

ارزیابی آزمایشگاهی اثر دیوارهای ساحلی صندوقه ای با ضرایب تخلخل متفاوت بر میزان آبشستگی و تحکیم بستر جلوی دیوار و ضرایب انعکاس امواج

*علیرضا فرشته صنیعی، فوق لیسانس سازه های دریائی، دانشکده فنی، دانشگاه هرمزگان
علی کریمی خانیکی، استادیار پژوهشی و رئیس بخش تحقیقات حفاظت سواحل مرکز
تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور

Ar_fsaniee@yahoo.com

چکیده

مطالعه تغییر شکل سواحل و مقدار آبشستگی در اثر هجوم امواج و جریانهای ساحلی از مهمترین موارد قابل بحث و کاربردی علم مهندسی سواحل در سالهای اخیر بوده است. برخورد امواج با بدنه دیوارهای احداث شده در سواحل، تغییر شرایط هیدرودینامیکی حاکم در ناحیه مجاور دیوار را به همراه داشته و موجب جابجائی دانه های رسوب در پای سازه و ایجاد آبشستگی می گردد. مقادیر عمق آبشستگی در نقاط مختلف ساحل تابع مشخصات امواج (ارتفاع، پیوند و جهت موج) در حالت طوفانی دریا بوده و محدوده تغییرات وسیعی را شامل می شود، مسئله پایداری اینگونه سازه ها در مقابل واژگونی و نیز عمق استقرار پی در چنین سازه هائی دقیقاً در ارتباط نزدیک با مقدار آبشستگی در مجاورت آنها می باشد. ترکیب امواج برخورد کننده و منعکس شده از سازه های ساحلی که باعث تشکیل امواج ایستا می گردد و جریانهای ناشی از آن که دقیقاً تابعی از ضریب انعکاس سازه می باشد می تواند تاثیر عمده ای در میزان آبشستگی در مجاورت چنین سازه هائی داشته باشد. در طراحی دیوارهای ساحلی بخصوص هنگامیکه بعنوان دیوار اسکله یا بندر بکار می روند، سعی می شود تا با انتخاب شکل مناسب برای دیوار، میزان آبشستگی پای دیوار و انعکاس امواج را به حداقل برسانند. یکی از اشکال مناسب، استفاده از بلوکهای بتنی توخالی (صندوقه ای) می باشد که راندمان اینگونه دیوارها برای جذب انرژی به پارامترهای سازه ای از قبیل ابعاد حفره ها و نحوه چیدمان بلوکها و نیز پارامترهای هیدرولیکی از قبیل ارتفاع و پیوند موج بستگی دارد. به منظور بررسی پارامترهای ذکر شده در بالا مدلهایی از دیوار ساحلی با شکلهای مختلف شامل دیوار صاف و دیوار با چیدمانهای شطرنجی و کاملاً متخلخل تحت شرایط مختلف هیدرودینامیکی در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفته اند و نتایج که حاکی از کاهش انرژی و میزان آبشستگی در پای دیوار و کاهش ضرایب انعکاس در اثر افزایش تخلخل هستند ارائه گردیده اند.

واژه های کلیدی: دیوار ساحلی، دیوار صندوقه ای، آبشستگی، فرسایش، تحکیم، ضریب انعکاس، تخلخل

مقدمه

همانگونه که گفته شد دیوارهای ساحلی سازه هایی هستند که معمولاً برای جلوگیری از فرسایش زمین مرز ساحلی و ثابت نگه داشتن شکل ساحل در مقابل امواج ساخته می شوند ، این دیوارها از ساحل جلوی خود محافظت نمی کنند و از آنجائی که این دیوارها معمولاً در سواحل فرسایش پذیر احداث می شوند باعث ایجاد آبستگي زياد در جلوی خود می گردند ، احداث سازه های حفاظتی بندری در مسیر امواج و جریانهای ساحلی منجر به پدیده آبستگي در پای این سازه ها شده و تخمین میزان آبستگي در مجاورت چنین سازه هایی یکی از فاکتورهای مهم در طراحی پی آنها محسوب می شود که تعیین عمق آبستگي اولاً بیانگر میزان پتانسیل تخریب جریان در اطراف سازه بوده و ثانیاً در طراحی ابعاد پی سازه هایی که در معرض برخورد آب قرار دارند نقش بسیار با اهمیتی را ایفا می کند .

