



**DALGAKIRANLARDA BLOK AĞIRLIKLARININ BELİRLENMESİ
ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ**

**(EXEMINATION OF THE FORMULAS OF ARMOUR UNIT WEIGHT
AT RUBBLE MOUND BREAKWATERS)**

M. Ufuk TURAN*

ÖZET / ABSTRACT

Kıyılarda inşa edilen taş dolgu dalgakıranlar, dinamik dalga etkilerine, koruyucu tabakasında kullanılan bloklar ağırlıkları ile karşı koyarlar. Bu nedenle koruyucu tabaka blok ağırlığının belirlenmesi yapı stabilitesi için çok büyük önem arz eder. Bu tür yapılar üzerinde dinamik dalga hareketi çok karmaşık olduğundan, oluşturacağı etkilerin tam olarak belirlenebilmesi çok zordur. Konuyla ilgili laboratuvar model çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmada, son yıllarda çeşitli ülkelerde yapılan ve geliştirilen bazı ampirik formüller karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve blok ağırlıklarının belirlemede farklı kriterlerin sonuca etkileri incelenmiştir.

Rubble mound breakwaters are constructed in shoreline (in coastal area). Determination of armour unit weight is very important for structure stability. The effect of dynamic wave is very complex on these type structures. Then determination of their effects as complete is very difficult. In this study, developed some empirical formulas in different countries in last years are compared and for different criterias armour unit weight are obtained and the result of effects these unit weight are investigated.

ANAHTAR KELİMELELER / KEY WORDS

Taş dolgu dalgakıran, dinamik dalga etkisi, koruyucu tabaka, blok ağırlığı, ampirik
Rubble mound breakwater, dynamic wave effect, armour layer, weight of armour unit, empirical

1. GİRİŞ

Kıyı yapıları üzerine gelen dalgaların yarattığı tesirler çok karmaşık olup yapıya gelen kuvvetlerin ve dağılımlarının tam olarak belirlenebilmesi çok zordur. Koruyucu tabaka, belirli değişim aralığında, rastgele büyüklükte ve şekildeki taş blokların heterojen olarak birleşmesinden oluşmaktadır. Günümüzde kullanılan teorik ve ampirik blok ağırlıklarını veren formüller bir takım ön kabullerle çıkarılmış olduğundan, kullanılırken bunların dikkate alınması gerekmektedir.

Taş dolgu kıyı koruma yapıları ve dalgakıranlar üzerindeki çalışmalar 19. yüzyılın başında başlamış olup, 1930 yılına kadar kullanılabilecek bir metot ortaya çıkmamıştır. Blok ağırlıkları hesabı tamamen gözlem ve deneyimlere dayandırılıyor iken, daha sonraları çeşitli ülkelerde yapılan deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda 20'yi aşkın formül ortaya konulmuştur. Aşağıda bunlardan günümüzde en çok kullanılanlardan ve en eskilerinden biri olan Hudson [Hudson, 1958] formül ile son yıllarda yapılan ya da geliştirilen diğer çalışmalardan bazıları incelenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Hudson, 1958

$$W = \frac{\gamma_s H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (1)$$

Burada;

W : Koruyucu tabaka blok ağırlığı (kg)

H : proje dalga yüksekliği (m)

γ_s : blok özgül ağırlığı (kg/m^3)

γ_w : suyun özgül ağırlığı (kg/m^3)

$S_r = \gamma_s / \gamma_w$

θ : yapı şevinin yatayla yaptığı açı (yapı eğimi) (derece)

K_D : stabilite katsayısı olup taş bloklar için Çizelge 1'de verilmiştir.

Koruyucu tabaka eğer birden fazla sıradan oluşuyorsa bu durumda taş ağırlıkları 0.75W-1.25W arasında olabilir. Taş bloklar bütün olmalı ve dağılım şev yüzeyinde üniform olmalıdır. Ayrıca bu eşitlik dalganın dalgakıran üzerinden aşmasına izin verilmeyen ve şev açısının 1/1.5 ile 1/3 arasında olduğu durumlarda geçerlidir.

Hudson formülünde kullanılan K_D stabilite katsayısının (Çizelge 1) seçimi oldukça önemlidir. Çünkü, blokların stabilitesini etkileyen bir çok parametre bu katsayıda toplanmıştır. Bu parametreler:

- 1) Blokların şekli,
- 2) Koruyucu tabakadaki blok sıra sayısı,
- 3) Blokların yerleştirilme biçimi,
- 4) Yüzey pürüzlülüğü,
- 5) Dalganın kırılıp-kırılmaması,
- 6) Yapının bölümleri,
- 7) Dalgaların geliş açısı,
- 8) Yapı önü eğimi,
- 9) Blokların su seviyesinin altındaki derinlikleri,
- 10) Alt tabakanın (veya tabakaların) boyutu (kalınlığı) ve porozitesi,

- 11) Çekirdeğin su seviyesinden yüksekliği,
- 12) Üst yapının özellikleri
- 13) Deniz tabanının geoteknik özellikleri,
- 14) Model ölçeğinin etkileri vb... dir.

