

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜŞEY YÜZLÜ DALGAKIRAN KAFASI  
ETRAFINDAKİ YEREL TABAN HAREKETİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

İnşaat Müh. İhsan SALAR

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMAN YAYIN MERKEZİ**

Tez Danışmanı : Yrd Doç. Dr. Yeşim Çelikoğlu

Y. Doç. Dr. Yeşim Çelikoğlu  
denetim

Prof. Dr. Galip Güneş

Prof. Dr. Sedat Kabdaşlı

İSTANBUL, 2001

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Kıyılarda Katı Madde Hareketi.....	1
1.1.1 Dalga Etkisinde Katı Madde Taşınımı.....	1
1.1.2 Kıyıya Dik Katı Madde Hareketi Ve Kıyı Profilleri.....	11
1.1.2.1 Açık Deniz Bölgesinde Dalgalar Tarafından Oluşan Katı Madde Taşınımı.....	11
1.1.2.2 Kıyı Profilleri.....	13
1.1.3 Kıyı Boyu Katı Madde Hareketi.....	25
1.2 Dalgakıranlar Etrafındaki Yerel Taban Hareketi.....	26
1.2.1 Düşey Yüzlü Dalgakıranlar.....	26
1.2.2 Taş Dolgu Dalgakıranlar.....	46
1.3 Problemin Önemi Ve Çalışmanın Amacı.....	68
2 DENEY SİSTEMİ VE OYULMA MEKANİZMASININ MODELLENMESİ ...	70
2.1 Deney Havuzu Ve Duvar Boyutları.....	70
2.2 Ölçüm Sistemleri.....	73
2.2.1 Dalga Ölçüm Sistemi.....	73
2.2.2 Taban Profili Ölçümleri.....	74
2.2.3 Oyulma Çukuru Ölçümleri.....	76
2.3 Deney Şartları Ve Kalibrasyon.....	77
2.4 Problemin Modellenmesi.....	81
2.4.1 Etkili Parametrelerinin Belirlenmesi.....	81
2.4.2 Boyut Analizi.....	81
3 DENEYSEL ÇALIŞMA VE TARTIŞMA.....	85
3.1 Kıyı Profilleri.....	85
3.2 Oyulma Derinliğinin Belirlenmesi.....	88

3.2.1	Kafa Etrafındaki Taban Morfolojisi Ve Oyulmanın Yeri .....	88
4	SONUÇLAR.....	104
	KAYNAKLAR .....	106
	ÖZGEÇMİŞ .....	111



## SİMGE LİSTESİ

A	Yörüngesel hareketin genliği
B	Yapının kafa çapı
$C_F$	Şekil direnç katsayısı
$c_a$	Ek su kütlesi katsayısı
$c_d$	Katı madde şekline ve Reynolds sayısına bağlı direnç katsayısı
$c_L$	Kaldırma kuvveti katsayısı
$c_m$	Atalet katsayısı
$c_s$	Sürtünme direnç katsayısı
d	Tanenin karakteristik çapı
$f_w$	Dalga sürtünme katsayısı
H	Dalga yüksekliği
h	Akım derinliği
I	Hidrolik gradyan
KC	Keulegan Carpenter sayısı
m	Dalgakıran şev açısı
Re	Reynolds sayısı
Q	Debi
s	Yoğunluk
T	Periyot
t	Zaman
$T^*$	Boyutsuz periyot parametresi
u	Tane seviyesindeki akım hızı
$u_m$	Taban yörüngesel hızı
$u_{rb}$	Ursell parametresi
$u^*$	Kayma hızı
w	Açısal frekans
$\pi$	Pi sayısı
$\gamma_s$	Katı madde özgül ağırlığı
$\gamma_w$	Suyun özgül ağırlığı
$\rho$	Suyun özgül kütlesi
$\rho_s$	Katı madde özgül kütlesi
$\psi$	Hareketlilik parametresi

$\theta$	Shields parametresi
$\tau$	Toplam taban kayma gerilmesi
$\delta$	Sınır tabaka kalınlığı
$\phi$	Atak açısı
$\nu$	Kinematik viskozite



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Küresel bir tane üzerine etkiyen kuvvetler (Raudkivi, 1990) .....	1
Şekil 1.2 $\theta_{2,5}$ ve $\theta$ arasındaki bağıntı (Carstens vd., 1969 ve Lofquist, 1986).....	9
Şekil 1.3 Eğimli taban halinde bir katı madde tanesine etkili kuvvetler (Van Rijn, 1993) .....	11
Şekil 1.4 .....	13
Şekil 1.5 .....	15
Şekil 1.6 Moruya'da kıyı profili değişimleri.....	16
Şekil 1.7 Kıyı profilleri (Kabdaşlı, 1992).....	18
Şekil 1.8 Kıyı profilleri (Sunamura ve Horikawa, 1974) .....	20
Şekil 1.9 .....	23
Şekil 1.10 Denge kıyı profilinden elde edilen kıyı erozyonu .....	24
Şekil 1.11 Deney sistemi.....	28
Şekil 1.12 Deney kanalının yeni duvarı ile dalgakıran arasındaki mesafe boyunca hız dağılımı .....	29
Şekil 1.13 Oyulma deneyleri için deney sistemi .....	30
Şekil 1.14 Model yapıların kesitleri .....	30
Şekil 1.15 Düşey yüzlü dalgakıran kafası etrafında oluşan akım rejimleri .....	32
Şekil 1.16 Video çekimi [a)-ayrılma yok, b)ayrılma var].....	33
Şekil 1.17 Dalgakıran kafası etrafında akım yapısının gelişimi.....	33
Şekil 1.18 Artiz vorteks boyutları .....	34
Şekil 1.19 Akım yapısı a)Düşey yüzlü dalgakıran b)Düşey silindir .....	35
Şekil 1.20 Dalgakıran kafası etrafında taban kayma gerilmesi dağılımı .....	36
Şekil 1.21 Oyulmanın zamanla değişimi .....	37
Şekil 1.22 Yapı etrafında oyulmanın gelişimi.....	38
Şekil 1.23 Dalgakıran kafası etrafında KC sayısı ile boyutsuz oyulma derinliğinin değişimi .....	38
Şekil 1.24 Dalgakıran kafası etrafında KC sayısı ile oyulma çukuru çapının değişimi .....	40
Şekil 1.25 Koruma tabakalı ve koruma tabakasız halde dalgakıran kafası KC sayısı ile oyulma derinliğinin değişimi .....	41
Şekil 1.26 KC sayısı ile koruma tabakası genişliğinin değişimi.....	42
Şekil 1.27 Dalgakıran kafasının şeklinin oyulma derinliğine etkisi.....	43
Şekil 1.28 Atak açısının oyulma derinliğine etkisi.....	44
Şekil 1.29 Akıntının oyulma üzerine etkisi.....	44

Şekil 1.30 .....	47
Şekil 1.31 Görsel akış ve taban kayma gerilmesi deneyler için deney sistemi.....	49
Şekil 1.32 Oyulma deneyleri için deney sistemi .....	49
Şekil 1.33 .....	50
Şekil 1.34 Dalgakıran kafasında 3 boyutlu plunging tipi kırılmanın gelişimi .....	52
Şekil 1.35 Artiz vorteks boyutları ile KC sayısının değişimi.....	53
Şekil 1.36 Kararlı akımdan etkilenen oyulma ve yığılmanın zamanla değişimi .....	54
Şekil 1.37 Plunging tipi kırılma etkisinde oyulmanın zamanla gelişimi .....	54
Şekil 1.38 Denge halinde taban topoğrafyasının 3 boyutlu değişimi .....	55
Şekil 1.39 Denge halinde taban topoğrafyasının konturları.....	56
Şekil 1.40 Oyulma derinliğinin KC sayısı ile değişimi .....	57
Şekil 1.41 Yığılma derinliğinin KC sayısı ile değişimi .....	58
Şekil 1.42 Oyulma derinliğinin $T \sqrt{gH_s} / h$ ile değişimi.....	60
Şekil 1.43 Dalgakıran kafası etrafında oyulma ve yığılma bölgeleri .....	61
Şekil 1.44 Maksimum oyulma ve yığılma derinliklerinin yeri .....	62
Şekil 1.45 Oyulma ve yığılma derinlikleri.....	63
Şekil 1.46 Taban kayma gerilmesinin artmasına şev eğiminin etkisi.....	64
Şekil 1.47 Koni durumunda oyulma derinliği.....	65
Şekil 1.48 Koruma tabakası genişliğinin bir fonksiyonu olarak dalgakıran kafası önünde maksimum oyulma derinliği .....	66
Şekil 1.49 Koruma tabakasının genişliği .....	67
Şekil 2.1 Deney sisteminin genel görünümü .....	70
Şekil 2.2 Deney sistemi.....	71
Şekil 2.3a Deney sisteminden bir görünüş.....	72
Şekil 2.3b Kıyı duvarının boyutları .....	73
Şekil 2.4 Dalga probunun genel görünümü .....	73
Şekil 2.5 Dalga ölçümünün genel şeması .....	74
Şekil 2.6 Dokunma duyarlı iki boyutlu profil kaydedici genel şeması.....	75
Şekil 2.7 Profil kaydedici probunun detayı.....	75
Şekil 2.8 HR Wallingford dokunma duyarlı iki boyutlu profil kaydedici genel görünümü .....	76
Şekil 2.9 Limnometre .....	77
Şekil 2.10 Düşey duvarın kafası etrafındaki oyulma çukuru ölçüm konumları.....	80

Şekil 2.11 $T=1.22$ s için kalibrasyon deneyi sonuçları.....	80
Şekil 3.1 Tipik fırtına profilleri.....	85-88
Şekil 3.2 Düşey duvarın kafası etrafındaki kırılan dalga şartları için taban morfolojisi .....	89-93
Şekil 3.3 Düşey duvarın kafası etrafındaki kırılmayan dalga şartları için taban morfolojisi.....	94-99
Şekil 3.5 Kırılmayan dalga şartları için $S/B$ 'nin $KC$ ile değişimi (Sümer ve Fredsøe ile birlikte değerlendirme).....	101
Şekil 3.6 Kırılan dalga koşulları için $S/H_0$ ile Periyot Parametresinin ( $T^*$ ) değişimi .....	102
Şekil 3.7 Bütün dalga şartları için $S/B$ 'nin Ursell Parametresi İle değişimi.....	102



## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Belirlenen dalgalara ait özellikler .....	78
Çizelge 2.2 .....	79
Çizelge 2.3 Etkili parametreler.....	82
Çizelge 2.4 Oyulmaya etkili parametrelerin boyutları .....	82
Çizelge 2.5 Oyulma için boyutsuz parametreler .....	83



## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen ve tezimin bütün safhalarında göstermiş olduğu bilimsel katkılarından her zaman yararlandığım çok kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Yeşim Çelikoğlu'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince desteğiyle birlikte görüş ve tavsiyelerinden de faydalandığım hocam Sayın Prof. Dr. Yalçın Yüksel'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Hidrolik ve Kıyı-Liman Laboratuvarındaki çalışmalarım süresince, yardımlarından dolayı Hidrolik Anabilim Dalı elemanlarına teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, desteklerinden dolayı YTÜ Araştırma Fonu Başkanlığına teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca gösterdikleri destekten dolayı aileme ve Hidrolik Anabilim Dalı'ndaki görevli diğer hocalarıma teşekkür ederim.

İhsan SALAR

Aralık, 2001



## ÖZET

Bu çalışmada eğimli bir tabanda düzenli dalga etkisinde düşey yüzlü bir dalgakıran kafasındaki oyulma olayı deneysel olarak araştırılmıştır. Düşey yüzlü dalgakıranın kafası etrafındaki taban akımının anlaşılması son derece önemlidir. Düşey yüzlü dalgakıran etrafında oluşan oyulma olayı; yapının stabilitesinin azalması nedeniyle hasara uğraması, yapının önündeki dalga ve akım şartlarının değişmesi gibi bir takım problemlere yol açabilir.

Yapılan çalışmada oyulmaya etkili iki mekanizma vardır. bunlardan birincisi düşey yüzlü duvarın kafasında dalgaların neden olduğu akım, ikincisi ise kafada yerel plunging tipi kırılmanın oluşmasıdır.

Düşey duvarın kafa çapına dayanan Keulegan-Carpenter sayısı dalgaların neden olduğu akımın oluşturduğu oyulmadaki ana parametre iken, periyot parametresi  $T^*$  ise kırılmanın neden olduğu oyulmayı temsil etmektedir.

Deneylerle kıyı profilleri ve düşey duvar etrafında oluşan taban morfolojisi belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Kıyı, Kıyı Profili, Hareketli Taban, Düşey Duvar

## **ABSTRACT**

In this study, scour around the head of a vertical wall in a sloping bed was investigated experimentally, by using regular waves. It's very important to understand the near-bed flow around the head of a vertical wall. Because the scour process around the vertical wall causes many problems such conditions in front of structure.

In the study there are two effects responsible for the scour around the head of vertical wall. These are (1) the wave induced steady-streaming around the head an (2) the occurrence of a local plunging breaker at the head.

The Keulegan-Carpenter number based on the head diameter of the vertical wall appears to be the main governing parameter regarding the streaming induced scour while the period parameter,  $T^*$  appears to be the main governing parameter regarding the breaker induced scour.

By experiments the beach profiles and the bed morphology around the vertical wall were determined. Results are examined at the end of this study.

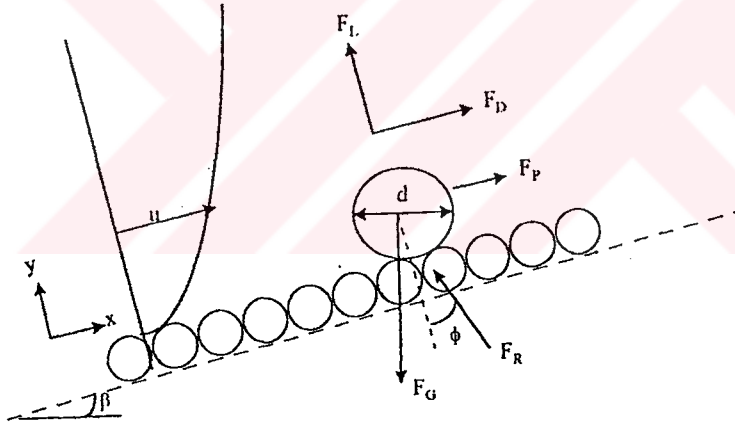
**Keywords :** Beach, Beach Profile, Movable Bed, Vertical Wall

## 1. GİRİŞ

### 1.1 Kıyılarda Katı Madde Hareketi

#### 1.1.1 Dalga Etkisinde Katı Madde Taşınımı

Bir tanenin harekete geçmesi, bu taneyi etkileyen kuvvetlerin büyüklüğüne bağlıdır. Tanenin etkisi altında olduğu bu kuvvetler nedeniyle ilk harekete başladığı duruma kritik durum adı verilir. Akım içindeki taneye etki eden hidrodinamik kuvvetler, taneyi yerinde tutmaya çalışan direnç kuvvetlerini (ağırlık vb.) aştıklarında tane harekete başlar. Bu duruma kritik şartlar ve bu durumdaki hidrodinamik kuvvetlere de kritik kuvvetler adı verilir. Akım içindeki taneye etki eden kuvvetler şunlardır (Raudkivi, 1990; Nielsen, 1992; Yüksel vd., 1998)



Şekil 1.1 Küresel bir tane üzerine etkiyen kuvvetler (Raudkivi, 1990)

1- Ağırlık Kuvveti ( $F_G$ ):

$$F_G = \frac{\pi d^3}{6} (\gamma_s - \gamma_w) \quad (1.1)$$

burada  $\pi d^3/6$  tane hacmi,  $\gamma_s$  katı madde özgül ağırlığı,  $\gamma_w$  suyun özgül ağırlığı,  $d$  tanenin karakteristik çapıdır.

## 2- Hidrodinamik Direnç Kuvveti ( $F_D$ ):

Viskoz veya türbülanslı akıma maruz kalan bir tane direnç kuvvetlerini de hissetmektedir. Direnç kuvvetleri ikiye ayrılmaktadır.

### a) Şekil direnci:

$$F_{D,F} = c_F \frac{1}{2} \rho \frac{\pi d^2}{4} u|u| \quad (1.2)$$

burada  $\pi d^2/4$  kesit alanı,  $\rho$  suyun özgül kütlesi,  $u$  tane seviyesindeki akım hızı,  $C_F$  şekil direnci katsayısıdır.

### b) Sürtünme direnci:

$$F_{D,S} = c_s \rho d^2 u|u| \quad (1.3)$$

burada  $c_s$  sürtünme direnci katsayısıdır. Bu iki kuvvetin bileşkesi olan direnç kuvveti

$$F_D = c_D \frac{1}{2} \rho \frac{\pi d^2}{4} u|u| \quad (1.4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $c_D$ , katı madde şekline ve Reynolds sayısına ( $Re=|u|d/\nu$ ) bağlı olan direnç katsayısıdır.

### 3- Hidrodinamik Kaldırma kuvveti ( $F_L$ ) :

Kaldırma kuvveti akışkan partiküllerinin hızının karesiyle doğru, yörüngesel hareketin yarıçapı ile ters orantılıdır. Bu durumda yörüngesel hareketin tane çapı ile aynı mertebede olduğu kabul edilmektedir.  $d^3$  hacmine sahip katı madde tanesine etkiyen hidrodinamik kaldırma kuvveti şu şekilde ifade edilebilir.

$$F_L = c_L \rho \frac{u^2}{d} d^3 = c_L \rho u^2 d^2 \quad (1.5)$$

burada  $c_L$  kaldırma kuvveti katsayısıdır.

### 4- Ek su kütlesi ( $F_A$ ):

Tek yönlü kararlı akım haline göre salınımlı akımın sahip olduğu kararsız akım yapısından kaynaklanan ek su kütlesi dikkate alınmalıdır. Yani tanenin hareketiyle birlikte tanenin etrafındaki bir miktar akışkan kütlelerinin de ivmelenmesinden dolayı ek bir atalet etkisi oluşmaktadır.

$$F_A = c_A \rho \frac{\pi d^3}{6} \frac{du}{dt} \quad (1.6)$$

Burada  $c_A$  ek su kütlesi katsayısı tane biçimine ve cidara olan yakınlığa bağlıdır,  $du/dt$  ise yörüngesel hareketin ivmesini göstermektedir.

5- Basınç kuvveti ( $F_P$ ):

Dalga etkisiyle akışkan akımının  $du/dt$  ivmesiyle hareket etmesinden dolayı basınç gradyanında doğan değişim, yani anlık basınç gradyanı nedeniyle taneye etkiyen kuvvettir. Bu kuvvet yer değiştiren akışkanın atalet kuvvetiyle orantılıdır.

$$F_P = \frac{\pi d^3}{6} \rho \frac{du}{dt} \quad (1.7)$$

6- Atalet kuvveti ( $F_M$ ):

Bu kuvvet tane üzerine etkiyen bütün dış kuvvetlerin (ağırlık, direnç ve kaldırma) bileşkesine eşit ve zıt yöndedir. Atalet kuvveti ivmeli akışkan akımının neden olduğu ek su kütlesi ve anlık basınç kuvvetinin toplamından ibarettir. Burada  $(1+c_A)$  toplamı  $c_M$  atalet katsayısı olarak isimlendirildiğinde atalet kuvveti

$$F_M = c_M \rho \frac{\pi d^3}{6} \frac{du}{dt} \quad (1.8)$$

şeklinde ifade edilir.

7- Reaksiyon kuvveti ( $F_R$ ):

Tabandaki her bir tanenin değme noktasındaki reaksiyon kuvvetidir. Lineer dalga teorisi yaklaşımı yapılarak,  $u=A\omega\sin\omega t$  yörüngesel akım hızına sahip dalga etkisindeki bir tane için atalet kuvveti

$$F_M = c_M \rho \frac{\pi d^3}{6} A \omega^2 \cos \omega t \quad (1.9)$$

şeklinde yazılabilir. Burada A yörüngesel hareketin genliği,  $\omega$  açısal frekans, t zamandır. Aynı şekilde direnç kuvveti de

$$F_D = c_D \frac{\rho}{2} \frac{\pi d^2}{4} A \omega \sin \omega t |A \omega \sin \omega t| \quad (1.10)$$

hareketin başlangıcı için faz açısının  $90^\circ$  olması durumunda direnç kuvveti etkin olmakta buna karşın faz açısının  $0^\circ$  olması halinde ise atalet kuvveti etkin olmaktadır. Bu durumda dalga etkisindeki bir taneye etki eden atalet ve direnç kuvvetlerini, mukayese etmek amacıyla oranladığımızda (Nielsen, 1992)

$$\frac{F_M}{F_D} = \frac{\rho \frac{\pi}{6} d^3 c_M A \omega^2}{\frac{1}{2} \rho \frac{\pi}{4} d^2 c_D A^2 \omega^2} = \frac{4 c_M d}{3 c_D A} \quad (1.11)$$

elde edilir. Görüldüğü gibi bu oran  $d/A$  ile orantılıdır. Burada  $d/A$  oranı Keulegan Carpenter (KC) sayısını karakterize etmektedir. Yani iki kuvvetin etkisi KC sayısı ile değişmektedir.

Tane çapı 0.5 mm'den küçük olan taneler (orta büyüklükte kum ve ince malzeme) harekete başladığında sınır tabakası içindeki rejimin laminer kaldığı belirlenmiştir. Tane çapının 0.5 mm'den büyük olduğu malzeme (kaba kum ve iri tane) için Re sayısı artmaktadır. Sonuç olarak 0.5 mm tane çapının kritik bir değer olduğu ve tek yönlü akım için tanımlanan Shields diyagramında tane çapına bağlı benzer açıklamaların bu hal için de geçerli olabileceği belirtilmektedir. Bunun nedeni küçük çaplı taneler için malzemenin viskoz alt tabaka içine gömülmesiyle oluşan "hidrolik cilalı cidar"ın altındaki ince malzemenin hareketi, viskoz kuvvetlerin etkisiyle oluşmasındandır. Büyük çaplı malzemede ise sınır tabakasının dışına

taşan tanelerin etrafını küçük çevrıntiler kaplamaktadır. Böylece tanenin alt ve üst kısmındaki basınç farkları tane hareketini sağlayan bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır (Ünal, 1996).

Bu durumda dalga etkisinde bir katı madde tanesi üzerine etkiyen akışkan kuvvetlerini ölçmek için boyutsuz hareketlilik parametresi tanımlanmıştır. Dalga etkisindeki kum taneler ( $d \sim 0.2$  mm) için, Keulegan Carpenter sayısı ( $d/A$ ) çok küçüktür. Bu nedenle direnç kuvvetinde basınç kuvveti hakim olmaktadır. Bundan dolayı tabandaki bir kum tanesi üzerine etkiyen toplam tedirgin edici kuvvet yaklaşık olarak yörüngesel hızın genliğinin ( $A\omega$ ) karesiyle orantılıdır. Hareketlilik parametresi şu şekilde ifade edilmiştir.

$$\Psi = \frac{(A\omega)^2}{(s-1)gd} \quad (1.12)$$

burada  $s (= \rho_s/\rho)$  yoğunluk,  $\rho_s$  katı madde özgül kütleleridir.

Kararlı akımda katı madde hareketinin başlangıcının incelenmesi için tabandaki kum taneler üzerine etkiyen kuvvetler arasındaki dengenin farklı bir yorumu da Shields (1936) tarafından verilmiştir.

$$\theta = \frac{\bar{\tau}_{(0)}}{\rho(s-1)gd} = \frac{u_*^2}{(s-1)gd} \quad (1.13)$$

Burada  $\theta$  Shields parametresi olarak bilinmektedir. Bu parametre özellikle kararlı akım için uygundur. Çünkü kararlı taban kayma gerilmesi  $\bar{\tau}_{(0)}$  ve dolayısıyla  $u_*$  kayma hızı kolayca ölçülebilmektedir.  $\bar{\tau}_{(0)} = \rho ghI$ ; burada  $h$  akım derinliği,  $I$  hidrolik gradyandır.

Benzer düşünce ile dalga hareketi için Shields parametresi (toplam kayma gerilmesine karşılık gelen) genellikle pik taban kayma gerilmesi dikkate alınarak tanımlanmıştır (1.12 ve 1.13

denklemleri karşılaştırıldığında). O halde dalga etkisindeki bir tane için Shields parametresi

$$\theta = \frac{\hat{\tau}}{\rho(s-1)gd} = \frac{\frac{1}{2}f_w(A\omega)^2}{(s-1)gd} = \frac{1}{2}f_w\psi \quad (1.14)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $f_w$  dalga sürtünme katsayısı,  $\hat{\tau}$  pik taban kayma gerilmesidir.

Toplam taban kayma gerilmesi  $\tau$ , şekil direnci  $\tau''$  ve sürtünme direnci  $\tau'$  olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Katı madde taşınımı için bunların her birinin önemi oldukça farklıdır (Engelund ve Hansen 1972).

Şekil direnci taban şekillerinin menba ve mansapları arasında meydana gelen basınç farkından dolayı oluşur ve bu yüzeydeki katı madde tanelerinin bireysel olarak stabilitesini direkt etkilemez. Yüzey tanelerini tedirgin eden asıl etki genellikle sürtünme direncinden dolayıdır. Sürtünme direncine karşılık gelen Shields parametresi şöyle yazılır;

$$\theta' = \frac{\tau'}{\rho(s-1)gd} \quad (1.15)$$

Bu formül hareket eden katı madde konsantrasyonlarının büyüklüğü ve hareketin başlamasının belirlenmesi için sıkça kullanılmaktadır.  $\tau'$  katı madde taşınımı dolayısıyla efektif gerilme olarak da adlandırılmaktadır.

Taban düzlemse şekil direnci yoktur yani  $\tau''=\tau$  ve  $\theta'=\theta$  'dır. Düzlem taban halinde kararlı akımda olduğu gibi dalga hareketinde de sürtünmeden kaynaklanan taban direnci, sabit pürüzlü tabanlı akımlardakinden daha büyüktür. Bunun nedeni, tabana hareket eden kumlar tarafından akımdan tabana transfer edilen momentumdur. Bununla birlikte bu momentum transferini belirlemek oldukça zordur. Bundan dolayı dalga etkisindeki hareketli kumun üzerindeki sürtünme direncini hesaplamak için henüz kabul edilen bir metot yoktur. Diğer bir

deyişle hareketlilik parametresi  $\Psi$  katı madde hareketini ölçmek için yeterince uygun değildir. Çünkü problemin karmaşıklığından dolayı katı madde taneleri üzerinde dalgalar tarafından oluşturulan kuvvetin  $d/A$  oranına bağımlı olması ihmal edilmektedir. Bu nedenle katı madde hareketinin tane pürüzlülük Shields parametresi ile belirlenmesi Madsen ve Grant (1976) tarafından önerilmiştir ve bu yaklaşım iyi sonuçlar vermiştir. Engelund ve Hansen (1972) ve Nielsen (1979), medyanı  $d_{50}$  olan kumun düzlem tabandaki tane pürüzlülüğü için  $2.5d_{50}$  değerini kullanmışlardır ve buna karşılık gelen tane pürüzlülük Shields parametresini  $\theta_{2.5}$  olarak tanımlamışlardır.

$$\theta_{2.5} = \frac{\frac{1}{2} f_w \rho (A\omega)^2}{\rho(s-1)gd} = \frac{1}{2} f_{2.5} \Psi \quad (1.16)$$

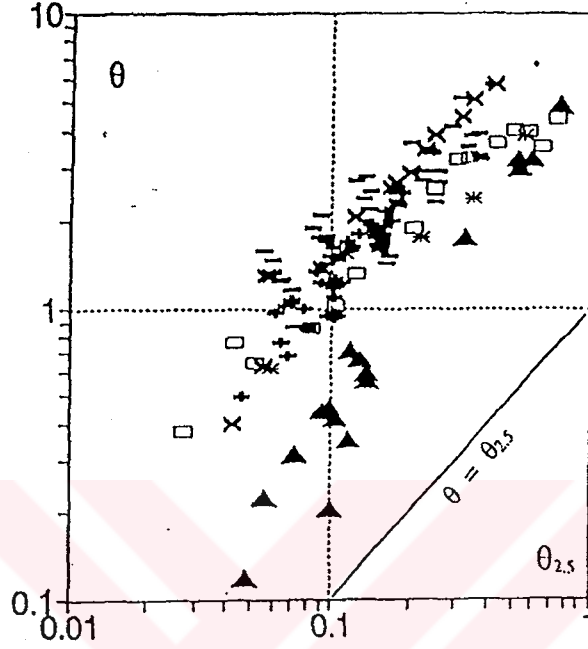
Burada tanımlanan bu özel tane pürüzlülük sürtünme faktörünün ( $f_{2.5}$ ) hesaplanması için Swarts'ın (1974) formülü esas alınabilir.

$$f_{2.5} = \exp \left[ 5.213 \left( \frac{2.5d_{50}}{A} \right)^{0.194} - 5.977 \right] \quad (1.17)$$

Salınımlı akım halinde düzlem kum taban ve kum dalgacıyla kaplı taban için  $\theta_{2.5}$  ve  $\theta$  arasındaki bağıntı Carstens vd. (1969) ve Lofquist (1986) tarafından Şekil 1.2'de verilmiştir. Veriler, kum dalgacı kaplı taban için olan  $\theta$ 'nın genel olarak  $\theta_{2.5}$ 'tan daha büyük olduğunu göstermektedir. Hareketli tabaka kalınlığının büyük olduğu ( $\theta_{2.5} \geq 0.3$ ) düzlem tabanlar için  $\theta$  ( $=\theta'$ ),  $\theta_{2.5}$ 'tan 5 misli daha büyüktür. Buna karşın hareketli tabaka kalınlığının daha az olduğu düzlem taban için  $\theta = \theta' = \theta_{2.5}$  olduğu belirtilmiştir.

Carstens vd (1969) ve Lofquist'in (1979) verileri düzlem kum taban hali için oldukça büyük enerji kaybının olduğunu gösterirken bu verilerin henüz katı madde taşınımı açısından tutarlılığı gösterilememiştir (Nielsen, 1992).

Taban eğimi  $\beta$  olan bir taban üzerindeki katı madde tanesinin stabilitesi incelendiğinde ise Şekil 1.3'den görüldüğü gibi tane hareketi geçiren hidrodinamik direnç kuvveti ile ağırlık kuvvetinin akım doğrultusundaki bileşeninin toplamı, stabilite kuvvetine (ağırlık kuvvetinin tabana normal bileşeni) eşit olduğunda tane harekete başlamaktadır (Van Rijn, 1993).



Şekil 1.2  $\theta_{2.5}$  ve  $\theta$  arasındaki bağıntı (Carstens vd., 1969 ve Lofquist, 1986)

Burada  $\Delta$  düzlem tabanı, diğerleri kum dalgacıklarıyla kaplanmış tabanı göstermektedir.

$$F_D + F_G \sin \beta = F_G \cos \beta \tan \phi \quad (1.18)$$

$$F_D = F_G \cos \beta \tan \phi - F_G \sin \beta \quad (1.19)$$

Yatay taban için stabilite bozucu hidrodinamik direnç kuvveti  $F_{D,0}$  ile gösterilirse basitçe aşağıdaki eşitlik yazılabilmektedir.

$$F_{D,0} = F_G \tan \phi \quad (1.20)$$

(1.19) ve (1.20) eşitliklerini birbirlerine oranladığımızda eğimli taban üzerindeki direnç kuvvetinin yatay taban üzerindeki direnç kuvveti ile olan ilişkisi aşağıdaki gibi görülmektedir.

$$\frac{F_D}{F_{D,0}} = \frac{F_G \cos\beta \tan\phi - F_G \sin\beta}{F_G \tan\phi} = \frac{\sin(\phi - \beta)}{\sin\phi} \quad (1.21)$$

veya

$$F_D = k_\beta F_{D,0} \quad (1.22)$$

burada;

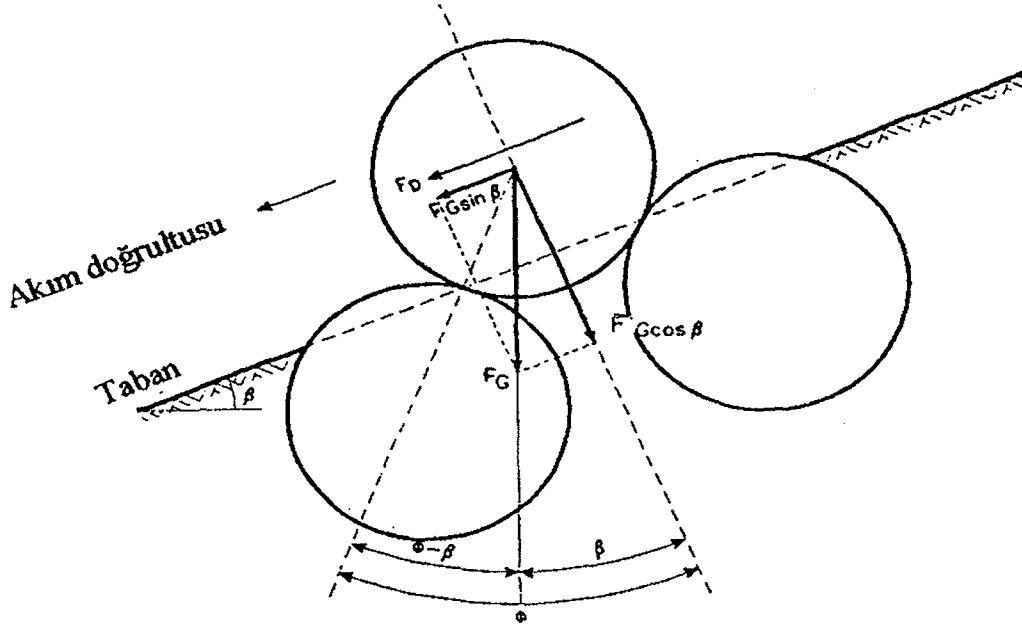
artan taban eğimi hali ( $k_\beta < 1$ )

$$k_\beta = \frac{\sin(\phi - \beta)}{\sin\phi}$$

azalan taban eğimi hali ( $k_\beta > 1$ )

$$k_\beta = \frac{\sin(\phi + \beta)}{\sin\phi}$$

şeklinde verilmiştir.



Şekil 1.3 Eğimli taban halinde bir katı madde tanesine etkili kuvvetler (Van Rijn, 1993)

## 1.1.2 Kıyıya dik katı madde hareketi ve kıyı profilleri

### 1.1.2.1 Açık deniz bölgesinde dalgalar tarafından oluşan katı madde taşınımı

Açık kıyı katı madde taşınımında ilk olarak dikkate alınan aktif ve aktif olmayan bölgenin tanımlanmasıdır. Aktif bölgelerde taban malzemesi dalgaların ve akıntılarının etkisiyle hareket etmeye başlamaktadır. Böylece aktif bölgenin açık kıyı tarafı taban malzemesi hareketinin başlangıç şartları altında elde edilebilir. Bu hareketin başladığı derinlik dalga iklimine katı madde karakteristiklerine ve dikkate alınan kıyı sisteminin büyüklüğüne bağlıdır.

Bu hareketin derinliği tabandaki dalgaların yörüngesel hareketi ile de ilişkilidir. CERC (1984) tabandaki maksimum taban yörüngesel hız  $u_{m(-h)}$  0.15 m/s'ye ulaştığı zaman ince ve orta kumun (0.2-0.6mm) başlangıç hareketinin başladığı görülmüştür.  $z=-h$  için yörüngesel hızın tabandaki maksimum değeri aşağıdaki denklemden hesaplanabilmektedir.

$$u_{m(-h)} = \frac{\pi H}{T} \frac{1}{\sinh 2\pi/h} \quad (1.23)$$

CERC (1984) denizde hangi derinlikte hareketin başlangıcının hesabını kolaylaştıran grafikler vermiştir.

