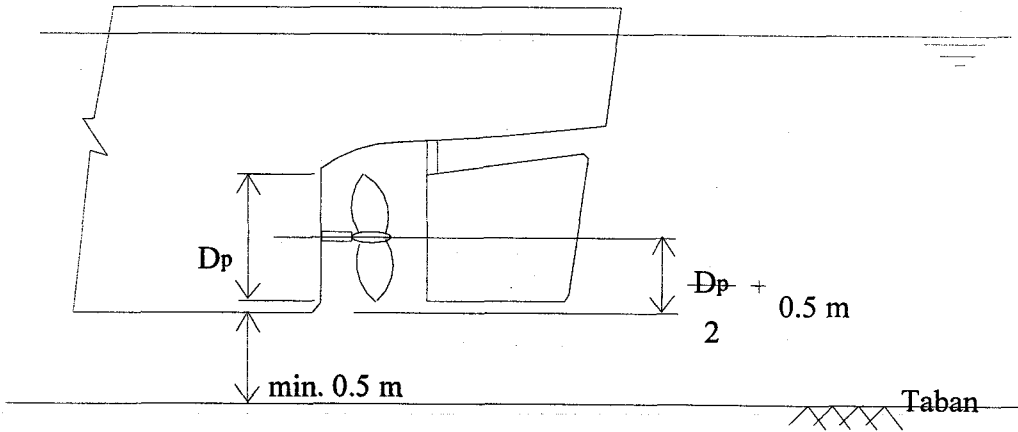
Yan Pervane: Konteyner gemisi için çap ve güç Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3 Konteyner gemilerinde yan pervanelerin çap ve gücü (PIANC, 1997)



Şekil 2.4 Yan pervanesinin çapı (PIANC, 1997)



Şekil 2.5 Ana pervanesinin çapı (PIANC, 1997)

Tasarım sırasında Şekil 2.4 ve Şekil 2.5 dikkate alınmalıdır. Ayrıca, yan pervanelerin yanaşma ve ayrılma sırasında bütün gücünü kullandığı kabul edilmektedir. Genellikle feribotlar dışında diğer gemiler pervanelerinin bütün gücünü kullanmazlar. Güç pervane hızının küpü ile orantılıdır. Gemiler manevra yaparken daha küçük bir enerjiye ihtiyaç duyduklarında pervanenin tam gücüne ihtiyaç duymayabilirler.

Gemi tamamen ya da hemen hemen hareketsiz olduğu zaman dümen pozisyonunun pervane jeti üzerinde önemli bir etkisi vardır. Başlangıçta pervane jeti ikiye bölünmektedir. Birincisi bir tarafa ve yukarı doğru, diğeri ise diğer tarafa ve aşağıya doğru olmaktadır.

Pervane hızının ölçülmesi için önerilen mesafe pervaneden $10d_0$ uzaklıktır. Bu yaklaşım pratikte oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

Çizelge 2.1 Pervane hızı ve makine gücü (PIANC, 1997)

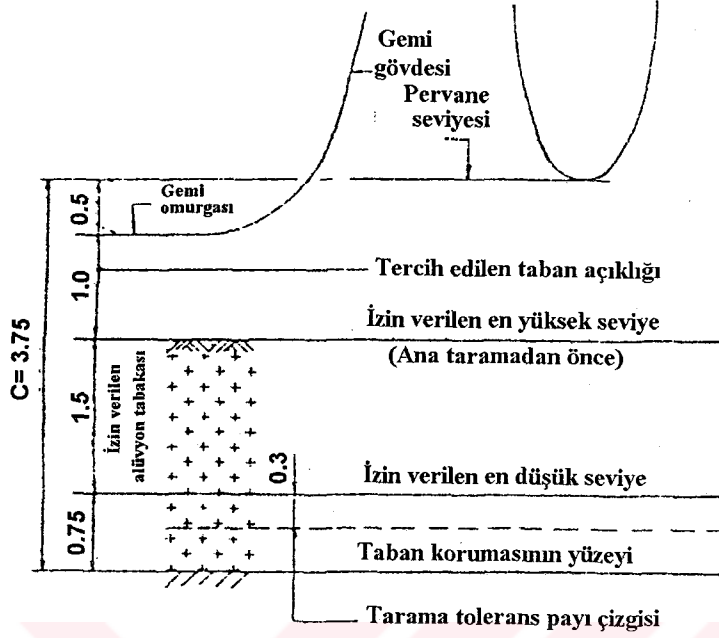
Gemi hızı	Ana pervane dönüş sayısı / dak	Güç %
Maksimum yerleştirilmiş güç	100	100
Servis hızı	85-90	51-73
Limanda içindeki manevra sahasında	57-63	18-25
	43-48	8-11
Yanaşma ve ayrılma sırasında	29-32	2-3
Yanaşma ve ayrılma sırasında	14-16	0.3-0.4

Birçok limanda yanaşma yerlerinin önündeki su yüksekliği yüksek gelgit sırasında gemilerin yanaşıp ayrılmaları için yeterli olurken, geminin yanaşma yerlerine demirleyip beklemleri sırasında düşük gelgit durumunda yetersiz olmaktadır. Bu nedenle, yanaşma yerinin hemen önündeki taban taranarak su derinliği artırılmaktadır.

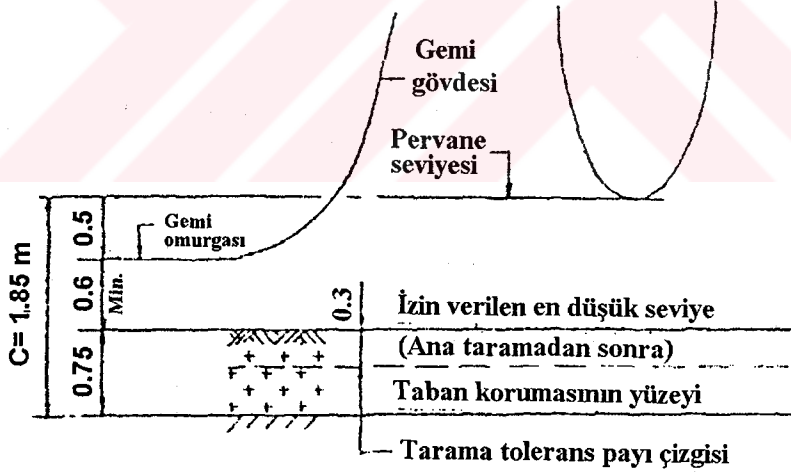
Taban koruması dikkatli bir çalışma gerektirmektedir. Taban koruma seviyesi en düşük taban kotunun altında olmalıdır. Taban korumasının izin verilen tarama seviyesinin 0.75 m altına yerleştirilmesi önerilmektedir.

Genellikle gemi kaptanları yanaşma sırasında en az 1m temiz açıklık istemektedirler. Eğer, maksimum açıklık gel-git zamanına rastladiysa 0.6m'ye kadar azaltılabilmektedir. Son

zamanlarda çok dikkatli bir yaklaşımla 0.3m'ye kadar olan açıklıklarda yanaşılabilir. Şekil 2.6 ve 2.7'de tavsiye edilen gemi omurga açıklıkları gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Maksimum taban açıklığı (PIANC, 1997)



Şekil 2.7 Minimum taban açıklığı (PIANC, 1997)

Kazıklı rıhtımların enine düşey yüzölçümü duvarla son bulunduğu yerde pervane jeti sapmaktadır. İlk olarak pervane jetinin eksendeki hızının rıhtım duvarına çarpmadan hemen önceki değeri hesaplanmalı ve bu dikkate alınarak taban hızı belirlenmelidir.

Fuehrer ve Romisch (1977) yaptıkları çalışmada, tek ana pervanenin olduğu durumda geminin düşey duvara yanaşması sırasında oluşan taban hızını incelemişlerdir. $Y/d_0 \geq 2.5$ olduğunda

taban hızının değeri arttığını belirlemişlerdir.

Eğimli yapının pervane için önemli bir engel oluşturmadığı kabul edilmektedir. Kazıklı rıhtımlarda ise kazıklar pervane jeti için bir engel oluşturmaktadır. Kazığın arkasındaki akım ise çok karmaşıktır. Kazık etrafındaki eğimli koruma yapı şeklinin jet hızı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı öne sürülmektedir.

Van der Weijde vd. (1992), Rotterdam Limanı'nda oyulma olmaması için izin verdiği maksimum hızlar aşağıdaki gibidir;

Katı kil taban	1.2 m/s
----------------	---------

İyi, gevşek yığılmış, kumlu taban	0.5 m/s
-----------------------------------	---------

PIANC'ın önerdiği maksimum hızlar (sadece şev koruması için) ise aşağıdaki gibidir;

Çimli kum	>2.0 m/s
-----------	----------

Katı kil	1.5 m/s
----------	---------

Sıkıştırılmış kil	0.8 m/s
-------------------	---------

Kumlu asfalt	3.0 m/s (7.0 m/s)
--------------	-------------------

Rıhtım altında kalan şev koruması, yapının üst gövdesi tamamlandıktan sonra erişilmesi zor olduğu için sonradan bakım gerekmeyecek şekilde inşa edilmelidir. Malzeme seçiminde ise ilk olarak enjekte yapılmamış rip-rap veya anroşman tercih edilmelidir.

Rip rap, genellikle dalga hareketinin ve akım etkilerinin düşük olduğu yerlerde, anroşman ise genellikle kıyı limanlarında kullanılmaktadır.

Rip-rap

Rip-rap'in inşaatı için gerekli olan limit, yaklaşık olarak $0.2W_{50}$ ile $4W_{50}$ arasında verilmiştir.

Eğer rip-rap çok farklı sınıflandırılmış malzemeden oluşmuş ise yerleştirme sırasında segregasyon nedeniyle büyük problemler meydana gelmektedir. Minimum kalınlık W_{50} ağırlığındaki taşın iki sıra dizilmesine eş değerdir. Çap olarak ise taşın şekline bağlı olarak 1.5 ile 1.8 D_{50} arasındadır. Eğer sedde, kum yada çakıl taşı içeriyorsa seddedeki taşların yıkanması engellemelidir.

Eğer, alt tabaka olarak geotekstil kullanılacaksa geotekstil rip-rap ağırlığının 1/10'u ile 1/15'i arasında olmalıdır.

Anroşman

Anroşman genellikle tasarım sırasında hesaplanan değerin 0.75 ve 1.25 katı ağırlıkta olmaktadır. Anroşman kaplama kalınlığının iki taş tabakasına eşdeğer olması önerilmektedir.

Birinci koruma tabakası için en küçük boyutlar anroşmanın 0.5 t ile 1 t arasında seçilmesiyle gerçekleştirilmekte ve bir alt tabaka gerektirmeden doğrudan seddeye yerleştirilebilmektedir.

Eğer, taş ocağından elde edilen taşın ağırlığı rip-rap için yetersiz ise taş, asfalt ya da beton ile enjekte edilerek koruma yapısı muhafaza edilir.

Pervane hızını hesaplamak için aşağıdaki ifade verilmiştir;

$$U_0 = c \left[\frac{P_d}{D_p^2} \right]^{1/3} \quad (2.1)$$

Burada U_0 Pervane jetinin başlangıç hızını ve P_d motor gücünü ifade etmektedir.

Pervanenin tüp içinde olması durumunda; $c=1.17$

Pervanenin tüp içinde olmaması durumunda; $c=1.48$

Pervanenin dönüş sayısı (n) biliniyorsa aşağıdaki formül de kullanılabilir;

$$U_0 = 0.95nD_p \quad (2.2)$$

d_0 jet çapı ve D_p pervane çapı olmak üzere;

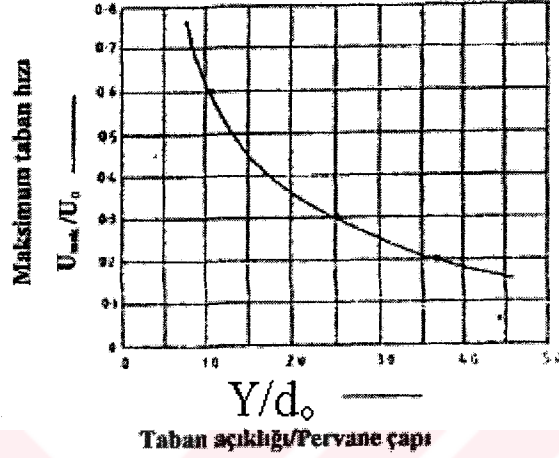
Pervanenin tüp içinde olması durumunda; $d_0 = D_p$

Pervanenin tüp içinde olmaması durumunda; $d_0 = 0.71D_p$

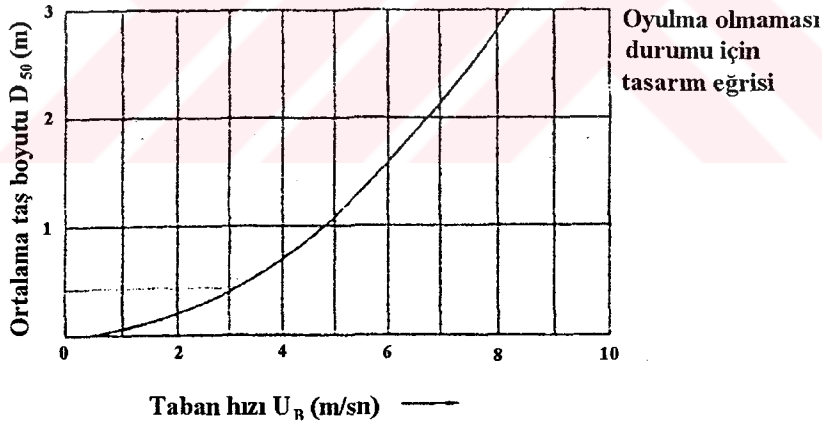
Taban korumasının pervane ekseninden olan uzaklığını bulmak için;

$$Y = C + 0.5D_p \quad (2.3)$$

formülü kullanılmaktadır. Burada C pervane kanadının uç noktasının tabana olan düşey uzaklığıdır.



Şekil 2.8 Tabandaki hız (PIANC, 1997)*



Şekil 2.9 Verilen taban hızında oyulmaya neden olmayacak taş boyutu (PIANC, 1997)**

* 1. Deniz suyu ve $W_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ ağırlığındaki taş için verilen bilgi, $W_s = 1026 \text{ kg/m}^3$, $D_{50} = U^2 / C$

2. Farklı ağırlıktaki taşlar için $(W_s - W) / 1.58W$ ile D artırılmaktadır.

3. D_{50} 'yi %50 artıran eğimli kıyı için

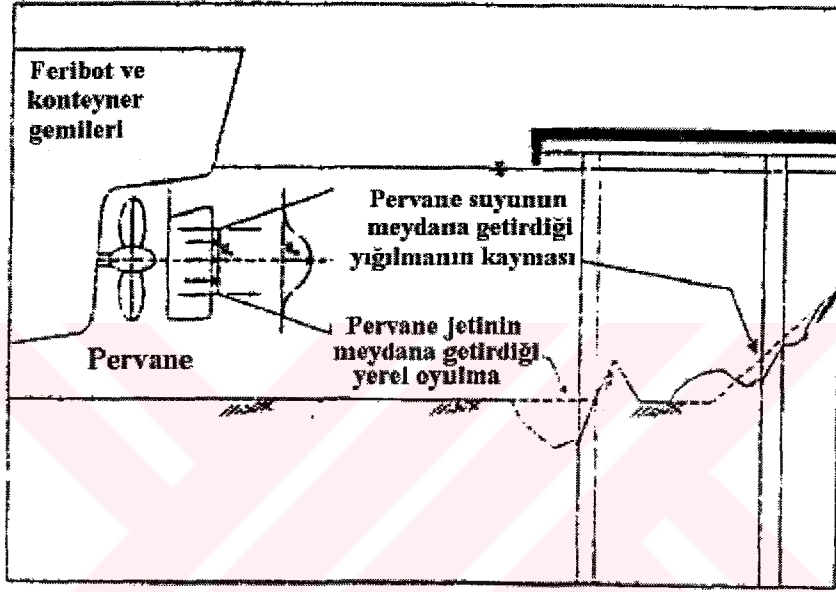
** 1. Akım engellenmesi olmadan gemi tek pervaneye sahip ve dümen sapması sıfır.

2. Dümen düşey ekseninde pervanenin kış tarafında yerleştirilmiş

Y/d_0 oranından tabandaki maksimum hız Şekil 2.8'den ve bu hız değeri kullanılarak Şekil 2.9'dan taş ağırlıkları bulunabilir.

2.2 Açık Yapılarda Erozyon Mekanizması

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi kazıklı olarak tasarlanan yanaşma yapılarında, gemi pervanelerinin yarattığı su jeti, bu kazık ya da kazık grupları etrafında erozyona neden olmaktadır.



Şekil 2.10 Pervane jetinin deniz tabanında meydana getirdiği oyulma (Chin vd., 1996)

Chin vd. (1996) yaptıkları çalışmada üç farklı boyutta tank ve yine üç farklı granülometriye sahip taban malzemesi kullanmıştır. Tankın içinde, taban malzemesinin bulunduğu kısım her iki taraftan bir rijit taban ile desteklenmiştir. Böylece oluşturulan deney sistemine yerleştirilen bir orifis yardımıyla duvar jeti modeli oluşturulmuştur. Deneyler iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada su jetinin kazık olmadan yarattığı değişimler incelenmiştir. Tabanda dengenin ortalama 36-48 saatte olduğu belirlenmiştir. İkinci aşamada ise kazık kum tabana ve tam jet eksenine yerleştirilmiştir. Jet ise hareketli bir platformun ucuna yerleştirilmiştir. Böylece jet ile kazık arasındaki uzaklık ayarlanabilmektedir. Deneyler boyunca pompa zaman zaman durdurularak oyulmadaki değişimler de ölçülmüştür. Kuyruk suyu rölatif olarak daha derin olması nedeniyle pompanın tekrar tekrar çalışıp durması, oyulma çukurunun boyutlarında bir değişim yaratmadığı belirlenmiştir. Kazık halinde oyulma derinliğinde dengeye dört saat sonra ulaşılmıştır.

Olaya etkin büyüklükler arasında yapılan boyut analizi sonucunda iki farklı oyulma derinliği tanımlanmıştır. Bunlardan birincisi, kazığın memba kısmında meydana gelen maksimum oyulma derinliği (S_s), ikincisi ise kazığın hemen önündeki maksimum oyulma (S) derinliğidir.

Denge durumu aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$\frac{S_s}{d_0} \text{ veya } \frac{S}{d_0} = f \left(Fr_d, \frac{X}{h}, \frac{D}{d_0} \right) \quad (2.4)$$

Burada;

D: Kazık çapı

d_0 : Pervane jetinin çapı

h: Su derinliği

Fr_d : Yoğunluk Froude sayısı

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

U_0 : Pervane jetinin ortalama çıkış hızı

ρ_s : Taban malzemesinin özgül kütlesi

ρ : Akışkanın özgül kütlesi

g: Yerçekimi ivmesi

X: Etki mesafesi (Duvar jetinin çıkış noktası ile kazık arasındaki yatay mesafe)

ile ifade edilmiştir.

Rajaratnam ve Berry (1977) ve Lim (1995b) yaptıkları çalışmada, (d_{50}/d_0) oranının maksimum oyulma derinliğinin denge hali üzerindeki etkisinin ihmal edilebileceğini bulmuşlardır. Tam türbülanslı akımlar için Reynolds sayısının etkisi ihmal edilmektedir. Bunların yanı sıra, bu çalışmalarda sadece batık jet hali göz önüne alınmış ve sabit ρ_s ve

σ_g 'ye sahip üniform taban malzemeleri kullanılmıştır.

Düşey bir kazık etrafında gelişen oyulma Chin vd.(1996) tarafından etkili iki temel mekanizma ile belirlenmiştir. Bunlar, kazık ve jetin difüzyon mekanizmasıdır.

Kazık mekanizması

Kazık nedeniyle jet akımının taşımsal akım ivmesinde meydana gelen değişim ve kazığın durgunluk yüzeyi boyunca yapılanan düşey akım kazık mekanizmasını oluşturmaktadır. Bu mekanizma, köprü ayaklarında oluşan yerel oyulma mekanizmasına oldukça benzemektedir. Kazık etrafındaki oyulma çukuru geliştikçe jetin düşey bileşeni dolayısıyla negatif düşey akım hızının artmasından dolayı daha fazla akımın oyulma çukuruna doğru yöneldiği belirlenmiştir. Bu olayın tam karşısı ise kazığın durgunluk yüzeyi boyunca yukarıya doğru yönlene pozitif düşey akım hızıdır.

İlk aşamada, kazık etrafındaki erozyon gelişiminde yerel ivme etkili iken, daha sonra negatif akım hızının ve onun neden olduğu atnalı vorteksin daha etkili olduğu görülmüştür. Oyulma çukuru geliştikçe, taban malzemesi vorteks mekanizması ile meydana gelen çevrintili akım yapısı nedeniyle oyulma çukurunun mansabında kum eşiğine benzeyen bir yığılma meydana getirmektedir. Denge durumuna ulaşıldığında eşik şev açısının, taban malzemesinin sakin durumundaki içsel sürtünme açısı ile aynı olduğu kabul edilmektedir.

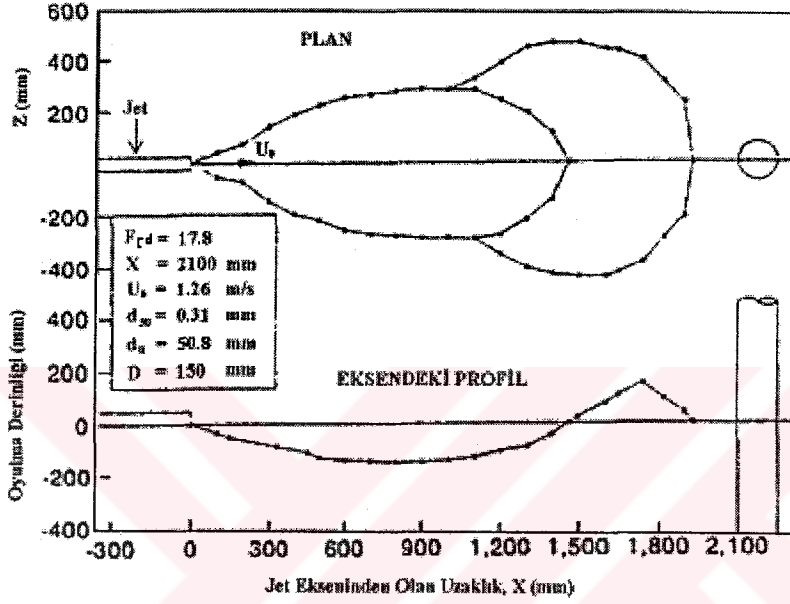
Jet difüzyon mekanizması

Oyulmaya neden olan başlıca etkenin jet hızı olduğu bilinmektedir. Dairesel türbülanslı jetin neden olduğu taban erozyonunun bir duvar jetinin kazık olmadan meydana getirdiği oyulma ile benzer olduğu belirlenmiştir. Oyulma çukurunun mansabında erozyona uğrayan katı maddenin davranışı kazık mekanizmasında tanımlanan başlangıç aşamasına benzerdir. Oyulma çukurunun denge konumuna taban kayma gerilmesinin ve türbülans çalkantılarının artık taban malzemesini hareket ettiremediği durumda ulaşılmaktadır. Bu durumda, katı madde çukurun art-iz bölgesinde artık daha fazla mansaba taşınmamaktadır.

Chin vd.(1996)'nin çalışmasından oyulma derinliğinin ilk bir saat içinde maksimum denge derinliğinin % 80'ine ulaştığı tespit edilmiştir.