Hudson formülü, K_D stabilite katsayısının belirlenmesindeki belirsizlikler ve dalga özelliklerinin yeterince dikkate alınmaması nedeniyle ancak ön projelendirme safhasında kullanılabilir. Bu nedenle blok ağırlıklarının belirlenmesi veya daha genel olarak dalgakıran stabilitesi üzerine yeni yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, özellikle dalgakıran stabilitesinin hangi etkiler altında bozulduğu detaylı olarak ele alınmış ve buradan blok ağırlıklarının belirlenmesine çalışılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 1. Stabilite katsayıları [Shore Protection Manual 1977, Shore Protection Manual 1984, Bilgin,1986]

Kaplama Elemanı Taş blok	n	Yerleşim Şekli	Yapının Gövdesinde		Yapının Muzvarında		Yapı Şevi cotθ
			K_D		K_D		
			Kırılan Dalga	Kırılmayan	Kırılan Dalga	Kırılmayan	
Düzgün Yuvarlak Pürüzlü	2 >3 1	Gelişigüzel	1.2 (2.1)	2.4	1.1 (1.7)	1.9	1.5-3.0
			1.6 (2.8)	3.2	1.4 (2.1)	2.3	
			-	2.9	-	2.3	
Pürüzlü	2	Gelişigüzel	2.0 (3.5)	4.0	1.9 (2.9)	3.2	1.5
				4.0	1.6 (2.5)	2.8	2.0
					1.3 (2.0)	2.3	3.0
	>3	Gelişigüzel	2.2 (3.9)	4.5	2.1 (3.7)	4.2	1.5-3.0
	2	Özel	5.8 (4.8)	7.0 (5.5)	5.3 (3.5)	4.5	

() değerler "Shore Protection Manual", 1977'de önerilen verilerdir.

2.2. Losada ve Ginemez-Curto, 1979

Bu çalışmada Iribarren'in stabilite tanımından hareketle bir stabilite kriteri tanımlanarak taş blokların ağırlığı aşağıdaki formülle verilmiştir.

$$W = \gamma_s H^3 R \psi \quad (2)$$

Burada;

H : proje dalga yüksekliği (m),

$$R = S_r / (S_r - 1)$$

$$S_r = \gamma_s / \gamma_w$$

γ_s : blok özgül ağırlığı (kg/m^3),

γ_w : suyun özgül ağırlığı (kg/m^3),

ψ : stabilite fonksiyonudur. ($f(\theta, H / L_0)$).

Stabilite fonksiyonu Hudson [6], Iribarren [7] ve Ahrens Mc Cartney [8] deney sonuçları kullanılarak belirlenmiştir.

Düzenli dalgalar altındaki taş dolgu bir dalgakıranın stabilitesinin analizinde, stabilite fonksiyonu (ψ) ile Iribarren sayısının (I_r) deney sonuçlarına bağlı olarak değişimine ait istatistiksel analizler sonucu elde edilen uygun denklemin genel şekli,

$$\psi = A(I_r - I_{r0}) \exp B(I_r - I_{r0}) \quad I_r > I_{r0} \quad (3)$$

olarak belirlenmiştir. Burada;

$$I_r = \tan \theta / (H / L_0)^{1/2} \quad (4)$$

$$I_{r0} = 2.654 \tan \theta \quad (5)$$

dir. Koruyucu eleman tipine ve yapı şev açısına ilişkin bulunan A ve B katsayıları ile I_r değerleri Çizelge 2 ve Çizelge 3 de verilmiştir.

Bu çalışmalarda stabilite sınır şartı için düzenlenen kritik (minimum) Iribarren sayısı

$$I_{rcrit} = I_{r0} - 1 / B \quad (6)$$

şeklinde ifade edilmiş ve maksimum stabilite fonksiyonu ise,

$$\psi_{max} = -A / B \quad (7)$$

olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. Iribarren verileri için A, B ve I_{r0} değerleri [Iribarren,1965; Bruun, 1985]

Kaplama Malzemesi	Cot θ	A	B	I_{r0}
Tabii Taş	1.5	0.09035	-0.5879	1.77
	2.0	0.05698	-0.6627	1.33
	3.0	0.04697	-0.8084	0.88
	4.0	0.04412	-0.9339	0.66

Çizelge 3. Ahrens ve McCartney verilerine göre Rip-raplar (kıyıya paralel taşdolgu yapılar) için A, B ve I_{r0} değerleri [Ahrens vd....., 1975; Bruun, 1985]

Kaplama Malzemesi	Cot θ	A	B	I_{r0}
Tabii Taş	2.5	0.1834	-0.5764	1.06
	3.5	0.1819	-0.6592	1.76
	5.0	0.1868	-0.6443	0.53

2.3. Heder, 1986

Bu çalışmanın diğerlerinden farkı, yapı üzerinde dalganın tırmanırken ve çekilirken ki durumları için ayrı ayrı stabilitelelerinin incelenmesi ve iki ayrı stabilite ifadesinin kullanılmasıdır. Ayrıca üst tabaka elemanlarının davranışı, alt tabakaların ve dolgunun geçirimsizliğine de bağlı olduğundan, bu durumlar için de stabilite ifadeleri ayrı ayrı verilmiştir. Bir diğer önemli fark ise malzemenin içsel sürtünme açısını içermesidir. Dolayısıyla şevli yapı, doğal sevi aşıldığında ya da dış etkilere karşı koyan içsel kuvvetler yenildiğinde stabil kalamayacaktır. Bu çalışmada en elverişsiz durum için stabilitenin sınır şartları seçilmiş ve hidrodinamik kuvvetlerin, kırılan dalgalardan ve yansımadan etkilenebilecekleri göz önüne alınarak, kırılan dalgada su parçacığının hızı aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$u_b = [g(d_b + 0.7H_b)]^{1/2} \quad (8)$$

Burada;

- u_b : kırılan dalgada su parçacığının hızı (m/sn),
 d_b : dalga kırılma derinliği (m),
 H_b : kırılan dalga yüksekliği (m),
 g : yerçekimi ivmesidir (9.81 m/sn²).

