

## ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

## TAŞ DOLGU DALGAKIRANLARIN KORUMA TABAKASINDA TAŞ VEYA ANTİFER MALİYET ANALİZİ

Sepanta NAİMİ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul, Türkiye  
sepantanaimi@aydin.edu.tr, ORCID:0000-0001-8641-7090

Emrah METİN<sup>2</sup>

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul, Türkiye  
emrahmetin@stu.aydin.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2379-9866

GELİŞ TARİHİ/RECEIVED DATE: 11.06.2021 REVİZYON TARİHİ/REVISION DATE: 04.07.2021

**Özet**

Bu çalışmada taş dolgu dalgakıranlarda çeşitli eğimler için farklı dalga yükseklikleri ve su derinliklerinde dalgakıran kesitleri hazırlanmıştır. Hazırlanan kesitler çekirdek tabakası, çift sıra filtre tabakası ve çift sıra düzenli yerleştirilmiş koruma tabakasından oluşmaktadır. Dalgakıran kesitlerinde Hudson bağıntısı kullanılarak koruma tabakasındaki blok ağırlıkları ve kullanılacak elemanların seçimi yapılarak maliyetler hesaplanmıştır. Maliyetler arasındaki farklar yapı eğimi, su derinliği, dalga kırılma durumu ve dalga yüksekliği gibi parametrelere bağlı olarak değerlendirilmiştir. Yapı eğimindeki artış stabilite üzerinde olumlu etkiye sahipken, proje dalga yüksekliğindeki artış olumsuz etki göstermektedir. Su derinliği ve proje dalga yüksekliği yanında dalgakıran eğimi de maliyetler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca, aynı tasarım koşullarında dalgakıranların kafa kısmındaki koruma tabakası ağırlığının gövdedekinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Buradan dalgakıranların kafa kısmının daha hassas olduğu anlaşılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Taş Dolgu Dalgakıran, Dalgakıranlarda Maliyet, Koruma Tabakası Ağırlığı, Hudson Bağıntısı, Antifer Blok.

**COST ANALYSIS OF RUBBLE MOUND BREAKWATERS FOR RUBBLE OR ANTIFER ARMOR LAYER****Abstract**

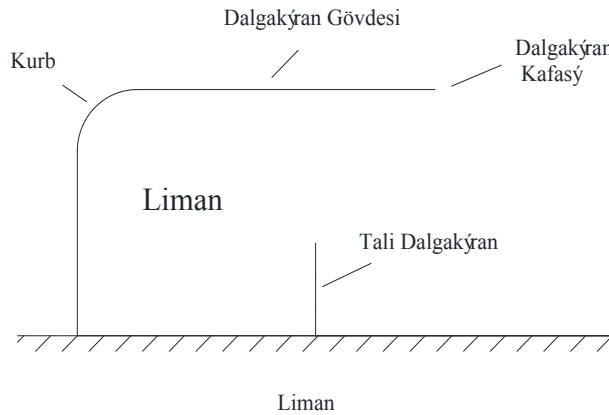
In this study, rubble mound breakwater sections were prepared for different wave heights, slopes and water depths. The designed breakwaters consist of a core layer, a double filter layer and a double regularly placed armor layer. Weight of armor layer were selected by using the Hudson Equation for designed breakwater sections and costs are calculated. The differences between the costs are evaluated depending on parameters such as structure slope, water depth, wave breaking condition and wave height. While increase in slope of the building has a positive effect on the stability, increase in the project wave height has a

negative effect. Besides water depth and project wave height, slope of breakwater has also a great impact on costs. Furthermore, it is seen that weight of armor layer in the head section of breakwater is higher than trunk section under the same design conditions. Thus, it is understood that head section of breakwater is more sensitive.

**Keywords:** Rubble Mound Breakwater, Cost of Breakwaters, Weigth of Armor Layer, Hudson Equation, Antifer Block.

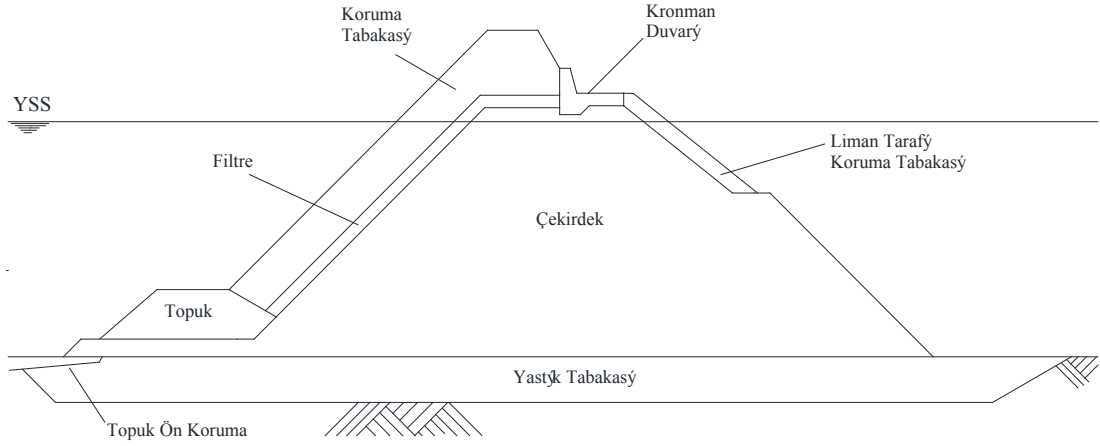
## 1. GİRİŞ

Mühendislik çalışmalarıyla amaçlanan emniyet, ekonomi ve estetik dengesinin korunması; düşük maliyetli güvenli yapıların tasarımını gerektirmektedir. Boyutları düşünüldüğünde maliyet ve stabilitenin dengelenmesi kıyı koruma yapılarında oldukça önemli yer tutar. Kıyı koruma yapıları olarak tasarlanan dalgakıranlar, deniz vasıtalarına barınak ve liman işlevlerinin yürütülmesine olanak sağlayan korunaklı su alanları oluşturmak için tasarlanmaktadır (Yüksel ve Çevik, 2009). Eski dönemlerde, koylar gibi doğal korunaklı alanlar liman işlevlerini karşılarken, zamanla yerini dalgakıranlarla oluşturulan limanlara bırakmıştır. Böylelikle Şekil 1’de görüldüğü gibi; etrafını çevreleyen dalgakıranlar sayesinde deniz vasıtalarının kolayca yanaşabildiği ve gemilerin elleçleme yapabildiği kıyı yapıları oluşturulmuştur (Özbahçeci, 2015).



