

KORUMA TABAKASI KÜP BLOKLARDAN OLUŞAN DALGAKIRAN GÖVDE  
KESİTLERİNİN KIRILMAYAN DALGA KOŞULLARI ALTINDA DENGE  
DURUMLARININ ARAŞTIRILMASI

ÖZTUNALI, Bergüzar; İnş. Y. Müh. Araştırma Görevlisi, Cumhuriyet Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, SİVAS.

NUMANOĞLU, Aslı; İnş. Y. Müh. Araştırma Görevlisi, ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06531, ANKARA.

ERGIN Aysen; Prof. Dr. ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kıyı ve Liman Mühendisliği Araştırma Merkezi, 06531, ANKARA.

YALÇINER Ahmet Cevdet; Doç. Dr. ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kıyı ve Liman Mühendisliği Araştırma Merkezi, 06531, ANKARA.

ÖZ

Bu çalışmada, koruma tabakası küplerden oluşan dalgakıranların beş farklı eğim; 1:1.5, 1:2.0, 1:2.5, 1:3.0, 1:3.5 için kırılmayan dalga koşulları altında, düzenli ve düzensiz dalgalar kullanılarak, denge durumları araştırılmıştır. Model deneyleri 1/30 taban eğiminin üzerine, yapının topuk kesiminde 30 cm. su derinliği oluşturularak düzenlenmiştir. Uygulanan model dalga yüksekliği 4.83 ile 19.20 cm.; model dalga dönemi 0.90 ile 1.97 saniye arasında değiştirilmiştir.

Düzensiz dalgalar etkisinde oluşan hasar durumlarının analizi yapıldıktan sonra, Hudson denklemi kullanılarak bütün eğimler için denge katsayısı,  $K_D$ , bulunmuştur. Bulunan  $K_D$  değerleri SPM'dekilerle (CERC, 1984) karşılaştırılmıştır. 1:1.5 Eğim için  $K_D$ , Meer'in formülü kullanılarak da hesaplanmış, daha sonra Hudson ve Meer ile karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmada bölgesel hasar, deney sırasında hasarın artan dalga yüksekliği ve fırtına süresine bağlı gelişimi, topuğun dengeye etkisi gibi parametreler de tartışılmıştır.

## 1.GİRİŞ

Bilindiği gibi ülkemizde dalgakıran tasarımına ilişkin yürütülen projelerde, dalgakıranların koruyucu tabakasında ocak taşı, ocak veriminin yetmediği durumda ise beton blok kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Kaynaklarda beton blok kullanımına ilişkin tasarımda esas alınabilecek denge katsayılarının seçimindeki belirsizlik, bu konunun model araştırmalarıyla incelenmesini gerektirmiştir. Bu amaçla aşağıda anlatılan çalışmada beton blok olarak çarpma kuvvetlerine karşı oldukça dirençli olduğu bilinen, üretimi kolay ve ucuz olan küp bloklar tercih edilmiştir.

Dalgakıran tasarımının en önemli kısmını koruma tabakası için kullanılacak blok ağırlığının bulunması oluşturmaktadır. Bunun için uygulanan tasarım denklemlerinin en yaygın olanı, Hudson denklemidir.(Hedar,1986). Hudson denklemi, kolay uygulanabilir ve dolayısıyla yaygın olmasına rağmen, denklemin düzenli dalgalar kullanılarak türetilmesi ve doğrudan dalga dönemi ve fırtına süresini içermemesi gibi dezavantajları vardır.

Yeni ve günümüzde oldukça popüler olan diğer bir tasarım denklemi ise Van der Meer denklemidir.(Meer,1988).Van der Meer denklemi düzensiz dalgalar kullanılarak elde edilmiş, dalga dönemi, fırtına süresi gibi parametreleri doğrudan içermesiyle günümüzde oldukça önem kazanmıştır. Ancak küp bloklar için, yalnızca yapı eğiminin 1:1.5 olduğu durum çalışılmıştır.

