

95014

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TETRAPOD DALGAKIRANLARIN
STABİLİTELERİNİN İNCELENMESİ

İnş. Müh. Serbülent GÜRER

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

of. Dr. Ali Rıza GÜNBAK Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Esin ÇEVİK
Prof. Dr. Cem Avcı Y. Doç. Dr. Esin ÇEVİK

Ali Rıza Günbak *Cem Avcı* *Esin*

İSTANBUL, 2000

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
SİMGE LİSTESİ.....	i
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. DALGAKIRANLAR VE STABİLİTE.....	4
2.1 Dalgakıranların Tanımı ve Tipleri.....	4
2.2 Yapısal Tasarım ve Fiziksel Faktörler.....	7
2.2.1 Dalga karakteristikleri.....	7
2.2.2 Dalga tırmanması, aşması ve enerji aktarımı.....	9
2.2.2.1 Dalga tırmanması.....	9
2.2.2.2 Dalga aşması.....	9
2.2.2.3 Dalga enerjisinin aktarılması.....	10
2.3 Stabilitenin Tanımı.....	10
2.4 Deneyin Kurgusu.....	25
3. DENEY SİSTEMİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	26
3.1 Deney Sistemi ve Model Tasarımı.....	26
3.1.1 Dalga kanalı.....	26
3.1.2 Dalga ölçümleri.....	26
3.1.3 Kalibrasyon testleri.....	30
3.2 Hidrolik Model Tasarımı.....	31
3.3 Çalışmada İzlenen Yöntem.....	33
3.4 Hasar Tesbiti.....	37
4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	38
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	49
5.1 Sonuçlar.....	49
5.2 Öneriler.....	50
KAYNAKLAR.....	51
Ek 1 K_D Katsayıları.....	53
Ek 2 1000 Dalga Dönemi İçin Dalga Koşulları.....	54
Ek 3 Kalibrasyon Deneylerinin Stabilitate Deneyleriyle Kıyaslanması.....	56
Ek 4 Model Olarak Kullanılan Tetrapodlara Ait Özellikler ve Tasarım Dalgasının Hesaplanması.....	58
Ek 5 Hasarın Hesaplanması.....	59
Ek 6 Porozitenin Hesaplanması.....	60
Ek 7 Van der Meer'in Önerdiği Yöntemle Oluşturulmuş Hasar Grafikleri.....	61
Ek 8 Sallanma Grafikleri.....	63
Ek 9 Çekirdek İçindeki Tırmanma.....	65
Ek 10 Çekirdek İçindeki Geri Çekilme.....	67
Ek 11 Çekirdek Tabakası İçerisindeki Tırmanma ve Geri Çekilmeye Ait Boyutsuz Grafikler.....	69
Ek 12 Tetrapod Tabakası Üzerindeki Tırmanma ve Geri Çekilme Boyutsuz Grafikleri.....	70
Ek 13 K_D - ξ Değişimi Grafiği.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	72

SİMGE LİSTESİ

H_s	: Belirgin dalga yüksekliği	(m)
T_s	: Belirgin dalga periyodu	(s)
H_1	: Aşma olasılığı %1'i geçen dalgaların ortalama yüksekliği	(m)
H_{10}	: Aşma olasılığı %10'u geçen dalgaların ortalama yüksekliği	(m)
H_5	: Aşma olasılığı %5'i geçen dalgaların ortalama yüksekliği	(m)
H	: Dalga yüksekliği	(m)
Δ	: Rölatif özgül kütle	(-)
D	: Yapının kaplama tabakasındaki, taşın, çakılın veya kumun karakteristik çapı	(m)
ρ_s	: Kaplama tabakasındaki kullanılan elemanın özgül kütlesi	(kg/m ³)
ρ_w	: Suyun özgül kütlesi	(kg/m ³)
K	: İrribarenin verdiği stabilite formülündeki stabilite katsayısı	(-)
W	: Kaplama tabakası elemanı ağırlığı	(N)
γ_s	: Taşın özgül ağırlığı	(N/m ³)
γ_w	: Suyun özgül ağırlığı	(N/m ³)
α	: Dalgakıran şev açısı	(derece)
H_{10e}	: Topuktaki dalga yüksekliği	(m)
K_D	: Stabilite sayısı	(-)
D_{n50}	: %50'sinin geçtiği elek çapı nominal çapı olan değer	(m)
$\tan \alpha$: Şev eğimi	(-)
ξ	: Surf Parametresi	(-)
L_0	: Derin deniz dalga boyu	(m)
Ψ	: Stabilite fonksiyonu	(-)
I_r	: İrribaren sayısı	(-)
P	: Porozite	(-)
S	: Hasar seviyesi	(-)
N	: Dalga adedi	(-)
ξ_m	: Ortalama periyot kullanılarak elde edilen surf parametresi	(-)
T_m	: Ortalama periyot	(s)
N_Δ	: Thompson ve Shuttler'in önerdiği hasar parametresi	(-)
A	: Erozyona uğramış alan	(m ²)
ρ_b	: Malzemenin şevde yerleştirildiği şekildeki özgül kütlesi	(kg/m ³)
D_{50}	: Elekten geçen %50 olduğu malzeme çapı	(m)
D_n	: Kaplama elemanın nominal çapı	(m)
W_{50}	: Medyan taş kütlesi	(kg)
h	: Tetrapod yüksekliği	(m)
N_0	: Rölatif hasar	(-)
S_z	: Dalga dikliği	(-)
N_{0d}	: Yerinden $2D_n$ 'den fazla ayrılmış elemanların sayısı	(-)
$N_{0>0.5}$: Yerinden $0.5D_n$ 'den fazla ayrılmış elemanların sayısı	(-)
$N_{0<0.5}$: Yerinden $0.5D_n$ 'den az ayrılmış elemanların sayısı	(-)
Δx	: Prob ve kıyı arasındaki mesafenin iki katı	(m)
d	: Derinlik	(m)
T	: Periyot	(s)
C_g	: Dalga grup hızı	(m/s)
L	: Dalga Boyu	(m)
Δt	: Zaman farkı	(s)
H_D	: Tasarım dalga yüksekliği	(m)
%S	: Hasarın yüzde ile ifade edilmiş miktarı	(-)
$(\gamma_c)_m$: Modeldeki tetrapod özgül ağırlığı	(N/m ³)
$(\gamma_c)_p$: Prototipteki tetrapod özgül ağırlığı	(N/m ³)
$(\gamma_w)_m$: Modeldeki su özgül ağırlığı	(N/m ³)
$(\gamma_w)_p$: Prototipteki tetrapod özgül ağırlığı	(N/m ³)
%S	: Yüzde olarak hesaplanmış hasar miktarı	(-)
R_d	: Dalga geri çekilme yüksekliği	(m)
R_u	: Dalga tırmanma yüksekliği	(m)
R_{dcore}	: Çekirdek ve filtre tabakasının birleştiği yerde dalga geri çekilme yüksekliği	(m)

R_{ucore}	: Çekirdek ve filtre tabakasının birleştiği yerde dalga tırmanma yüksekliği	(m)
$R_{dcore2Hd}$: Tetrapod ve filtre birleşim yerinden 2Hd kadar içeride çekirdek tabakası içinde geri çekilme yüksekliği	(m)
$R_{ucore2Hd}$: Tetrapod ve filtre birleşim yerinden 2Hd kadar içeride çekirdek tabakası içinde tırmanma yüksekliği	(m)
Φ	: İçsel sürtünme açısı	(derece)



ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1	I. tip yerleştirme.....	1
Şekil 1.2	II. tip yerleştirme	2
Şekil 2.1	Stabilitelerine göre yapılar	12
Şekil 2.2	Rezonans koşulu	16
Şekil 2.3	Düz yüzeyli şevlerdeki tırmanma	17
Şekil 2.4	Düz yüzeyli şevlerde geri çekilme	18
Şekil 2.5	Eddy benzeri çevriler.....	18
Şekil 2.6	Sallanan elemanların bilgisayar ortamında belirlenmesi.....	24
Şekil 3.1	Dalga kanalı görünüşü.....	27
Şekil 3.2	Kalibrasyon deneyleri ile stabilite deneylerinin $T=1.10s$ için kıyaslanması.....	31
Şekil 3.3	Birinci yerleştirme yöntemi için dalgakıran en kesiti.....	35
Şekil 3.4	İkinci yerleştirme yöntemi için dalgakıran en kesiti.....	36
Şekil 4.1	$T=1,10s$ için I. ve II. tip yerleştirmelerde 1000 ve 3000 dalga sonucu görülmüş hasarlar.....	39
Şekil 4.2	$T=1,35s$ için I. ve II. Tip yerleştirmelerde 1000 ve 3000 dalga sonucu Görülmüş hasarlar.....	39
Şekil 4.3	$T=1,50s$ için I. ve II. tip yerleştirme için 1000 ve 3000 dalga sonucu görülmüş hasarlar.....	40
Şekil 4.4	$T=1,80s$ için I. ve II. tip yerleştirmelerde 1000 ve 3000 dalga sonucu görülmüş hasarlar.....	40
Şekil 4.5	$T=1,10s$ için I. ve II. tip yerleştirmelerde 1000 ve 3000 dalga sonucu görülmüş hasarların N_0 ile ifadesi.....	41
Şekil 4.6	Dalga periyoda karşılık K_D katsayıları.....	42
Şekil 4.7	$T=1.10s$ için sallanma durumu.....	43
Şekil 4.8	$T=1.10s$ periyodu için tırmanma ve geri çekilme.....	44
Şekil 4.9	$T=1.35s$ periyodu için tırmanma ve geri çekilme.....	44
Şekil 4.10	$T=1.50s$ periyodu için tırmanma ve geri çekilme.....	45
Şekil 4.11	$T=1.80s$ periyodu için tırmanma ve geri çekilme.....	45
Şekil 4.12	Çekirdek tabakası için boyutsuz geri çekilme grafiği.....	46
Şekil 4.13	$T=1.10s$ Periyodu için tırmanma ve geri çekilme anları arasında su tablası durumu.....	47
Şekil 4.14	$T=1.35s$ Periyodu için tırmanma ve geri çekilme anları arasında su tablası durumu.....	47
Şekil 4.15	$T=1.50s$ Periyodu için tırmanma ve geri çekilme anları arasında su tablası durumu.....	47
Şekil 4.16	$T=1.80s$ Periyodu için tırmanma ve geri çekilme anları arasında su tablası durumu.....	48

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 3000 dalga dönemi için dalga koşulları.....	28
Çizelge 3.2 Kalibrasyon deney sonuçları.....	31
Çizelge 3.3 Model ölçek oranları.....	33



ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım sırasında benden yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Esin ÇEVİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Bütün çalışmalarım da hiçbir zaman bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ali Rıza GÜNBAK'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarına başlamamdan itibaren hep benimle birlikte olduğunu tez çalışmam boyunca da gösterip her zaman bilgilerinden faydalanacağım hocam Sayın Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Manevi desteklerini hiç bir zaman benden esirgemeyen anneme, babama ve kardeşime teşekkür ederim.

Ayrıca yine bütün çalışmam boyunca hep destek olan Semra KURTEŞ'e teşekkür ederim.

Yakın mesai arkadaşlarıma özellikle Fahri GÖKOĞLU'na teşekkür ederim.

Aynı evi paylaşıp aynı zorlukları beraber yaşadığımız Arif Alp KAYA'ya, fotoğraf çekimleriyle de tez çalışmama katkıda bulunan Özgür İLHAN'a ve Mehmet KARLIDAĞ'a teşekkür ederim.

TETRAPOD DALGAKIRANLARIN STABİLİTELERİNİN İNCELENMESİ

Serbülent GÜRER
İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Tetrapod, dalgakıranlarda koruma tabakası olarak sıkça tercih edilen bir beton bloktur ve şev üzerine iki sıra üst üste gelecek şekilde yerleştirilmektedir. Bu bloklar Fransız Sogreah Laboratuvarı'nda üretilmiş ve uzun süre bu laboratuvara ait patentle kullanılmıştır. Bu patentin süresinin bitmesi ile birlikte kullanımı da serbest hale gelmiştir.

Sogreah Laboratuvarına ait kullanma kılavuzlarında tetrapodun üst sırasının iki farklı şekilde yerleştirilebileceği anlatılmaktadır. Fakat bu yöntemlerden sadece bir tanesi bugüne kadar ki uygulamalarda büyük çoğunlukla tercih edilmiş diğeri ise pek az kullanılmıştır. Ayrıca bu iki yöntemin hidrodinamik davranışları ise çok farklıdır.

Genelde uygulanmış olan yerleşim yönteminde alt sıra tetrapod tabakası, tetrapodların üç bacakları şeve oturacak şekilde yerleştirilir. Üst sıra tetrapodlar ise alttakilerin tersine, bir bacakları alt sıra tetrapodların arasına girip şeve dik olacak şekilde yerleştirilirler. Bu yöntemde göre yerleştirilmiş koruma tabakasının porozitesi %54'dür.

İkinci yerleştirme yönteminde ise alt sıra tetrapodlar birinci yöntemdeki gibi üç bacakları şeve oturacak şekilde yerleştirilirken, üst sıra tetrapodlar birinci yöntemin tersine üç bacakları alt sıradaki tetrapodların arasına girip şeve bakacak şekilde alt sıranın üstüne yerleştirilirler. Bu yerleştirme yönteminde ise kaplama tabakası porozitesi %61 olmuştur.

Sogreah Laboratuvarı, her iki yerleştirme metodunun da kullanılabilceğini söylemesine rağmen, gerek oluşacak porozite farkından, gerekse bu iki yerleştirme metodu arasında dalgakıranın stabilitesine ve dalga tırmanması ile dalga geri çekilmesi gibi su hareketlerine yol açabileceği farklılardan bahsetmemiştir. Bu tezin amacı bu iki tip yerleştirme yönteminin dalgakıran stabilitesine ve su hareketlerine etkilerini incelemektir. İnceleme, dalga kanalında düzenli dalgalarla, hidrolik modelde her iki şekilde yerleştirilmiş olan tetrapod tabakaları için stabilite deneyleri olarak yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda daha az tercih edilen yöntemde kullanılan tetrapod miktarının diğere karşı %7 az olmasına karşı stabilitesinin ise oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Dalgakıran inşaat maliyetleri düşünüldüğünde ortaya çıkan kazanç oldukça yüksektir.

Anahtar Kelimeler: Taş dolgu dalgakıran, tetrapod yerleştirme, stabilite, dalga aşması, dalga tırmanması, dalga çekilmesi

AN INVESTIGATION ON THE STABILITY OF TETRAPOD BREAKWATERS

Serbülent GÜRER
Civil Engineering, M.S. Thesis

Tetrapod is a frequently used armour unit for breakwaters and they are placed on the slope as two layers. These units are manufactured by French Sogreah Laboratory and used for a long time with the patent of this laboratory. By the end of the time of this patent, the use of tetrapod had become free.

In the manuals of Sogreah Laboratory it is written that the top layer of tetrapod could be placed with two methods. However, only one of the methods is preferred generally, but the other is so rarely. Also each method has a different hydrodynamic behaviour.

For the generally used method, the bottom layer of tetrapods is placed on the slope sitting with their three legs. The top layer is placed, in an opposite geometrical position to the bottom layer, with their one leg facing the slope over the bottom layer. The porosity of armour layer with such placement is 54%.

For the second method, the bottom layer is placed the same as the first method with their three legs sitting on the slope, but the top layer is placed over the bottom layer exactly the same as the bottom layer. The porosity of the armour layer for this method is 61%.

Although Sogreah Laboratory has referred two placement methods for tetrapod armour units, there is not any identification for two methods according to their porosity differences, their stabilities and the differences which will be caused by run-up and run-down. The aim of this thesis is to search the effect of placement methods to the stability of breakwater, and to the water motions on the slope. The tests is carried out on a hydraulic model having the tetrapod armour units on its slope placed with the two methods separately in wave flume under regular wave conditions.

For the less preferred method the number of tetrapods were 7% fewer than the general one but its stability has been found to be greater. The economic profits will be so high if the construction costs are considered.

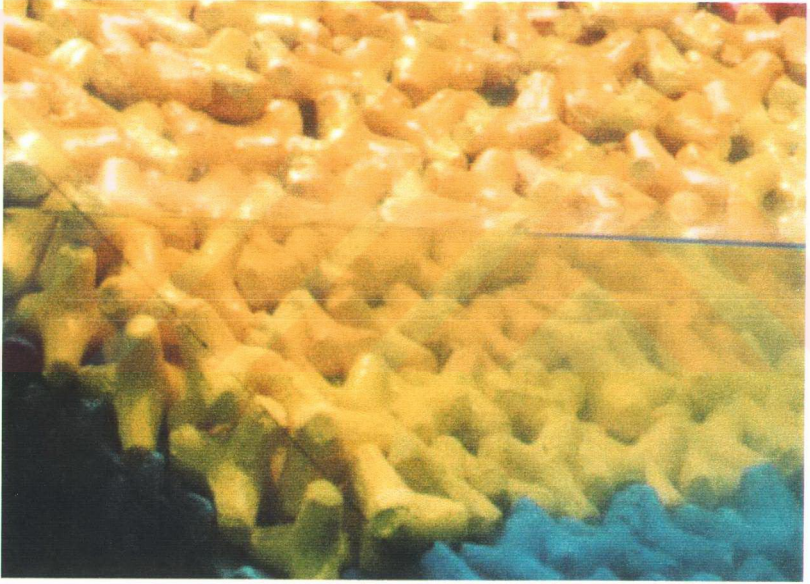
Keywords: Rubble mound breakwater, tetrapod placing, stability, wave overtopping, run-up, run-down.

1. GİRİŞ

Tetrapod, taş dolgu dalgakıranların koruyucu tabakasında kullanılan ve özel bir şekilde sahip olan bir beton bloktur. İlk defa 40 yıl önce Sogreah (Fransa) laboratuvarında patentli olarak kullanılmıştır ve patent hakkı bitmiştir. Bu blok tipi halen serbest olarak kıyı ve liman yapılarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tetrapodlar dalgakıran üzerinde iki farklı şekilde yerleştirilmektedirler. Alt tabakadaki tetrapodların üç bacağı şeve oturur ve bir bacağı yukarı bakar. Üst sıranın yerleştirilmesinde ise iki yöntem vardır (Sotrumer, 1973):

I) Bir bacak birinci sıra tetrapodların arasına aşağı bakacak şekilde yerleştirilir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 I. tip yerleştirme

II) Üç bacak yere oturur, bir bacak yukarı bakar (Şekil 1.2)



Şekil 1.2 II. tip yerleştirme

Sogreah laboratuvarına ait çalışmadan alınan bu tanımlamalar tamamen birbirlerine zıttır. Bugüne kadar yapılmış uygulamalar genelde I. tip yerleşim yöntemine göre yapılmış olmakla beraber II. tipe göre uygulamalarda mevcuttur.

Hidrodinamik açıdan bu iki farklı yerleşim gerek dalga tırmanması ve gerekse stabilite yönünden çok farklı gözükmektedir. II. tip yerleştirme yöntemine göre yapılan bir inşaatın porozitesi I. tipe göre yapılandan daha yüksek olacaktır ve böylece dalga tırmanma yüksekliği azalacaktır. Buna karşılık yüksek porozite altında filtre tabakasının üst kaplama arasından kaçması ve stabilite sorununun çıkması mümkün olabilecektir. Ayrıca, II. tipe göre yapılacak inşaat, alttan gelen dalga basıncı ile üst tetrapod sırası, alt tetrapod sırası üzerinde devrilebilecek ve kırılabilir. Bu da yapının tasarlanan stabilitesini düşürebilecektir. Literatürde bu iki farklı yerleştirme metodunun yapı üzerindeki su hareketlerine ve yapı stabilitesine getireceği farklar bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, bir dalga kanalında modellenecek olan dalgakıran kesiti üzerinde tetrapodlar her iki yöntem ile dizilerek ($\cot \alpha=1.5$), değişik dalga yüksekliği ve periyodu altında tabaka porozitesi belirlenecek yapı üzerindeki dalga tırmanması ve tetrapod hareketleri tespit edilecektir. Böylece elde edilen sonuçlar karşılaştırılacak ve iki blok yerleştirme metodu uygulaması arasındaki farklar yapı dengesi ve hidrodinamik açıdan belirlenecektir.



2. DALGAKIRANLAR VE STABİLİTE

2.1 Dalgakıranların Tanımı ve Tipleri

En genel tanımıyla, bir dalgakıran herhangi bir şekilde kıyıdaki dalga ve/veya kıyı geometrisi şartlarını değiştirmek amacıyla inşa edilen bir deniz yapısıdır. Dalgakıranların çok eski çağlardan beri inşa edildikleri bilinmektedir. Dalgakıranlar dört ana amaç için inşa edilirler (Kapdaşlı, 1992).

- 1) En önemli amaç kıyıyı dalga etkilerine karşı koruma altına almaktır. Bir limanda veya bir yaklaşım kanalında gemilerin rahatlıkla hareket edebilmesi için dalga etkilerinin yok edilmesi veya minimuma indirilmesi ancak dalgakıranlarla mümkün olmaktadır.
- 2) Dalgakıranların ikinci yapılış amacı liman ve kanal girişlerinde katı madde yığılmasını önleyerek tarama ihtiyacını minimuma indirmektir.
- 3) Dalgakıranlar rıhtım yaratmak amacıyla da inşa edilirler. Böylece kıyıda sınırlı olan rıhtım boyu uzatılmış ve liman kapasitesi arttırılmış olur.
- 4) Dalgakıranların son yapılış amacı ise kıyılardaki akıntıları yönlendirmektir.

Dalgakıranlar oluşturuldukları yerlere göre, kıyı ile herhangi bir bağlantısı olmayan açık deniz dalgakıranları, ve kıyı bağlantılı dalgakıranlar olarak incelenirler.

Açık deniz dalgakıranları genelde 1.5m ile 8m arasında değişen derinliklerde inşa edilirler. Bu yapılar kıyıya paralel olarak oluşturulurlar. Açık deniz dalgakıranlarının esas fonksiyonu limanları katı maddeden korumak, kıyı koruması sağlamak veya her iki amaca birden hizmet etmektir (CERC, 1984).

Kıyı bağlantılı dalgakıranların en büyük yapılış amacı ise liman içindeki gemilere yükleme ve boşaltma işlemleri esnasında korunaklı bir bölge oluşturmaktır (CERC, 1984).

Dalgakıranlar, inşa edildikleri bölge veya inşa edilme amaçlarına göre değişik şekilde ve çeşitli malzemelerden oluşturulabilirler. Dökme taş veya bloklu dalgakıranlar, düşey yüzlü dalgakıranlar, kompozit dalgakıranlar, yüzen dalgakıranlar, olmak üzere çok değişik dalgakıran tipleri mevcuttur (Kapdaşlı, 1992):

1. Taş dolgu dalgakıranlar:

a) Taş dolgu dalgakıranlar:

Dalgakıran inşaatının yapılacağı bölgeye yakın çevrede taş ocaklarının bulunması durumunda tercih edilecek dalgakıran tipidir. Bu tip dalgakıranlar, tasarım dalgası ile hareket edemeyecek ağırlıktaki doğal taşlardan oluşan kaplama tabakasının nispeten küçük olan taşlarla oluşturulmuş çekirdek tabakası üzerine şevli olarak inşa edilmesiyle oluşturulurlar. Kaplama tabakası ile çekirdek arasına ise küçük olan çekirdek malzemesinin kaplama arasından kaçmasını engellemek için çekirdekte kullanılan malzemeden daha iri bir malzemeden oluşturulmuş bir filtre tabakası serilir. Bu nedenle taşlar şev üzerine çeşitli tabakalar oluşturacak şekilde yerleştirilirler ve en üst tabaka dalga etkisine karşı ağır kaplama taşlardan yapılır. Dökme taş dalgakıranlar oldukça dayanıklı olup oturmalarına uyum gösteren, kalifiye işçilik gerektirmeyen, ekipmanı basit olan ve mühendislik deneyiminin son derece çok olduğu yapılardır. Fakat kullanılan malzeme miktarı oldukça fazladır.

b) Taş dolgu beton blok kaplamalı dalgakıranlar:

Tabakalı olarak yapılan bu yapılar, tasarım dalgasına göre yapılan hesaplarda koruma tabakası taş ağırlığının büyük çıktığı ve taş ocağından ekonomik olarak elde edilemeyecek projelerde tercih edilirler. Esnektirler ve oturarak yerleşirler.

c) Asfaltla güçlendirilmiş dalgakıranlar:

Dökme taşların asfaltla birbirine kilitlenmesiyle daha hafif blokların kullanılmasını sağlayan bu tip dalgakıranlar daha hafif bloklarla yatay eğimde imal edilirler. Ancak asfalt fabrikası ve kalifiye işçilik gerektirir. Genel olarak Hollanda'da kıyı koruma yapılarının inşaatlarında kullanılmıştır:

2. Monolitik dalgakıranlar:

Dalga etkilerine karşı tek bir blok olarak ayakta dururlar. Düşey yüzlü olarak inşa edilmelerinin sebeplerinden biri yapım kolaylığıdır. Ayrıca gel-git olayı ile su tablası hareketlerinin yüksek olduğu bölgelerde ekonomik olacağı için tercih edilirler.

a) Yerinde yapım düşey yüzlü dalgakıranlar: Dalgakıran, birbiri üstüne yerleştirilmiş ve birleştirilmiş beton blok veya taş blok elemanlardan oluşmaktadır. Bu tip dalgakıranlar

malzeme açısından ekonomik olup ayrıca kapladığı alanda eğimli dalgakıranlara oranla oldukça küçüktür. Arka tarafları rıhtım olarak kullanılabilirler. Ancak bu tip dalgakıranlar sağlam zemin gerektirir. Dalgaları tam yansıtılmaları nedeniyle temel yakınlarında erozyon meydana gelebilmektedir. Oturmalarına karşı çok hassastırlar.

b) Kesonlar: Kıyıda yapılan ve yüzdürülerek inşaat yerine getirilip içi doldurulmak suretiyle batırılan betonarme kutulardır. İnşaatları hızlı olup rıhtım olarak kullanılabilirler. Ancak yapım ve yerleştirilmeleri esnasında kolay hasar görebilirler.

c) Eğimli yüzeyli monolitik dalgakıranlar: Tek bir bloktan oluşan ve üst tarafı 45° eğimli yapılardır. Bu yapılarda yansıma düşey yüzölçümlere göre daha azdır. Arka tarafları rıhtım olarak kullanılabilirler.

d) Geçirimli yüzeyli dalgakıranlar: Yüzeyi geçirimli olan ve böylece dalgayı daha az yansıtan bir dalgakıran tipidir. Diğer monolitik dalgakıranlardan başka farkı yoktur.

e) Yüzeyi dökme taşlı monolitik dalgakıranlar: Bir düşey yüzölçümlü dalgakıranın dış yüzeyi taş ve beton blok yığınları ile korunabilmektedir. Böylece daha fazla dalga enerjisi söndürülebilmektedir.

f) Kompozit dalgakıranlar: Derin sularda tabanı dökme taştan yapılan dalgakıranlardır. Bu tip yapılar iyi olmayan zeminler için uygundur. Fakat tabanlarının çok iyi yapılması gerekir.

3. Yüzen dalgakıranlar:

Klasik dalgakıranlar çevresel açıdan çok uygun yapılar değildirler. Çünkü bu tip yapılar liman sahasında ölü bölge oluşturmakta ve böylece su kalitesi bozulabilmektedir. Bu yüzden klasik dalgakıranlara alternatif olarak yüzen dalgakıranlar tasarlanmaktadır. Zemin şartlarının kötü, suyun derin, dalga periyotlarının küçük olduğu yerlerde inşaatı ekonomik olabilecek bir dalgakıran tipidir.

Yüzen dalgakıranlar şekil olarak belli bir su kesimli ve dalganın yalnız yapının üst kısmıyla etkileştiği yapılardır. Bu yapılar yüzey dalgalarının enerjisini, viskoz sürtünme tesiriyle ve su

partiküllerinin dairesel hareketini bozmak suretiyle, dalga ile farklı fazda hareket ederek ve dalganın bir kısmını geri yansıtarak azaltırlar.

