

Experimental Investigations and Development of New Relations to Determine Run-down Levels of Irregular Waves on Reshaping Breakwaters

N. Shirian¹, M. Shafieefar²,
P. Aghtouman³ and V. Chegini⁴

Abstract

In this research, the effects of irregular wave action on run-down on the slope of reshaping rubble-mound breakwaters have been investigated. Reshaping breakwater is a new kind of breakwater in which the initial profile is changed to an S-shaped profile, once affected by waves. Therefore, the relations related to run-down levels on conventional breakwaters cannot be used for this type of structure. This research is conducted based on Experimental Modeling. Experiments were performed in the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI) for multiple cross sections of reshaping breakwaters with three different slopes in years 2003 and 2004. The wave flume was equipped with a modern DHI wave generation system, which contains paddle, power pack, hardware and software divisions. The hydraulic responses mentioned above, were investigated by changing the wave parameters such as significant wave height, mean and peak wave period and storm duration on the three structure's seaward slopes, equal to 1:1.25, 1:2.0, 1:2.5. JONSWAP wave spectrum was used in all experiments. The Armored layer materials were included in three grading classes ($D_{n85A}/D_{n15A}=1.14, 1.44, 1.82$) and a Range of structural index permeability, $P_g (1 \leq D_{n50A}/D_{n50C} \leq 20)$. In order to investigate the effects of changing structural geometry, wave properties, and the comparison between two scales ($\lambda = 50, 30$), 120 tests were performed with 1000 to 6000 waves. Finally the results of different scale factors were compared. The experimental results were plotted as graphs showing the run-down levels versus the surf similarity parameter and deepwater wave steepness. Because the Iribarren number does not accurately describe the combined effects of slope and wave steepness, an improved and new formula was fitted to data using multiple linear regression and nonlinear regression, which results in some new empirical equations presented in this paper.

Keywords: Reshaping breakwaters, Wave run-down, Rubble Mound, Experimental modeling, Irregular waves.

مطالعه مدل آزمایشگاهی و ارائه روابط جدید جهت تعیین میزان پایین آمدگی امواج نامنظم از موج شکن های شکل پذیر

ناصر شیریان^۱، مهدی شفیعفر^۲،
پیمان آق تومان^۳ و وحید چگینی^۴

چکیده

در این تحقیق تأثیر امواج نامنظم دریا بر میزان پایین آمدگی امواج از موج شکن های توده سنگی شکل پذیر مورد بررسی قرار گرفته است. موج شکن شکل پذیر، نوعی موج شکن است که نیم رخ اولیه آن در اثر برخورد امواج تغییر شکل پیدا می کند. پژوهش حاضر با استفاده از روش مدل آزمایشگاهی در فلوم موج انجام شده است. امواج تابیده شده به مدل مقطع موج شکن، نامنظم با طیف انرژی جانسواپ بوده است. محدوده ارتفاعات موج ۴ تا ۱۴ سانتی متر و پرپودهای میانگین ۰/۹ تا ۱/۷ ثانیه در آزمایشگاه در نظر گرفته شده اند. جهت اجرای مصالح لایه آرمور، از سنگ با دانه بندی های به ترتیب ۱/۸۲، ۱/۴۴ و ۱/۱۴ D_{n85A}/D_{n15A} و محدوده شاخص نفوذ پذیری مصالح سازه $D_{n50A}/D_{n50C} \geq 10$ و $10 \geq D_{n50A}/D_{n50C} \leq 10$ استفاده شده است. برای بررسی تأثیر شیب سازه، شیب های ۱:۲/۲۵، ۱:۱، ۱:۲/۵ و ۱:۲ با مقیاس ۱:۵۰ مورد آزمایش قرار گرفته اند و به منظور بررسی اثر مقیاس، چند آزمون شاخص با مقیاس ۱:۳۰ تکرار شده است. تعداد امواج تابیده شده به مدل سازه از ۱۰۰۰ تا ۶۰۰۰ موج در نظر گرفته شده و مجموعاً تعداد ۱۲۰ آزمایش انجام شده است. نتایج آزمایشگاهی به صورت نمودارها و روابط میزان پایین آمدگی ۲٪ و ۱۰٪ و عمده ارائه و به کمک روشهای رگرسیونی خطی چندگانه، فرمولهای جدیدی به داده های آزمایشگاهی برازش داده شده است، که در این مقاله ارائه می گردد.

کلمات کلیدی: موج شکن های توده سنگی شکل پذیر، پایین آمدگی امواج، مدل آزمایشگاهی، امواج نامنظم

1- Phd.Candidate, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3- Faculty Members of Soil Conservation and Watershed Management Research Center

4- National Oceanographic Center

۱- دانشجوی دکتری سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- عضو هیئت علمی دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی

۴- عضو هیئت علمی مرکز ملی اقیانوس شناسی

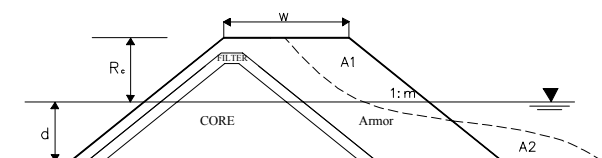
۱- مقدمه

که معمولاً بیش از ارتفاع موج تابشی است، می‌شود. ترازهای حدی پایینی که در هر برخورد موج حاصل می‌شود، پایین آمدگی موج (R_d) نامیده می‌شوند. این ترازها نسبت به سطح ایستایی تعریف شده و از جمله متغیرهای مهم طراحی هستند. نتایج آزمایشها و روابط پیشنهادی توسط محققین معمولاً به صورت ترازهای پایین آمدگی میانگین (یعنی میانگین پنجاه درصد بیشترین پایین آمدگی‌ها)، عمده (یعنی میانگین یک سوم بیشترین پایین آمدگی‌ها)، $1/10\%$ ، 2% (یعنی میانگین دو درصد بیشترین پایین آمدگی‌ها)، 5% و 10% در مقالات یا کتب ارائه شده‌اند. تراز پایین آمدگی موج برای تعیین میزان لایه حفاظتی آرمور در پایین سازه و یا به عنوان معیاری برای تعیین تراز سکوی پنجه به کار برده می‌شود. پایین آمدگی معمولاً با متغیر بدون بعد R_d/H_s بیان می‌شوند.

