

## تعیین ضریب بازتاب امواج نامنظم از موج شکن های شکل پذیر با استفاده از نتایج مدل فیزیکی

محبوبه حسین پور<sup>۱\*</sup>، وحید چگینی<sup>۲</sup>، ناصر شیریان<sup>۳</sup>، پیمان آق تومانیان<sup>۴</sup>، مهدی شفیعی فر<sup>۳</sup>

۱- دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، دانشکده علوم دریایی، گروه فیزیک دریا

۲- موسسه ملی اقیانوس شناسی، گروه مهندسی و تکنولوژی دریا

۳- دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران

۴- مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، گروه حفاظت سواحل

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس شناسی ۱۳۸۹، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس شناسی است.

### چکیده

در این مقاله اثر پراسنجه های موج شامل ارتفاع موج شاخص، دوره های تناوب میانگین و چکادی، و مدت توفان، و پراسنجه های سازه ای مانند ژرفای آب در پای سازه، شیب اولیه سازه، نفوذپذیری و ضریب دانه بندی بر روی بازتاب امواج از موج شکن های شکل پذیر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. پژوهش حاضر با بهره گیری از نتایج آزمایشات مدل هیدرولیکی انجام شده در فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی و با استفاده از امواج نامنظم انجام شده است. نتایج حاصل از انجام تحقیق در قالب نمودارهایی که تغییرات ضرایب بازتاب موج را بر حسب پراسنجه های بدون بُعد نشان می دهند و رابطه جدیدی که با استفاده از آن می توان ضریب بازتاب موج از موج شکن های شکل پذیر را محاسبه کرد، ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی: موج شکن شکل پذیر، موج شکن سکویی، واکنش های هیدرولیکی، موج نامنظم، بازتاب موج، مدل فیزیکی

### ۱. مقدمه

به طور کلی پراسنجه های (پارامترهای) حاکم در طراحی موج شکن های شکل پذیر عبارتند از:

$$N_s = H_o = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \quad \text{الف- عدد پایداری}$$

$$H_o T_o = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}} T_z \quad \text{ب- عدد پایداری دوره تناوب}$$

$$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \quad \text{ج- چگالی شنواری نسبی قطعه زره (آرمور)}$$

موج شکن شکل پذیر نوعی موج شکن توده سنگی است که به دو دسته سکویی و مسلح توده ای<sup>۱</sup> تقسیم می شود. این موج شکن به گونه ای طراحی می شود که پس از برخورد امواج طراحی، یک نیمرخ تعادلی به شکل حرف S خوابیده در سمت دریای سازه تشکیل شود.

\* پست الکترونیکی: m\_hosseinpour1979@yahoo.com

<sup>1</sup> Naturally armored breakwater

طراحی بنادر و سازه های آن از قبیل موج شکن ها و اسکله ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برهمکنش امواج تابشی و بازتابی موجب ایجاد محیط متلاطمی در جلو سازه می شود که ممکن است خطراتی را برای شناورها به وجود آورد. به علاوه این پدیده موجب افزایش فرایند آب شستگی در پای سازه می شود.

## ۲. مروری بر تحقیقات انجام شده

Seelig (۱۹۸۳) بر اساس نتایج آزمایش های تجربی، رابطه زیر را برای تعیین ضریب بازتاب موج از سازه های ساحلی به دست آورد:

$$C_r = \frac{a \xi_p^2}{b + \xi_p^2} \quad (1)$$

که در آن عدد ابری بارن  $\xi_p$  به صورت زیر تعریف می شود:

$$\xi_p = \frac{\tan \alpha}{\left( \frac{2\pi H_s}{g T_p^2} \right)^{1/2}} \quad (2)$$

به طوری که سایر متغیرها عبارتند از:

$a$  ضریب تجربی برابر با ۰/۶

$b$  ضریب تجربی برابر با ۶/۶

$\alpha$  زاویه شیب سازه نسبت به افق

$T_p$  دوره تناوب اوجی (چکادی) موج

Postma (۱۹۸۹) روابط زیر را برای ضریب بازتاب موج ارائه کرد:

$$C_r = 0.14 \xi_p^{0.73} \quad (3) \quad (\text{بر اساس داده های خودش})$$

$$C_r = 0.125 \xi_p^{0.73} \quad (4) \quad (\text{بر اساس داده های Allsop و Channel})$$

$$C_r = 0.071 P^{-0.082} \cot \alpha^{0.62} S_{op}^{-0.46} \quad (5)$$

که در آن:

$P$  ضریب نفوذپذیری فرضی بر اساس تعریف van der Meer (۱۹۸۷) که بین ۰/۱ تا ۰/۶ متغیر است.