Açık deniz katı madde taşınımında ikinci olarak göz önüne alınan katı madde taşınımının yönü ve büyüklüğüdür. Bu karmaşık ve günümüzde basit cevapları olmayan bir konudur. Katı madde taşınımı için Bagnold modelinde dalgaların deniz tabanındaki yörüngesel hareketi ile katı madde dalga etkisiyle hareketlendirilir ve dalga hareketi üzerine eklenen net akıntı yönünde taşınırlar. Bu gibi akıntılar; dalga etkisindeki kütle taşınımı akıntıları gel-git akıntıları ve rüzgarların oluşturduğu akıntılardan meydana gelmektedir. Bu olay aşağıdaki faktörlerle daha da karmaşık bir hal almaktadır.

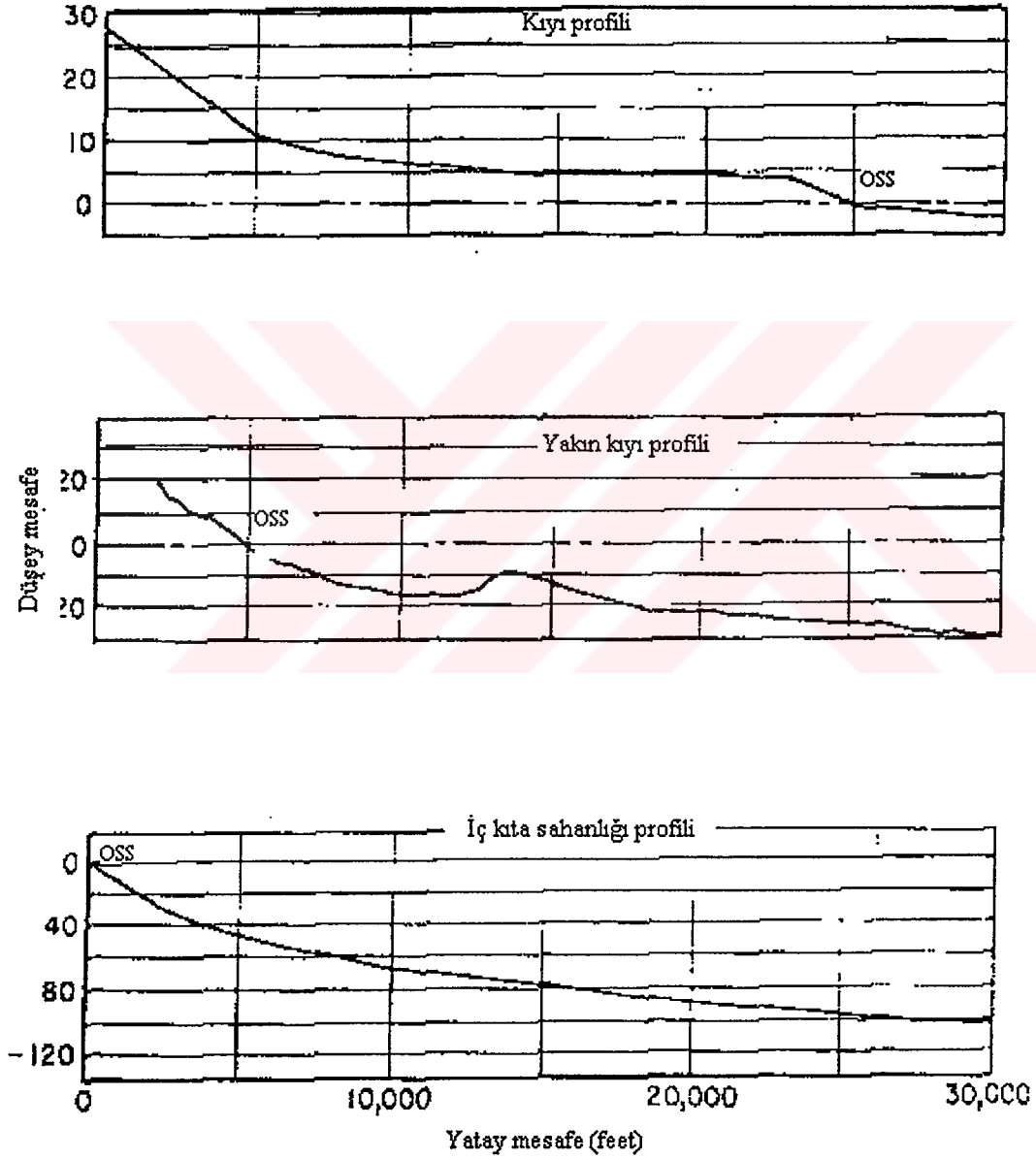
- Fark edilebilir bir taban eğimi varsa katı madde yörüngesel dalga hareketiyle bir kere rahatsız edildikten sonra yerçekimi etkisindeki eğim doğrultusunda hareket eder. Bu faktör için ortaya atılan teorilere göre, daha kaba tanelerin açığa ve incelerin ise kıyıya doğru hareket edeceği belirtilmektedir. Bu sonuç düzgün bir kıyı hali için laboratuarda doğrulanırken, doğadaki gözlemlerle yeterince uyumlu olmamaktadır.

- Tek yönlü superpose olmuş akıntı yapısı ile dalgaların oluşturduğu taban dalgacıkları ve rölatif olarak akıntı büyüklüğüne yörüngesel harekete, göreceli olarak kum dalgacığı ve katı madde boyutlarına bağlı olarak farklı yollarla yörüngesel hareket tarafından oluşturulan yerel eddylerle etkileşir.

Bu gibi durumlarda belirli şartlar altında açık deniz taşınımının yakın kıyı akıntısıyla meydana gelmesi mümkün olabilir. Doğada kaba malzemeler kırılma noktasında tabana doğru hareket ederler ve ince malzemeler ise açığa doğru askıda kalarak kapalı bir sistemde gerçek akışkan için kütle taşınım hızının düşey dağılımıyla birbirini tutarlar.

### 1.1.2.2 Kıyı profilleri

Bir kıyı çizgisinin esas özelliği, ilk olarak açık deniz-yakın kıyı katı madde taşınımı sonucunda oluşan profillerdir. Buna karşın böyle profillerde ölçek problemlerini de dikkate almak gerekmektedir. Şekil 1.4 aynı yerde ölçülen profilin üç farklı ölçekte olduğunu göstermektedir.



Şekil 1.4

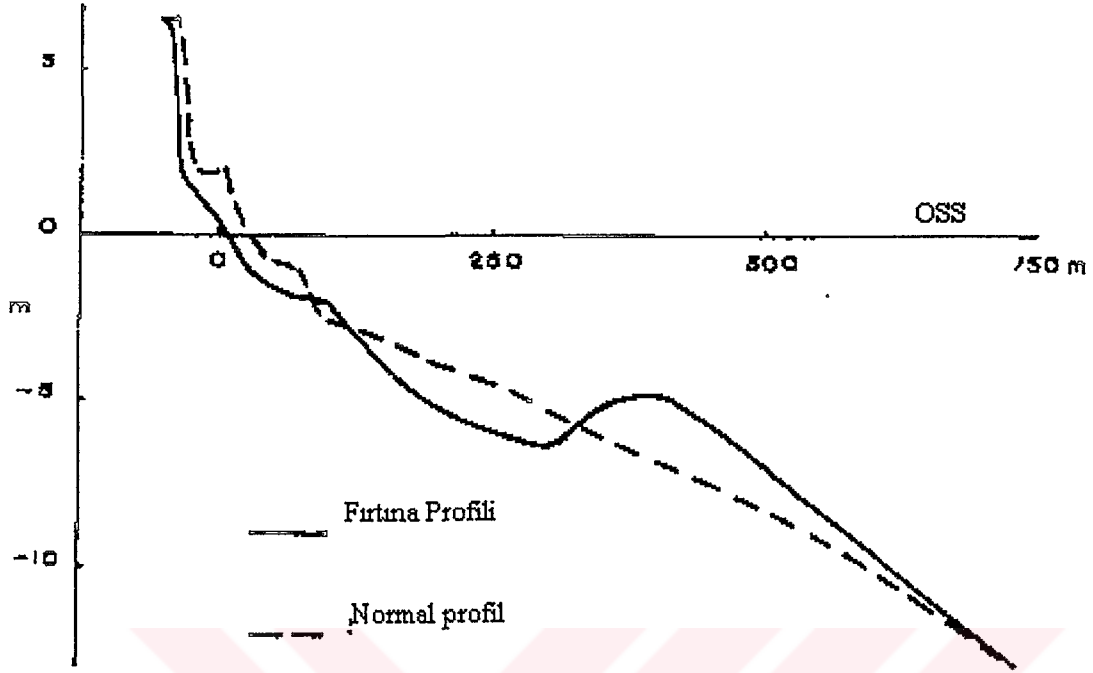
İlk olarak düşük gelgit seviyesinin üstündeki ön kıyı bölgesinde kıyı profili oluşmaktadır.

Profilin bu kısmı hem deniz hem hava hareketlerine maruz kalmaktadır. Bundan dolayı katı madde taşınımı hem dalga hem de rüzgar hareketine bağlıdır. En çok görülerek kolayca araştırılabilen ve rölatif olarak günlük ve mevsimlik değişimlere maruz kalan profilin bu kısmıdır. İkinci olarak kıyı profilini ve surf bölgesi içindeki su altı profilini içeren yakın kıyı profili oluşmaktadır. Kırılan dalgaların hareketinden dolayı profilin bu kısmı oluşmaktadır ve sonuç olarak kıyı erozyonu ve yığılmayı bu profil temsil etmektedir. Profilleri ölçmek zordur ve karakteristiklerini belirlemek her zaman kolay değildir. Üçüncü olarak kıyıda açığa uzanan iç kıta sahanlığı profili oluşmaktadır ve profilin bu kısmı dalga yörüngesel hareketi ve diğer faktörler tarafından oluşan katı madde taşınımına maruz kalmaktadır. Dalga sapması ve sığlaşma iç kıta sahanlığı profilinin deniz tarafının yakınlarında başlamaktadır.

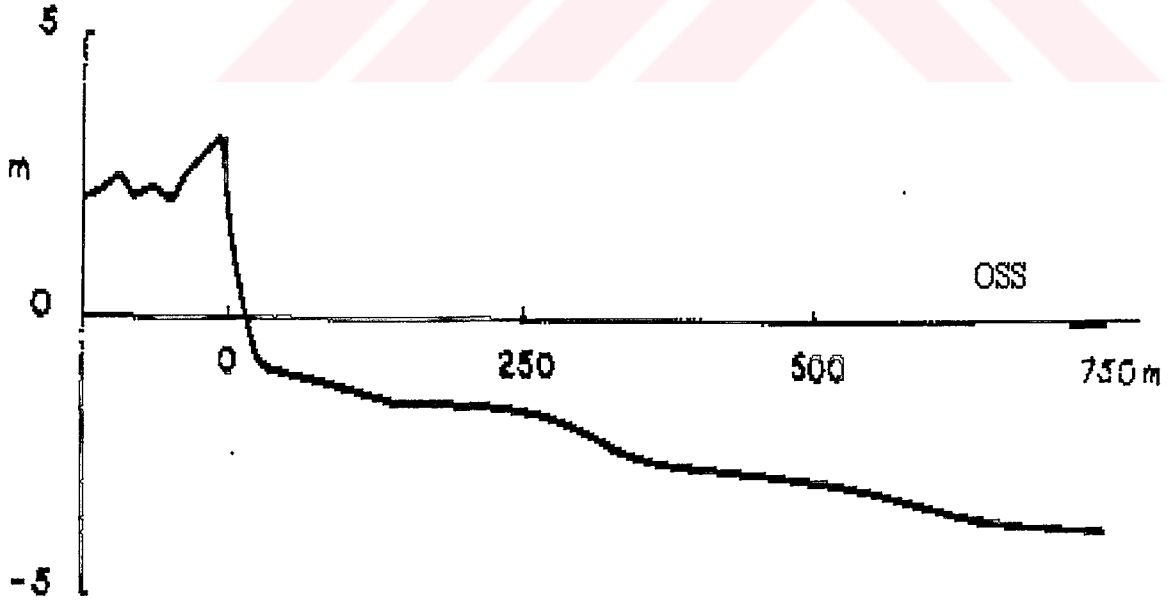
Bir kıyıda oluşan fırtına profili ve normal profil arasındaki fark belirgindir (Şekil 1.5). Bir fırtınadan önce kıyı üzerinde mevcut olan normal profil genellikle rölatif kum eşliğinin önündedir ve daha düzgündür. Kıyı genelde geniştir ve surf bölgesi içindeki su altında ve açıkta oluşan eşik küçüktür veya mevcut değildir. Fırtına profili ise dalgaların kırılmaya başladığı yerin yakınlarında büyük bir açık kıyı eşliğine sahiptir. İkinci olarak daha küçük bir kum eşliği kıyıya daha yakın bir bölgede yapılabilmektedir. Kıyı genel olarak düzdür ve kum eşliğinin denize doğru olan yüzeyi düşey bir erozyon yamacına sahip olabilmektedir.

Şekil 1.5a'da görülen kıyıda profillerde fırtına dalgası rölatif olarak büyük ve gelgit rölatif olarak küçüktür. Dalga hareketiyle karşılaştırıldığında rölatif olarak büyük olan gelgit dalgası durumunda fırtına öncesi normal kıyı profili oldukça farklı biçimdedir (Şekil 1.5b). Büyük kayalıklarla korunan kıyılarda yaygın olan bu durumda, düşük gelgit durumunda ortaya çıkan geniş düz bir alan ve ortalama su seviyesinin üstünde dik bir kıyı eğimi bulunmaktadır. Gelgit büyük olduğunda açık kıyı eşikleri genellikle kıyılarda çok önemli değildir. Diğer bir deyişle Akdeniz gibi etkin gelgitin olmadığı denizlerde eşikler çok iyi tanımlanabilmektedir.

Kıyı dalga iklimindeki değişimlerden etkilendiği için, kıyı ve yakın kıyı profilleri zamanla oldukça değişim göstermektedir. Hareketin genel periyodu şudur; ilk olarak eşik ve geniş bir kıyı oluşmasını sağlayan swell dalgasının yapıcı etkisi, daha sonra da kıyıyı ve kum eşliğinin erozyona uğratan fırtınaların yok edici etkisi oluşur (Şekil 1.6).

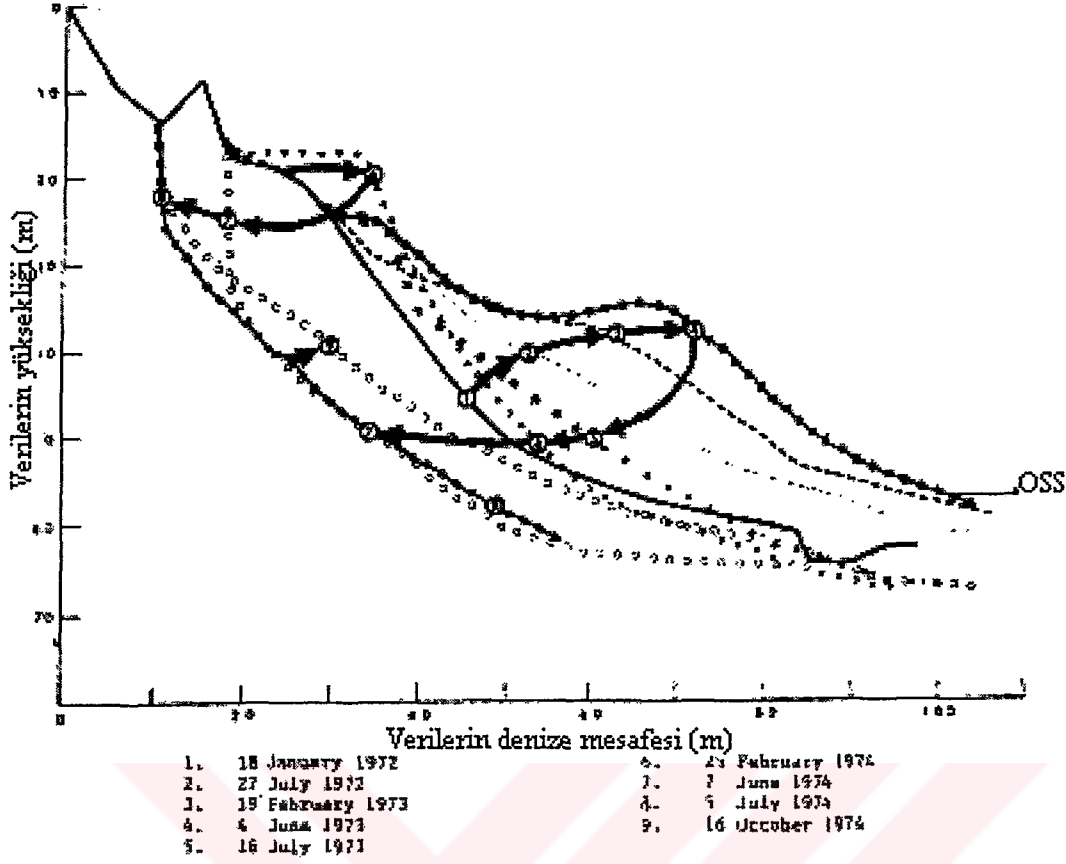


a) Broadbeach'de kıyı profilleri



(b) Machans kıyısı profili

Şekil 1.5



Şekil 1.6 Moruya'da kıyı profili değişimleri

Verilen dalga şartları kıyı üzerinde yeterince uzun bir süre etkiliyse, profil göreceli olarak sabit formda kabul edilmektedir. Bu denge profili gelen dalganın enerjisinin tamamen harcılandığını gösterir. Bu durumda profil boyunca herhangi bir noktada net katı madde taşınımı olmamaktadır. Mevcut bir profilin taşınımı dalgaların denge profilinden sapmaya neden olmasıyla meydana gelmektedir.

Denge kıyı profilinin formu aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- Karakteristik dalga yüksekliği ve periyodu ile tanımlanan dalga şartları. ( $H_{1/3}, T_p$ )
- Katı madde boyutu ve yerçikimi ivmesiyle tanımlanan kıyı malzemesi

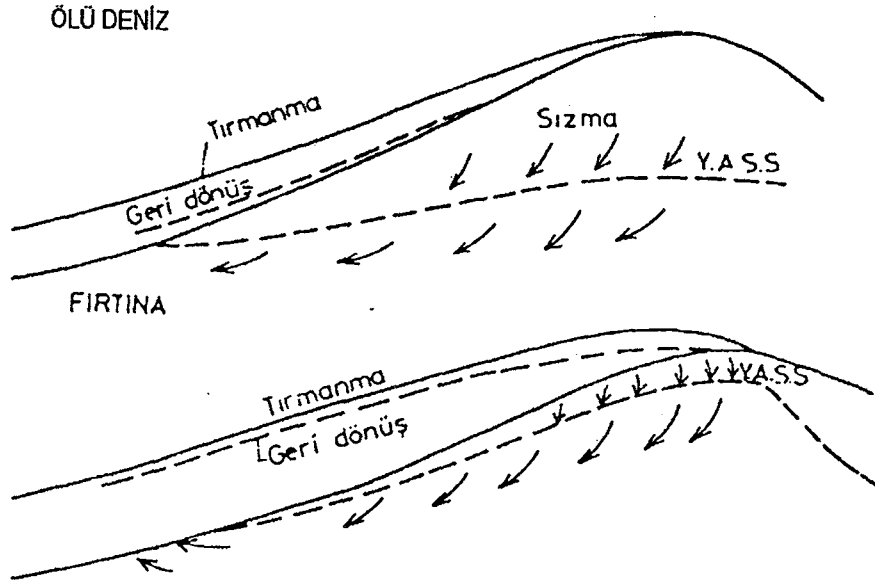
Kıyı malzemesinin etkisi, katı maddenin iki ana özelliği olan rölatif hareketliliğini ve permeabilitesini yansıtır (Gourlay 1980). Kıyı malzemesinin rölatif hareketliliği  $H_0/T_w$

parametresi ile ifade edilebilmektedir. Burada  $w$  katı maddenin çökelme hızıdır. Bu parametrenin büyük değerleri, büyük miktarda askı malzemesi ve kırılan dalgalar tarafından oluşturulan şiddetli hareketler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu sonuç fırtına tipi profillerde görülmektedir.  $H_0/T_w$ 'nin küçük değerleri ise tabana yakın katı madde hareketi ile elde edilir. Profil tipi normal profildir.  $H_0/T_w$ 'nin kritik değeri ise 1 mertebesindedir.

Kıyı malzemesinin geçirimsizliği katı madde taşımını iki şekilde etkiler. İlk olarak dalga tarafından oluşturulan taban dalgalarının (kum dalgacıklarının) formasyonunu etkiler. İkinci olarak ise ön kıyı bölgesindeki akımın hidrolik davranışını değiştirir. Geçirgen bir kıyı üzerinde tırmanan dalga kıyıda büyük miktarda absorbe edilir ve böylece geri dönen akımın büyük bir kısmı kıyı malzemesinin içinde gerçekleştiğinden geri dönüş rölatif olarak zayıf olur. Geri dönüş akımı tırmanan akımdan rölatif olarak daha zayıf ise, geri dönüş akımı tırmanan akımın karaya doğru getirdiği katı madde miktarını açığa doğru götüreceği için kıyı eğimi yeterince artana kadar kıyı malzemesi tırmanma çizgisine yığılacaktır. Böylece rölatif olarak kaba malzemeye sahip kıyılar genel olarak ince malzemeye sahip kıyılardan daha dik olurlar. Çünkü ince malzeme göreceli olarak daha geçirimsizdir. Bu ince malzemeye sahip büyük ölçekli kıyıların doğal kumdan daha büyük boyutlu hafif ağırlıklı malzeme kullanılarak laboratuarda neden başarılı bir şekilde modellenemeyeceğini açıklamaktadır.

Denge profilinin formunu ve kıyı stabilitesini etkileyen diğer faktörler ise rüzgar ve rüzgar tarafından oluşan akıntılardır. Katı madde taşımını işlemlerini modifiye etmek için diğer bir karmaşık yol ise dalga etkisinde oluşan akıntılarının etkileşimidir. Gerçekten güçlü kıyı rüzgarları estiğinde denge profiline ulaşmanın mümkün olmadığı açıkça görülmektedir. Aşırı yağış veya akışlarda kıyının arkasındaki su tabakası seviyesi yükselecektir. Bu seviye dalga kabarmasıyla oluşan dalga etkisindeki yeraltı su seviyesinden daha yüksekse tırmanma ve geri dönüş akımları arasındaki etkileşim değişecek ve stabil kıyı eğimi azalacaktır.

Yapılan deneysel çalışmalar ve deniz ölçümleri dalga koşullarına bağlı iki ana kıyı profili olduğunu göstermektedir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 Kıyı profilleri (Kabdaşlı, 1992)

a) Normal Profil:

Herhangi bir kıyı ele alındığında fırtınalı havalar dışında normal deniz koşullarında meydana gelen profile normal profil adı verilir. Normal profilin temel özelliği profilin orta bölgesinde bir basamağa sahip oluşudur. Normal kıyı profilinde kıyı çizgisi önünde dik bir eğim mevcuttur (Çelikoğlu, Y., 1998)

Genel olarak bir kıyıya bakıldığında bu kıyıya ulaşan dalgalar normal koşullarda uzun periyotlu ve nispeten küçük dalga yüksekliğine sahiptirler. Böyle bir dalga kıyı yakınlarında kırıldıktan sonra kıyı profili üzerinde tırmanır. Normal profil üzerinde tırmanan su kütlelerinin bir kısmı yeraltına sızar geriye bu yolla döner. Ayrıca kıyıya seyrek dalga ulaşımı dolayısıyla yeraltı su seviyesinde yükselme olmaz. Bunun sonucunda normal dalga koşullarında tırmanma sırasındaki su seviyesi ile geri dönüş sırasındaki su seviyeleri arasında oldukça önemli bir fark oluşur. Tırmanma sırasındaki büyük su kütlesi hareketi ile kıyıya doğru taşınan katı maddelerin bir kısmı zayıf dönüş akımı nedeniyle kıyıda kalır geri taşınmaz. Bu oluşum sonunda kıyıda yığılma meydana gelir (Şekil 1.7).

## b)Fırtına Profili

Fırtınalı havalarda oluşan profile fırtına profili veya kış profili adı verilir. Bu profilin en belirgin özelliği açık deniz tarafında oluşan bir kum tepesidir. Fırtına durumunda olaylar oldukça farklı meydana gelir. Dalga yüksekliklerinin artması ve periyotların küçülmesi dolayısıyla hem ortalama su seviyesinde, sakin su seviyesine göre büyük artış olması hem de kıyıya çok sık dalga gelmesi dolayısıyla derine büyük miktarda su sızması sonucu kıyıda yeraltı su seviyesi kısa zamanda taban yüzeyine kadar artış gösterir. Bu artış nedeniyle derine sızan su miktarı ihmal edilebilecek seviyelere iner ve tırmanma ve geri dönüş akımları arasındaki su seviyeleri hemen hemen hemen eşit hale gelir. Tırmanma sırasında kıyıya doğru katı madde taşınımından daha büyük miktarda geri dönüş sırasında açığa doğru taşınır. Çünkü tırmanma sırasında taşınım kıyı eğiminin tersine iken geri dönüş sırasında eğim yönündedir ve katı maddelerin kendi ağırlıkları taşınımı kolaylaştırır. Bunun sonucunda fırtına başlangıcından itibaren kısa bir süre içerisinde kıyıda hızlı bir erozyon meydana gelir. Kıyıdan açığa doğru çekilen katı maddeler bir noktada toplanmaya başlar. Bu noktaya dalga etkisi ile açıktan da katı madde gelmekte olduğundan burada katı maddeler bir tepe oluştururlar. Bu tepe oluşumu sonucunda daha önce kıyıya daha yakın kırılan dalgalar bu tepe üstünde kırılarak enerjilerini kaybetmeye başlarlar ve kıyıda erozyon sona erer (Şekil 1.7).

Sunamura ve Horikawa (1974) kıyı profilleri ile ilgili yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda derin su dalga dikliğine ( $H_0/L_0$ ), kıyı eğimine ( $s$ ) ve kıyıyı oluşturan katı maddenin granülometrik değişimine ( $d_{50}/L_0$ ) bağlı olarak kıyı profillerini üç ayrı grupta ifade etmişlerdir. Bunlar Şekil 1.8'de görüldüğü gibi normal profil, geçiş profili ve fırtına profili olarak belirtilmiştir. Bu profiller arasındaki geçiş değerleri ise aşağıdaki denklemlerle ifade edilmiştir.

$$\text{Normal profil } \frac{H_0}{L_0} \leq 4 s^{-0.27} (d_{50}/L_0)^{0.67} \quad (1.24)$$

$$\text{Geçiş profili } 4 s^{-0.27} (d_{50}/L_0)^{0.67} < \frac{H_0}{L_0} < 8 s^{-0.27} (d_{50}/L_0)^{0.67} \quad (1.25)$$

$$\text{Fırtına profili } \frac{H_0}{L_0} \geq 8 s^{-0.27} (d_{50}/L_0)^{0.67} \quad (1.26)$$

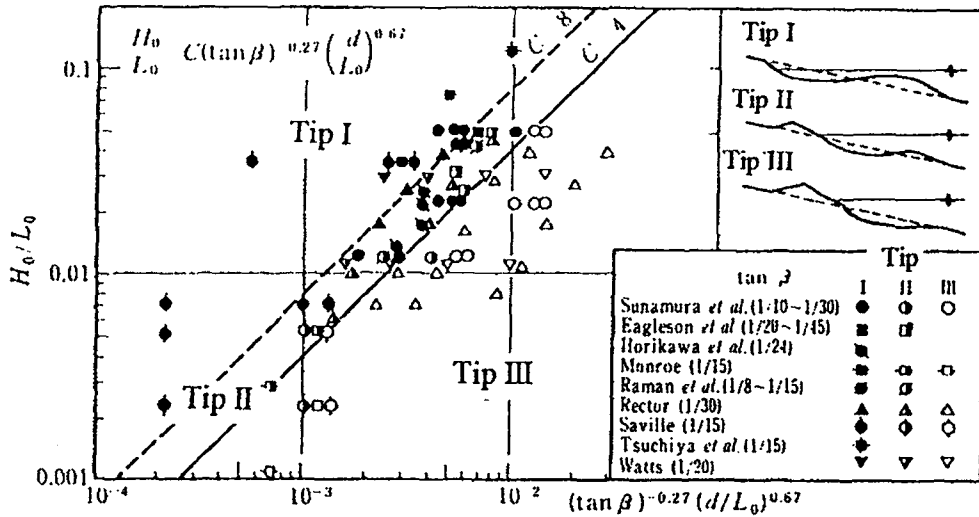
Bu ifadeler genel formda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{H_0}{L_0} = C s^{-0.27} (d_{50}/L_0)^{0.67} \quad (1.27)$$

burada C ampirik bir katsayıdır. C katsayısının aldığı değerlere göre şu şekilde sınıflandırma yapılmıştır.

Normal profil	$C \leq 4$
Geçiş profili	$8 > C > 4$
Fırtına profili	$C \geq 8$

Bu ifadelerden de görüldüğü gibi tam gelişmiş kıyı profili  $H_0/L_0$  dalga dikliği, s kıyı eğimi ve  $d_{50}/L_0$  granülometrik değişimle ayırt edilebilmektedir.



Şekil 1.8 Kıyı profilleri (Sunamura ve Horikawa, 1974)

Dean (1990) ise yine yapmış olduğu kıyı profilleri ile ilgili çalışmada taban malzemesinin granülometrik değişiminin oldukça etkili olduğunu göstermiştir.

Kıyı önünde şekillenen kıyı profili eşik yüksekliği ve kıyı eğimi olmak üzere iki büyüklükle tanımlanmıştır. Eşik yüksekliği dalga tırmanma sınırındır ve kıyıya tırmanan dalganın kırılma yüksekliği ile elde edilir. Orijinal kıyı eğimi dalgalar tarafından oluşturulan eğimden daha yatık ise eşik şekillenir. Tersine bir durumda ise erozyon oluşacaktır. Eşik yüksekliği kıyı üzerinde oluşan kırılma tipiyle değişmektedir. Surging tipi kırılan dalga durumunda eşik yüksekliği kırılan dalga yüksekliği ( $H_b$ ) ile artmaktadır (Bagnold 1940). Kırılma tipi plunging tipi olduğunda denge profili kendini öyle bir oluşturmaktadır ki rölatif olarak kırılma noktasında daha fazla enerji açığa çıkar. Sonuç olarak dalga tırmanması ve eşik yüksekliği azalır. Denge profili oluşumundan sonra daha büyük diklikli dalgalar meydana geldiğinde açıkta gelişen eşik ile kıyı rölatif olarak yatık bir konum alır. Spilling tipi kırılmada dalgalar enerjilerini tedrici olarak harcadıkları için daha küçük ve kıyıya yakın bir kırılma ile daha küçük bir tırmanma meydana gelmektedir.

Kıyı eğimini uygun bir şekilde tanımlamak gerekmektedir. Genellikle laboratuvar araştırmaları ile uyumlu olan arazi gözlemlerinden kıyı eğiminin kıyıdaki katı madde boyutuna ve dalga iklimine bağlı olduğu belirlenmiştir. Kıyı kaba malzemelerden oluşuyorsa kıyı eğimi daha diktir ve bu durumda kıyı daha iyi korunacaktır. Çok sert olmayan dalga ikliminde kıyı eğimi daha dik olmaktadır. Dalga şartlarının kıyı eğimi üzerindeki gerçek etkisini tanımlamak zordur. Ancak dalgaların boyutu ve dalga dikliği azaldığında kıyı eğiminin daha dik hale geldiği görülmektedir. Kıyı eğiminin dikliği dalga tırmanması ve geri dönüş akımının rölatif olarak şiddetine bağlıdır.

Sığ suda kırılma yüksekliği su derinliği ile orantılı olduğundan kıyıda değişen özelliklerin büyüklüğü dalga yüksekliğine bağlıdır. Su seviyesinin altındaki eşğin tepe noktasının derinliği ve eşğin kıyı çizgisinden uzaklığı kırılma yüksekliği ile artmaktadır. Böylece daha derin sularda büyük dalgalar küçük dalgalara göre büyük eşikler oluşturmaktadırlar.

Kıyıya dik katı madde taşınımını içeren pratik mühendislik hesaplamaları için kıyı profilinin

şeklini şematize etmek gerekmektedir. Bunu başarılı bir şekilde yapmak için kıyıya dik katı madde taşınımında önemli olan profil şeklindeki değişimler sürekli olarak izlenmelidir. Örneğin surf bölgesindeki profilin açık deniz profilinden daha farklı bir yapıya sahip olması beklenebilir. Sitarz (1963) arazi ve laboratuvar verilerini inceledikten sonra kıyı profillerini iki bölümde şematize etmiştir (Şekil 1.9a). Kırılma noktasının açığındaki profilin formunu aşağıdaki ifade ile vermiştir.

$$x = a y^2 \quad (1.28)$$

$$a = \frac{0,95}{(s-1)^{1/2} D H_0^{3/2}} \quad (1.29)$$

D (mm),  $H_0$  (m) birimleri ile verilmiştir.  $x'$  in başlangıç noktası kırılma noktasıdır.

Surf bölgesinin genişliğini ise aşağıdaki gibi vermiştir.

$$x = \frac{A H_0^{3/2}}{\sqrt{(s-1) D^{3/2}}} \quad (1.30)$$

Dalga kanalında  $A=43.5$

Dalga havuzunda  $A=67$

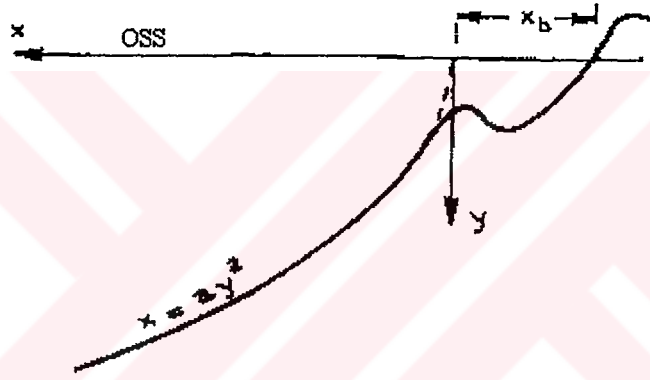
Edelman (1973) Hollanda kıyılarında çok sayıda fırtına profili için ölçümler yapmış ve Şekil 1.9b'de görüldüğü gibi kıyı profilinin surf bölgesindeki kısmını belirleyerek ve aşağıdaki ifadeyi vermiştir.

$$y + 0.90 = 0.415 \sqrt{x + 4.70} \quad (1.31)$$

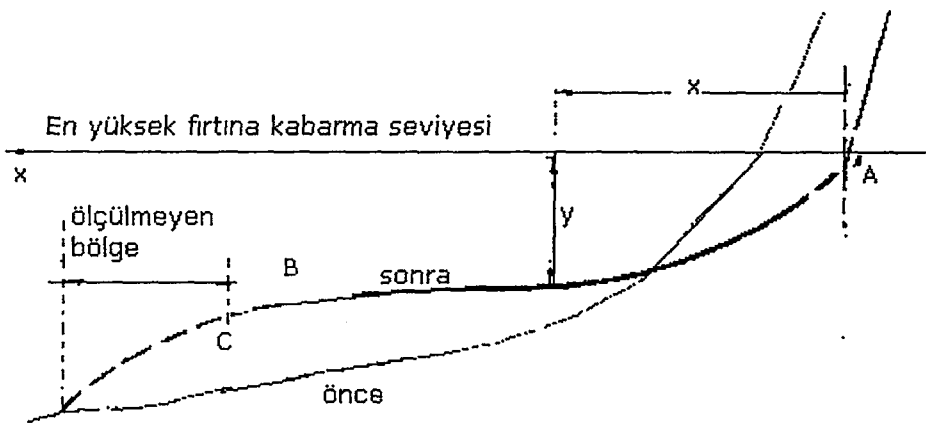
burada  $y$  en yüksek fırtınada kabarma seviyesinin derinliğidir (tırmanma yüksekliği dahildir);  $x$  ve  $y$  metre olarak ölçülmüştür.

Böyle bir profilin denize doğru olan genişliği kırılma noktasının konumu ile elde edilir. (1.31) denklemi fırtına sonrası profili tanımladığı için genelde surf bölgesinin genişliği bir fırtına sırasında oluşan maksimum dalgalar için meydana gelen profilin genişliğinden daha az olacaktır.