Koruyucu elemanın stabilitesi için düzenlenen formüller:

Koruyucu elemanın ağırlığını belirlemede, eşdeğer kübik eleman yaklaşımı yapılarak temel ilişki aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$W = \frac{\pi}{6} \gamma_s D^3 \quad (9)$$

Burada,

- W : koruyucu tabaka blok ağırlığı (kg),
 γ_s : blok özgül ağırlığı (kg/m³),
 D : koruyucu tabaka blok hacmine eşdeğer kürenin çapı (m) olup, dalganın tırmanma ve çekilme durumları ile alt tabakaların geçirimli olup olmamasına bağlı olarak aşağıdaki şekilde verilmektedir.

1) Tırmanma Durumu:

a) Alt Tabakanın Geçirimli Olması Hali:

$$D = \frac{0.33(d_b + 0.7H_b) (\tan\phi + 2)}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right) \left(3.6 - \frac{1}{e^{4\tan\beta}}\right) \cos\theta (\tan\phi + \tan\theta)} \quad (10)$$

b) Alt Tabakanın Geçirimsiz Olması Halinde:

$$D = \frac{0.41(d_b + 0.7H_b) (\tan\phi + 2)}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right) \left(3.3 - \frac{1}{e^{4\tan\beta}}\right) \cos\theta (\tan\phi + \tan\theta)} \quad (11)$$

2) Çekilme Durumunda:

a) Alt Tabakanın Geçirimli Olması Hali:

$$D = \frac{(d_b + 0.7H_b) (\tan\phi + 2)}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right) (13.7 + e^{4\tan\beta}) \cos\theta (\tan\phi - \tan\theta)} \quad (12)$$

b) Alt Tabakanın Geçirimsiz Olması Halinde:

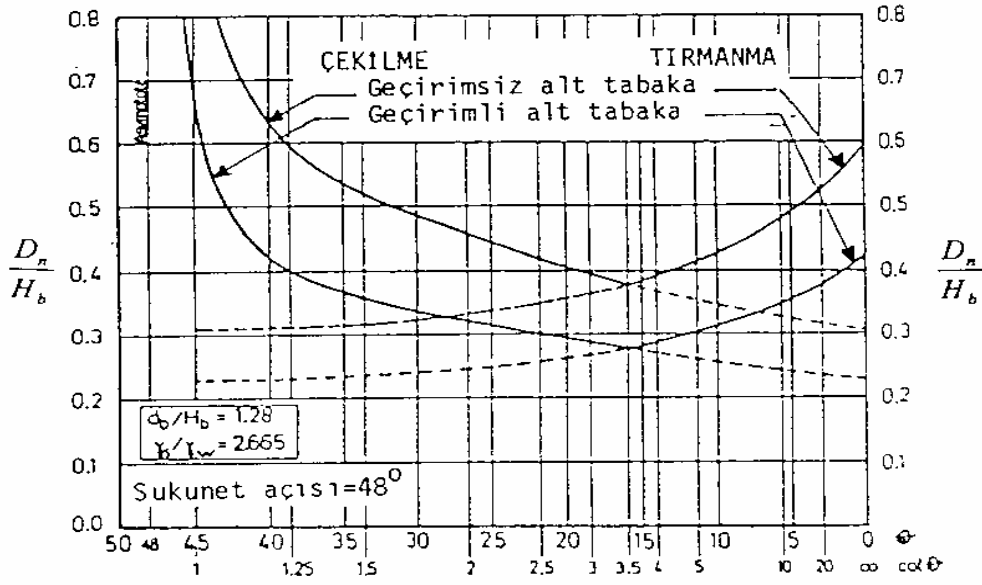
$$D = \frac{1.60 (d_b + 0.7H_b) (\tan\phi + 2)}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right) (16.5 + e^{4\tan\beta}) \cos\theta (\tan\phi - \tan\theta)} \quad (13)$$

Bu ifadelerde;

