

## بررسی عبور امواج نامنظم از موج شکن های شکل پذیر

وحید چگینی<sup>۱\*</sup>، محبوبه حسین پور<sup>۲</sup>، ناصر شیریان<sup>۳</sup>، پیمان آق تومان<sup>۴</sup>، مهدی شفیعی فر<sup>۵</sup>

۱- عضو هیأت علمی موسسه ملی اقیانوس شناسی، پژوهشکده فناوری و مهندسی دریا، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: v\_chegini@inio.ac.ir

۲- کارشناس ارشد فیزیک دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، دانشکده علوم دریایی، گروه فیزیک دریا، استان خوزستان، خرمشهر،

پست الکترونیکی: m\_hosseinpour1979@yahoo.com

۳- دکتری سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، گروه مهندسی عمران، استان تهران، تهران،

پست الکترونیکی: shir@itrc.ac.irt

۴- کارشناس ارشد فیزیک دریا، عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، گروه حفاظت سواحل، استان تهران، تهران،

پست الکترونیکی: Peyman\_7@yahoo.com

۵- دانشیار بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: shafiee@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: شهریور ۱۹

\* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۹

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس شناسی ۱۳۹۰، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس شناسی است.

### چکیده

موج شکن شکل پذیر نوعی موج شکن توده سنگی است که نیمرخ آن پس از برخورد از امواج طراحی به یک نیمرخ تعادلی تبدیل می شود. در این تحقیق، 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، نفوذ پذیری و ضریب دانه بندی بر ضریب عبور امواج نامنظم از موج شکن های شکل پذیر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. پژوهش حاضر با استفاده از نتایج آزمایش های انجام شده در فلوم موجی به طول ۳۳ متر، پهنای ۵/۵ متر و ژرفای ۱ متر و با ایجاد امواج نامنظم (طیف JONSWAP) در آزمایشگاه بخش حفاظت سواحل مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وابسته به وزارت جهاد کشاورزی انجام شده است. نتایج حاصل از انجام تحقیق در قالب نمودارهایی که تغییرات ضریب عبور موج را بر حسب پراسنجه های بدون بُعد نشان می دهند و رابطه ای که با استفاده از آن می توان ضریب عبور 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، عبور موج

### ۱. مقدمه

جزیره ی کیش و چابهار اشاره کرد. یکی از مسایل مورد توجه در طراحی موج شکن ها و جانمایی آنها و مطالعه ی نوسان های سطح آب در حوضچه های بنادر، عبور موج از بدنه ی موج شکن ها است. این پدیده ممکن است موجب افزایش ارتفاع موج در داخل حوضچه ی بندر و ایجاد تلاطم در آن شود. بنابراین تعیین ضریب عبور موج از بدنه ی موج شکن ها که

تاکنون تعداد قابل توجهی موج شکن شکل پذیر خصوصاً از نوع سکویی در سواحل جمهوری اسلامی ایران برای حفاظت از اسکله های بندر در مقابل امواج ساخته شده است که برای نمونه می توان به موج شکن های ساخته شده در پسابندر،

$$C_t = 0.5 \left\{ 1 - \sin \left[ \frac{\pi}{2\alpha} \left( \beta + \frac{Rc}{H_i} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

که در آن  $\alpha$  و  $\beta$  توابعی از شکل موج‌شکن هستند. Ahrens (۱۹۸۷) برای مقادیر  $R_c/H_s > 1$  و در صورت کوتاه بودن دامنه‌ی امواج در مقایسه با قطر سنگ‌های آرمور، رابطه‌ی زیر را به‌دست آورد:

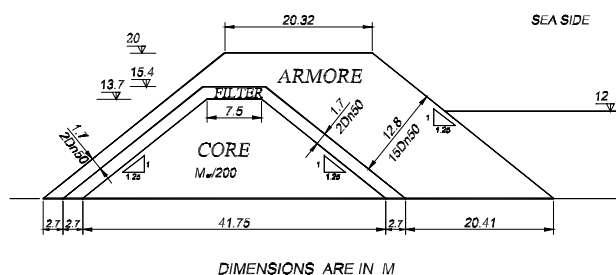
$$C_t = \frac{1}{1 + x^{0.592}} \quad (3)$$

که در آن:

$$x = \frac{H_s A_t}{L_p D_{n50}^2} \quad (4)$$

به‌طوری که  $A_t$  سطح مقطع سازه و  $L_p$  طول موج متناظر با  $T_p$  است.

