



تعیین ضرایب بازتاب امواج نامنظم از موج شکن‌های شکل‌پذیر با استفاده از نتایج مدل آزمایشگاهی

- ناصر شیریان، دانشجوی دوره دکتری سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس
- مهدی شفیعی‌فر، عضو هیأت علمی دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس
- پیمان آق‌تومان، عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی
- وحید چگینی، عضو هیأت علمی مرکز ملی آقیانوس شناسی.

تاریخ دریافت: اردیبهشت ماه ۱۳۸۳ تاریخ پذیرش: مرداد ماه ۱۳۸۳

Email: Shirian@modares.ac.ir

چکیده

در این تحقیق تأثیر امواج نامنظم دریا بر میزان بازتاب امواج از موج‌شکن‌های توده سنگی شکل‌پذیر مورد بررسی قرار گرفته است. موج شکن شکل‌پذیر، نوعی موج‌شکن است که نیم‌رخ اولیه آن در اثر برخورد امواج تغییر شکل پیدا می‌کند. 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 JONSWAP بوده است. برای بررسی تأثیر مشخصات امواج بر میزان بازتاب امواج، از امواج نشکسته، شکننا و شکسته شده استفاده شده است. محدوده ارتفاعات موج ۴ تا ۱۴ سانتیمتر و دوره‌های میانگین ۰/۹ تا ۱/۷ ثانیه در آزمایشگاه در نظر گرفته شده‌اند. جهت اجرای مصالح لایه آرمور، از سنگ با دانه‌بندی‌های به ترتیب ۱/۸۲، ۱/۴۴ و ۱/۱۴ D_{n85A}/D_{n15A} و محدوده شاخص نفوذپذیری سازه $D_{n50A}/D_{n50c} \geq 10$ و $D_{nA}/D_{nc} \leq 10$ استفاده شده است. برای بررسی تأثیر شیب سازه، شیب‌های ۱:۱/۲۵، ۱:۲ و ۱:۲/۵ با مقیاس ۱:۵۰ مورد آزمایش قرار گرفته‌اند 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 ضرایب بازتاب ارائه و به کمک روش‌های رگرسیونی خطی چندگانه، روابط جدیدی به داده‌های آزمایشگاهی برازش داده شده است، که در این مقاله ارائه می‌گردد.

کلمات کلیدی: موج‌شکن‌های توده سنگی شکل‌پذیر، بازتاب امواج، مدل آزمایشگاهی، امواج نامنظم، ضریب بازتاب

Pajouhesh & Sazandegi No:66 pp: 68-77

Experimental investigation and determination of reflection coefficients of irregular waves from reshaping breakwaters

By: N. Shirian, Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modarres University

M. Shafiee-Far, Assist. Prof. Department of Civil Engineering, Tarbiat Modarres University

P. Aghtouman, Member of Scientific Board of Soil Conservation and Watershed Management Research Center

V. Chegini, Member of Scientific Board of Iranian National Center for Oceanography

In this research the effects of irregular wave reflection from the reshaping rubblemound breakwaters were investigated. Reshaping breakwater is a kind of new breakwaters, which its initial profile is changed to a (S) shaped one after impacting of waves. Therefore, the relations related to reflection coefficients on conventional breakwaters cannot be used for this type of structure. Method of research was based on Experimental modeling. Experiments were done for multiple cross sections of reshaping breakwaters with three different slopes in the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI) wave Flume, during 2003 to 2004. The wave flume equipped with a modern DHI wave generation system, which contains paddle, power pack, hardware and software divisions. The hydraulic response that 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 Armour layer materials were included in three grading class (Dn85A/Dn15A=1.14, 1.44, 1.82) and a Range of structural notional permeability index $Pe (1 \leq D_{50A}/D_{50C} \leq 20)$ In order to changing structural geometry, wave properties and comparison between two scales ($\lambda = 50, 30$), 120 tests were done with 1000 to 6000 waves in this research. At the end, comparisons between the results of different scale factor were done. The experimental results were plotted as graphs showing the reflection coefficients 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 fit to data can be achieved using multiple linear regression and nonlinear regression which results in some new empirical equations which has been presented in this research.

Keywords: Reshaping breakwaters, Wave reflection, Rubble mound, Experimental modeling, Irregular waves, and Reflection coefficient.

مقدمه

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 ۱).

$$\xi = \tan \alpha / \sqrt{s_o} \quad (2)$$

پارامترهای هیدرولیکی عوامل تعیین کننده 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. بازتاب امواج از سازه در تعیین و برآورد میزان انتقال کرانه‌ای رسوب و نیز در بررسی میزان آشفستگی امواج در جلوی سازه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اندرکنش امواج تابشی و بازتابی باعث ایجاد محیطی آشفته در جلوی سازه شده و این جریان‌های آشفته سبب عمیق‌تر شدن عمق در پای سازه می‌شوند. جریان‌های کرانه‌ای و آشفته در پای سازه عامل اصلی پدیده آشفستگی سازه هستند. همچنین آشفستگی سطح دریا به واسطه تداخل امواج تابشی و بازتابی در جلوی سازه، نوابری و پهلوگیری شناورها را با مشکل مواجه می‌کند.

پارامتر تشابه شکست s_o و s_{om} را نتیجه می‌دهد. پارامتر تشابه شکست s_o معمول ترین پارامتر بدون بعد برای بیان اثر امواج بر سازه‌های شیب‌دار است. این پارامتر که عدد ایربارن I_r نیز نامیده می‌شود، در رابطه (۲) عبارت است از:

به طوری که در رابطه فوق با $\tan \alpha$ شیب سمت دریای سازه و s_o تیزی موج ژرفاب می‌باشند. مطابق شکل شماره ۲، پارامتر تشابه شکست اکثراً برای بیان شکل و حالت شکست موج بر روی شیب ساحل و یا یک شیب سازه‌های مشخص به کار برده می‌شود. محققین زیادی بر روی ضرایب بازتاب از موج‌شکنهای توده سنگی سنتی و سکویی شکل پذیر تحقیق و روابط تجربی مختلفی را ارائه نموده‌اند، (۲۰۱، ۲۰۳، ۲۰۴، ۲۰۵، ۲۰۶، ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۸، ۲۲۰، ۲۲۳، ۲۲۴). در گزارش‌های USACE (۲۱)، CIRIA/CUR (۹،۸) و PIANC (۱۷) نیز فرمول‌هایی به منظور تخمین ضریب بازتاب توصیه شده است به طور مثال Seelig (۲۰، ۱۹) رابطه شماره (۳) را ارائه کرده است:

$$C_r = \frac{\alpha \xi_p^2}{\beta + \xi_p^2} \quad (3)$$

در بررسی مشخصات امواج، شرایط موج عمدتاً توسط ارتفاع موج تابشی H_i (معمولاً ارتفاع مشخصه موج H_s)، دوره میانگین T_m یا دوره اوج (پیک) T_p ، زاویه برخورد موج β ، عمق آب در جلوی سازه d و طول موج ژرفاب L_0 مشخص می‌شوند. تأثیر دوره موج غالباً با استفاده از رابطه (۱) که یک رابطه بدون بعد برای تیزی موج ژرفاب، بررسی می‌شود.

$$s_o = \frac{H}{L_0} = \frac{2\pi H_s}{gT^2} \quad (1)$$

که در آن ξ_p ، عدد ایربارن (پارامتر تشابه شکست) و ضرایب ثابت α و β برای شیب‌های نفوذپذیر ناهموار به ترتیب برابر $0/6$ و $6/6$ توصیه شده‌اند.

در تحقیقات دیگری Postma (۱۸) نیز رابطه شماره (۴) را براساس اطلاعات آزمایشگاهی خود و رابطه شماره (۵) را براساس اطلاعات

استفاده از پارامترهای H_s و T_m یا T_p در معادله شماره (۱) به ترتیب

آزمایشگاهی Allsop و channell (۷) ارائه کرد.

$$4 < \cot \alpha < 5 \quad (9)$$

$$P = 0.6$$

آق تومان و چگینی (۲) ضرایب بازتاب از دیوار ساحل توده سنگی را بر حسب پارامتر جدید Ψ نشان داده اند که در این پارامتر تأثیر شکل مصالح لایه آرمر، پارامتر بدون بعد ارتفاع نسبی واحد آرمر و نسبت سازه ای دیده شده است. روابط (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) برای محاسبه Ψ به کار گرفته می شوند.

$$\Psi = \frac{\Omega}{\alpha} \quad (10)$$

$$\Omega = \frac{1}{C} \cdot \xi_p \cdot \frac{h}{D_n} \quad (11)$$

$$\alpha = 0.2 \cot \theta + 0.7 \quad (12)$$

در روابط فوق θ شیب سازه، C ضریب شکل مصالح لایه آرمر که برای سنگ ۱/۱ در نظر گرفته می شود، D_n قطر اسمی سنگ و h ارتفاع سنگدانه ها ξ_p و پارامتر تشابه شکست هستند. مقایسه نتایج این تحقیق بر حسب در شکل ۸ ارائه شده است.

پارامتر هیدرولیکی بازتاب

تمامی سازه هایی که در معرض برخورد امواج قرار دارند، بخشی از انرژی امواج تابشی را بازمی تابانند. میزان بازتاب امواج با ضریب C_r بازتاب نمایش داده می شود. این ضریب در واقع نسبت ارتفاع موج بازتابی به ارتفاع موج تابشی و یا جدر نسبت انرژی بازتابی به انرژی تابشی موج است که به صورت رابطه (۱۳) بیان می شود:

$$C_r = H_r / H_i = \sqrt{E_r / E_i}$$

$$C_r = 0.14 \xi_p^{0.73} \quad (4)$$

$$C_r = 0.125 \xi_p^{0.73} \quad (5)$$

بررسیهای Postma (۱۸) نشان داد که پارامتر تشابه ξ_p شکست به طور کامل اثر ترکیب شیب سازه و تیزی موج را در بر ندارد و بنابراین براساس اطلاعات آزمایشگاهی Van der Meer (۲۴،۲۳) رابطه شماره (۶) را پیشنهاد کرد:

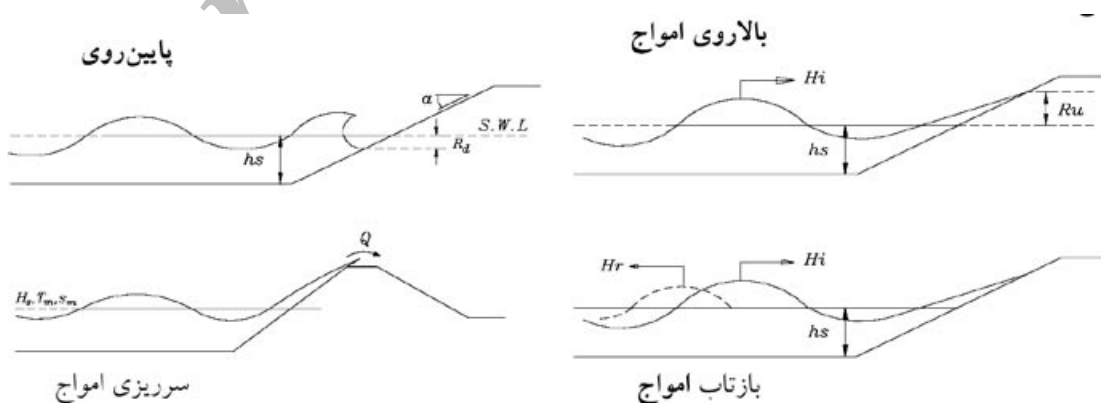
$$C_r = 0.071 \cdot P^{-0.082} \cdot \cot \alpha^{-0.62} \cdot s_{op}^{-0.46} \quad (6)$$

که در این رابطه، s_{op} پارامتر تیزی موج با دوره پیک، $\cot \alpha$ شیب سازه و P ضریب نفوذپذیری تصویری است. این ضریب به کمک شکل ۳ با توجه به هندسه سازه، ضخامت لایه آرمر و فیلتر و قطر متوسط مصالح آرمر و فیلتر تعیین می شود. شایان ذکر است که براساس نتایج بدست آمده از آزمایش های دو بعدی انجام گرفته در مؤسسه هیدرولیک دانمارک DHI (۱۱) بر روی موج شکن های سکویی روابط شماره (۷)، (۸) و (۹) ارائه شده اند.

