

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	4
2. OYULMA MEKANİZMASI	6
2.1 Bir Boyutlu Akım Halinde Erozyon ve Yığılma	6
2.2 Köprü Ayakları Etrafında Meydana Gelen Yerel Oyulma Olayı	7
2.2.1 Silindirik Ayak Etrafındaki Akım Yapısı	8
2.2.2 Uniform Malzemede Oyulma	10
2.2.3 Katı Madde Sınıfının Etkisi	12
2.2.4 Köprü Ayağının Katı Madde Boyutuna Oranının Etkisi	15
2.2.5 Akım Derinliğinin Etkisi	16
2.2.6 Atak Açısı ve Ayak Şekli'nin Etkisi	17
2.2.7 Tabakalaşmış Katı Madde İçin Yerel Oyulma	19
2.2.8 Kararsız Akım Durumunda Yerel Oyulma	19
2.2.9 Oyulmanın Engellenmesi	20
2.2.10 Kazık Gruplarından Oluşan Köprü Ayaklarında Oyulma	21
2.2.11 Köprü Ayağı Oyulma Hesabının Özeti	26
2.3 Plunging Jetlerin Sebep Olduğu Oyulma	27
2.4 Silindirik Yapılar Etrafında Yerel Taban Hareketi	29
2.5 Düşey Yüzlü Kıyı Duvarlar Önünde Yerel Taban Hareketi	32
2.6 Dalgakıran Kafalarında Meydana Gelen Yerel Taban Hareketleri	33
2.7 Gemi Pervanelerinin Jetinden Kaynaklanan Erozyon	36
3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE MODELLEME	37
3.1 Deney Sistemi	37
3.1.1 Deney Kanalı	37
3.1.2 Ölçme Yöntemi	38
3.1.3 Kazık Grupları	39
3.1.4 Deney Şartları	39

3.1.5	Deney Sistemine Ait Görünümler	43
3.2	Boyut Analizi ve Erozyonun Modellenmesi	51
4.	DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	55
4.1	Deney Şartları ve Uygulamalar	55
4.2	Kazık Etrafında Akım ve Taban Hareketi	56
4.3	Kazık Etrafındaki Oyulma Profilleri	56
4.4	Erozyon Mekanizması İle İlgili Değerlendirmeler	57
5.	DENEY SONUÇLARI VE ÖNERİLER.....	92
KAYNAKLAR.....		94
ÖZGEÇMİŞ.....		98

SİMGE LİSTESİ

d_0	Jet çapı
τ_{kr}	Kritik kayma gerilmesi
A	Tabandaki yörüngesel hareketin genliği
S_1	Denge durumunda birinci kazık önünde meydana gelen oyulma
S_2	Denge durumunda ikinci kazık önünde meydana gelen oyulma-yığılma
U_m	Maksimum yatay yörüngesel hız
T	Dalga periyodu
KC	Keulegan Carpenter sayısı
R	Hidrolik yarıçap
a	Kazık eksenleri arasındaki mesafe
S_m	Kazıklar arasındaki maksimum taban seviyesi
d	Taban malzemesinin çapı
s	Taşların yoğunluğu
b	Silindirik köprü ayağının çapı
V_{maks}	Silindirik köprü ayağının önündeki düşey akım hızı
u	Akım hızı
u^*	Kayma hızı
S^*	Oyulma derinliği
u_{kr}	Kritik kayma hızı
ρ	Akışkanın özgül kütlesi
D_0	Su yüzüne çarpan dairesel jetin çapı
B_0	Düzlemsel jetin kalınlığı
U_{Rb}	Boru Ursell sayısı
h_b	Kırılma derinliği
Q	Su jetinin debisi
X	Su jetinin ilk kazığa olan yatay mesafesi
μ	Akışkanın dinamik viskozitesi
D_p	Pervane çapı
Y	Jet ekseninin tabana olan uzaklığı
U_0	Su jetinin çıkış hızı
n	Pervanenin bir dakikadaki dönüş sayısı
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
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
ν	Akışkanın kinematik viskozitesi
C_t	Pervane güç katsayısı
Re	Reynolds Sayısı
S_{x1}	Denge durumunda oyulma başlangıcının kazığa olan yatay uzaklığı
S_{x2}	Denge durumunda oyulma bölgesinin uzunluğu
S_{x3}	Denge durumunda yığılma bölgesinin uzunluğu

S_x	Denge durumunda erozyon profilinin toplam uzunluğu
S_y	Denge durumunda yığılma yüksekliği
U	Kazığın menbasındaki kesitsel ortalama hız
d_{90}	Taban malzemesinin %90'ının geçtiği elek çapı
d_{60}	Taban malzemesinin %60'ının geçtiği elek çapı
σ	Standart sapma
U_{kr}	Katı madde hareketinin başladığı kritik hız

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Belli bir ayak ve katı madde boyutu için; (a) zamanın fonksiyonu olarak (b) kayma hızının fonksiyonu olarak oyulma derinliği.....	8
Şekil 2.2	Silindirik köprü ayağı etrafındaki akım yapısı.....	8
Şekil 2.3	Ettema (1980)' ya göre, Melville (1975)' in ölçüm noktalarıyla düşey akım hızı V_{maks} ve Shen ve diğ. (1963) tarafından önerilen sabit yaklaşım hızı (U) ilişkisi (kesikli çizgi)	9
Şekil 2.4	Silindirik ayak etrafında oyulma derinliğinin değişimi (üniform katı madde).....	11
Şekil 2.5	$K\sigma$ ile σ_g arasındaki ilişki	12
Şekil 2.6	Silindirik ayak etrafında oyulma derinliğinin değişimi (Üniform katı madde)	14
Şekil.2.7	Rölatif b/d_{50} boyutu tarafından oluşturulan ve rölatif boyuttan bağımsız olan, b/d_{50} ' nin fonksiyonu olan yerel denge oyulma derinliğinin K (b/d_{50}) oranı.....	16
Şekil.2.8	K_y ile y_o/b ' nin değişimi.....	17
Şekil.2.9	(α) Atak açılarıyla K_α katsayısının değişimi	18
Şekil 2.10	Keson temel	19
Şekil 2.11	Kazık mesafesinin bir fonksiyonu olarak akımla aynı doğrultuda iki kazık için oyulma derinlikleri.....	24
Şekil 2.12	Kazıklar arasındaki mesafenin fonksiyonu olarak iki kazık için oyulma derinliği	25
Şekil 2.13	Aralarında 5D mesafe bulunan iki kazık durumunda atak açısının oyulma derinliğine etkisi.....	261
Şekil 2.14	Art-iz etkisi; a)akıntı, b)dalga, (Sümer ve Fredsøe, 1990).....	30
Şekil 2.15	Rölatif oyulma derinliğinin KC ile değişimi (Çevik ve Yüksel,1998).....	31
Şekil 2.16	Rölatif oyulma derinliğinin U_{RB} ile değişimi Çevik ve Yüksel (1998).....	31
Şekil 2.17	Kritik su derinliğinin ξ ile değişimi Çevik ve Yüksel, (1998).....	32
Şekil 2.18	Duran dalga ve taban değişimleri Yüksel ve diğ. (1998).....	33
Şekil 2.19	Düşey yüzölçümü dalgakıran kafası etrafında oluşan akım rejimleri Sümer ve Fredsøe(1997).....	34
Şekil 2.20	Akım yapısı a)Düşey yüzölçümü dalgakıran b)Düşey silindir.....	35
Şekil 2.21	Denge halinde taban topografyasının 3 boyutlu değişimi, Sümer ve Fredsøe (1997).....	35
Şekil 3.1	Deney sistemi.....	37
Şekil 3.2	Deney kumu granülometrisi (Çevik, Ö .,E., 1997)	38
Şekil 3.3	Deney sistemine ait görünümeler	43
Şekil 3.3 (a)	$D=90$ mm, $d_0=22$ mm $a/D= 2$ için orifis-jet erozyonu.....	43
Şekil 3.3 (b)	$D=90$ mm, $d_0=16$ mm $a/D= 2$ için orifis-jet erozyonu.....	43
Şekil 3.3 (c)	$D=90$ mm, $d_0=16$ mm $a/D= 3$ için orifis-jet erozyonu.....	44
Şekil 3.3 (d)	$D=90$ mm, $d_0=16$ mm $a/D= 3$ için orifis-jet erozyonu.....	44
Şekil 3.3 (e)	$D=48$ mm, $d_0=16$ mm $a/D=10$ için orifis-jet erozyonu.....	45
Şekil 3.3 (f)	$D=33$ mm, $d_0=22$ mm $a/D=12$ için orifis-jet erozyonu.....	45
Şekil 3.3 (g)	$D=33$ mm, $d_0=16$ mm $a/D=12$ için orifis-jet erozyonu.....	46
Şekil 3.3 (h)	$D=33$ mm, $d_0=16$ mm $a/D=14$ için orifis-jet erozyonu.....	46
Şekil 3.3 (j)	$D=33$ mm, $d_0=22$ mm $a/D=12$ için orifis-jet erozyonu.....	47
Şekil 3.3 (k)	$D=90$ mm, $d_0=22$ mm $a/D= 3$ için orifis-jet erozyonu.....	47
Şekil 3.3 (l)	$D=33$ mm, $d_0=16$ mm $a/D= 2$ için orifis-jet erozyonu.....	48
Şekil 3.3 (m)	$D=33$ mm, $d_0=16$ mm $a/D= 2$ için orifis-jet erozyonu.....	48
Şekil 3.3 (n)	$D=33$ mm, $d_0=16$ mm $a/D= 3$ için orifis-jet erozyonu.....	49
Şekil 3.3 (o)	$D=48$ mm, $d_0=22$ mm $a/D= 2$ için orifis-jet erozyonu.....	49
Şekil 3.3 (p)	$D=33$ mm, $d_0=22$ mm $a/D= 6$ için orifis-jet erozyonu.....	50
Şekil 3.3 (r)	$D=33$ mm, $d_0=22$ mm $a/D= 6$ için orifis-jet erozyonu.....	50

Şekil 4.1	Jet ekseninde iki kazık halinde meydana gelen oyulma çukuru geometrisi	55
Şekil 4.2	Jet ekseninde iki kazık halinde ($Fr_d < 12.23$) denge konumunda iken meydana gelen oyulma çukuru geometrisi	57
Şekil 4.3	Jet ekseninde iki kazık halinde ($Fr_d > 20.15$) denge konumunda iken meydana gelen oyulma çukuru geometrisi	57
Şekil 4.4(a)	Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranı ile değişimi	58
Şekil 4.4(b)	Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranı ile değişimi	59
Şekil 4.4(c)	Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranı ile değişimi	59
Şekil 4.4(d)	Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranı ile değişimi	60
Şekil 4.4(e)	Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranı ile değişimi	60
Şekil 4.4(f)	Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranı ile değişimi	61
Şekil 4.4(g)	Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranı ile değişimi	61
Şekil 4.5(a)	Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranına göre değişimi	62
Şekil 4.5(b)	Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranına göre değişimi	63
Şekil 4.5(c)	Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranına göre değişimi	63
Şekil 4.5(d)	Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranına göre değişimi	64
Şekil 4.5(e)	Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranına göre değişimi	64
Şekil 4.5(f)	Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranına göre değişimi	65
Şekil 4.6(a)	Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun açıklık oranı (a/D) ile değişimi	66
Şekil 4.6(b)	Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun açıklık oranı (a/D) ile değişimi	66
Şekil 4.6(c)	Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun açıklık oranı (a/D) ile değişimi	67
Şekil 4.6(d)	Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun açıklık oranı (a/D) ile değişimi	67
Şekil 4.6(e)	Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun açıklık oranı (a/D) ile değişimi	68
Şekil 4.6(f)	Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun açıklık oranı (a/D) ile değişimi	68
Şekil 4.7(a)	Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun açıklık oranı (a/D) ile değişimi	69
Şekil 4.7(b)	Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun açıklık oranı (a/D) ile değişimi	70
Şekil 4.7(c)	Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun açıklık oranı (a/D) ile değişimi	70
Şekil 4.7(d)	Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun açıklık oranı (a/D) ile değişimi	71
Şekil 4.7(e)	Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun açıklık oranı (a/D) ile değişimi	71
Şekil 4.8(a)	Sx_3 ile açıklık oranı a/D nin değişimi	72
Şekil 4.8(b)	Sx_3 ile açıklık oranı a/D nin değişimi	73
Şekil 4.8(c)	Sx_3 ile açıklık oranı a/D nin değişimi	73
Şekil 4.8(d)	Sx_3 ile açıklık oranı a/D nin değişimi	74
Şekil 4.8(e)	Sx_3 ile açıklık oranı a/D nin değişimi	74
Şekil 4.8(f)	Sx_3 ile açıklık oranı a/D nin değişimi	75
Şekil 4.9(a)	Sx_3 ile açıklık oranı a/D nin değişimi	79
Şekil 4.9(b)	Sx_3 ile açıklık oranı a/D nin değişimi	80
Şekil 4.9(c)	Sx_3 ile açıklık oranı a/D nin değişimi	80
Şekil 4.9(d)	Sx_3 ile açıklık oranı a/D nin değişimi	81
Şekil 4.9(e)	Sx_3 ile açıklık oranı a/D nin değişimi	81
Şekil 4.10(a)	Sx ile açıklık oranı a/D nin değişimi	76
Şekil 4.10(b)	Sx ile açıklık oranı a/D nin değişimi	76
Şekil 4.10(c)	Sx ile açıklık oranı a/D nin değişimi	77
Şekil 4.10(d)	Sx ile açıklık oranı a/D nin değişimi	77
Şekil 4.10(e)	Sx ile açıklık oranı a/D nin değişimi	78
Şekil 4.10(f)	Sx ile açıklık oranı a/D nin değişimi	78
Şekil 4.11(a)	Sx ile açıklık oranı a/D nin değişimi	82
Şekil 4.11(b)	Sx ile açıklık oranı a/D nin değişimi	82
Şekil 4.11(c)	Sx ile açıklık oranı a/D nin değişimi	83
Şekil 4.11(d)	Sx ile açıklık oranı a/D nin değişimi	83
Şekil 4.11(e)	Sx ile açıklık oranı a/D nin değişimi	84

Şekil 4.12(a)	Sy ile açıklık oranı a/D nin değişimi.....	85
Şekil 4.12(b)	Sy ile açıklık oranı a/D nin değişimi.....	86
Şekil 4.12(c)	Sy ile açıklık oranı a/D nin değişimi.....	86
Şekil 4.12(d)	Sy ile açıklık oranı a/D nin değişimi.....	87
Şekil 4.12(e)	Sy ile açıklık oranı a/D nin değişimi.....	87
Şekil 4.12(f)	Sy ile açıklık oranı a/D nin değişimi.....	88
Şekil 4.13(a)	Sy ile açıklık oranı a/D nin değişimi.....	89
Şekil 4.13(b)	Sy ile açıklık oranı a/D nin değişimi.....	89
Şekil 4.13(c)	Sy ile açıklık oranı a/D nin değişimi.....	90
Şekil 4.13(d)	Sy ile açıklık oranı a/D nin değişimi.....	90
Şekil 4.13(e)	Sy ile açıklık oranı a/D nin değişimi.....	91

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Dünya deniz ticareti.....	1
Çizelge 3.1 İki kazık halinde deney şartları	39
Çizelge 3.2 Etkili Büyüklükler	51
Çizelge 3.3 Değişken Boyutları.....	52
Çizelge 3.4 Boyutsuz büyüklüklerin üstel değerleri.....	53

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmasında tezimin yöneticisi Yrd.Doç.Dr.Yeşim ÇELİKOĞLU'na projenin hazırlanması süresince, yardım ve desteğini esirgemeyen, her konuda yol gösteren değerli hocam Prof.Dr.Yalçın YÜKSEL'e çalışmam süresince yardımı olan arkadaşlarım, hocalarım ve aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ocak,2006

İnş.Müh.Eyüp ŞİŞMAN

ÖZET

Dünya üzerinde deniz yolu ile yapılan taşımacılık hacmi toplam taşımacılığın % 90'ına tekabül etmektedir. Teknolojik gelişmelerle deniz yoluyla yapılan taşımacılıkta son derece modern, yüksek hız ve güce sahip gemilerin kullanılmasıyla bu oran hızla artmış ve artmaya devam etmektedir. İşletme ve ekonomik nedenlerden dolayı gemilerin romörk yardımı almadan kendi imkanlarıyla yanaşması tercih edilmiş, fakat bu yolla yapılan yanaşmalar sırasında taban erozyonu problemi ortaya çıkmıştır.

Limanlarda yanaşma yapısının çevresinde oluşan ve yerel oyulma şeklinde kendini gösteren bu olay yapıları stabilite problemiyle karşı karşıya bırakmıştır. Konuyla ilgili yapılmış ve yapılacak çalışmalar liman işletmecileri ve ilgili yapıların projelendirilmesini yapacak mühendisler için büyük önem arz etmektedir. Yapılan çalışmaların büyük emek ve süre istemesinden ve olaya etkili birkaç parametre dışındaki diğer değişkenlerle ilgili çalışmaların azlığından olayın bütününe araştırılması daha uzun yıllar sürecektir.

Bu çalışmada kazıklı olarak inşa edilmiş rıhtımlarda pervanelerden çıkan su jetlerinin etkisiyle oluşacak oyulma mekanizması incelenmiştir. Çalışmada bir çift kazıktan oluşan kazık grubu seçilmiştir. Kazıklar ard arda yerleştirilmiş, sabit olan birinci kazık ile aralarındaki mesafe değiştirilen ikinci kazığın oluşturdukları oyulma profilleri belirlenmiştir. Oyulma derinlikleri, oyulma ve yığılma profillerinin boyları ve bunların a/D parametresiyle olan ilişkileri üzerinde durulmuştur. Konuyla ilgili benzer çalışmaların yeterli olmaması gruplar arasında ilişkilendirme yoluyla sonuçların değerlendirilmesi yapılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Oyulma, Kazık grupları, Erozyon, Pervane, Jet

ABSTRACT

%90 of the total transportation in the world is carried out over seas. The transportation performed over the seas has been rapidly increasing due to high technological improvements leading the ships to have huge power and high speeds. The approach of even the big ships to the docs are now done by using the the ships' own engine power without the help of tugs because of the operation and economic reasons. However; this has been observed to cause local scour on the base.

The local scour occurring around the doc pipes have lead the doc structures experiencing stability problems. The research on this subject carry vital importance especially for the engineers planning structure projects. Probably it will take very long time to get advanced in this subject due to not only the requirement of considerable efforts and time but also the fact that there exists few studies on the lack of the studies about parameters active on the scour process.

This study investigates the scour mechanism caused by ship propeller around the stakes of the harbour structure. The stake group consistig of two stakes is focused in this study. The scour profiles are investigated for the different distances between the two consecutively placed stakes. The scour depths, accumulation profiles and relation of them with the a/D parameter are also considered. During the study, results are evaluated by associating with other group cases due to the lack of similar studies.

Keywords: Scour, Pile Groups, Erosion, Propeller, Jet

1. GİRİŞ

1.1 Yanaşma Yerlerinde Gemi Pervaneleri Nedeniyle Meydana Gelen Erozyon Problemi

Coğrafi konumumuz göz önünde bulundurulduğunda en ekonomik taşımanın deniz yolu taşımacılığı olduğu, yapılan araştırmaların sonuçlarından görülebilmektedir. Ekonomik oluşunun yanı sıra deniz taşımacılığı tek seferde çok miktarda yükün ulaştırılması, güvenilir olması, mal kaybının minimum düzeyde olması gibi avantajlarından dolayı taşımacılıkta en yaygın kullanılan ulaşım sistemi olmuştur. Dünyada da deniz yoluyla gerçekleştirilen uluslararası ticaret hacmi, her geçen gün süratle artmaktadır. Günümüzde ülkeler arası deniz yoluyla taşınan yük miktarı 5,5 milyar ton' a ulaşmıştır. Dünya ticaretinin ithal ve ihraç yüklerinin %90'lık bölümü deniz yoluyla taşınmaktadır. (Çizelge 1.1)

Çizelge 1.1Dünya deniz ticareti (milyon ton) (www.dtm.gov.tr/ead/ekonomi/sayi12/ulsis.htm)

	Ham Petrol	Petrol Ürünü.	Demir	Kömür	Tahıl	Boksit ve Al.	Fosfat	Diğer	Toplam
1999	1.550	415	411	482	220	53	30	2.008	5.169
2000	1.608	419	454	523	230	53	28	2.119	5.434
2001	1.585	412	445	560	220	51	27	2.135	5.435
2002	1.575	420	445	575	230	52	26	2.185	5.505

Bu yolla yapılan taşımacılıkta temel amaç gemilerin limanlarda daha az süreyle kalarak verimli bir şekilde kullanılması ve taşıma maliyetlerinin azaltılarak maksimum kar elde edilmesi haline gelmiştir. Teknolojik gelişmelerin de yardımıyla son derece modern, yüksek hız ve güce sahip yardım almadan yanaşan gemiler limanlarda yerlerini almıştır. Ekonomik nedenler yüzünden limanların işletilmesinde gemilerin römorkör yardımı almadan yanaşması en çok tercih edilen yanaşma şekli haline gelmiştir. Yapılan istatistiklerden, gemilerin gerek ana pervanelerinden gerekse yan pervanelerinden çıkan jet akımının taban erozyonuna neden olduğu belirlenmiştir. Gemiler yanaşma ve ayrılmaları sırasında yanaşma yapılarının temellerinde yerel oyulma problemlerine neden olmaktadır. Oyulmanın neticesinde yapılarda

ciddi stabilite problemleriyle karşı karşıya kalınmıştır. Son yıllarda bakım ve projelendirme sırasında bu problem oldukça sık bir şekilde ön plana çıkmıştır.

Limanlarda sözünü ettiğimiz gemiler kazıklı yanaşma yapılarındaki oyulma dışında, navigasyon kanallarında oyulma ve yığılmalara, liman içinde katı madde hareketine sebep olmaktadır. Bu katı madde hareketiyle karşı karşıya kalınmış bir çok limanda yanaşma yapılarının yakınında yanaşma ve ayrılma faaliyetlerine sınırlamalar getirilmiştir. Yapılara yakın manevraların temellerdeki etkisi yanında, oyulan malzemelerin limanların belli bölgelerinde yığılması su kesiminin azalmasına ve navigasyonunun etkilenmesine sebep olmaktadır.

Konuyla ilgili bilinmeyen sayısındaki fazlalık, olayın fiziğinin karmaşıklığı gibi sebeplerden dolayı kesin sonuçlar henüz alınamamıştır. Araştırmaların azlığından, konuyla fiziksel benzerlik gösterebilecek çalışmaların da incelenmesi konuyla ilgili sonuç alma süresini azaltabilir.

Hidrolik yapıların mansap bölgelerinde, örneğin menfez çıkışları, kapak altları veya köprü ayaklarında meydana gelen yerel oyulmalara su jetleri neden olmaktadır. Bu oyulma tipi gemilerin pervanelerinden çıkan su jetinin etkisi altında, rıhtım duvarlarında ve kazıklar etrafında meydana gelen erozyon ile benzeşmektedir. Bir çok 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. Bunun sebepleri geminin direkt kıç tarafından rıhtıma yanaşması ve rıhtıma paralel manevra sırasında baş pervanelerini kullanmasını içermektedir.

Chow ve Herbich (1978) tarafında yapılan çalışma kazık grupları üzerinde yapılan ilk çalışmalardan biri olarak bilinmektedir. Çalışmalarında 6, 4, ve 3'lü kazık grupları etrafında oluşan oyulmaları incelenmişlerdir. Meydana gelen oyulmayı etkileyen en önemli parametrelerden birinin kazıklar arasındaki mesafe olduğunu ifade etmişlerdir.

Kazık gruplarıyla ilgili diğer bir çalışma da 1978'de Hannah tarafından yapılmıştır. Hannah iki kazıklı grupların yerleşimlerini yan yan, ard arda ve aralarında açılı teşkil edecek şekilde seçmiştir. Yapılan çalışmalarda kazık grupları arasındaki mesafeleri değiştirerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca tek kazık durumunda oluşan oyulma mekanizması verilerini kullanarak kazık gruplarıyla karşılaştırmalar yapmıştır.

Bergh ve Cederwall'ın (1981) İsveç limanlarında gemi pervanelerinin meydana getirdiği zararlar üzerine yürüttüğü bir araştırmada, incelenen 53 rıhtımdan 18'inin zarar gördüğü ve bunlardan 16'sının 10 yıllık periyot boyunca (1969–1978) meydana geldiği belirlenmiştir. Bu araştırmada, Stockholm limanında ahşap palplanş rıhtımının 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.

Gormsen ve Larsen (1984) kararsız akım durumunda kazıklar arasındaki mesafeye bağlı olarak 4 farklı şekilde yerleştirilen 3'lü kazık grupları etrafındaki oyulma olayını araştırmış ve kesin sonuca ulaşamamakla birlikte esas olarak tek kazığa göre oyulma derinliklerinde %5-15 arasında artış olduğunu belirlemişlerdir. Çok nadir olarak oyulma derinliği sabit kalmış veya azalmıştır.

Mckillen (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 yürütücülüğünde 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.

Quarrin (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.

Daha sonraki yıllarda Sumer ve Fredøe (1998) kazık grupları etrafında oluşan oyulma çukurunu sistematik bir biçimde araştırmışlardır. 2'li (yanyana, ardarda ve açılı olarak), 3'lü (yanyana, ardarda ve üçgen şeklinde) ve 4x4 (kare) kazıktan oluşan gruplar üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. Bu çalışmalar aslında daha önce yaptıkları tek kazık etrafındaki oyulma olayı çalışmalarının devamı niteliğindedir. Araştırmalarda kazıklar arasındaki mesafeyi 0 ile sonsuz değerleri kapsayacak şekilde değiştirmişlerdir. KC

parametresindeki değişimlere bağlı olarak meydana gelen değişiklikler de araştırılmıştır.

Yüksel A., (2001) kazıklı rıhtımlarda gemi pervanelerinden çıkan su jetinin etkisiyle tabanda meydana gelen erozyonun meydana geliş mekanizmasını ve büyüklükleri araştırmıştır. Farklı kazık çapları için su jetinin kazıkla olan mesafesini değiştirilerek tabandan farklı açıklıklarda yerleştirmesi durumunda kazıklar etrafında meydana gelen erozyon miktarı belirlenmiştir. Aynı çalışmada su jetinin farklı mesafelerde ve açıklıklarda ekseni boyunca hızları da ölçülmüştür. Bu çalışmada önceki çalışmalarda yeterince irdelenemeyen tek bir kazık için erozyon morfolojisi hakkında detaylı bilgi verilmeye çalışılmıştır. Maksimum denge oyulma derinliği ile boyutsuz parametreler arasında oyulma için basitleştirilmiş denklem ortaya koyulmuştur.

Son yıllarda pervane jetinin oluşturduğu erozyon miktarlarının tahmininde nümerik modellemeler kullanılmaktadır. Dargahi (2003) gemi pervanelerinin oluşturduğu akımın 3 boyutlu modellemesini yapmıştır. Süreklilik denklemlerinin nümerik çözümleriyle bu model ile ilgili çözümlere ulaşmıştır. Dargahi dümen etkisiyle jet akımının aşağı ve yukarı doğrultularda iki farklı bölgeye yayılı olarak düşünmüştür. Alt tarafta kalan jet sınır tabaka akımıyla benzerlik göstermektedir. Altta yönelen akımın hız profiline davranışı logaritmik davranış göstermektedir. Fakat herhangi bir yapıyı model çalışması olarak seçmemiştir.

Aynı zamanda konu ile ilgili olarak yapılmış arazi çalışmaları da mevcuttur (Posey and Sybert, 1961; Bayram ve Larson, 2000a, b)

Litearatürde oyulma mekanizması üzerine yapılmış ve yapılacak çalışmalar liman işletmecileri ve ilgili yapıların projelendirilmesini yapacak mühendisler için büyük önem arz etmektedir. Yapılan çalışmaların büyük emek ve süre istemesinden ve olaya etkili birkaç parametre dışındaki diğer değişkenlerle ilgili çalışmaların azlığından olayın bütününe araştırılması daha uzun yıllar sürecektir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Limanlarda yavaşma yerleri açık (kazıklı rıhtımlar gibi) ve kapalı (ağırlıklı blok rıhtımlar gibi) yapılar halinde inşa edilmektedir. Bu çalışmada kazıklı olarak inşa edilmiş rıhtımlarda pervaneden çıkan su jetlerinin etkisiyle oluşacak oyulma ve yığılma profilleri gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerden fiziksel mekanizmanın ne şekilde olduğu, daha önce yapılmış araştırma sonuçlarıyla karşılaştırmalar, mekanizma üzerinde etkin olan veya ihmal edilen değişkenlerin neler oldukları araştırılmıştır. Çalışmada bir çift kazıktan oluşan kazık

grupları seçilmiş, farklı kazık çapları için aynı şartlarda deneyler tekrarlanmıştır. İlk kazık ile jet arasındaki mesafe sabit olarak iki kazık boyu mesafe için, ikinci kazığın mesafesi ise ilk kazığa göre ayarlanarak kazık çaplarının tam katları şeklinde seçilerek ikinci kazık yığılma profili dışında kalıncaya kadar deneyler sürdürülmüştür. Jet ile kazık arasındaki mesafenin iki kazık boyu olarak seçilmiş olması olayda etkili büyüklükler olan jet ve kazık mekanizmasıyla ilgili etkilerin büyüklüklerin ve mekanizmalarının anlaşılması içindir. Kazık jete yakın olduğunda profilde sadece kazığın etkisinden söz edilecektir. Çok uzak olması durumunda da sadece jetin mekanizma üzerinde etkisi söz konusu olacaktır. Uygulamada gemi pervanesiyle kazıklı yanaşma yapısı ön taşıyıcı kazıkları arası mesafe de bu ölçüler civarındadır. Çalışmada su jeti en büyük etkinin meydana geldiği tabanda yer almıştır. Aynı zamanda su jetinin dümen etkisi de dikkate alınmamıştır. Konuyla ilgili çok sayıda çalışma olmadığından gruplar arasındaki ilişkilerden çıkan sonuçlara göre değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma sonunda iki kazık için erozyonla ilgili daha detaylı bilgi verilmeye çalışılmıştır.

2. OYULMA MEKANİZMASI

2.1 Bir Boyutlu Akım Halinde Erozyon ve Yığılma

Erozyon terimi, toprak erozyonu, kumsal erozyonu veya akarsu kıyısı erozyonu gibi birçok fiziksel olayı ifade etmektedir. Erozyon olayı yerel olduğunda “oyulma” terimi kullanılır. Bu, su (veya hava) akışının veya dalga etkisinin sonucunda meydana gelebilir. Oyulmanın en mümkün ve belirgin olduğu ortam alüvyonlu malzemenin olduğu ortamdır. Oyulma aynı zamanda bir derenin sonunda da meydana gelebilir. Ancak oyulma terimi ile kastedilen genellikle bir köprü ayağında, bir set veya bent önünde, akım yolunun daraldığı yerde ve bir dinlendirme havuzu veya menfez çıkışında olduğu gibi “yerel oyulma”lardır.

Katı madde yığılması, bir akarsu ağzında, akarsu havzasında veya deltalarda meydana gelen yığılmadır.

Toprak erozyonu anlamında oyulma, bir değer kaybı anlamına gelmektedir. Bir yapıda meydana gelecek oyulma onun kullanılamaz duruma gelmesine sebep olabilir. Yapılardaki oyulmanın fiziği özellikle komplekstir çünkü katı madde taşınımının tüm karmaşıklığına ek olarak burada, hızlanma ve yavaşlama bölgeleri, yerel vorteksler vb. etkenler sayesinde akım yörüngesi genellikle üç boyutludur.

Bir yapıdaki oyulma;

- (i) Yapı olsa da olmasa da meydana gelen “genel oyulma”,
- (ii) Akım yolunun daralmasından dolayı oluşan “daralma oyulması” örneğin akım içine bir köprü yerleştirilmesi veya köprü geçişi tarafından engellenmesi
- (iii) Yerel akım yörüngesi üzerinde bulunan yapının etkilerinden kaynaklanan “yerel oyulma” olabilir. Yerel oyulma, genel oyulma ve/veya daralma oyulması ile birlikte meydana geldiğinde daha büyük olur.

İlave olarak yapıdaki oyulma;

- (i) Temiz su oyulması veya
- (ii) Hareketli taban oyulması olarak da gerçekleşebilir.

Temiz su oyulması, oyulma bölgesinin menbasındaki taban malzemesinin sabit olduğu durumlarda meydana gelir. Yapının doğrudan etkisinin dışında kalan sahalarda, taban kayma

gerilmeleri taban malzemesinin harekete başlaması için gerekli olan kritik veya başlangıç kayma gerilmesine eşittir veya küçüktür. Bununla birlikte yıkanmış malzeme de mevcut olabilir.

Hareketli taban oyulması, genel katı madde taşınımının gerçekleştiği durumlarda meydana gelir ve oyulma bölgesine menba tarafından sürekli katı madde girişi mevcuttur.

Oyulma olayının karmaşık yapısı dolayısıyla oyulma hesaplama metotları esasen ampiriktir. Özel projelerin birçoğu için modelleme çalışmaları gerekmektedir. Bu maksatla kullanılan küçük ölçekli hidrolik modeller oldukça kullanışlıdır. Modelleme safhası burada ele alınmayacaktır. Bu konu ile ilgili olarak referanslar Yalin (1971), Kobus (1980) ve Kolkman (1982)' dir.

2.2 Köprü Ayakları Etrafında Meydana Gelen Yerel Oyulma Olayı

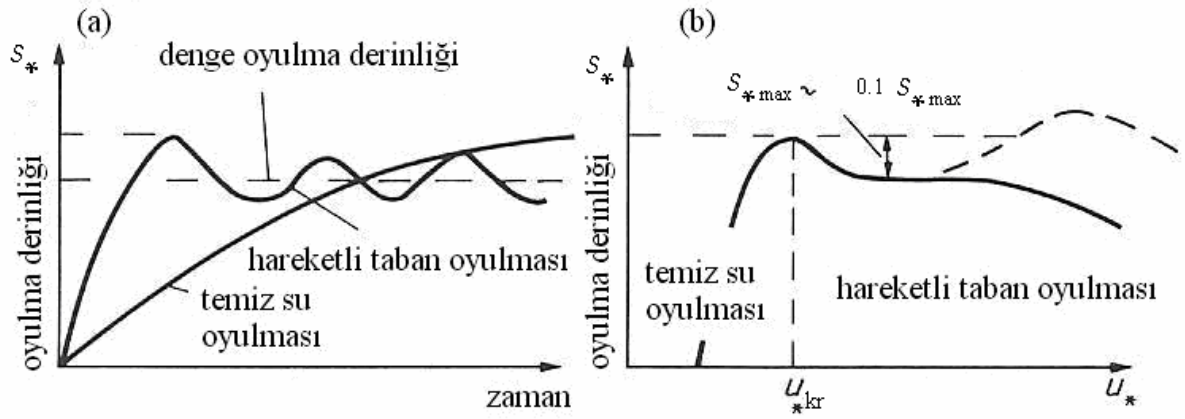
Köprü, ayakları etrafında meydana gelen oyulmadan dolayı köprülerin kullanılamaz duruma gelmesi sıkça görülen bir durumdur. Bunun sebebi oyulmanın taşıyıcı ayaklarda meydana gelmesidir. Bazen akarsu tabanındaki oyulmalar sebebiyle akımın akış şekli tamamen değişebilir ve köprünün yapısını etkileyebilir. En büyük oyulmalar genellikle akımın kararsız ve zarar verici olduğu taşkınlar sırasında meydana gelir.

“u*” kayma hızı veya “u” akım hızı katı madde hareketinin başlangıç veya kritik değerinin yarısından fazla olduğunda taşıyıcı ayaklardan birinde yerel oyulma meydana gelir.

Chabert ve Engeldinger (1956), silindirik bir ayak etrafında meydana gelen oyulmanın (Şekil 2.1) zaman ve akım hızı ile gelişimini tanımlayan ilk isimler olmuşlardır. Günlerle ölçülecek bir periyodun sonunda hareketli taban oyulması hızla gelişmekte ve derinliği taban özelliğine göre değişiklik göstermekteyken, temiz su oyulması asimptotik olarak dengeye gelmektedir. Shen ve diğ. (1969), hareketli taban oyulması derinliğinin ortalama olarak maksimum temiz su oyulması derinliğinden %10 az olduğunu, Raudkivi (1982) ise Şekil 2.1(b)'de gösterildiği gibi ikinci bir pik meydana geleceğini ileri sürmüşlerdir.