Dolayısı ile koruma tabakası küp bloklardan oluşan dalgakıranların tasarımı konusunda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

## 2. HİDROLİK MODELİN TASARIMI

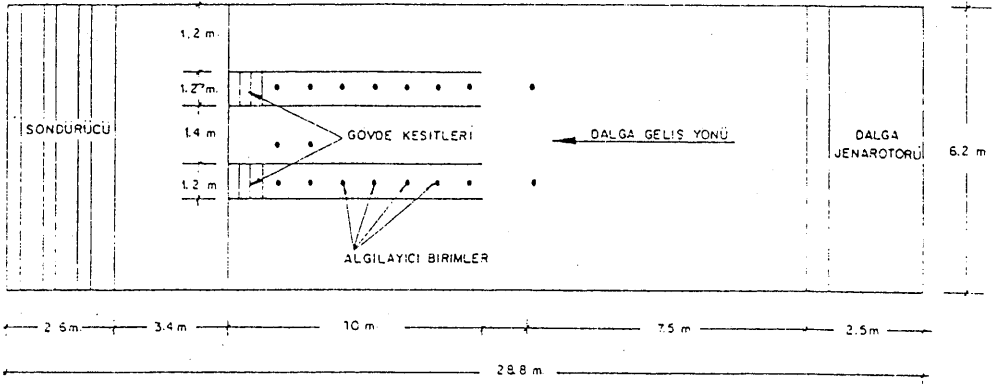
Kıyı ve liman yapılarının planlanması ve tasarımıyla ilgili problemler hidrolik model deneyleri yapılarak çözülebilmektedir.

Deneysel çalışmada, laboratuvarında hazır bulunan model küpler, düzensiz dalga üreticisi tarafından üretilecek model dalga karakteristikleri ve su derinliği düşünülerek, model ölçeği 1/31.08 olarak belirlenmiştir. Model çarpık olmadığı için yatay ve dikey eksenlerde aynı ölçek kullanılmıştır.Model deneylerinde kullanılan diğer ana değişkenlerin ölçekleri Öztunalı (1996) ve Numanoğlu (1996)'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Deneyler sırasında kullanılan düzenli ve düzensiz dalgaları oluşturabilmek için düzensiz dalga üreticisi kullanılmıştır.Düzenli dalga elde edebilmek için model ölçeği, su derinliği, deney süresi, dalga yüksekliği ve dönemini, dalga sentezi yapabilen bir bilgisayar paket programına aktarmak yeterli iken düzensiz dalga üretimi için ilk önce dalga spektrumu tanımlanmalıdır. Bu çalışmada JONSWAP spektrumu kullanılmıştır.

## 3.HİDROLİK MODELİN YAPIMI

Taş dolgu dalgakıran hidrolik model denge deneyleri, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kıyı ve Liman Mühendisliği Laboratuvarı'nda 28.8 m uzunluğunda, 6.2 m genişliğinde ve 1.0 m. derinliğindeki dalga kanalında düzenli (dalga yüksekliği ve dönemi sabit) ve düzensiz (dalga yüksekliği ve dönemi değişen) dalgalarla yapılmıştır. Dalgayapar önüne ve kanal sonuna yerleştirilen enerji emici filtrelerle dalga yansıması en aza indirilmiştir. Gövde deneyleri için kullanılan kanalın plan görünüşü Çizim 1'de gösterilmiştir :



Cizim 1. Hidrolik Model Deneyleri Yapılan Kesitlerin İki Dalga Kanalına Yerleşim Düzeni

Dalgakıran gövdesi model kesitleri, cam duvarlarla ayrılan 1.2 m. genişliğindeki kanallara dalgakıran eğimi 1:1.5, 1:2, 1:2.5, 1:3 ve 1:3.5 olacak şekilde inşa edilmiştir. Tüm eğimler için gövde kesitlerinin çizimleri Öztunalı (1996)'da gösterilmiştir. Dalga aşmasını önleyebilmek için SPM (CERC,1984)'de önerilen tasarıma uyularak kronman duvarı uygulanmıştır. Dalgakıran kesiti çekirdek dolgusu kum, filtre tabakası ise pürüzlü ve açılı ocak taşı, koruma tabakası ise yalnız kúp ile kurulmuştur.

