

# Düşey yüzlü kıyı yapılarının dalgalar altındaki performansının arttırılması

Veysel Şadan Özgür KIRCA\*, Mehmet Sedat KABDAŞLI

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

*Bu çalışmada eğimli kıyı yapılarına göre daha yüksek yansıma, daha yüksek tırmanma ve daha yüksek dalga yükleri ortaya çıkaran düşey yüzlü kıyı yapılarının, sayılan bu dezavantajlarının azaltılabilmesi amacıyla geliştirilmiş bir önyüz konfigürasyonu tanımlanmış, bu özelliklerdeki bir yapı için imal edilen fiziksel model üzerinde düzenli ve düzensiz dalgalarla deneyler gerçekleştirilmiştir. Önerilen bu yapı akım odacıklı keson olarak adlandırılmıştır ve tam sakin su seviyesinde bir levha ile ayrılmış iki sığ odacığı bulunan kısmi delikli önyüze sahip bir keson formundadır. Deney sonuçlarına göre dalga yansıması, tırmanması ve dinamik dalga yükleri boyutsuz parametreler cinsinden ifade edilerek yapının performansı değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre, yapının yansıma katsayısı düzenli dalgalarda 0.1 düzensiz dalgalarda da 0.5 değerlerinin altına kadar inmiştir. Ayrıca boyutsuz olarak türetilen dalga itkisi ve dinamik dalga momentinin, eşdeğer bir düz düşey yüzeyli yapıya göre bu gelişmiş yapıda % 35~% 25 mertebesinde azaltılabildiği görülmüştür. Bulunan deneysel sonuçlara ve yapılan gözlemlere göre, önerilen yapının oldukça etkili biçimde gelen dalganın enerjisini sönmüleyebildiği sonucuna varılmıştır. Bunun yanında, önerilen keson sadece belli bir periyottaki gelen dalgayı değil, üst odacığı sayesinde oldukça geniş bir periyot aralığındaki dalgaları sönmüleyebilmektedir. Bu noktada üst odacık genişliği yeteri kadar uzun seçilirse, yalnızca düz düşey yüzlü yapılara kıyasla değil, dalgayı odacığı içindeki rezonans özellikleriyle sönmüleyen klasik tipteki perfore dalgakıranlara göre de daha avantajlı bir yapı elde edilebilmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Düşey yüzlü kıyı yapıları, perfore dalgakıranlar, fiziksel modelleme.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Veysel Şadan Özgür KIRCA. kircave@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 70 06.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Düşey yüzlü kıyı yapılarında önyüz konfigürasyonunun yapı performansına etkisi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 31.10.2008 tarihinde dergiye ulaşmış, 12.11.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Performance modification of vertical faced coastal structures under waves

### Extended abstract

*A sloped face maintained with “rubble-mound” technique, is mostly preferred as far as the coastal structures that are designed and constructed in order to be protected against wave effects are concerned. The main reason is not only the inexpensive and easy handling of rubble-mound operation, but also the satisfactory dissipation of incident waves on this sloped face, decreasing both the dynamic load and the reflected component. The vertical faced coastal structures, on the other side, can be constructed to fulfill many different functions with their constant breadth and suitable draft that can be used both for berthing and handling purposes. However, the vertical faced structures are poor to dissipate reflection or to limit wave run-up, compared to sloped ones, at the same time being exposed to high wave loads especially if they are plain faced.*

*There have been several studies devoted to neutralize these disadvantages and managed to increase the performance of vertical faced structures by means of newly developed front face configurations. On the axis of this very same effort, the main goal of this study is to come up with an optimized structure configuration which will not bring a significant extra cost and will be easy to construct and mount; yet, at the same time which is capable of decreasing wave reflection, wave run-up and wave loads reliably with its high dissipation performance.*

*First, various modifications proposed during past studies for vertical faced coastal structures were gone through. Several theoretical and experimental studies conducted on different variations of chambered breakwaters with a perforated front face have yielded quite satisfactory performance against waves, on the condition that the structure is dimensioned and designed with respect to that specific wave. These breakwaters, called “Jarlan” type after the first one to propose, may give a decreasing performance if incident wave period does not coincide with the resonance properties of their chambers.*

*The partially perforated double chambered structure which is proposed with this study, is able to damp the wave energy with its upper chamber located just above the mean water level, without any strong dependence on the incident wave period, while performing the resonant dissipation to a specific wave*

*frequency with its very shallow lower chamber separated from the upper chamber with a slab-like panel resting at the mean sea level. A plexiglas model of this structure, called as the flow chambered caisson, were manufactured with adjustable chamber breadths and tested under 9 sets of regular and one set of irregular waves, for different frontface perforation ratios and different relative dimensions. All the related performance parameters were derived as dimensionless parameters in order to be valid in any system and both in model and prototype scales. These parameters are reflection and runup coefficients for wave damping; pressure coefficient, force and moment coefficients for dynamic wave loads.*

*The results of physical modeling study were compared to the performance of an equivalent plain vertical structure, tested under control experiments. Theoretical values for wave loads were also calculated in order to make further comparison with experimental results. The method proposed by Goda (1985) for wave load calculation on a vertical structure was employed and all calculated values were converted to the defined dimensionless ones.*

*Experimental data implies that, flow chambered caisson can decrease the reflection coefficients down to 0.1 and 0.5 respectively for regular and irregular waves; also the horizontal wave force and wave moment were measured to be 25% to 35% less than the ones measured/calculated for an equivalent plain vertical faced structure.*

*As a result, it was tried to picture an optimum structural configuration as a front faced coastal structure with its easy construction and handling with no significant extra cost; that can not only be used for port-functional purposes like quays, but also can be constructed as a breakwater in order to protect the coastal region/facility. The resulting flow chambered caisson structure is believed to satisfy these criteria to a significant degree, if a prototype application of this structure is constructed after the case-specific design is optimized with further laboratory experiments. It should be noted that open mindedness of decision makers is a prerequisite in order to achieve more developed and advanced engineering structures.*

**Keywords:** Upright coastal structures, perforated breakwaters, physical modelling, wave dissipation, wave loads.

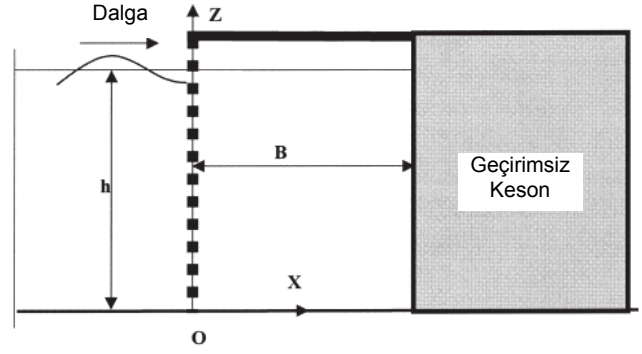
## Giriş

Kıyı koruma yapıları ve diğer fonksiyonel kıyı yapılarının tasarımında en önemli faktör dalga etkileridir. Gerek yapıların genel yapısal stabilitelerinin sağlanması, gerekse yapının fonksiyonunu sağlıklı bir biçimde gerçekleştirebilmesi için ekstrem ve uzun dönem dalga etkileri altında yeterli performansın elde edilebilmesi gerekmektedir.

Kıyı yapılarında eski çağlardan beri en çok tercih edilen inşaat yöntemi “dökme taş” (anroşman) olsa da, özellikle rıhtım, iskele, yanaşma amaçlı kıyı duvarı gibi düşey önyüz gerektiren kıyı yapılarında başka inşaat yöntemleri de kullanılmaktadır. Yerine göre hem duraylılığı, hem de kolay ve ucuz imali sayesinde tercih edilebilen düşey yüzlü kıyı yapıları (özellikle keson ve öndökümlü payandalı duvarlar gibi monolitik/tek parça yapılar), dalga etkileri karşısında yansımaların artması ve büyük dalga kuvvetleri almaları dolayısı ile dezavantajlar da ortaya çıkarmaktadırlar.