$S_{op}$  تیزی موج ژرفاب که در محاسبه آن از دوره تناوب چکادی موج استفاده شده باشد.

بر اساس آزمایش های انجام شده در مؤسسه هیدرولیک دانمارک (DHI)، رابطه زیر به دست آمد:

$$C_r = 0.35 \xi_p^{0.17} \quad (6)$$

علیخانی (۲۰۰۰) با انجام آزمایشات مدل هیدرولیکی در

$$f_g = \frac{D_{n85}}{D_{n15}} \quad \text{د- ضریب دانه بندی}$$

$$N_s^* = \frac{(H_s^2 L_o)^{1/3}}{\Delta D_{n50}} \quad \text{ه- شاخص تحرک}^1$$

و- عدد پایداری اصلاح شده به وسیله Lamberti و Tomasicchio (۱۹۹۷)

$$N_s^{**} = \frac{H_k}{C_k \Delta D_{n50}} \left( \frac{s_{mo}}{s_{mk}} \right)^{-1/5} (\cos \beta_o)^{2/5} \approx \frac{0.89 H_{bk}}{C_k \Delta D_{n50}}$$

متغیرهای این روابط عبارتند از:

$H_s$  ارتفاع موج شاخص<sup>۲</sup>

$H_k$  ارتفاع موج مشخصه<sup>۳</sup> که معادل میانگین ۱/۵۰ امواج

مرتفع است.

$C_k$  برابر با  $H_k/H_s = 1.55$  برای ژرفاب، هنگامی که

ارتفاع های موج از توزیع ریلی تبعیت می کنند.

$D_{n50}$  برابر با  $(W_{50}/\rho_s)^{1/3}$

$W_{50}$  وزن میانه سنگ<sup>۴</sup>

$T_z$  دوره تناوب میانگین موج

$g$  شتاب گرانش

$D_{n15}$  قطری که پانزده درصد از سنگ ها دارای قطری کوچکتر

از آن هستند.

$D_{n85}$  قطری که هشتاد و پنج درصد از سنگ ها دارای قطری

کوچکتر از آن هستند.

$s_{mo}$  برابر با  $2\pi H_s / (g T_z^2)$

$s_{mk}$  تیزی موج مشخصه برابر با ۰/۰۳

$\beta_o$  زاویه بین جهت میانگین موج و خط عمود بر

محورهای طولی بدنه موج شکن

$L_o$  طول موج ژرفاب

$\rho_s$  چگالی سنگ

$\rho_w$  چگالی آب

تمام سازه های دریایی بخشی از انرژی موج تابشی را باز می تابانند. بازتاب موج با استفاده از ضریب بازتاب موج که معمولاً به صورت نسبت ارتفاع موج بازتابیده به ارتفاع موج تابشی تعریف می شود، بررسی می گردد. تعیین این ضریب در

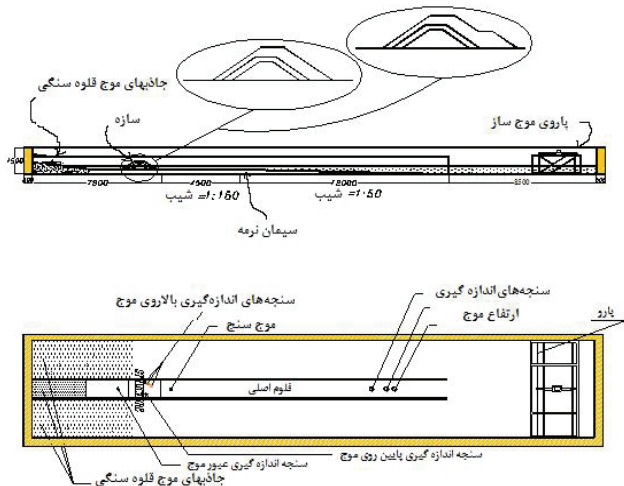
<sup>1</sup> Mobility Index

<sup>2</sup> Significant Wave Height

<sup>3</sup> Characteristic Wave Height

<sup>4</sup> Medium Weight of Stone

آزمایش‌ها در بخش میانی فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری با استفاده از امواج نامنظم (طیف JONSWAP) انجام شد (شکل ۲).