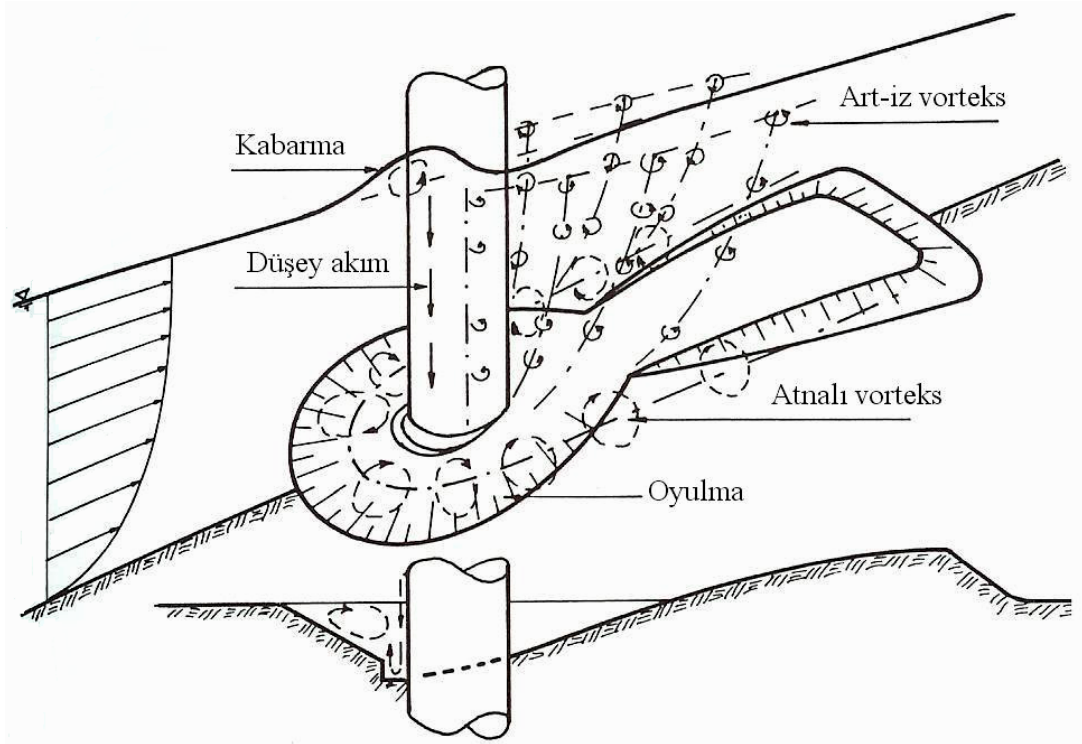
Oyulma probleminin çözümü genellikle; akışkanı karakterize eden değişkenlere, akımda ve köprü geçişlerindeki taban malzemesi özelliklerine, akım özelliklerine, köprü ayağı ve akım geometrisine bağlı olan bir ifade ile başlar ve ampirik bir formülle tamamlanır. Oyulma derinliğinin hesaplanması için kullanılan çeşitli formüller Breusers ve diğ. (1977) ve Raudkivi-Sutherland (1981) tarafından bir araya toplanmıştır. Bu formüllerin her biri oldukça farklı sonuçlar vermektedir. Bu farklılıklar Melville (1974), Anderson (1974) ve Hopkins ve

diğ. (1983) tarafından da incelenmiştir.



Şekil 2.1 Belli bir ayak ve katı madde boyutu için; (a) zamanın fonksiyonu olarak ve (b) kayma hızının fonksiyonu olarak oyulma derinliği. (Chabert ve Engeldinger., 1956)

2.2.1 Silindirik Ayak Etrafındaki Akım Yapısı



Şekil 2.2 Silindirik köprü ayağı etrafındaki akım yapısı. (Raudkivi A.J., 1990)

bir yükselmedeki maksimum dağılımdır ve silindirin 0.05–0.02 silindir çapı kadar menba mesafesinde, silindirin alt ucuna daha yakın bir yerde meydana gelir. Yatay bir tabana monte edilmiş bir silindirin etrafındaki maksimum akım hızı ($S^*/b = 0$), yaklaşık olarak ana akım hızı u^* nun %40' ı civarındadır. Maksimum v_{maks}/u , oyulma derinliğinin, ayak çapının 2.3 katı veya daha fazlası olduğu durumda meydana gelir. Bu maksimum değer, tabanın yaklaşık bir köprü ayağı çapı kadar altında meydana gelir ve yaklaşık %80' dir. Şekil 2.3' deki kesikli çizgi Shen ve diğ (1969) tarafından sabit ana akım hızı u için önerilen maksimum düşey akım dağılımı ilişkisini göstermektedir.

At nalı vorteks, oyulma çukurunun üst kenarında akımın ayrışması sonucu meydana gelmektedir. Oyulmanın sebebi değil sonucudur. Akımın sapmasıyla, köprü ayağının iki yanından geçerek, köprü ayağı çapının birkaç katı kadar mesafe sonra özelliğini yitirir ve genel türbülansın bir parçası haline gelir. At nalı vorteks aynı zamanda oyulma çukuru içinde köprü ayağına en yakın düşey akım hızını da artırır.

Durgunluk basıncı sadece düşey akıma neden olmaz, aynı zamanda silindirin iki tarafından geçen akım hızının artmasına da sebep olur. Akımın, silindirin iki tarafında kollara ayrılması, ana akımın ara yüzlerinde oluşan vortekslerin kopmasına sebep olur. Vortekslerin kopmasıyla, akım düşey akıma dönüşür ve tabandaki at nalı vorteksi ile etkileşerek dikey ve yatay salınımlar yapmasına sebep olur. Vorteksler koparak aynı zamanda tabandan katı madde kaldıran küçük çevriler olarak da davranırlar.

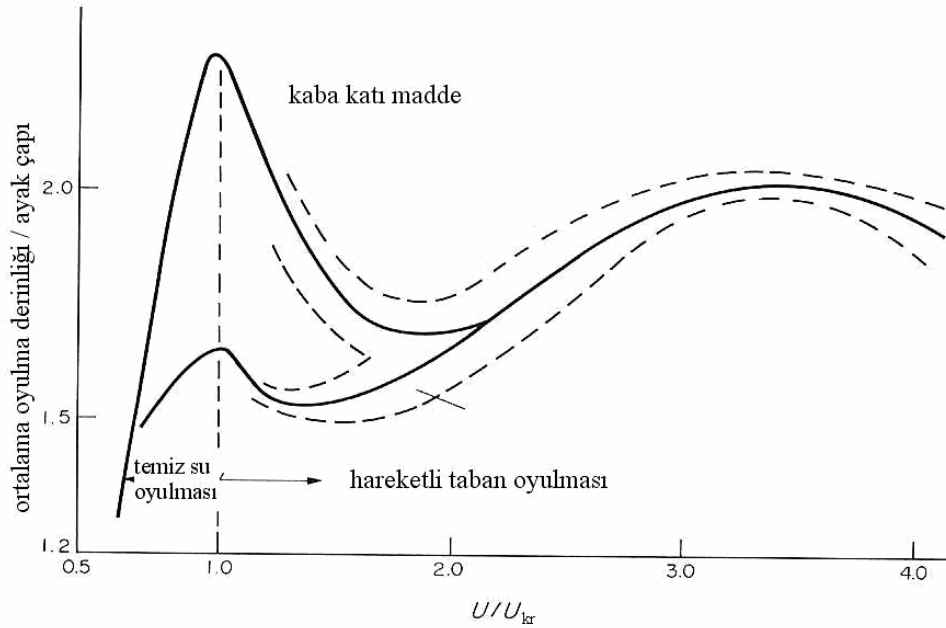
Yüzeyde, at nalı vorteksinin aksi dönüş yönünde kabarma dalgası meydana gelir. Kabarma, yaklaşan akımla etkileştiğinden ve düşey akımın gücünü azalttığından, rölatif olarak sığ suda daha önemli hale gelir.

2.2.2 Uniform Malzemede Oyulma

Yapılan deneylerden alüviyal malzemeye sahip düzlem tabana bir köprü ayağı yerleştirildiğinde, katı madde taşınımının başlaması için akım hızı (u) veya kayma hızının (u^*) başlangıçtaki değerlerinin yaklaşık yarısına (u_{kr} veya u^*_{kr}) ulaşması gerektiği görülmüştür. Bu durumda köprü ayağı kenarlarında oyulma başlamaktadır. Oyulma, ayağın menba tarafında ve ön tarafında gerçekleşmektedir. Düşey akım, birincil olarak oyulmada etkindir ve düşey bir jet gibi davranır. Köprü ayağının ön tarafında bir çukur meydana gelir ve bu çukurda jetin yönü 180° değişir. Yönü yukarıya doğru dönen akım at nalı vorteksi ile birleşir ve oluşan helikoidal hareket erozyona uğramış malzemeyi ayağın arkasına taşır.

Temiz su oyulması şartları ($u_* < u_{*kr}$) altında, oyulma, denge derinliğine yavaşça ulaşmaktadır. Raudkivi ve Ettema (1977) tarafından yapılan, 50 saat boyunca eşik şartlarında sürekli akışlı laboratuvar deneylerinde, oyulma derinliği ölçülebilir şekilde değişmemiştir. Maksimum denge oyulma derinliği, katı maddenin kum dalgacı oluşturup oluşturmadığına veya düzlem taban olup olmadığına bağlı değildir.

Üniform katı maddeye sahip bir akarsuda nehir rejimli akım şartlarında köprü ayağı etrafında meydana gelen oyulmanın genel özellikleri, akım derinliği veya katı madde boyutunun köprü ayağı boyutundan etkilenmediği şartlar için Şekil 2.4’ de gösterilmiştir. Başlangıç şartlarına yakın şartlarda, kum dalgacı oluşturmayan katı maddeye sahip tabanda denge oyulma derinliği maksimuma (yaklaşık 2.3b) ulaşır. Burada “b” silindirik köprü ayağının çapıdır. Kum dalgacı oluşturan katı maddeye sahip tabanda ($d < 0.7 \text{ mm}$) düzlem kum taban elde etmek mümkün değildir; tabanda kum dalgacıkları oluşur ve küçük bir miktar katı madde taşınımı meydana gelir. Hareketli taban oyulması şartları, $u_* = u_{*kr}$ şartı aşılmadan önce gerçekleşir.



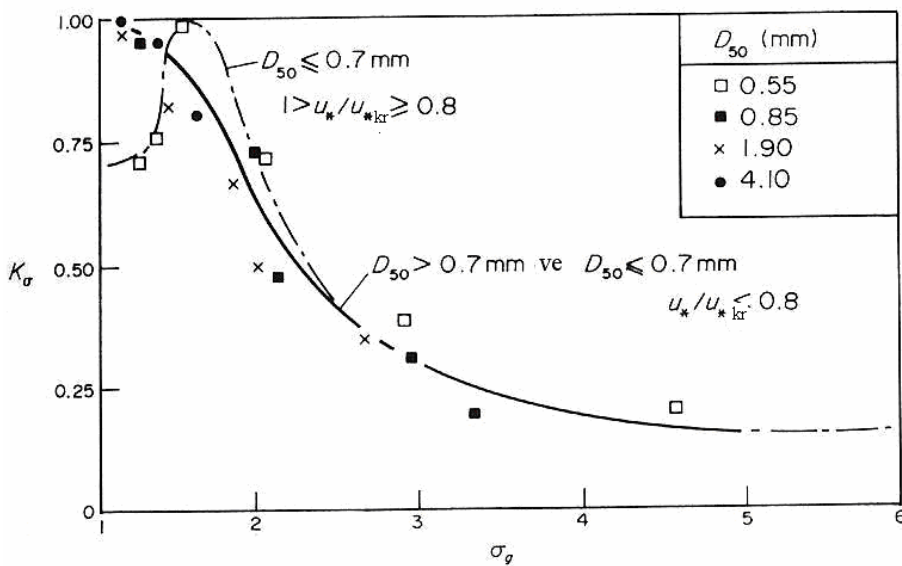
Şekil 2.4 Silindirik ayak etrafında oyulma derinliğinin değişimi (üniform katı madde)
(Raudkivi A.J., 1990)

Hareketli taban oyulması şartlarının oluşmasından sonra, denge oyulma derinliği önce azalır ve sonra yeniden artarak düzlem taban şartlarında ikinci bir pike erişir. Büyüklüğü, köprü ayağı önündeki taban malzemesinin özelliğine bağlı olarak zaman içinde değişiklik gösterir.

Denge oyulma derinliği bu durumda maksimum yerine zamana bağlı olarak ortalananmış oyulma derinliği terimi ile tanımlanmalıdır. Oyulma derinliğindeki salınımlar, köprü ayağı boyutunun değil akım derinliğinin bir fonksiyonu olan taban malzemesine bağlıdır. Laboratuvar verilerine göre bu değişimlerin büyüklüğü eşik yüksekliğinin (y_0) 0.75' i veya yaklaşık $\pm 0.5y_0$ kadardır. Oyulma derinliğindeki salınımlar geçiş düzlem taban şartlarında katı maddenin çukura doluşması yüzünden yok olmaz. Minimum oyulma derinliği, eşikler maksimum dikliğe sahip olduğu durumda meydana gelir. Yerel oyulma derinliğindeki ilk düşüş kritik kayma gerilmesi biraz aşıldığında taban kayma gerilmesi ile birlikte katı madde taşınımının çok hızlı bir biçimde arttığını gösterir. Oysa durgunluk basıncı ve yerel oyulma tedricen artmaktadır. Taban kayma gerilmesi ile birlikte oyulma derinliğinde meydana gelen artış, oyulmanın katı madde taşınım miktarından daha hızlı arttığını gösterir. Bununla birlikte bu artış en azından kısmen, oyulma çukuruna bir sonraki tepe öncesi derinleşebilmesi için zaman tanıyan, tabandaki yüksek kayma gerilmelerine bağlıdır.

Yukarıda bahsedilen laboratuvar verileri Raudkivi (1986), Chiew (1984) ve Melville (1984) tarafından elde edilmiştir. Gösterilen oyulma derinlikleri, yerel taban seviyesine bağlıdır. Taban seviyesindeki yerel değişimler, akımın üç boyutlu olmasından ve taban şekillerinden kaynaklanmaktadır. Taban seviyesindeki yerel değişimler aynı zamanda taşkın esnasında meydana gelen erozyondan kaynaklanmaktadır (Örneğin, nispeten daha dar olan ve su derinliğinin oldukça büyük değişiklikler gösterdiği vadilerde).

2.2.3 Katı Madde Sınıfının Etkisi



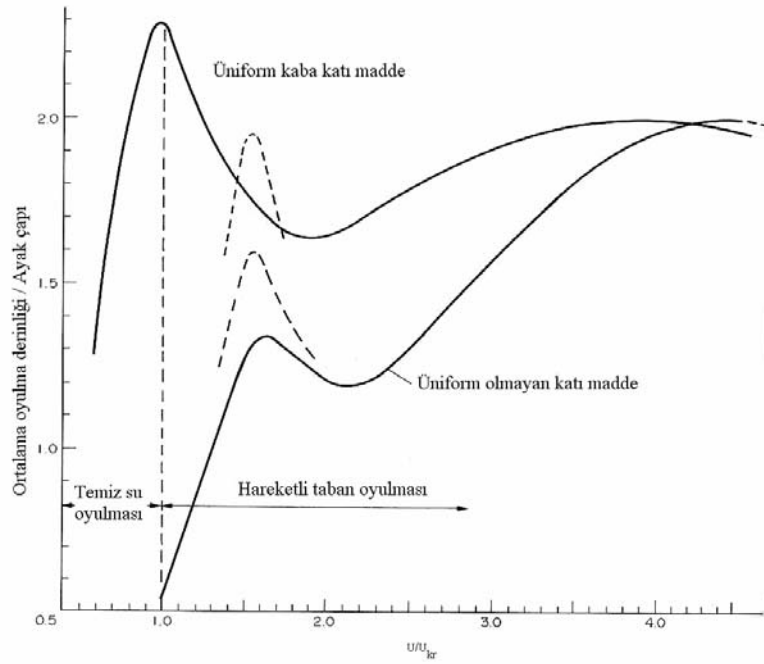
Şekil 2.5 $K\sigma$ ile σ_g arasındaki ilişki. (Raudkivi A.J., 1990)

Raudkivi ve Ettema (1977) katı madde sınıfının temiz su oyulmasındaki denge derinliği üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu göstermişlerdir.

Şekil 2.5’de maksimum temiz su oyulması derinliği ile katı madde sınıfının standart sapması, $\sigma_g = (d_{84}/d_{16})^{0.5}$, arasındaki ilişki görülmektedir. $K\sigma$, sınıflanmış katı maddedeki denge oyulma derinliğinin üniform katı madde denge oyulma derinliğine oranıdır. Burada, tipik çakıllı bir akarsu $\sigma_g \approx 3.5$, tabanındaki temiz su oyulmasının, üniform katı madde derinliğinin yaklaşık %20’ si olduğu görülmektedir.

Katı madde sınıfının hareketli taban oyulması derinliğine etkisi nispeten daha karmaşıktır. Şekil 2.6’ da, Şekil 2.4’ de gösterilen kaba üniform katı madde için ortalama oyulma derinliği ile üniform olmayan katı madde, $\sigma_g = 3.5$ için ortalama oyulma derinliği fonksiyonu bir arada gösterilmektedir. Sınıflandırılmış katı madde fonksiyonu, Chiew (1984) tarafından 45 mm çaplı köprü ayağı, $d_{50} = 0.80$ mm olan katı madde ve 170 mm akım derinliği için elde edilen verilere uydurulmuştur. Deneysel noktalar ihmal edilmiştir. Bununla birlikte verilerin saçılımı genellikle $0.2 S/b'$ den ve tekil serilerden daha azdır. $u/u_{kr} = 1$ iken oyulma derinliği temiz su bağıntısı ile verilmiştir. Bununla birlikte üniform olmayan katı madde boyutu, d_{50} sadece bir büyüklük göstergesidir. d_{50} boyutu için, hızın başlangıç değerinden daha düşük değerlerinde seçici katı madde taşınımı ve taban yüzeyinin zırhlanması işlemi başlar. Bu korunma, efektif kritik hızı veya taban kayma hızını tedricen artırır ve zırhlanan yüzeyin kritik kayma hızını (u_{*a}) sınırlayacak şekilde daha derin denge oyulma derinliği oluşmasına sebep olur. u_{*a} ’ dan daha büyük kayma hızlarında taban yüzeyinin zırhlanması artık sona erer.

$u_{*kr} < u_* < u_{*a}$ olan kayma hızlarında katı madde taşınımı kararsızdır, zırhlanma sabitleştikçe sifıra yaklaşır veya denge durumuna gelir. Bu durum, zırhlanmış tabana menba tarafından sürekli bir katı madde beslemesi olduğunda sona erer. Eğer akım şartları, zırhlanmış yüzeyin kritik kayma hızından yeteri kadar uzun korunabilirse ve katı madde taşınım miktarı sifıra yaklaşırsa yerel oyulma derinliği, maksimum temiz su oyulması şartlarındaki derinliğe yaklaşır. Katı madde taşınımının denge durumunda yerel oyulma derinliği, taşınan ince katı madde miktarına ve orijinal katı madde sınıfına bağlıdır ve temiz su pik değerinden daha düşüktür.



Şekil 2.6 Silindirik ayak etrafında oyulma derinliğinin değişimi (Üniorm katı madde)
(Raudkivi A.J., 1990)

Şekil 2.6' daki sürekli çizgi üniorm olmayan katı madde için denge şartlarında birinci veya zırlanma pikini gösterir. Kesikli çizgi ile gösterilen pik katı madde taşınımının sıfır olduğu durum içindir. Noktalı çizgi ile gösterilen pik, daha rölatif tane boyutu etkisine bağlı bir düzeltmeyi göstermektedir.

Kritik kayma gerilmesi (τ_{kr}) aşılnca yüzey tabakası bozulur ve katı madde taşınım miktarı, temiz su oyulmasından hareketli taban oyulmasına doğru yerel oyulma derinliğinde bir azalmaya sebep olacak şekilde süratli bir şekilde artar.

İlk azalmanın ardından, oyulma derinliği, artan kayma gerilmesi ile birlikte düzlem taban şartlarına doğru yeni bir artışa başlar. İlk olarak, daha kaba katı maddeler yerel oyulma çukurunun tabanını hala kaplayacak şekilde etkilidir. Ancak bu etki, artan taban kayma gerilmesine bağlı olarak azalır ve düzlem taban şartlarında; yani katı maddenin en iri parçaları aşağı doğrultudaki akım tarafından oluşturulan çukurun genişliğine oranla büyük değilse (köprü ayağının çapının 1/10' undan daha büyük değilse) tamamen yok olur.

Sınırlı korunan yüzeyin üzerindeki kritik hız, u_{kr} bu korunan yüzeyin d_{50a} boyutunun yardımıyla tahmin edilebilir. Chin (1985) tarafından yapılan çalışmalara göre d_{50a} ' nın maksimum değeri;

$$d_{50a} = d_{maks} / 1.8 \quad (2.1)$$

dır. Burada d_{maks} taban malzemesinin karakteristik maksimum tane boyutudur. Sınırlanmış zırh tabakası boyutu d_{50a} Shields kriteri u_{kra} değerinden bulunur ve uygun kritik ortalama hız;

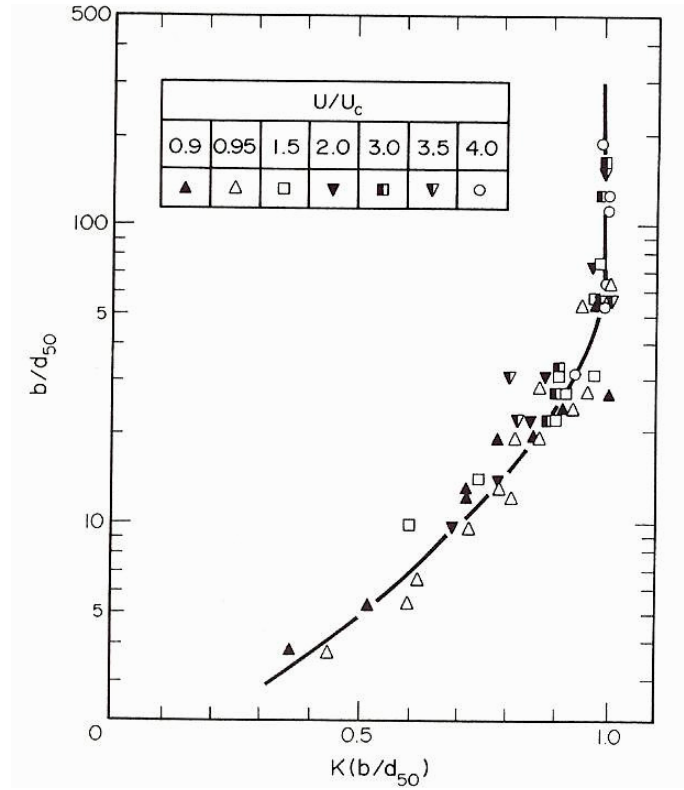
$$u_{kra} = u_{kra} \{ 5.75 \log(y_0 / 2 d_{50a}) + 6 \} \quad (2.2)$$

ile hesaplanabilir.

Zırhlanma pikini oluşturan kritik hız, korunan yüzeyin üzerinde bir miktar katı madde transferi mevcut olduğunda Baker (1986) tarafından $0.8 u_{kr}$ olarak bulunmuştur. Böylece pik; $[u - \{0.8 u_{kra} - u_{kr}\}] / u_{kr} = 1$ de oluşur. Burada u_{kr} , d_{50} taban malzemesi için kritik hızdır.

2.2.4 Köprü Ayağının Katı Madde Boyutuna Oranının Etkisi

Temiz su oyulmasının denge oyulma derinliğinin, ayak boyutunun katı madde boyutuna oranından (b/d_{50}) etkilendiği ispatlanmıştır. Şekil 2.7 ayak boyutunun katı madde boyutuna oranı ile temiz su oyulması arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Altı ayak ve boyutu 0.24 mm' den 7.80 mm' ye kadar değişen katı madde ile birlikte, Chiew (1984) ve Chee (1982) tarafından hareketli taban oyulması için elde edilen verileri de içermektedir. Şekil 2.7' deki apsis, (b/d_{50})' den etkilenen temiz su denge oyulma derinliğinin rölatif boyuttan bağımsız oyulma derinliğine oranı verilmiştir. Sonuçlar, $b/d_{50} > 50$ şartı altında yerel oyulma derinliğinin katı madde boyutundan bağımsız olduğunu göstermektedir. Daha küçük oranlar için oyulma derinliği, katı maddenin, boyutunun düşey akım tarafından oluşturulan çukurun genişliğine göre çok büyük olması sebebiyle küçülecektir. Kanal tabanında toplanan kaba taneler gözenekli bir yapı oluştururlar ve düşey akımın daha çok nüfuz etmesine ve enerjisini tabanda harcamasına sebep olurlar. Normalde bu şartlar altında tane boyutu etkisi nötr hale gelir ancak laboratuvar deneylerinde bu şartlar altında da mevcuttur.



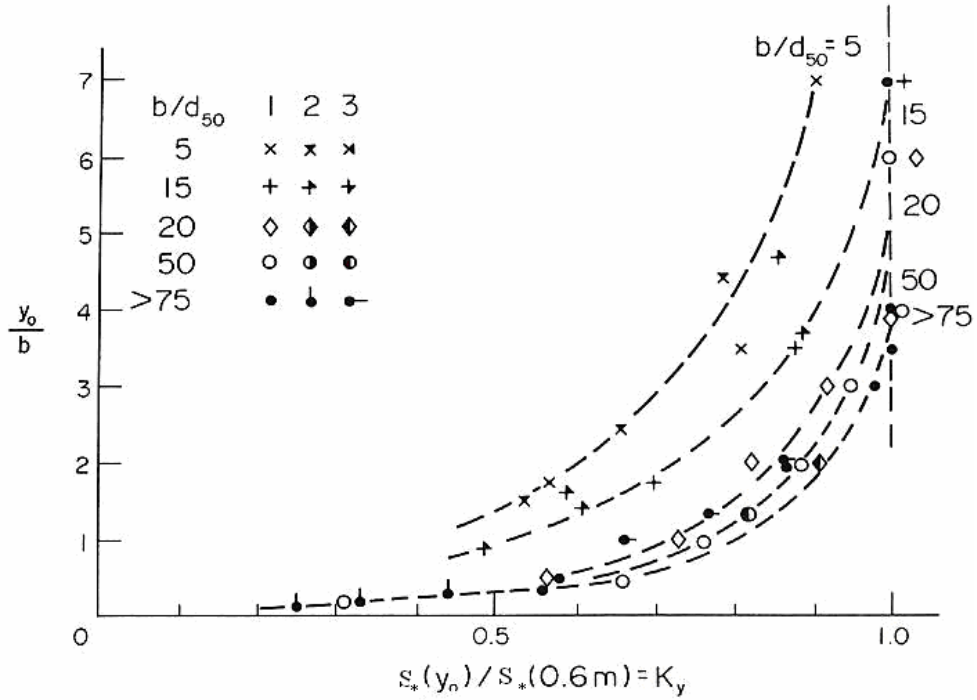
Şekil.2.7 Rölatif b/d_{50} boyutu tarafından oluşturulan ve rölatif boyuttan bağımsız olan, b/d_{50} 'nin fonksiyonu olan yerel denge oyulma derinliğinin $K(b/d_{50})$ oranı. (Raudkivi A.J., 1990)

2.2.5 Akım Derinliğinin Etkisi

Literatürde, oyulma derinliğinin, akım derinliği/ayak boyutu oranından etkilendiğine işaret eden birçok referans bulunmaktadır. Örneğin akım derinliği, köprü ayağı çapının üç katından fazla olduğunda oyulma derinliği, akım derinliğinden bağımsız hale gelmektedir. Akım derinliğinin azalması, aşağı doğrultudaki akımla engellenen ve onun gücünü azaltan bir kabarma oluşması ihtimalini artırır. Rölatif akım derinliği etkisi için kesin bir bağıntı belirlenememiş olmakla birlikte, hem temiz su oyulması, hem de hareketli taban oyulması şartlarında elde edilen sonuçlar Şekil 2.8' de gösterilmiştir. Burada rölatif akım derinliği y_0/b 'ye karşılık K_y çizilmiştir. K_y , rölatif olarak derin sudaki (akım derinliğinden etkilenmemiş) bir ayağın etrafında meydana gelen oyulma derinliğinin, sığ sudaki karşılığının bulunması için çarpıldığı bir katsayıdır. $b/d_{50} > 75$ ve $y_0/b < 3$ için K_y faktörü yaklaşık olarak;

$$K_y = 0.77(y/b)^{0.21} \quad (2.3)$$

ifadesinden hesaplanır.

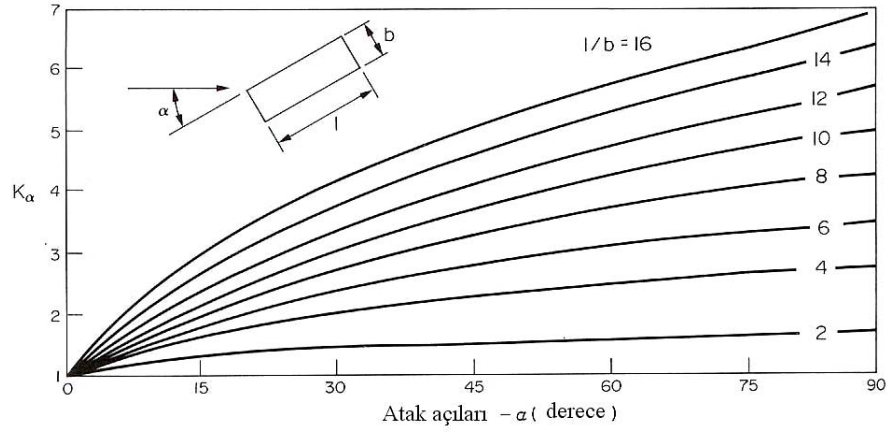


Şekil.2.8 K_y ile y_o/b ' nin değişimi.(Raudkivi A.J., 1990)

2.2.6 Atak Açısı ve Ayak Şekli'nin Etkisi

Silindirik olmayan diğer ayak şekilleri için yerel oyulma derinliği ayakların akım doğrultusu ile yaptıkları açıya bağlıdır. Yerel oyulma derinliği ayak genişliğine bağlıdır ve bu genişlik, akımın atak açısı ile birlikte süratle artar. Atak açısının artmasıyla, maksimum oyulma derinliğinin yeri ayağın görünen tarafında ayağın önünden arkasına doğru kayar. Görünen taraftaki düşey akım süratle, güçlü bir oyulmaya neden olan kuvvetli sekonder akıma dahil olur ve ayağın ucuna yakın bir yerde derin bir çukur oluşmaya başlar. Genellikle 5-10°'den daha büyük atak açılarından sakınılmalıdır. Bunun mümkün olmadığı durumlarda silindirik ayaklar oyulmanın daha az olmasını sağlayabilir. Atak açısı fonksiyonu olarak yerel oyulma derinliği için çarpan faktörlerinin grafiği ile Laursen ve Toch (1956) tarafından bulunan ve halen yaygın biçimde kullanılmakta olan uzunluk/kalınlık oranı Şekil 2.9' da gösterilmektedir.

Aynı zamanda ayak şekli için 0.7–1.2 arasında değişen çarpan faktörleri mevcuttur, ancak şekil etkisi, doğrultudaki küçük değişiklikler ve hatta köprü ayağına tutunan küçük bir yüzen cisim tarafından bile etkisiz hale gelebilmektedir.

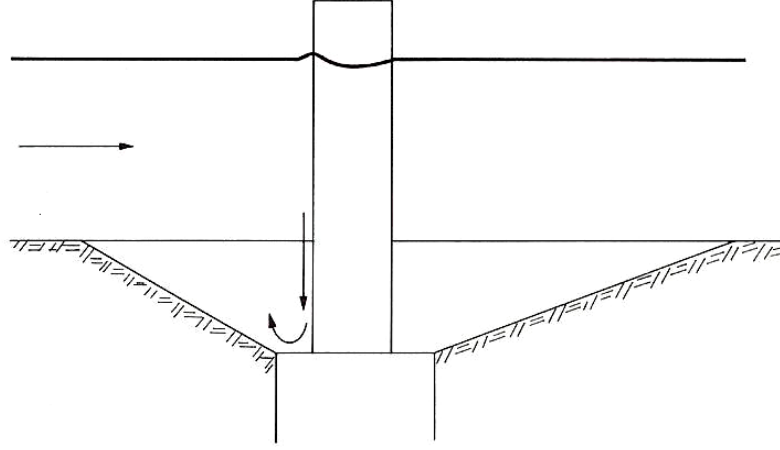


Şekil.2.9 (α) Atak açılarıyla K_α katsayısının değişimi.(Raudkivi A.J., 1990)

Ayak kesit şeklinin dışında, akımı yönlendirici kenarın eğimi de oyulma derinliğine etki etmektedir. Örneğin, laboratuvar sonuçlarına göre, menba istikametindeki düşey düzleme 22.5 derecelik bir açı yapan yönlendirici kenar, akım derinliğinde % 20' lik bir artışa sebep olmaktadır. Aksine, mansap istikametindeki aynı eğim, akımın iki yana saçılmasını sağlayacağından oyulma derinliğinde % 25' lik bir azalma meydana getirmektedir.

Yerel oyulma problemleri sıklıkla kazıklar üzerinde mevcut olan keson, temel veya kaplama blokları yüzünden daha karmaşık hale gelmektedir. Oyulma derinliği verileri, özellikle silindir, dikdörtgen v.b.gibi iyi tanımlanmış şekilleri esas almaktadır.

Orijinal taban seviyesinin hemen altındaki, çapı ayak çapının 1.6 katından büyük bir temel veya keson (Şekil 2.10), düşey akımı engellemek sureti ile yerel oyulma derinliğini azaltıcı etki yapar. Bununla birlikte, eğer keson üst noktası taban seviyesinde veya daha yukarıdaysa oyulma derinliği artar. Bu durumda yerel oyulma derinliği artık ayak çapı veya genişliği tarafından değil keson çapı veya genişliği tarafından belirlenecektir. Burada taban seviyesi, en büyük taban şekli çukurunun seviyesidir. Temel, oyulma derinliğini efektif bir biçimde sınırlandırmaktadır. Uygulama zorluğu, oldukça değişken olan taban seviyesinin en düşük olduğu yeri tespit etmektir. Taban şekillerinin değişkenlik gösteren şekil, boyut ve üç boyutluluk özellikleri yerel olarak düşük noktalar oluşmasına sebep olabilir veya taşkın halinde bir akarsuda belli bir akım gücünde kendi tabanını oyabilir veya köprü ayağının konumu, kesitteki hareketli bir akarsu kanalı ile çakışabilir. Bu yüzden, oyulmayı azaltmak için böyle bir yöntemle güvenmek risklidir.



Şekil 2.10 Keson temel.(Raudkivi A.J., 1990)

2.2.7 Tabakalaşmış Katı Madde İçin Yerel Oyulma

Katı madde yığılmalarının birçoğu homojen değildir ve genellikle farklı tabakalardan oluşurlar. Bazı örneklerde kaba katı maddeler, ince katı maddelerin üzerini kaplayabilir.

Yerel oyulmanın, kaba katı madde tabakasını delerek altındaki ince katı madde tabakasını meydana çıkardığı durumda, oyulma çukurlarının normalden daha derin olması beklenir. Bu şartlar altında, köprü ayağının arkasında oldukça yüksek bir türbülanslı akım oluşur ve bu akım oyulma çukurundan yüksek miktarda ince katı maddenin götürülmesine yol açar.

2.2.8 Kararsız Akım Durumunda Yerel Oyulma

Kararsız akımlar, akarsulardaki taşkın dalgalarının geçişi sırasında hidroelektrik santrallerinin mansaplarındaki kabarma dalgaları ve dalga etkisi altında meydana gelir. Bu dalgaların her biri farklı dalga boylarına sahiptirler. Dalgaların geçişi, yerel oyulmayı etkileyen değişkenlerin sayısını artırır. Oyulma yörüngesel bir hızdan dolayı veya bir akım tarafından güçlendirilmiş olabilir.