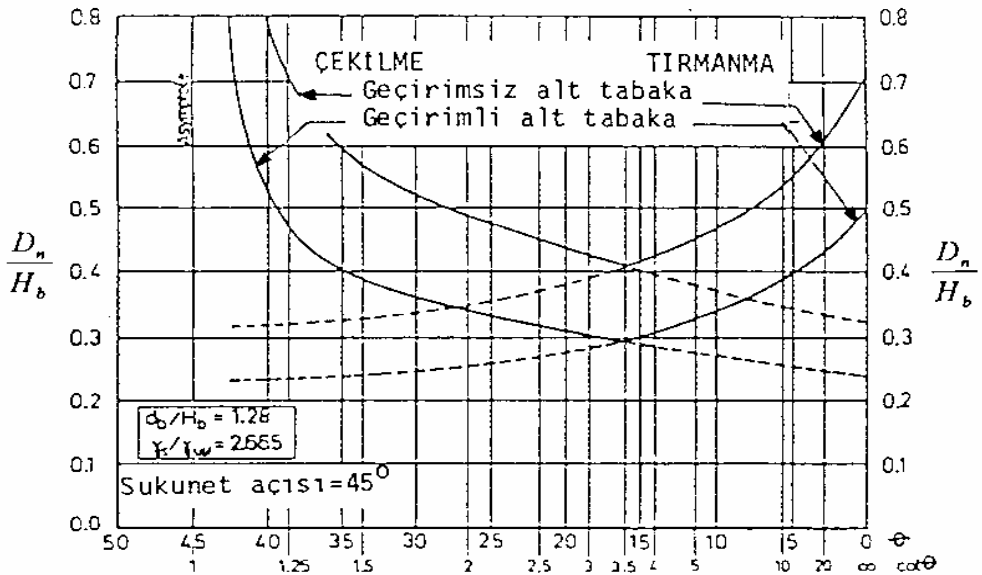
d_b : dalga kırılma derinliği (m),

H_b : kırılan dalga yüksekliği (m),

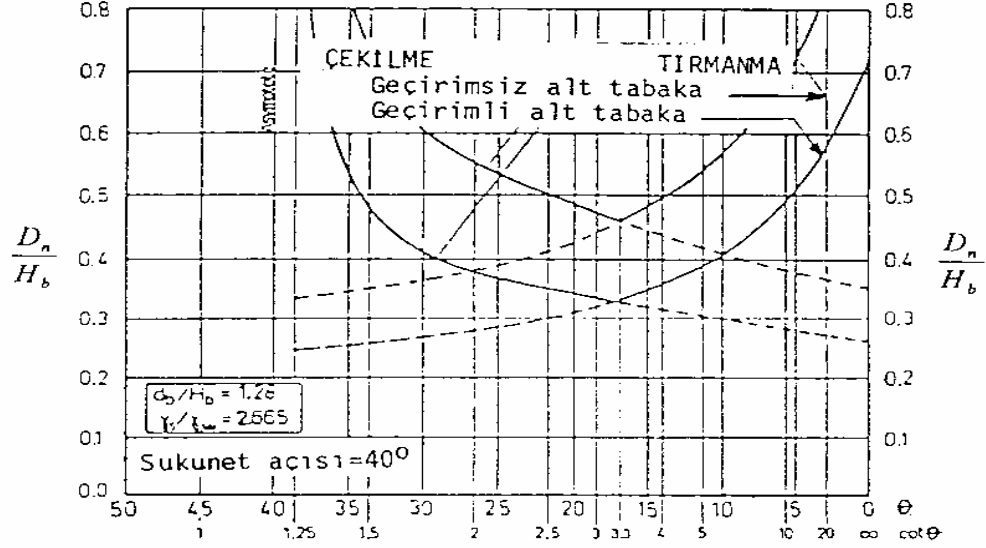
ϕ : taş blokların içsel sürtünme açısı (derece), θ : yapı şevinin yatayla yaptığı açı (derece) ve $\beta = \theta + (\phi - 48^\circ)$ dir.



Şekil 1. $\phi = 48^\circ$ için D_n/H_b nin yapı şeviyile değişimi



Şekil 2. $\phi = 45^\circ$ için D_n/H_b nin yapı şeviyile değişimi



Şekil 3. $\phi=40^\circ$ için D_n/H_b nin yapı seviyle değişimi

Bu denklemlerin (Denklem 10, 11, 12 ve 13) pratik amaçla kullanımını kolaylaştırmak amacıyla oluşturulan çizelgeler Şekil 1, 2 ve 3 de verilmiştir.

2.4. Van der Meer, 1987

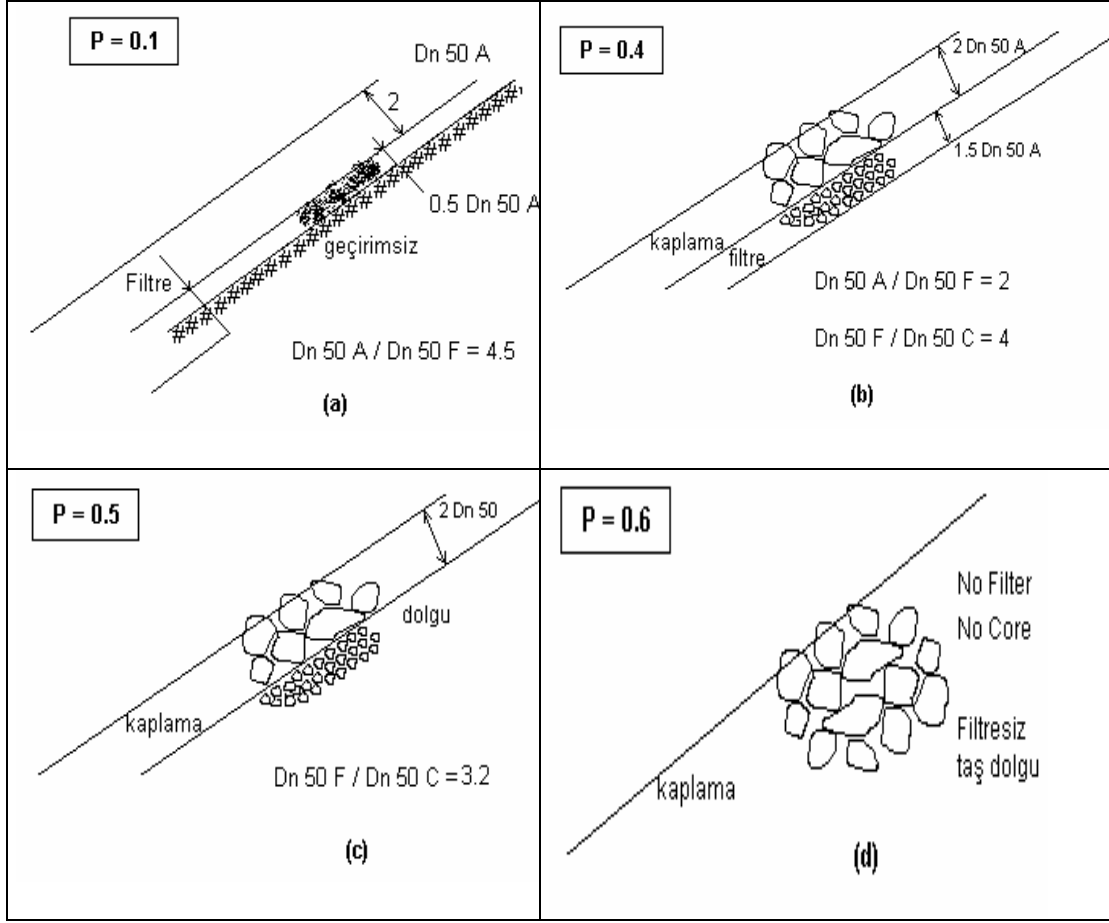
Bir başka yeni çalışma ise Van der Meer [11] tarafından Delf'de yapılanıdır. Bu çalışmanın diğerlerinden farklı en büyük özelliği kırılan (pulunging) ve kırılmayan (surging) dalgalar için ayrı formüllerin verilmiş olmasıdır. Bu ifadeler;
Pulunging (kırılan) dalgalar için:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2P^{0.18} \left[\frac{S}{\sqrt{N}} \right]^{0.2} (\xi)^{-0.5} \quad (14)$$

