

بررسی پایداری موج شکن های شکل پذیر بر اساس نتایج آزمایشگاهی

پیمان عزاباد^۱، مهدی شفیعی فر^۲، ناصر شیریان^۳

۱- دانشآموخته کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار بخش مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشآموخته دکترای سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

در تحقیق حاضر با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، وضعیت نیمرخ تغییرشکل یافته موج شکن های شکل پذیر، در فرآیند برخورد امواج در طول زمان مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا ابتدا ۷ پارامتر مستقل موثر بر پایداری سازه که در مطالعات آزمایشگاهی دستخوش تغییر قرار گرفته اند، شناسایی شده و تاثیر آنها در پارامترهای هندسی معرف پایداری (۶ پارامتر)، بررسی شده است. این ۶ پارامتر وابسته به نحوی انتخاب شده اند که با کمترین تعداد ممکن، هندسه تغییرشکل یافته سازه را به طور کامل تبیین کنند.

در ادامه برای بدست آوردن مقدار این پارامترها، روابطی بر اساس مدل های آماری ارائه شده اند که بر حسب ۷ پارامتر مستقل موثر می باشند. محققین تلاش های انجام گرفته در جهت افزایش هر چه بیشتر اعتبار و قدرت این روابط نیز نمایش داده شده و مورد بررسی قرار گرفته است. در انتهای با استفاده از نتایج بدست آمده، نرم افزاری به نام IB برنامه ریزی شده که به کمک آن، نتایج این تحقیق با نرم افزار Breakwat و همچنین با نتایج آزمایش های انجام شده مورد مقایسه قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: موج شکن شکل پذیر، پایداری، مطالعات آزمایشگاهی، نرم افزار IB، مدل های آماری

An Investigation on Stability of Reshaping Breakwaters Using Experimental Data

Abstract

This paper presents results of an experimental investigation on stability of reshaping breakwaters. Results of 82 test cases have been used to study the reshaped profile condition of such breakwaters during the process of wave attacks.

In this research, first 7 independent parameters having significant effects on structure stability have been identified and their consequence on geometric parameters of stability (6 parameters) have been studied. These 6 dependant parameters are selected so that they show completely the deformed geometry of the structure with the least probable tries. Then, using experimental data and fitting them to various statistical models, some formulae are suggested for estimation of geometrical parameters of reshaped profiles. Also efforts to increase the validity of these experimental formulae are presented.

Finally a software called IB has been developed using results of the present research. Then comparisons have been made between IB and BREAKWAT program. Results show that BREAKWAT fails to predict the reshaped profile in some test cases.

Keywords: Reshaping breakwater, Stability, Experimental studies, IB software, Statistical models, Reshaped profile

۱- مقدمه

موج شکن ها سازه هایی هستند که برای حفاظت بندرگاه از اثر امواج دریا و همچنین حفاظت سواحل، ساخته می شوند. این سازه ها که عموماً بصورت تووده سنگی و با سطح مقطع ذوزنقه طرح و اجرا می گردند، عموماً از سه لایه اصلی تشکیل می شوند که عبارتند از: هسته، لایه یا لایه های فیلتر و لایه آرمور که وظیفه اصلی مقاومت مستقیم در برابر امواج را به عهده دارد. اجزای تشکیل دهنده لایه آرمور عموماً قطعه سنگ های بزرگ و سنگین هستند که از معادن استخراج شده و به محل حمل می گردند. در برخی موارد که امواج دریا بسیار مرتفع بوده و یا سنگ های بزرگ و مقاوم به سهولت در دسترس نباشد، نیاز به استفاده از قطعات بتنی با اشکال مختلف و خاص وجود دارد.

نسل جدید موج شکن های تووده سنگی به گونه ای طرح و اجرا می شوند که اجازه بروز تغییر شکل در مقطع آنها وجود داشته باشد تا بینو سیله بتوانند انرژی امواج را به خوبی جذب کرده و علاوه بر آن، نیمرخی برای سازه پدید بیاید که نیروهای هیدرودینامیکی وارد را به حداقل برساند.

تاکنون تحقیقات گسترده ای در این راه انجام گرفته که می توان به آزمایش های Van der Meer (۱۹۸۸) اشاره نمود که با استفاده از داده های آزمایشگاهی روابطی برای تخمین هندسه تغییر شکل یافته سازه ارائه نمود و بر اساس این روابط، نرم افزاری به نام Breakwat برنامه ریزی کرد. او در ارائه این روابط از پارامتر پایداری ($H_0 = T_o$)، پارامتر سطح آسیب (S)، و نیز عواملی همچون هندسه اولیه سازه (شیب وجه جلویی) و نفوذ پذیری سازه نیز استفاده نمود [۹].

در سال ۱۹۹۳ Lamberti و همکاران به اهمیت خاص شرایط عمق آب پای سازه اشاره نمودند و بیان داشتند که در شرایط آب کم عمق که عمدۀ موج شکن های موجود، در این شرایط قرار می گیرند؛ ضرایب کاهش تغییر شکل نیمرخ نهایی علاوه بر ارتفاع موج، به عمق شکست، تیزی موج، و شیب کف نیز مربوط می باشد [۵].

Sayao (۱۹۹۸) علاوه بر توصیف پایداری موج شکن شکل پذیر بر حسب پارامتر تشابه شکست، دریافت که نفوذ پذیری سازه تاثیر بسزایی در پایداری هیدرولیکی آن خواهد داشت. نفوذ پذیری زیاد هسته پایداری وجه پشتی سازه را در معرض خطر قرار می دهد و در عین حال نفوذناپذیری هسته نیز می تواند باعث ناپایداری سنگ های آرمور گردد [۷].