دیوارهای ساحلی ، موج شکن ها ، اسکله ها ، پل ها و آبشکن ها از جمله سازه هایی هستند که تحت تاثیر پدیده آبستگي قرار می گیرند ، این سازه ها که در مسیر جریانهای ساحلی قرار می گیرند باعث اعمال تغییراتی در مکانیسم انتقال رسوب و جریانهای ساحلی میشوند و این تغییرات نهایتاً منجر به آبستگي که در واقع نوعی فرسایش در اثر تنش برشی وارد بر ذرات بستر می باشد که باعث کنده شدن ذرات و نهایتاً گود شدن پای سازه های می گردد و اگر تا کف ادامه پیدا کند می تواند پایداری سازه را تهدید کند .میزان تاثیر دیوار ساحلی بر روند تغییرات ساحل جلو و کنار دیوار وابسته به موقعیت دیوار ساحلی نسبت به خط ساحل و بطور غیر مستقیم وابسته به ارتفاع امواج برخوردی به دیوار است .

در آزمایشات صورت گرفته در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور از دیوارهای ساحلی با اشکال سه گانه صاف ، متخلخل و شطرنجی دارای ضرایب تخلخل متفاوت جهت بررسی ضرایب انعکاس امواج و مقدار آبستگي و تحکیم بستر ماسه ای جلوی دیوار استفاده گردیده و موقعیت

قرارگیری دیوار انعکاسی نسبت به خط ساحلی که عامل مهمی در چگونگی تغییر شکل بستر دریا می باشد با تغییر عمق آب در جلوی سازه مورد بررسی قرار گرفته است و سپس در متن حاضر به بررسی چگونگی تغییر شکل بستر دریا در حالات گوناگون هندسی محیط ساحل و شرایط مختلف هیدرودینامیکی و اشکال مختلف دیوار با تخلخل های متفاوت با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و بررسی روابط حاکم بین متغیرهای موثر در انتقال رسوبات پای دیوار پرداخته شده است.

مبانی تئوری تغییر شکل سواحل

سواحل دائماً در معرض هجوم امواج قرار داشته و لذا نیمرخ طولی آنها بطور متناوب در حال تغییر می باشد. این تغییرات عمدتاً در ناحیه ساحلی (Surf Zone) که در آن اثرات ناشی از شکست موج مشهودتر است رخ می دهد مطالعات (Dean 1991) نشان می دهد که همواره می توان یک نیمرخ تعادلی برای سواحل ماسه ای تعریف کرد که نوسانات بستر دریا حول آن صورت می گیرد. بدیهی است که چنین نیمرخ در واقعیت هرگز وجود خارجی نداشته و تنها معرف وضعیت متوسط رفتار بستر سواحل در اثر هجوم امواج است

با استفاده از فرضیات Dean نهایتاً به معادله سهمی شکل زیر که شکل نیمرخ سواحل ماسه ای را

$$h = AX^{2/3} \quad \text{تعریف می کند دست خواهیم یافت :}$$

که در آن h عمق آب در هر نقطه به فاصله x از خط ساحلی بوده و پارامتر A ضریبی است که از

$$A = 2.25(W^2/g)^{1/3} \quad \text{رابطه زیر پیروی می کند :}$$

در این رابطه W سرعت سقوط ذرات بستر و تابعی از قطر متوسط ذرات یعنی D_{50} بوده و از روابط