Bu noktada düşey yüzlü kıyı koruma yapılarında deniz tarafındaki yüzü (önyüzü) modifiye etme fikri, ilk olarak yansıyan dalga bileşenini azaltmak amacıyla ortaya çıkmış ve betonarme bir perfore (delikli) kabukla kaplı düşey yüzlü dalgakıranlar (Şekil 1) özellikle tekperiyotlu özellikteki solugan dalgaların yansımalarını etkili biçimde azaltabilmek için farklı yerlerde uygulanmıştır (Jarlan, 1961). Bu uygulamanın, gelen dalganın odacık/odacıklar ile etkileşime geçerek hem yansıyan dalgayı azalttığı, hem de yapı üzerindeki dalga tırmanma yüksekliğini düşürdüğü görülmüştür (Marks ve Jarlan, 1969). Bu tip bir kıyı koruma yapı prototipinin Kuzey Denizi’ndeki Philips Ekofisk platformunu korumak üzere başarı ile uygulandığı bildirilmektedir (Chakrabarti, 1999). Zira delikli bir önyüzün, yapı üzerine etkiyen çarpma basıncını da azalttığı birçok çalışma ile gösterilmiştir (Takahashi ve Shimosako, 1994; Takahashi vd., 1994).

Jarlan (1961)’in çalışmasından sonra, ince delikli önyüze sahip bir yapı ile gelen dalga etkileşimi konusunda birçok farklı çalışma yürütülmüştür.



Şekil 1. “Jarlan tipi dalgakıran” olarak da anılan ilk nesil delikli önyüzü keson dalgakıran (Williams vd., 2000)

Kondo (1979) uzun dalga teorisine dayanan bir model ile iki odalı bir dalgakıranın dalga yansıması ve dalga iletimi katsayılarını hesaplamış ve bu hesaplarını doğrulamak için bir dizi deney yapmıştır. Delikli bir levhanın dalga üretici olarak kullanımını inceleyen çalışmaların ardından (Chwang, 1983; Chwang ve Li, 1983), Chwang ve Dong (1984) düşey delikli bir levhadan yansıyan dalgayı incelemişlerdir. Daha sonra Yu ve Chwang (1994) yatay yerleştirilmiş batık bir delikli levha ile dalga etkileşimini araştırmışlardır.

Two ve Lin (1991), Fugazza ve Natale (1992) ve Isaacson ve diğerleri (1998) ise ince delikli önyüzlerle oluşturulan odacıkların dalgakıran olarak kullanımını potansiyel akım kabulü ve denklemleri ile araştırmışlardır. Bu çalışmalarda dalganın yansıyan ve geçen bileşenlerinin hız potansiyelleri, delikli duvardaki sınır koşulu ve uzak alan sınır koşullarının örtüştürülmesi ile belirlenmiştir. Her bir çözümde aynı zamanda delikli engel vasıtası ile sönmülenen bir enerji bileşeni ifadesi de tanımlanmıştır.

Bennet ve diğerleri (1992) “dalga perdesi” (monolitik ve geçirgen) dalgakıranların yansıma özelliklerini çalışmış ve analitik tahminlerini deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Kreibel (1992) ise süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini kullanarak şerit şeklindeki boşlukların (slot) arasındaki akışı çözmeye ve akımın daralması ve genişlemesi ile ortaya çıkan yük kayıplarını hesaplamaya çalışmıştır. Bu sayede dalga iletim katsayısı ve geçirgen duvar üzerindeki dalga kuvvetlerini tanımlayan basit ifadeler

ortaya çıkmış ve sonuçlar deneysel verilerle desteklenmiştir. Suh ve Park (1995) anroşman (dökme taş) bir temel üzerine oturtulmuş delikli önyüzlü bir kesona eğik (yapı eksenine normal olmayan doğrultuda) gelen dalgaların yansıma katsayıları için potansiyel akıma dayanan bir model önermişlerdir.

Wang ve Ren (1993a) gelen dalganın sönümlenmesi için esnek ince delikli yapıların kullanımını araştırmışlardır. Arkasından Wang ve Ren (1993b) esnek delikli bir levhanın geçirimsiz düşey bir duvarın önüne yerleştirilmesi ile ortaya çıkan “dalga hapsolme etkisini” de çalışmışlardır. Williams ve diğerleri (2000) de yaptıkları çalışmada potansiyel akımı esas almış ve birden fazla delikli yüzeyin ardı ardına yerleştirilmesini de inceledikleri çalışmalarında, detaylı akım karakterini çözmeyi değil, sistemin dalga sönümlenme ve uzak alana yansıtmadaki genel performansını değerlendirebilecek bir metot ortaya koymayı hedeflemişlerdir. Sistemin dalgayı sönümlenmesini de dalga boyu ile ters orantılı bir sönümlenme terimi ile ifade etmişlerdir. Zira tüm araştırmacıların ortak sonucu kısa dalgaların daha çok sönümlendiği yönündedir.

Literatürde dalga etkileri altındaki yapı performansının arttırılması için yukarıdaki özetlenenler dışında birçok farklı düşey yüzlü yapı alternatifleri (gedikli/dişli, yivli, eğri yüzeyle, batık, silindirik, vb.) incelenmiş bulunmaktadır. Örneğin Darwiche ve diğerleri (1994) yarı geçirgen bir silindirin içine yerleştirilmiş olan geçirimsiz düşey silindirin dalga ile etkileşiminin analitik bir çözümünü geliştirmişlerdir. Daha sonra bu analiz Williams ve Li (1998) tarafından genişletilerek, içteki silindirin deniz tabanı üzerinde duran bir depolama tankına bağlanması da dahil edilmiştir.

Dhinikan ve diğerleri (2002) ise yarım silindir şeklinde batık bir kıyı koruma yapısının farklı boşluk oranlarında delikli ve deliksiz yüzey koşulları için düzenli dalgalar altında dinamik dalga basıncı ölçümleri yapmışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Delikli yapılarda dalga basıncının önemli miktarda düştüğü sonucuna varılmıştır. Neelamani ve diğerleri (2002) delikli ve

içi boş bir keson tarafından çevrelenen bir silindir üzerindeki dinamik dalga basınçlarını düzenli ve düzensiz dalgalar için ölçmüşler ve bu basınç değerlerinde kesonsuz duruma göre %60'a varan azalmalar kaydetmişlerdir.

Düşey yüzlü kıyı yapılarının performansının arttırılması için yüzeye gedikler açılması veya dışlar eklenmesi, ya da yüzeyin düşeyden bir miktar saptırılması gibi değişik önyüz konfigürasyonları da araştırılmıştır (Neelamani ve Sandhya, 2003; Neelamani ve Sandhya, 2005).

Düşey yüzlü kıyı yapılarının (özellikle kesonların) tasarımında uzun dönem dalga şartları altındaki servis performansı (yansıma/aşma) ile ekstrem dalga şartlarındaki stabilite performansı arasında dengeli bir tatmin sağlanması elzemdir; ancak her iki şartı birden tam olarak sağlayan yapılar oldukça pahalıya mal olacağı için çoğu zaman yapılabılır olamamaktadırlar (Goda, 1985; Yip ve Chwang, 2000; Liu vd., 2007; EUROTOP, 2007).

Bu çalışmada önerilen yapı konfigürasyonu ile hedeflenen ise yapının düşey ön duvarının mümkün olduğunca düz tutulup dolu ağırlığın muhafaza edilerek, gelen dalganın enerjisinin mümkün olduğunca sönümlenmesi ve bu sayede yukarıdaki paragrafta bahsedilen servis performansı ve stabilite performansının birlikte sağlanmasıdır. Böylelikle hem uygulanabilir, hem de dalga sönümlenme performansı etkinleştirilmiş bir yapı konulması hedeflenmektedir. Öngörülen yapı, kesonun dolu ağırlığını ve yüzme stabilitesini azaltmamak adına oldukça sığ iki odacıkla teşkil edilmiştir (Şekil 2). Bunlar tam sakin su seviyesinde bir plakla ayrılmaktadırlar. Bu yapıda alt odacık rezonansla gelen dalganın belli bir periyodunu verimli şekilde sönümlerken, üst odacık gelen dalgayı akıma dönüştürerek mertebe olarak düşük fakat geniş bir periyot aralığında sönümlenme sağlayabilmektedir.