Torom و همکاران (۲۰۰۲) نیز آزمایش های گسترده ای را روی این دسته موج شکن ها (البته از نوع سکویی) انجام دادند و توانستند رابطه ای برای میزان عقب نشینی سکو در حالت تشکیل نیمرخ پایدار نهایی را ارائه کنند. آنها در این روابط جملاتی شامل تاثیر ضریب دانه بندی و ضریب عمق را نیز به روابط خود اضافه نمودند [۸].

Rao و همکاران (۲۰۰۳)، با انجام آزمایش های دریافتند که با کوچک شدن ابعاد سنگ ها، میزان آسیب وارد به آنها افزایش می یابد. این دو با استفاده از پارامتر سطح آسیب (S) و کاهش ۳۰ و ۱۰ درصدی وزن سنگ ها نشان دادند که یک رابطه نمایی بین افزایش پارامتر پایداری و افزایش سطح آسیب برقرار می باشد [۶].

در ایران نیز چند تحقیق در مورد موج شکن های شکل پذیر انجام شده است. چگینی و همکاران [۱] تغییر شکل موج شکن های شکل پذیر را در اثر برخورد امواج موردن بررسی قرار دادند. آنها آزمایش هایی بر روی مدل هیدرولیکی یک نوع موج شکن شکل پذیر موسوم به مسلح تووده ای انجام دادند. همچنین آق تومان و همکاران [۲] در مورد اثر پارامترهای مختلف و از جمله ضخامت لایه آرمور موج شکن های شکل پذیر تحقیق نموده اند.

در سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۴ شیریان مجموعه آزمایش های وسیعی روی موج شکن شکل پذیر فاقد سکو در فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی انجام داد و واکنش های هیدرولیکی آنها را موردن بررسی قرار داد. آنچه در تحقیق حاضر انجام شده، تحلیلهایی است که روی نتایج بدست آمده از این آزمایشها صورت گرفته است [۳].

رابطه به پایداری موج شکن های شکل پذیر، در تحقیق حاضر این داده های خاص پایداری مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

در این بخش، شرایط آزمایشگاهی که روی مدل انجام گرفته و پارامترهای مورد آزمایش به اختصار توضیح داده می شوند.

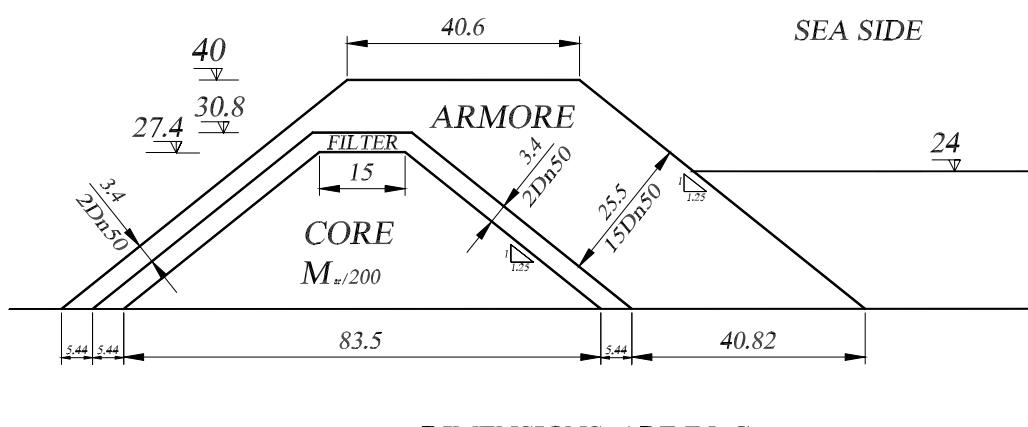
آزمایشها بر روی مدل هیدرولیکی مقطع موج شکن شکل پذیر مطابق شکل (۱) در فلوم موج با ۳۳ متر طول، ۱ متر عرض و ۱ متر ارتفاع انجام شده است. امواج توسط پارویی مولد موج به طول ۵/۵ متر و ارتفاع ۱ متر از نوع پیستونی قائم- که در انتهای فلوم امواج قرار گرفته- تولید می شوند. در تمامی آزمایش ها نیمرخ سازه در سمت پارو، قبل از شروع آزمایش و بعد از اصابت امواج، برداشت و ثبت شده است.

در مجموع ۸۲ سری آزمایش در رابطه با پایداری موج شکن های شکل پذیر انجام گرفته است که در آنها ارتفاع موج، پریود موج، عمق آب، شیب اولیه سازه، ضریب دانه بندی سنگهای آرمور، ضریب نفوذ پذیری سازه و تعداد امواج برخورده متغیر بوده اند. آزمایشها در مقیاس ۱/۵۰ و با Dn50 ثابت انجام گرفته است؛ به گونه ای که عدد پایداری موج شکن (Ns) بین ۱/۷۳ تا ۳/۸۳ و تیزی موج (som) بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۷ متغیر باشد. جدولهای ۱ و ۲ حدود تغییرات را نمایش می دهند. شرایط انجام آزمایشها و محدودیتهای آنها در مرجع [۳] بیان گردیده اند.

در تحقیق حاضر با توجه به نتایج آزمایشگاهی فوق و با استفاده از داده های موجود، سعی شده است تاثیر کلیه پارامترها از جمله: ضریب دانه بندی، فاکتور عمق، فاکتور نفوذ پذیری مورد بررسی قرار گیرند. پارامتر سطح آسیب به عنوان معیار اصلی فسایش مورد توجه بوده و مشخصات موج، هندسه اولیه و نیز تعداد امواج برخورده که شاخصه اصلی شکل پذیری می باشد نیز بررسی شده اند. در نهایت با توجه به پارامترهای مختلف مستقل و وابسته موثر در تخمین نیمرخ تغییر شکل یافته نهایی موج شکن شکل پذیر و با استفاده از تحلیلهای آماری مختلف، مدل های ریاضی جهت بدست آوردن هر پارامتر هندسی معرفی شده است. در پایان نرم افزاری در این راه توسعه داده شده است که به کمک آن می توان نیمرخ تغییر شکل یافته سازه را مشاهده نمود.