2.2 Yapısal Tasarım ve Fiziksel Faktörler

2.2.1 Dalga karakteristikleri

1. Tasarım kriteri:

Kıyı yapıları yapısal stabilite, fonksiyonel performans, çevresel etki gibi zıt kriterlerin en iyi şekilde birleştirilmesinin gerektiği yapılardır. Yapısal stabilite kriteri yapının karşılaşacağı ekstrem koşullarda, yapının önemli hasar görmemesi esasına göre belirlenir. Tasarım koşulları 50 ile 100 yıl dönüş periyotlu dalga şartları, sismik olaylar, ve su seviyesindeki değişimlere göre belirlenir (CERC, 1984).

2. Dalga şartlarının temsili:

Yapılara en büyük kuvveti sismik dalgaların dışında rüzgar dalgaları uygulamaktadırlar. Dalga karakteristikleri genellikle derin deniz şartı için belirlenir ve yapıya doğru analitik olarak kıyı yönünde hesaplanır. Dalga kayıtlarının bulunmadığı durumda feç mesafesi, rüzgar esme hızı ve süresi bilindiği takdirde derin deniz belirgin dalga yüksekliği H_s ve belirgin dalga periyodu T_s bulunabilmektedir (CERC, 1984).

Yapı önündeki dalga koşulları yapı önündeki su derinliğine kritik bir şekilde bağlıdır. Su seviyesinin değişmesi ile yapıya etkiyen dalga hareketleri oldukça önemli ölçüde değişiklik gösterebilmektedir. Gel-git hareketinin değişik aşamalarında yapı kırılan, kırılmış, veya kırılmayan dalga şartlarına maruz kalabilmektedir. Dalga hareketi yapının uzunluğu boyunca da değişebilmektedir (CERC, 1984).

3. Dalga koşullarının belirlenmesi:

Proje sahasındaki bütün dalga verileri belirlenmelidir. Fırtına dalgalarının görsel olarak izlenmesi dalga yüksekliği, periyodu, yönü, fırtına süresi ve dönüş aralığını belirlemeye yarayabilir. Belirli bir noktada dalga yüksekliğini, periyodunu ve yönünü belirlemek için çeşitli araçlar geliştirilmiştir. Dalga yönü genellikle tasarım analizi için gereklidir, eğer dalga yönünün fiziksel olarak ölçümü mümkün değilse, yönsel rüzgar verilerinden tahmin edilebilir. Ekstrem olaylardaki dalgaların gözlenmesi rüzgar verilerinden yapılan tahminlerin kontrolü

açısından önemlidir. Sığ su dalga verilerinin belirlenebilmesi için güvenli derin deniz dalga verileri gereklidir (CERC, 1984).

4. Tasarım dalgalarının seçilmesi:

Yapısal stabilite için dalga koşullarının seçimi fonksiyonel performans kadar yapının kırılmayan, kırılan, kırılmış dalgalara maruz kalmasına ve yapının geometrisi ile porozitesine bağlıdır. Dalga karakteristiklerinin belirlenmesinden sonraki aşama, proje sahasındaki dalga yüksekliğinin su derinliği ile kontrol edilip edilmediğidir. Dalga hareketi yapı boyunca ve yapının bir kesitinde su seviyesine ve zamana bağlı olarak değişir. Bu yüzden dalga koşulları yapı boyunca çeşitli yerlerde ve çeşitli su seviyelerinde belirlenmelidir. Örneğin mahmuz gibi yapılarda, maksimum kuvveti veren kritik dalga yapının en derinde bulunan kesiti yerine başka bir yerdeki kesitini etkiliyor olabilmektedir. Tasarım dalgası ve su seviyesi koşullarının belirlenmesinde bu olasılık göz önünde tutulmalıdır (CERC, 1984).

Eğer sığ sudaki kırılma, dalga yüksekliğini sınırlandırmıyorsa, kırılmayan dalga koşulu söz konusu olur. Kırılmayan dalgalar için tasarım dalga yüksekliği istatistiksel dalga yüksekliği dağılımından seçilir. Seçilen dalga yüksekliği yapının rijit, yarı-rijit, veya fleksibil olmasına göre değişir. Rijit yapılar için (çelik palplanş duvarları gibi) dalga katarı içindeki yüksek bir dalga yapının tümünü hasara uğratabilir. Bu tip yapılar için tasarım dalga yüksekliği H_1 (aşma olasılığı %1'i geçen dalgaların ortalama yüksekliği), yarı rijit yapılar için tasarım dalgası H_{10} (aşma olasılığı %10'u geçen dalgaların ortalama yüksekliği) veya H_1 olarak seçilebilir. Hücresel çelik palplanşlı yapılar yarı-rijittirler ve dalga kuvvetlerini soğurabilirler, bu yüzden genellikle tasarım dalgası olarak H_{10} seçilmektedir. Taş dolgu dalgakıranlar veya riprap yapılar gibi fleksibil yapılar için genellikle H_5 (aşma olasılığı %5'i geçen dalgaların ortalama yüksekliği) ile H_5 (aşma olasılığı %30'u geçen dalgaların ortalama yüksekliği) arasında bir değer seçilir. H_5 ve H_5 arasındaki dalgayı belirlemek aşağıdaki faktörlere bağlıdır (CERC, 1984):

- a) Kabul edilebilir hasar miktarı, işletme masrafları ve bakım masrafları,
- b) Kullanılan malzeme ve ekipmanın temini,
- c) Dalga koşullarının belirlenmesi için izlenen yöntemin geçerliliği.

2.2.2 Dalga tırmanması, aşması ve enerji aktarımı

2.2.2.1. Dalga tırmanması:

Yapıya etkiyen dalganın kendi enerjisi ile yapı üzerinde yükselmesine dalga tırmanması denir (CERC, 1984).

a) Düzenli dalgaların tırmanması:

Yapı üzerinden dalga aşmasına izin verilmeyen durumlarda, dalganın etkidiği yapı üzerinde düşeyde kat ettiği mesafe yapı yüksekliğini belirler. Tırmanma yapının şekline, pürüzlülüğüne, yapı topuğundaki su derinliğine, yapı önündeki taban eğimine ve gelen dalganın karakteristiklerine bağlıdır. Tırmanma ile ilgili değişken sayısının çok olması bu olayın bütün geometrik değişkenler ve dalga koşulları için tam anlamıyla tanımını mümkün kılamamaktadır (CERC, 1984).

b) Düzensiz dalgaların tırmanması:

Değişik yapılardaki düzensiz dalgaların tırmanması ile ilgili çok fazla bilgi mevcut değildir. Ancak Ahrens (1977) yapmış olduğu deneysel çalışmalar sonucunda, her bir dalganın tırmanmasının da dalga yükseklikleri gibi Rayleigh dağılımına uyduğunu bulmuştur (CERC, 1984). Günbak (1979) 1962 yılında Saville'in düzensiz dalgaların tırmanma yüksekliklerinin de düzensiz dalgaların kendileri gibi Rayleigh dağılımına uyduklarını söylemektedir.

2.2.2.2. Dalga aşması:

a) Düzenli dalgalar:

Yapıyı dalga spektrumundaki en büyük dalgayı dikkate alarak, aşamayacak şekilde tasarlamak ekonomik olmayan bir yöntemdir. Gelen dalganın yüksekliği ve periyodu da rüzgar hızı ile yapı eksenine göre yönü kadar önemlidir. Aşan su miktarı yapının yüksekliğine, yapı topuğundaki suyun derinliğine, yapı eğimine ve eğimin düz, basamaklı veya pere kaplamalı olmasına bağlıdır (CERC, 1984).

b) Düzensiz dalgalar:

Düzensiz dalgaların tırmanmasında olduğu gibi kıyı yapılarına etkiyen rüzgar dalgalarının ortalama ve ekstrem aşma miktarları tam olarak bilinmemektedir (CERC, 1984).

2.2.2.3. Dalga enerjisinin aktarımı:

Dalga enerjisinin yapı üzerinden veya içinden yapı arkasına iletilmesine dalga enerjisinin aktarımı (transmisyonu) denir. Dalgalar dalgakıranına etkidiklerinde enerjileri kısmen veya tamamen ya yansır, ya harcanır, ya da yapı üzerinden veya içinden iletilir. Gelen dalganın dalgakıranla olan etkileşimiyle nasıl bir değişime uğrayacağı gelen dalganın karakteristiklerine (periyot, yükseklik ve su derinliği), yapının geometrisine (eğime, sakin su seviyesine göre kret kotuna ve kret genişliğine) ve dalgakıranın tipine (taş dolgu veya düşey yüzlü, geçirimli, geçirimsiz) bağlıdır. Limanları koruyan dalgakıranlar, liman içerisinde hasara ve salınma yol açmamaları için dalga enerjisini yansıtarak veya harcayarak enerji aktarımını minimize etmelidirler (CERC, 1984).

2.3 Stabilitenin Tanımı

Birçok deniz yapısı hizmet ömürleri süresince yapının önemine göre ya hiç hasar görmeyecek ya da çok az hasar görecektir şeklinde tasarlanmaktadır. Hasar, yapının tamamının veya kaplama tabakalarını oluşturan elemanların yer değiştirmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Bu kritere göre yapı ya büyük olacak ve betondan oluşacak ya da kaplama tabakasının ağır taş veya yapay beton elemanlardan oluşması ile meydana gelecektir. Ekonomik çözüm ise profilin stabil hale gelmesi için profil gelişimine izin verilmesi ve bunun içinde daha küçük elemanlardan oluşan yapının inşa edilmesidir. Daha küçük elemanlardan oluşturulmuş bir yapı daha ekonomik bir çözüm olabilmektedir (Van der Meer, 1988 a). Stabilitesizliğe neden olan bir başka olay ise kaplama tabakası olarak kullanılan blokların malzemelerini bozulmasıdır. Malzeme bozulmasından dolayı oluşan stabilitesizlik bu tezin konusu dahilinde değildir.

Günümüzde yapıların boyutlarının gittikçe büyümesi, ve yapıların daha çetin çevre şartlarında inşa edilmesi gerekliliği yüzünden güvenilir tasarım formüllerine olan ihtiyaç artmaktadır. Ayrıca ekonomik olarak yüksek potansiyele sahip olan S-şekilli ve basamaklı dalgakıranların tasarımı da yeni teknikler gerektirmektedir (Van der Meer, 1988 a).

Değişik yapıların birbirleriyle olan ilişkileri $H/\Delta D$ stabilite parametresi yardımıyla verilmektedir. Burada (Van der Meer, 1988 a):

H : Dalga yüksekliği

Δ : Rölatif özgül kütle ($\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$)

ρ_s : kaplama tabakasında kullanılan elemanın özgül kütlesi

ρ_w : suyun özgül kütlesi

D :Yapının kaplama tabakasındaki, taşın, çakılın veya kumun karakteristik çapı.

Kesonların veya kaplama tabakalarında büyük elemanlara sahip yapıların H/ΔD parametresinin değeri küçüktür. Bu parametrelerin büyük değerleri ise çakıl ve kum plajlarına karşılık gelir. Şekil 2.1'de çeşitli H/ΔD değerlerine karşılık gelen yapı tipleri görülmektedir (Van der Meer, 1988 a).

H/ΔD<1 Kesonlar veya Kıyı Duvarları:

Bu sabit yapılarda hiç bir hasara izin verilmemektedir. Burada D çapı yapının yüksekliği veya genişliği olabilir.

H/ΔD=1-4 Stabil Dalgakıranlar:

Genellikle ağır yapay kaplama elemanları ve doğal kaya ile üniform eğimler için uygulanır. Sadece ciddi tasarım koşulları altında çok az miktarda hasara izin verilmektedir. Çap, nominal çap gibi, her bir elemanın karakteristik çapıdır.

H/ΔD=3-6 S-Şekilli ve Basamaklı Dalgakıranlar:

Bu tür yapılar sakin su seviyesi altında ve üstündeki farklı eğimlerin yumuşak bir geçiş bölümü ile birleşmesi ile oluşurlar. Bu yumuşak eğim kaplama tabakası üzerine etkiyen dalga kuvvetini azaltmaktadır. Basamaklı dalgakıranlar deniz tarafında daha dik bir eğim ve sakin su seviyesi üzerinde yatay bir basamak ile tasarlanmaktadır. İlk fırtınadan sonra benzer veya daha büyük dalgada değişmeyecek olan daha yumuşak bir profil gelişir. Profillerde meydana gelecek değişiklikler önemlidir.

H/ΔD=6-20 Kaya Eğimli Kıyıları:

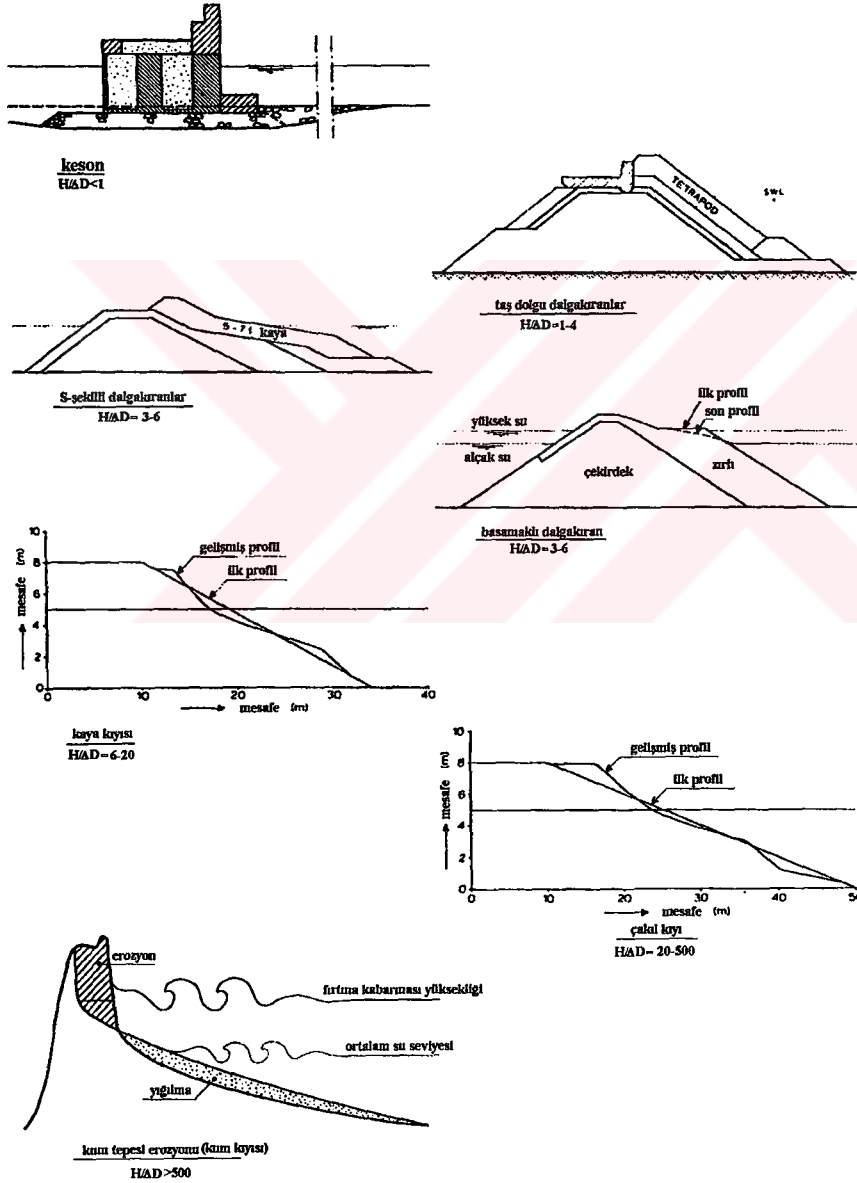
Kayanın çapı rölatif olarak küçüktür. Yapı, malzeme yer değişimi olmadan ciddi dalga etkisine karşı duramaz. Çeşitli dalga sınır koşulları altında gelişecek olan profil tasarımın amacıdır.

H/AD=15-500 Çakıl Kıyıları:

Dane büyüklükleri 4mm-10cm arasındaki malzeme çakıl olarak tanımlanmaktadır. Değişen su seviyelerinde (gelgit) ve dalga koşullarında çakıl kıyıları sürekli değişim göstermektedir. Profilin gelişimi, yine burada da tasarım amacıdır.

H/AD>500 Kumsal ve Kum Tepeleri:

Çok küçük çaplı malzemeler ciddi dalga etkilerine karşı oldukça dayanıklıdırlar. Hollanda kıyıları kısmi olarak kum tepeleri (Dune veya Dike) ile korunurlar. Fırtına esnasındaki kum tepelerinin erozyonu sonucu oluşan profil gelişimi temel tasarım parametresidir.



Şekil 2.1 Stabilitelerine göre yapılar (Van der Meer, 1988)

Kıyıları ve limanları dalga etkilerine karşı korumak üzere tasarlanan yapılar yukarıda anlatılan $H/\Delta D$ parametresine göre sınıflandırılırlar. Bu yapılar tasarım koşulları altındaki davranışlarına bağlı olarak statik veya dinamik olarak stabil yapılar diye sınıflandırılmaktadırlar (Van der Meer, 1988 a).

Tasarım şartları altında hiç hasara izin verilmeyen veya çok az hasara izin verilen yapılara statik olarak stabil yapılar denir. Hasar, kaplama tabakasındaki elemanların yer değiştirmesi olarak tanımlanmaktadır. Kaplama tabakasının her bir elemanı dalga kuvvetlerine karşı durabilecek büyüklükte olmalıdır. Kesonlar ve geleneksel dalgakıranlar bu sınıfa dahildirler. Tasarım; tasarım şartları, izin verilebilen hasar, yapım maliyeti ve bakım maliyeti arasındaki optimum çözüme göre yapılır. Statik stabilite tasarım parametresi olarak “hasar” ile karakterize edilir ve kabaca $H/\Delta D < 4$ değeriyle sınıflandırılmaktadır (Van der Meer, 1988 a).

Profil gelişimine izin verilen yapılar dinamik olarak stabil yapılardır. Elemanlar (taş, çakıl veya kum) dalga hareketiyle profil boyunca taşıma kapasitesinin minimuma indiği profile ulaşana kadar hareket ederler. Sakin su seviyesi civarındaki malzeme her dalganın tırmanması ve geri çekilmesi arasında sürekli hareket eder ve taşıma kapasitesi sıfır olduğunda profil dengeye ulaşır. Dinamik stabilite tasarım parametresi “profil” ile karakterize edilir ve kabaca $H/\Delta D > 6$ değeriyle sınıflandırılmaktadır (Van der Meer, 1988 a).

Iribarren (1938) kaya dolgu dalgakıranlar için bir stabilite formülü elde etmiştir. Hudson (1951) Iribarren'in vermiş olduğu formülünü geliştirmiş ve Hudson (1958) küçük ölçekli deneyler sonucu (2.3) ampirik ifadesini elde etmiştir (Hedar, 1986).

Sırasıyla taş ağırlıklarını veren formüller aşağıdaki gibi verilebilir (Hedar, 1986):

1- Iribarren formülü (1938):

$$W = \frac{\gamma_s K H_b}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_b} - 1\right)^3 (\cos\alpha - \sin\alpha)^3} \quad (2.1)$$

Kaya dolgu için $K=0.015$

Beton bloklar için (rastgele dizilmiş) $K=0.019$

2- Iribarren-Hudson formülü (1951) :

$$W = \frac{\gamma_s K' \tan^3 \phi H_{toe}^3}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right) (\tan \phi \cos \alpha - \sin \alpha)^3} \quad (2.2)$$

3- Hudson formülü (1958):

$$W = \frac{\gamma_s H_{toe}^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 \cot \alpha} \quad (2.3)$$

Bu ifade yapı eğiminin 1:1.5 ile 1:5 olması durumunda geçerlidir. Bu formüllerde, büyüklükler

- W : Taş ağırlığı
 γ_s : Taşın özgül ağırlığı
 γ_w : Suyun özgül ağırlığı
 α : Yapının yatayla yaptığı açı
 H_{toe} : Dalgakıran topuğundaki dalga yüksekliği (Gelen Dalga)
 K_D : Stabilite katsayısı

ile tanımlanmaktadır.

Taşın küp olduğu ve nominal çapının D_{n50} olduğu düşünüldüğünde taşın ağırlığı aşağıdaki gibi olur:

$$W = \gamma_s D_{n50}^3 \quad (2.4)$$

(2.4) ifadesi Hudson formülünde (2.3) yerine konursa ifade aşağıdaki gibi olur:

$$\frac{H}{\Delta D_{n50}} = (K_D \cot \alpha)^{1/3} \quad (2.5)$$

(2.5) ifadesinde eşitliğin solundaki parametre daha sonraki yıllarda tanımlanmış olan stabilite sayısıdır. Hudson, vermiş olduğu ifadede dalgakıran stabilitesini açık olarak sadece yapı eğimine bağlarken, diğer parametreleri yapıda kullanılacak malzemeye ve yapı önündeki dalga koşullarına göre değişen K_D parametresinin içine dahil etmiştir. K_D parametresi aşağıdaki parametreleri içermektedir (CERC 1984):

- a) Kaplama elemanlarının şekilleri
- b) Kaplama tabakasının kalınlığını oluşturan eleman sayısı
- c) Elemanların yerleştirilme şekilleri
- d) Elemanların yüzey pürüzlülüğü ve kenarlarının keskinliği (elemanların kilitlenme derecesi)
- e) Yapıya etkiyen dalga tipi (kırılan veya kırılmayan)
- f) Yapı kesitleri (kafa veya gövde)
- g) Gelen dalganın yapıyla açısı
- h) Model ölçeği
- i) Yapının sakin su seviyesi altında kaplama tabakası ile örtülü kısmının uzunluğu
- j) Alt tabaka malzemelerinin büyüklükleri ve poroziteleri
- k) Sakin su seviyesine göre çekirdek yüksekliği
- l) Kronman tipi
- m) Dalga yüksekliğine göre kronmanın sakin su seviyesine olan yüksekliği
- n) Kret genişliği

Hudson formülünün diğer bir özelliği de üstten aşmama ve “0 hasar” kriterine göre belirlenmiş olmasıdır (CERC, 1984). Bir çok araştırmacı hasar seviyesini kendilerine özgü yöntemlerle belirlemişlerdir. Örneğin Hudson hasarı çapı ortalama kaplama elemanı çapının 1.5 katı olan dairesel bir ayak ile oluşturulmuş bir çubuk ile ölçmüştür. Hedar (1960) yer değiştiren taşları saymıştır. Ahrens (1975) de büyük dalga tankında gerçekleştirdiği deneyler için Hudson’ın metodunu kullanmıştır (Van der Meer, 1988 a).

Hudson’ın formülü yetersiz olmasına rağmen günümüzde ön tasarım için mühendislerce sıklıkla kullanılmaktadır. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalarla CERC’de (1984) verilen K_D değerleri (Ek1) yeniden daha detaylı olarak belirlenip yayımlanmaktadır. Hudson formülünün en büyük eksikliği yapı için çok kritik olan tırmanma ve geri çekilme olayları ile ilişkilendirilebilecek T dalga periyodu terimini içermemesidir.

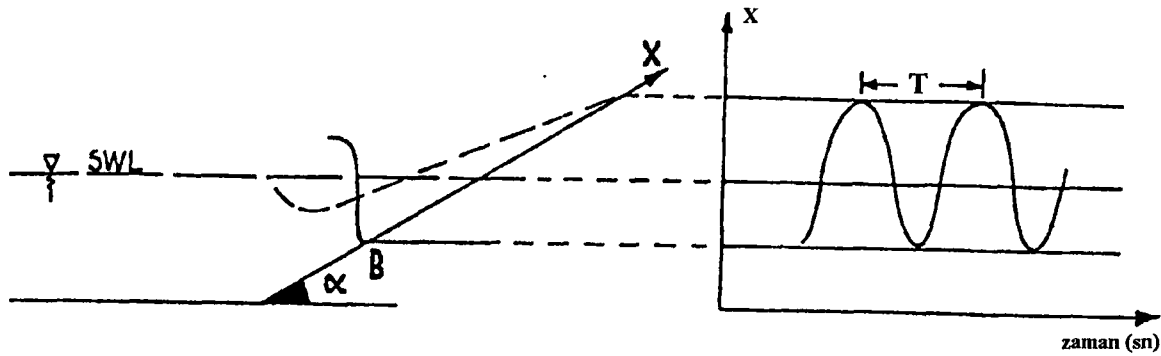
Formüldeki parametrelerin eksikliği yine formülde bulunanların etkisini aşağıda tartışıldığı gibi arttırmaktadır (Yüksel ve diğ., 1998):

- Dalga yüksekliğinin etkisi: Dalga yüksekliğindeki %10'luk bir artış taş ağırlığını %33 arttırmaktadır.
- Taşın yoğunluğunun etkisi: Taşın yoğunluğundaki artış yoğunluğuna bağlı olarak taş ağırlığını önemli miktarlarda azaltmaktadır.
- Deniz suyu yoğunluğunun etkisi: Deniz suyundaki küçük bir yoğunluk artışı (1000 kg/m^3 den 1025 kg/m^3 e) kullanılan taşın özgül ağırlığına da bağlı olarak taş ağırlığında küçümsenemeyecek bir artışa neden olmaktadır.
- K_D ve eğimin etkisi: Her iki parametrenin lineer etkisi vardır.

Per Bruun ve Günbak (1976) tarafından yapılan araştırmalar sonucu yapıdaki en büyük stabilitesizliğin Iribarren sayısının küçük bir aralığında ortaya çıktığı görülmüştür. Bu aralık rezonans koşullarının oluşmasını sağlayan $2.0 < \xi < 3.0$ (düzenli dalgalar için) aralığıdır (Losada ve ark.,1986). Burada kullanılmış olan surf parametresi veya Iribarren sayısı (Günbak, 1979) aşağıdaki gibidir:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}} \quad (2.6)$$

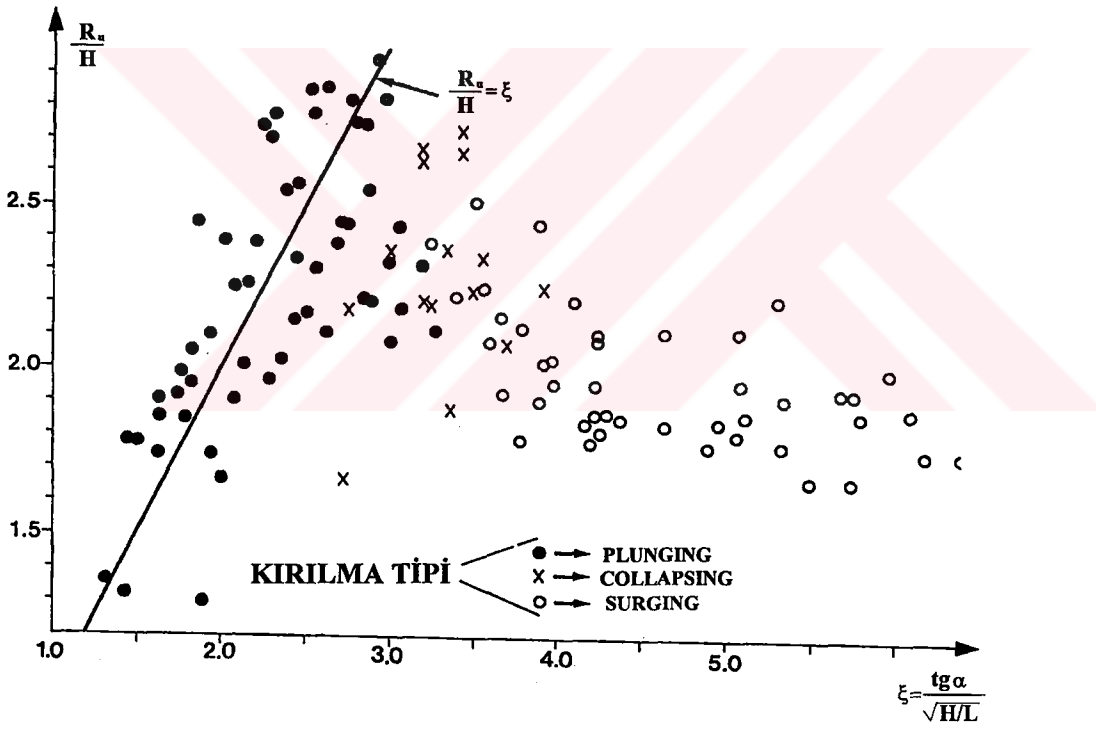
Bu aralıkta geri çekilme, Şekil 2.2'den de görülebileceği gibi yeni gelen kırılacak dalganın tam topuğunda biter. Yani kırılan dalga kuru eğime çarpar ve tırmanır (Günbak, 1979).