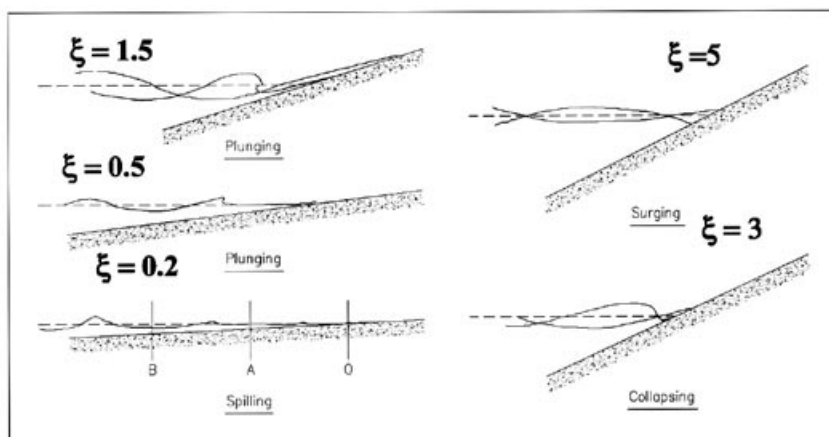
$$C_r = 0.35 \cdot \xi_p^{0.17} \quad (7)$$

$$C_r = 0.044 \cdot s_{op}^{-0.46} \quad (8)$$

که محدوده اعتباری رابطه (۸) عبارت است از:



شکل ۱- واکنش های هیدرولیکی سازه های ساحلی



شکل ۲ - انواع امواج شکننا
بر اساس تابعی از پارامتر
تشابه شکست

جدول ۱- محدوده پارامترهای مورد مطالعه در مدل آزمایشگاهی موج شکن شکل پذیر

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}	(۱۰ و ۱۳ و ۱۵ و ۲۰)
دانه بندی مصالح آرمور	Dn85A/Dn15A	(۱/۱۴ و ۱/۴۴ و ۱/۸۲)
شاخص نفوذپذیر مصالح	P_e	$(0 \leq P_e \leq 10, P_e > 10)$
عمق آب	d_i	(۲۰ تا ۲۱) سانتیمتر
عمق آب به ارتفاع موج	d/H_s	(< ۲/۲)
شیب اولیه	$\cot \alpha$	۲/۵ تا ۱/۲۵
پارامتر بدون بعد ارتفاع موج یا عدد پایداری	$H_s / \Delta D_{n50}$	۱/۷ تا ۵
N_s		
مقیاس	λ	۳۰ و ۵۰

پارامتر بی بعد شامل متغیر Z و (...) اشاره دارد که یک تابع از متغیرهای بدون بعد در براکت می باشد. به منظور کاهش تعداد متغیرهای موجود در رابطه (۱۶) می توان از اصل ترکیب سازی در آنالیز ابعادی استفاده کرد. در عین حال با توجه به اینکه آزمایش ها براساس قانون مقیاس فرود-رینولدز انجام می شود، بایستی $3 \times 10^4 < (\sqrt{g D_{50A}^2} / v) < 1 \times 10^4$ رابطه بین پروتوتایب و مدل ارضا شده و در نهایت خواهیم داشت:

$$\Pi_2 = \Phi_2 [H_r / (S_x - 1) D_{n50A}, H_r / L_o, N, D_{85A} / D_{15A}, t_A / D_{n50A}, d / D_{n50A}, D_{n50A} / D_{n50C}, \cot \alpha, d / H_r, A_e / D_{n50A}^2] \quad (17)$$

پارامتر بی بعد شامل متغیر Z و (...) بیان می کند که یک تابع از متغیرهای بدون بعد در براکت می باشد. میزان و نحوه وابستگی بین متغیرهای رابطه (۱۵) و (۱۷) با نماد کلی Z (بطور مثال ضریب بازتاب C_r و یا H_{sr} ارتفاع موج مشخصه بازتابی) را می توان با استفاده از داده های آزمایشگاهی بدست آورد.

مدل سازی آزمایشگاهی

در آزمایش های مربوط به مدل سازی سازه های ساحلی نیروی غالب، نیروی وزن یا گرانش است. از این رو معیار مناسب برای مدل سازی، معیار فرود است و نوع جریان نیز باید کاملاً آشفته در نظر گرفته شود تا بتوان از اثرات لزجت صرف نظر کرد. کنترل اثرات لزجت به وسیله کنترل معیار رینولدز ممکن می شود که براساس توصیه an der Meer (۲۲) باید در محدوده رابطه زیر قرار گیرد:

$$R_e = D_{n50} \sqrt{g H_s} / v \geq (10^{-4} x) 10^4 \quad (18)$$

که D_{n50} در آن قطر اسمی مصالح است که ۵۰ درصد از مصالح، قطری کمتر از آن را دارا باشند. در رابطه (۱۸) از مقادیر مورد استفاده در

هنگامی که امواج نامنظم و تصادفی مدنظر باشند، مقدار C_r را می توان با استفاده از ارتفاع موج مشخصه تابشی و بازتابی به عنوان جانشینی از انرژی های تابشی و بازتابی به شکل رابطه (۱۴) بدست آورد.

$$C_r = H_{sr} / H_{si} \quad (13)$$

آنالیز ابعادی

عواملی که بر ضریب بازتاب C_r از موج شکن شکل پذیر موثر است را می توان با Z نمایش داد. در حقیقت Z نماد کلی است جهت معرفی هر یک از خصوصیات منتج از اندرکنش موج با سازه که بایستی اندازه گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد و در رابطه ۱۵ مشخص است.

$$Z = \Phi [H_{si}, T, N, D_{n50A} / D_{n50C}, D_{85A} / D_{15A}, t_A, \rho_w, \rho_s, d, v, g, D_{n50}, \cot \alpha, A_e] \quad (15)$$