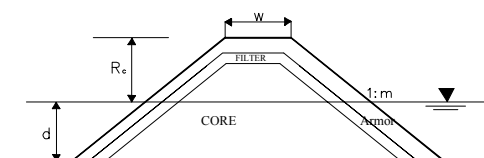
در بررسی مشخصات امواج، شرایط موج عمدتاً توسط ارتفاع موج تابشی H_i (معمولاً ارتفاع مشخصه موج H_s)، پرپود میانگین T_m یا پرپود اوج (پیک) T_p ، زاویه برخورد موج β ، عمق آب در جلوی سازه d و طول موج ژرفاب L_0 مشخص می‌شوند. تأثیر پرپود موج غالباً با استفاده از رابطه بدون بعد تیزی موج ژرفاب، بررسی می‌شود.

به طور کلی موج شکن‌های توده سنگی پایدار ایستا (پایدار استاتیکی یا می‌شوند، الف: موج شکن توده سنگی پایدار پویا (پایدار دینامیکی). در سنتی) و موج شکن توده سنگی پایدار ایستا (سنتی) تغییر شکل کلی سازه موج شکن‌های توده سنگی پایدار ایستا (سنتی) تغییر شکل کلی سازه مجاز نیست و تغییر شکل جزئی (0 تا 5%) ملاک طراحی است؛ در حالی که در نوع پایدار پویا، تغییر شکل سازه مجاز است و به سازه اجازه داده می‌شود پس از برخورد امواج تغییر شکل دهد تا نهایتاً به یک حالت پایدار برسد. این نوع موج شکن‌ها، موج شکن‌های شکل‌پذیر (S شکل، غیر سنتی) نیز نامیده می‌شوند.

پارامترهای حاکم در طراحی سازه‌های ساحلی به سه دسته پارامترهای هیدرولیکی، پارامترهای ژئوتکنیکی و پارامترهای سازه‌ای تقسیم می‌شوند. پارامترهای هیدرولیکی عبارتند از بازتاب امواج از سازه، سرریزی و عبور موج، بالا روی و پایین روی امواج (شکل ۲). پارامترهای هیدرولیکی عوامل تعیین‌کننده انتخاب نوع و مشخصات هندسی سازه‌های ساحلی هستند. از اینرو هر یک از این پارامترها باید در روند طراحی سازه‌های ساحلی مورد بررسی قرار گیرند. فعالیت موج بر روی سازه توده‌سنگی موجب نوسان تراز آب در محدوده قائمی

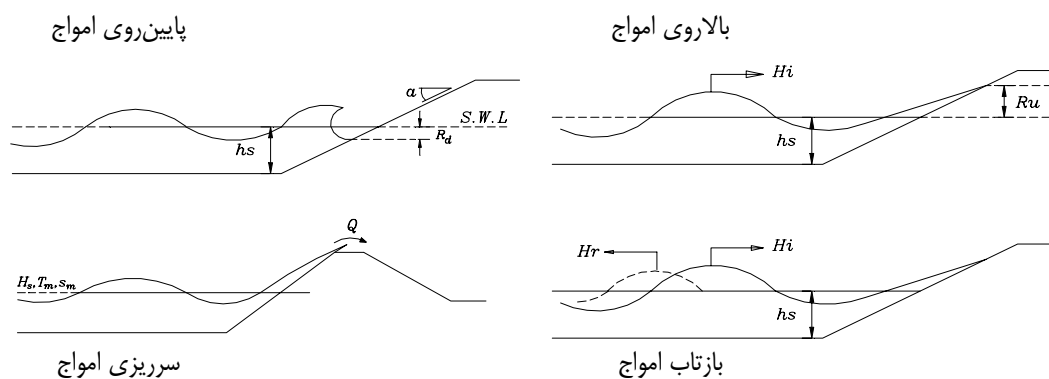


موج شکن پایدار پویا (شکل پذیر)



موج شکن پایدار ایستا (سنتی)

شکل ۱- انواع موج شکن‌های توده سنگی



شکل ۲- واکنشهای هیدرولیکی سازه‌های ساحلی

$$s_{om,op} = \frac{H}{L_{om,op}} = \frac{2\pi H_s}{g T^2} \quad (1)$$

پایین آمدگی توصیه شده‌اند. در مورد عوامل تأثیرگذار بر روی ترازهای پایین آمدگی R_d ، تحقیقات نشان داده است که نفوذپذیری سازه و پارامتر تشابه شکست مهم می‌باشند. رابطه کلی تراز پایین آمدگی نسبی ξ ، $R_{d2\%}/H_s$ بر روی مقاطع مورد آزمایش قرار گرفته موج‌شکن‌های پایدار ایست (سنٹی) به وسیله Van der Meer (1988,1993) به رابطه (۳) منجر شده است که اثرات نفوذپذیری سازه و تیزی موج را در بر می‌گیرد.

$$\frac{R_{d2\%}}{H_s} = 2.1(\tan\alpha)^{1/2} - 1.2P^{0.15} + 1.5\exp(-60s_{om}) \quad (3)$$

نتایج آزمایش در مورد هسته‌های نفوذ ناپذیر و نفوذ پذیر در شکل ۴ نشان داده شده است. نمایش داده‌ها با ξ_m نشان دهنده پراکنش قابل توجهی است. این پراکنده‌گی با در نظر گرفتن زاویه شیب و تیزی موج s_{om} به طور جداگانه و نیز در نظر گرفتن نفوذپذیری به صورت رابطه (۳) به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

در زمینه موج شکن‌های شکل پذیر رابطه ای مشابه رابطه (۳) وجود نداشته و تنها از آن می‌توان بعنوان تخمین اولیه و مقایسه کلی نتایج آزمایشگاهی این تحقیق استفاده کرد.