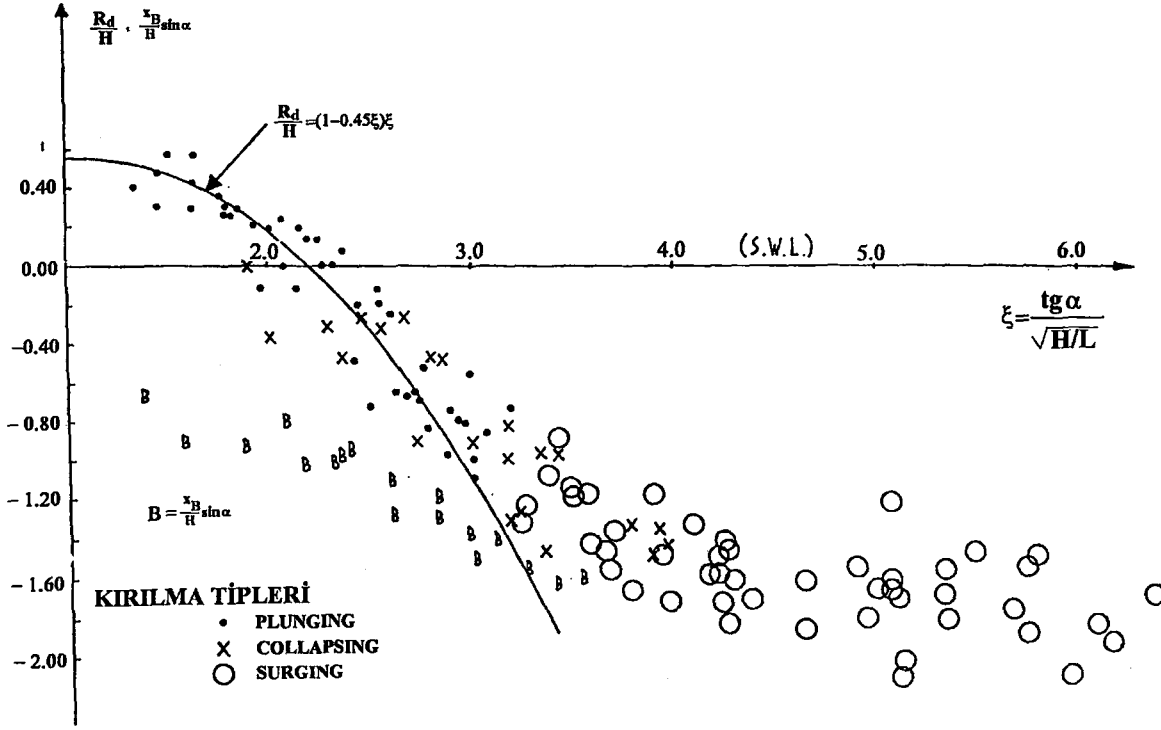
Şekil 2.2 Rezonans koşulu (Günbak, 1979)

Bu durumun stabilite açısından önemi, Sigurdsson (1962) ve Sandström (1974) tarafından yapılan deneylerden kırılan bir dalganın yarattığı kaldırma kuvvetinin ve kırılan dalgaların doğrudan kuru yüzeye çarparak etki ettirdikleri çarpma kuvvetinin maksimum değerine çıkmasıyla açıklanmıştır (Günbak, 1979).

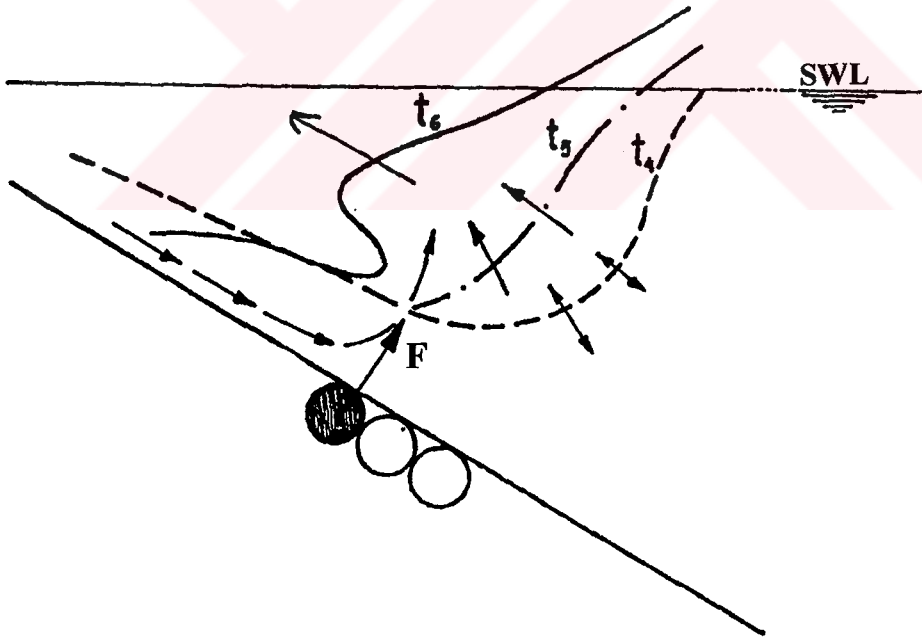
Şekil 2.3 ve 2.4'den görüldüğü gibi tırmanma ve geri çekilme surf parametresinin üçten daha büyük değerleri için çok fazla artmamaktadır. Üçe yakın değerlerde dalga çekilmesi sonucunda suyun geri çekilme hızı büyük olur ve bu büyük hız da elemanları yerlerinden sökebilecek yüksek sürüklenme kuvvetine neden olmaktadır. Bu büyük geri çekilme hızı ile dalga topuğundaki yüksek hızın karşılaşması elemanların yerlerinden ayrılmasına sebep olan büyük hız ve ivmeye sahip şev ve dik eddy benzeri çevriler oluşturmaktadır Bu durum Şekil 2.5 den görülebilir (Günbak, 1979).



Şekil 2.3 Düz yüzeyli şevlerdeki tırmanma (Günbak, 1979)



Şekil 2.4 Düz yüzeyli şevlerde geri çekilme (Günbak, 1979)



Şekil 2.5 Eddy benzeri çevriler (Günbak, 1979)

Losada ve Gimenez-Curto (1979) yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki ifadeyi elde etmişlerdir :

$$W = \frac{\gamma_s}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3} H^3 \Psi \quad (2.7)$$

- W : Taş ağırlığı
 γ_s : Taşın özgül ağırlığı
 γ_w : Suyun özgül ağırlığı
H : Dalga yüksekliği
 ψ : Stabilite fonksiyonu

dır. Formüldeki ψ aşağıdaki belirtilen değişkenlerin fonksiyonudur:

$$\psi = \psi (H/L, \alpha, \text{kaplama tipi, pürüzlülük, geçirimsizlik, hasar kriteri})$$

Bu ifade Hudson formülü ile karşılaştırıldığında:

$$\Psi = \frac{1}{K_D \cot \alpha} \quad (2.8)$$

olduğu görülmektedir.

Losada ve Gimenez-Curto (1979) kaplama tipini, pürüzlülüğü, geçirimsizliği, ve hasar kriterini sabit tuttuklarında ψ 'nin Ir sayısının fonksiyonu olduğunu bulmuşlardır.

$$\Psi\left(\frac{H}{L}, \alpha\right) = \Psi(Ir) \quad (2.9)$$

Ir: Iribarren sayısı

$$Ir = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}} \quad (2.10)$$

Losada ve Gimenez-Curto (1979-1980) pürüzlü ve geçirimli şevlerdeki (dolos, tetrapod ve üniform ocak taşı) stabiliteyi çalışmışlardır. Bu araştırmacılarda Bruun ve Günbak (1976)'ın çalışmalarına benzer olarak minimum stabiliteyi veren bir I_r aralığını bulmuşlardır, ancak porozite ve pürüzlülük arttıkça bu minimum değer daha az belirgin hale gelmektedir.

Sawaragi ve ark. (1982) düz ve geçirimli şevlerde tırmanma hızlarını ve ivmelerini ölçmüşlerdir. Bu araştırmacılar belirli bir I_r sayısı için bir maksimum tırmanma hız ve ivmesi belirlemişlerdir. Aynı şey tırmanma ve geri çekilme için de tanımlanabilir. Fakat pürüzlü ve geçirgen eğimlerde maksimum tırmanma hız ve ivmesi daha az belirgindir ve bu kesin bir I_r barren sayısına karşılık gelmemektedir. Sawaragi ve ark (1983) daha sonra rezonans ile ilgili sonuçlarını taş kaplama dalgakıran stabilitesine uygulamışlardır (Losada ve ark, 1986).

Yukarıda bahsedilen araştırmacıların yaptıkları çalışmalar sonucunda şu önemli sonuçlar elde edilmiştir :

- **"Stabilite koşullarının minimum olduğu bir I_r aralığı vardır, ve bu aralık geçirimsiz-düz yüzeyler için dar olmasına rağmen geçirimli-pürüzlü yüzeyler için daha geniştir."**

Daha sonraları Van der Meer (1988 a) yaptığı çalışmalar sonucunda kırılan dalgaların tiplerine göre stabilite için aşağıdaki ifadeleri elde etmiştir :

Plunging tipi kırılan dalgalar için:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \frac{6.2 P^{-0.13} (S / \sqrt{N})^{0.2}}{\sqrt{\xi_m}} \quad (2.11)$$

Surging tipi kırılan dalgalar için:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 P^{0.31} (S / \sqrt{N})^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^P \quad (2.12)$$

Plunging'den surging'e geçiş ise iki formülün kesişimi ile verilmiştir:

$$\xi_m = (6.2 P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha})^{1/(P+0.5)} \quad (2.13)$$

Bu ifadelerdeki parametreler aşağıdaki gibidir:

- H_s : Belirgin dalga yüksekliği.
 Δ : Rölatif özgül kütle.
 D_{n50} : %50'sinin geçtiği elek çapı nominal çapı olan değer.
 P : Porozite
 S : Hasar
 N : Dalga adedi
 T_m : Ortalam periyot
 ξ_m : T_m kullanılarak elde edilen surf parametresi
 $\tan \alpha$: Şev eğimi

Van der Meer (1988 a) hasar parametresini porozite, dalga sayısı (fırtına süresi), hasar seviyesi ve surf parametresi ile yapı eğimi ve dalga dikliğinin bir fonksiyonu ile belirlemiştir.

Van der Meer (1988 a)'in formülünde kullandığı hasar seviyesini bir çok araştırmacı kendine göre tanımlamıştır. Örneğin Thompson ve Shuttler (1975) hasar parametresini, N_Δ , aşağıdaki ifadeyle vermişlerdir (Van der Meer 1988 a):

$$N_\Delta = A \rho_b 9D_{50} / (\rho_s D_{50}^3 \pi / 6) \quad (2.14)$$

- N_Δ : Hasar parametresi
 A : Erozyona uğramış alan
 ρ_b : Malzemenin eğime yerleştirildiği şekildeki boşluklu yoğunluğu
 ρ_s : Taşın özgül kütlesi
 D_{50} : Taşın çapı

Buradaki hasar şevin $9D_{50}$ genişliğindeki parçasından erozyona uğramış alanın (A), malzemenin dalgakıran şevine serilmiş durumundaki boşluklu yoğunluğu, (ρ_b) ile çarpımının,

D_{50} çapındaki küre hacmine oranı ile elde edilen D_{50} çapındaki taşların sayısıdır (Van der Meer 1988 a).

Boşluklu yoğunluğu zırh tabakasının porozitesini hesaba katmak için kullanılmaktadır. Broderick (1984) boşluklu yoğunluğunu hesaptan çıkarıp hasarı, S , erozyona uğramış alanın, medyan taş kütlelerinin, W_{50} , kütle yoğunluğuna, ρ_s , oranı olarak tanımlamıştır (Van der Meer 1988 a).

$$S = A / (W_{50} / \rho_s)^{2/3} \quad (2.15)$$

Gerçekte hasar, S , doğrudan kullanılan taşın çapı ile ilgilidir. Nominal çap

$$D_{n50} = (W_{50} / \rho_s)^{1/3} \quad (2.16)$$

tanımı verilerek hasar şöyle değiştirilebilir:

$$S = A / D_{n50}^2 \quad (2.17)$$

Burada S 'in fiziksel anlamı, erozyona uğramış alana uyan, bir kenarı D_{n50} olan karelerin adedidir. Başka bir deyişle derinliği D_{n50} olan A kesit alanına sığabilen kenarı uzunluğu D_{n50} olan küplerin adedidir (Van der Meer 1988 a).

Broderick (1984)'e göre hasarın minimum değeri $S=2$ olarak elde edilirken Thompson ve Shuttler (1975) 0.5 den daha küçük S değerleri saptamışlardır. Zırh tabakasının ölçüsüne ve tanımına bağlı olarak Hudson (1959) ve Ahrens (1975) "0 hasar" kriterini $S=1-3$ arasında kabul etmiştir. Broderick (1984) ise sıfır hasar kriterini $S=2$ olarak almıştır (Van der Meer 1988 a).

Van der Meer (1988 a)'in yukarıda anlatılan çalışması taş kaplama dalgakıranlar içindir. Bu çalışmadan elde ettiği sonuçlar üzerine benzer bir çalışmayı yapay bloklar için yapmıştır. Fakat bu çalışma sadece bir kesit için yapılmış olduğundan yapay elemanlar için geliştirdiği formülde eğim, surf parametresi ve porozite ifade edilmemiştir.

Kilitlenme özelliğine sahip tetrapod ve küp gibi yapay elemanlarla oluşturulan dalgakıranlar genelde 1:1.5 gibi dik eğimlerde uygulandıklarından Van der Meer (1988)'de bu eğimi kullanmıştır.

Van der Meer (1988) bütün deneylerinde 1:30 deniz taban eğimi kullanmıştır. Dalgalar 0.90m su derinliğinde üretilmiş ve yapı ise su derinliğinin 0.40m olduğu yerde oluşturulmuştur. Kaya dolgu yapılar için hasar, S, erozyona uğramış alanın nominal çapa oranı olarak ifade edilmişti. Yapay bloklar için hasar genelde bir çap mesafesinden daha fazla yer değiştirmiş elemanların sayısı olarak ifade edilmiştir. Bu hasar ifadesi yüzde olarak belirtilmesine rağmen kaplama tabakasındaki toplam ünite sayısı ve eğime bağlı olduğundan başka çalışmalarla kıyaslanması son derece güçtür. Bu yüzden yapay üniteler için başka bir hasar ifadesi önerilmiştir. Burada hasar, rölatif hasar, olarak tanımlanmıştır. Rölatif hasar, N_0 , bir nominal çap genişliğindeki bölgeden ayrılmış olan (boyuna eksen boyunca) ünitelerin sayısı ile ifade edilmiştir. Nominal çap (Van der Meer 1988 a):

$$D_n = (W / \rho_s)^{1/3} \text{ dür.} \quad (2.18)$$

Tetrapodlar için $D_n = 0.65h$ olup h elemanın yüksekliğidir. Genelde S, N_0 'nun iki katı kadardır (Van der Meer, 1988 b).

Yapılan deneyler sonucunda periyot ve fırtına süresinin tetrapodların stabilitesi için etkin parametreler olduğu ortaya çıkmıştır. Tetrapod stabilitesi için Van der Meer (1988 b)'in geliştirdiği ifade şöyledir:

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = (3.75N_0^{0.5} / N^{0.25} + 0.85)S_z^{-0.2} \quad (2.19)$$

N_0 : Rölatif hasar

S_z : Dalga dikliği

N : Dalga sayısı (Fırtına süresi)

Kullanılan bazı teknikler ile hasarın içine sadece yerlerinden ayrılan elemanlar değil, az çok yerinde sallanan elemanlar da ilave edilmiştir. Bu yüzden daha önce tanımlanmış olan N_0

parametresine bu özelliği taşıması için yeni indisler eklenmiştir (Van der Meer, ve Heydra, 1991).

N_{0d} : Yerinden $2D_n$ 'den fazla ayrılmış elemanların sayısı

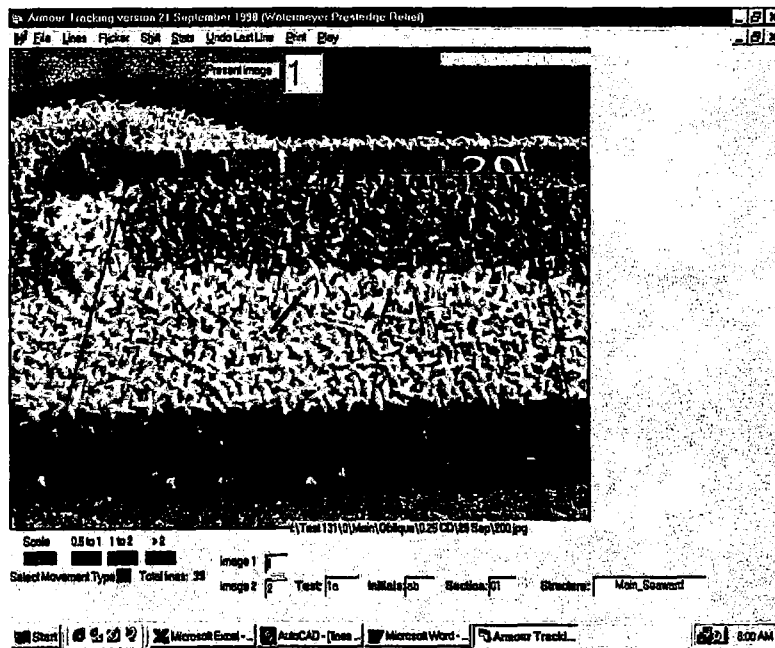
$N_{0>0.5}$: Yerinden $0.5D_n$ 'den fazla ayrılmış elemanların sayısı

$N_{0<0.5}$: Yerinden $0.5D_n$ 'den az ayrılmış elemanların sayısı

Sallanan elemanları belirlemek için kullanılan yöntemlerden biri overlay tekniği diğeri ise single-frame tekniğidir. (Van der Meer, ve Heydra, 1991)

Overlay tekniğine göre bir deneyden önce ve sonra aynı yerden iki film çekilir ve bu filmlerin kıyaslanması sallanan elemanların sayısını verir. Single-frame de ise şeve bir dalga sensörü yerleştirilir ve bu sensör suyun belirlenmiş bir yerden geçmesi ile kameraya sinyal gönderir. Bu sinyale göre çekilen filmler saniyede 10-20 poz hız ile gösterilirse elemanlardaki hareketler belirlenebilir (Van der Meer, ve Heydra, 1991).

Phelp (1999) tarafından yapılan bir çalışmada ise hasar, elemanın yüksekliğinden (h) daha fazla yer değiştirmiş elemanların sayısına, test süresinin üçte iki süresi boyunca sallanan elemanların sayısı da eklenerek belirlenmiştir (CSIR, 1989). Günümüzde sallanan elemanların sayısı dijital görüntü sistemlerinin bazı bilgisayar yazılımları ile beraber kullanılması ile belirlenmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Sallanan elemanların bilgisayar ortamında belirlenmesi

2.4 Deneyin Kurgusu

Yapılan literatür çalışmasından da anlaşıldığı gibi bir çok bilim adamı dalgakıran stabilitesini incelemiştir, ancak özellikle tetrapod blokların stabilitesi hakkında çok fazla çalışma bulunmamaktadır. CERC (1984), tetrapodların rastgele yerleşimleri için hem kafa hem de gövde kesitleri için K_D katsayılarını vermiştir.

Çalışmanın başında da belirtildiği gibi tetrapod bloklar rastgele yerleşimlerinin yanısıra iki özel yerleşim yöntemiyle de yerleştirilebilirler. Fakat bu dizilişler için ayrı ayrı K_D katsayısına rastlanamamıştır.

Edinilen bu bilgiler ışığında tetrapod blokların değişik yerleşim şekilleri arasında stabiliteleri açısından bir kıyaslama yapmanın yararlı olacağı düşüncesi oluşmuştur.



3. DENEY SİSTEMİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.1 Deney Sistemi ve Model Tasarımı

3.1.1 Dalga kanalı:

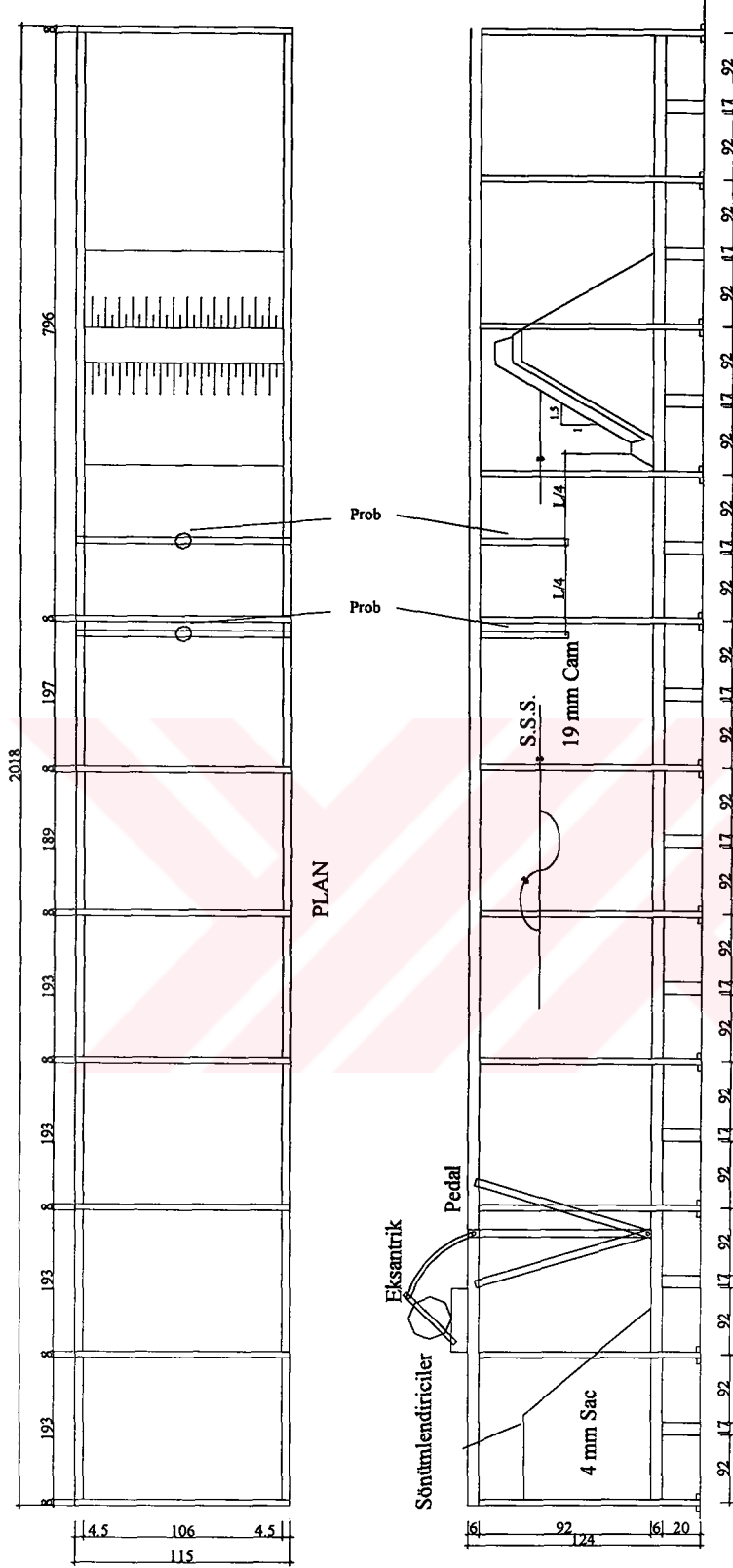
İki boyutlu stabilite deneyleri YTÜ Hidrolik ve Kıyı-Liman Laboratuvarı'nda bulunan 1m genişliğinde, 1m yüksekliğinde ve 20m uzunluğundaki düzenli dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Kanalın 14m'lik kısmı boyunca yan yüzler camdır (Şekil 3.1).

Dalgalar bir eksantrik yardımı ile doğru akım motorunun miline bağlanan tabana mafsallı bir palet ile üretilmiştir. İstenilen yükseklik ve periyottaki düzenli dalgalar, bu doğru akım motoruna giden akımı düzenleyen ve kumanda eden redresör ile eksantrik yardımıyla üretilmiştir.

3.1.2 Dalga ölçümleri:

Dalga kanalında üretilen dalga yükseklikleri ikiz çubuk elektrodlu bir sistem yardımıyla ölçülmüştür. Bu sistemin çalışması elektrotlar arasındaki suyun devreyi tamamlaması ve su seviyesinin alçalıp yükselmesi sırasında direncin değişmesi prensibine dayanmaktadır. Dirençteki bu değişim bir amplifikatör yardımıyla yükseltilmekte ve buna bağlı Armfield CQ95 tipi plotter ile kaydedilmektedir. Ayrıca kayıtlar bilgisayara bir AD dönüştürücü yardımıyla aktarılarak değerlendirilebilmektedir. Her deneyden önce sakin su durumunda sistemin direnci dengeye getirilmek suretiyle kalibrasyonu yapılmıştır.

Deneyler her iki diziliş için 4 set halinde yapılmıştır. Her set düzenli dalgalardan oluşmaktadır. Deneyde kullanılan dalgaların periyotları 1.10s, 1.35s, 1.50s, 1.80s olarak belirlenmiştir. Her setin başlangıcında sistemde herhangi bir hasar oluşturmayacak kadar küçük bir dalga seçilmiş ve bu dalga yüksekliği, dalgakıranın tamamen yıkılmasına kadar sürekli arttırılmıştır. Bütün deneyler için taban düz olarak seçilmiştir ve su derinliği 0.60m olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 3.1 Dalga kanalı görünüşü

Deney süresince, hesaplarda kullanılması gereken dalga yüksekliğinin dalgakıran topuğundaki dalga yüksekliği olması nedeniyle dalga kayıtlarının alınacağı dalga yüksekliği ölçüm problemlerinden birincisi topuktan $L/4$ mesafe açığa yerleştirilmiştir. Deney sırasında oluşan gelen ve yansıyan dalgaların ayırt edilebilmesi için ise ilk probdan $L/4$ mesafe açığa ikinci bir prob yerleştirilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan dalga yüksekliği ise yansıyan dalganın gelen dalgadan ayrılabilmesi için iki probdan okunan değerlerin ortalaması olarak alınmıştır (Şekil 3.1). 3000 dalga dönemi için elde edilmiş deney şartları Çizelge 3.1’de ki gibidir, Ek 2’de ise 1000 dalga dönemi kayıtları bulunmaktadır.