Taşkın dalgaları genellikle saatler boyunca hemen hemen hiç değişmeden devam edebilirler. Oyulmanın kararlı durumdaki denge derinliğine ulaşması için gereken zaman çok kısa olduğunda, taşkın akımının süratle değişmesi ile birlikte taşkın periyodu önemli hale gelebilir. Laboratuardan elde edilen oyulma miktarları Raudkivi ve Ettema (1977) tarafından incelenmiştir.

Salınımlı dalga ise, silindirik köprü ayağında rölatif olarak küçük bir net oyulma derinliği

meydana getirir. Bununla birlikte oldukça uzun dalgalarla meydana gelen geçici oyulma da önemlidir (Raudkivi, 1976). Zanke (1981) A/b parametresini geliştirmiştir. Burada $A = H/\sinh kh$ tabandaki yörüngesel hareketin genliğinin iki katı ve b yapının çapı veya genişliğidir. Bu parametre akım derinliğini, dalga yüksekliğini, dalga boyunu ve yapının boyutunu tamamlayıcı bir şekilde kombine hale getirir. A/b 'nin 100'den büyük değerleri için, kararlı akım şartlarında taban kayma gerilmesi, katı madde için kritik değerinden önemli miktarda büyük olur. Net yerel oyulma derinliği S^*/b , azalan A/b değeriyle birlikte süratle azalır ve maksimum derinlik yanlara kayar. Yörüngesel hareketin ilk yarım periyodu büyük miktarda katı madde taşınımı gerçekleştiremeyecek kadar kısa olduğundan anlık oyulma derinliği, artan b değerine paralel olarak azalır.

2.2.9 Oyulmanın Engellenmesi

Tabanın korunması ve köprü ayaklarında meydana gelen oyulmanın önlenmesi fikri, oldukça ilgi çekici bir konudur. Oyulma derinliğinin azaltılması, daha sıkı temeller ve daha düşük maliyet anlamına gelmektedir.

En yaygın oyulma engelleme yöntemi tabanda mevcut taş/kayaları köprü ayağının etrafına veya etrafta oluşan oyulma çukurunun içine doldurma yöntemidir. Burada birinci kural taş ile kaplanacak/doldurulacak alanın genişliğinin, köprü ayağı genişliğinden en az iki kat büyük olmasıdır. Bonasoundas (1973), silindirik köprü ayaklarının etrafına, daralan ucu akımın geldiği tarafa bakan, boyuna yumurta kesiti şeklinde bir rip-rap koruması önermiştir. Bu koruma, köprü ayağının menba yüzünde $2.5b$ mesafede, en büyük genişliği $6b$ ve en büyük uzunluğu $7b$ olacak şekildedir. Önerilen rip-rap kalınlığı $b/3$ ve minimum taş boyutu $d(\text{cm}) = 6 - 3.3u + 4u^2$ dir. Burada u , m/s' dir. (2.3)

Genellikle, menba tarafındaki taban malzemesinin hızı başlangıç hızının yaklaşık yarısı civarında iken ayak etrafında oyulma başlar. Rip rap için kritik hız $u_{kr}=2u'$ dur. Burada u , ortalama akım hızıdır. Strickler ve Manning formüllerinin kombinasyonu $u/u_* = 7.66(R/d)^{1/6}$ sonucunu verir ve Shields kriterlerine göre $\theta = 0.04$ bulunur. Böylece hidrolik yarıçap R ' nin yerine, akım derinliği y_0 konularak

$$u = 4.8(s_s - 1)^{1/2} d^{1/3} y_0^{1/6} = 6d^{1/3} y_0^{1/6} \quad (2.4)$$

elde edilir. Burada d m cinsinden ölçülmüştür ve s_s taşların yoğunluğu 2.6' dır.

$$u \leq 4.9 \quad (2.5)$$

ifadesi, ampirik verilerden elde edilen basit bir bağıntıdır. Rip- rap, taban seviyesinin fazla değişmediği durumlarda, yani tabandaki en büyük taban şeklinin tepesinin belirlenerek rip-rap koruma işleminin tepe üzerine yapıldığı durumlarda başarılı olabilir. Bu tür rip-rap korumasından en iyi sonuç, önceden kazılarak hazırlanmış bir oyulma çukurunun üzerine yapılarak alınabilir. Taban seviyesinin taşkın sırasında ani bir şekilde düştüğü yerlerde rip-rap koruma etrafında taban oyularak seviyenin alçalması sonucunda rip-rap yok olabilir.

Bunların dışında rip rap, koruma malzemesiyle taban malzemesini ayrı tutmak maksadıyla bir ara filtrenin üzerine yerleştirilmelidir.

Eğer rip-rap ayak etrafında yüksek bir şekilde oluşturulursa, daha kalın bir ayak gibi davranarak şartların olumsuzlaşmasına sebep olabilir. Neill (1964); "derin su köprü ayaklarının büyük kaya yığınlarıyla, tabandan 10 metre yukarıya kadar rip-rap korumasına alındığı bir durumda, köprü ayaklarından birinin taşkında, mansap tarafındaki oyulma neticesinde çöktüğünü rapor etmiştir. Böyle bir yapı akım karşısında daha geniş bir sütun gibi davranmakta ve meydana getireceği erozyonun miktarı kaçınılmaz biçimde artmaktadır.

Chabert ve Engeldinger (1956), bir köprü ayağının önüne yerleştirilmiş koruma kazıklarının oyulma üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre oyulma; kazık sayısı ve kazıkların birbirlerine ve köprü ayağına olan mesafeleri ile kendi aralarında yaptıkları açının bir fonksiyonu olarak sonuçlanmıştır.

2.2.10 Kazık Gruplarından Oluşan Köprü Ayaklarında Oyulma

Köprü ayaklarında meydana gelen oyulma kazık gruplarında meydana gelen oyulmaya nazaran daha fazla incelenmiştir. Hannah (1978) kararlı üniform akım ve temiz su şartlarında silindirik kazık grupları etrafında meydana gelen yerel oyulmayı incelemiş ve bu olayın anlaşılması yönünde açıklamalarda bulunmuştur. Hannah (1978) kazık grupları ile elde ettiği deney sonuçlarını daha iyi değerlendirebilmek için ilk olarak tek bir kazık (uzunluk/genişlik=6/1) dikkate almıştır. Daha sonra oyulma, tek bir akım şartında farklı aralıklara sahip kazık grupları ve farklı atak açıları için araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan, taban malzemesine ait $d_{50} = 0.75$ mm ve $\sigma_g = 1.32$ dir.

Deneylerde yedi saat sonunda oyulma derinliğinin, denge oyulma derinliğinin %80'ine ulaştığı ve daha sonra oyulma ve yığılma için çok küçük değişikliklerin meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle yedi saat sonunda kesilmiştir. Bu durum Dietz (1972,1973)'in iki saat süren deneyleriyle çelişkiler oluşturmaktadır.

- **Tek Kazık**

33 mm çapındaki silindirik tek kazık için, 0.285 m/s'lik akım hızında ve 140 mm derinlikte, yedi saat sonunda meydana gelen oyulma derinliği 62 mm olarak tespit edilmiştir. Deneyler kazık grupları için aynı akım hızında ve aynı derinlikte yapıldığından sonuçlar tek kazık için elde edilen eğerlerle karşılaştırılabilmektedir.

- **Kazık Grupları**

Tek kazıktan farklı olarak kazık gruplarında oyulmaya etki eden dört mekanizma mevcuttur;

Takviye: Öndeki kazık etrafında meydana gelen oyulma derinliğinin artması sonucunda, denge koşullarına ulaşıldığında oyulma çukurunun tabanında dinamik denge meydana gelmektedir. Akım oyulma çukurunun tabanındaki malzemeyi hareket ettirebildiği halde çukurdan dışarıya taşıyamamaktadır. Akımın geliş yönüne yakın olan bir kazık öyle bir yerleştirilmelidir ki oyulma çukurları birbirlerini tamamlamalıdır. Kazıklar arasındaki mesafe arttıkça takviye etkisi azalır.

Koruma: nde yer alan kazık nedeniyle, arkadaki kazıklara ulaşan akım hızında bir azalma meydana gelmektedir. Bu azalma atnalı vortekslerin etkisini ve böylece de mansaptaki kazıklarda meydana gelen oyulmayı azaltmaktadır. İkinci tip koruma ise, öndeki kazık tarafından oyulan malzemenin arkadaki kazığın hemen menbasında yığılmasıyla oluşmaktadır. Bu durumda akım tabandan yukarı doğru ve mansaptaki kazık etrafında sapmaktadır. Böylece atnalı vortekslerin mansaptaki kazıklar üzerindeki etkisi ve gücü azalmaktadır. Kazıklar arasındaki mesafe arttıkça menbadaki kazığın art-iz bölgesinde meydana gelen hızdaki azalma ortadan kalkmaktadır

Art-iz vorteksleri: Kazığın menbasından ayrılan vorteksler, akım yörüngelerini izleyerek mansaba doğru yayılırlar. Bu yörüngelerden birinin yakınına yerleştirilmiş ikinci bir kazık, vortekslerin hız ve basınç dağılımına etki ederek oyulma çukurunda malzeme taşınmasına yardımcı olur. Art-iz vortekslerinin oyma potansiyeli, vortekslerin iletilme hızının şiddetine ve yörünge ile etkilenen kazık arasındaki mesafeye bağlı bir fonksiyondur. Bu etki mansap kazıklarının menba kazıklarıyla ve akımla aynı doğrultuda (atak açısı durumuna göre) olduğu durumda daha az olur.

At Nalı Vorteksi: Kazıklar akıma enine yerleştirildiğinde, birbirine yakın olanlar dışında her biri kendi at nalı vortekslerini oluştururlar. Kazık mesafesi azaldığında at nalı vortekslerinin ite kalan kısımları birleşir. Bu, birleşen kısımlarda oyulma derinliklerinin artmasının sonucu olarak hızların artmasına neden olacaktır. Bu etki aynı zamanda diğer atak açıları (sıfırdan

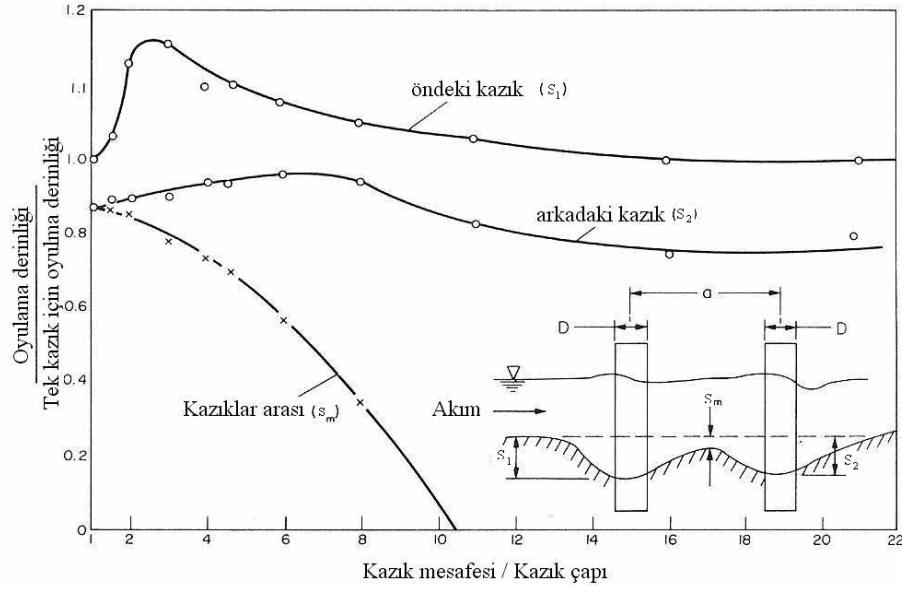
farklı) için, kazıklar arası mesafeye bağlı olmak kaydıyla mevcuttur.

- **İki Kazık**

Akımla aynı doğrultuda (Atak Açısı Sıfır Derece): Şekil 2.11’de, kazıkların her birinde oyulma derinliğinin nasıl oluştuğu ve kazıklar arasında taban seviyesinin rölatif mesafeye (a/b)’ ye bağlı olduğu görülmektedir. Burada a , kazıkların eksenleri arasındaki mesafe, b ise uygun kazık çapıdır.

Birbirine temas eden iki kazık ($a/b = 1$) için öndeki kazıkta meydana gelen oyulmanın derinliği tek kazıkta meydana gelenle aynıdır ancak burada ayrılma daha fazladır. Öndeki kazıkta, $a/b = 2.5$ için maksimum değerine ulaşan ve $a/b = 11'$ e kadar belirgin olan takviye etkisi meydana gelir. Kazıklar arası mesafenin daha büyük olduğu durumlarda oyulma derinliği tek kazık ile aynıdır.

Kazıklar arasındaki taban seviyesi (S_m maksimum, Şekil 2.11) $a/b = 1$ ve arkadaki oyulma çukuru ile aynı olduğunda minimumdur. Kazıklar arası mesafe daha büyük olduğunda ($a/b = 10'$ a kadar), öndeki çukurdan taşınan malzemenin iki kazık arasına yığılması sebebiyle taban seviyesi yükselir. Mesafe $a/b = 10$ iken ikinci kazığın ön tarafındaki oyulma, birinci kazığın oyulma çukurundan taşınan malzeme miktarıyla denge haline gelir ve iki kazık arasındaki taban orijinal seviyesinde kalır ($S_m = 0$). Daha büyük mesafeler için $S_m < 0'$ dır. Bu mesafeler için ($a/b > 10$) takviye etkisi küçüktür. Arka kazıkta oyulma derinliklerinin azalması öncelikle ön kazığın yaklaşım hızını azaltmasının sonucudur. $a/b = 1$ durumunda iki kazık bir bütün gibi davranacağından koruma etkisi tamamlanmış olur. Maksimum oyulma derinliği öndeki kazıkta meydana gelir. Arkadaki kazığın oyulma derinliği maksimumun % 87’ si kadardır. Mesafe arttıkça ön kazığın sağladığı koruma etkisi azalır ve $a/b = 2$ olduğunda arka kazığın etrafında bir at nalı vorteksi oluşur ve gücü mesafenin büyüklüğüyle doğru orantılı olarak artar. Küçük mesafelerde, ön kazıktan kaynaklanan art-iz vorteksleri arkadaki kazığa, oyulmaya sebep olmaya yetecek kadar yakın mesafeden geçerler. Bu yüzden arka kazıktaki oyulma derinlikleri mesafeyle birlikte artar.

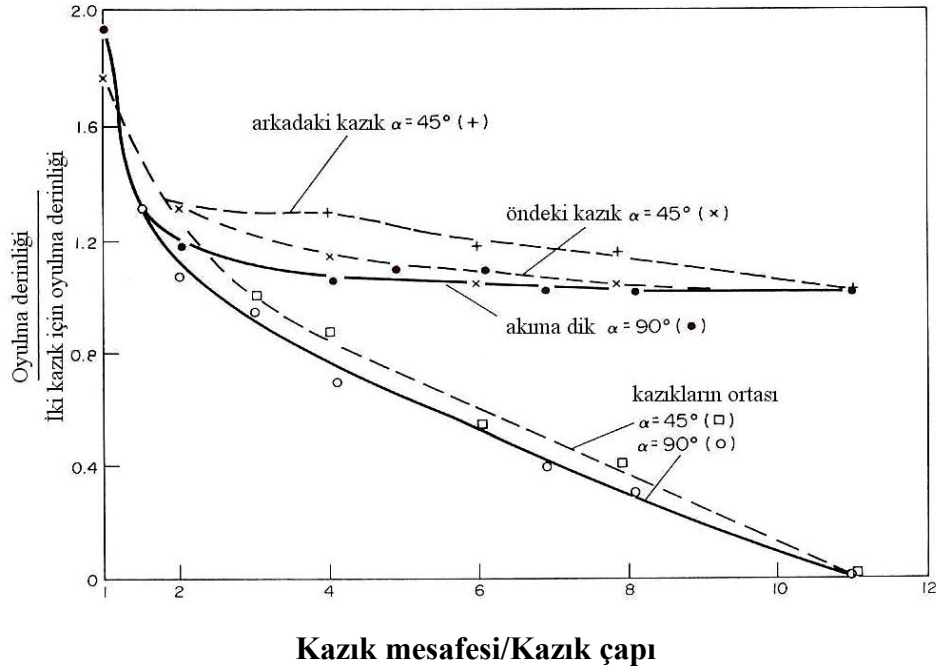


Şekil 2.11 Kazık mesafesinin bir fonksiyonu olarak akımla aynı doğrultuda iki kazık için oyulma derinlikleri.(Raudkivi A.J., 1990)

$a/b = 6$ olduğunda, arka kazıkta meydana gelen oyulmanın derinliği maksimuma ulaşır. Mesafe daha da büyüdükçe art-iz vortekslerinin arka kazığa göre geçiş mesafeleri artar ve böylece oyulma çukurundan taşıdıkları malzeme miktarı azalır. Ek olarak, oyulma çukurlarının arasında kalan taban seviyesi yükselecek ve arka kazık etrafında daha güçlü bir at nalı vorteksi oluşmasına sebep olacaktır. $a/b = 17$ durumunda, bu iki etkinin belirgin biçimde minimuma düşmesinin sonucu olarak oyulma derinlikleri azalır. Daha büyük mesafelerde, sadece art-iz vortekslerinin (öndeki kazık arkasına saçılan akım) koruyucu etkisi kalır ve bu etki de mesafeyle ters orantılı olarak azalır. Bu deneylerde bu etkinin $a/b = 25$ durumunda mevcudiyetini koruduğu belirlenmiştir. Ancak muhtemelen, kazık menba şartlarından etkilenmemekte ve oyulma derinliği tek kazıkta olduğu gibi gerçekleşmektedir.

$a/b = 6$ ya kadar, birbirleriyle eşit mesafede ve doğrusal olarak yerleştirilmiş olan üç kazık için, orta kazıktaki oyulma derinliği daha derin ve üçüncü kazıktaki oyulma derinliği de “iki kazık” deneyinde arkada bulunan kazığinkinden daha düşük olmaktadır.

Akımla enine doğrultuda (Atak Açısı 90 Derece): Şekil 2.12’de akıma dik açı yapacak şekilde yerleştirilen iki kazıkla yapılmış deneylerin sonuçları görülmektedir. Her iki kazıkta da aynı oyulma derinliği ($\pm 2\text{mm}$) meydana gelmiş ve sonuçlar tek bir eğri oluşturacak şekilde ortalama olarak alınmıştır. Ayrıca kazıklar arası mesafenin ortasında meydana gelen oyulma da gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Kazıklar arasındaki mesafenin fonksiyonu olarak iki kazık için oyulma derinliği.(Raudkivi A.J., 1990)

$a/b = 1$ durumunda oyulma derinliği $1.93 S^*$ dir. Bu durum, oyulma derinliğinin, kazığın ön yüz genişliği ile orantılı olması ile uygundur. Oyulma derinliği kazıklar arası mesafeyle birlikte azalır. $a/b = 1.5$ da oyulma derinliği $1.3 d_s$ dir. $a/b > 8$ olduğunda oyulma derinliği tek kazıkta olduğu gibidir. $a/b = 11$ iken oyulma derinlikleri tamamen birbirinden bağımsızdır ve kazıklar arasındaki taban da orijinal seviyesinde kalır.

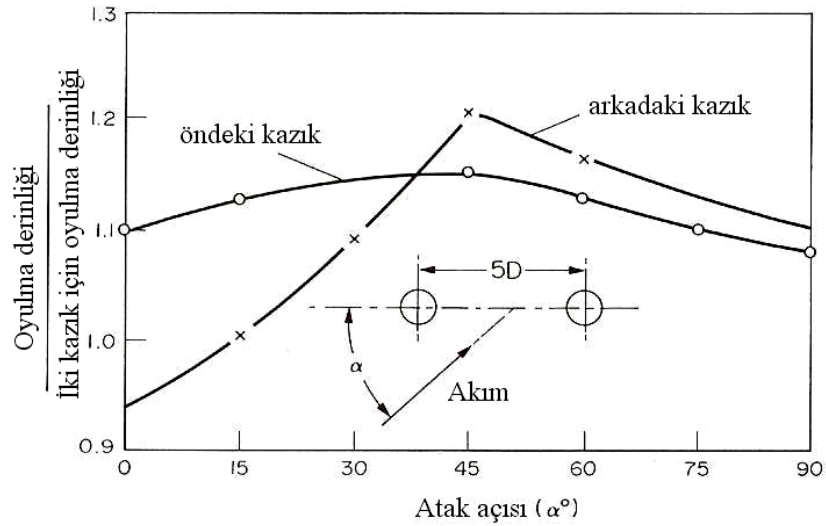
$a/b < 2$ iken oyulma, etkili kazık çapındaki artışın sonucu olarak artar. $a/b > 2$ iken at nalı vorteksleri ayrılmaya başlar. Bu vorteksler kazıklar arasında birleşeceğinden, daha yüksek hızlara ve oyulma potansiyeline sahip olurlar. $a/b = 8$ iken bu etki sıfırlanır.

Non-aligned (Atak Açısı 45 Derece): Şekil 2.12' de akımın yaklaşım doğrultusu ile 45 derece açı yapacak şekilde yerleştirilmiş iki adet kazıkla yapılan deneylerin neticeleri görülmektedir. $a/b = 1$ için oyulma derinliği $1.77 S^*$ dir. Bu oldukça yüksek bir değerdir.

a/b ' nin 1–11 arasındaki tüm değerleri için arka kazıktaki oyulma derinliği öndekinden daha fazla olmaktadır. Daha büyük mesafelerde, kazıklar birbirinden bağımsız tekil kazıklar gibi davranmakta ve aralarında kalan taban seviyesine herhangi bir etki yapmamaktadırlar. Arka kazıktaki derinliğin artmasına ön kazıktan kaynaklanan art-iz vorteksleri ile atnalı vorteksinin etkilerinin birleşmesi sebep olmaktadır. Bu iki olay, $a/b = 4$ olduğunda maksimum etki

yaratarak tüm olumlu etkileri elimine ederler ve ön ve arka kazıkların oyulma derinlikleri arasındaki farkın maksimum seviyeye çıkmasına sebep olurlar.

Atak Açısı α 'nın Etkisi: $a/b = 5$ ve $0 < \alpha < 90$ aralığında 15 derecelik aralıklarla yapılan deneylerin sonuçları Şekil 2.13'de görülmektedir. Ön kazıktaki oyulma atak açısından fazla etkilenmemekte, 0 derece atak açısı durumundaki değerden en fazla % 5 oranında sapmaktadır. Arka kazıktaki oyulma derinlikleri, atak açısındaki değişikliklere daha hassastır.



Şekil 2.13 Aralarında 5D mesafe bulunan iki kazık durumunda atak açısının oyulma derinliğine etkisi.(Raudkivi A.J., 1990)

Atak açısının 15 dereceden küçük olduğu durumlarda arka kazık üzerindeki hâkim etki ön kazığın koruyucu etkisidir. Açı büyüdükçe koruyucu etki azalır ve arka kazık ön kazıktan gelen art-iz vortekslerinin etkilerine daha fazla maruz kalır. Sonuç olarak, yaklaşık 45 derece atak açısında ($a/b = 5$ için) oyulma derinlikleri maksimum seviyeye ulaşır. Atak açısı 90 dereceye yaklaştıkça arka kazık art-iz vortekslerinden daha az etkilenir ve tek kazık gibi netice verir.

2.2.11 Köprü Ayağı Oyulma Hesabının Özeti

Genel bir bağıntı olarak;

$$S^*=2.3K_\alpha B \quad (2.6)$$

ifadesi, köprü ayağının çapına veya genişliğine göre rölatif olarak derin olan bir akımdaki maksimum oyulma derinliğini hesaplamak için oldukça önemlidir. Bir tasarım yaparken, sadece akım hızları, derinlikleri ve doğrultuları kesin olarak biliniyorsa doğru sonuçlara ulaşılabilir. Köprü ayağı biçiminin etkisi, yaklaşan akıma göre yapılacak küçük açısal

ayarlamalarla giderilebilir ancak akım derinliği etkisi önemini korumaya devam edebilir.

Maksimum oyulma derinliği, ince kumlu tabanda temiz su oyulması şartlarında oluşmayacaktır ancak hareketli taban oyulmasının mevcut olduğu geçiş düzlem tabanlarda meydana gelebilir.

Çakıl tabanlarda oyulma derinliğinin ilk piki katı maddenin standart sapmasının σ_g bir fonksiyonudur. Laboratuvar verileri, $\sigma_g = 2$ için 2 olan ortalama oyulma derinliği (S^*/b) değerinin $\sigma_g = 5$ için yaklaşık 1.6'ya düştüğünü göstermektedir. Çakıllı akarsu yataklarında düzlem taban şartları oluşmaktadır.

2.3 Plunging Jetlerin Sebep Olduğu Oyulma

Baraj rezervuarlarındaki ve savaklardan deşarj edilen fazla suyun enerjisi, özel dinlendirme havuzları veya akarsu mansabında azaltılır. Fazla miktardaki suyun adeta bir jet gibi çıkarak akarsuya dökülmesi durumu baraj mansabı olarak ifade edilmektedir. Bu yüksek enerjili jetler bir oyulma çukuru oluşturur ve bu durum barajın kendisini veya vadi eğiminin stabilitesini tehlikeye düşürür. Oyulma çukurunun mansabında erozyona uğramış malzemenin oluşturduğu tepelik özellikle barajdaki kuyruk suyu seviyesini artırır. Akarsu tabanına çarpan su jetinin etkileri temel olarak taban malzemesinin yapısına (çakıl, taş, kaya) bağlıdır. Yüksek barajlardan savaklanan su neticesinde meydana gelen su jetlerinin oluşturduğu oyulma, kayalık akarsu tabanlarıyla ve vadilerle birleşir. Bu etkileşimin sebep olduğu oyulma, özel ve kompleks bir problemdir ve Hausler (1983) tarafından ele alınmıştır.

Jetler akarsuya, savaklanmanın tipine bağlı bir açıyla çarpar. Oyulma probleminin davranışı, batık jetlerin sebep olduğu oyulmalar ile ilgili çalışmalarını esas almıştır. Jetin suya girişi başlangıç noktası olarak ele alınır. Batık jetlerin karakteristikleri, Rajaratnam (1976) ve List (1982) tarafından detaylı olarak tanımlanmıştır. Jetler ve oyulma konuları ile ilgili çalışmalar için referanslar; Rouse (1940), Clarke (1962), Johnson (1967), Westrich ve Kobus (1973), Westrich (1974), Kobus ve diğ. (1979), Rajaratnam (1981) ve Rajaratnam (1982)'dir. Giriş açısının etkisi Rajaratnam (1981) tarafından incelenmiştir. Sonuçlar, giriş açısının, oyulma derinliği üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğunu ancak açının düşeyden sapmasıyla doğru orantılı olarak oyulmanın simetrikliğinin azaldığını göstermiştir.

Çeşitli oyulma ifadeleri, küçük ölçekli laboratuvar çalışmalarına ve kohezyonsuz katı maddeye göre geliştirilmiştir. Yüksek yapılarda meydana gelen oyulmaların belirlenmesi dikkat gerektirmektedir. Çarpma anındaki jet boyutu ve hızının kullanılması, hava girişi ihmal

edilebilir olduğundan laboratuarlarda probleme sebep olmaz. Bununla birlikte, arazideki hava girişi, jetin boyutlarında ve özelliklerinde önemli değişiklikler meydana getirebilir. Uygulamada hava girişi genellikle, jetin içinde katı çekirdek mevcut olduğu sürece ihmal edilir. Hava girişi oyulma derinliğini azaltır. Su içinde ilerledikleri mesafesi ile dairesel jetlerin hızı s^{-1} kadar, düzlemsel jetlerin hızı $s^{-1/2}$ kadar azalır. Hausler (1983)'e göre penetrasyon derinliği uygulamaya yönelik amaçlar için dairesel jetlerde $20D_0$ ve düzlemsel jetlerde $20(2B_0)$ olarak alınabilir. Burada D_0 su yüzeyine çarpan dairesel jetin çapı ve $2B_0$ düzlemsel jetin kalınlığıdır.

Bir laboratuvar deneyinde kaba malzeme kaybolmasıyla plunging jetten dolayı denge oyulma derinliği çok çabuk gelişir. İlk otuz saniyede denge derinliğinin $2/3$ ' üne ulaşılır ve 2 ila 3 saat sonraki derinlik değişikliği çok azdır.

Breusers, suya düşey batık jetler tarafından oluşturulan maksimum oyulma derinliği için Clarke, Westrich ve Rajaratnam tarafından oluşturulan verileri kullanarak;

$$\frac{y_s}{D_0} = 0.75 \frac{U_0}{u_*c}, \quad \frac{U_0}{u_*c} < 100 \quad (2.7)$$

$$\frac{y_s}{D_0} = 0.035 \left[\frac{U_0}{u_*c} \right]^{2/3}, \quad \frac{U_0}{u_*c} > 100 \quad (2.8)$$

denklemlerini bulmuştur. Oyulma çukurunun genişlik/ derinlik oranı beştir.

Plunging jetler tarafından oluşturulan oyulmalarla ilgili sıkça kullanılan çalışmalardan biri Veronese (1937) tarafından verilmiştir ve;

$$y_s + y_0 = 3.68H^{0.225} q^{0.54} d_m^{-0.42} \quad (2.9)$$

formülü ile ifade edilmiştir. Bu formül Jeager (1939) tarafından ;

$$y_s + y_0 = 6H^{0.25} q^{0.5} (y_0/d_{90})^{0.33} \quad (2.10)$$

şeklinde geliştirilmiştir.

Bu formüllerde H barajın menbası ve mansabı arasındaki su seviye farkı, q birim genişliğe göre debi, d_m ortalama tane boyutu (d_m ve d_{90} ' ın birimi mm), y_0 mansap su derinliği ve y_s ise taban seviyesinden ölçülmüş oyulma derinliğidir. Bu deneylerde; $q = 0.01 - 0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $d = 9, 14, 21$ ve 36 mm değerleri kullanılmıştır. Bu deneyler Hartung (1957) tarafından da

tekrarlanmıştır ve;

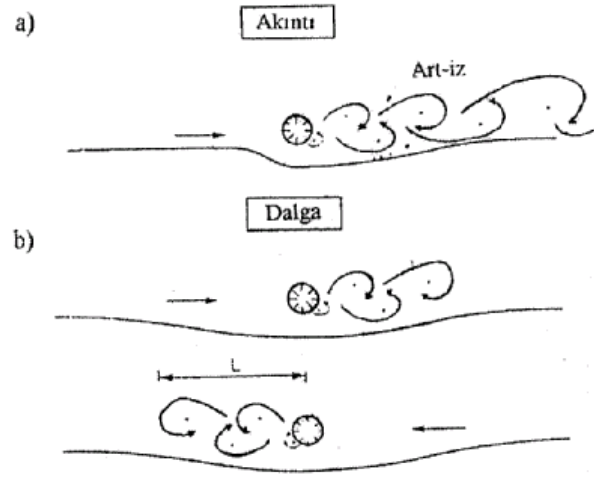
$$y_s + y_0 = 12.4 H^{0.36} q^{0.64} d_{85}^{-0.32} \quad (2.11)$$

sonucuna ulaşılmıştır.

2.4 Silindirik Yapılar Etrafında Yerel Taban Hareketi

Bu yapılar deniz deşarj hatları, soğutma suyu boru hatları, petrol nakil hatları, doğal gaz boru hatları enerji nakil hatları ve haberleşme amaçlı kabloların içerisinde geçirildiği silindirik boru hatlarıdır. Günümüzde ülkeler deniz aşırı taşımacılık için nakil aracı olarak bu tip yapıları tercih etmektedirler. Deniz altı boru hatlarının tasarımı sırasında dikkate alınması gereken en önemli problemlerden biri boru hattı çevresinde meydana gelen yerel taban hareketidir. Yerel taban hareketinin, yapıların akım alanını etkilemesiyle meydana gelen basınç ve kayma gerilmesi değişimlerinden oluştuğu bilinmektedir. Yapıdan dolayı rahatsız edilmemiş akım bölgesine göre türbülans şiddetinin iki kat, kayma gerilmesinin dört kat, katı madde taşınımının ise sekiz kat arttığı belirlenmiştir.(Yüksel ve Üç, 1993, Sümer and Fredsøe, 1990)

Hareketli bir taban üzerine boru hattının yerleştirilmesi ile akım alanında yaratılan rahatsızlıktan dolayı sırasıyla; boru hattı etrafında sınır tabakası oluşumu, sınır tabakasından ayrılma ve çeşitli büyüklüklerde vorteks oluşumları sonucunda yerel akım alanındaki hız ile taban kayma gerilmelerinin şiddetlerinde artma bunun neticesinde ise yerel oyulma olayı meydana gelmektedir. Hareketli taban halinde bu yapılar etrafındaki yerel oyulma mekanizmasına kararlı akım şartlarında etkin parametrenin $Re(=U_m D/\nu)$ yapı Reynolds sayısı olmasına karşın dalga etkisinde ise $KC(=U_m T/D)$ Keulegan-Carpenter sayısının daha etkin olduğu belirlenmiştir, burada D yapının çapı, U_m maksimum yatay yörüngesel hız, T dalga periyodu, ν kinematik viskozitedir. Rüzgar dalgaları veya tedricen değişen gel-git akıntısı gibi iki yönlü kararsız akımın neden olduğu boru hatları etrafındaki yerel oyulmanın kararlı akım hali ile arasındaki en önemli fark, kararlı akım halinde borunun mansabında oluşan art-iz sisteminin bu durumda boru hattının her iki tarafında da oluşmasıdır. Burada boru hattının mansabında oldukça yumuşak bir eğimin oluşmasına neden olan bu kuvvetli art-iz erozyonu kararsız akım halinde borunun her iki tarafında da meydana gelmektedir.



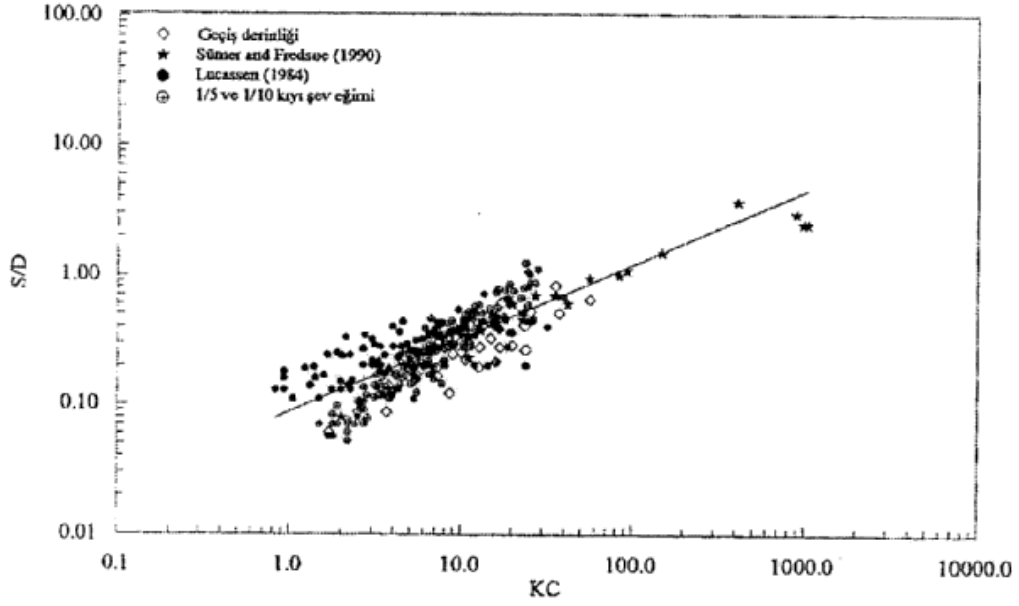
Şekil 2.14 Art-iz etkisi; a)akıntı, b)dalga, (Sümer and Fredsøe, 1990)

Borunun mansap tarafında art-iz bölgesinden etkilenen tabanın uzunluğu KC sayısına bağlıdır. Akımın periyodunun bir yarısında mansaptaki art-iz tarafından etkilenen alanın akım yönündeki mesafesi KC sayısı büyüdükçe artmaktadır. Akım art-iz bölgesinde tabanı daha kuvvetli bir şekilde erozyona uğrattığı için artan KC sayısı ile borunun her iki tarafında oyulma çukurunda daha yumuşak eğimler elde edilmektedir. Oyulma çukurunun her iki tarafında eğimlerin gittikçe yumuşak bir hal alması ile borunun altındaki akım bölgesi dış akımlara karşı daha fazla maruz kalacağından borunun altındaki akım hızı artacak ve daha fazla oyulmaya neden olacaktır. Bunların hepsi oyulma derinliğinin KC sayısı ile doğru orantılı bir şekilde arttığını göstermektedir.