۲- انجام آزمایشها

همانگونه که اشاره شد شیریان در راستای تحقیق رساله دکتری خود آزمایشگاهی بسیار گسترده ای جهت بررسی واکنش های هیدرولیکی موج شکن های شکل پذیر برای نخستین بار در چنین سطحی در داخل کشور انجام داد. ایشان در تحقیق خود صرفاً به بررسی واکنش های هیدرولیکی پرداخته و راجع به پایداری این نوع موج شکنها بررسی و تحلیل انجام نداده است. با توجه به داده های بسیار ارزشمند تحقیق مذکور در



شکل ۱- نمونه مقطع عرضی مدل آزمایشگاهی موج شکن شکل پذیر مورد آزمایش

پایداری و نیز عامل تیزی موج در جدول (۱) آورده شده است. برای تعیین نتایج از پارامترهای مستقل بدون بعد شده استفاده شده است و به منظور حصول نتایج کاملاً معتبر از نوع تاثیر ارتفاع و پریود موج بر پایداری سازه، دو پارامتر H_0 و S_{0m} به عنوان پارامترهای مستقل اصلی انتخاب شده‌اند تا تاثیر مستقیم و معکوس پریود موج بر پایداری، به خوبی بررسی شود. سایر متغیرهای مستقل (مجموعاً ۷ پارامتر) عبارتند از:

$$\frac{d}{D_{n50}}, N, \frac{D_{n50}(\text{armor})}{D_{n50}(\text{core})}, \frac{D_{n85}}{D_{n15}}, \cot \alpha$$

مقادیر مختلف این پارامترهای مستقل در هر حالت و تعداد آزمایش‌های انجام گرفته در حالات مربوطه در جدول ۲ نمایش داده شده است.

لازم به ذکر است شرایطی که بیشترین تعداد آزمایش، مربوط به هر مقدار پارامتر مستقل در آن انجام شده است، شرایط عمومی آزمایشها نام گرفته است.

۳- تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایشگاهی

برای اینکه بتوان نتایج بدست آمده از آزمایشها را به گونه‌ای ریاضی با پایداری هیدرولیکی موج شکن شکل‌پذیر ارتباط داد، به تجزیه و تحلیل آماری روی نتایج بدست آمده و نیز ورودیهای آزمایشها نیاز است. برای این امر لازم است پارامترهایی تعریف شوند تا بتوان آزمایشها را بر اساس آنها دسته بندی کرد. این پارامترها در دو نوع پارامتر مستقل و وابسته تقسیم‌بندی می‌گردند:

۴-۱- پارامترهای مستقل

پارامترهای مستقل پارامترهایی هستند که به دلخواه در طول انجام آزمایشها مورد تغییر قرار-می‌گیرند. انتخاب این پارامترها باید با دقت مناسبی صورت گیرد تا با کمترین تعداد پارامتر مستقل، بیشترین تنوع نتایج را از آزمایشها بدست آید. مشخصات امواج واردہ به سازه به همراه پارامتر و عدد

جدول ۱- مشخصات امواج واردہ به مدل سازه

متغیر مستقل	تعداد آزمایشها	مقدار حداقل	مقدار حداکثر	مقدار حداکثر
(Hs)(m)	۸۲	۲/۴	۴/۸	
(Tp)(sec)	۸۲	۹/۰	۱۴/۰	
(S _{0m})	۸۲	۰/۰۱۲۴	۰/۰۶۶۱	
(Ns)	۸۲	۱/۷۳	۳/۸۳	
(H ₀ T ₀)	۸۲	۴۸/۶	۱۳۶/۴	

جدول ۲- مشخصات متغیرهای مستقل محیطی و سازه‌ای و تعداد آزمایش‌های مربوطه

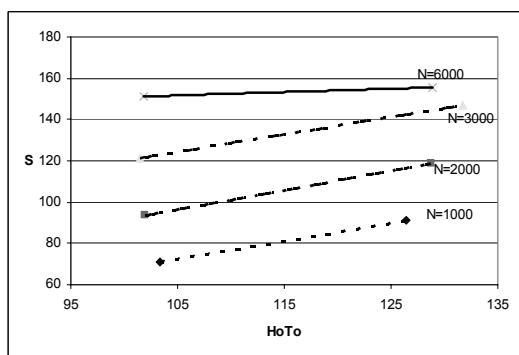
متغیر مستقل						
حالات	حالات	حالات	حالات	حالات	تعداد آزمایش	مقدار آزمایش
۴	۳	۲	۱			
تعداد آزمایش						
۵	۶۰۰۰	۴۷	۳۰۰۰	۱۶	۲۰۰۰	۱۴
		۹/۰	۲/۵	۷	۲/۰	۶۶
		۷	۱۵/۸۸	۶۹	۱۴/۱۲	۶
		۷۸	۱/۸۲	۲	۱/۴۴	۲
۶	۵۰	۶۴	۹/۴۴	۶	۲/۱۵	۶
						۱/۰
						(f _p)
						(f _g)
						(cot)
						(N)

در نهایت ۶ پارامتر وابسته به صورت زیر در نظر گرفته می شوند که در شکل (۱) نوع تعریف آنها مشخص شده است:

$$\frac{L_C}{D_{n50}}, S, \frac{L_S}{D_{n50}}, \tan \beta, \tan \gamma, \frac{h_f}{D_{n50}}$$