Swart (1974) denge kıyı profilleri için kapsamlı bir araştırma gerçekleştirmiştir.

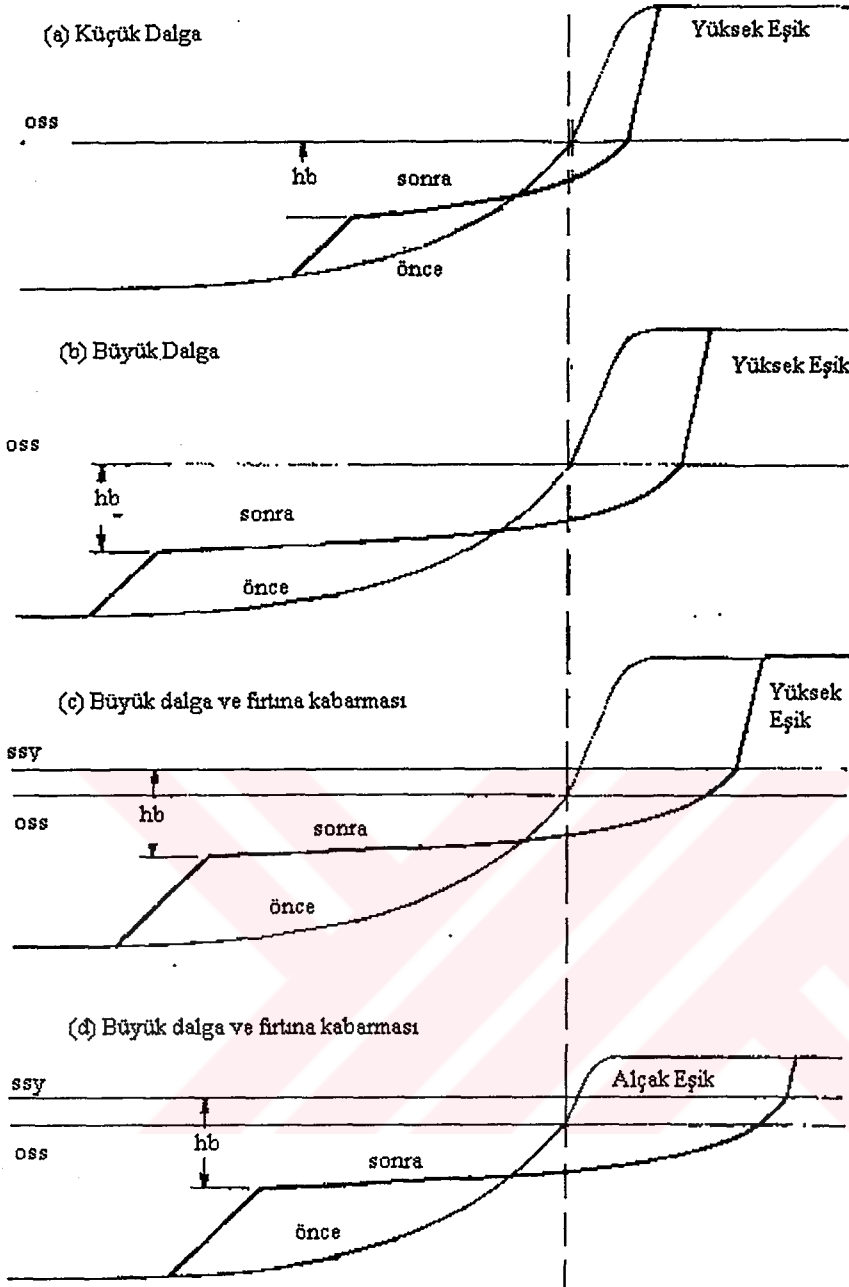


a) Sitarz kıyı profili



b) Edelman fırtına profili

Şekil 1.9



Şekil 1.10 Denge kıyı profilinden elde edilen kıyı erozyonu

Dalgaların neden olduğu denge konumuna ulaşmış kıyı profili mevcut profilden daha yatık olduğunda kıyı erozyonu ve buna bağlı olarak açığa doğru katı madde taşınımı oluşur (Şekil 1.10). Bu durumda kum ön ve arka kıyı bölgelerinden denize doğru yakın kıyı bölgesinde taşınır. (1.30) ve (1.31) denklemlerinin her ikisi de büyük dalgalarda daha uzun açık deniz denge profilini oluşturmak için daha büyük miktarda kum gerektirdiğini göstermektedir (Şekil 1.10a-b). Benzer şekilde, ortalama deniz seviyesi rüzgar gerilmeleri ve/veya fırtına kabarması tarafından artarsa açık deniz profilini oluşturmak için daha büyük miktarda kum gerekecektir (Şekil 1.10c).

Kıyı profili, fırtına profili ve fırtına öncesi profil arasındaki farka bağlı olan yeni şartlara uymaktadır. Pratikte şartlar çok çabuk değişmektedir, bir fırtına sırasında denge profiline asla ulaşamamaktadır. Bununla beraber kıyı çizgisinin çekilmesi hesaplarında, denge konumuna yaklaşan şartların korunacağı kabulü ile olası maksimum kıyı erozyonu büyüklüğünün tahmin edilmesinde ilave bir emniyet faktörü dikkate alınmaktadır.

### 1.1.3 Kıyı boyu katı madde hareketi

Genellikle katı madde hareketi kırılma hattı içinde olur. Kıyı boyu akımının doğrultusunda katı madde hareketi kıyı boyu katı madde taşınımı olarak isimlendirilir (Yüksel vd., 1998)

Dalgaların yaklaşım açısının değişimi sonucunda kıyı boyu katı madde taşınımı geçici olarak yön değiştirip ters doğrultuda meydana gelebilir. Bir zaman süresi içinde genellikle dalgaların yaklaşım açısı (atak açısı) tek bir doğrultuda etkindir.

Dalgakıran ve mahmuz gibi yapılar kıyı boyu katı madde taşınımına engel olurlar. Dalgakıranlar normalde dalga etkilerinden bir korunma alanı oluşturmak için kıyıya paralel inşa edilirler. Dalgakıranın arkasında sapma ve dönme etkilerinden dolayı dalgaların enerjisi azalmaktadır. Böylece bu korunma bölgesinde yığılma söz konusu olur.

Kıyıya bağlantılı olarak inşa edilen dalgakıranlar, bir bariyer etkisi yaparak kıyı boyunca kumsal bir bölgenin oluşmasına neden olurlar. Eğer kıyı boyu katı madde taşınımı denge konumunda ise inşa edilecek mendireğin burnunda yığılma mansabında katı madde taşınımı konsantrasyonundaki azalma dolayısıyla erozyon meydana gelecektir. Bir zaman süresi sonrasında katı madde hareketi tekrar denge durumuna ulaşacak ve mansapta yığılma başlayacaktır.

Belli bir süre taşınan katı madde miktarına kıyı boyu katı madde debisi denir. Uygulamada genellikle bir yıllık bir dönem göz önüne alınarak yıllık katı madde taşınım miktarının

belirlenmesine çalışılır. Yıl içinde değişik yönlerden gelen dalgalara göre hesaplanan kıyı boyu katı madde debileri birbirlerine çok farklı olduklarından, net katı madde taşınımı kıyıdan açık denize bakılarak sağ ve sol taraf tanımları yapıldığında

$$Q_{net} = \mu (Q_{sağ\ sol} - Q_{sol\ sağ}) \quad (1.32)$$

olarak ifade edilebilir. Pozitif debi, katı maddenin sağdan sola, negatif debi ise katı maddenin soldan sağa taşındığını gösterir. Böylece yığılma ve erozyon belirlenerek kıyının yapısı elde edilmiş olur. Göz önüne alınan kıyıda, kıyı boyu katı madde hareketine katılan katı maddenin miktarı toplam kıyı boyu katı madde taşınımı olarak adlandırılır.

$$Q_{top} = Q_{sağ\ sol} + Q_{sol\ sağ} \quad (1.33)$$

Toplam katı madde taşınımının büyüklüğü o kıyıdaki deniz tabanının hareketliliğini karakteriz eder çünkü  $Q_{net}$  sıfır olsa bile  $Q_{top}$ 'ın büyük olması o kıyıda kıyı yapıları açısından şiddetli bir katı madde hareketinin söz konusu olduğunu gösterir (Yüksel vd., 1998)

## 1.2 Dalgakıranlar Etrafındaki Yerel Taban Hareketi

### 1.2.1 Düşey yüzlü dalgakıranlar

Dalgakıran hasar analizinin yetersizliği, dalgakıran tasarımı için dalgakıran etrafındaki oyulma olayından daha temel bilgilere ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

İki boyutlu hal için düşey yüzlü dalgakıranın önündeki oyulma dalgaların dalgakırana bir açıyla gelmesi durumunda De Best vd. (1971), Xie (1981, 1985), İrie ve Nadaoka (1984) ve Hughes ve Fowler (1991) tarafından araştırılmıştır. Bu durumda esas mekanizma duran dalgaların hareketidir.

Düşey yüzlü dalgakıranın kafası etrafındaki oyulma mekanizması, iki boyutlu durumdan farklıdır. Üç boyutlu akım alanına sahip dalgakıranın kafa bölgesindeki vortekslerin ayrılması oyulma işlemlerinde önemli rol oynamaktadır.

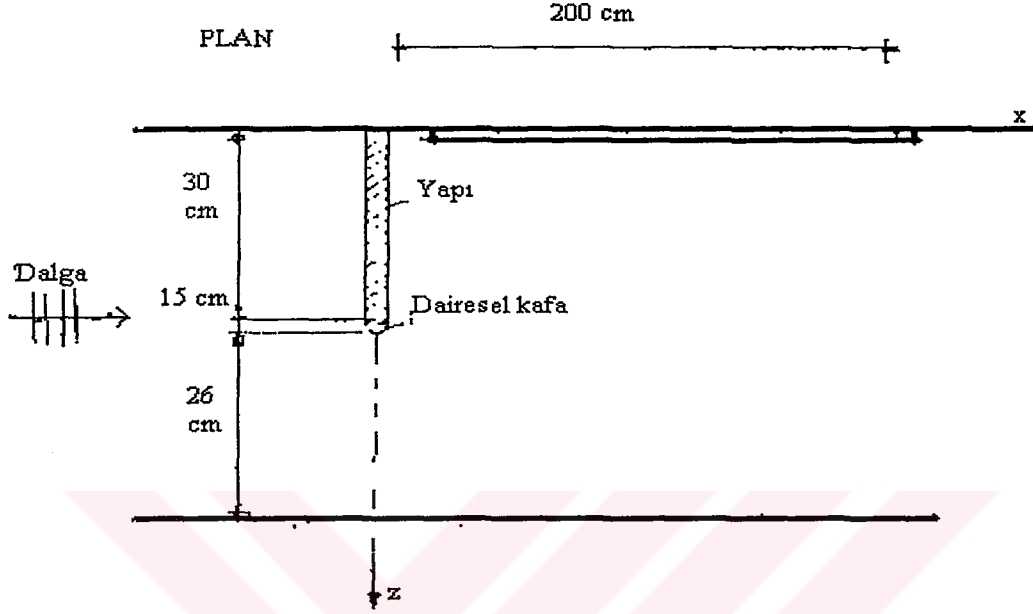
Yaklaşan akımın dönmesinden dolayı dalgakıranın önünde şekillenen at nalı vorteks dalga iklimi çok sert olduğunda veya dalgakırana dik akıntı bileşeni olduğunda daha önemli olabilmektedir. İki boyutlu oyulmaya ait çalışmalar yapılmış olmasına rağmen düşey yüzlü dalgakıranın kafası etrafındaki üç boyutlu oyulma ile ilgili yeterli çalışma yoktur.

Son zamanlarda, açık deniz ve kıyı yapıları etrafındaki oyulma bölgesi ile ilgili oldukça fazla bilgi elde edilmiştir (Herbich vd., 1984; Sümer vd., 1992). Bir kazık etrafındaki oyulma işlemi ile dalgakıran kafası etrafındaki oyulma işlemi arasında benzerlikler bulunmaktadır. Artiz vorteks sistemi veya at nalı vorteks sistemi veya her ikisi de akıma bağlı olarak oyulmaya neden olmaktadır. Bununla birlikte bu iki durum bazı yönlerden birbirinden farklıdır. Kazık durumunda artiz vorteksleri yapının iki tarafında şekillenmektedir ve oldukça güçlü bir şekilde birbirleri ile etkileşmektedirler. Aynı şekilde at nalı vorteks küçük genişlikli kazıklarda daha etkilidir. Oysa dalgakıran olması durumunda artiz vorteks dalgakıranın kafasında şekillenmektedir ve dalgaların her bir yarım periyodunda sadece bir vorteks oluşmaktadır. At nalı vorteks ise dalgakıran uzunluğunun oldukça büyük olmasından etkilenmektedir. Bu faktörler kazıklar etrafındaki oyulma işleminin dalgakıran etrafındaki oyulmadan farklı olacağını göstermektedir.

Sümer ve Fredsøe (1997)'nin bu yaptıkları çalışmanın amacı kazıklar ve düşey yüzlü dalgakıran kafası etrafındaki oyulma ile ilgili önceden yapılmış çalışmaları da kullanarak, düşey yüzlü dalgakıran kafası etrafındaki oyulma mekanizması hakkında daha fazla bilgi edinmek ve modellemektir.

Sümer ve Fredsøe (1997) düşey dalgakıran kafası etrafındaki oyulma olayı ile ilgili olarak deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Deneyler 0.6 m genişliğinde, 0.8 m derinliğinde ve 26.5 m uzunluğunda bir dalga kanalında düzenli dalgalar kullanılarak yapılmıştır. Deney sistemi Şekil 1.11’de görülmektedir. Dalga üreticiden 13 m mesafede yerleştirilen model yapı 31.5 cm uzunluğunda, 3 cm genişliğinde ve 61 cm yüksekliğinde dairesel kafaya sahip yüzeyli bir duvardır.



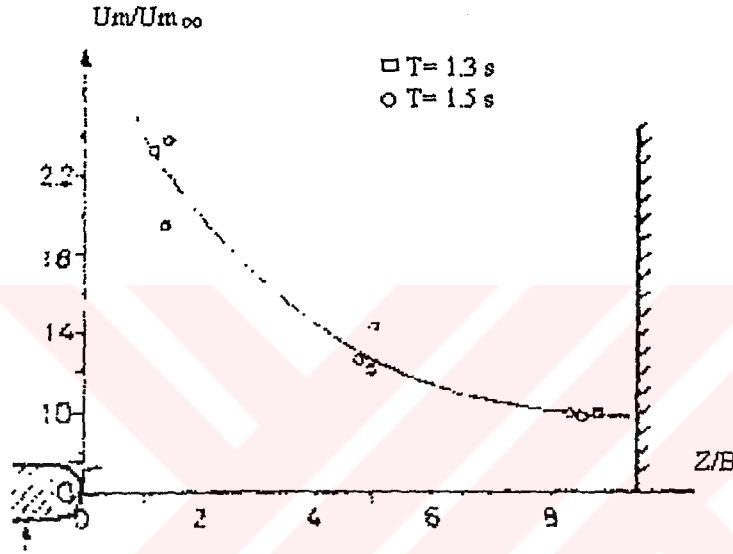
Şekil 1.11 Deney sistemi

Deneylerde hidrojen buble tekniği kullanılmıştır. İki adet 30 cm uzunluğunda 0.05 mm çapında tel tabandan  $y=3$  mm düşey mesafede akıma dik doğrultuda yerleştirilmiştir. Modelin yan duvarlarından 1 cm uzaklıktaki tellerden biri modelin menba tarafına diğeri de mansap tarafına konulmuştur.

Akımın video kaydı için mini sualtı kamerası kullanılmıştır. KC sayısı 0-15 arasında değiştirilmiştir. KC sayısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$KC = \frac{u_m T}{B} \quad (1.34)$$

burada  $u_m$  yapının yerleştirildiği yerde tabandaki akışkan partiküllerinin yörüngesel hızının maksimum değeri,  $T$  dalga periyodu ve  $B$  yapının kafa çapıdır (Şekil 1.11). Hızlar DANTEC Laser Doppler Anemometer kullanılarak ölçülmüştür. Şekil 1.11'den görüldüğü gibi hız ölçümleri tabandan  $y=1$  cm uzakta ve yapının menbasından 5 cm mesafede yapılmıştır. Aynı zamanda hız profil ölçümleri kanalın yan duvarı ile yapının kafası arasındaki mesafe boyunca akıma dik doğrultu boyunca tabandan  $y=2$  cm mesafede yapılmıştır (Şekil 1.12). Şekil 1.12'den büyük  $z$  mesafeleri için hızın sabit bir değere ulaştığı görülmektedir. Blokaj etkisi mevcut değildir. İlave olarak 1 m/s akıntı hızı da ölçülmüştür.

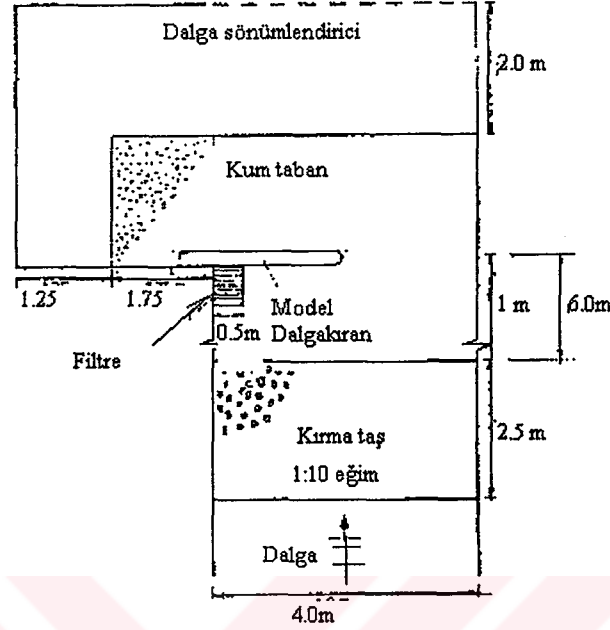


Şekil 1.12 Deney kanalının yeni duvarı ile dalgakıran arasındaki mesafe boyunca hız dağılımı

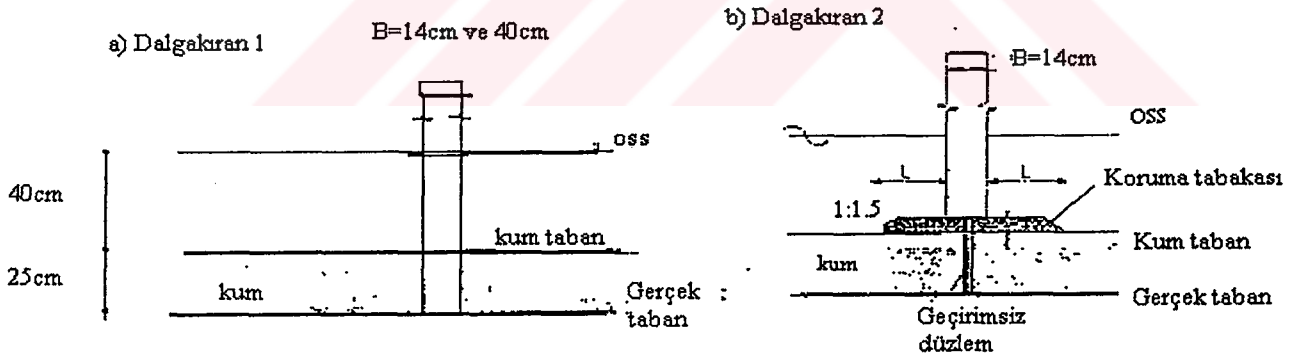
Oyulma deneyleri 28 m uzunluğunda, 1 m derinliğinde ve 4 m genişliğinde bir dalga kanalında yapılmıştır. Deney sistemi Şekil 1.13'de görülmektedir. Deneylerin çoğunda ortalama su derinliği 40 cm'de sabit tutulmuştur. Deneylerde düzenli dalgalar kullanılmıştır. Daha önceki çalışmaya ilave olarak (Fredse ve Sümer, 1997, taş dolgu dalgakıranlardaki oyulmanın incelenmesi) düzensiz dalgalar da kullanılmıştır. Deneyler yarım saatten daha az bir süre aldığından taban dalgacıklarının oyulma çukurunda etkili olmadığı dikkate alınmıştır.

İki tip dalgakıran yapısı kullanılmıştır. 1. tip dalgakıran halinde model yapı Şekil 1.14a'da görüldüğü gibi koruma tabakası olmaksızın kum tabana yerleştirilmiştir. Yapı dairesel kafaya sahip, geçirimsiz duvarlı, 2 m uzunluğunda ve 1.2 m yüksekliğindedir. Kafa çapı  $B$ , deneylerin çoğunda 14 cm, birkaç durumda ise 40 cm alınmıştır. Deneylerin çoğunda yapının

akımdan etkilenen kısmı 1.7 m'dir (Şekil 1.13). Yapı düşeyde kanal tabanına kadar uzatılmıştır.



Şekil 1.13 Oyulma deneyleri için deney sistemi



Şekil 1.14 Model yapıların kesitleri

2. tip dalgakıran halinde ise yine aynı tip yapı kullanılmıştır. Ancak bu durumda yapı bir koruma tabakasının üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 1.14). Böylece gerçeğe uygun bir sistem kurulmuştur. Yapının altında oluşacak oyulmadan kaçmak için koruma tabakasının uzunluğu boyunca geçirimsiz bir düzlem kurulmuştur. Koruma tabakası için yaklaşık olarak  $d_{50}=2$  cm boyutunda kırma taş kullanılmıştır. Deneyler koruma tabakası genişliğinin 3 farklı değeri için yapılmıştır ( $L=10$  cm,  $20$  cm ve  $50$  cm).

Taban malzemesi olarak kullanılan kum boyutu  $d_{50}=0.17$  mm'dir ( $d_{84}/d_{16}=0.67$ ). Yapının kafası etrafındaki oyulma işlemi sürekli olarak mini sualtı kamerası ile izlenmiştir. Hız ölçümleri LDA ile yapılmıştır. Bu hız ölçümleri blokaj etkisinin olmadığını göstermiştir.

$\theta$  shields parametresi olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\theta = \frac{u_{fm}^2}{g(s-1)d_{50}} \quad (1.35)$$

burada  $g$  yerçekimi ivmesi,  $s$  rölatif özgül kütle ( $=\rho_s/\rho$ ,  $\rho$  suyun özgül kütlesi,  $\rho_s$  katı madde özgül kütlesi),  $u_{fm}$  taban kayma hızının maksimum değeridir.

$$u_{fm} = \sqrt{\frac{f_w}{2}} u_m \quad (1.36)$$

burada  $f_w$  dalga sürtünme katsayıdır. Dalga sürtünme katsayısı mevcut çalışmada Fredsøe (1984) metodu ile hesaplanmıştır.

Deneyler hareketli taban şartları altında yani  $\theta > \theta_{kr}$  için yapılmıştır.  $\theta_{kr}$  tabanda katı madde hareketinin başlangıcı için kritik Shields parametresidir.

Şekil 1.15, mevcut görsel akım alanı deneylerinde gözlenen akış rejimlerini özetlemektedir.

3 tip akış rejimi bulunmaktadır;

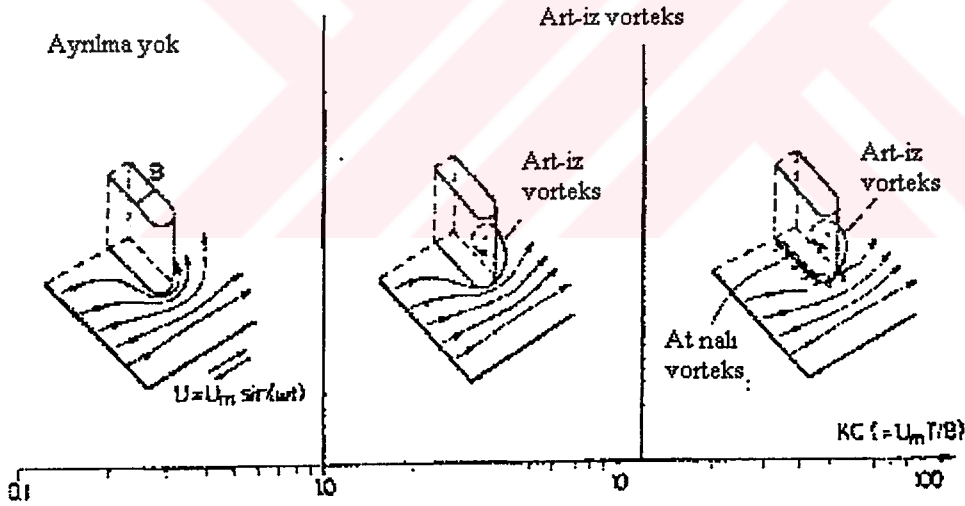
1) Ayrılmanın meydana gelmediği akım rejimi ( $KC \leq 1$ )

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 ( $KC \leq 12$ )

Akım  $KC$  sayısı yaklaşık olarak 1'in altında olduğunda ayrılma meydana gelmemiştir (Şekil 1.15). Şekil 1.16,  $KC = 0.5$  ve  $KC = 1.5$  için iki video çekimini göstermektedir. İlkinde ayrılma yokken, ikincisinde ayrılma açıkça oluşmaktadır.

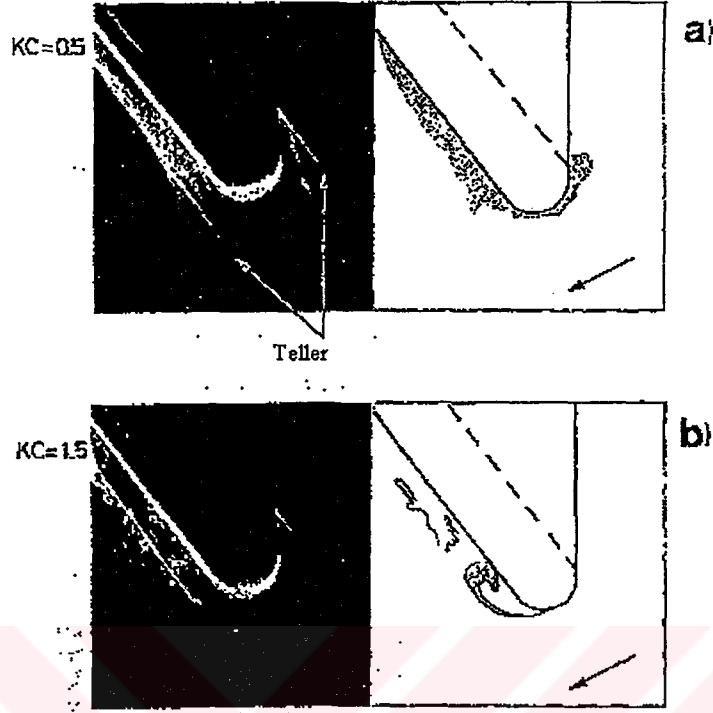
At nalı vorteks oluşmadan ayrılmanın meydana geldiği ( $1 \leq KC \leq 12$ ) akım rejiminde, her bir yarım periyotta yapının arkasında artiz vorteks oluşmaktadır (Şekil 1.15)



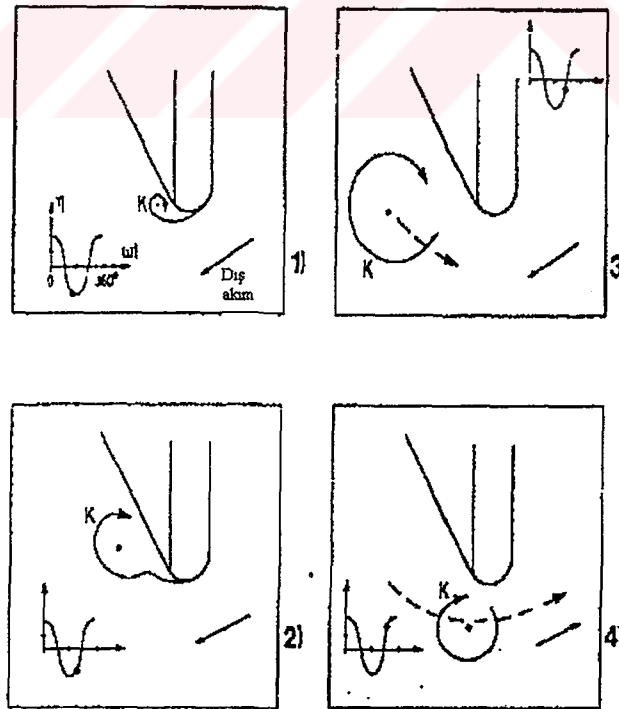
Şekil 1.15 Düşey yüzü dalgakıran kafası etrafında oluşan akım rejimleri

Akım alanına ait görünürlük deneyleri bu vortekslerin şekillenmesi ve gelişmesinin  $KC$  sayısı ile değişmediğini ortaya çıkarmıştır (Şekil 1.17). Ancak video kayıtları akımın gelişiminde faz değişiminin akım yapısının boyutları kadar güçlü bir şekilde  $KC$  sayısına bağlı olduğunu göstermiştir. Şekil 1.17'den görüldüğü gibi önce artiz vorteks oluşmakta, sonra boyutu büyümekte ve yapının arkasına süpürülmektedir. Şekil 1.18,  $KC$  sayısına

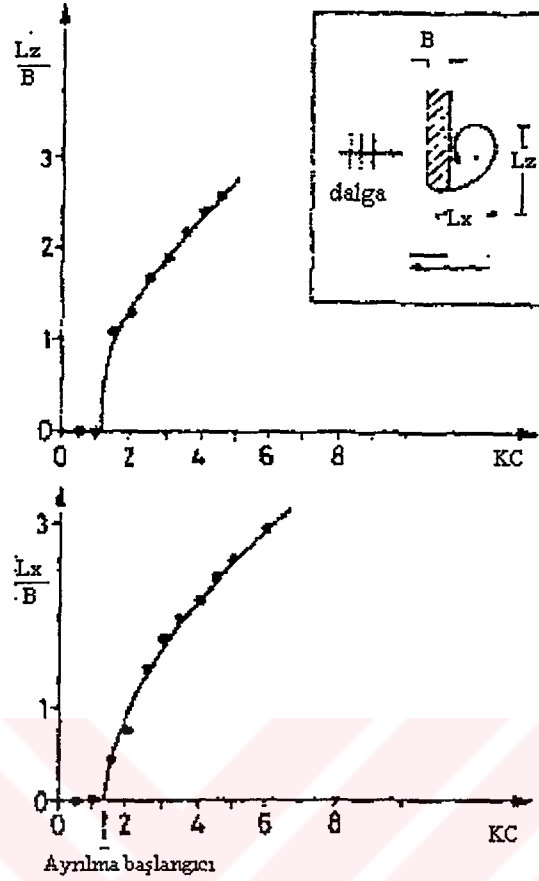
karşılık yapı kafasının çapıyla boyutsuzlaştırılan artiz vorteks alanının uzunluğunun değişimini göstermektedir. Görüldüğü gibi KC sayısı büyüdükçe artiz vorteks büyümektedir.



Şekil 1.16 Video çekimi [a)-ayrılma yok, b)ayrılma var]



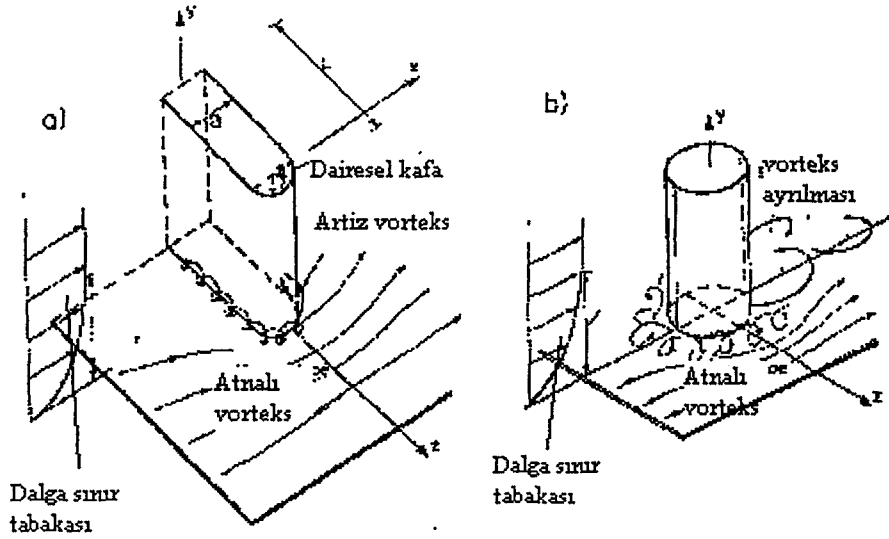
Şekil 1.17 Dalgakıran kafası etrafında akım yapısının gelişimi



Şekil 1.18 Artiz vorteks boyutları

At nalı vorteks oluştuğunda ayrılmanın meydana geldiği akım rejimi ( $KC \geq 12$ ) için  $KC$  sayısı arttıkça artiz vortekse ilave olarak Şekil 1.19a'da görüldüğü gibi yapının önünde spiral biçiminde bir vorteks oluşmaya başlar. Bu vorteks düşey silindirin önünde oluşan at nalı vortekse benzemektedir (Şekil 1.19b). Bu vorteks sistemi köprü ayakları ve düşey kazıklar etrafındaki oyulmada da önemli bir rol oynamaktadır (Breusers ve diğ.,1977; Sümer ve diğ., 1992). At nalı vorteks gelen akımın hızıyla oluşan çevrintiden dolayı deniz tabanında şekillenir. Dalga etkisinde bu çevrinti dalga sınır tabakası içinde oluşmaktadır (Şekil 1.19). Ancak, dalga sınır tabakası ince olduğunda, at nalı vorteks önemsizdir. (Sümer ve diğ., 1992)

Yukarıda ifade edildiği gibi mevcut gözlemler,  $KC \geq 12$  olduğunda yapının önünde ilk at nalı vorteksin ortaya çıktığını göstermiştir. Gözlemler, hareketin bir yarım periyodu sırasında çok kısa bir zaman periyodu boyunca bunun oluştuğunu göstermiştir.



Şekil 1.19 Akım yapısı a) Düşey yüzlü dalgakıran b) Düşey silindir

Sonuç olarak, mevcut görsel çalışma, iki boyutlu akım dalgalarla süperpoze edildiğinde  $KC=1.5$  durumunda bile at nalı vorteksin oluştuğunu göstermiştir.

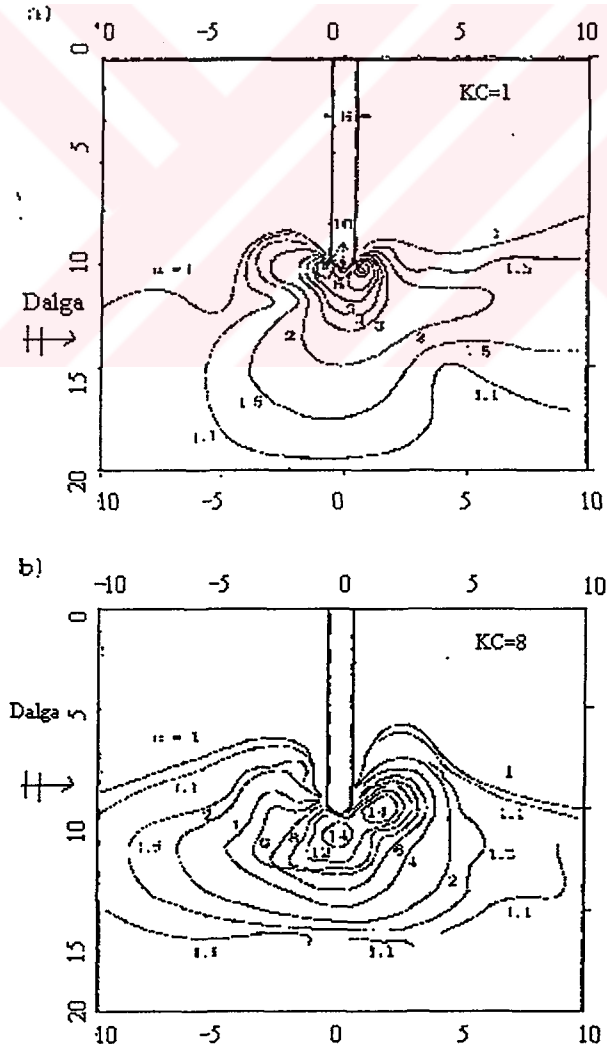
Akış rejimlerine göre ölçek etkileri incelendiğinde ve gerçek boyutları dikkate alındığında Şekil 1.15’de özetlenen kritik  $KC$  sayılarında ayrılan üç farklı akım rejiminde bazı değişiklikler beklenmektedir.