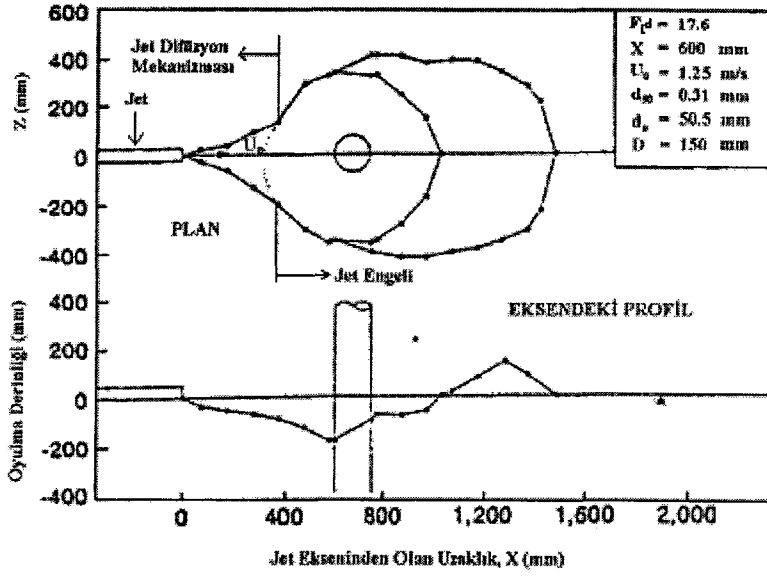
Düşük değerdeki Froude sayılarında ($Fr_d=9.87$), başlangıçta kazık önünde oyulmanın sıfır olduğu ve zaman geçtikçe erozyona uğramış taban malzemesinin kazığın mansabına geçerek yığıldığı ve çok küçük oyulmanın meydana geldiği görülmüştür. Düşük ve orta değerdeki

II. Tip oyulma profili: Bu tip oyulmada, çok büyük rölatif jet uzaklığı (X/d_o) ve/veya küçük Fr_d sayısı dikkate alınmıştır. Oyulmanın gelişimi üzerinde etkin olan büyüklük jet difüzyonudur. Kazık oyulmanın gelişimini etkilemeyecek kadar uzağa konmuştur. Böylece, oluşan profilin su jetinin kazık olmadan meydana getirdiği profile aynı olduğu ve yığılma bölgesinin birinci tip oyulma profili ile aynı şekli aldığı gözlenmiştir. Kazık önünde ise oyulma meydana gelmemiştir ($S = 0$). (Şekil 2.12)



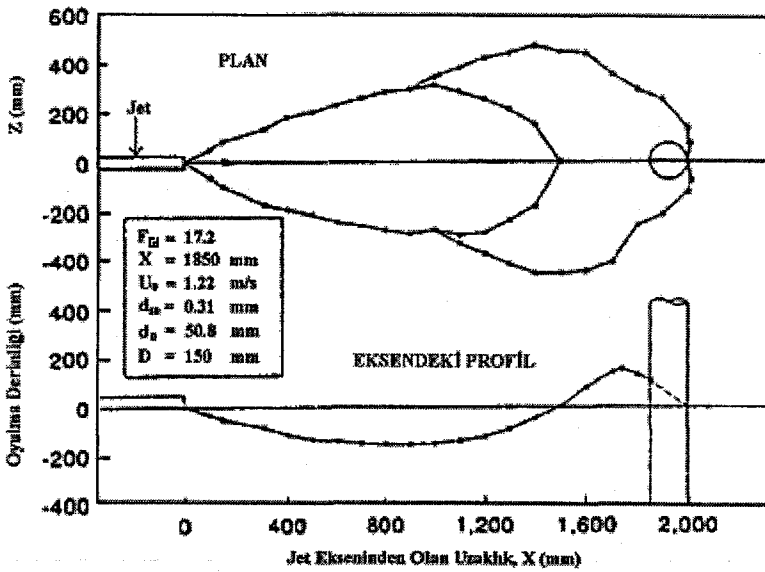
Şekil 2.12 II. Tip oyulma profili (Chin vd., 1996)

III. Tip oyulma profili: Orta değerde ($Fr_d=17.6$) Fr_d sayısı ve jetin kazığa yaklaştırılması için incelenen profildir. Bu tip oyulmada, oyulma çukurundaki kazığın ön yüzünde iki farklı bölge meydana geldiği görülmüştür. Birinci bölge, jet ekseninde kazığın önündeki belli bir bölgeye kadar yayılmaktadır. Bu bölgede erozyonun gelişimi üzerindeki en önemli etken jet difüzyon mekanizmasıdır. İkinci bölge ise kazık etrafındaki oyulma çukurudur. Burada erozyonun gelişimi üzerindeki en önemli etken ise kazık mekanizmasıdır. Maksimum denge oyulma derinliği ya kazığın memba yüzünde ($S = S_s$) ya da biraz önünde ($S < S_s$) meydana gelmiştir. (Şekil 2.13)



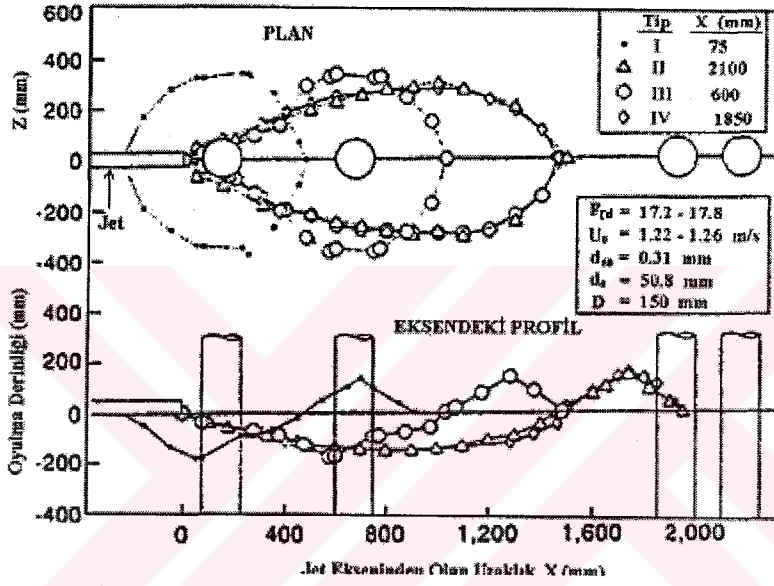
Şekil 2.13 III. Tip oyulma profili (Chin vd., 1996)

IV. Tip oyulma profili: Orta büyüklükte ($Fr_d=17.2$) Fr_d sayısı ve jetin kazıktan uzaklaştırılması için incelenen profildir. Bu tip bir oyulma, yığılma bölgesine yerleştirilmiş bir kazık ile ifade edilmiştir. Oyulma bölgesi profilinin hemen hemen ikinci tip oyulma profili ile aynı olduğu ve maksimum oyulma derinliğinin oyulma bölgesinde meydana geldiği görülmüştür. Oyulma bölgesinden aşınan taban malzemesi kazığın etrafında yığılmış ve negatif oyulma derinliğine ($S < 0$) neden olan bu yığılmanın rölatif olarak daha zayıf olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 2.14)



Şekil 2.14 IV. Tip oyulma profili (Chin vd., 1996)

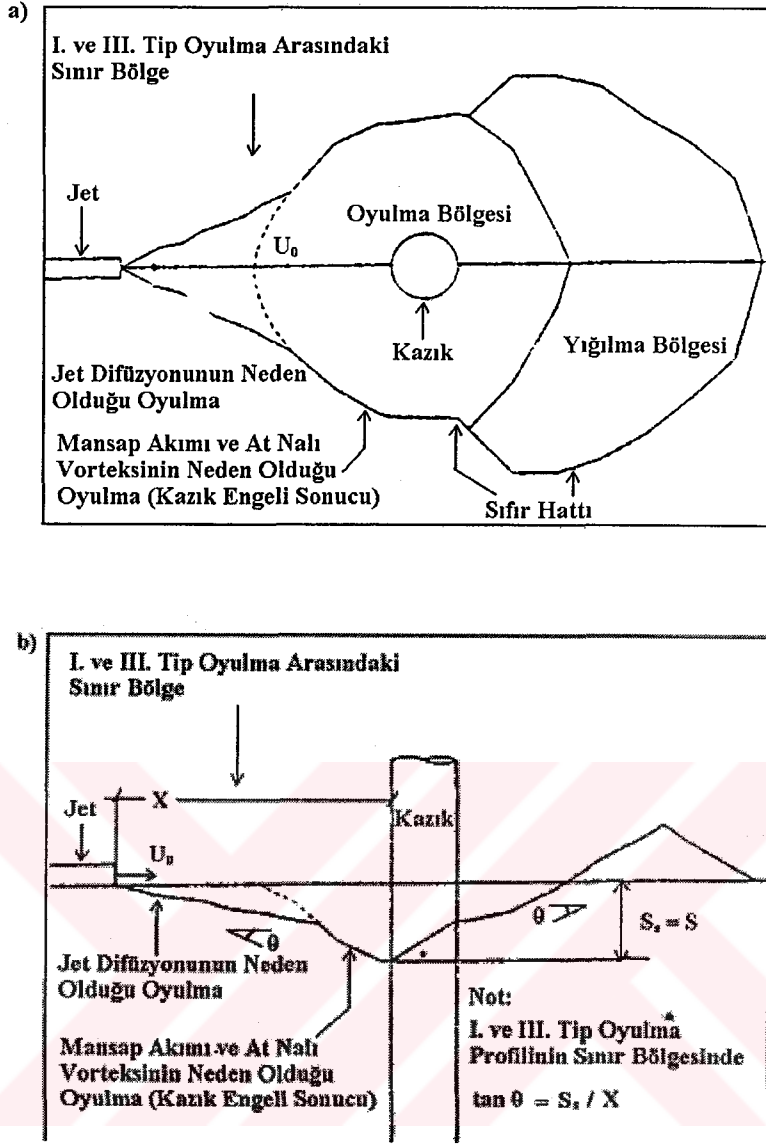
Yukarıdaki dört profil karşılaştırıldığında, II. ve IV. profillerin benzer olduğu ve her ikisinin de jet difüzyonu sonucu meydana geldiği görülmüştür. Üçüncü tip oyulmada, ilk olarak kazığın ön yüzünde jet çıkışında meydana gelen oyulma derinliğinin ikinci ve dördüncü tip oyulma ile aynı olduğu, ikinci olarak ise kazık etrafındaki gelişimin birinci tip oyulma ile aynı olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen profiller incelendiğinde, maksimum denge oyulma derinliğinin (S_s) jet uzaklığı göz ardı edildiğinde bütün profiller için aynı olduğu görülmüştür. Bütün tip oyulma profillerinin bir arada değişimleri Şekil 2.15'de gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Bütün tip oyulma profillerinin bir arada gösterilmesi (Chin vd., 1996)

Oyulma profilleri arasındaki sınır değerler kazığın konumuna göre tanımlanabilmektedir. Birinci ve üçüncü tip oyulmada sınır durumun jet eksenı boyunca jet çıkışının hemen ucundaki oyulma çukurunun konumu olduğu görülmüştür (Şekil 2.16). Jet uzaklığı ve denge oyulma derinliğinin, taban malzemesinin sakin konumdaki içsel sürtünme açısı ile orantılı olduğu da belirlenmiştir;

$$\tan \theta = S_s / X \quad (2.5)$$



Şekil 2.16 I. ve III. Tip oyulma arasındaki sınır bölge (Chin vd., 1996)

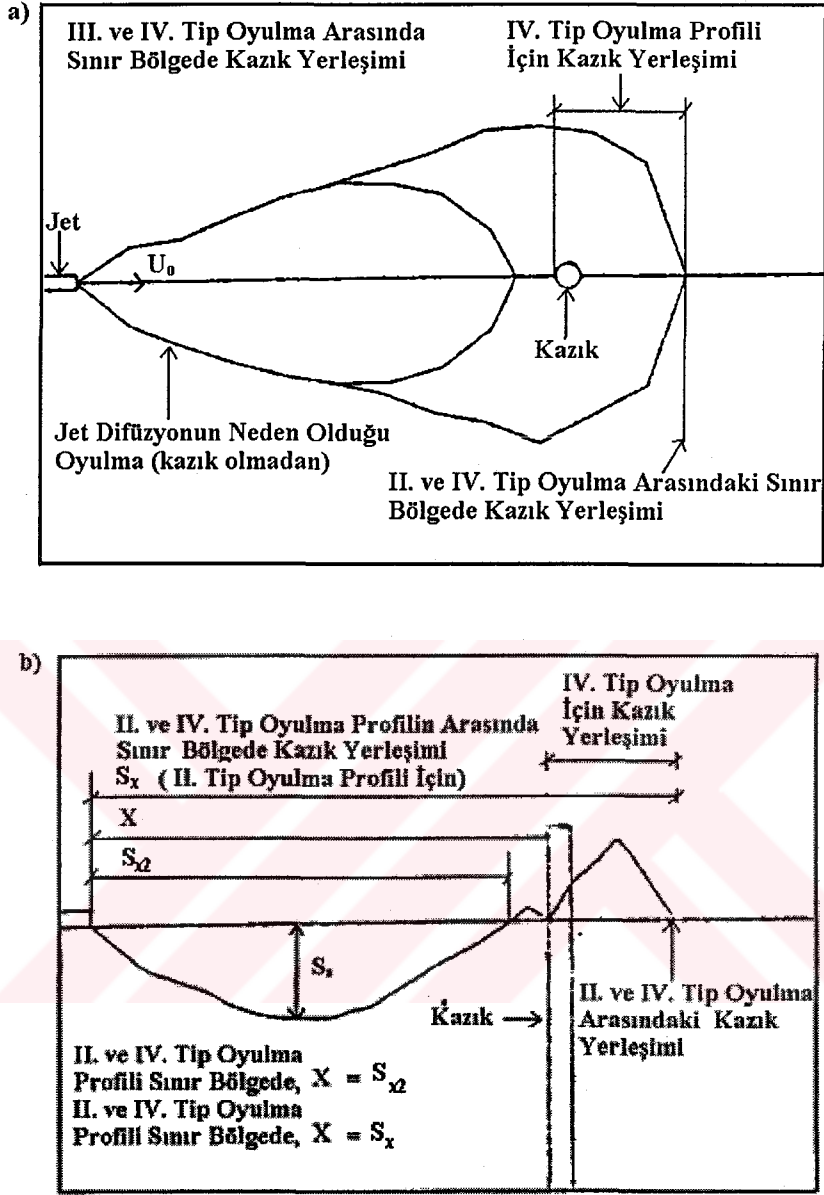
Üçüncü ve dördüncü tip oyulma profillerinin sınır değerlerinin ikinci ve dördüncü tip oyulma profilleri ile aynı olduğu gözlenmiştir. Kazığın hemen önündeki oyulmanın sıfır olduğu ($S = 0$) ve jet uzaklığının (X) yaklaşık olarak oyulma çukurunun boyuna (S_{x2}) eşit olduğu belirlenmiştir (Şekil 2.17).

$$X \approx S_{x2}$$

(2.6)

Bu sınırın ötesinde, $S_{x2} < X < S_x$, S negatif ve dördüncü tip bir oyulma profili meydana gelmektedir. Burada S_x , jetin çıkış noktası ile kazığın mansabında yığılmanın bittiği nokta

arsındaki mesafe olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.17.b).



Şekil 2.17 II. ve IV. Tip oyulma arasındaki sınır bölge (Chin vd., 1996)

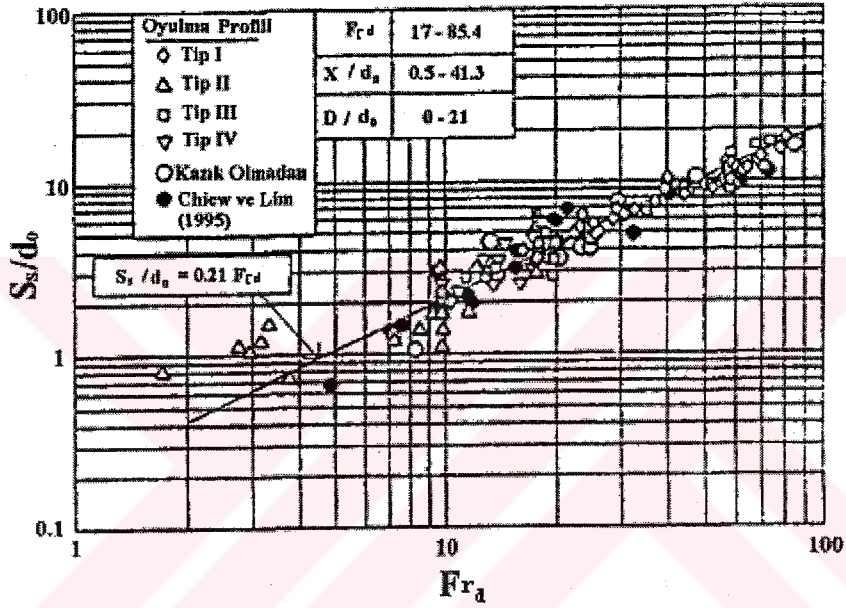
İkinci ve dördüncü tip oyulma profili ise yığılma bölgesinin tam dışına kazığın yerleştirilmesi durumunda ($S = 0$) oluşmaktadır. Bu sınır değer için jet uzaklığı yaklaşık olarak S_x 'y eşit alınmıştır.

$$X \approx S_x$$

(2.7)

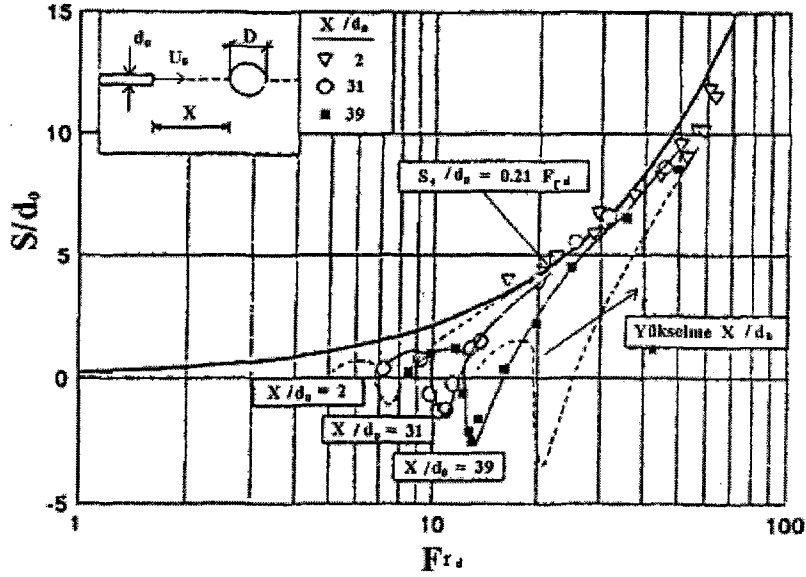
Fr_d 'nin S_s/d_o üzerindeki etkisi, X/d_o ($= 0.5 - 41.3$) ve D/d_o ($= 0 - 21$) oranlarının alt ve üst sınırları dikkate alınarak belirlenmiştir (Şekil 2.18). Buradan, X/d_o ve D/d_o oranlarının maksimum denge oyulma derinliği üzerindeki etkisinin çok küçük olduğu ve bu iki ifadenin S_s/d_o üzerinde hiçbir sistematik etkisinin olmadığı görülmüştür. S_s/d_o ile Fr_d arasındaki ilişki, $r^2 = 0.89$ olan korelasyon katsayısı ile matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmiştir;

$$S_s/d_o = 0.21 Fr_d \quad (2.8)$$

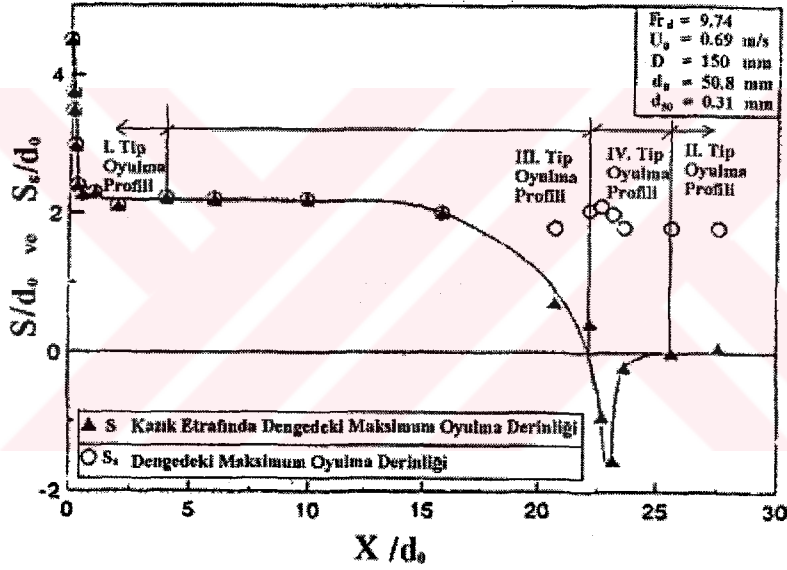


Şekil 2.18 S_s/d_o 'ın Fr_d ile değişimi (Chin vd., 1996)

Bunun dışında Fr_d 'nin ve X/d_o 'ın S_s/d_o üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Şekil 2.19). Belirli bir X/d_o değeri için S_s/d_o oranı Fr_d sayısı gibi sıfırdan başlayarak yükselmiştir. Biraz daha büyük bir Fr_d sayısı için S_s/d_o negatif hale geçmiştir. Daha büyük bir Fr_d sayısı için S_s/d_o artarak tekrar pozitif hale geçmiştir.



Şekil 2.19 Farklı X/d_0 değerleri için S/d_0 'ın Fr_d ile değişimi (Chin vd., 1996)

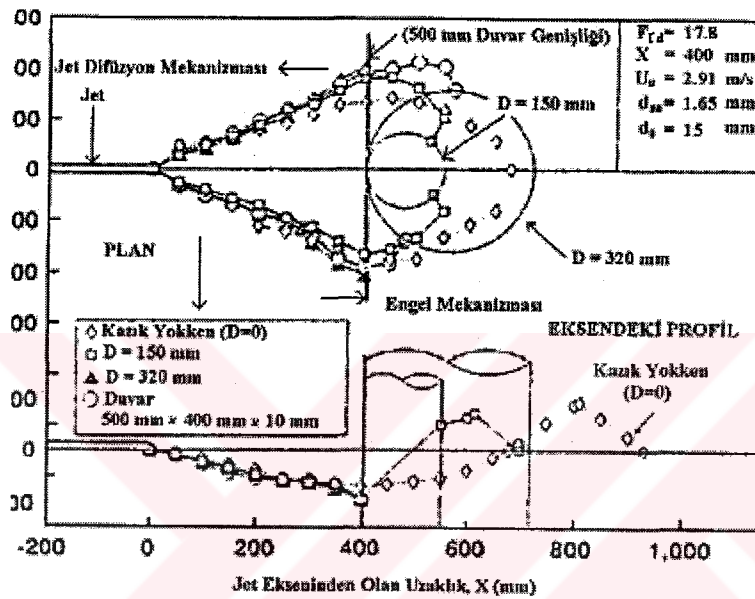


Şekil 2.20 S/d_0 ve S_s/d_0 'ın X/d_0 ile değişimi (Chin vd., 1996)

X/d_0 'ın S_s/d_0 ve S/d_0 üzerindeki etkisi sabit bir Fr_d ve D/d_0 için incelenmiştir (Şekil 2.20). $X/d_0 \leq 16$, $S = S_s$ ve jet uzaklığının başlangıçtaki oyulma derinliğinden bağımsız olduğu durum için oyulma birinci ve üçüncü tip oyulmadaki gibi olmuştur. $X/d_0 \leq 0.5$ için jet kazığa çok yakındır ve jet akımının kazık etrafından ayrılmasına neden olmuştur, bu durumda yüksek konvektif ivmeye ve önemli miktarda artan oyulma derinliğine sebep olmuştur. $X/d_0 > 16$ olduğu durumda, S_s/d_0 ve S/d_0 oranları artık eşit olmamaktadır ve $X/d_0 > 26$ olduğunda ise $S/d_0 = 0$ olmuştur.

Farklı kazık çaplarında düz bir taban için denge oyulma profili ve kazık çapı sonsuza giderken kazık için limit durum belirlenmiştir (Şekil 2.21). D/d_0 oranı büyüdükçe, taban malzemesinin

kazığın arkasına yığılması ile birlikte oyulma derinliği çapraz doğrultuda da gelişmiştir. Erozyonun başlıca nedeninin jet akımının difüzyon bölgesindeki boylamsal hızı olduğu belirlenmiştir. Jet yönündeki türbülanslı jet hızının Gauss olasılık fonksiyonuna uygun olduğu görülmüştür. Daha yüksek hızlar jet eksenine doğru yoğunlaşmış ve hızın sıfır olduğu nokta jet saçılımı olarak tanımlanmıştır. Kazığın çapı jet saçılımını aştığında, durgunluk basınç gradyanının şiddeti mansabın değişmeden kalmasına neden olmaktadır. Kazık jetten alınabilecek bütün enerjiyi engellediği için S/d_0 oranı sabit kalmıştır.



Şekil 2.21 Farklı kazık çapları için oyulma çukurunun eksenî boyunca oyulma profili

ve sıfır çizgisi (Dış taraftaki yığılma bölgesi gösterilmemiştir.) (Chin vd., 1996)

Chin vd. (1996)'nin deney sonuçları Fr_d ve X/d_o oranının, dengedeki oyulma profilinin tipini belirlemek için en önemli iki parametre olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, dengede oyulma profili kabaca bu iki parametre ile sınıflandırılabilmiştir. (Şekil 2.22)

I ve III arasındaki sınır değeri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

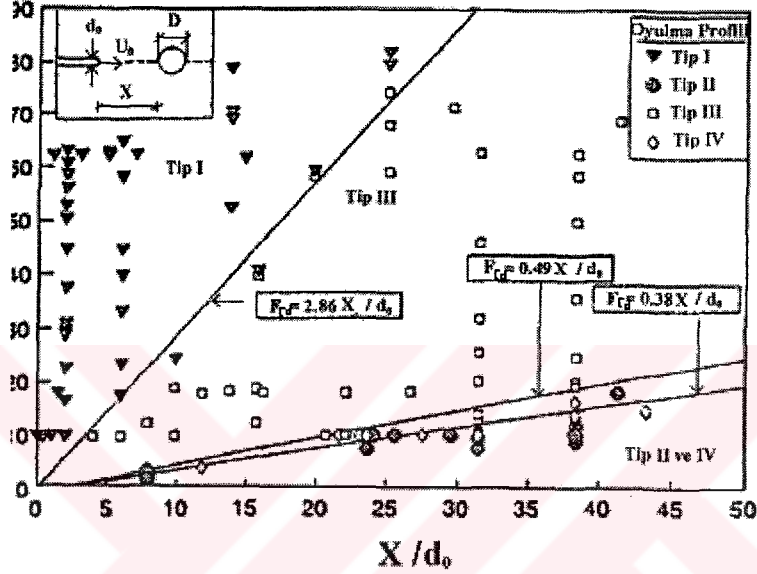
$$\text{Fr}_d = 2.86 X/d_o \quad (2.9)$$

III ve IV arasındaki sınır değeri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

$$Fr_d = 0.49 X/d_0 \quad (2.10)$$

II ve IV arasındaki sınır değeri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

$$Fr_d = 0.38 X/d_0 \quad (2.11)$$



Şekil 2.22 Fr_d ve X/d_0 büyüklükleri ile denge oyulma çukurunun sınıflandırılması

(Chin vd., 1996)

Chin vd. (1996)'nin deneyleri sonucunda düşey bir kazığın etrafındaki oyulmaya, kazık mekanizmasının ve jet difüzyon mekanizmasının neden olduğu bulunmuştur. Oyulma mekanizmasının, yerel akım ivmesi, mansap akımının şekillenmesi ve kazık etrafındaki vorteksler tarafından geliştirildiği görülmüştür. Difüzyonun neden olduğu oyulmanın taban kayma gerilmesi ve türbülans çalkantılarının birlikte etkisiyle meydana geldiği belirlenmiştir. Bu iki mekanizma karşılaştırıldığında denge oyulma profili dört farklı tipe ifade edilebilmiştir.