Surging (kırılmayan) dalgalar için:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = P^{-0.13} \left[\frac{S}{\sqrt{N}} \right]^{0.2} \sqrt{\cot \theta} (\xi)^P \quad (15)$$

şeklindedir. Denklem (14) ve Denklem (15)'nin sol tarafındaki terimler Van der Meer [11] tarafından belirlenen N_s stabilite sayısını gösterir. Bu ifadelerde; ξ boyutsuz kıyı benzerlik parametresi olup (aynı zamanda Iribarren Sayısı'na eşittir) aşağıdaki şekilde verilmektedir:



$D_{n50 A}$ = Nominal taş blok çapı

$D_{n50 F}$ = Nominal filtre tabakası blok çapı

$D_{n50 C}$ = Nominal dolgu malzemesi çapı

Şekil 4. Geçirimlilik katsayıları

$$\xi = \frac{\tan \theta}{(2nH_s / gT^2)^{0.5}} \quad (16)$$

$$\Delta = (\gamma_s / \gamma_w - 1) \quad (17)$$

γ_s : blokların özgül ağırlığı,

γ_w : suyun özgül ağırlığı,

D_{n50} : blokların %50' sinin nominal çapı,

P : permeabilite katsayısı olup Şekil 4 de verilmiştir,

S : hasar seviyesi olup aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$S = A_e / D_{n50}^2 \quad (18)$$

A_e : erozyona uğrayan bölgenin alanı (en kesitte),

N : dalga sayısı,

T : dalga periyodudur.

Bu çalışmada koruyucu tabakanın boyutsuz dağılımının, dalga spektrumunun şeklinin ve dalga treninin stabiliteye etkisinin olmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca P katsayısının eksi 0.13

üs'ünün deney sonuçlarına ters düştüğü bulunmuştur [11]. Yani geçirimsizlik arttığında stabilitenin azaldığını vermektedir. Taş dolgu dalgakıranlarda koruyucu tabakanın stabilitesinin analizinde Van der Meer formülleri ile Hudson formülü birlikte kullanılabilir [Kapdaşlı, 1992].

3. YAPILAN ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ

II. Bölümde ayrıntılı olarak verilen formüllerin karşılaştırılmasında stabilite fonksiyonu aşağıdaki şekilde boyutsuz olarak tanımlanmış olup "Stabilite Sayısı" olarak adlandırılmıştır;

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \quad (19)$$

Bu boyutsuz Stabilite Sayısı'nı sırasıyla Denklem (1) de Hudson Formülü için yazacak olursak,

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = (K_D \cot \theta)^{1/3} \quad (20)$$

eşitliği elde edilir. Bu ifadeden de görüldüğü gibi $N_s = f(K_D, \theta)$ dır. Yani K_D katsayısı diğer bir çok bilinmeyeni içeren bir sabittir. Geleneksel bir taş dolgu dalgakıran için $K_D = 2$ ve $K_D = 3$ alınmıştır.

Benzer ilişki Losada ve Ginemez Curto (Denklem (7)) için yazılırsa,

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \frac{1}{\Delta (R\psi)^{1/3}} \quad (21)$$

eşitliği elde edilir. Burada $N_s = f(\gamma_s/\gamma_w, \theta, H/L_0)$ şeklinde ifade edilmiştir.

Heder Formülünde ise Denklem (10), (11), (12) ve (13) den D_n her bir durum için ayrı ayrı hesaplanır ve Denklem (9) dan Stabilite Sayısı

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \frac{H}{0.806 D_n \Delta} \quad (22)$$

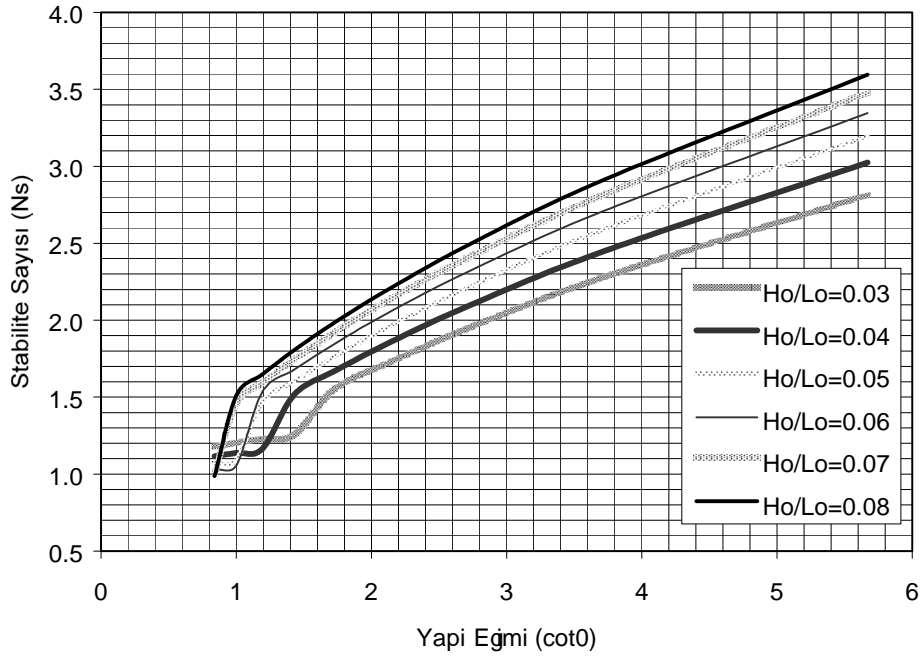
yazılabilir. Bu ifadede ise $N_s = f(\gamma_s/\gamma_w, d_b, H_b, \theta, \phi)$ şeklinde ifade edilmektedir