İlk kritik  $KC$  sayısı için,  $Re$  sayısının oldukça büyük ve yapı yüzeyinin oldukça pürüzlü olduğu çok büyük yapılar için akımın  $KC \leq 2$  durumunda akımın ayrılmadan kalacağı durumda Sarpkaya’nın (1986) sonuçlarından yararlanılabilecektir. Bu nedenle, Şekil 1.19’deki eğrilerin kısmen sağa doğru yönelmesi beklenmektedir ve boyutsuz artiz vorteks boyutunun aynı  $KC$  sayısı için arazide daha küçük olabileceği düşünülebilir. İkinci kritik  $KC$  sayısına göre yani at nalı vorteks oluşmaya başladığında bu durum, sınır tabaka kalınlığıyla bağıntılıdır (Sümer vd., 1992). Akım görünürlük deneylerinde dalga sınır tabakası laminer rejimdedir ve tedirgin edilmemiş sınır tabaka kalınlığı  $\delta$ ,  $\delta/l=0.005$  olarak tahmin edilmiştir (Jensen vd., 1989). Burada  $l$  model dalgakıranın uzunluğudur. Arazide bu oran daha küçüktür bu da at nalı vorteksin Şekil 1.15’de gösterilen değerden daha büyük olduğu  $KC$  değerleri için ortaya çıkabildiği anlamına gelmektedir. Bu kadar yüksek  $KC$  sayıları arazide oluşmaz bu nedenle bu akım alanına karşılık gelen rejim oluşma olayı için pratikte çok önemli değildir.

Taban kayma gerilmesi ölçümlerinin sonuçları incelendiğinde KC sayıları için dalgakıran kafası etrafındaki taban kayma gerilmesi dağılımı elde edilmiştir;

$$\alpha = \frac{\max|\overline{\tau_0}|}{\overline{\tau_{0m}}} \quad (1.37)$$

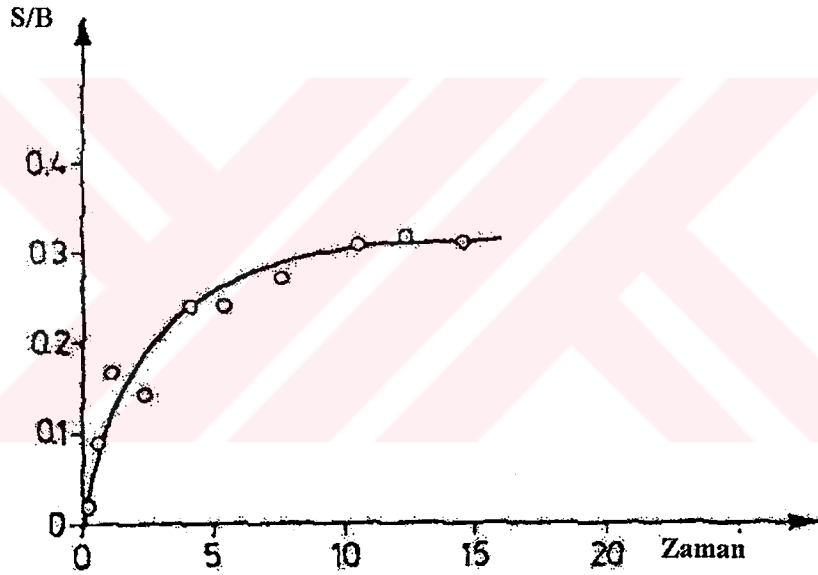
burada  $\overline{\tau_{0m}}$  ortalama taban kayma gerilmesi,  $\overline{\tau_0}$  tedirgin edilmemiş ortalama taban kayma gerilmesinin maksimum değeridir. Görüldüğü gibi yapının yanındaki taban kayma gerilmesindeki artış  $\alpha_0=10$  kadar yüksek olabilir. Bu oyulma deneylerindeki hız ölçümlerini içermektedir. KC = 2.8 için dalgakıranın ucunda ölçülen hızdaki artış üç misli olarak bulunmuştur.



Şekil 1.20 Dalgakıran kafası etrafında taban kayma gerilmesi dağılımı

Şekil 1.20, taban kayma gerilmesinin değişiminin dalgakıran kafası yakınında küçük bir bölgede yoğunlaştığını göstermektedir.

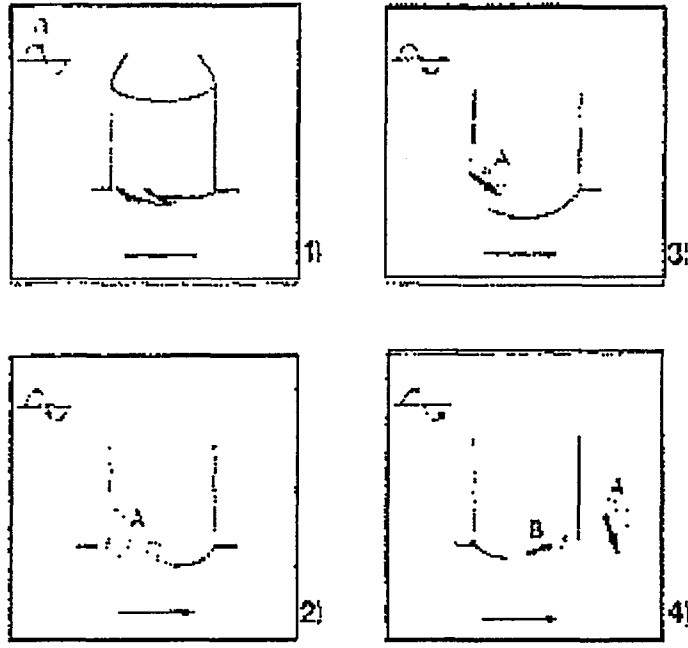
Maksimum oyulma derinliği dalgakıranın ucunda veya çok yakınında meydana gelmektedir. Diğer yandan Şekil 1.21’de maksimum oyulma derinliğinin zamanla değişimi görülmektedir. Maksimum oyulma derinliği bir geçiş periyodu boyunca denge haline ulaşmaktadır. Buna göre esas oyulmanın başlaması için gereken zaman 10 dakikadır veya 200 dalganın geçmesi gerekmektedir. Buna karşılık iki boyutlu oyulma olayı için daha fazla zamana ihtiyaç vardır. Bunu sebebi kafadaki oyulma mekanizmasının tamamen farklı olmasıdır. İki boyutlu durumdaki oyulma kararlı akımdan dolayı oluşurken, mevcut durumdaki oyulma artiz vortekslerden dolayı oluşmaktadır.



Şekil 1.21 Oyulmanın zamanla değişimi

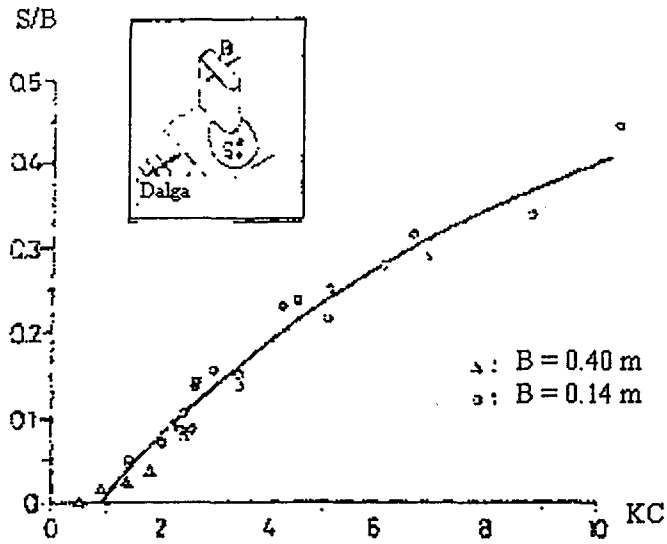
Şekil 1.22’de yapının etrafında oyulmanın gelişimi şematik olarak gösterilmiştir. Yapının kafasında taban yüksek hızlı akım tarafından erozyona uğratılmaktadır ve erozyona uğrayan katı madde artiz vorteks tarafından süpürülerek daha yukarıya taşınmaktadır.

Artiz vorteksinin gelişimi ve şekillenmesinde öncelikle KC sayısı hakimdir (Şekil 1.15 ve 1.18). Oyulma olayında da bu parametrenin hakim olduğu kabul edilebilir.



Şekil 1.22 Yapı etrafında oyulmanın gelişimi

Boru hatlarının altındaki ve düşey kazıklar etrafındaki oyulma problemlerinde KC sayısının önemi açıkça görülmüştür (Sümer ve Fredsøe, 1990 ve Sümer vd., 1992). Gökçe ve Günbak'ın (1992) deneysel çalışması ve Hansen (1992)'in nümerik çalışması da daha sonra boru hatları altındaki oyulmayla birlikte Sümer ve Fredsøe (1990)'nun elde ettiği KC sayısı ve oyulma derinliği arasındaki ilişkiyi göstermiştir.



Şekil 1.23 Dalgakıran kafası etrafında KC sayısı ile boyutsuz oyulma derinliğinin değişimi

Şekil 1.23, KC sayısının fonksiyonu olarak çizilen 1. dalgakıran için elde edilen mevcut maksimum oyulma derinliğini göstermektedir. Maksimum oyulma derinliği S, kafa çapı B ile boyutsuz hale getirilmiştir. Görüldüğü gibi korelasyon oldukça iyidir.

İlk olarak, oyulma derinliği 1'in altındaki KC sayıları için pratik olarak sıfırdır. Bu, KC sayılarında gözlenen ayrılmanın meydana gelmediği akım rejiminden dolayıdır (Şekil 1.15). Oyulma olmamasına rağmen küçük KC sayılarında taban kayma gerilmelerinin büyük olması ise oldukça ilginçtir (Şekil 1.20a ). Dalgakıranın ucunda oldukça büyük olan salımlı akım katı maddeyi hareketlendirir ve askıya geçirir. Askıya geçen katı madde ters akım tarafından kafa etrafında geriye ve ileriye doğru hareket eder. Bununla birlikte taşınım mekanizmasının olmaması durumunda katı maddenin yapıdan uzağa götürülmemesine ve dolayısıyla dalgakıran kafası etrafında muhtemelen net bir oyulma olayının meydana gelmemesine neden olmuştur.

İkinci olarak, KC sayısı arttıkça oyulma derinliği artmaktadır. Bu artış KC sayısı ile artiz vorteksinin genişlemesinden dolayıdır (Şekil 1.18).

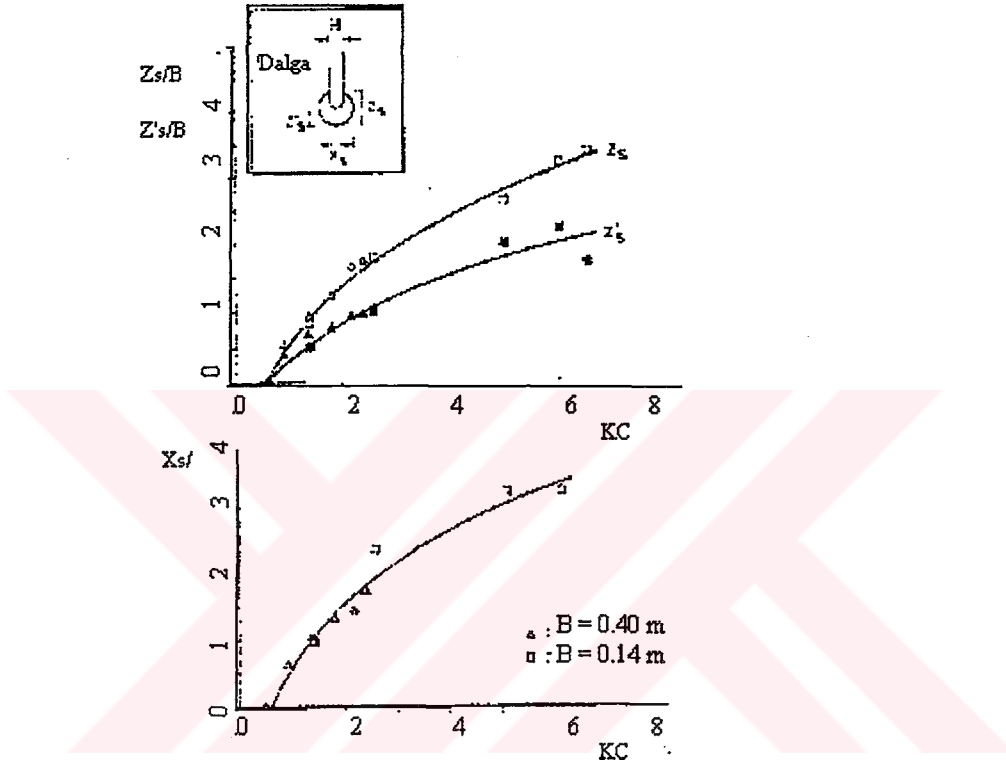
Üçüncü olarak, KC sayısı 0-2.5 arasında sınırlandırılmasına rağmen (B = 0.40 m için) iki farklı dalgakıran için elde edilen sonuçlar iyi bir korelasyona sahiptir (B = 0.40 ve B = 0.14). Büyük model için B değeri küçük modelinkinden üç kat daha büyük olmasına rağmen, mevcut deneylerde görülen küçük ölçekli kum dalgacıkları oyulma olayında etkin olmamıştır. Bunun sebebi dalgakıran ucunda taban kayma gerilmesinin oldukça büyük olmasıdır ve kum dalgacıkları bu bölgeden görülmemektedir.

Sonuç olarak Şekil 1.23' de KC'ye karşılık oyulma derinliği bağıntısı aşağıdaki ampirik ifade ile verilmiştir;

$$\frac{S}{B} = 0.5C[1 - \exp\{-0.175(KC-1)\}] \quad (1.38)$$

burada  $C;1$  civarında belirsizlik faktörüdür ve standart sapması  $\sigma_c = 0.6'$ dir.

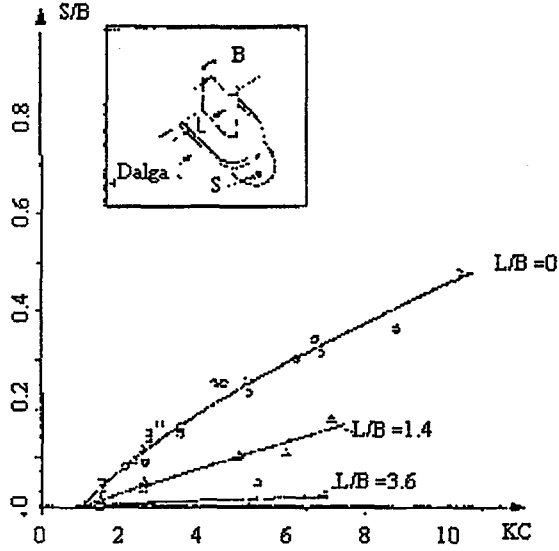
Şekil 1.24 oyulma çukuru çapının genişlemesini göstermektedir. Burada da KC sayısı ile oyulma çapı arasındaki korelasyon oldukça iyidir. Şekil 1.18 ve ve1.24 karşılaştırıldığında oyulma çapının boyutları ile artiz vorteksin etkisi oldukça uyumludur.



Şekil 1.24 Dalgakıran kafası etrafında KC sayısı ile oyulma çukuru çapının değişimi

Sonuçların hassaslığı için  $h = 25$  cm ve  $h = 50$  cm olmak üzere iki farklı su derinliğinde çalışılmıştır. Bu deneyler sonuçların  $h = 40$  cm için yapılan esas deneylerdekiyle aynı olduğunu göstermiştir.

Aynı şekilde benzer bir hassaslık çalışması dalgakıran modelinin akıma maruz kalan kısmının uzunluğu ( $l$ ) için yapılmıştır. Deneylerde ilave olarak iki farklı uzunlukta modelle çalışılmıştır ( $l = 140$  cm ve  $l = 200$  cm). Bu deneyler  $l = 170$  cm olarak alınan esas deneydekilerle aynı sonuçları vermiştir.

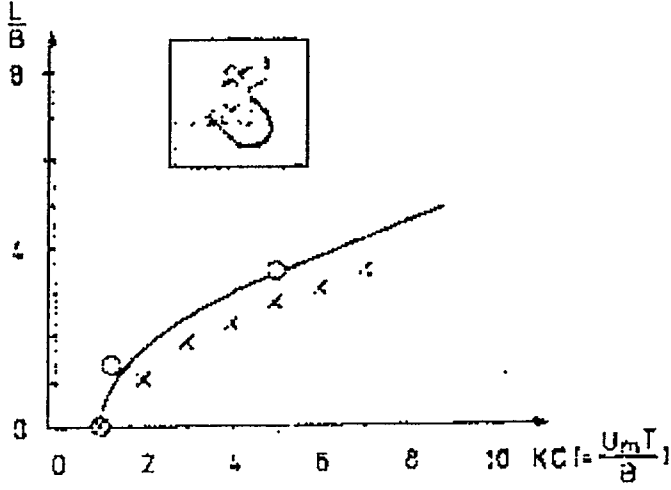


Şekil 1.25 Koruma tabakalı ve koruma tabakasız halde dalgakıran kafası KC sayısı ile oyulma derinliğinin değişimi

Koruma tabakasının etkisi için Şekil 1.25, Şekil 1.23' de ( $L/B = 0$  durumu) mevcut olan verilerle birlikte 2. dalgakıran (koruma tabakalı dalgakıran) için elde edilen oyulma verilerini göstermektedir. Şekil 1.25, koruma tabakası genişliğinin daha büyük olması durumunda oyulma derinliğinin daha küçük olduğunu göstermektedir. Gerçekte  $L/B = 3.6$  için oyulma olayı belirgin değildir.

Koruma tabakasının yüksekliğinin etkisini görmek için de çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada 2. dalgakıran deneyleri sıfır yükseklikli bir koruma tabakası için tekrar edilmiştir (yani koruma tabakasının yüzeyi kum tabanının yüzeyi ile aynı hizadadır). Bu deneyler sonuçların koruma tabakası yüksekliğiyle değişmediğini göstermektedir. Burası kum tabanının artiz vorteks hareketine karşılık korumasında anahtar nokta olduğu için, bu sonuç tamamen beklenmedik değildir. Koruma tabakasının genişliği artiz vorteks sistemi tarafından etkilenen bölgenin boyutundan daha büyük olduğu sürece taban da korunmaktadır.

Şekil 1.26, ( $S/B \leq 0.01$ ' e karşılık gelen) Şekil 1.25' deki oyulma verilerini esas alan KC sayısının fonksiyonu olarak gerekli koruma tabakası genişliğini göstermektedir. Artiz vorteks boyutlarına bağlı olan veriler aynı zamanda karşılaştırma için Şekil 1.25' de çizilmiştir.



Şekil 1.26 KC sayısı ile koruma tabakası genişliğinin değişimi

Koruma tabakasının genişliği aşağıdaki ampirik denklem ile ifade edilmiştir.

$$\frac{L}{B} = 1.75 (KC - 1)^{0.5} \quad (1.39)$$

lineer dalga teorisini kullanarak yukarıdaki denklem aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$L = 1.75 B \left( \frac{\pi H}{B \sinh(kh)} - 1 \right)^{0.5} \quad (1.40)$$

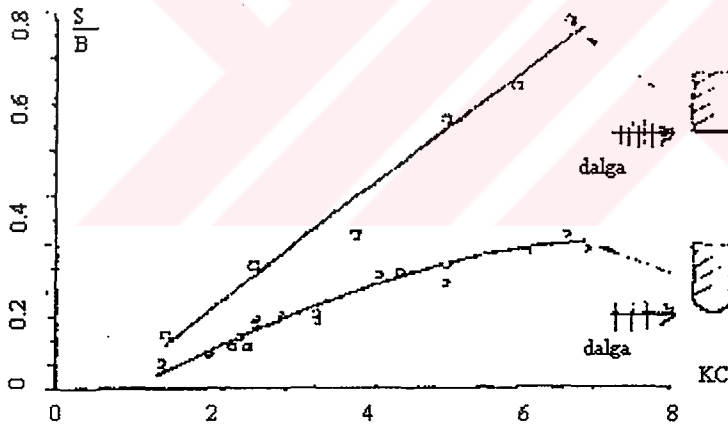
burada H dalga yüksekliği, k dalga sayısıdır.

Kafa biçimi, mevcut akım ve atak açısı gibi diğer etkiler de olduğunda önceki ifadelerin kullanımına göre tasarım çalışmasında tedbir olarak (1.39) ve (1.40) denklemleri dikkate alınmalıdır.

Belirlenen ifadeler düzenli dalgalar kullanılarak elde edilmiştir ve kararlı akım etkisi önemli değildir (Şekil 1.21).

Koruma tabakası yukarıda tanımlandığı gibi tasarlandığında, koruma tabakasının toplam genişliğini (  $2L+B$  ) esas alan KC sayısının maksimum değeri pratikte 1'den daha küçük olacaktır. Bu, koruma tabakasının etrafındaki kum tabandaki oyulma oluşmayacağını göstermektedir (Şekil 1.23).

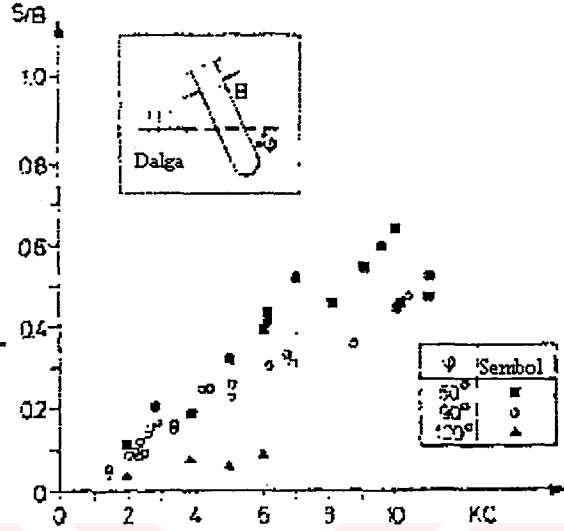
Kafa şeklinin etkisi için Şekil 1.26, oyulma derinliğinin değişimini göstermektedir. Dairesel kafa için elde edilen sonuçlar Şekil 1.23'den alınmıştır. Oyulma çukuru dörtgen kafaya sahip dalgakıran dairesel kafaya sahip dalgakırandakinden daha derindir. Bu, deneylerin oyulma çukuru genişliğinin pratik olarak dairesel kafaya sahip dalgakırandakiyle aynı olduğunu göstermesine rağmen dörtgen kafa durumunda artiz vortekslerin boyutundaki artıştan kaynaklanmaktadır.



Şekil 1.27 Dalgakıran kafasının şeklinin oyulma derinliğine etkisi

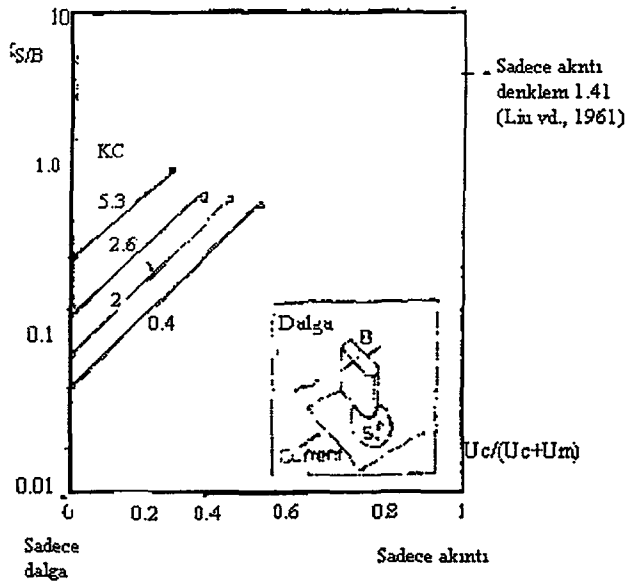
Atak açısının etkisi için Şekil 1.27, Şekil 1.22'dekilerle birlikte atak açısının iki farklı değeri için yapılan deney sonuçlarını göstermektedir ( $\phi=60^\circ$  ve  $\phi=120^\circ$ ). Görüldüğü gibi atak açısı etkili bir parametredir. Sonuçlar  $\phi=90^\circ$  olması durumuna göre oyulma derinliğinin ve  $\phi=120^\circ$  olması halinde daha küçülürken  $\phi=60^\circ$  olması durumunda daha büyüdüğünü göstermiştir. Sonuçlar  $\phi=90^\circ$ 'ye göre simetrik olmasına rağmen  $\phi=60^\circ$  ve  $\phi=120^\circ$  için simetrik değildir. Bu dalgalardaki asimetriden kaynaklanmaktadır. Tepe ve çukur arasındaki asimetri iki simetrik

atak açısı için farklı oyulma derinliklerine neden olmaktadır. Bu tepedeki artiz vorteks genişliğinin (yarım periyodda)  $\phi=60^\circ$  için  $\phi=120^\circ$ 'den daha büyük olmasındandır. Artan  $\phi$  değerleri için vorteks boyutu azalmaktadır. Bu oyulma derinliğinin neden  $\phi=90^\circ$  için  $\phi=60^\circ$ 'den daha küçük olduğunu açıklamaktadır.



Şekil 1.28 Atak açısının oyulma derinliğine etkisi

Akıntıların etkisinin oyulma derinliği üzerine etkisini görmek için de deneyler yapılmıştır . Deneylerdeki akıntı dalga yayılma doğrultusuyla aynı doğrultudadır. Her bir deney sadece 30 dakika sürdürülmüştür. Bu, deneylerdeki kum tabaka kalınlığının sınırlı olmasından dolayıdır. Veriler oyulma datalarına karşılık Şekil 1.29' de çizilmiştir.



Şekil 1.29 Akıntının oyulma üzerine etkisi

Aynı zamanda Şekil 1.29' daki çizim Liu vd., (1961 ) tarafından verilen ampirik bağıntıdan hesaplanan denge oyulma derinliğidir.

$$\frac{S}{h} = c \left( \frac{l}{h} \right)^{0.4} \left( \frac{u_c}{\sqrt{gh}} \right)^{0.33} \quad (1.41)$$

Bu bağıntı kararlı akıma maruz kalan bir mahmuz durumu içindir. Burada l mahmuz uzunluğu ve c sabittir.

Şekil 1.29'dan, mevcut kararlı akımın oyulma derinliğinin artmasına neden olduğu görülmektedir. Oyulma derinliğindeki artış kısmen yapının önünde oluşan at nalı vorteksine, kısmen dalga etkisindeki akım akıntıyla aynı doğrultuda olduğunda yarım periyotta etkili KC sayısının artışına, kısmen de erozyona uğrayan malzemenin mansap doğrultusunda yapıdan uzağa taşınmasıyla akıntının mevcut olmasına mal edilebilir.

Sadece dalga durumunda çok küçük KC sayıları ( $KC \leq 1$ ) için yapı etrafındaki net oyulma sıfırken (Şekil 1.23), Şekil 1.29' da görüldüğü gibi esas oyulma küçük bir akıntı mevcut olsa bile oluşmaktadır.

Sonuç olarak, mevcut akıntı durumundaki tasarım çalışmasında (1.39) veya (1.40) denklemi kullanıldığında tedbir alınmalıdır çünkü oyulma derinliği bu durumda daha büyük olacaktır ve bu nedenle yapının kafası etrafındaki taban bölgesinin uzunluğu korunmalıdır.

Bu çalışmaya ait sonuçlar şu şekilde belirlenmiştir. Dalgaya maruz kalan dairesel kafaya sahip düşey duvarlı dalgakıranın kafası etrafında üç çeşit akım rejimi tanımlanmıştır. Dalgakıranın kafasının çapını (B) esas alan  $KC \leq 1$  için gözlenen ayrılmamış akım rejimi, dalgakıranın önünde  $1 \leq KC \leq 12$  için gözlenen at nalı vorteks formasyonuna sahip olmayan ayrılmış akım, dalgakıranın önünde  $KC \geq 12$  için gözlenen at nalı vorteks formasyonuna sahip ayrılmış akım. Böyle bir yapının kafası etrafındaki oyulma KC sayısı ile belirlenebilir.  $KC \leq 1$  olduğunda

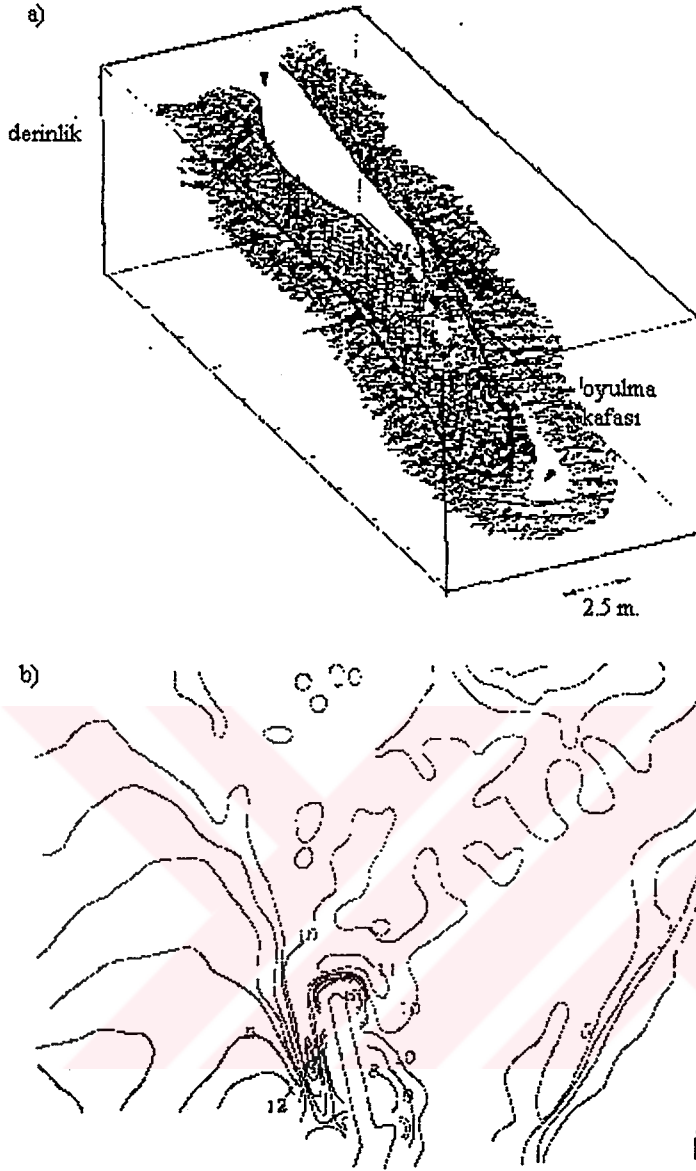
maksimum oyulma derinliği pratik olarak sıfırdır.  $KC \geq 1$  için boyutsuz oyulma derinliği  $S/B$ ,  $KC$  sayısı arttıkça artmaktadır. Uygun taş koruma kullanıldığında oyulma engellenebilir. Koruma tabakası genişliği (1.39) veya (1.40) denklemlerinde verilen amprik bağıntıya göre seçilebilir. Kafa şekli, akıntı ve atak açısı mevcudiyeti gibi diğer etkiler mevcut olduğunda tedbirli davranılmalıdır. Kafa şekli önemli bir faktör olarak bulunmuştur. Kafa şekli daireden dörtgene doğru değiştiğinde maksimum oyulma derinliği iki katına kadar artmaktadır. Atak açısı da etkili bir faktör olduğu belirlenmiştir. İki boyutlu akıntının oyulma derinliği üzerine etkisi oldukça önemlidir. Sonuçlar oyulma derinliğinin verilen  $KC$  sayısında zayıf bir akıntı bile söz konusu olsa arttığını göstermiştir.

### 1.2.2 Taş dolgu dalgakıranlar

Taş dolgu dalgakıranlar etrafındaki oyulma oluşumu bu yapıların stabilitesi hakkında yeteri bilgiye sahip olunmayan yönlerinden birisidir (Lillicrop ve Hughes, 1953). Oyulma dalgakıranın gövde kesiti boyunca ve kafası etrafında meydana gelmektedir. Oyulma, topukta erozyona neden olmaktadır ve bu nedenle yapının kaplama tabakasının oluşan oyulma çukurunun içine çökmesine böylece yapının stabilitesinin bozulmasına neden olmaktadır.

Gövde boyunca oluşan oyulma ve oyulmadan korunma iki boyutlu durumda dalga atak açısının dik olması hali için Sawaragi ve Kawasaki (1960), Hales (1980), Eckert (1983) ve Markle (1989) tarafından çalışılmıştır. Konuyla ilgili son alışma Fowler (1993) tarafından verilmiştir. Bu durumda oyulmanın anahtar mekanizması, düşey yüzli dalgakıran durumuna benzer olarak kısmen dalgakıranın önünde duran dalgaların neden olduğu düşey düzlemdeki kararlı akımdır. Düşey yüzli dalgakıran ve taş dolgu dalgakıran arasındaki fark yansıma katsayısıdır. Oyulma yansıma katsayısı azaldıkça azalmaktadır.

Taş dolgu dalgakıran kafası etrafında oluşan oyulmaya bağlı olarak bu üç boyutlu oyulma önceden yapılan iki boyutlu çalışmalardan farklı bir mekanizma söz konusudur.



Şekil 1.30

Şekil 1.30 Danimarka'nın batı kıyısında alınan iki arazi ölçümünü göstermektedir. Şekil 1.30b Hirsthals limanı dalgakıranının kafası yakınındaki taban topoğrafyasını gösterirken, Şekil 1.30a Thyboran'da yerleştirilen 57 no'lu mahmuz kafası yakınındaki üç boyutlu oyulma formasyonunu göstermektedir.

Sümer ve Fredsøe (1997) düşey yüzü dalgakıran kafası etrafındaki oyulmayı araştırmıştır, bu oyulmaya neden olan temel mekanizmanın dalgaların her bir yarım periyodunda oluşan artiz

vorteksler olduğunu göstermişlerdir. Vorteksler ile süpürülen katı madde bu akım yapısı ile mansap tarafına taşınmış ve nihayet dalgakıran kafası etrafında net bir oyulmaya neden olarak dalgakıran kafasından uzağa yığılmıştır. Çalışma dalgakıran kafasının çapını esas alan KC sayısının artiz vortekslerin şekillenmesinde ve oyulma olayını karakterize eden asıl parametre olduğunu göstermiştir.

Taş dolgu dalgakıran durumunda KC sayısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$KC = \frac{u_m T}{B} \quad (1.42)$$

Burada  $u_m$  deniz tabanında bozulmamış yörüngesel hızın maksimum değeri, T dalga periyodu, B dairesel kafanın çapıdır.

Bu çalışmanın amacı, dairesel kafaya sahip taş dolgu dalgakıran kafası etrafındaki oyulmanın detaylı bir araştırmasını yapmaktır. İki durum söz konusudur;

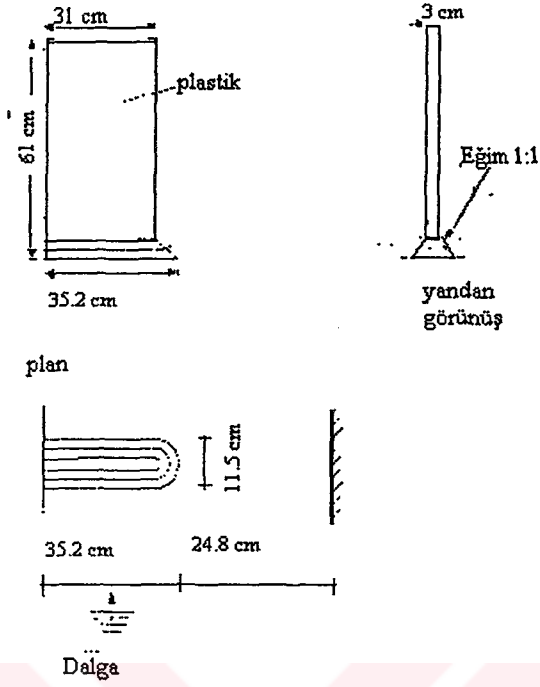
- 1) Kafa etrafında dalga etkisinde oluşan kararlı akım
- 2) Kafada plunging tipi kırılmanın oluşumu

Bu deneylerin amacı taş dolgu dalgakıran kafası etrafındaki artiz vorteks gelişimini ve formasyonunu incelemektir.