Chin vd. (1996)'nin çalışmasında, Fr_d 'nin dengede oyulma derinliği (S_s/d_0) üzerinde en etkin parametre olduğu görülmüş ve aralarındaki ilişki $S_s/d_0 = 0.21 Fr_d$ şeklinde ifade edilmiştir. Kazık önündeki maksimum oyulma derinliğinin Fr_d ve X/d_0 oranına bağlı olarak önemli

miktarda değiştiği görülmüştür. D/d_0 oranının S_s/d_0 ve S/d_0 üzerindeki etkisinin ihmal edilebileceği belirlenmiştir. Yukarıda bulunan üç sınır değer, dengede oyulma profilinin farklı tiplerini tanımlamaktadır.

2.3 Kapalı Yapılarda Erozyon Mekanizması

Gemi pervanelerinin rıhtım duvarları önünde neden olduğu oyulma ilk olarak Romisch (1975) tarafından araştırılmış. Hamill (1988) ise yaptığı kapsamlı çalışmada maksimum oyulma derinliğini belirlemiştir. Araştırmada probleme etkili değişkenleri

$$S = f(U_0, D_p, d_{50}, C, \rho, g, \Delta\rho, \nu) \quad (2.12)$$

ile vermiştir. Burada,

U_0 : Pervane jetinin çıkış hızı

D_p : Pervane çapı

d_{50} : Taban malzemesinin medyanı

C : Pervanenin uç noktası ile deniz tabanı arasındaki mesafe

ρ : Akışkanın özgül kütlesi

g : Yerçekimi ivmesi

$\Delta\rho$: Akışkan ile taban malzemesinin özgül kütleleri arasındaki fark

ν : Kinematik viskozite

Blaauw (1978), su jeti hızının,

$$U_0 = nD_p \sqrt{C_t} \quad (2.13)$$

eşitliğinden bulunabileceğini öne sürmüştür. Burada,

n : Pervanenin bir dakikadaki dönüş sayısı (dev/dak)

C_p : Pervane güç katsayısı'dır.

Etkili değişkenler arasında boyut analizi uygulandığında aşağıdaki boyutsuzlar elde edilmiştir;

$$\frac{S}{D_p} = f_1 \left[\frac{U_0}{\sqrt{g d_{50} \frac{\Delta \rho}{\rho}}}, \frac{V_0 D_p}{\nu}, \frac{D_p}{d_{50}}, \frac{C}{d_{50}} \right] \quad (2.14)$$

Burada,

$$Fr_d = \frac{U_0}{\sqrt{g d_{50} \frac{\Delta \rho}{\rho}}} \quad ; \quad \text{Yoğunluk Froude Sayısı} \quad (2.15)$$

$$Re = \frac{U_0 D_p}{\nu} \quad ; \quad \text{Pervane jetinin Reynolds Sayısı} \quad (2.16)$$

olarak tariflenmiştir. Rajaratnam (1981) $Re > 10^4$ için ve Hamill (1988) Reynolds Sayısının 1.2×10^5 ile 2.3×10^5 arasında olduğu değerler için yaptıkları çalışmada viskozitenin etkisini araştırmışlar ve her durumda ihmal edilebileceğini belirlemişlerdir. Böylece maksimum oyulma derinliği aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

$$\frac{S}{D_p} = f_2 \left[Fr_d, \frac{D_p}{d_{50}}, \frac{C}{d_{50}} \right] \quad (2.17)$$

Oyulma derinliğinin şu değişkenlere bağlı olduğu belirlenmiştir;

1. Yoğunluk Froude Sayısı'na
2. Pervane çapının taban malzemesi boyutuna oranına
3. Pervane ile deniz yatağı arasındaki açıklığın taban malzemesi boyutuna oranına

Hamill (1988), S'i zamanın logaritmik bir fonksiyonu olarak ifade etmiştir;

$$S = \Omega [\ln(t)]^\Gamma \quad (2.18)$$

Burada t, saniye biriminde zamanı göstermektedir.

Oyulma derinliği, yukarıdaki ifadeden aşağıdaki eşitliklerde birimler mm olarak dikkate alınmak suretiyle hesaplanmaktadır;

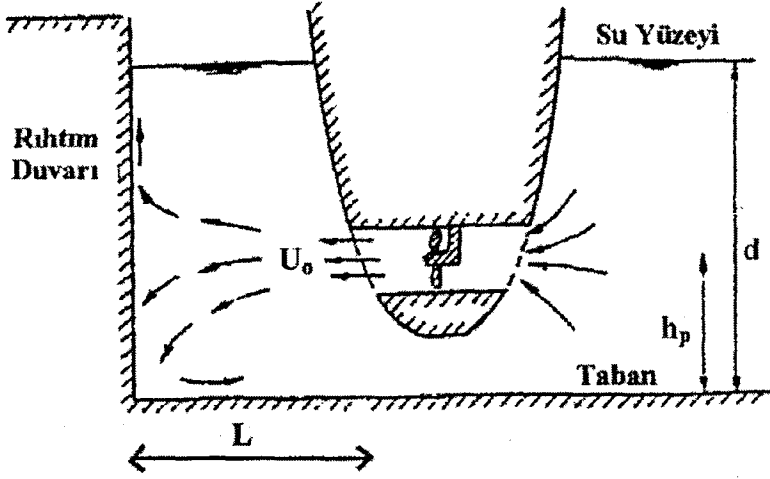
$$\Gamma = 4.113 \left(\frac{C}{d_{50}} \right)^{0.742} \left(\frac{D_p}{d_{50}} \right)^{-0.522} Fr_d^{-0.682} \quad (2.19)$$

ve

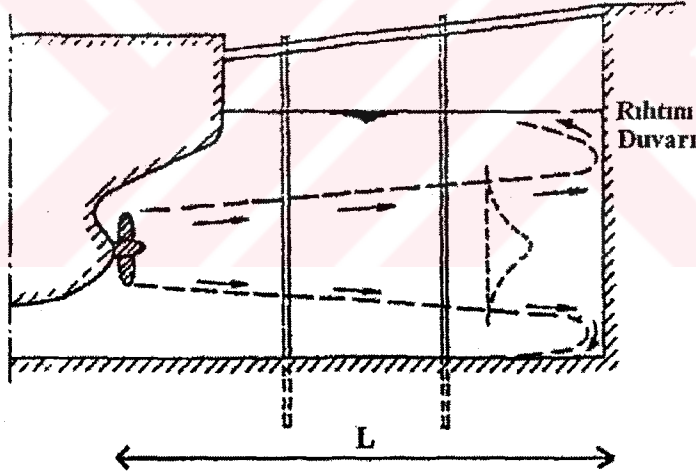
$$\Omega = 6.9 \times 10^{-4} \left(\frac{C}{d_{50}} \right)^{-4.63} \left(\frac{D_p}{d_{50}} \right)^{3.58} Fr_d^{4.535} \quad (2.20)$$

Bu eşitlikler pratik uygulamalarda da oyulma derinliğini belirlemede kullanılmaktadır. Gemiler rıhtım duvarının yanına ya da ro-ro kapak atma rampası duvarıyla yüz yüze gelecek şekilde demirleyebilmektedir. Bu durumda ana pervanenin oluşturduğu su jeti doğrudan duvara etmektedir. Yanaşma yeri Şekil 2.23.a'da görüldüğü gibi bir duvarla birlikte açık kazık olarak ya da palplanş olarak inşa edilebilmektedir. Şekil 2.23.b'de ise baş taraftaki pervane suyunun rıhtım duvarından sapması görülmektedir, bu durum da oyulma derinliğinin artmasına neden olmaktadır.

Bu ifadelerde, U_0 (mm/s) ve buna karşın D_p , d_{50} , C (m) olarak dikkate alınmıştır.



a- Kıç tarafındaki pervane suyunun tabanda ve rıhtım yapısında sapması



b- Baş tarafındaki pervane suyunun sapması

Şekil 2.23. Rıhtım duvarlarında erozyon (Hamill vd., 1999)

Hamill vd. (1999) 'nin yapmış olduğu çalışmada (2.17) ve (2.18) eşitlikleri ile ince ve kaba kumdan oluşan taban üzerinde iki pervanenin kullanıldığı deney programını esas alarak yapmışlardır. Jet Reynolds Sayısı 7.1×10^4 ile 23×10^4 arasında hesapladığından viskozitenin etkileri ihmal edilmiştir.

Düşey rıhtım duvarı, analizin pervane ile rıhtım duvarı arasındaki mesafenin etkilerini de

içermesi için farklı uzaklıklara yerleştirilmiştir. Bu çalışmada toplam 19 duvar konumu dikkate alınmıştır. (Çizelge 2.2)

Çizelge 2.2 - Hamill vd. (1999)'nin deney parametreleri

Pervane No	D_p (m)	D_{50} (mm)	C (mm)	rpm	Fr_d	Re (10^4)
1	0.061	0.76 - 1.46	45 - 145	1400 - 2200	8.55 - 18.73	7.1 - 11.2
2	0.154	0.76 - 1.46	50 - 150	400 - 800	5.55 - 15.46	11.6 - 23
3	0.076	1.46 - 3.00	95 - 150	1000 - 2500	7.97 - 11.02	7.11 - 17.8
4	0.131	1.46 - 3.00	60 - 150	350 - 800	6.08 - 8.33	8.6 - 19.7

Hamill vd. (1999) çalışmalarında rıhtım duvarında erozyon mekanizmasını iki aşamada açıklamıştır, bunlar;

- 1) Sınırlanmamış pervane suyunun neden olduğu oyulma çukuru
- 2) Sınırlanmış pervane suyunun neden olduğu oyulma çukuru

Sınırlanmamış pervane suyunun neden olduğu oyulma çukuru

Gemi pervanesinin neden olduğu su jeti tabanı etkilemektedir ve rıhtım duvarı olmaksızın da erozyona neden olmaktadır. Rajaratnam (1981) ve Hamill (1988)'in araştırmaları esas alındığında, oyulmanın gelişiminin zamanla orantılı olduğu görülmektedir. Bu nedenle, deniz tabanında meydana gelen oyulma için

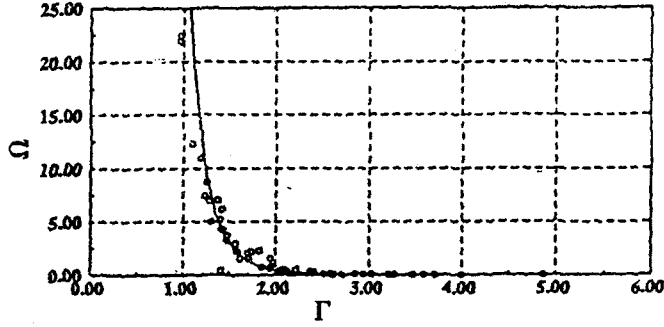
$$S = k\Omega [\ln(t)]^F \quad (2.21)$$

ifadesi geçerlidir.

Zamanın fonksiyonu olmasına rağmen oyulma derinliğinin asimptotik konuma ulaştığı bulunmuştur. Oyulma derinliğinin asimptotik konumu, derinlikteki değişimin fark edilmediği durum olarak tanımlanmıştır. Oyulma derinliği %10 ile doğru tahmin edildiğinde iyi bir hesaplamanın yapıldığı düşünülmektedir.

Ω ve Γ arasındaki ilişki şu şekilde verilmiştir;

$$\Omega = \Gamma^{-6.38} \quad (2.22)$$



Şekil 2.24 Ω ve Γ değerlerinin deneysel sonuçlarının karşılaştırılması (Hamill vd., 1999)

Şekil 2.24’de Γ ile Ω ’nin değişimi görülmektedir. Sınırlanmamış halde Γ aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir;

$$\Gamma = \left(\frac{C}{d_{50}} \right)^{0.94} \left(\frac{D_p}{d_{50}} \right)^{-0.48} Fr_d^{-0.53} \quad (2.23)$$

Pratik nedenlerden dolayı bu eşitliklerin, pervanenin deniz tabanına olan uzaklığının pervane çapının 0.5-2.5 katı olduğu aralıkta kullanılması kabul edilmiştir.

Sınırlanmamış erozyonun dengeye ulaşmış profilindeki maksimum oyulma noktasının pervaneye olan uzaklığının birçok faktöre bağlı olduğu belirtilmiştir. Bunlar içinde en önemli olanları, su jetinin çıkış hızı, taban malzemesinin büyüklüğü ve pervane ile taban arasındaki mesafedir. Her bir deney için dengeye ulaşmış profildeki maksimum oyulma noktası ile pervane arasındaki mesafe X_{mu} (m) ile ifade edilmektedir.

$$X_{mu} = Fr_d^{0.94} C \quad (2.24)$$

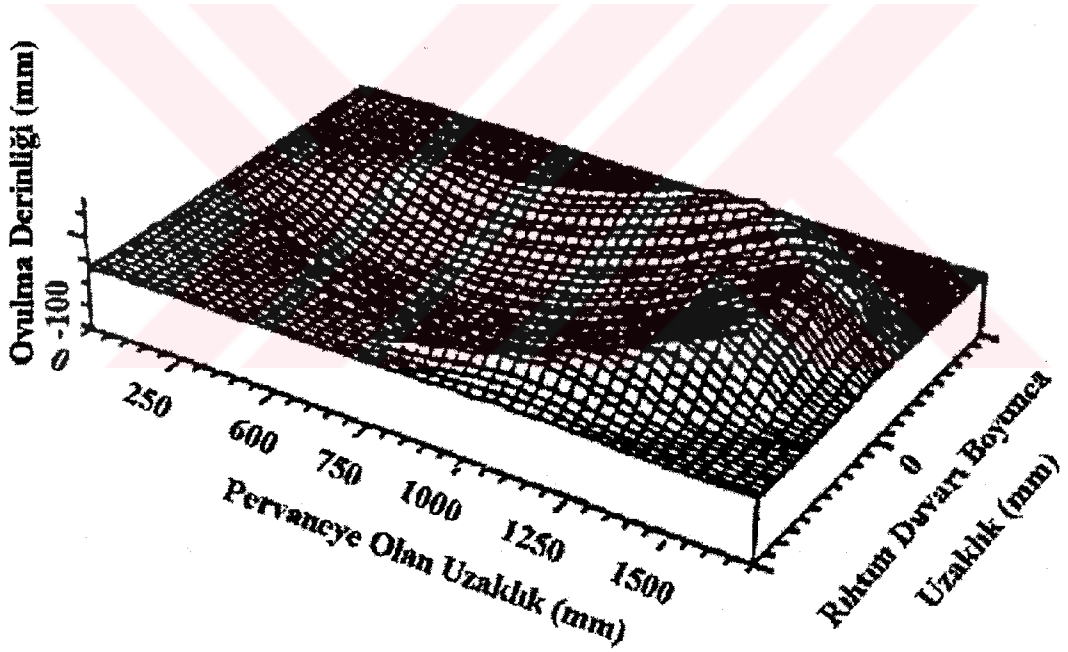
Burada;

Fr_d : Yoğunluk Froude sayısı

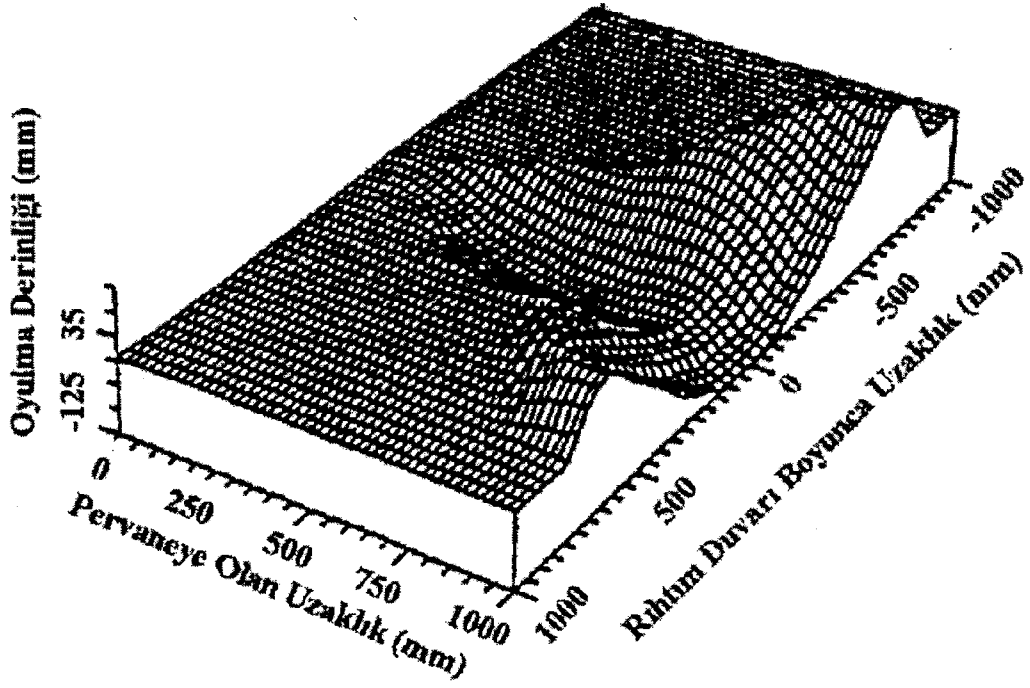
C : Pervanenin açıklık mesafesi'dir.

Sınırlanmış pervane suyunun neden olduğu oyulma

Su jetinin sınırlanması ve sınırlanmaması sonucu oluşan oyulma şekilleri farklı olmaktadır. Rıhtım duvarının mevcut olmadığı sınırlanmamış oyulmada, pervane eksenine göre bir simetrisinin olduğu ve pervanenin başlangıç erozyonunun oyulma çukurunun sonunda yığılmaya neden olarak bir tepe oluşturduğu görülmüştür (Şekil 2.25). Düşey rıhtım duvarı ile sınırlanmış oyulmada başlangıç aşamasındaki oyulma profili sınırlanmamış durum ile benzer olmaktadır. Daha sonra oyulma çukuru duvarın önünde genişlemiş, jet merkezinin her iki tarafında aşınmış taban malzemesi yanlarda birikerek tepe oluşturmuştur (Şekil 2.26). Bütün deneylerde maksimum oyulma derinliği jet ekseninde meydana gelmiştir.

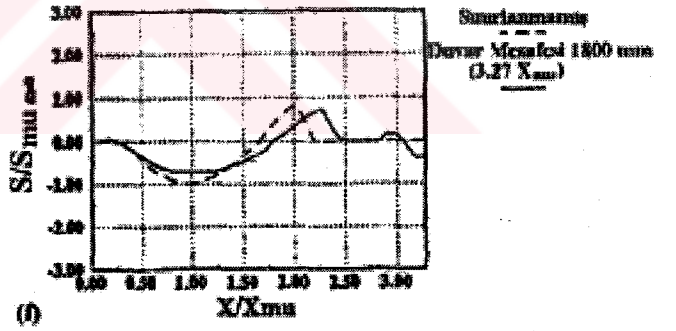
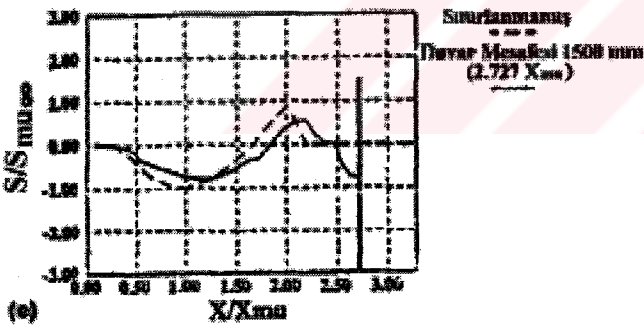
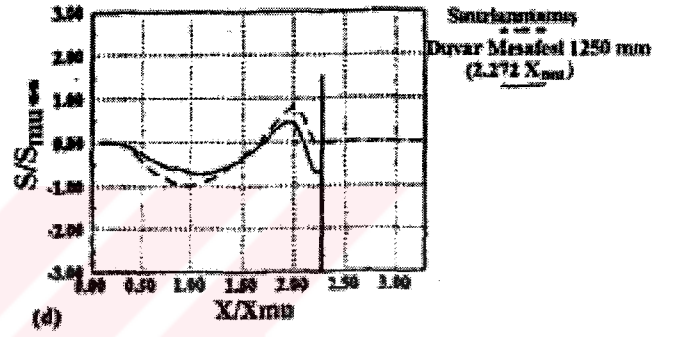
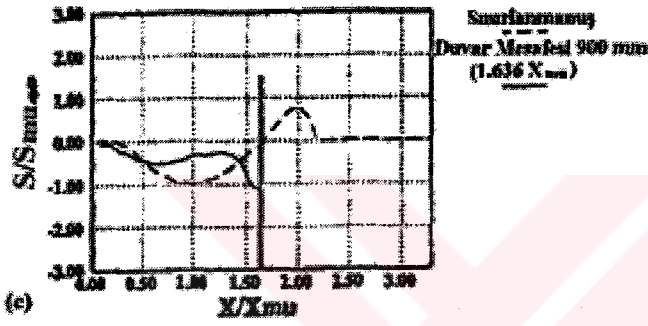
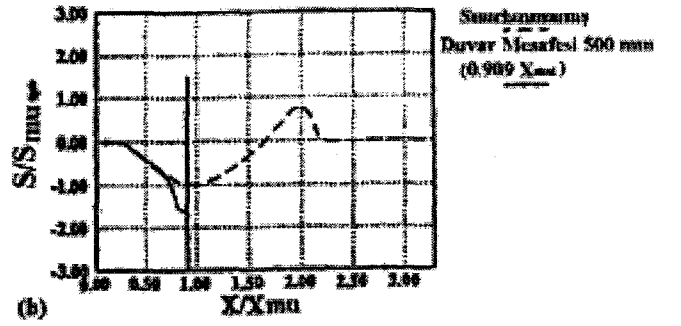
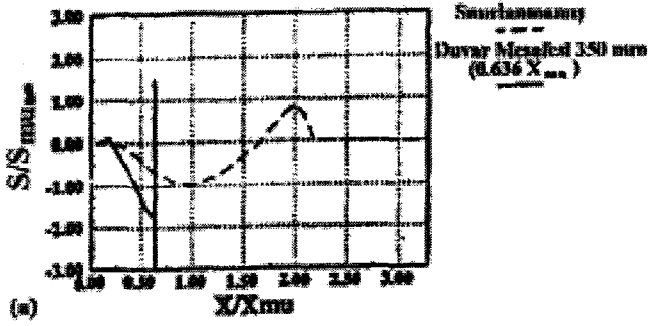


Şekil 2.25 Pervane suyunun taban üzerinde meydana getirdiği oyulma profilinin izometrik görünüşü (Hamill vd., 1999)



Şekil 2.26 Rıhtım duvarındaki oyulmanın izometrik görünüşü (Hamill vd., 1999)

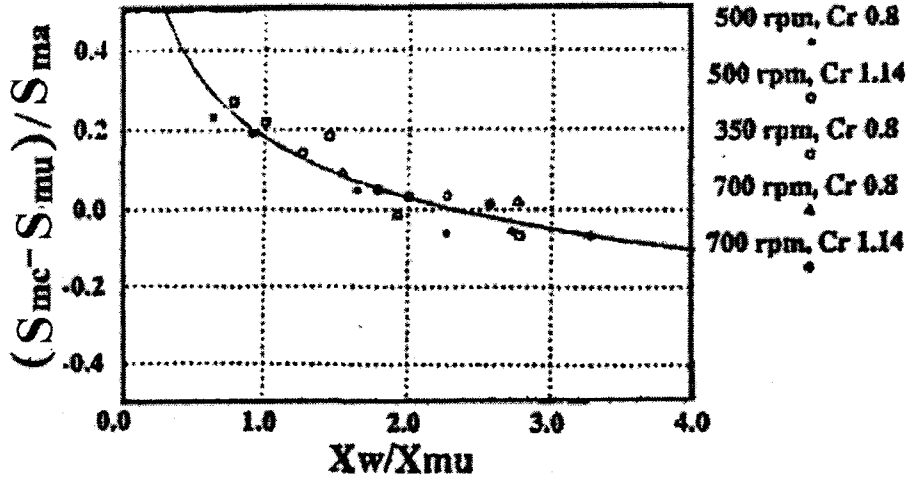
Oyulma profilinin sınırlanmamış durum ve sınırlanmış durumdaki duvar açıklığı ile olan ilişkileri araştırılmıştır. Sınırlanmış durumda duvar, pervaneden $0.636X_{mu}$ ile $3.27X_{mu}$ değerleri arasında altı farklı konumda yerleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki grafikler elde edilmiştir (Şekil 2.27). Dengeye ulaşmış oyulma profilindeki oyulma değeri S_{mco} boyutsuz olarak ifade edilmiştir. Sınırlanmamış profildeki maksimum oyulma değeri ise S_{muco} olarak belirlenmiştir. X_{mu} değeri (2.18) ifadesi kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.27 Sınırlanmış ve sınırlanmamış durumdaki taban profillerinin karşılaştırılması

(Hamill vd., 1999)

Araştırmalarda kullanılan pervanelerden biri için Şekil 2.28'de görülen grafik çizilmiştir. Böylece, boyutsuz terimler arasındaki ilişki bulunmuştur.