Boru hatları boyunca yerel taban hareketi genel olarak üç boyutludur. Oluşan oyulma çukurunun üzerinde askı konumunda kalan boru hattı, eğer eksenel doğrultudaki oyulma çukuru yeteri uzunlukta gelişmiş ise dalga ve akıntı etkisinde davranışındaki değişiminden dolayı kırılabilir. Boru yeterince rijit değilse, oyulma çukuruna doğru sarkarak etrafındaki akım yapısının yeniden değişmesine neden olmakta ve hatta kendi kendine kum taban malzemesi ile gömülebilmektedir. Sümer ve Fredsøe (1990) boru hatları etrafındaki yerel oyulma çukuru derinliğinin belirlenmesi için

$$S/D = 0.1 KC \quad (2.12)$$

ifadesini vermiştir. Ancak sığ su şartlarında dalga kinematiklerinin belirlenmesindeki güçlükler nedeniyle, bu ifadenin kullanılması zorlaşmaktadır.



Şekil 2.15 Rölatif oyulma derinliğinin KC ile değişimi(Çevik ve Yüksel, 1998)

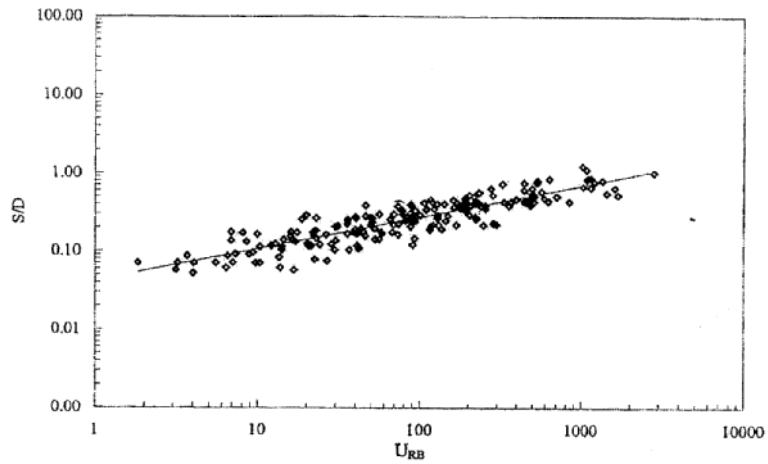
Bu ifadenin yerine oldukça iyi sonuçlar veren bir başka ifade Çevik ve Yüksel (1998) tarafından teklif edilmiştir, buna göre

$$S/D = 0.0418 U_{Rb}^{0.4066} \quad (2.13)$$

dir.

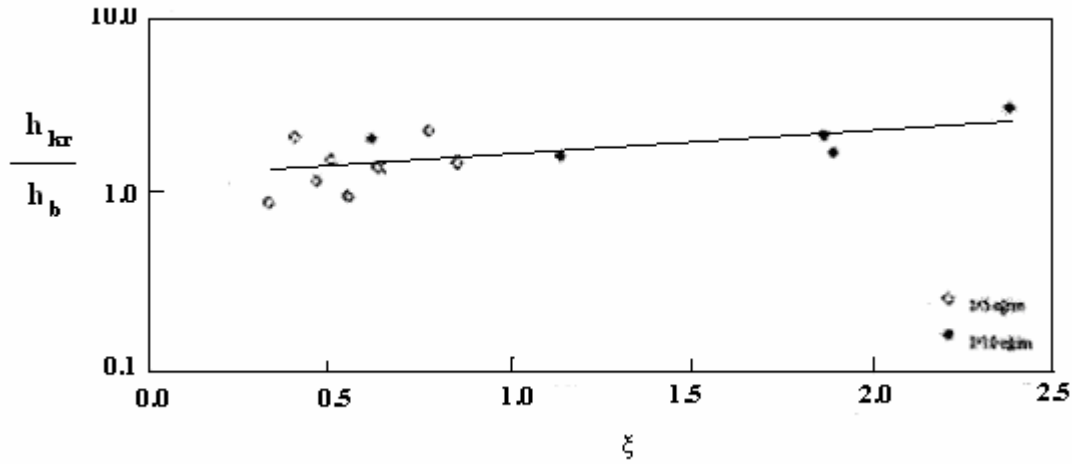
Çevik (1997) ve Çevik ve Yüksel (1998) sığlaşma bölgesinde değişen dalga koşullarına göre maksimum oyulma çukurunun meydana geldiği kritik su derinliği (h_{kr}) ile surf parametrisi arasındaki ilişkiyi, kırılma derinliğine göre ;

$$h_{kr}/h_b = 0.654\xi + 1.1 \quad (2.14)$$



Şekil 2.16 Rölatif oyulma derinliğinin U_{RB} ile değişimi(Çevik ve Yüksel, 1998)

bağıntısıyla belirlemişlerdir. Bu ifadeye göre surf parametresinin(ξ) artan değerlerinde, maksimum oyulma daha derinde meydana gelmektedir.



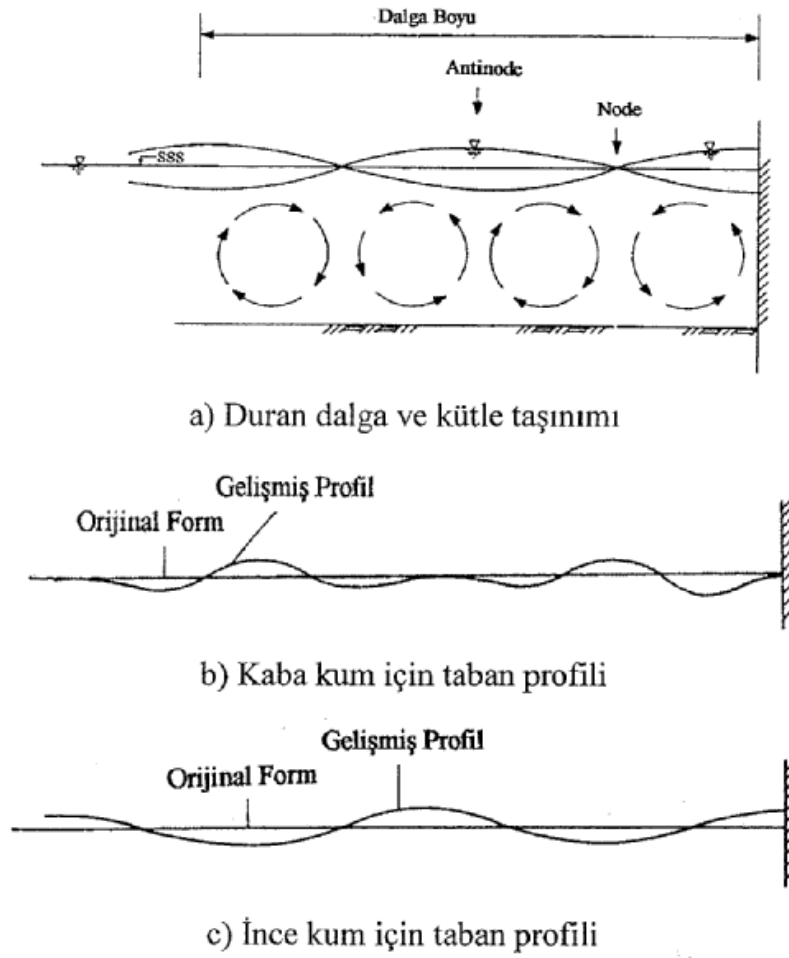
Şekil 2.17 Kritik su derinliğinin ξ ile değişimi(Çevik ve Yüksel, 1998)

2.5 Düşey Yüzlü Kıyı Duvarlar Önünde Yerel Taban Hareketi

Düşey yüzlü dalgakıranların stabilitesini etkileyen önemli bir faktör olan duran dalgalar deniz tabanında morfolojik değişimlere sebep olur.

Taban malzemesinin kaba kum olması halinde, taban malzemesi sürüntü modunda hareket etmektedir, taneler node'lara doğru hareket edip burada yığılırlar. Antinode'lara yakın su hareketi daha küçük olduğu için taban bu bölgede daha stabildir. Node ve antinode'lar arasında ise erozyon meydana gelmektedir.

Malzemenin ince kum olması halinde, katı madde hareketi askı moduna da geçtiğinden farklı taban morfolojisi meydana gelmektedir. Node'ların bulunduğu kesitlerde taban hızları büyüdüğünden erozyon, buna karşın taban hızlarının daha küçük olduğu antinode'ların bulunduğu kesitlerde yığılma meydana gelmektedir.



Şekil 2.18 Duran dalga ve taban değişimleri (Yüksel ve diğ. 1998)

Taban morfolojisinde meydana gelen bu değişimlerden dolayı düşey yüzölçümü dalgakıranın temeli yakınında tabanın stabilitesini arttıracak bir koruma teşkil edilmelidir.

2.6 Dalgakıran Kafalarında Meydana Gelen Yerel Taban Hareketleri

Bir kazık etrafındaki oyulma işlemi ile dalgakıran kafası etrafındaki oyulma işlemi arasındaki benzerlikler bulunmaktadır. Art iz vorteks sistemi veya at nalı vorteks sistemi veya her ikisi de akıma bağlı olarak oyulmaya neden olmaktadır. Kazık durumunda art iz vorteksleri yapının iki tarafında şekillenmektedir ve oldukça güçlü bir şekilde birbirleri ile etkileşmektedirler. Aynı şekilde atnalı vorteks küçük genişlikli kazıklarda daha etkilidir. Oysa dalga kıran olması durumunda artiz vorteks dalgakıranın kafasında şekillenmektedir ve dalgaların her bir yarım periyodunda sadece bir vorteks oluşmaktadır. Atnalı vorteks ise dalga kıran uzunluğunun oldukça büyük olmasından etkilenmektedir. Bu faktörler kazıklar etrafındaki oyulma

işleminin dalgakıran etrafındaki oyulmadan farklı olacağını göstermektedir.

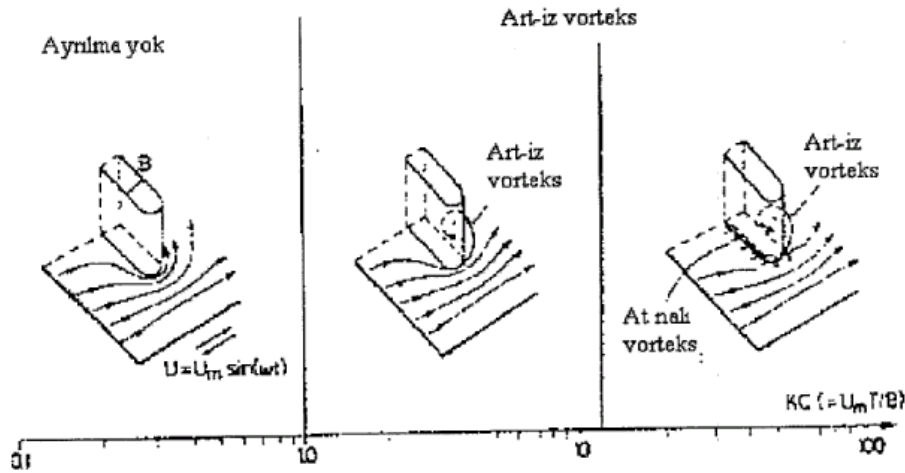
Sümer ve Fredsøe (1997)' de oyulma mekanizması hakkında daha fazla bilgi edinmek ve modelleme yapabilmek için düşey yüzölçekli dalgakıran kafası etrafında oyulma olayını incelemişlerdir. Araştırmaların sonunda 3 tip akım rejimi tanımlamışlardır.

1.Ayrılmanın meydana gelmediği akım rejimi ($KC \leq 1$)

2.Yapının arkasında artiz vorteks oluşumuyla ayrılmanın meydana geldiği akım rejimi ($1 \leq KC \leq 12$)

3.Yapının arkasında artiz vorteks oluşumu ve yapının önünde at nalı vorteks oluşumuyla ayrılmanın meydana geldiği akım rejimi ($KC \geq 12$)

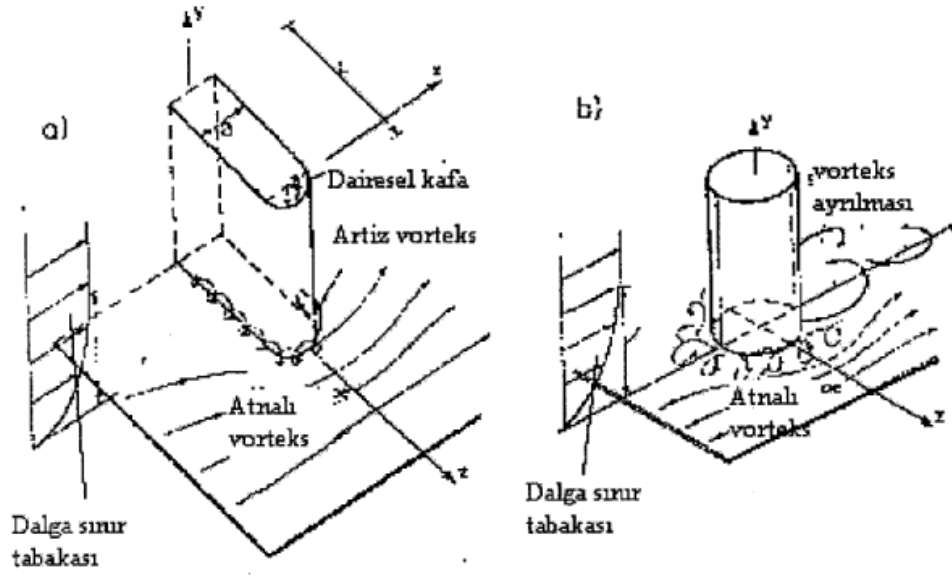
Akım KC sayısı yaklaşık olarak 1'in altında olduğunda ayrılma meydana gelmemektedir. Atnalı vorteks oluşmadan ayrılmanın meydana geldiği ($1 \leq KC \leq 12$)akım rejiminde, her bir yarım periyotta yapının arkasında artiz vorteks oluşmaktadır.



Şekil 2.19 Düşey yüzölçekli dalgakıran kafası etrafında oluşan akım rejimleri (Sümer ve Fredsøe1997)

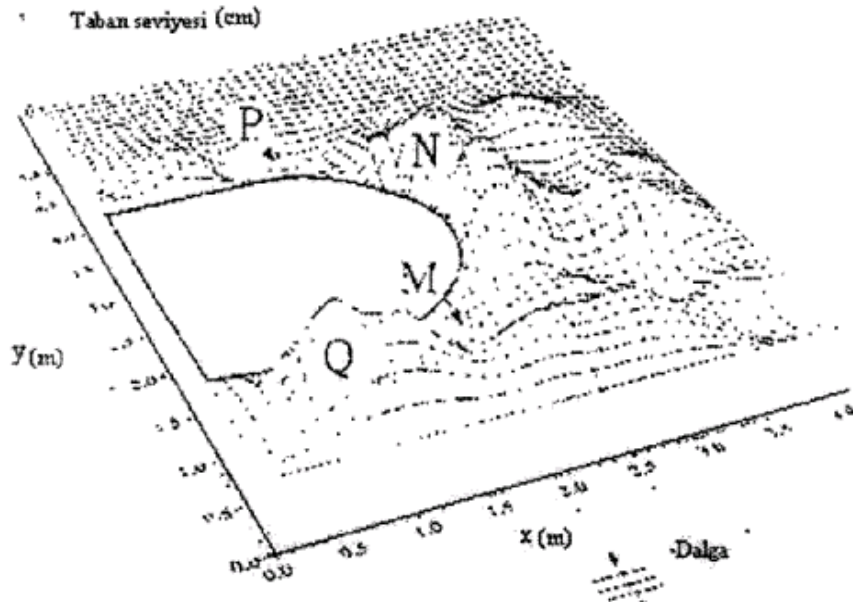
($KC \geq 12$) için KC sayısı arttıkça artiz vortekse ilave olarak şekil 2.19'da görüldüğü gibi yapının önünde spiral biçiminde bir vorteks oluşmaya başlar.Bu vorteks düşey silindirin önünde oluşan at nalı vortekse benzemektedir.Bu vorteks sistemi köprü ayakları ve düşey kazıklar etrafındaki oyulmada da önemli bir rol oynamaktadır.(Breusers ve diğ.,1977;Sümer ve diğ., 1992).Atnalı vorteks gelen akımın hızıyla oluşan çevrintiden dolayı deniz tabanında

şekillenir. Dalga etkisinde bu çevrinti dalga sınır tabakası içinde oluşmaktadır. Ancak dalga sınır tabakası ince olduğunda, atnalı vorteks önemsizdir. (Sümer ve diğ., 1992)



Şekil 2.20 Akım yapısı a) Düşey yüzü dalgakıran b) Düşey silindir (Sümer ve Fredsøe 1997).

Sümer ve Fredsøe (1997) bu oyulmaya neden olan temel mekanizmanın dalgaların her bir yarım periyodunda oluşan art iz vorteksler olduğunu göstermişlerdir.



Şekil 2.21 Denge halinde taban topografyasının 3 boyutlu değişimi, Sümer ve Fredsøe (1997)

2.7 Gemi Pervanelerinin Jetinden Kaynaklanan Erozyon

Limanların bakımı ve projelendirilmesinde pervanelerin meydana getirdiği erozyon problemi önemli bir hale gelmiştir. Gemilerin yanaşma ve ayrılmaları sırasında pervane suyu ile oluşan katı madde hareketi yanaşma yapılarının stabilitelerini etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda problemin ana pervanelerin veya baş pervanelerinin neden olduğu su jetinden kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Chin ve diğ. (1996) yaptıkları çalışmada su jeti nedeniyle kazıklı rıhtımlarda meydana gelen oyulmayı incelemişlerdir. Deneyler sonucunda olaya etkin büyüklükler arasında yapılan boyut analizi ile iki farklı oyulma derinliği tanımlamışlardır. Bunlardan birincisi, kazığın memba kısmında meydana gelen maksimum oyuma derinliği (S_s), ikincisi ise kazığın hemen önünde maksimum oyulma (S) derinliğidir.

Denge durumu aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$S_s/d_0 = S/d_0 = f(F_{rd}, X/h, D/d_0) \quad (2.15)$$

Burada;

d_0 : Pervane jetinin çapı

h : Su derinliği

Fr_d : Yoğunluk Froude sayısı

$$Fr_d = U_0 / (gd_0(\rho_s - \rho/\rho))^{0.5}$$

U_0 : Pervane jetinin ortalama çıkış hızı

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

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

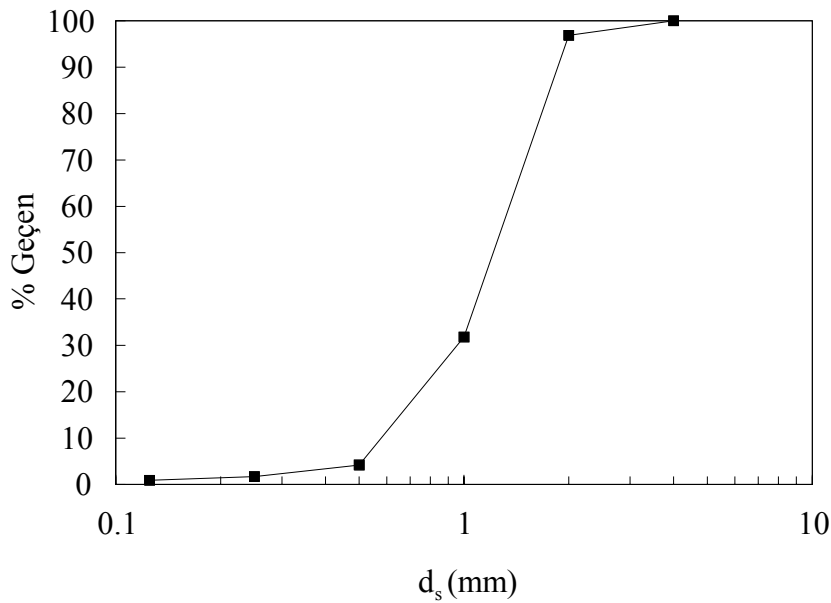
Batı Avrupa’da rıhtım yapısı olarak genellikle düşey yüzlü duvarlar kullanılmaktadır, kazıklı rıhtımlar ise dalga yansımalarını en aza indirmek gerekmedikçe kullanılmamaktadır. Oyulma özellikle düşey yüzlü duvarların topuğunda meydana gelmektedir. Birçok yapıda eğimli koruma yapısı, deniz tabanında anroşman olup olmaması gözetilmeksizin, sürekli ve yanaşma yapısının derinliği boyunca yapılandırılmalıdır.

gerçekleşen çalışma sırasında oluşturulan su jetine ait debi, A104LMA 100 GPI model bir dijital elektronik debimetre yardımıyla belirlenmiştir. Gerekli debiyi sağlamak için kanal üzerine 0.5 kW gücünde, TL3 170 tipinde bir pompa monte edilmiştir.

Kanal içerisine yerleştirilen su jetine ait çıkış ucu yapılan çalışmaya kolaylık sağlaması açısından yatay ve düşey ekseninde hareket kabiliyeti olacak şekilde tasarlanmıştır. Oyulma ve yığılma mekanizmasının başlangıcından sistemin dengeye gelinceye kadar geçen süre içerisinde yapılacak gerekli okuma ve müdahaleler içinde sistemde bir vana yer almıştır. Kazık erozyon deneyi için kanal tabanına 25 cm yüksekliğinde kum serilmiştir. Deneyler kum taban üzerinde oluşturulan 40 cm yüksekliğinde sabit bir su yükünde gerçekleştirilmiştir.

3.1.2 Ölçme Yöntemi

Kanal tabanına 25 cm kum serilerek yapılan ölçümlerde kazık etrafında oluşan erozyon ve yığılma kanal üzerine yerleştirilen limnimetre yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır. Serilen kuma ait granülometri eğrisi Şekil 3.2’de gösterilmiştir(Çevik, Ö .,E., 1997).



Şekil 3.2 Deney kumu granülometrisi (Çevik, Ö .,E., 1997)

Kullanılan kumun granülometrik özellikleri $d_{50}=1.28\text{mm}$, $d_{90}=1.89\text{mm}$, $d_m=d_{60}=1.43\text{mm}$, σ (standart sapma)=1.57'dir. Deneylerde kullanılan kazık çapları ise $D=33\text{ mm}$, $D=48\text{ mm}$ ve $D=90\text{ mm}$ 'dir.

3.1.3 Kazık Grupları

Deneylerde iki kazıktan meydana getirilen kazık grubu kullanılmıştır. Grubu oluşturan kazıklar aynı çaptadır. İlk kazık su jetinden iki kazık çapı mesafede ($2D$) olacak şekilde teşkil edilmiş, diğer kazığın mesafesi ise ilk kazığa göre ayarlanarak yığılma profili dışına çıkılana dek değiştirilmiştir. İkinci kazığın ilk kazıkla olan mesafesi de kazık çaplarının tam katı şeklinde ayarlanmıştır.

3.1.4 Deney Şartları

Deneyler sırasında dikkate alınan şartlar aşağıda yer alan çizelgede özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 İki kazık halinde deney şartları

DENEY NO	D (mm)	d_0 (mm)	D/d_0	Q (l/dak)	Fr_d	a/D	X/D
001	33	16	2	40	23.03	1	2
002	33	16	2	40	23.03	2	2
003	33	16	2	40	23.03	3	2
004	33	16	2	40	23.03	4	2
005	33	16	2	40	23.03	6	2
006	33	16	2	40	23.03	8	2
007	33	16	2	40	23.03	10	2
008	33	16	2	40	23.03	12	2
009	33	16	2	40	23.03	14	2
010	33	16	2	40	23.03	16	2
011	33	16	2	35	20.15	1	2
012	33	16	2	35	20.15	2	2
013	33	16	2	35	20.15	3	2
014	33	16	2	35	20.15	4	2
015	33	16	2	35	20.15	6	2
016	33	16	2	35	20.15	8	2
017	33	16	2	35	20.15	10	2
018	33	16	2	35	20.15	12	2

DENEY NO	D (mm)	d ₀ (mm)	D/d ₀	Q (l/dak)	Fr _d	a/D	X/D
019	33	16	2	35	20.15	14	2
020	33	22	1.5	50	15.21	1	2
021	33	22	1.5	50	15.21	2	2
022	33	22	1.5	50	15.21	3	2
023	33	22	1.5	50	15.21	4	2
024	33	22	1.5	50	15.21	6	2
025	33	22	1.5	50	15.21	8	2
026	33	22	1.5	50	15.21	10	2
027	33	22	1.5	50	15.21	12	2
028	33	22	1.5	50	15.21	14	2
029	33	22	1.5	40	12.23	1	2
030	33	22	1.5	40	12.23	2	2
031	33	22	1.5	40	12.23	3	2
032	33	22	1.5	40	12.23	4	2
033	33	22	1.5	40	12.23	6	2
034	33	22	1.5	40	12.23	8	2
035	33	22	1.5	40	12.23	9	2
036	33	22	1.5	40	12.23	10	2
037	33	22	1.5	40	12.23	12	2
038	33	22	1.5	35	10.63	1	2
039	33	22	1.5	35	10.63	2	2
040	33	22	1.5	35	10.63	3	2
041	33	22	1.5	35	10.63	4	2
042	33	22	1.5	35	10.63	6	2
043	33	22	1.5	35	10.63	8	2
044	33	22	1.5	35	10.63	10	2
045	48	16	3	40	23.03	1	2

DENEY NO	D (mm)	d ₀ (mm)	D/d ₀	Q (l/dak)	Fr _d	a/D	X/D
046	48	16	3	40	23.03	2	2
047	48	16	3	40	23.03	3	2
048	48	16	3	40	23.03	4	2
049	48	16	3	40	23.03	6	2
050	48	16	3	40	23.03	8	2
051	48	16	3	40	23.03	10	2
052	48	16	3	35	20.15	1	2
053	48	16	3	35	20.15	2	2
054	48	16	3	35	20.15	3	2
055	48	16	3	35	20.15	4	2
056	48	16	3	35	20.15	6	2
057	48	16	3	35	20.15	8	2
058	48	16	3	35	20.15	10	2
059	48	22	2.2	50	15.21	1	2
060	48	22	2.2	50	15.21	2	2
061	48	22	2.2	50	15.21	3	2
062	48	22	2.2	50	15.21	4	2
063	48	22	2.2	50	15.21	6	2
064	48	22	2.2	50	15.21	7	2
065	48	22	2.2	50	15.21	8	2
066	48	22	2.2	50	15.21	9	2
067	48	22	2.2	50	15.21	10	2
068	48	22	2.2	40	12.23	1	2
069	48	22	2.2	40	12.23	2	2
070	48	22	2.2	40	12.23	3	2
071	48	22	2.2	40	12.23	4	2
072	48	22	2.2	40	12.23	5	2

DENEY NO	D (mm)	d ₀ (mm)	D/d ₀	Q (l/dak)	Fr _d	a/D	X/D
073	48	22	2.2	40	12.23	6	2
074	48	22	2.2	40	12.23	8	2
075	48	22	2.2	35	10.63	1	2
076	48	22	2.2	35	10.63	2	2
077	48	22	2.2	35	10.63	3	2
078	48	22	2.2	35	10.63	4	2
079	48	22	2.2	35	10.63	6	2
080	90	16	5.6	40	23.03	1	2
081	90	16	5.6	40	23.03	2	2
082	90	16	5.6	40	23.03	3	2
083	90	16	5.6	40	23.03	4	2
084	90	16	5,6	35	20.15	1	2
085	90	16	5,6	35	20.15	2	2
086	90	16	5,6	35	20.15	3	2
087	90	22	4.1	50	15.21	1	2
088	90	22	4.1	50	15.21	2	2
090	90	22	4.1	50	15.21	3	2
091	90	22	4.1	50	15.21	4	2
092	90	22	4.1	40	12.23	1	2
093	90	22	4.1	40	12.23	2	2
094	90	22	4.1	40	12.23	3	2
095	90	22	4.1	35	10.63	1	2

Burada D=Kazık çapı, d₀=Su jeti çapı, Q=Su jetinin debisi, a=İkinci kazık ile ilk kazık arasındaki mesafe, X=Su jetinin ilk kazığa olan yatay mesafesidir.

3.1.5 Deney Sistemine Ait Görünümler



(a) $D=90$ mm, $d_0=22$ mm $a/D=2$ için orifis-jet erozyonu



(b) $D=90$ mm, $d_0=16$ mm $a/D=2$ için orifis-jet erozyonu

Şekil 3.3 Deney sistemine ait görüntüler



(c) $D=90$ mm, $d_0=16$ mm $a/D=3$ için orifis-jet erozyonu



(d) $D=90$ mm, $d_0=16$ mm $a/D=3$ için orifis-jet erozyonu



(e) $D=48$ mm, $d_0=16$ mm $a/D=10$ için orifis-jet erozyonu



(f) $D=33$ mm, $d_0=22$ mm $a/D=12$ için orifis-jet erozyonu



(g) $D=33$ mm, $d_0=16$ mm $a/D=12$ için orifis-jet erozyonu



(h) $D=33$ mm, $d_0=16$ mm $a/D=14$ için orifis-jet erozyonu

Şekil 3.3 Devam



(j) $D=33$ mm, $d_0=22$ mm $a/D=12$ için orifis-jet erozyonu



(k) $D=90$ mm, $d_0=22$ mm $a/D=3$ için orifis-jet erozyonu



(l) $D=33$ mm, $d_0=16$ mm $a/D=2$ için orifis-jet erozyonu



(m) $D=33$ mm, $d_0=16$ mm $a/D=2$ için orifis-jet erozyonu



(n) $D=33$ mm, $d_0=16$ mm $a/D=3$ için orifis-jet erozyonu



(o) $D=48$ mm, $d_0=22$ mm $a/D=2$ için orifis-jet erozyonu



(p) $D=33$ mm, $d_0=22$ mm $a/D=6$ için orifis-jet erozyonu



(r) $D=33$ mm, $d_0=22$ mm $a/D=6$ için orifis-jet erozyonu

Şekil 3.3 Devam

3.2 Boyut Analizi ve Erozyonun Modellenmesi

Kazıklar etrafındaki erozyonun tanımlanabilmesi için olaya etkili değişkenler belirlendikten sonra Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'ten 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 ilk kazığa olan yatay uzaklığı	X	m	L
	İki kazık arasındaki mesafe	a	m	L
	Birinci kazık önündeki oyulma derinliği	S_1	m	L
	İkinci kazık önündeki oyulma-yığılma yüksekliği	S_2	m	L
Diğer Değişkenler	Yer çekimi ivmesi	g	m/sn^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}	k_{13}
Sembol	μ	h	D	X	a	S_1	S_2	d_{50}	ρ_s	g	d_0	ρ	U_0
M	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
L	-1	1	1	1	1	1	1	1	-3	1	1	-3	1
T	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	-1

$$k_1 + k_9 + k_{12} = 0 \quad (3.1)$$

$$-k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6 + k_7 + k_8 - 3k_9 + k_{10} + k_{11} - 3k_{12} + k_{13} = 0 \quad (3.2)$$

$$-k_1 - 2k_{10} - k_{13} = 0 \quad (3.3)$$

bu ifadelerden,

$$k_{12} = -(k_1 + k_9) \quad (3.4)$$

$$k_{13} = -(k_1 + 2k_{10}) \quad (3.5)$$

$$k_{11} = -k_1 - k_2 - k_3 - k_4 - k_5 - k_6 - k_7 - k_8 + 4k_9 - 7k_{10} \quad (3.6)$$

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}	k_{13}
Π_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1
Π_2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π_6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0
Π_7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0
Π_8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0
Π_9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0
Π_{10}	0	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 on büyüklük aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

$$\Pi_1 = d_0 \rho^{-1} U_0^{-1} \mu \quad \text{Reynolds sayısı}$$

$$\Pi_2 = h d_0^{-1} \quad \text{Rölatif su derinliği}$$

$$\Pi_3 = D d_0^{-1} \quad \text{Rölatif kazık çapı}$$

$$\Pi_4 = X d_0^{-1} \quad \text{Rölatif uzaklık}$$

$$\Pi_5 = a d_0^{-1} \quad \text{Rölatif açıklık}$$

$$\Pi_6 = S_1 d_0^{-1} \quad \text{Rölatif oyulma derinliği}$$

$$\Pi_7 = S_2 d_0^{-1} \quad \text{Rölatif oyulma derinliği}$$

$\Pi_8 = d_{50} d_0^{-1}$ Rölatif tane çapı

$\Pi_9 = \rho_s \rho^{-1}$ Rölatif özgül kütle

$\Pi_{10} = u_0^2 g^{-1} d_0^{-1}$ Yoğunluk Froude sayısı

o halde boyutsuz fonksiyon;

$$F(\text{Re}, h/d_0, D/d_0, X/d_0, a/d_0, S_1/d_0, S_2/d_0, \text{Fr}_d^2, d_{50}/d_0, \rho_s/\rho) = 0 \quad (3.8)$$

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 boyutsuzu tanımlanmıştır. X/D boyutsuzu da ilk kazığın jete olan uzaklığı değiştirilmediğinden ihmal edilebilir ($X/D=2$).

h/d_0 rölatif su derinliğinin etkisi su derinliğinin sabit tutulması nedeniyle ihmal edilmiştir. Böylece bu çalışma için rölatif oyulma derinliği aşağıdaki boyutsuzların fonksiyonu olur.

a/d_0 rölatif açıklığı da yine D/d_0 boyutsuzu ile birlikte dikkate alınarak a/D rölatif açıklık oranı tanımlanmıştır.

$$S_2/S_1 = f(\text{Fr}_d, a/D, D/d_0) \quad (3.9)$$

(3.9) ifadesinden S_2/S_1 rölatif oyulma derinliği eşitliğin sağ tarafındaki boyutsuzlarla olan değişimleri deneylerden elde edilen ölçüm değerleri kullanılarak elde edilebilecektir.

4.2 Kazık Etrafında Akım ve Taban Hareketi

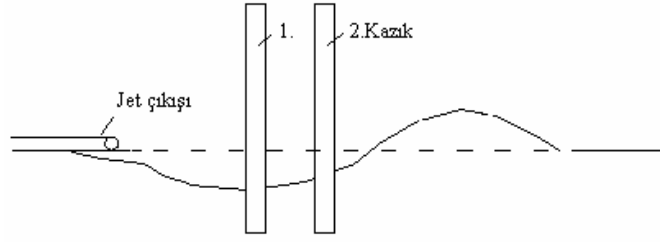
Jet çıkışta konik biçiminde dağılan bir yayılım göstermektedir. Konik şeklinde yayılan akım hareketi devam etmekte ve kazıkla karşılaşıldığında akım hareketini aşağı-yukarı yönlerde ve kazık çevresinde sürdürmektedir. Aşağı yönelen akım taban malzemesini hareket ettirerek oyulmaya neden olmaktadır. Hareketin başlangıcından kısa bir süre sonra oluşan oyulma çukurunda bu hareketten dolayı bir çevrinti yapısı oluşmaktadır. Bu çevrintiyle birlikte malzeme yığılma bölgesine daha kolay taşınmaktadır. Oyulma çukurundaki bu çevrintili hareket, atnalı vorteks olarak adlandırılmıştır. Kazık çevresinde saçılım gösteren jet ve yukarıda anlatılan aşağıya yönelmiş akım yapısı malzemenin taşınımında en etkili akım kaynağıdır. Art arda kazıkların yer aldığı sistemlerde ilk kazığın menbasından ayrılan jet kazığın arkasına geçmekte ve sırasıyla karşı karşıya kaldığı kazıkların konumuna göre davranış göstermektedir.

Sistemin denge durumuna ulaşması da şu şekilde tariflenmektedir. Kazık etrafında oluşan çevrinti yapısı kazığın ön tarafında yer alan malzemeyi kazık mansabındaki art-iz akımının içerisine çekmekte ve malzeme kazığın arkasına geçen akımla beraber taşınmaktadır.

