

برآورد میزان سرریزی موج از روی موج شکن‌های شکل پذیر
محمود محمد رضاپور طبری، محمد نوید مقیم و راضیه فروزان بروجنی



دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، صفحات: ۸۳-۶۴

www.jewe.ir

نحوه ارجاع به این مقاله: محمد رضاپور طبری م.، مقیم م. ن و فروزان بروجنی ر. (۱۳۹۵). برآورد میزان سرریزی موج از روی موج شکن‌های شکل پذیر، محیط‌زیست و مهندسی آب، جلد ۲، شماره ۱، صفحات: ۸۳-۶۴

How to cite this paper: Mohammad Rezapour Tabari M., Moghim M. N. and Forouzan Boroujeni R. (2016). Estimation of wave overtopping on reshaping breakwaters, J. Environ. Water Eng. 2(1), 64-83

برآورد میزان سرریزی موج از روی موج شکن‌های شکل پذیر

محمود محمد رضاپور طبری^{۱*}، محمد نوید مقیم^۲ و راضیه فروزان بروجنی^۳

۱- استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، دانشکده فنی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

*نویسنده مسئول: mrtabari@eng.sku.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۱۲/۰۶]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۰۳/۱۹]

چکیده

موج شکن‌ها به عنوان سازه‌هایی که نقش مهمی در حفاظت از تأسیسات ساحلی دارند جهت ایجاد آرامش در بندرگاه، حفاظت از سواحل در مقابل امواج و کاهش انرژی ناشی از امواج، مورداستفاده قرار می‌گیرند. در این مطالعه اقدام به ارائه رابطه‌ای جهت تخمین میزان سرریزی امواج از روی موج شکن که یکی از مهم‌ترین پارامترهای حاکم در طراحی موج شکن‌ها است پرداخته شد. پدیده سرریزی زمانی رخ می‌دهد که حداکثر تراز بالاروی موج از تراز تاج سازه بالاتر رود. جهت دستیابی به این هدف، با توجه به پارامترهای هیدرولیکی و سازه‌ای مرتبط با سرریزی موج، رابطه‌ای جهت محاسبه سرریزی موج از روی موج شکن‌های شکل پذیر پیشنهاد گردید. در این تحقیق اثر عمق آب پای سازه و قطر سنگ‌دانه‌ها به عنوان پارامترهای تأثیرگذار در نظر گرفته شد. بدین منظور با استفاده از پارامترهای مرتبط با سرریزی موج و به کارگیری نظریه باکینگهام بی بعد سازی انجام گردید. سپس نتایج حاصل از فرمول جدید با روابط ارائه شده در مطالعات قبلی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی از دقت بالای رابطه تدوین شده در تخمین میزان سرریزی امواج بوده و نشان می‌دهد که رابطه پیشنهادی در مقایسه با سایر تحقیقات قبلی از همبستگی خوبی با نتایج آزمایشگاهی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: بندرگاه، سرریزی موج، شکل پذیر، موج، موج شکن

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر با توجه به رشد صنعت حمل‌ونقل دریایی و همچنین نیاز بشر به استفاده بیش‌تر از منابع دریایی، تلاش گسترده‌ای جهت ساخت بندرها به‌منظور ایجاد یک منطقه امن و آرام برای پناه دادن به شناورها انجام شده است. یک بندر معمولاً از چندین قسمت مجزا تشکیل می‌شود که هر قسمت دارای وظیفه جداگانه‌ای است. یکی از قسمت‌های مهم بندر، موج‌شکن است. یکی از انواع موج‌شکن توده سنگی نیز موج‌شکن‌های سکویی می‌باشند. موج‌شکن سکویی نوعی موج‌شکن توده سنگی است که با ایجاد سکویی در تراز بالاتر و یا هم‌تراز سطح ایستابی (SWL) در سمت دریا ساخته می‌شود. نیم‌رخ موج‌شکن سکویی پس از برخورد امواج به‌صورت نیم‌رخ‌ی به شکل حرف لاتین S خوابیده، تغییر شکل می‌دهد. ساخت موج‌شکن‌های سکویی با توجه به استفاده بهینه از مصالح معدن و ساخته‌شدن با وسایل و تجهیزات ساده‌تر نسبت به موج‌شکن‌های توده سنگی معمولی، ارزان‌تر اجرا می‌شود. در موج‌شکن‌های نوع سکویی از سنگ‌های سبک‌تری استفاده شده و شیب اولیه وجه جلویی آن‌ها تندتر (شیب طبیعی مصالح) انتخاب می‌شود تا پس از تغییر شکل خود سازه به حالت پایدار تغییر شکل یافته برسد (Moghimi و Mohammad Rezapour Tabari, 2012). واکنش‌های هیدرولیکی سازه‌های ساحلی شامل سرریزی موج، بازتاب موج، عبور موج و بالاروی و پایین‌روی موج است. سرریزی امواج یکی از مهم‌ترین واکنش‌های هیدرولیکی سازه است. از این‌رو این پارامتر باید در روند طراحی سازه‌های ساحلی مورد بررسی قرار گیرد. اگر حداکثر تراز بالاروی موج از تراز تاج سازه بالاتر رود، آب از روی تاج سازه عبور خواهد کرد و پدیده‌ی سرریزی اتفاق می‌افتد (Goda, 1985). سرریزی موج از روی موج‌شکن باعث می‌شود که آب با سرعت قابل توجهی بر روی تاج عبور کرده که این اتفاق منجر به خطرات جانی، مالی و بعضاً سبب تخریب سازه می‌شود (De Rouck, 2005). به همین دلیل تعیین میزان دبی سرریزی مجاز موج از روی سازه از اهمیت بالایی برخوردار است. مقدار سرریزی از موج‌شکن‌ها به‌وسیله پارامترهای تراز سطح آب، ویژگی‌های موج و سازه تعیین می‌شود. افزایش سرریزی موج از روی سازه ممکن است در ابتدا برای حفاظت سازه در برابر شکست مهم نباشد اما امنیت مردم و تأسیسات را در طول بهره‌برداری از سازه پایین می‌آورد. آزمایش‌های تعیین‌شده برای بررسی مقدار سرریزی موج از روی موج‌شکن سکویی شکل‌پذیر در محدوده خاصی از شرایط امواج تعریف می‌شوند و در نتیجه نتایج حاصل از آن صرفاً در آن محدوده کاربردی هستند. تاکنون تعدادی از روش‌های تجربی توسط TAW (2002) De Rouck, (2005) Lykke Andersen, (2006) Sigurdarson و Van Der Meer (2013) جهت محاسبه مقدار سرریز موج از روی موج‌شکن‌های سکویی پیشنهاد شده است. در این بخش پارامترها و روابط ارائه‌شده توسط این محققین برای تخمین میزان سرریزی موج مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش TAW دبی سرریزی موج از روی موج‌شکن‌های سکویی را با در نظرگیری یک فرض تقریبی که آب سرریز شده به پشت تاج سازه می‌رسد را با استفاده از معادله (۱) ارایه داد:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{mo}^3}} = \min \begin{cases} \frac{0.067}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b \xi_o \exp(-4.75 \frac{R_c}{H_{mo}} \frac{1}{\xi_o \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v}) \\ 0.2 \exp(-2.6 \frac{R_c}{H_{mo}} \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta}) \end{cases} \quad (1)$$

در رابطه فوق R_c ارتفاع آزاد تاج سازه (m)، H_{mo} ارتفاع مشخصه موج (m)، q متوسط نرخ جریان سرریزی ($m^3/s/m$)، g شتاب ثقل (m/s^2)، α زاویه شیب سازه، γ_b ضریب کاهنده مربوط به شیب‌های سکو (بی‌بعد)، γ_v ضریب کاهنده مربوط به دیوارهای عمودی تاج (بی‌بعد)، γ_f ضریب سختی سازه (بی‌بعد) و γ_β ضریب کاهنده مربوط به جهت امواج (بی‌بعد) هستند. همچنین ξ_o پارامتر تشابه شکست بوده و به‌صورت معادله (۲) محاسبه می‌شود که در آن L_o طول موج ژرفاب است.

$$\xi_o = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_{mo}/L_o}} \quad (2)$$