زیر محاسبه می شود :

$$0.001mm < D_{50} \leq 0.1mm \Rightarrow w = \frac{(s-1)gD_{50}^2}{18v}$$

$$0.1mm < D_{50} \leq 1mm \Rightarrow w = \frac{10v}{D_{50}} \left[\left(1 + \frac{0.01(s-1)gD_{50}^3}{v} \right)^{0.5} - 1 \right]$$

$$D_{50} > 1mm \Rightarrow w = 1.1[(s-1)gD_{50}]^{0.5}$$

در معادلات فوق g شتاب ثقل ، s چگالی رسوبات ساحلی و v لزجت سینماتیکی آب دریا می باشد ،
عمق آب شستگی در سواحل را می توان بر اساس تئوریهای تشکیل جریان لایه ای (Sheet flow) با
در دست داشتن مشخصات موج طرح تخمین زد ، در اثر حرکت رفت و برگشتی ناشی از امواج شکسته
در ناحیه ساحلی ، عمق آبشستگی در جریان لایه ای (L_b) بصورت زیر محاسبه می شود :

الف : فرمول (Bagnold 1956) :

$$L_b = K_b(\theta - \theta_c)D_{50}$$

که در آن K_b ضریب ثابتی بین $2/5$ تا 10 و θ_c پارامتر شیلدز بحرانی برابر 0.05 تا 0.03 می باشد ،
پارامتر شیلدز از رابطه زیر محاسبه می گردد :

$$\theta = \frac{0.5f_w(A2\pi f)^2}{(s-1)gD_{50}}$$

در این رابطه s چگالی رسوبات بستر و f فرکانس موج برابر $\frac{1}{T}$ و T پریود موج طرح می باشد ،
همچنین داریم :

$$A = \frac{H}{2\sinh(Kh)}$$

در این رابطه $K = 2\pi/L$ (عدد موج) و h عمق آب و H, L به ترتیب طول موج و ارتفاع موج در
نقطه مورد نظر می باشد ، همچنین ضریب اصطکاک موج از رابطه زیر بدست می آید :

$$f_w = \exp[(5.213 \frac{2.5D_{50}}{A})^{0.194} - 5.977]$$

در محاسبه ارتفاع و طول موج در نقطه مورد نظر باید به پدیده نزدیکی موج به ساحل (Shoaling)
و نیز شکست موج (Breaking) توجه نمود .

ب : رابطه (Wilson 1987) :

$$\frac{L_b}{D_{50}} = \frac{2\theta}{0.65 \tan \phi}$$

که در این رابطه ϕ ضریب اصطکاک داخلی مصالح بستر ساحل می باشد . همانگونه که روابط فوق نشان می دهند ، عمق آبستگي در سواحل بصورت قابل ملاحظه ای به ضرایب تجربی وابسته است و تاکنون هیچگونه رابطه دقیقی در این زمینه ارائه نشده است . ضریب تجربی Kb در رابطه Bangnold که بین ۲،۵ تا ۱۰ متغیر است شدت این وابستگی را بخوبی نشان می دهد و مبین این واقعیت است که جهت تعیین مقدار آبستگي به مطالعات بیشتری نیاز است .

مبانی تئوری تغییر شکل سواحل در حضور سازه های ساحلی

وقتی موج به مانعی برخورد می کند قسمتی از انرژی آن انعکاس یافته و سبب دور شدن موج از مانع می گردد مشروط بر اینکه موج نشکند . شدت انعکاس به شیب و زبری و اصطکاک سطح مانع وابسته است و اگر دیوار قائم ، ضخیم و بدون اصطکاک باشد انعکاس شدیدتر است . اگر جبهه موج به موازات خط مانع باشد یک موج ایستاده در مقابل دیوار تشکیل می گردد که نقطه گره آن در فاصله ای تا حدود ۲ برابر ارتفاع موج از دیوار قرار می گیرد . در عمل ضریب انعکاس تابعی از جنس و شیب بدنه موج شکن یا دیوار ساحلی می باشد و در موج شکنها و دیوارهای قائم توصیه می گردد که در هیچ حالتی ضریب انعکاس کمتر از ۰،۹ در نظر گرفته نشود ، ضریب انعکاس را می توان از رابطه زیر بدست آورد :

$$K_r = \frac{aI_r^2}{b + I_r^2}$$

که در این رابطه I_r عدد ابری بارن بوده و از رابطه زیر بدست می آید :

$$I_r = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H}{L}}}$$

که در این رابطه H ارتفاع موج و L طول موج و α شیب بستر می باشد .