که در رابطه فوق H_{si} ارتفاع مشخصه موج تابشی، T دوره موج، N تعداد امواج، D_{n50C} ، D_{15A} ، D_{n50A} ، D_{85A} و به ترتیب عبارتند از ۸۵ درصد، ۵۰ درصد و ۱۵ درصد مقادیر منحنی های دانه بندی آرمور و هسته، t_A ضخامت لایه آرمور، SW جرم مخصوص آب دریا، Sr جرم مخصوص مصالح، d عمق آب در جلوی سازه v ، ویسکوزیته سینماتیکی آب، g شتاب گرانش، $\cot \alpha$ شیب سازه و A_e سطح فرسایش یافته می باشند. با استفاده از روش باکینگهام در مرجع Hughes (۱۲)، می توان رابطه (۱۵) را به فرم بی بعد رابطه (۱۶) زیر نوشت:

$$\Pi_2 = \Phi_2 [H_r / D_{n50A}, g T^2 / D_{n50A}, \sqrt{g D_{n50A}^2} / v, N, D_{85} / D_{15}, \rho_s / \rho_w, d / D_{n50A}, D_{n50A} / D_{n50C}, \cot \alpha, A_e / D_{n50A}^2] \quad (16)$$

جدول ۲- روابط حاصل از نتایج آزمایشگاههای پژوهش حاضر

ملاحظات	Standard Error	R ²	روابط (۲۰) و (۲۱) و (۲۲)
—	۰/۰۴۴	۰/۶	$C_r = 0.146 + 0.254 \ln \xi_{op}$
—	۰/۱۴	۰/۵۷	$C_r = 0.182 \xi_{op}^{0.976}$
A=۴/۶ B=۱/۳۴	—	۰/۶	$C_r = \frac{A \xi_{op}^{0.5}}{(B + \xi_{op}^{0.5})}$

مدل استفاده می‌شود.

برای ایجاد تشابه سینماتیکی و دینامیکی از رابطه (۱۹) که اصلاح شده نسبت عدد پایداری هادسون در پروتوتایپ و مدل می‌باشد، استفاده شده است.

$$\frac{W_M}{W_P} = \frac{1}{\lambda^3} \times \frac{\rho_{am}}{\rho_{ap}} \times \frac{(\rho_{ssdp} / \rho_{wp} - 1)^3}{(\rho_{ssdm} / \rho_{wm} - 1)^3} \quad (19)$$

که در آن چگالی اشباع با سطح خشک واحد آرمر در نمونه واقعی، ρ_{ssdm} چگالی اشباع با سطح خشک واحد آرمر در مدل ρ_{wp} ، چگالی آب در نمونه واقعی ρ_{wm} ، چگالی آب در مدل ρ_{ap} ، چگالی مصالح در نمونه واقعی، ρ_{am} چگالی مصالح در مدل است. با رعایت این معیارها و قابل اغماض بودن اثرات مقیاس، مقیاس ۱:۵۰ ($\lambda = 50$) برای آزمایش‌ها انتخاب شده است.

برپایی مدل و شرح آزمایش‌ها

آزمایش‌های مدل بر روی مقطع موج شکن شکل پذیر (شکل ۴) 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 می‌باشد (شکل ۵) انجام شده است.

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. ثبت نوسانات سطح آب توسط چهار دستگاه ارتفاع‌سنج موج در حین انجام آزمایش صورت گرفته و در رایانه ذخیره شده‌اند. یک دستگاه ارتفاع‌سنج موج در جلوی سازه و 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 (۱۶) و به وسیله نرم‌افزار (Wave synthesizer) W_s تحلیل شده و ضرایب بازتاب و ارتفاع موج تابشی در جلوی سازه محاسبه شده است. در کلیه آزمایش‌ها پروفیل سازه در سمت پارو قبل از شروع آزمایش و بعد از اصابت امواج برداشت و ثبت شده است. دامنه تغییرات پارامترهای مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

با توجه به معادلات آنالیز ابعادی بررسی‌های اولیه نشان داد که تغییرات ضرایب بازتاب نسبت به تغییرات دانه‌بندی مصالح آرمر D_{n85A}/D_{n15A} ، نفوذپذیری اسمی مصالح موج شکن D_{n50A}/D_{n50C} و ضخامت لایه آرمر t_a/D_{n50} عملاً ناچیز است. به اشکال ۶ و ۷ مراجعه شود. یک مقایسه نیز در شکل ۸ بین ضرایب بازتاب از دیوار ساحلی توده سنگی بر حسب پارامتر جدید Ψ که توسط آق تومان و چگینی (۱) ارائه شده با نتایج این تحقیق صورت گرفته است. منحنی‌های برازش داده شده تقریباً به خوبی بر یکدیگر منطبق می‌باشند. براساس داده‌های بدست آمده از آزمایش‌ها نمودار ضرایب بازتاب بر حسب پارامتر تشابه شکست ترسیم شده (شکل ۹) و در کنار این اطلاعات آزمایشگاهی، توصیه‌های Seelig (۲۰، ۱۹) به صورت رابطه (۳)، Postma (۱۸) به صورت روابط ۴ و ۵ و نتایج آزمایش‌های دو بعدی بر روی موج شکن‌های اسکویی DHI (۱۱)

به شکل رابطه (۷) ارایه گردیده‌اند. کلیه روابط روند کلی اطلاعات را نسبتاً خوب توصیف می‌کنند. رابطه (۷) مقادیر را محافظه کارانه و روابط (۴) و (۵) مقادیر را کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کنند، در این میان رابطه (۳) روند مناسب‌تری را نسبت به سایر روابط با توجه به نوع اطلاعات آزمایش‌ها بیان می‌کند. لذا به کمک برنامه نرم‌افزاری SPSS، سه رابطه جدید (۲۰)، (۲۱)، (۲۲) برای اطلاعات حاضر و با توجه به معیارهای آماری در جدول ۲ ارایه شده‌اند.