شیریان و همکاران (۱۳۸۵ هـ خ) 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 ۱:۱.۲۵، 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 نمونه‌ی واقعی<sup>۱</sup>

آزمایش‌ها در بخش میانی فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری با استفاده از امواج نامنظم (طیف

به‌صورت نسبت ارتفاع موج عبور کرده به ارتفاع موج تابشی تعریف می‌شود، دارای اهمیت است.

شایان ذکر است که به‌طور کلی عبور موج از موج‌شکن‌های توده سنگی به دو صورت انجام می‌شود: الف) عبور موج از روی ستیغ سازه، ب) عبور موج از درون بدنه‌ی سازه

## ۲. مروری بر پژوهش‌های انجام شده

نحوه تعیین ضریب عبور موج از موج‌شکن‌های معمولی در رابطه با ارتفاع نسبی ستیغ توسط van der Meer (۱۹۹۰) و بر اساس داده‌های تجربی Seeling (۱۹۸۰)، Powell و Allsop (۱۹۸۵)، Ahrens (۱۹۸۷) و van der Meer (۱۹۸۸) مورد بحث قرار گرفته است. به‌علاوه، آزمایش‌هایی برای تعیین این ضریب توسط van der Meer و Agremond (۱۹۹۱)، van der Meer و Daemen (۱۹۹۴)، Van Gent (۱۹۹۵) و Juhl و Sloth (۱۹۹۸) انجام شده است.

رابطه‌ی تجربی به‌دست آمده برای تعیین ضریب عبور موج از موج‌شکن‌های معمولی عبارت است از:

$$C_t = \max \left\{ a \frac{R_c}{D_{n50}} + b, 0.075 \right\} \quad (1)$$

$$a = -0.24 + 0.031 \frac{H_i}{D_{n50}}$$

$$b = 0.51 - 0.52 S_{op} + 0.0323 \frac{H_i}{D_{n50}} - 0.0017 \left( \frac{B}{D_{n50}} \right)^{1.84}$$

که در آن:

$R_c$  ارتفاع آزاد سازه  
 $H_i$  ارتفاع موج تابشی  
 $D_{n50}$  قطر اسمی آرمور  
 $S_{op}$  تیزی موج ژرفاب که با استفاده از دوره تناوب چکادی موج ( $T_p$ ) به‌دست آمده باشد.  
 $B$  عرض سکوی موج‌شکن سکویی

Goda (۱۹۶۹) معادله‌ی نیمه‌تجربی زیر را برای تعیین ضریب

عبور موج از روی موج‌شکن‌ها پیشنهاد کرد:

<sup>۱</sup> - Prototype

JONSWAP) انجام شد (شکل ۲).

$$C_t = 0.0167(R^*)^{-0.8199} \quad (R^2 = 0.78) \quad (۸)$$

$$D_{n50a} / D_{n50c} > 5$$

که در این روابط، زیرنویس‌های  $a$  و  $c$  به ترتیب لایه‌ی آرموز و مغزه‌ی سازه مربوطند.