برای جداره های بتنی $a = 0.6, b = 6.6$ و برای جداره های سنگی $0.48 < a < 0.56, 9.62 < b < 10$ می باشد .

نزدیک شدن امواج از عمق زیاد به عمق کم نزدیک به ساحل با یک جمع شدگی موج بصورت کم شدن طول موج و زیاد شدن ارتفاع موج همراه است . این پدیده بعلت وجود ساحل طبیعی که دارای

شیب بیشتری از بستر اعماق زیاد است می باشد ، در جای دیگر این پدیده را می توان بطور مشابه برای ساحلی که با دیوارهای ساحلی حفاظت شده است تعریف کرد . به عبارت دیگر با ایجاد دیوار ساحلی ساحل طبیعی به ساحل مصنوعی تبدیل می شود با این تفاوت که در ساحل مصنوعی فرآیندهای فوق صورت می گیرد ولی پدیده دیگری به نام انعکاس نیز صورت خواهد گرفت و اثر متقابلی روی موج نزدیک ساحل خواهد داشت بطوری که ارتفاع موج نزدیک ساحل مصنوعی زیاد خواهد شد . از طرفی با توجه به فرضیات (Dean(1991 در تعریف پروفیل تابستانه و زمستانه ، پارامتر مهمی که در پدیده آبشستگی نقش بسزائی دارد ارتفاع موج است بطوریکه در زمستان که ارتفاع موج به مراتب بیشتر از تابستان است میزان آبشستگی بیشتر بوده و پروفیل متفاوتی با پروفیل تابستانه خواهیم داشت . بنابراین با توجه به پدیده انعکاس جریان که موجب افزایش ارتفاع موج می گردد ، مقدار آبشستگی نسبت به حالت طبیعی افزایش خواهد یافت به عبارت دیگر روابط آبشستگی Begnold در حالت وجود پدیده انعکاس به صورت زیر اصلاح می شود :

$$H_0 = (1+r)H_i$$

$$l_b = k_b (\theta - \theta^*) D_{50}$$

$$\theta^* = \frac{0.5 f_w}{(s-1) D_{50}} (2\pi f A_0)^2$$

$$r = \frac{H_r}{H_i}$$

$$A_0 = \frac{H_0}{2 \sinh(kh)}$$

$$f_w^* = \exp\left[5.213 \left(\frac{2.5 D_{50}}{A_0}\right)^{0.194} - 5.977\right]$$

که در آن پارامترها به شرح زیر می باشند :

Hr : ارتفاع موج برگشتی

Hi : ارتفاع موج ورودی

Lb : عمق آبشستگی پای دیوار ساحلی

A0 : حداکثر دامنه نوسان موج پای دیوار ساحلی

f_w^* : ضریب اصطکاک موج

θ^* : پارامتر شیلدز

بنابراین مشاهده می شود که وجود سازه های حفاظتی باعث افزایش ارتفاع موج ایستاده حاصله شده و نهایتاً عمق آبشستگی بر اساس ارتفاع و پرپود موج مرکب تغییر خواهد کرد .