**Şekil 1.** Geleneksel liman yerleşimi (Yüksel ve Çevik, 2009).

Liman dalgakıranları sınıfında yer alan taş dolgu dalgakıranlar, çeşitli büyüklük ve şekildeki taşların rastsal dizilimiyle; ocak artığından oluşan çekirdek tabakası üzerinde yer alan bir ya da iki sıra kaplama tabakasından oluşmaktadır (aşağıya bakınız-Şekil 2). En büyük dalga istatistiği verileri kullanılarak boyutlandırılan bu yapılar, ekonomik ömürleri göz önüne alınarak tasarlanmakta ve inşa edilmektedir (Yüksel ve Çevik, 2009), (Taş, 2006).



**Şekil 2.** Taş dolgu dalgakıranlardaki yapısal tanımlar (BS 6349-7, 1991).

Doğru projelendirme ve uygulama sağlıklı yapı ömrünü etkileyen önemli parametrelerdir (Naimi ve Özdemir, 2020). Deniz yapıları hiç hasar olmaması ya da az hasar olması durumları ele alınarak tasarlanmaktadır. Hasarın oluşmaması durumuna göre yapılan tasarımlar stabiliteyi arttırdıklarından ekonomik çözümlenmeyi kısıtlamaktadırlar. Ancak belli bir hasar durumu varsayılarak yapılan tasarımlar ekonomik sonuç verebilmektedir (Kabdaşlı, 1992). Hasar, yapının tamamında ya da tabaka elemanlarındaki yer değiştirme şeklindedir (Naimi ve Hrizi, 2019). Koruma yapıları dalga etkisi karşısında tanımlanan stabilite parametresine göre sınıflandırılabilir. Stabilite parametresi; 1'den küçük ise kesonlar ve kıyı duvarları, 1-4 arasında stabil dalgakıranlar, 3-6 arasında S şekilli ve basamaklı dalgakıranlar, 6-20 arasında kaya eğimli kıyılar, 15-500 arasında çakıl kıyılar, 500'den büyük olduğu durumlarda kumul ve kum tepeleri olarak sınıflandırılmaktadır. Stabilite parametresine göre sınıflandırılan yapılar tasarım koşulları altında davranışlarına göre kendi içlerinde statik veya dinamik olarak stabil yapılar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Kesonlar ve geleneksel dalgakıranlar statik stabil dalgakıran sınıfında yer alırlar. Statik stabil yapılarda hiç hasar olmaması ya da çok az hasar olması istenir (Van der Meer, 1988).

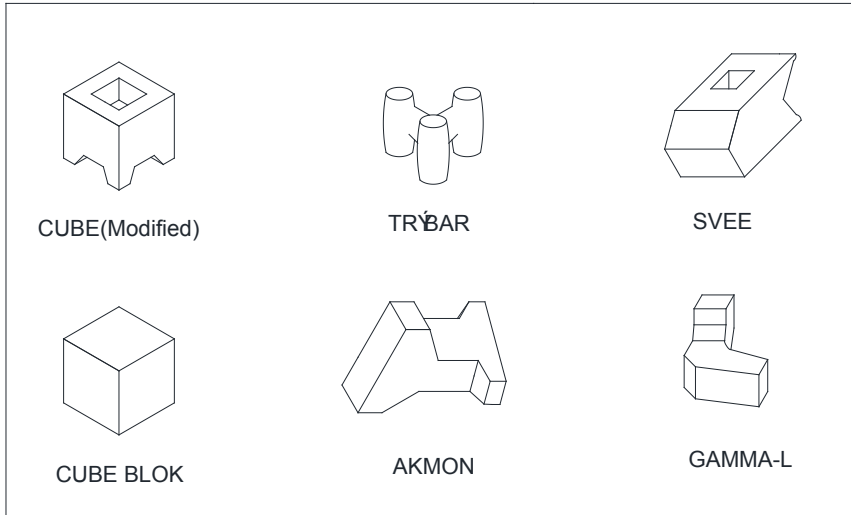
Taş dolgu dalgakıranlardaki stabilite hesabında kullanılan çok sayıda tasarım denklemi bulunmasına rağmen en yaygın olanları Hudson ve Van Der Meer'e aittir (Özbahçeci ve Bilyay 2007), (Turan, 2000). Kafa kısımları, dalgakıranların en hassas olduğu kısımdır. Bu kısımdaki koruma tabakasında taş kullanılması durumunda hesaplanan taş ağırlığı oldukça yüksektir. Ocaklardan bu oranda taş çıkarmak ve inşaat alanına taşımak yüksek maliyet getireceğinden beton blokların avantajı görülmektedir (Taş, 2006). Taş dolgu dalgakıranlarda beton blok kullanımında, bloklar çekirdek tabakasının üzerine iki sıra halinde kaplanmaktadır (Hales, 1981). Bloklardaki yüksek denge katsayısı hacimsel olarak kazanç sağlar. Prefabrik beton blokların, yapıya yakın bir yerde dökülebilmesi ve depolanabilmesi maliyet açısından önemlidir (Taş, 2006).