رابطه ارائه شده برای موج‌های شکسته شده بر روی شیب ($\xi_o \cdot \gamma_b \leq 2$) و موج‌های شکسته نشده ($\xi_o \cdot \gamma_b \geq 2$) مشابه است. ضریب سختی سازه، ۰/۴۵ برای موج‌شکن‌های سکویی شکل‌پذیر و ۰/۴ برای موج‌شکن‌های سکویی ایستا اعمال می‌شود. CLASH (2005) De Rouck با به‌کارگیری روش شبکه‌های عصبی مصنوعی برای برآورد مقدار سرریزی موج از روی سازه، نرم‌افزار را معرفی نمود. این نرم‌افزار بر اساس ۱۰۰۰۰ داده آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده سرریزی موج نامنظم در بیش از ۱۶۰ پروژه مستقل در نظر گرفته شد. بسیاری از سازه‌های ساحلی شامل خاک‌ریزها، انواع موج‌شکن‌های توده سنگی، سازه‌های کیسونی و ترکیبی برای ورود به پایگاه داده‌ها بررسی شده‌اند. در عمل دقت نتیجه به‌دست‌آمده توسط این نرم‌افزار، بستگی به تعداد داده‌های به‌کاررفته برای هر نوع سازه مشخص در آموزش شبکه عصبی دارد. با توجه به اینکه درصد غالب داده‌ها در آموزش شبکه عصبی حاضر برای موج‌شکن‌های توده سنگی سنتی که یکی از انواع موج‌شکن‌ها است به‌کار رفته است، لذا دقت نرم‌افزار موجود برای سایر انواع موج‌شکن توده سنگی مانند موج‌شکن‌های توده سنگی سکویی شکل‌پذیر کاهش یافته و احتمال می‌رود نتایج حاصل از این نرم‌افزار برای موج‌شکن سکویی شکل‌پذیر مناسب نباشد. Lykke Andersen (2006) آزمایش‌هایی برای به دست آوردن رابطه نیمه تجربی برای تخمین میزان سرریزی از روی سازه موج‌شکن سکویی همگن انجام داد. طبق نظر این محقق، رابطه ارائه شده در معادله (۳) برای موج‌شکن‌های سکویی بدون دیواره روی تاج سازه قابل قبول بوده و دبی سرریزی را به‌صورت معادله (۳) ارایه می‌دهد.

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{mo}^3}} = 1.79 \times 10^{-5} (f_{Ho}^{1.34} + 9.22) S_{op}^{-2.52} \exp \left(-5.36 \left(\frac{R_c}{H_{mo}} \right)^{0.92} - 0.61 \left(\frac{G_c}{H_{mo}} \right)^{1.39} - 0.55 h_{b*}^{1.48} \left(\frac{B}{H_{mo}} \right)^{1.39} \right) \quad (3)$$

در روابط فوق S_{op} تیزی موج برحسب پریود اوج (پیک) (بی‌بعد)، G_c عرض آرمور در جلوی تاج (m) و B عرض سکوی موج‌شکن (m) بوده و سایر پارامترهای مطرح شده به‌صورت معادلات (۴) تا (۷) تعریف می‌شوند:

$$h_{b*} = \begin{cases} \frac{3H_{mo} - h_{br}}{3H_{mo} + R_c} & \text{for } h_{br} < 3H_{mo} \\ 0 & \text{for } h_{br} \geq 3H_{mo} \end{cases} \quad (4)$$

$$f_{Ho} = \begin{cases} 19.8 \exp\left(-\frac{7.08}{H_o}\right) S_{om}^{-0.5} & \text{for } T_o \geq T_o^* \\ 0.05 H_o T_o + 10.5 & \text{for } T_o < T_o^* \end{cases} \quad (5)$$

$$T_o^* = \frac{19.8 \exp(-7.08/H_o) S_{om}^{-0.5} - 10.5}{0.05 H_o} \quad (6)$$

$$T_o = \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}} T_{o,1}, \quad H_o = \frac{H_{mo}}{\Delta D_{n50}}, \quad D_{n50} = \left(\frac{W_{50}}{\rho_s} \right)^{1/3}, \quad \Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \quad (7)$$

در روابط (۴) - (۷) S_{om} تیزی موج برحسب پریود میانگین (بی‌بعد)، h_{br} تراز سکو تا سطح آب (m)، $T_{o,1}$ پریود موج (s)، W_{50} متوسط وزن سنگ‌های لایه آرمور (kg)، ρ_w چگالی آب (kg/m^3) و ρ_s چگالی آرمور (kg/m^3) (چگالی اشباع شده سنگ با سطح خشک) است. برای حالتی که شیب اولیه بالای سکو برابر با ۱:۱/۲۵ نباشد، افزایش یا کاهش B و G_c پیشنهاد می‌شود.

جهت اصلاح معادله (۷) از معادله‌های (۸) و (۹) اصلاحی که به جای G_* و B_* به ترتیب از G_c/H_{mo} و B/H_{mo} جایگزین می‌شود استفاده می‌گردد:

$$G_* = \frac{G_c + 0.5(R_c + h_{br})(\cot(\alpha) - 1.25)}{H_{mo}} \quad (۸)$$

$$B_* = \frac{B + 0.5(R_c + h_{br})(\cot \alpha - 1.25) + 0.5(H - h_{br})(\cot \alpha - 1.25)}{H_{mo}} \quad (۹)$$

Van Der Meer و Sigurdarson (2013) رابطه‌ای کلی جهت محاسبه سرریزی موج از روی موج‌شکن‌های سکویی معرفی نمودند. رابطه ارائه شده توسط آن‌ها جهت محاسبه سرریزی موج به‌طور خلاصه به‌صورت معادله (۱۰) است. شایان‌ذکر است کلیه پارامترهای مورد استفاده و واحدهای آن‌ها مشابه روابط قبل بوده و در بخش‌های قبلی تعریف شده‌اند.

$$\frac{q}{\sqrt{g}H_{mo}^3} = 0.2 \exp\left(-2.6 \frac{R_c}{H_{mo} \cdot \gamma_{BB} \cdot \gamma_{\beta}}\right) \quad (۱۰)$$

که در آن γ_{BB} برای انواع موج‌شکن‌های سکویی به‌صورت معادله (۱۱) تعریف می‌شود:

$$\gamma_{BB} = 0.68 - 4.5S_{Op} - 0.05B/H_s \quad \text{for HR and PR} \quad (۱۱)$$

$$\gamma_{BB} = 0.68 - 9.0S_{Op} \quad \text{for FR}$$

انواع موج‌شکن‌های سکویی بر اساس نوع تغییر شکل آن‌ها مطابق جدول (۱) طبقه‌بندی می‌شوند:

جدول ۱- طبقه‌بندی موج‌شکن سکویی (Van Der Meer و Sigurdarson, 2013)

$H_{mo}/\Delta D_{n50}$	S_d	Rec/D_{n50}	نوع موج‌شکن
۱/۷-۲	۲-۸	۰/۲-۵	موج‌شکن سکویی سخت تغییر شکل داده شده (HR)
۲-۲/۵	۱۰-۲۰	۱-۵	موج‌شکن سکویی تا حدودی تغییر شکل داده شده (PR)
۲/۵-۳	-	۳-۱۰	موج‌شکن سکویی کاملاً تغییر شکل داده شده (FR)

در جدول (۱) Rec عرض فرسایش یافته سکو (m)، $S_d = A_e/D_{n50}^2$ عدد آسیب (بی‌بعد) و A_e مساحت سطح فرسایش یافته (m^2) است. Hughes (2004) با استفاده از نگرش فیزیکی به فرآیندهای ساحلی و همچنین روند طراحی سازه‌های ساحلی از پارامتر مهمی بنام شار تکانه موج به‌منظور فراهم نمودن رابطه‌ای بین نیروهای موج و واکنش‌های هیدرولیکی استفاده نمود. کاربرد پارامتر شار تکانه موج در طراحی سازه‌های ساحلی و همچنین تخمین واکنش‌های هیدرولیکی، ارتباط مؤثر این پارامتر را با این پارامترها بیان می‌کند. یکی از این واکنش‌های هیدرولیکی سرریزی موج است. Moghim et al. (2015) به‌منظور بررسی میزان سرریزی موج از روی موج‌شکن‌های سکویی شکل‌پذیر بر اساس مفهوم فیزیکی اندرکنش موج با سازه از مفهوم شار تکانه موج استفاده کرده و بر این اساس معادله‌های (۱۲) و (۱۳) را جهت محاسبه سرریزی موج در موج‌شکن‌های سکویی شکل‌پذیر پیشنهاد کرد.

$$q^* = 3.8 \cdot 10^{-8} \left(\frac{G_c}{H_s}\right)^{-2.85} \exp(0.45 H_o \sqrt{T_o}) \left(\frac{R_o}{d}\right)^{-2.9} \quad (۱۲)$$

$$R_O = R - R_C = \sqrt{\left[\left(\frac{\tan \alpha}{0.21} d^2 \right) \left(\frac{M_f}{\rho_w g d^2} \right)_{\max} + \left(\frac{\tan \alpha \cdot (B - \text{Rec}) h_{br}}{5.25} \right) \right]} - R_C \quad (13)$$