شکل ۲- مقطع عرضی و تصویر افقی فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری و محل استقرار مدل سازه

ارتفاع امواج در آزمایش‌های انجام شده با مقیاس ۱:۵۰ در محدوده ۴/۸ الی ۱۳ سانتیمتر و با دوره‌های تناوب میانگین ۰/۹۹، ۱/۲۷ و ۱/۶۳ ثانیه انجام شد، به طوری که تیزی موج میانگین در محدوده ۰/۰۱ تا ۰/۰۷ قرار داشت. تعداد امواج برابر با ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۶۰۰۰ موج،  $D_{n50} = 1/\text{cm}$  ضریب دانه‌بندی برابر با ۱/۱۴، ۱/۴۴، ۱/۸۲ و ژرفای آب در پای سازه بین ۲۱ تا ۴۰ سانتیمتر متغیر بود.

در مجموع، تعداد ۲۹۵ آزمایش با مقیاس ۱:۵۰ برای بررسی اثر پراسنجه‌های مختلف و تعداد ۳۰ آزمایش با مقیاس ۱:۳۰ برای مطالعه اثرات مقیاس<sup>۲</sup> انجام شد.

شیریان و همکاران به رابطه زیر برای تعیین ضریب بازتاب امواج از موج‌شکن‌های شکل‌پذیر دست یافتند:

$$C_r = \frac{0.0914}{s_{om}^{0.52} \cot \alpha^{0.18} N^{0.067}} \quad (10)$$

### ۳. تحلیل مجدد داده‌های تجربی

موج‌شکن شکل‌پذیر سازه‌ای است که پس از برخورد امواج تغییر شکل می‌دهد و ممکن است روابط مربوط به تعیین ضریب بازتاب موج

<sup>2</sup> Scale effect

مؤسسه فوق برای سازه‌های شکل‌پذیر با  $4 < \cot \alpha < 5$  و  $P = 0.6$  به رابطه زیر دست یافت:

$$C_r = 0.044 s_{op}^{-0.46} \quad (7)$$

طبق نتیجه‌گیری PIANC (۲۰۰۳)، هیچکدام از روابط فوق قادر به تبیین بازتاب موج نیستند.

حاجی سیدی، چگینی، بنزاده ماهانی و آق‌تومان (۱۳۸۰) رابطه زیر را برای برآورد ضریب بازتاب موج از موج‌شکن‌های سکویی پیشنهاد کردند:

$$C_r = 0.1 \frac{\psi_r^{1.33}}{(\ln N)^{2.28} + 167} \quad (8)$$

که در آن:

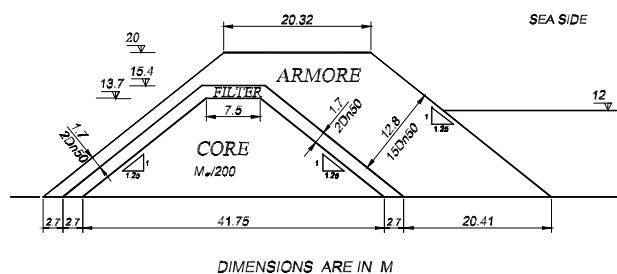
$$\psi_r = T_m \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}} \quad (9)$$

$N$  تعداد امواج

$T_m$  دوره تناوب میانگین موج

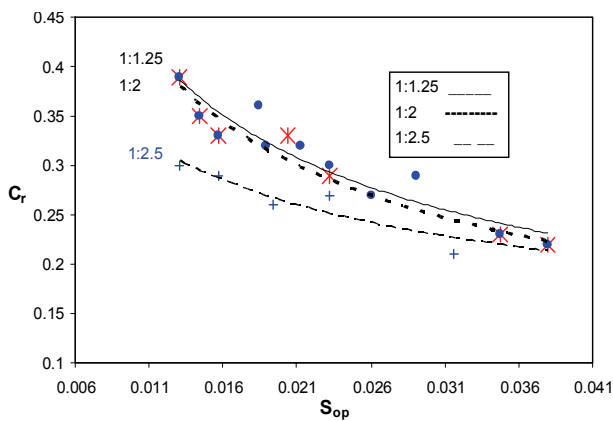
چگینی و همکاران (۱۳۸۰) دریافتند که با افزایش تیزی موج، ضریب بازتاب موج از سازه کاهش و با افزایش دوره تناوب، این ضریب افزایش می‌یابد. حسب گفته آنها، با افزایش  $N$  ضریب بازتاب از سازه تا حدی کاهش می‌یابد.