در روش دوم، ضریب عبور موج به پراسنجه‌های موج و سازه‌ای مربوط شد:

$$C_t = 0.00989 \frac{N^{0.124}}{P_e^{0.028} \left(\frac{R_c}{H_{si}}\right)^{1.237} S_{om}^{0.469}} \quad (۹)$$

$$(R^2 = 0.8)$$

که در آن  $N$  تعداد امواج و  $P_e$  ضریب نفوذپذیری است. این ضریب برابر است با:

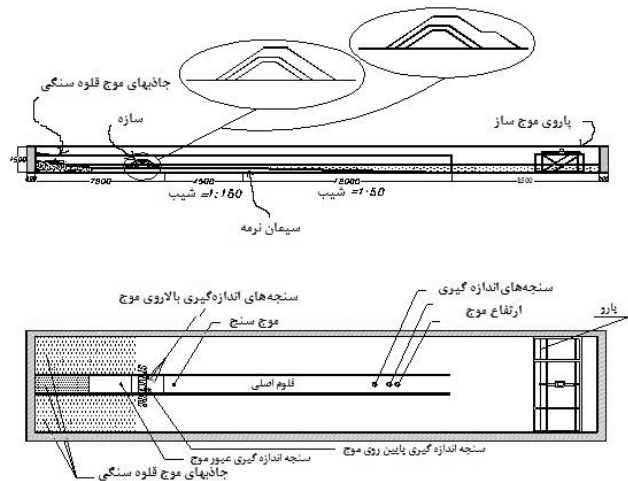
$$P_e = \frac{D_{n50a}}{D_{n50c}} \quad (۱۰)$$

### ۳. تحلیل مجدد داده‌های تجربی

همان‌طور که در روابط (۷) و (۸) ملاحظه می‌شود، ضریب عبور موج به پراسنجه  $S$  وابسته است که تعیین آن دشوار است. به‌علاوه، ضرایب همبستگی در روابط (۷) و (۸) چندان بالا نیستند. بنابراین تصمیم گرفته شد که با در نظر گرفتن اثر همه پراسنجه‌های بدون بُعد، داده‌های حاصل از انجام آزمایش‌های شیریان و همکاران (۱۳۸۴) مورد تحلیل مجدد قرار گیرد.

#### ۳-۱- بررسی تأثیر دوره‌ی تناوب امواج

در صورت ثابت ماندن ارتفاع موج شاخص، با افزایش دوره‌ی تناوب چکادی موج ( $T_p$ )، ضریب عبور موج افزایش می‌یابد (شکل ۳).



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

شیریان و همکاران (۱۳۸۴) از دو روش برای تعیین ضریب عبور امواج ( $C_t$ ) از موج‌شکن‌های شکل‌پذیر استفاده کردند. در روش اول از پارامتر بی‌بُعد زیر برای تعیین  $C_t$  استفاده شد:

$$R^* = \left(\frac{R_c}{H_{si}}\right) \sqrt{\frac{S_{om}}{2\pi}} \frac{1}{S^{0.14}} \quad (۵)$$

که در آن  $H_{si}$  ارتفاع موج شاخص تابشی،  $R_c$  ارتفاع آزاد ستیغ سازه،  $S_{om}$  تیزی موج ژرفاب بر اساس دوره‌ی تناوب میانگین موج و  $S$  پراسنجه (پارامتر) آسیب است. پراسنجه‌ی اخیر از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$S = A_e / D_{n50}^2 \quad (۶)$$

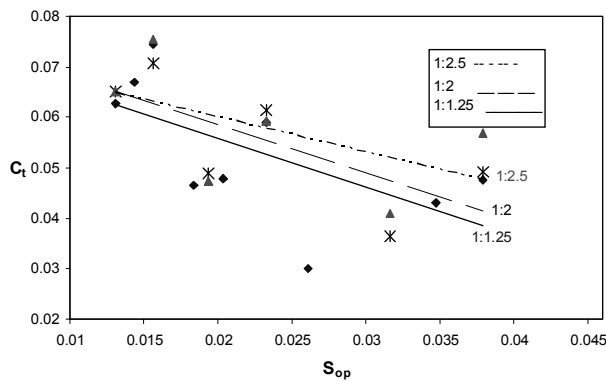
که در آن  $A_e$  سطح فرسایش‌یافته در مقطع عرضی لایه‌ی زره (آرمور) و  $D_{n50}$  قطر اسمی سنگ آرمور است. با استفاده از این روش، روابط زیر برای محاسبه  $C_t$  پیشنهاد شد:

$$C_t = 0.0089(R^*)^{-0.9441} \quad (R^2 = 0.78) \quad (۷)$$

$$1 \leq D_{n50a} / D_{n50c} \leq 5$$

۴-۳- بررسی تأثیر شیب اولیه سازه

میزان عبور موج به ازای شیب اولیه کمتر، بیشتر است (شکل ۵). با کاهش شیب اولیه سازه، شیب سازه تخت تر شده و حجم مصالحی که در معرض امواج قرار می گیرد، بیشتر می شود.