مدل فیزیکی مورد استفاده در آزمایشات

برای مطالعه آبشستگی در پای دیوارهای ساحلی و انعکاس امواج از دیوارهای مشبک صندوقه ای با یک وجه باز نمونه های از دیوار صاف، متخلخل و نیمه متخلخل بوسیله بلوکهای مکعبی توخالی در آزمایشگاه ساخته شد . هر یک از این بلوکها به ابعاد $10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 10\text{cm}$ با ضخامت جداره 1cm بوسیله مواد پلاستیکی طوری ساخته شدند که یک وجه آن باز باشد . مقیاس مدل $1:10$ بوده و دیوارهای مدل ساخته شده در فلوم موج آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی تحت آزمایش قرار گرفتند. این فلوم موج دارای 33 متر طول، $5/5$ متر عرض و $1/5$ متر ارتفاع است. دیوارهای مدل در انتهای فلوم برپا شدند ، پاروی مولد موج از نوع پیستونی قائم بوده و طول پارو $5/5$ متر و آبخور آن یک متر است . عامل حرکت پارو یک جک هیدرولیکی است که بوسیله واحدهای سخت افزاری و نرم افزاری سیستم مولد موج هدایت می شود. سیستم کنترل مولد موج شامل یک رایانه، برنامه نرم افزاری مولد موج (Wave Synthesiser, WS) و نیز سنسورهای موج و دستگاه پروفایلر می باشد. طیف انرژی و سایر پارامترهای موج بوسیله کاربر برنامه نرم افزاری (WS) انتخاب و توسط سیستم سخت افزار موجود موج مورد نظر تولید و کنترل می شود. برای ثبت نوسانات سطح آب از سنسور ارتفاع سنج موج برا موج تابشی استفاده شده، همچنین از سه عدد سنسور برای ثبت ضریب بازتاب استفاده شده و پروفیل نهائی پس از تابش امواج توسط دستگاه پروفایلر ثبت گردیده است.

آزمونهای مدل فیزیکی

برای بررسی میزان آبشستگی بستر جلوی دیوار و ضرایب بازتاب امواج از بستر ماسه ای با قطر متوسط ۰/۸ استفاده شده و هر یک از مدل‌های ساخته شده (صاف، متخلخل و نیمه متخلخل) در شرایط مختلف سطح آب (۰/۲۵ و ۰/۲۰ و ۰/۱۵ متر) و تحت طیفی از امواج (با پریودهای اوج موج ۱/۶، ۲/۰، ۲/۴ و ۲/۸ ثانیه) و ارتفاع امواج تابشی در محدوده بین ۰/۰۶ تا ۰/۱۱ متر مورد آزمایش قرار گرفت، طیف مورد استفاده Jonswap و تعداد موج در هر آزمایش جهت عدم ایجاد بازتابهای چندگانه از پاروی مولد موج، ۱۰۰۰ موج اختیار شد.

برای انجام آزمونها ابتدا سطح آب درون فلوم در ارتفاع مورد نظر تنظیم شده و سنسور ارتفاع سنج موج با شرایط آزمون کالیبره می شود. برای شروع هر آزمون پارامترهای مربوط به امواج مدل مانند طیف انرژی موج، ارتفاع موج، پریود موج، مقیاس طولی مدل، عمق آب در محل پارو و سایر پارامترها بوسیله کاربر به برنامه داده می شود، سنسور ارتفاع سنج موج نوسانات سطح آب را در حین آزمونها ثبت کرده و نتایج حاصل از بازتاب موج توسط برنامه (WS) ثبت شده و پروفیل نهائی بستر نیز توسط دستگاه پروفایلر ثبت می گردد.

شکل (۱) دیوار صاف قبل از انجام آزمایشات



شکل (۳) پروفیل بستر



شکل (۲) پروفیل بستر جلوی دیوار صاف پس از انجام آزمایش شکل



نتایج آزمونها و تجزیه و تحلیل آنها

مدل هر یک از دیوارهای کیسونی (صاف، متخلخل و شطرنجی) در عمق های مختلف آب (۰/۱۵) ، ۰/۲۰ و ۰/۲۵ (متر) و تحت ارتفاع امواج ۰/۰۶ تا ۰/۱۱ متر مورد آزمایش قرار گرفته که نتایج آنها در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است . در این شکلها منحنی تغییرات ضریب انعکاس بر حسب تیزی موج برای اشکال مختلف دیوار با هم مقایسه شده ، همچنین منحنی تغییرات حداکثر مقدار آبشستگی در جلوی دیوار با ضریب انعکاس و نیز تغییرات حجم رسوبات جلوی دیوار بر حسب تیزی موج نمایش داده شده است و منحنی های مناسب بر روی هر یک از داده های آزمایشات برآش داده شده است . از مقایسه منحنی ها نتایج زیر بدست می آیند :