Şekil 2.28 Farklı açıklık oranları ve dönüş sayısı için oyulma verilerinin değişimi (Hamill vd., 1999)

Buna göre aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir;

$$\left(\frac{S_{mc\infty} - S_{mu\infty}}{S_{ma\infty}} \right) + 1 = 1.18 \left(\frac{X_w}{X_{mu}} \right) - 0.2 \quad (2.25)$$

Burada;

$S_{mc\infty}$: Asimptotik konumda sınırlanmış maksimum oyulma derinliği (mm)

$S_{mu\infty}$: Asimptotik konumda sınırlanmamış maksimum oyulma derinliği (mm)

$S_{ma\infty}$: Asimptotik konumda pervanenin düşey eksenine rölatif olarak ölçülmüş sınırlanmamış maksimum oyulma derinliği (mm)

X_w : Pervanenin rıhtım duvarına uzaklığı (m)

X_{mu} : Dengedeki sınırlanmamış oyulma profilinde maksimum oyulma noktasının pervaneye uzaklığı (m)

Yukarıdaki eşitlik duvarın önündeki pervane suyuna bağlı olarak dengedeki profilde maksimum oyulma derinliğindeki değişimi belirlemek için kullanılabilir. Bu nedenle, X_{mu} (2.22) ve $S_{mu\infty}$ (2.18)-(2.20)'u belirlemek için sınırlanmamış oyulmaya ait denklemler kullanıldığında, düşey rıhtım duvarının bulunduğu yerdeki maksimum oyulma derinliği belirlenebilmektedir.

Sonuç olarak pervane suyunun hareketli tabanda hiçbir engel bulunmadığı durumda ve düşey rıhtım duvarının bulunduğu durumda farklı şekiller oluşturduğu belirlenmiştir.

Oyulma derinliğinin bilinmesi, rıhtım temel derinliğinin uygun bir şekilde dizayn edilmesini mümkün kılmaktadır. Böylece, liman işletme süresince meydana gelebilecek zararların azalması sağlanmaktadır.

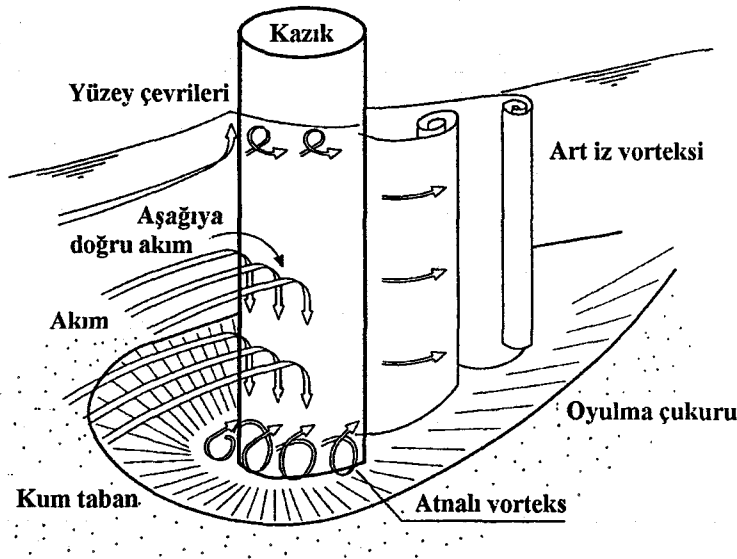
2.4 Üniform Akım Alanında Tek Kazık Etrafındaki Yerel Erozyon (Van Rijn., 1998)

Oyulma genellikle hareketli taban ve temiz su oyulması olarak ikiye ayrılır. Birinci tip oyulma mimbada katı madde hareketi olması durumu ile ($U > U_{kr}$), ikincisi ise katı madde hareketi olmaması durumu ile ilgilidir ($U < U_{kr}$).

Oyulmanın gelişiminde etkili başlıca nedenler;

Akım alanında yerel bozulma

Enkesitteki yerel daralma



Şekil 2.29 Kazık çevresindeki akım modeli ve oyulma (Van Rijn, 1998)

Silindirik kazığın etrafındaki akım modeli Şekil 2.29'da görüldüğü gibidir;

Kazığın ön tarafında gelişen yüzey çevri boruları

Kazığın ön tarafında aşağıya doğru olan akım

Ayrılma bölgesindeki vorteks saçılımı

Kazığın mansabındaki art iz bölgesi

Oyulma bölgesi atnalı vortekslerin meydana gelmesi ile gelişir. Arazi laboratuvar verilerinin analizine göre Breusers vd. (1977) üniform taban malzemesi içine yerleştirilen tek kazık için aşağıdaki ifadeyi vermiştir,

$$S/D = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \quad (2.26)$$

Burada;

S = Maksimum oyulma derinliği

D = Kazığın akıma dik kenarının genişliği (Dairesel kazıklar için kazık çapı)

α_1 = U/U_{kr} 'ğe bağlı katsayı

α_2 = h/D 'ye bağlı katsayı

α_3 = Kazığın şekline bağlı katsayı

α_4 = Akımın atak açısına bağlı katsayı

U = Kazığın membasındaki kesitsel ortalama hız

h = Akım derinliği (memba)

$U/U_{kr} < 0.5$ için $\alpha_1 = 0$

$U/U_{kr} = 0.5-1.0$ için $\alpha_1 = 2(U/U_{kr}-0.5)$

$U/U_{kr} \geq 1$ için $\alpha_1 = 1$

$\alpha_2 = 2 \tanh(h/D)$ için $h/D > 3$ iken $\alpha_2 = 2$

$\alpha_2 = 1.5$ için $h/D < 1$

Dairesel kazıklar için $\alpha_3 = 1$

Aerodinamik kazıklar için $\alpha_3 = 0.75$

Dikdörtgen kazıklar için $\alpha_3 = 1.3$

Kazığa dik akımlar için $\alpha_4 = 1$

Atak açısı $\leq 15^\circ$ ve (Uzunluk / Genişlik) = 4 için $\alpha_4 = 1.3$

Atak açısı $\leq 15^\circ$ ve (Uzunluk / Genişlik) = 8 için $\alpha_4 = 2$

Yüksel (1988) tek bir kazık etrafındaki maksimum denge oyulma derinliği için aşağıdaki ifadeyi vermiştir, burada S ve D metre birimindedir.

$$S = 0.61D^{0.769} \quad (2.27)$$

Taban malzemesine ait granülometrinin oyulma derinliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Granülometrik değişim oyulma çukurunun en üst noktasının iri malzeme ile kapanması nedeniyle ($\sigma_s \geq 3$) oyulma derinliğini önemli miktarda azaltmaktadır (Üniform malzeme %50'den fazla).

Taban şekillerinin mevcut olması temel derinliği olması beklenen maksimum eşik yüksekliğinin 0.5 katı kadar arttırılmalıdır.

Oyulma çukurunun uzunluğu kazığın membasında 1D ve mansabında 5D kadardır. Oyulma çukuru genişliği kazığın her iki tarafında 2D civarındadır. Oyulma gelişiminin zaman süreci esas olarak yaklaşım hızına, malzeme boyutuna ve kazığın genişliğine göre değişmektedir.

Grup halindeki kazıklar birbirlerine çok yakın ise (5D-10D) daha büyük bir oyulma derinliğine neden olmaktadır. Kazıklar arasındaki mesafe azaldıkça kazık kümesi daha büyük bir etki yaratacak çapa sahip tek bir kazık gibi hareket ettiği görülmüştür.

Anroşman ile koruma yöntemlerine ilave olarak Sawicki vd. (1997) erozyona karşı geomembrane malzemeyi incelemiştir. Bu metodun diğer koruma yöntemlerine göre daha ekonomik olduğunu iddia etmişlerdir.

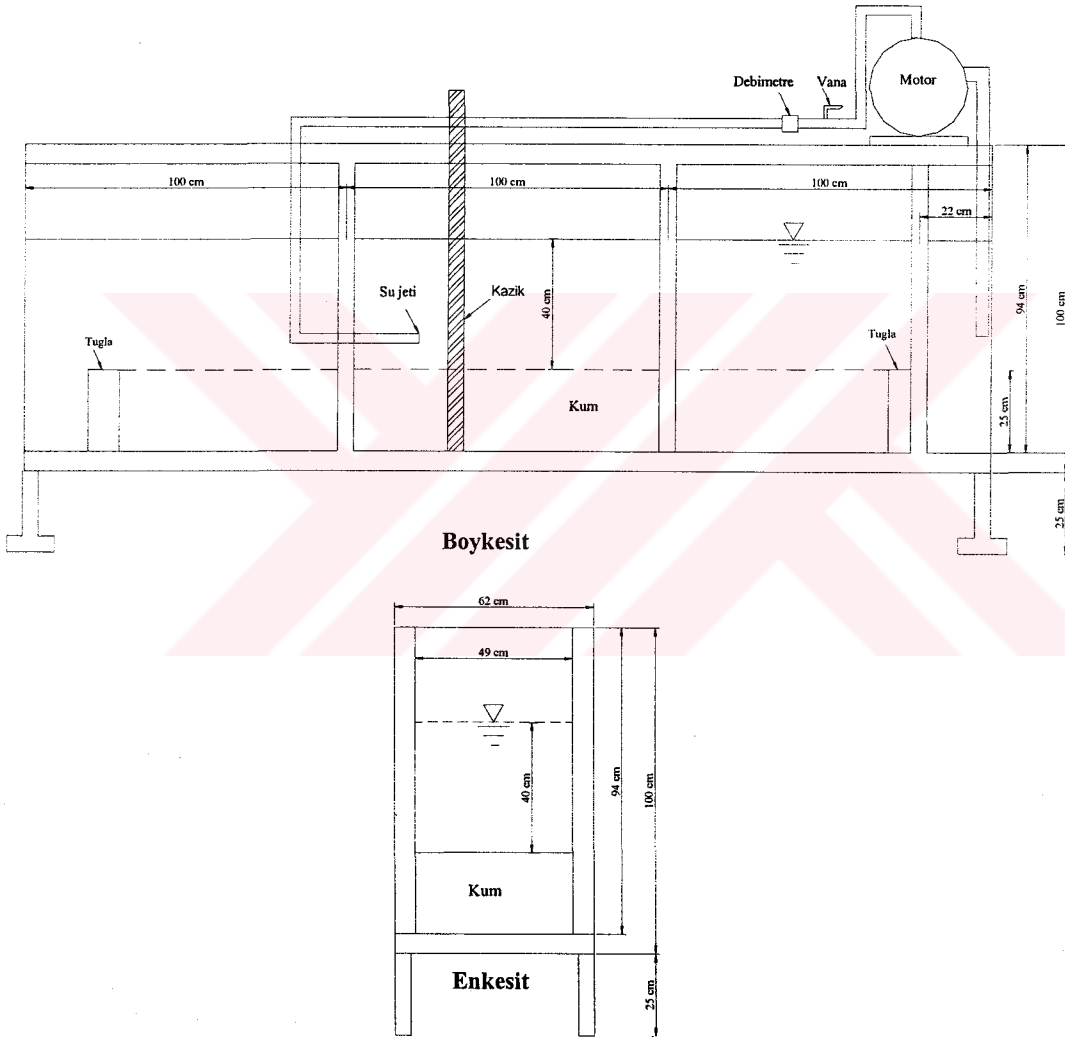


3 DENEYSEL ÇALIŞMA VE MODELLEME

3.1 Deney Sistemi

3.1.1 Deney Kanalı

Deneyler Yıldız Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Kıyı-Liman Laboratuvarında kurulan 3 m uzunluğunda, 0.62 m genişliğinde ve 1 m yüksekliğinde her iki tarafı cam bir kanalda yapılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Deney Sistemi

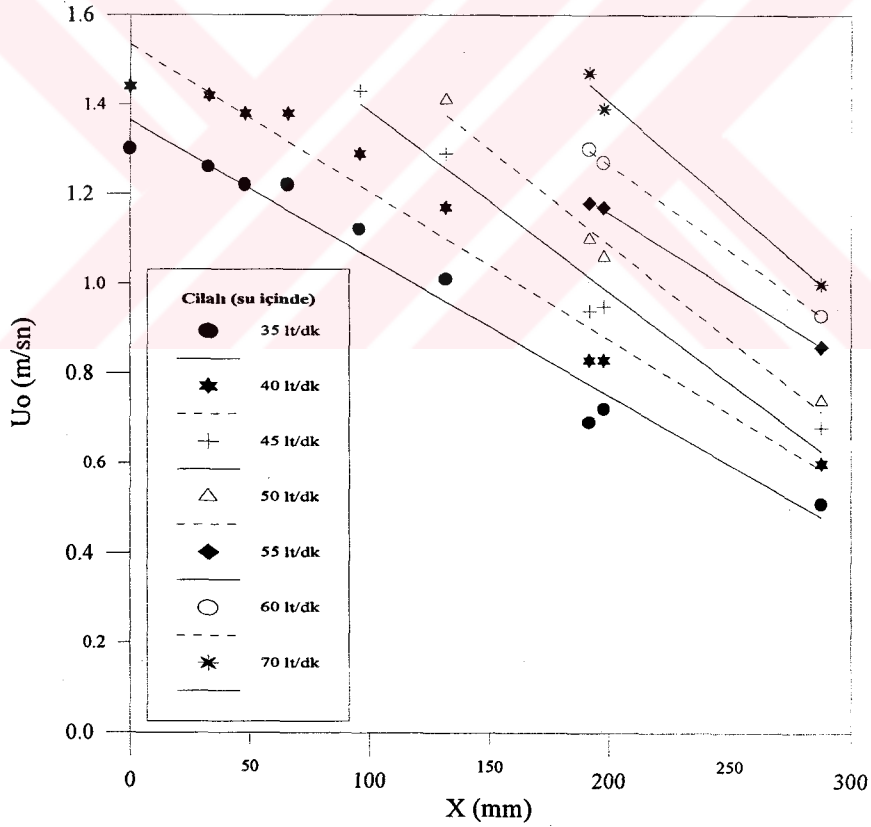
Deney kanalı üzerine 0.5kW gücünde ve TL3 170 tipinde bir pompa yerleştirilmiştir. Pompadan basılan suyun debisi A104LMA 100 GPI model bir dijital elektronik debimetre ile belirlenmiştir. Debimetreden sonra kanalın içine yerleştirilen çıkış ucu su jetinin farklı derinliklerde ve farklı mesafelerde etkitilebilmesi amacıyla hareketli bir mekanizma imal edilmiştir. Erozyon deneyleri için kanal tabanına 25 cm kalınlığında kum serilmiştir.

3.1.2 Hız Ölçümleri

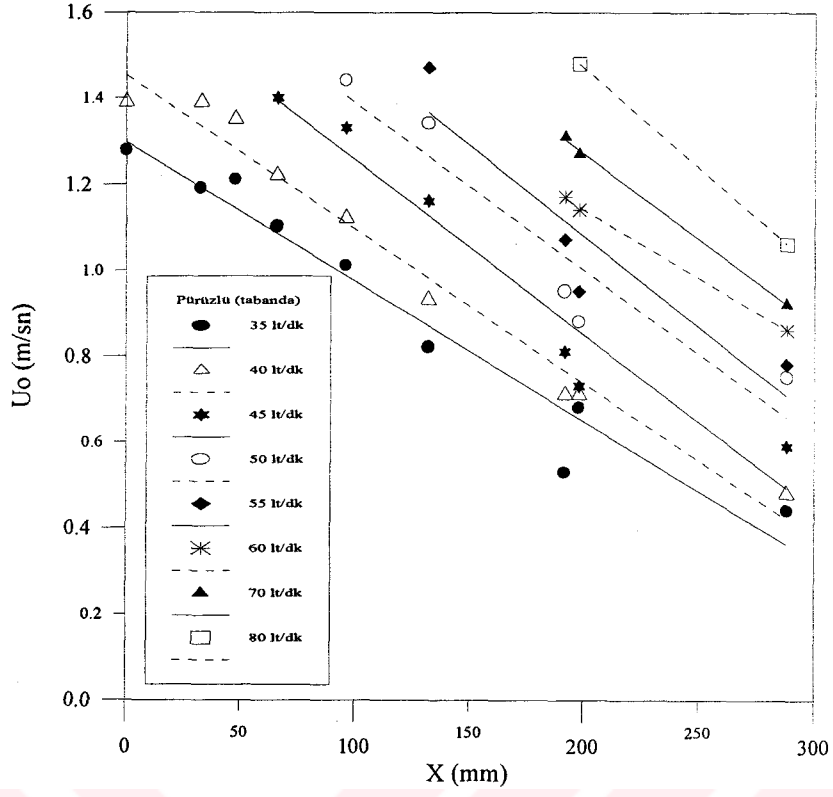
Kanala yerleştirilen kazıklar etrafında erozyona neden olan su jetine ait hız alanını belirlemek amacıyla 403 Low Speed Probe model mikromuline ve NIXON 412 model okuma sayacı kullanılmıştır. Prob, çıkış ucundan belirli mesafelerde farklı jet debileri için jet eksenine yerleştirilerek, yine tabandan farklı açıklıklarda belirli bir jet durumunda jet hızları belirlenmiş ve Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4 ile Şekil 3.5'de değişimleri gösterilmiştir.

Jet üç farklı çapta 33 mm, 22 mm ve 16 mm çıkış çapı kullanılarak yaratılabilmektedir. Bu çalışmada 22 mm çaplı çıkış kullanılmıştır.

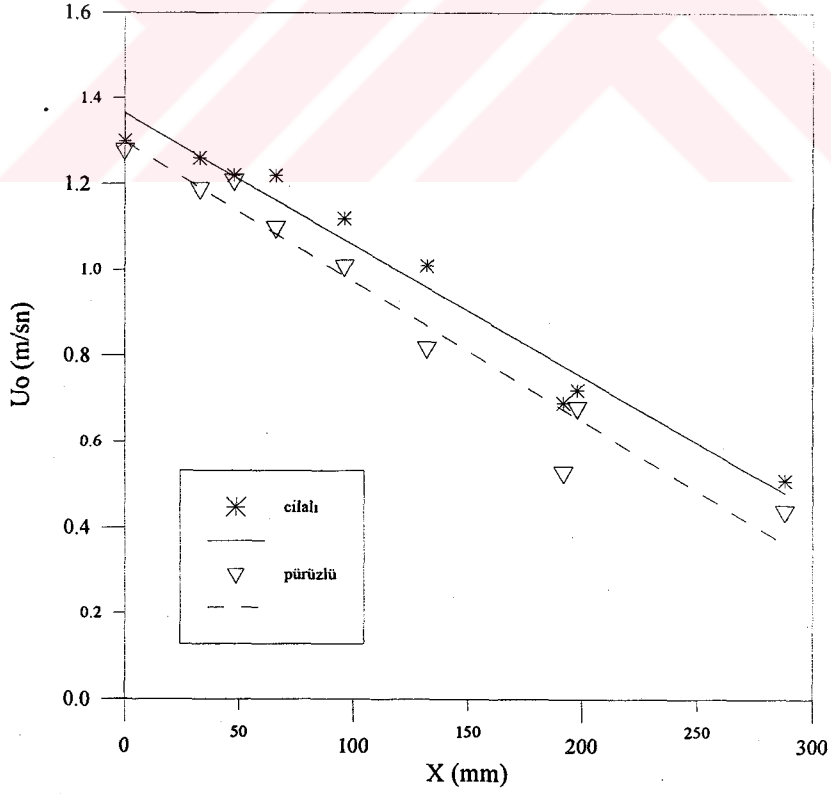
Şekil 3.2'de 40 cm su yükü altında, su içinde yaratılan jet eksenı boyunca hızın değişimi gösterilmiş, buna karşılık 1 mm çaplı zımpara kağıdı yapıştırılarak pürüzlendirilmiş taban ile kum pürüzlülüğü karakterize edilerek jet eksenı boyunca hız dağılımı belirlenerek Şekil 3.3'de değişimi gösterilmiştir.



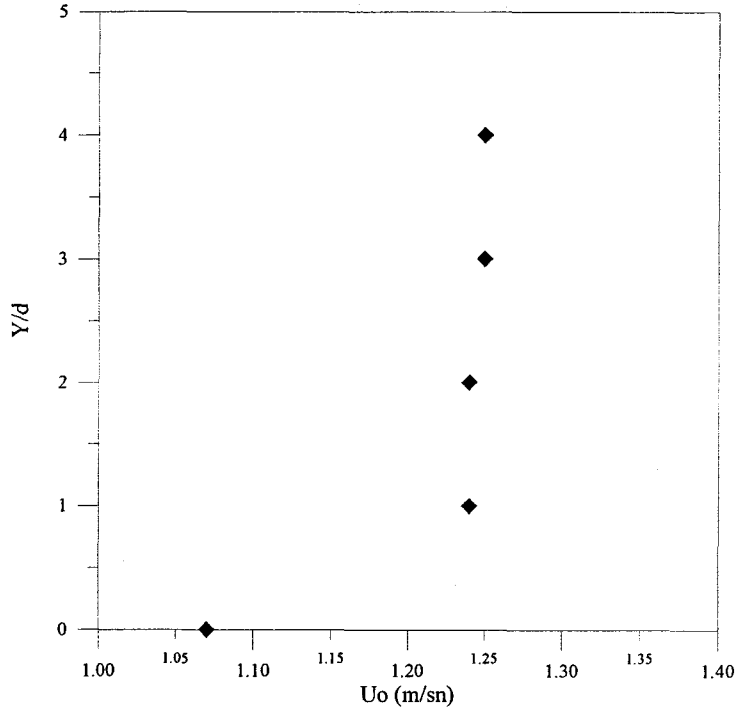
Şekil 3.2 Farklı jet debilerinde, h=40 cm su derinliğinde (su içinde) jet eksenı boyunca hız değişimi



Şekil 3.3 Farklı jet debilerinde, $h=40$ cm su derinliğinde pürüzlü taban üzerinde jet eksenî boyunca hız değişimi



Şekil 3.4 $Q=35$ lt/dak jet debisinde pürüzlü taban ve cilalı (su içinde) hal için hızın jet eksenî boyunca değişimi



Şekil 3.5 55 lt/dk'lık jet debisinde tabandan olan açıklığa göre $X/D=2$ için hız değişimi

Pürüzlü taban hali ile su içinde yaratılan jet hızlarının şiddetleri farklılık göstermiştir. Pürüzlü taban halinde hızların %10 mertebesinde azaldığı belirlenmiştir. Bu da kum tabanın etkisini göstermektedir. Bu farklılık $Q=35$ lt/dak için Şekil 3.4'te hızlar bir arada çizilerek gösterilmiştir (Ek 1).

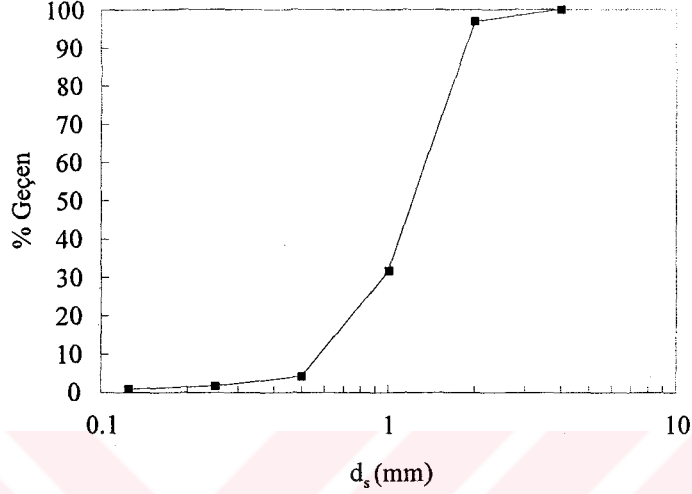
Şekil 3.5'te ise $Q=55$ lt/dak'lık jet debisinde tabandan itibaren jet çapının katları ile artan derinliklerde $X/D=2$ kadar mesafede (kazık etkisinin bulunmadığı hal için) hızın değişimi belirlenerek gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi tabandan bir jet çapı kadar açıklıktan itibaren hızlar değişmemektedir. O halde taban etkisinin bir jet çapı ile sınırlandığı anlaşılmaktadır.

3.1.3 Debi Ölçümleri

Deneyler sırasında, oluşturulacak jetin debisi pompadan sonra yerleştirilen A104LMA 100 GPI model elektronik debimetre ile ölçülmüştür. Jetin hemen çıktığı noktada mikromuline ile yapılan ölçümlerden elde edilen hız değeri ile hesaplanan (Q/A) çıkış hızı arasında %15 kadarlık bir fark belirlenmiştir. Bunun nedeni, muline ile yapılan ölçümlerde probun çıkıştan ancak belirli bir mesafeye yerleştirilebilmesidir. Çıkıştan fişkıran batık jetin hızı su içinde karşılaştığı direnç nedeniyle çıkıştaki teorik hızdan %15 kadar daha az olmaktadır.