پارامتر مهم دیگر که معمولاً ضریب بازتاب را بر حسب آن و یا به صورت تابعی از آن ارایه داده‌اند، (S_o) تیزی موج می‌باشد. از جمله این کارها رابطه (۸) می‌باشد که براساس آزمایش‌های انجام گرفته در مؤسسه DHI (۱۱)، توسط Alikhani (۶) ارائه شده است. مشابه رابطه فوق الذکر، در اینجا نیز یک رابطه جدید (۲۳) بین ضریب بازتاب و پارامتر تیزی موج S_{op} براساس اطلاعات آزمایش‌های تحقیق حاضر توصیه می‌گردد (شکل ۱۰).

$$R^2 = 0.83 \quad (23)$$

با

$$C_r = 0.04 s_{op}^{-0.52}$$

شکل ۱۰ رابطه‌ی برازش داده شده را با نتایج آزمایش‌های DHI (۱۱) مقایسه می‌نماید. روند در هر دو منحنی خوب بوده و در مجموع تفاوت موجود ناشی از محدوده تغییرات پارامترهای موثر بر ضریب بازتاب می‌باشد.

همانطور که مشاهده می‌شود، محققین اکثراً در زمینه ارایه روابط مختلف برای ضریب بازتاب معمولاً از دو پارامتر تشابه شکست S_o و تیزی موج S_{op} یا استفاده کرده‌اند. معمولاً دو پارامتر تیزی موج و تشابه شکست نمی‌توانند تأثیر سایر پارامترهای موثر را بر روی ضریب بازتاب نشان دهند. برای تعیین رابطه‌ی دقیق‌تر بین ضریب بازتاب C_r و سایر پارامترهای موثر حاکم، بایستی پارامترهای غیر وابسته موثر را از کل پارامترهای مطرح جدا کنیم، یکی از راه‌های دقیق و علمی برای این کار کاربرد رگرسیون چندگانه می‌باشد. برای این کار تمام اطلاعات ثبت شده در حین تحقیق حاضر به کار گرفته می‌شود و ارتباط و اهمیت نسبی و روند تغییرات هر یک از متغیرهای غیروابسته نسبت به متغیر وابسته ضریب بازتاب مشخص می‌گردد. بررسی‌های اولیه نشان داد که به کمک پارامترهای اصلی

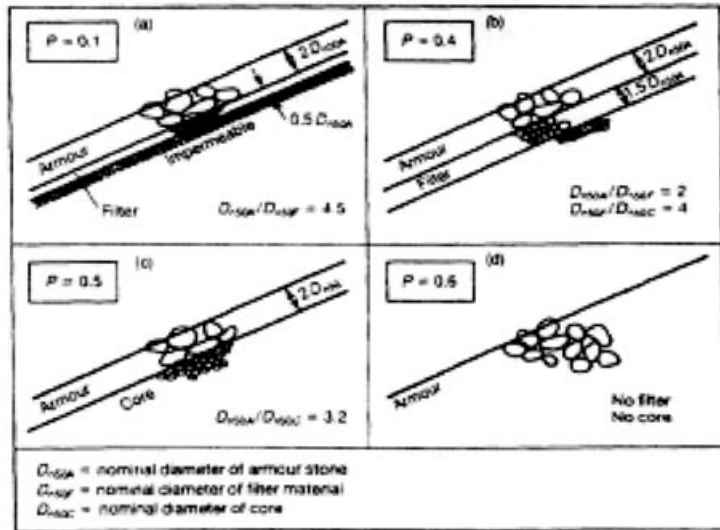
مانند $A_e d_i, \cot \alpha, N, T_m, H_{si}$ و پارامترهای بدون بعد از قبیل $S = A_e / D_{n50}^2, N, d / H_s, \cot \alpha, s_{om}, H_o$ می‌توان به کمک تحلیل رگرسیونی چندگانه توسط برنامه نرم‌افزاری SPSS رابطه ۲۴ را برای ارتباط مقادیر با متغیرهای غیر وابسته در نظر گرفت (۲۷).

$$(C_r) = C X_1^{a_1} X_2^{a_2} \dots X_n^{a_n} \quad (24)$$

که X نماد پارامترهای مستقل بوده و P توان پارامتر، C ضریب ثابت و n تعداد کلی پارامترها می‌باشد.

معادله رگرسیونی خطی چندگانه (Multiple Linear Regression) ضرایب بازتاب C_r بر حسب پارامترهای موثر بدون بعد به شکل رابطه (۲۵) بیان می‌گردد:

شکل ۳ ضریب نفوذپذیری فرضی P،
برای سازه‌های مختلف
(۲۲) Van der Meer



بعد عدد آسیب S استفاده می‌شود. در این تحقیق نیز پارامتر آسیب $S = Ae/D_{n50}^2$ و سطح فرسایش یافته Ae با استفاده از پروفیل برداری نهایی سازه پس از اصابت امواج محاسبه و ثبت شد. نتایج نشان می‌دهد که S رابطه معنی‌داری با عدد پایداری داده‌های آزمایشگاهی بدست آمده از این تحقیق یک رابطه توانی به روش حداقل مربعات برازش داد. رابطه (۲۶) به عنوان یک رابطه طراحی برای تعیین پارامتر آسیب یا میزان آسیب وارد شده به سازه در این نوع سازه‌ها می‌تواند کاربرد داشته باشد.

$$S = 1.41H_o^{3.44} \quad R^2 = 0.72 \quad (25)$$

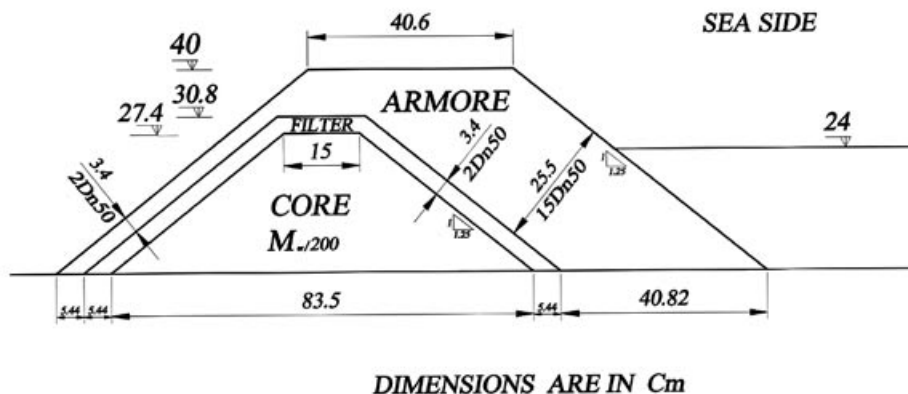
$$C_r = \frac{0.1686}{\sum N^{0.512} \cdot \cot \alpha^{0.321} \cdot \frac{0.027}{N} \cdot S^{0.112} \cdot (d_r/H_r)^{0.361}} R^2 = 0.923 \quad (25)$$