۴- نحوه تاثیر پارامترها بر یکدیگر

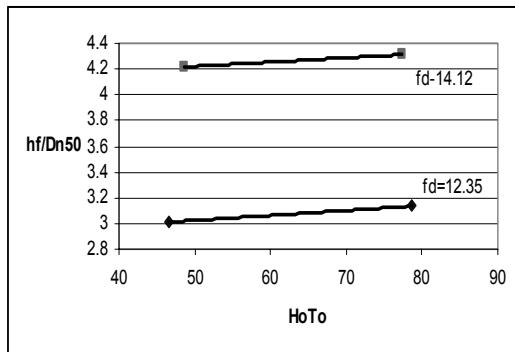
برای حصول اطمینان از نتایج مدل های آماری و نحوه تاثیر هر پارامتر مستقل بر پارامترهای وابسته و همچنین پایداری سازه و آسیب وارد به آن، نمودارهای تهیه شده است که اهم آنها در شکل های ۳ تا ۸ نمایش داده شده اند. به دلیل تاثیر غیر قابل انکار پارامتر پایداری ($H_0 T_0$) بر تغییر شکل سازه شکل پذیر، از این عامل به عنوان محور افقی نمودارها استفاده شده است. محور قائم نمایشگر پارامتر وابسته است و نمودارهای مختلف، مقادیر متفاوت پارامتر مستقل مورد نظر را نشان می دهند. در هر نمودار، از مجموع ۸۲ آزمایش، آن دسته از داده هایی که کلیه شرایط در آنها یکسان بوده و تنها پارامتر مستقل مورد نظر تغییر کرده است مورد مقایسه قرار گرفته اند.



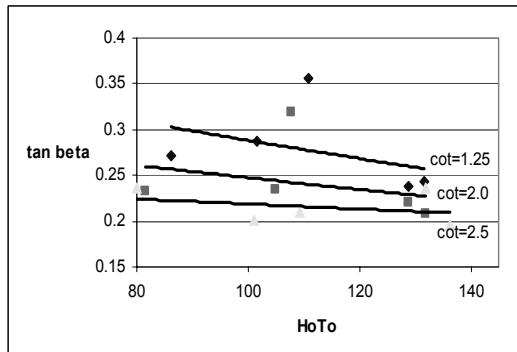
شکل ۳- تاثیر تعداد امواج بر پارامتر سطح آسیب

۲-۳- پارامترهای وابسته

پارامترهایی هستند که در نتیجه آزمایشها تغییر می کنند و عموماً مرتبط با هندسه تغییر شکل یافته ه سازه انتخاب می شوند تا بتوانند پایداری هیدرولیکی موج شکن شکل پذیر با شبیه یکنواخت را تبیین کنند. این پارامترها به گونه ای انتخاب می گردند که هیچ گونه همپوشانی در تعریف هندسه نهایی سازه با یکدیگر نداشته باشند [۷] (شکل ۲). همچنین باید آنها را به نحو مناسبی بدون بعد نمود تا بتوان نتایج را تعیین داد. به همین خاطر علاوه بر زوایا، از طولهای استفاده می شود که به کمک پارامتر D_{n50} (که در این آزمایشها ثابت نگه داشته شده است) بدون بعد شده اند. لازم به ذکر است انتخاب قطر اسمی سنگ آرمور برای بدون بعد کردن پارامترها، پس از آزمایش کلیه پارامترهای مربوط به این امر بوده است. همچنین پارامتر S که به صورت $\frac{Ae}{D_{n50}^2}$ تعریف شده نیز به عنوان پارامتر وابسته مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به ذکر است چنانچه مساحت های فرسایش یافته و انباست شده را به صورت چهارضلعی های ساده شده ای (A_e) مشخص شده در شکل ۹ در نظر بگیریم، مساحت دو چهارضلعی است که قاعده اتا باید با هم برابر باشند. عمق فرونشینی (h_f) نشانگر فاصله محل برخورد ۲ چهارضلعی تا سطح آزاد آب می باشد. شبیه میانی ($\tan \beta$) معرف شبیه خطی است که از محل عمق فرونشینی سازه عبور کرده و نیم رخ نهایی را تشکیل می دهد. شبیه فوقانی، تاثیر زبانه موج بر بخش فوقانی سازه را که بالای تراز آزاد آب قرار می گیرد نشان می دهد و با $\tan \gamma$ نمایش داده می شود. طول فرسایش تاج و طول انباست روی پله که به ترتیب با L_s و L_e معرفی شده اند فاصله محل عمق فرونشینی را تا بیشترین محل فرسایش روی تاج و قوز تحتانی را نشان می دهد.



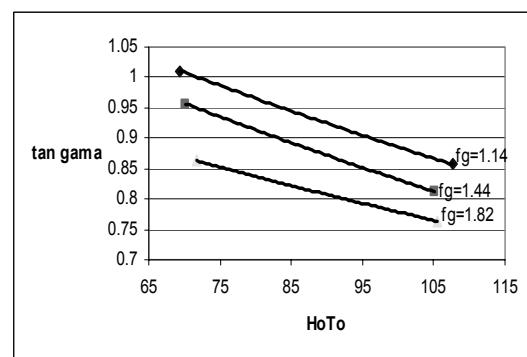
شکل ۸- نمودار تاثیر فاکتور عمق بر عمق فرونشینی



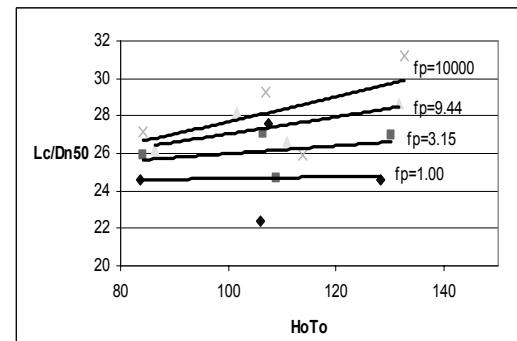
شکل ۴- نمودار تاثیر شیب اولیه سازه بر شیب میانی