Maliyet analizleri için çeşitli açık deniz dalga yükseklikleri ve su derinlikleri için dalgakıran kesitleri hazırlanmıştır. Kesit hesabında stabilitenin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan Hudson bağıntısından yararlanılmıştır. Hazırlanan dalgakıran kesitlerinde çekirdek tabakasının üst kotunun +0,5m olduğu kabulü ile çift sıra filtre tabakası kullanılmıştır. Yatayla 1/1,5 eğime sahip, yüksekliği 0,5m ve genişliği 8m olan çekirdek üzerine diğer tabakalar yerleştirilmiştir. Filtre tabakaları üzerinde koruma tabakasının çift sıra yerleşimi ile dalgakıran kesiti tamamlanmıştır. Filtre ve koruma tabakalarında 1/1,5, 1/2, 1/2,5 ve 1/3 eğimleri için kesit hesapları tekrarlanmıştır. Oluşturulan kesitlerden maliyetler hesaplanarak, çeşitli parametrelere bağlı değişimler irdelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Koruma Tabakası Elemanlarının Seçimi

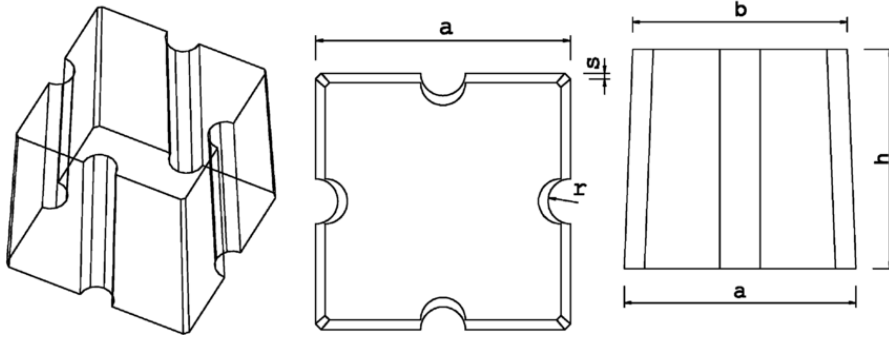
Taş dolgu dalgakıranların koruma tabakasında taş veya yapay beton bloklar kullanılabilir. Koruma tabakasında taş kullanımı ancak belli stabilite değerine kadar tercih edilmektedir. Taş dolgu dalgakıranlarda ocak taşı kullanılarak oluşturulan kaplama tabakası ülkemizde maksimum 12-15 ton kategorisinde tasarlanmaktadır. Bu durum ocak taşının belli miktarın üzerinde temini ve taşınmasının güçlüğünden kaynaklanmaktadır. Yaygın olarak bu kategoride taş kullanımı yerine, beton blok koruma tabakası planlanmaktadır (Yüksel, ve Çevik, 2009). Geleneksel dalgakıranlarda prefabrik beton blok kullanımına 20. yüzyılın sonlarında başlanmıştır. Şekil 3' te bazı tipleri görülen yapay beton blokların kullanımıyla dalgakıranlardaki maliyet azaltılmış ve kullanım ömrü arttırılmıştır (Taş, 2006). Ayrıca beton blokların kullanımı stabiliteyi yükselttiğinden güvenlik ve ekonomi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Hales, 1981).



**Şekil 3.** Yapay beton blok tipleri (Yüksel vd., 2016).

Ülkemizde yapay beton bloklardan genellikle antifer bloklar tercih edilmektedir. Antifer bloklar, birbirlerine kilitlenme özelliği olan materyallerdir. Bu özellik düşük malzeme ağırlığında büyük stabilite sunmaktadır. Bu durum dalgakıranların yapım maliyeti açısından avantajlıdır (Yüksel ve Çevik, 2009).

Şekil 4'te plan görünüşü ve kesit alanı verilen antifer bloklarda; a antifer bloğun taban genişliği, b bloğun üst kısmının genişliği, r dört kenarındaki oyukların yarıçapı, h bloğun yüksekliği, s dört köşesindeki pah kırma ölçüsü olarak tanımlanmaktadır (Yağcı ve Kabdaşlı, 2003).



Şekil 4. Antifer blok oblik, plan görünüşü ve kesit alanı

## 2.2. Dalgakıranlarda Stabilite Hesabı

19. yüzyılda başlayan taş dolgu dalgakıran çalışmalarında önceleri blok ağırlığının hesabında gözlem ve deneyimler kullanılıyorken, daha sonraları yapılan çalışmalarla 20'yi aşkın bağıntı önerilmiştir. Taş dolgu dalgakıranların koruma tabakasının taş ağırlığının belirlenmesinde, hidrolik model deneylerinin etkisinde bulunan tasarım denklemleri kullanılmaktadır (Turan, 2000). Dalgakıranların ön tasarımında genellikle Hudson (1959) ve Van der Meer (1987)' e ait bağıntılar tercih edilmektedir. Aynı tasarım dalgasında ikisinden elde edilen sonuçlar farklılık göstermektedir. Hudson bağıntısı kolay kullanılabilir olması nedeniyle uzun süre kullanılmıştır (Özbahçeci ve Bilyay, 2007).

Hudson bağıntısını sorgulayan Van der Meer, düzensiz dalgalar ile yaptığı deneylere dayanarak kendi bağıntılarını önermiştir. Van der Meer'in önerdiği bağıntılarda daha fazla değişken bulunmasına rağmen Hudson bağıntısının kullanımını bitirememiştir (Özbahçeci, ve Bilyay, 2007). Van der Meer, kırılan ve kırılmayan dalga koşullarını ele almasının yanında; bu dalga koşullarında yapıya gelen dalga sayısı, dikliği ve yapının geçirimini irdelemesiyle de avantaj sağlamıştır. Ayrıca yapıdaki hasar parametresini içermesi bakımından da önemlidir. Ancak uygulanan yapı şevinin artmasıyla stabilitenin arttığı sonucunu vermesi yanlış bir varsayım olarak görülmektedir (Turan, 2000).