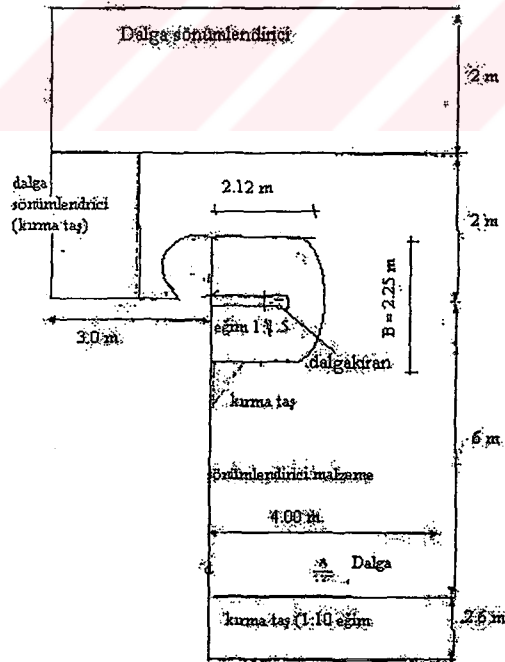
Deneyler Sümer ve Fredsøe (1997)'de kullanılan dalga kanalında yapılmıştır. Deney sistemi Şekil 1.31'da gösterilmiştir. Dalgakıranın eğimi 1:1 seçilmiştir. Deneylerde hidrojen bubble tekniği kullanılmıştır. Deney tekniğine bağlı olarak detaylar ve diğer bütün bilgiler Sümer ve Fredsøe (1997)' de verilmiştir.

Taban kayma gerilmesi deneyleri görsel akış deneylerinde kullanılan dalga kanalında yapılmıştır. Dalgakıran da görsel akış deneylerinde kullanılan ile aynıdır. Deney tekniğine

göre detaylar Sümer ve Fredsøe (1997)' de verilmiştir.



Şekil 1.31 Görsel akış ve taban kayma gerilmesi deneyler için deney sistemi



Şekil 1.32 Oyulma deneyleri için deney sistemi

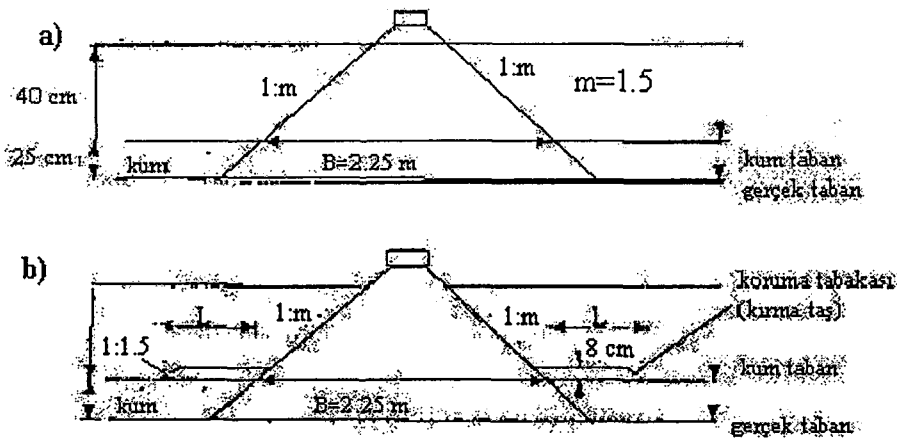
Oyulma deneyleri Sümer ve Fredsøe (1997)' de tanımlanan büyük kanalda yapılmıştır. Ortalama su seviyesi 40 cm'de sabit tutulmuştur. Şekil 1.32 deney sisteminin planını göstermektedir. Şekil 1.33 ise deneylerde kullanılan dalgakıran modelinin en kesitini göstermektedir.

Dalgakıran 1:1.5 eğime sahiptir. Blokaj etkisini minimize etmek için bu değerden daha küçük eğimlerden kaçınılmıştır. Hız ölçümleri bir boyutlu mikro propeller kullanılarak yapılmıştır. Bu ölçümler bir pratik olarak deneylerde blokaj etkisinin oluşmadığını göstermektedir.

Dalgakıran yan duvarında yansımayı azaltmak için 2 cm. kalınlığında emici bir hasar duvara yerleştirilmiştir (Şekil 1.32). Dalgakıranla duvarın kesiştiği köşe bölgelerde oyulmanın büyümesinden korunmak için kırma taşlardan bir tabaka bu bölgede tabana serilmiştir.

Dalgakıran çelik profillerden yapılmış metal tabakalarla kaplanmıştır. Dalgakıran yüzeyi hidrolik olarak pürüzsüzdür. Kanalın tabanına kadar uzatılmıştır (Şekil 1.33a).

Oyulmayı engelleyen bir tabakanın etkisini incelemek için kırma taş sahip bir tabaka ( $d_{50} = 2$  cm.) dalgakıran etrafındaki tabana yerleştirilmiştir (Şekil 1.33b) ve esas oyulma deneylerinin bazıları bu deney sistemi için tekrar edilmiştir.



Şekil 1.33

Deneylerde  $d_{50} = 0.199$  mm ve  $d_{84} / d_{16} = 0.67$  olan kum kullanılmıştır. Dalgakıran kafası etrafındaki taban topoğrafyası otomatik olarak ölçülmüştür. Bu ölçümler dalgakırandan kıyıya doğru 1 m, açığa doğru 1.5 m ve dalgakıranın ucundan dik doğrultuda 2 m'lik bir bölgede yapılmıştır. Ölçümler iki saatte bir alınmıştır. Ölçümler sırasında dalgalar durdurulmuştur. Bu ölçümlere ek olarak oyulma ve yığılma işlemi iki su altı kamerasıyla birkaç durum için çekilmiştir.

Sumer ve Fredsøe (1997)'de yapılan oyulma deneylerinden farklı olarak mevcut deneylerde düzensiz dalgalar kullanılmıştır.  $\theta$  Shields parametresi olarak tanımlanmıştır

$$\theta = \frac{u_{fm}^2}{g(s-1)d_{50}} \quad (1.43)$$

burada  $s$  katı maddenin (rölatif özgül kütlesi),  $d_{50}$  ortalama tane boyutu,  $u_{fm}$  taban kayma hızının maksimum değeridir.

$$u_{fm} = \sqrt{\frac{f_w}{2}} u_m \quad (1.44)$$

Dalga sürtünme faktörü  $f_w$  Fredsøe (1984)'a göre hesaplanmıştır. Re sayısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

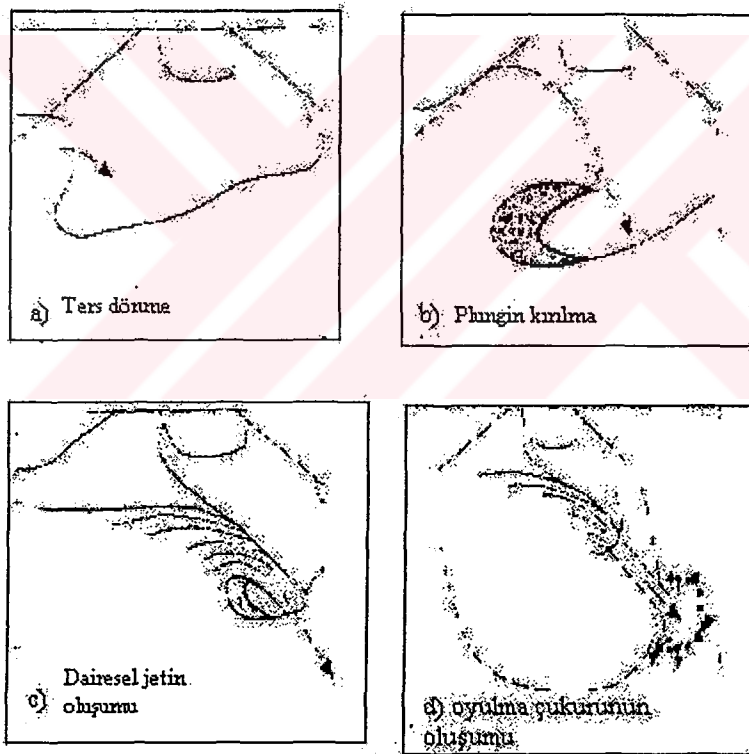
$$Re = \frac{u_m B}{\nu} \quad (1.45)$$

burada  $\nu$  suyun kinematik viskozitesidir.

Bütün deneyler hareketli taban şartlarında yapılmıştır ( $\theta > \theta_{kr}$ ).  $\theta_{kr}$  tabanda katı madde hareketinin başlangıcına karşılık gelen Shields parametresinin maksimum değeridir.

Dalgalar yeterince büyük olduğunda, Şekil 1.34'de görüldüğü gibi dalgakıran kafasında plunging tipi kırılma oluşabilir.

İki boyutlu plunging tipi kırılmanın aksine, mevcut durumdaki kırılma üç boyutludur ve Şekil 1.34c'de görüldüğü gibi dairesel bir jet oluşturur. Görsel gözlemler bu jetin tabana çarptığını ve oradaki kum tanelerini hareketlendirerek oyulma çukurunun oluşmasına neden olduğunu ortaya çıkarmıştır (Şekil 1.34d). Oluşan oyulma çukuru gövde ve kafa kesitleri arasında dalgakıranın artiz bölgesinde oluşmuştur.

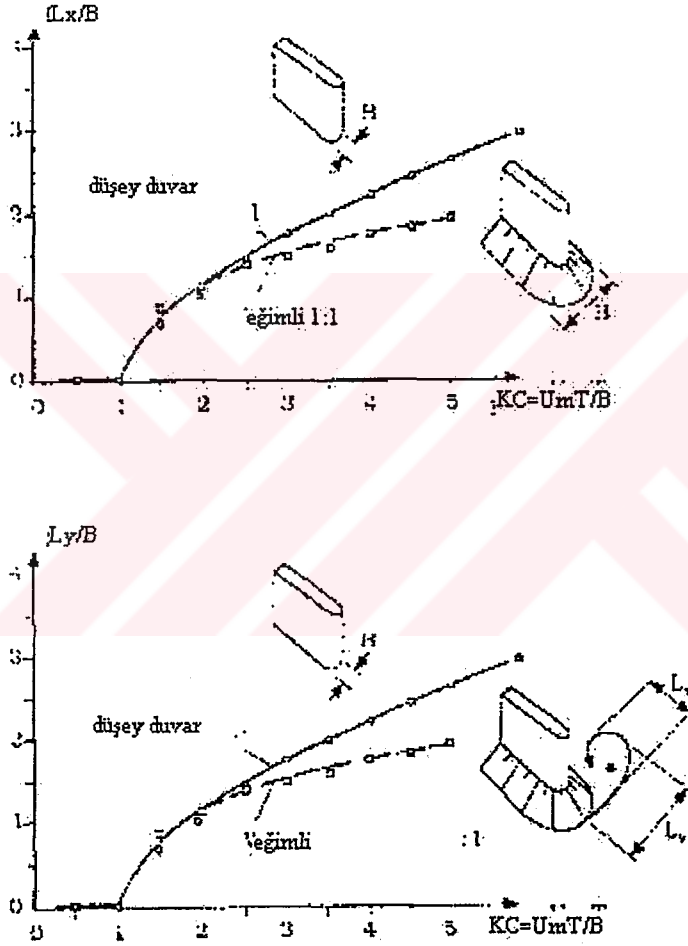


Şekil 1.34 Dalgakıran kafasında 3 boyutlu plunging tipi kırılmanın gelişimi

Önceden ifade edilen görsel gözlemler oyulmanın, Breusers ve Raudkivi (1991)'de tanımlanan dairesel düşey batık jet durumundakine benzer bir şekilde oluştuğunu göstermiştir.

Sonuç olarak; dalgakıran, kesonların taş dolgu üzerine yerleştirildiği kompozit bir dalgakıran ise oyulma plunging tipi kırılma tesirinin oluşmamasından etkilenmektedir.

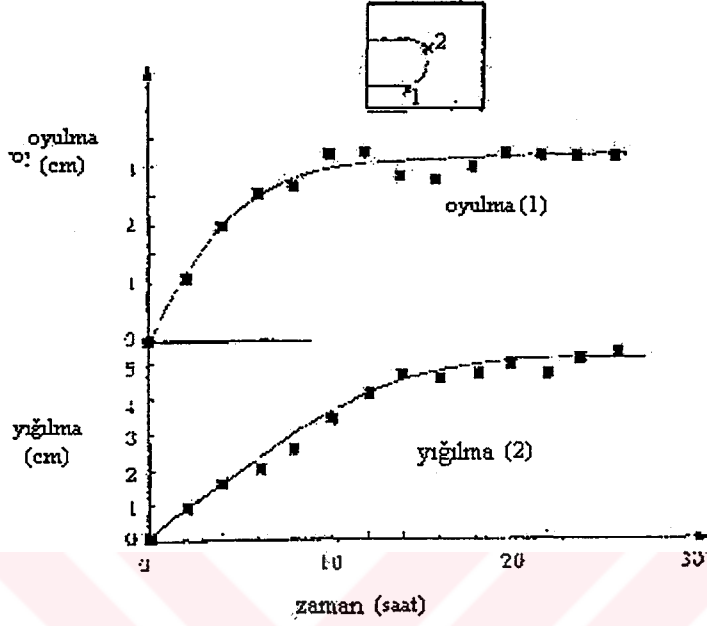
Şekil 1.35, taş dolgu dalgakıran modeliyle yapılan görsel akış deneylerinin sonuçlarını göstermektedir. Şekil aynı zamanda Sümer ve Fredsøe (1997)'de tanımlanan düşey yüzü dalgakıran durumunda elde edilen sonuçları da göstermektedir.  $L_x$  ve  $L_y$  Şekil 1.35'de görüldüğü gibi artiz vorteksinin boyutlarıdır.



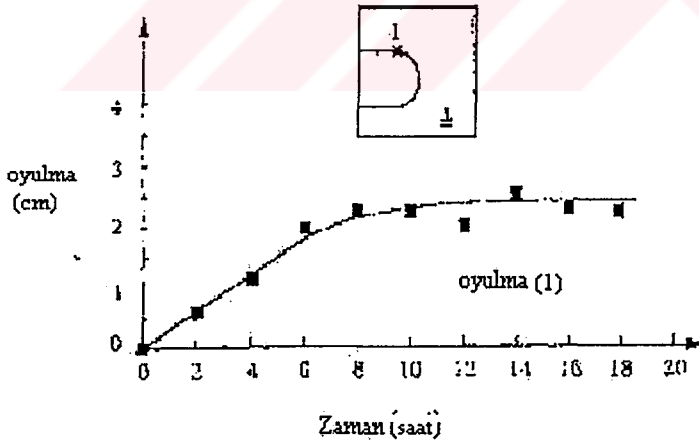
Şekil 1.35 Artiz vorteks boyutları ile KC sayısının değişimi

Sonuçlar KC sayısı birden büyük olduğunda ilk artiz vorteksin oluştuğunu göstermektedir, KC sayısının aynı kritik değeri düşey yüzü dalgakıran durumu için elde edilmiştir (Sümer ve Fredsøe 1997). Şekil aynı zamanda şev eğiminin etkisinin sadece KC sayısı 1.5-2 değerine ulaştıktan sonra hissedildiğini göstermektedir.

Şekil 1.36 ve 1.37 oyulma ve yığılmanın zamanla gelişimini göstermektedir. Görüldüğü gibi oyulma ve yığılma işlemleri bir geçiş periyodu süresince denge durumuna ulaşmaktadır.

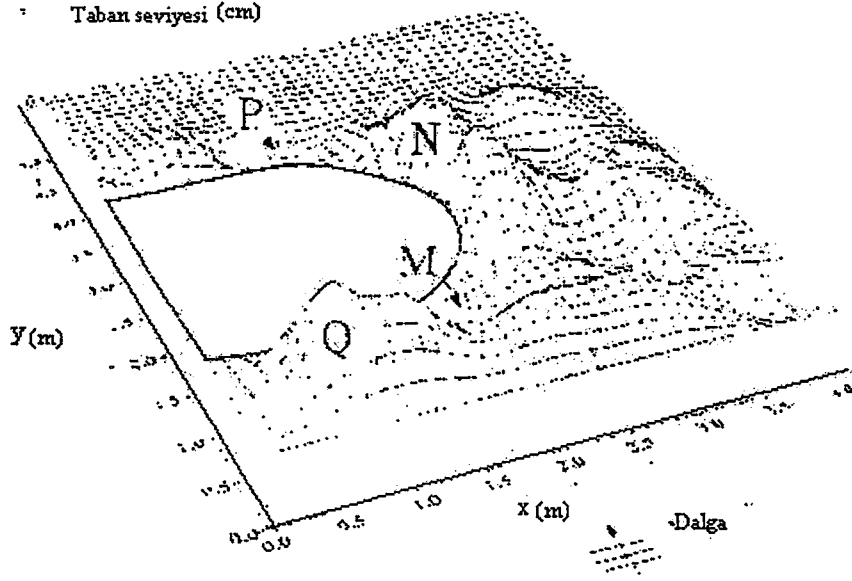


Şekil 1.36 Kararlı akımdan etkilenen oyulma ve yığılmanın zamanla değişimi



Şekil 1.37 Plunging tipi kırılma etkisinde oyulmanın zamanla gelişimi

Şekil 1.38'de denge durumunda dalgakıran kafası etrafındaki taban topoğrafyası üç boyutlu olarak görülmektedir. N ve Q bölgeleri akım etkisindeki yığılmayı gösterirken M bölgesi akım etkisindeki oyulma çukurunu göstermektedir. P bölgesi ise plunging tipi kırılma etkisinde oluşan oyulmayı göstermektedir.



Şekil 1.38 Denge halinde taban topoğrafyasının 3 boyutlu değişimi

Şekil 1.39 deneylerden elde edilen denge durumundaki taban topoğrafyasının konturlarını göstermektedir.

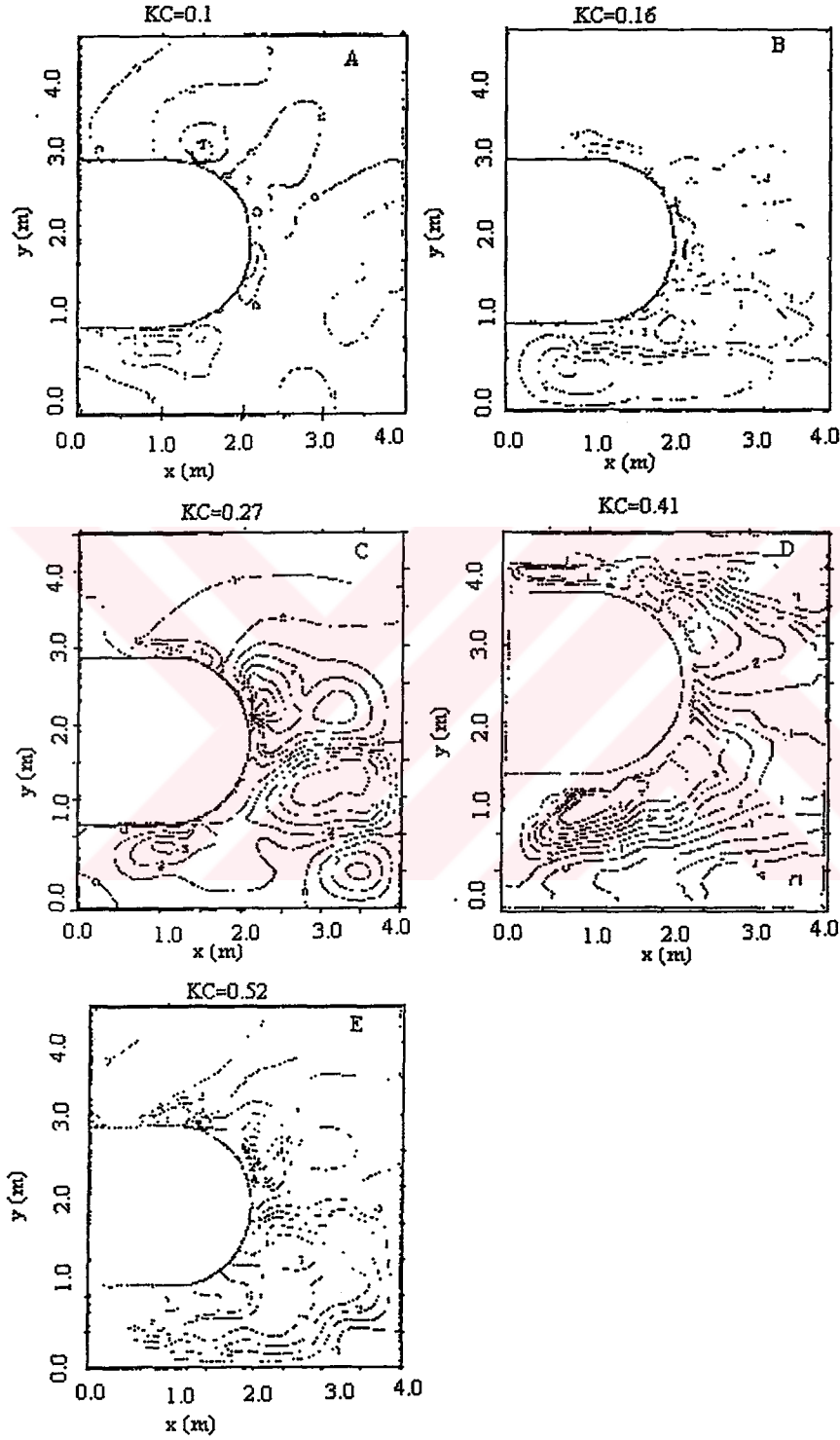
Dalgakıran kafası etrafındaki kararlı akım su niceliklerine bağlıdır. Tabanda bozulmamış yörüngesel hızın maksimum değeri ( $u_m$ ), dalga periyodu ( $T$ ), dalgakıran kafasının esas çapı ( $B$ ), taban pürüzlülüğü (tane çapı  $d$ ), kinematik viskozite ( $\nu$ ), dalgakıranın şev açısı ( $m$ ) dikkate alınarak boyut analizinden oyulma ve yığılma karakteristikleri aşağıdaki parametrelere bağlı olarak bulunmuştur.

$$\frac{S}{B} = f(KC, \theta, m, \frac{a}{d}, Re) \quad (1.46a)$$

$$\frac{D}{B} = g(KC, \theta, m, \frac{a}{d}, Re) \quad (1.46b)$$

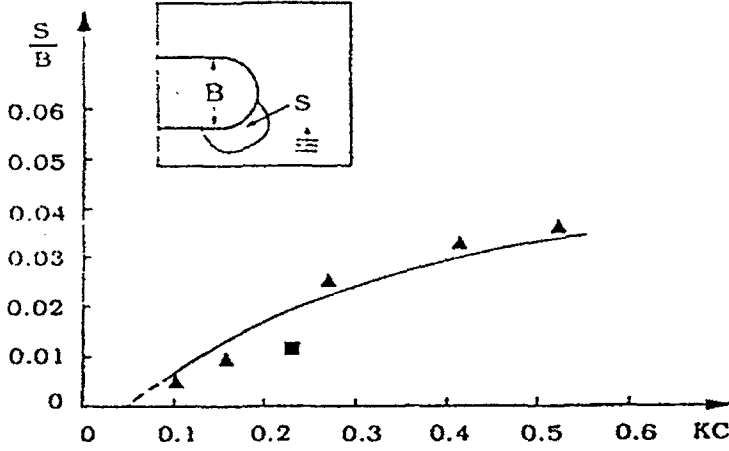
burada  $a$  tabanda bozulmamış yörüngesel hareketin genliğidir. Verilen bir dalgakıran ve katı madde için oyulma ve yığılma karakteristikleri  $KC$  ve Shields parametresi ( $\theta$ ) ile

değişecektir. Hareketli taban oyulması ( $\theta > \theta_{kr}$ ) dikkate alındığında Shields parametresinin etkisi çok önemli değildir ve ilk yaklaşımda ihmal edilebilir. Bu nedenle bu durumda oyulma ve yığılma karakteristikleri sadece KC sayısı ile değişir.



Şekil 1.39 Denge halinde taban topoğrafyasının konturları

Şekil 1.40 maksimum oyulma derinliğinin KC sayısı ile değişimini göstermektedir. Benzer şekilde Şekil 1.41 dalgakıran kafasının kıyıya doğru tarafında oluşan yığılmanın maksimum derinliğini vermektedir.



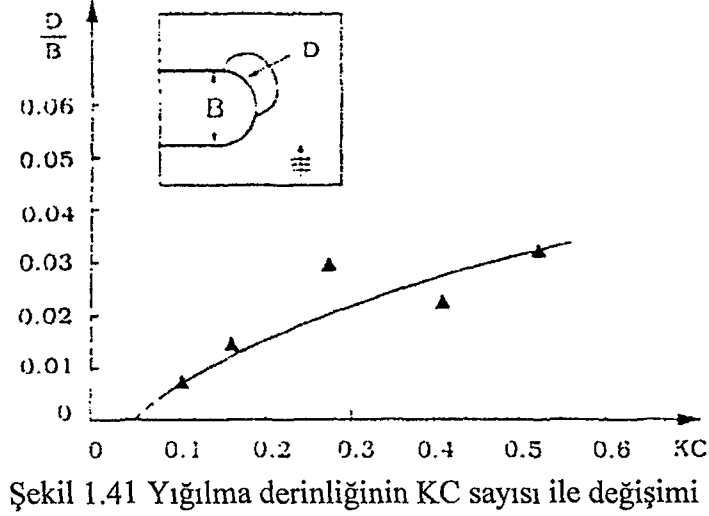
Şekil 1.40 Oyulma derinliğinin KC sayısı ile değişimi

Şekil 1.40 aynı zamanda Lillycrop ve Hughes (1993)'den alınan bir arazi sonucunu da içermektedir. Burada, sadece dalga etkisinde dalgakıran kafasındaki oyulmaya bağlı olarak önceden ifade edilen yayındaki arazi sonuçları verilmektedir.  $u_m$  lineer dalga teorisinden hesaplanmıştır. Burada dalga yüksekliği aşağıdaki gibi alınmıştır.

$$H = 2(\sqrt{2} \sigma_n) = 2[\sqrt{2} (H_s / 4)] = H_s / \sqrt{2} \quad (1.47)$$

Burada  $\sigma_n$  yüzey yükselmesinin standart sapmasıdır.

İlk olarak Şekil 1.40 ve 1.41 oyulma ve yığılma derinliklerinin KC sayısı ile iyi bir korelasyona sahip olduğunu göstermektedir. Büyük KC sayılarında büyük oyulma ve yığılma derinlikleri oluşmaktadır. Bu, KC sayısı arttıkça akımın büyüklüğünün de artmasından kaynaklanmaktadır.



İkinci olarak, Şekil 1.40'da görülen sonuç, yapı boyutlarında ve dalga karakteristiklerinde büyük farklılıklar olmasına rağmen mevcut sonuçlara uymaktadır. Arazidekine göre dalgakıran genişliği 20 katı kadar, dalga yüksekliği 15 katı kadar, dalga periyodu 3-4 katı kadar büyüktür. (1.46a) ve (1.46b) denklemlerindeki  $Re$  ve  $a/d$  oranı çok önemli değildir. Çünkü  $Re$  sayısı arazi çalışmasında deneylerindeki 200 kat,  $a/d$  oranı 20-30 kat büyüktür.

Sonuç olarak, Şekil 1.40 ve 1.41'da  $KC$ 'ye karşılık  $S/B$  ve  $D/B$  bağlantılarından aşağıdaki ampirik ifadeler elde edilebilir.

$$\frac{S}{B} = 0.04C_1[1 - \exp\{-4(KC - 0.05)\}] \quad (1.48)$$

$$\frac{D}{B} = 0.04C_1[1 - \exp\{-3.5(KC - 0.05)\}] \quad (1.49)$$

Burada  $C_1$  1 civarındaki belirsizlik faktörüdür.

Batık düşey jet tarafından oluşan oyulmaya benzer şekilde, plunging tipi kırılma etkisinde oluşan oyulma esas olarak aşağıdaki kırılma özellikleriyle gelişir (Breusers ve Raudkivi, 1991).

Kırılma ile oluşan jetin hızı (ana su kütlelerinin içine giren jetin olduğu noktada).

Jetin boyutu (giriş noktasında)

Su derinliği

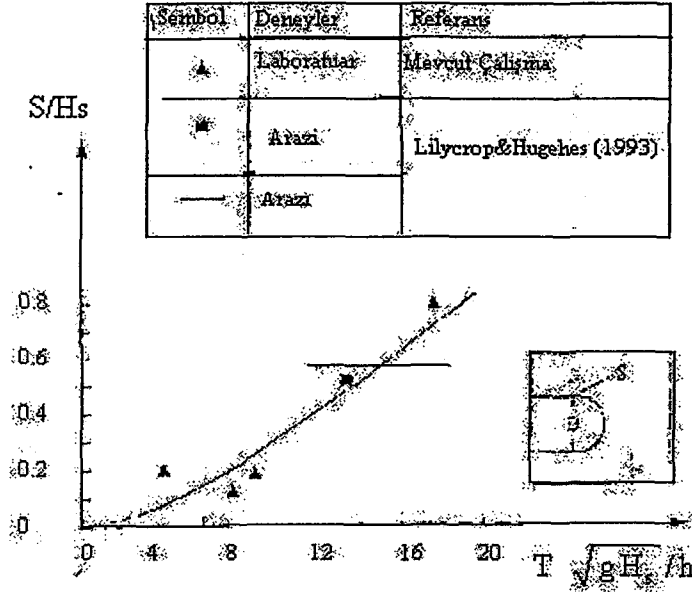
İlk iki özellik şu parametrelere bağlıdır: mevcut analizde  $H_s$  belirgin dalga yüksekliği olarak alınan kırılan dalga yüksekliği,  $T$  dalga periyodu,  $h$  su derinliği,  $m$  dalgakıranın şev eğimi ve  $g$  yerçekimi ivmesi. Boyut analizinden (katı madde özellikleri dikkate alınarak) oyulma aşağıdaki boyutsuz parametrelere bağlı olarak bulunmuştur.

$$S/H = f(T_p \sqrt{gH_s} / h, \theta, m) \quad (1.50)$$

Dalgakıran ve katı madde verildiğinde hareketli taban oyulması ( $\theta > \theta_{kr}$ ) için oyulma sadece  $T \sqrt{gH_s} / h$  boyutsuz parametresine bağlı olacaktır.

Şekil 1.42 bu parametreyle maksimum oyulma derinliğinin değişimini göstermektedir. Şekil aynı zamanda iki arazi sonucunu da içermektedir. Morro Körfezi için başlangıçta dalga periyodu verilmemiştir, bu durumda dalga periyodu  $T \sqrt{gH_s} / h$  parametresini hesaplamak için 10-15 sn alınmıştır

Şekil 1.42  $H_s$  ile boyutsuzlaştırılan oyulma derinliğinin  $T \sqrt{gH_s} / h$  parametresi ile iyi bir korelasyona sahip olduğunu göstermektedir. Şekil  $T \sqrt{gH_s} / h$  parametresinin büyük değerlerinde büyük oyulma derinlikleri oluştuğunu göstermektedir. Parametrenin pay kısmı, esas su kütlelerinin içine giren plunging kırılmadaki su miktarını karakterize etmektedir. Açıkça, oyulma bu nicellekle direkt olarak orantılı olmalıdır. Parametrenin payda kısmı diğer bir deyişle batık jetin sahip olduğu penetrasyon mesafesidir.  $H$  önceki penetrasyon mesafesiyle karşılaştırıldığında büyükse, pratik olarak oyulma oluşturacaktır. Bu nedenle,  $T \sqrt{gH_s} / h$  parametresi arttıkça oyulma derinliği de artmaktadır.



Şekil 1.42 Oyulma deriliğinin  $T \sqrt{gH_s} / h$  ile değişimi

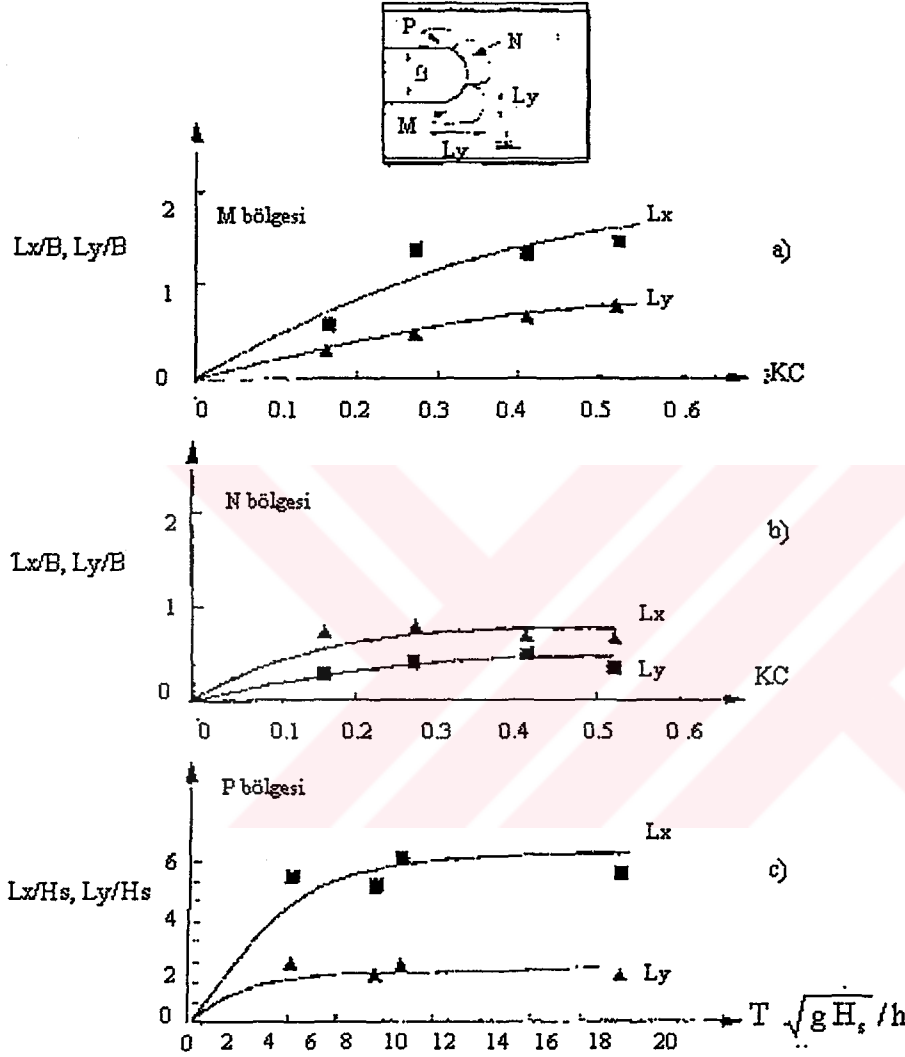
Şekil 1.42, dalgakıran boyutlarında ve dalga şartlarında büyük farklar olmasına rağmen arazi sonuçlarıyla mevcut çalışmanın birbiriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Akım etkisinde oluşan oyulma durumunda yapılan gözleme benzer olarak ölçek etkilerinin çok önemli olmadığı görülmüştür. Genelde oyulma problemlerinde ve özellikle düşey yüzü dalgakıran önündeki oyulmadaki ortak ölçek etkileri Oumeraci (1944)'nin son çalışmasında detaylı olarak tartışılmıştır.