3.1.4 Ölçme Yöntemi

Deneyler iki farklı aşamada yapılmıştır. Öncelikle sabit tabanlı (kum yok) kanalda serbest ve batık jet halinde hız değişimlerinin belirlenmesi ve sonraki aşamada ise kanal tabanına 25 cm kum serilerek erozyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Serilen kuma ait granülometre eğrisi Şekil 3.6'da gösterilmiştir. (Çevik, Ö., E., 1997)



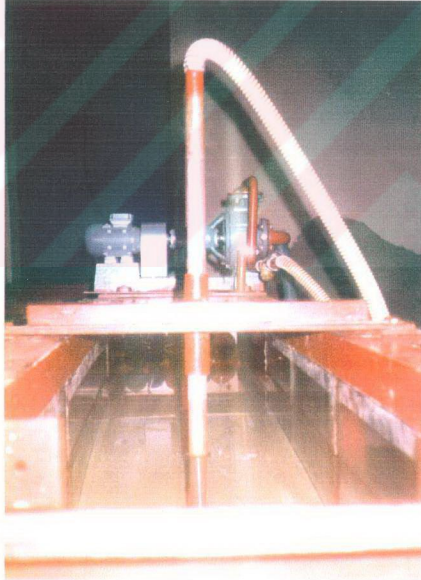
Şekil 3.6 Deney kumu granülometresi (Çevik, Ö., E., 1997)

Kuma ait özellikler $d_{50}=1.28\text{mm}$, $d_{90}=1.89\text{mm}$, $d_{60}=1.43\text{mm}$ ve $\sigma=1.57$ 'dir. Deneylerde kullanılan kazık çapları ise $D=33\text{mm}$, $D=48\text{mm}$ 'dir.

Deneylerde kanal yan duvar, uç etkileri boya ve plastik malzemelerin izlenmesi yöntemiyle belirlenmiştir. Bu etkilere göre deney şartları tespit edilmiştir. Kazık etrafında oluşan erozyon ve kazık arkasındaki yığılma yani erozyona ait morfoloji kanal üzerine yerleştirilen limnimetre yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır. Deney sistemine ait bazı görünümüler Şekil 3.7'de verilmiştir.

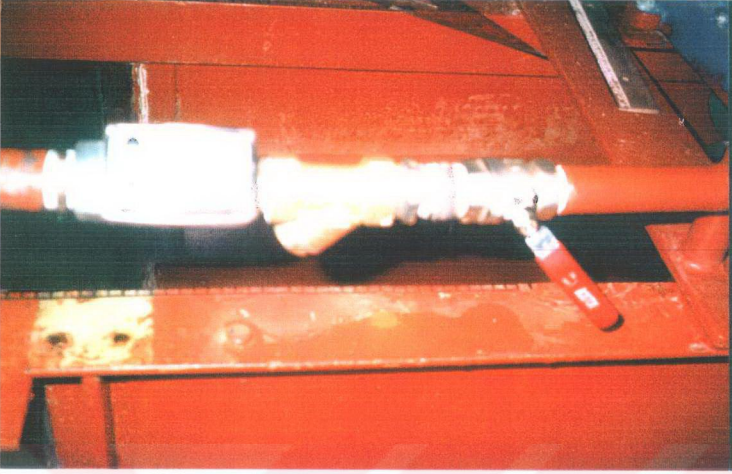


(a) Deney sistemi yandan görünüş



(b) Deney sistemi boyuna görünüş

Şekil 3.7 Deney sistemine ait görünümeler

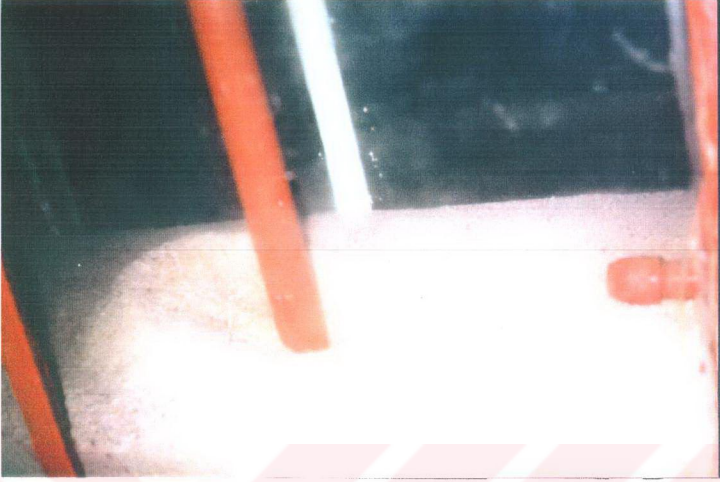


(c) Elektronik debimetre



(d) Kazık erozyonu

Şekil 3.7 Devam



(e) Orifis-jet erozyonu yandan görünüş



(f) Orifis-jet erozyonu üstten görünüş

Deneyler sırasında dikkate alınan deney şartları Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 Deney şartları

Deney No	D (mm)	d ₀ (mm)	Q (lt/dak)	X (mm)	X/D	Y (mm)	Y/d ₀
11111	33	22	35	33	1	0	0
11112	33	22	40	33	1	0	0
11113	33	22	45	33	1	0	0
11114	33	22	50	33	1	0	0
11115	33	22	55	33	1	0	0
11116	33	22	60	33	1	0	0
11117	33	22	70	33	1	0	0
11118	33	22	80	33	1	0	0
11121	33	22	35	66	2	0	0
11122	33	22	40	66	2	0	0
11123	33	22	45	66	2	0	0
11124	33	22	50	66	2	0	0
11126	33	22	60	66	2	0	0
11127	33	22	70	66	2	0	0
11128	33	22	80	66	2	0	0
11131	33	22	35	132	4	0	0
11132	33	22	40	132	4	0	0
11133	33	22	45	132	4	0	0
11134	33	22	50	132	4	0	0
11135	33	22	55	132	4	0	0
11136	33	22	60	132	4	0	0
11137	33	22	70	132	4	0	0
11141	33	22	35	198	6	0	0
11142	33	22	40	198	6	0	0
11143	33	22	45	198	6	0	0
11144	33	22	50	198	6	0	0
11145	33	22	55	198	6	0	0
11146	33	22	60	198	6	0	0
11146	33	22	70	198	6	0	0
11146	33	22	80	198	6	0	0
12111	48	22	35	48	1	0	0
12112	48	22	40	48	1	0	0
12113	48	22	45	48	1	0	0
12114	48	22	50	48	1	0	0
12115	48	22	55	48	1	0	0
12116	48	22	60	48	1	0	0
12121	48	22	35	96	2	0	0
12122	48	22	40	96	2	0	0
12123	48	22	45	96	2	0	0
12124	48	22	50	96	2	0	0
12125	48	22	55	96	2	0	0
12126	48	22	60	96	2	0	0

Çizelge 3.1 Devamı

Deney No	D (mm)	d ₀ (mm)	Q (lt/dak)	X (mm)	X/D	Y (mm)	Y/d ₀
12131	48	22	35	192	4	0	0
12132	48	22	40	192	4	0	0
12133	48	22	45	192	4	0	0
12134	48	22	50	192	4	0	0
12135	48	22	55	192	4	0	0
12136	48	22	60	192	4	0	0
12141	48	22	35	288	6	0	0
12142	48	22	40	288	6	0	0
12143	48	22	45	288	6	0	0
12144	48	22	50	288	6	0	0
12145	48	22	55	288	6	0	0
12146	48	22	60	288	6	0	0
11226	33	22	60	66	2	22	1
11326	33	22	60	66	2	44	2
11426	33	22	60	66	2	66	3
11526	33	22	60	66	2	88	4
11626	33	22	60	66	2	110	5
11726	33	22	60	66	2	132	6
11826	33	22	60	66	2	154	7
11926	33	22	60	66	2	198	9
11926	33	22	60	66	2	242	11
12226	48	22	60	96	2	22	1
12326	48	22	60	96	2	44	2
12426	48	22	60	96	2	66	3
12526	48	22	60	96	2	88	4
12626	48	22	60	96	2	110	5
12726	48	22	60	96	2	132	6
12826	48	22	60	96	2	154	7
12926	48	22	60	96	2	198	9

Burada D: Kazık çapı, d₀: Su jeti çapı, Q: Su jetinin debisi, X: Su jetinin kazığa olan yatay uzaklığı, Y: Su jeti ekseninin tabana olan düşey uzaklığı'dır.

3.1 Boyut Analizi ve Erozyonun Modellenmesi

Kazıklar etrafındaki erozyonun tanımlanabilmesi için olaya etkili değişkenler belirlendikten sonra Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4 görüldüğü gibi Langhaar Metodu yardımıyla boyutsuz büyüklükler bulunmuştur (Yüksel., 2000).

Çizelge 3.2 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	Su jetinin çıkış hızı	U_0	m/s	LT^{-1}
	Su jetinin çapı	d_0	m	L
	Su yüksekliği	h	m	L
Taban Malzemesini Karakterize Eden Değişkenler	Taban malzemesinin boyutu	d_{50}	m	L
	Taban malzemesinin özgül kütlesi	ρ_s	kg/m^3	ML^{-3}
Geometriyi Karakterize Eden Değişkenler	Kazık çapı	D	m	L
	Jetin kazığa olan yatay uzaklığı	X	m	L
	Jet ekseninin tabana olan yatay uzaklığı	Y	m	L
Diğer değişkenler	Yer çekimi ivmesi	g	m/s^2	LT^{-2}

Çizelge 3.3 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}
Sembol	μ	h	D	X	Y	S	d_{50}	ρ_s	g	d_0	ρ	U_0
M	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
L	-1	1	1	1	1	1	1	-3	1	1	-3	1
T	-1	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	-1

$$k_1+k_8+k_{11}=0 \quad (3.1)$$

$$-k_1+k_2+k_3+k_4+k_5+k_6+k_7-3k_8+k_9+k_{10}-3k_{11}+k_{12}=0 \quad (3.2)$$

$$-k_1-2k_9-k_{12}=0 \quad (3.3)$$

bu ifadelerden,

$$k_{11}= -(k_1+k_8) \quad (3.4)$$

$$k_{12}= -(k_1+2k_9) \quad (3.5)$$

$$k_{10}= -k_1-k_2-k_3-k_4-k_5-k_6-k_7+k_9 \quad (3.6)$$

Çizelge 3.4 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}
Π_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1
Π_2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0
Π_6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0
Π_7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0
Π_8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0
Π_9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	-2

(3.4), (3.5) ve (3.6) ifadeleri kullanılarak Çizelge 3.4'de görülen boyutsuzların üstel değerleri bulunur.

Çizelge 3.4'den dokuz boyutsuz büyüklük aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

$$\begin{aligned}
 \pi_1 &= d_0^{-1} \rho^{-1} U_0^{-1} \mu^1 \\
 \pi_2 &= h d_0^{-1} \\
 \pi_3 &= D d_0^{-1} \\
 \pi_4 &= X d_0^{-1} \\
 \pi_5 &= Y d_0^{-1} \\
 \pi_6 &= S d_0^{-1} \\
 \pi_7 &= d_{50} d_0^{-1} \\
 \pi_8 &= \rho_s \rho^{-1} \\
 \pi_9 &= U_0^2 g^{-1} d_0^{-1}
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

o halde boyutsuz fonksiyon;

$$F(\text{Re}, d/d_0, D/d_0, X/d_0, Y/d_0, S/d_0, \text{Fr}^2, d_{50}/d_0, \rho_s/\rho) = 0 \tag{3.8}$$

Re sayısı türbülanslı jet akımının hakim olması nedeniyle ihmal edilmiştir.

Batıklık etkisi Fr_d yoğunluk sayısında dikkate alındığından ρ_s/ρ boyutsuzunun etkisi ihmal edilmiştir.

d_{50}/d_0 Sadece tek granülometriye sahip kum tabanla çalışıldığından etkisi göz önüne alınmamıştır.

X/d_0 boyutsuzunda kazık çapının etkisinin de belirlenmesi için D/d_0 boyutsuzu ile birlikte dikkate alınarak X/D rölatif uzaklık sayısı tanımlanmıştır.

h/d_0 rölatif su derinliğinin etkisi su derinliğinin sabit tutulması ve jet açıklık etkisinin Y/d_0 ile temsil edilmesi nedeniyle ihmal edilmiştir. Böylece bu çalışma için rölatif oyulma derinliği

aşağıdaki boyutsuzların fonksiyonu olur.

$$\frac{S}{d_0} = f\left(Fr_d, \frac{X}{D}, \frac{Y}{d_0}, \frac{D}{d_0}\right) \quad (3.9)$$

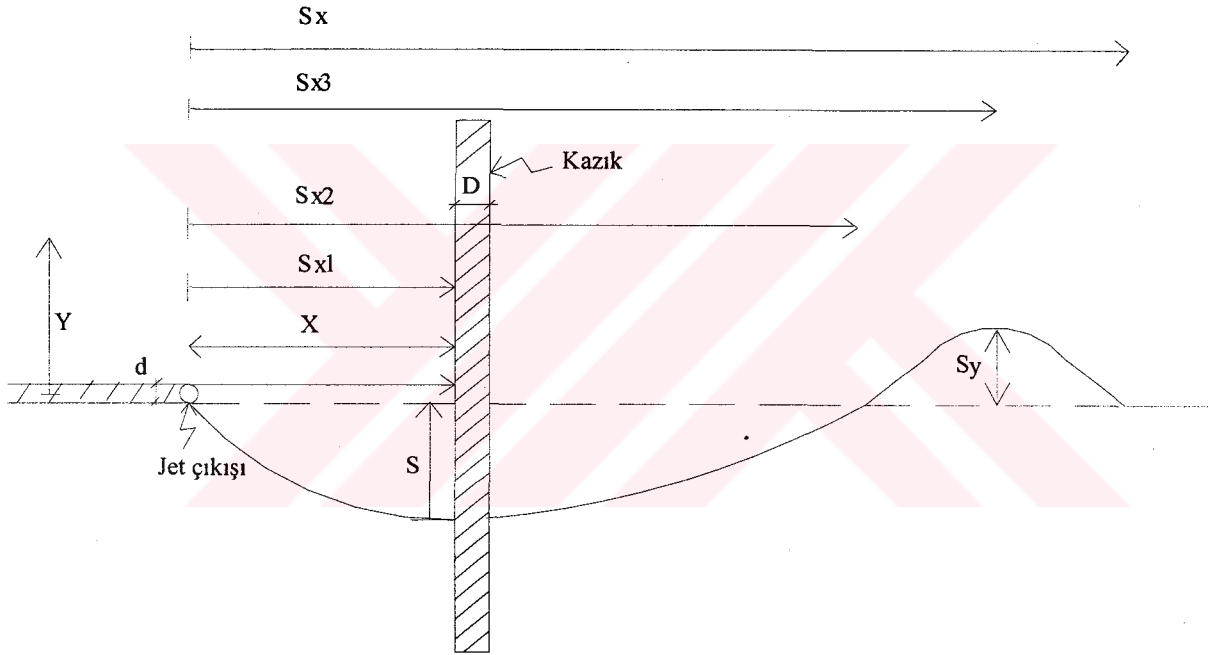
(3.9) ifadesinden S/d_0 rölatif oyulma derinliği eşitliğin sağ tarafındaki boyutsuzlarla olan değişimleri deneylerden elde edilen ölçüm değerleri kullanılarak elde edilebilecektir.

4 DENEY SONUÇLARI VE KAZIK EROZYONUNUN İNCELENMESİ

4.1 Kazık Etrafındaki Akım ve Taban Hareketi

Kazık etrafında meydana gelen oyulma üzerinde pervane jeti ve kazık etkili iki mekanizmadır. Bu nedenle farklı jet hızları ve kazık çapları kullanılmıştır.

Deneyler iki aşamalı yapılmıştır. Deneylerin ilk aşamasında jet tabana yerleştirilmiş ve 8 farklı Fr_d sayısında, 4 farklı uzaklıkta kazık etrafındaki oyulma mekanizması gözlenmiştir. Pervane jetinin kazığa olan uzaklığı kazığın katları şeklinde seçilmiş ve D , $2D$, $4D$, $6D$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).



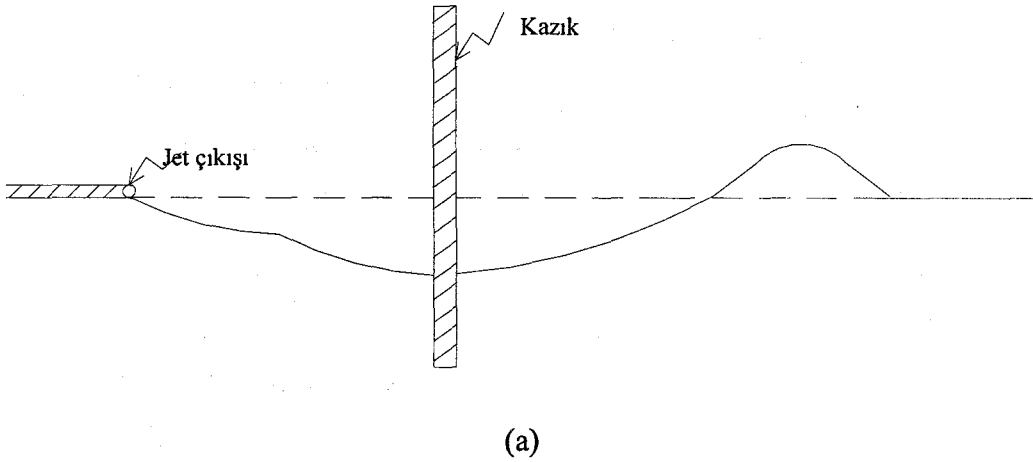
Şekil 4.1 Jet ekseninde kazık etrafında oyulma çukuru geometrisi

Deneyler sonucunda maksimum denge oyulma derinliğinin Fr_d sayısının artmasıyla arttığı belirlenmiştir. Jet çıkar çıkmaz konik biçiminde yayılmakta ve kazığa çarptığında aşağıya ve yukarıya olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Aşağıya yönelen akım kazığın hemen önünde oyulmaya neden olmakta ve oyulma çukurunda bir çevrinti oluşturmaktadır. Bu durum köprü ayaklarında oluşan oyulma mekanizmasına benzemektedir. Daha sonra jet kazığın arkasında saçılarak devam etmektedir. Ancak büyük Fr_d sayılarında jet, oyulma mekanizması üzerinde kazığa göre daha etkin olmaktadır. Çünkü jet kazığın arkasında kazıktan daha az etkilenmiş olarak devam etmekte yani, ayrıldıktan sonra jet akımı kazığın mansabında birleşme fırsatı

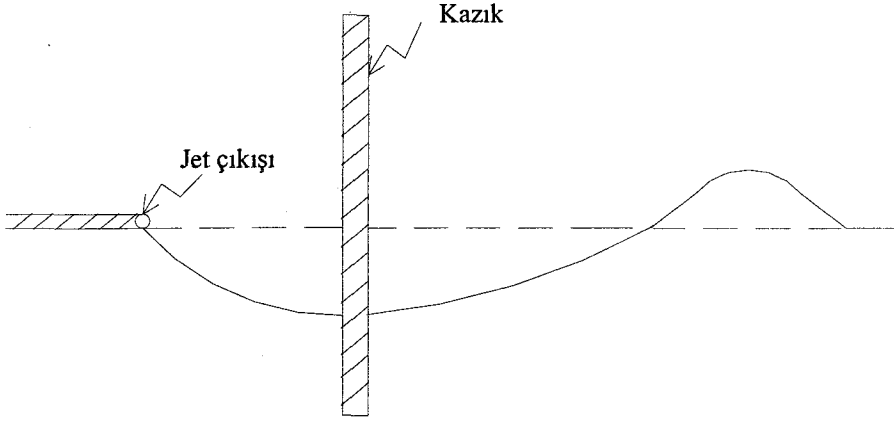
bulabilmektedir. Fr_d sayısı arttıkça jet kazığın arkasında kazığa daha yakın bir yerde birleşmektedir. Düşük Fr_d sayılarında ise jet kazığın arkasında saçılarak devam etmekte ve kazığın arkasındaki oyulma kazığın hemen önündeki oyulma çukurunda daha küçük olmaktadır. Bu mekanizma akıma potasyum permanganant ve Acrilo Nitril Bütadren Styren (ABS) partikülleri katılarak izlenmiştir. Aynı izleme yöntemi kanal cidar etkilerinin belirlenmesi amacıyla da kullanılarak deney koşulları sınırlandırılmıştır.

Kazık etrafında oluşan çevrinti yapısı (atnalı vorteks benzeri) kazığın ön tarafındaki malzemeyi kazık mansabındaki art-iz akımının içine çekmekte ve malzeme kazığın arkasına geçen akımla birlikte kazığın arkasına taşınmaktadır. Kazığın ön ve arka tarafından oyulan malzeme kazığın arkasında oyulma bölgesinden hemen sonra yığılmaya başlar. Pervane jeti ve neden olduğu çevrintinin artık malzemeyi harekete geçiremediği ve yığılma bölgesinde oluşan tepenin arkasına taşıyamadığı durumda dengeye ulaşılmaktadır. Denge konumunda yığılma bölgesindeki şev açısının malzemenin saikin konumdaki içsel sürtünme açısı ile aynı olduğu kabul edilmiştir (Chin ve diğ., 1996). Büyük Fr_d sayılarında oyulma çukuru kazığa göre boykesitte simetrik bir görünüm almaktadır

Kazığın ön tarafındaki oyulma, jetin kazıktan $>2D$ uzaklıkta olduğu durumda iki bölge halinde oluşmaktadır (Şekil 4.2a). Yani, şekilde görüldüğü gibi oyulma şev eğimi kazığa doğru iki bölge halinde olmaktadır. İlk bölge sadece jetin etkisi altındadır. İkinci bölge ise hem jetin hem de kazığın etkisi altındadır. Jetin kazıktan $\leq 2D$ uzaklıkta olduğu durumda ise oyulma tek bir bölgede olmakta ve hem jetin hem de kazığın etkisi altında kalmaktadır. Aynı zamanda bu durumda iken denge konumunda jet ucu sarkmaktadır (Şekil 4.2b).



Şekil 4.2 Denge konumunda iken jet ucunun sarkması hali

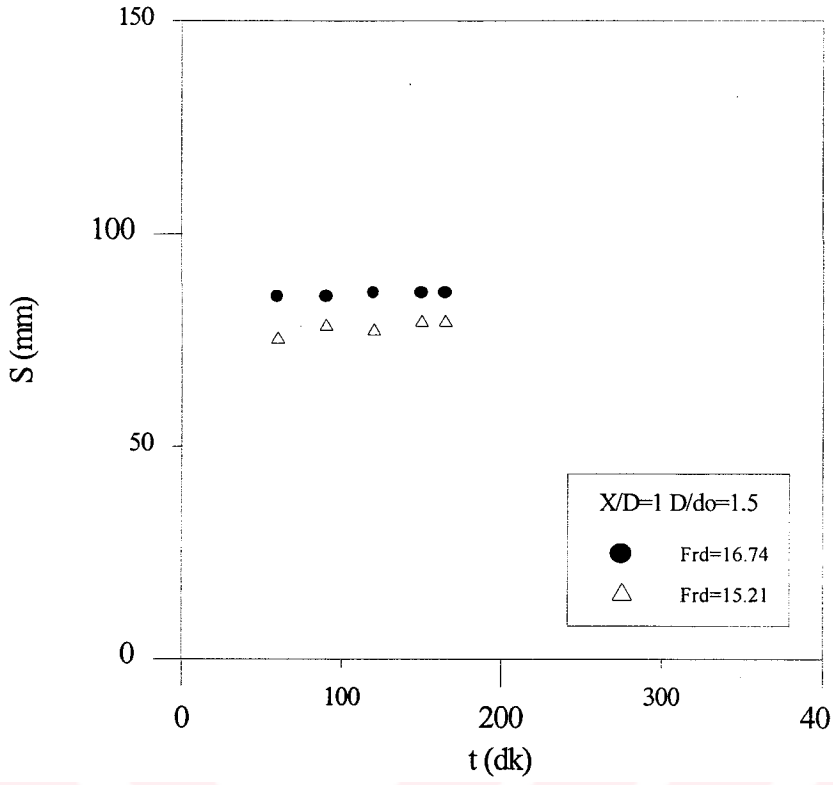


(b)

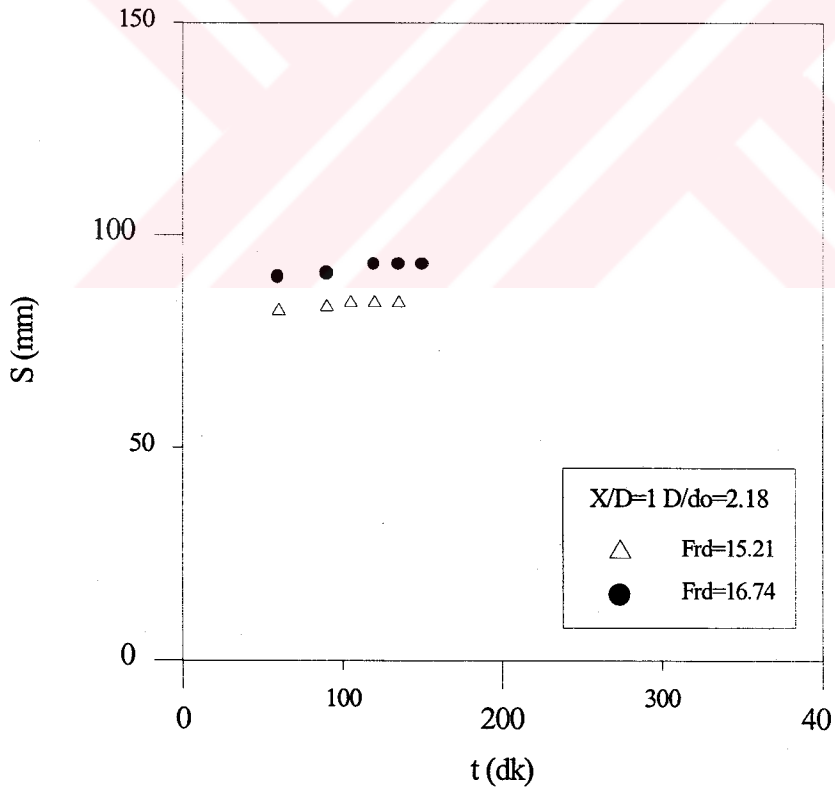
Şekil 4.2 Devamı

Yapılan deneylerde ilk bir saat içinde denge konumundaki maksimum oyulma derinliğinin %96'sına ulaşılmaktadır. Yine ilk bir saat içinde oyulma profilinin %95'i meydana gelmektedir. Oyulma derinliğinin iki ölçümü arasındaki fark 1 mm'ye indiğinde, oyulma profilinin ise iki ölçümü arasındaki fark 5 mm'ye indiğinde dengeye ulaştığı kabul edilmiştir. Denge konumuna düşük Fr_d sayılarında yüksek Fr_d sayılarına nazaran daha çabuk ulaşılmaktadır. Denge konumuna zaman içinde geç ulaşılması köprü ayaklarında meydana gelen temiz su oyulmasına benzemektedir, bunun nedeni hareketli tabanın bulunmamasıdır.