شکل ۵- تأثیر شیب اولیه سازه بر ضریب عبور موج برای امواج ایجاد شده در آب با ژرفای  $d=24$  cm و شیب اولیه سازه 1:1.25

۵-۳- بررسی تأثیر دانه بندی

شکل (۶) نشان می دهد که ضریب عبور امواج با کاهش ضریب دانه بندی افزایش می یابد. ضریب دانه بندی به صورت زیر تعریف می شود:

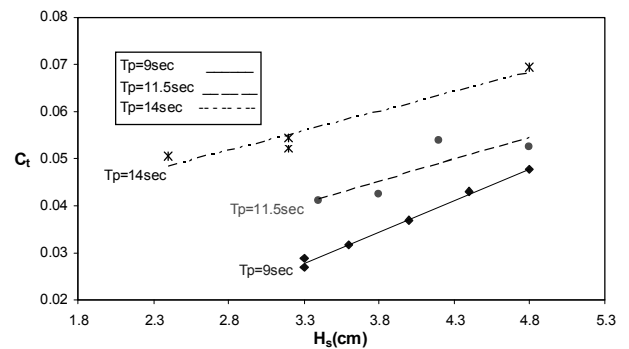
$$f_g = \frac{D_{n85}}{D_{n15}} \quad (11)$$

که در آن:

$D_{n85}$  قطری که ۸۵ درصد از سنگها دارای قطری کوچکتر از آن هستند.

$D_{n15}$  قطری که ۱۵ درصد از سنگها دارای قطری کوچکتر از آن هستند.

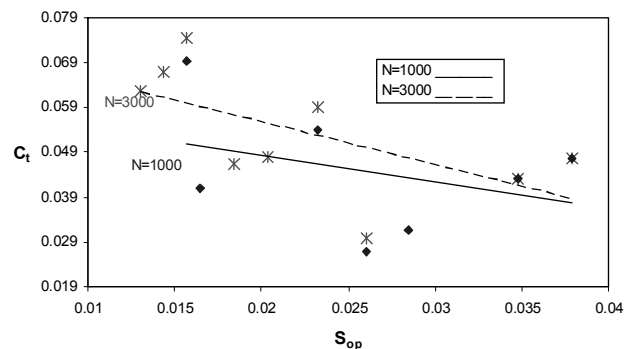
برای سازه های با دانه بندی وسیع تر، فرایند تغییر شکل به گونه ای رخ می دهد که سنگها با اندازه های مختلف در فضای خالی بین یکدیگر قرار می گیرند. در نتیجه، نفوذپذیری کاهش می یابد که این خود به کاهش ضریب عبور موج منجر می شود.



شکل ۳- تأثیر دوره تناوب امواج بر ضریب عبور موج برای آزمایش های انجام شده با  $d=24$  cm و شیب اولیه سازه 1:1.25

۲-۳- بررسی تأثیر مدت توفان

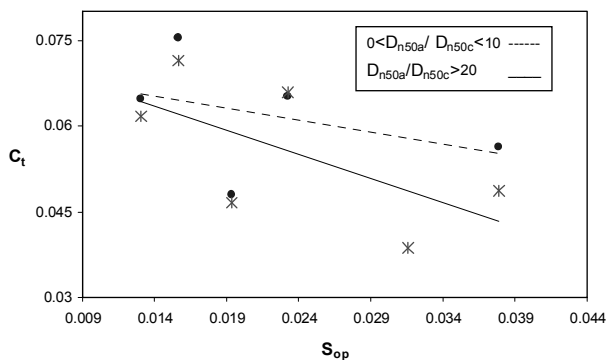
شکل (۴) نشان می دهد که با افزایش مدت توفان (یا تعداد امواج)، ضریب عبور موج افزایش می یابد. البته میزان این افزایش با زیاد شدن تیزی موج ( $S_{op}$ ) کاهش می یابد. شایان ذکر است که با افزایش مدت توفان، نیمرخ سازه خوابیده تر شده و در نتیجه سطح بیشتری در معرض عبور امواج قرار می گیرد.