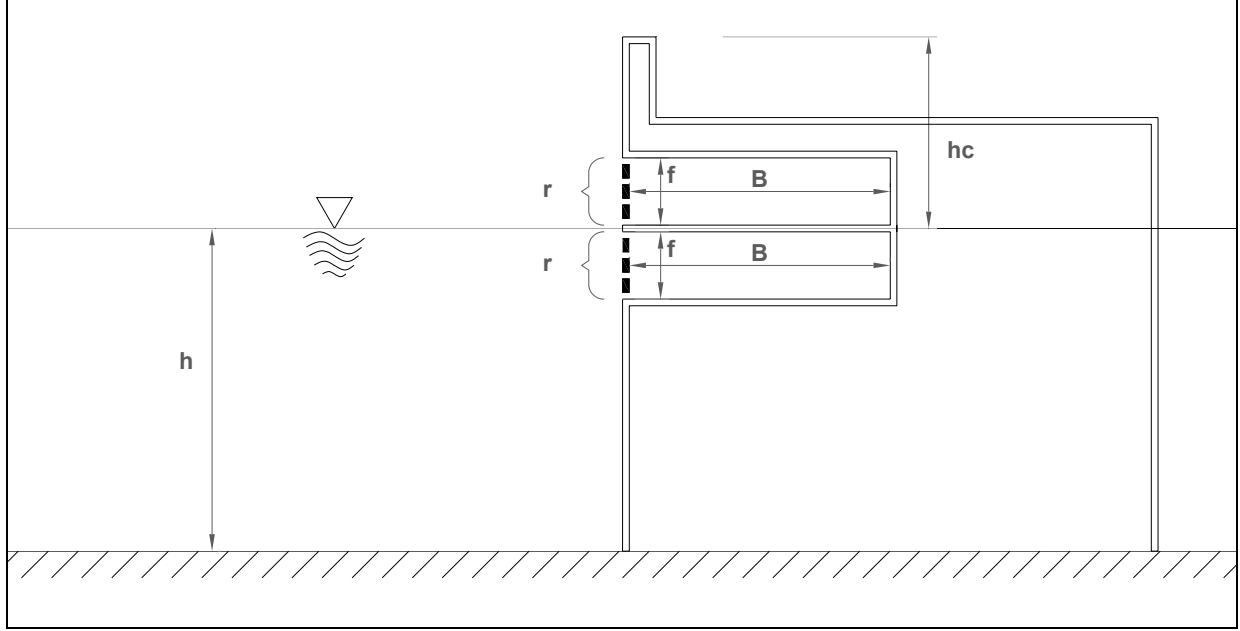
## Materyal ve yöntem

### Kurulan fiziksel modelin özellikleri

Bu çalışmada fiziksel modelleme yöntemi kullanılmış, önerilen akım odacıklı kesonun fiziksel modeli İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Hidrolik

Laboratuvarı'nda yer alan 1 m x 1 m x 24 m boyutlarındaki dalga kanalına kurulmuştur. Model keson pleksiglastan yapılması itibarı ile akımın daha iyi gözlemlenebilmesine olanak tanımaktadır (şekil 3). Model kesonun her iki odacığı'nın arka duvarları hareket edebilen biçimde imal

edilmiş, bu sayede farklı odacık genişliklerinde deney yapılması olanaklı kılınmıştır. Ayrıca kesonun şaşırtmalı karesel deliklerle teşkil edilmiş olan odacık önyüzleri, % 25, % 40 ve % 60 boşluk oranı teşkil edilecek biçimde 3 farklı tipte imal edilmiştir.



*şekil 2. Çalışmada önerilen akım odacıklı keson, kesit çizimi*



*şekil 3. Pleksiglas keson modeli*

Modelde 3 adet direnç tipi dalgaölçer ile dalga zaman serileri kaydedilmiş, model üzerine yerleştirilen 4 adet piezoelektrik tipi basınçölçer ile de yapı üzerindeki basınçlar okunmuştur (Şekil 4). Bu basınçölçerlerin 1'er adedi kesonun geçirimli önyüzünün üst ve alt tarafındaki geçirimsiz bölgelere, 2 adedi ise keson odacıklarının arka yüzlerine monte edilmiştir. Bu ekipmanlarla, deneyler sırasında dalga zaman serileri 20 Hz, basınç zaman serileri ise 32 Hz ölçümleme sıklığıyla kaydedilmiştir.

Bu sistemle yürütülen deneyler Tablo 1'de sunulan deney matrisinde özetlenmiştir. Görüldüğü gibi 9 farklı tip düzenli ve 1 düzensiz dalga serisi, limit koşullar da dahil toplam 4 boşluk oranında ve 5 farklı odacık genişliği için yürütülmüştür.

Tablo 1. Fiziksel modelle yürütülen deneylerin özet matrisi

No.	$h$ (m)	$f$ (m)	$B$ (m)	$r$	$H$ (m)	$T$ (s)
1	0.54	0.08	0.40	% 0	0.075	0.8
2	--	--	0.30	% 25	0.095	1.0
3	--	--	0.20	% 40	0.110	1.2
4	--	--	0.10	% 60	Düzensiz	--
5	--	--	0.05	% 100	--	--

Bu parametrelerin anılan sayıdaki farklı değerleri, toplam 210 adet deneyle sonuçlanan bir kombinasyon oluşturmaktadır. Bu deneyler düzenli dalgalar için 30 s, düzensiz dalgalar için ise 90 s süreyle gerçekleştirilmiştir. Gelen ve yansıyan dalgaların ayrılması için, paletten ikinci kez yansıyan dalgaların kaydedilen veriye ulaşmasını engellemek amacıyla bir temiz kayıt süresi belirlenmiş, yaklaşık 24 dalgalık bir düzensiz dalga serisi spektral ayrıştırma ile bileşenlerine ayrıştırılmıştır (Şekil 5).

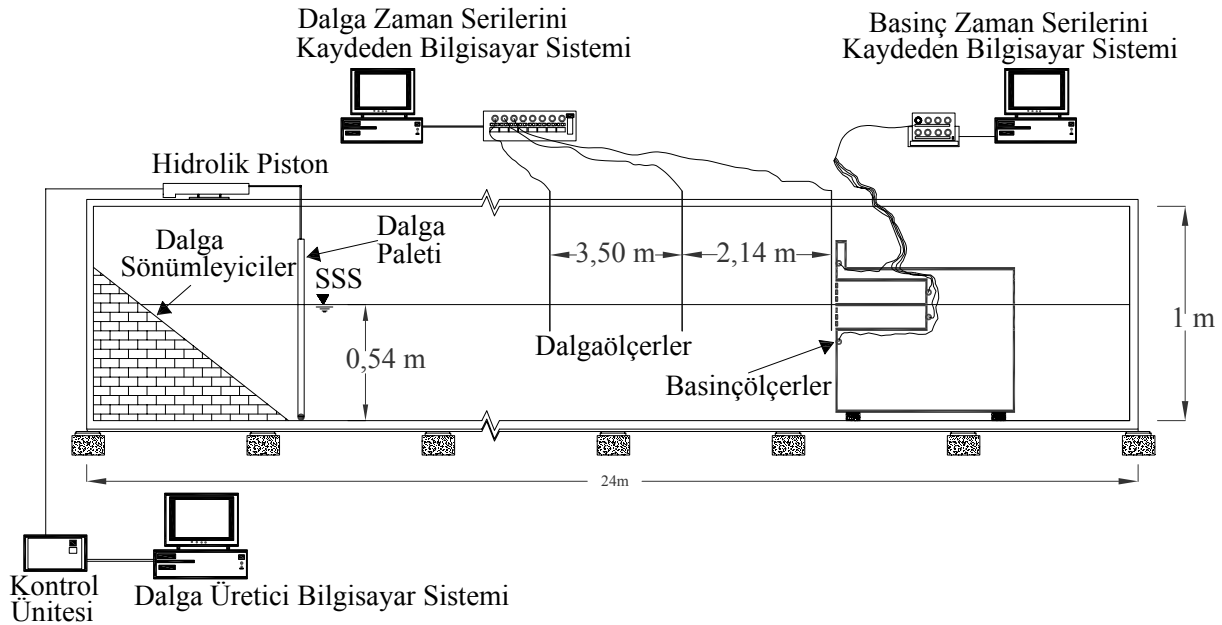
### Boyutsuz parametreler

Dalga yansıması ve tırmanması ile, dinamik basınç, yatay itki ve momenti tanımlayan boyutsuz sayılar sırasıyla denklem (1), (2), (3), (4) ve (5)'te gösterilmiştir.