۱- تاثیر شکل بلوکها بر روی ضریب انعکاس موج : با مقایسه هر سه مدل در عمق های مورد آزمون می توان دریافت که مقدار C_r در دیوار کاملاً متخلخل بمراتب کمتر از مقدار آن در دیوار صاف بوده و نسبت به دیوار شطرنجی کمتر می باشد . پس مدل متخلخل بهترین جاذب موج در این آزمونهاست.

۲- تاثیر تیزی موج بر ضریب انعکاس موج : در تمامی آزمایشات مشاهده می گردد با افزایش تیزی موج ضریب انعکاس بشدت کاهش یافته که این پدیده از آنجا ناشی می شود که با افزایش ارتفاع موج ، اصطکاک با بستر افزایش پیدا می کند و این امر باعث استهلاک انرژی و در نتیجه باعث کاهش ضریب انعکاس می گردد.

۳- تاثیر ضریب انعکاس بر مقدار آبشستگی بستر جلوی دیوار : با افزایش ضریب انعکاس دیوار ساحلی میزان آبشستگی کاهش می یابد و این روند بگونه ایست که دیوار کاملاً متخلخل که کمترین ضرایب انعکاس را داراست ، بیشترین فرسایش را ایجاد می کند .

۴- اثر شکل دیوار بر میزان تغییر حجم مصالح ماسه ای جلوی دیوار و میزان تحکیم بستر : همانگونه که در شکل شماره ۶ دیده می شود کاهش حجم مصالح در جلوی دیوار صاف از دیوار شطرنجی به مراتب بیشتر بوده و برای دیوار شطرنجی نیز بیشتر از دیوار کاملاً متخلخل می باشد ، علت تحکیم بیشتر جلوی دیوار صاف بیشتر بودن میزان انرژی ناشی از انعکاس امواج می باشد بگونه

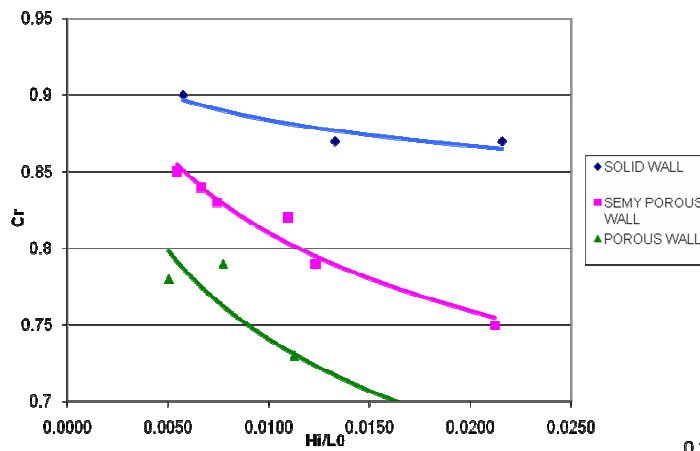
اینکه در مقابل دیوار کاملاً متخلخل که استهلاک انرژی موج بیشتر بوده و ضرایب انعکاس کمتر می باشند، تحکیم بستر نیز کمتر می باشد.