Çizelge 3.1 3000 dalga dönemi için dalga koşulları

Durum	T(s)	H _i (cm)	L(m)	H ₀ (cm)	L ₀ (m)	H ₀ /L ₀	ξ
I. Tip	1.10	15.16	1.83	15.88	1.89	0.08	2.4
		16.90		17.71		0.09	2.2
		18.49		19.37		0.10	2.1
		19.83		20.77		0.11	2.1
		20.74		21.73		0.12	2.0
I. Tip	1.35	8.63	2.56	9.38	2.84	0.03	3.8
		10.52		11.42		0.04	3.5
		13.43		14.59		0.05	3.1
		13.13		14.26		0.05	3.1
		14.76		16.03		0.06	2.9
		16.39		17.80		0.06	2.8
	1.50	5.92	2.99	6.48	3.51	0.02	5.1
		7.90		8.65		0.02	4.4
		11.16		12.22		0.03	3.7
		11.89		13.01		0.04	3.6
		12.63		13.82		0.04	3.5
		14.32		15.68		0.04	3.3
		15.40		16.86		0.05	3.2
		1.80		3.21		3.82	3.48
	3.93		4.27	0.01	7.6		
	5.05		5.48	0.01	6.7		
	6.20		6.73	0.01	6.0		
	9.05		9.83	0.02	5.0		
	9.02		9.79	0.02	5.0		
	9.94		10.80	0.02	4.8		
	12.01		13.04	0.03	4.3		
	12.84		13.93	0.03	4.2		
	14.48		15.72	0.03	3.9		
	15.02		16.31	0.03	3.9		
3.37	3.66		0.01	8.2			

Çizelge 3.1'in devamı

Durum	T(s)	H _i (cm)	L(m)	H ₀ (cm)	L ₀ (m)	H ₀ /L ₀	ξ
I. Tip	1.80	4.31	3.82	4.68	5.05	0.01	7.2
		5.56		6.03		0.01	6.4
		6.20		6.73		0.01	6.0
		9.21		10.00		0.02	4.9
		10.27		11.15		0.02	4.7
		12.23		13.27		0.03	4.3
		11.28		12.25		0.02	4.5
		13.13		14.26		0.03	4.1
		15.66		17.00		0.03	3.8
II. Tip	1.10	11.11	1.83	11.64	1.89	0.06	2.7
		13.19		13.82		0.07	2.5
		14.41		15.10		0.08	2.4
		15.36		16.10		0.09	2.3
		15.05		15.77		0.08	2.4
		16.77		17.57		0.09	2.2
		17.40		18.22		0.10	2.2
		18.62		19.50		0.10	2.1
		19.58		20.51		0.11	2.1
II. Tip	1.35	5.11	2.56	5.55	2.84	0.02	5.0
		6.44		6.99		0.02	4.4
		7.62		8.27		0.03	4.1
		9.08		9.86		0.03	3.7
		9.74		10.58		0.04	3.6
		10.62		11.53		0.04	3.5
		12.19		13.24		0.05	3.2
		12.75		13.85		0.05	3.1
		13.34		14.49		0.05	3.1
		15.17		16.47		0.06	2.9
	16.66	18.10	0.06	2.8			
	1.50	17.46	2.99	18.97	3.1	0.07	2.7
		4.43		4.85		0.01	5.9
		6.46		7.07		0.02	4.9
		7.68		8.41		0.02	4.5
		9.07		9.93		0.03	4.1
		10.63		11.63		0.03	3.8
		10.36		11.34		0.03	3.9
		11.86		12.98		0.04	3.6
		13.75		15.05		0.04	3.4
15.73		17.22		0.05		3.1	
15.66	17.14	0.05	3.2				
16.95	18.56	0.05	3.0				

Çizelge 3.1'in devamı

Durum	T(s)	H _i (cm)	L(m)	H ₀ (cm)	L ₀ (m)	H ₀ /L ₀	ξ
II. Tip	1.80	3.60	3.82	3.91	5.05	0.01	7.9
		4.69		5.09		0.01	6.9
		6.15		6.67		0.01	6.0
		7.33		7.96		0.02	5.5
		9.02		9.79		0.02	5.0
		9.50		10.31		0.02	4.9
		11.35		12.32		0.02	4.4
		12.89		13.99		0.03	4.2
		15.35		16.67		0.03	3.8
		3.79		4.11		0.01	7.7
		5.51		5.98		0.01	6.4
		6.44		6.99		0.01	5.9
		6.27		6.81		0.01	6.0
		9.22		10.01		0.02	4.9
		8.88		9.64		0.02	5.0
		10.41		11.31		0.02	4.6
		11.25		12.21		0.02	4.5
		12.87		13.97		0.03	4.2
		15.73		17.08		0.03	3.8

3.1.3 Kalibrasyon deneyleri:

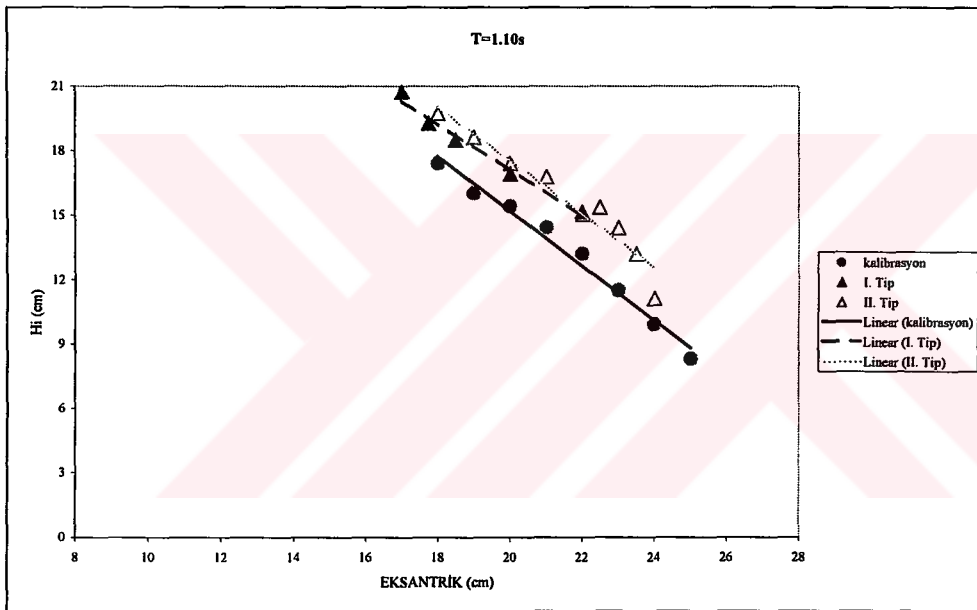
Eksantriklik miktarının artırılıp azaltılmasıyla oluşturulan dalgaların, yansımanın etkisi olmaması için kanal sonunda dalgakıranı oluşturacak olan çekirdek malzemesinden dalgakıran kanalda bulunmazken dinamik bir profilin oluşmasına izin verilen bir eğimle kıyı oluşturarak yapılmıştır. Yansımanın dalga yüksekliği ölçümlerinden tamamen ayrılabilmesi için kalibrasyon deneyleri, enerji yayılma hızı olan grup hızı bulunduktan sonra bu enerjinin probdan sonra kıyıya ulaşması ve tekrar kıyıda yansıyıp proba varması için gereken toplam süre hesaplanmış ve kayıtlar bu süre içinde alınmıştır. Bu deneylerde tek prob kullanılmış ve prob dalga üreticiden etkilenmeyecek yakınlıkta bir mesafeye yerleştirilmiştir.

Enerjinin katettiği mesafe yani prob ve kıyı arasındaki mesafenin iki katı 23,12m olarak sabittir. Fakat enerji yayılım hızı olan dalga grup hızı ise derinlik sabit olduğu için sadece periyoda bağlı olarak değişir. Dolayısıyla yansıyan enerjinin başlangıçtan itibaren proba ulaşmak için harcadığı zaman hesaplanıp kayıtlar sadece o zaman aralığı için incelenmiştir. Kalibrasyon testleri ile ilgili bilgiler şöyledir:

Çizelge 3.2 Kalibrasyon deney sonuçları

$\Delta x(m)$	$d(m)$	$T(s)$	$C_g(m/s)$	Δt
23,12	0,6	1,10	0,94	24,6
		1,35	1,24	18,65
		1,50	1,40	15,41
		1,80	1,66	12,84

Kalibrasyon ve stabilite deney sonuçları karşılaştırıldığında $T=1.10$ sn için verilen Şekil 3.2 (diğer periyotlar için Ek 3'e bakınız) de görüleceği gibi dalga yüksekliklerinin çok uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Şekil 3.2 Kalibrasyon deneyleri ile stabilite deneylerinin $T=1.10s$ için kıyaslanması

3.2 Hidrolik Model Tasarımı:

Kıyı yapılarının planlanması ve tasarımındaki problemlerin teorik çözümlerinin tam olarak yapılabilmesinin neredeyse imkansız olmasından dolayı hidrolik modelleme bu tip yapıların tasarım ve planlanması için bir çözüm yöntemidir.

Hidrolik modellemede amaç modeli yapılan elemanların doğada gösterdikleri davranışların aynısını laboratuvar ortamında oluşturup, gözlemlemektir. Model ve prototip arasındaki

benzerlik üç şartın sağlanması ile mümkündür, bunlar; geometrik, kinematik, ve dinamik benzerliklerdir. Geometrik benzerlik modeldeki ve prototipteki karşılıklı uzunlukların belirli oran veya oranlarda olmasıdır. Kinematik benzerlikte ise model ve prototip etrafındaki akışkanın veya katı cisimlerin homolog noktadaki hız ve ivmelerinin belirli oranlarda olması gerekir. Dinamik benzerlik için yine homolog noktadaki dinamik kuvvetlerin aynı oranda olması gerekir. Ancak bir problemdeki bütün dinamik kuvvetlerin aynı orana sahip olması neredeyse imkansızdır. Bu nedenle modelde hakim olan kuvvetlere bağlı olarak çeşitli modelleme kuralları geliştirilmiştir

Kıyı hidroliği ve kıyı yapıları gibi problemlerde viskozite ve yüzey gerilimi etkin rol oynamadığından nispeten büyük modeller için atalet ve ağırlık kuvvetleri dikkate alınmaktadır. Bu koşullarda en uygunu Froude benzeşimidir. Buna göre zaman ve hız ölçeği uzunluk ölçeğinin kareköküne eşittir. Froude benzeşiminde modeldeki ağırlık kuvvetlerinin atalet kuvvetlerine oranı prototipteki bu kuvvetlerin oranına eşit olmalıdır.

Model çalışmalarında ölçek ne kadar büyürse elde edilen sonuçlardaki hassasiyet de o derece fazla olur. Fakat büyük ölçekli modellerinde bazı dezavantajları söz konusudur. Bunlar işletme ve inşaat masraflarının artması ve gerekli sürenin uzamasıdır. Diğer taraftan ölçeğin çok küçük olması durumunda yüzey gerilimi ve sürtünme kuvvetleri dalga hareketini etkileyebilir. Bu nedenle model ölçeği prototipin boyutlarına ve mümkün olan test ekipmanlarının hassasiyetine göre belirlenmelidir. Hidrolik modeller için kesin ölçekler olmamasına karşı dalgakıran stabilitesi için genelde seçilen ölçekler 1/10 ile 1/50 arasında değişmektedir.

Froude benzeşiminin kuramına göre bulunmuş ölçekler ise Tablo 3.3'deki gibidir. Yapılan çalışmadaki sonuçlar doğaya uygulanmak istenirse Ek 4'de verilen tetrapod modelinin özellikleri ve deneyde kullanılan suyun özgül ağırlığı yardımıyla kullanılması gereken olan uzunluk boyutundan diğer ölçek belirlenebilir.

Çizelge 3.3 Model ölçek oranları

Uzunluk (dalga yüksekliği, ve dalgakıranla ilgili uzunluklar)	r_L
Zaman (dalga periyodu, fırtına süresi)	$r_t = \sqrt{r_L}$
Hacim	$r_v = r_L^3$
Ağırlık	$r_w = r_L^3 \frac{(\gamma_b)_m}{(\gamma_b)_p} \left\{ \frac{(\gamma_c)_m - 1}{(\gamma_w)_m} \right\}^{-3} \left\{ \frac{(\gamma_c)_p - 1}{(\gamma_w)_p} \right\}^{-3}$

- $(\gamma_c)_m$: modeldeki tetrapod özgül ağırlığı
 $(\gamma_c)_p$: prototipteki tetrapod özgül ağırlığı
 $(\gamma_w)_m$: modeldeki su özgül ağırlığı
 $(\gamma_w)_p$: prototipteki tetrapod özgül ağırlığı

3.3. Çalışmada İzlenen Yöntem:

Deneyler her iki diziliş için 4 set halinde yapılmıştır. Her set düzenli dalgalardan oluşmaktadır. Deney de kullanılan dalgaların periyotları 1.10s, 1.35s, 1.50s, 1.80s olarak belirlenmiştir. Her setin başlangıcında sistemde herhangi bir hasar oluşturmayacak kadar küçük bir dalga seçilmiş ve bu dalga yüksekliği, sistemin tamamen göçmesi durumuna kadar sürekli arttırılmıştır. Kesitte (Şekil 3.3 ve 3.4) oluşan hasar sürekli korunmuş ve daha sonra uygulanacak olan daha büyük dalganın ortaya çıkmış olan bir önceki hasarı zaten oluşturacağı varsayımıyla hasar sürekli üst üste eklenerek kaydedilmiştir. Bütün deneyler için düz taban koşulları dikkate alınmıştır ve su derinliği de 0.60m olarak sabit tutulmuştur.

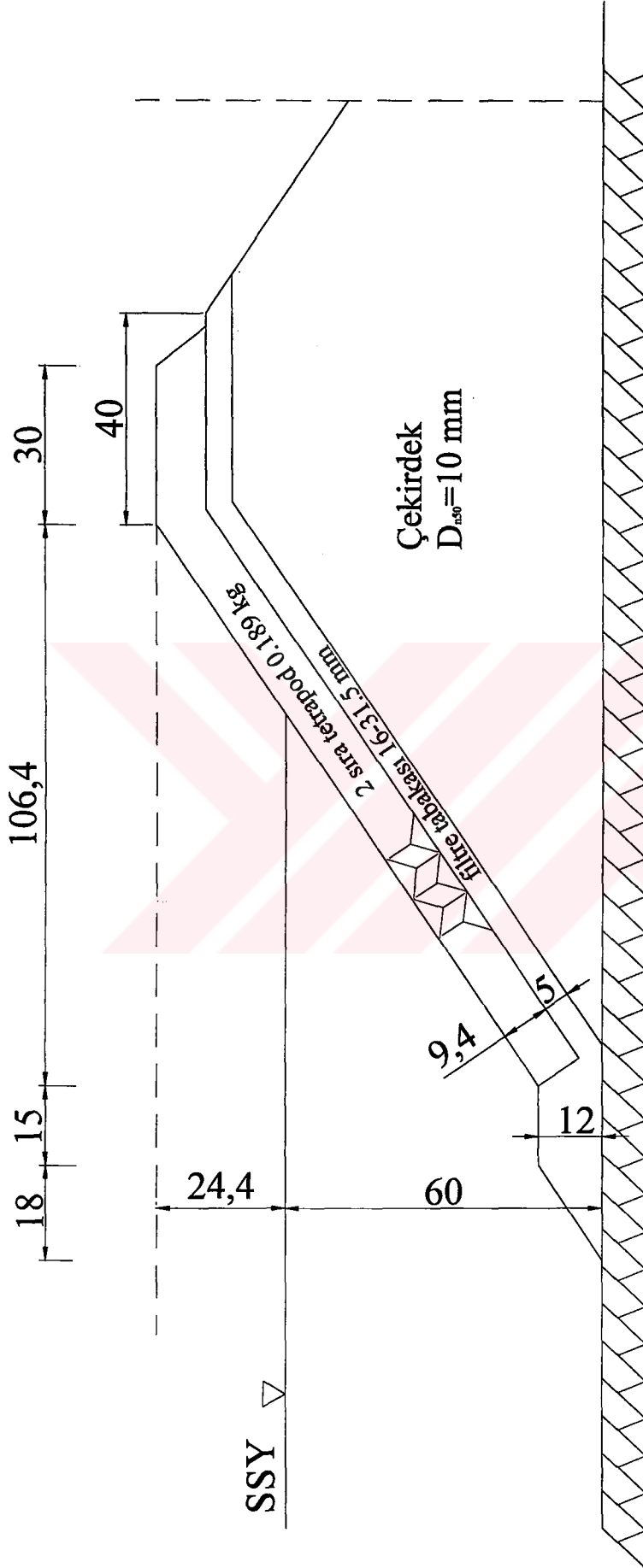
Deney süresince, dalgakıran topuğundaki dalgaların hesaplarda kullanılması gereken dalgalar olması nedeniyle dalga kayıtlarının alınacağı problardan birincisi topuktan L/4 mesafe açığa yerleştirilmiştir. Deney sırasında gelen ve yansıyan dalgaların ayırt edilebilmesi için ise ilk probdan L/4 mesafe açığa ikinci bir prob yerleştirilmiştir. Bu çalışmadaki deneylerde

yansımada arınmış dalga yükseklikleri ise iki probdan okunan değerlerin ortalaması olarak dikkate alınmıştır.

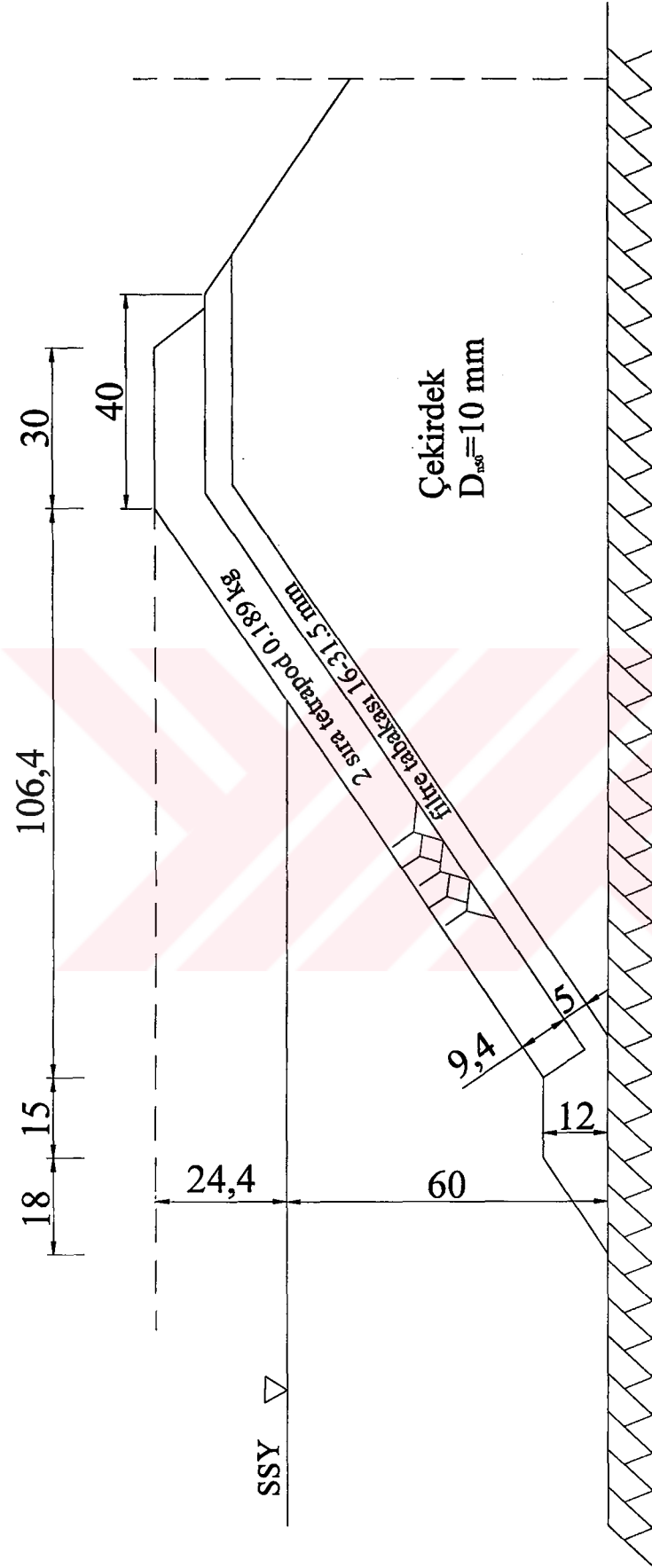
Dalgakıran kesitinde oluşan hasarlar daha önce yapılmış olan ön deneylerden elde edilen gözlemler sonucunda sakin su seviyesinin $0.88H_D$ mesafe yukarısı ve $1.44H_D$ mesafe aşağısı arasında kalan tetrapodlar için gözlenmiştir. Bunun nedeni deneylerde kırılmayan dalga şartlarının dikkate alınmasıdır. Bu koşulda CERC (1984) dalganın etkin bölgesini $1.5H_D$ sakin su seviyesi altı ve $1.0H_D$ su seviyesi üstü olarak tanımlamıştır.

Deneylerde hasara ek olarak yerinde sallanan tetrapodlar ve dalga tırmanması ve geri çekilmesi olayları gözlenmiştir. Tırmanma ve geri çekilme mesafeleri tetrapod tabakası üzerinde, filtre ve çekirdek arasındaki yüzeyde ve tetrapod tabakası ile filtre tabakası ara yüzünden $2H_D$ mesafe kadar içeride çekirdek tabakasında ölçülmüştür.

Bu gözlemler ve ölçümler için esas alınan H_D "tasarım dalga yüksekliği" Ek 4'de gösterildiği gibi Hudson formülüne CERC (1984) deki tetrapod stabilite katsayısı olan $K_D=8$ değeri yerleştirilerek belirlenmiştir.



Şekil 3.3 Birinci yerleştime yöntemi için dalgakıran en kesiti



Şekil 3.4 İkinci yerleşirme yöntemi için dalgakıran en kesiti

3.4 Hasar Tesbiti:

Her deneyin sonunda ortaya çıkan hasar, hem yüzde olarak (%S) ifade edilmiş, hem de Meer'in (1988 b) önerdiği yöntemle göre hesaplanmıştır. Buna göre hasar ifadeleri şöyledir:

Hasarın yüzde miktarı:

$$\%S = \frac{\text{Yerinden Ayrılmış Tetrapodların Adedi}}{\text{Toplam Tetrapod Adedi}} \quad (3.1)$$

Van der Meer'e göre hasar:

$$N_0 = \frac{D_{n50} \text{ Genişliği} \times \text{Yerinden Ayrılmış Tetrapodların Adedi}}{\text{Toplam Genişlik}} \quad (3.2)$$

Deney sırasındaki her dalga periyodu için birbiri ardına üretilen dalgalardan bir sonraki dalganın yüksekliğinin bir öncekinden yüksek olması nedeniyle, küçük olan dalganın meydana getirdiği hasarlı kesitte daha büyük dalga ile çalışmaya devam edilmiştir. Böylece küçük olanın yarattığı hasar büyük olan dalgaya aynen eklenmiştir.

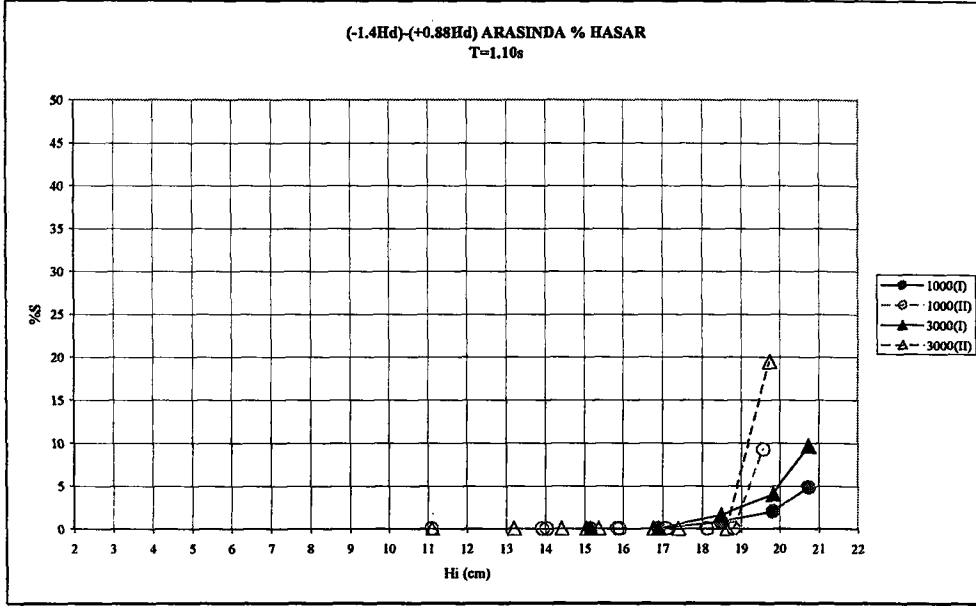
Hasar hesaplanırken bütün kesit yerine en aktif olan sakin su seviyesinin $0,88H_D$ üstü ve $1,44H_D$ altı arasındaki bölge dikkate alınmıştır. Bu bölgede bulunan tetrapodların rengi de kolay ayırt edilebilmesi için sarıya boyanmıştır. Ek 5'de hasar miktarının hem yüzde ile hem de Van der Meer'in (1988 b) önerdiği yöntemle hesaplanması bir örnekle gösterilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

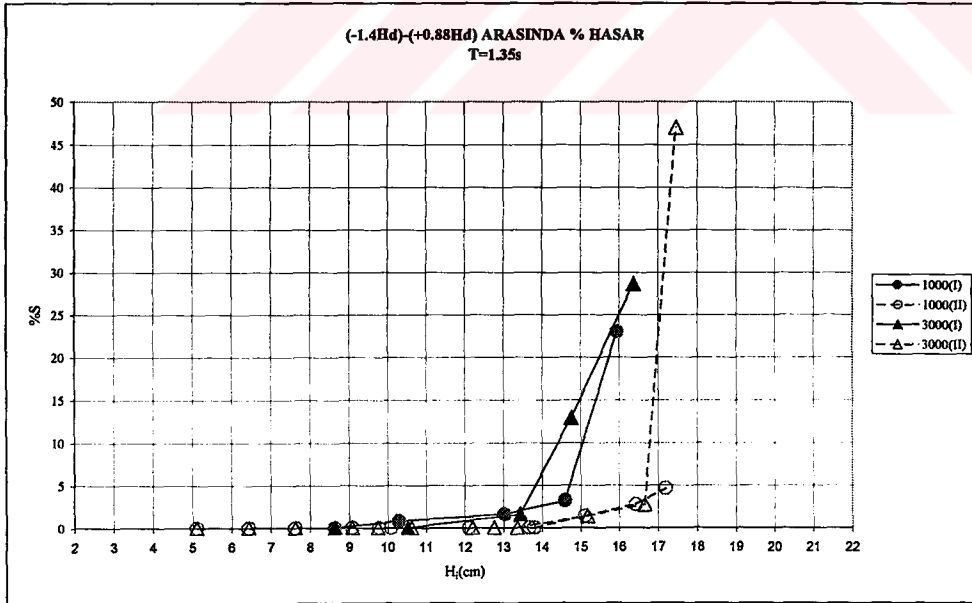
Deneyler aynı şev eğimi ve sabit su derinliği koşullarında farklı her dalga periyodunda değişen dalga yüksekliklerinde tetrapodun her iki yerleşim yöntemi için gerçekleştirilmiştir. İki sistem arasındaki tek fark kaplama tabakası yani tetrapodların şev üzerindeki poroziteleridir. I. tip yerleşimin porozitesi %54, II. tipin porozitesi ise %61 dir, bu da II. tip yerleşimdeki tetrapod sayısının I. tip yerleşimdeki tetrapod sayısına oranla önemli oranda azalmasını sağlamıştır. Ek 6'da her iki yerleştirme yöntemi için verilmiş olan porozitelerin hesap metotları verilmiştir. Deneylerde önce 1000 dalga üretilmiş sonra buna ek olarak 2000 dalga daha üretilip, her iki durum için stabilite ayrı ayrı belirlenmiştir. Deneyler sırasında sallanma ve yer değiştirmeye ek olarak kaplama tabakası üzerinde, filtre tabakası ile çekirdek bölgesinin ara kesitinde ve filtre tabakası ile kaplama tabakasının ara kesitinin sakin su seviyesi ile kesiştiği noktadan $2H_D$ mesafe kadar çekirdek içinde suyun tırmanma ve geri çekilme miktarları ölçülmüştür.

Şekil 4.1, 4.2, 4.3, ve 4.4'de görülen hasar grafikleri hasarın yüzde olarak ifadesi olan %S'in dalga yükseklikleri ile değişimlerinin grafikleridir. %S grafiklerine ek olarak Şekil 4.5 de sadece $T=1.10s$ için Van der Meer'in (1988 b) önerdiği hasar yöntemi kullanılarak oluşturulmuş hasar-dalga yüksekliği grafiği bulunmaktadır, diğer periyotlar için hazırlanmış olan grafikler Ek 7'de bulunmaktadır. Her iki yerleşim içinde $1.10s$, $1.35s$ ve $1.50s$ için birer set deney yapılmış fakat $1.80s$ de yine her iki yerleşim için ikişer set deney yapılmıştır. Yerleşim yöntemlerinin her ikisinde de alt tetrapod tabakasını oluşturan tetrapodların 3 bacağı şeve basarken I. tip yerleşim yönteminde üst tabakayı oluşturan tetrapodların bir bacağı alt sırayı oluşturanların arasına girer, II. tip yerleşim yönteminde ise üst tabaka yine alt tabakada olduğu gibi alt tabaka üzerine 3 bacağı ile oturur.