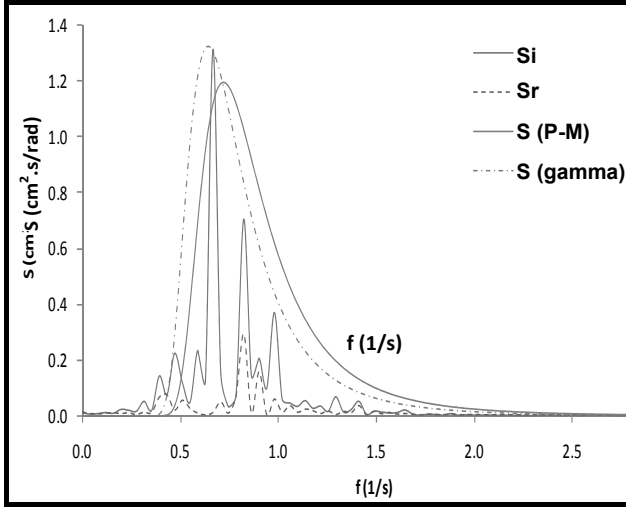
$$K_r = \frac{H_r}{H} \quad (1)$$

$$K_{ru} = \frac{\delta}{H} = \frac{\sqrt{1 + K_r^2 + 2K_r \cos \theta}}{2} \quad (2)$$

Burada  $H$ ,  $H_r$ ,  $\delta$ ,  $K_r$ ,  $K_{ru}$  ve  $\theta$  sırasıyla dalga yüksekliği, yansıyan dalga yüksekliği, tırmanma yüksekliği, yansıma katsayısı, tırmanma katsayısı ve yansıma fazı gecikmesidir.



Şekil 4. Kurulan fiziksel modelin ve ölçüm sisteminin şematik gösterimi

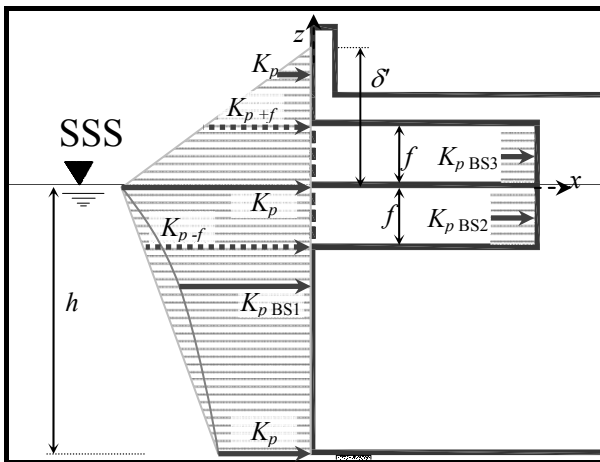


Şekil 5. Örnek spektral ayrıştırma ile eşdeğer Pierson-Moskowitz ve Gamma spektrumları ile karşılaştırılması

$$K_F = \frac{\int_{-h}^{\delta} K_p dz}{(h + \delta)} \quad (3)$$

$$K_M = \frac{\int_{-h}^{\delta} K_p (z + h) dz}{(h + \delta)^2} \quad (4)$$

Dinamik yüklerle ilgili boyutsuz katsayıların hesabında dikkate alınan yük dağılımında Goda (1985) tarafından önerilen düşey yüzlü yapılara etkiyen dalga yükü yaklaşımı esas alınmıştır. Buna göre kullanılan basınç dağılımı Şekil 6'da verilmiştir.



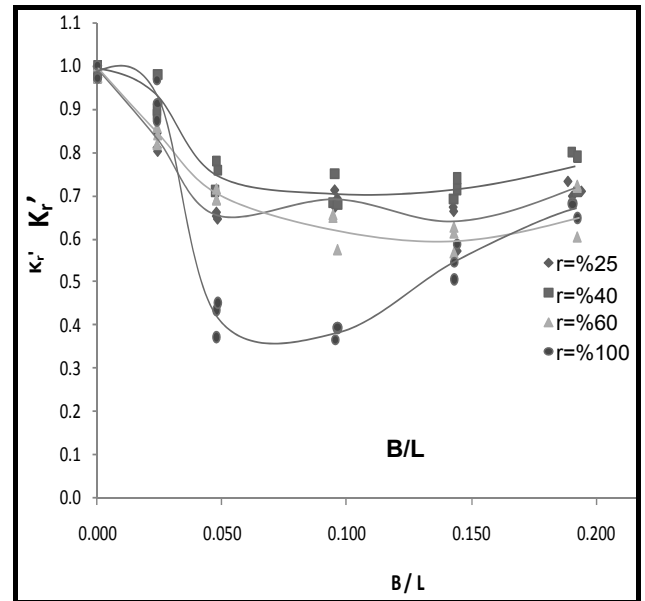
Şekil 6. Kabul edilen yük dağılımı

Uygulanan 210 adet deneyden 10 adedi odacık genişliği, B, parametresi 0 olacak şekilde düz bir düşey yüzlü yapı için gerçekleştirilmiş ve bu deneyler akım odacıklı keson yapısının performansının kıyaslanması amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca Goda (1985) tarafından önerilen lineer dalgayla dayalı düşey yüzey üzerindeki dalga yükü hesabı da yürütülmüş, ve test edilen dalgalardaki yük performansı için daha derinlemesine bir karşılaştırma yapılması sağlanmıştır.