Van der Meer'in önerdiği bağıntılar,

Kırılan dalgalar için:

$$\frac{H_S}{\Delta D_{n.50}} = 6.2P^{0.18} \left[ \frac{S}{\sqrt{N}} \right]^{0.2} \zeta_m^{-0.5} \quad (1)$$

Kırılmayan dalgalar için:

$$\frac{H_S}{\Delta D_{n50}} = 1.0P^{-0.13} \left[ \frac{S}{\sqrt{N}} \right]^{0.2} \sqrt{\cot\alpha \zeta_m^p} \quad (2)$$

şeklindedir. Burada  $N_s$  stabilite katsayısı, boyutsuz kıyı benzerlik parametresi,  $\Delta D_{n50}$  blokların %50'sinin nominal çapı, P permeabilite katsayısı, S hasar seviyesi şeklinde ifade edilmektedir (Van der Meer, 1987).

Daha öncesinde de belirtildiği gibi stabilite hesabı birkaç farklı ifadeyle bulunabilmektedir. Ancak en yaygın kullanılan ifade Hudson (1959) bağıntısıdır,

$$W = \frac{H^3 \gamma_s}{K_D S_r^3 \cot\theta} \quad (3)$$

$$S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \quad (4)$$

burada, W koruyucu tabaka taş ağırlığı, H yapı önündeki proje dalgası, taşın özgül kütlesi, suyun özgül kütlesi, stabilite katsayısıdır (boyutsuz). Hudson'un ampirik formülü 1/1,5' dan 1/5'e kadar değişen koruyucu tabaka eğimlerinde geçerlidir.

Hudson bağıntısında dalga özellikleri ve dalgakıranlarda tasarlanan bölüme göre farklılık gösteren  $K_D$  katsayısının seçimi oldukça önemlidir (Turan, 2000). Taş dolgu dalgakıranların koruma tabakasında taş kullanılması ve düzensiz dalga koşullarında, Hudson bağıntısında kullanılacak denge katsayısı değerleri gövde kesiti için Tablo 1'de, kafa kesiti için Tablo 2'de verilmektedir.

**Tablo 1.** Dalgakıran gövdesi için  $K_D$  değerleri tasarım dalgası  $H=H_{1/10}$  (CERC, 1984).

Taş Şekli	Yerleştirme	Hasar D=%0-5	
		Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga
Pürüzlü	Düzensiz	2,00	4,00

\* Eğim Açıları  $1,5 \leq \cot\theta \leq 3,0$  için verilmiştir.

**Tablo 2.** Dalgakıran kafası için  $K_D$  değerleri tasarım dalgası  $H=H_{1/10}$  (CERC, 1984).

Taş Şekli	Yerleştirme	Hasar		Yapı Eğimi Cotθ
		Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga	
Pürtüzlü	Düzensiz	1,90	3,20	1,50
		1,60	2,80	2,00
		1,45	2,55	2,50
		1,30	2,30	3,00

Taş dolgu dalgakıranların koruma tabakalarında antifer blok kullanılması, koruyucu topuk yapılması durumlarında, çeşitli dalgakıran eğimleri için düzensiz dalga koşullarında; Hudson bağıntısında kullanılacak denge katsayısı değerleri gövde kesiti için Tablo 3’de, kafa kesiti için Tablo 4’te verilmektedir.

**Tablo 3.** Gövde kesiti için önerilen denge katsayıları ( $K_D$  katsayıları) (Yalçiner vd., 1999).

GÖVDE KESİTİ (Hasar %0-5)		
Cot θ	Kırılmayan Dalga Koşulları	Kırılan Dalga Koşulları
	Antifer	Antifer
1,5	5,00	4,00
2,0	7,00	5,50
2,5	8,00	6,50
3,0	9,00	7,50

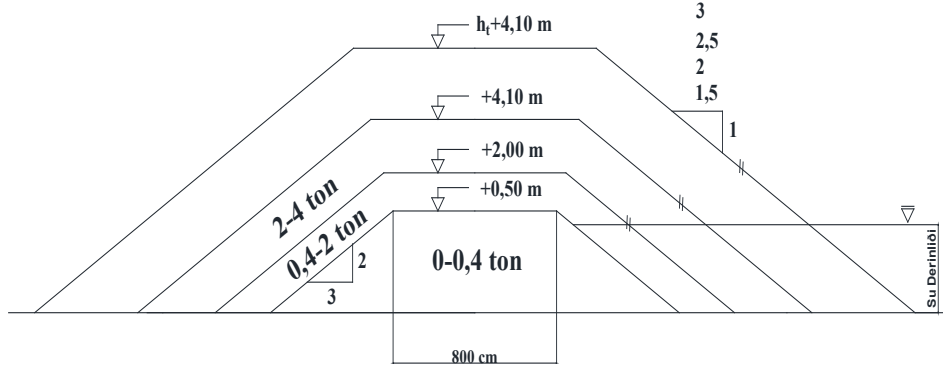
**Tablo 4.** Kafa kesiti için önerilen denge katsayıları ( $K_D$  katsayıları) (Yalçiner vd., 1999).

KAFA KESİTİ (Hasar %0-5)		
Cot θ	Kırılmayan Dalga Koşulları	Kırılan Dalga Koşulları
	Antifer	Antifer
1,5	4,00	3,50
2,0	5,50	4,50
2,5	6,50	5,50
3,0	7,50	6,50

### 3. UYGULAMA

#### 3. 1. Kesit Alanlarının Belirlenmesi

Taş dolgu dalgakıranlarda 3-7m arasındaki ardışık dalga yükseklikleri ve 4-20 m arasındaki ardışık su derinlikleri için kesit alanı hesabı yapılmıştır. Alan hesabı su derinliğinin proje dalga yüksekliğinden büyük olduğu değerler için yapılmaktadır. Su derinliği ve yapı eğimindeki değişim beraberinde kesitte değişimi getirmektedir. Her tabaka için kesit alanı değerleri ayrı ayrı bulunarak dalgakıran maliyetlerine ulaşılmaktadır. Çekirdek tabakasının eğimi, kırılan ve kırılmayan dalga koşulları için sabit 1/1,5 olarak alınmıştır. Filtre tabakaları ve koruma tabakası için eğim değerleri 1,5-3 arasında ardışık 0,5 farkla değişmektedir. Yapı eğimi bu tabakaların her birinde aynı değere sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 4’te taş dolgu dalgakıran kesiti tabakalarına ait kotlar ve eğimler verilmektedir.