Oyulma profilinin zamana göre değişimi (Şekil 4.3) incelendiğinde D ve 2D uzaklıklarda dengeye ulaşma süresi her iki kazık için de yaklaşık aynı olmaktadır. 4D ve 6D uzaklıklarda ise $D/d_0=1.5$ ($D=33$ mm) iken dengeye ulaşma süresi $D/d_0=2.18$ ($D=48$ mm) olduğu durumdaki sürenin yaklaşık iki katına çıkmaktadır. Yani, uzaklık arttıkça kazık çapı küçüldükçe kazık mekanizmasının erozyon üzerindeki etkisi azalmakta jet difüzyon mekanizması hakim duruma geçmektedir. Bu durum dengeye ulaşmayı geciktirmektedir.

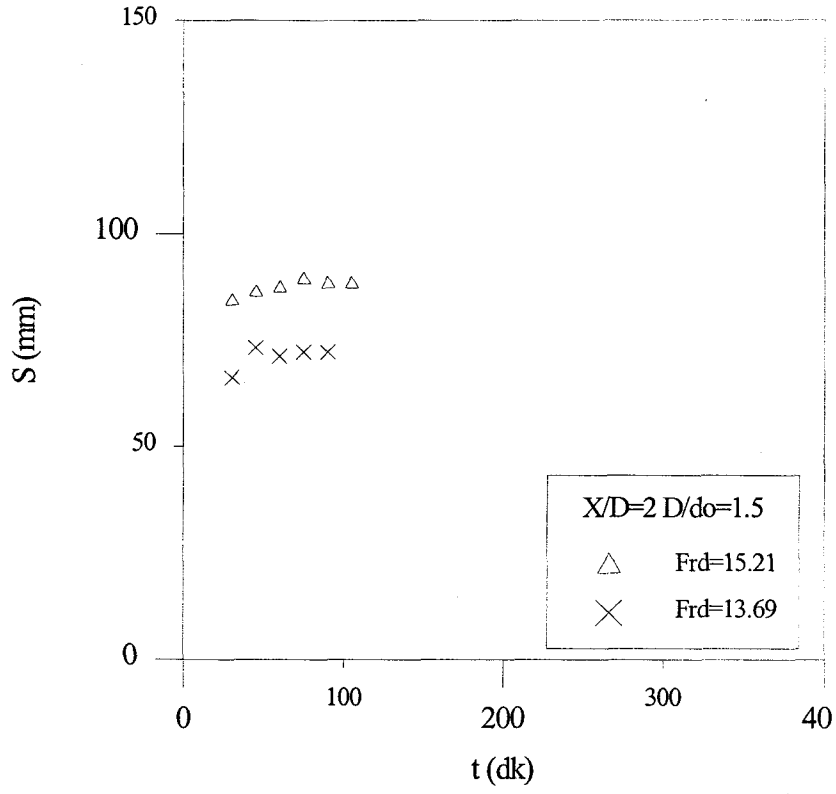


(a)

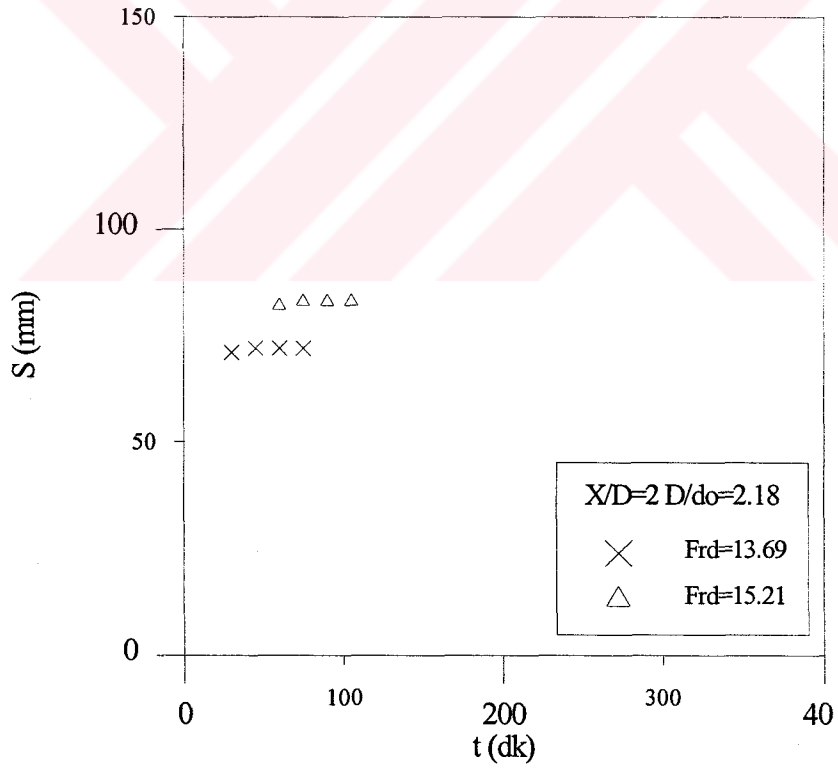


(b)

Şekil 4.3 Oyulma derinliğinin zamanla değişimi

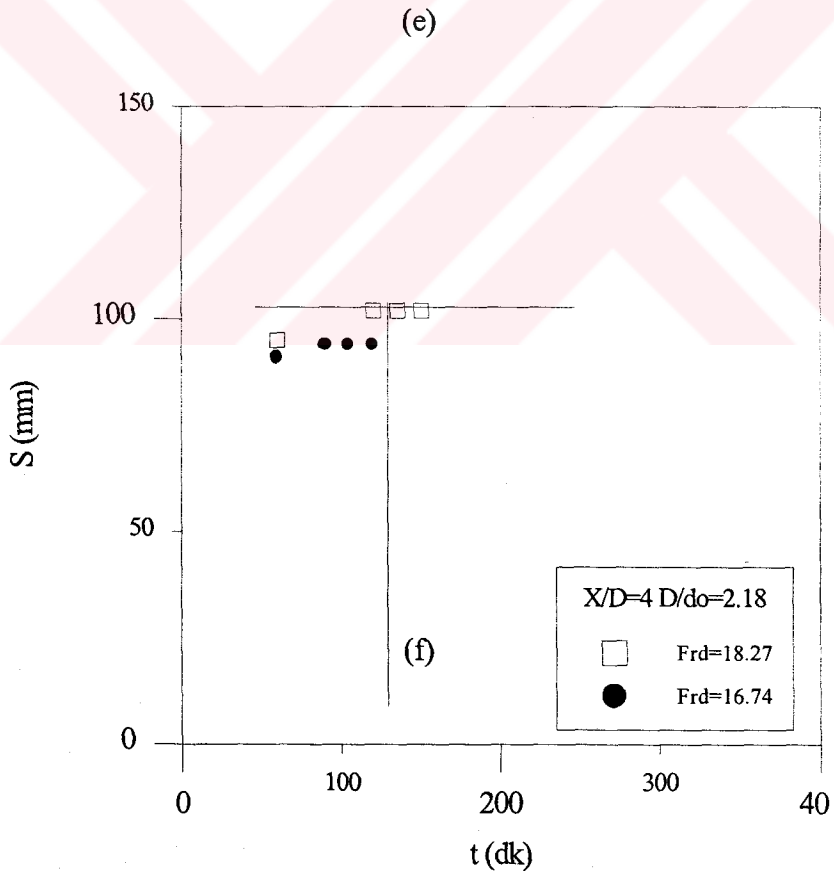
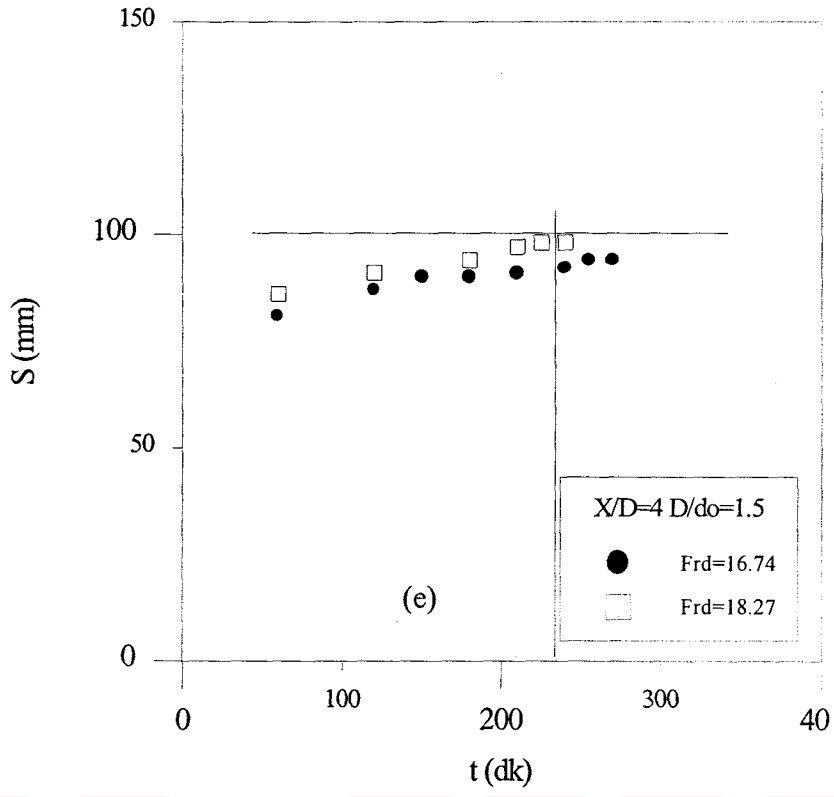


(c)



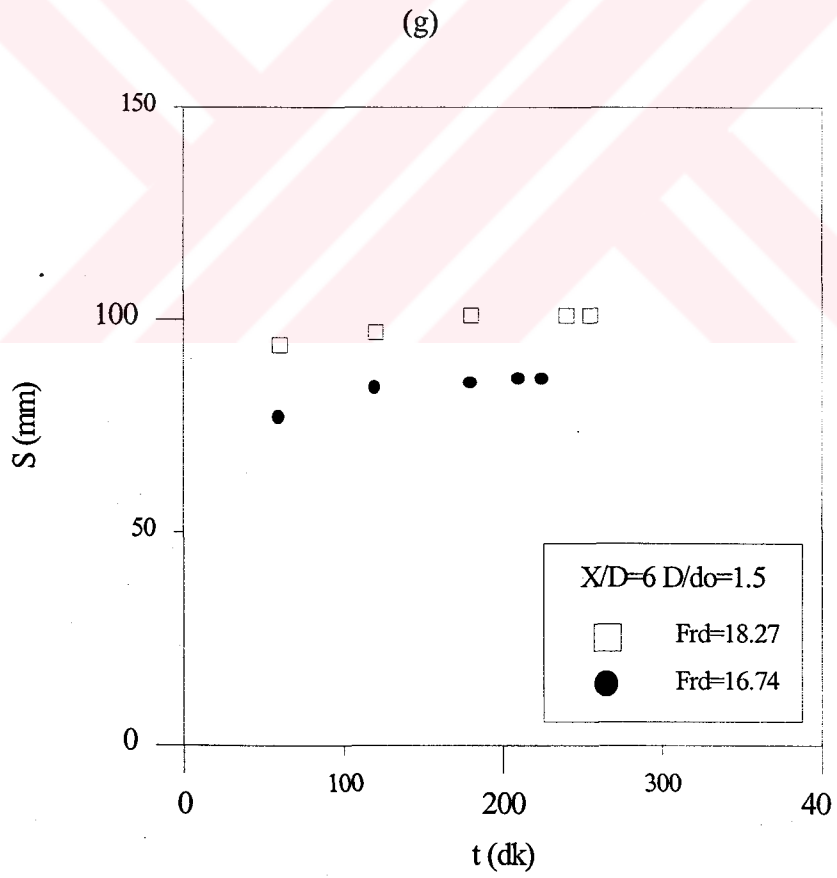
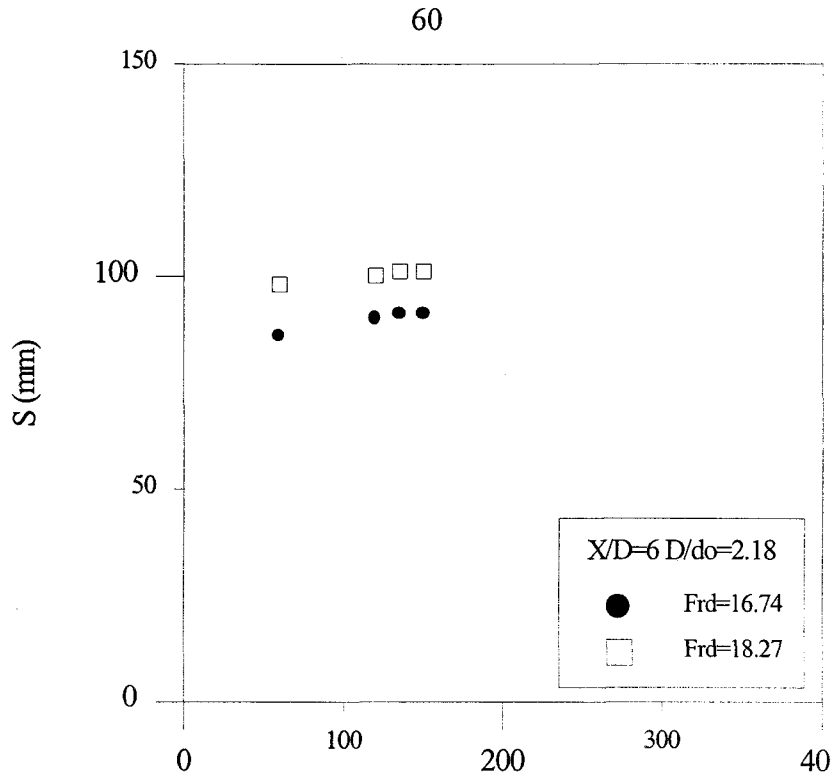
(d)

Şekil 4.3 Devam



(f)

Şekil 4.3 Devam



(h)

Şekil 4.3 Devam

4.2 Maksimum Denge Oyulma Derinliği

Oyulma derinliğini pervane jetinin hızı belirlemektedir. Yoğunluk Fr_d sayısının değerı arttıkça oyulma derinliği de artmaktadır. Şekil 4.4'de kazıklardan farklı mesafelerde tesir eden su jetinin meydana getirdiği rölatif maksimum oyulma derinliğinin yoğunluk Fr_d sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Bu şekillerden elde edilen regresyon ifadeleri ise aşağıdaki gibi bulunmuştur;

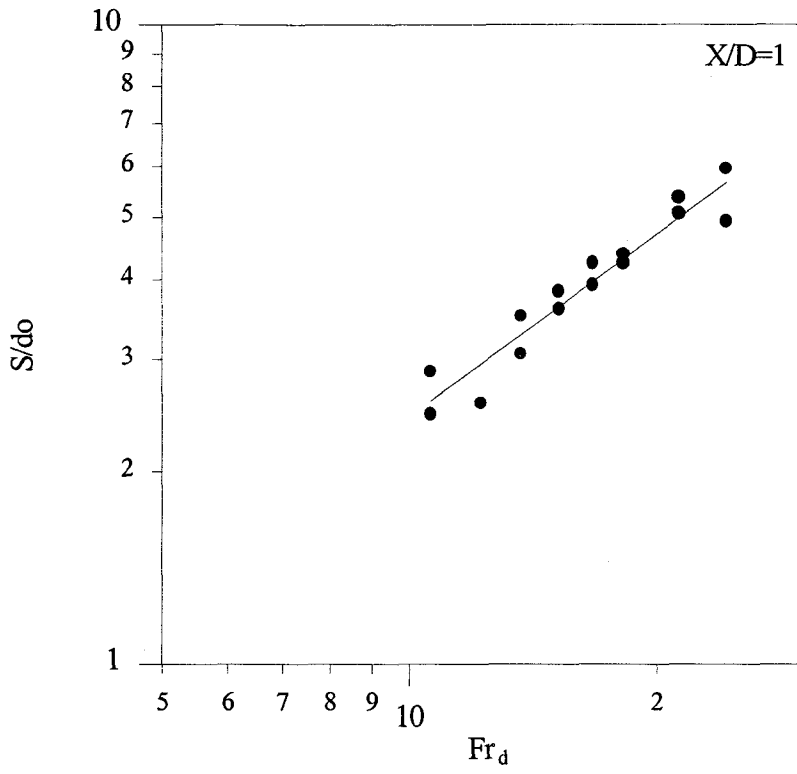
$$X/D=1 \text{ için } \frac{S}{d_0} = 0.27Fr_d^{0.95} \quad (r = 0.96) \quad (4.1)$$

$$X/D=2 \text{ için } \frac{S}{d_0} = 0.39Fr_d^{0.83} \quad (r = 0.96) \quad (4.2)$$

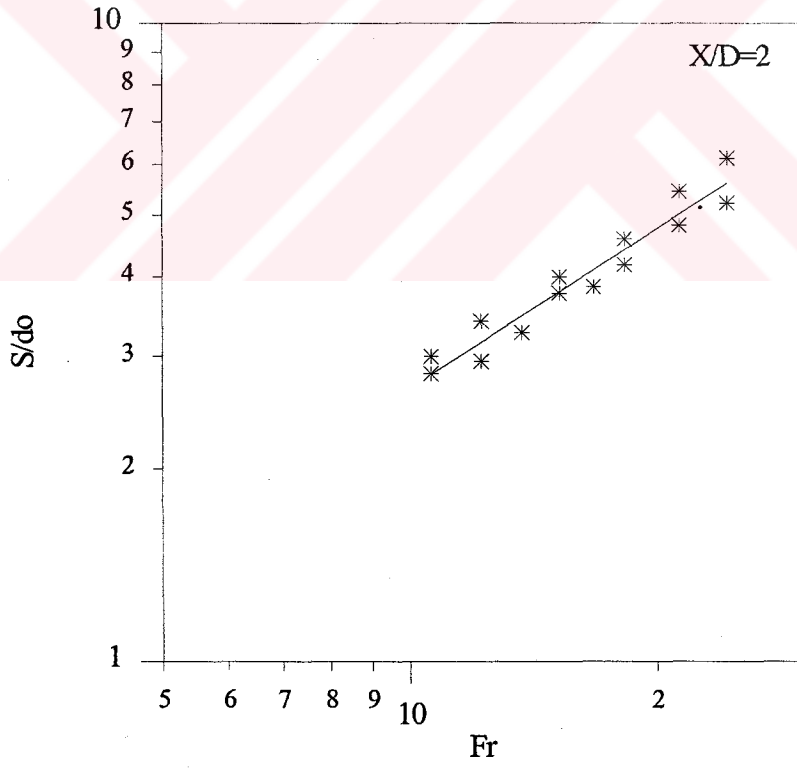
$$X/D=4 \text{ iin } \frac{S}{d_0} = 0.34Fr_d^{0.89} \quad (r = 0.98) \quad (4.3)$$

$$X/D=6 \text{ iin } \frac{S}{d_0} = 0.24Fr_d^{1.02} \quad (r = 0.99) \quad (4.4)$$

Burada r regresyon değerlerini göstermektedir.

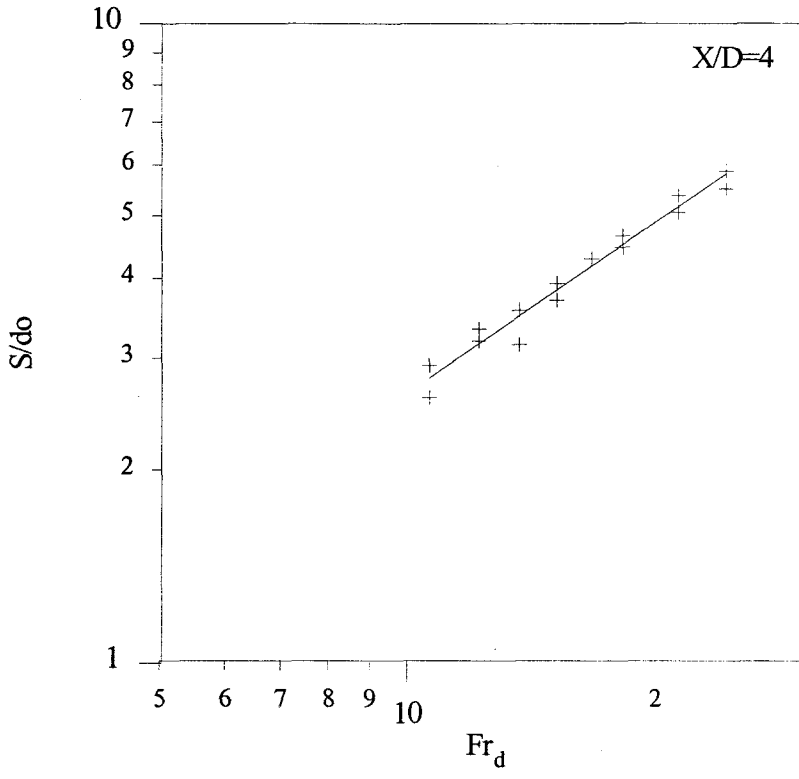


(a)

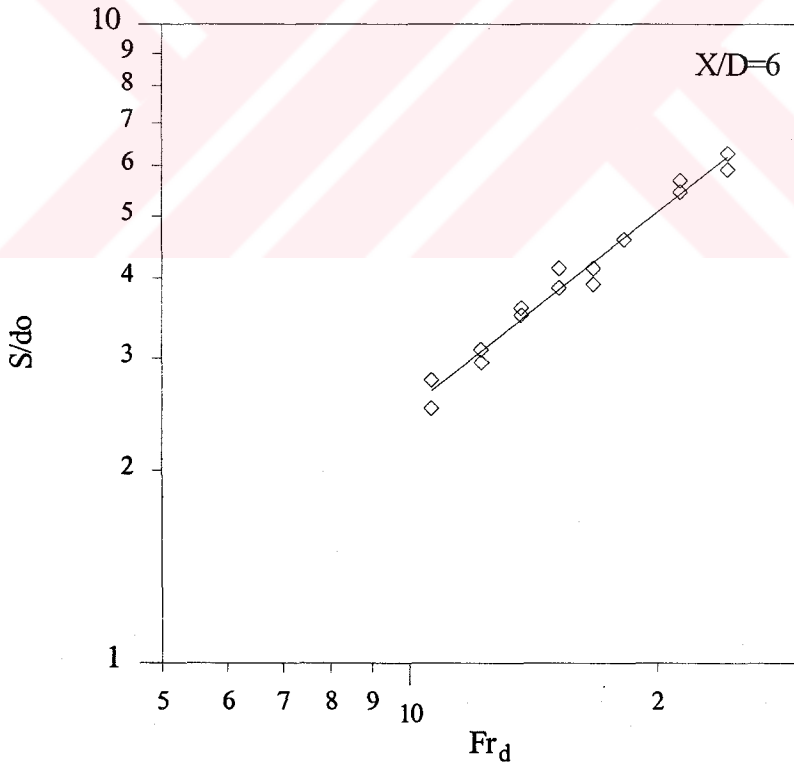


(b)

Şekil 4.4 Rölatif maksimum oyulma derinliğinin yoğunluk Fr_d sayısı ile değişimi

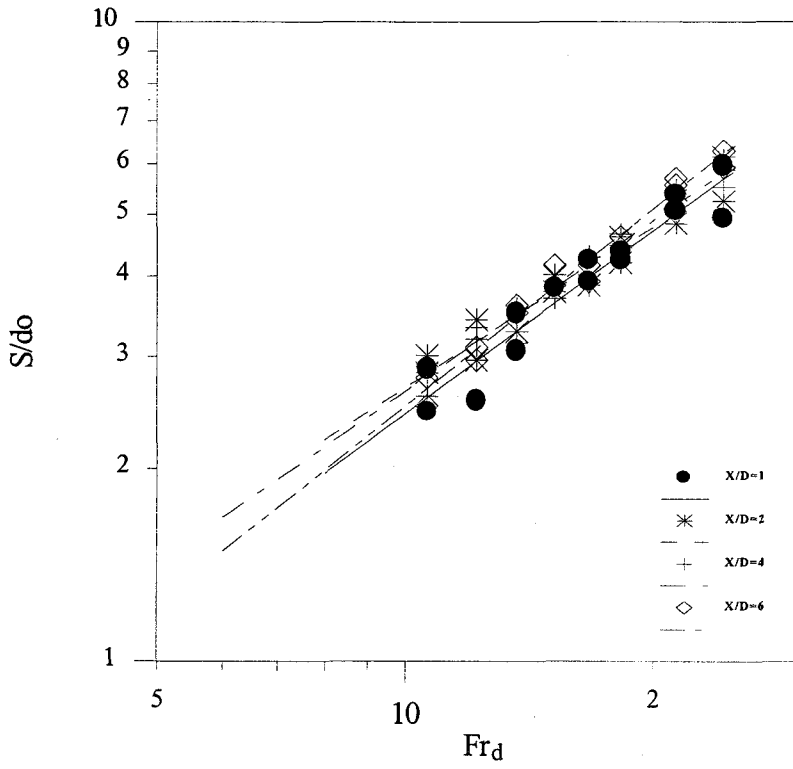


(c)



(d)

Şekil 4.4 Devam



Şekil 4.5 Tüm X/D'ler için rölatif maksimum oyulma derinliğinin Fr_d ile değişimi

Şekil 4.5'de tüm X/D'ler için rölatif maksimum oyulma derinliğinin Fr_d değişimi çizilmiştir. Tüm X/D'ler bir arada düşünüldüğünde ise regresyon ifadesi ($r=0.97$);

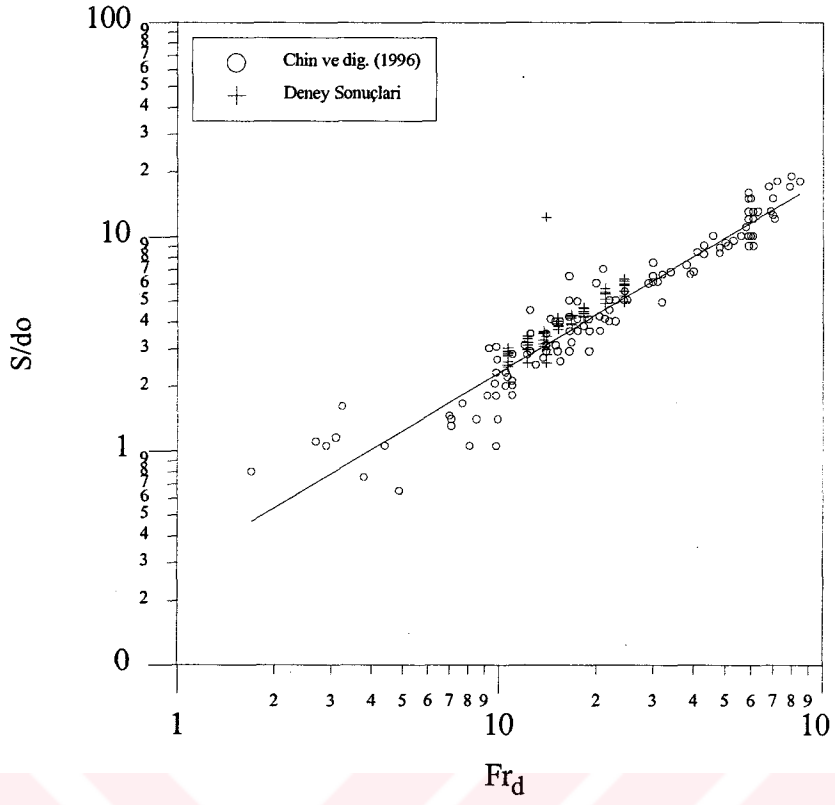
$$\frac{S}{d_0} = 0.31 Fr_d^{0.92} \quad (4.5)$$

olarak bulunmuştur.