۲- آنالیز ابعادی

عواملی که بر مقادیر پایین آمدگی R_d از موج‌شکن‌های شکل‌پذیر مؤثر می‌باشند عبارتند از:

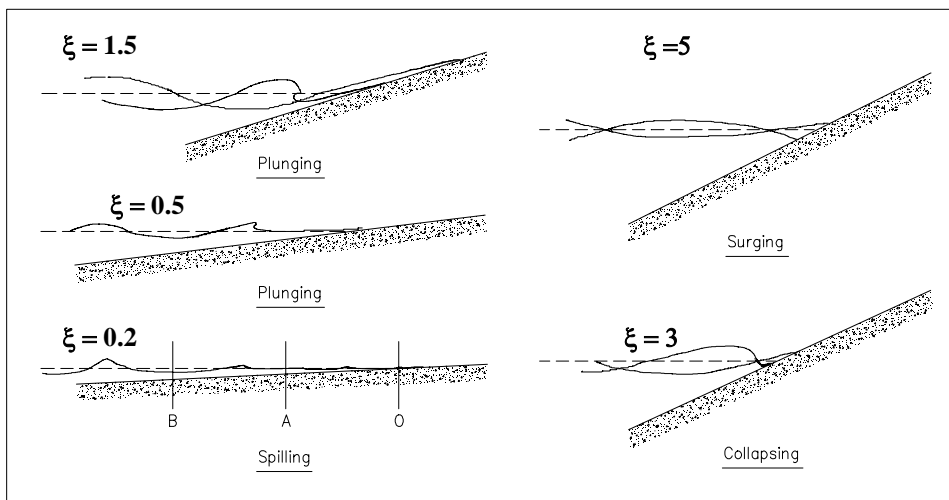
استفاده از پارامترهای H_s و T_m یا T_p در معادله شماره (۱) به ترتیب s_{op} و s_{om} را نتیجه می‌دهد. پارامتر تشابه شکست ξ معمول‌ترین پارامتر بدون بعد برای بیان اثر امواج بر سازه‌های شیب‌دار است. این پارامتر که عدد ایریبارن I_T نیز نامیده می‌شود، عبارت است از:

$$\xi_{om,op} = \tan\alpha / \sqrt{s_{om,op}}$$

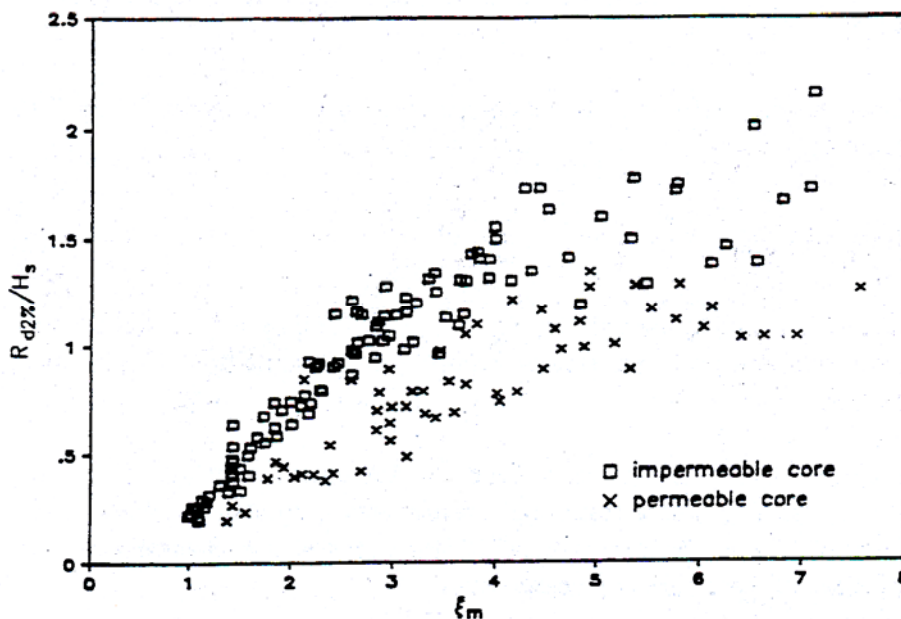
بطوری که در رابطه بالا $\tan\alpha$ شیب سمت دریای سازه و s_o تیزی موج ژرفاب می‌باشند.

مطابق شکل شماره ۳، پارامتر تشابه شکست اکثراً برای بیان شکل و حالت شکست موج بر روی شیب ساحل و یا یک شیب سازه‌ای مشخص به کار برده می‌شود. انواع امواج شکن براساس مقادیر ξ ، به ترتیب از کوچک به بزرگ به اسامی آشفته، چرخان، آواری و لغزان نامیده می‌شوند.

بر روی میزان پایین آمدگی امواج از موج‌شکن‌های توده سنگی سنٹی و سکویی شکل‌پذیر، De Waal and Van, Pilarczyk (1990)، Van der Meer and Stam (1992)، der Meer (1992)، Van der Meer (1988,1993,1994,1998)، زاهدی و همکاران (۱۳۷۹) و عامری و همکاران (۱۳۷۹) تحقیق و روابط تجربی مختلفی را ارائه نموده‌اند. در گزارش‌ها TAW (1974)، DHI (1996)، CIRIA/CUR (1991,1995)، USACE (1984) و PIANC (2003) نیز فرمولهایی به منظور تخمین میزان



شکل ۳- انواع امواج شکن براساس تابعی از پارامتر تشابه شکست



شکل ۴- پایین آمدگی نسبی موج ($R_{d2\%}/H_s$) از شیب‌های سنگی نفوذناپذیر و نفوذپذیر

$$R_d = \Phi[H_{si}, T, N, D_{n50A}/D_{n50C}, D_{85A}/D_{15A}, t_A, \rho_w, \rho_r, d_i, v, g, D_{n50}, \cot \alpha, A_e, R_c] \quad (۴)$$

نفوذپذیری مصالح موج‌شکن، $\cot \alpha$ شیب اولیه سازه، d_i/H_s نسبت عمق آب در جلوی سازه به ارتفاع موج تابشی و S پارامتر سطح آسیب می‌باشند.

۳- مدل‌سازی آزمایشگاهی

در آزمایش‌های مربوط به مدل‌سازی سازه‌های ساحلی نیروی غالب، نیروی وزن یا گرانش است. از این رو معیار مناسب برای مدل‌سازی، معیار فرود است و نوع جریان نیز باید کاملاً آشفته در نظر گرفته شود تا بتوان از اثرات لزجت صرف‌نظر کرد. کنترل اثرات لزجت به وسیله کنترل معیار رینولدز ممکن می‌شود که براساس توصیه Van der Meer (1988) باید در محدوده رابطه زیر قرار گیرد:

$$R_e = D_{n50} \sqrt{g H_s} / \nu > (1 \sim 4) \times 10^4 \quad (۶)$$

که در آن D_{n50} قطر اسمی مصالح است که ۵۰ درصد از مصالح، قطری کمتر از آن را دارا باشند. در رابطه (۶) از مقادیر مورد استفاده در مدل استفاده می‌شود. برای ایجاد تشابه سینماتیکی و دینامیکی از رابطه (۷) که اصلاح شده نسبت عدد پایداری هادسون در پروتوتایپ و مدل می‌باشد، استفاده شده است.