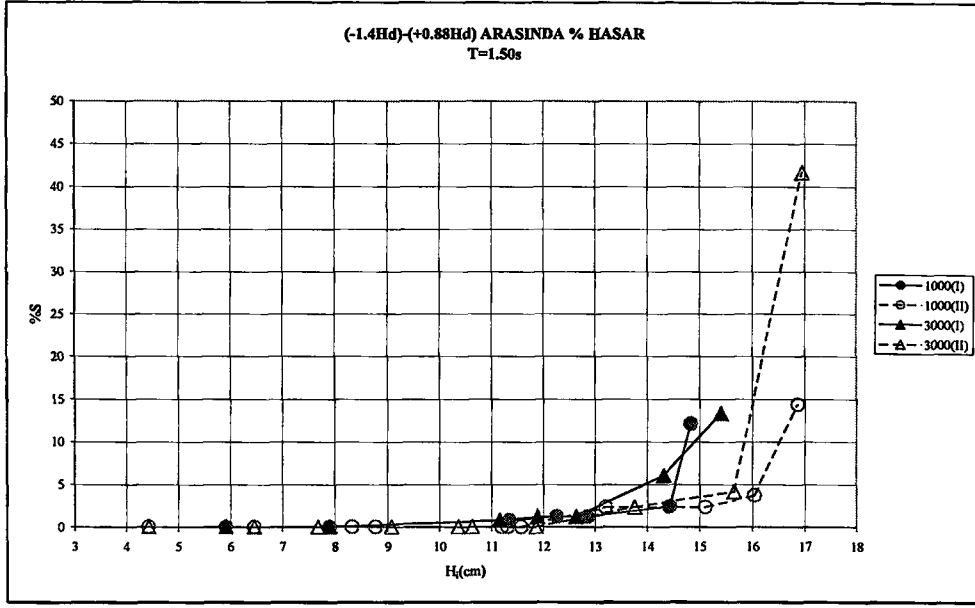
Şekil 4.1, 4.2, 4.3, ve 4.4'den görüldüğü gibi I. tip yerleşim için yerinden ayrılmalar II. tip yerleşime göre daha küçük dalga yüksekliklerinde başlamaktadır. Bu şekillerde iki tip yerleşim için, 1000 ve 3000 dalga sonunda ortaya çıkan hasar miktarlarının karşılaştırılabilmesi amacıyla hasar gelişimi iki yerleşim için de her periyotta üst üste verilmiştir.



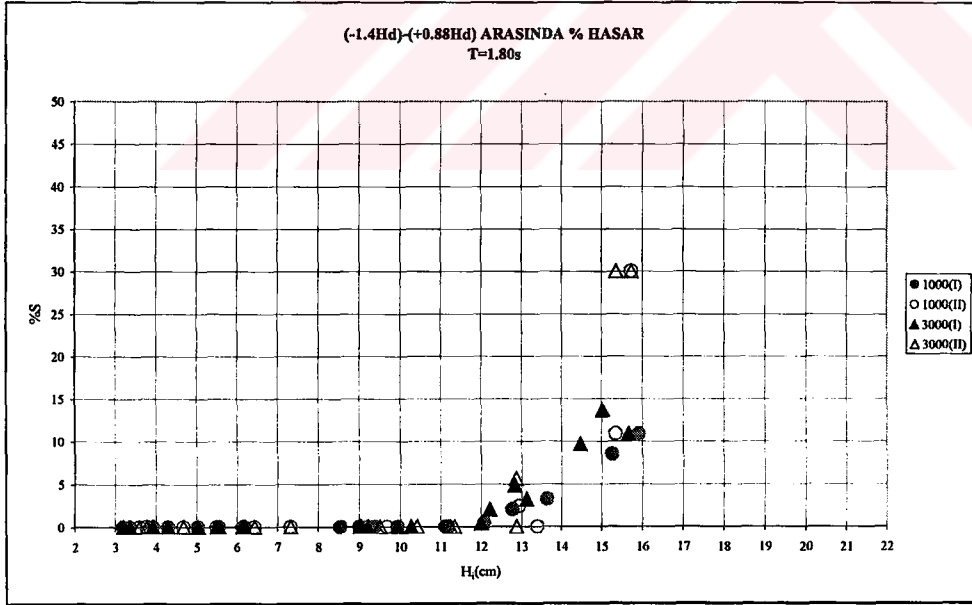
Şekil 4.1 T=1,10s için I. ve II. tip yerleştirmelerde 1000 ve 3000 dalga sonucu görülmüş hasarlar.



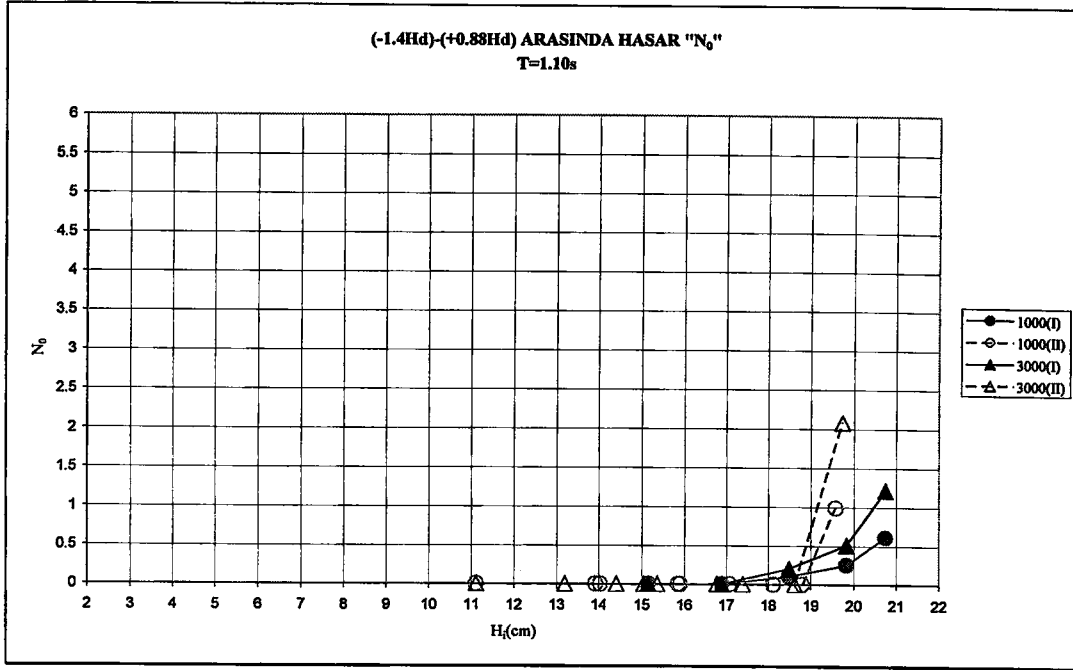
Şekil 4.2. T=1,35s için I. ve II. tip yerleştirmelerde 1000 ve 3000 dalga sonucu görülmüş hasarlar.



Şekil 4.3. T=1,50s için I. ve II. tip yerleştirme için 1000 ve 3000 dalga sonucu görülmüş hasarlar.



Şekil 4.4. T=1,80s için I. ve II. tip yerleştirmelerde 1000 ve 3000 dalga sonucu görülmüş hasarlar.

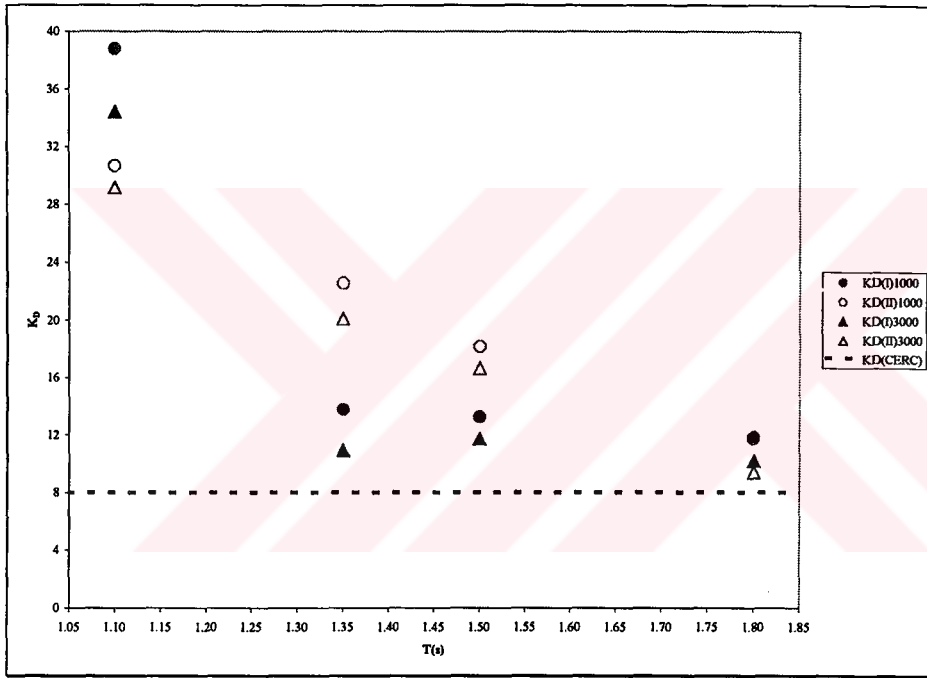


Şekil 4.5. T=1,10s için I. ve II. tip yerleştirmelerde 1000 ve 3000 dalga sonucu görülmüş hasarların N₀ ile ifadesi.

Şekillerden görüldüğü gibi, özellikle daha küçük periyotlarda I. tip yerleştirme yönteminde 1000 ve 3000 dalga dönemleri için hasar gelişimleri birbirlerinden belirgin bir şekilde ayrılmaktadır, ancak aynı durumun II. tip yerleştirme yöntemi için de meydana geldiğini söylemek mümkün değildir. Dolayısıyla I. tip yerleştirme şekli için hasar gelişimi üzerinde dalga sayısının veya başka bir ifade ile fırtına süresinin etkin bir rol oynadığı söylenebilirken, II. tip yerleşimde hasar gelişimi için fırtına süresinin etkinliğinden bahsedilememektedir. Bu durum Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'den görüldüğü üzere II. tip yerleşim yöntemindeki hasar gelişiminin belirli bir dalga yüksekliğine kadar sabit kaldığı ancak kritik bir dalga yüksekliğinden sonra hasar değişiminin birden artmasından anlaşılmaktadır. Bunun nedeninin de II. tip yerleşim yönteminde kilitlenme özelliğinin ve porozitenin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. T=1,35s, 1,50s, ve 1,80s dalga periyotları için yapılan deneylerde II. tip yerleştirmede tamamen göçme durumuna henüz 1000 dalga dönemi bitmeden ulaşılmıştır. Bu nedenle 3000 dalga sonunda hasardaki ani artışı gösterebilecek bir değer bulunabilmesi için hasar %47 olarak dikkate alınmıştır. Meer'in (1988 b) önerdiği yöntemde ise %47'lik bir hasar değeri II. tip yerleşimdeki porozite miktarı ile ilişkili olarak N₀=5'e karşılık gelmektedir. T=1,10s dalga periyodunda ise I tip yerleşim II. tip yerleşime göre daha stabildir. Bunun nedeninin bu periyotta yapılan deneyde gözlenen olayın diğer

deney şartlarından farklı olarak II. tip yerleşim için yapılan deneyde üretilen dalganın kırılarak şeve çarpması olarak düşünülmektedir.

CERC (1984)'de tetrapodlar için verilmiş olan K_D katsayıları da Hudson'un sıfır hasar kabulüne karşılık olarak verilmiştir. Bu kabul ise %0-5 arası hasara karşılık gelmektedir (CERC, 1984). Dolayısıyla K_D katsayılarının her iki yerleştirme yöntemi için de bulunabilmesi amacıyla her grafikten %5 hasara karşı gelen dalga yükseklikleri Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4 den doğrusal interpolasyonla bulunmuştur. Böylece (2.3) Hudson ifadesinde yerine konarak K_D 'ler bulunmuştur. Daha sonra bulunan K_D 'lere karşılık periyotlar işaretlenerek Şekil 4.6'da görülen grafik oluşturulmuştur .



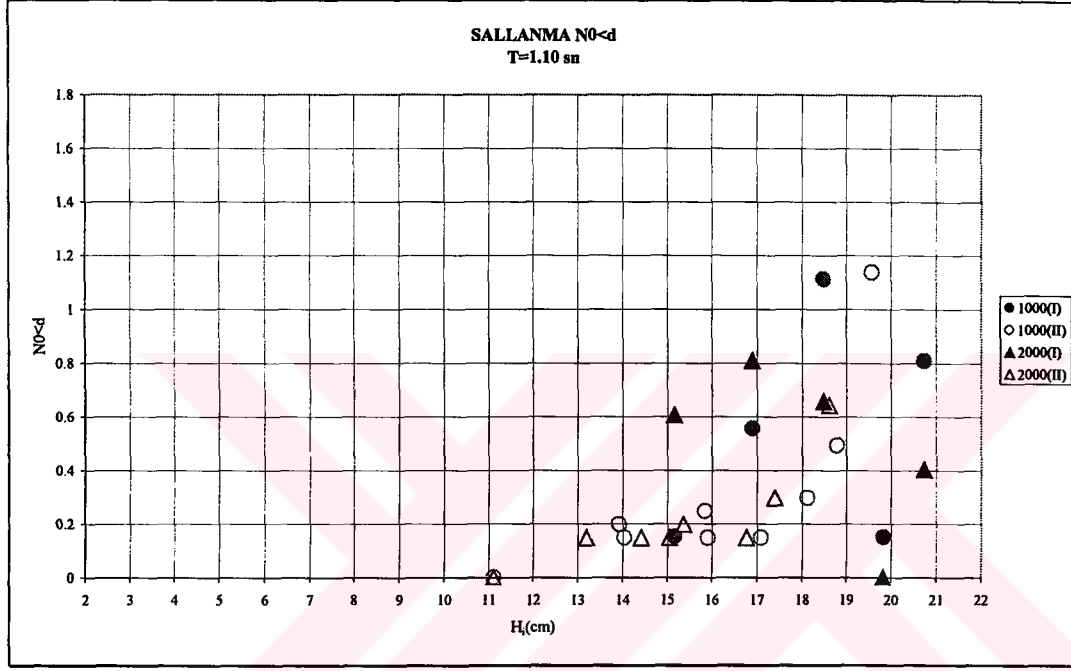
Şekil 4.6 Dalga periyoduna karşılık K_D katsayıları

Şekil 4.6'dan görüleceği gibi gerek 1000 gerekse 3000 dalganın verdiği hasar miktarları açısından hem I. tip hem de II. tip yerleştirmedeki K_D katsayıları, CERC(1984)'in belirttiği K_D katsayılarından daha büyük bulunmuştur. Ayrıca açık olarak görülen bir başka sonuç da II. tipteki yerleştirme için verilebilecek olan K_D katsayısının I. tipe göre oldukça yüksek olduğudur.

Gözlemler sonucu, stabilitedeki artış II. tip yerleştirme yöntemi kullanılarak dizilen üst tetrapod sırasındaki tetrapodların ağırlık merkezlerinin I. tip yerleştirmeye kıyasla daha

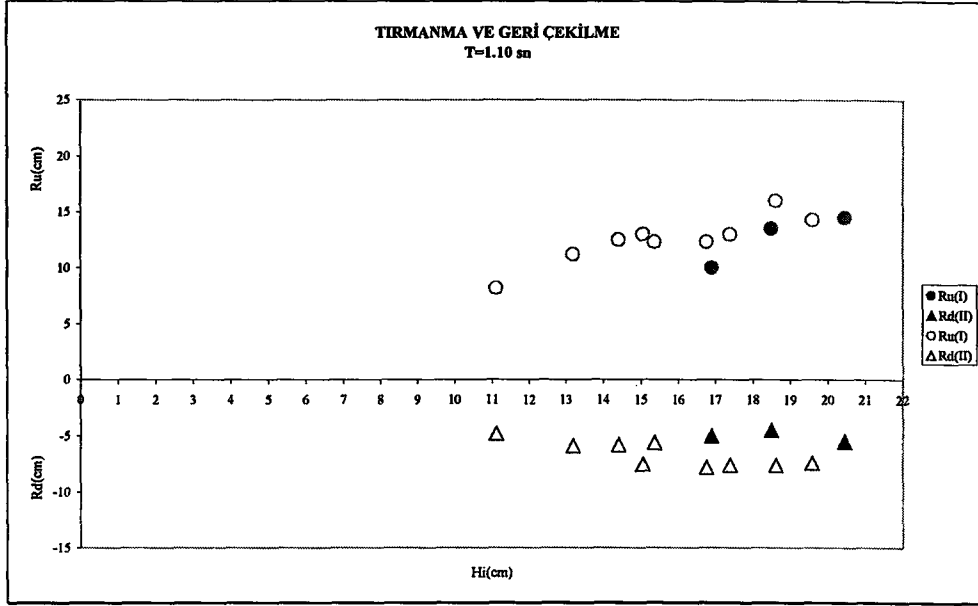
aşağıda bulunmasından ve porozitesinin daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 4.7’de $T=1.10s$ ’li periyot için verilmiş olan örnek ve Ek 8’de $T=1.35s$, $1.50s$, $1.80s$ için hazırlanmış olan tetrapodların yerlerinde sallanma durumlarını gösteren grafikler incelendiğinde her iki tip yerleşim yönteminden birinin diğerine karşı sallanma durumlarından dolayı stabiliteleri açısından üstünlüğünün olduğunu söylemek oldukça zordur.

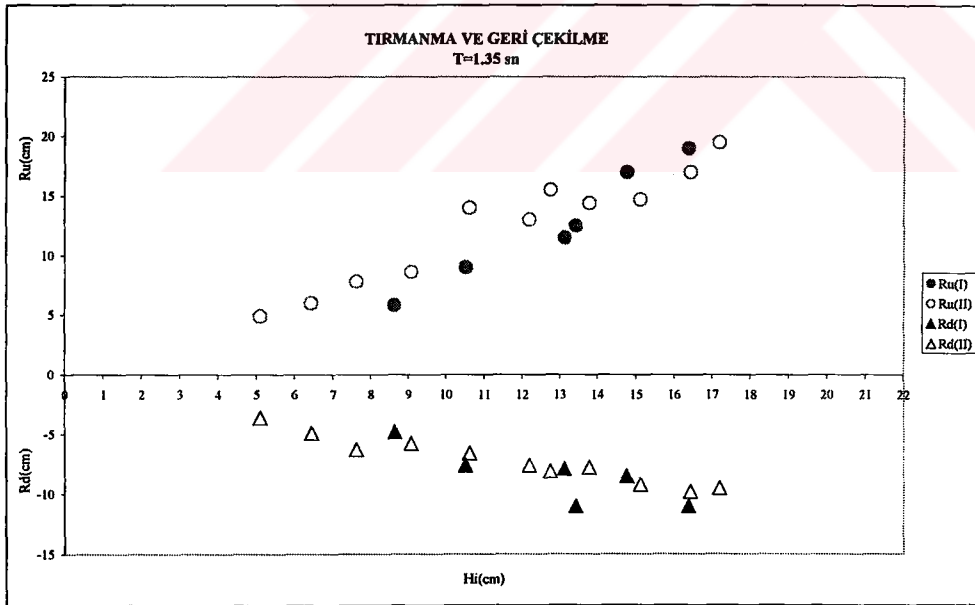


Şekil 4.7 $T=1.10s$ için sallanma durumu

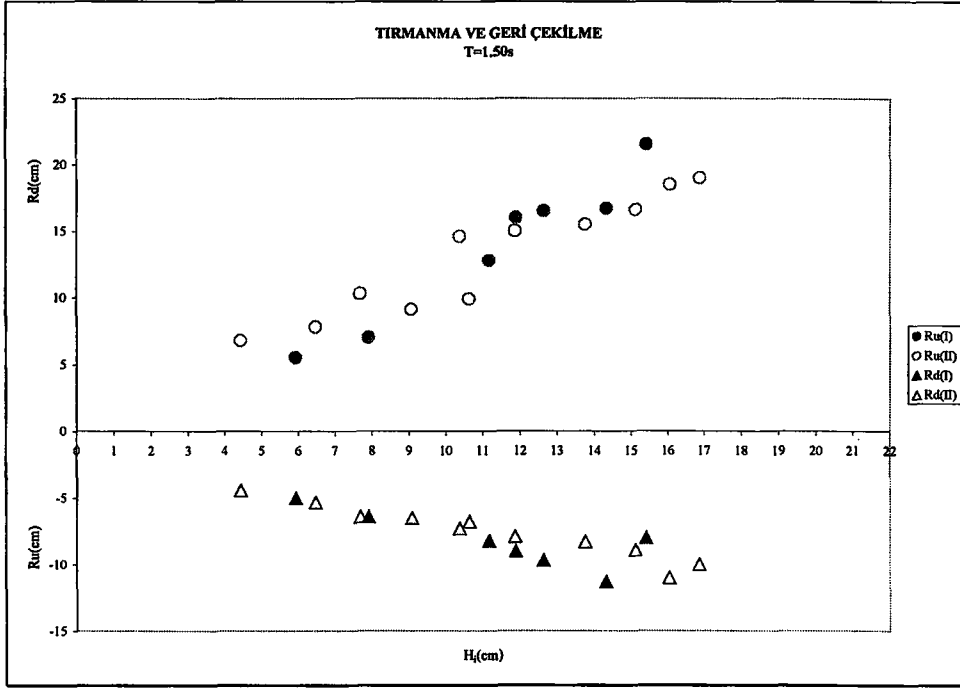
Deneylere başlamadan önce iki farklı yerleşim yönteminin sahip oldukları farklı yüzey pürüzlükleri nedeniyle tırmanma ve geri çekilme durumlarının iki yerleşim için birbirlerinden farklı olacakları düşünülmüştü, ancak deney sonuçları incelendiğinde iki yerleştirme sistemi için de tırmanma ve geri çekilme miktarları arasında çok belirgin bir fark göze çarpmamıştır (Şekil 4.8, 4.9, 4.10, 4.11). Ayrıca dalgakıran kesitinde filtre ile çekirdeğin arakesiti ve tetrapod kaplama tabakası ile filtre tabakasının arakesitinin sakin su seviyesi ile kesiştiği noktadan $2H_D$ mesafe kadar çekirdek içinde gözlenmiş tırmanma ve geri çekilme grafikleri hem boyutlu hem de boyutsuz halde Ek 9,10 ve 11’de verilmiştir. Yine Ek 12’de de tetrapod tabakası üzerindeki tırmanma ve geri çekilme ölçümleri boyutsuz olarak gösterilmiştir.



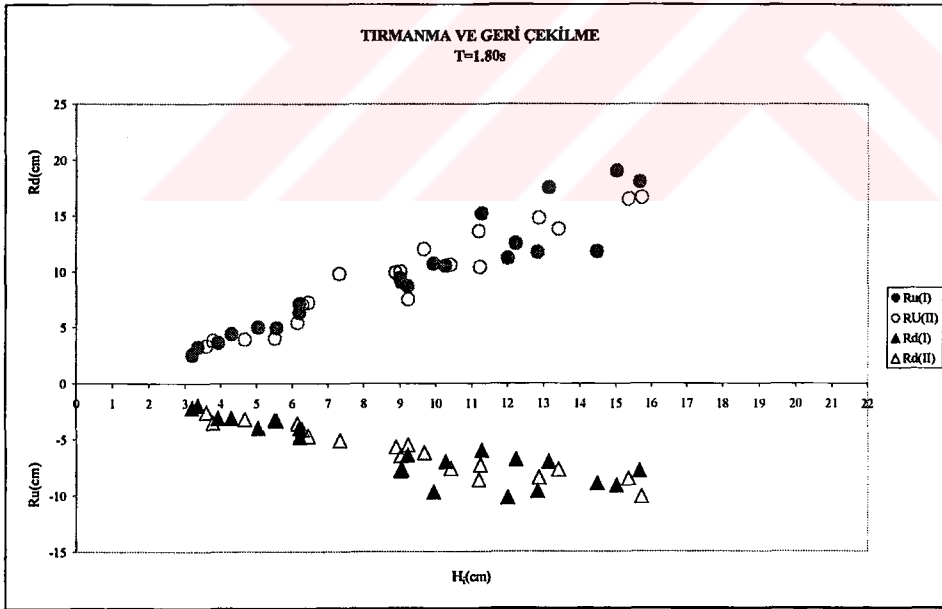
Şekil 4.8 T=1.10s periyodu için tırmanma ve geri çekilme



Şekil 4.9 T=1.35s periyodu için tırmanma ve geri çekilme

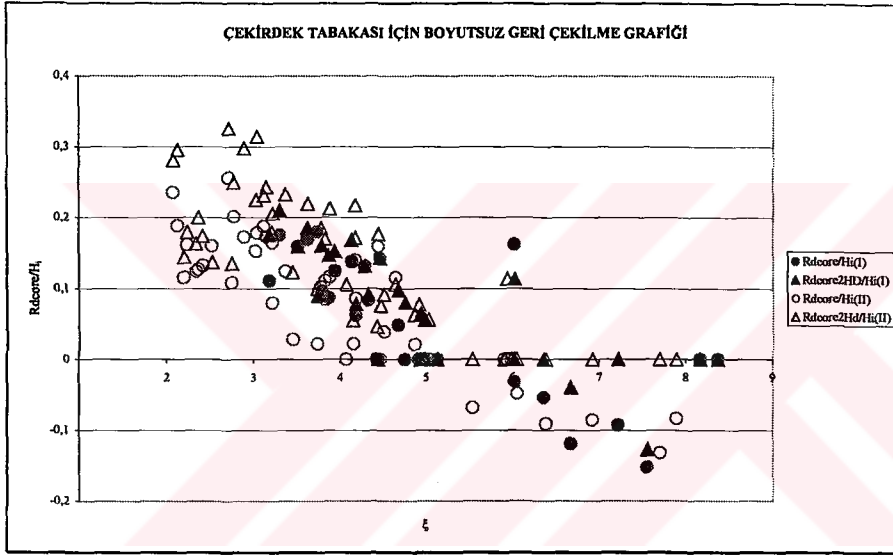


Şekil 4.10 T=1.50s periyodu için tırmanma ve geri çekilme



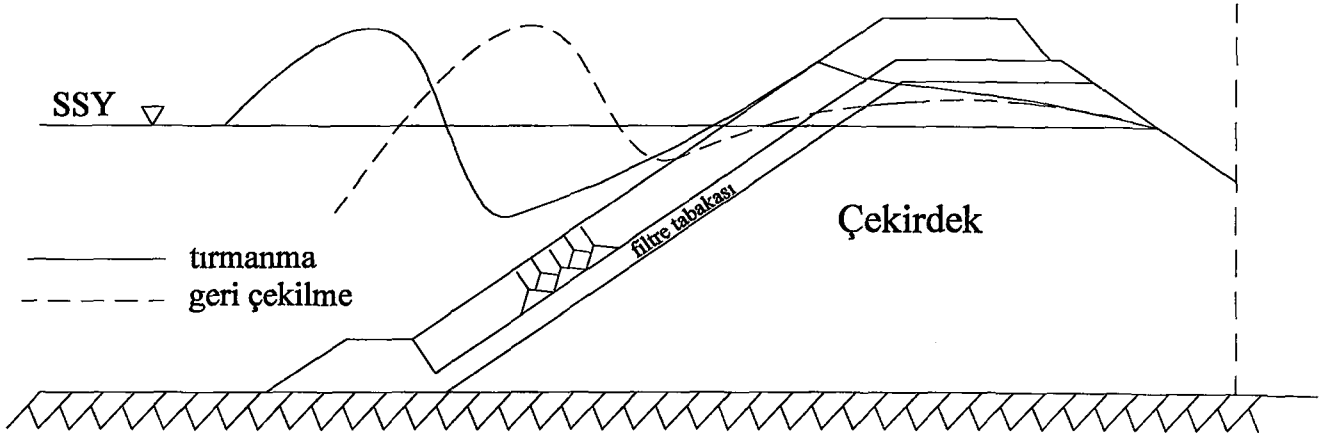
Şekil 4.11 T=1.80s periyodu için tırmanma ve geri çekilme

Şekil 4.12’de çekirdek tabakası içindeki geri çekilme miktarları boyutsuz olarak ifade edilmiştir. Bu grafikten görüleceği gibi ξ ’nin kritik bir değerinden daha küçük değerleri için çekirdek içindeki geri çekilme daima pozitiftir yani sakin su seviyesinin üzerindedir. Çekirdek içindeki tırmanma ve geri çekilme miktarlarını gösteren tırmanma ve geri çekilme değerlerine karşılık dalga yüksekliği ile çizilmiş grafikler Ek 9 ve 10’da boyutsuz grafikler ise Ek 9’da bulunmaktadır. Bu koşulda, kesit üzerindeki koruma tabakasına, dalganın geri çekilme anında uyguladığı kuvvete ek olarak kesit içindeki su seviyesi ile geri çekilmenin en alt seviyesine indiği nokta arasındaki yükseklik farkının oluşturduğu hidrostatik basınç kuvveti etki etmektedir. Ek 12’de ise kaplama tabakası üzerindeki boyutsuz tırmanma ve geri çekilme grafikleri bulunmaktadır.