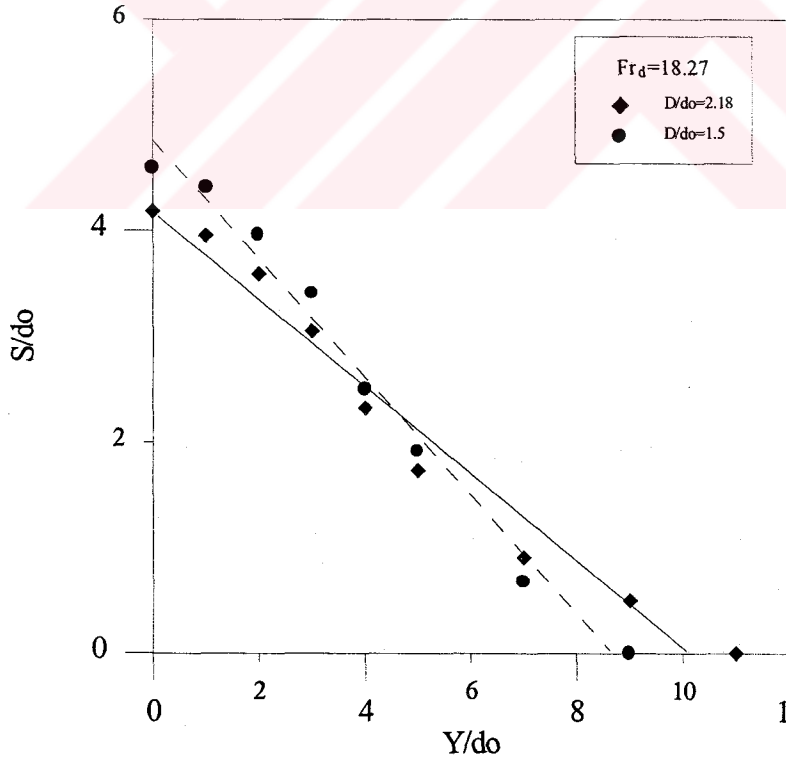
Şekil 4.6'da elde edilen deney sonuçları Chin ve diğ. (1996)'nın sonuçları ile bir araya getirilerek çizilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen deneysel sonuçların Chin ve diğ. (1996) ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu grafikten elde edilen regresyon ifadesi ($r=0.96$);

$$\frac{S}{d_0} = 0.29 Fr_d^{0.9} \quad (4.6)$$

olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6 Rölatif maksimum oyulma derinliğinin Fr_d ile değişimi



Şekil 4.7 Su jetinin açıklık oranının rölatif maksimum oyulma derinliğine etkisi

($Fr_d = 18.27$)

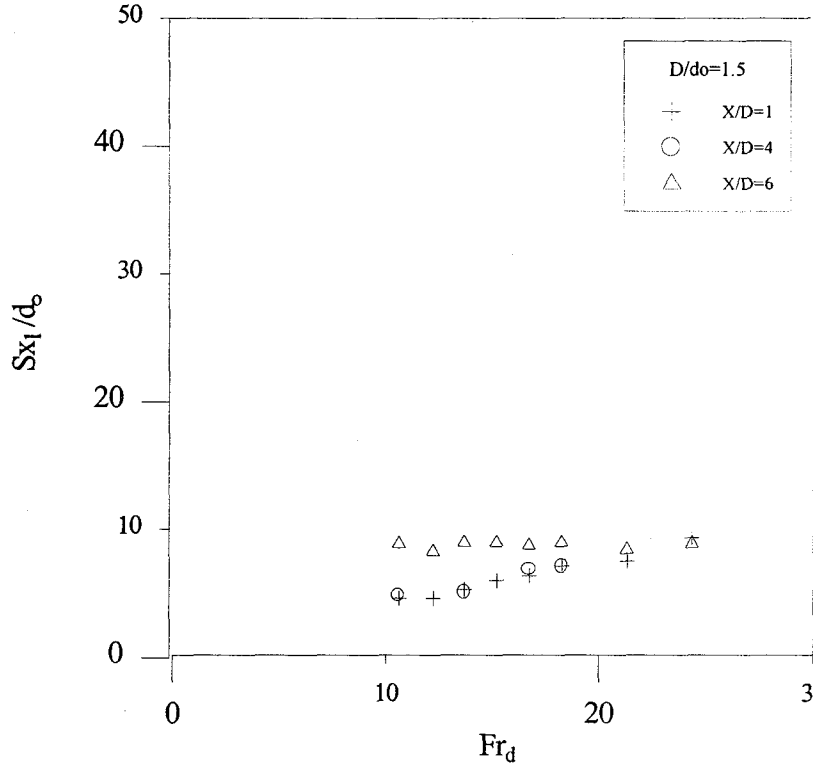
Deneylerin ikinci aşamasında ise $Fr_d = 18.27$ sayısında $X/D=2$ için jet düşey doğrultuda tabandan itibaren çeşitli açıklıklarda yerleştirilmiştir. Tabana olan uzaklık jet çapının katları şeklinde seçilmiş ve $Y/d_0=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9$ ve 10 olarak belirlenmiştir. Jetin $Y/d_0=10$ için artık taban üzerinde bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Şekil 4.7'de $Fr_d=18.27$ için farklı açıklık oranlarında oyulma derinliğinin değişimi gösterilmiştir. Kazık çapı küçüldükçe jetin etkisi daha önce kaybolmaktadır. Şekil incelendiğinde su jetinin etkisini kaybettiği açıklık oranı $Y/d_0=10$ olarak belirlenmiştir, yani kazık çapının 10 katı mesafeden sonra su jeti etkili olmamaktadır.

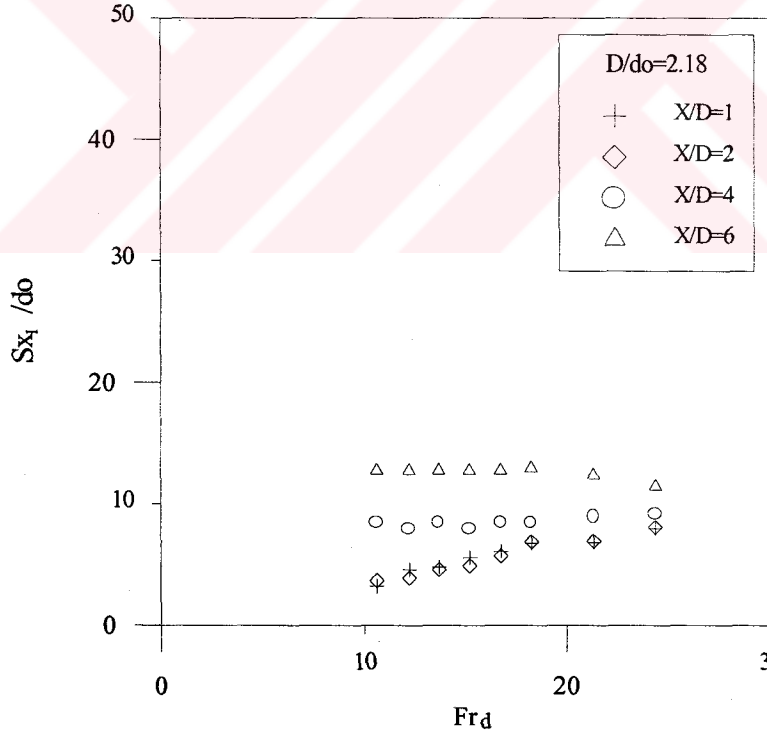
4.3 Kazık Etrafında Oyulmanın Geometrisi

Kazık etrafındaki taban profili oyulma bölgesi ve yığılma bölgesi olarak ikiye ayrılmaktadır. Yapılan deneylerde kazık, seçilen jet uzaklıklarına bağlı olarak her zaman oyulma bölgesinin içinde kalmıştır.

Şekil 4.8 incelendiğinde jet kazıktan uzaklaştıkça kazığın membasında daha geniş bir alanda etkin olmaktadır. $X/D \leq 2$ için Fr_d sayısı arttıkça jet ucundaki sarkma miktarının arttığı S_{x1} 'in Fr_d ile artmasından anlaşılmaktadır. Şekil 3.9'dan görüldüğü gibi oyulma çukurunun geliştiği bölge yani çukur uzaklığı X/D ve Fr_d sayılarının artmasıyla büyümektedir. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 incelendiğinde jetin kazıktan uzaklaşması durumunda taban malzemesi ile temas alanı arttığından daha fazla malzemeyi harekete geçirdiği ve bu nedenle oyulma profilinin daha büyük bir alana yayıldığı gözlemlenmiştir.

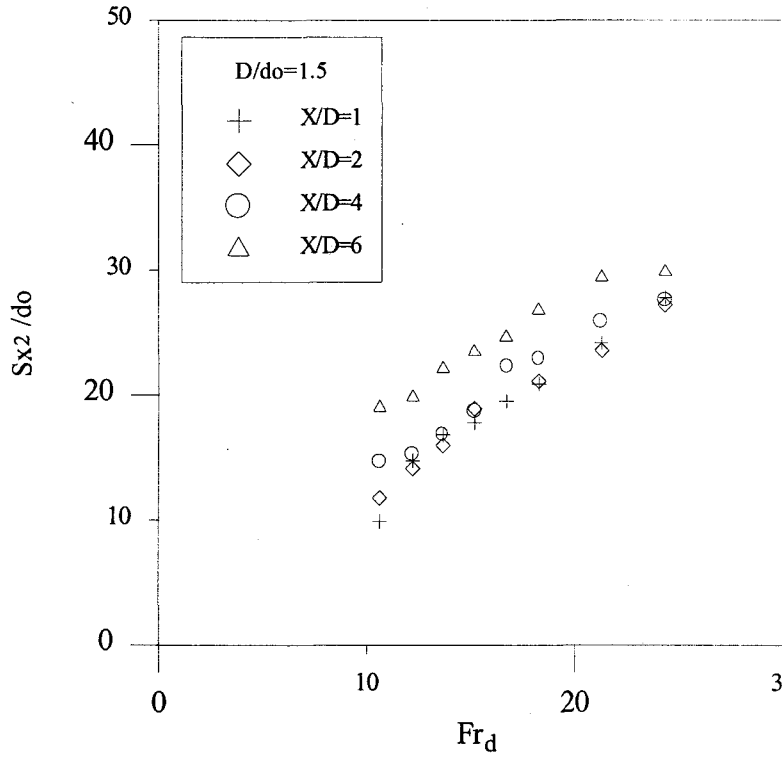


(a)

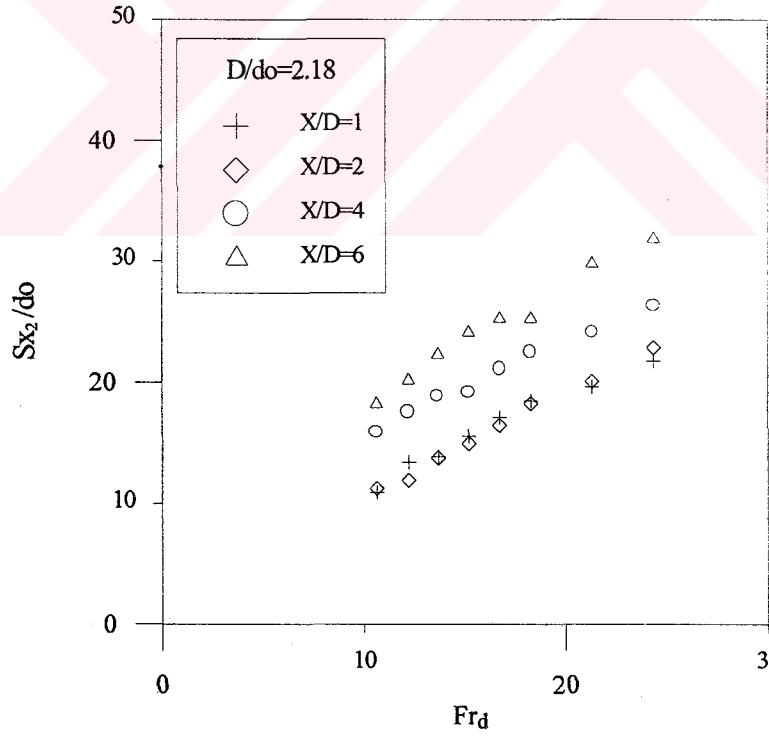


(b)

Şekil 4.8 Kazık membasındaki rölatif oyulma çukuru uzunluğunun Fr_d ile değişimi

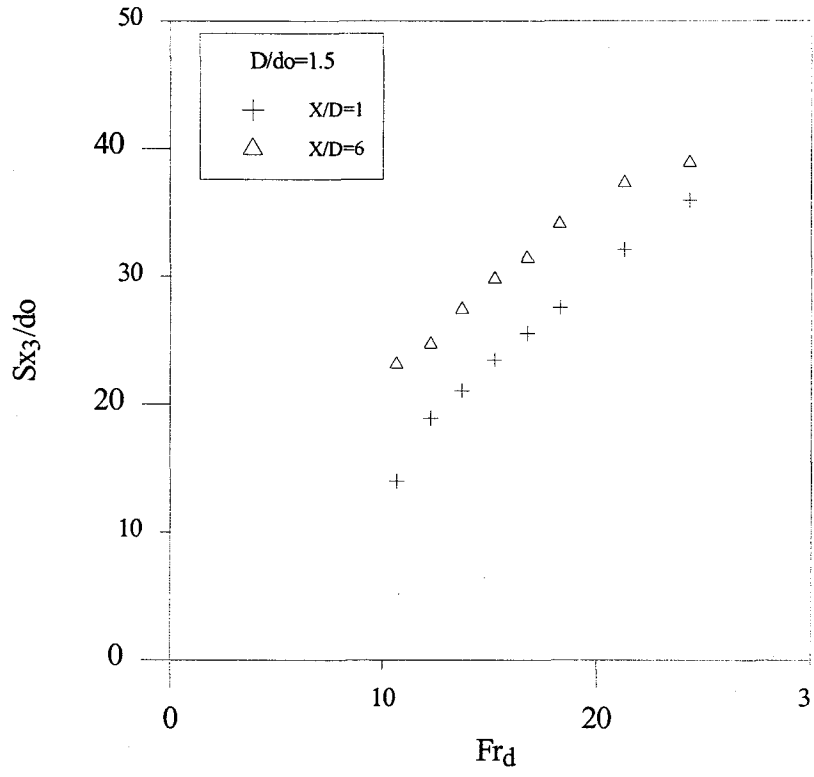


(a)

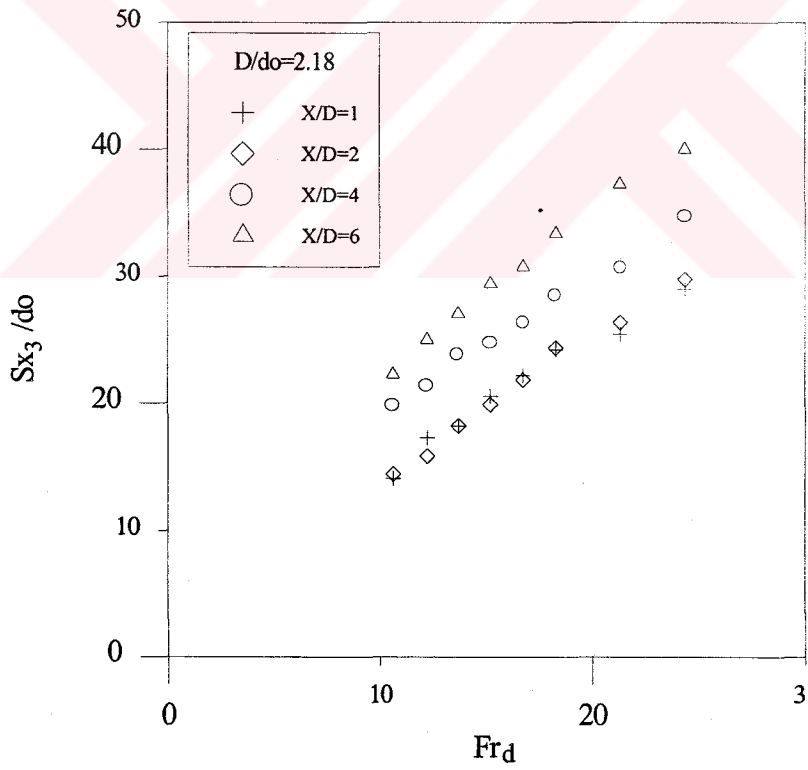


(b)

Şekil 4.9 Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun Fr_d ile değişimi

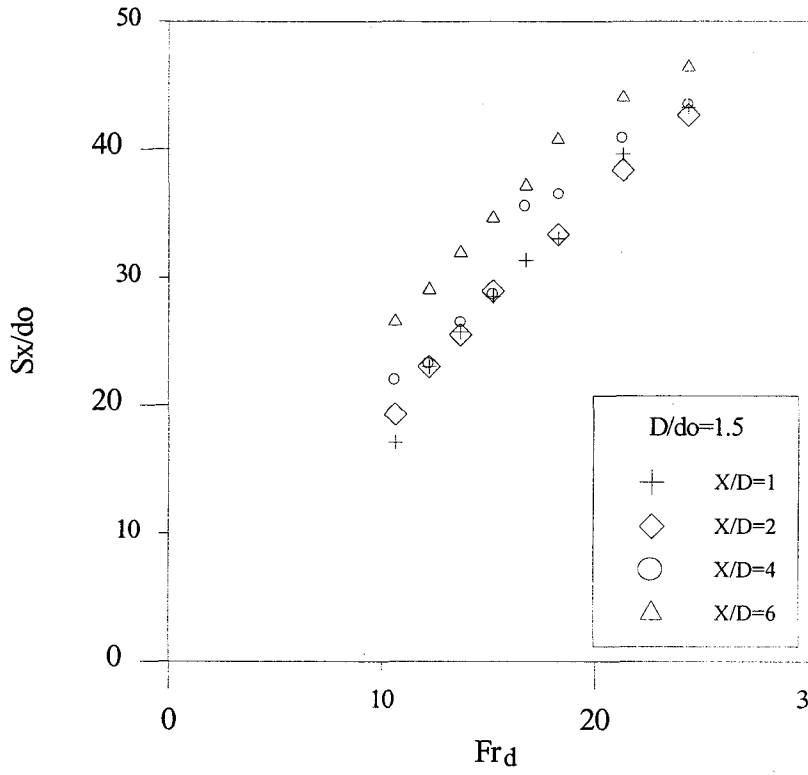


(a)

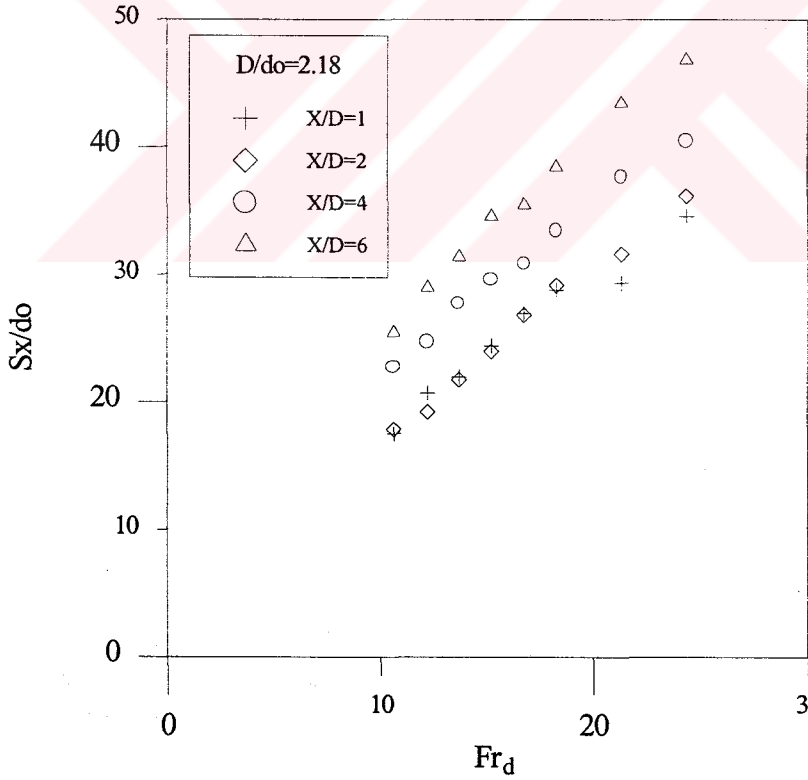


(b)

Şekil 4.10 Yığılma bölgesinin uzaklığının Fr_d ile değişimi

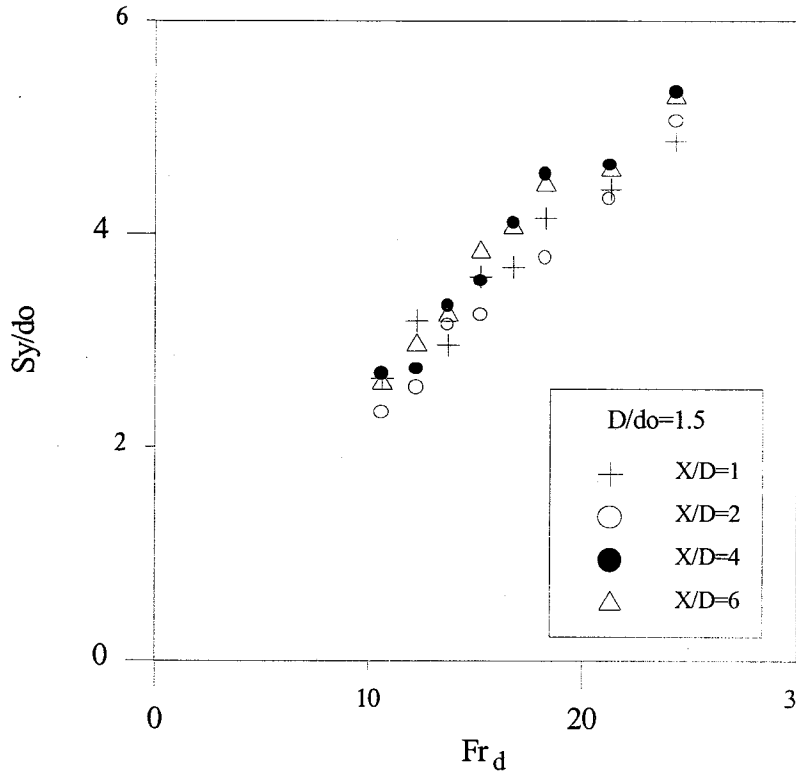


(a)