۵- مدل‌های آماری

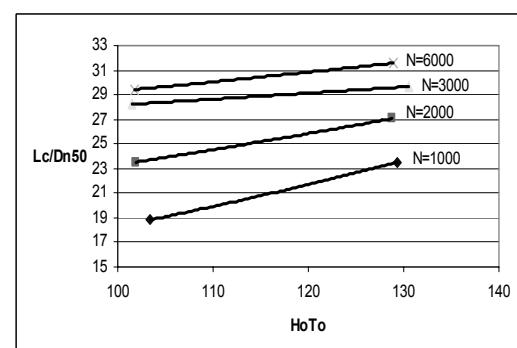
پس از بررسی‌های فراوان آماری روی پارامترهای مستقل و وابسته در حالات توابع لگاریتمی، نمایی، چندجمله‌ای خطی و ... که به کمک نرم‌افزار قوی و جامع SPSS 13 انجام گرفت؛ روابطی بدست آمد که به کمک آنها بتوان مقادیر پارامترهای وابسته را بر حسب پارامترهای مستقل (شرایط حاکم بر سازه پیش از طراحی) با دقت خوبی تخمین زد. برای این امر با استفاده از مدل‌های آماری، روابطی استخراج گردیده‌اند که در ادامه ارایه می‌گردند و بیانگر نحوه نیمرخ تغییرشکل یافته سازه بر اثر تغییر پارامترهای موثر می‌باشند. مشخصات مدل آماری مربوط به هر رابطه بصورت جدول در کنار نتیجه مدل آمده است. این ۶ رابطه به صورت زیر نمایش داده می‌شوند و میزان اعتبار آنها در قالب R^2 مدل آماری، در کنار هر یک نوشته شده است. لازم به یادآوری است، شاخص فوق که به عنوان محدود ضریب همبستگی شناخته می‌شود نشانگر میزان پراکندگی داده‌ها در کرانهای فوقانی و تحتانی مدل ریاضی ارائه شده می‌باشد.



شکل ۵- نمودار تاثیر ضریب دانه‌بندی بر شیب فوقانی



شکل ۶- نمودار تاثیر نفوذپذیری بر طول فرسایش تاج



شکل ۷- نمودار تاثیر تعداد امواج بر طول فرسایش تاج

$$S = \frac{H_o T_o^{2.165} * S_{om}^{1.162} * N^{0.344} * f_g^{0.463} * f_d^{0.444} * f_p^{0.006}}{205 * \cot \alpha^{1.265}} \quad R^2 = 0.915 \quad (1)$$

جدول ۳- مشخصات مدل رگرسیون تراز سطح آسیب (رابطه ۱)

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	32.929	7	4.704	113.768	.000 ^a
Residual	3.060	74	.041		
Total	35.988	81			

$$tg\beta = \frac{3.82 * f_g^{0.071} * f_d^{0.353}}{H_o T_o^{0.927} * S_{om}^{0.549} * N^{0.135} * \cot \alpha^{0.22} * f_p^{0.009}} \quad R^2 = 0.861 \quad (2)$$

جدول ۴- مشخصات مدل رگرسیون شبیه میانی (رابطه ۲)

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	7.104	7	1.015	65.458	.000 ^a
Residual	1.147	74	.016		
Total	8.252	81			

$$tg\gamma = \frac{41.35 * f_p^{0.005}}{H_o T_o^{0.463} * S_{om}^{0.047} * N^{0.077} * f_g^{0.128} * f_d^{0.473} * \cot \alpha^{0.101}} \quad R^2 = 0.388 \quad (3)$$

جدول ۵- مشخصات مدل رگرسیون شبیه فوکانی (رابطه ۳)

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	1.714	7	.245	6.695	.000 ^a
Residual	2.707	74	.037		
Total	4.422	81			

$$\frac{L_c}{D_{n50}} = \frac{1.32 * H_o T_o^{0.658} * S_{om}^{0.265} * N^{0.140} * f_g^{0.214} * \cot \alpha^{0.096} * f_p^{0.002}}{f_d^{0.171}} \quad R^2 = 0.853 \quad (4)$$

جدول ۶- مشخصات مدل رگرسیون طول فرسایش تاج (رابطه ۴)

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	3.440	7	.491	61.136	.000 ^a
Residual	.595	74	.008		
Total	4.035	81			

$$\frac{L_s}{D_{n50}} = (0.136 H_o T_o) + (0.001 N) + (166 S_{om}) + (3.6 f_g) + (0.154 f_d) - (0.529 \cot \alpha) - (0.006 f_p) - 13.77 \quad R^2 = 0.753 \quad (5)$$

جدول ۷- مشخصات مدل رگرسیون طول انباشت روی پله (رابطه ۵)

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	990.909	7	141.558	32.227	.000 ^a
Residual	325.051	74	4.393		
Total	1315.959	81			

$$\frac{h_f}{D_{n50}} = (0.323 f_d) + (0.469 \cot \alpha) - 1.644 \quad R^2 = 0.362 \quad (6)$$

۶- نرم افزار IB

به منظور استفاده آسان و عملی از نتایج این تحقیق، نرم افزاری به نام IB برنامه ریزی شده است که با دریافت پارامترهای ورودی مورد نیاز از جمله پارامترهای مستقل (دارای دیمانسیون) و نیز هندسه سازه و با استفاده از روابط فوق، هندسه تغییر شکل یافته سازه را به طور کامل رسم نموده و نیز میزان عقب نشینی سکو (Rec) و طول انباشت روی بستر (L_0) را بر روی تصویر گرافیکی حک می کند. علاوه بر آن نتایج پایداری سازه را در قالب یک خروجی متنی ارائه می نماید. این نرم افزار در محیط برنامه نویسی MATLAB 7.0 نوشته شده و مشتمل بر بیش از ۵۰۰ خط برنامه می باشد و با استفاده از محیط گرافیکی پیش رفته، قابلیت استفاده برای کاربر را تا حد بسیار زیادی ساده نموده و امکان مقایسه نتایج را با آزمایشها و سایر نرم افزارها فراهم می سازد. برای محاسبه مقدار اولیه قطر اسمی سنگ آرمور، نرم افزار سطح پایداری مورد انتظار طراح را در قالب مقدار $H_0 T_0$ از کاربر سوال نموده و با استفاده از رابطه ۷، مقدار D_{n50} مورد نیاز را محاسبه می نماید. می دانیم که مقدار ۷۰ برای پارامتر پایداری به عنوان مرز شکل پذیری موج شکن پیشنهاد شده است. در شکل ۹، تصویری شماتیک از نحوه عملکرد این نرم افزار و ترتیب محاسبه پارامترهای مختلف (طولها، زوایا و مساحت فرسایش یافته) مشاهده می شود.