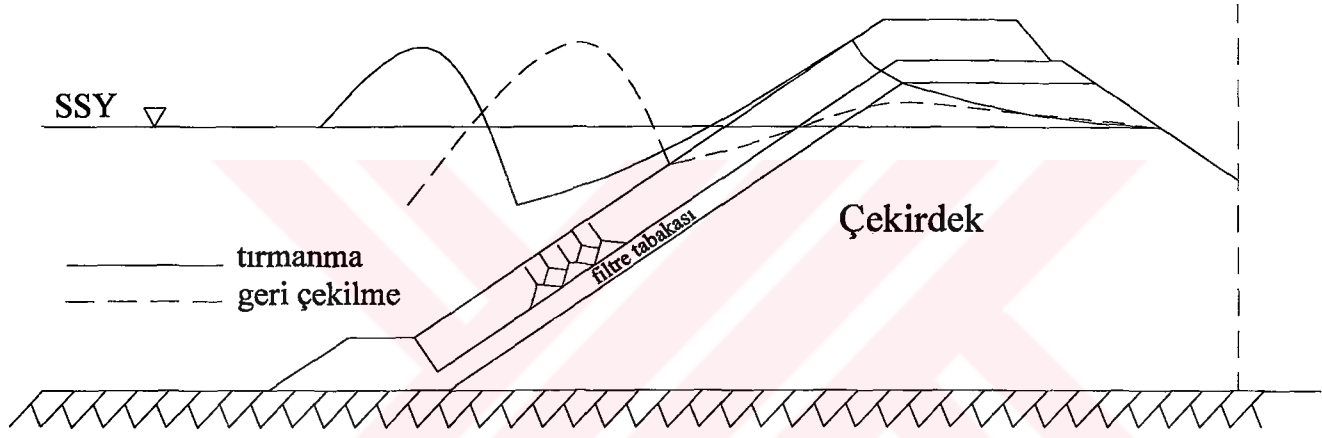


Şekil 4.12 Çekirdek tabakası için boyutsuz geri çekilme grafiği

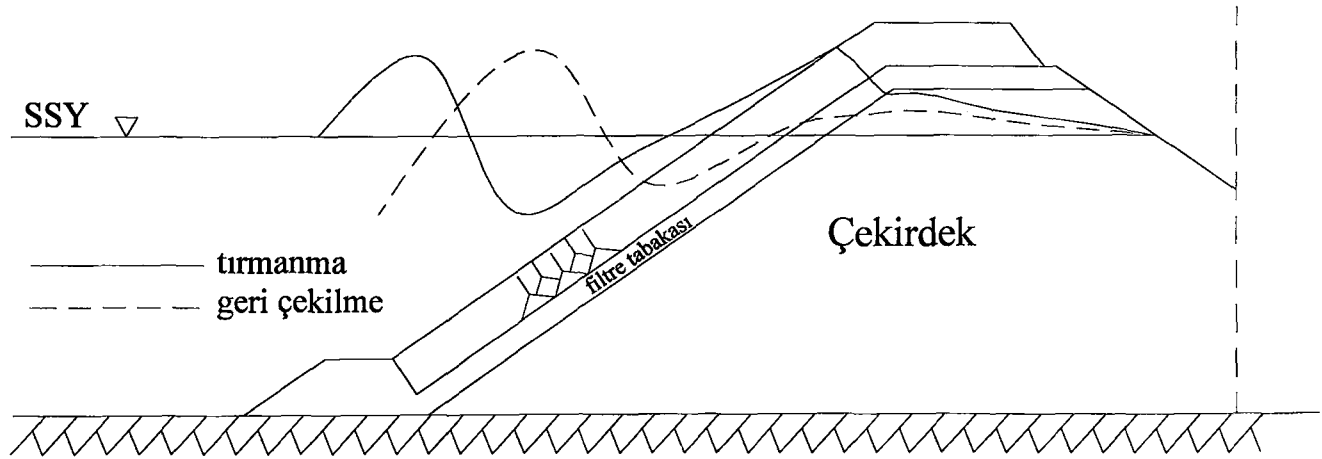
Şekil 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16’da deneyler sırasında daha önce belirtilen noktadaki en büyük dalga yükseklikleri için ölçülmüş olan dalga tırmanma ve geri çekilmeleri üst üste çizilmiştir. Bu şekillerden çekirdek içindeki su tablası yüksekliğinin tırmanma ve geri çekilme ile birlikte olan salınımı daha kolay görülebilmektedir.



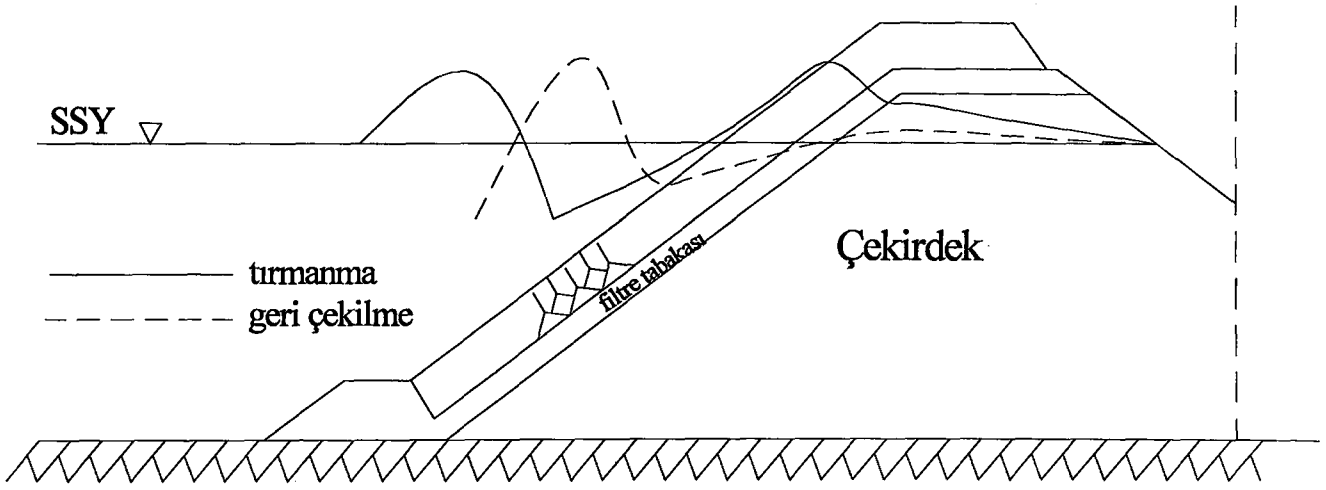
Şekil 4.13 $T=1.10s$ periyodu için tırmanma ve geri çekilme anları arasında su tablası durumu



Şekil 4.14 $T=1.35s$ periyodu için tırmanma ve geri çekilme anları arasında su tablası durumu



Şekil 4.15 $T=1.50s$ periyodu için tırmanma ve geri çekilme anları arasında su tablası durumu



Şekil 4.16 $T=1.80s$ periyodu için tırmanma ve geri çekilme anları arasında su tablası durumu

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Tetrapod dalgakıranlarda tetrapod blokların yerleştirme şekline göre stabilitelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu deneysel çalışmada iki tip yerleştirme tanımlanmıştır.

I. tip: İki sıra tetrapod tabakasından alt tetrapod sırası şeve 3 bacağı ile otururken onların üstüne gelecek olan üst tetrapod sırası tetrapodların 1 bacağı şeve bakacak şekilde yerleştirilir.

II. tip: İki sıra tetrapod tabakasından alt tetrapod sırası şeve 3 bacağı ile otururken onların üstüne gelecek olan üst tetrapod sırası tetrapodların 3 bacağı şeve bakacak şekilde yerleştirilir.

Deneysel 1.10s, 1.35s, 1.50s ve 1.80s olmak üzere 4 farklı periyot için toplam 181 deney şartında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde surf parametresi (Iribarren sayısı) $\xi=2.0$ ve $\xi=8.4$ arasında değişmektedir. Deney koşulları her iki tip yerleşim için aynıdır. Ancak I. tip yerleşimde porozite %54, II. tip yerleşim de ise %61 dir. Bu çalışmada malzeme bozulması nedeniyle ortaya çıkan stabilitesizlik çalışılmamıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. II. tip yerleşimin I. tip yerleşimden daha stabil olduğu belirlenmiştir.
2. Buna rağmen II. tip yerleşim de kullanılan tetrapod adedi I. tip yerleşime göre porozite farkından dolayı daha azdır. Bu sonuç ekonomik yönden önemli kazançlar sağlamaktadır.
3. II. tip yerleşim yöntemi için kullanılacak olan tasarım dalga yüksekliği çok dikkatli seçilmelidir, çünkü hasar kritik bir dalga yüksekliğinden sonra çok hızlı gelişip dalgakıranın tamamen göçmesi ile sonuçlanabilmektedir. Burada kritik dalga hasar eğrisinin döndüğü noktaya karşılık gelen dalga yüksekliği olarak tanımlanmıştır.
4. I. tip yerleşim yönteminde fırtına süresinin etkin olduğu belirlenmişken, II. tip yerleşim için fırtına süresinin etkin bir parametre olduğu görülmemiştir.
5. İki yerleşim yöntemi için de tırmanma ve geri çekilme karakterleri açısından herhangi dikkat çekici bir fark bulunamamıştır.
6. Her iki yerleşim yöntemi için de yerinde sallanma durumları incelendiğinde dalgakıran stabilitesine olan etkileri açısından bir fark görülmemektedir.

7. Her iki yerleşim yöntemi için de %5 hasar için bulunmuş olan K_D katsayılarının nispeten küçük periyotlarda CERC(1984)'de verilmiş olan K_D katsayıları ile karşılaştırıldığında daha büyük olduğu görülmüştür. Şekil 4.6'dan da görüleceği gibi periyodun büyümesi ile K_D katsayısı CERC(1984)'de verilmiş olan değerine yaklaşmaktadır. Ayrıca K_D katsayılarının boyutsuz surf parametresi ile değişimi de incelendiğinde yine benzeri bir eğilim elde edilmiştir (Ek 13).
8. Kalibrasyon ile stabilite deney sonuçları, dalga yükseklikleri açısından oldukça uyumlu çıkmıştır. Bu nedenle stabilite deneyleri sırasında kullanılan çift probdan okunan dalga yüksekliklerinin ortalaması ile elde edilen dalga yüksekliğinin, yansımanın gelen dalgadan ayırt edilebilmesi için kullanılabilecek iyi bir yöntem olduğu da söylenebilir.

5.2 Öneriler

Yapılan bu çalışma sonucunda, tetrapod dalgakıranların stabiliteleri için yapılması gerektiği düşünülen çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Burada tanımlanan iki farklı yerleşim yönteminin stabiliteleri kırılan dalga koşulları için de araştırılmalıdır.
2. İkinci tip yerleşim yöntemi için dalgakıran kafa bölgesi stabilitesi de dalga yaklaşma açısının etkinliğinin belirlenebilmesi için araştırılmalıdır.
3. Farklı şev eğimleri de incelenmelidir.
4. İkinci tip yerleşim yöntemindeki stabilite artışına neden olabilecek porozite ve diğer faktörlerin etkileri daha detaylı incelenmelidir.

KAYNAKLAR

Ahrens, J. P., (1975), "Large wave tank tests of riprap stability", CERC, Technical Memorandum No.51, USA

Ahrens, J., (1977), "Prediction of Irregular Wave Run-up", CETA 77-2, Coastal Eng. Research Center, U.S. Army Eng. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.

Broderick, L. L.,(1984), Riprap Stability Versus Monochromatic and Irregular Waves, M. Thesis, George Washington University, USA

Bruun, P. ve GÜNBAK, A. R., (1976), "New design principles for rubble mounds, proceedings of the 15th International Conference on Coastal Engineering", Honolulu, Hawaii.

CERC (Coastal Engineering Research Center), (1984), Shore Protection Manual, US Army Coastal Engineering Research Center.

Günbak, A. R., (1979), Rubble Mound Breakwaters, Report No.1, Division of Port Ocean Engineering, The University of Trondheim, Trondheim, Norway.

Hedar, P. A., (1960), Stability of Rock-Fill Breakwaters Doctoral Thesis, University of Goteborg, Sweden.

Hedar, P. A., (1986), "Armor Layer Stability of Rubble Mound Breakwaters", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., Vol. 112, No. 3.

Hudson, R. Y., (1959), Laboratory Investigations of Rubble Mound Breakwaters WES, Research Report No. 2-2, USA

Kapdaşlı, S., (1992), Kıyı Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, Türkiye.

Losada, M. A. ve Gimenez-Curto, L. A., (1979), "The Joint Effect of Wave Height and Period in The Stability of Rubble Mound Breakwaters Using Iribaren's Number.", Coastal Eng., Vol.3, 77-96

Losada, M. A. ve Gimenez-Curto, L. A., (1980), "Flow Characteristics on Rough, Permeable Slopes.", Coastal Eng., Vol.4

Losada, M. A, Desiré J. M. ve Alejo L. M., (1986), "Stability of Blocks As Breakwater Armor Units", Journal of Structural Eng., Vol. 112, No. 11.

Losada, M. A., ve Gimenez-Curto, L. A.(1979), "The joint effect of wave height and period in the stability of rubble mound breakwaters using Iribaren's number." Coastal Eng. Vol.3, 77-96

Phelp, D., Holtzhausen, A., Hough, G. ve Bartels A., (1999), Copedec99.

Sandström, A., (1974), "Wave forces on blocks of rubble mound breakwaters", Bulletin No. 83, Hydraulics Lab., Royal Inst. Of Tech., Stockholm, Sweden.

Sawaragi, T., Iwata K., ve Kobayashi, N., (1982), "Condition and Probability of Occurrence of Resonance on Steep Slopes of Coastal Structures.", Coastal Engrg. In Japan, Vol. 25

Sawaragi, T., Ryu, C., ve Iwata, K., (1983), "Considerations of the destruction Mechanism of Rubble Mound Breawakwaters due to the Resonance Phenomenon.", 8th Intl. Harbor Congress, Antwerp, Belgium, 3197-3208.

Sigurdson, G., "Wave Forces on Breakwaters Capstones", Proceedings of the Am. Soc. Of Civ. Eng.: Journal of the Waterways and Harbours Division, Vol.88, WW3.

Sotramer, "Tetrapods", Grenoble, Oct. 12, 1973

Thompson, D. M. ve Shuttler, R. M., (1975), "Riprap Design for Wind Wave Attack. A Laboratory Study in Random Waves.", HRS, Wallingford, Report EX 707, UK

Van der Meer, J. W., (1988 a), Rock Slopes and Gravel Beaches under Wave Attack, Doctorate Thesis, Delft Technichal University, Netherlands.

Van der Meer, J. W., (1988 b), "Stability of Cubes, Tetrapods and Accropode", ICE, Design of Breakwaters, Proc. Cnf. Breakwaters'88, Thomas Telford, London, Ch. 6: 59-68.

Van der Meer, J. W., ve Heydra, G. , (1991) "Rocking Armour Units: Number, Location and Impact Velocity.", Coastal Eng. Vol. 15, pp 21,39

Yuksel Y., Çevik E. ve Çelikoğlu Y., (1998), Kıyı ve Liman Mühendisliği, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, Türkiye

EK 1

K_D KATSAYILARI (CERC,1984)

0 Hasar Kriteri ve Çok Az Üstten Aşma							
Kaplama Elemanları	n	Yerleştirme Şekli	Yapı Gövdesi		Yapı Kafası		
			K _D		K _D		Eğim
			Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga	Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga	Cot θ
<u>Ocak Taşı</u>							
Düz Yuvarlak	2	Rastgele	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5~3.0
Düz Yuvarlak	>3	Rastgele	1.6	3.2	1.4	2.3	
Pürüzlü Köşeli	1	Rastgele		2.9		2.3	
Pürüzlü Köşeli	2	Rastgele	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
					1.6	2.8	2.0
					1.3	2.3	3.0
Pürüzlü Köşeli	3	Rastgele	2.2	4.5	2.1	4.2	
Pürüzlü Köşeli	2	Özel	5.8	7.0	5.3	6.4	
Parallelepiped	2	Özel	7.0~20.0	8.5~24.0	-	-	
Tetrapod ve Quadripod	2	Rastgele	7	8	5.0	6.0	1.5
					4.5	5.5	2.0
					3.5	4.0	3.0
Tribar	2	Rastgele	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Dolos	2	Rastgele	15.8	31.8	8.0	16.0	2.0
					7.0	14.0	3.0

EK 2

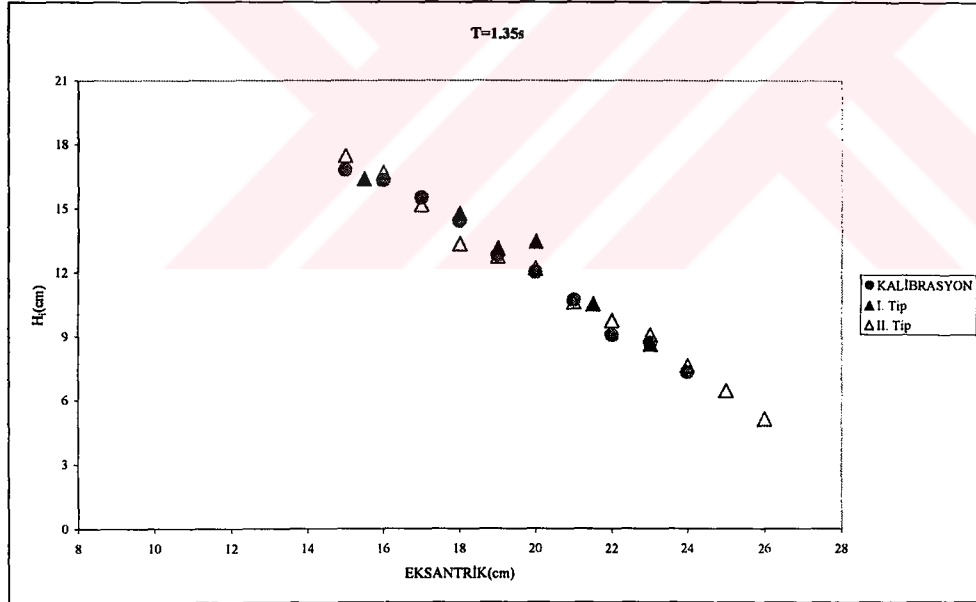
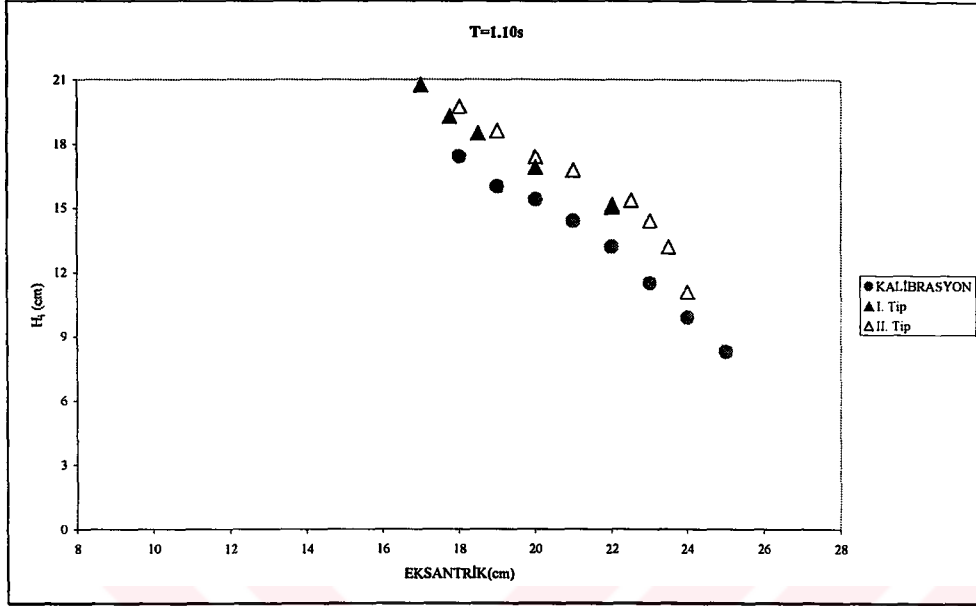
1000 DALGA DÖNEMİ İÇİN DALGA KOŞULLARI

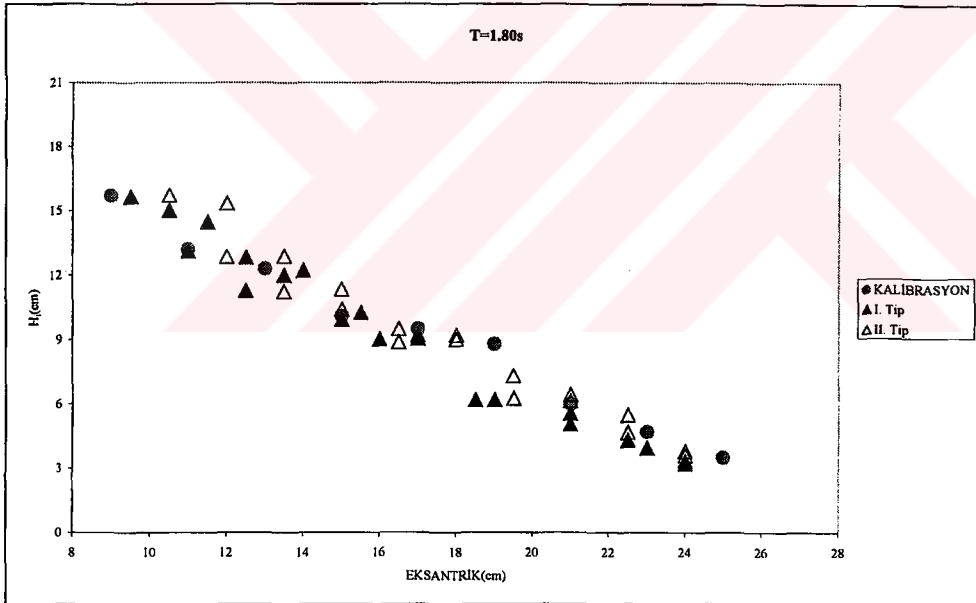
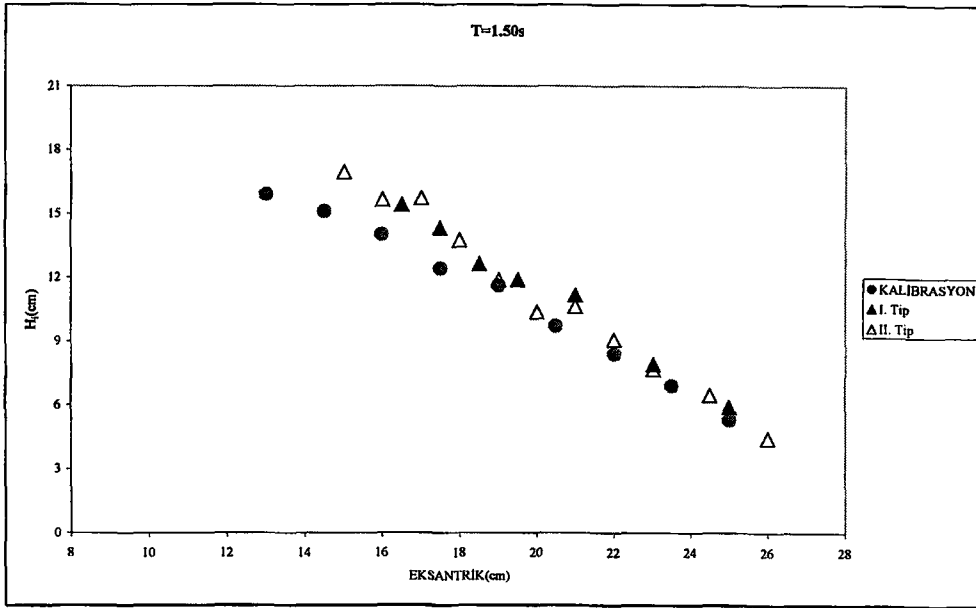
Durum	T(s)	H _i	L	H ₀	L ₀	H ₀ /L ₀	ξ	
I. Tip	1.10	15.16	1.83	15.88	1.89	0.08	2.4	
		16.90		17.71		0.09	2.2	
		18.49		19.37		0.10	2.1	
		19.83		20.77		0.11	2.1	
		20.74		21.73		0.12	2.0	
	1.35	8.63	2.56	9.38	2.84	0.03	3.8	
		10.52		11.42		0.04	3.5	
		10.29		11.18		0.04	3.5	
		13.02		14.14		0.05	3.1	
		14.60		15.85		0.06	2.9	
	1.50	15.95	2.99	17.32	3.51	0.06	2.8	
		5.92		6.48		0.02	5.1	
		7.90		8.65		0.02	4.4	
		11.34		12.42		0.04	3.7	
		12.26		13.42		0.04	3.6	
		12.86		14.08		0.04	3.5	
	1.80	14.43	3.82	15.80	5.05	0.05	3.3	
		14.83		16.23		0.05	3.2	
		3.21		3.48		0.01	8.4	
		3.93		4.27		0.01	7.6	
		5.05		5.48		0.01	6.7	
		6.20		6.73		0.01	6.0	
		8.55		9.28		0.02	5.1	
		9.02		9.79		0.02	5.0	
		9.94		10.80		0.02	4.8	
		12.09		13.13		0.03	4.3	
		11.90		12.92		0.03	4.3	
		15.26		16.57		0.03	3.8	
		13.85		15.04		0.03	4.0	
		3.37		3.66		0.01	8.2	
		4.31		4.68		0.01	7.2	
		5.56		6.03		0.01	6.4	
		6.20		6.73		0.01	6.0	
		9.38		10.18		0.02	4.9	
		11.16		12.12		0.02	4.5	
		12.78		13.87		0.03	4.2	
	11.60	12.60	0.02	4.4				
	13.64	14.81	0.03	4.1				
	15.92	17.28	0.03	3.8				
	II. Tip	1.10	11.11	1.83	11.64	1.89	0.06	2.7
			13.92		14.59		0.08	2.5
			14.03		14.70		0.08	2.4
15.85			16.61		0.09		2.3	
15.91			16.66		0.09		2.3	
17.08			17.90		0.09		2.2	

II. Tip	1.10	18.12	1.83	18.98	1.89	0.10	2.2
		18.81		19.70		0.10	2.1
		19.58		20.51		0.11	2.1
II. Tip	1.35	5.11	2.56	5.55	2.84	0.02	5.0
		6.44		6.99		0.02	4.4
		7.62		8.27		0.03	4.1
		9.08		9.86		0.03	3.7
		9.78		10.62		0.04	3.6
		10.09		10.95		0.04	3.5
		12.11		13.15		0.05	3.2
		13.66		14.84		0.05	3.0
		13.79		14.98		0.05	3.0
		15.11		16.42		0.06	2.9
		16.43		17.85		0.06	2.8
		17.19		18.68		0.07	2.7
	1.50	2.99	4.43	4.85	0.01	5.9	
			6.46	7.07	0.02	4.9	
			8.33	9.12	0.03	4.3	
			8.77	9.60	0.03	4.2	
			11.20	12.26	0.03	3.7	
			11.31	12.38	0.04	3.7	
			11.58	12.67	0.04	3.7	
			13.20	14.45	0.04	3.4	
			15.11	16.54	0.05	3.2	
			16.04	17.56	0.05	3.1	
	16.87	18.46	0.05	3.0			
	1.80	3.82	3.60	3.91	0.01	7.9	
			4.69	5.09	0.01	6.9	
			6.15	6.67	0.01	6.0	
			7.33	7.96	0.02	5.5	
			9.02	9.79	0.02	5.0	
			9.68	10.51	0.02	4.8	
			11.20	12.16	0.02	4.5	
13.41			14.56	0.03	4.1		
15.35			16.67	0.03	3.8		
3.79			4.11	0.01	7.7		
5.51			5.98	0.01	6.4		
6.44			6.99	0.01	5.9		
6.27			6.81	0.01	6.0		
9.22			10.01	0.02	4.9		
8.85			9.61	0.02	5.0		
11.13			12.08	0.02	4.5		
10.17			11.04	0.02	4.7		
12.95			14.06	0.03	4.2		
15.73	17.08	0.03	3.8				

EK 3

KALİBRASYON DENEYLERİNİN STABİLİTE DENEYLERİYLE KIYASLANMASI





EK 4**MODEL OLARAK KULLANILAN TETRAPODLARA AİT ÖZELLİKLER VE
TASARIM DALGASININ HESAPLANMASI**

Tetrapod yüksekliği	: h= 7cm
Nominal çap	: Dn=0,65h=4,55 cm
Suya doymun yüzeyi kuru ağırlığı	: W=188,9 gr
Özgül ağırlığı	: $\gamma_t=2,22 \text{ gr/cm}^3$

Hudson Formülü:

$$W = \frac{\gamma_s H_d^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cot \alpha}$$

$K_D=8$ alınarak (CERC, 1984);

$$188,9 = \frac{2,22 \times H_d^3}{8 \times \left(\frac{2,22}{1} - 1 \right)^3 \times 1,5}$$

$$H_d = 12,285 \text{ cm}$$

EK 5**HASARIN HESAPLANMASI**

Dalgakıran kesitinde ortaya çıkan hasar hem klasik olarak çok fazla tercih edilen hasarın tetrapod adedine yüzdesi hem de Van der Meer'in önerdiği yöntemle hesaplanıp grafikleri çizilmiştir.