که در رابطه فوق H_{si} ارتفاع مشخصه موج تابشی، T پریود موج، N تعداد امواج، D_{n85A} و D_{n50A} و D_{n15A} و D_{n50C} به ترتیب عبارتند از ۸۵ درصد، ۵۰ درصد و ۱۵ درصد مقادیر منحنی‌های دانه بندی و ρ_w جرم درصد منحنی دانه‌بندی هسته، t_A ضخامت لایه آرمور، ρ_r جرم مخصوص مصالح، d عمق آب در جلوی سازه، U ویسکوزیته سینماتیکی آب، g شتاب گرانش، $\cot \alpha$ شیب اولیه سازه، A_e سطح فرسایش یافته و R_c عمق آزاد موج‌شکن می‌باشند.

با استفاده از روش باکینگهام (Hughes 1993) و در نظر گرفتن متغیرهای تکراری ρ_w و g و H_{si} ، اصل ترکیب‌سازی در تحلیل ابعادی و انجام آزمایشها بر اساس قانون مقیاس فرود و کنترل عدد رینولدز، متغیرهای مؤثر بر روی مقادیر بدون بعد پایین آمدگی $R_{di\%}/H_{si}$ عبارت خواهند بود از:

$$R_{di\%}/H_s = \Phi [s_{om}, N, D_{n85A}/D_{n15A}, D_{n50A}/D_{n50C}, \cot \alpha, d_i/H_s, S] \quad (۵)$$

که در این رابطه s_{om} تیزی موج، N تعداد امواج، دانه‌بندی D_{n85A}/D_{n15A} مصالح لایه آرمور، $P_e = D_{n50A}/D_{n50C}$ شاخص

مدل است. با رعایت این معیارها و قابل اغماض بودن اثرات مقیاس، مقیاس ۱:۵۰ ($\lambda = 50$) برای آزمایشها انتخاب شده است.

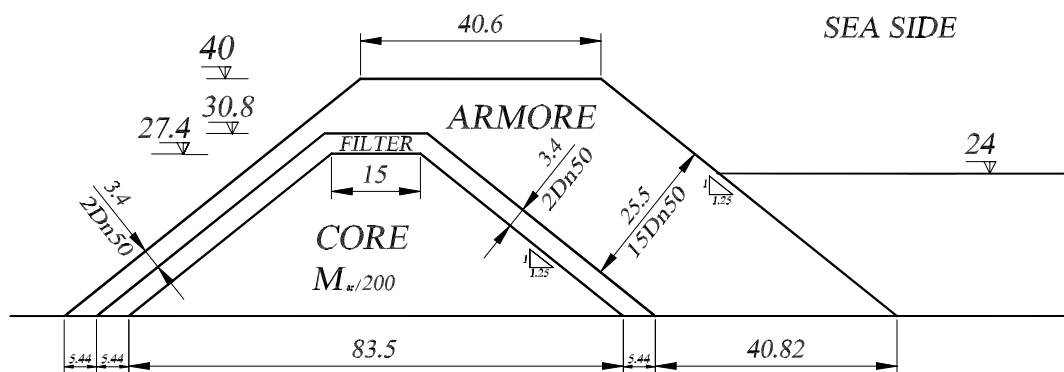
(۷)

$$\frac{W_M}{W_P} = \frac{1}{\lambda^3} \times \frac{\rho_{am}}{\rho_{ap}} \times \frac{(\rho_{ssdp} / \rho_{wp} - 1)^3}{(\rho_{ssdm} / \rho_{wm} - 1)^3}$$

۴- برپایی مدل و شرح آزمایشها

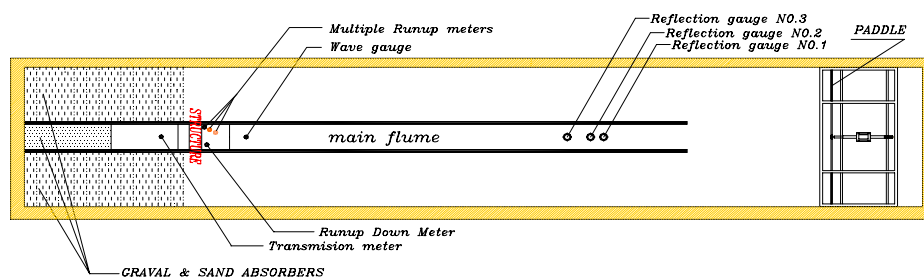
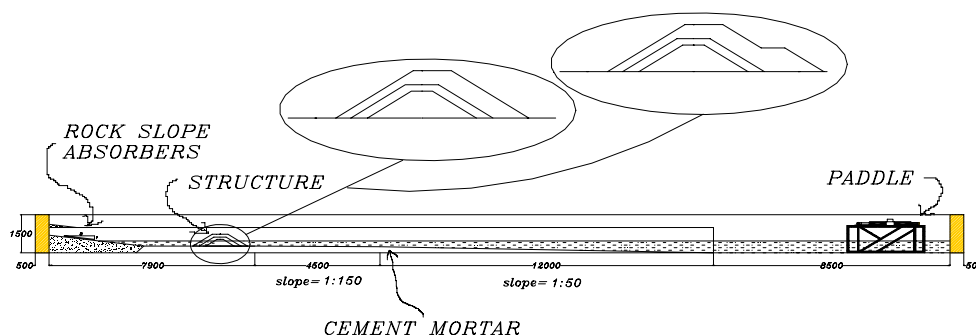
آزمایشهای مدل بر روی مقطع موج شکن شکل پذیر (شکل ۵) و در فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی که دارای ۳۳ متر طول، ۱ متر عرض و ۱ متر ارتفاع می باشد (شکل ۶) انجام شده است.