در معادله‌های (۱۲) و (۱۳) α زاویه شیب سازه، d عمق آب پای موج‌شکن (m) و M_f شار تکانه موج بوده به طوری که پارامتر شار تکانه موج با استفاده از تئوری موج غیرخطی به صورت معادله‌های (۱۴) و (۱۵) محاسبه می‌شود:

$$\left(\frac{M_f}{\rho_w g d^2} \right)_{\max} = A_0 \left(\frac{d}{g T^2} \right)^{-A_1} \quad (14)$$

که در آن:

$$A_1 = 0.1804 \left(\frac{H_{m0}}{d} \right)^{-0.391} \quad (15)$$

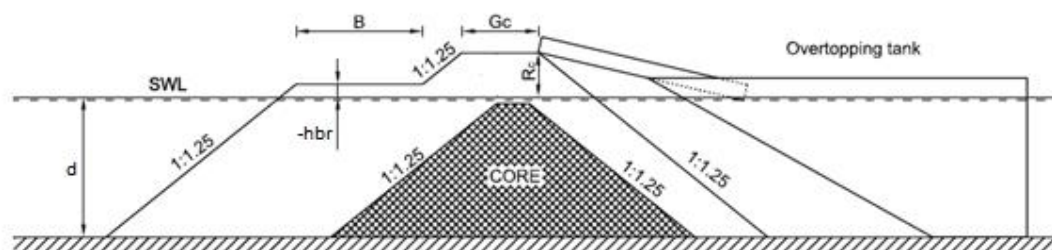
$$A_0 = 0.6392 \left(\frac{H_{m0}}{d} \right)^{2.0256}$$

در نرم‌افزار CLASH و کلیه تحقیقات قبلی اثر قطر اسمی سنگ‌دانه‌ها (D_{n50}) و همچنین عمق آب پای سازه (d) بر روی سرریزی موج در نظر گرفته نشده است. همچنین نرم‌افزار CLASH نیز به دلیل کم بودن تعداد داده‌های آزمایشگاهی مورد استفاده در زمینه‌ی موج‌شکن سکویی شکل‌پذیر در بخش آموزش، دارای دقت کافی جهت محاسبه سرریزی موج از روی این نوع موج‌شکن نیست. در این مطالعه تلاش شده است تأثیر قطر اسمی سنگ و همچنین اثر عمق آب پای موج‌شکن را بر روی سرریزی موج بر روی موج‌شکن سکویی شکل‌پذیر در نظر گرفته شده و با توجه به این دو پارامتر مهم و سایر پارامترهای مؤثر بر سرریزی موج، پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر سرریزی موج به دست آورد. سپس رابطه‌ای جهت محاسبه سرریزی موج ارائه گردد. نتایج حاصل از فرمول جدید با نتایج مدل آزمایشگاهی و نتایج حاصل از سایر روش‌های موجود مقایسه و دقت آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مطالعه موردی

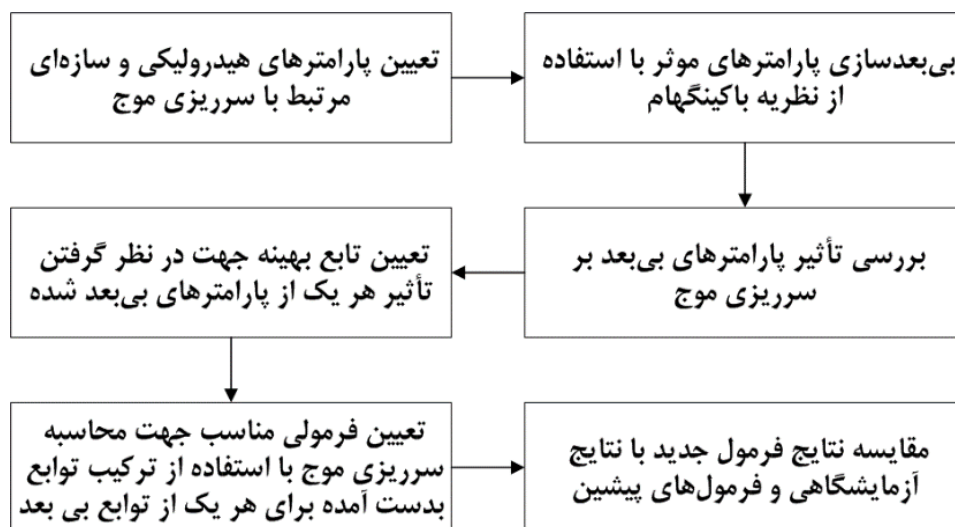
جهت تخمین میزان سرریزی موج از موج‌شکن‌های سکویی شکل‌پذیر نیاز به مطالعه تأثیر شرایط محیطی و شرایط هندسی موج‌شکن بر مقدار سرریزی تحت اثر برخورد امواج است. بدین منظور از نتایج آزمایشگاهی به دست آمده در دانشگاه Aalborg استفاده می‌شود (Lykke Andersen, 2006). در این آزمایش‌ها مدل‌های متنوع موج‌شکن با مقادیر متفاوت ابعاد سازه، شرایط محیطی و مقادیر مختلف چگالی سنگ‌های لایه آرمور به منظور اندازه‌گیری مقدار سرریزی عبوری از موج‌شکن سکویی در نظر گرفته شدند. دستگاه مولد موج در فاصله مشخصی از سازه موج‌شکن قرار داده شده و موج‌هایی با مشخصات متفاوت به سازه تابانده می‌شود. پشت سازه نیز مخزن ذخیره کننده‌ای قرار داده می‌شود که آب سرریز شده در آن ریخته و اندازه‌گیری شود. شکل (۱) نمای کلی از شکل و هندسه اولیه سازه و همچنین محل قرارگیری مخزن اندازه‌گیری دبی سرریزی مستقر در پشت سازه را نشان می‌دهد. مدل آزمایشگاهی موردنظر در یک فلوم موج با ابعاد $1/5 \times 1/2 \times 21/5$ متر (طول، عرض و ارتفاع) ساخته شد. کف فلوم دارای شیب $1:20$ و شیب وجه جلویی و پشت موج‌شکن نزدیک در محدوده $1:1$ تا $1:1/5$ در نظر گرفته شده است (Lykke Andersen, 2006). در این تحقیق از ۵۴۰ داده آزمایشگاهی در این زمینه که مرتبط با پایان‌نامه دکتری Lykke Andersen (2006) است، استفاده گردید.



شکل ۱- هندسه اولیه موج شکن (Lykke Andersen, ۲۰۰۶)

۲-۲- رویکرد مطالعه

در این تحقیق جهت محاسبه مقدار سرریزی موج ابتدا پارامترهای هیدرولیکی و سازه‌ای مؤثر بر سرریزی موج، مطابق جدول (۲) تعیین می‌شود. سپس جهت کاربردی نمودن نتایج تحقیق، پارامترهای مؤثر را به صورت بی بعد استخراج نموده و نحوه تأثیر هر یک از این پارامترها بر روی سرریزی موج به دست می‌آید. در نهایت معادله‌ای مرکب از این توابع جهت محاسبه سرریزی موج از روی موج شکن‌های سکویی حاصل می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲- مراحل کلی انجام تحقیق

جدول ۲- پارامترهای مرتبط با سرریزی (Mohammad Rezapour Tabari et al. 2014)

ردیف	علامت اختصاری	واحد	توضیحات
۱	H_s	m	ارتفاع مشخصه موج
۲	T_p	s	پریود پیک موج
۳	q	m^3/s	متوسط دبی سرریزی در واحد عرض سازه
۴	ρ_w	kg/m^3	چگالی آب
۵	d	m	عمق آب پای سازه
۶	R_c	m	ارتفاع آزاد تاج سازه
۷	B	m	عرض سکو
۸	h_{br}	m	تراز سکو از سطح ایستایی
۹	G_c	m	عرض تاج سازه
۱۰	ρ_s	kg/m^3	چگالی سنگ‌های لایه آرمور

با استفاده از جدول (۲) پارامترهای مؤثر بر سرریزی به صورت معادله (۱۶) تعریف می‌شوند:

$$q = f(H_s, T_p, B, G_c, R_c, D_{n50}, h_{br}, d, g, \rho_w, \rho_s) \quad (16)$$

به منظور کاربردی نمودن نتایج تحقیق، پارامترهای مؤثر توسط آنالیز ابعادی (نظریه باکینگهام) که در آن (H_s, T_p, ρ_w) به عنوان متغیرهای تکراری در نظر گرفته شده به صورت بی بعد درآمد و سپس با استفاده از ترکیب سازی به شکل معادله (۱۷) ارایه می‌شوند:

$$q^* = f(H_o \sqrt{T_o}, B/H_s, G_c/H_s, R_c/H_s, D_{n50}/d, h_{br}/H_s) \quad (17)$$

در این رابطه $q^* = \frac{q}{\sqrt{gH_s^3}}$ و پارامتر بی بعد $H_o \sqrt{T_o}$ توسط Moghim et al. (2011) جهت در نظر گرفتن اثر هم‌زمان پریود و ارتفاع موج برخوردی در بررسی پایداری موج شکن‌های سکویی شکل پذیر به صورت معادله (۱۸) معرفی گردید:

$$H_o \sqrt{T_o} = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \sqrt{\frac{g}{D_{n50}} T_m} \quad (18)$$

محدوده تغییرات داده‌های بی بعد و با بعد از داده‌های آزمایشگاهی Lykke Abdersen دانشگاه Aalborg، در جداول (۳) و (۴) آورده شده است. شایان ذکر است که با توجه به محدوده تغییرات ذکر شده، نتایج حاصل از این تحقیق صرفاً برای همان محدوده از داده‌ها قابل اعتماد است. همچنین در کلیه آزمایش‌ها تعداد موج برخوردی به سازه برابر با مقدار ثابت ۳۰۰۰ هستند.