Önceki deneyimler, koruma tabakasında kullanılan malzemenin yerleştirilme yönteminin dalgakıran dengesini önemli düzeyde etkilediğini göstermektedir. Dolayısıyla bu çalışmada uygulanan yöntemin dünya standartlarında olması da gözetilmiş, beton küpler ayrıntılı olarak Öztunalı(1996)'da anlatıldığı gibi, gözeneklilik %46 alınarak yerleştirilmiştir.

Deneylerin başlangıcında 1.1.5 eğimli kesit etek dolgusu olmadan inşa edilmiş, daha sonra karşılaştırma yapabilmek için yine aynı eğimde etek dolgusu SPM(CERC,1984)'deki önerilere uygun olarak yapılmıştır.

Doğal koşullarda genellikle yapı önündeki deniz tabanı belli bir eğim ile derinleşmektedir. Model deneylerinde de bu benzeşimin sağlanması için kanal tabanı eğimi 1/30 olarak inşa edilmiştir.

Her deneyin sonunda dalgakıranda oluşan hasar düzeyinin saptanması ve hasarın kesitin hangi bölgesinde en fazla oluştuğunu görebilmek ve hasar sayımını kolaylaştırmak için dalgakıran koruma tabakasına yerleştirilen küpler, beş farklı renkte boyanmış ve renklerine göre yerleştirilmiştir. Dalgakıranda oluşan hasar düzeyi, dalga etkisi ile yer değiştiren taşların sayılması ile bulunmuştur. Her taşın yer değiştirmesinin saptanması kriteri için BS6349, (1991) önerilen yöntem uygulanmıştır.

### 3.1. Yansıma Analizleri

Dalga kanallarında, dalga üreticisi tarafından üretilen dalgalar model kesitine ulaştıklarında yansıyarak geri dönerler. Geri dönen dalgalar dalga üretici paletinden tekrar yansıyarak modele giderler ve bu olay deney boyunca defalarca tekrarlanır. Bu tekrarlanan yansıma 'Ardarda Yansıma' adı verilmektedir.

Dalga ölçerler tarafından okunan dalga yükseklikleri süperpoze dalga denilen, gelen ve ardarda yansıyan dalga yüksekliklerinin toplamıdır. Denge hesaplarında kullanılan ve dalgakıran koruma tabakasında hasara neden olan dalga,

bunlardan "gelen dalga" olanıdır. İşte bu gelen dalga yüksekliğini ayrıştırabilmek için Goda ve Suzuki (1976)'nin yansıma analizi yöntemi kullanılmıştır. (bkz. Öztunalı,1996). Bu yöntem ile her deney setinde yansıma katsayıları ayrı ayrı bulunmuştur. Bu değerler Öztunalı, (1996)'da ayrıntılı olarak verilmektedir.

#### 4. DENEY PROGRAMI

Dalgakıran denge deneyleri beş farklı yapı eğimi (1:1.5, 1:2, 1:2.5, 1:3,1:3.5) ve her farklı eğim için en az beş dalga özelliği kullanılarak sürdürülmüştür. Kullanılan her dalga özelliğini (dalga yükseklik ve dönemi) sağlayan (düzenli ya da düzensiz) dalgalar, model ölçeğinde 20 dakika süre ile dalgakıran kestine gönderilmiştir. Gönderilen dalga yükseklikleri sırası ile tasarım dalgasının %60, %80, %100, %120, %140 düzeyinde ( $H=1.5$  ile 6.0 m. arasında) seçilmiştir. 20 dakikalık her deney basamağı sonunda dalgakıran koruma tabakasındaki hasar yüzdesi, yer değiştiren taşların sayılması suretiyle bulunmuştur. Hasarın %5 değerini aştığı deney basamağı sonunda deney setine son verilmiştir. Dalga dönemi ise 5 ile 11 saniye arasında değiştirilmiştir. Su derinliği, kırılmayı önlemek amacıyla topukta 30 cm. olacak biçimde tutulmuştur.