به منظور بررسی تأثیر مقیاس مدل، نتایج مربوط به ضرایب بازتاب در مقیاس ۱:۵۰ با نتایج حاصله از آزمایش‌های با مقیاس ۱:۳۰ مقایسه گردیدند، شکل ۱۳ نشان می‌دهد که نتایج انطباق خوبی با یکدیگر داشته و تأثیر تغییر مقیاس مدل بر روی نتایج بسیار ناچیز و قابل صرفه‌نظر کردن است.

نتیجه‌گیری

تحقیقات آزمایشگاهی حاضر به منظور بررسی اثر عوامل موثر بر روی ضریب بازتاب از سازه‌های موج‌شکن شکل‌پذیر صورت گرفته است. نتایج این بررسی‌ها را به صورت زیر می‌توان بیان کرد:
۱- تأثیر شاخص نفوذپذیری سازه D_{n50A}/D_{n50C} ، دانه‌بندی مصالح

که در رابطه فوق، پارامتر تیزی موج ژرفاب بر حسب پرپود متوسط، N تعداد امواج، (d_r/H_r) نسبت عمق آب در جلوی سازه به ارتفاع موج، $\cot \alpha$ شیب سازه و S پارامتر عدد آسیب می‌باشند. که راجع به S پارامتر آسیب در پاراگراف بعدی توضیحات بیشتری ارائه خواهد شد. ضرایب بازتاب پیش‌بینی شده از رابطه (۲۵) و مقادیر مشاهده شده از آزمایش‌ها در شکل ۱۱ ترسیم شده‌اند. در حقیقت (۲۵) قابلیت خوبی برای برازش بر اطلاعات آزمایشگاهی این تحقیق را دارد. جهت تعیین میزان آسیب وارده به شیب اولیه سازه از پارامتر بدون



شکل ۴- نمونه مقطع عرضی مدل آزمایشگاهی موج‌شکن شکل‌پذیر مورد آزمایش با شیب ۱:۱/۲۵

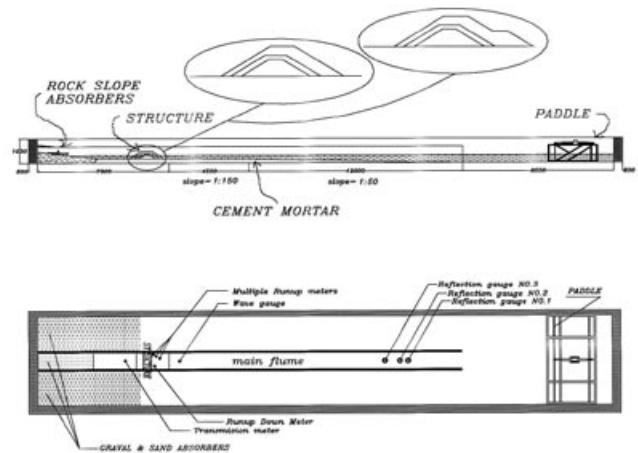
آماری از دقت قابل قبولی برخوردار هستند.
۶- تاثیر مقیاس بر روی مدل آزمایشگاهی قابل صرف نظر کردن است.

سیاسگزاری

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 پژوهشگاه، جناب آقای مهندس مهدی حجازی برای کمک در انجام آزمایش‌ها و نظارت مستقیم بر دقت کار و آقایان مهندس نیکزاد امیری، رحمت اله خلیلی، منصور پشتوتنی، عبدالله عبدالهی و مهران نقدعلی برای همکاری‌های شبانه‌روزی در آزمایشگاه هیدرولیک و انجام آزمایش‌های مدل آزمایشگاهی تقدیر و تشکر می‌شود.

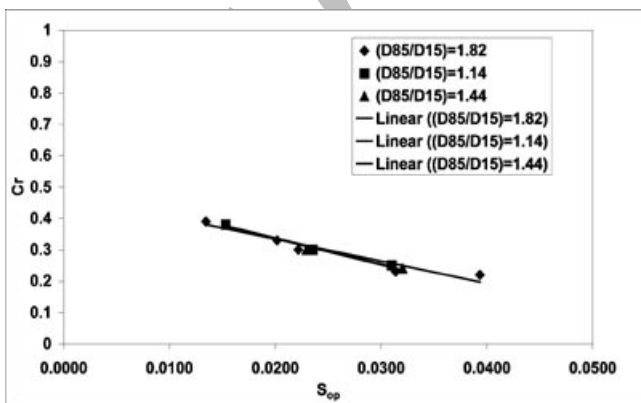
منابع مورد استفاده

- ۱- آق‌تومان، پیمان، ۱۳۷۶، بررسی عملکرد هیدرولیکی موج‌شکن‌های پوشش داده شده با بلوک‌های آنتی‌فر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، دانشکده علوم و فنون دریایی.
- ۲- آق‌تومان، پیمان، کمالی، نازنین، چگینی، وحید، دولتشاهی بیروز، محرم ۱۳۸۱، ارایه روابط جدید بازتاب امواج از دیواره‌های ساحلی توده‌ای، پنجمین کنفرانس بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، رامسر.
- ۳- چگینی، وحید، ۱۳۷۷، راهنمای طراحی موج‌شکن‌ها، مجموعه سه جلدی کتابهای مهندسی دریا، شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری، تهران.
- ۴- چگینی، وحید، آق‌تومان، پیمان و صفری، نوید، ۱۳۷۹، بازتاب امواج از موج‌شکن‌های توده سنگی مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین‌المللی بنادر، سازه‌های دریایی بندر شهید رجایی.
- 5- Allsop, N.W.H, 1990., Reflection performance of rock armoured slopes in random waves, Proc. 22nd Coastal Engineering Conf, Delft, ASCE, New York.
- 6- Alikhani, A., Tomasicchio, G.R. and Juhl, J. 1996., Berm breakwater trunk exposed to oblique waves, Proc. of the 25th