شیریان و همکاران با انجام آزمایش‌های مدل هیدرولیکی در فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، واکنش‌های هیدرولیکی موج‌شکن‌های شکل‌پذیر شامل بازتاب، عبور، بالاروی و سرریزی امواج را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. آزمایش‌ها با مقیاس‌های ۱:۳۰ و ۱:۵۰ انجام شد. شیب‌های وجه سمت دریای سازه ۱:۲۵، ۱:۲ و ۱:۲/۵ بود. نمونه‌ای از مقطع عرضی مدل مورد آزمایش در شکل (۱) نشان داده شده است.

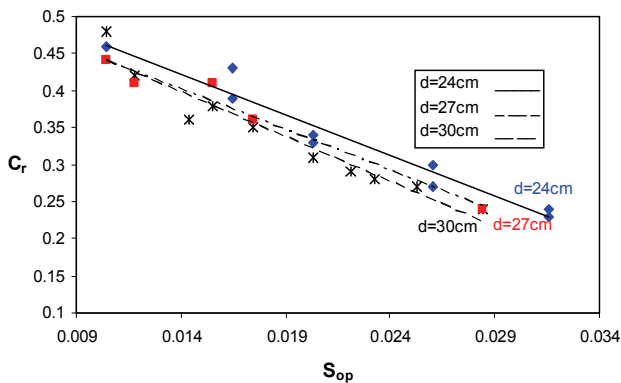


شکل ۱- مقطع عرضی موج‌شکن شکل‌پذیر با شیب ۱:۱/۲۵ در ابعاد نمونه واقعی<sup>۱</sup>

<sup>1</sup> Prototype



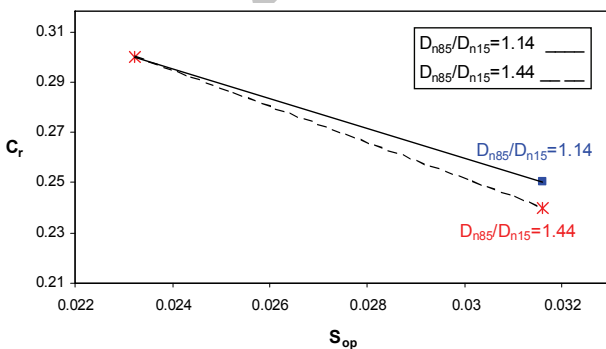
شکل ۴- تأثیر شیب اولیه سازه بر ضریب بازتاب موج در آزمایش های انجام شده با  $d=24\text{ cm}$



شکل ۵- تأثیر ژرفای آب در پای سازه بر ضریب بازتاب موج برای آزمایش های انجام شده با شیب اولیه ۱:۱/۲۵

#### ۴.۳ بررسی تأثیر دانه بندی

ضریب بازتاب موج به ازای ضریب دانه بندی کوچک تر و مقادیر  $S_{op}$  بزرگ تر، بیشتر است. البته در مجموع میزان تأثیر ضریب دانه بندی بر بازتاب موج بسیار کم است (شکل ۶).

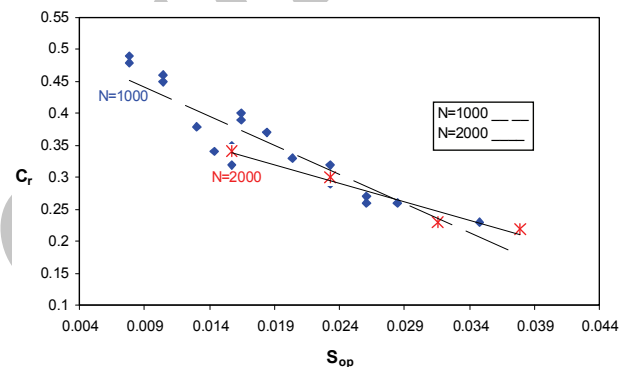


شکل ۶- تأثیر دانه بندی بر ضریب بازتاب موج در آزمایش های انجام شده با شیب اولیه ۱:۱/۲۵ و ژرفای آب  $d=24\text{ cm}$

از موج شکن های توده سنگی معمولی در مورد آنها قابل کاربرد نباشد. به علاوه در برآورد این ضریب باید همه پراسنجه های بی بعد مؤثر در طراحی سازه را در نظر گرفت. بنابراین داده های حاصل از انجام آزمایش های مدل هیدرولیکی شیریان و همکاران مورد تحلیل مجدد قرار گرفت.