جدول ۳- محدوده پارامترهای با بعد

ردیف	پارامتر	محدوده پارامتر	ردیف	پارامتر	محدوده پارامتر
۱	d [m]	۰/۲۴ تا ۰/۴۴	۵	G_c [m]	۰/۱۷ تا ۰/۳۸
۲	ρ [kg/m ³]	۲۶۱۰ تا ۲۶۳۰	۶	R_c [m]	۰/۱۷ تا ۰/۰۸
۳	H_s [m]	۰/۰۸ تا ۰/۱۵	۷	B[m]	۰/۲ تا ۰/۶۵
۴	T_p [s]	۱/۱۹ تا ۲/۰۵	۸	h_{br} [m]	۰/۰۲ تا ۰/۰۴

جدول ۴- محدوده پارامترهای بی‌بعد

ردیف	پارامتر	محدوده پارامتر	ردیف	پارامتر	محدوده پارامتر
۱	$H_o\sqrt{T_o}$	۱۱ تا ۲۷	۴	D_{n50}/d	۰/۰۴۵ تا ۰/۰۹۵
۲	B/H_s	۱/۴۲ تا ۶/۷	۵	h_{br}/H_s	۰/۲۴ تا ۰/۵۷
۳	G_c/H_s	۱/۱۶ تا ۵/۲	۶	R_c/H_s	۰/۶۵ تا ۱/۸۹

۳- یافته‌ها و بحث

با توجه به رویکرد ارائه شده در این بخش تأثیر هر یک از پارامترهای بی‌بعد محاسبه شده در بخش قبل را بر روی سرریزی موج بررسی نموده و نحوه تغییرات آن‌ها به صورت تابعی به دست آمد. در نهایت رابطه‌ای مرکب از این توابع جهت محاسبه سرریزی موج از روی موج‌شکن سکویی شکل‌پذیر برای محدوده پارامترهای مطرح شده در جداول (۳) و (۴) نشان داده شده است.

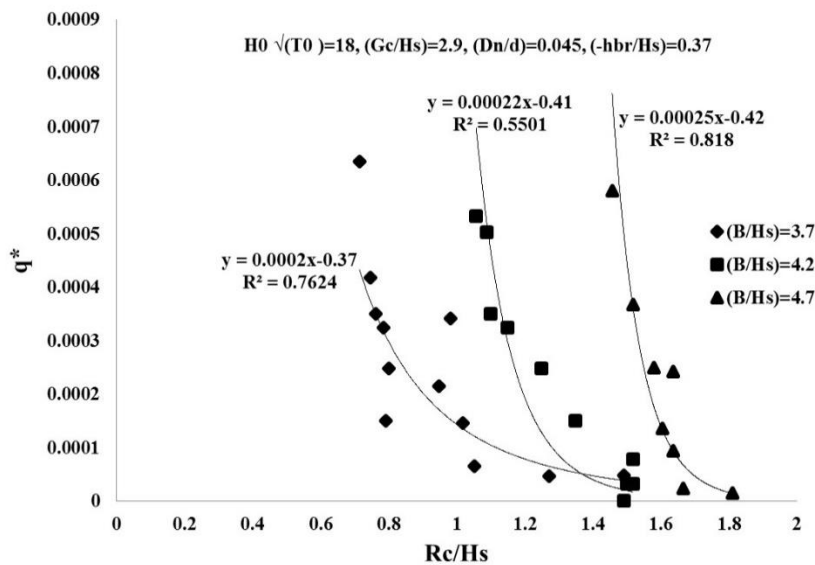
۳-۱- تأثیر ارتفاع آزاد تاج سازه بر سرریزی موج

جهت بررسی تأثیر ارتفاع آزاد تاج سازه بر سرریزی موج، پارامتر بی‌بعد سرریزی (q^*) در برابر پارامتر بی‌بعد مربوط به ارتفاع تاج سازه، R_c/H_s ، تحت شرایطی که سایر پارامترها ثابت هستند، ترسیم گردید (شکل ۳). با توجه به نمودار، الگوی کلی مناسب جهت لحاظ نمودن اثر ارتفاع آزاد تاج سازه بر روی سرریزی موج به صورت معادله (۱۹) به دست آمد:

$$q^* = a_1 (R_c/H_s)^{b_1} \quad (19)$$

ضرایب مجهول موجود در رابطه با استفاده از برازش غیرخطی محاسبه می‌شوند. جدول (۵) مقادیر ضرایب a_1 و b_1 را برای مقادیر مختلف B/H_s بر اساس داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تفاوت اندکی بین مقادیر ضریب b_1 وجود دارد و می‌توان آن را به طور متوسط $b_1 = -0.4$ در نظر گرفت. بر اساس مقدار شاخص‌های ارزیابی محاسبه شده برای تابع پیشنهادی جهت در نظر گرفتن تأثیر پارامتر بی‌بعد R_c/H_s بر روی سرریزی، الگوی مناسب که اثر ارتفاع تاج سازه را بر روی سرریزی موج نشان می‌دهد، به صورت معادله (۲۰) در نظر گرفته شد:

$$q^* = a_1 (R_c/H_s)^{-0.4} \quad (20)$$



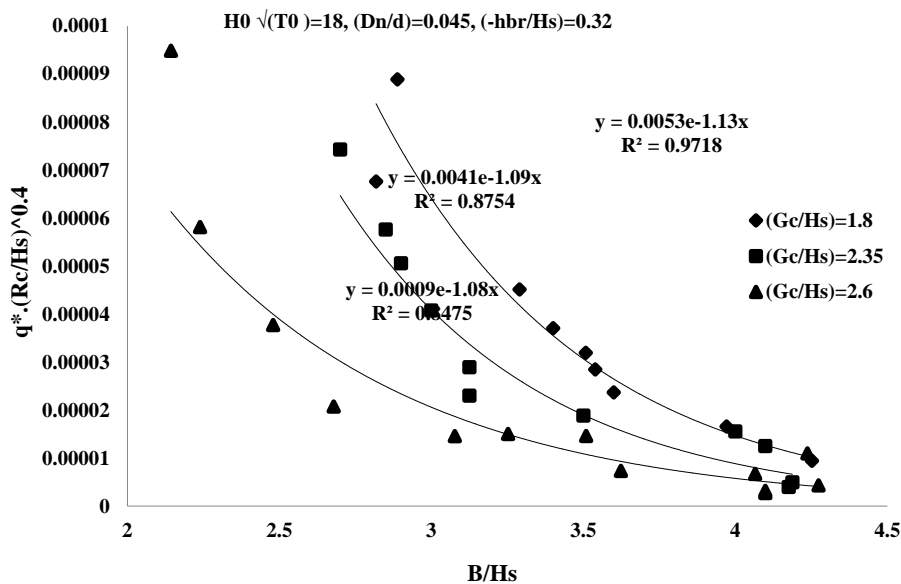
شکل ۳- تأثیر R_c/H_s بر q^*

جدول ۵- مقدار ضرایب معادله ۱۹

b_1	a_1	B/H_s
-۰/۳۷	۰/۰۰۰۲	۳/۷
-۰/۴۱	۰/۰۰۰۲۲	۴/۲
-۰/۴۲	۰/۰۰۰۲۵	۴/۷

۳-۲- تأثیر عرض سکو بر سرریزی موج

جهت بررسی تأثیر عرض سکو سازه بر سرریزی موج، پارامتر بی‌بعد مربوط به عرض سکو (B/H_s) در مقابل تابع $[q^* \cdot (R_c/H_s)^{0.4}]$ تحت شرایطی که سایر پارامترها ثابت هستند، ترسیم شده است (شکل ۴).