#### 5.DENEY SONUÇLARI

Taşdolgu dalgakıranların koruyucu tabakalarında küp blok kullanılmasının, kırılmayan dalga koşulları altında, dalgakıran dengesine etkilerinin araştırılması konulu model deneylerini kapsayan proje çalışması ile elde edilen sonuçlar aşağıda tartışılmaktadır:

##### 5.1 Dalga Özellikleri

Deney sonuçlarına göre çizilen hasar eğrileri göstermiştir ki düzensiz dalga kullanılarak yapılan deneylerdeki hasar, düzenli dalgalar kullanılarak yapılan deneylerdeki hasardan daha fazladır. Bunun sebebi, fırtına dalgaları düzensiz olduğundan, fırtına içindeki birey dalgaların yaklaşık %14'ünün yükseklikleri, o fırtınayı temsil eden belirgin dalga yüksekliğinden daha büyük olmasıdır. Bu durum, her dalgası birbirine benzeş olan düzenli dalga dizininin dalgakırana etkisinden daha fazla etki yaratır.

Düzensiz dalgalar kullanılarak yapılan deneyler, doğa koşullarını daha doğru olarak temsil ettiğinden, bu çalışmada sunulan  $K_D$  değerleri, düzensiz dalga koşulları altında yapılan deneylerle bulunmuştur.

##### 5.2 $K_D$ Değerleri

$K_D$  değerlerini elde edebilmek için deney sonuçlarından elde edilen dalga yüksekliğine bağlı hasar eğrileri basit doğrusal regresyon analizi yapılarak yeniden çizilmiş, %95 güvenlik limitleriyle dangedeki güvenlik alanı oluşturulmuştur. Daha sonra regresyon analizi eğrisi, alt ve üst güvenlik limitleri eğrilerinden %5 hasara denk gelen dalga yükseklikleri bulunmuş ve Hudson denklemine yerine konmuştur.  $K_D$  değerleri Tablo1'de verilmiştir:

Tablo 1 Deney Sonuçlarından elde edilen %5 hasar düzeyine karşılık gelen  $K_D$  değerleri

Eğim ( $\cot\alpha$ )	$K_D$ (Alt Güvenlik Limiti)	$K_D$ (Üst Güvenlik Limiti)	$K_D$ (Regrasyon Analizi)
1.5	1.93	4.35	3.06
2.0	6.81	14.70	10.76
2.5	9.59	13.14	11.39
3.0	10.81	14.30	12.55
3.5	14.05	17.41	16.01

### 5.3. Koruma Tabakası Yüzey Eğimi

SPM(CERC,1984) 'te hasar katsayısı ile dalgakıran koruma tabakası yüzey eğimi ( $\cot\alpha$ ) arasında belirgin bir ilişki verilmemiştir. Ancak bu çalışmadan elde edilen hasar eğrileri ve denge katsayıları incelendiğinde, yüzey eğimi ile denge katsayısının ilişkili olduğu, yüzey eğimi arttıkça hasar katsayısının da arttığı görülmektedir. Yüzey eğimi  $\cot\alpha = 2.0$ , 2.5, 3.0 olduğu durumlarda  $K_D$  değerleri birbirine yakın çıkarken,  $\cot\alpha=1.5$  için oldukça düşük,  $\cot\alpha=3.5$  içinse yüksek çıkmaktadır. .