Şekil 1.42'den boyutsuz oyulma derinliği ile  $T \sqrt{gH_s} / h$  parametresi arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$S/H_s = 0.01C_2 (T_p \sqrt{gH_s} / h)^{1.5} \quad (1.51)$$

Burada  $C_2$  standart sapması  $\sigma_{C_2} = 0.34$  olan, 1 civarındaki belirsizlik faktörüdür.

Şekil 1.43, oyulma ve yığılma bölgelerinin uzunluklarını göstermektedir. Akım etkisinde oyulma ve yığılma bölgelerinin boyutları, B kafa çapı ile boyutsuzlandırılarak Şekil 1.40 ve 1.41'deki gibi KC sayısının bir fonksiyonu olarak çizilmiştir (Şekil 1.43a,b). Aynı zamanda plunging kırılma etkisinde oluşan oyulma bölgesinin boyutları ise Şekil 1.42'deki gibi  $T \sqrt{gH_s} / h$  parametresinin bir fonksiyonu olarak çizilmiştir (Şekil 1.43c).



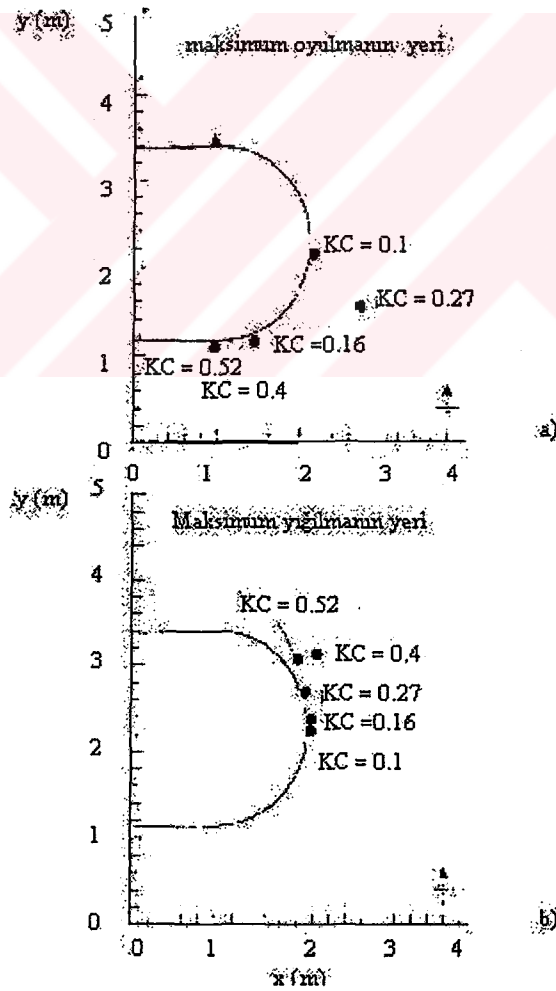
Şekil 1.43 Dalgakıran kafası etrafında oyulma ve yığılma bölgeleri

İlk olarak, Şekil 1.43a,b Şekil 1.40 ve 1.41 ile birlikte değerlendirildiğinde akım etkisindeki oyulmanın dalgakıran kafasında oluşan yığılmadan daha geniş olduğu görülmüştür. Oyulan malzeme sadece N bölgesine değil (Şekil 1.43) aynı zamanda yığılmanın oluştuğu Q ve R bölgelerine de taşıdığı için, bu kabul edilmiştir.

İkinci olarak, Şekil 1.43a, KC sayısı arttıkça oyulma bölgesinin boyutlarının da arttığını göstermektedir. Bu, daha önceden de ifade edildiği gibi (Şekil 1.40) KC sayısı arttıkça akımın şiddetinin artmasıyla açıklanabilir.

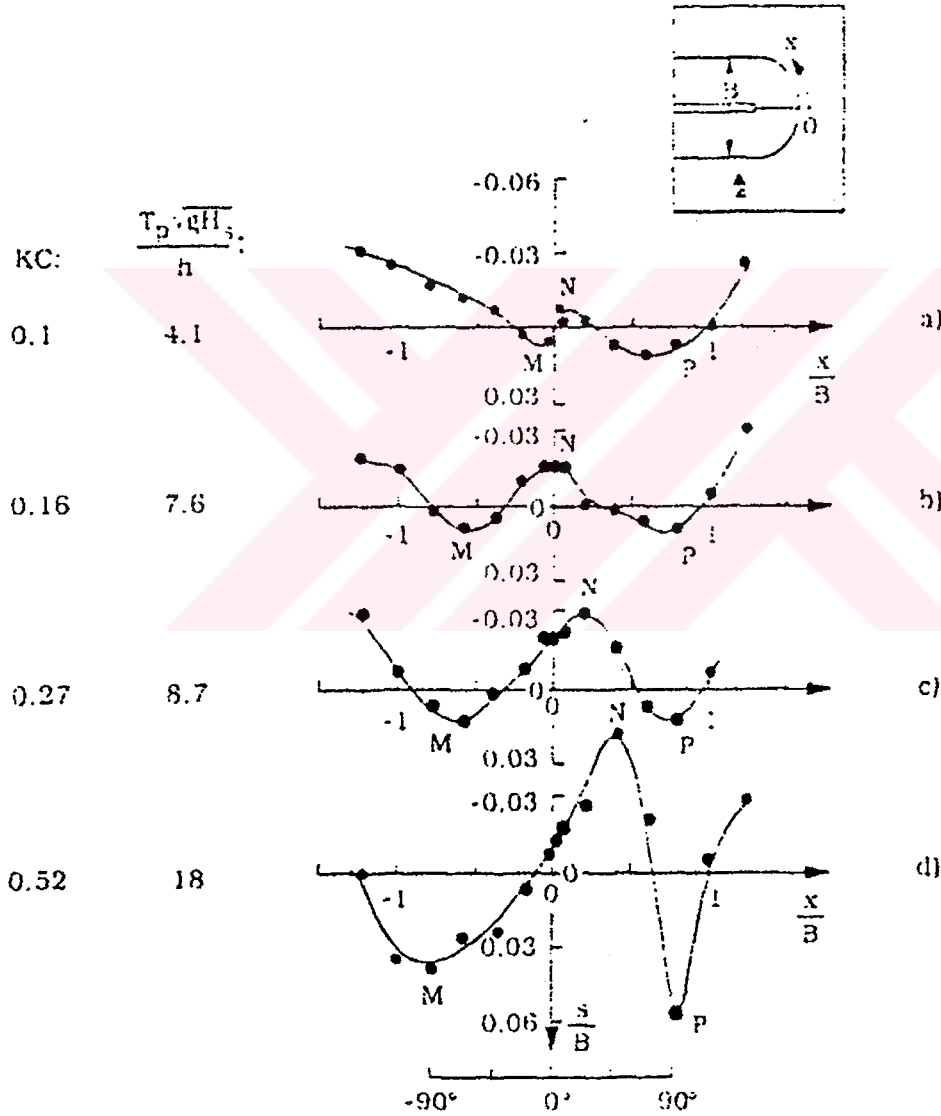
Üçüncü olarak, Şekil 1.43b, benzer davranış göstermektedir. Ancak KC sayısı ile yığılma bölgesinin artışı daha zayıftır.

Dördüncü olarak, Şekil 1.43c, dalga periyodunun deneylerde rölatif olarak geniş bir aralık boyunca değişmesine rağmen, mevcut deneyler için plunging kırılma etkisinde oluşan boyutsuz oyulma bölgesi boyutlarının  $T\sqrt{gH_s}/h$  parametresine daha az bağlı olduğunu göstermektedir. Bu davranış için açık bir izah bulunamamıştır.



Şekil 1.44 Maksimum oyulma ve yığılma derinliklerinin yeri

Şekil 1.44 maksimum oyulma ve maksimum yığılma noktalarının yerini göstermektedir. Akım etkisinde oluşan oyulma ve yığılmaya bağlı olarak Şekil 1.44a maksimum yığılmanın yerinin dalgakıran çevresi boyunca kıyıya doğru hareket ederken, maksimum oyulmanın yerinin açığa doğru hareket etmekte olduğunu göstermektedir. Bu, akım bölgesinin uzunluğunun KC sayısı ile artmasıyla bağıntılıdır. Plunging kırılma etkisinde oluşan oyulma için ise Şekil 1.44a'da görüldüğü gibi gövde kesitiyle kafa kesitinin kesiştiği yerde  $T \sqrt{gH_s} / h$  parametresinden bağımsız olarak maksimum oyulmanın yeri sabit kalmaktadır.



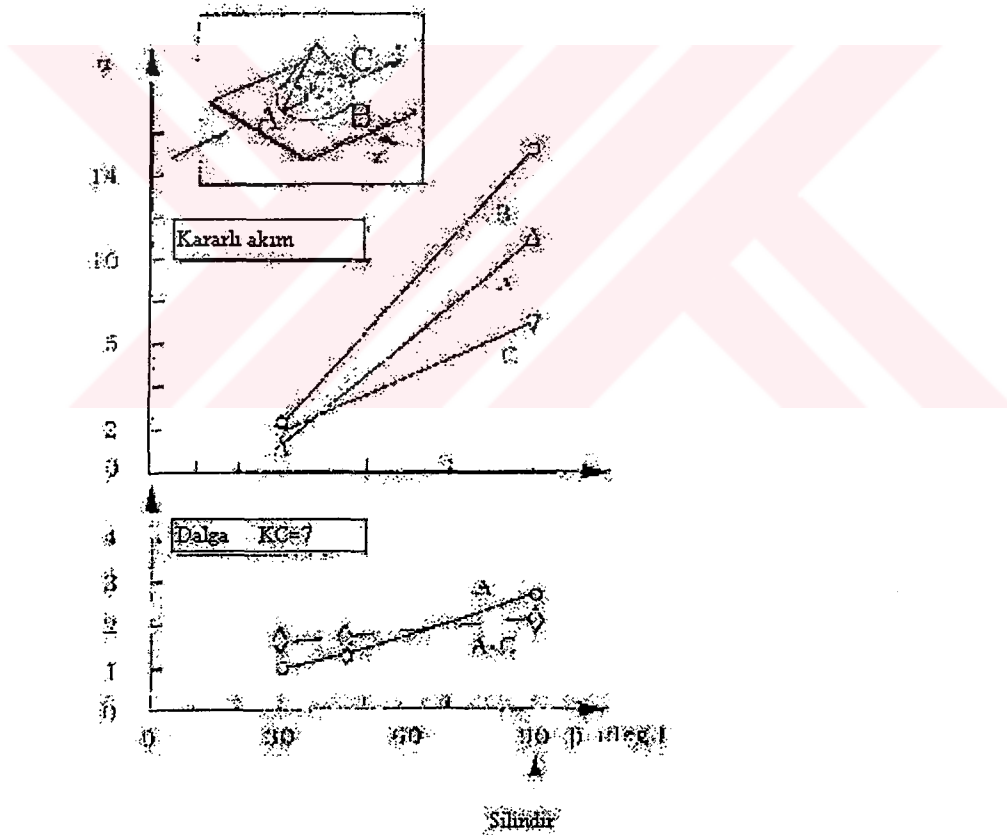
Şekil 1.45 Oyulma ve yığılma derinlikleri

Şekil 1.45 mevcut deneyler için dalgakıran kafası civarındaki oyulma ve yığılmayı göstermektedir. Akım etkisindeki oyulma M ile, akım etkisindeki yığılma N ile, kırılma

etkisindeki oyulma P ile gösterilmiştir. Şekilde sonuçlar önceden paragraflarda aynıdır, (Şekil 1.40-1.44). Hareketli taban şartları ( $\theta > \theta_{kr}$ ) bu deneylerde de hakimdir.

Dalga kanallarının sonsuz genişliğinden dolayı meydana gelen deneysel zorluklar şev eğiminin doğrudan etkisinin incelenmesini engellemiştir. Ancak şev eğimi değiştiğinde sonuçların nasıl etkileneceğini görmek için koni şeklinde basit geometriye sahip bir yapı kullanılarak ilave deneyler yapılmıştır. Deneylerde  $30^\circ$  ve  $40^\circ$ lik şev eğimi kullanılmıştır.

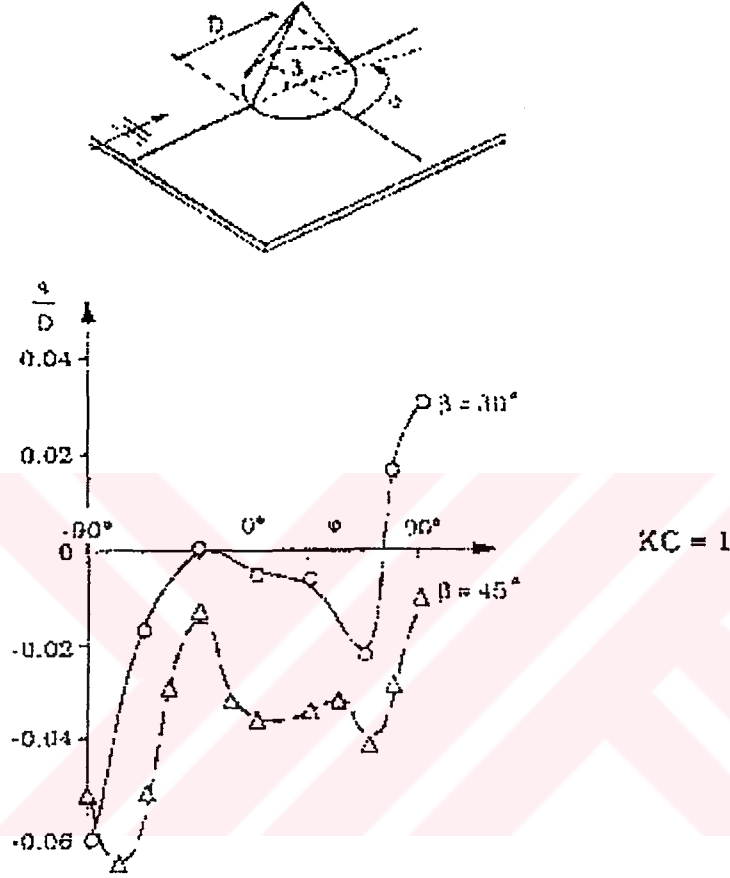
Şekil 1.46, sonuçların taban kayma gerilmesi ölçümleriyle bağıntılı olduğunu göstermektedir. Görüldüğü gibi şev eğiminin (m) azalan net etkisi taban kayma gerilmesinin büyümesini azaltmaktadır.



Şekil 1.46 Taban kayma gerilmesinin artmasına şev eğiminin etkisi

Oyulma işlemine göre elde edilen sonuç şev eğimi azaldığında daha küçük miktarda katı maddenin askıya geçeceğini göstermektedir. Bu, şev eğimi azaldıkça akımın etkisinin azalacağı yani akım etkisinde daha az oyulma oluşacağı anlamına gelmektedir.

Şekil 1.47, oyulma deneylerinin mevcut sonuçlarını göstermektedir. İlk olarak, akım etkisinde oyulma ve yığılma durumu (dalgakıran durumundakine benzer şekilde) koni durumunda da ortaya çıkmıştır. İkinci olarak, şev eğimi azaldıkça oyulmanın azaldığı görülmüştür. Açının  $45^\circ$ 'den  $30^\circ$ 'ye düşmesi oyulma derinliğinde 2 kat kadar azalmaya yol açmıştır.



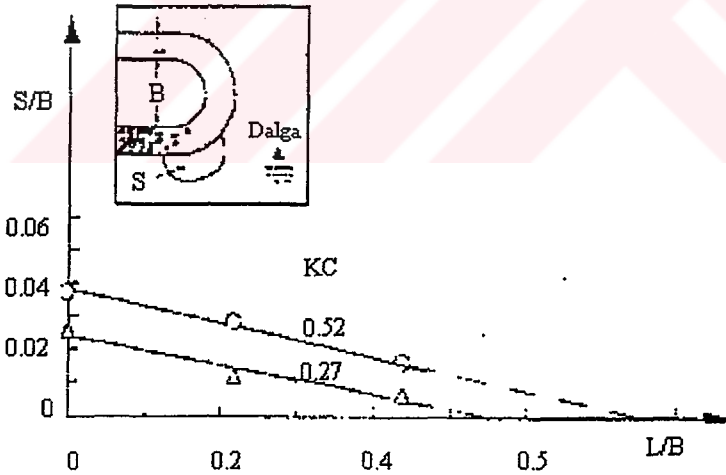
Şekil 1.47 Koni durumunda oyulma derinliği

Mevcut dalgakıran deneylerinde şev eğimi 1:1.5'tur. Taş dolgu dalgakıran kullanılan malzemeye veya alternatif olarak çok tabakalı dalgakıranlardaki accropade malzeme için 1:4/3 iken, kaya küpler için 1:2 kaplama tabakasına bağlı olarak pratikte dikkate alınan şev eğimi aralığı 1:1.3-1:2'dir. Deneylerdekinden farklı bir eğim dikkate alındığında (1:1.5), Şekil 1.46'de kullanılan eğime bağlı olarak oyulmanın azaldığı ve arttığı yerde Şekil 1.39 ve 1.44 kullanılarak akım etkisindeki oyulma mekanizması ilk yaklaşım olarak tahmin edilebilir. Ancak, pratikte dar eğim aralığı dikkate alındığında bu artmanın ve azalmanın çok fazla olmayacağı vurgulanmıştır.

Kırılma etkisindeki oyulma için mevcut araştırmadaki deneysel zorluklar eğimin bu oyulmaya etkisinin incelenmesine izin vermemiştir. Ancak pratikte kullanılan eğim aralığı dikkate alındığında 1:1.5'dan farklı eğimler için oyulma derinliği Şekil 1.42 ve 1.45'deki sonuçlardan farklı olmayacaktır.

Mevcut bulgular dalgakıran yüzeyinin geçirimsiz ve rölatif olarak pürüzsüz olduğu deneylerden elde edilmiştir. Taş dolgu dalgakıran için yüzey pürüzlülüğü daha büyük olarak dikkate alınmıştır. Arka taraftaki plunging kırılmanın mukavemetini azaltmak için bu büyük pürüzlülük kabul edilmelidir. Bu sebeple, oyulma derinliği için mevcut sonuçlar konzervatif tahminler olarak dikkate alınmalıdır.

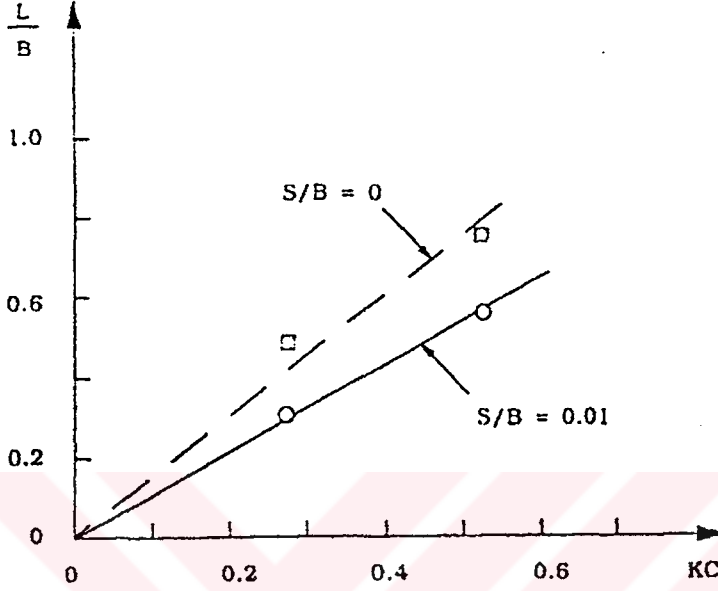
Bazı deneyler bir koruma tabakasının dalgakıran kafası etrafında taban üzerine yerleştirildiği deney sisteminde tekrar yapılmıştır. Deneyler, koruma tabakasının genişliğinin iki farklı değeri için gerçekleştirilmiştir. Koruma tabakasının ucu ve kanal yan duvarı arasındaki mesafenin sınırlı olmasından dolayı 1m'den daha büyük genişliklerden kaçınılmıştır.



Şekil 1.48 Koruma tabaksı genişliğinin bir fonksiyonu olarak dalgakıran kafası önünde maksimum oyulma derinliği

Şekil 1.48, bu deneylerin sonuçlarını göstermektedir.  $L/B = 0$  durumuna göre sonuçlar Şekil 1.40'dan alınmıştır.

Şekil 1.49 koruma tabakasının genişliğini vermektedir. (1)  $S/B = 0$  olduğunda tam bir oyulma koruması için, (2)  $S/B = 0.01$ , B kafa çapının % 1'i kadar bir oyulma olduğunda oyulma koruması için izin verilmiştir. Şekil 1.49'den KC sayısı ve  $L/B$  arasındaki aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.



Şekil 1.49 Koruma tabakasının genişliği

$$L/B = A_1 KC \quad (1.52)$$

Burada  $S/B = 0$  için  $A_1 = 1.5$  ve  $S/B = 0.01$  için  $A_1 = 1.1$ 'dir. (1.42) denklemini kullanılarak, Lineer dalga teorisinden yararlanılarak ve  $H = H_s / \sqrt{2}$  alınarak aşağıdaki denklem yazılabilir.

$$L = A H_s / \sinh(kh) \quad (1.53)$$

Burada  $k$  dalga sayısıdır

$$\text{Tam oyulma koruması için; } A = 3.3, \quad (1.54)$$

$$S/B = 0.01 \text{ için } A = 2.4 \text{ 'dür.} \quad (1.55)$$

Bu akım etkisinde oluşan oyulmaya karşı dalgakıranı korumak içindir. Mevcut oyulma koruma deneyleri, koruma tabakası genişliklerinin kırılma etkisinde oluşan oyulmaya karşı kum tabanı tamamen korumak için olduğunu göstermiştir. Ancak dikkat edilmelidir ki, koruma malzemesine karşılık gelen Shields parametresinin küçük değerlerine rağmen önceden ifade edildiği gibi bu deneylerde oyulma koruma tabakası da oluşmuştur. Bu konu mevcut çalışmada araştırılmamıştır.

Bu çalışmanın sonucu şu şekilde özetlenebilir; Dairesel kafaya sahip taş dolgu dalgakıran kafası civarında dalgakıran kafası etrafındaki tabanın yukarısında oluşan kararlı akım ve dalgakıran kafasında oluşan plunging kırılma olmak üzere oyulmaya neden olan iki mekanizma vardır. İlk mekanizmaya göre net etki dalgakıran kafasının önünde ve yakınında oyulma çukurunun şekillenmesidir. KC sayısı dalgakıran kafasının çapını esas almıştır. Büyük KC değerlerinde büyük oyulma oluşmaktadır. Plunging kırılma etkisinde oluşan oyulmaya göre bu etkiyle oluşan oyulma çukuru dalgakıran kafasının artiz bölgesinde şekillenmiştir. Bu oyulma dalga periyodunu, dalga yüksekliğini, su derinliğini ve yerçekimi ivmesini içeren bir parametreyle  $T \sqrt{g H_s} / h$  dikkate alınmıştır. Bu parametrenin büyük değerlerinde büyük oyulma derinliği oluşmaktadır. Önceden ifade edilen kararlı akım aynı zamanda bir yığılma oluşturmaktadır. Bu yığılma bölgesi oyulma çukurunun ön tarafı ile oyulma çukurunun artiz bölgesi arasında oluşmuştur. Artiz bölgesindeki maksimum oyulma derinliğinin yeri, artiz bölgesinde kafa ve gövde kesitlerinin birleştiği yerde yaklaşık olarak sabittir. Ön taraftaki maksimum oyulma ve yığılma derinliklerinin yeri KC sayısına bağlıdır. Oyulma uygun bir taş koruma tabakası ile engellenebilmektedir. Koruma tabakasının genişliği (1.53)-(1.55) denklemlerinde verilen amprik formüllere göre seçilebilir.

### 1.3 Problemin önemi ve çalışmanın amacı

Dalgakıran hasarlarının analizinde dikkate alınması gereken en önemli hidrolik olaylardan biri de bu yapıların etrafındaki taban mekanizmasının açıklanmasıdır. Dalga etkisinde düşey yüzlü ve taş dolgu dalgakıranların kafaları etrafında meydana gelen oyulma nedeniyle bu yapıların stabiliteilerinin bozulduğu bilinmektedir. Bu konuda son yıllarda yapılan çalışmalar oyulma derinliğinin belirlenmesi ve oyulma mekanizmasının anlaşılması üzerinedir. Ancak özellikle

sıg su koşullarında inşa edilen bu yapıların taban profilleri ile oyulma çukuru etkileşimi bugüne kadar yapılan çalışmalarda açıklanmamıştır. Bu çalışmada düşey yüzli dalgakıranların kafaları etrafındaki dalga etkisinde taban profilindeki değişimin kıyı profili ile etkileşimi belirlenerek kafa yakınındaki oyulma çukurunun maksimum denge derinliği modellenerek deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır.



## 2. DENEY SİSTEMİ VE OYULMA MEKANİZMASININ MODELLENMESİ

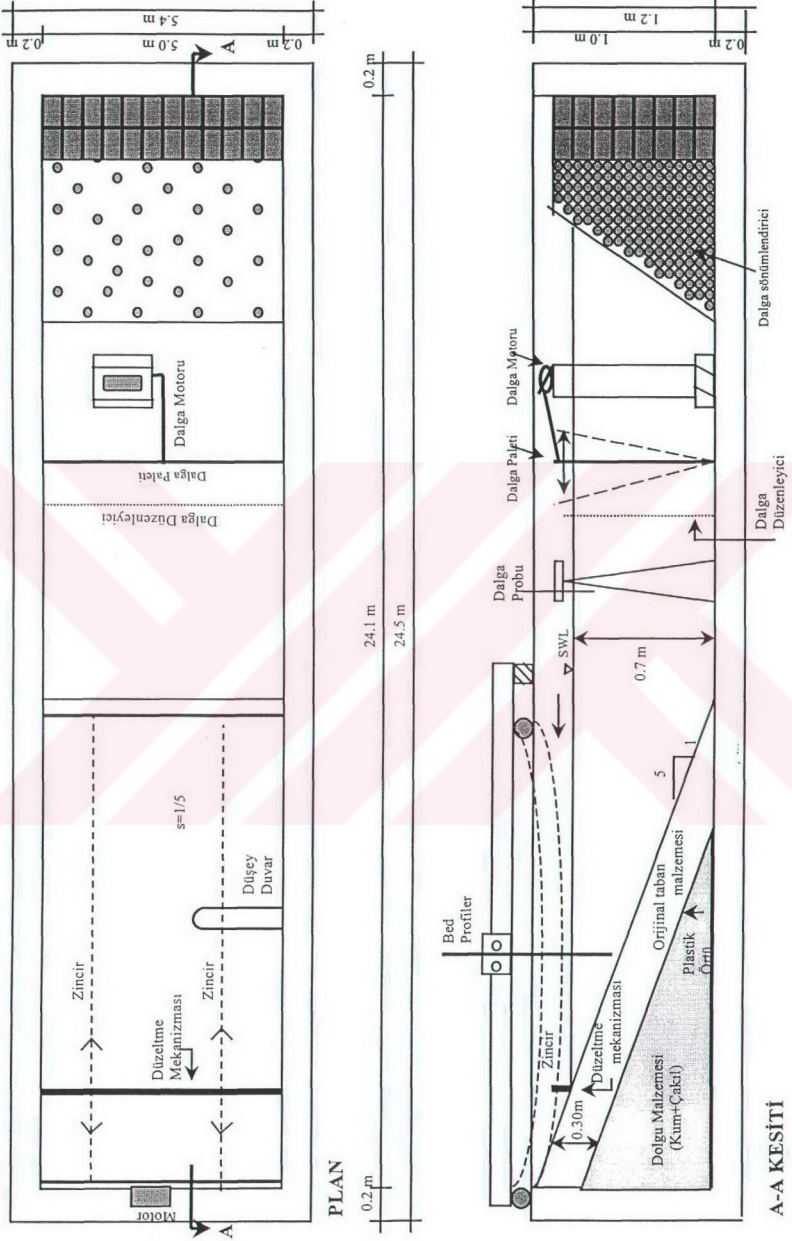
### 2.1 Deney Havuzu ve Duvar Boyutları

Deneyler Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Hidrolik ve Kıyı Liman Laboratuvarında inşaa edilmiş olan dalga havuzunda gerçekleştirilmiştir. Bu havuz 24.50 m uzunluğunda, 5.40 m genişliğinde ve 1 m derinliğindedir (Şekil 2.1). Dalgalar bir eksantrik yardımıyla doğru akım motorunun miline bağlanan tabana mafsallı bir palet ile üretilmiştir. Dalga paletinin arka kısmında iri çakıl malzemeden hazırlanmış dalga sönmölendirici bulunmaktadır (Şekil 2.2). Dalga paletinin önüne yerleştirilen tel perde yardımıyla dalga üreticinden kaynaklanabilecek sekonder dalgaların giderilmesi sağlanmıştır. Böylece, dalga havuzunda daha düzenli dalgaların elde edilmesine çalışılmıştır.



Şekil 2.1 Deney sisteminin genel görünümü

Havuzda istenilen yükseklikte ve periyotta dalga oluşturmak için 5 Kw gücünde bir doğru akım motoru ile buna giden akımı düzenleyen ve kumanda eden bir güç kaynağı ile redresör bulunmaktadır.



Şekil 2.2 Deney sistemi

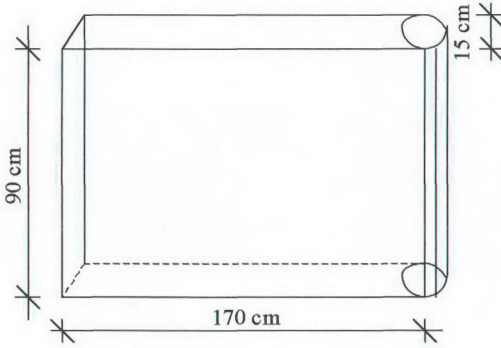
Havuzun diğer tarafında 1/5 eğime sahip bir şev teşkil edilmiştir. Kum ve akıldan oluşan dolgu malzemesi üzerine 30 cm sahip deneylerde esas alınacak kum malzeme serilmiştir. Her deneyin bitiminde şevi orijinal seviyesine getirecek redüktörlü bir motora bağlı otomatik düzeltme mekanizması şev üzerine yerleştirilmiştir. Bu düzeltme mekanizması her deney sonunda otomatik olarak aşağı ve yukarı hareket ettirilmek suretiyle taban dikkate alınan eğime getirilerek hassas bir şekilde düzeltilmesi sağlanmıştır.

Deneylerin ilk aşamasında taban profilinin dalga etkisindeki değişimi incelenmiştir. Her bir dalga şartı için taban profili ölçümleri yapılmıştır.

Deneylerin ikinci aşamasında ise havuzda kıyıya paralel olarak yerleştirilen bir kıyı duvarı modeli kurulmuştur. Kıyı duvarının boyutları 90×170×16 cm'dir (şekil 2.3a ve şekil 2.3.b). Bu kıyı duvarı etrafında meydana gelen oyulma olayı incelenmiştir



şekil 2.3a Deney sisteminden bir görünüş

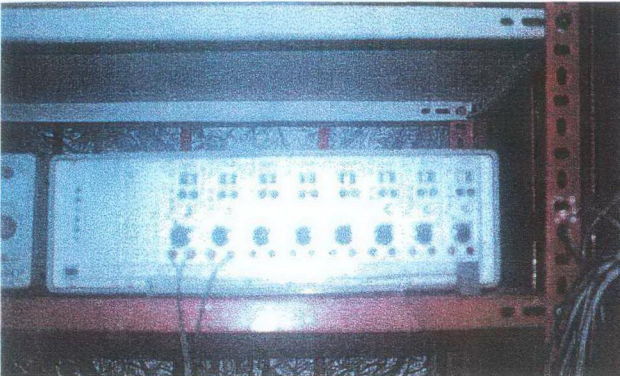


Şekil 2.3b Kıyı duvarının boyutları

## 2.2 Ölçüm Sistemleri

### 2.2.1 Dalga Ölçüm Sistemi

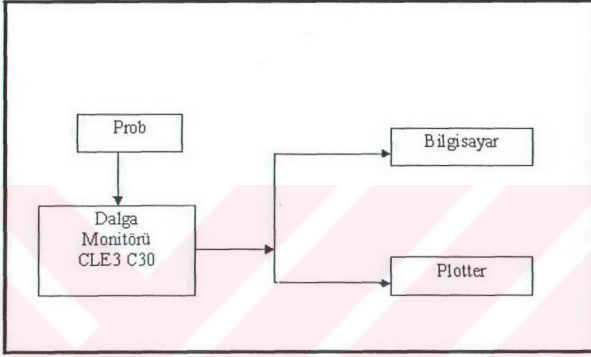
Dalga kanalında üretilen dalgaların yükseklikleri ikiz çubuk elektrodlu bir sistem yardımıyla ölçülmüştür. Bu sistemin çalışması elektrodlar arasındaki suyun devreyi tamamlaması ve su seviyesinin alçalması yükselmesi sırasında direnç değişmesi prensibine dayanmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Dalga probunun genel görünümü

Bu değişim CLE3 C30 model bir amplifikatör yardımıyla yükseltilmekte ve buna bağlı Armfield CQ95 tipi bir plotter ile kaydedilmektedir (Şekil 2.5). Ayrıca kayıtlar bir PC yardımıyla da değerlendirilebilmektedir.

Her deneyden önce sakin su durumunda sistemin direnci dengeye getirilmek suretiyle kalibrasyonu yapılmıştır.

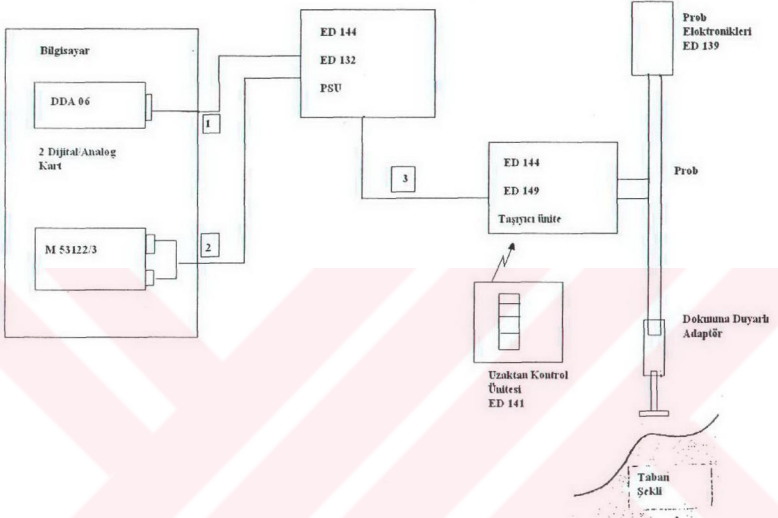


Şekil 2.5 Dalga ölçümünün genel şeması.

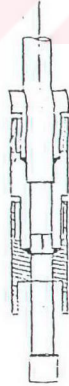
### 2.2.2 Taban Profili Ölçümleri

Hareketli tabanda meydana gelen taban profillerinin ölçümü için “HR Wallingford Dokunma Duyarlı İki Boyutlu” profil kaydedici kullanılmıştır (Şekil 2.6). Bu profil kaydedici kum, çakıl, toz gibi benzeri malzemelerden oluşmuş tabanlarda su altında ve üstünde herhangi bir süreksizlik oluşturmadan çalışabilmektedir. Profil kaydedici 6 m uzunluğunda bir giriş üzerinde yatayda hareket etmekte olan, 0.104×0.2×0.15 m ebadında ve 4.3 kg ağırlığında bir taşıyıcı ile düşeyde aşağı-yukarı hareket eden 1.5 m uzunluğunda ve 0.4 kg ağırlığında bir adet probdan oluşmaktadır. Prob 10 mm çapında ve kenarında dişli olan paslanmaz çelik çubuktan meydana gelmektedir (Şekil 2.7). Bu dişli sistem taşıyıcının içinde bulunan ve düşey hareketi sağlayan dc servo motora bağlıdır. Probun alt ucundaki hafif ağırlıklı dokunmatik algılayıcıdan oluşan bir algılayıcı 20 mm çapındaki bir silindir içinde rahatça aşağı yukarı hareket edebilmektedir. Profil kaydedici yatayda ±1 mm ve düşeyde ±0.5 mm

hassaslıkta ölçüm yapabilmektedir. Algılayıcının silindire göre durumu ve böylece probun tabana göre durumu optik olarak ölçülebilmektedir. Sistemde üretilen kızıl ötesi ışık kaynağı probun üstüne monte edilmiş olup ışık fiber optik yardımıyla aşağıya iletilmektedir.