**Şekil 5.** Taş dolgu dalgakıranlarda kesit tabakalarının kotları ve eğimleri

Hudson bağıntısı kullanılarak gövde ve kafa kesiti için koruma tabakası ağırlığı hesabı yapılmıştır. Denge katsayısı değerleri, verilen çizelgelerden dalga koşulu ve yapı eğimi için okunmaktadır. Dalga kuvvetine karşı dalgakıran stabilitesi için 13t taştan daha büyük değerlere ihtiyaç olduğu durumlarda; aynı proje dalga yüksekliği, yapı eğimi ve dalga koşulu için hesaplanan antifer bloklar tercih edilmiştir.

Taş dolgu dalgakıranlarda, koruma tabakasında taş kullanılması durumunda koruyucu tabaka yüksekliğinin hesabında Denklem (5)'ten, antifer blok kullanılması durumunda ise Denklem (6)(7)' den yararlanılmaktadır (Yüksel Proje, 2007).

$$h_t = 2 \sqrt[3]{\frac{W}{\gamma_s}} \quad (5)$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{W}{0.8\gamma_s}} \quad (6)$$

$$h_t = 2a \quad (7)$$

Koruma tabakası yüksekliği, çeşitli yapı eğimlerindeki 3-7m arasındaki ardışık dalga yüksekliklerinde kırılmayan dalga koşulundaki 4-20m arasındaki ardışık su derinlikleri için dalgakıran kesitlerinden elde edilen blok ağırlıkları kullanılarak hesaplanmıştır. Kırılan dalga koşulundaki dalgakıranlarda ise hesaplanan dalga kırılma derinliği ve kırılma yüksekliği değerleri kullanılarak koruma tabakası yüksekliği belirlenmiştir.



### 3. 2. Maliyet Hesabı

Taş dolgu dalgakıranlarda maliyetler, kesitlerden elde edilen değerlerin 1m uzunluk için dönüştürülmesi ve uygun birim fiyatlar ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Koruma tabakasında taş veya antifer blok kullanımına göre hesaplama şekli değişmektedir. Antifer blok kullanımında %56 boşluk oranı alınarak maliyet hesaplanmaktadır. Antifer bloklarda maliyet hesabında kalıp ve taşıma maliyetleri de hesaba dahil edilmektedir. Kalıp maliyetlerinin hesabında, 10 adet kalıp kullanıldığı varsayılmıştır. Antifer blok kalıbı, bloğun dört kenarını sarmaktadır. Antifer bloklarda kalıp maliyeti, Şekil 4' te verilen kesit alanı ve plan görünüşünden yararlanılarak Denklem (8)(9)'dan hesaplanmaktadır (Frens, 2007).

$$a = 1.076 \sqrt{\frac{W}{0.8\gamma_s}} \quad (8)$$

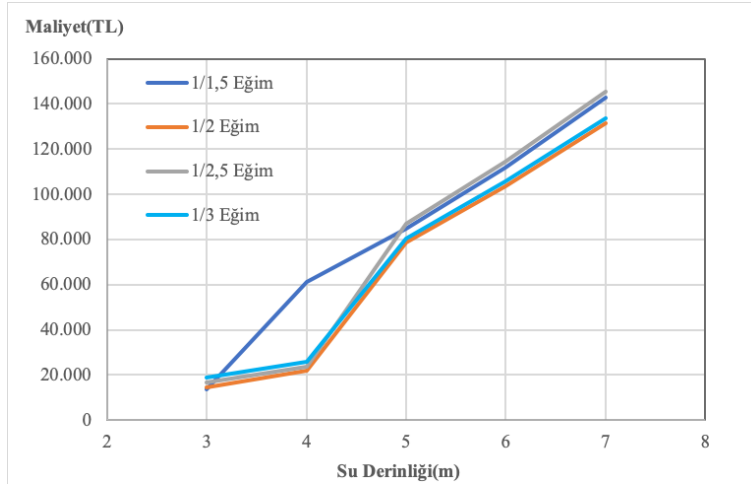
$$a = 1.076 \sqrt{\frac{W}{0.8\gamma_s}} \quad (9)$$

Ancak hesap kolaylığı açısından antifer blokların dikdörtgen prizma olduğu varsayılmıştır. Tablo 5' te verilen birim fiyatlardan ilgili kesitler için gerekli değerler alınarak maliyet hesabı yapılmıştır.

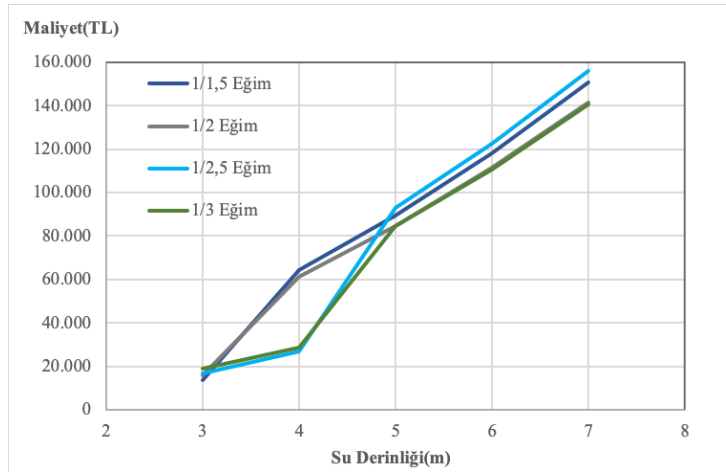
**Tablo 5.** Maliyet hesabında kullanılan birim fiyatlar (LYDB, 2021).