#### ۱.۳ بررسی تأثیر تعداد امواج

ضریب بازتاب به ازای افزایش مدت توفان (تعداد امواج) کاهش می یابد و در محدوده  $S_{op} = 0.026 - 0.03$ ، ضریب بازتاب برای  $N=1000, 2000$  تقریباً یکسان است (شکل ۳). با افزایش تعداد امواج، شیب عمومی سازه کاهش می یابد و این کاهش منجر به کاهش ضریب بازتاب موج می شود.



شکل ۳- تأثیر مدت توفان بر ضریب بازتاب موج برای آزمایش های انجام شده با  $d=24\text{ cm}$  و شیب اولیه سازه ۱:۱/۲۵، به طوری که  $d$  ژرفای آب است.

#### ۲.۳ بررسی تأثیر شیب اولیه سازه

مطابق شکل (۴) با کاهش شیب اولیه سازه، ضریب بازتاب موج کاهش می یابد. با کاهش شیب اولیه سازه، در واقع شیب تخت تر می شود. به طوری که حجم مصالح لایه آرمور در جلو سازه که در معرض امواج قرار می گیرد، افزایش می یابد. بدین ترتیب سطح بیشتری برای اتلاف انرژی موج در مقابل جبهه موج قرار می گیرد. با توجه به اینکه مقدار جریان ورودی برای شرایط موج معین ثابت است، استهلاک بیشتر انرژی به کاهش ضریب بازتاب امواج منجر می شود.

#### ۳.۳ بررسی تأثیر ژرفای آب در پای سازه

با کاهش ژرفای آب در پای سازه، ضریب بازتاب امواج از موج شکن شکل پذیر افزایش می یابد (شکل ۵).

#### ۴. نتیجه‌گیری

با توجه به اثر پراسنجه‌های مربوط به امواج و پراسنجه‌های سازه‌ای در بازتاب امواج از موج‌شکن‌های شکل‌پذیر، از پراسنجه‌های بدون بُعد زیر برای استخراج رابطه جدید  $C_r$  استفاده شد:

$$N_s, \frac{N_s^*}{d} \Delta D_{n50}, s_{om}, \cot \alpha, N, \frac{D_{n50}}{gT_m^2}, H_o T_o, \frac{d}{H_s}$$

با استفاده از نرم‌افزار SPSS و روش برگشت خطی چندگانه، رابطه زیر برای تعیین ضریب بازتاب موج از موج‌شکن‌های شکل‌پذیر به دست آمد:

(۱۱)

$$C_r = 1.286 \frac{\exp\left(0.815 N_s - 1.94 \frac{N_s^* \Delta D_{n50}}{d} - 30.61 s_{om}\right)}{\cot \alpha^{0.108} \left(\frac{D_{n50}}{gT_m^2}\right)^{1.216} N^{0.046} (H_o T_o)^{1.697} \left(\frac{d}{H_s}\right)^{1.304}} \quad (R^2 = 0.96)$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ضریب بازتاب موج تابعی از عدد پایداری، شاخص تحرک، چگالی شناوری نسبی قطعه زره، نسبت قطر میانگین قطعه زره به ژرفای آب، تیزی موج، شیب سازه، نسبت قطر میانگین قطعه زره به طول موج ژرفاب، تعداد امواج، عدد پایداری دوره تناوب، و ژرفای نسبی آب است.

#### ۵. تقدیر و تشکر

این پژوهش با استفاده از امکانات و تجهیزات آزمایشگاه مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وابسته به وزارت جهاد کشاورزی انجام شده است که بدینوسیله از زحمات مسوولین این مرکز و کارکنان آزمایشگاه بخش‌های حفاظت سواحل و فنی آن تقدیر و تشکر بعمل می‌آید.