Van der Meer tarafından verilen Denklem (14) ve Denklem (15) ise zaten Stabilite Fonksiyonu cinsinden ifade edilmiş olup $N_s = f(P, H/L_0, S, N, \gamma_s/\gamma_w, \theta)$ şeklindedir. Bu denklemlerde porozite $P=0.38$, hasar yüzdesi $S=2.5$, yapıya gelen dalga sayısı $N=2700$ ve $N=10800$ için hesaplar yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen Stabilite Sayısı N_s ile yapı eğimi $\cot \theta$ nın değişimlerine ait grafikler Şekil 7'de verilmiştir.

Ayrıca Van der Meer formülünün pratik amaçlar için kullanımını kolaylaştırmak için Şekil 5 ve Şekil 6 düzenlenmiştir. Bu grafikler yardımıyla hesaplanan dalga dikliği (H/L_0) ve seçilen yapı eğimi $\cot \theta$ için doğrudan Stabilite Sayısı N_s okunur. N_s nin bu değeri için Denklem (19) dan D_{n50} hesaplanır.



Şekil 5. Denklem (14) ve (15) için dalga dikliklerine göre stabilite sayısının yapı eğimi ile değişimi ($S=2.5$, $P=0.38$ ve $N=2700$)



Şekil 6. Denklem (14) ve (15) için dalga dikliklerine göre stabilite sayısının yapı eğimi ile değişimi ($S=2.5$, $P=0.38$ ve $N=10800$)

4. İRDELEME

Hudson formülünde K_D katsayısının seçimi çok önemli rol oynamaktadır. Bu formülün bir diğer olumsuz yanı ise dalga dikliğinin yapı stabilitesi üzerindeki etkisini içermemesidir. Bu formül 1958'den günümüze kadar kullanıla gelmiş olmasına rağmen, yapılarda oluşan büyük hasarlar üzerine 1984'de K_D değerleri yeniden gözden geçirilerek yapı önünde ve/veya üzerinde kırılan dalgalar için bazı düzenlenmeler yapılmıştır. Örneğin Çizelge 1'de eskiden $K_D=3.5$ olarak verilmiş, daha sonra $K_D=2.0$ olarak yenilenmiştir. Bunun anlamı ise blok ağırlığının 5.35 kat artması demektir ki; buda K_D katsayısının seçiminin önemini göstermektedir. Ayrıca Hudson formülü her ne kadar $\cot\theta = 1.5-3.0$ arasında sınırlandırılmış olsa bile sınır şartları için incelendiğinde; $\cot\theta \rightarrow 0$ için blok ağırlığı $W \rightarrow \infty$ gitmektedir. Bu ise doğaya aykırı bir sonuçtur. Diğer taraftan kaya blokların doğal şekli (içsel sürtünme açısı) yaklaşık 50° iken, bu durumda Hudson formülüne ters düşmektedir.

Losada ve Ginemez-Curto Formülünün Hudson formülünden farkı, Iribarren Sayısına bağlı olarak ifade edilmiş olması nedeniyle dalga dikliği H/L_0 'ı içermesi ve kritik durum için maksimum stabilite şartını vermesidir. Hudson formülünden daha kullanışlı olmasına rağmen, bu formülün analizinde Iribarren deney sonuçlarının kullanılmış olması nedeniyle, yapı şekli $\cot\theta = 1.5-3.0$ arasında kullanılabilir.