Tabaka Adı	Poz No	İşin Cinsi	Ölçü Birimi	Birim Fiyat (TL)
Çekirdek Tabakası	741.010.002	(0-0,4) ton taşlarla anroşman yapılması	Ton	22,19
İkinci Tabaka	741.010.003	(0,4-2) ton taşlarla anroşman yapılması	Ton	23,85
Üçüncü Tabaka	741.010.006	(2-4) ton taşlarla anroşman yapılması	Ton	27,4
Koruma Tabakası	741.010.007	(4-6) ton taşlarla anroşman yapılması	Ton	31,84
Koruma Tabakası	741.010.009	(6-8) ton taşlarla anroşman yapılması	Ton	33,55
Koruma Tabakası	741.010.010	(8-10) ton taşlarla anroşman yapılması	Ton	36,58
Koruma Tabakası	741.010.012	(10-12) ton taşlarla anroşman yapılması	Ton	40,51
Koruma Tabakası	741.010.013	(12-15) ton taşlarla anroşman yapılması	Ton	44,89
Koruma Tabakası	740.800.006	Saçtan antifer beton blok kalıbı yapılması	M <sup>2</sup>	43,39
Koruma Tabakası	740.300.010	Antifer beton blokların taşınması ve yerine konması (Karadan)	M <sup>3</sup>	71,81
Koruma Tabakası	740.260.052	E sınıfı demirsiz beton kırmataş ile 300 doz	M <sup>3</sup>	382,83

Taş dolgu dalgakıranlarda, çeşitli yapı eğimleri ve kırılan dalga koşulunda su derinliğine göre maliyetin değişimi gövde kesiti Şekil 6'da, kafa kesiti için Şekil 7'de verilmektedir.

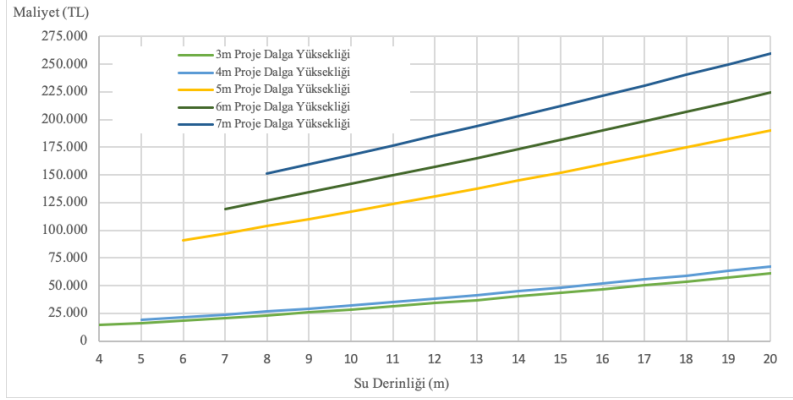


**Şekil 6.** Kırılan dalga koşulundaki gövde kesiti su derinliği-maliyet grafiği

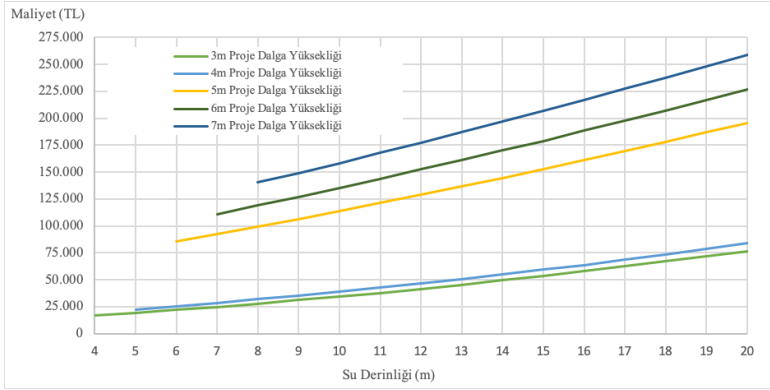


**Şekil 7.** Kırılan dalga koşulundaki kafa kesiti su derinliği-maliyet grafiği

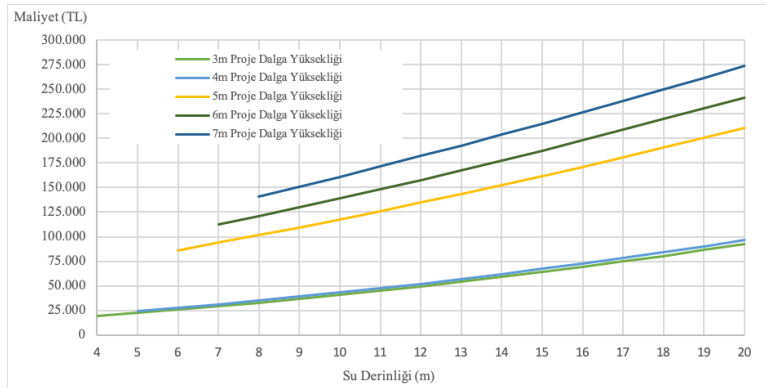
Kırılmayan dalga koşulundaki dalgakıranlarda maliyet hesabı, su derinliğinin proje dalga yüksekliğinden büyük olduğu değerler için yapılmıştır. Su derinliği olarak 4-20 m arasındaki ardışık değerler alınmıştır. Kırılmayan dalga koşulundaki su derinliğine göre maliyetin değişimi çeşitli yapı eğimlerinde kafa kesiti için Şekil 8'de, gövde kesiti için Şekil 9'da verilmektedir.