$1,4H_D$ ve $0,88H_D$ derinlikleri arasındaki tetrapod adedi I tip yerleştirme için 248 adettir. Örnek olarak yapılan herhangi bir deney sonunda bu bölgedeki toplam yerlerinden ayrılmış olan tetrapodların adedi 12 olursa bu koşul için hasar her iki yöntemle de şöyle belirlenir:

Yüzde Hasar (%S):

$$\%S = \frac{12}{248} \times 100 = 4,84$$

Van der Meer'in önerdiği yöntem:

$D_n=4,55$ cm için

$$D_n \text{ içine sığacak tetrapod adedi} = \frac{4,55 \times 248}{90} = 12,538$$

$$N_0 = \frac{12,538 \times 12}{248} = 0,61$$

EK 6

POROZİTENİN HESAPLANMASI

I. tip yerleşim için $0,88H_D$ üstü ve $1,44H_D$ altı arasındaki bölgede alt sırada $16 \times 8 = 128$ adet üst sırada ise $14 \times 8 = 112$ adet tetrapod bulunmaktadır. Fakat porozitenin daha kolay hesaplanabilmesi için üst sıradaki $1 \times 15 = 15$ adet tetrapod hesaba katılmamıştır. Bu tetrapodların hesaba katılmamasındaki tek sebep porozite için bilinmesi gereken alanın dolayısıyla hacmin daha kolay hesaplanabilmesi içindir. Bu alan ise sınırlarda bulunan tetrapodların eksenleri arasındaki mesafelerin çarpımından bulunur ve hacme tabaka yüksekliğinin bulunan alan ile çarpılması ile ulaşılır. Bu hacim içinde kenarda bulunan alt sıradaki tetrapodların yarı hacimlerinin porozite hesabına girmesi gerektiği unutulmamalıdır.

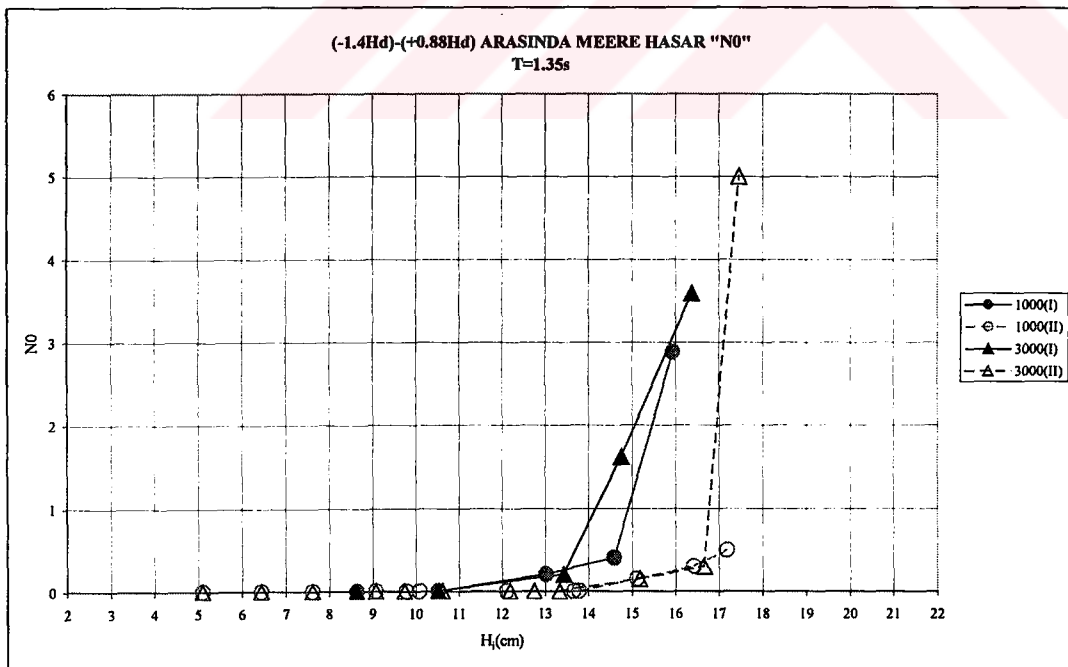
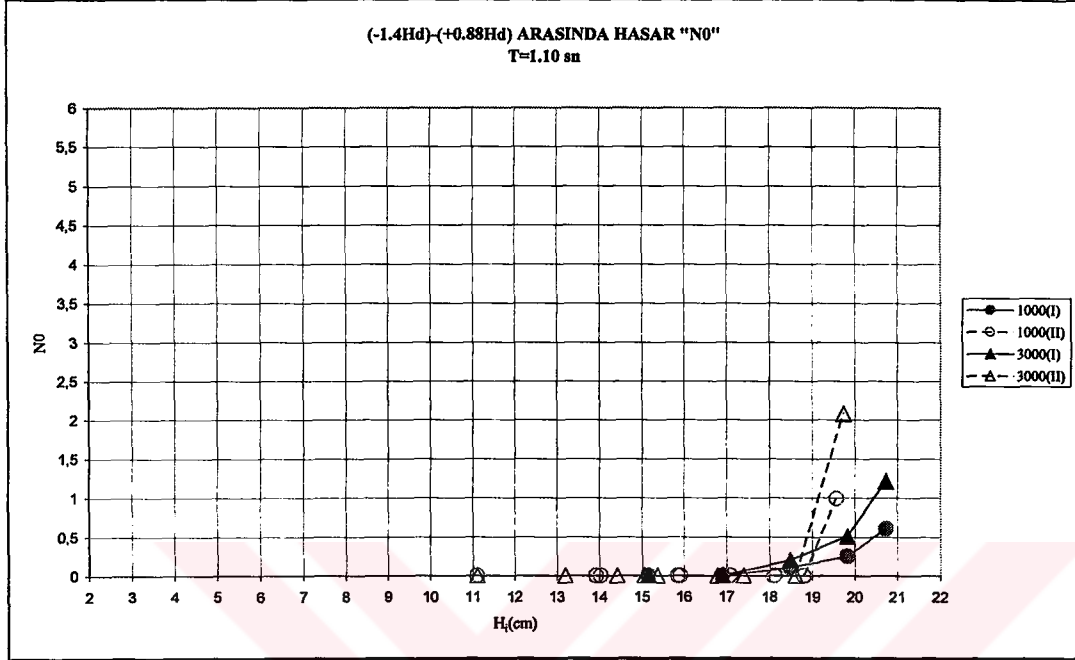
Tetrapodların oturdukları alan:	$47 \times 90 = 4230 \text{ cm}^2$
Tetrapod alanının boş hacmi:	$4230 \times 9,33 = 39465,9 \text{ cm}^3$
Bir tetrapodun hacmi:	$85,9 \text{ cm}^3$
Hacim içindeki tetrapod adedi:	Üst $7 \times 15 = 105$ Alt $6 \times 14 + 8 + 14 = 106$ Toplam $112 + 106 = 211$
Hacim içindeki toplam tetrapod hacmi:	$211 \times 85,9 = 18124,9 \text{ cm}^3$
Porozite:	$1 - \frac{18124,9}{39465,9} = 0,54$

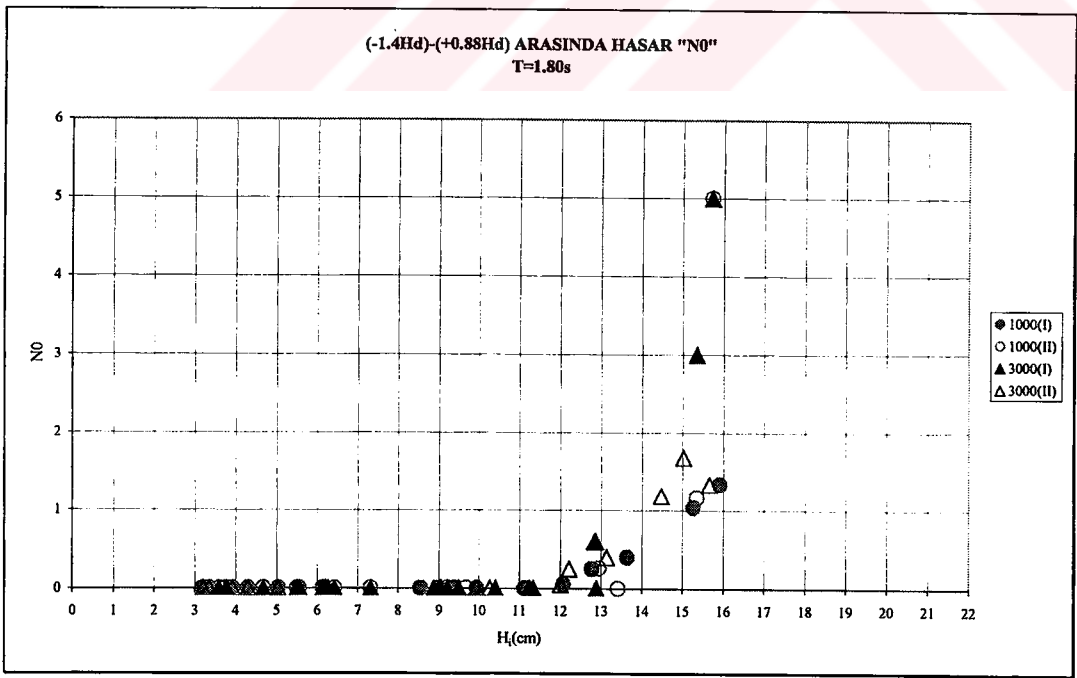
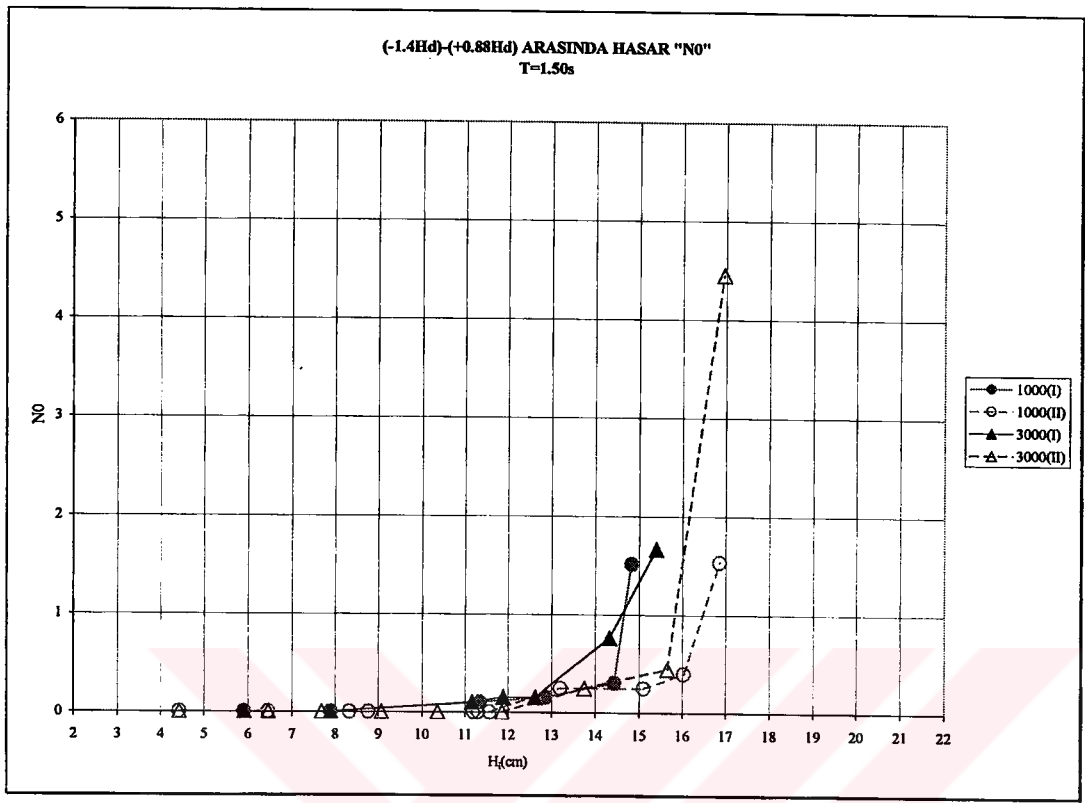
II. tip yerleşimde ise alt sırada $14 \times 8 = 112$ üst sırada ise $13 \times 8 = 104$ adet olmak üzere toplam 216 adet tetrapod kullanılmıştır. Yine yukarıdaki sebepler yüzünden en üst sıradaki 13 adet tetrapod hesaba katılmamıştır.

Tetrapodların oturdukları alan:	$47 \times 92 = 4324 \text{ cm}^2$
Tetrapod alanının boş hacmi:	$4324 \times 9,33 = 40342,92 \text{ cm}^3$
Bir tetrapodun hacmi:	$85,9 \text{ cm}^3$
Hacim içindeki tetrapod adedi:	Üst $7 \times 13 = 91$ Alt $6 \times 12 + 8 + 13 = 92$ Toplam $91 + 92 = 183$
Hacim içindeki toplam tetrapod hacmi:	$183 \times 85,9 = 15719,7 \text{ cm}^3$
Porozite:	$1 - \frac{15719,7}{40342,92} = 0,61$

EK 7

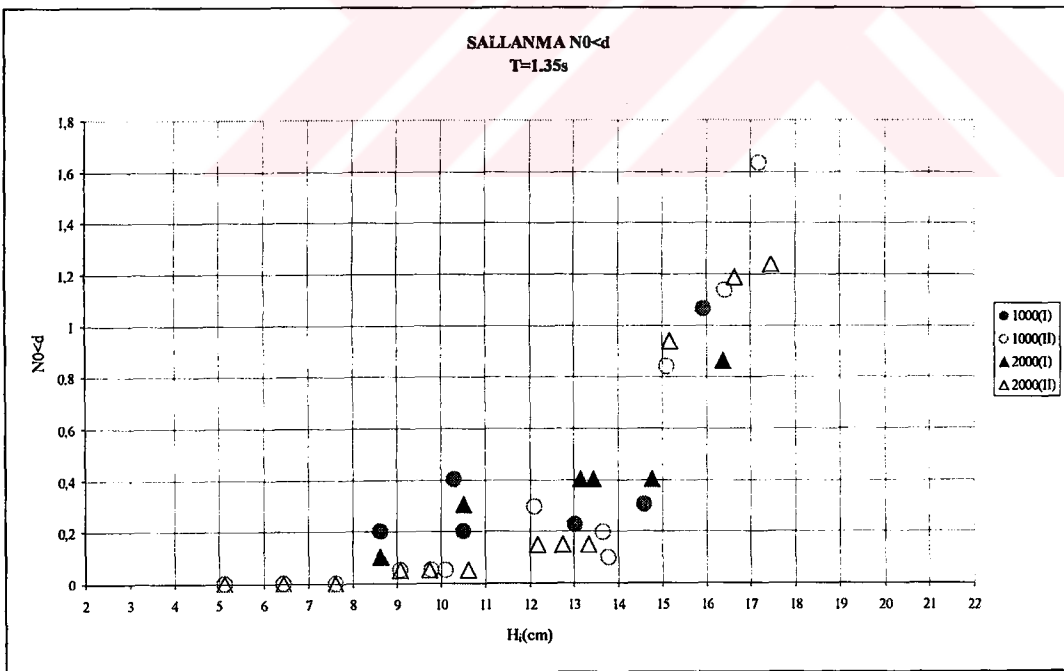
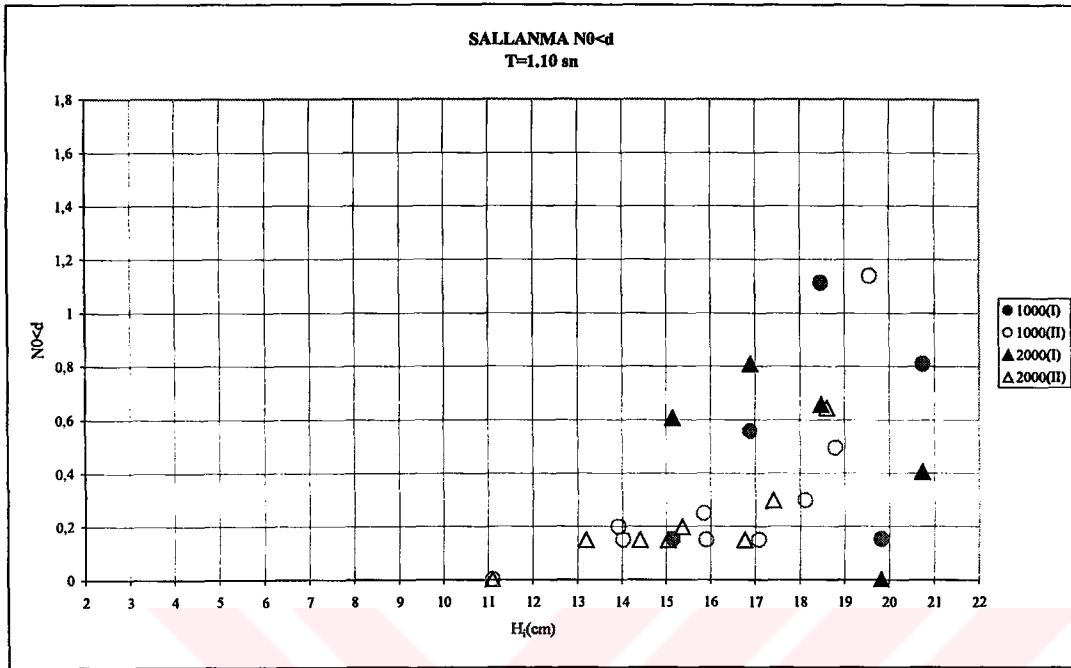
VAN DER MEER'İN ÖNERDİĞİ YÖNTEMLE OLUŞTURULMUŞ HASAR GRAFİKLERİ

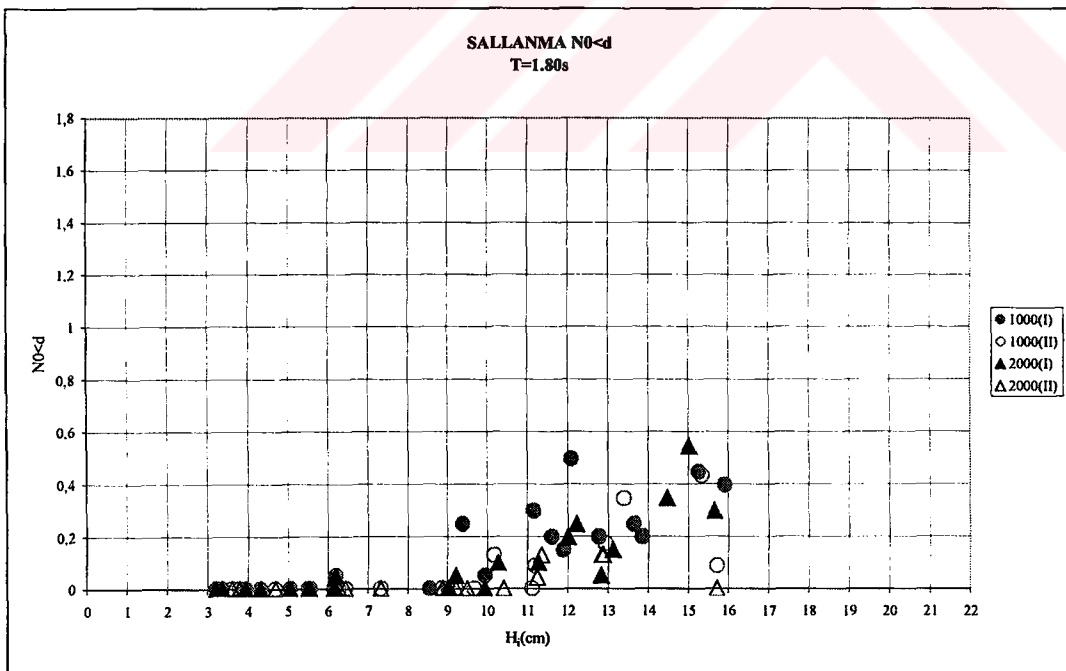
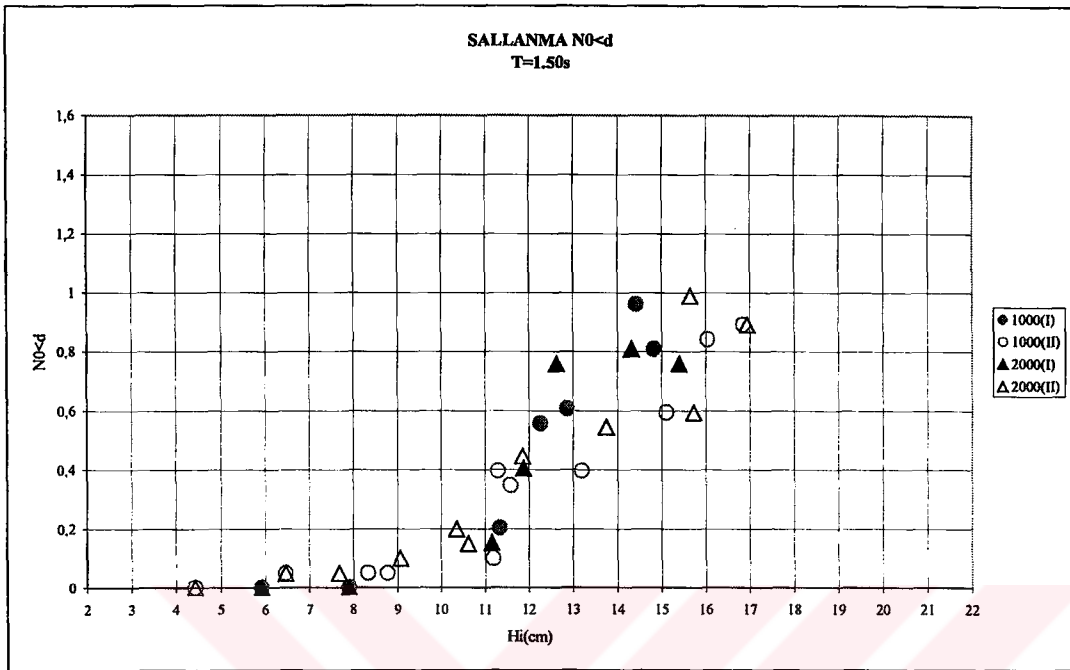




EK 8

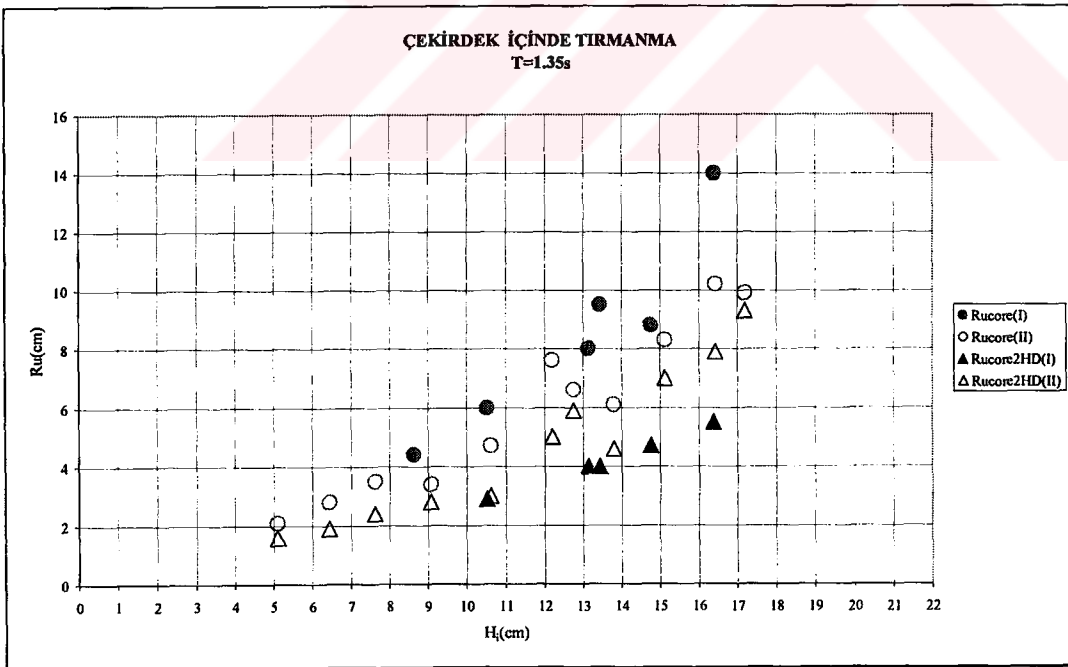
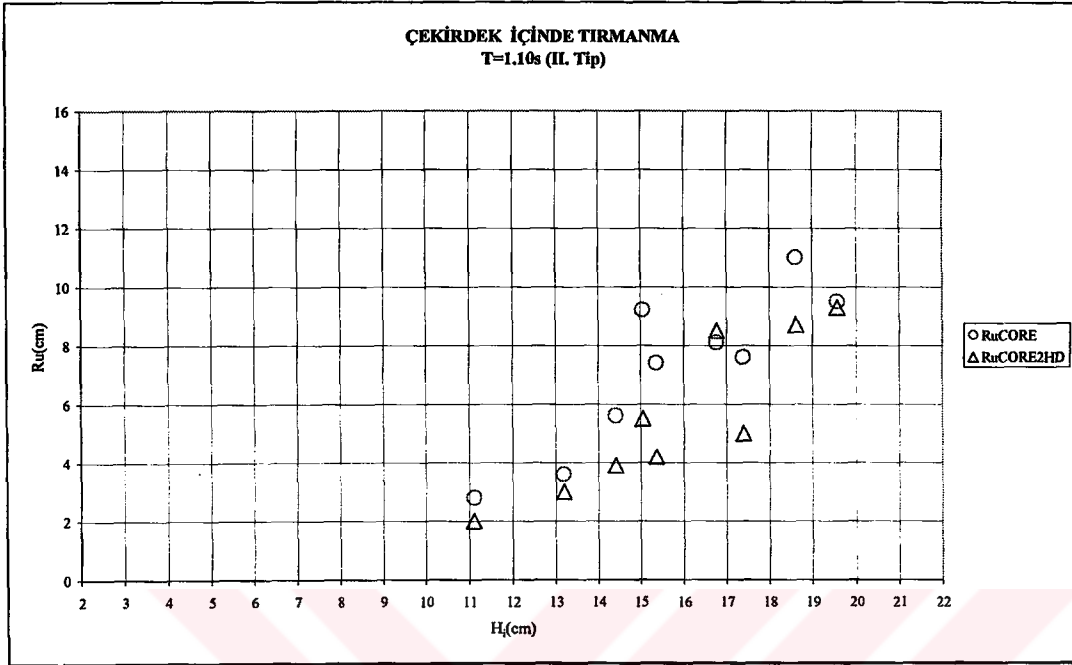
SALLANMA GRAFİKLERİ