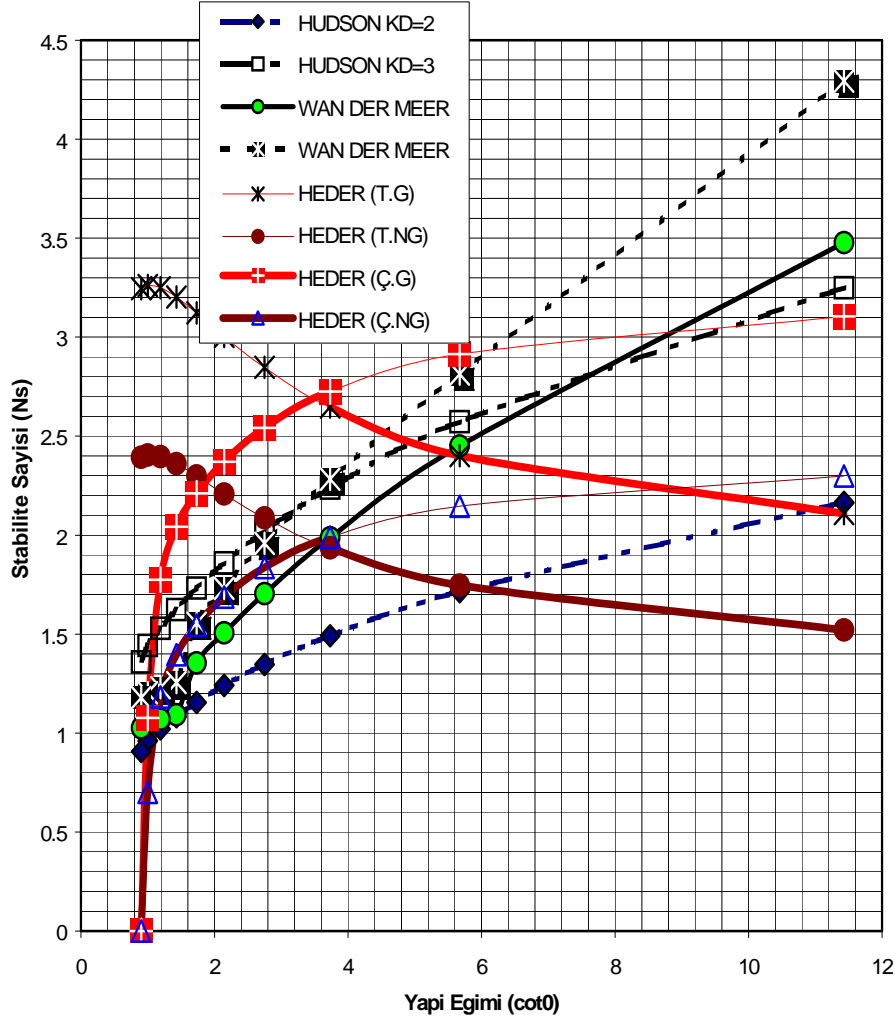
Wan der Meer Formülü kırılan ve kırılmayan dalga şartlarında yapının geçirimsizliği (porozitesi), yapı üzerine gelen dalga sayısı, dalga dikliği, yapıda oluşacak hasar miktarını içermesi bakımından daha avantajlı olmasına rağmen yapı şekli artıkça stabilitenin de arttığını vermektedir. Son yıllarda kullanımı artmıştır. Alt tabakaların durumunu (geçirimli yada geçirimsiz olması, filtre tabakasının kalınlığı vb.) göz önüne alması ve proje dalgası altında oluşacak hasar ile yapının ekonomikliği arasında bir optimizasyonunun ülke ve kaynak şartlarına göre yapılabilir olmasıdır.

Heder Formülü ise diğer formüllerden tamamen farklı bir ifade içeriğine sahiptir. Bu fark ise dalgaların yapı üzerinde tırmanma ve çekilme durumları için yapı stabilitesini ayrı ayrı göz önüne almasıdır. Dalgaların çekilmesi durumu ile dalgaların tırmanması durumlarına ait ifadeler arasındaki ilişki incelendiğinde (Şekil 7) $\cot\theta \approx 3.3$ civarında eğrilerin kesiştiği görülür. Yani, bu $\cot\theta \approx 3.3$ için yapı üzerinde dalgalar hem tırmanırken hem de çekilirken etkili olmaktadır. O halde bu değer altında yapı şekline sahip şevli dalgakıranlarda çekilen dalgalar etkili olurken, diğer durumda tırmanan dalgalar etkili olacaktır. Diğer formüllerde yapı şevinin $\cot\theta \approx 3.3$ 'ten daha büyük değerleri için stabilitede artış olurken, Heder Formülünde tam tersine bir azalmanın olacağı açıktır.

Yine Şekil 7 incelendiğinde stabilitenin dağılım bandının oldukça geniş olduğu görülür. Bu da bu tür yapılarda stabiliteyi etkileyen diğer bir çok parametrenin olduğunu ortaya koymaktadır. Bunlardan bazıları ise tabanın geoteknik özellikleridir ki; bunlar zeminin sağlam olup olmaması, hareketli (kum-çakıl, silt vb.) ve sabit (kayaç) olması, yapı önü eğimi, dalgaların yapıya geliş açısı, yansıma durumu vb. gibi faktörlerdir. Geleneksel tip şevli dalgakıranlarda eğer taban hareketli ve yapıda sığ suda ($d_s/H < 3$) ise topuk stabilitesi çok büyük rol oynamaktadır [13,14,15,16,17].

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Losada ve Ginemez Curto, Wan der Meer ve Heder Formülleri yapı şevli $\cot\theta = 1.5-3.5$ arasında bir birine yakın değerler vermektedir. Ayrıca Wan der Meer Formülü ve Heder Formülünde Stabilité Sayısı daha geniş ifade edilmektedir. Yani Wan der Meer Formülünde $N_s = f(P, H/L_0, S, N, \gamma_s/\gamma_w, \theta)$ ve Heder Formülünde $N_s = f(H_b, \gamma_s/\gamma_w, d_b, \theta, \phi)$ parametreleri



Şekil 7. Stabilité sayılarının yapı eğimi ile değişimleri

tarafından ifade edilmiş olmaları diğer formüllere göre üstünlüklerini ortaya çıkarmakta ise de Heder Formülünün dalga dikliği H/L_0 karakteristiğini fonksiyonel olarak içermemesi bir eksiklik olmakla birlikte her iki formülün birlikte kullanılması durumunda Stabilité Sayısı $N_s = f(P, H/L_0, S, N, \gamma_s/\gamma_w, d_b, \theta, \phi)$ karakteristikleri tarafından en geniş şekilde ifade edilmiş olacaktır. Bu durumda koruyucu tabaka blok ağırlıklarının ön boyutlandırılmasında daha sağlıklı ve deterministik bir karar verilmiş olacaktır.

Blok ağırlıklarının Wan der Meer Formülü ile pratikte kolayca hesaplanabilmesi için Şekil 2 ve Şekil 3 oluşturulmuştur. Yapıya gelen dalga sayısının değişik değerleri için doğrusal interpolasyon yapılabilir.

Heder Formülü gereğince yapı eğiminin $1/3.3$ den büyük seçilmesi blok ağırlıklarını artırırken aynı zamanda dolgu hacmini de artıracığından ekonomik olmayacaktır. Dolayısıyla yapı şevinin $1/3.3$ den daha küçük seçilmesini gerektiren başka faktörler yoksa tercih edilmemelidir.