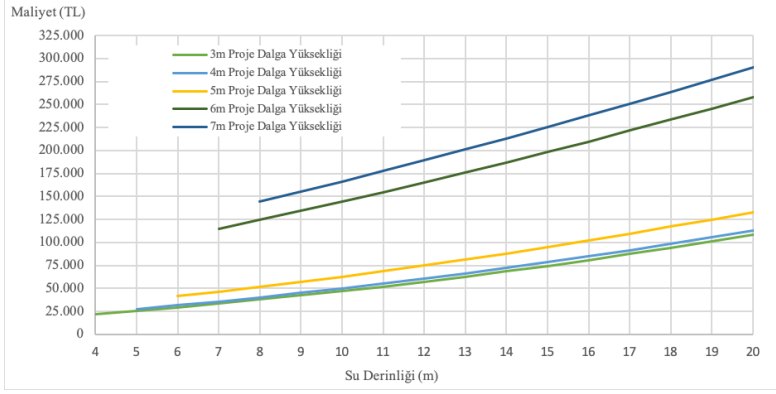
(a) 1/1,5 eğim



(b) 1/2 eğim

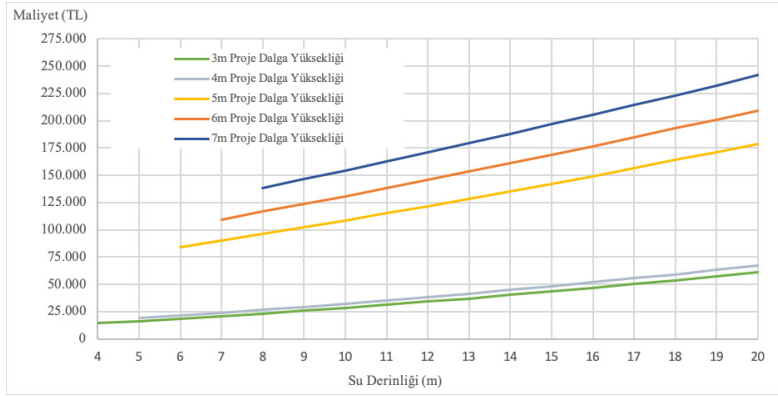


(c) 1/2,5 eğim

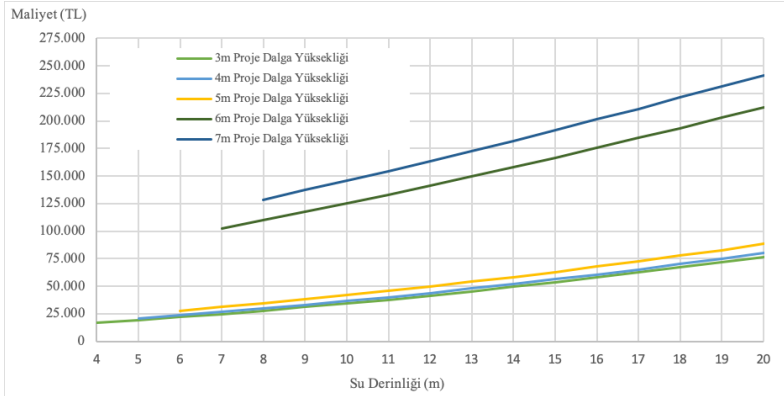


(d) 1/3 eğim

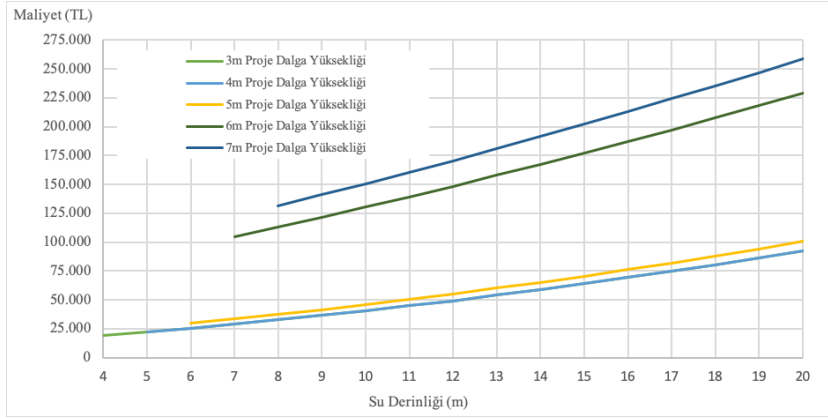
Şekil 8. Kırılmayan dalga koşulundaki kafa kesiti için su derinliği-maliyet grafikleri



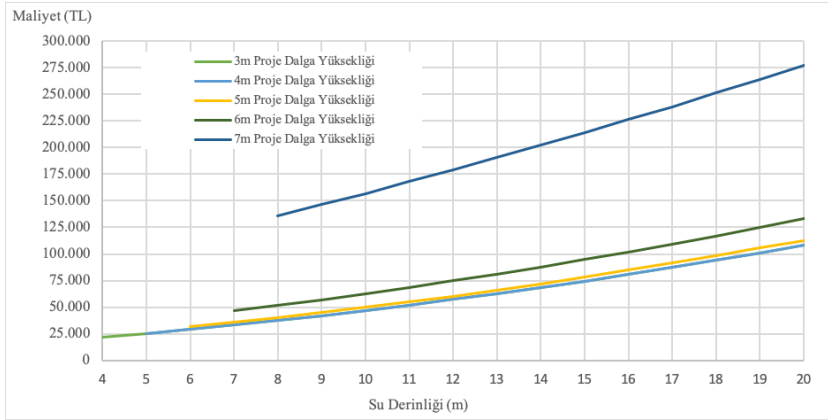
(a) 1/1,5 eğim



(b) 1/2 eğim



(c) 1/2,5 eğim



(d) 1/3 eğim

Şekil 9. Kırılmayan dalga koşulundaki gövde kesiti için su derinliği-maliyet grafikleri

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Blok ağırlıklarının belirlenmesinde gözlem ve deneyimlerin kullanıldığı dönemlerde imalatı yapılan dalgakıranlar mühendislik açısından uygun değildir. Planlanan yapılarda dalga etkisiyle oluşacak hasarın tam tahmini olanaksızdır.