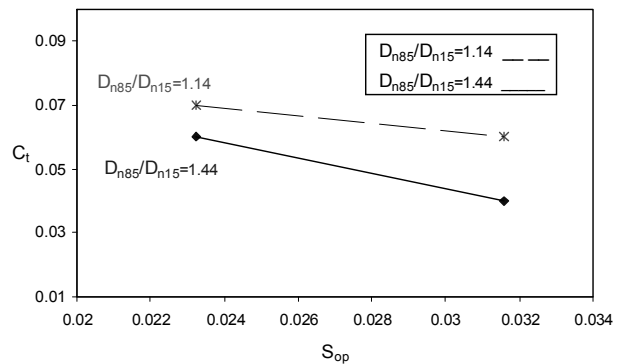
شکل ۴- تأثیر مدت توفان بر ضریب عبور موج برای آزمایش های انجام شده با  $d=24$  cm و شیب اولیه سازه 1:1.25

۳-۳- بررسی تأثیر تیزی موج

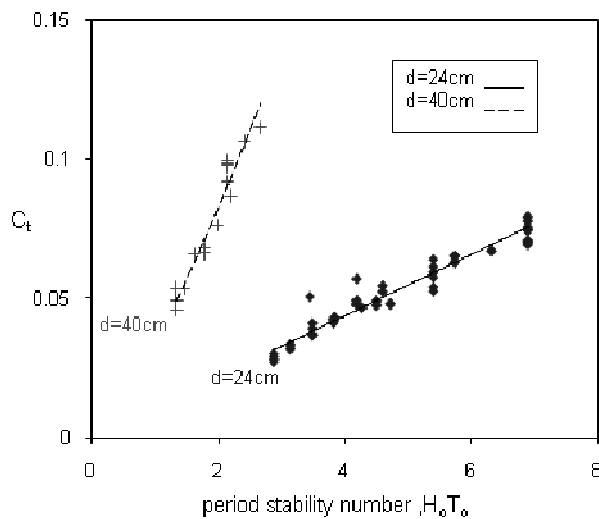
همان طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، ضریب عبور موج با افزایش تیزی موج کاهش می یابد که این به دلیل تسریع پدیده شکستن امواج با تیزتر شدن آنها و در نتیجه افزایش میزان اتلاف انرژی موج است.



شکل ۷- تأثیر ضریب نفوذپذیری بر ضریب عبور موج برای آزمایش‌های با شیب اولیه سازه 1:1.25 و  $d=24$  cm



شکل ۶- تأثیر دانه‌بندی بر ضریب عبور موج برای آزمایش‌های با  $d=24$  cm و شیب اولیه سازه 1:1.25



شکل ۸- تأثیر عدد پایداری بر ضریب عبور موج برای آزمایش‌های انجام شده با  $d=24$  cm و شیب اولیه سازه 1:1.25

#### ۴. نتیجه‌گیری

با توجه به اثر پراسنجه‌های مربوط به امواج و پراسنجه‌های سازه‌ای در عبور امواج از موج‌شکن‌های شکل‌پذیر، پراسنجه‌های بدون بُعد زیر برای استخراج رابطه‌ی جدید  $C_t$  مورد استفاده قرار گرفت:

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

متغیرهای جدید به کار برده شده در پراسنجه‌های بدون بُعد فوق عبارتند از:

#### ۳-۶- بررسی تأثیر نفوذپذیری سازه

در صورت ثابت ماندن تیزی موج ( $S_{op}$ )، ضریب عبور امواج با افزایش ضریب نفوذپذیری ( $P_e$ ) کاهش می‌یابد. در حقیقت، در سازه‌ای با ضریب نفوذپذیری بیشتر، بخش بیشتری از انرژی موج در داخل سازه تلف می‌شود (شکل ۷).