Taşınan malzeme oyulmanın bittiği noktadan itibaren yığılmaya başlamaktadır. Malzeme yığılma bölgesinde bir tepe oluşturmaktadır. Bu tepe noktası belli bir yüksekliğe sahip olduğunda ve jetten belli bir uzaklığa taşındığında, artık jet ve neden olduğu çevrinti hareket ettirdiği malzemeyi bu tepenin ardına taşıyamamaktadır. Bu durumda denge durumuna ulaşılmış demektir. Sonraki hareket periyodiktir. Bu harekette ise malzeme oyulma çukurundan yığılmanın tepe noktasına doğru taşınmaktadır. Malzemenin içsel sürtünme açısının aşıldığı değere kadar bu devam ederek içsel sürtünmenin aşılmasıyla oyulan malzeme çukura geri dönmektedir. Esas denge durumuna oyulma ve yığılma kesitlerinin değişmediği veya değişimlerin ihmal edildiği durumda ulaşılmaktadır. Kesitlere ait değişimlerin ihmal edilmesi, kesitlerle ilgili son ölçüm ile bir önceki ölçüm farkının son ölçüme oranının %1-2 olduğu mertebeler için söz konusudur.

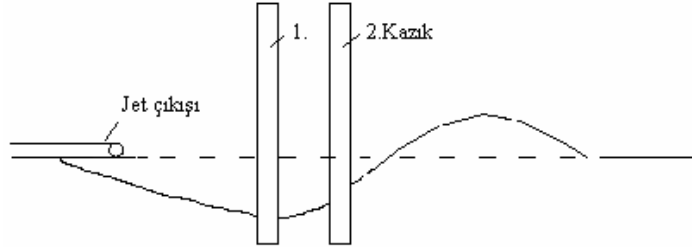
4.3 Kazık Etrafındaki Oyulma Profilleri

İlk kazık ile jet arasında meydana gelen oyulma profili, düşük Fr_d sayılarında ($Fr_d < 12.23$) iki bölgeden meydana gelmektedir. (Şekil 4.2) İlk bölge, jete yakın ve jet ile kazık arasında belli bir bölgeye kadar yayılmaktadır. Bu bölgede erozyonun gelişimi üzerindeki en önemli etken jet difüzyon mekanizmasıdır. İkinci bölge ise kazığın çevresindeki oyulma çukurudur. Burada erozyonun gelişimi üzerindeki en önemli etken kazık mekanizmasıdır.



Şekil 4.2 Jet ekseninde iki kazık halinde ($Fr_d < 12.23$) denge konumunda iken meydana gelen oyulma çukuru geometrisi

Yüksek Fr_d sayılarında ($Fr_d > 20.15$) ise oluşan profil tek bir bölgeden meydana gelmiştir. Oyulmanın gelişimi kazık mekanizmasına bağlıdır. Kazık ile jet arasındaki oyulma bölgesinde orifisin altı oyulmuştur. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3 Jet ekseninde iki kazık halinde ($Fr_d > 20.15$) denge konumunda iken meydana gelen oyulma çukuru geometrisi

4.4 Erozyon Mekanizması İle İlgili Değerlendirmeler

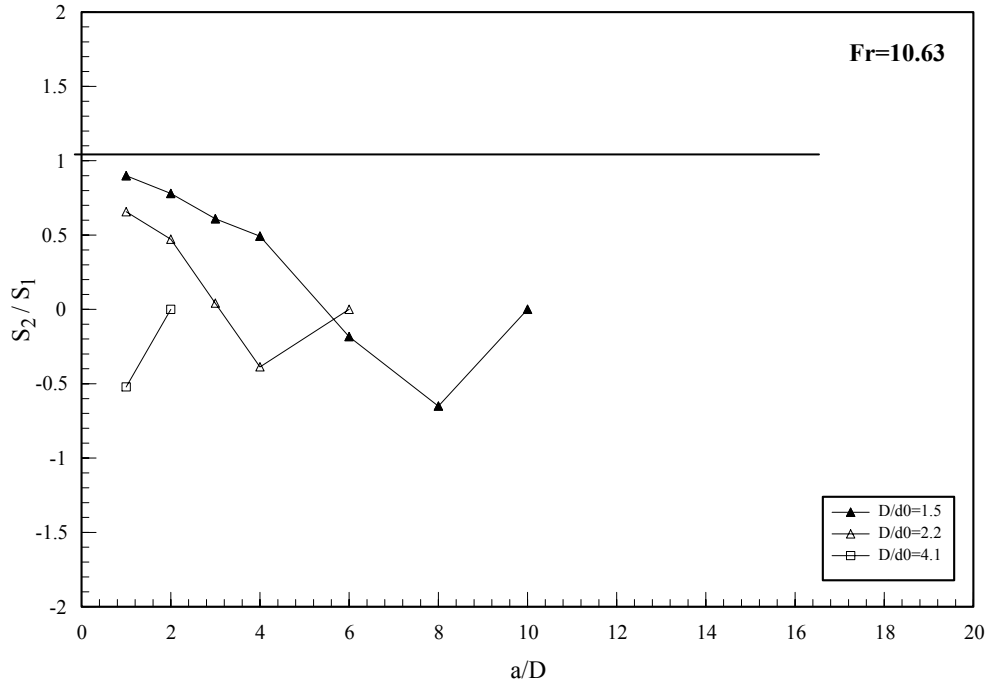
Denge haline ulaşıldığında oyulma profili oyulma bölgesi ve yığılma bölgesi olarak ikiye ayrılabilir. Ve bu bölgelerle ilgili değerlendirmeler çeşitli boyutsuzlar ve değişkenler yardımıyla yapılabilir. Birden fazla kazığın bir arada bulunduğu kazık grupları dikkate alınarak yapılan deneylerden, kazıkların birbirleriyle etkileşimleri sonucunda meydana gelen erozyon mekanizması kazık aralıkları değiştirilerek araştırıldığında tek kazık halinden farklı bir değişime sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada ardarda iki kazık etrafındaki oyulma mekanizması incelenmiştir.

Şekil 4.4'te her bir Fr_d sayısı (10.63-28.79) için D/d_0 değişkenleri (1.5-5.6) dikkate alınarak, açıklık oranının (a/D) rölatif oyulma derinliğine etkisi incelenmiştir. Aynı Fr_d sayısında aynı su jeti için kazık çapı arttıkça açıklık oranının daha büyük değerlerinde yani daha geç dengeye ulaşıldığı görülmüştür. Açıklık oranı ve kazık çapı arttıkça ikinci kazık etrafındaki oyulma

derinliği azalmaktadır. Bunun nedeni olarak büyük çaplı kazığın jet normalindeki kesiti daha büyük olduğundan jetin kazığıa çarpması sonucunda daha fazla enerji kaybetmesi gösterilebilir. Böylece ikinci kazık önündeki oyulmayı gerçekleştirecek enerji miktarı azalmaktadır. Bundan dolayı kazık çapının çok büyük olduğu bazı durumlarda ($D/d_0=4.1-5.6$) ikinci kazık önünde hiç oyulma görülmemiştir.

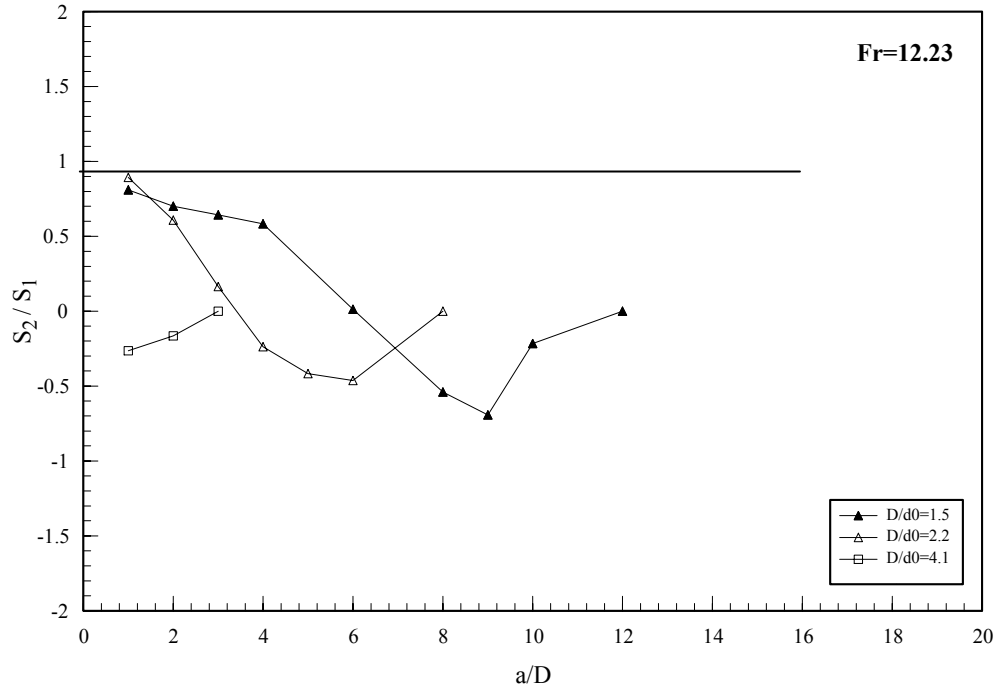
Belli bir Fr_d sayısında ($Fr_d=10.63$) $D/d_0=1.5$ için $a>10D$ 'de, $D/d_0=2.2$ için $a>6D$ 'de ve $D/d_0=4.1$ için $a>2D$ 'de ikinci kazığın erozyon profili dışında kaldığı görülmüştür. (şekil 4.4a) Bununda sebebi yine kazık çapının artmasıyla jetin daha fazla enerji kaybetmesidir.

Yine aynı şekilde Fr_d sayısının herhangi bir değerini için D/d_0 boyutsuzuna ait eğriler karşılaştırılmıştır. Her iki kazığında oyulma bölgesinde yer aldığı durum ($S_2/S_1>0$) için kazık çapı arttıkça eğrilerin eğimlerinin büyüdüğü görülmüştür. Eğimin büyük olması ikinci kazığın hızlı bir şekilde yığılma profiline geçme eğiliminde olduğunu ifade etmektedir.

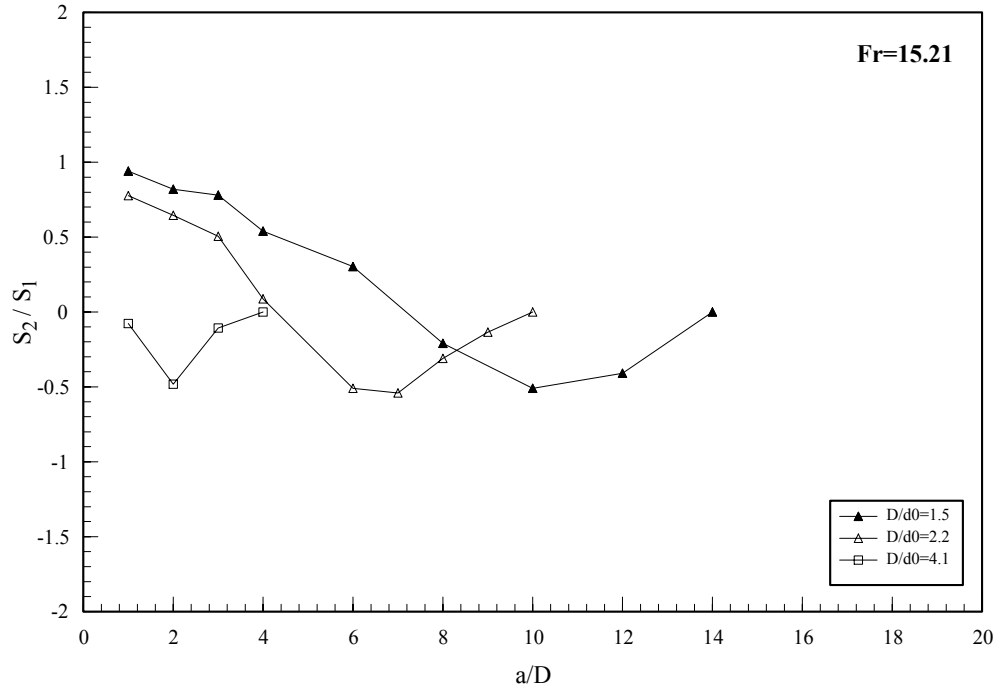


(a)

şekil 4.4 Rölatif oyulma derinliğinin aıklık oranı ile değerimi

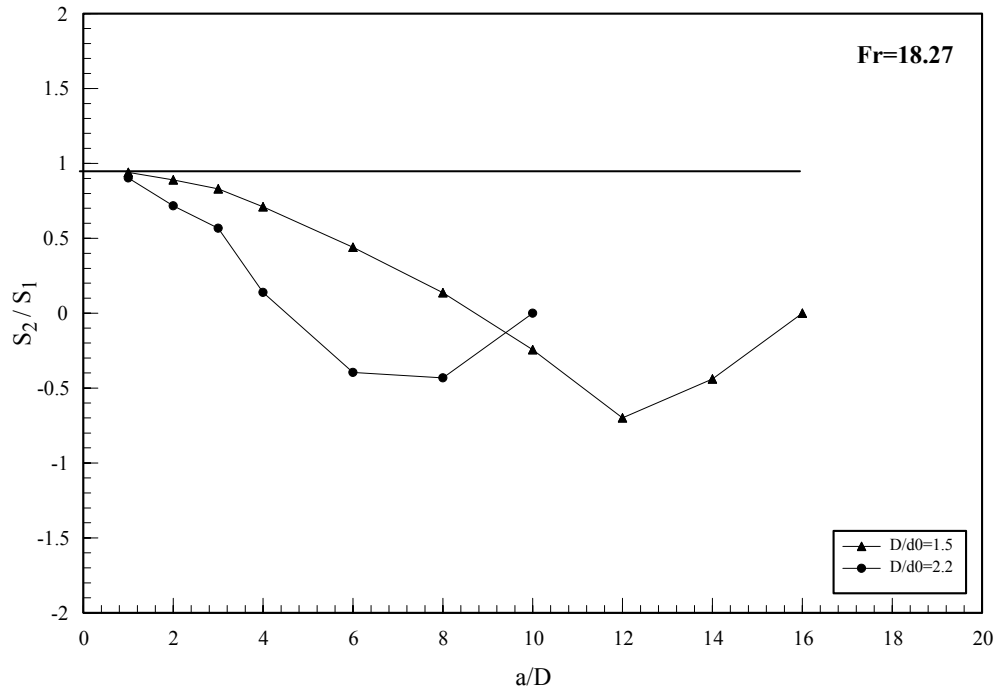


(b)

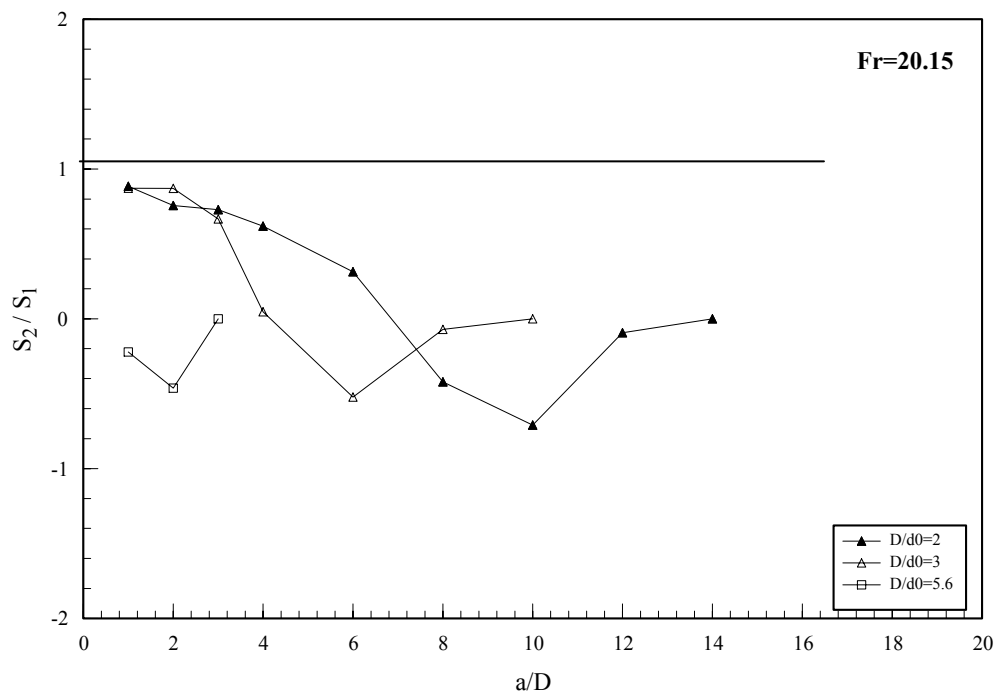


(c)

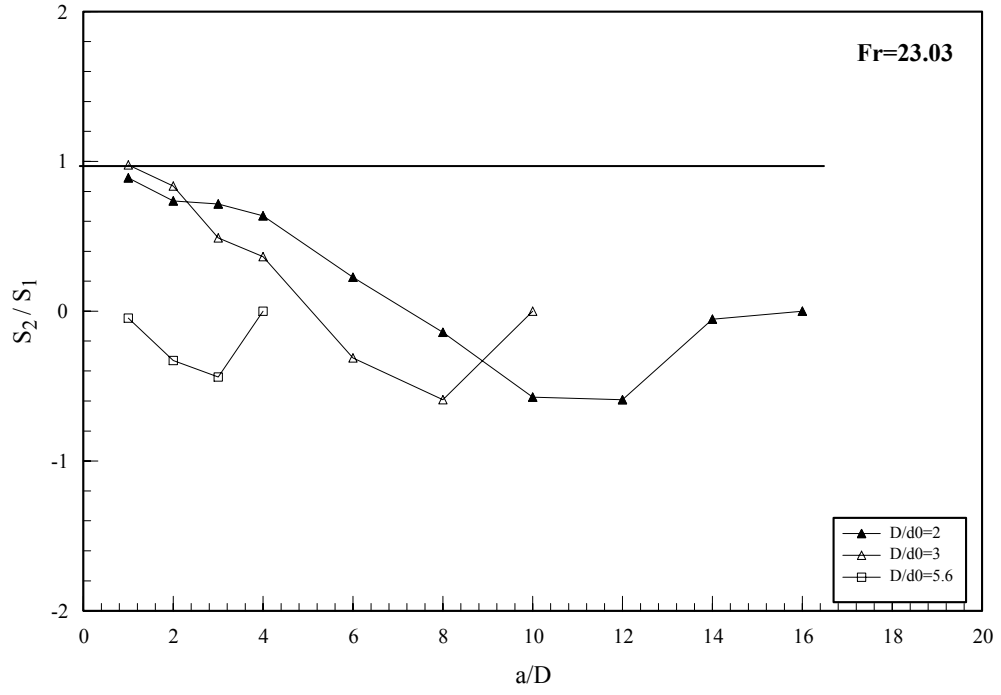
Şekil 4.4 Devam



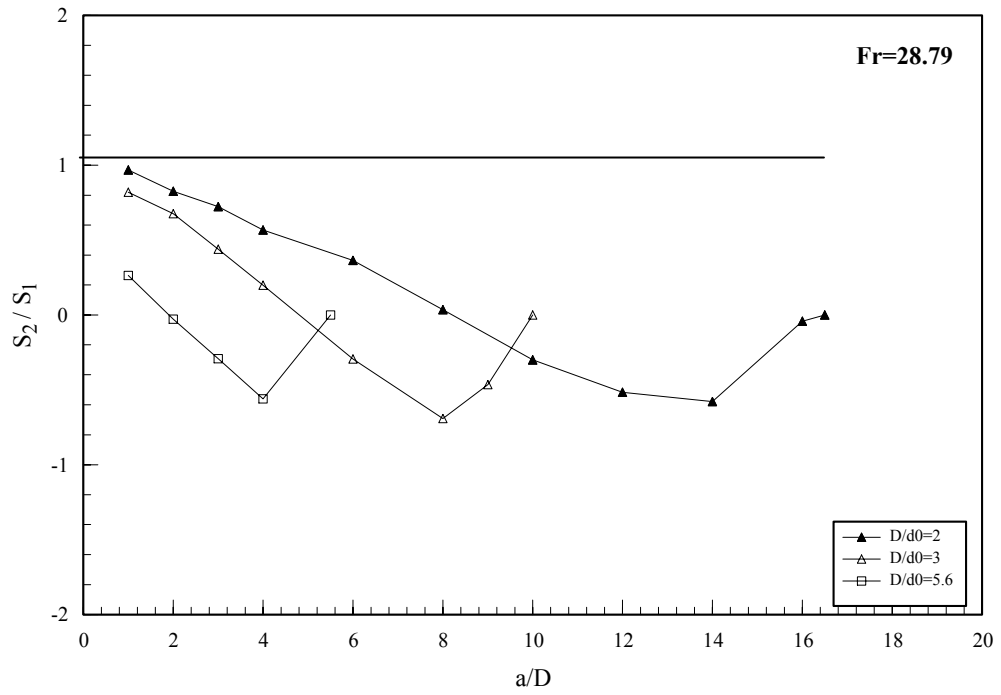
(d)



(e)



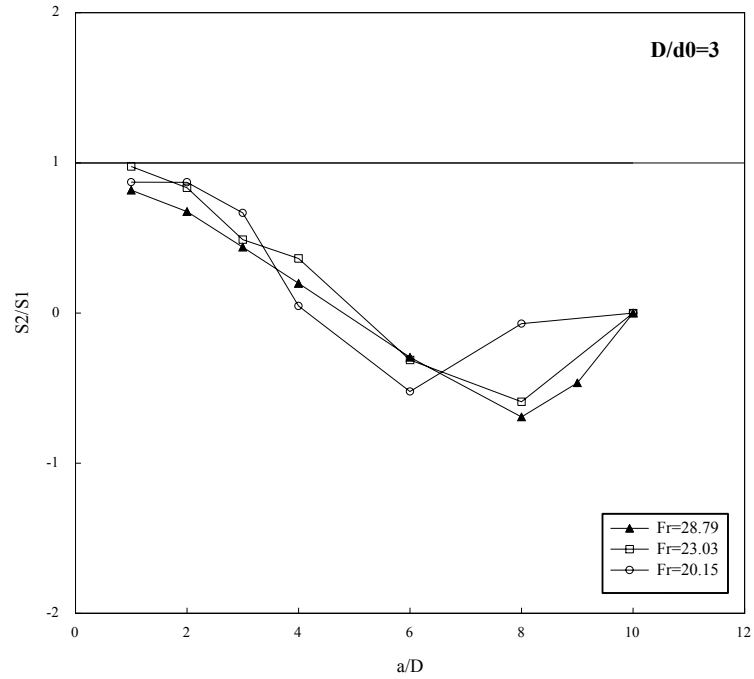
(f)



(g)

Şekil 4.4 Devam

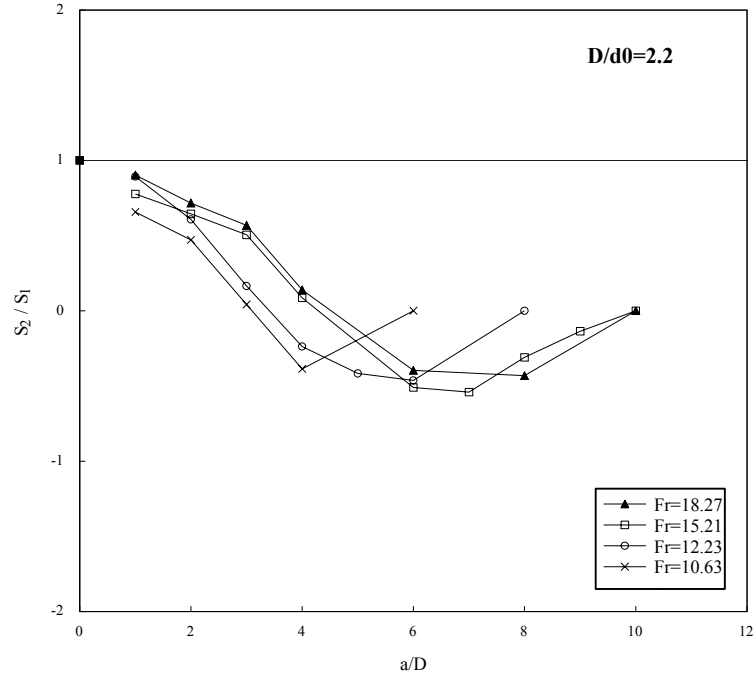
Şekil 4.5'te ise her bir D/d_0 oranı (1.5-5.6) için farklı Fr_d sayıları göz önüne alınarak Şekil 4.4'te olduğu gibi açıklık oranının (a/D) rölatif oyulma derinliğine etkisi araştırılmıştır. Bu şekilden de taban profillerinin Fr_d sayısı arttıkça büyüdüğü görülmektedir. Belli bir D/d_0 oranında (Şekil 4.5d) $Fr_d=10.63, 12.23, 15.21$ ve 18.27 olduğunda sırasıyla $a>10D, 12D, 14D, 16D$ mesafelerinde ikinci kazığın erozyon profili dışında kaldığı belirlenmiştir. Yani Fr_d sayısı büyüdükçe ikinci kazık daha geç erozyon profili dışında kalmıştır. Aynı D/d_0 oranı için Fr_d sayısı büyüdükçe ikinci kazık önündeki oyulma aynı açıklık oranında daha fazla olmuştur.



$D=48 \text{ mm}$ $d_0=16 \text{ mm}$

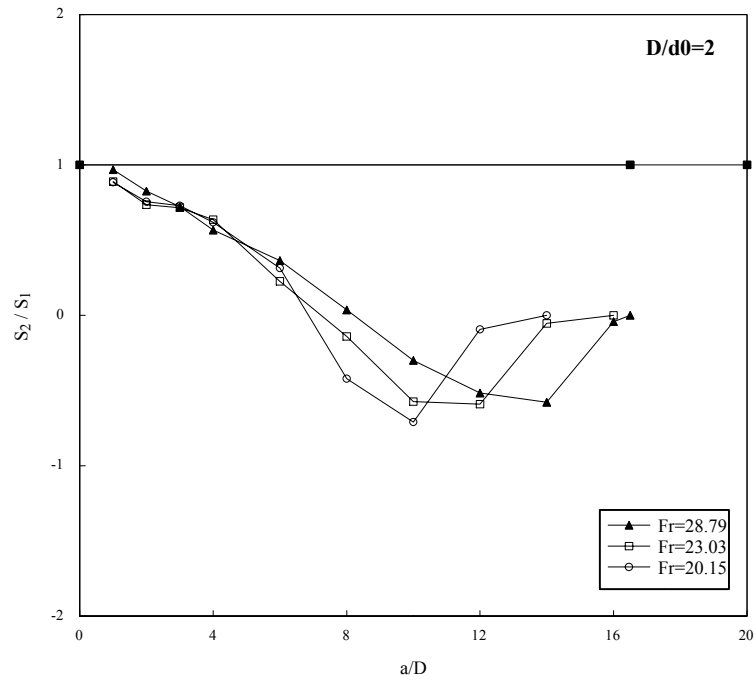
(a)

Şekil 4.5 Rölatif oyulma derinliğinin açıklık oranına göre değişimi



D=48 mm $d_0=22$ mm

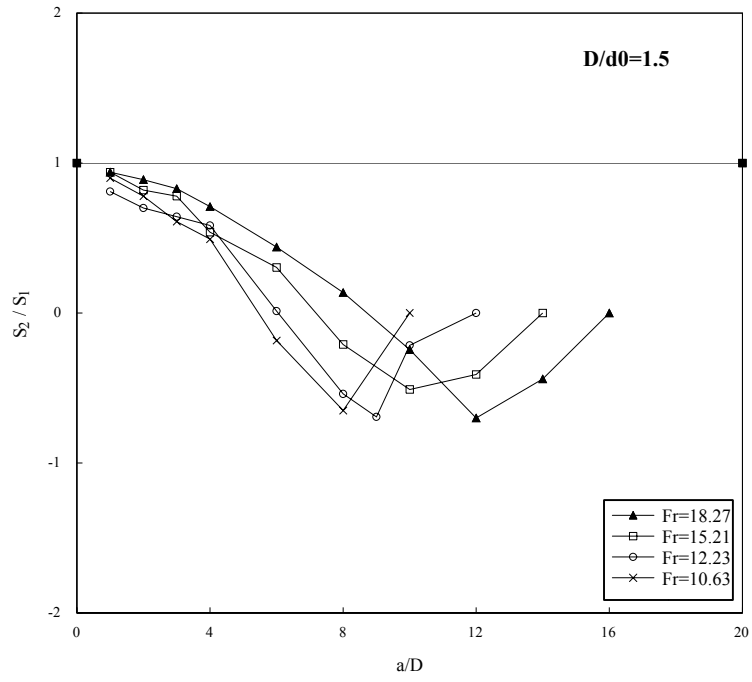
(b)



D=33 mm $d_0=16$ mm

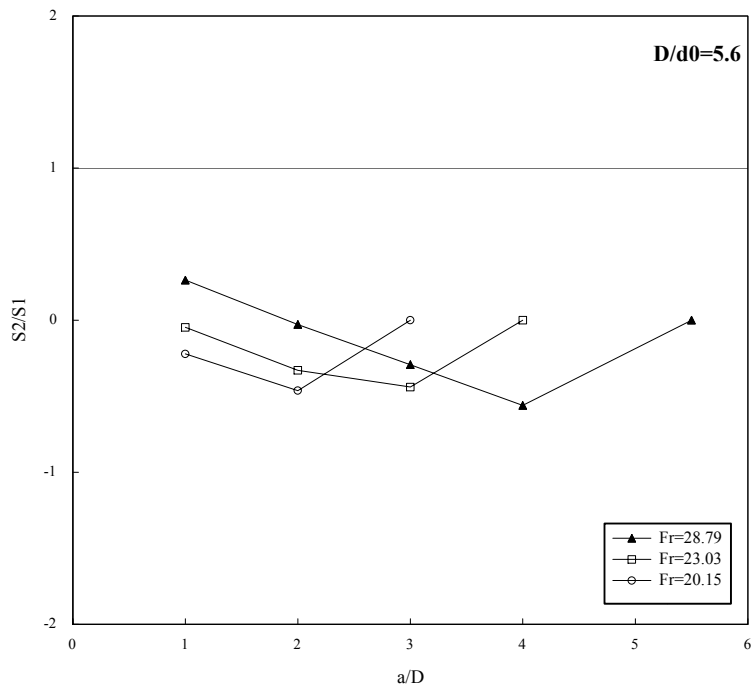
(c)

Şekil 4.5 Devam



D=33 mm d_0 =22 mm

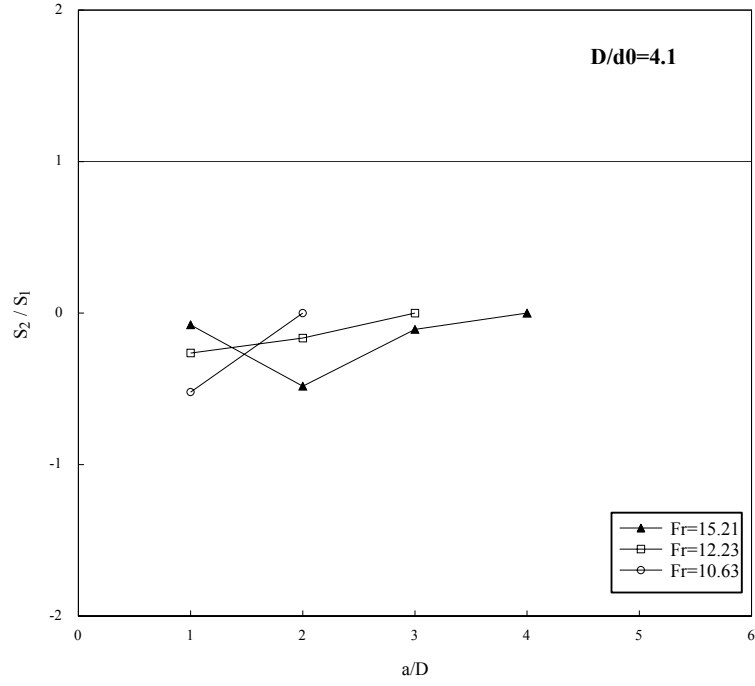
(d)



D=90 mm d_0 =16 mm

(e)

Şekil 4.5 Devam

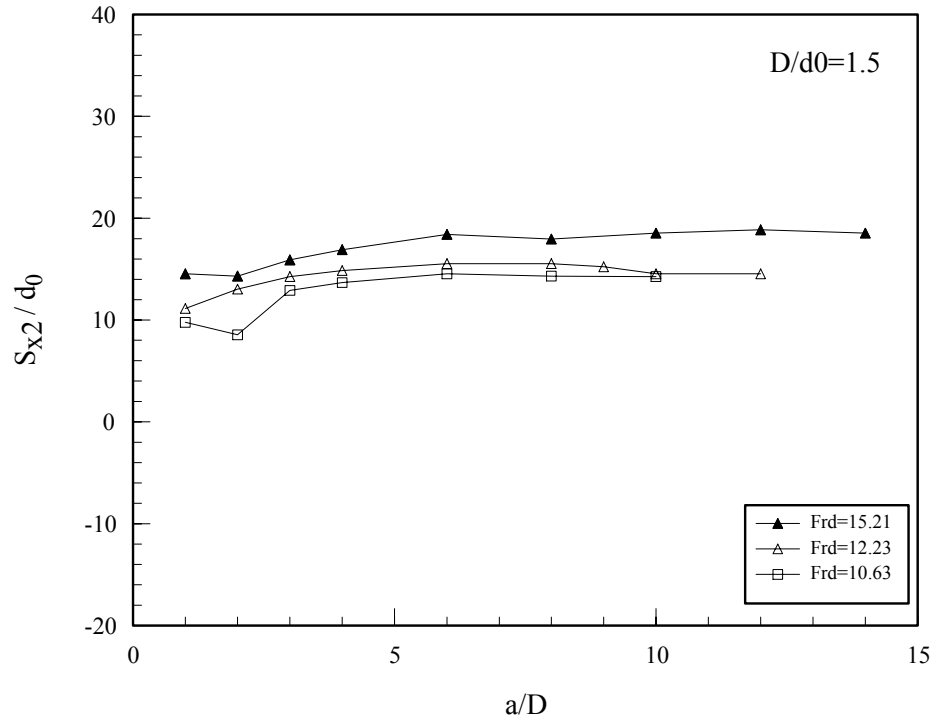


D=90 mm d₀=22 mm

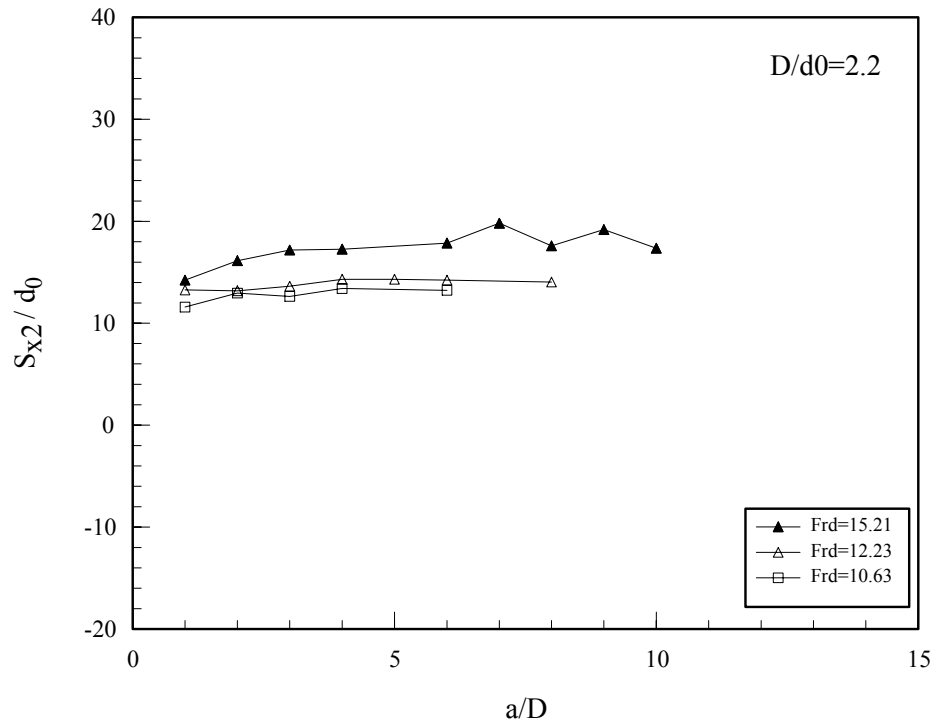
(f)

Şekil 4.5 Devam

Şekil 4.6'dan da görüldü gibi Fr_d sayısının artmasıyla oyulma çukurundan daha fazla malzeme taşınmaktadır. Fr_d sayısı arttıkça sistemde erozyonun oluşumu ve gelişiminde etkili olan enerji miktarı da artmaktadır. Aynı zamanda şekilden açıklık oranının (a/D) artmasıyla rölatif oyulma çukuru uzunluğunun da (S_{x2}/d_0) arttığı belirlenmiştir. Yani ikinci kazık ile birinci kazık arasındaki mesafenin oyulma profilinin gelişimini etkilediği görülmüştür. Bunun nedeni jetin ilk kazığın arkasında birleşmeden ikinci kazıkla karşılaşarak enerjisinin bir bölümünü kaybetmesidir.