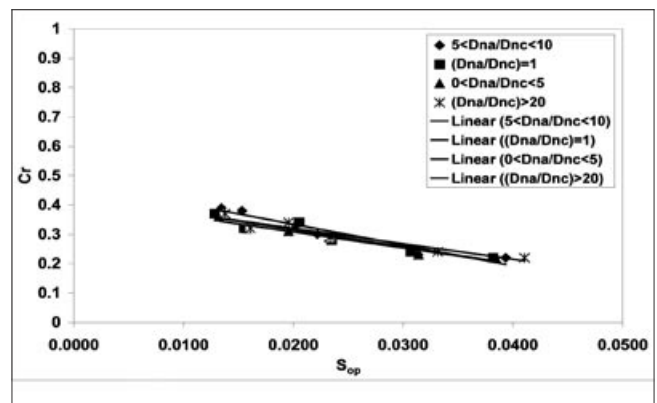


شکل ۵- مقطع عرضی و پلان فلوم موج و نحوه استقرار سازه، پاروی مولد موج و سنسورها در آزمایشها

- ۱- لایه آرمور Dn85A/Dn15A و نسبت ضخامت لایه آرمور t_a/D_{n50A} بر ضریب بازتاب از موج‌شکن شکل‌پذیر ناچیز و قابل صرف نظر کردن می‌باشد.
- ۲- با کاهش عمق جریان در پای سازه، ضریب بازتاب از سازه‌های موج‌شکن شکل‌پذیر افزایش می‌یابد.
- ۳- ضرایب بازتاب از سازه‌های موج‌شکن شکل‌پذیر با تیزی موج، تعداد امواج N، سطح فرسایش Ae، عمق آب di، و با شیب اولیه سازه $\cot \alpha$ رابطه معکوس و با ارتفاع موج رابطه مستقیم دارند. عمده‌ترین تأثیر مربوط به تیزی امواج برخورد کننده به سازه می‌باشد.
- ۴- امواج شکسته شده بر روی سازه دارای ضرایب بازتاب کمتری نسبت به امواج شکنا و در حال شکست در جلوی سازه می‌باشند.
- ۵- روابط مناسبی برای تخمین ضرایب بازتاب موج‌شکن‌های شکل‌پذیر به شکل آنالیز رگرسیونی دو متغیره برحسب پارامتر تشابه شکست S_{op} و تیزی موج S_{om} و آنالیز رگرسیونی چند متغیره ارائه شده است که از نظر



شکل ۷- مقایسه ضرایب بازتاب برحسب تیزی موج برای دانه‌بندی‌های مختلف



شکل ۶- مقایسه ضرایب بازتاب برحسب تیزی موج برای نفوذپذیرهای مختلف

International Conference on Coastal Engineering, Orlando, Florida, USA, 2-6 September 1996. ASCE.

7- Allsop, N. W. H. and Channell, A. R. 1989., Wave reflections in harbours: reflection performance of rock armored slopes in random waves. Report OD 102, Hydraulic Research, Wallingford.

8- CIRIA/CUR, 1991., Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering, Special publication 83, CUR Report 154, A.A.BALKEMA, Rotterdam.

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

10- Davidson, M.A. and Bird, P.A.D., 1996, A new non-dimensional number for the analysis of the wave reflection from rubble mound breakwater, International Coastal Engineering conf., vol. 28.

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

12- Hughes, S.A., 1993., Physical models and laboratory techniques in coastal engineering, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 7, World Scientific Publishing, Singapore.

13- Juhl, J., Sloth, P., 1998., Berm breakwaters, influence of stone gradation, permeability and armouring. Proceedings of the 26th International Conference of Coastal Engineering Copenhagen, Denmark. ASCE, New York, 1998, pp. 1394-1406.

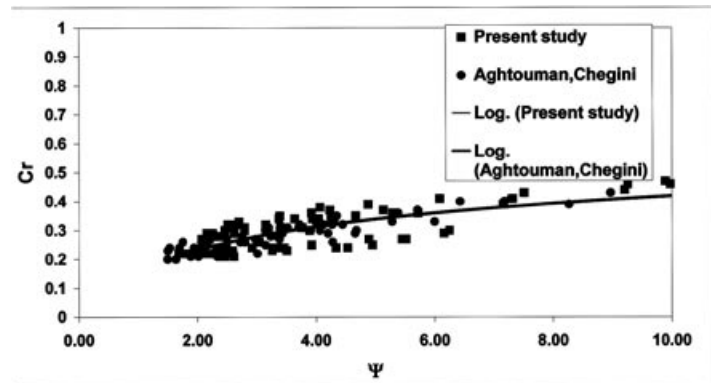
14- Lamberti, A., Tomasicchio, G.R. and Guiducci, F. 1994., Reshaping berm breakwaters in deep and shallow water conditions. Proceeding of the 24th International Conference on Coastal Engineering, Kobe, Japan. ASCE pp 1343-1358.

15- Lissev, N. and Torum, A. 1996., Influence of the core configuration on the stability of berm breakwaters. Proc. of the 25th International Conference on Coastal Engineering, Orlando, Florida, USA, 2-6 September 1996., ASCE.

