



مرکز پژوهش‌های مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



ICOPMAS

دهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی  
۲۹ آبان لغایت ۱ آذر ۹۱ (تهران-ایران)



بررسی آزمایشگاهی تأثیر پارامترهای موج بر تغییر شکل دیوار ساحلی سکویی شکل پذیر تحت امواج نامنظم دریا

علیرضا بختیاری<sup>۱</sup>، منوچهر فتحی مقدم<sup>۲</sup>، پیمان آق تومانیان<sup>۳</sup>

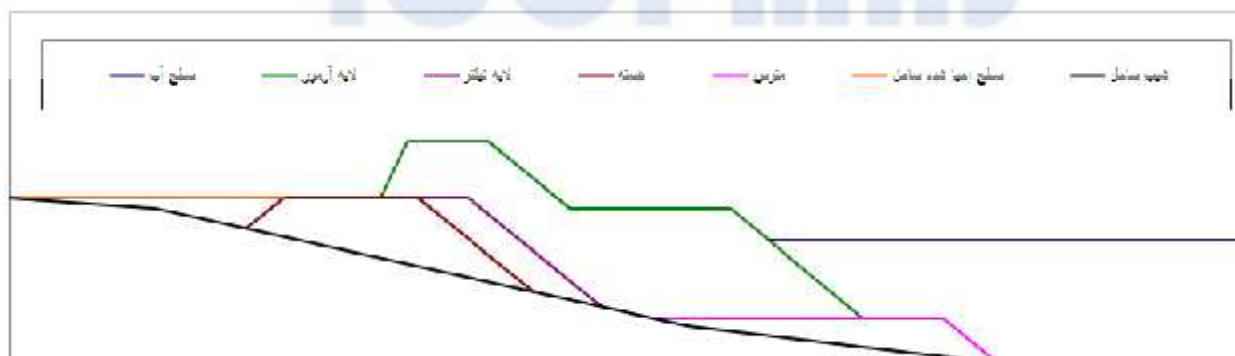
کلید واژه: مدل فیزیکی، دیوار ساحلی سکویی، دیوار ساحلی شکل پذیر، پارامترهای موج.

### چکیده

در این مقاله به منظور بررسی تأثیر آزمایشگاهی پارامترهای موج بر تغییر شکل پروفیل دیوار ساحلی شکل پذیر آزمایشات مدل در چند عمق آب انجام شده است. داده های مورد استفاده در این تحقیق با نتایج مدل آزمایشگاهی انجام شده در فلوم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری (SCWMRI)، که با استفاده از امواج نامنظم و طیف انرژی جونسواپ (JONSWAP) انجام پذیرفته می باشد. برای بررسی تأثیر تراز سطح آب، سازه با مصالح لایه آرمور با درجه بندی  $D_{85}/D_{15}=1/82$  و مقیاس مدل ۱:۲۵ در نظر گرفته شده است. در هر آزمایش ۳۰۰۰ موج به سازه اصابت نموده و در مجموع ۶۰ آزمایش انجام شده است. نتایج به دست آمده از آزمایش ها پس از رسم نمودارها، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج مدل نشان می دهد که با افزایش ۸۲ درصدی تیزی موج پارامتر آسیب ۸۵ درصد کاهش و نیز با افزایش ۵۷ درصدی ارتفاع موج، پارامتر آسیب ۸۷ درصد افزایش می یابد و با افزایش ۵۷ درصدی طول موج پارامتر آسیب ۸۳ درصد افزایش پیدا می کند.

### مقدمه

دیوارهای ساحلی، سازه هایی هستند که به موازات و نزدیک خط ساحلی برای حفاظت از ساحل و تأمین امنیت ساختمان ها و تأسیسات ساحلی مورد استفاده قرار می گیرند. دیوارهای ساحلی از نظر شکل و نوع مصالح به کار رفته در آنها به انواع مختلفی تقسیم می شوند که دیوارهای ساحلی توده سنگی یکی از آنها است. این نوع دیوارها خود به دو دسته پایدار ایستا (سنتی) و پایدار پویا (شکل پذیر) تقسیم می شوند. در زیر یک نوع دیوار ساحلی شکل پذیر سکویی آورده شده است (شکل ۱).



شکل ۱- نمونه ای از دیوار ساحلی سکویی شکل پذیر

<sup>۱</sup> - کارشناسی ارشد - دانشگاه شهید چمران اهواز - bakhtiari.02@gmail.com

<sup>۲</sup> - استاد - دانشگاه شهید چمران اهواز - fathi49@gmail.com

<sup>۳</sup> - کارشناسی ارشد - پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری - Peyman\_y@yahoo.com

## برخی از پارامترهای مهم در سازه های ساحلی

### پارامتر آسیب

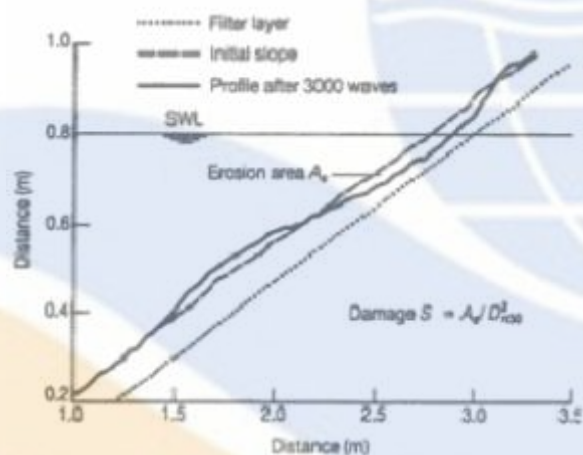
پارامترهای مختلفی برای توصیف رفتار سازه وجود دارد که یکی از آنها متغیر آسیب می باشد. متغیر آسیب به این ترتیب تعریف شده است [۲]:

$$S_d = \frac{A_e}{2 D_{n50}} \quad (1)$$

در معادله بالا  $A_e$  سطح فرسایش یافته و  $D_{n50}$  قطر اسمی سنگ آرمور می باشد.

$$D_{n50} = \left( \frac{W_{50}}{\rho_a g} \right)^{1/3} \quad (2)$$

که در آن  $g$  شتاب ثقل و  $W_{50}$  وزن میانگین قطعه سنگ که به وسیله مقدار ۵۰ درصد، در منحنی دانه بندی تعیین می شود. ترسیمی از سازه آسیب دیده در زیر (شکل ۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- متغیر آسیب بر مبنای سطح فرسایش یافته [۲]

### تیزی موج

یکی از پارامترهای مهم موج تیزی موج است که از نسبت ارتفاع موج به طول موج حاصل می گردد [۱۱]:

$$S_{op} = \frac{H_s}{L_p} \quad (3)$$

که در آن  $H_s$  ارتفاع موج و  $L_p$  طول موج ماکزیمم می باشد.

### پارامتر پایداری دینامیکی

برای سازه های پایدار پویا که در آنها نیمرخ سازه تغییر شکل می یابد و شیب یکنواخت و مستقیم نیست، متغیر تشابه شکست مشخصی نمی توان تعیین و تعریف نمود، ولی این امکان وجود دارد که ارتفاع و پرپود را به قطر اسمی مرتبط ساخته و یک متغیر ترکیبی ارتفاع-پرپود موج را نتیجه گرفت که توسط فرمول زیر بیان می گردد [۱۴]:

$$H_o T_o = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \times T_m \times \left( \frac{g}{D_{n50}} \right)^{1/2} \quad (4)$$

که در آن چگالی شناوری نسبی قطعات آرمور ( $\Delta = \frac{\rho_a}{\rho_w} - 1$ )، جرم مخصوص سنگ و  $\rho_w$  جرم مخصوص آب) و  $T_m$  پریود میانگین موج می باشد.

### مروری بر تحقیقات انجام شده

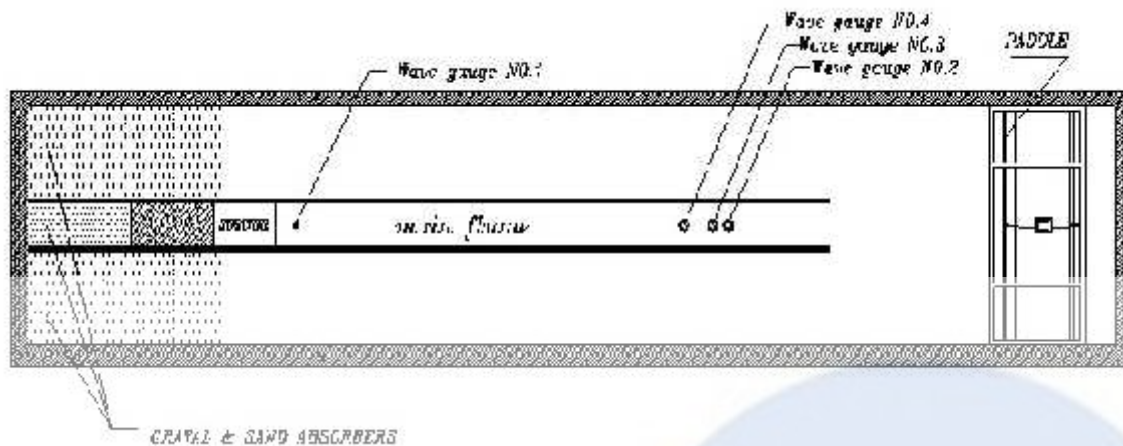
- چگینی و همکاران آزمایش‌هایی بر روی مدل هیدرولیکی یک نوع موج‌شکن شکل‌پذیر موسوم به مسلح توده‌ای انجام دادند. همچنین آنها تغییر شکل موج‌شکن‌های سکویی را در اثر برخورد امواج مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. این موج‌شکن برای ساخت در بندر چند منظوره پسابندر طراحی شده بود. نتایج بدست آمده از آزمایشات نشان می‌دهد موج‌شکن‌های شکل‌پذیر مورد آزمایش تا حد رسیدن به نیم رخ پایدار تغییر شکل می‌دهند. تغییر شکل سازه با افزایش ارتفاع موج برای یک مقطع خاص و در نتیجه عدد پایداری افزایش می‌یابد [۱].
- Baird and Hall همچنین تحقیقاتی بر روی موج‌شکن‌های شکل‌پذیر توسط هال و کائو انجام دادند که در پروژه‌های MAST I, II، توسط اتحادیه اروپا حمایت می‌شدند [۴].
- Melby and Kobayashi بعنوان اولین قدم یک روش احتمالی را برای نگهداری و بازسازی موج‌شکن‌ها توصیه کرده‌اند که بر یک سری آزمایش‌های مدل فیزیکی در فلوم موج استوار است. در این تحقیق میزان تعمیرات در پیشرفت آسیب در لایه آرمور بر روی موج‌شکن‌های سنتی تحت تأثیر یک سری امواج شکنای محدود به عمق برای شرایط مختلف موج و سطح تراز آب اندازه‌گیری شده است. آنها در نهایت یک فرمول تجربی را برای پیش‌بینی مقدار میانگین سطح آسیب ناشی از طوفانهای مختلف را برای یک سازه موج‌شکن با شیب ۱:۲ و شیب ساحل ۱:۴۰ ارائه نموده‌اند [۸].
- Sayao پروفیل تغییر شکل موج‌شکن شکل‌پذیر را به وسیله یک سری آزمایش‌های مدل فیزیکی تحلیل نموده است. نتایج نشان می‌دهد که تأثیر پارامتر تشابه شکست بر روی این پروفیل بسیار زیاد است [۱۰].
- Torum و همکاران نیز آزمایش‌های گسترده‌ای را روی این دسته موج‌شکن‌ها انجام دادند و توانستند رابطه‌ای برای میزان عقب‌نشینی سکو در حالت تشکیل نیمرخ پایدار نهایی ارائه کنند. آنها در این روابط جملاتی شامل تأثیر ضریب دانه بندی و ضریب عمق را نیز به روابط خود اضافه نمودند [۱۱].
- Rao و همکاران با انجام آزمایش‌هایی دریافتند که با کوچک شدن ابعاد سنگها، میزان آسیب وارده به آنها افزایش می‌یابد. این دو با استفاده از پارامتر سطح آسیب (S) و کاهش ۱۰ و ۳۰ درصدی وزن سنگها نشان دادند که یک رابطه‌ی نمایی بین افزایش پارامتر پایداری و افزایش سطح آسیب برقرار می‌باشد [۹].
- آق‌تومان و همکاران دستورالعمل طراحی ضخامت لایه آرمور موج‌شکن‌های شکل‌پذیر را ارائه نمودند [۲].
- آق‌تومان و همکاران تأثیر عرض سکوی موج‌شکن‌های شکل‌پذیر را بر تغییر شکل نهایی ارائه نمودند. آنها دریافتند که عرض بهینه برای موج‌شکن سکویی، عرضی است که موج‌شکن دارای کمترین حجم ممکنه باشد، به شرط آنکه برای موج غالب طرح، نیم رخ تغییر شکل یافته در شیب پایینی به شیب بالایی موج‌شکن نرسیده و حداقل به اندازه  $2D_{n50}$  از لبه انتهایی آن فاصله داشته باشد [۳].

### برپایی مدل فیزیکی و آزمایش‌های انجام شده

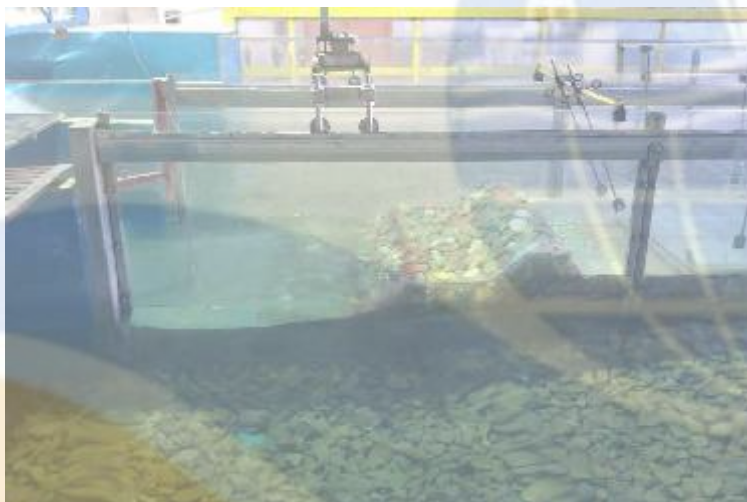
آزمایش‌های مدل بر روی مقطع دیوار ساحلی سکویی شکل‌پذیر، در فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی صورت پذیرفت. فلوم مذکور دارای ۳۵ متر طول، ۵ متر عرض (در سه قسمت) و ۱ متر ارتفاع می‌باشد. امواج توسط پاروی مولد موج ساخت شرکت DHI دارای ۵ متر عرض و ارتفاع ۱ متر از نوع پیستونی قائم که در انتهای فلوم امواج قرار گرفته است به صورت نامنظم با طیف انرژی JONSWAP<sup>۴</sup> تولید شده‌اند.

در مدل از گستره ارتفاع امواج بین ۸ تا ۱۴ سانتیمتر و پریودهای ماکزیمم بین ۱/۲ تا ۲/۸ ثانیه استفاده شد و در مجموع ۶۰ آزمایش که هر یک شامل ۳۰۰۰ موج بودند، در این تحقیق مورد آزمون قرار گرفت. در تمامی آزمایش‌ها نیمرخ سازه در سمت پارو، قبل از شروع آزمایش و بعد از اصابت امواج، برداشت و ثبت شده است.

<sup>۴</sup> این طیف از پروژه‌های تحقیقاتی امواج دریای شمال که توسط آزمایشگاه‌های چهار کشور انجام شده، حاصل گردیده است. اندازه‌گیری موج و باد با مدت تلاوم کافی و وزش باد جهت تهیه مدل طیفی در آب عمیق و شرایط حدی طول بادگیر انجام شده است. طی سال‌های اخیر طیف Jonswap برای طراحی مهندسی و کارهای تجربی با موج نامنظم آزمایشگاهی، بیشترین استفاده را داشته است.



شکل ۳- پلان فلوم موج



شکل ۴- مدل آزمایشگاهی دیوار ساحلی سکویی شکل پذیر

جدول ۱- محدوده تغییرات پارامترهای موجود

پارامتر مورد نظر	نماد	دامنه تغییرات
ارتفاع موج	$H_s$	۸-۱۴ سانتیمتر
پریود موج	$T_p$	۱/۲-۲/۸ ثانیه
عمق آب پای سازه	$d$	۱۸/۲-۲۰/۸ سانتیمتر

### آنالیز ابعادی

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، ابتدا به شناخت پارامترهای متعددی که در تغییر شکل سازه موثر می باشند اقدام نموده و با تجزیه و تحلیل ابعادی رابطه کلی شامل پارامترهای بدون بعد استخراج گردید. پارامترهای موثر در این آزمایشها در رابطه (۷) ارائه شده اند:

$$F(H_s, L_p, A_e, g, D_{n50}, V_w, \mu, \rho_a, \rho_w) = 0 \quad (5)$$

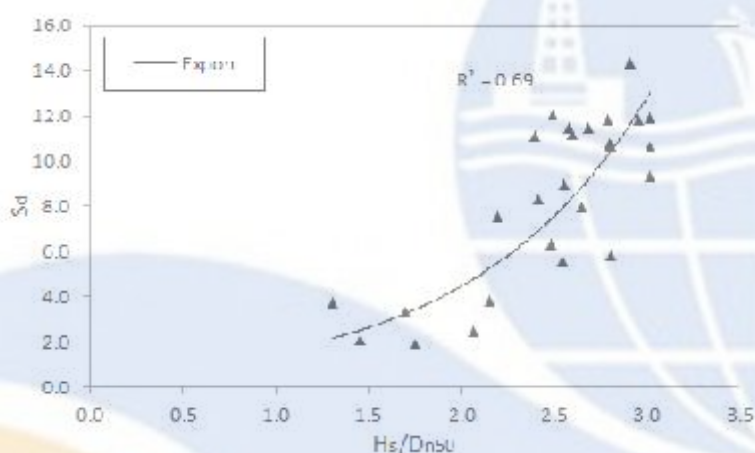
که در آن  $A_e$  سطح فرسایش یافته،  $H_s$  ارتفاع موج،  $g$  شتاب ثقل،  $D_{n50}$  قطر اسمی سنگ آرمور،  $V_w$  سرعت آب در نزدیکی لایه آرمور،  $L_p$  طول موج،  $\mu$  ویسکوزیته دینامیکی آب،  $\rho_a$  جرم مخصوص سنگ،  $\rho_w$  جرم مخصوص آب می باشد. با استفاده از روش باکینگهام رابطه زیر بدست می آید:

$$S_d = \frac{A_e}{D_{n50}^2} = f\left(\frac{H_s}{D_{n50}}, R_e, \frac{H_s}{L_p}, \frac{L_p}{D_{n50}}, H_0 T_0\right) \quad (6)$$

### بحث و نتیجه گیری

#### بررسی نمودارها

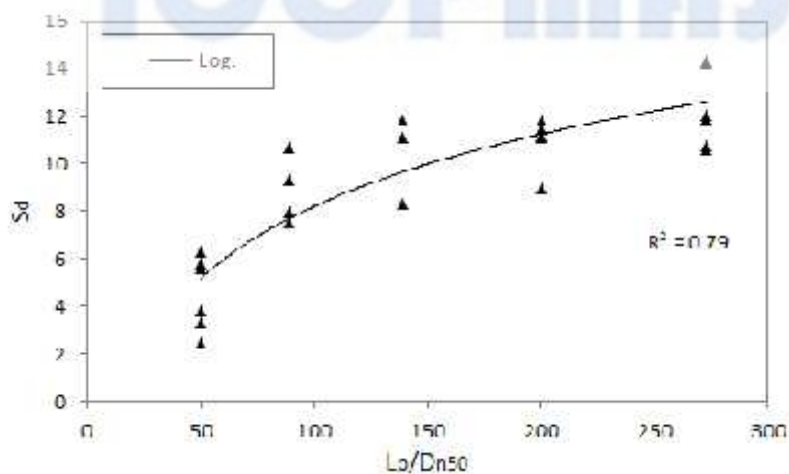
با استفاده از نتایج حاصل از اندازه گیری، نتایج این تحقیق در بخش های زیر آمده است. همانطوری که قبلاً نیز بیان شد یکی از پارامترهای مهم درسازه های ساحلی پارامتر آسیب می باشد. به منظور بررسی آن، در شکل (۵) نحوه تغییرات پارامتر آسیب را در مقابل ارتفاع موج به قطر اسمی سنگ آرمور نشان می دهد.



شکل ۵- نمودار ارتفاع موج در برابر پارامتر آسیب

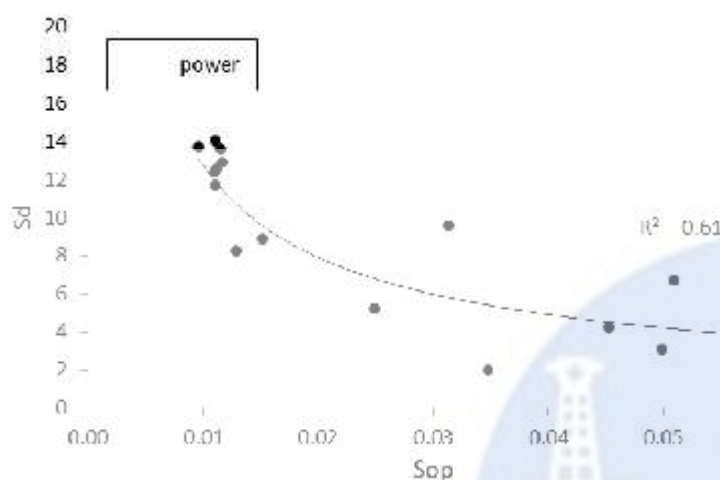
نکته قابل توجه در شکل این است که با افزایش ۵۷ درصدی ارتفاع موج، پارامتر آسیب ۸۷ درصد افزایش می یابد.

نحوه تغییرات پارامتر آسیب در مقابل طول موج به قطر اسمی سنگ آرمور در شکل ۶ نمایش داده شده است.



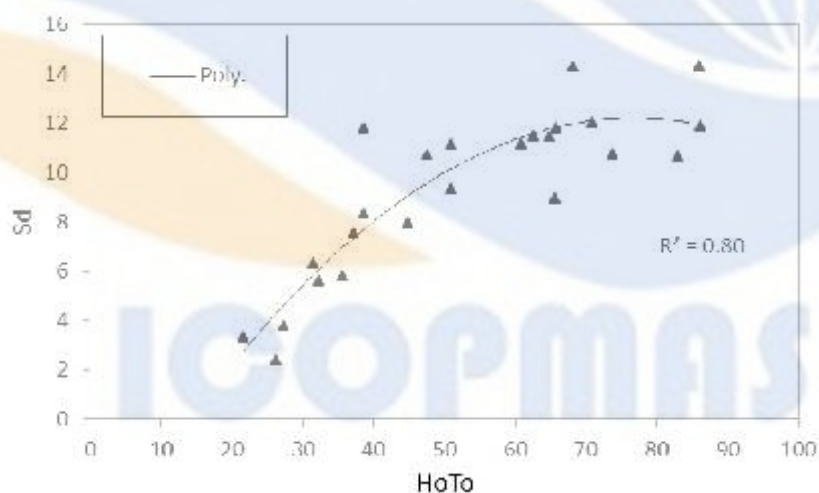
شکل ۶- نمودار طول موج در برابر پارامتر آسیب

همانطور که در شکل ۶ دیده می‌شود با افزایش ۵۷ درصدی طول موج، پارامتر آسیب نیز ۸۳ درصد افزایش پیدا می‌کند، با افزایش پریود موج، طول موج نیز افزایش و موج با طول موج زیاد به سازه برخورد کرده که باعث افزایش پارامتر آسیب شده است ولی افزایش آن به صورت لگاریتمی می‌باشد.



شکل ۷- نحوه تغییرات تیزی موج و پارامتر آسیب

همان گونه که در شکل فوق مشاهده می‌شود با افزایش ۸۲ درصدی تیزی موج، پارامتر آسیب ۸۵ درصد کاهش می‌یابد. با افزایش تیزی موج، موج قبل رسیدن به سازه می‌شکند و آسیب وارد شده به سازه کمتر می‌شود و پایداری سازه افزایش می‌یابد. در زیر نمودار پارامتر آسیب در برابر عدد پایداری دینامیکی آورده شده است.



شکل ۸- نحوه تغییرات پارامتر آسیب در برابر عدد پایداری دینامیکی

همانطور که در نمودار های بالا نیز مشاهده می‌شود با افزایش پارامتر پایداری دینامیکی، پارامتر آسیب نیز افزایش و پس از آن ثابت می‌شود. این نشان دهنده این است که مدل دیوار ساحلی برای مقادیر بالای  $H_oT_o$  پایدار می‌شود.

#### ارائه رابطه

می‌توان این طور برداشت کرد که با افزایش تیزی موج پارامتر آسیب کاهش و نیز با افزایش ارتفاع موج و طول موج پارامتر آسیب افزایش پیدا می‌کند. با افزایش ارتفاع موج و طول موج، انرژی بیشتری به سازه وارد شده که باعث تخریب بیشتر سازه و در نتیجه، افزایش پارامتر آسیب شده است. می‌توان این طور بیان کرد که با افزایش تیزی موج، موج قبل رسیدن به سازه می‌شکند و آسیب وارد شده به سازه کمتر می‌شود.

در ادامه با توجه به آنالیز ابعادی صورت گرفته، به منظور بررسی اثر متقابل پارامترهای بدون بعد مؤثر استخراج شده بر روی مقدار سطح فرسایش یافته و ارائه یک رابطه ریاضی برای پیش‌بینی این مقادیر، از رگرسیون گیری چند متغیره غیرخطی نرم افزار آماری (Spss ۱۸) استفاده شد و در نهایت رابطه زیر پس از تحلیل‌های متعدد استخراج گردید.

$$S_d = -0.004 H_o T_o^2 + 0.586 H_o T_o - 2.436 f_d \quad (7)$$

$$f_d = -0.16 \left( \frac{d}{D_{n50}} \right) + 4$$

$$R^2 = 0.78$$

## مراجع

- ۱) چگینی و.، آق تومان پ.، یثربی ف. و حسینی بندرآبادی س م. ۱۳۷۵. بررسی تغییر شکل موج شکن های شکل پذیر. مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، تهران، دانشگاه علم و صنعت، ۱۱ تا ۱۴ آذر، صفحات ۱۱۰-۱۲۳.
- ۲) Aghtouman, P., Chegini, V., Shirian, N., Hejazi, M. ۲۰۰۵. Design of reshaping breakwater's armor layer thickness. ۲nd International Coastal Symposium (ICS ۲۰۰۵), Hofn, Iceland, ۵-۸ June.
- ۳) Aghtouman, P., Aliyari, F., Aghtouman, Z. ۲۰۱۱. Efect of berm width on reshaped profile of berm breakwaters. ۵th International Short Conference On Applied Costal Research (۵thSCACR), Aachen, Germany, June.
- ۴) Baird, W.F. and Hall, K.R. ۱۹۸۴. The design of breakwaters using quarried stone. ۱۹th International Conference On Coastal Engineering, Houston, pp. ۱۰۲۴-۱۰۳.
- ۵) CIRIA/CUR. ۱۹۹۱. Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering. CIRIA, London & CUR, Rotterdam, The Netherlands.
- ۶) Hughes, S. A. ۱۹۹۳. Physical models and laboratory techniques in coastal engineering. Advanced Series on Ocean engineering, Vol. ۷, World Scientific Publishing, Singapore.
- ۷) Kao, J. S and Hall, K. R. ۱۹۹۰. Trends in stability of dynamically stable breakwaters. ASCE. Proc. ۲۲nd ICCE, Delft, the Netherlands, Ch. ۱۲۹.
- ۸) Melby J. A. and Kobayashi N. ۱۹۹۸. Progression and variability of damage on rubble mound breakwaters. Journal Of Waterway, Port, Coastal And Ocean Engineering, vol. ۱۲۴, No. ۶, Nov / Dec.
- ۹) Rao, S. and Pramod, Ch. and Rao, B. ۲۰۰۳. Technical Note, Stability of berm breakwater with reduced armor stone weight, Ocean Engineering ۳۱ (۲۰۰۴), PP. ۱۵۷۷- ۱۵۸۹.
- ۱۰) Sayao, O. J. ۱۹۹۸. On the profile reshaping of berm breakwaters, Coastal structures ۹۹.
- ۱۱) Torum, A. & Kuhnen, F. & Menze, A. ۲۰۰۲. On berm breakwaters, Stability, Scour, Overtopping, Coastal Engineering ۴۹ (۲۰۰۳), PP.۲۰۹-۲۳۸.
- ۱۲) Van der Meer, J.W. ۱۹۸۸. Rock slopes and gravel beaches under wave attack. Doctoral Thesis, Delft University of Technology, Also: Delft Hydraulics Communication No. ۳۹۶.
- ۱۳) Van der Meer, J.W, ۱۹۹۳. Conceptual design of rubble mound breakwaters. Delft Hydraulics Publication Number ۴۸۳.
- ۱۴) Van der Meer, J.W. ۱۹۹۴. Conceptual design of rubble mound breakwaters", Delft, Jan.
- ۱۵) Van der Meer, J. W. And Veldman, J.J. ۱۹۹۲. Stability of the seaward slope of berm breakwaters. Elsevier, Journal of Coastal Engineering, ۱۶, PP ۲۰۵-۲۳۴. Amsterdam, September Issue.



## Experimental Assessment of Wave's Parameters Effect on Reshaping the Berm Seawall under Irregular Wave Attack

A. Bakhtiari, School of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University

[Bakhtiari02@gmail.com](mailto:Bakhtiari02@gmail.com)

M. Fathi Moghadam, Department of Hydraulic Structures, School of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University

[Fathi49@gmail.com](mailto:Fathi49@gmail.com)

P. Agh Tooman, Soil Conservation and Watershed Management Institute

[Peyman\\_v@yahoo.com](mailto:Peyman_v@yahoo.com)

### Abstract:

In the present paper, to assess the experimental effect of wave parameters on transformation of seawall profile, the model experiments were done on some water level conditions. In this research, experiments of physical modeling have been done in the flume of the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). The waves applied to the structure model are irregular and the energy spectrum of the applied waves is JONSWAP. The material of Armour layer have been regarded with the scale of 1:25 model and grading class of  $D85/D15=1.82$ . In each experiment, 3000 waves hit the structure (totally, 60 experiments were done). The test results were analysed after drawing graphs. The results reveals that with increasing the wave steepness up to %82, the damage parameter decreases %85 and with increase of the wave height up to %57, the damage parameter increases %87 and with %57 increasing wave length, the damage increases %83.

**Keywords:** Damage; Reshaping Seawall; Berm Seawall; Wave Parameters

ICOPMAS