نرم افزار با منطق برابری مساحت نواحی فرسایش یافته و انباشت شده، پاره خط EF در شکل ۹ را رسم می نماید و پس از تکمیل نیمرخ تغییر شکل یافته نهایی، مساحت ناحیه فرسایش یافته در شکل ترسیمی را با مقدار بدست آمده از رابطه (۱) مقایسه می نماید.

۷- مقایسه نتایج

به کمک نتایج بدست آمده از نرم افزار IB، مقایسه ای بین نتایج حاصله از آزمایش و نیز نرم افزارهای IB و Breakwat روی ۱۷ عدد از

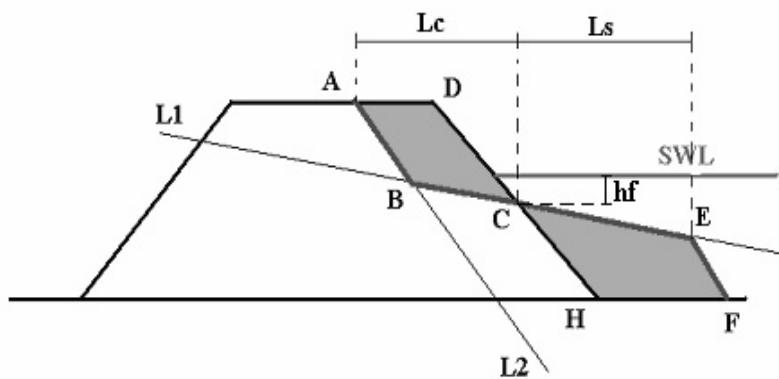
آزمایشهای صورت گرفته انجام گردید که نتایج مقایسه و درصد خطاهای بدست آمده از هر نرم افزار در جداول ۸ و ۹ قابل مشاهده هستند. مقدار طولهای بدست آمده برای دو پارامتر طول عقب نشینی تاج و طول انباشت روی بستر بر حسب متر از دو نرم افزار بدست آمده و برای نتیجه آزمایش در مقیاس واقعی (۵۰ برابر) تعیین داده و مقایسه شده است. پیشتر لازم به ذکر است که نرم افزار Breakwat ویژه موج شکن های توده سنگی سنتی توسعه داده شده اما یک بخش مخصوص موج شکن شکل پذیر نیز در آن دیده شده است که در مقایسه های صورت گرفته مورد استفاده واقع شده است.

هرچند که شرایط انجام آزمایشها در این تحقیق با آزمایش های انجام گرفته توسط Van der Meer (۱۹۸۸) متفاوت است، اما دقت بسیار بالا و خطای نرم افزار IB نسبت به Breakwat قابل توجه است. نکته قابل توجه در این نتایج مشاهده حتی خطای ۷۰۰ درصدی در نرم افزار Breakwat می باشد. با توجه به تجاری بودن نرم افزار مذکور، کاربرد آن برای موج شکن های شکل پذیر قابل تأمل می باشد.

شکلهای ۱۰ تا ۱۴ مقایسه تغییر شکل نهایی مقطع سازه را برای شرایط مختلف هر آزمایش مقدور می سازد که برای نرم افزار IB به صورت خط چین، نرم افزار Breakwat به صورت خط- نقطه و برای نتیجه حاصل از آزمایش به صورت خط پر نمایش داده شده است.

در مورد آزمایش شماره ۲۰۰۵ که در شرایط عمومی آزمایشها انجام شده است خطای بسیار زیاد Breakwat قابل مشاهده است (شکل ۱۰) و IB تنها در مورد مساحت فرسایش یافته اندکی خط دارد که ناشی از اعتیار پایین معادله شبیه فوکانی می باشد.

شکل ۱۱ نتایج آزمایش شماره ۳۱۰۶ را نشان می دهد که در آن شرایط عمومی ثابت نگه داشته شده و تنها عمق آب پای سازه مورد تغییر قرار گرفته است. در این شکل بار دیگر تطابق منحنی های آزمایش و IB و خطای Breakwat به وضوح به چشم می خورد.



شکل ۹- مراحل ترسیم نیمرخ تقریبی تغییر شکل یافته سازه

جدول ۸- مقایسه مقادیر بدست آمده از آزمایش و نرم افزارها برای طول عقب نشینی تاج و طول انباشت روی بستر

test NO.	test		Breakwat		IB	
	Rec(m)	Lo(m)	Rec(m)	Lo(m)	Rec(m)	Lo(m)
2005	2	4	4.8	9.6	2.128	4.482
2017	5	8	8	21	5.793	7.344
2026	8	11	13	24	8.188	11.342
2031	11	16	15	25	13.121	12.567
3101	4	3	6.1	7.8	4.494	3.768
3106	4	7	15.6	17.8	5.913	5.169
3202	3	9	3.3	15.6	3.061	6.002
3205	1	4	0.17	20	0.248	3.167
4002	1	6	0	7.5	0.86	4.638
4003	-3	1	0	8	-1.116	1.698
4107	1	4	4.6	12.3	1.521	5.039
4108	-7	0	-10.7	0	-7.962	0
5005	5	8	10.7	7.8	4.513	6.186
5102	9	14	6.7	18.7	8.761	11.019
5203	5	9	8	20	5.632	8.322
6001	2	7	5	13	2.416	5.103
6202	10	14	11.4	21.4	12.008	17.026