Gövde kesitlerinde koruma tabakası yüzey eğimi,  $\cot\alpha=1.5$  olan bir dalgakıran, genelde daha ekonomik olmasına karşın, yüzey eğiminin dik olması nedeniyle daha az dengeli bir geometriye sahip olmaktadır. Gövde kesitlerinde, koruma tabakası yüzey eğimi,  $\cot\alpha=3.5$  olan bir dalgakıran, doğal olarak daha dengeli olmasına karşın, yüzey eğiminin yatık olması nedeniyle çok büyük kesit alanları ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden yüzey eğimi  $\cot\alpha=2.0$ , 2.5, 3.0 olan dalgakıranların ekonomi ve denge unsurlarını daha kolay sağlayacağı görülmektedir.

### 5.4. Yerleştirme Yöntemi

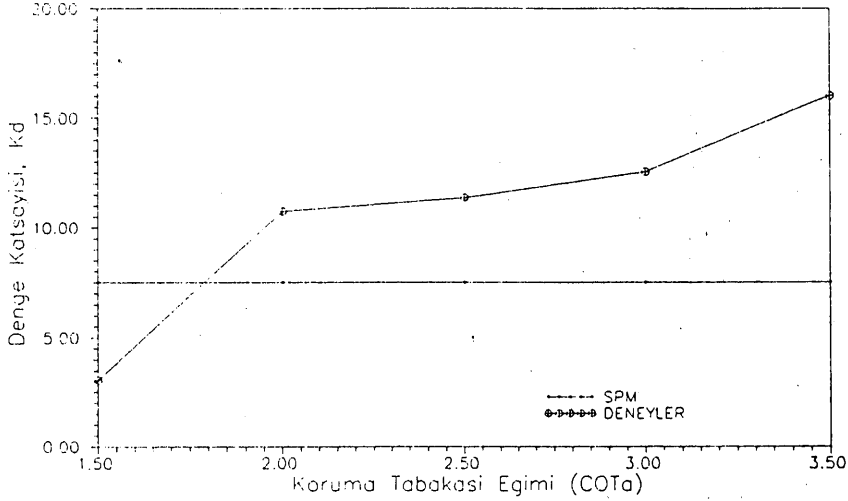
Koruma tabakasının yerleştirilme yöntemi, dalgakıran dengesini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle dalgakıranın topuk bölümünde deniz tabanına bitişik ilk tabakanın (etek dolgusu) yerleştirilme biçimi önemlidir. Çünkü bu bölüm hasarın ilk başladığı yerlerden biridir. Hasarın ilk başladığı diğer yer ise koruma tabakasının su düzeyi ile bulunduğu bölgedir. Hasar başlangıcı ve en yüksek hasar bu iki bölümde görülmüştür. Bu çalışmada izlenen yerleştirme yöntemi, 4. Bölümde açıklandığı gibidir. Bu yerleştirme biçimi, taşdolgu kıyı yapıları ve özellikle dalgakıran inşaatı uygulamalarında izlenen yöntemle benzerdir. Koruma tabakasının yerleştirme yöntemindeki farklılıkların dalgakıran dengesine etkilerinin incelenmesi özel bir çalışma konusu olabilecektir.

### 5.5. Etek Dalgusu

Yapılan deneylerde dalgakıran koruma tabakasının denizle bulunduğu yerin dolgu ile korunmasının (etek dolgusu) dalgakıran dengesine etkileri de araştırılmıştır. Etek dolgusu olmadan ve etek dolgusu ile korunarak inşa edilen benzer kesitlerin denge durumları arasında çok belirgin farklar ortaya çıkmıştır. Etek dolgusu olmadan yapılan deneylerde daha büyük hasar gözlenmiştir. Bu gözlemler ışığında, deneylerde kullanılan kesitlerde etek dolgusu kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan etek dolgusu, koruma tabakası malzemesinden (küp) olmak üzere deniz tabanı üzerine bir sıra olarak kullanılmıştır.