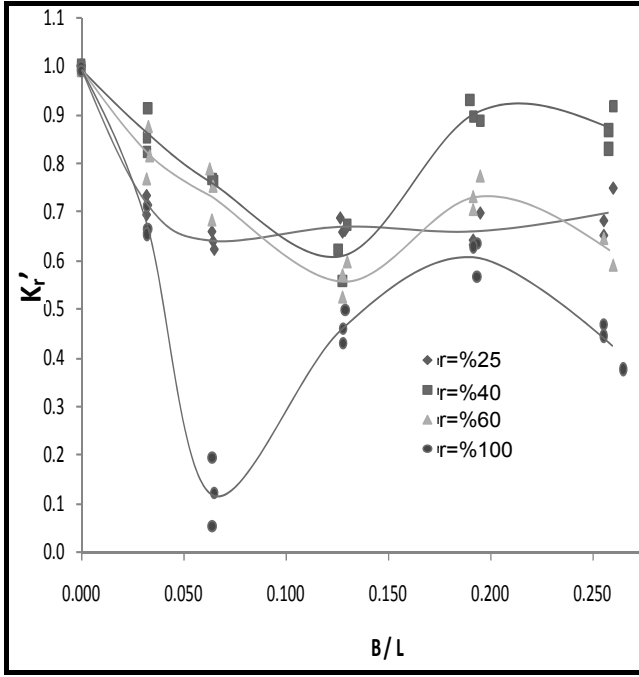
## Deneysel çalışma sonuçları

### Dalga yansımaları ve tırmanması

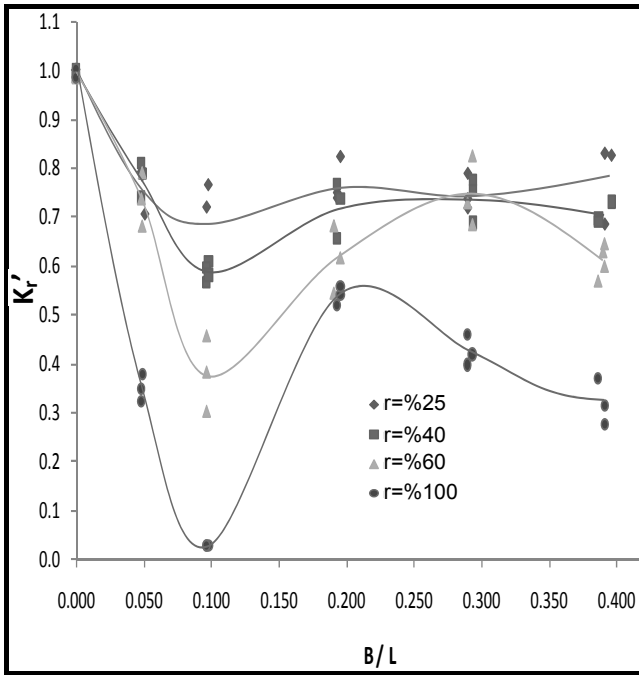
Dalga yansımaları ve tırmanmasında en önemli parametrelerden biri olan dalga dikliği ( $H/L$ ) kıstas olarak alındığında, düzenli dalgalarla yapılan deneyler üç farklı grupta toplanabilmektedir. Bu gruplar sırasıyla  $H/L=0.040\sim 0.045$ ,  $H/L=0.065\sim 0.075$  ve  $H/L=0.093\sim 0.101$  şeklinde yazılabilir. Sonuçlar kontrol deneyinde duran dalga ( $K_r = 1$ ) meydana gelecek şekilde normalize edilerek emin tarafta kalınması sağlanmıştır. Bu dalga grupları kullanılarak farklı önyüz boşluk oranları için elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 7, 8 ve 9'da verilmiştir. Bu şekillerde yansımaya katsayısı boyutsuz odacık genişliği olan  $B/L$ 'ye göre verilerek, yapının farklı odacık genişliklerinde göstereceği performans da ortaya konmuş olacaktır.



Şekil 7.  $H/L = 0.040\sim 0.045$  için farklı  $r$  değerlerinde  $K_r'$ - $B/L$  ilişkisi



Şekil 8.  $H/L = 0.065\sim 0.075$  için farklı  $r$  değerlerinde  $K_r'$ - $B/L$  ilişkisi



Şekil 9.  $H/L = 0.093\sim 0.101$  için farklı  $r$  değerlerinde  $K_r'$ - $B/L$  ilişkisi

Bu şekillerden de görülebileceği gibi önerilen yapının düzenli dalgalar karşısındaki yansımada performansı oldukça yüksektir. Özellikle daha dik dalgalarda artan bu performans, önyüz boşluk oranı arttırıldığında da iyileşmektedir.

Denklem (2)'de verilmiş olan boyutsuz tırmanma katsayısı hesaplanırken, yansımada yapı üzerindeki faz gecikmesi  $\theta$ 'nın 0'a eşit olduğu kabul edilirse tırmanma kolaylıkla ortaya konabilecektir. Zira yapılan gözlemlerde ve yapıya en yakın dalgaölçerden alınan kayıtlarda bu kabulün geçerli olacağı anlaşılmıştır. Buna göre elde edilen  $K_{ru}$  katsayıları Tablo 2'de verilmiştir. Bu tabloda en sağ sütunda sunulan "optimum  $B/L$ " değerleri, en iyi dalga sönümleme performansını veren boyutsuz odacık genişliğini betimlemektedir. Buradan görülebileceği gibi odacık genişliği dalga boyuna göre değiştirilerek dalgaların daha iyi sönümlemesi sağlanabilmektedir.

Tablo 2. Deney sonuçlarının dalga sönümlemesi açısından özeti

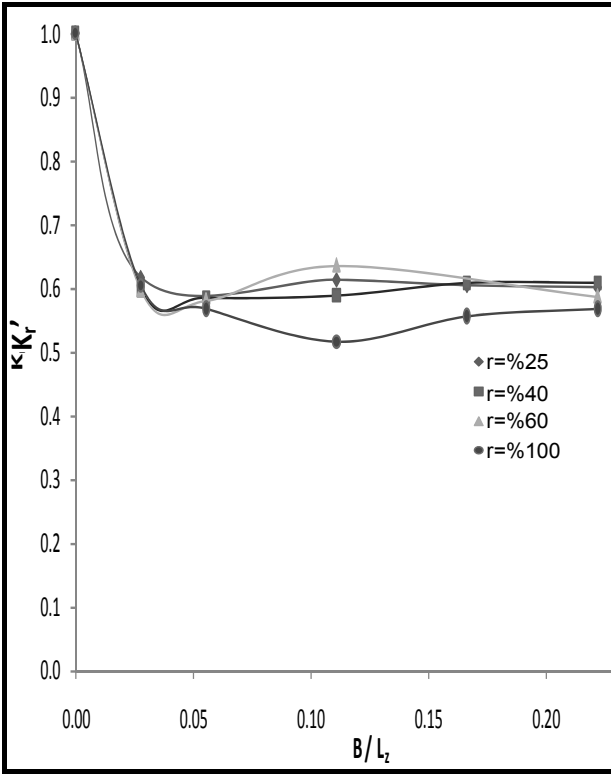
Önyüz	$H/L$	$K_r'$	$K_{ru}$	Optimum $B/L$
$r = \% 0$	0.040~0.045	1.000	1.000	--
(Referans)	0.065~0.075	1.000	1.000	--
Deneyler)	0.093~0.101	1.000	1.000	--
	0.040~0.045	0.583	0.791	0.050~0.070
$r = \% 25$	0.065~0.075	0.656	0.828	0.035~0.055
	0.093~0.101	0.681	0.841	0.085~0.105
	0.040~0.045	0.699	0.850	0.080~0.150
$r = \% 40$	0.065~0.075	0.725	0.863	0.120~0.140
	0.093~0.101	0.598	0.799	0.080~0.100
	0.040~0.045	0.604	0.802	0.130~0.150
$r = \% 60$	0.065~0.075	0.552	0.776	0.120~0.140
	0.093~0.101	0.382	0.691	0.085~0.105
	0.040~0.045	0.381	0.691	0.090~0.110
$r = \% 100$	0.065~0.075	0.127	0.563	0.060~0.080
	0.093~0.101	0.031	0.515	0.085~0.105

Düzensiz dalgalar için elde edilen yansımada sonuçları ise aykırı noktalar ayıklandıktan sonra Şekil 10'da verilmiştir. Düzensiz dalgalarda ise, odacık genişliği belli bir değeri aştıktan sonra küçük salınımlar dışında sabitlenen yansımada katsayısı dikkat çekicidir.