که در آن ρ_{ssdp} چگالی اشباع با سطح خشک واحد آرمور در نمونه واقعی، ρ_{ssdm} چگالی اشباع با سطح خشک واحد آرمور در مدل، ρ_{wp} چگالی آب در نمونه واقعی، ρ_{wm} چگالی آب در مدل، ρ_{ap} چگالی مصالح در نمونه واقعی و ρ_{am} چگالی مصالح در



DIMENSIONS ARE IN Cm

شکل ۵- نمونه مقطع عرضی مدل آزمایشگاهی موج شکن شکل پذیر مورد آزمایش با شیب ۱:۱/۲۵



شکل ۶- مقطع عرضی و پلان فلوم موج و نحوه استقرار سازه، پاروی مولد موج و سنسورها

شیب اولیه سازه $\cot \alpha$ ، تعداد امواج N ، تیزی موج s_{om} و عمق آب در جلوی سازه به ارتفاع موج d_i/H_s عملاً به تغییرات پایین آمدگی حساس بوده و بایستی در روابط رگرسیونی لحاظ شوند. به عنوان نمونه در اشکال ۸، ۹ و ۱۰ تغییرات میزان پایین آمدگی بر حسب متغیرهای دانه‌بندی، شاخص نفوذپذیری و شیب اولیه سازه ارائه شده اند.

جدول ۱- محدوده پارامترهای مورد مطالعه در مدل آزمایشگاهی موج‌شکن‌های شکل‌پذیر

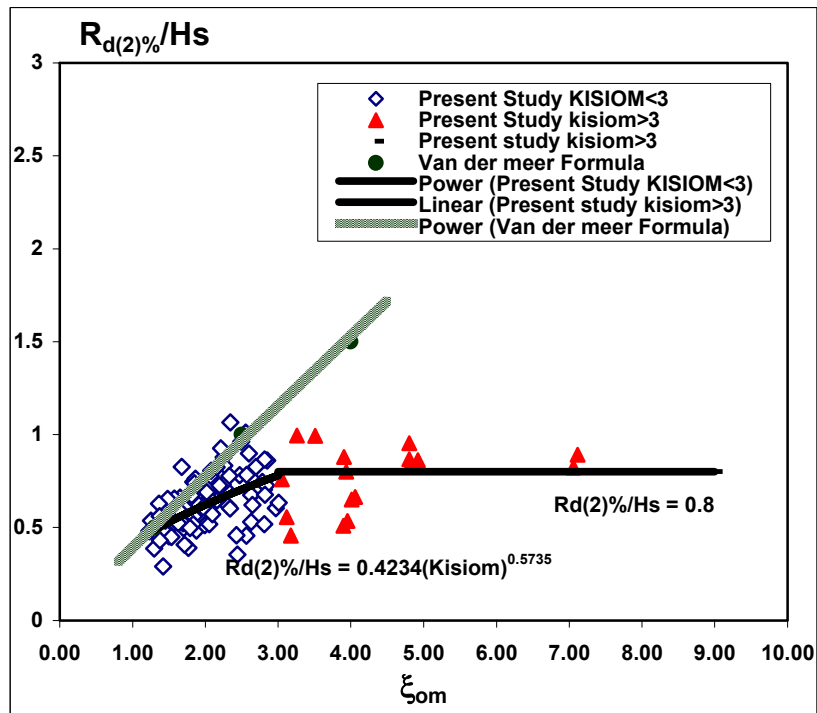
متغیر	نماد	دامنه تغییرات
ارتفاع موج	H_s	(۳ تا ۱۴) سانتی‌متر
دوره میانگین موج	T_m	(۰/۹ تا ۱/۷) ثانیه
تیزی موج	s_{om}	(۰/۰۷ تا ۰/۰۱)
تعداد امواج	N	۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۶۰۰۰
قطر اسمی مصالح آرمور در مدل	D_{n50}	(۱/۷) سانتی‌متر
نسبت ضخامت لایه آرمور به قطر اسمی	t_A / D_{n50}	(۰/۲۰ و ۱/۱۳ و ۱/۱۰)
دانه‌بندی مصالح آرمور	D_{n85A} / D_{n15A}	(۱/۸۲ و ۱/۴۴ و ۱/۱۴)
شاخص نفوذپذیری مصالح سازه P_e	D_{n50A} / D_{n50C}	$P_e > 10$ $0 \leq P_e \leq 10$
عمق آب	d_i	(۳۰ تا ۲۱) سانتیمتر
عمق آب به ارتفاع موج	d_i / H_s	(۲/۲)
شیب اولیه	$\cot \alpha$	۱/۲۵، ۲/۵
پارامتر بدون بعد ارتفاع موج یا عدد پایداری N_s	$H_s / \Delta D_{n50}$	۵ تا ۱/۷
مقیاس	λ	۳۰ و ۵۰

امواج توسط پاروی مولد موج به طول ۵/۵ متر و ارتفاع ۱ متر از نوع پیستونی قائم که در انتهای فلوم امواج قرار گرفته است تولید شده‌اند. برای انجام آزمایش‌ها از ۵ تا ۸ دستگاه ارتفاع سنج موج که در نقاط مختلف نصب می‌شدند، استفاده گردید. آرایش سنسورها در فلوم و بدنه سازه بسته با هدف آزمایش تغییر می‌کرد. در آزمایش‌های مربوط به اندازه‌گیری ضرایب بازتاب و انتقال موج سه سنسور به صورت قائم در قسمت میانی فلوم و مابین سازه و پارو و یک سنسور در پشت سازه نصب می‌گردید. یک دستگاه ارتفاع‌سنج موج در جلوی سازه، برای اندازه‌گیری امواج تابشی ترکیب شده با امواج بازتابی و سه دستگاه ارتفاع‌سنج دیگر برای اندازه‌گیری مقدار بازتاب در وسط فلوم نصب شده‌اند. داده‌های برداشت شده از این سنسورها با استفاده از روش Mansard (1980) و به وسیله نرم‌افزار W_s (Wave synthesizer) تحلیل شده و ضرایب بازتاب و ارتفاع موج تابشی در جلوی سازه محاسبه شده اند. در حالی که در آزمایش‌های اندازه‌گیری بالاروی و پایین روی، جمعاً ۷ سنسور فقط در بدنه سازه استقرار می‌یافت. سنسور مشترک در تمامی آزمایش‌ها، سنسور شماره ۱ بود که به صورت قائم در فاصله ای برابر یک چهارم طول موج ماکزیمم، در جلوی سازه و در وسط فلوم میانی نصب می‌گردید. در کلیه آزمایش‌ها پروفیل سازه در سمت پارو قبل از شروع آزمایش و بعد از اصابت امواج برداشت و ثبت شده است. دامنه‌ی تغییرات پارامترهای مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