شکل ۴- تأثیر B/H_s بر $q^*(R_c/H_s)^{0.4}$

توابع متفاوتی جهت بررسی روند تغییرات موجود در نظر گرفته شد و در نهایت تابع‌نمایی در معادله (۲۱) جهت شرح تأثیر عرض سکو بر سرریزی موج انتخاب گردید.

$$q^*(R_c/H_s)^{0.4} = a_2 \exp(b_2 \cdot B) \quad (21)$$

ضرایب مجهول موجود در رابطه با استفاده از برازش غیرخطی محاسبه می‌شوند. جدول (۶) مقادیر ضرایب a_2 و b_2 برای مقادیر مختلف (G_c/H_s) مربوط به داده‌های آزمایشگاهی زمانی که سایر پارامترها ثابت هستند را نشان می‌دهد.

جدول ۶- مقدار ضرایب معادله ۲۱

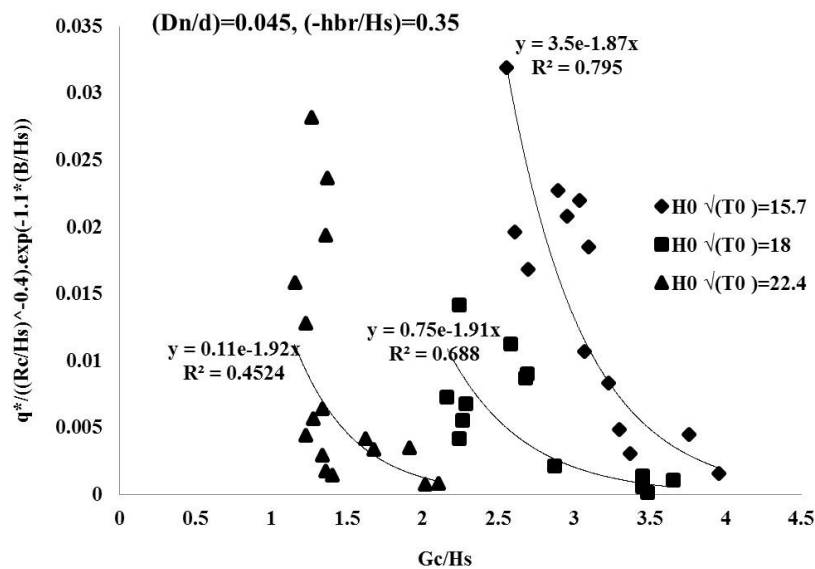
b_2	a_2	G_c/H_s
-۱/۰۸	۰/۰۰۰۹	۲/۶
-۱/۰۹	۰/۰۰۴۱	۲/۳۵
-۱/۱۳	۰/۰۰۵۳	۱/۸

با توجه به جدول (۶)، مقدار متوسط $-۱/۱$ برای ضریب b_2 اختیار می‌شود. شایان ذکر است با توجه به جدول (۶) می‌توان دریافت که مقدار مجهول a_2 تابعی از سایر پارامترهای بی‌بعد موجود ناشی از شرایط هیدرولیکی و سازه‌ای بوده و در نتیجه با توجه به مقدار شاخص‌های ارزیابی محاسبه‌شده برای تابع پیشنهادی معادله (۲۲) برای در نظرگیری اثر عرض سکوی سازه بر سرریزی موج معرفی گردید:

$$q^*(R_c/H_s)^{0.4} = a_2 \exp(-1.1B/H_s) \quad (22)$$

۳-۳- تأثیر عرض تاج سازه بر سرریزی موج

جهت بررسی تأثیر عرض تاج سازه بر سرریزی موج، پارامتر بی‌بعد مربوط به عرض تاج سازه (G_c/H_s) در مقابل $[q^* \cdot (R_c/H_s)^{0.4} \exp(1.1B/H_s)]$ برای مقادیر مختلف $(H_o\sqrt{T_o})$ با ثابت بودن سایر پارامترهای بی‌بعد ترسیم شد (شکل ۵).



شکل ۵- ترسیم تغییرات $q^* \cdot [(R_c/H_s)^{0.4} \exp(1.1B/H_s)]$ بر حسب G_c/H_s

در میان انواع توابع، تابع‌نمایی توصیف مناسبی (معادله ۲۳) جهت شرح تأثیر عرض تاج سازه بر سرریزی موج را نشان می‌دهد.

$$a_2 = q^* \cdot [(R_c/H_s)^{0.4} \exp(1.1B/H_s)] = a_3 \exp(b_3 \cdot G_c/H_s) \quad (23)$$

ضرایب مجهول a_3 و b_3 با استفاده از برازش غیرخطی محاسبه شده و با توجه به جدول (۷) مقدار متوسط $1/9$ برای ضریب b_3 در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۷- مقدار ضرایب معادله ۲۳

b_3	a_3	$H_o\sqrt{T_o}$
-۱/۸۷	۳/۵	۱۵/۷
-۱/۹۱	۰/۷۵	۱۸
-۱/۹۲	۰/۱۱	۲۲/۴

بر اساس مقدار شاخص‌های ارزیابی محاسبه شده برای تابع پیشنهادی معادله (۲۴) برای در نظرگیری اثر عرض تاج سازه بر سرریزی موج معرفی گردید:

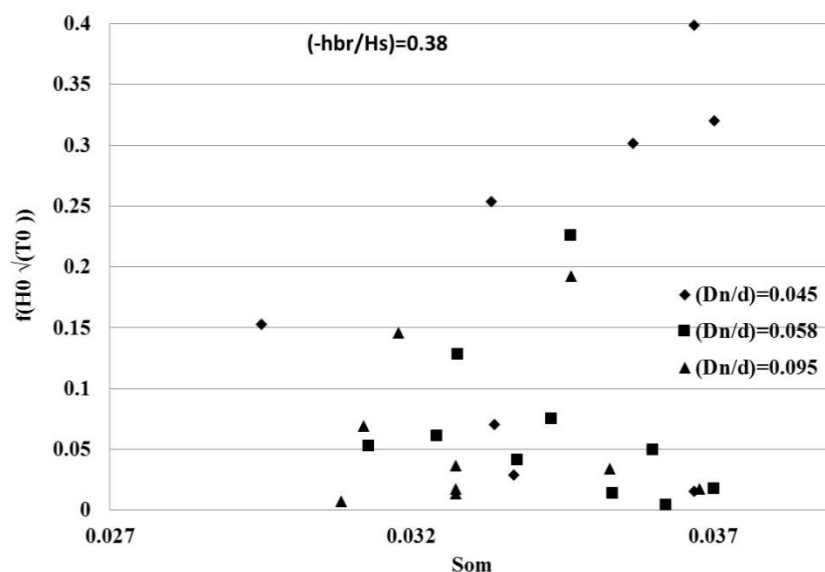
$$a_2 = q^* \cdot [(R_c/H_s)^{0.4} \exp(1.1B/H_s)] = a_3 \exp(-1.9G_c/H_s) \quad (24)$$

مقادیر متفاوت a_3 نیز وابسته به سایر پارامترهای بی بعد موجود وابسته به شرایط محیطی و سازه‌ای بوده و به صورت معادله (۲۵) در نظر گرفته می‌شود:

$$a_3 = q^* \cdot [(R_c / H_s)^{0.4} \exp(1.1B/H_s) \exp(1.9G_c/H_s)] \quad (25)$$

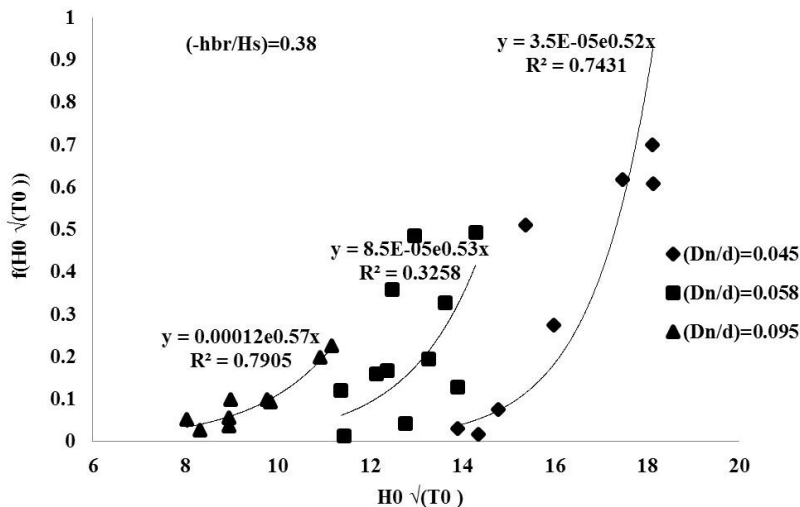
۳-۴- تأثیر ارتفاع و پریود موج برخوردی بر سرریزی موج

جهت بررسی تأثیر ارتفاع و پریود موج بر مقدار سرریزی، ضریب a_3 با استفاده از رابطه (۲۵) در برابر پارامترهای بی بعد تیزی موج (S_{om}) و $H_o \sqrt{T_o}$ مطابق شکل‌های (۶) و (۷) ترسیم می‌شوند. مطابق این شکل‌ها و با توجه به شاخص‌های ارزیابی مربوط به دو نمودار، داده‌ها در نمودار مربوط به $H_o \sqrt{T_o}$ دارای روند مناسب‌تر و همبستگی بیشتری نسبت به پارامتر تیزی موج هستند.



شکل ۶- تأثیر S_{om} بر a_3

جهت مقایسه و بررسی عملکرد دو پارامتر از تعدادی شاخص‌های ارزیابی از جمله ضریب همبستگی (R^2), جذر میانگین مربعات نرمالیزه شده (NRMSE), میزان درصد خطای نسبی (E) و bias استفاده می‌شود که شاخص‌های ارزیابی مربوط به این دو پارامتر بی بعد در جدول (۸) مشخص شده است. شایان ذکر است مقادیر NRMSE, E و bias هرچقدر به صفر و مقدار R^2 به یک نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده این است که پارامتر انتخاب‌شده عملکرد مناسبی در توصیف پدیده دارد. شاخص‌های ارزیابی مطرح‌شده به صورت زیر (معادله‌های ۲۶ تا ۲۹) محاسبه می‌شوند:

شکل ۷- تأثیر $H_0\sqrt{T_0}$ بر a_3

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum (Y - X)^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2}} \quad (26)$$

$$E = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Y - X}{Y} \right| \quad (27)$$

$$R^2 = \left(\frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \right) \quad (28)$$

$$bias = \bar{X} - \bar{Y} \quad (29)$$

در روابط بالا، X مقادیر محاسبه شده، Y مقادیر اندازه گیری شده، \bar{X} متوسط مقادیر محاسبه شده، \bar{Y} متوسط مقادیر اندازه گیری شده و N تعداد کل داده ها است (Moghim و Alizadeh، 2014). با توجه به جدول (۸) مشاهده می شود تمامی شاخص های خطا برای پارامتر $H_0\sqrt{T_0}$ به طور قابل توجهی مناسب تر از پارامتر S_{om} بوده و بنابراین در ادامه از پارامتر بی بعد $H_0\sqrt{T_0}$ برای در نظرگیری اثر ارتفاع و پرپود موج استفاده می شود.

جدول ۸- شاخص های ارزیابی مربوط به مقایسه عملکرد S_{om} و $H_0\sqrt{T_0}$

پارامتر/ شاخص	Bias	NRMSE	E%	R^2
S_{om}	-۰/۴۱	۱/۳	۴۲	۰/۱۱
$H_0\sqrt{T_0}$	-۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۱/۴	۰/۷۹

با توجه به شکل (۷) و مطابق روند قبلی در بررسی تأثیر سایر پارامترها بر میزان سرریزی موج بر روی سازه، فرم عمومی معادله تأثیر ارتفاع و پرپود موج بر خوردی بر سرریزی موج به صورت معادله (۳۰) در نظر گرفته شد:

$$a_3 = q^* \cdot \left[\left(\frac{R_c}{H_s} \right)^{0.4} \cdot \exp(1.1 \cdot \frac{B}{H_s}) \cdot \exp(1.9 \cdot \frac{G_c}{H_s}) \right] = a_4 \exp(b_4 H_0 \sqrt{T_0}) \quad (30)$$

با استفاده از نتایج آزمایشگاهی موجود ضرایب در نظر گرفته شده بر اساس جدول (۹) به شکل زیر قابل بیان بوده به طوری که ضریب a_4 تابع سایر پارامترهای بی بعد باقیمانده است (معادله ۳۱).

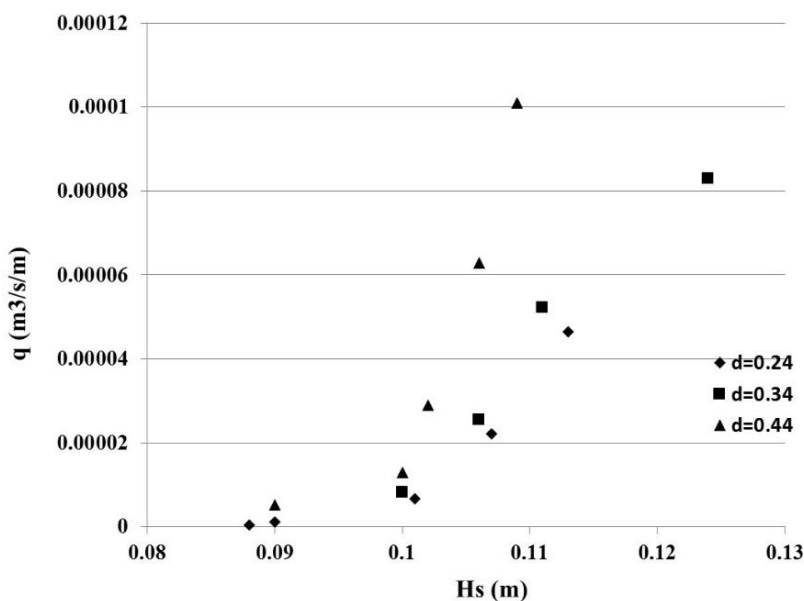
$$a_3 = q * [(\frac{R_c}{H_s})^{0.4} . \exp(1.1 \cdot \frac{B}{H_s}) . \exp(1.9 \cdot \frac{G_c}{H_s})] = a_4 \exp(0.54 H_o \sqrt{T_o}) \quad (31)$$

جدول ۹- مقدار ضرایب معادله ۳۰

b_4	a_4	$(\frac{Dn50}{h})$
۰/۵۲	$۳/۵ \times ۱۰^{-۵}$	۰/۰۴۵
۰/۵۳	$۸/۵ \times ۱۰^{-۵}$	۰/۰۵۸
۰/۵۷	$۱/۲ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۰۹۵

۵-۳- تأثیر عمق آب در جلوی پنجه سازه بر سرریزی موج

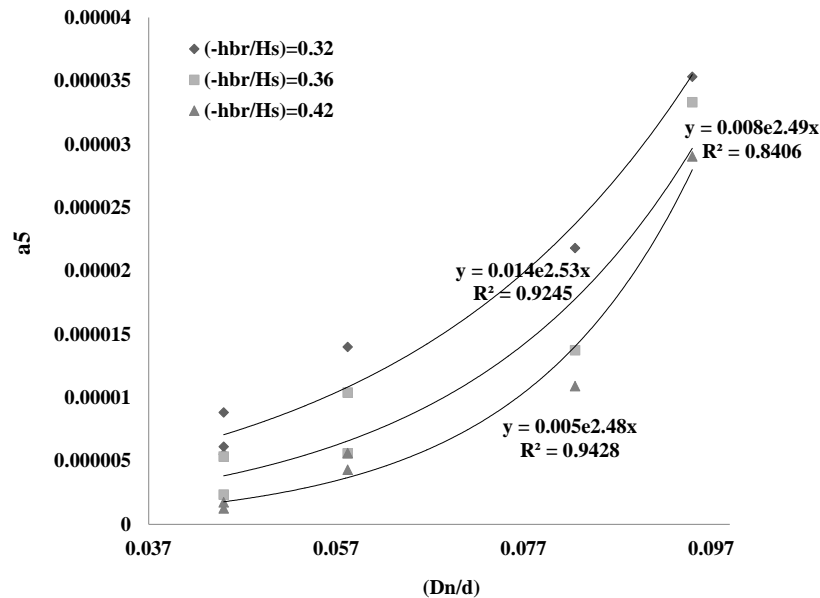
به طور کلی عمق آب در پای سازه، شرایط محیطی را دستخوش تغییرات قرار می دهد. تغییر عمق آب در پای سازه، شرایط و رفتار امواج و همچنین معادلات حاکم بر آنها را عوض می کند. به عنوان مثال، موج در آب کم عمق به صورت غیرخطی و در آب عمیق به صورت خطی تر رفتار می نماید (Hughes, 2004). عمق آب پای سازه بر میزان آب سرریز شده از سازه اثر می گذارد. شکل (۸) نمودار بی بعد q بر حسب H_s ، به تفکیک چند عمق متفاوت آب پای سازه در حالی که سایر پارامترهای بی بعد مؤثر ثابت باشند را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود در یک ارتفاع موج ثابت با افزایش عمق آب در پای سازه، مقدار دبی سرریزی افزایش یافته به طوری که این موضوع در مقادیر بزرگ تر ارتفاع موج اثر خود را بیشتر نشان می دهد.



شکل ۸- نمودار q بر حسب H_s ، به تفکیک عمق آب در پای سازه

جهت بررسی تأثیر عمق آب در پای سازه بر سرریزی موج، با توجه به شکل (۸) و مطابق روند قبلی در بررسی تأثیر سایر پارامترها بر میزان سرریزی موج، پارامتر بی بعد عمق آب در پای سازه $(Dn50/d)$ در مقابل پارامتر a_3 زمانی که پارامتر بدون بعد مربوط به ارتفاع آب روی سکو (h_{br}/H_s) ثابت در نظر گرفته شود، در شکل (۹) ترسیم شده است. تابع برازش داده شده به این داده‌ها به صورت معادله (۳۲) در نظر گرفته شده است:

$$a_4 = q * \left[\left(\frac{R_c}{H_s} \right)^{-0.4} \cdot \exp(-1.1 \cdot \frac{B}{H_s}) \cdot \exp(-1.9 \cdot \frac{G_c}{H_s}) \cdot \exp(0.54 H_o \sqrt{T_o}) \right] = a_5 \cdot \left(\frac{Dn50}{d} \right)^{b_5} \quad (32)$$



شکل ۹- تأثیر Dn/d بر a_5

جدول (۱۰) مقادیر ضرایب a_5 و b_5 را برای مقادیر متفاوت h_{br}/H_s نشان داده است. با توجه به جدول، مقدار b_5 به طور متوسط برابر با $2/5$ بوده و مقدار ضریب a_5 وابسته به پارامتر بی بعد تراز سکوی موج شکن نسبت به سطح ایستابی، h_{br}/H_s است. با توجه به مقدار شاخص‌های ارزیابی محاسبه شده برای تابع پیشنهادی معادله (۳۳) برای در نظرگیری اثر عمق بر سرریزی موج معرفی گردید:

$$q * \left[\left(\frac{R_c}{H_s} \right)^{-0.4} \cdot \exp(-1.1 \cdot \frac{B}{H_s}) \cdot \exp(-1.9 \cdot \frac{G_c}{H_s}) \cdot \exp(0.54 H_o \sqrt{T_o}) \right] = a_5 \cdot \left(\frac{Dn50}{d} \right)^{2.5} \quad (33)$$

جدول ۱۰- مقدار ضرایب معادله ۳۳

b_5	a_5	h_{br}/H_s
۲/۵۳	۰/۰۱۴	۰/۳۲
۲/۴۹	۰/۰۰۸	۰/۳۶
۲/۴۸	۰/۰۰۵	۰/۴۲

۳-۶- رابطه پیشنهادی محاسبه سرریزی موج

به منظور پیدا نمودن یک تابع مناسب برای محاسبه سرریزی موج بر اساس پارامترهای سازه‌ای و هیدرولیکی مرتبط با آن می‌توان سرریزی موج را به صورت حاصل ضرب توابع حاصل از پارامترهای بی‌بعد مرتبط با سرریزی موج که در بخش‌های قبل به دست آورده شده‌اند، به صورت معادله (۳۴) نوشت:

$$q^* = f\left(\frac{h_{br}}{H_s}\right) \cdot \left(\frac{R_c}{H_s}\right)^{-0.4} \cdot \exp(-1.1 \frac{B}{H_s}) \cdot \exp(-1.9 \frac{G_c}{H_s}) \cdot \exp(0.54 H_o \sqrt{T_o}) \cdot \left(\frac{Dn50}{d}\right)^{2.5} \quad (34)$$

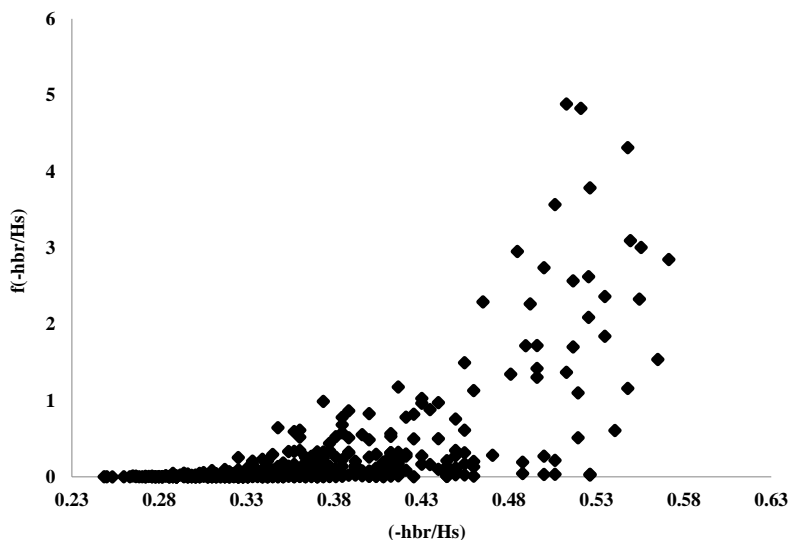
از معادله (۳۴) می‌توان معادله (۳۵) را به دست آورد و بر اساس آن نحوه اثرگذاری پارامتر (h_{br}/H_s) را تعیین نمود:

$$f\left(\frac{h_{br}}{H_s}\right) = \frac{q^*}{\left(\frac{R_c}{H_s}\right)^{-0.4} \cdot \exp(-1.1 \frac{B}{H_s}) \cdot \exp(-1.9 \frac{G_c}{H_s}) \cdot \exp(0.54 H_o \sqrt{T_o}) \cdot \left(\frac{Dn50}{d}\right)^{2.5}} \quad (35)$$

شکل (۱۰) نمودار تغییرات $f(h_{br}/H_s)$ بر اساس رابطه (۳۵) را در مقابل پارامتر h_{br}/H_s به ازای کلیه داده‌های آزمایشگاهی موجود در ارتباط با سرریزی موج نشان می‌دهد. توابع متعددی جهت توصیف چگونگی تغییرات تابع فوق در نظر گرفته شد و در نهایت معادله (۳۶) جهت محاسبه سرریزی موج از روی موج‌شکن‌های سکوی شکل‌پذیر برای محدوده تغییرات داده‌های موردنظر با توجه به جدول (۳) به دست آمد:

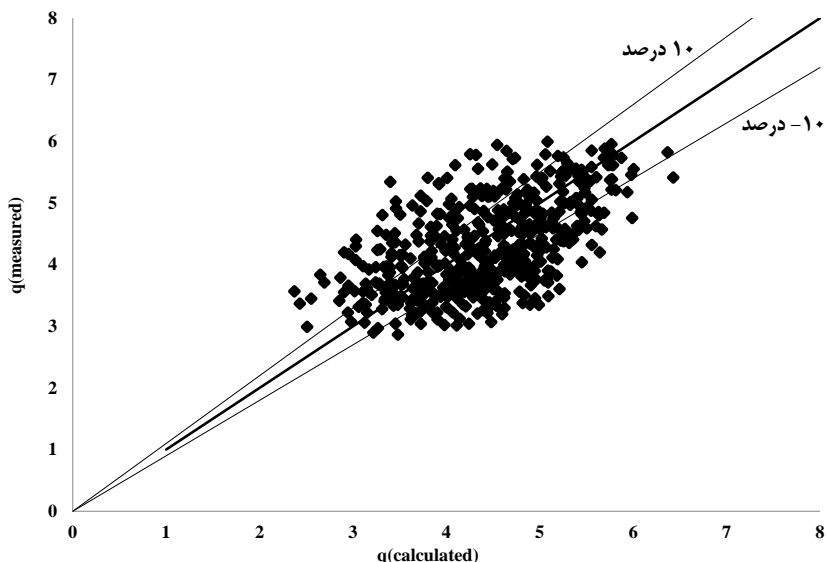
$$q^* = 300 \left(\frac{h_{br}}{H_s}\right)^{2.49} \cdot \left(\frac{R_c}{H_s}\right)^{-0.4} \cdot \left(\frac{Dn50}{d}\right)^{2.5} \cdot \exp(-1.1 \frac{B}{H_s} - 1.9 \frac{G_c}{H_s} + 0.54 H_o \sqrt{T_o}) \quad (36)$$

رابطه (۳۶) برای کلیه متغیرهای بی‌بعد موجود در محدوده ارائه شده در جدول (۳) قابل استفاده است.



شکل ۱۰- نمودار تغییرات $f(h_{br}/H_s)$ در برابر (h_{br}/H_s)

نمودار نشان داده‌شده در شکل (۱۱) نتایج حاصل از رابطه (۳۶) برای سرریزی موج را در مقابل داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- مقایسه سرریزی موج محاسبه شده توسط رابطه پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی

همان طور که مشاهده می شود همبستگی مناسبی بین نتایج حاصل از فرمول جدید و داده های آزمایشگاهی وجود دارد. جهت تعیین تأثیر پارامترهای بی بعد به دست آمده در این تحقیق بر روی پارامتر سرریزی موج، از تعدادی از شاخص های ارزیابی استفاده شده است که برای هر یک از توابع مربوط به پارامترهای بی بعد مؤثر بر سرریزی، این شاخص های ارزیابی به صورت جدول (۱۱) محاسبه گردید.

جدول ۱۱- مقدار شاخص های ارزیابی برای توابع بهینه جهت در نظر گرفتن تأثیر پارامترهای بی بعد موجود بر روی سرریزی

شماره معادله	Bias	NRMSE	E%	R^2
۲۰	$4/2 \times 10^{-5}$	۰/۰۹	۱/۲	۰/۹۳
۲۲	$4/8 \times 10^{-6}$	۰/۰۵	۳/۱	۰/۸۰
۲۴	6×10^{-4}	۰/۰۷	۲	۰/۷۹۵
۳۱	3×10^{-3}	۰/۲۶	۳/۸	۰/۷۹۱
۳۳	$3/6 \times 10^{-6}$	۰/۰۴	۰/۸۵	۰/۹۴
۳۶	$1/1 \times 10^{-3}$	۰/۰۷	۴	۰/۷۰

۳-۷- صحت سنجی رابطه پیشنهادی

جهت نمایش ظرفیت مناسب رابطه پیشنهادی برای محاسبه سرریزی موج از روی موج شکن های سکویی شکل پذیر، ۲۰ درصد داده های آزمایشگاهی موجود جهت صحت سنجی رابطه (۳۶) به کار گرفته شدند. داده های صحت سنجی مذکور در مرحله استخراج رابطه دخیل نبوده و در محدوده معرفی شده در جدول (۴) قرار گرفته اند. مقادیر شاخص خطا از جمله R^2 ، E ، $NRMSE$ و $bias$ برای کلیه فرمول ها در مقابل داده های آزمایشگاهی موجود محاسبه و در جدول (۱۲) نمایش داده شده اند. شایان ذکر است با توجه به محدودیت های موجود در رابطه Van der Meer و Sigurdarson (2013) از میان کل داده های آزمایشگاهی موجود تنها

۴۵ سری از داده‌ها در محدوده مناسب جهت استفاده از رابطه هستند که مقادیر موجود در ستون مربوط به این رابطه در جدول (۱۲)، مرتبط با این ۴۵ سری داده آزمایشگاهی است.

جدول ۱۲ - شاخص‌های ارزیابی برای فرمول‌های موجود در مقابل داده‌های آزمایشگاهی صحت سنجی

TAW (2002)	CLASH (2005)	Lykke Andersen (2006)	Moghim et al. (2015)	رابطه پیشنهادی	شاخص ارزیابی	
۰/۴۹۹	۰/۴۱	۰/۷۴۶	۰/۴	۰/۷۸۳	۰/۸۱	R ²
۱۷/۷	۱۲/۳۶	۷/۶	۱۱/۶	۷/۹۴	۱۳	E
۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۰۹	۱/۱۶	۰/۰۹	۰/۱	NRMSE
۰/۶۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۵	Bias

با توجه به جدول (۱۲) مشاهده می‌شود که رابطه جدید دارای نتایج بهتری نسبت به روابط ارائه شده توسط TAW (2002) و Van der Meer و Sigurdarson (2013) و نتایج حاصل از نرم‌افزار CLASH (2005) است. با مقایسه رابطه حاضر با نتایج حاصل از فرمول Lykke Andersen (2006) و Moghim et al. (2015) می‌توان بیان نمود این رابطه دارای عملکرد نسبتاً بهتری در مقایسه با این محققین دارد. این مطلب نشان‌دهنده انتخاب مناسب پارامترهای بی‌بعد مرتبط با پدیده سرریزی در تحقیق حاضر است. همچنین اثر D_{n50} (قطر اسمی سنگ) و عمق آب پای موج‌شکن بر روی سرریزی موج نیز در رابطه پیشنهادی در نظر گرفته شده است.

۴- نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین پارامترهای حاکم در طراحی موج‌شکن‌ها، میزان سرریزی امواج از روی موج‌شکن است. در این مطالعه با استفاده از پارامترهای مؤثر بر سرریزی موج و همچنین آنالیز ابعادی، پارامترهای بی‌بعد مناسب مؤثر بر سرریزی موج به دست آورده شد. با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی موجود برای هر یک از پارامترهای بی‌بعد و با توجه به شاخص‌های ارزیابی موجود، مناسب‌ترین تابع جهت در نظر گرفتن تأثیر آن بر روی سرریزی موج به دست آمد. در نهایت با استفاده از این توابع، رابطه‌ای جهت محاسبه سرریزی موج از روی موج‌شکن‌های سکویی شکل‌پذیر استخراج گردید. سپس نتایج حاصل از فرمول جدید با مدل آزمایشگاهی و نتایج حاصل از سایر روش‌های موجود مقایسه و دقت آن مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به شاخص‌های ارزیابی محاسبه شده، نشان داده شد که نتایج حاصل از این فرمول، همبستگی مناسبی با داده‌های آزمایشگاهی در مقایسه با سایر فرمول‌های موجود برای حداقل داده‌های در دسترس در این مقاله دارند و این نتایج بیانگر انتخاب مناسب پارامترهای بی‌بعد مرتبط با پدیده سرریزی در تحقیق حاضر است.

References

- De Rouck J. (2005). CLASH - D46: Final Report, Ghent University, Belgium.
- Goda Y. (1985). Random seas and design of maritime structure, University of Tokyo Press, Japan.
- Hughes S. A. (2004). Wave momentum flux parameter: a descriptor for near shore waves. Coastal Eng., 51(11-12), 1067-1084.
- Lykke Andersen T. (2006). Hydraulic response of rubble mound breakwaters scale effects berm breakwaters, M.Sc. Dissertation, Department of Civil Engineering, Aalborg University.
- Moghim M. N. and Alizadeh F. (2014). Hydraulic stability of reshaping berm breakwaters using the wave momentum flux parameter, Coastal Eng., 83, 56-64.
- Moghim M. N., Forouzan Boroujeni R. and Mohammad Rezapour Tabari M. (2015). Wave overtopping on reshaping berm breakwaters based on wave momentum flux. Appl. Ocean Res., 53, 23-30.
- Moghim M. N. and Mohammad Rezapour Tabari M. (2012). Stability prediction of reshaped berm breakwater using SANN. The 10th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures (ICOPMAS). Tehran. Iran [in Persian].
- Moghim M.N., Shafieefar M., Tørum A. and Chegini V. (2011). A new formula for the sea state and structural parameters influencing the stability of homogeneous reshaping berm breakwaters, Coastal Eng., 58(8), 706-721.
- Mohammad Rezapour Tabari M., Moghim M. N. and Forouzan Boroujeni R. (2014). Simulation of wave overtopping of reshaping berm breakwaters using the experimental results and ANFIS model, 8th National Congress of Civil Engineering, Babol, IRAN (in Persian).
- Sigurdarson S. and Van Der Meer J. W. (2013). Wave overtopping at berm breakwaters in line with eurotop, Coasts, Marine Structures and Breakwaters, Edinburgh, Scotland.
- TAW (2002). Wave run-up and wave overtopping at dikes, Technical Advisory Committee on Flood Defense, Delft. Technical Report.

Estimation of Wave Overtopping on Reshaping Breakwaters

Mahmoud Mohammad Rezapour Tabari^{1*}, Mohammad Navid Moghim² and Razieh Forouzan Boroujeni³

¹ Assistant Prof., Department of Engineering, Shahrkord University, Shahrkord, Iran

² Assistant Prof., Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

³ MSc Student, Department of Engineering, Shahrkord University, Shahrkord, Iran

*Corresponding Author: mrtabari@eng.sku.ac.ir

Received: February 25, 2016

Accepted: June 8, 2016

Abstract:

The breakwater as structures that have an important role in the protection of coastal facilities was used to create calm in the harbor, reduce wave energy and also protect the coast against wave attack. Wave overtopping is an important parameter to design breakwater. In this paper, a new formula will be proposed to estimate wave overtopping on the reshaping breakwater. In this research, further effective parameters such as stone diameter (D_{n50}) and water depth at toe of the structure (d) were considered to estimate wave overtopping. Wave overtopping occurs when water level goes higher than the crest of the structure. To derive a new formula, at first a relation was proposed using hydraulic and structural parameters associated with wave overtopping and then the dimensionless parameter was used by Buckingham theory. A comparison was made between the new relation and the relations proposed by former studies. This research indicated that the proposed formula is accurate in estimating wave overtopping on reshaping berm breakwater.

Keywords: Port, Breakwaters, Reshaping, Wave, Wave overtopping