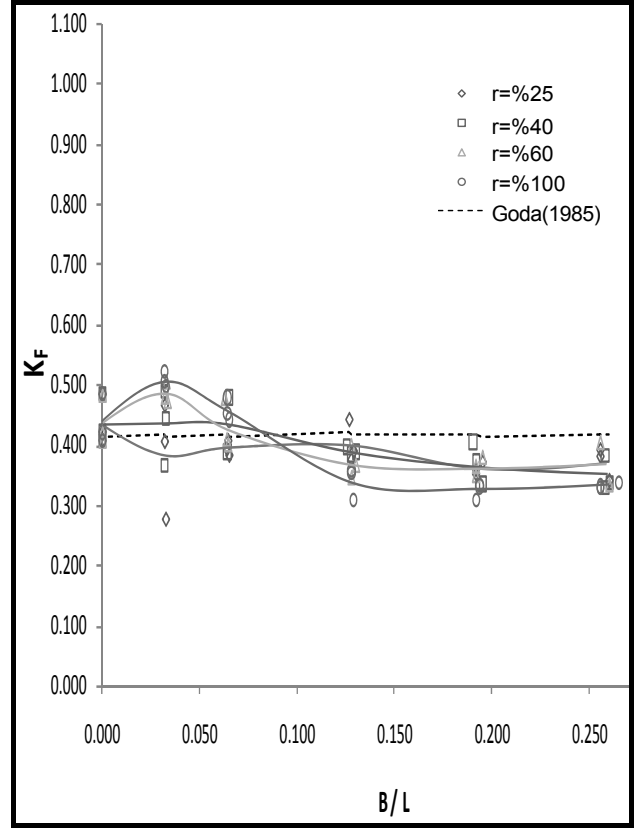
#### Yatay dalga itki kuvveti

Yukarıda verilen tanımları ve Şekil 6'daki basınç dağılımı kabulüyle hesaplanan boyutsuz yatay itki sonuçları düzenli dalgalarda farklı dalga dikliği grupları için Şekil 11, 12 ve 13'te, düzensiz dalgalar için de Şekil 14'te verilmiştir.

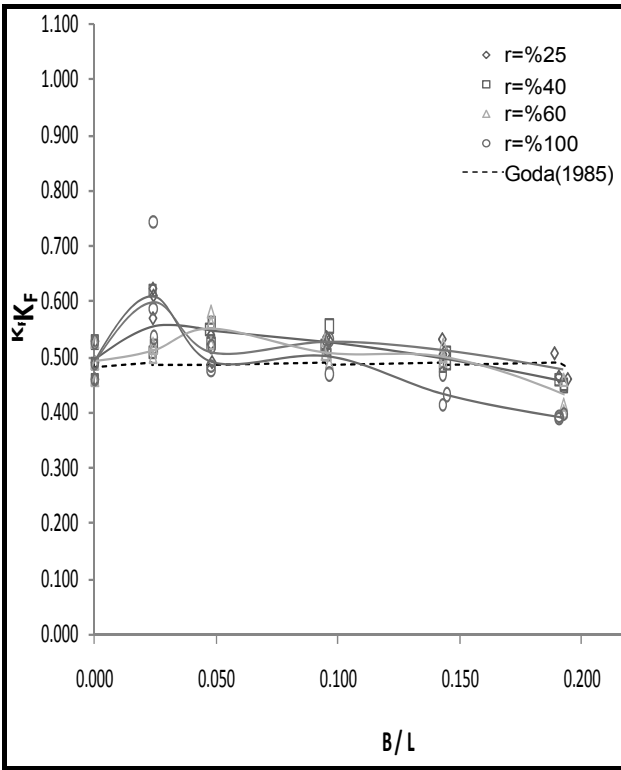




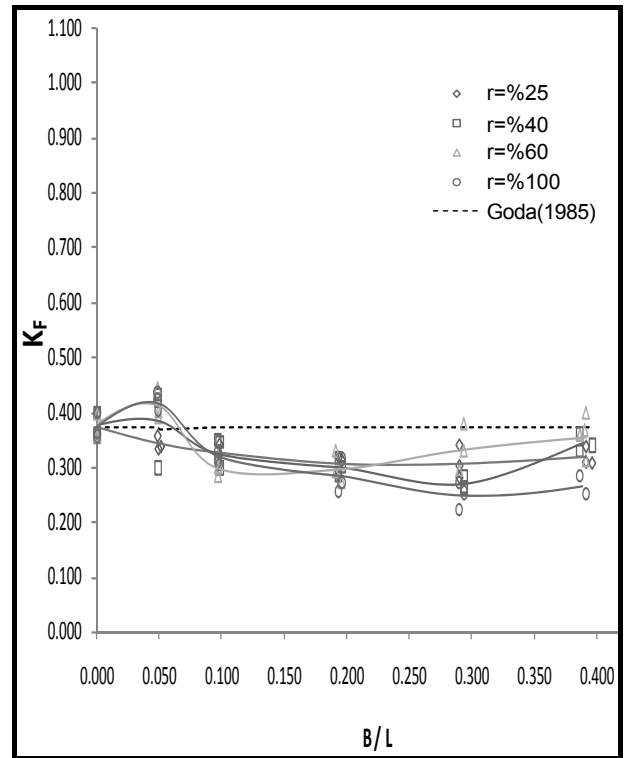
Şekil 10. Test edilen düzensiz dalgalar için farklı  $r$  değerlerinde  $K_r'$ - $B/L$  ilişkisi



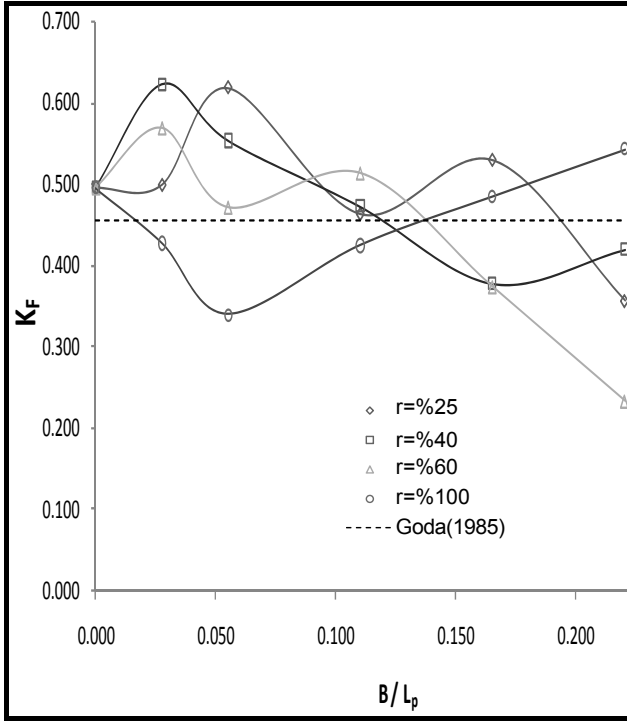
Şekil 12.  $H/L = 0.060\sim 0.075$  için elde edilen ve hesaplanan  $K_F$ - $B/L$  ilişkisi



Şekil 11.  $H/L = 0.040\sim 0.045$  için elde edilen ve hesaplanan  $K_F$ - $B/L$  ilişkisi



Şekil 13.  $H/L = 0.093\sim 0.101$  için elde edilen ve hesaplanan  $K_F$ - $B/L$  ilişkisi



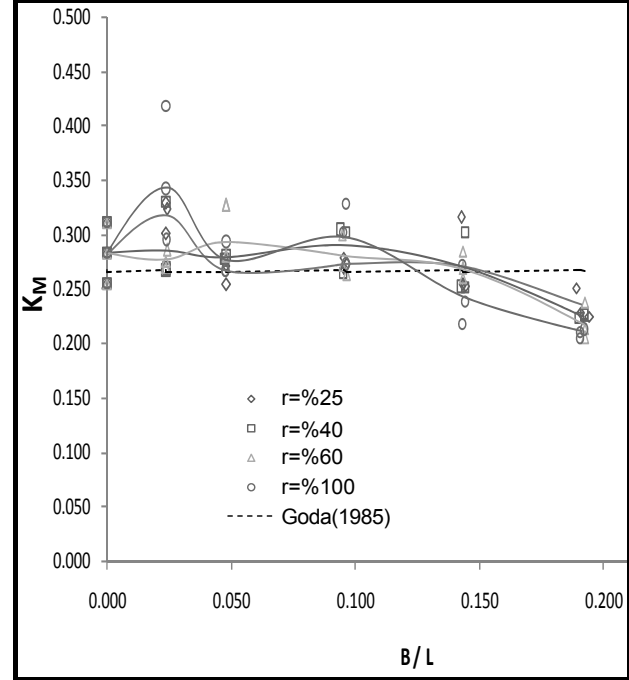
Şekil 14. Düzensiz dalgalar için elde edilen ve en yüksek dalga için hesaplanan  $K_F$ - $B/L_p$  ilişkisi

Bu sonuçlarda kesik çizgi ile gösterilen hat Goda (1985) yöntemine göre hesaplanan yatay kuvvetlerdir. Hesaplanan bu kuvvetler dinamik basınç etkisini eşdeğer dinamik basınç olarak ele almak adına 1.25'lik bir büyütme faktörü ile çarpılmışlardır (Kırkgöz vd., 2004). Zira bu şekilde düz duvar ( $B=0$ ) için elde edilen sonuçlarla örtüşür hale gelmişlerdir. Görüldüğü üzere akım odacıklı keson yeterli odacık genişliği ile boyutlandırıldığında itki kuvvetlerinde düz düşey alternatifine göre % 25 oranında iyileştirme sağlayabilmektedir. Düzensiz dalgalarda ise en yüksek dalgaya göre elde edilen itki değerleri oldukça salınmakla birlikte yeteri kadar geniş odacıklarla referans değerlerin altına düşmektedir.