#### ۳-۷- بررسی تأثیر عدد پایداری

با افزایش عدد پایداری سازه ( $H_o T_o$ )، ضریب عبور موج افزایش می‌یابد (شکل ۸). این عدد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$H_o T_o = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}} T_z \quad (12)$$

که در آن:

$H_s$  ارتفاع موج شاخص  
 $\Delta$  چگالی شناوری نسبی قطعه‌ی زره (آرمور) که از رابطه:

$$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1$$

به دست می‌آید.

$D_{n50}$  قطر اسمی سنگ آرمور

$g$  شتاب گرانش

$T_z$  دوره‌ی تناوب میانگین موج

$\rho_s$  چگالی سنگ

$\rho_w$  چگالی آب

- تغییرات مشخصات سازه‌ای بر میزان عبور امواج دریا از بدنه موج‌شکن‌های شکل‌پذیر، مجله هیدرولیک، جلد اول. شماره ۲. پاییز.
- Ahrens, J.P. 1987. Characteristics of reef breakwaters. CERC. Vicksburg. Tech. Report CERC. 87-17.
- Goda, Y. 1969. Re-analysis of laboratory data on wave transmission over breakwaters. Report Port and Harbour Res. Inst. 3:3-18.
- Juhl, J. and Sloth, P. 1998. Berm breakwaters- influence of stone gradation, permeability and armouring. Proc. of 25th Int. Conf. on Coastal Eng. Copenhagen, Denmark. 22-26 June. ASCE.
- Powell, K. A. and Allson, N. W. H. 1985. Low crested breakwaters, hydraulic performance and stability. Hydraulic Res. Wallingford Report SR-57.
- Seeling, W. N. 1980. Two dimensional tests of wave transmission and reflection characteristics of laboratory breakwaters. CERC Tech. Report No. 80-1. Vicksburg, USA.
- Van der Meer, J. W. 1988. Rock slopes and gravel beaches under wave attack. TUD Ph.D. thesis.
- Van der Meer, J. W. 1990. Data on wave transmission due to overtopping. Delft Hydraulics. Report No. H986.
- Van der Meer, J. W. and d'Agremond, K. 1991. Wave transmission at low-crested structures. Proc. Coastal Structures and Breakwaters. ICE. London. UK.
- Van der Meer, J. W. and Daemen, I. F. R. 1994. Stability and wave transmission at low-crested rubble-mound structures. J. of Waterway, Port, Coastal and Offshore Eng. ASCE. 120(1).
- Van Gent, M. R. A. 1995. Wave interaction with permeable coastal structures. Ph.D. Thesis. Delft Univ. of Tech. ISBN 90-407-1182-8. Delft Univ. Press.

$$N_s \text{ عدد پایداری برابر با: } \frac{H_s}{\Delta D_{n50}}$$

$$N_s^* \text{ شاخص تحرک برابر با } \frac{(H_s^2 L_o)^{1/3}}{\Delta D_{n50}}$$

$$L_o \text{ طول موج ژرفاب}$$

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

(۱۳)

$$C_t = \exp \left[ -27.78 + 9.477 N_s - 0.816 \left( \frac{d}{H_s} \right) + 1.537 S_{om} \right] \times \frac{N^{0.161}}{\left( \frac{N_s^* \Delta D_{n50}}{d} \right)^{6.299} P_e^{0.068} \left( \frac{D_{n50}}{g T_m^2} \right)^{0.573} (H_o T_o)^{14.09}}$$

( $R^2 = 0.91$ )

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

### 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 بخش حفاظت سواحل آن تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

### منابع

شیریان، ن؛ شفیع‌فر، م؛ آق‌تومان، پ؛ چگینی، و. ۱۳۸۴. بررسی تأثیر