## 5.6. Kaynaklardaki Benzer Çalışmalarla Karşılaştırmalar

SPM(CERC,1984), koruma tabakası küplerden oluşan dalgakıranların gövde kesiminde, kırılan dalga koşulları için  $K_D$  değerini 6.5, kırılmayan dalga koşulları içinse 7.5 vermektedir. Bu değerler dalgakıran yüzey eğimlerinin her değeri için geçerli sayılmaktadır. Oysa ki model deneyleri sonucunda bulunan hasar katsayıları dalgakıran yüzey eğiminin farklı değerleri için farklılıklar göstermektedir (Tablo1). Bu değerlerle SPM(CERC,1984)'te verilen denge katsayıları karşılaştırıldığında, SPM'in değerleri,  $\cot\alpha=1.5$  için tasarım-altı birim küp ağırlığı verirken,  $\cot\alpha=3.5$  için ise tasarım-üstü birim küp ağırlığı vermektedir.Çizim 5.6.1'de SPM'de verilen  $K_D$  değerleri ile deney sonuçları karşılaştırılmaktadır:



Çizim 2. CERC(1984)'de verilen  $K_D$  değerleri ile deneysel  $K_D$  değerlerinin karşılaştırılması

Van der Meer(1988) küp bloklar için yalnızca 1:1.5 eğimle çalıştığı için ancak bu eğimle karşılaştırma olanağı bulunabilmiştir. Buna göre hasarın olmadığı durumda  $K_D$  değerleri birbirine yakın çıkarken %5 hasarda fark gözlemlenmektedir.(Ayrıntılı bilgi için bkz.ÖZTUNALI (1996))

## 6. SONUÇ

Bu çalışma ile, koruma tabakası küp bloklardan oluşan dalgakıranlarda, yapı eğiminin denge katsayısı,  $K_D$ , 'yi etkileyen bir faktör olduğu; özellikle eğimin 1:2, 1:2.5, 1:3 olduğu durumların denge ve ekonomi açısından tasarıma daha uygun olduğu; etek dolgununun dalgakıranın dengesini artırdığı ve düzensiz dalgalar ile çalışmanın tasarımcının daha doğru ve güvenli tarafta olmasını sağlayacağı ortaya çıkarılmıştır.Yerleştirme düzeni, dalgakıran kafa kesiti ve diğer tipteki beton blokların dengeye etkileri üzerine yapılacak çalışmalar koruma tabakası beton küplerden oluşan dalgakıranların denge durumlarının daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

## 7. KAYNAKLAR

CERC (Coastal Engineering Research Center), (1984), "Shore Protection Manual", U.S. Army Coastal Engrg. Research Center

Goda, Yoshimi (1984). "Random Seas and Design of Maritime Structures." University of Tokyo Press

Goda, Yoshimi, and Suzuki, Yasumasa (1976). "Estimation of Incident and Reflected Waves in Random wave experiments." Proc. 15th. Int. Conf. Coastal Engg., Hawaii, 1976, pp.828-845.

Günbak, A.R. (1996). "Antiğer Blokların Denge Katsayısı İle İlgili Literatür Araştırması" ODTÜ, Ankara

Hedar, P.A., (1986). "Armor Stability of Rubble Mound Breakwaters", J. of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE Vol.112,WW

Numanoğlu, A.,(1996). 'An Experimental Study on The Stability Coefficient For Trunk Section of Cubic And Combined Cube And Natural Stone Armoured Breakwaters Under Breaking Waves' M.S. Thesis, METU,Ankara.

Öztunalı, B.,(1996). ' An Experimental Study on The Stability Coefficient For Trunk Section of Cubic Armoured Breakwaters Under Nonbreaking Waves' M.S. Thesis, METU,Ankara.

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

Van der Meer, J.W., (1988). "Rock Slopes and Gravel Beaches Under Wave Attack.Ph.D. thesis, Delft Univ. Technol.

Van der Meer, J.W., (1993). "Conceptual design of Rubble Mound Breakwaters"Deft Hydraulics, Publication No:483

12