Taş dolgu dalgakıranlarda stabilite hesabında kullanılan bağıntıların oluşturulmasında hidrolik model deneyleri kullanılmıştır. Çeşitli parametrelerin yapı üzerindeki etkisi düşünülerek oluşturulan bağıntılarda yine de bazı belirsizlikler mevcuttur. En yüksek faydanın sağlanabilmesi için bağıntıların nasıl oluşturulduğu incelenmelidir. Hudson bağıntısının düzenli dalga deneyleri sonucunda, Van der Meer bağıntısının ise düzensiz dalga deneyleri sonucunda oluşturulduğu unutulmamalıdır.

Taş dolgu dalgakıranlarda gövde ve kafa kesitinde hesaplanan blok ağırlıklarının, aynı proje dalgası yüksekliğinde eğim arttıkça azaldığı gözlemlenmektedir. Ancak proje dalga yüksekliği arttıkça blok ağırlığı da artmaktadır. Bu durumlar göz önüne alındığında eğimindeki artışın stabilite üzerinde olumlu, proje dalga yüksekliğindeki artışın ise olumsuz etki gösterdiği görülmektedir. Ayrıca aynı tasarım koşullarında kafa kısmındaki koruma tabakası ağırlığının gövdedekinden yüksek olduğu gözlenmektedir. Buradan dalgakıranların kafa kısımlarının daha hassas olduğu anlaşılmaktadır. Kafa kısımlarındaki hassasiyet sebebiyle blok ağırlıklarındaki artış antifer blok kullanımının tercihi dolayısıyla maliyetin artmasına sebep olabilmektedir.

Hesaplamalar sonucu ulaşılan maliyetlerden kırılan dalga koşulunda koruma tabakasında antifer blok kullanımıyla maliyetlerde belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Su derinliği 5m değerini geçtikten sonrasında farklı eğimlere ait maliyetlerin belirgin bir oranla arttığı ve birbirine yakın değerler aldığı gözlemlenmektedir.

Kırılmayan dalga koşulundaki kafa ve gövde kesitindeki tüm proje dalga yüksekliklerinde, 1/1.5 yapı eğimindeki maliyetler doğrusala yakın bir artış göstermektedir.

Yapılan çalışmadan hareketle proje dalga yüksekliği ve su derinliği yanında eğim faktörünün de maliyetler üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır.

## 5. KAYNAKÇA

**BS 6349-7.** 1991. Maritime Structures, Part 7: Guide to the design and construction of breakwaters. British Standards Institution, London.

**Coastal Engineering Research Center.** 1984. Shore Protection Manual. Dept. of Army, Waterways Experiment Station. US Government Printing Office, Washington.

**Frens, A.B.** 2007. The impact of placement method on antifer-block stability, Master of Science Thesis. Delft University of Technology, Delft.

**Hales, Z.L.** 1981. "Floating breakwaters: State of the art literature review ". Technical Report No. 81-1, U.S. Army, Corps Of Engineers Coastal Engineering Research Centre, Fort Belvoir, Virginia.

**Hudson, R.Y.** 1959. Laboratory investigation of rubble-mound breakwaters. Journal of the Waterways and Harbors Division, American Society of Civil Engineers 85 (3), 93-122.

**Kabdaşlı, S.** 1992. Kıyı Mühendisliği. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

**Limanlar ve Kıyı Yapıları Yapım Dairesi Başkanlığı.** 2021. Birim Fiyat Listesi. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü, Ankara.

**Naimi, S. ve Z. Özdemir.** 2020. Yapılarda yer altı suyuna karşı yapılan koruma sistemlerinin uygulanabilirliği ve güvenliğinin incelenmesi. *AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture* 4(1), 113-133.

**Naimi S. ve H. Hrizi.** 2019. Risk Analysis of Slaving Floor in Construction Sites, *International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering*, 9(1): 1637-1645.

**Özbahçeci, B.** 2015. Limanların yüzer dalgakıranla modellenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi* 5(2), 97-108.

**Özbahçeci, B.Ö. ve E. Bilyay.** 2007. Dalgakıranların koruma tabakası taş ağırlığı için denklem ve dalga seçimi. 6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, EMKA Matbaacılık, 525-530.

**Taş, M.C.** 2006. Tek tabakalı taş dolgu dalgakıranların güvenlik ve ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

**Turan, M.U.** 2000. Dalgakıranlarda blok ağırlıklarının belirlenmesi üzerine yapılan çalışmaların incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 2 (1), 35-48.

**Van der Meer, J.W.** 1987. Stability of breakwater armour layers-design formula. *Journal of Coastal Engineering*, 11(3) 219-239.

**Van der Meer, J.W.** 1988. Rock slopes and gravel beaches under wave attack, Doctoral Thesis. Delft University of Technology, No. 396, Delft.

**Yağcı, O. ve S. Kabdaşlı.** 2003. Alternative placement technique for antifer blocks used on breakwaters. *Ocean Engineering* 30 (1), 1433-1451.

**Yalçiner, A.C., A. Ergin, I.C. Kahyaoğlu ve H. Yüncü.** 1999. 3D experimental study on the stability coefficients for breakwaters armoured with antifer blocks under irregular waves. *Proceedings of the COPEDEC V., Cape Town, South Africa.*

**Yüksel Proje.** 2007. Kıyı Yapıları ve Limanlar Planlama ve Tasarım Teknik Esasları. Ulaştırma Bakanlığı Demiryollar, Limanlar, Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Ankara.

**Yüksel, Y. ve E.Ö. Çevik.** 2009. Kıyı Mühendisliği. Beta Yayınları, İstanbul.

**Yüksel, Y., A. Ergin, E. Çevik, A.C. Yalçiner, I. Güler, N. Yüzer ve B. A. Aydoğan.** 2016. Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları. Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü, İstanbul.