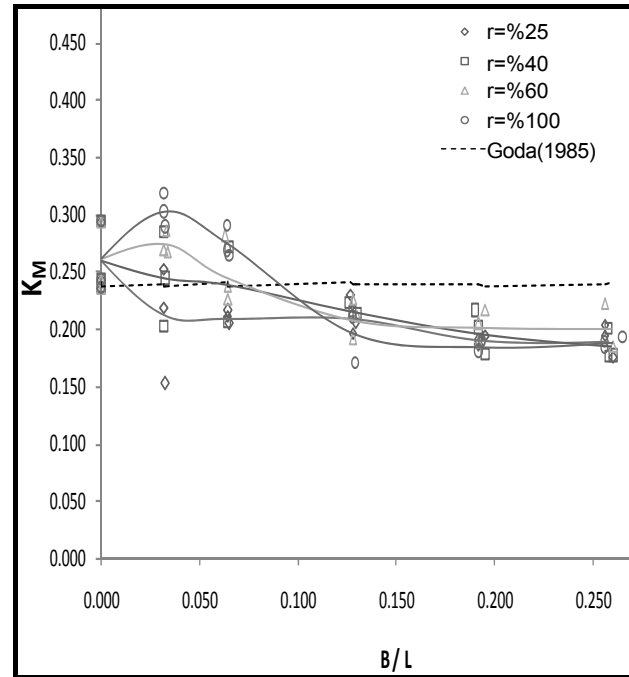
### Dalga momenti

Yatay kuvvetlerin hesabında olduğu gibi, dalga momentlerinin hesabında da Şekil 6 ile sunulan basınç kabulü kullanılmıştır. Goda (1985) yöntemine göre de hesaplanan dalga momentleri kuvvet hesabındaki gibi 1.25'lik bir büyütme faktörü ile çarpılarak eşdeğer dinamik karşılıkları elde edilmiş olmaktadır. Her üç dalga dikliği grubu için elde edilen boyutsuz moment değerleri Şekil 15, 16 ve 17'de, test edilen düzensiz

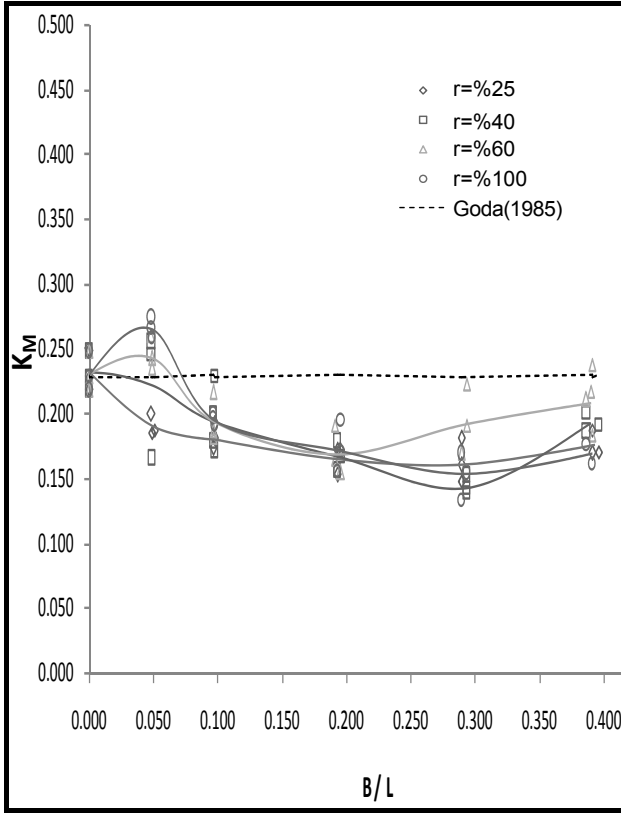
dalgalar altındaki moment değerleri de Şekil 18'de verilmiştir. Dalga itkisine benzer sonuçlar veren moment değerleri, düzenli dalgalarda eşdeğer düz düşey yüze göre ölçülen/hesaplanan değerlerin yaklaşık % 35'i kadar azalmıştır.



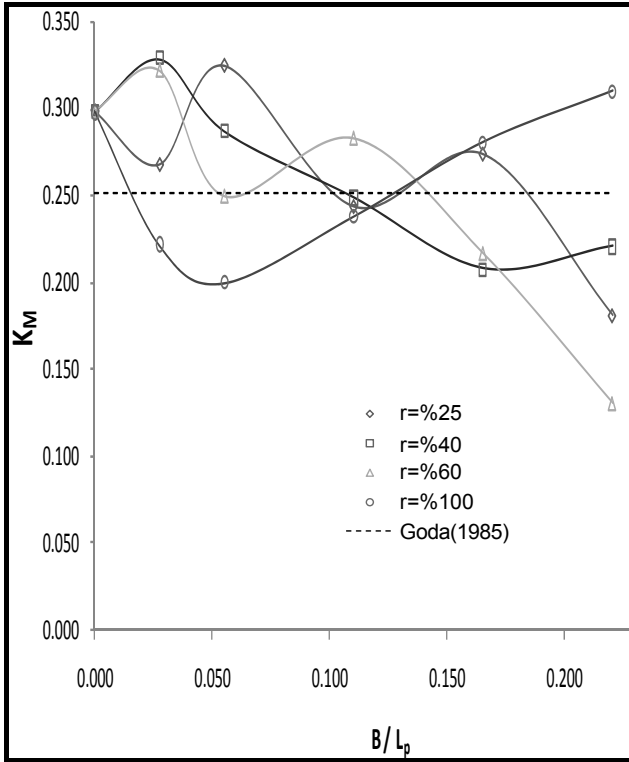
Şekil 15.  $H/L = 0.040\sim 0.045$  için elde edilen ve hesaplanan  $K_M$ - $B/L$  ilişkisi



Şekil 16.  $H/L = 0.060\sim 0.070$  için elde edilen ve hesaplanan  $K_M$ - $B/L$  ilişkisi



Şekil 17.  $H/L = 0.093\sim 0.101$  için elde edilen ve hesaplanan  $K_M$ - $B/L$  ilişkisi



Şekil 18. Düzensiz dalgalar için elde edilen ve hesaplanan  $K_M$ - $B/L_p$  ilişkisi