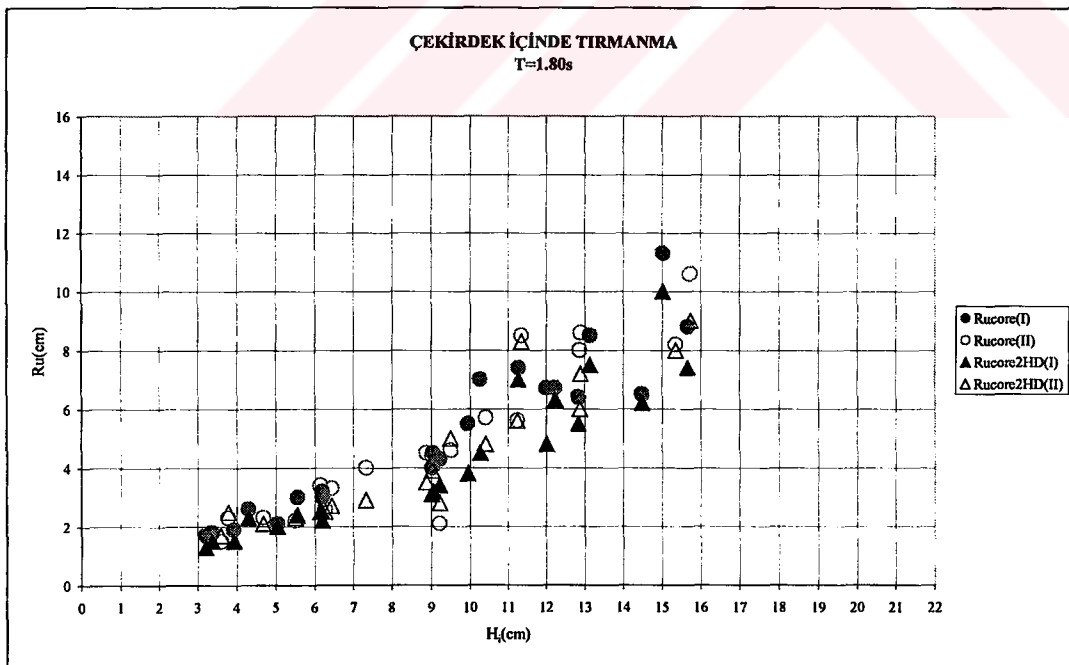
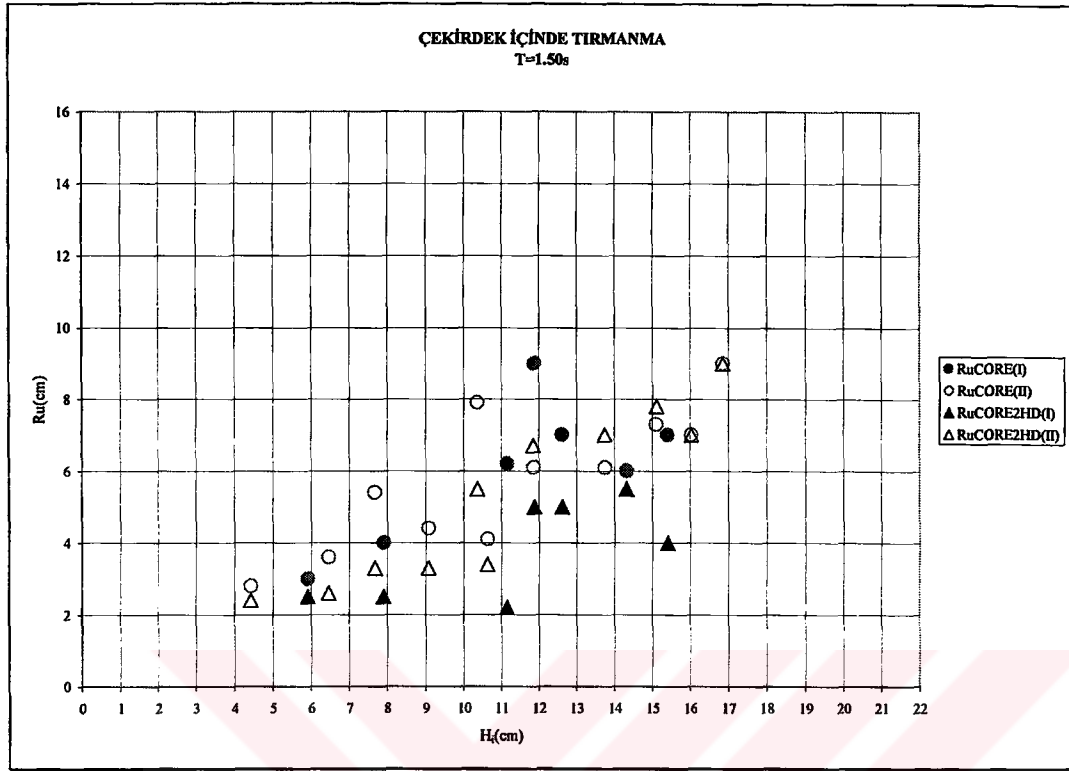




EK 9

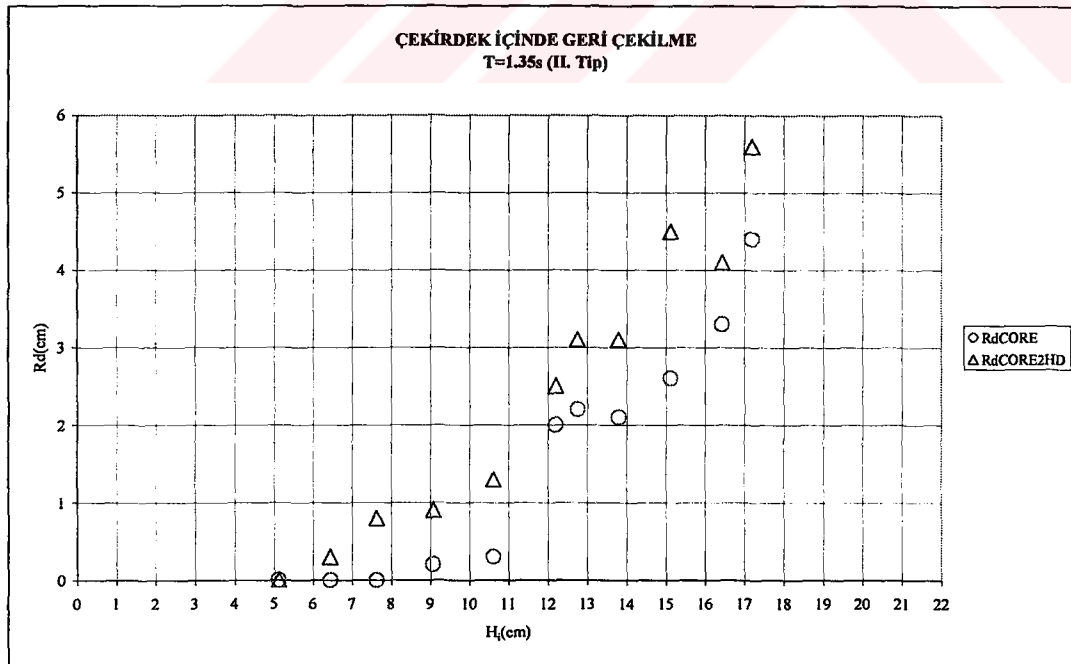
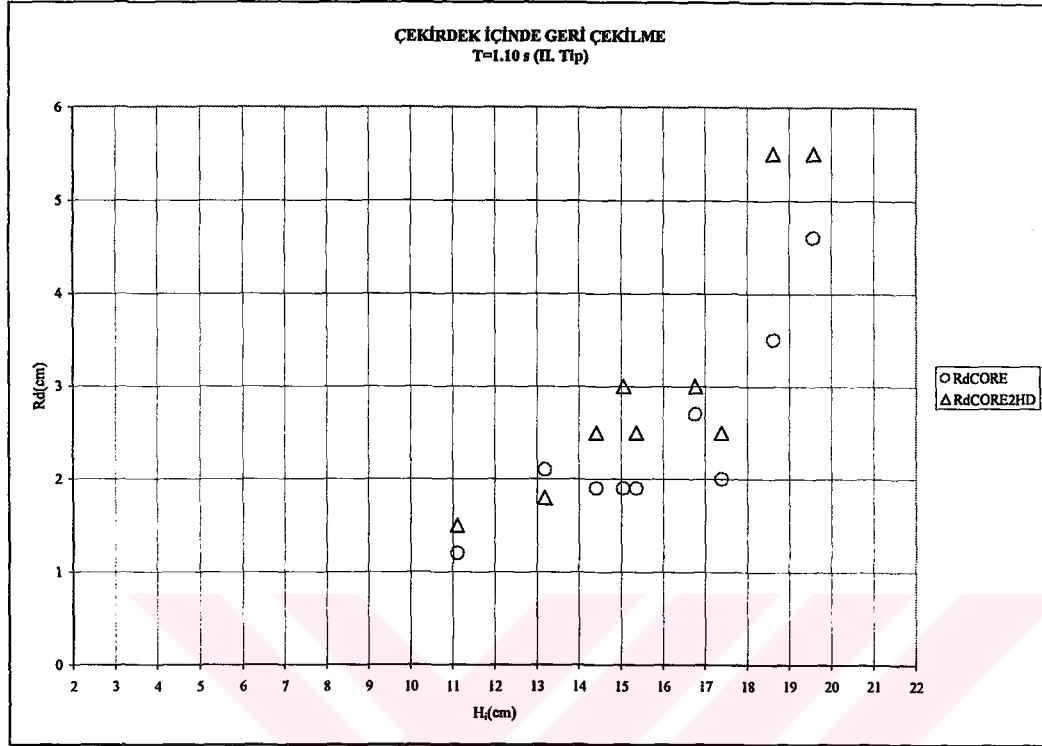
ÇEKİRDEK İÇİNDEKİ TIRMANMA

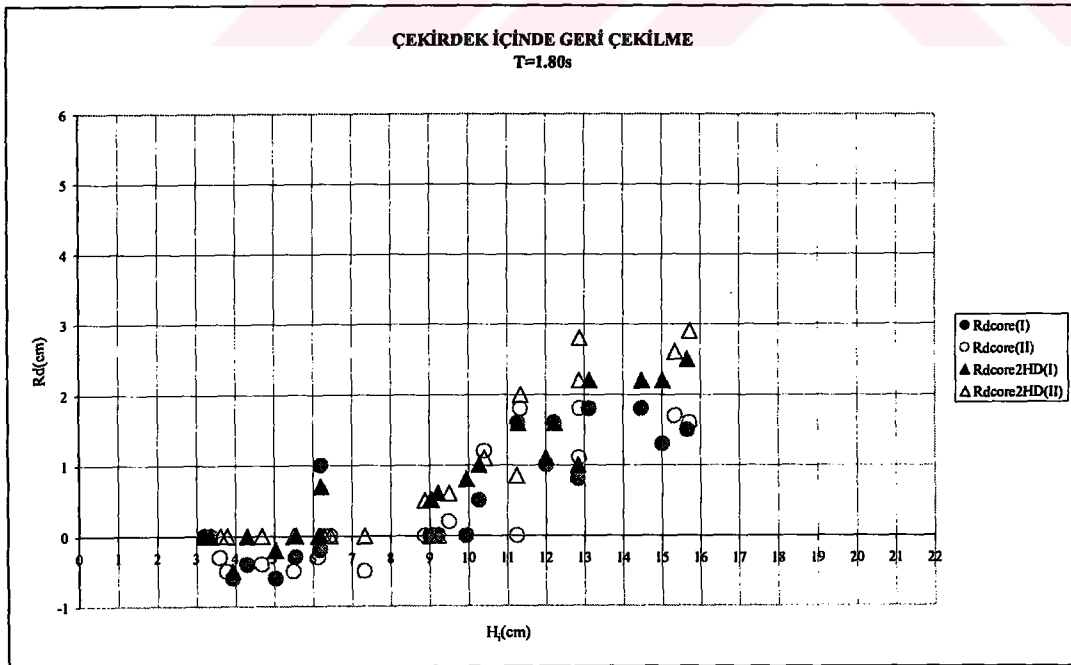
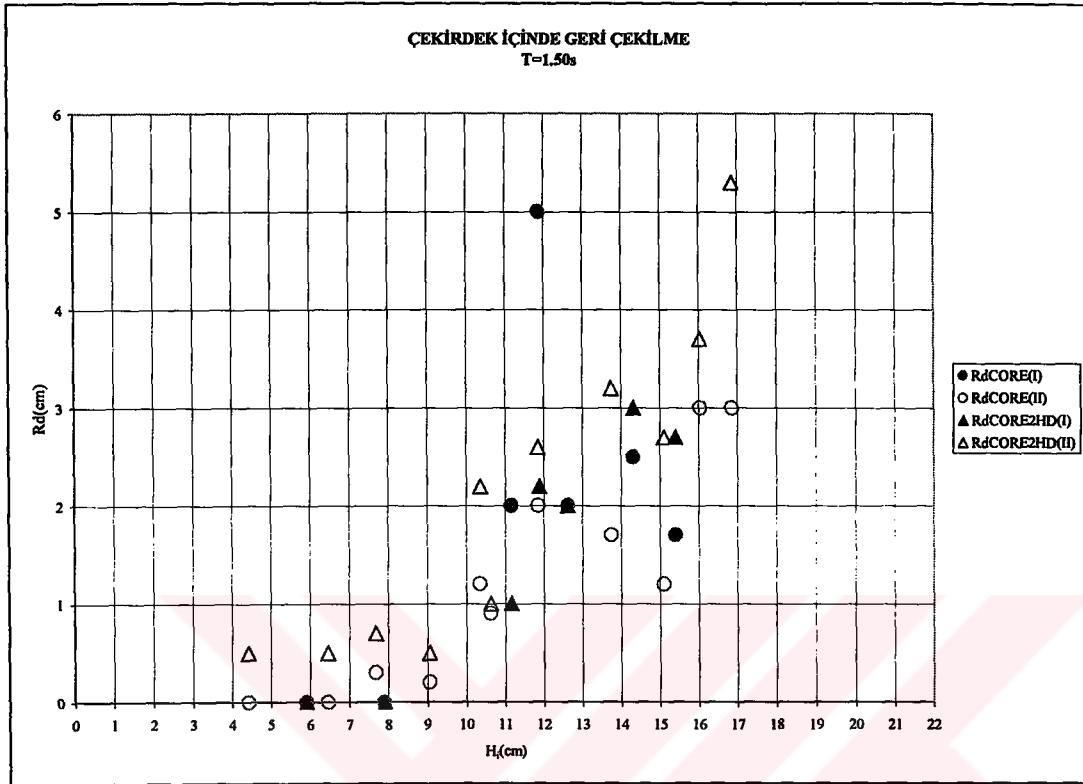




EK 10

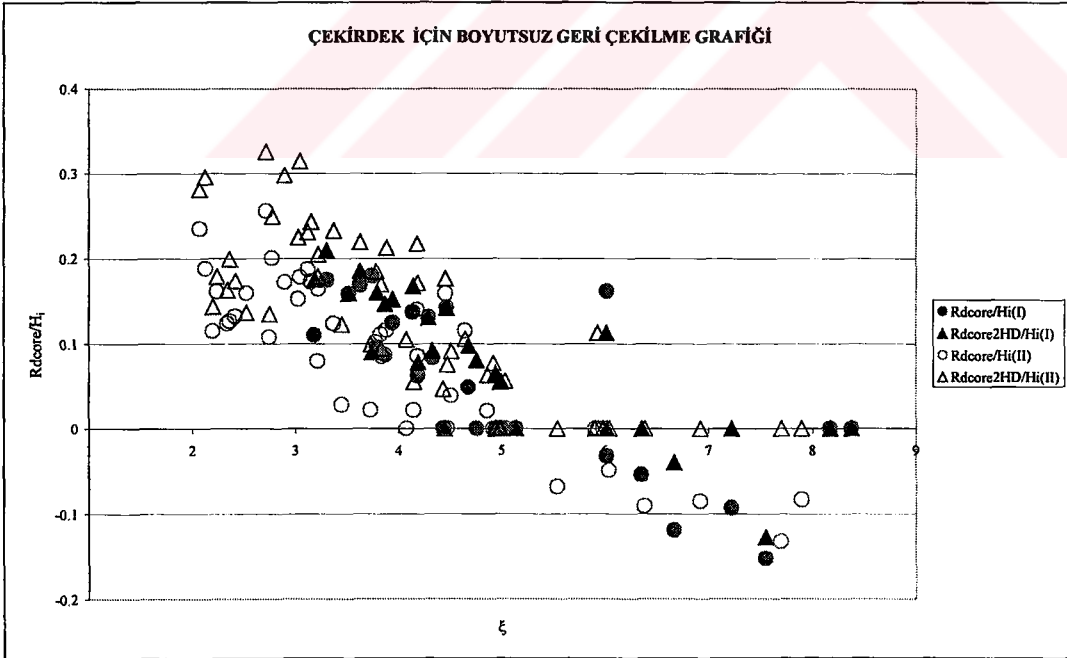
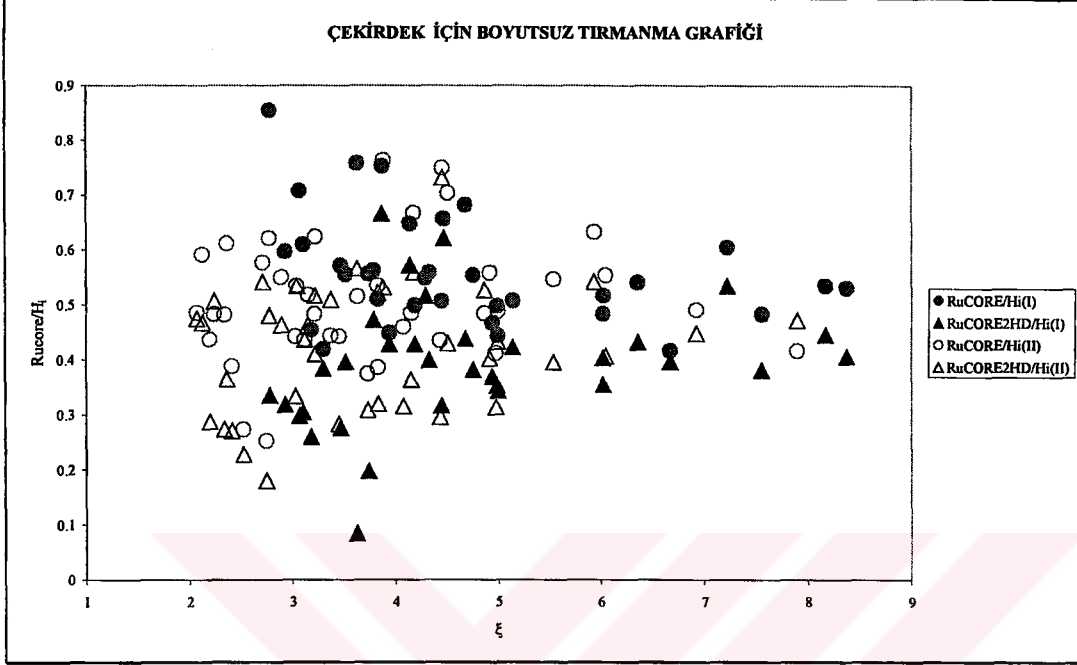
ÇEKİRDEK İÇİNDEKİ GERİ ÇEKİLME





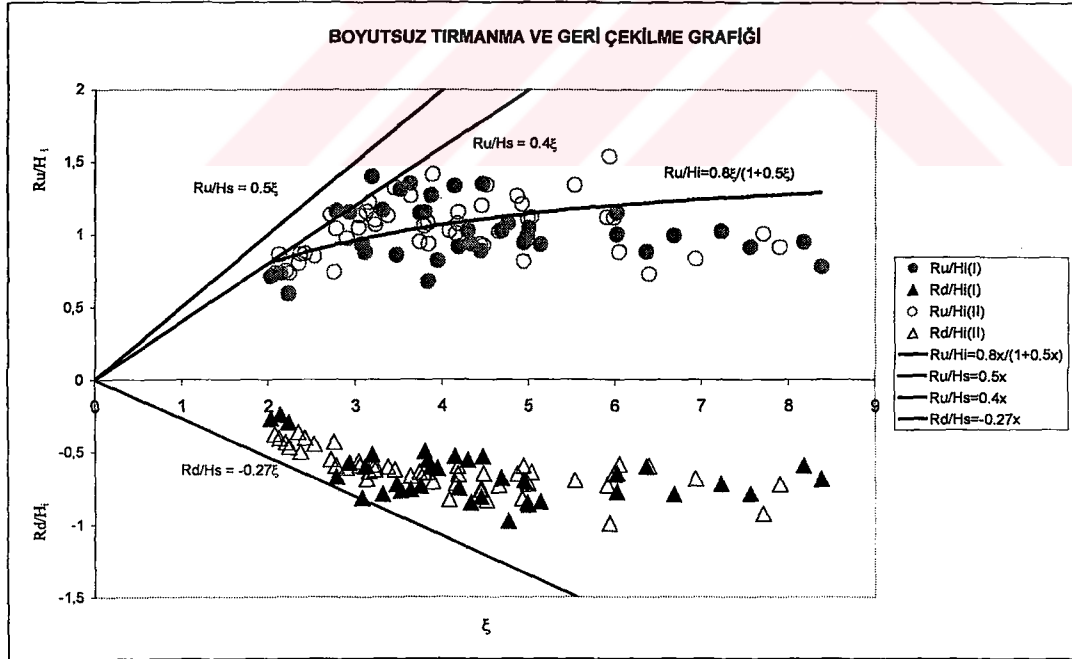
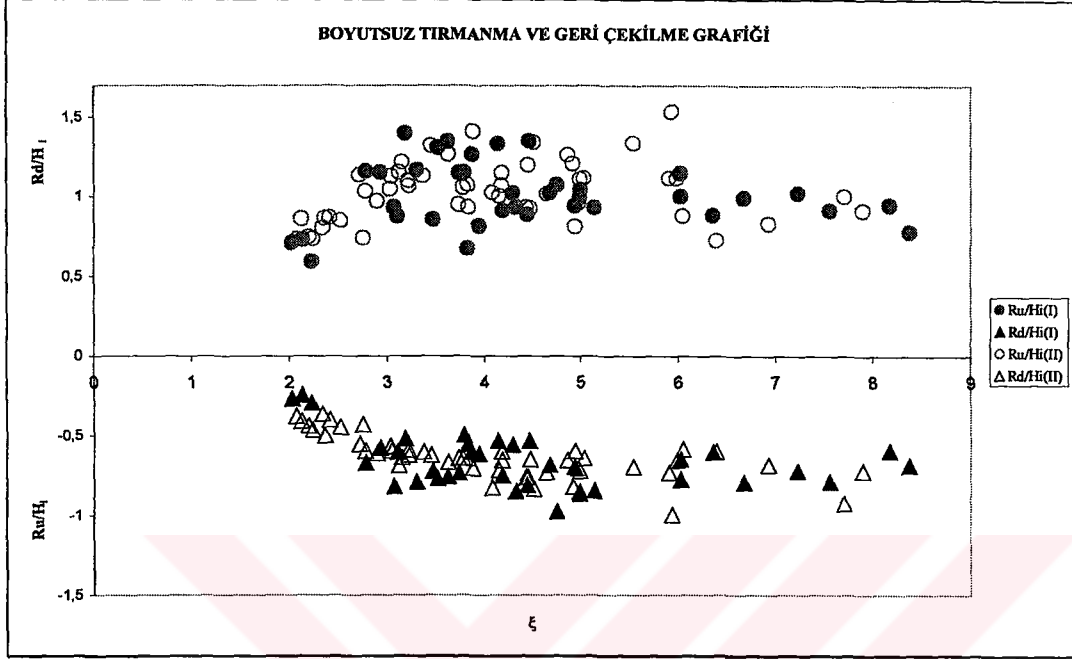
EK 11

**ÇEKİRDEK TABAKASI İÇERİSİNDEKİ TIRMANMA VE GERİ ÇEKİLMEMEYE AİT
BOYUTSUZ GRAFİKLER**

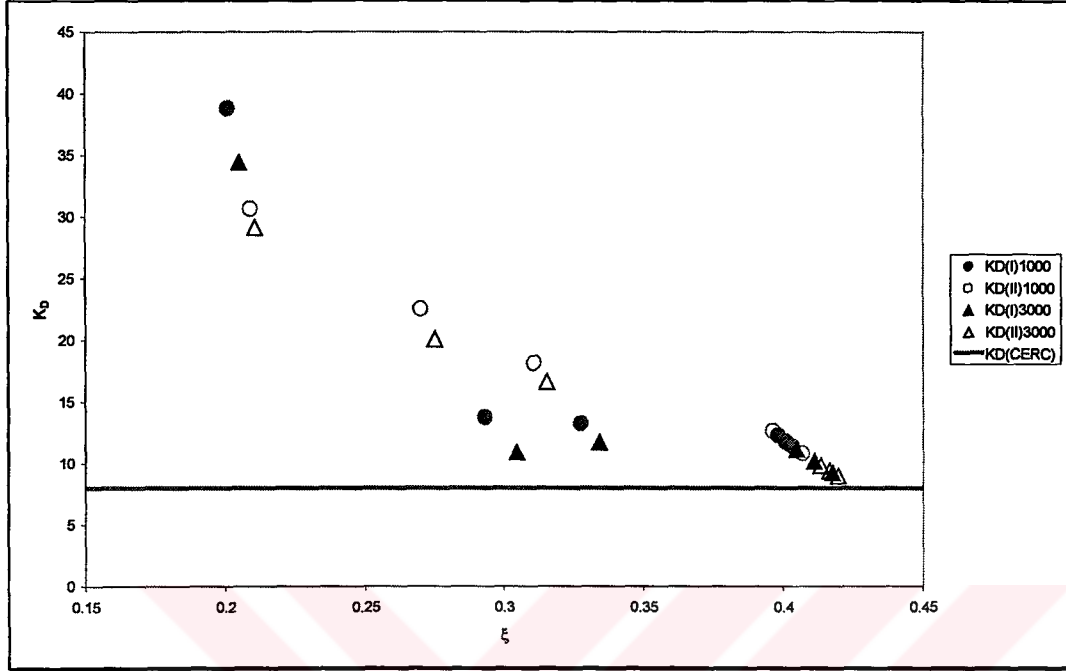


EK 12

TETRAPOD TABAKASI ÜZERİNDEKİ TIRMANMA VE GERİ ÇEKİLME BOYUTSUZ GRAFİKLERİ



EK 13

 $K_D - \xi$ DEĞİŞİMİ GRAFİĞİ

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 30.05.1975
Doğum yeri Van
Lise 1986-1993 Diyarbakır Anadolu Lisesi
Lisans 1993-1997 Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum

1998-Devam ediyor YTÜ İnşaat Fak. Hidrolik Anabilim Dalı
Araştırma Görevlisi