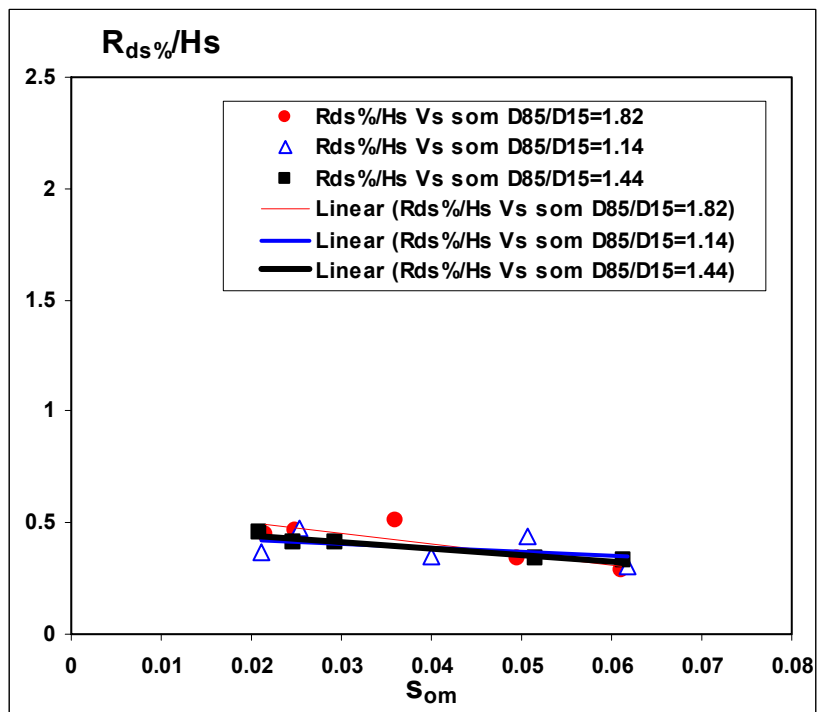
۵- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در ابتدا به منظور مقایسه میزان پایین آمدگی بر روی موج‌شکن‌های شکل‌پذیر با میزان پایین آمدگی در موج‌شکن‌های سنتی (پایدار ایستا)، داده‌های بدست آمده از آزمایش‌ها بر اساس تغییرات بالاروی نسبی ۲٪ بر حسب ξ_m ، با نتایج حاصله از تحقیقات انجام شده در مورد موج‌شکن‌های توده سنگی سنتی توسط Van der Meer (1988, 1994) در شکل ۷ مقایسه شده‌اند. در نمودار ترسیم شده خطوط خط چین مربوط به موج‌شکن‌های پایدار ایستا (سنتی) بوده و مشاهده می‌شود که مجموعه اطلاعات و نقاط بدست آمده از آزمایش‌های موج‌شکن‌های شکل‌پذیر در زیر خطوط خط‌چین قرار گرفته و درحقیقت نشان می‌دهد که مقادیر پایین آمدگی از موج‌شکن‌های پایدار ایستا (سنتی) از موج‌شکن‌های شکل‌پذیر بیشتر است.

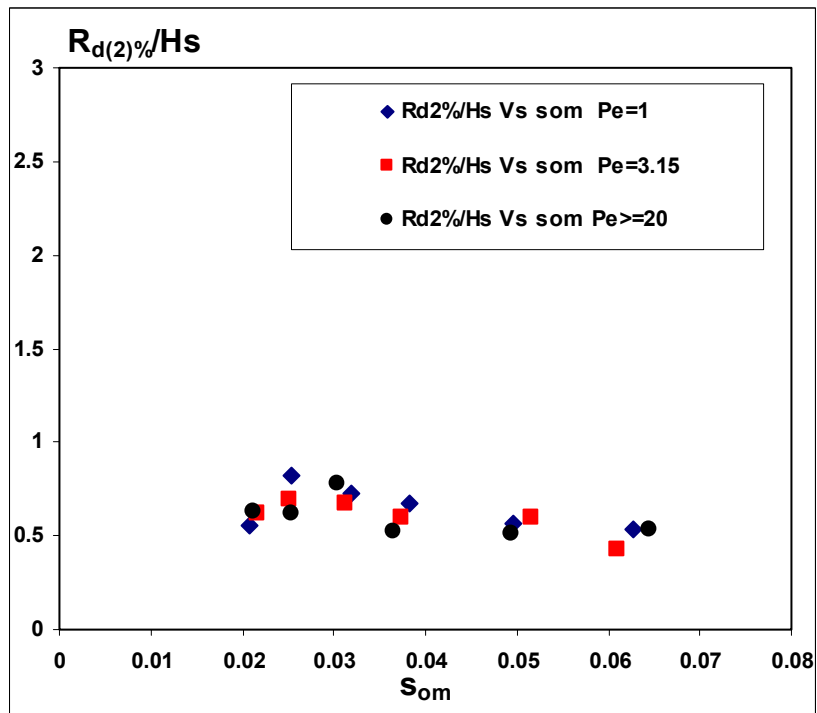
با توجه به معادلات آنالیز ابعادی بررسی‌های اولیه نشان داد که تغییرات میزان پایین آمدگی نسبت به تغییرات دانه‌بندی مصالح لایه آرمور D_{n85A} / D_{n15A} و شاخص نفوذپذیری مصالح موج‌شکن $P_e = D_{n50A} / D_{n50C}$ محسوس نیستند؛ ولی متغیرهایی از قبیل



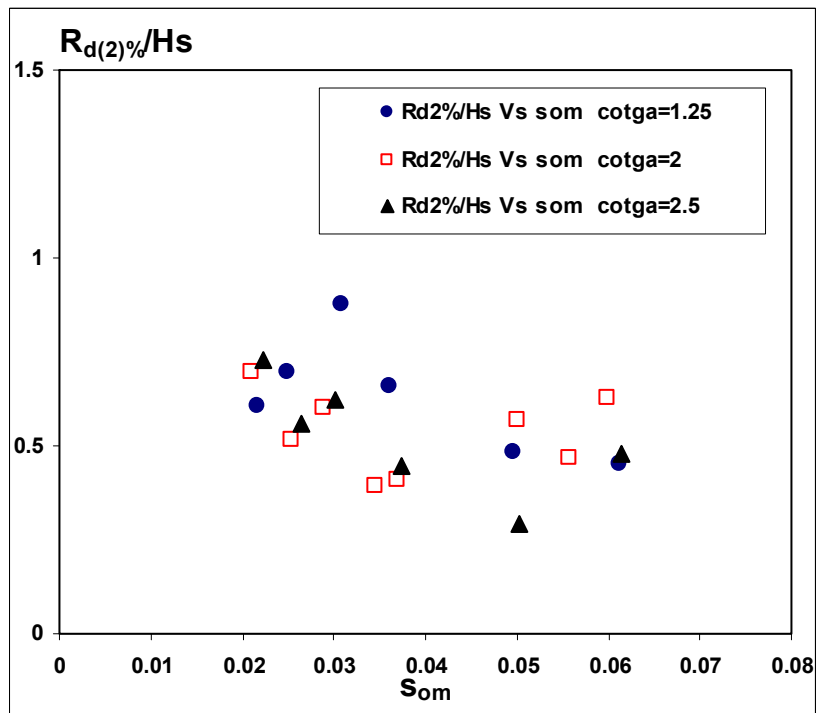
شکل ۷- نمودار میزان پایین آمدگی ۲٪ $R_{d2\%}/H_s$ ، بر حسب S_{om}