## Sonuçlar

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Akım odacıklı keson hem dalga yansımaları hem de maruz kaldığı dinamik dalga yükleri açısından düz düşey yüzeyli bir yapıya nazaran önemli mertebelerde avantajlar sunmaktadır. Hem dalga yansımaları hem de dinamik dalga yükleri boyutsuz odacık genişliğine bağlı olarak periyodik bir bileşen içerirse de, yeterince geniş boyutlandırılmış bir üst odacık ile herhangi bir dalga için düz düşey yüzü bir yapıya kıyasla oldukça düşük bir yansımaya katsayısı ve daha düşük dinamik yükler elde edilebilmektedir.
- Yapılan deneylerle düzenli dalgalarda yansımaya katsayısının 0.1'in altına kadar indirilebildiği, dinamik dalga itkisinin ve momentinin ise sırasıyla % 25 ve % 35 mertebelerinde azaltılabildiği gözlenmiştir. Düzensiz dalgalarda ise yansımada boyutsuz odacık genişliğine bağlı periyodik bileşenin neredeyse kaybolduğu kaydedilmiş ve yansımaya katsayılarının (bir minimum odacık genişliğinin üstünde) boyutsuz odacık genişliğinden bağımsız olarak 0.50 mertebesinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu, akım odacıklı kesonun özellikle değişken karakterli dalgalar için kullanıldığında, tipik Jarlan kesonuna göre bir avantajı olarak görülebilir.
- Deneysel çalışmada yansımaya açısından en iyi performans önyüzsüz odacık ( $r = \% 100$ ) için yürütülen deneylerde elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak boşluk oranı arttıkça üst odacıktaki dolma/boşalma sisteminin hızlanması ve içerideki hareketliliğin artması ile gelen dalganın enerjisinin daha verimli biçimde harcanması olarak görülmektedir.
- Yansımaya katsayısının boyutsuz odacık genişliği ile değişiminde biri periyodik olarak değişen, ikincisi ise odacık genişledikçe azalan iki bileşen olduğu düşünülmektedir. Periyodik bileşenin alt odacıktaki tınlama özelliği ile harcanan enerjiden, genişlikle artan enerji harcanmasının ise üst odacık içerisindeki akımla sağlandığı düşünülmektedir. Zira daha önce yapılan çalışmalarda sadece tınlama ile elde edilen yansımaya katsayısı pe-

riyodik olarak 1.0 değerine çok yaklaşabilmesine rağmen, bu çalışmada önerilen yapı konfigürasyonunda yansıma katsayısı birkaç seri haricinde çok daha küçük tepe noktaları ortaya çıkarmıştır.

Sonuç olarak bu çalışma ile önerilen yapının verimli dalga sönmleme özellikleri bulunduğu ve düz düşey yüzeyli yapılara nazaran belirgin mertebede daha az dalga yüküne maruz kaldığı sonucuna varılmıştır. Benzer amaçlarla geliştirilmiş başka yapılara göre, çoğunlukla daha ucuza ve daha kolay imal edilip, daha kolay sabitlenebileceği düşünülen akım odacıklı keson, prototip uygulamalarında önemli avantajlar sağlayacağı yargısına ulaşılmıştır.

## Kaynaklar

- Bennet, G.S., McIver, P. ve Smallman, J.V., (1992). A mathematical model of a slotted wavescreeen breakwater, *Coastal Engineering*, **18**, 231-249.
- Chakrabarti, K.S., (1999). Wave interaction with an upright breakwater structure, *Ocean Engineering*, **26**, 1003-1101.
- Chwang, A.T., (1983). A porous wavemaker theory, *Journal of Fluid Mechanics*, **132**, 395-406.
- Chwang, A.T. ve Dong, Z.N., (1984). Wave trapping due to a porous plate, *Proceedings, 15<sup>th</sup> ONR Symposium on Naval Hydrodynamics*, 407-414.
- Chwang, A.T. ve Li, W., (1983). A piston-type porous wavemaker theory, *Journal of Engineering Mathematics*, **17**, 301-313.
- Darwiche, M.K.D., Williams, A.N. ve Wang, K.H., (1994). Wave interaction with a semi-porous cylindrical breakwater, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, ASCE*, **120**, 382-403.
- Dhinakaran, G., Sundar, V., Sundaravadevelu, R ve Graw, K.U., (2002). Dynamic pressures and forces exerted on impermeable and seaside perforated semicircular breakwaters due to regular waves, *Ocean Engineering*, **29**, 1981-2004.
- Fugazza, M. ve Natale, L., (1992). Hydraulic performance of perforated breakwater, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, **118**, 1-14.
- Goda, Y., (1985). Random seas and design of maritime structures, University of Tokyo Press, Japonya.
- Isaacson, M., Premasiri, S. ve Yan, G., (1998). Wave Interactions with Vertical Slotted Barrier, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE*, **124**, 3, 118-126.
- Jarlan, G.L.E., (1961). A perforated vertical wall breakwater, *The Dock and Harbor Authority*, **41**, 486, 394-398.
- Kırkgöz, M.S., Tanrikulu, A.K. ve Dündar, C., (2004). Dynamic analysis of a vertical plate exposed to breaking wave impact, *Ocean Engineering*, **31**, 1623-1635.
- Kondo, H., (1979). Analysis of breakwaters having two porous walls, *Proceedings, Coastal Structures'79*, **2**, American Society of Civil Engineers, Reston VA, USA, 962-977.
- Kriebel, D.L., (1992). Vertical wave barrier: Wave transmission and wave forces, *Proceedings, International Conference on Coastal Engineering*, Venice, Italy, 1313-1326.
- Liu, Y., Li, Y-C. ve Teng, B., (2007b). Wave interaction with a perforated wall breakwater with a submerged horizontal porous plate, *Ocean Engineering*, **34**, 2364-2373.
- Marks, W. ve Jarlan, G.L.E., (1969). Experimental studies on a fixed perforated breakwater, *Proceedings, 11<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering, ASCE*, **2**, 1121-1140.
- Neelamani, S., Bhaskar, N.U. ve Vijayalakshmi, K., (2002). Wave forces on a seawater intake caisson, *Ocean Engineering*, **29**, 1247-1263.
- Neelamani, S. ve Sandhya, N., (2005). Surface roughness effect of vertical and sloped seawalls in incident random wave fields, *Ocean Engineering*, **32**, 395-416.
- Neelamani, S. ve Sandhya, N., (2003). Wave reflection characteristics of plane, dentated and serrated seawalls, *Ocean Engineering*, **30**, 1507-1533.
- EUROTOP; Pullen, Allsop, Bruce, Kortenhaus, Schüttrumpf, Van der Meer, (2007). "European Overtopping Manual", [www.overtopping-manual.com](http://www.overtopping-manual.com).
- Suh, K.D. ve Park, W.S., (1995). Wave reflection from perforated-wall caisson breakwaters, *Coastal Engineering*, **26**, 177-193.
- Takahashi, S. ve Shimosako, K., (1994). Wave pressure on a perforated caisson, *Proceedings, Hydro-Port '94, Volume: 1, Port and Harbour Research Institute, Yokosuka*, 747-764.
- Takahashi, S., Tanimoto, K. ve Shimosako, K., (1994). A proposal of impulsive pressure coefficient for the design of composite breakwaters, *Proceedings, Hydro-Port'94, Volume: 1, Port and Harbour Research Institute, Yokosuka*, 489-504.

- Twu, S.W. ve Lin, D.T., (1991). On a highly effective wave absorber, *Coastal Engineering*, **15**, 389-405.
- Wang, K.H. ve Ren, X., (1993a). Water waves on flexible and porous breakwaters, *Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE*, **119**, 1025-1047.
- Wang, K.H. ve Ren, X., (1993b). An effective wave trapping system, *Ocean Engineering*, **21**, 155-178.
- Williams, A.N. ve Li, W., (1998). Wave interaction with a semi-porous cylindrical breakwater mounted on a storage tank, *Ocean Engineering*, **25**, 195-219.
- Williams, A.N., Mansour, A.M. ve Lee H.S., (2000). Simplified analytical solutions for wave interaction with absorbing-type caisson breakwaters, *Ocean Engineering*, **27**, 1231-1248.
- Yip, T.L. ve Chwang, A.T., (2000). Perforated wall breakwater with internal horizontal plate, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE*, **126**, 5, 533-538.
- Yu, X. ve Chwang, A.T., (1994). Water waves above a submerged porous plate, *Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE*, **120**, 1270-1282.