#### منابع

حاجی سیدی، ن؛ چگینی، و؛ بنازاده ماهانی، م.ر؛ و آق‌تومان، پ: ۱۳۸۰. بررسی تأثیر پارامترهای موج بر روی بازتاب امواج از

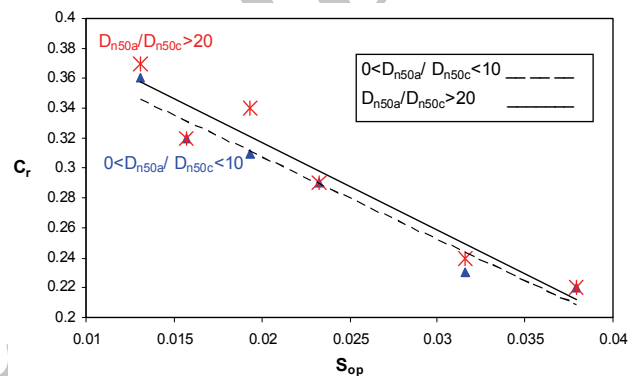
با پهن‌تر شدن منحنی دانه‌بندی سنگ‌های لایه زره (آرمور)، فرایند تغییر شکل موج‌شکن سریع‌تر انجام می‌شود که این واقعیت به کاهش ضریب بازتاب امواج منجر می‌شود.

#### ۵.۳ بررسی تأثیر نفوذپذیری سازه

نفوذپذیری سازه را می‌توان با ضریب زیر سنجد:

$$P_e = \frac{D_{n50a}}{D_{n50c}}$$

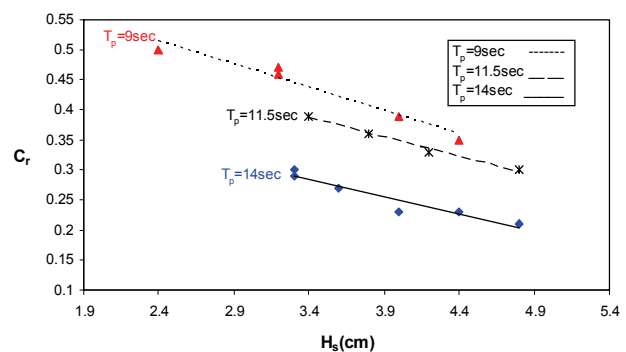
که در آن زیرنویس  $a$  مربوط به آرمور و  $c$  مربوط به مغزه (هسته) سازه است. به‌طور کلی میزان بازتاب امواج از سازه‌های با نفوذپذیری کمتر، اندکی بیشتر است که این موضوع رابطه مستقیمی با عبور بیشتر موج از بدنه سازه‌های فوق دارد (شکل ۷).



شکل ۷- تأثیر نفوذپذیری سازه بر ضریب بازتاب موج برای آزمایش‌های انجام شده با  $d = 24$  cm و شیب اولیه ۱:۲۵

#### ۶.۳ بررسی تأثیر دوره تناوب امواج

با فرض یکسان بودن ارتفاع موج شاخص، ضریب بازتاب موج با افزایش دوره تناوب چکادی موج ( $T_p$ ) کاهش می‌یابد. این کاهش به دلیل نفوذ بیشتر امواج با دوره تناوب بلندتر از میان بدنه سازه است (شکل ۸).



شکل ۸- تأثیر دوره تناوب امواج بر ضریب بازتاب موج برای آزمایش‌های انجام شده با  $d = 24$  cm و شیب اولیه ۱:۲۵

- PIANC: 2003. State-of-the-art of designing and constructing berm breakwaters. Report of WG 40.
- Postma, G.M: 1989. Wave reflection from rock slopes under random wave attack. M.Sc. Thesis. Delft Univ. of Tech. Faculty of Eng. Delft.
- Seelig, W.N: 1983. Wave reflection from coastal structures. Proc. of Coastal Structures. 83. ASCE.
- Van der Meer, J.W: 1987. Stability of breakwater armour layers- Design formulae. Coastal Eng. Vol. 11. No. 3, Sept.
- موج شکن های سکویی با استفاده از روش مدل فیزیکی. شیریان و همکاران، تعیین ضرایب بازتاب امواج نامنظم از موج شکن های شکل پذیر با استفاده از نتایج مدل آزمایشگاهی، فصلنامه پژوهش و سازندگی، در دست چاپ.
- Alikhani, A: 2000. On reshaping breakwaters. PhD Thesis. Aalborg Univ. Denmark. Series No. 20, ISSN 0909-4296.
- Lamberti, A.; and Tomasicchio, G.R: 1997. Stone mobility and longshore transport at reshaping breakwaters. Coastal Eng. 29. pp 263-289.

Archive of SID