جدول ۹- مقایسه درصد خطای نسبی نرم افزارهای Breakwat و IB

test NO.	Breakwat		IB	
	Rec	Lo	Rec	Lo
2005	140	140	6	12
2017	60	163	16	8
2026	63	118	2	3
2031	36	56	19	21
3101	53	160	12	26
3106	290	154	48	26
3202	10	73	2	33
3205	86	400	73	21
4002	34	25	12	23
4003	100	700	56	70
4107	360	208	52	26
4108	53	0	14	0
5005	114	3	6	23
5102	26	34	2	21
5203	60	122	13	8
6001	150	86	21	27
6202	14	53	20	22

ثابت بودن قطر اسمی سنگهای آرمور می‌تواند باعث کاهش دقت نتایج باشد. لازم به ذکر است که اعتبار روابط ارایه شده برای تعیین هندسه نیمرخ تغییر شکل یافته تنها برای محدوده پارامترهایی است که آزمایشها در آن انجام گرفته است و در جداول ۸ و ۹ ذکر شده است. انتخاب صحیح محدوده تغییرات پارامترهای مستقل در طول انجام آزمایشها، می‌تواند مانع بروز بسیاری از خطاهای محتمل گردد؛ این امر حتی می‌تواند برخی پارامترهای بسیار مهم را از مدل آماری حذف کند. مطمئناً آزمایشهایی که با مقیاسهای متفاوت صورت گیرند می‌توانند نتایج گستردگری در اختیار محققان قرار دهد.

تقدیر و تشکر

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، در قالب یک طرح پژوهشی که مجری آن آقای دکتر وحید چگینی بوده اند در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی تهیه شده اند. نویسنده‌گان مقاله وظیفه خود می‌دانند از آقای دکتر چگینی بخاطر موافقت ایشان برای استفاده از داده‌ها و مشاوره‌های علمی و از مسؤولان محترم مرکز مخصوصاً جناب آقای مهندس آق تومن برای فراهم آوردن امکان انجام آزمایشها تقدیر و تشکر نمایند.

آنچه در شکل ۱۲ مشاهده می‌گردد نتایج حاصل از آزمایش شماره ۴۰۰۲ می‌باشد که در آن شیب اولیه وجه جلویی سازه متغیر بوده است. بطوریکه ملاحظه می‌گردد هر سه نتیجه تا حد بسیار بالا و قابل قبولی بر یکدیگر تطابق دارند و این امر در جدول ۴ و درصد خطاهای تقریباً برابر نرمافزارها در این آزمایش نیز پیداست. هرچند که میزان این خطاهای به هر حال بالاست و این می‌تواند ناشی از حساسیت نرمافزارها به تغییرات شیب اولیه سازه باشد.

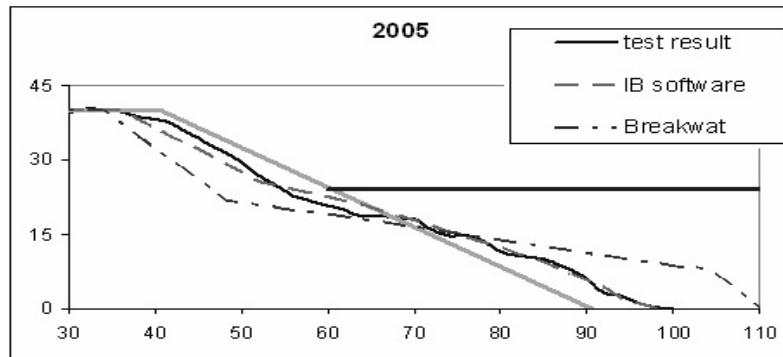
در شکل ۱۳ نیز نیمرخها تطابق خوبی بر یکدیگر داشته‌اند و تنها تفاوت در شیب ناحیه فوقانی و همچنین طول فرسایش تاج می‌باشد. نیمرخ تغییر یافته در این شکل مربوط به آزمایش شماره ۵۰۰۵ می‌باشد و تنها عامل متغیر در آن فاکتور نفوذپذیری بوده است. البته میزان زیاد این تفاوت می‌تواند ناشی از نحوه متفاوت تعریف این فاکتور توسط Van derMeer با آزمایشها اخیر باشد.

شکل ۱۴ مربوط به آزمایش شماره ۶۰۰۱ است که ضریب دانه‌بندی در آن مورد تغییر قرار گرفته است. در این شکل نیز مجدداً خطای قابل ملاحظه Breakwat در مقایسه با IB به چشم می‌خورد. هر چند که در این مورد مقدار عمق فرونژینی توسط نرمافزار IB با خطای بیشتری محاسبه شده است.

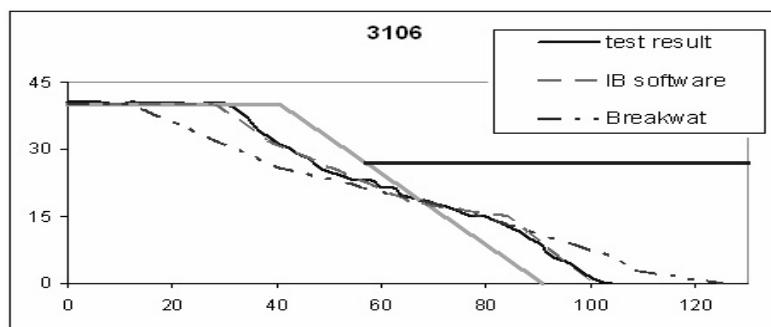
۸ - نتیجه‌گیری

در این مقاله بر اساس نتایج آزمایشگاهی، پایداری موج‌شکن‌های شکل‌پذیر و نحوه تغییرات نیمرخ این نوع سازه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی روابط تجربی برای تعیین هندسه نیمرخ تغییر شکل یافته و از جمله محاسبه عمق فرونژینی (رابطه ۶) پیشنهاد شده است.