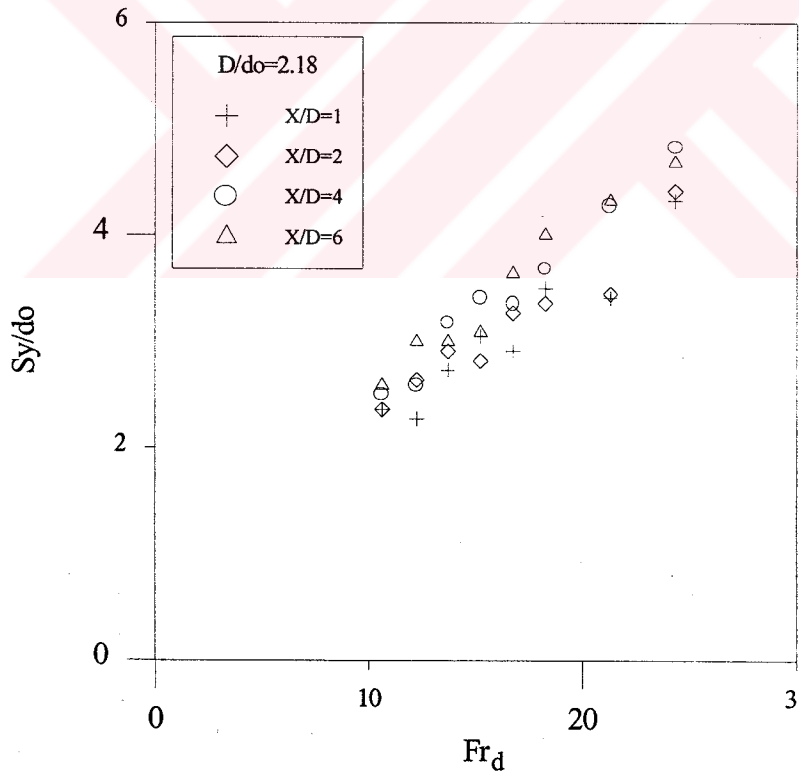


(b)

Şekil 4.11 Rölatif oyulma profili uzunluğunun Fr_d ile değişimi



(a)

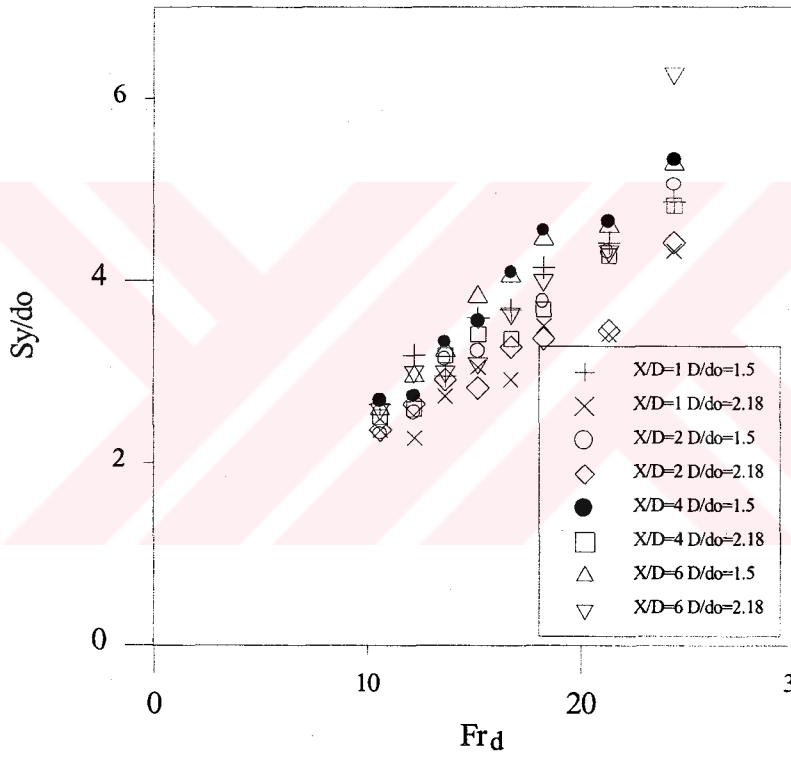


(b)

Şekil 4.12 Rölatif yığılma yüksekliğinin Fr_d ile değişimi

Şekil 4.12'de oyulma çukurundan taşınan malzemenin mansapta oluşturduğu yığılma yüksekliğinin Fr_d ile değişimi gösterilmiştir. Burada jetin uzaklaşmasıyla daha büyük bir memba alanından daha fazla malzemenin taşınması nedeniyle daha yüksek bir kum tepesinin oluştuğu görülebilmektedir.

Şekil 4.13 incelendiğinde küçük çaplı kazıktaki ($D/d_o=1.5$) yığılma yüksekliğinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, küçük çaplı kazığın jet normalindeki kesiti daha küçük olduğundan jetin kazığa çarpması sonucunda daha az enerji kaybetmesi ve böylece akımın içine çekilen malzemeyi daha yukarıya taşıyabilmesi ve erozyona jet difüzyon mekanizmasının hakim olması olarak açıklanabilir.



Şekil 4.13 Rölatif yığılma yüksekliğinin Fr_d ile değişimi

5. Sonuçlar ve Öneriler

Kazıklı limanlarda kazıklar etrafında pervane jetinden dolayı meydana gelen oyulma ve bu oyulma üzerinde etkili parametrelerin belirlenmesi amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada deney koşulları $Fr_d=10.63-24.37$, $D/d_0=1.5-2.18$, $X/D=1-6$, $Y/d_0=0-10$ arasında seçilmiştir. Deneyler sakin suda ve $h=40$ cm su yükünde yapılmıştır. Dalga, akıntı ve dümen etkisi ile liman içi çalkantılar dikkate alınmamıştır. Deneylerde tane çapı $d_{50}=1.28$ mm olan tek taban malzemesi kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- 1) Maksimum denge oyulma derinliğinin Fr_d sayısının artmasıyla arttığı belirlenmiştir.
- 2) Oyulma profilinin denge konumuna ulaşma süresi Fr_d sayısı arttıkça artmaktadır.
- 3) Yapılan deneylerde ilk bir saat içinde denge konumundaki maksimum oyulma derinliğinin %96'sına ulaşıldığı ve oyulma profilinin %95'inin meydana geldiği belirlenmiştir.
- 4) Jet ile kazık arasındaki mesafe arttıkça kazık çapının denge oyulma derinliğine ulaşma süresi üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir. Erozyona jet difüzyon mekanizması hakim olmaktadır.
- 5) Tüm koşullar bir arada değerlendirildiğinde oyulma derinliği için regresyon ifadesi ($r=0.97$) aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\frac{S}{d_0} = 0.31Fr_d^{0.92}$$

- 6) Elde edilen deney sonuçları ile Chin ve diğ. (1996)'nin sonuçları bir araya getirildiğinde regresyon ifadesi ($r=0.96$) aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların Chin ve diğ. (1996)'nin sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

$$\frac{S}{d_0} = 0.29Fr_d^{0.90}$$

- 7) Pervane jetinin etkili olduğu açıklık oranı mevcut deney koşullarında yaklaşık olarak $Y/d_0=10$ 'dır. Yani kazık çapının 10 katı mesafeden sonra su jeti etkili olmamaktadır.
- 8) Kazık çapı küçüldükçe jetin oyulma çukuru üzerindeki etkisi tabandan düşey olarak uzaklaştıkça daha önce ortadan kalkmaktadır.
- 9) Kazık etrafındaki taban profilinin oyulma ve yığılma bölgesi olarak ikiye ayrıldığı gözlenmiştir. Taban profilinin jet kazıktan uzaklaştıkça ve Fr_d sayısı arttıkça büyüdüğü ve daha büyük bir alana yayıldığı gözlenmiştir.
- 10) Jetin kazıktan uzaklaşmasıyla ve D/d_0 oranının küçülmesiyle yığılma yüksekliğinin arttığı belirlenmiştir.
- 11) Bu çalışmada tek kazık hali dikkate alınmıştır. Birden fazla kazığın bir arada bulunduğu kazık grupları dikkate alınarak bunların birbirleri ve jet ile etkileşimlerinin oyulma profili üzerindeki etkisinin incelenmesi oyulma mekanizmasının daha iyi anlaşılması açısından yararlı olacaktır.
- 12) Farklı jet çaplarının kullanılması jet ve kazığın birbirleri ile etkileşiminin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.
- 13) Dümen etkisi dikkate alınarak pervane jetinin kazığa farklı açılarda çarpması ile meydana gelebilecek oyulma profilleri araştırılmalıdır.
- 14) Deney koşullarında dalga ve akıntı etkisi ile liman içi çalkantıların da dikkate alınması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Bergh, H., and Cederwall, K., (1981), "Propeller erosion in harbours." Bull. No. TRITA - VBI - 107, Hydraulics Laboratory, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Blaauw, H. G., and Kaa, E. J. van de., (1978), "Erosion of bottom and sloping banks caused by the screw race of the manoeuvring ships." Publ. No. 202, Delft Hydraulics Laboratory, Delft, The Netherlands.
- Breusers, H. N. C., Nicollet, G. and Shen, H. W., (1977), "Local Scour Around Cylindrical Piers", Journal Hydraulic Res., Vol. 15, p. 211-252.
- Chait, S., (1987), "Undermining of quay walls at South African ports due to the use of bow thrusters and other propeller units." PIANC, Bul. No. 58, 107 - 110.
- Chin, C. O., Chiew, Y. M., Lim, S. Y., and Lim, F. H., (1996), "Jet scour around vertical pile", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 122, No:2, pp. 59-67
- Çevik (Özkan), E., (1997), "Dalga Etkisinde Denizaltı Boru Hatları ve Deniz Taban Etkileşiminin Belirlenmesi", Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fuehrer, M. and Römisch, K., (1977), "Effects of modern ship traffic on inland-and ocean-waterways and their structures". PIANC 24th Congress, Leningrad.
- Hamill, G. A. (1988), "The scouring action of the propeller jet produced by a slowly manoeuvring ship." Bull. No. 62, Permanent International Association of Navigation Congresses, 85-110.
- Hamill, G. A., Johnston, H. T., and Stewart, D. P., (1999), "Propeller wash scour near quay walls", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 125, No:4, pp. 15616
- Lange, J. P., Herbert, P., and Byl, R. (1987), "Problèmes d'érosion aux ouvrages de quai existants causés par les propulseurs d'étrave et les hélices principales de navires lors de leurs accostages ou appareillage." PIANC, Bull. No. 58, 16 - 43 (in French).
- Lim, S. Y. (1995b), "Scour below unsubmerged full-flowing culvert outlets." Proc., Instn. Civ. Engrs. Water, Maritime and Energy, Institution of Civil Engineers, London, England, 112, 136-149.
- McKillen, G. (1985), "A model and field study of ship propulsion induced bed movements at berths." M.Sc Thesis, Queens University of Belfast, Dept. of Civ. Engrg.
- PIANC (Permanent International Association of Navigation Congress), (1997), Guidelines for the Design of Armoured Slopes Under Open Piled Quay Walls, Reports of Working Group 22, Supplement to Bulletin no. 96.
- Prosser, M. J., (1986), "Propeller induced scour". BHRA, Report RR 2570.
- Quarrin, R., (1994), "Influence of the sea bed geometry and berth geometry on the hydrodynamics of the wash from a ship's propeller." PhD. Thesis, Queens University of Belfast.
- Rajaratnam, N., (1981), "Erosion by plain turbulent jets." J. Hydr. Res., Delft, The Netherlands, 19(2).
- Rajaratnam, N., and Berry, B., (1977), "Erosion by circular wall jets." J. Hydr. Res. , 15(3), 277-289.

Romisch, K., (1975), "Der propellerstrahl als erodierendes element bei an-und abegenanovern von schiffen." Seeewirtschaft Berlin, 15, 187-190 (in Polish).

Sawicki, A., Kulczykowski, M., Robakiewicz, W., Mierczynski, J., and Hauptmann, J., (1997), "New Type of Bottom Protection in Harbours - Design Method", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering.

Van der Weijde, R. W., Heijndijk, P. J. M., Noordijk, A. C., and Kleijheeg, J. T., (1992), "Scouring by ships propellers-tracing, repair, prevention". 10th Int. Harbour Congress, Antwerp.

Van Rijn, L., (1998), Principles of Coastal Morphology, Aqua Publications, Amsterdam, The Netherlands.

Verhey, H. J., (1983), "The stability of bottom and banks subjected to the velocities in the propeller jet behind ships.", 8th Int. Harbour Congress, Antwerp.

Yüksel, Y., (1988), "Akarsu Kıvrımlarına Yerleştirilmiş Köprü Ayakları Etrafındaki Maksimum Denge Oyulma Derinliğinin Araştırılması", 'Ülkemizin Kalkınmasında Mühendisliğin Rolü' Sempozyumu, Yıldız Üniv., İstanbul.

Yüksel, Y., (2000), Teori ve Çözümlü Problemler ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik, Beta Yayınları, İstanbul.

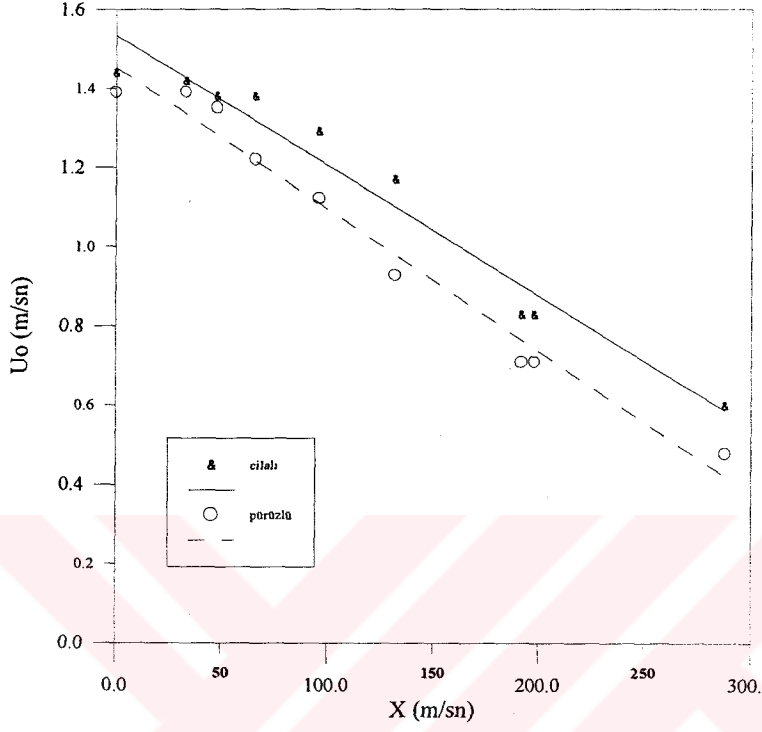
EKLER

Ek 1 Aynı jet debisinde pürüzlü taban ve cilalı (su içinde) hal için hızın jet eksenı boyunca değışimi

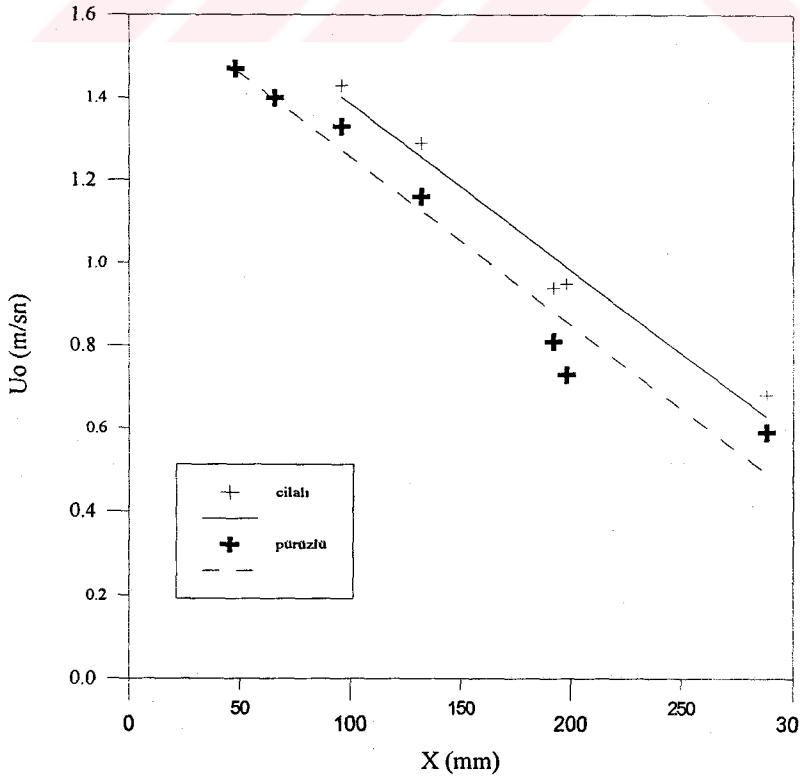


Ek 1 Aynı jet debisinde pürüzlü taban ve cilalı (su içinde) hal için hızın jet eksenini boyunca değişimi

$Q = 40 \text{ lt/dak}$

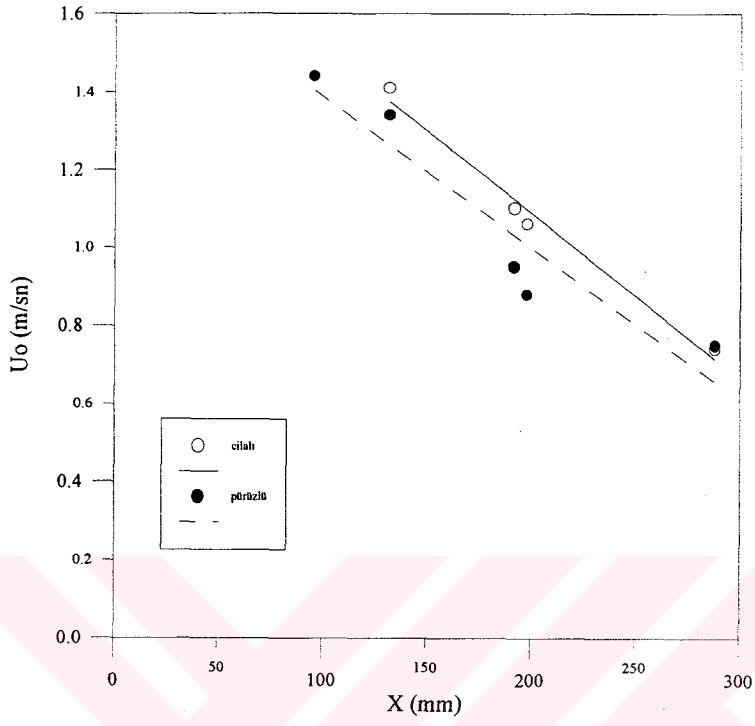


$Q = 45 \text{ lt/dak}$

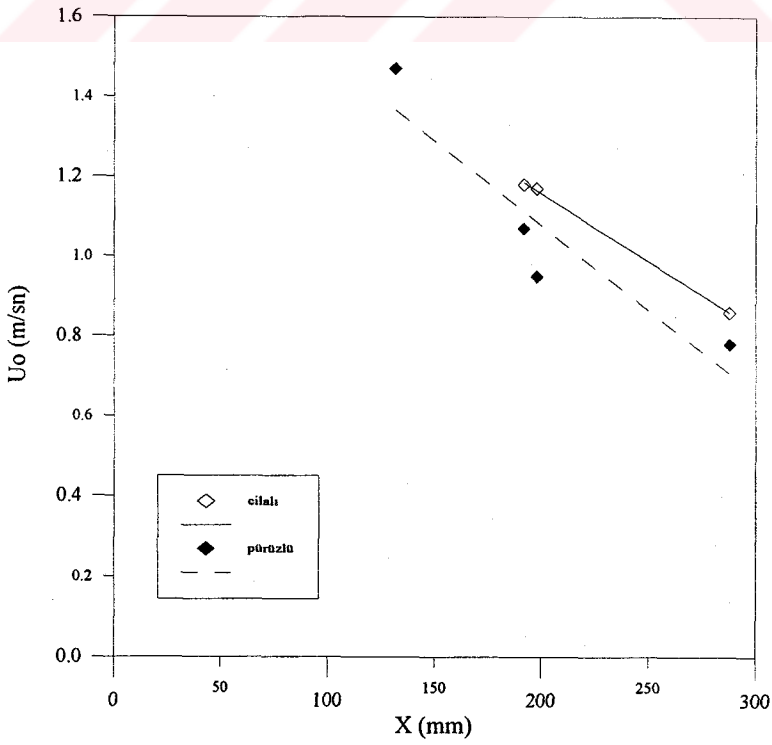


Ek 1 Devamı

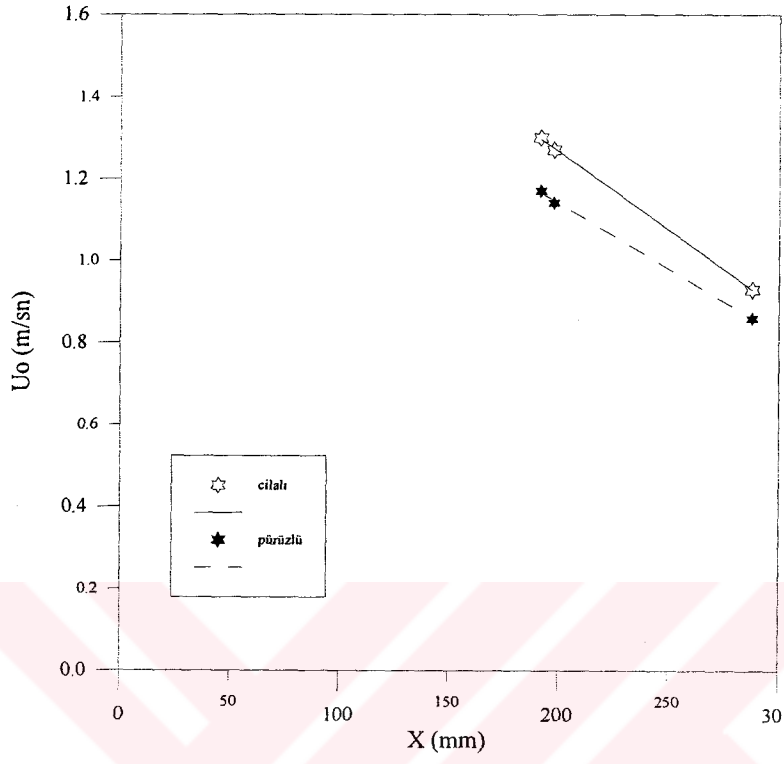
Q= 50 lt/dak



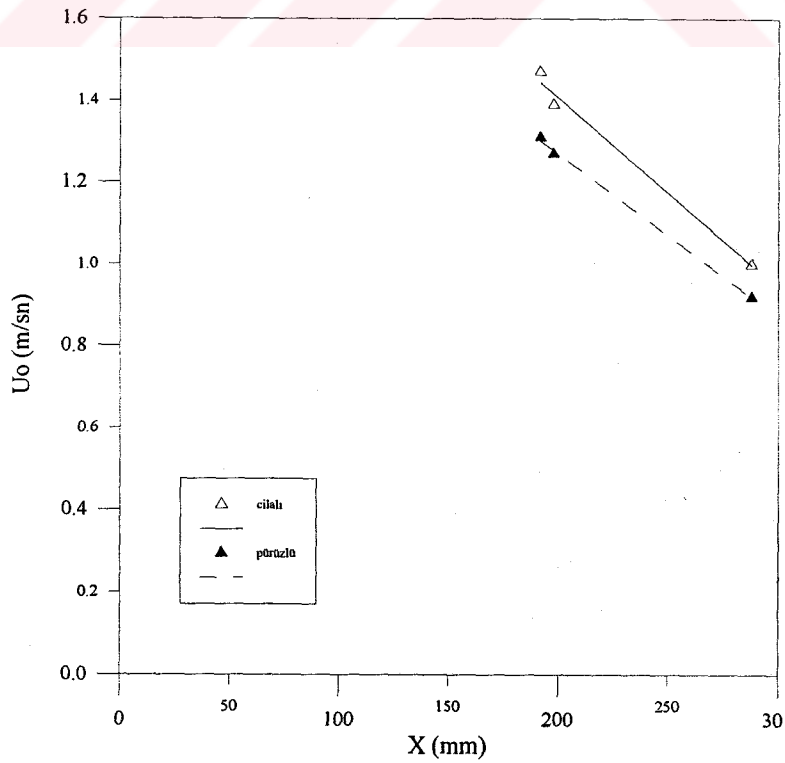
Q= 55 lt/dak



Q= 60 lt/dak



Q= 70 lt/dak



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 03.08.1978

Doğum Yeri İstanbul

Lise 1988-1994 Bartın Lisesi

Lisans 1994-1999 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1999-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı

Çalıştığı Kurumlar

1999-Devam ediyor YTÜ İnşaat Fakültesi Araştırma Görevlisi