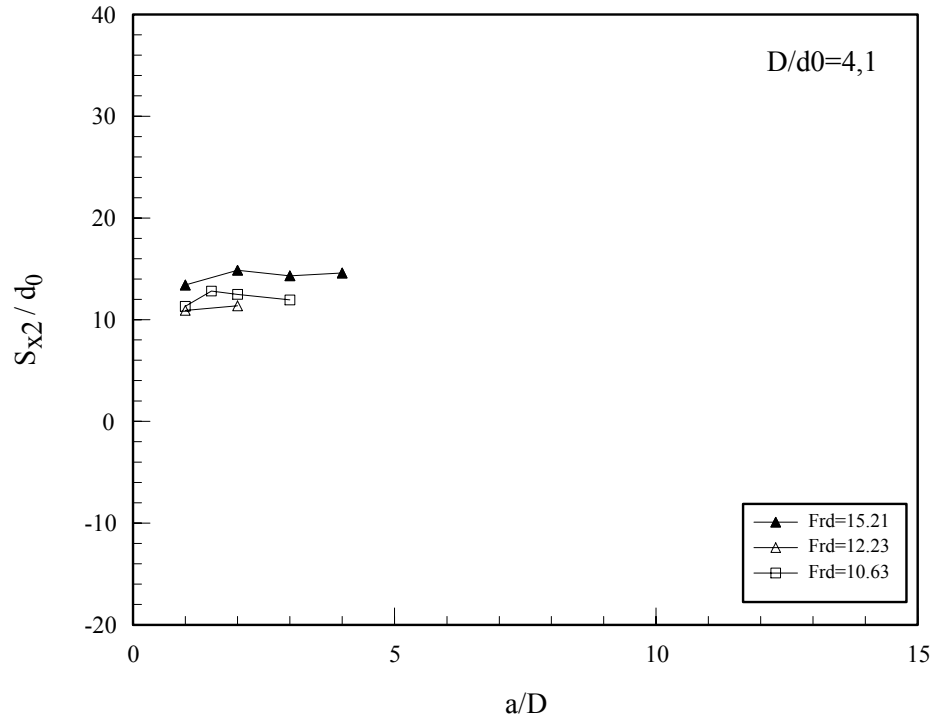


(a)

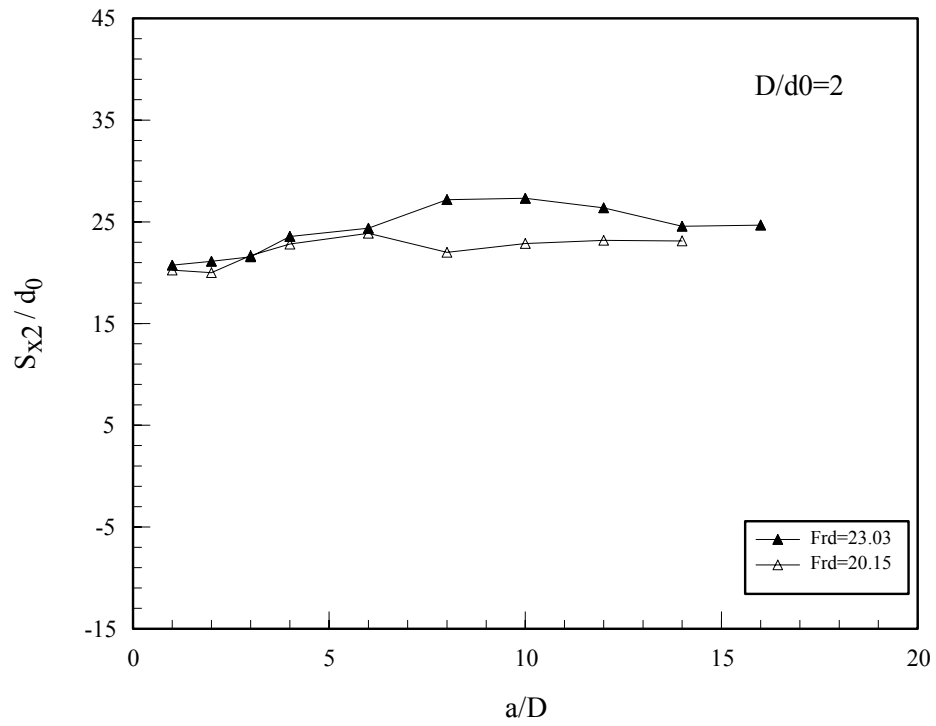


(b)

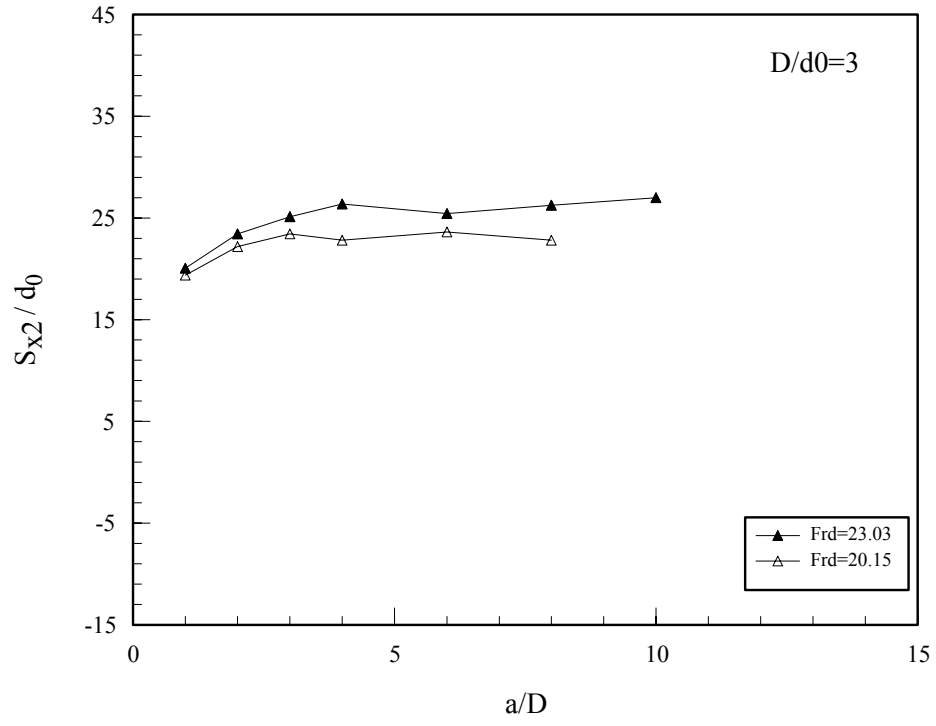
Şekil 4.6 Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun açıklık oranı (a/D) ile değişimi



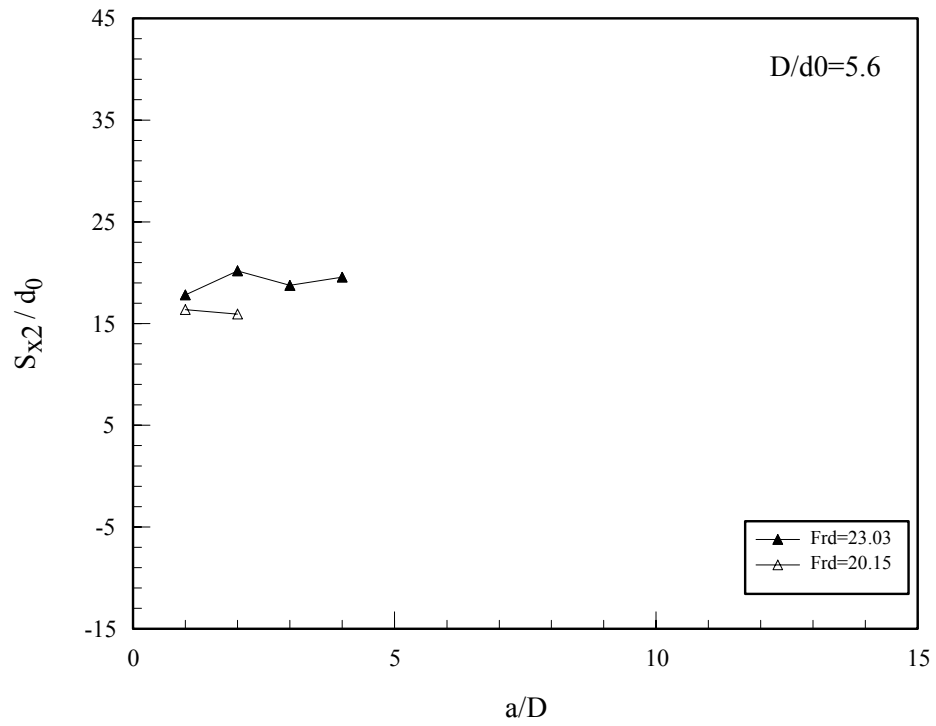
(c)



(d)

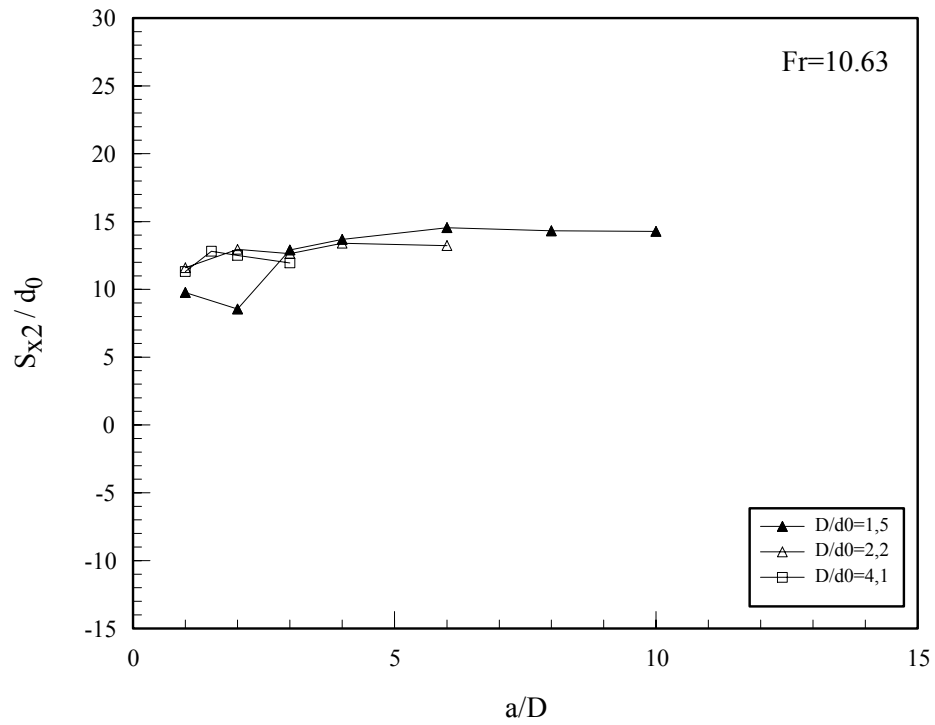


(e)



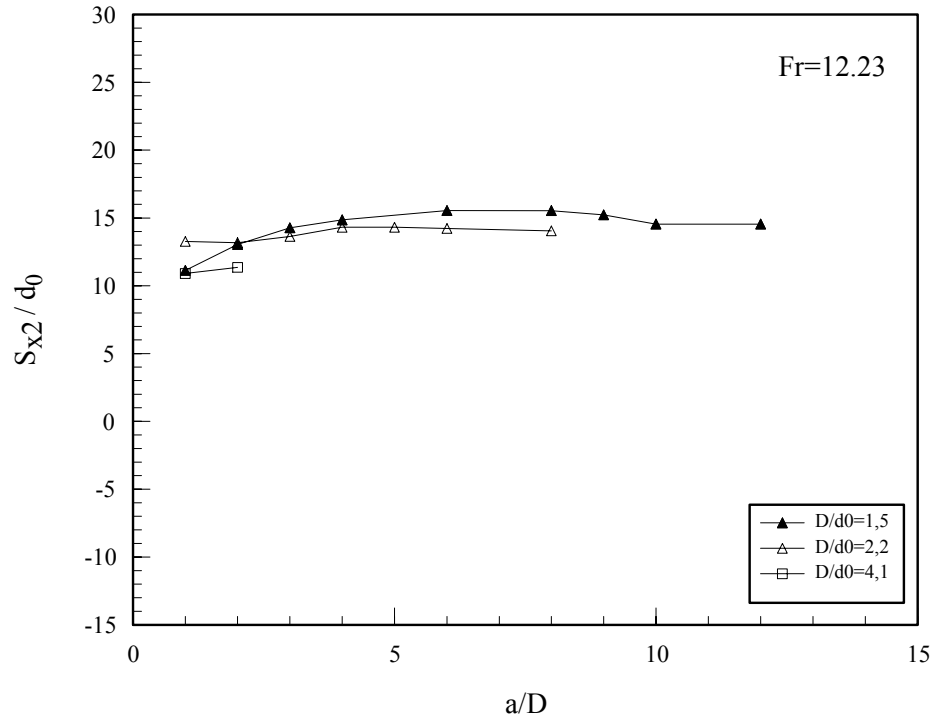
(f)

Şekil 4.7’de aynı jet enerjisinde D/d_0 oranının büyük değerlerine karşılık gelen rölatif oyulma çukuru uzunluğunun (S_{x2}/d_0) daha küçük olduğu görülmektedir. Kazık çapı arttıkça kazığın absorbe edeceği enerji miktarıda artmaktadır. Açıklık oranı (a/D) ile olan değişim incelendiğinde ise a/D ’nin artmasıyla yani ikinci kazığın birinci kazıktan uzaklaşmasıyla oyulma çukuru gelişmektedir. Bu değişim küçük çaplı kazıkta daha belirgindir. Büyük çaplı kazıkta Şekil 3.3c ve d’de görüldüğü gibi kazığın arkasına saçılan akım birleşmeden tekrar bir kazıkla karşılaşarak kazık çevresinde hareketine devam etmektedir. Profil kalp şeklini almaktadır. Akım birleşemediğinden oyulma bölgesinin gelişimi de engellenmektedir.

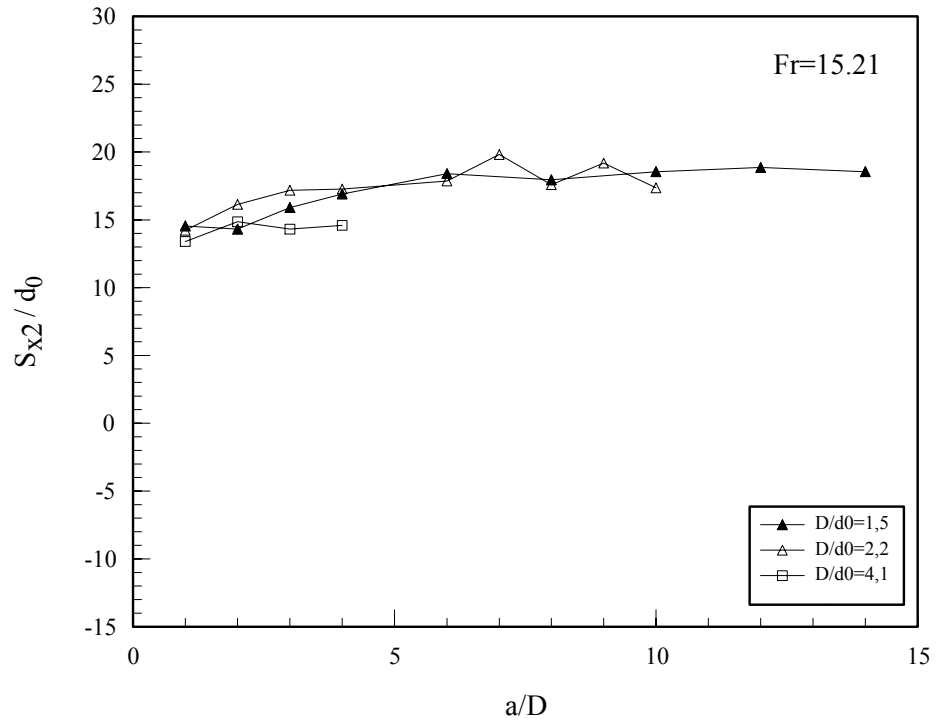


(a)

Şekil 4.7 Rölatif oyulma çukuru uzunluğunun açıklık oranı (a/D) ile değişimi

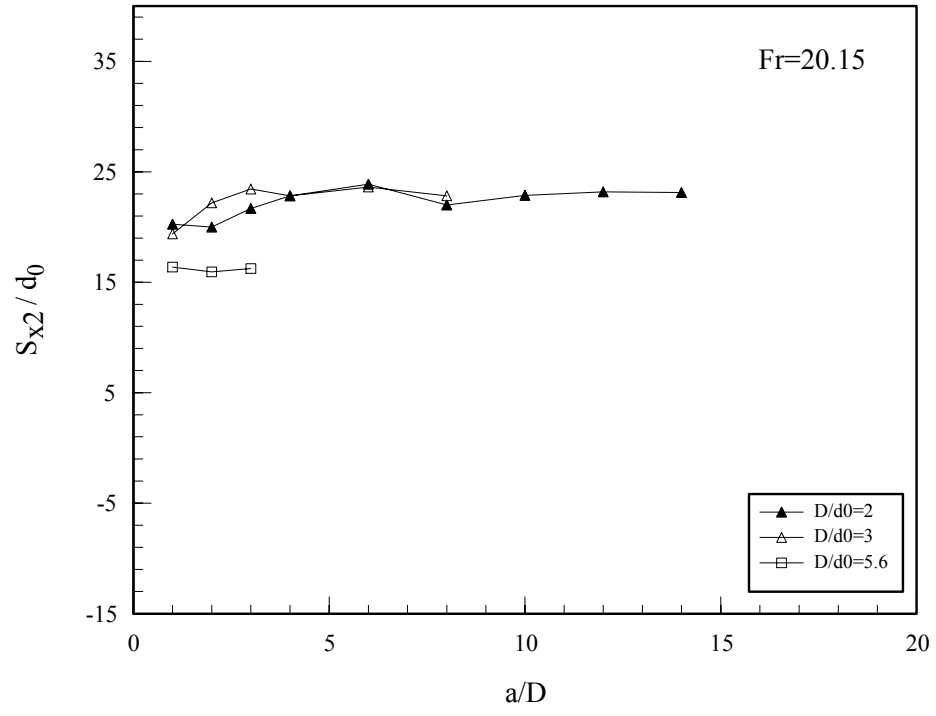


(b)

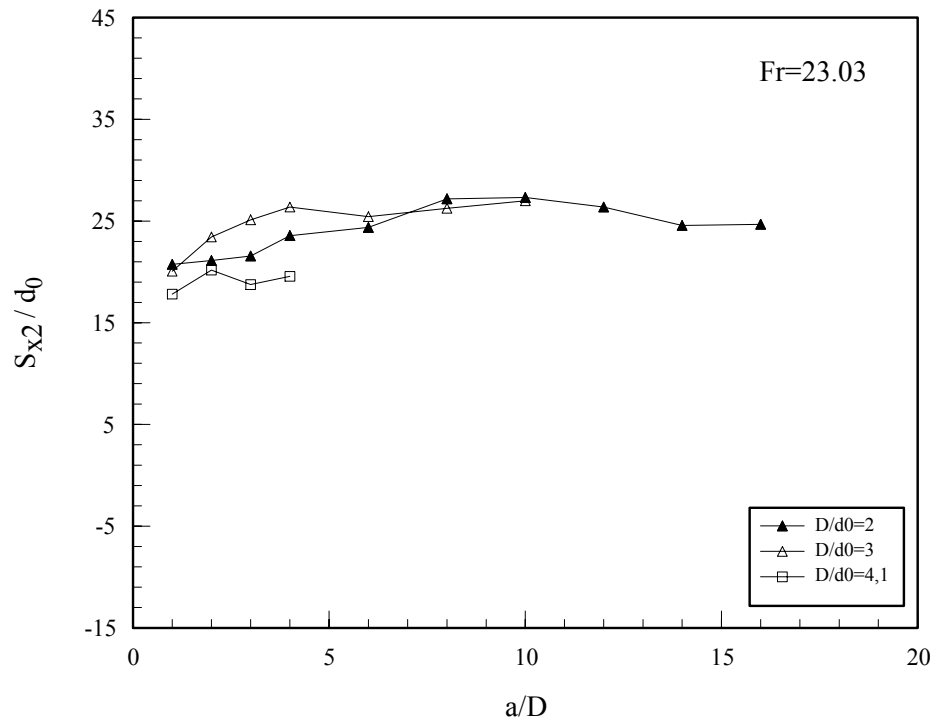


(c)

Şekil 4.7 Devam

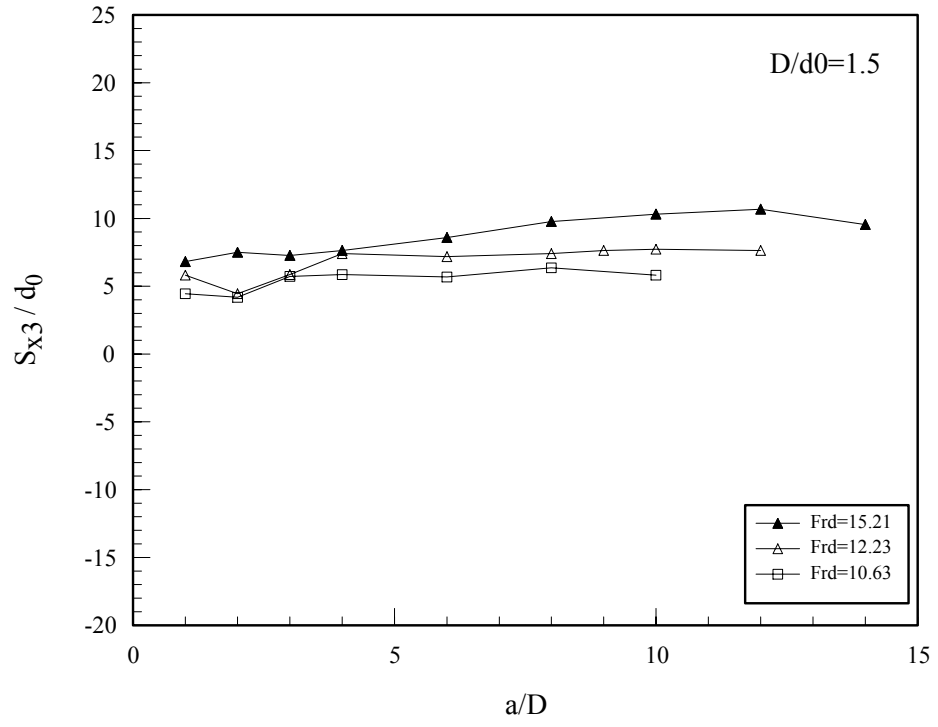


(d)



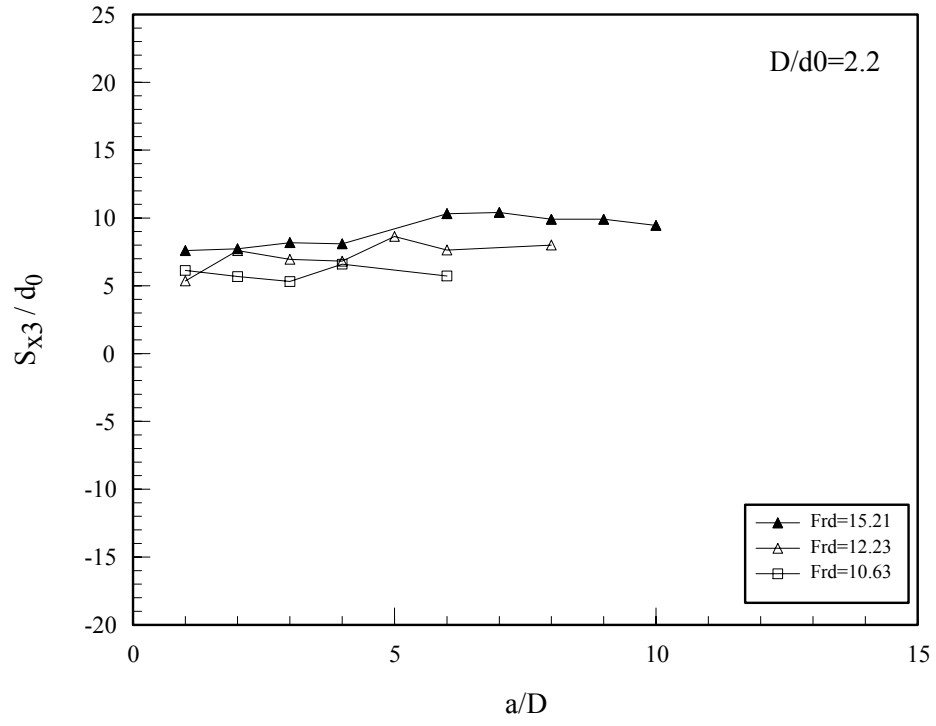
(e)

Şekil 4.8 ve 4.10 incelendiğinde Fr_d sayısının artmasıyla profillerin büyüdüğü ve daha geniş bir alana yayıldığı görülmektedir.

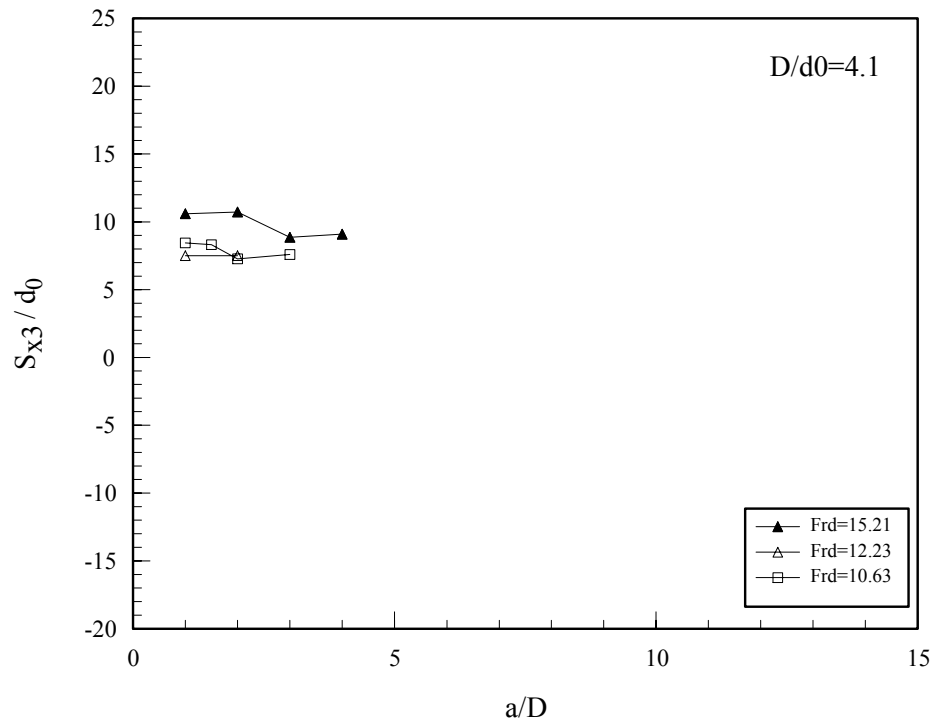


(a)

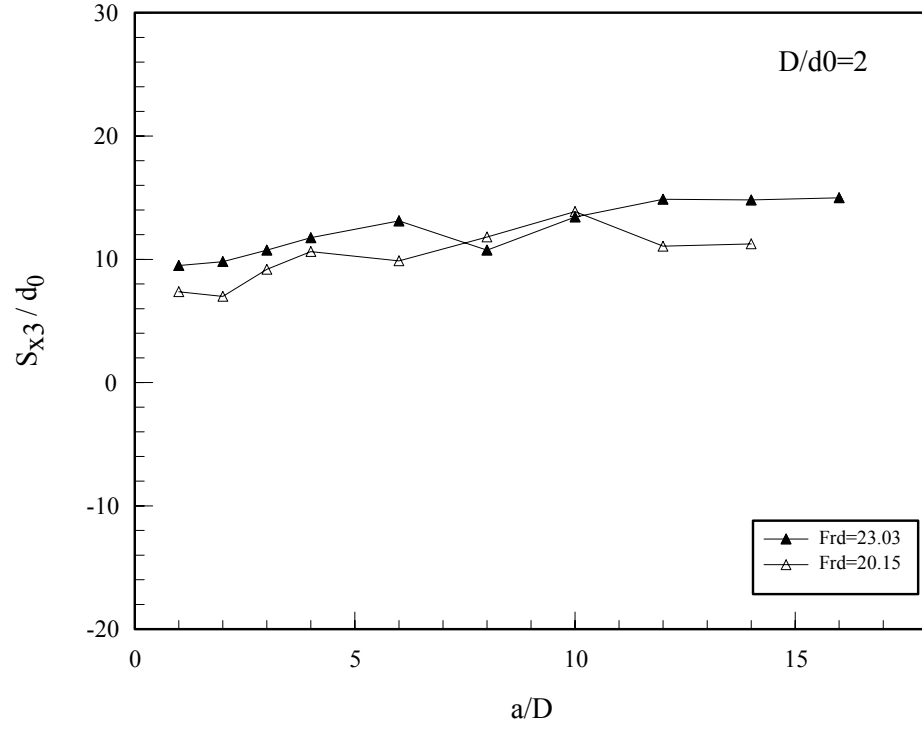
Şekil 4.8 S_{x3} ile açıklık oranı (a/D) değişimi



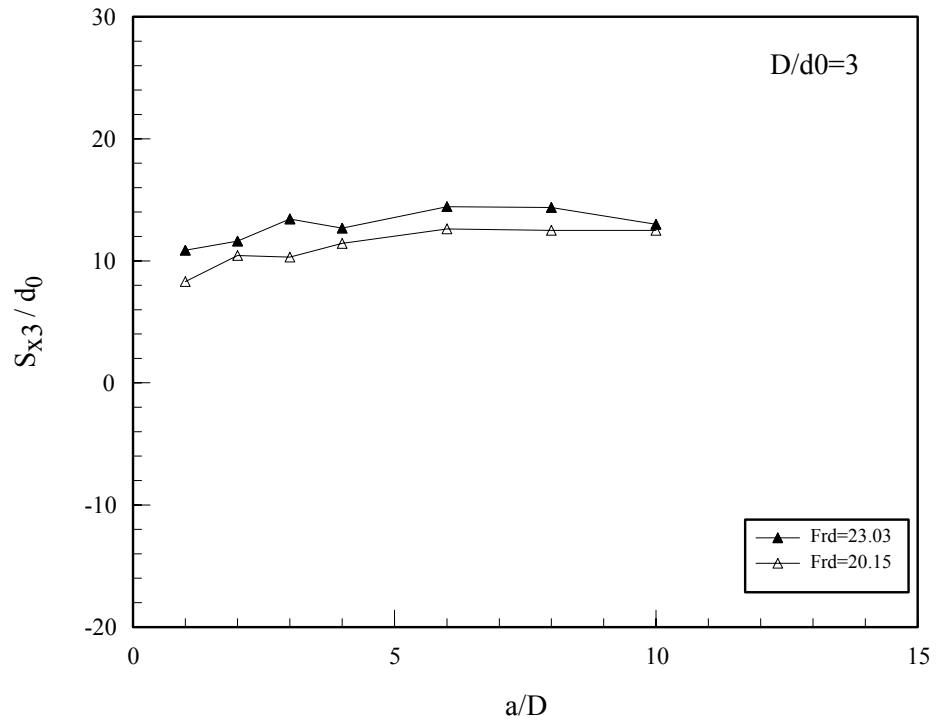
(b)



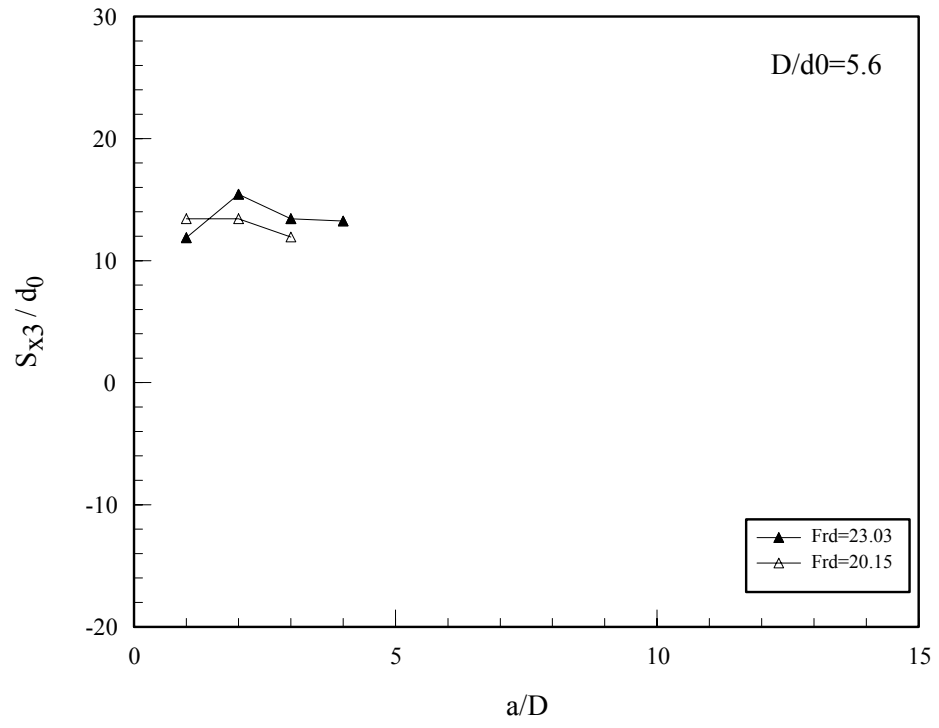
(c)



(d)

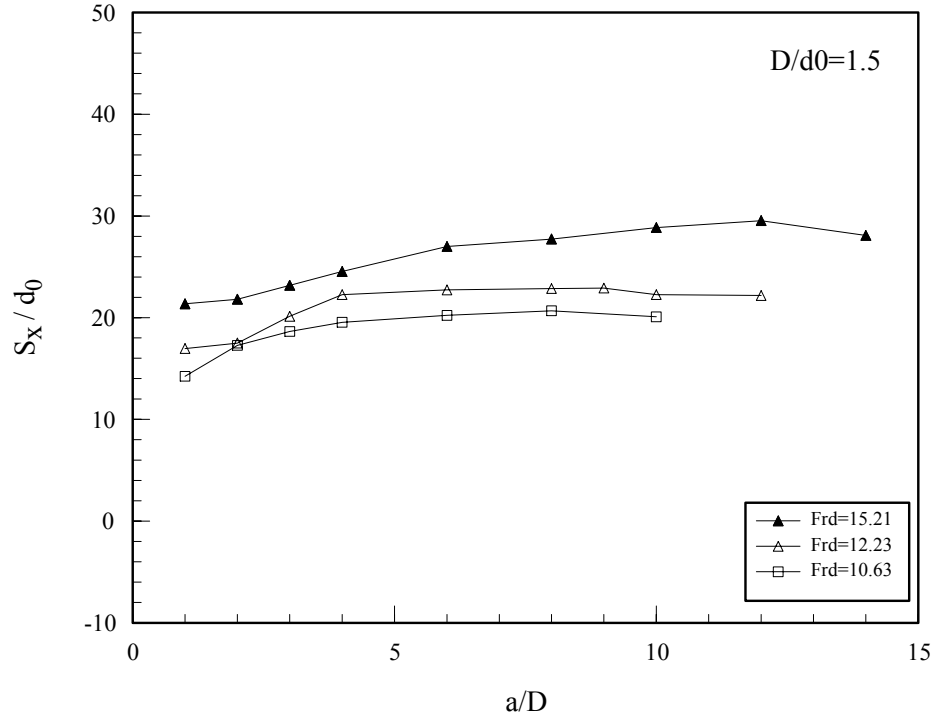


(e)