Şekil 2.6 Dokunma duyarlı iki boyutlu profil kaydedici genel şeması



Şekil 2.7 Profil kaydedici probunun detayı

Diğer bir fiber optik ise dedektörün üzerinden geriye yansıtılan ışığı prob ile taban arasındaki mesafe ile orantılı bir sinyal üreten kızıl ötesi algılamalı foto dioduna iletmektedir. Servo kontrol elektronikleri probu aşağıya doğru harekete geçirerek algılayıcı yavaşça tabana dokunarak durmakta ve böylelikle her bir ölçümde prob ile taban arasındaki mesafe aynı kalmaktadır. Algılayıcı oldukça hafif olduğundan tabanda önemli deformasyonlara neden olmamaktadır. Bu profil kaydedici, içine iki adet AD dönüştürücü kart yerleştirilmiş bir PC 486 DX2-66 ile kontrol edilmekte ve bütün kontrolünün mouse ile yapıldığı özel olarak yazılmış bir software programı ile çalışmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 HR Wallingford dokunma duyarlı iki boyutlu profil kaydedici genel görünümü

### 2.2.3 Oyulma Çukuru Ölçümleri

Dalgakıran kafası etrafındaki oyulma ve yığılmalar manuel olarak Şekil 2.9'da görülen linnimetre yardımıyla ölçülmüştür. Ölçümler, dalgakıranın iki yanında ve ucunda olmak üzere, dalgakıranın hemen kenarında, 3 cm ve 6 cm açığında yapılmıştır.



Şekil 2.9 Linnimetre

### 2.3 Deney Şartları ve Kalibrasyon

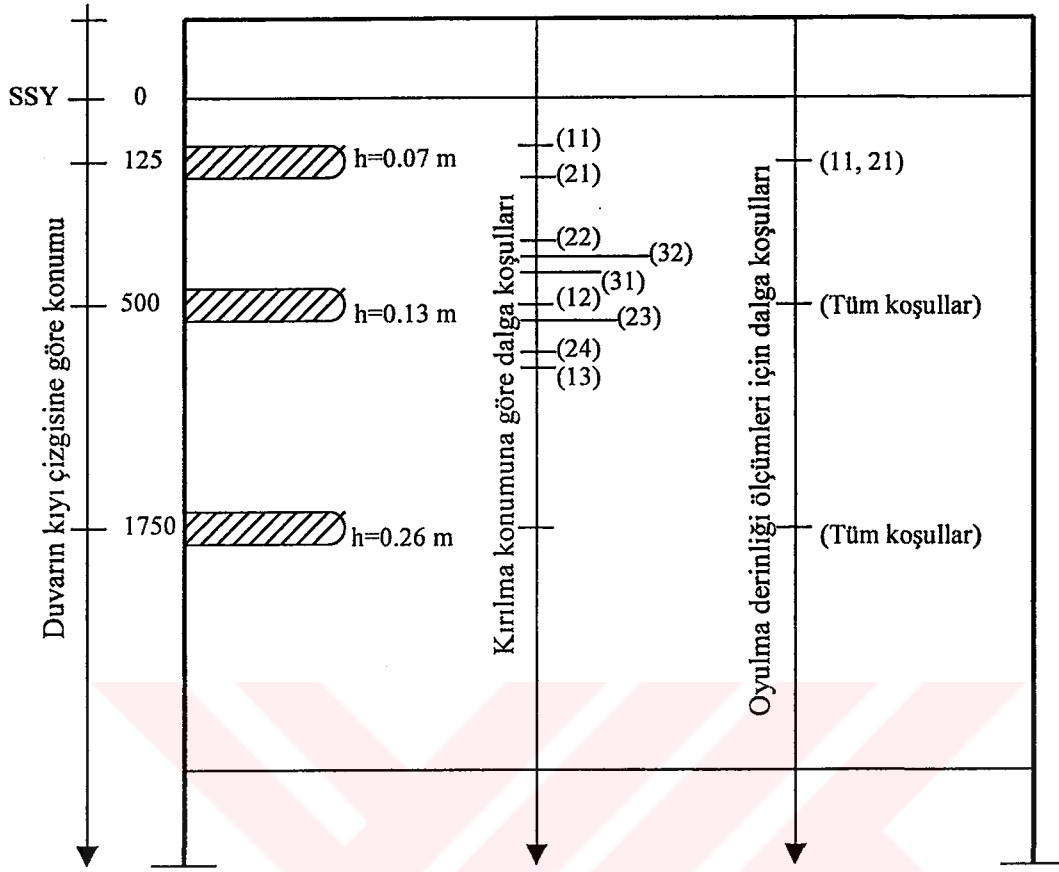
Çizelge 2.1 ve 2.2'de görüldüğü gibi deneylerde üç ayrı grupta toplam 9 farklı dalga şartı dikkate alınmıştır. Ancak 20 farklı deney koşulunda oyulma derinlikleri belirlenmiştir. Duvarın bulunduğu konumda tabandaki maksimum yörüngesel hızlar, duvarın bulunmadığı kabulü ile Cnoidal Dalga Teorisi kullanılarak hesaplanmıştır (Çevik ve Yüksel, 1998). Şekil 2.10'da düşey duvarın kafası etrafındaki oyulma çukuru ölçüm konumları gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Belirlenen dalgalara ait özellikler

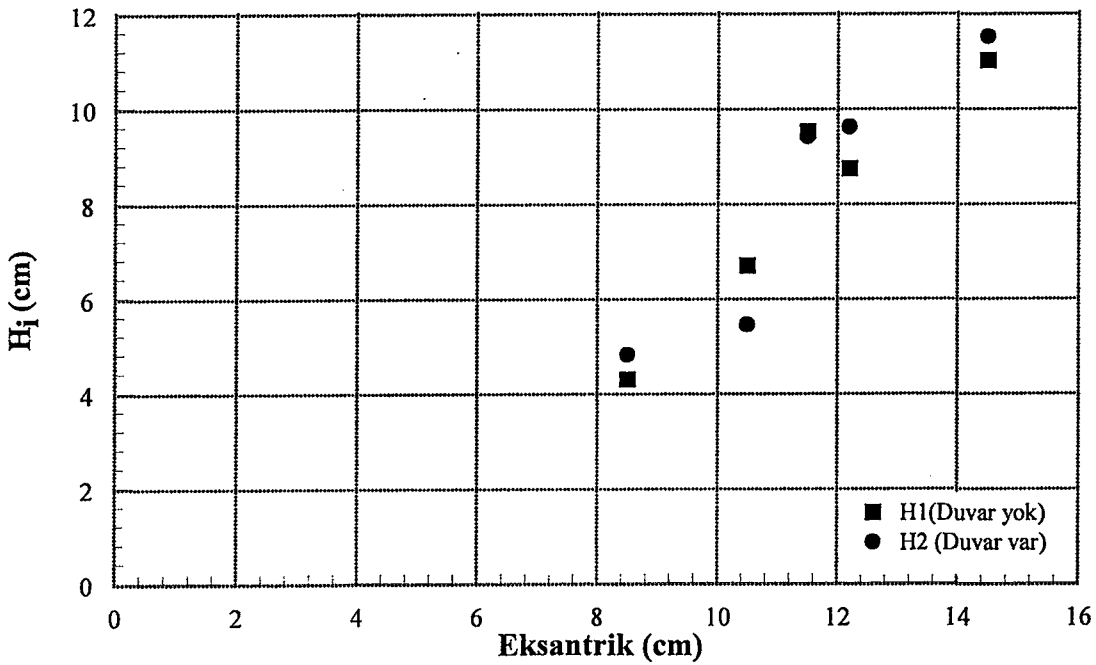
Dalga	T	H <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>d</sub>	L <sub>0</sub>	h	u <sub>m</sub>	KC	H <sub>b</sub>	ξ
No	(s)	(cm)	(m)	(cm)	(cm)	(m)	(m)	(cm/sn)		(cm)	
11	1	4.61	1.55	4.7	4.88	1.56	0.07	0.143	0.89	5.74	1.152
21	1.22	4.28	2.17	4.5	5.02	2.25	0.07	-	-	6.3	1.414
11	1	4.61	1.55	4.7	4.45	1.56	0.13	0.173	1.08	5.74	1.152
12	1	7.61	1.55	7.7	7.35	1.56	0.13	0.254	1.59	7.977	0.9
13	1	9.5	1.55	9.7	9.17	1.56	0.13	-	-	9.304	0.802
21	1.22	4.28	2.17	4.5	4.49	2.25	0.13	0.195	1.22	6.3	1.414
22	1.22	6.67	2.17	7	7	2.25	0.13	0.273	1.71	8.458	1.134
23	1.22	8.72	2.17	9.2	9.15	2.25	0.13	-	-	10.15	0.989
24	1.22	11	2.17	11.5	11.54	2.25	0.13	-	-	11.78	0.885
31	1.62	5.83	3.43	6.4	7.07	4	0.13	0.274	1.71	9.651	1.581
32	1.62	7.17	3.43	7.8	8.7	4	0.13	0.284	1.75	11.01	1.432
11	1	4.61	1.55	4.7	4.28	1.56	0.26	0.127	0.79	5.74	1.152
12	1	7.61	1.55	7.7	7.1	1.56	0.26	0.182	1.14	7.977	0.9
13	1	9.5	1.55	9.7	8.8	1.56	0.26	0.208	1.3	9.304	0.802
21	1.22	4.28	2.17	4.5	4.15	2.25	0.26	0.12	0.75	6.3	1.414
22	1.22	6.67	2.17	7	6.46	2.25	0.26	0.172	1.08	8.458	1.134
23	1.22	8.72	2.17	9.2	8.45	2.25	0.26	0.212	1.33	10.15	0.989
24	1.22	11	2.17	11.5	10.66	2.25	0.26	0.25	1.56	11.78	0.885
31	1.62	5.83	3.43	6.4	6.3	4	0.26	0.186	1.16	9.651	1.581
32	1.62	7.17	3.43	7.8	7.75	4	0.26	0.226	1.41	11.01	1.432

Çizelge 2.2.

Dalga No	S	S/B	Urb	ξ	KC	C	Oyulma Konumu	Kırılma Koşulu
11	-1.3	-0.082	4.92	1.152	0.89	7.93	90.06;4.63	VAR
21	-1	-0.063	14.72	1.414	-	6.73	90.63;4.06	VAR
11	-1.4	-0.09	3.743	1.152	1.08	7.93	90.06;-5.84	YOK
12	-2.5	-0.156	16.86	0.9	1.59	13	85.00;9.00	VAR
13	-7.8	-0.488	32.75	0.802	-	16.4	81.00;9.00	VAR
21	-2.6	-0.163	10.61	1.414	1.22	6.73	90.06;-5.84	YOK
22	-5	-0.313	40.21	1.134	1.71	10.5	86.84;8.55	VAR
23	-4.6	-0.288	89.81	0.989	-	13.8	85.00;9.00	VAR
24	-10	-0.65	180.17	0.885	-	17.2	90.06;5.84	VAR
31	-3	-0.188	162.4	1.581	1.71	7.91	90.70;13.09	VAR
32	-4	-0.25	302.6	1.432	1.75	9.64	80.00;9.00	VAR
11	-1.1	-0.066	3.4	1.152	0.79	7.93	91.77;-2.09	YOK
12	-0.4	-0.025	15.52	0.9	1.14	13	94.90;-1.59	YOK
13	-0.6	-0.034	29.55	0.802	1.3	16.4	94.90;-1.59	YOK
21	-0.8	-0.049	8.348	1.414	0.75	6.73	95.87;-7.83	YOK
22	-0	-0.003	31.49	1.134	1.08	10.5	90.63;-4.98	YOK
23	-1	-0.06	70.47	0.989	1.33	13.8	94.9;-1.59	YOK
24	-1.8	-0.11	141.5	0.885	1.56	17.2	88.64;-7.37	YOK
31	-1.1	-0.066	113.8	1.581	1.16	7.91	82.00;-9.00	YOK
32	-1.8	-0.113	211.9	1.432	1.41	9.64	97.44;-4.14	YOK



Şekil 2.10 Düşey duvarın kafası etrafındaki oyulma çukuru ölçüm konumları



Şekil 2.11 T=1.22 s için kalibrasyon deneyi sonuçları

Eksantriklik miktarının artırılıp azaltılmasıyla oluşturulan dalgaların yansımanın etkisi olmaması için havuz sonunda düşey duvarı havuzda bulunmazken kıyı profilinin oluşmasına izin verilen bir eğimle kıyı oluşturarak yapılmıştır. Bu deneylerde tek prob kullanılmış ve prob dalga üreticiden etkilenmeyecek yakınlıkta bir mesafeye yerleştirilmiştir. Kalibrasyon testleri ile ilgili 1.22 sn için duvarın bulunması ve bulunmaması koşullarına ait dalga yükseklikleri eksantriğin aldığı değerlere karşılık Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Dalga yüksekliklerinde görülen uyumdan açıktaki şartların yansımasından etkilenmediği kabul edilerek deney koşulları değerlendirilmiştir.

## 2.4 Problemin Modellenmesi

### 2.4.1 Etkili parametrelerinin belirlenmesi

Dalgakıran etrafındaki oyulmaların ve profil değişimlerinin incelenmesi için öncelikle olaya etkili parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreler Çizelge 2.3’de gösterilmektedir.

### 2.4.2 Boyut Analizi

Oyulma değişimi. Çizelge 2.3’deki parametreler dikkate alındığında aşağıdaki fonksiyonla gösterilebilir.

$$F(\rho, u_m, B, v, T, \tau, g, S, h, s, \rho_s) = 0 \quad (2.1)$$

Bu parametreler esas alınarak Langhaar (1980) metodu yardımıyla boyut analizi uygulandığında ( bakınız Çizelge 2.4 ve 2.5 )

Çizelge 2.3 Etkili parametreler

	Parametre	Sembolü	Birimi	Boyutu
Akışkanı karakterize eden değişkenler	Akışkanın özgül kütlesi	$\rho$	$\text{kg/m}^3$	$\text{ML}^{-3}$
	Akışkanın kinematik viskozitesi	$\nu$	$\text{m}^2/\text{s}$	$\text{L}^2\text{T}^{-1}$
Akımı karakterize eden değişkenler	Dalga yüksekliği	H	m	L
	Dalga periyodu	T	sn	T
	Su derinliği	h	m	L
	Taban kayma gerilmesi	$\tau$	$\text{N/m}^2$	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$
	Tabandaki akışkan partikülünün maksimum yörüngesel hızı	$u_m$	$\text{m/s}$	$\text{L/T}^{-1}$
Diğer değişkenler	Taban eğimi	$s (= \tan\beta)$	$\text{m/m}$	-
	Yerçekimi ivmesi	g	$\text{m/sn}^2$	$\text{LT}^{-2}$
	Maksimum oyulma derinliği	S	m	L
	Dalgakıran kafasının çapı	B	m	L
	Katı madde özgül kütlesi	$\rho_s$	$\text{kg/m}^3$	$\text{ML}^{-3}$

Çizelge 2.4 Oyulmaya etkili parametrelerin boyutları

	$\rho$	$u_m$	B	$\nu$	H	T	$\tau$	g	S	h	s	$\rho_s$
M	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
L	-3	1	1	2	1	0	-1	-1	1	1	0	-3
T	0	-1	0	-1	0	1	-2	-2	0	0	0	0

Çizelge 2.5 Oyulma için boyutsuz parametreler

	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	$\Pi_5$	$\Pi_6$	$\Pi_7$	$\Pi_8$	$\Pi_9$
$\rho$	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1
$u_m$	-1	0	1	-2	-2	0	0	0	0
$B$	-1	-1	-1	0	1	-1	-1	0	0
$v$	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$H$	0	1	0	0	0	0	0	0	0
$T$	0	0	1	0	0	0	0	0	0
$\tau$	0	0	0	1	0	0	0	0	0
$g$	0	0	0	0	1	0	0	0	0
$S$	0	0	0	0	0	1	0	0	0
$h$	0	0	0	0	0	0	1	0	0
$s$	0	0	0	0	0	0	0	1	0
$\rho_s$	0	0	0	0	0	0	0	0	1

sırasıyla aşağıda belirtilen boyutsuz büyüklükler elde edilmiştir;

$$\Pi_1 = \frac{v}{u_m B} = Re. \quad \text{Dalgakıran Reynolds Sayısı}$$

$$\Pi_2 = \frac{H}{B} \quad \text{Rölatif Dalga Yüksekliği}$$

$$\Pi_3 = \frac{u_m T}{B} = KC \quad \text{Kleugan Carpenter Sayısı}$$

$$\Pi_4 = \frac{\tau}{\rho u_m^2} \quad \text{Hareketlilik Parametresi}$$

$$\Pi_5 = \frac{Bg}{u_m^2} = Fr. \quad \text{Dalgakıran Froude Sayısı}$$

$$\Pi_6 = \frac{S}{B} \quad \text{Rölatif Oyulma Derinliği}$$

$$\Pi_7 = \frac{h}{B} \quad \text{Rölatif Su Derinliği}$$

$$\Pi_8 = s \quad \text{Kıyı Taban Eğimi}$$

$$\Pi_9 = \frac{\rho_s}{\rho} \quad \text{Rölatif Özgöl Kütle}$$

$$F_1(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9) = 0$$

$$F_1(\text{Re}_*, \frac{H}{B}, \text{KC}, \theta, \text{Fr}_*, \frac{S}{B}, \frac{h}{B}, s, \frac{\rho_s}{\rho}) = 0$$

ve kırılan dalga şartlarında

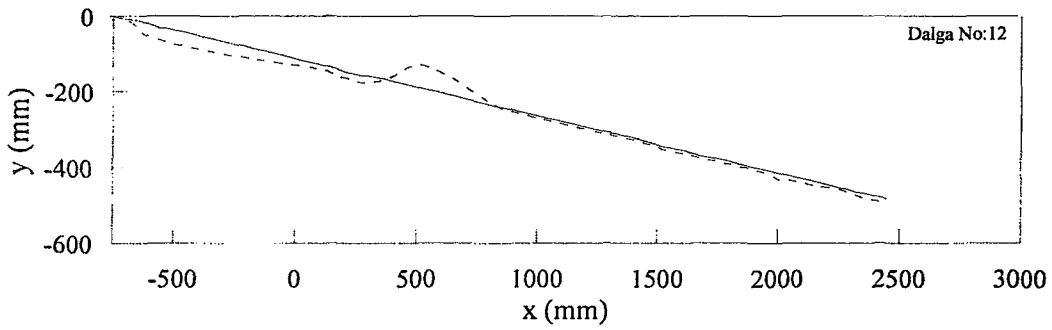
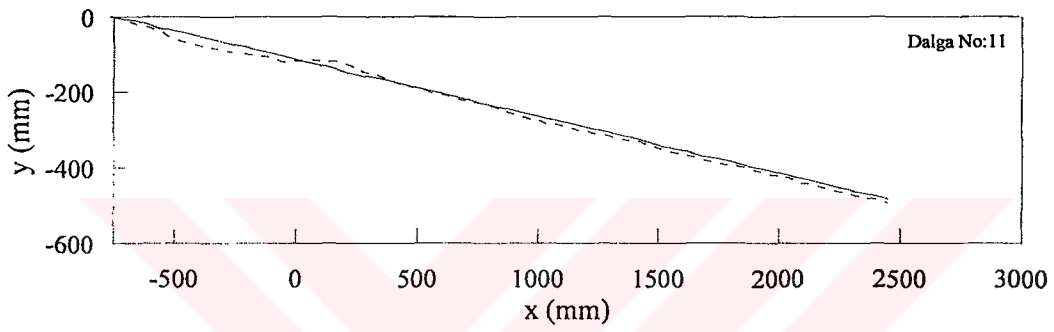
$$F_1(\text{Re}_*, \frac{S}{H}, \text{KC}, \theta, \text{Fr}_*, T^*, \frac{S}{B}, \frac{h}{B}, s, \frac{\rho_s}{\rho}) = 0$$

burada  $T^* = \left( \frac{T\sqrt{gH}}{h} \right)$  boyutsuz periyot parametresi ve  $\frac{S}{H}$  boyutsuz oyulma derinliği olarak elde edilmiştir.

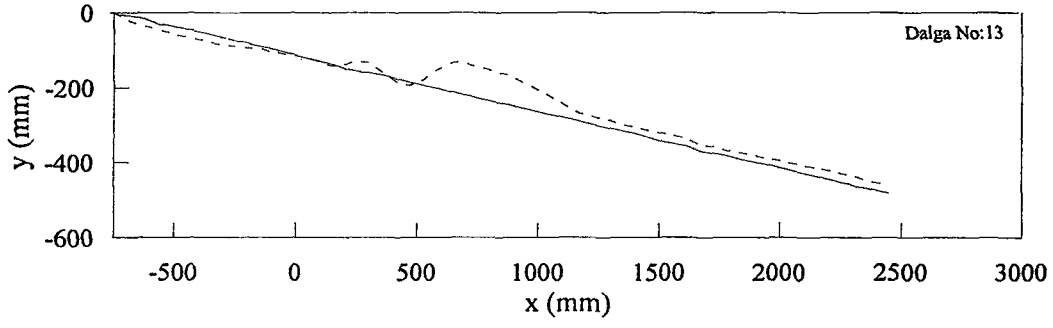
### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE TARTIŞMA

#### 3.1 Kıyı Profilleri

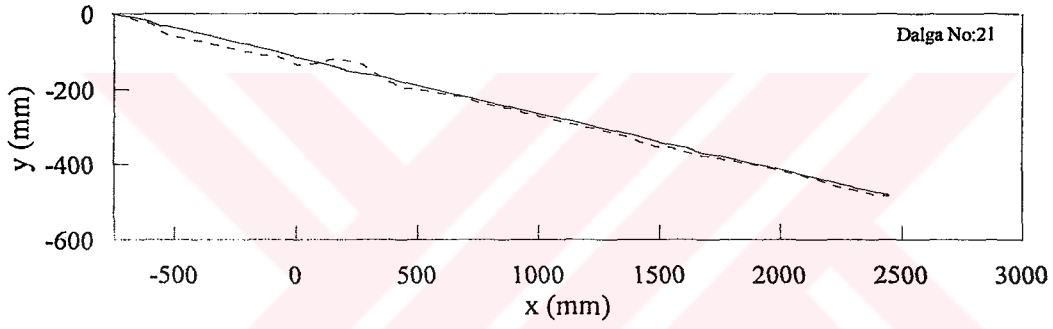
Dalga etkisinde meydana gelen Bölüm 1’de anlatılan kıyı profilleri, Bölüm 2’de bahsedilen profil kaydedici yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 3.1’deki grafikler elde edilmiştir.



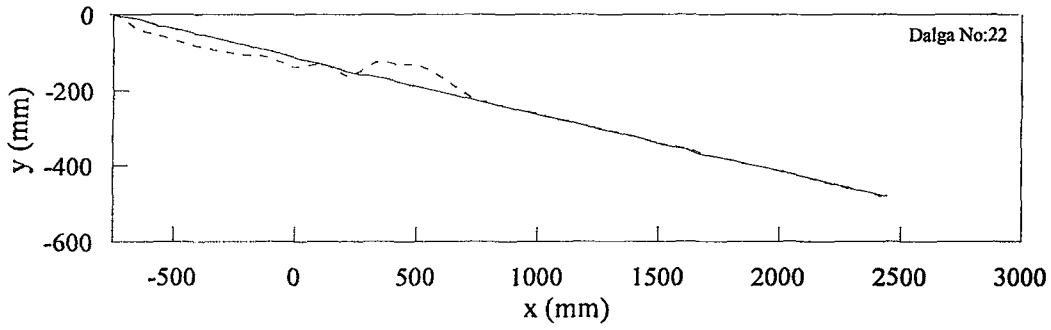
Şekil 3.1 Tipik fırtına profilleri



Tepenin konumu=615 mm

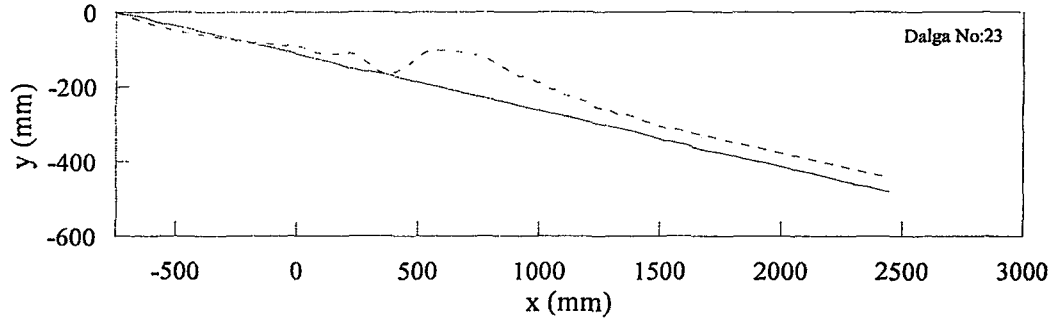


Tepenin konumu=150 mm

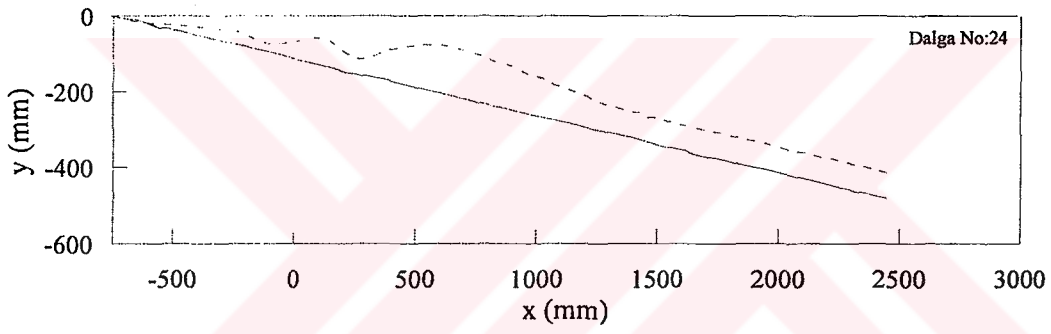


Tepenin konumu=350 mm

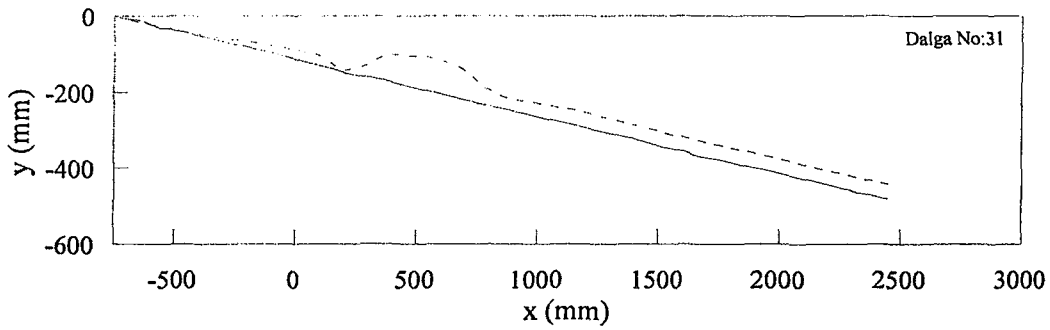
Şekil 3.1 Devam



Tepenin konumu=550 mm

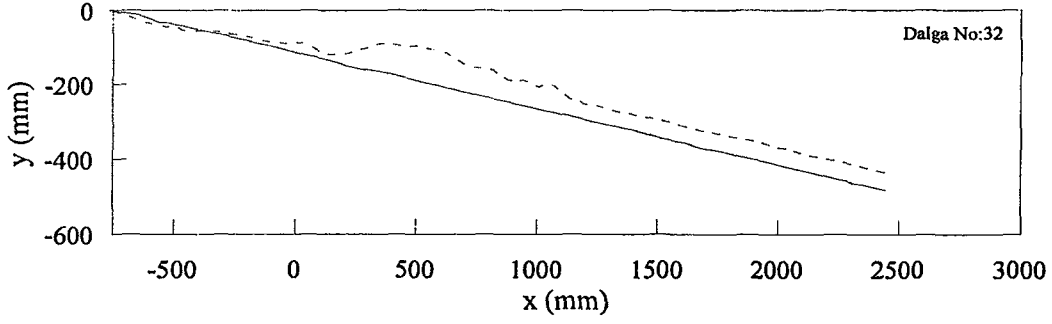


Tepenin konumu=575 mm



Tepenin konumu=400 mm

Şekil 3.1 Devam



Tepenin konumu=370 mm

Şekil 3.1 Devam

Taban profili ölçümlerinden elde edilen grafikler incelendiğinde dalga periyodu ve dalga yüksekliği arttıkça dalga etkisinde oluşan kıyı profilinin büyüdüğü görülmektedir. Yapılan çalışmalarda görüldüğü gibi tüm profiller fırtına profili görünümündedir. Sunamura ve Horikawa'nın Bölüm 1'de bahsedilen profil parametreleri (C) hesaplandığında da bu profillerin fırtına profili sınıfına girdiği söylenebilir (Çizelge 2.2)

### 3.2 Oyulma Derinliğinin Belirlenmesi

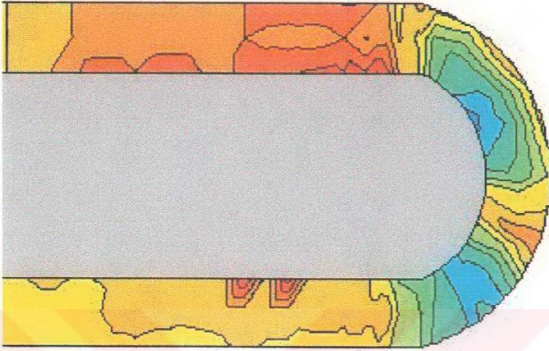
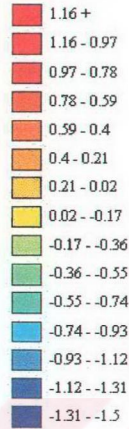
Şekil 2.10'da gösterilen konumlarda düşey duvarın kafası etrafındaki taban değişimi kafada 1cm'lik, duvarın ön ve arka cephesi boyunca ise 2 cm'lik aralıklarla limnimetre yardımıyla ölçülmüştür. Ölçümler deneyden önce ve her deney koşulu için 1000 dalga sonra dinamik dengeye ulaşan profiller belirlenerek tabandaki değişimler elde edilmiştir

#### 3.2.1 Kafa etrafındaki taban morfolojisi ve oyulmanın yeri

Sümer ve Fredsøe (1997) taşdolgu dalgakıranlar için yapmış oldukları çalışmada; dalgakıran kafası etrafında dalga etkisinde kararlı akımın oluştuğu ve plunging tipi kırılmanın meydana geldiği haller için iki farklı durum gözlemlemişlerdir.

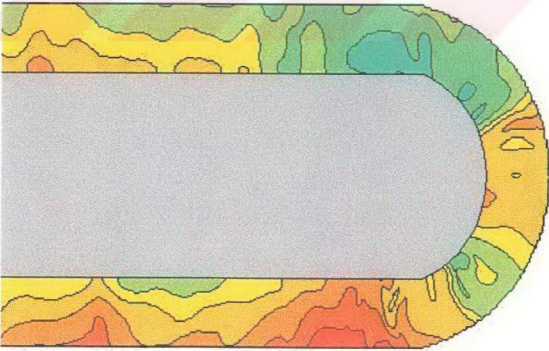
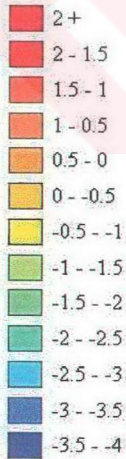


Derinlik (cm)



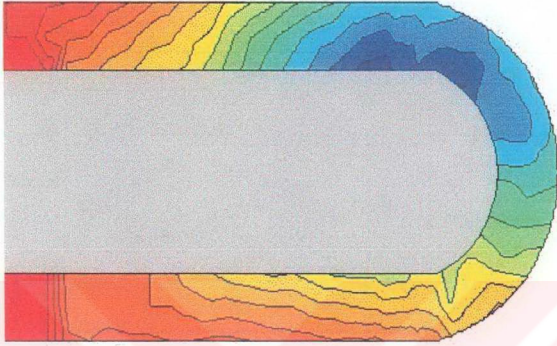
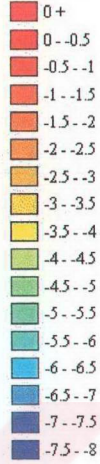
b) Dalga No= 21 , KC= -

Derinlik (cm)



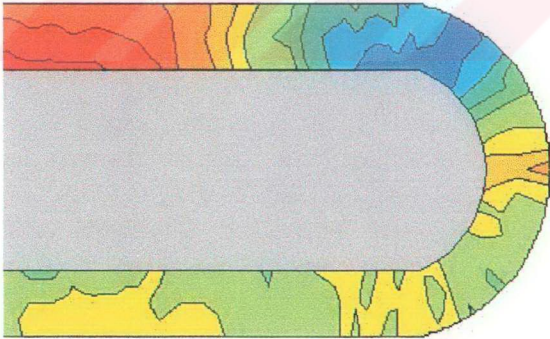
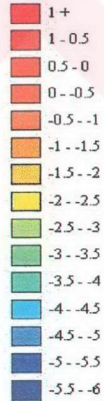
c) Dalga No=12 , KC=1.59

Derinlik (cm)



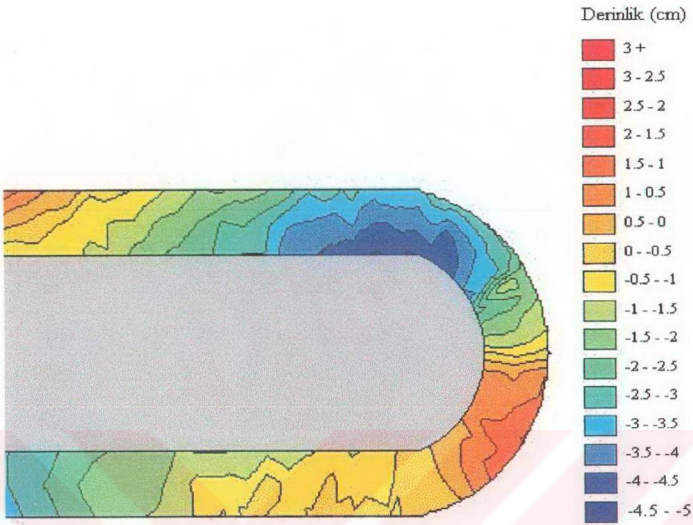
d) Dalga No= 13 , KC= -

Derinlik (cm)

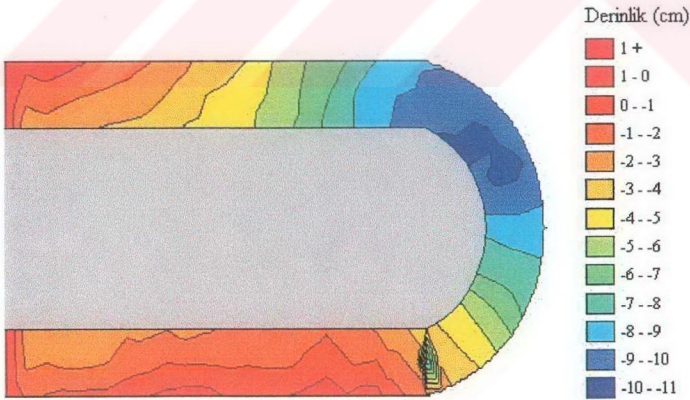


e) Dalga No= 22 , KC=1.71

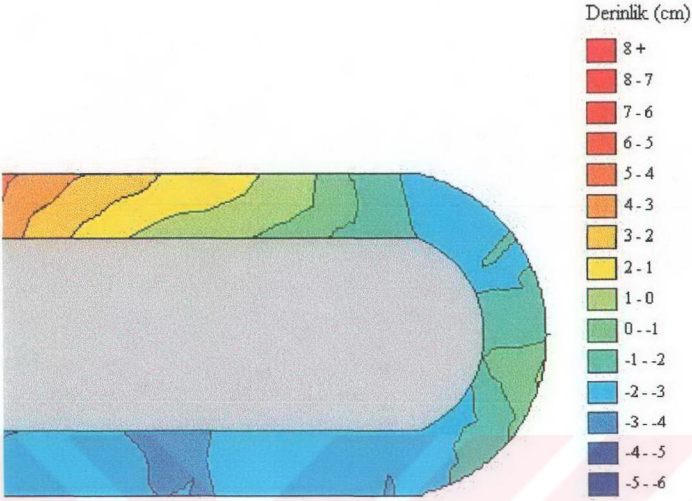
Şekil 3.2 Devam



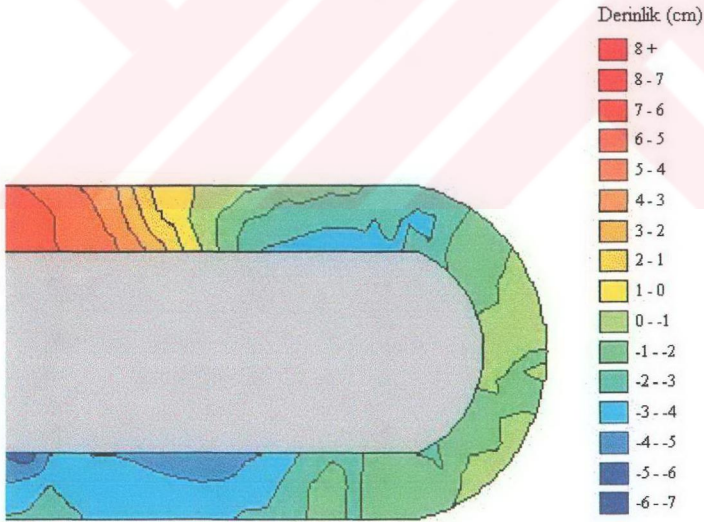
f) Dalga No=23 , KC=-



g) Dalga No=24 , KC=-



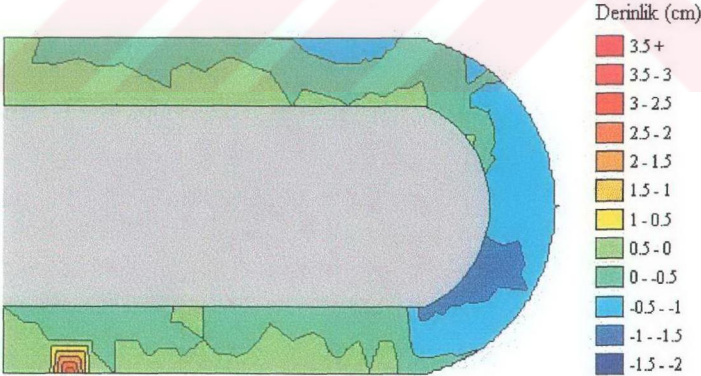
h) Dalga No= 31 , KC=1.71



i) Dalga No= 32 , KC=1.75

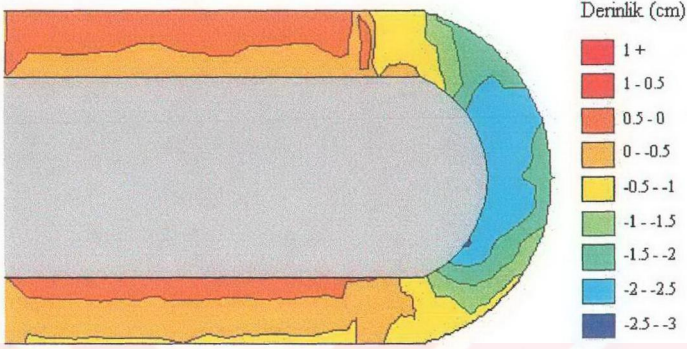
Sümer ve Fredsøe (1997) düşey yüzü dalgakıranlar için de bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kırılmayan dalga koşullarında dalgakıranın kafa bölgesindeki vortekslerin ayrılması oyulma işleminde önemli rol oynamaktadır. Yaklaşan akımın dönmelerinden dolayı dalgakıran kafası etrafında oluşan artiz vorteks sistemi veya at nalı vorteks sistemi veya her ikisi de akıma bağlı olarak oyulmaya neden olmaktadır. Sümer ve Fredsøe (1997) düşey yüzü dalgakıran etrafındaki oyulmaya neden olan temel mekanizmanın dalgaların her bir yarım periyodunda oluşan artiz vorteksler olduğunu göstermişlerdir. Artiz vorteksler ile süpürülen katı madde bu akım yapısı ile mansap tarafına taşınmış ve dalgakıran kafası etrafında net bir oyulmaya neden olarak dalgakıran kafasından uzağa yığılmıştır.