Ülkemizde blok ağırlıklarının belirlenmesinde halen yaygın olarak Hudson Formülü kullanılmaktadır. Blok ağırlıklarının yetersiz olduğu (çok büyük çıktığı) durumlarda çözüm olarak yapı eğiminin $1/3$ den daha küçük tutulması yoluna gidilmektedir. Çünkü Hudson Formülü yapı eğiminin küçülmesi durumunda daha küçük blok boyutlarını vermektedir. Burada hatırdan çıkarılmaması gereken, bu formülün yapı eğiminin $1/1.5-1/3$ arasında geçerli olduğudur. Ayrıca Heder Formülüne göre yapı eğiminin $1/3.3$ den küçük seçilmesi blok boyutlarının artması anlamına gelmektedir ki bu diğer formüllere göre çok çarpıcı bir sonuçtur.

Kıyılarımızda inşa edilen taş dolgu dalgakıranların ya tamamı ya da büyük bir kısmı genellikle sığ sularda inşa edildiğinden (ayrıca ekonomi açısından tercih edilir) yapı önüne mutlaka bir topuk yapısı (palye, önlük vb.) yapılmalı ve burada kullanılacak blokların ağırlıkları koruyucu tabakanınki ile aynı olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ahrens, J. P. and Mc Cartney, B. L. (1975): "Wave Period Effect on the Stability of Riprap, Proc. Civil Engineering in the Ocean III, 1975, Vol. 2, pp. 1019-1034.
- Bilgin, R., Ertaş, B. (1986): "Doğu Karadeniz Sahil Tahkimat Projesi", Ara Rapor No: 1 ve 2, KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı, Trabzon, 1986.
- Bruun, P. (1979): Command Reasons for Damage or Breakdown of Mound Breakwaters, Coastal Engineering, Vol. 2, 1979, pp.261-273.
- Bruun, P. (1985): "Design and Construction of Mounds for Breakwaters and Coastal Protection", Elsevier, 1985
- Heder, P. A. (1986): "Armour Layer Stability of Rubble-Mound Breakwaters", *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 112, No. 3, pp. 334-350, May 1986.
- Hudson, R.Y. (1958): "Design and Quarry-Stone Cover Layer for Rubble-Mound Breakwaters", U.S. Waterways Experiment Station, research Report No. 2-2, Vicksburg, Miss.,.
- Hudson, R.Y. (1959): "Laboratory Investigation of Rubble Mound Breakwaters", *Proc. Am. Soc. Civil Engineers, Journal Waterways, Harbors, and Coastal Engineering Division*, ASCE 85, WW3, pp. 93-121, 1959.
- Iribarren, C. R. (1965): "Formule Poule Calcul des Diques en Enrochements Natuels ou Elements Artificiels", XXI International Navigation Congress, Stockholm, Section II-1, 1965.
- Kapdaşlı S. (1992): "Kıyı Mühendisliği", T.C. İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Losada, M. A. ve Ginemez-Curto, L. A. (1979): "The Joint Effect of Wave Height and Period on the Stability or Rubble Mound Breakwaters Using Iribarren's Number", *Coastal Engineering*, Vol. 3, 1979a.
- Pianc (1980), Report by 4th Wave Commission, Supplement to Bulletin No. 36, Vol. II, Brussels, Belgium, 1980, pp. 1021-1027.
- Sawagari, T. (1966): Scouring Due to Wave Action at the Toe of Permeable Coastal Structure, Proceeding of the 10th Conference on Coastal Engineering, Printed by the ASCE, Japan, 1966, pp. 736-743.
- Spm (1984): "Shore Protection Manual", CERC, Vol. II.

- Spm (1987): “*Shore Protection Manual*”, CERC, Vol. II.
- Turan, M. U. (1990): Taş Dolgu Kıyı Koruma Yapı Tiplerinin Belirlenmesi ve Stabilitelerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1990, Trabzon.
- Turan, M. U. (1995): Palyeli Alternatif Dalgakıranların Proje Kriterlerinin Belirlenmesi ve Stabilitelerinin Araştırılması, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1995, Trabzon.
- Van der Meer, J. W. (1987): “Stability of Breakwater Armour Layers-Design Formula”, *Journal of Coastal Engineering*, Amsterdam, The Netherlands, 11, pp. 219-239, 1987.

SEMBOLLER

- d_b : dalga kırılma derinliği (m),
 g : yerçekimi ivmesi (9.81 m/sn^2)
 u_b : kırılan dalgada su parçacığının hızı (m/sn),
 A_e : erozyona uğrayan bölgenin alanı (en kesitte) (m^2)
 D : koruyucu tabaka blok hacmindeki eşdeğer kürenin çapı (m)
 D_{n50} : blokların %50'sinin nominal çapı (m)
 H : proje dalga yüksekliği (m)
 H_b : kırılan dalga yüksekliği (m)
 K_D : stabilite katsayısı
 N : dalga sayısı
 P : permabilite (geçirimsizlik) katsayısı
 $R = S_r / (S_r - 1)$
 S : hasar seviyesi
 S_r = suyun özgül ağırlığının blok özgül ağırlığına oranı
 T : dalga periyodu
 W : koruyucu tabaka blok ağırlığı
 γ_s : koruyucu tabaka blok özgül ağırlığı (kg/m^3),
 γ_w : suyun özgül ağırlığı (kg/m^3),
 ψ : stabilite fonksiyonu ($f(\theta, H / L_0)$).
 ϕ : Taş blokların içsel sürtünme açısı (derece),
 θ : yapı şevinin yatayla yaptığı açı (derece)
 $\beta = \theta + (\phi - 48^\circ)$