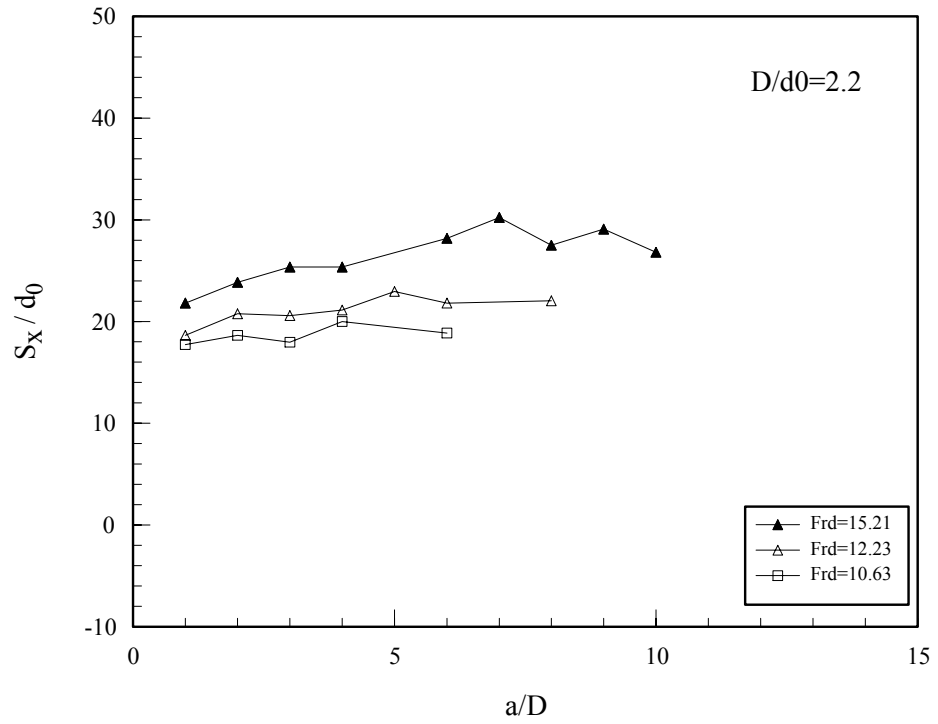


(f)

Şekil 4.8 Devam

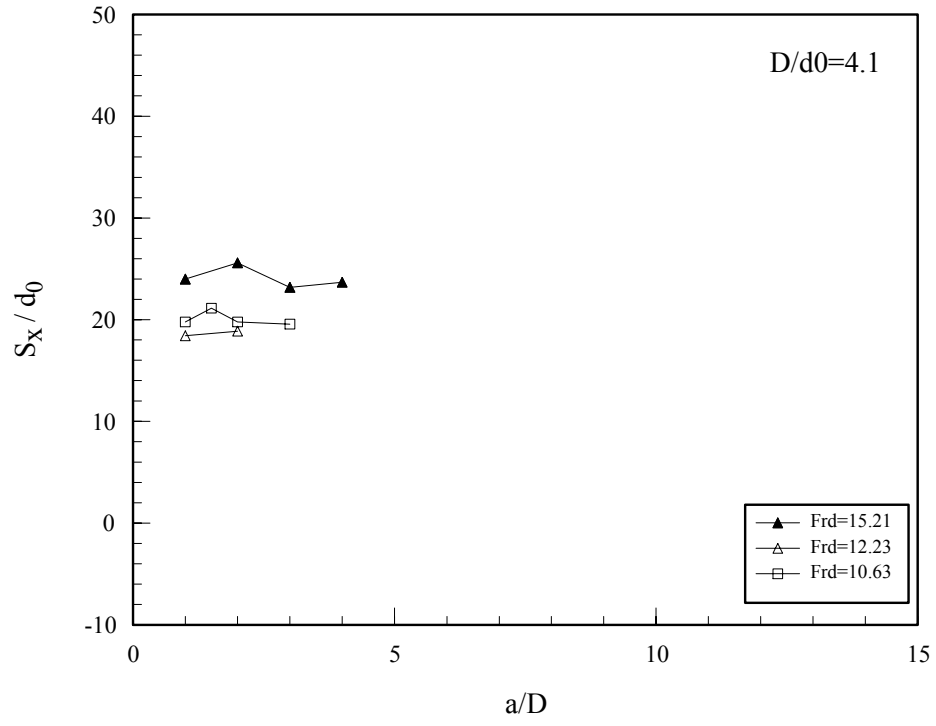


(a)

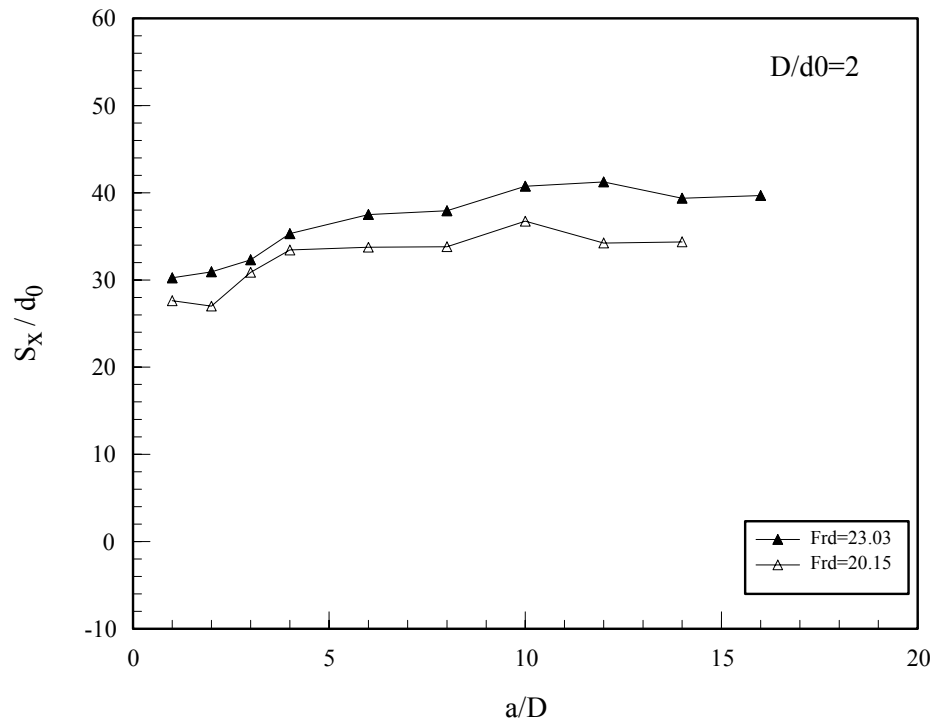


(b)

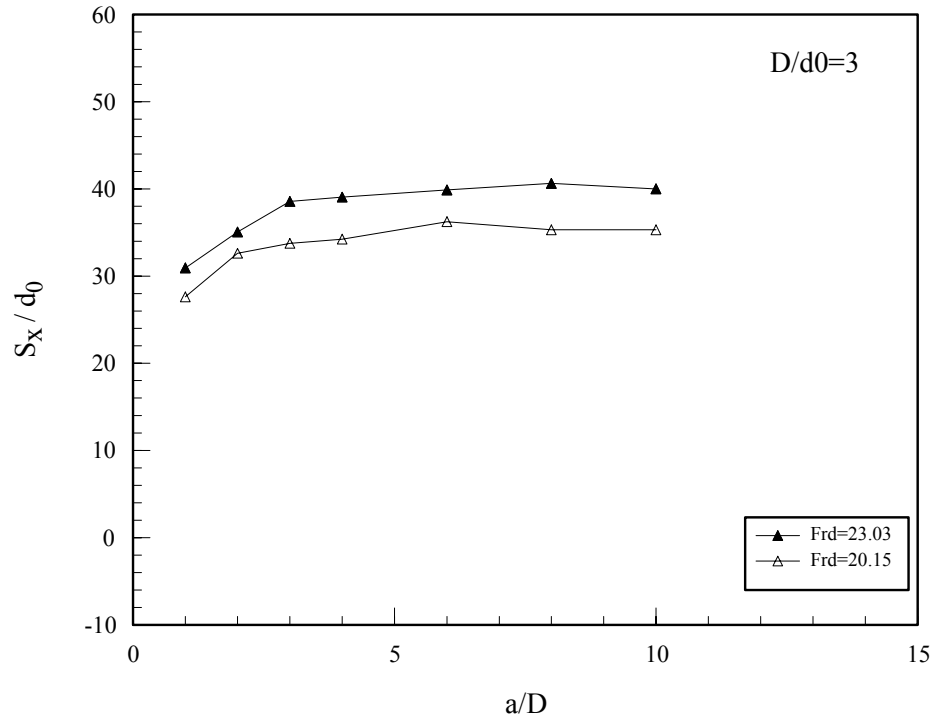
Şekil 4.10 S_x ile açıklık oranı (a/D) değişimi



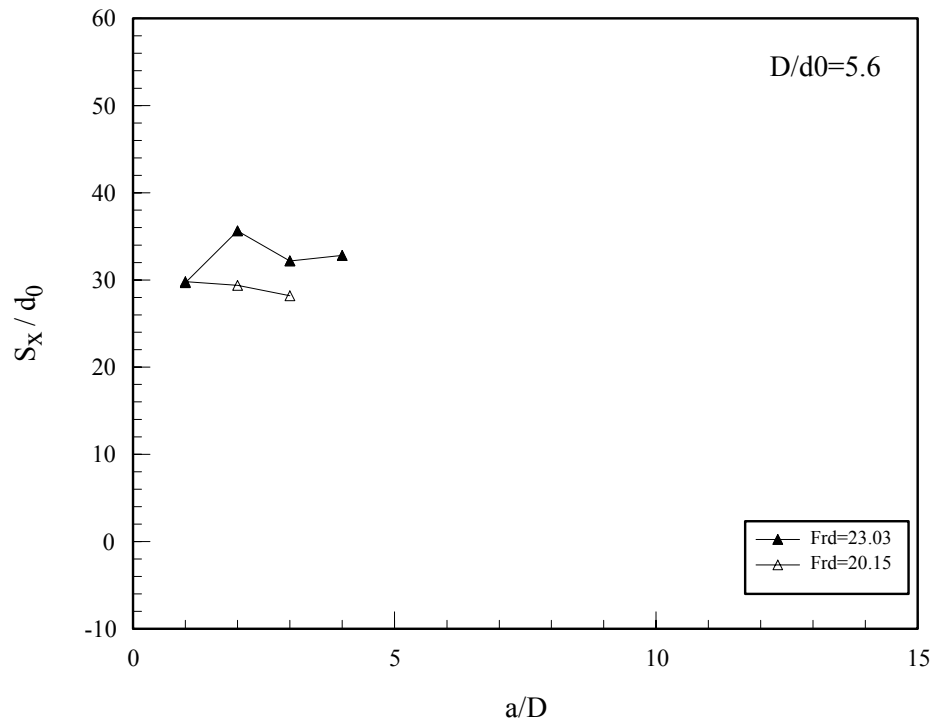
(c)



(d)

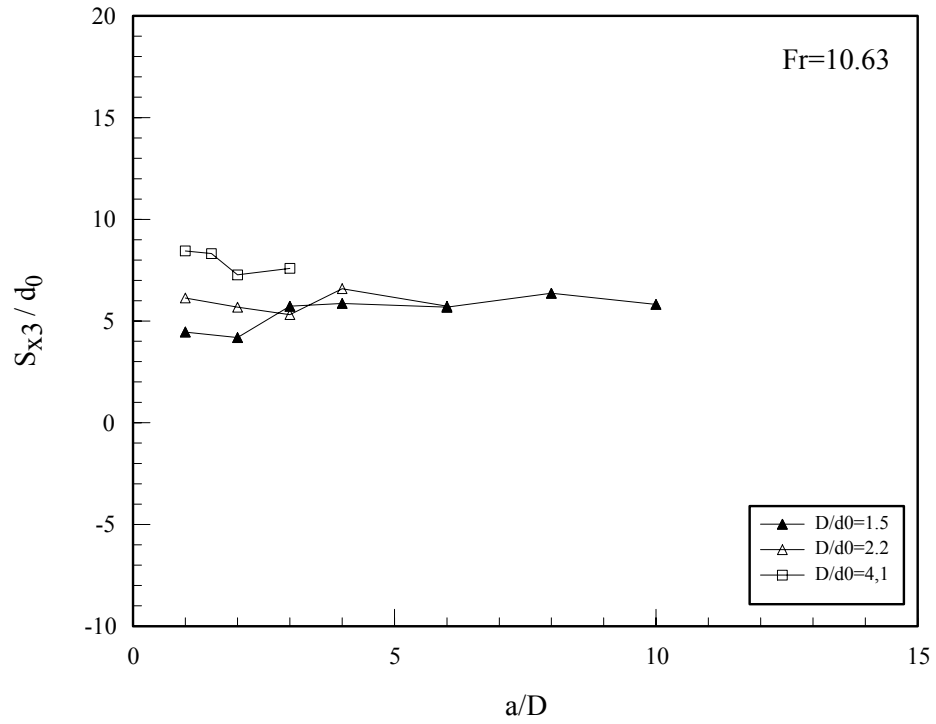


(e)



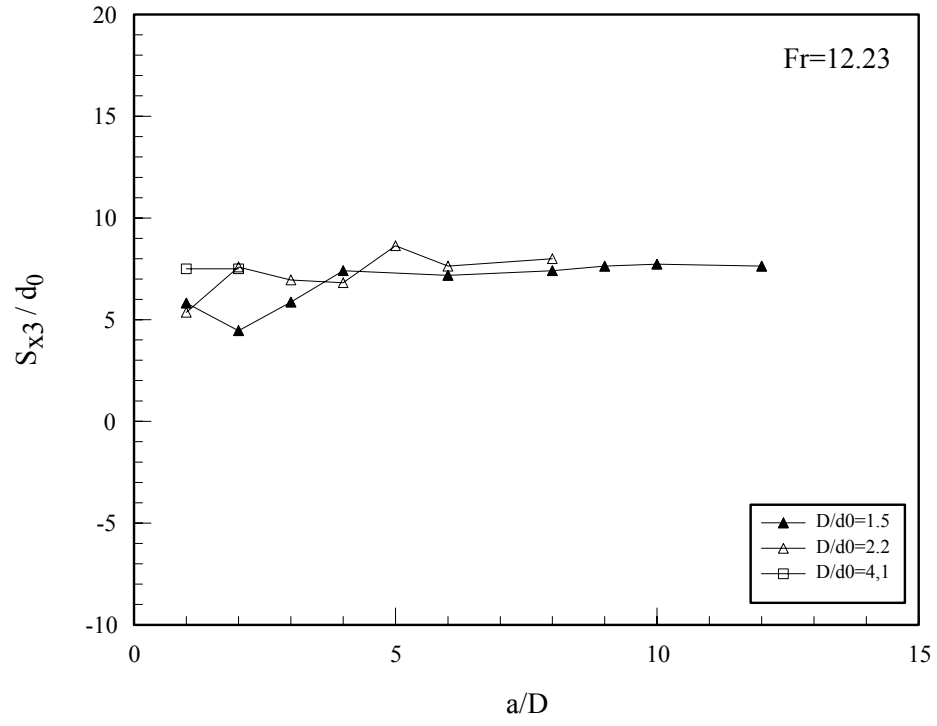
(f)

Şekil 4.9 ve 4.11'den görüldüğü gibi D/d_0 oranının büyümesiyle yığılma profili daha fazla gelişmektedir. Yığılan malzeme kazık çapıyla artmaktadır. Çünkü kazık çevresinde yayılan ve oyulan malzemeyi mansaba taşıyan akım ikinci kazıktan daha az etkilenmektedir. Yani kazık çapı arttıkça ilk kazığa çarpan akım daha fazla saçılmakta, ikinci kazıktan etkilenmeden bünyesine aldığı katı maddeyi taşımaktadır. Akım ilk kazıktan sonra ikinci kazıkla karşılaşsa da taşıdığı katı maddenin bir kısmını bırakmaktadır. Yani D/d_0 oranının artmasıyla ikinci kazığın akım üzerindeki etkisi artmakta ve akımın enerjisini absorbe etmektedir.

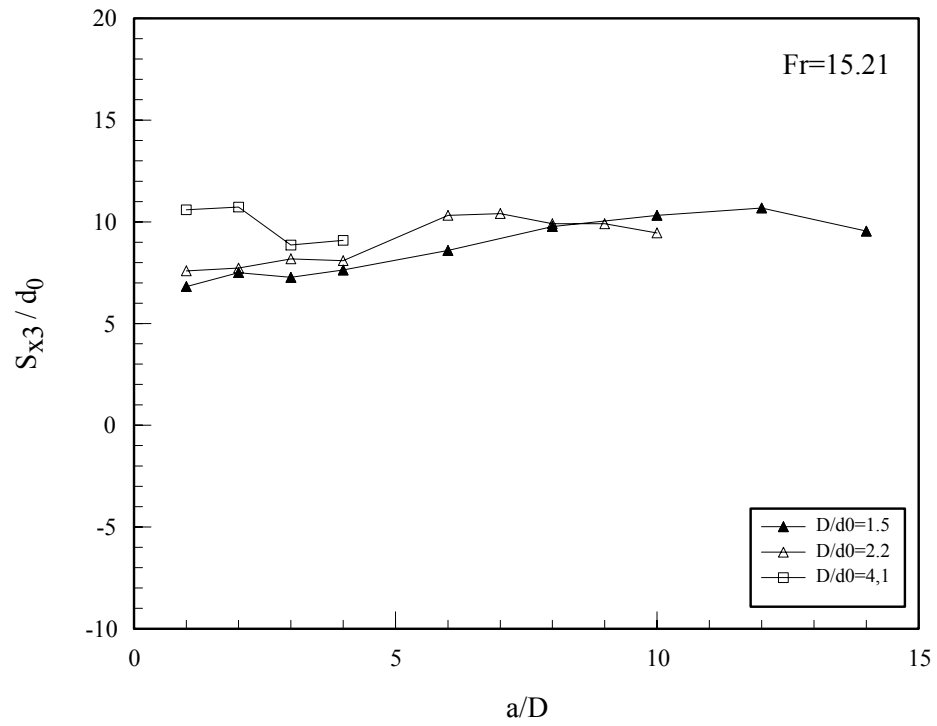


(a)

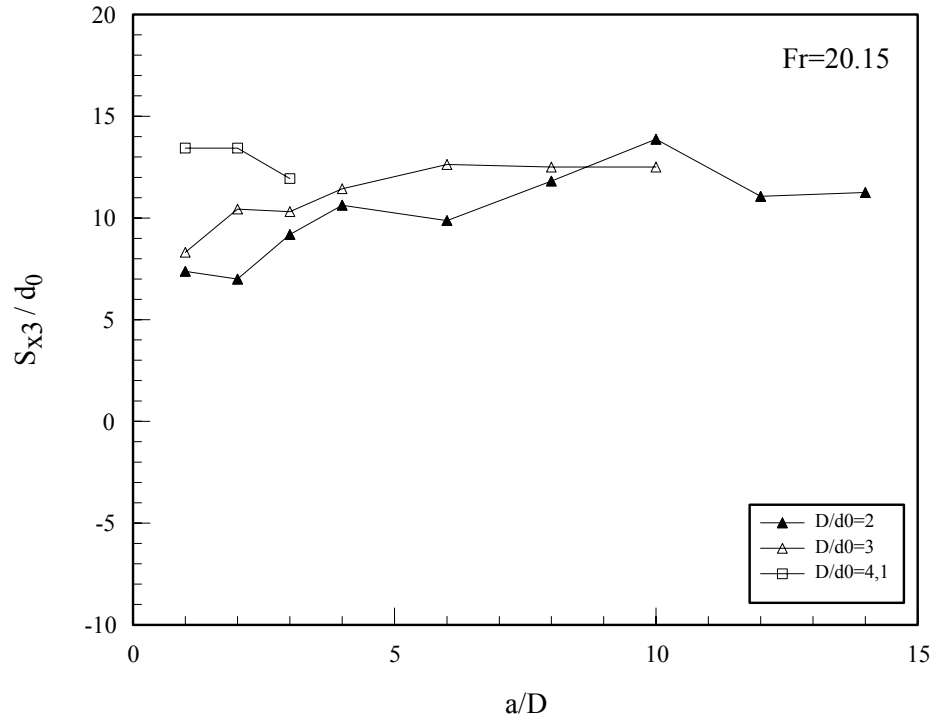
Şekil 4.9 S_{x3} ile açıklık oranı (a/D) değişimi



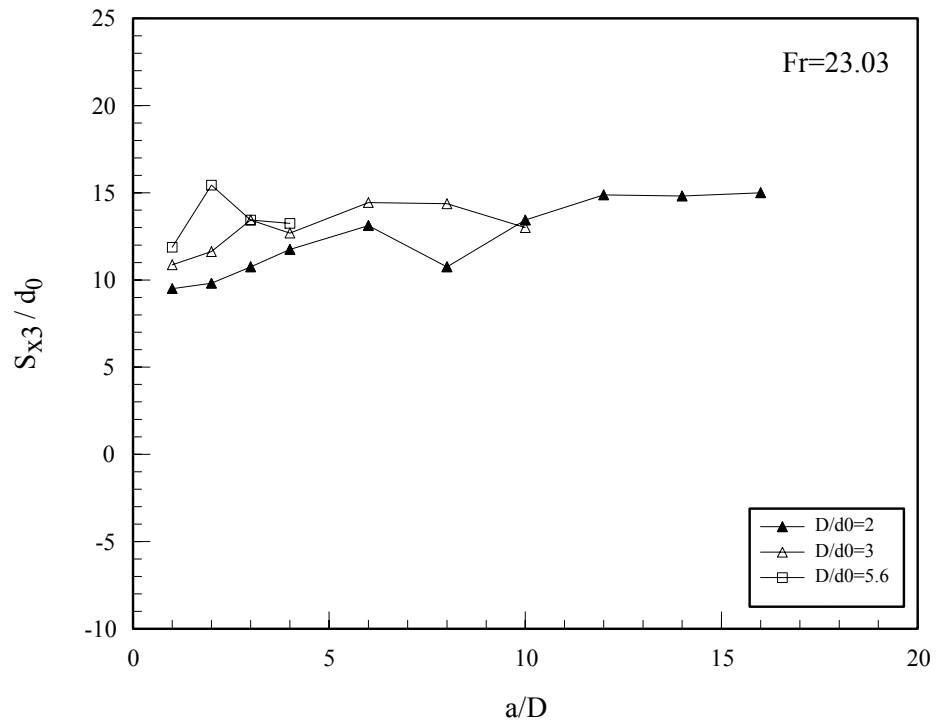
(b)



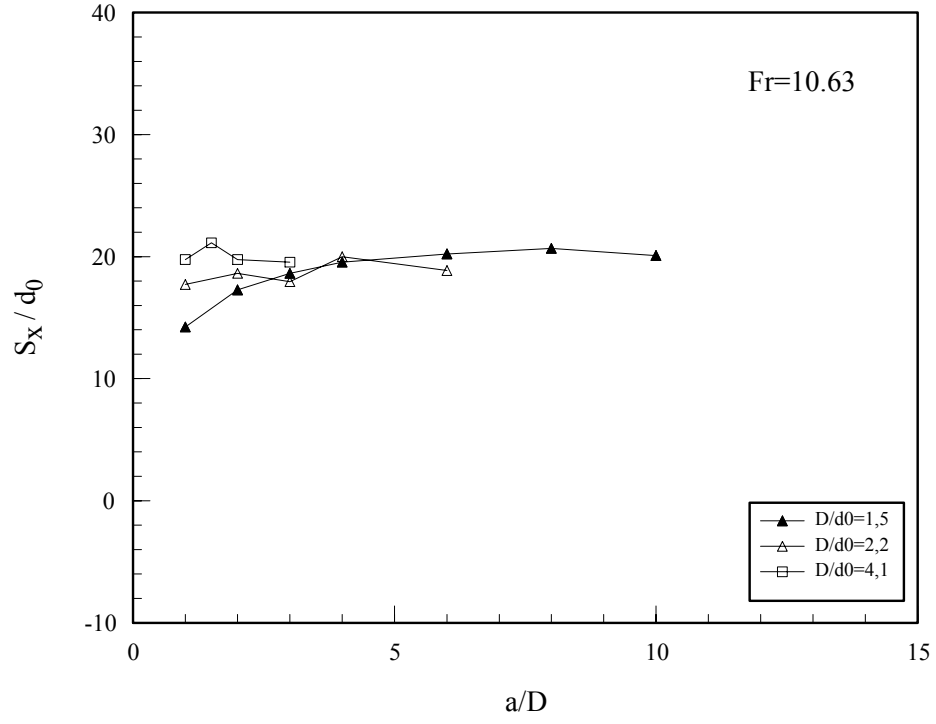
(c)



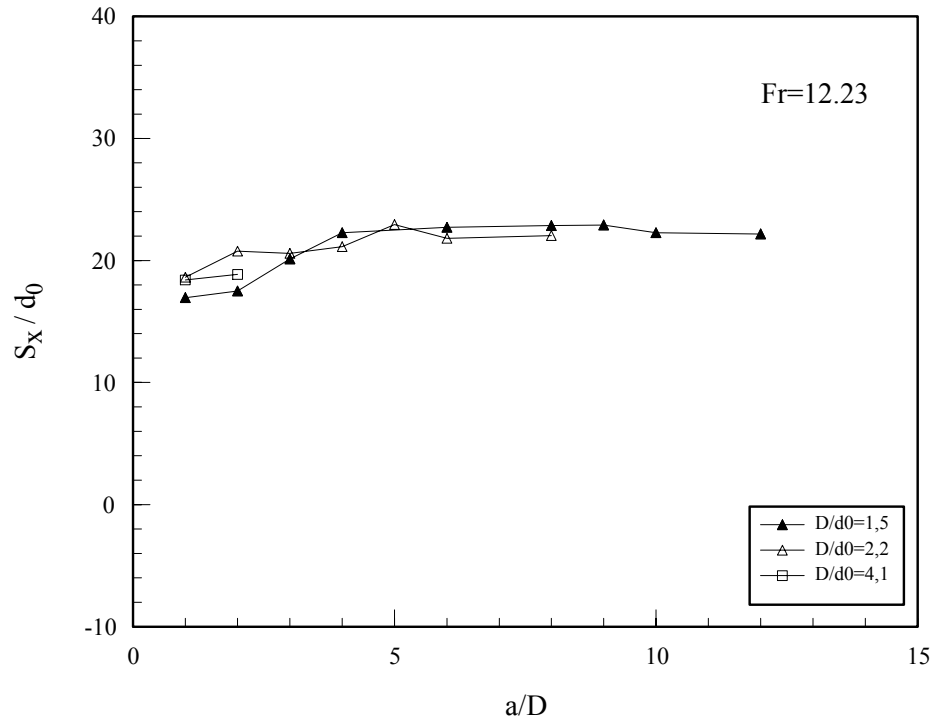
(d)



(e)

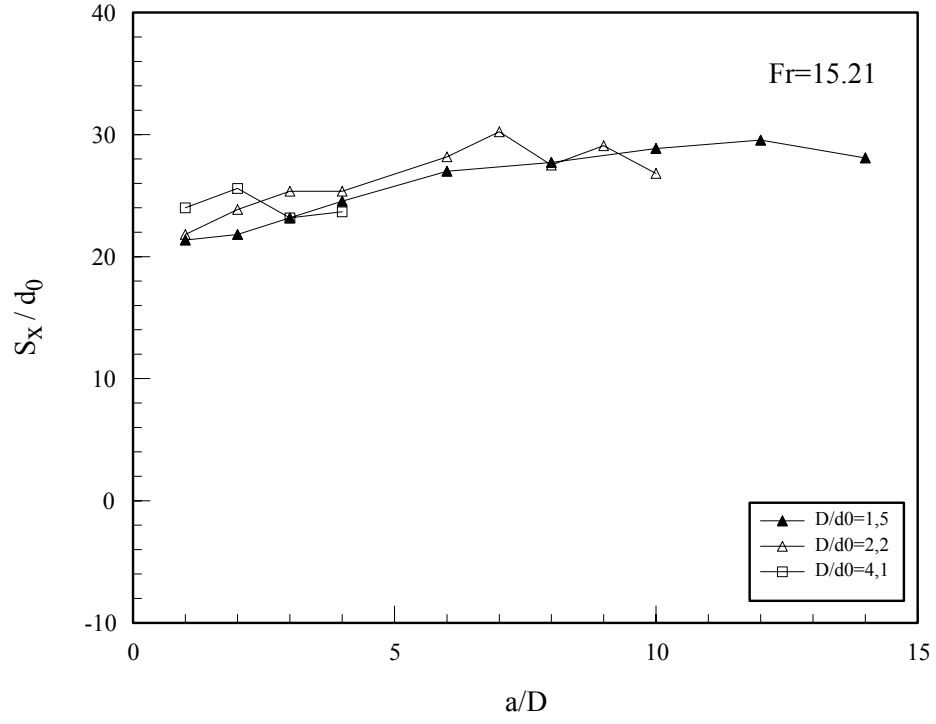


(a)

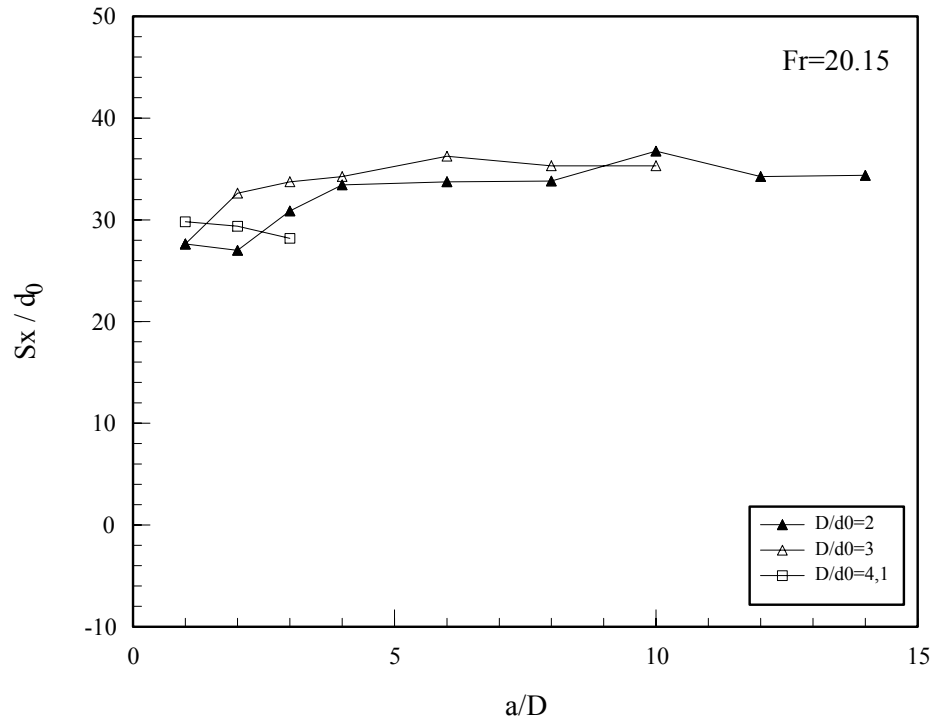


(b)

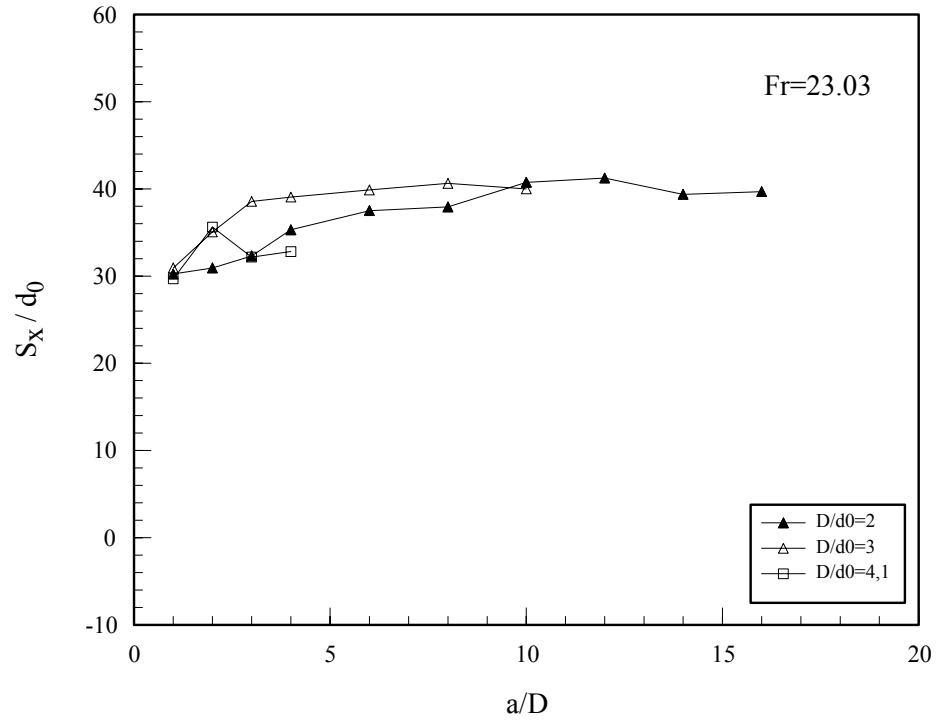
Şekil 4.11 S_x ile açıklık oranı (a/D) değişimi



(c)



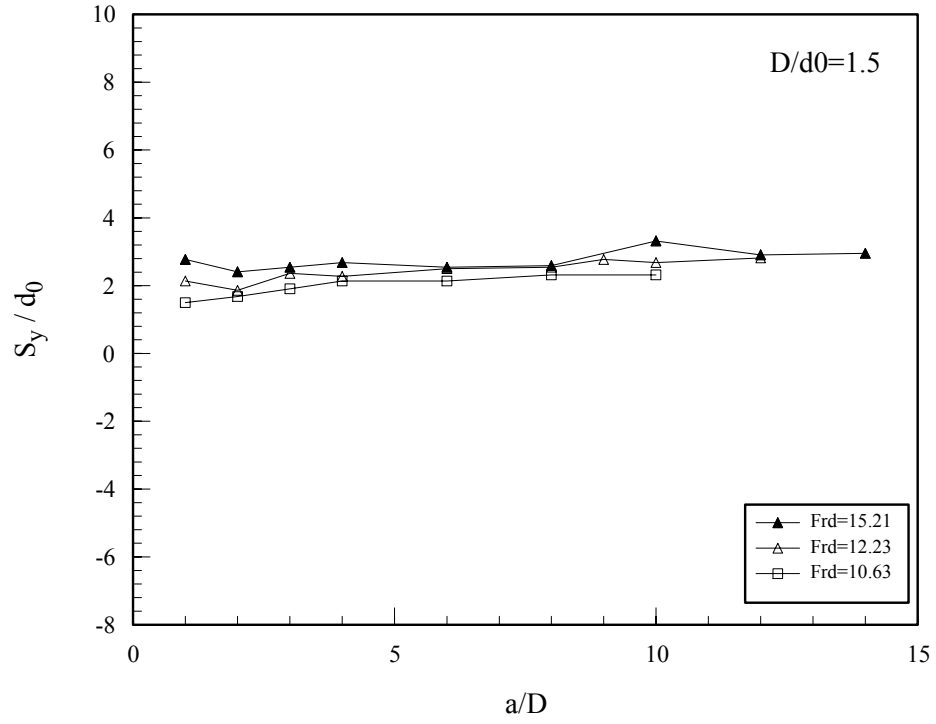
(d)



(e)

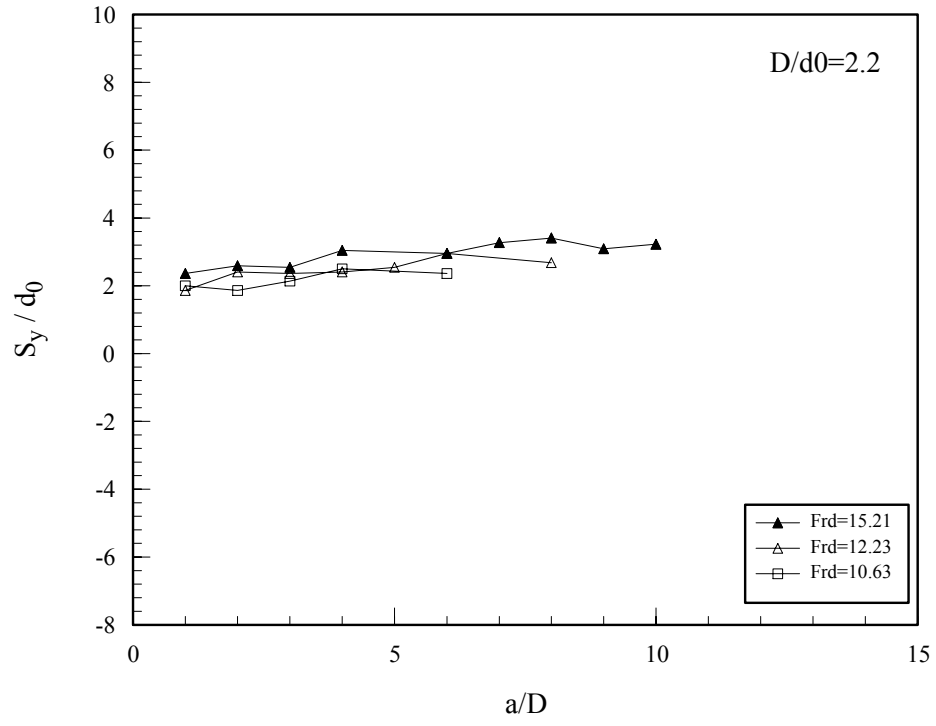
Şekil 4.11 Devam

Şekil 4.12 ve 4.13’de oyulma çukurundan taşınan malzemenin mansapta oluşturduğu yığılma yüksekliğinin Fr_d sayısı ve D/d_0 oranına göre açıklık oranı (a/D) ile değişimi verilmiştir. Şekildende görüldüğü gibi Fr_d sayısı ve D/d_0 oranı arttıkça daha yüksek bir kum tepesi oluştuğu gözlenmiştir.