شکل ۸- نمودار $R_{d2\%}/H_s$ بر حسب S_{om} به تفکیک دانه بندی های مختلف



شکل ۹- نمودار $R_{d2\%}/H_s$ بر حسب S_{om} به تفکیک شاخص نفوذپذیرهای مختلف P_e



شکل ۱۰- نمودار نسبت میزان پایین آمدگی ۲٪ بر ارتفاع موج $R_{d2\%}/H_s$ بر حسب S_{om} به ازای شیب‌های اولیه مختلف

سازه می‌باشند. جداول خلاصه مدل و آنالیز واریانس، رابطه (۹) برترتیب در جداول ۲ و ۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۲- جدول خلاصه مدل رابطه (۹)

^b خلاصه مدل

مدل	R	مربع R	مربع R تعدیل شده	خطای معیار برآورد
۱	۰/۸۱۸ ^a	۰/۶۶۸	۰/۶۴۴	۰/۱۱۹۲۶۴

^a متغیرهای غیر وابسته: (عدد ثابت)، LNSOM، LNCOTGA، LND0HS، LNN،
^b متغیر وابسته: LNRD2OHS

جدول ۳- جدول آنالیز واریانس مربوط به رابطه (۹)

^b آنالیز واریانس

مدل	جمع مربعات	df	میانگین مربعات	F	سطح معنی دار بودن
رگرسیون ۱ مانده کل	۱ / ۵۴۸ ۰/۷۶۸ ۲ / ۳۱۶	۴ ۵۴ ۵۸	۰/۳۸۷ ۰/۰۱۴	۲۷/۲۰۲	۰/۰۰۰ ^a

^a متغیرهای غیر وابسته: (عدد ثابت)، LNSOM، LNCOTGA، LND0HS، LNN،
^b متغیر وابسته: LNRD2OHS

رابطه رگرسیونی چندگانه خطی به یک دوم (1/2) اطلاعات آزمایشگاهی برازش داده شده است. به منظور اعتبار سنجی رابطه، آزمون T نمونه‌های جفت شده برای یک دوم (1/2) باقیمانده داده‌ها صورت گرفت. مطابق جدول ۴ با توجه به سطح معنی‌داری بزرگتر از ۰/۰۵، اختلاف اساسی و مهمی بین دو دسته از اطلاعات وجود ندارد.

جدول ۴- جدول خروجی آزمون T نمونه‌های جفتی به منظور اعتبار سنجی رابطه (۹)

آزمون نمونه‌های جفتی

	تفاضل‌های جفتی					t	df	سطح معنی دار بودن
	میانگین	انحراف معیار	خطای معیار متوسط	تفاضل‌های با بازه اطمینان ۹۵٪				
				حد بالایی	حد پایینی			
جفت شماره ۱ RD2CAL- RD20HS	۰/۰۰۴۳	۰/۰۶۸	۰/۰۰۸۸	۰/۰۲۲۱	۰/۰۱۳۵	-۰/۴۸	۵۸	۰/۶۳۱

در زمینه ارائه روابط مختلف برای تعیین میزان پایین آمدگی در موج‌شکن‌های پایدار ایستا (سنتی) معمولاً از دو پارامتر تشابه شکست S_0 و تیزی موج S_{om} یا S_{op} استفاده شده است [۵۰۴]. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد دو پارامتر تیزی موج و تشابه شکست نمی‌توانند به تنهایی تأثیر سایر پارامترهای موثر را بر روی میزان پایین آمدگی در موج‌شکن‌های شکل‌پذیر نشان دهند. لذا برای تعیین رابطه‌ای دقیق‌تر جهت ارتباط میزان پایین آمدگی در موج‌شکن‌های شکل‌پذیر و سایر پارامترهای موثر حاکم، بایستی پارامترهای غیروابسته موثر را از کل پارامترهای مطرح جدا کنیم، یکی از راه‌های دقیق و علمی برای این کار کاربرد آنالیز رگرسیونی چندگانه می‌باشد. برای این کار تمام اطلاعات ثبت شده در حین تحقیق حاضر بکار گرفته می‌شود و ارتباط و اهمیت نسبی و روند تغییرات هر یک از متغیرهای غیروابسته نسبت به متغیر وابسته میزان پایین آمدگی مشخص می‌گردد. لذا معادله کلی زیر را برای ارتباط بین میزان پایین آمدگی R_d ، با متغیرهای غیر وابسته مد نظر قرار داده شد.

$$R_d/H_s = CX_1^{P_1} X_2^{P_2} \dots X_n^{P_n} \quad (۸)$$

که X نماد متغیرهای مستقل و p توان متغیر، C ضریب ثابت و n تعداد کلی متغیرها می‌باشد. در ادامه با در نظر گرفتن متغیرهای مؤثر در رابطه (۵) و انجام جابجایی بر روی آنها در رابطه کلی (۸) به روش سعی و خطا، رابطه رگرسیونی چندگانه به کمک نرم افزار آماری SPSS، به شکل زیر برای تراز پایین آمدگی ۲٪، حاصل گردید.

$$\frac{R_{d2\%}}{H_s} = 0.906 \times \frac{(d_i/H_{si})^{0.288}}{(S_{om})^{0.187} \cdot (\cot \alpha)^{0.251} \cdot (N)^{0.159}} \quad R^2 = 0.67 \quad (۹)$$

که در این رابطه، d_i/H_s نسبت عمق آب در جلوی سازه به ارتفاع موج تابشی، S_{om} تیزی موج، N تعداد امواج و $\cot \alpha$ شیب اولیه

در ضمن روابط رگرسیونی خطی چندگانه را برای ترازهای پایین آمدگی ۱۰٪ و عمده را می‌توان به شکل زیر بیان نمود:

(۱۰)

$$\frac{R_{d10\%}}{H_s} = 0.760 \times \frac{(d_i / H_{si})^{0.242}}{(s_{om})^{0.237} \cdot (\cot \alpha)^{0.308} \cdot (N)^{0.174}} \quad R^2 = 0.66$$

(۱۱)

$$\frac{R_{ds\%}}{H_s} = 0.676 \times \frac{(d_i / H_{si})^{0.186}}{(s_{om})^{0.285} \cdot (\cot \alpha)^{0.354} \cdot (N)^{0.199}} \quad R^2 = 0.66$$

۶- نتیجه‌گیری

تحقیقات آزمایشگاهی حاضر به منظور بررسی اثر عوامل موثر بر روی میزان پایین آمدگی از سازه موج‌شکن شکل‌پذیر صورت گرفته است. نتایج این بررسی‌ها را به صورت زیر می‌توان بیان کرد:

۱- تأثیر شاخص نفوذپذیری سازه D_{n50A}/D_{n50C} و دانه‌بندی مصالح لایه آرمور D_{n85A}/D_{n18A} بر میزان پایین آمدگی امواج از موج‌شکن‌های شکل‌پذیر ناچیز می‌باشد.

۲- با افزایش تعداد امواج، میزان پایین آمدگی بر روی موج‌شکن‌های شکل‌پذیر افزایش می‌یابد.

۳- ترازهای پایین آمدگی امواج بر روی موج‌شکن‌های شکل‌پذیر به شیب اولیه سازه، $\cot \alpha$ و عمق آب در جلوی سازه، d_i حساس می‌باشد.

۴- تحلیل رگرسیونی خطی چندگانه نشان می‌دهد که میزان پایین آمدگی از سازه‌های موج‌شکن شکل‌پذیر با تیزی موج s_{om} ، تعداد امواج N و شیب اولیه سازه $\cot \alpha$ رابطه معکوس و با نسبت عمق آب به ارتفاع موج در جلوی سازه d_i/H_s ، رابطه مستقیم دارد.

۵- در راستای مقایسه با نتایج تحقیقات انجام شده توسط سایر محققین، کل اطلاعات آزمایشگاهی حاضر با معادله پیشنهادی فن در میر برای حالات مختلف، انطباق داده شد. عملاً دیده می‌شود میزان پایین آمدگی بر روی موج‌شکن‌های شکل‌پذیر، کمتر از موج‌شکن‌های سنتی می‌باشد.

۶- امواج از نوع آشفته، چرخان و آواری بر روی شیب عمومی سازه موج‌شکن شکل‌پذیر دارای میزان پایین آمدگی کمتری نسبت به امواج از نوع لغزان می‌باشند.

۷- تشکر

بدین وسیله از مسئولین محترم مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب‌خیزداری وزارت جهاد کشاورزی برای فراهم آوردن امکان انجام

این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک آن مرکز، جناب آقایان مهندس مهدی حجازی، مهندس نیکزاد امیری، رحمت‌اله خلیلی، منصور پشوتنی، عبدالله عبدالهی و مهران نقدعلی تقدیر و تشکر می‌شود.

۸- مراجع

زاهدی، رفیعه. چگینی، وحید، بنازاده، محمدرضا و آق‌تومان، پیمان (۱۳۷۹): "بررسی بالاروی و پایین روی امواج نامنظم از موج‌شکن‌های پوشش داده شده با بلوک‌های آنتی‌فر"، مجموعه مقالات پنجمین همایش علوم و فنون دریایی و جوی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس.

عامری، مجتبی. دولتشاهی پیروز، محرم و آق‌تومان، پیمان (۱۳۷۹): "بررسی تأثیر شکل مصالح لایه آرمور بر واکنش‌های هیدرولیکی دیوارهای ساحلی توده سنگی"، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، بندرعباس، بندر شهید رجایی.

CIRIA/CUR, (1991), *Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering*, special publication 83, CUR Report 154, A. A. BALKEMA, Rotterdam.

CIRIA/CUR, (1995), *Manual on the Use of Rock in Hydraulic engineering*, CUR/RWS Report 169, A.A.BALKEMA, Rotterdam.

De Waal, J.P., and Van der Meer, J.W., (1992), "Wave run-up and overtopping at coastal structures", *ASCE, Proc. 23rd ICCE*, Venice, Italy, pp. 1758-1771.

DHI (Danish Hydraulic Institute), (1996), *EUMAST II Berm breakwater structures, Influence of the permeability and stone gradation*, Draft report, October 1996.

Hughes, S.A., (1993), *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 7, World Scientific Publishing, Singapore.

Mansard, E.P.D., and Funke, E.R., (1980), "The measurement of Incident And Reflected Spectral Using a Least Squares Method", *Proc. 17th Coastal Engineering Conf*, Sydney, Australia, pp. 154-172.

PIANC MarCom WG 40, (2003), *State-of-the-art of the design and construction of berm breakwaters*, PIANC, Brussels.

Pilarczyk, K.W., (1990), *Design of seawalls and dikes including overview of the revetment*, Coastal protection, Balkema Rotterdam.

- Van der Meer, J.W., (1998), "Wave run-up and overtopping", Chapter 8, pp. 145-159. In: *Dikes and revetments*, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Van der Meer, J.W., and Janssen, J.P.F.M., (1994), "Wave run-up and wave overtopping at dikes and revetments", *Delft Hydraulics, Report No 485*.
- Van der Meer, J.W., and Stam, C.J.M., (1992), " Wave run-up on smooth and rock slopes of coastal structures," ASCE, *Journal of WPC & OE*, Vol. 118, No. 5, pp. 534-550.
- TAW, (1974), *Technical advisory committee on protection against inundation, wave run-up and overtopping*, Government Publishing Office, The Hague, The Netherlands.
- USACE, (1984), *Shore Protection Manual*, U.A. Government Publisher, Washington. DC.
- Van der Meer, J.W., (1988a), "rock slopes and gravel beaches under wave attack", *Doctoral thesis, Delft univ. of Technology*, Delft Hydraulics Communication, No. 396.
- Van der Meer, J.W., (1993), *Conceptual design of rubble mound breakwaters*, Delft Hydraulics, Report No 483.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۰ مرداد ۱۳۸۴

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۰ مهر ۱۳۸۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۲ آذر ۱۳۸۵