Bu çalışmanın ikinci aşamasında kırılmayan dalga şartlarında düşey yüzü dalgakıran kafası etrafında yapılan deneylerden elde edilen taban değişimleri incelendiğinde Sümer ve Fredsøe'nun (1997) bulduğu sonuçlara benzer sonuçlar görülmüştür. Oyulma çukurunun, dalga yükseklikleri ve periyotları küçükken dalgakıran kafasının ucunda oluşurken, dalga yükseklikleri ve periyotları arttıkça dalgakıran kafasının ön tarafına doğru hareket ettiği belirlenmiştir.

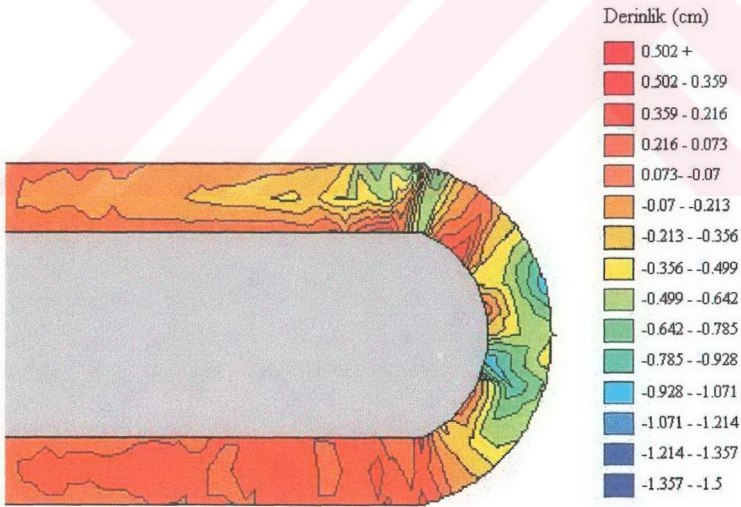


a) Dalga  $No=11$  ,  $KC=1.08$

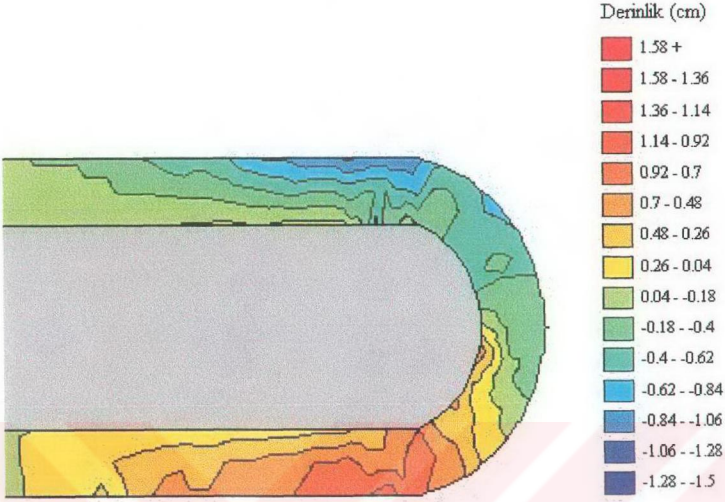
Şekil 3.3 Düşey duvarın kafası etrafındaki kırılmayan dalga şartları için taban morfolojisi



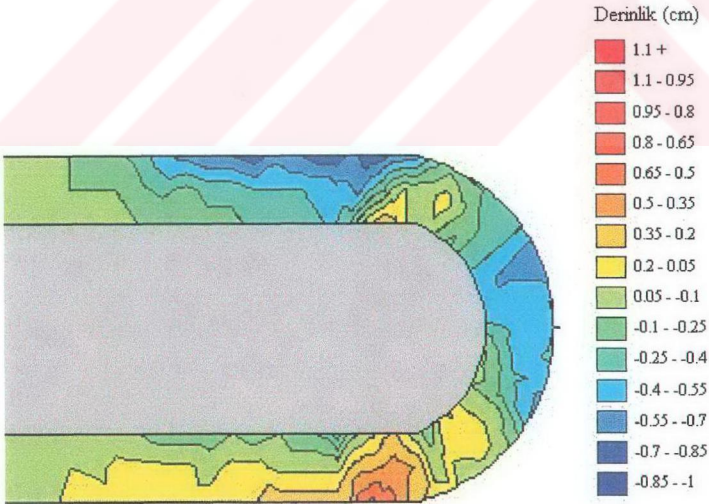
b) Dalga No= 21 , KC=1.22



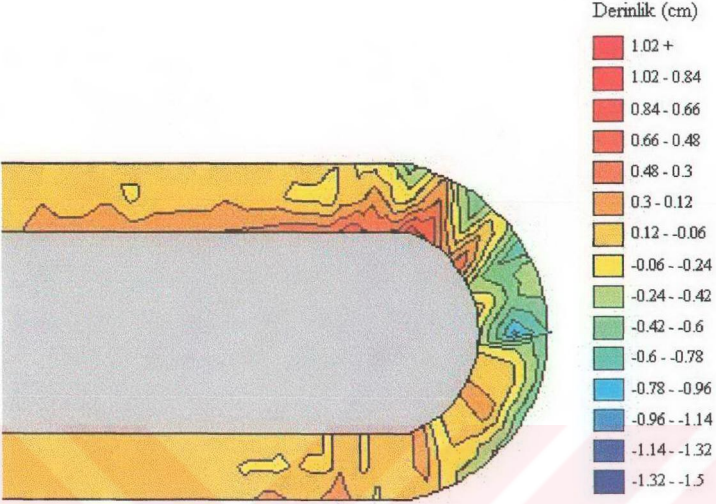
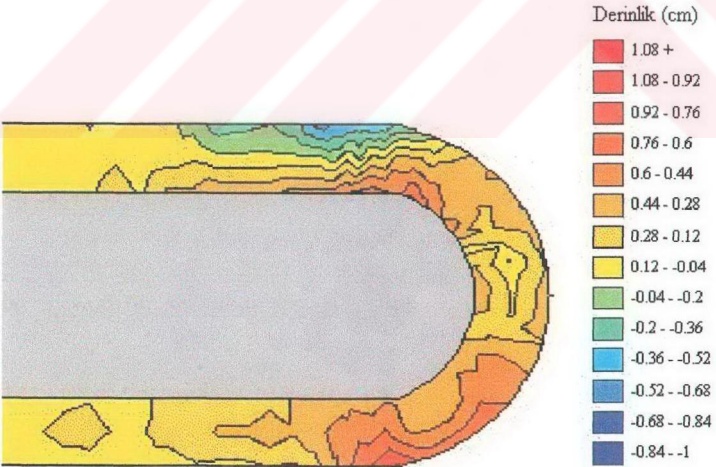
c) Dalga No= 11 , KC=0.79

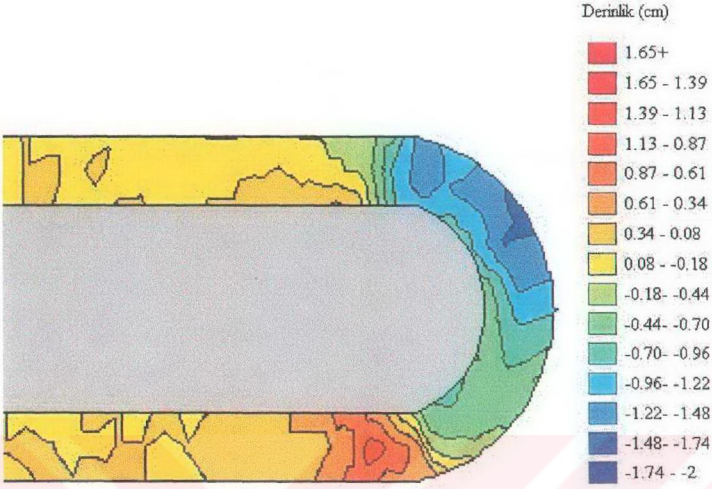


d) Dalga No= 12 , KC=1.14

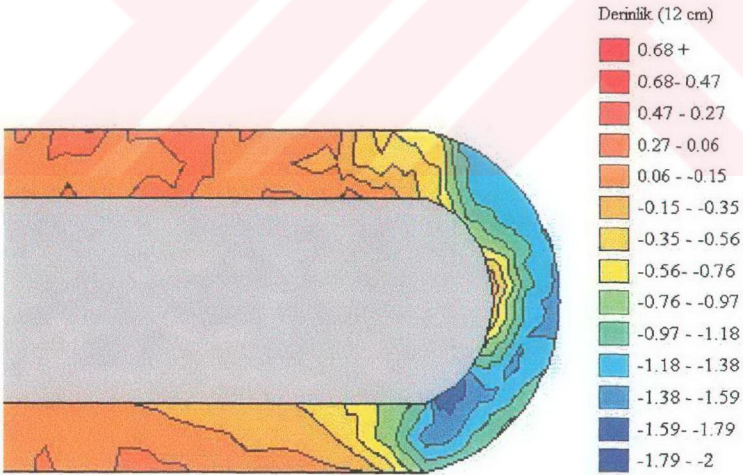


e) Dalga No= 13 , KC=1.3

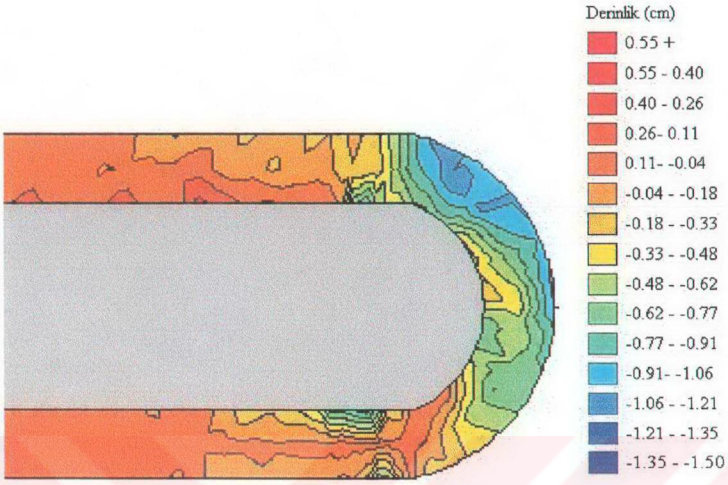
f) Dalga No= 21 ,  $KC=0.75$ g) Dalga No= 22 ,  $KC=1.08$



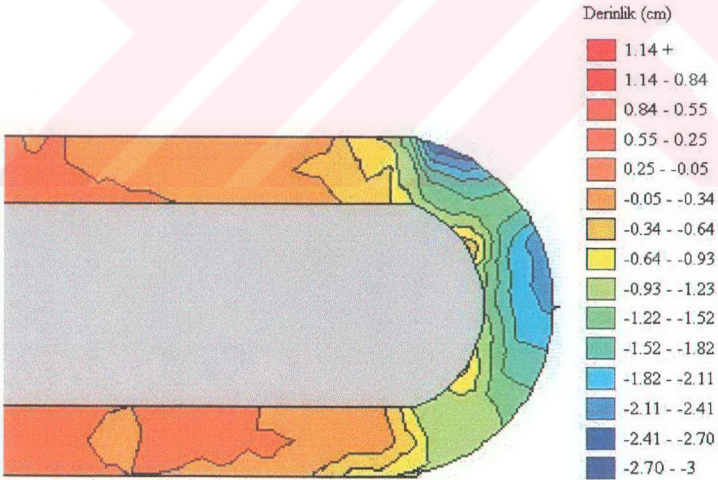
h) Dalga No= 23 , KC=1.33



i) Dalga No= 24 , KC=1.56



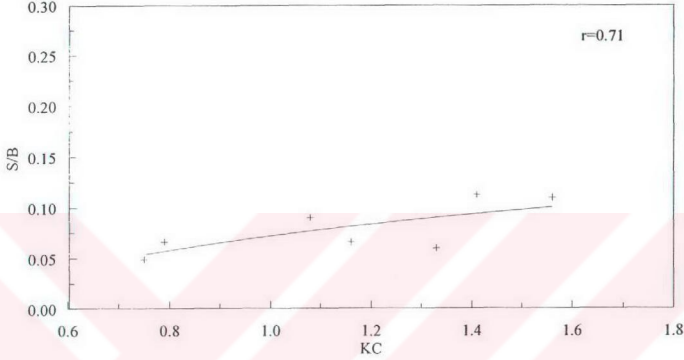
j) Dalg No= 31 , KC=1.16



k) Dalg No= 32 , KC=1.41

Şekil 3.3 Devam

Şekil 3.4'de kırılmayan dalga şartlarında ölçülen rölâtif oyulma derinliklerine karşılık Keulegan Carpenter (KC) sayıları çizilmiştir. Aralarında korelasyon ( $r=0.71$ ) bulunması KC sayısının rölâtif oyulma derinliği üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. KC sayısı arttıkça oyulma derinliğinin de arttığı görülmektedir. Rölâtif oyulma derinliğinin KC ile değişimi

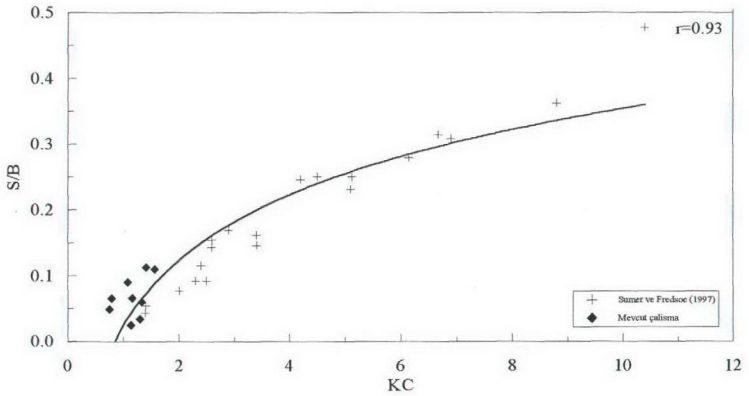


Şekil 3.4 Kırılmayan dalga şartları için S/B'nin KC ile değişimi

$$\frac{S}{B} = 0.0639786 \log(KC) + 0.0720556 \quad (3.1)$$

ifadesi ile verilmiştir. Ancak bu ifade  $KC=0.7-1.6$  aralığında geçerlidir.

Aynı zamanda yine kırılmayan dalga şartlarında ölçülen rölâtif oyulma derinliklerinin KC sayısı ile değişimi Sümer ve Fredsøe (1997) tarafından elde edilen sonuçlar ile bir arada değerlendirilmiştir (Şekil 3.5). Şekil incelendiğinde mevcut çalışmada elde edilen sonuçların Sümer ve Fredsøe (1997) tarafından elde edilen sonuçlarla bir uyum sağladığı görülmüştür. Ancak mevcut çalışma daha düşük KC sayılarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5 Kırılmayan dalga şartları için S/B'nin KC ile değişimi (Sümer ve Fredsøe ile birlikte değerlendirme)

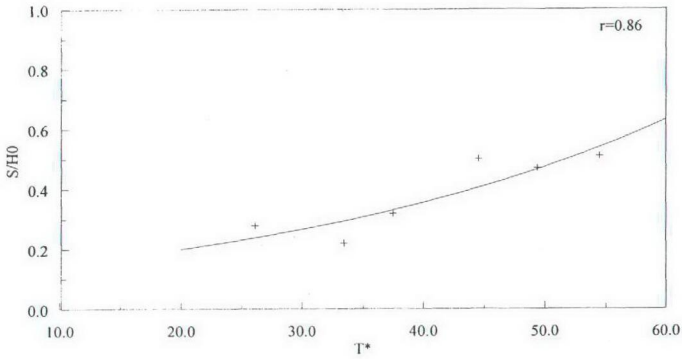
Her iki çalışma bir arada değerlendirildiğinde ;

$$\frac{S}{B} = 0.143083 \log(KC) + 0.0249382 \quad (3.2)$$

ifadesi elde edilmiştir.

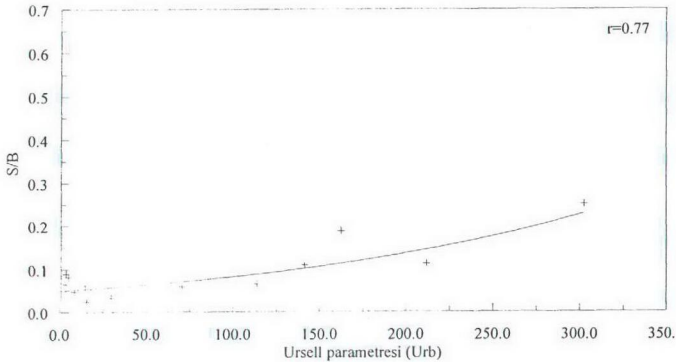
Şekil 3.6'da kırılan dalga şartları için oyulma derinliğinin dalga yüksekliğine oranı ( $S/H_0$ ) periyot parametresine ( $T^*$ ) karşılık çizilmiştir. Elde edilen sonuçlar Sümer ve Fredsøe (1997) tarafından elde edilenlerle karşılaştırıldığında oldukça iyi bir uyum göstermektedir. Periyot parametresi ( $T^*$ ) arttıkça  $S/H_0$  değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu durumda  $T^*$ 'ın 20-60 arasındaki değerleri için aşağıdaki ifade elde edilebilmektedir.

$$\frac{S}{H_0} = 0.112 \exp(0.0291T^*) \quad (3.3)$$



Şekil 3.6 Kırılan dalga koşulları için  $S/H_0$  ile Periyot Parametresinin ( $T^*$ ) değişimi

Çevik ve Yüksel (1998) boru hatları etrafındaki oyulma çukurunun sığ su şartlarında kendilerinin tanımladıkları değiştirilmiş Ursell (Urb) parametresine bağımlı olduğunu bulmuşlardır. Bu da göz önüne alınarak kırılan ve kırılmayan bütün dalga koşulları için rölatif oyulma derinliğinin ( $S/B$ ) değiştirilmiş Ursell parametresi ile değişimi incelenmiştir. Aralarında korelasyon bulunması değiştirilmiş Ursell parametresinin de oyulma derinliği üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Değiştirilmiş Ursell parametresi arttıkça oyulma derinliği de artmaktadır.



Şekil 3.7 Bütün dalga şartları için  $S/B$ 'nin Ursell Parametresi İle değişimi

Bu değişim aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmiştir;

$$\frac{S}{B} = 0.053 \exp(0.005Urb) \quad (3.4)$$



#### 4. SONUÇLAR

Dalga etkisinde düşey yüzölçümlü dalgakıran etrafında meydana gelen oyulma derinliğinin belirlenmesi amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Sonucunda elde edilen bilgiler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Deneysel şartlarında dalga etkisinde meydana gelen kıyı profilleri ölçülmüştür. Dalga periyodu ve dalga yüksekliği arttıkça kıyı profilinin büyüdüğü görülmektedir.
2. Bu çalışmada iki durum göz önüne alınmıştır. Kırılan dalga koşulları için plunging tipi kırılma sonucunda düşey yüzölçümlü duvar etrafında meydana gelen oyulma olayı, kırılmayan dalga şartlarında düşey yüzölçümlü duvar etrafında meydana gelen oyulma olayı incelenmiştir.
3. Düşey yüzölçümlü duvar etrafında meydana gelen oyulma olayına Keulegan Carpenter (KC) sayısının ve periyot parametresinin ( $T^*$ ) etkisi olduğu belirlenmiştir. Keulegan Carpenter (KC) sayısı arttıkça oyulma derinliğinin arttığı görülmüştür. Aynı zamanda kırılan dalga şartlarında periyot parametresi arttıkça yine oyulma derinliğinin arttığı görülmüştür.
4. Kırılan dalga şartlarında taban değişimi incelendiğinde dalga yükseklikleri ve periyotlarının küçük olduğu durumlarda oyulma çukurunun dalgakıran kafasının ön kısmında olduğu, dalga yükseklikleri ve periyotları arttıkça dalgakıranın arka tarafında doğru kaydığı belirlenmiştir.
5. Kırılmayan dalga şartları için taban değişimi incelendiğinde dalga yükseklikleri ve periyotlarının küçük olduğu durumda oyulma çukurunun dalgakıran kafasının ucunda olduğu, dalga yükseklikleri ve periyotları arttıkça dalgakıranın ön tarafına doğru hareket ettiği belirlenmiştir.

6. Ayrıca kırılmayan dalga şartlarında ölçülen rölatif oyulma derinliklerinin KC sayısı ile değişimi Sümer ve Fredsøe (1997) tarafından elde edilen sonuçlarla birlikte değerlendirildiğinde aralarında iyi bir uyum olduğu görölmüştür. Ancak mevcut çalışma daha küçük KC sayılarında gerçekleştirilmiştir.
7. Bütün dalga şartları için rölatif oyulma derinliğinin değiştirilmiş Ursell parametresi Urb ile değişimi incelenmiştir. Değiştirilmiş Ursell parametresi arttıkça oyulma derinliğinin arttığı belirlenmiştir.

**KAYNAKLAR**

- Bagnold, R.A. (1940). Beach Formation by Waves: Some Model Experiments in a Wave Tank. *J. Inst. Civ. Eng.*, Vol. 15, pp 27-52.
- Beusers, H.N.C., Nicollet, G ve Shen, H.W. (1977). Local Scour Around Cylindrical Piers. *J. Hydraul. Res.*, 15(3): 211-252.
- Beusers, H.N.C. ve Raudkivi, A.J. (1991), Scouring. I.A.H.R. Hydraulic Structures Design Manual 2, A.A Balkema Rotterdam.
- Cartens, M.R., Neilson, F.M. ve Altınbilek, H.D. (1969). Bed Forms Generated in the Laboratory under an Oscillatory Flow. US Corps of Eng., Coastal Eng. Res. Center ,Tech. Memo, No. 28 USA.
- CERC (1984). Shore Protection Manual, 4<sup>th</sup> Ed., Coastal. Eng. Res. Ctr., US Army Corps Eng., Vicksburg ,Va
- Çelikoğlu Y.,(1998). Kıyı Profilleri Üzerindeki Taban Malzemesinde Granülometrik Değişiminin Hidrodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çevik, E. ve Yüksel Y., (1999). Scour Under Submarine Pipelines in Waves in Shoaling Conditions. *Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering ASCE*, 125, 1, pp 9-19.
- Dean, R.G. (1990). Equilibrium Beach Profiles: Characteristics ve Applications. *J. of Coastal Research*, 7 (1): 53-84.
- De Best, A., Bijker, E.W. ve Wichers, J.E.W. (1971).Scouring of Sand Bed in front of a Vertical Breakwater. In: *Proc. Conf. On Port and Ocean Eng. Under Arctic Conditions*, NTH, Trondheim, pp. 1077-1086.
- Eckert, J.W. (1983), Design of Toe Protection for Coastal Structures. In: *Coastal Structures 83. A Specialty Conference on the Design. Constuction Maintenance and Performance of Port Coastal Structures. Proceedings*. Arlington, VA pp. 331-341.
- Edelman, T. (1973). Dune Erosion During Storm Conditions. *Proc. 13 th Conf. Coastal Eng.*, Vancouver, 1972, Vol. 2, Chap. 70, pp 1305-1311.
- Fowler, J.E. (1992), Scour Problems and Methods for Prediction of Maximum Scour at Vertical Seawalls. Technical Report CERC 92-16, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.
- Fredsøe, J. (1984), Turbulent Boundary Layer in Wave-Current Motion. *J. Hydraul. Eng ASCE*. 110. 1103-1120.
- Fredsøe, J. (1984), Turbulent Boundary Layer in Wave-Current Motion. *J. Hydraul. Eng ASCE*, 110(HY8): 1103-1120.
- Fredsøe, J. ve Sumer, B.M. (1997). Scour at the Round Head of a Rubble-Mound Breakwater. *Costal Eng.*, 29: 231-262.

Gourlay, M.R. (1980). *Beaches: Profiles, Processes and Permeability*. Univ. Qld. Dept. Civ. Eng., Res. Rep. No. CE31.

Gökçe, T. ve Günbak, A.R. (1997) Self-burial and Simulated Self-burial of Pipelines by Waves. In: Proc. Of the First (1991) International Offshore and Polar Engineering Conf., Edinburgh, Vol. 2, pp. 308-314.

Gökçe, T., Sumer, B.M. ve Fredsøe, J. (1994). Scour Around the Head of a Vertical-wall Breakwater. In: Proc. International Conf. On Hydro-Technical Engineering for Port and Harbour Construction. Yokosuka, pp. 1097-1116.

Hales, L.Z. (1980), *Erosion Control of Scour During Construction : Report 2, Literature Survey of Theoretical, Experimental and Prototype Investigations*, Technical Report HL-80-3, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Hansen, E.A. (1992) Scour Below Pipelines and Cables: A Simple Model. In: Proceeding of 11<sup>th</sup> Offshore Mechanics and Arctic Engineering Conference (OMAE 92), Vol 5A. Pipeline Technology, ASME, pp. 133-138.

Herbich, J.B., Schiller, R.E, Jr., Watanabe, R.K ve Dunlap, W.A.(1984). *Sea Floor Scour-Design Guidelines for Ocean Founded Structures (Ocean Engineering 4)*. Marcel Dekker, New York, NY, pp. 203-210.

Hughes, S.A. ve Fowler, J.E., (1991). Wave-induced Scour Prediction at Vertical Walls. In: Proc Conf. Coastal Sediments '91. ASCE, pp. 1886-1899.

İrie, I. ve Nadoka, K., (1984). Laboratory Reproduction of Seabed Scour in front of Breakwaters. In: Proc. 19<sup>th</sup> ICCE Houston TX. ASCE, pp. 1715-1731.

Jensen, B.L., Sumer, B.M. ve Fredsøe, J. (1989). Turbulent Oscillatory Boundary Layers at High Reynolds Numbers. *J. Fluid Mech.*, 206: 265-297.

Kabdaşlı, S. (1992). *Kıyı Mühendisliği*. İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası İstanbul

Kozakiewicz, A., Sumer, B.M., ve Fredsøe, J. (1994). Cross-flow Vibration of Cylinder in Irregular Oscillatory Flow. *J. Waterw. Port Coastal Ocean Eng.* ASCE, 120(6): 515-534.

Lillycrop, W.J ve Hughes, S.A. (1993). Scour Hole Problems Experienced by the Corps of Engineers; Data Presentation and Summary. Miscellaneous Papers. CERC 93-2, US Army Engineer Waterways Experiment Station. Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.

Liu, H.K., Chang, F.M. ve Skinner, M.M., (1961). Effect of Bridge Constriction on Scour and Breakwater. Civ. Eng. Section. Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado, Report No. CER60HKL22, Prepared for Bureau of Public Roads under Contract CPR11-5480, February, 1961. The Report is Obtainable from ISVA.

Longuet-Higgins, M.S. (1957). The Mechanics of the Boundary Layer Near the Bottom in a Progressive Wave . Appendix to R.C.H Russell and J.C.C Osorio, An Experimental Investigation of Drift Profiles in a Closed Channel. In: Proc. 6<sup>th</sup> Int. Conf. Coastal Engineering, Miami, FL. pp. 184-193.

Markle, D.G. (1989). Stability of Toe Berm Armour Stone and Toe Buttrressing Stone on Rubble Mound Breakwater and Jetties. Technical Report REMR-CO-12, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Nielsen, P. (1992), Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport. World Scientific.

Oumeraci, H. (1994a). Review and Anaysis of Vertical Breakwater Failures-Lessons Learned. In : H. Oumeraci, J. Van der Meer and L. Franco (Editors), Vertical Breakwaters. Coastal Eng., 22: 3-29.

Oumeraci, H. (1994b). Scour in front of Vertical Breakwaters – Review of Problems. In: Proc. International Workshop on Wave Barriers in Deep Water, Port and Harbour Research Institute, Yokosuka, pp. 281-307.

Raudkivi, A.J. (1990). Loose Boundary Hydraulics, Pergamon Press, Third Edition.

Sarpkaya, T.(1986). Force on a Circular Cylinder in Viscous Oscillatory Flow at Low KC numbers, J. Fluid Mech., 165:61-71.

Sawaragi, T., ve Kawasaki, Y. (1960). Experimantal Study On Behaviours of Scouring at the Toe of Sea Dikes by Waves. In: Procceding of th 4<sup>th</sup> Japanese Coastal Engineering Conference, Japan Society of Civil Engineers. pp 1-12.

Shields, A. (1936). Anwendung der Ahnlichkeitsmechnik und der Turbulenz Forschung auf die Geschiebebewegung, Mitt Der Preuss. Versuchsamt. Für Wasserbau und Schiffbau.

Sitarz, J.A. (1963). Contribution a L'étude de L'évolution des Plages a Partir de la Connaissance des Profils De'équilibre. Centre de Rescherches et d'Etudes Océanographiques, Paris. Revue Trimestrielle, Vol. 5.

Sumer, B.M., Fredsøe, J. (1990). Scour Below Pipelines in Waves. J. Waterw. Port Coastal Ocean Eng. ASCE, 116(3): 307-323.

Sumer, B.M., Fredsøe, J., Christiansen, N. (1992). Scour Around Vertical Pile in Waves. Am. Soc. Civ. Eng. J. Waterw. Port Coastarl Ocean Eng., 118(1): 15-31.

Sumer, B.M., Arnskov, M.M., Christiansen, N. ve Jørgensen, F.E. (1993a). Two-component Hot-film Probe for Measurements of Wall Shear Stress. Exp. Fluids,15: 380-384.

Sumer, B.M., Fredsøe, J., Christiansen, N. (1993b). Influence of Cross Section on Wave Scour Aound Piles. Am. Soc. Civ. Eng. J. Waterw . port Coastal Ocean Eng., 119(5): 477-495.

Sumer, B.M., Laursen, T. ve Fredsøe, J. (1993). Wave Boundary Layers in a Convergent Tunnel. Coastal Eng., 20: 317-342.

Sumer, B.M., Fredsøe, J., Christiansen, N. ve Hansen., S.B. (1994). Bed Shear Stress and Scour Around Coastal Structures. In: Proc. 24<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering, Kobe, Vol.2 pp. 1595-1609.

Sumer, B.M., Fredsøe, J. (1997). Scour at the Head of a Vertical Wall Breakwater. Coastal Eng., 29: 201-230.

Sunamura, T. ve Horikawa, K.(1974) .Two Dimensional Beach Transformation due to Waves. Proc. 14<sup>th</sup> Conf. On Coastal Eng., 920-938

- Swart, D.H. (1974). Offshore Sediment Transport and Equilibrium Beach Profiles . Delft Hydraulics Laboratory, Publication No. 131.
- Van Rijn, L.C. (1993). Principles of Sediment Transport in Rivers. Estuaries and Coastal Seas, Amsterdam: Aqua Publications.
- Xie, S.L. (1981). Scouring Patterns in front of Vertical Breakwaters and their Influence on the Stability of the Foundations of Breakwater. Report, Dept. of Civil Eng., Delft University of Technology, 61 pp.
- Xie, S.L. (1985). Scouring Patterns in front of Vertical Breakwaters. Acta Oceanologica Sinica, 4(1): 153-164.
- Yüksel, Y., Çevik, E., Çelikoğlu, Y., (1998). Kıyı ve Liman Mühendisliği, İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	20.05.1975	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1989-1992	Behçet Kemal Çağlar Lisesi
Lisans	1993-1998	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı

**Çalıştığı kurum(lar)**

2001-Devam ediyor Molekül Enerji