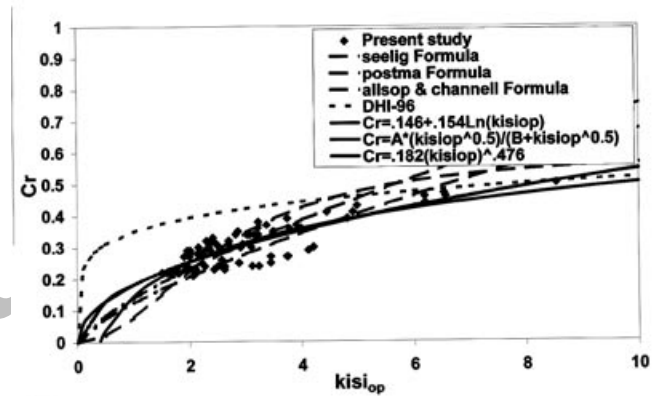
16- Mansard, E.P.D. and Funke, E.R., 1980., The measurement of Incident and reflected spectral using a least squares method, Proc. 17th Coastal Engineering Conf, Sydney, Australia, pp. 154-172.

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

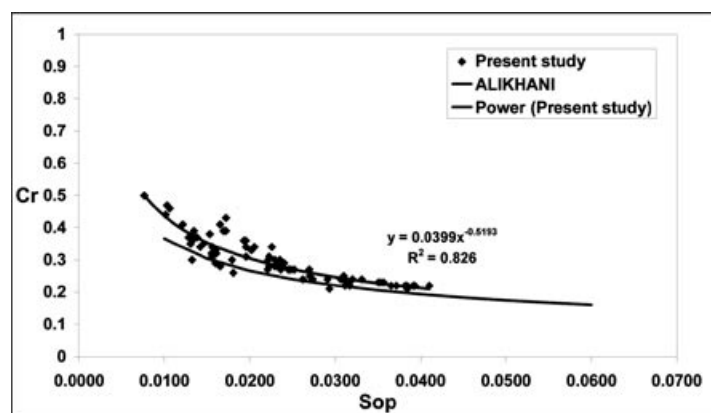
18- Postma, G.M., 1989., Wave reflection from rock slopes



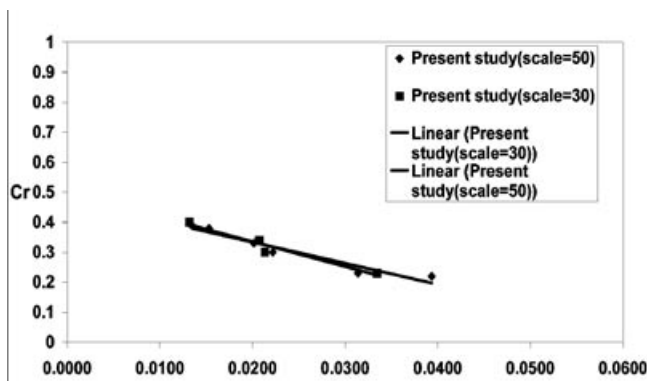
شکل ۸: مقایسه ضرایب بازتاب امواج در موج شکن‌های شکل پذیر و دیواره‌های ساحلی بر حسب



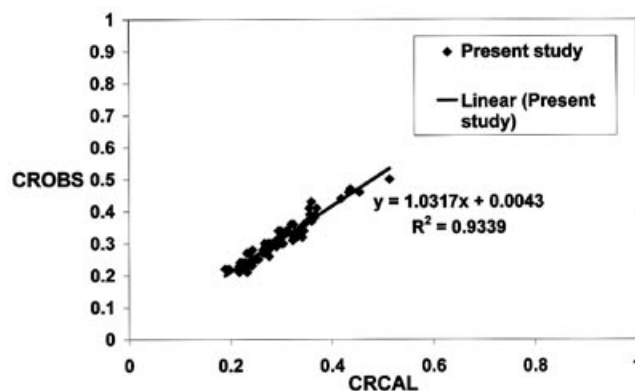
شکل ۹- مقایسه روابط پیشنهادی با روابط سایر محققین برای تغییرات ضرایب بازتاب بر حسب پارامتر تشابه شکست



شکل ۱۰- مقایسه رابطه‌ی پیشنهادی با روابط موجود برای تغییرات ضرایب بازتاب بر حسب تیزی موج



شکل ۱۳- بررسی تأثیر مقیاس بر روی نتایج مربوط به ضرایب بازتاب



شکل ۱۱- ضرایب بازتاب مشاهده شده بر حسب مقایز پیش‌بینی شده توسط معادله (۲۵)

under random wave attack ,Unpublished M.Sc. Thesis , Delft Univ. of Technology, 106pp.

19- Seelig, W. N.1983., Wave reflection from coastal structures. Proc. of Coastal Structures ,83. ASCE.

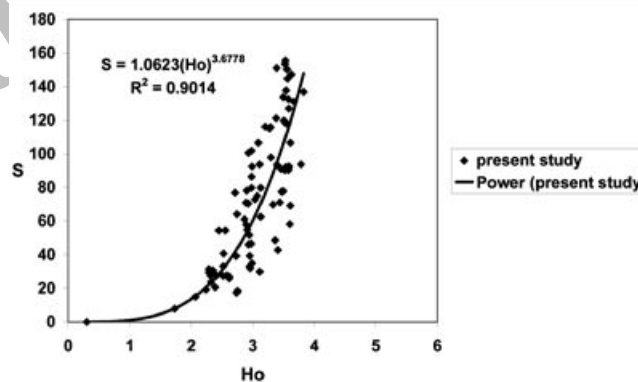
20- Seelig, W.N. and Ahrens, J.P., 1981., Estimation of wave reflection and energy dissipation coefficients for beaches. Revetments and Breakwaters, CERC Technical Paper 81-1, Fort Belvoir, U.S. Army Engineer Waterways Coastal Experiment Station, Vicksburg, MS.

21- USACE, 1984., Shore Protection Manual, U.A. Government Publisher, Washington .DC.

22- 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.

23- Van der Meer, J.W., 1992., Conceptual design of rubble mound breakwaters, Proc. of Short Course on the Design and Reliability of coastal structures, 23rd Conf. Coastal Eng., Venice, ASCE, New York, pp: 447-510.

24- Van der Meer, J. W.1993., Conceptual design of rubble mound breakwaters. Delft Hydraulics. Report No 483.



شکل ۱۲- پارامتر آسیب S بر حسب عدد پایداری Ho