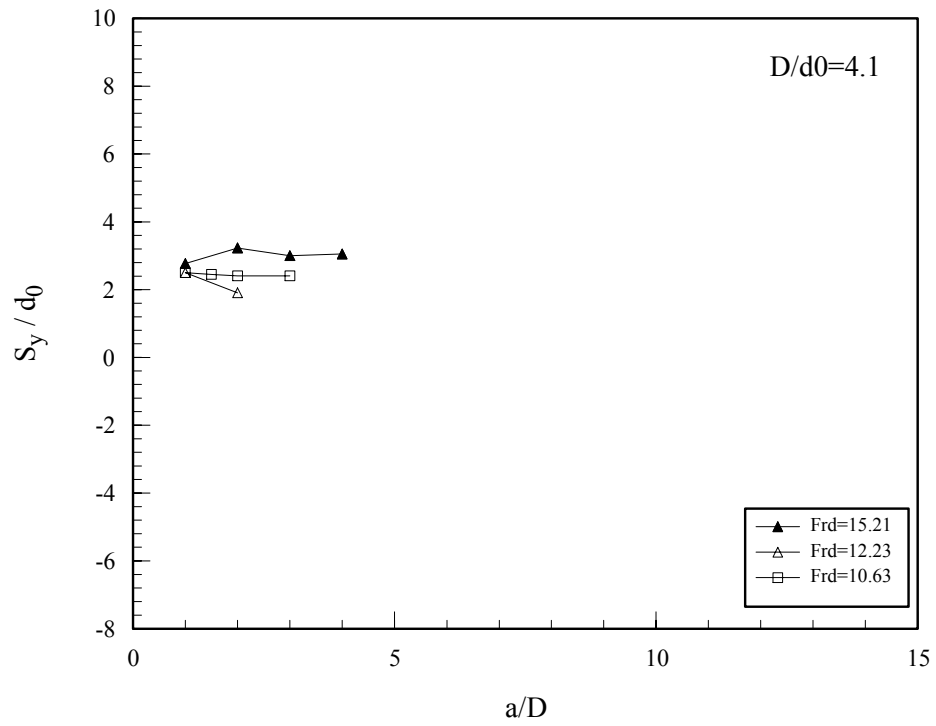


(a)

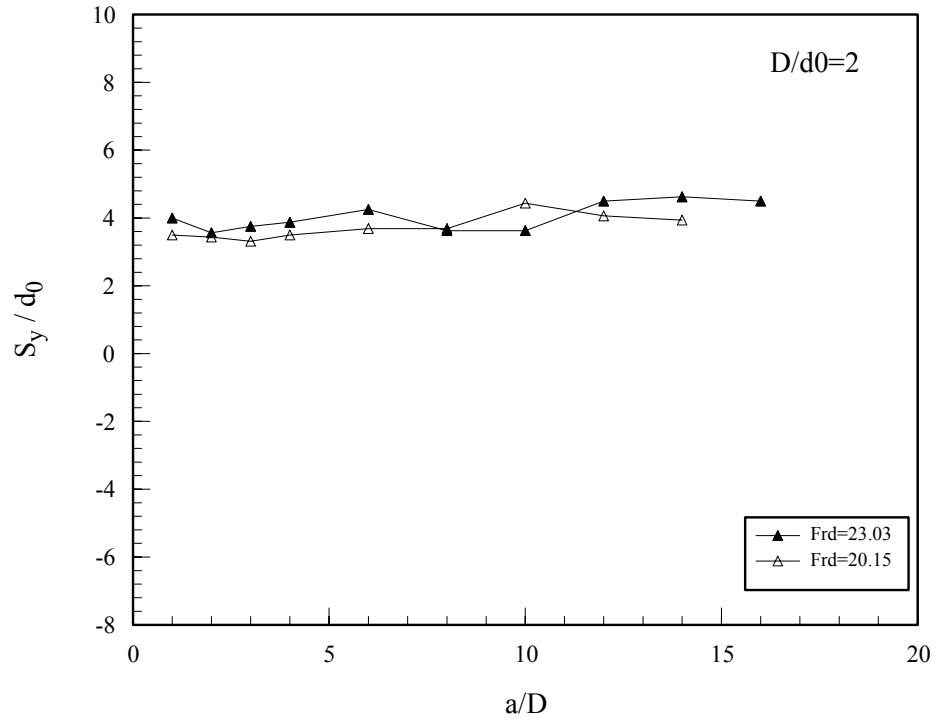
Şekil 4.12 S_y ile açıklık oranı (a/D) değişimi



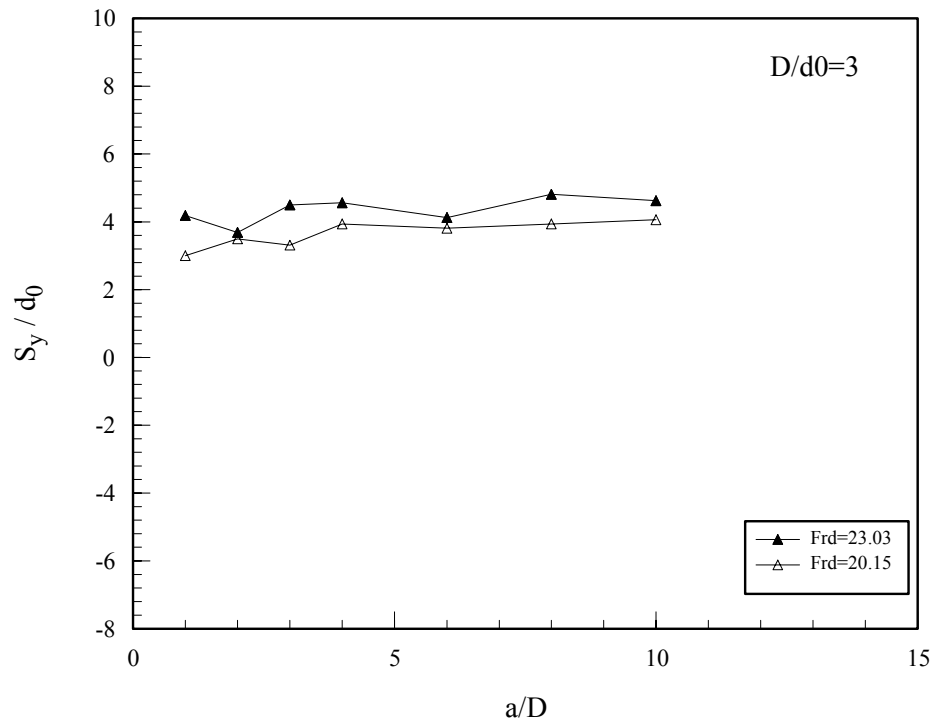
(b)



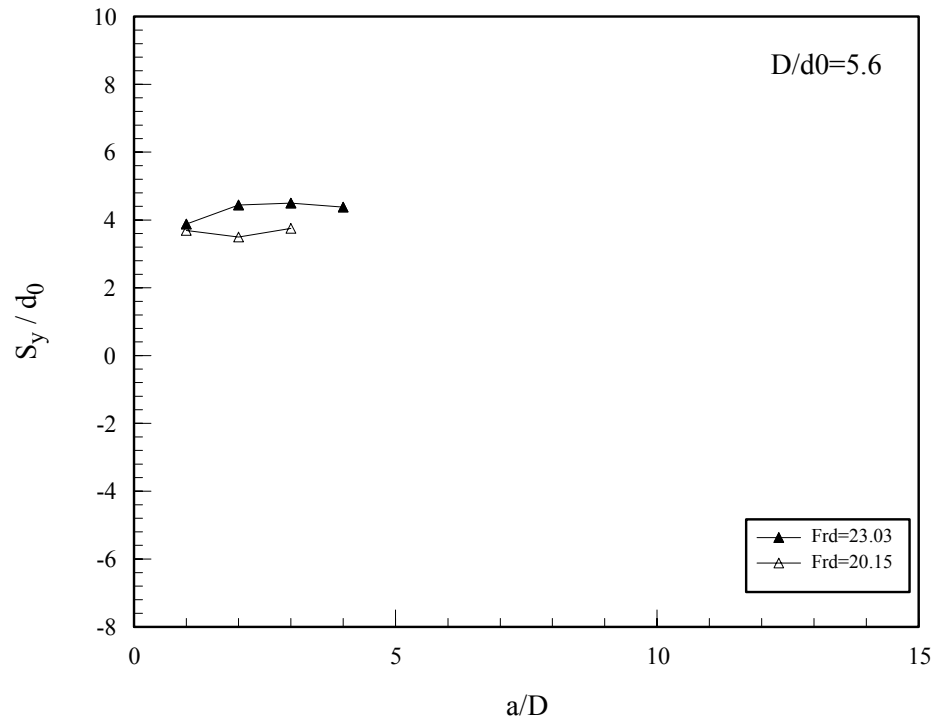
(c)



(d)

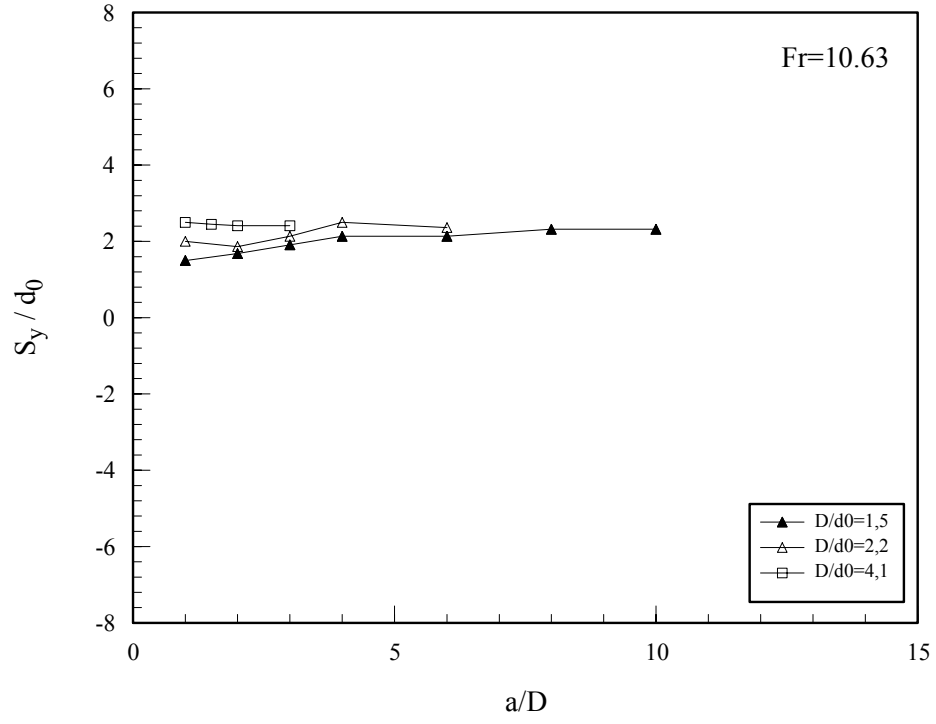


(e)

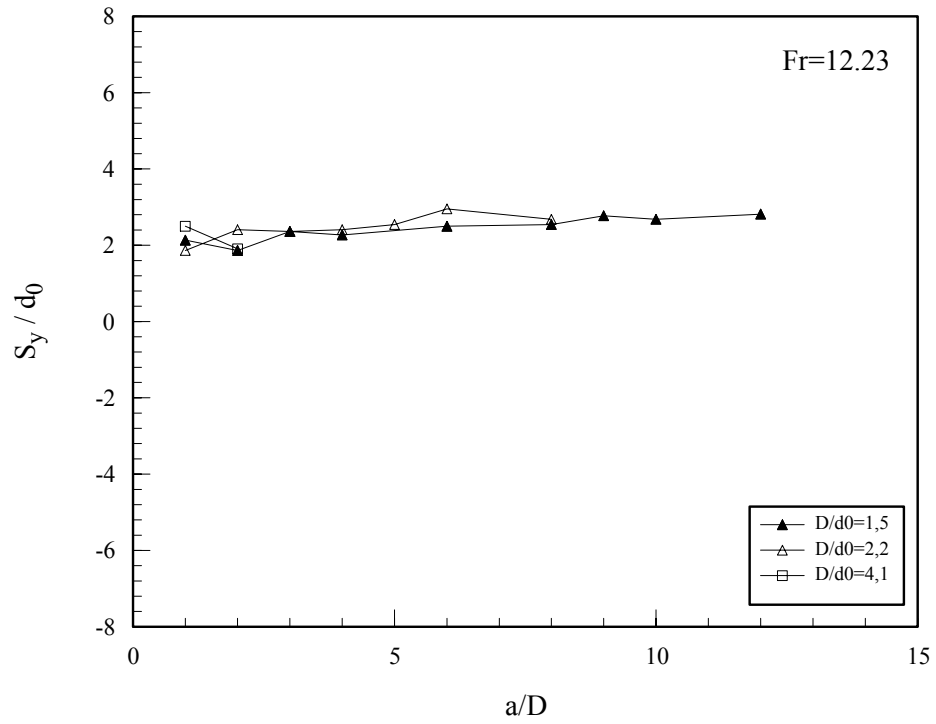


(f)

Şekil 4.12 Devam

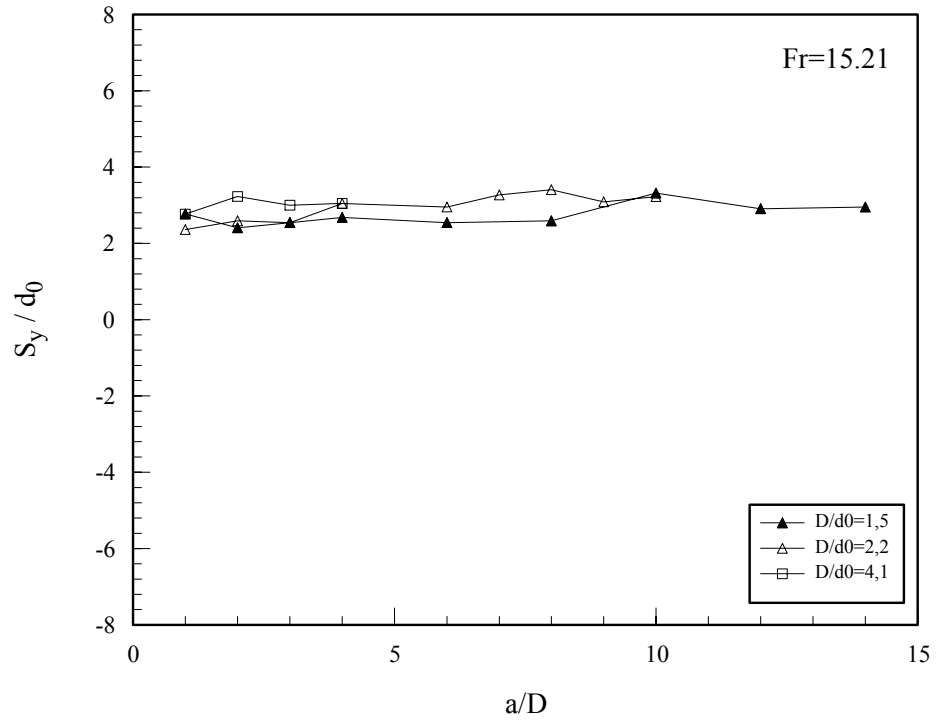


(a)

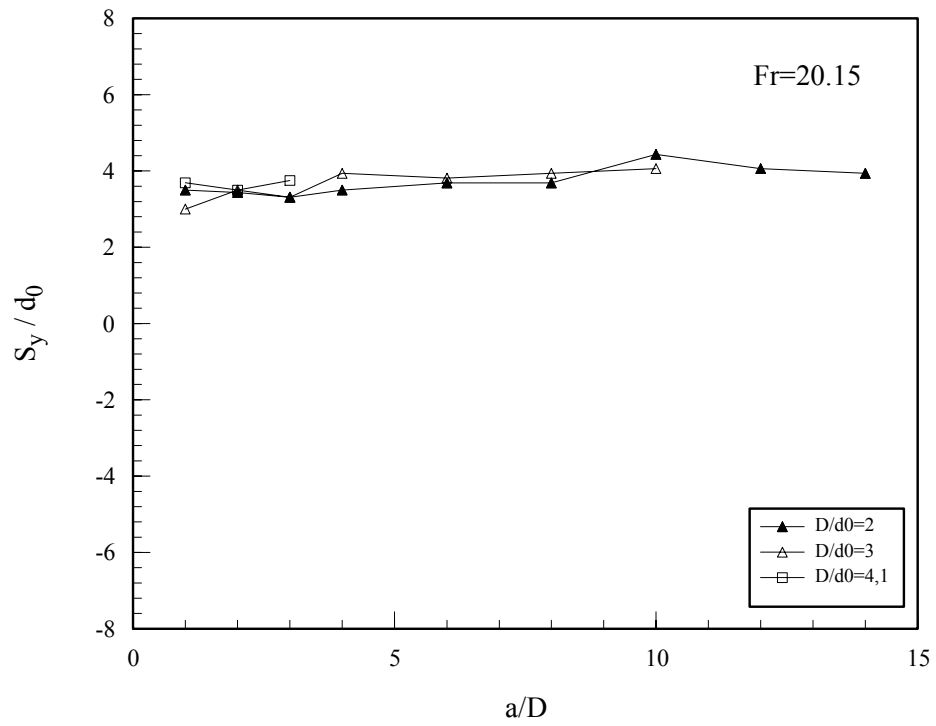


(b)

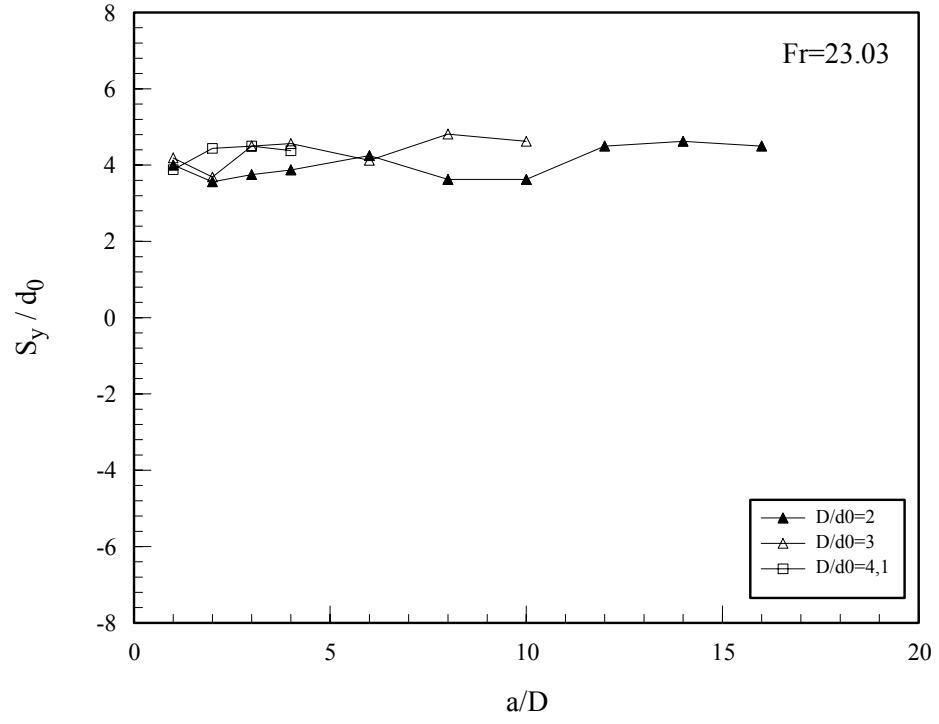
Şekil 4.13 S_y ile açıklık oranı (a/D) değişimi



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.13 Devam

5. DENEY SONUÇLARI VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kazıklı limanlarda kazık grupları (iki kazık) etrafında pervane jetinden dolayı meydana gelen oyulma mekanizması ve bu oyulma üzerinde etkili olan parametreler deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki özetlenmiştir.

1. Kazıkların etrafında oluşan taban profillerinin oyulma ve yığılma bölgeleri olmak üzere iki bölgeden meydana geldiği gözlenmiştir. Meydana gelen yığılma profili de değişen kazık çaplarına ve olduğu yere göre ikiye ayrılmaktadır. Birincisinde tek kazık durumunda gözlemlendiği gibi küçük çaplı kazıklarda ($D=33$ ve 48mm) daha sık görülen tek tepeli yığılma profilidir. İkinci kazık tepe noktasına yakın değildir. İkinci profilde ise eş yükseklikte, kazığın boyuna eksenine simetrik iki tepe noktası oluşmaktadır. Kazık çapının artmasıyla yığılma profili kalp şeklinde iki tepeli bir form almaktadır. Büyük çaplı kazıklarda ($D=90\text{mm}$) bu formla sık karşılaşmıştır. İkinci kazığın yığılma profilinin tepesine çok yakın veya tam tepeye denk geldiği gözlenmiştir.
2. Oyulma-yığılma profilinin denge konumuna ulaşma süresinin Fr_d sayısının artmasıyla arttığı görülmüştür
3. Fr_d sayısının artmasıyla yığılma profilinin yüksekliği artmış ve oluşan oyulma profiliyle jet arasındaki minimum uzaklık azalmıştır.
4. Yapılan deneylerden, denge durumuna ulaşıncaya kadar geçen sürenin ilk üçte ikilik zaman diliminde oyulma ve yığılma profillerinin maksimum değerlerinin yaklaşık % 93'lük kısmının meydana geldiği belirlenmiştir.
5. Elde edilen deney sonuçlarına göre, ikinci kazık önünde meydana gelen oyulma derinliği (S_2) $a/D=1$ için maksimum değerini alır. a/D açıklık oranının artmasıyla oyulma derinliği azalmakta ve kazık belli bir a/D değerinden sonra yığılma bölgesine geçmektedir.
6. İki ve tek kazıkla yapılan deney sonuçları karşılaştırıldığında, tek kazıkla yapılan deneyde kazık önünde oluşan oyulma derinliğiyle iki kazıkta yapılan deneyde birinci kazık önünde oluşan oyulma derinliğinin hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Şekillerden de görüldüğü gibi S/S_1 değeri 1'e çok yakındır. Buna göre ikinci kazığın ilk kazık önünde oluşan oyulmaya etkisi yoktur denilebilir. Yani tek kazıkta olsa iki kazık da olsa orifise yakın olan kazıkta her zaman aynı oyulma değeri gözlenmektedir.
7. Fr_d sayısı arttıkça ikinci kazık orifisten daha uzakta yığılma bölgesine geçmekte ($S_2/S_1 = 0$ için) ve daha uzakta yığılma bölgesinin dışında kalmaktadır
8. Yüksek Fr_d sayılarında ikinci kazık önündeki maksimum yığılmanın ilk kazık önündeki

- oyulmaya oranı ($\min S_2/S_1$), orifisten uzakta gerçekleşir. Ayrıca Fr_d sayısının yükselmesinin $\min S_2/S_1$ oranı üzerindeki değişimi ihmal edilebilir düzeydedir.
9. Kazık çapı arttıkça (D/d_0) ikinci kazık önünde meydana gelen oyulma azalmaktadır. Ayrıca ikinci kazık daha küçük a/D değerlerinde oyulma bölgesinden çıkmaktadır.
 10. İkinci kazık önündeki oyulma derinliği S_2 daima ilk kazık önünde oluşan oyulma derinliğinden küçük olmaktadır.
 11. Büyük çaplı kazıklarda ikinci kazığın doğrudan yığılma bölgesinin içine düştüğü ve önünde hiç oyulma olmadığı durumlar görülmüştür.
 12. Fr_d sayısının artmasıyla oyulma çukurunun boyutlarının da büyüdüğü görülmüştür. Bu durumda daha fazla malzeme taşınımı söz konusudur.
 13. İkinci kazığın ilk kazığa olan mesafesi arttıkça S_{x2} değeri de artmaktadır. Bu da ikinci kazık ilk kazıktan ne kadar uzak olursa o kadar çok malzemenin oyulma çukurundan taşındığı anlamına gelmektedir.
 14. Kazık çapı arttıkça oyulma çukurunun boyutları azalmaktadır. Çünkü kazığın absorbe ettiği enerji artmaktadır.
 15. Yapılan deneylerde ikinci kazığın ilk kazıkla arasındaki mesafe kazık çaplarının katları şeklinde yığılma bölgesinin dışına çıkıncaya kadar arttırılmıştır. İkinci kazığın ilk kazığa yakın olduğu mesafelerde ikinci kazığın oyulma bölgesi içinde kaldığı, ikinci kazık ilk kazıktan uzaklaştırdıkça yığılma bölgesine geçtiği ve sonunda yığılma bölgesinin de dışına çıktığı görülmüştür.
 16. Büyük Fr_d sayılarından da, ($Fr_d=40-80$), deneyler yapılması jet ve kazığın birbirleriyle etkileşiminin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Günümüzde kendi imkânlarıyla yanaşma yapan, gelişmiş gemilerin pervane suyunun hızı yanaşma sırasında 15 m/sn değerine ulaşabilmektedir. Araştırmalarda yanaşma hızları bu mertebelerde olan gemilerin yanaşmaları sırasında oluşturacağı akımın Fr_d sayıları dikkate alınarak deneyler yapılmalıdır.
 17. Dümen etkisi dikkate alınarak pervane jetinin kazığa farklı açılarda çarpması ile meydana gelebilecek oyulma profilleri araştırılmalıdır.
 18. Deneylerde dalga ve akıntı etkisi ile liman içi çalkantılarının da dikkate alınması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Anderson, A.G. (1974) "Scour at bridge waterways-A Review" , U.S. Dept. Of Transportaiton, Office of Research and Development, Environmental Design and Control Division.
- Bergh, H., and Cederwall, K., (1981), "Propeller erosion in harbours." Bull. No. TRITA-VBI-107, Hydraulics Laboratory, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Breusers, H.N.C., Nicollet, G., Shen, H.W., 1977. Local scour around cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Research* 15(3),211-252
- Breusers, H.N.C., Nicollet, G. and Shen, H.W. (1977) "Local scour around cylindrical piers" *J. Hydraulic Res.* Vol.15, 211-252
- Chabert, J. and Engeldinger, P. (1956) "Etude des Affouillements autour des Piles des Ponts, Laboratoire National d' Hydraulique Chatou, France
- 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
- Chee, R.K.W. (1982) "Live-bed scour at bridge piers" , University of Auckland, N.Z., Mh.Thesis, Dept.of Civil Engng. Report no.290.
- Chiew, Y.m. (1984) "Local scour at bridge piers" Ph.D. Thesis, Univ. of Auckland, N.Z. Scholl Engineering, Rep. No.355.
- Chin, C.O., Chiew, Y.M., Lim, S.Y., Lim, F.H., 1996. Jet scour around vertical pile. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 122 (2), 59-67
- Chin, C.O. (1985) "Stream bed ararmouring" , Univ. of Auckland, N.Z. Ph.D. Thesis, Dept. of Civil Engng. Report No.403.
- Clarke, F.R.W (1962) The action of submerged jets on moveable material, Ph.d.Thesis, Imperial College, London.
- Clarke, F.R.W. (1962) "The action of submerged jets on moveable material" Ph.D. Thesis, Imperial College, London
- Çevik (Özkan), E., (1997), "Dalga Etkisinde Denizaltı Boru Hatları ve Deniz Taban Etkileşiminin Belirlenmesi", Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Dargahi, B., 2003. Three-dimensional modeling of ship-induced flow and erosion. *Water and Maritime Engineering* 156 (WM2), 193-204
- Dietz, J.W. (1972) "Systemetische Modellversuche über die Pfeil-erkolkbildung" *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Nr. 31, Karlsruhe, FGR*, 95-109
- Dietz, J.W. (1973) "Kolkbildung an einem kreiszyllindrischen Pfeiler" *Die Bautechnik*, Vol.50, 203-208
- Ettema, R. (1980) "Scour at bridge piers", Univ. of Auckland, N.Z. Scholl of Engineering, Rep. No.216.
- Gormsen, C. ve Jarsen, T.(1984) "Time development of scour around offshore structures" Master's Study, ISVA, Technical University of Denmark, P.139

- Hannah, C.R. (1978) "Scour at pile groups" , University of Canterbury, N.Z., Civil Engineering Research Rep.No.78-3, 92.
- Hausler, E. (1983) "Spillways and outlets with high energy concentrations" Intern.Committee on Large Dams, Trans.Intern.Symposium on Layout of Dams in Narrow Gorges, Rio de Janeiro, Vol. 2i 177-194
- Hjorth, P. (1972) "Local Erosion och Erosionsverken vid Arlopps-ledning i Kustnara Omraden, Inst.Vattenbyggnad, Tekn.Hogskolan, Lund, BUULETIN Serie B, no.21.
- Hjorth, P. (1975) "Studies on the nature of local scour" Dept.Water RES.Engng., Lund Inst. of Technology, Bulletin Series A, No.46.
- Hopkins, G.R., Vance, R.W. and Kasraie, B. (1983) "Scour around bridge piers, Fedral Highway Administration, Washington D.C., Final Report FHWA- RD-78-163.
- Johnson, G. (1967) "The effects of entrained air on scouring capacity of water jets" Proc.12th Congress I.A.H.R., Fort Collins, Vol.3,C26, 218-226
- Kobus, H. (1980) "Hydraulic Modelling" , German Assac. For Water Resources and Land Improvement, Bull.7 in cooperation with I.A.H.R., Verlag Paul Paray and Pitman
- Kobus, H., Leister, P. and Westrich, B. (1979) "Flow field and scouring effects of steady and pulsating jets impinging on a moveable bed" J.Hydraulic Research, Vol.17, 175-192.
- Kolkman, P.AÇ (1982) "An artificial ceiling for free surface flow reproduction in scale modelling of local scour" , Proc.Int. Conf. Of Hydraulic Modelling of Civil Engineering Structures, Coventry, 397-410.
- Lange, J. P., Herbert, P., and Byl, R.(1987), "Prblemes d'erosion aux ouvrages de quai existants causes perle propulseurs d'etrave et le helices principales de navires lors de leurs accostages ou appareillage."PIANC,Bull.No.58,16-43(in French).
- Laursen, E.M. and Toch, A. (1956) "Scour around bridge piers and abutments" Iowa Highway Res. Board, Bulletin No.4, 60.
- List, E.J. (1982) "Turbulent jets end plumes" Annual Review of Fluid Mechanics, Vol.14.
- 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.
- Melville, B,W, (1984) "Live-bed scour at bridge piers" , J.Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.110, 1243-1247.
- Melville, B.W. (1974) "Scour at bridge sites" Univ. of Auckland, N.Z. School of Engineering, Report No.104, or Proc.NZ National Roads Board RRU Seminar on Bridge Design and Resarch.
- Melville, B.W. (1975) "Local scour at bridge sites" Univ. of Auckland, N.Z. Ph.D. Thesis. Dept. of Civil Engng.Rep. No. 117
- Melville, B.W. and Raudkivi, A.J. (1977) "Flow characteristics in local scour at bridge piers" J.Hydr.Res., Vol.15, 373-380
- Quarrin, R., (1994), "Influence of the sea bed geometry and berth geometry on the hydrodynamics of the wash from a ships propeller." PhD.Thesis, Queens University of Belfast.

- Rajaratnam, N. (1981) "Erosion by plane turbulent jets" J.Hydraulic Research, Vol.19, 339-358.
- Rajaratnam, N. (1982) "Erosion by submerged circular jets" Proc.ASCE, Vol.108, HY2, 262-267
- Rajaratnam, N. (1976) "Turbulent Jets", Elsevier, Amsterdam
- Raudkivi, A.J. and Sutherland, A.J. (1981) "Scour at bridge crossings" National Roads Boards Research Unit Bulletin No.54, Wellington, N.Z., p.100.
- Raudkivi, A.J. (1976) "Loose Boundary Hydraulics", 2nd Edition, Pergamon Pres.
- Raudkivi, A.J. (1990) "Loose Boundary Hydraulics", 3rd Edition, Pergamon Pres.
- Raudkivi, A.J. (1986) "Functional trends of scour at bridge piers", J.Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.112, 1-13
- Raudkivi, A.J. and Ettema, R. (1977) "Effect of sediment gradation on clear-water scour, Proc.ASCE, Vol.103, HY10, 1209-1213.
- Rouse, H. (1940) "Criteria for similarity in transportation of sediment" Proc.Hydr.Conf.Univ. of Iowa, Studies in Engineering Bulletin 20, 33-49
- Shen, H.W., Schneider, V.R. and Karaki, S. (1969) "Local scour around bridge piers" Proc.ASCE, Vol.95, HY6, 1919-1940.
- Sümer, B.M. and Fredøe, J. and Christiansen N., (1992) "Scour around Vertical Pile in Waves", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol.11, No.1
- Sümer, B.M. and Fredøe, J., (1990) "Scour below Pipelines in Waves", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol.116, No.3, pp:307-323
- Sümer, B.M. and Fredøe, J., (1997), "Hydrodynamics around Cylindrical Structure", World Scientific.
- Sümer, B.M. and Fredøe, J., (1998), "Wave scour around group of vertical piles" J.Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol.124, No.5, 248-256
- Sümer, B.M., Bundgaard, K. and Fredøe, J., (2002), "Global and Local scour at pile groups" Manuscript in preparation.
- Westrich, B. (1974) "Erosion eines gleichkörnigen Sandbettes durch stationäre und pulsierende Strahlen. Dissertation" Tech.Univ.Karlsruhe, W.Germany.
- Westrich, B. and Kobus, H. (1973) "Erosion of a uniform sand by continuous and pulsating jets" Proc.15 th Congress I.A.H.R., İstanbul, Vol.1i 91-98
- Yalin, M.S. (1971) "Theory of Hydraulic Models", MacMillan, N.Y.
- Yüksel, A., (2002), "Gemi Pervanelerinin Kazıklı Yanaşma Yapılarında Neden Olduğu Erozyonun Araştırılması" Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Yüksel, Y., Çevik, E. ve Çelikoğlu, Y., (1998) "Kıyı ve Liman Mühendisliği", İMO, Ankara Şubesi, Ankara
- Zanke, U. (1981) "Seegang erzeugte Kolke am Bauwerken, Sonderforschungsbereich 79, Teilprojekt B9, Techn.Univ.Hannover.

INTERNET KAYNAKLARI

[1] www.dtm.gov.tr/ead/ekonomi/sayi12/ulsis.htm

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 21.10.1977

Doğum yeri Wiener-Neustadt

Lise 1992–1995 Haydarpaşa Endüstri Meslek Lisesi

Lisans 1996–2001 Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
İnşaat Mühendisliği BölümüYüksek Lisans 2002-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı**Çalıştığı kurumlar**

2001-2003 EMS Makine ve inşaat

2004-2005 Günsayıl İnşaat

2005-Devam Ereğli Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş