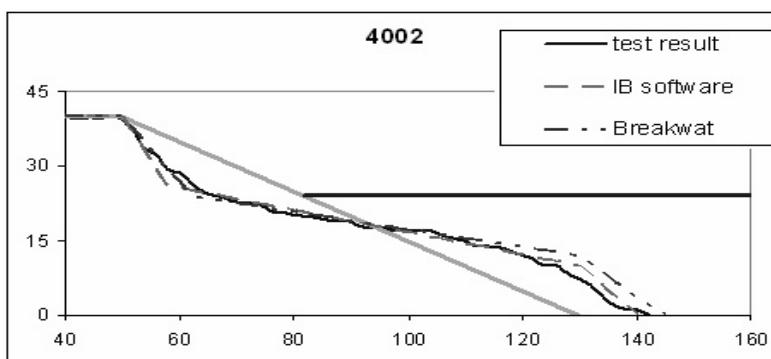
همچنین بر اساس نتایج تحقیق، نرمافزار IB توسعه داده شده است که با استفاده از آن می‌توان نتایج را به صورت گرافیکی و متنی نمایش داد. درصد خطای بسیار پایین نرمافزار در مقایسه با آزمایشها، نشانگر دقیق قابل قبول مدل‌های پیشنهاد شده می‌باشد.



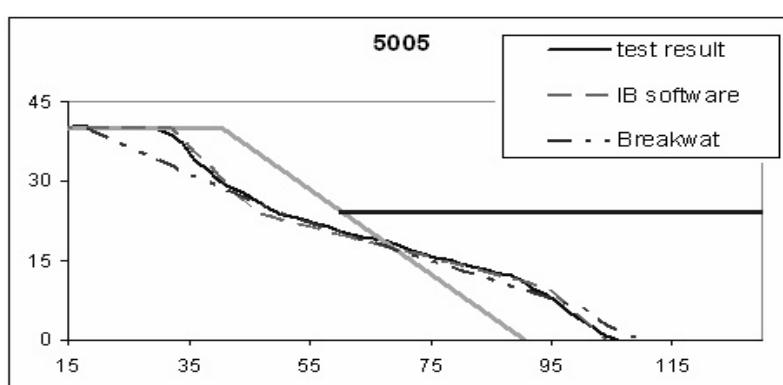
شکل ۱۰- مقایسه نیمروخ نهایی بدست آمدۀ از آزمایش ۲۰۰۵ با تخمین دو نرمافزار از نیمروخ تغییرشکل یافته



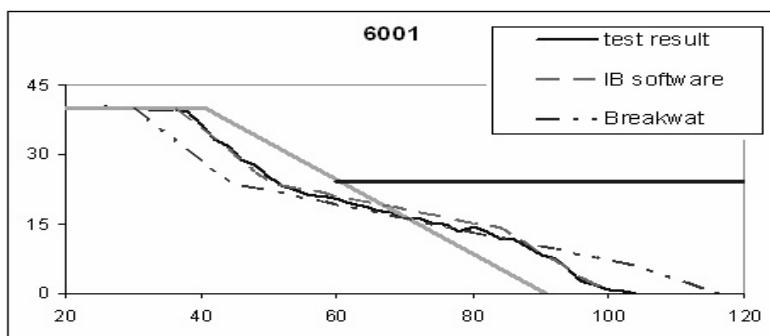
شکل ۱۱- مقایسه نیمروخ نهایی بدست آمدۀ از آزمایش ۳۱۰۶ با تخمین دو نرمافزار از نیمروخ تغییرشکل یافته



شکل ۱۲- مقایسه نیمروخ نهایی بدست آمدۀ از آزمایش ۴۰۰۲ با تخمین دو نرمافزار از نیمروخ تغییرشکل یافته



شکل ۱۳- مقایسه نیمروخ نهایی بدست آمدۀ از آزمایش ۵۰۰۵ با تخمین دو نرمافزار از نیمروخ تغییرشکل یافته



شکل ۱۴- مقایسه نیمرخ نهایی بدست آمده از آزمایش ۱۶۰۰۱ با تخمین دو نرم افزار از نیمرخ تغییر شکل یافته

condetion , Coastal Engineering 1994, chap 97.

6- Rao, S. and Pramod, Ch. & Rao, B. (2003), Technical Note, Stability of berm breakwater with reduced armor stone weight, Ocean Engineering 31 (2004) , PP. 1577 – 1589.

7- Sayao, O. J. (1998), On the profile reshaping of berm breakwaters, Coastal structures' 99.

8- Torum, A. & Kuhnen, F. & Menze, A. (2002), On berm breakwaters. Stability, Scour, Overtopping, Coastal Engineering 49 (2003), PP.209-238.

9- Van derMeer, J.W (1988), Rock slopes and gravel beaches under wave attack, Doctoral Thesis approved by Delft University of Technology.

۹- مراجع

۱- چگینی و، آق تومان پ، یشربی ف و حسینی بندرآبادی س م : "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 ۱۳۷۵ ، صفحات ۱۱۰-۱۲۳ .

۲- آق تومان پیمان، چگینی وحید، شیریان ناصر، حجازی مهدی،

"Design of reshaping breakwater's Armour layer thickness". دومین سمپوزیوم بین المللی سواحل، ۲nd Isc، هوفن، ایسلند، ۵ تا ۸ ژوئن ۲۰۰۵ .

۳- شیریان، ناصر. "مطالعه آزمایشگاهی هیدرولیکی و پایداری موج شکن های شکل پذیر" رساله دکترای رشته سازه های هیدرولیکی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۴ .

4- International Navigation Association (2003), state of the art of designing and constructing Berm breakwaters, Report of working group 40 of the Maritime Navigation commission.

5- Lamberti, A. & Tomasicchio, G. R. & Guiducci, F. (1993), Reshaping breakwaters in deep and shallow water