نتیجه گیری

شکل دیوار و میزان تخلخل دیوار اثر بسیار زیادی بر استهلاک انرژی در جلوی دیوار ساحلی دارد، هر چقدر مقدار تخلخل بیشتر باشد میزان استهلاک انرژی بیشتر شده بطوریکه ضرایب انعکاس جلوی دیوار و میزان تحکیم رسوبات ماسه ای در جلوی دیوار کاهش یافته و مقدار آبشستگی در پای

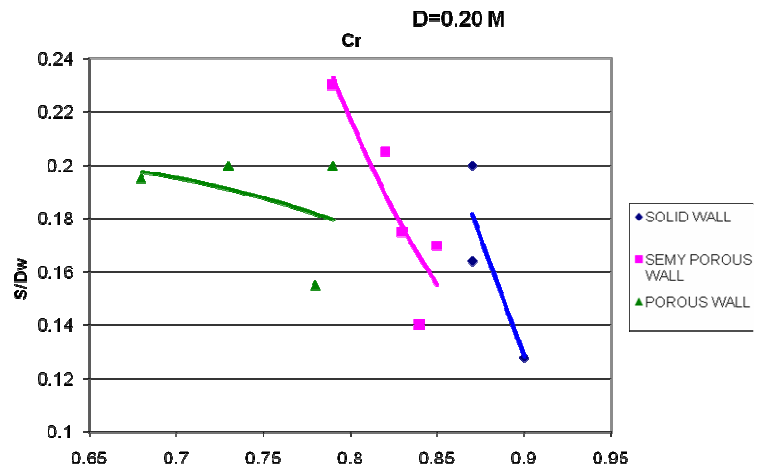
دیوار افزایش می یابد.

Effect of steepness on Cr for different Wall shape

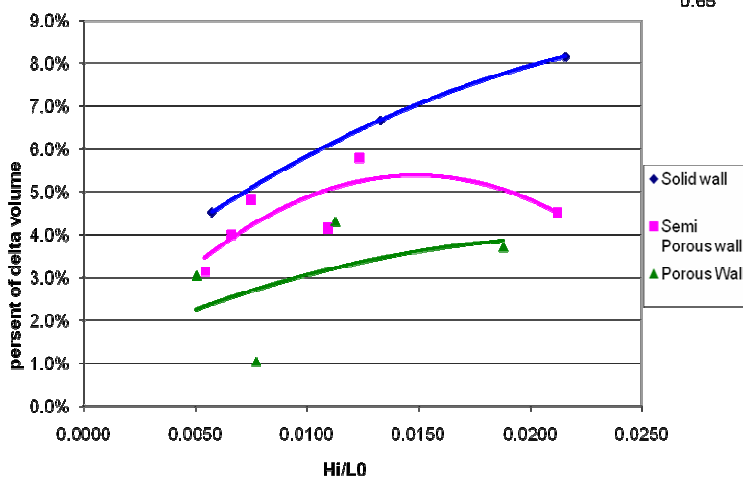


شکل (۴) اثر تیزی موج بر ضریب انعکاس

شکل (۵) اثر ضریب انعکاس بر آبشستگی بستر



Volume chang



شکل (۶) اثر شکل دیوار بر تحکیم بستر

مراجع

- ۱- فرشته صنیعی، علیرضا. ۱۳۸۶. "ارزیابی آزمایشگاهی تخلخل دیوارهای ساحلی بر میزان آبستگي پای دیوار"، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده فنی، دانشگاه هرمزگان.
 - ۲- لشته نشائی، میراحمد و پاشازاده، علی. (۱۳۸۰) "بررسی پتانسیل آبستگي در سواحل دریای خزر"، مجموعه مقالات کنفرانس بین المللی سازه های هیدرولیکی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران، جلد اول، از صفحه ۵۶۱ الی ۵۷۰.
 - ۳- کرمی خانیکی، علی. (۱۳۸۴). "ارزیابی آزمایشگاهی انعکاس امواج از دیوارهای ساحلی صندوقه ای"، فصلنامه علمی و پژوهشی وزارت جهاد سازندگی-پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، جلد ۱۸ شماره ۲، صفحات ۱۱ الی ۱۷.
- 4-Carpentr, K. and Powell, K.A. (1998), "Toe Scour at Vertical Sea Walls, Mechanism and Prediction Methods", HR Wallingford SR 506.
- 5-Fowler, J. E. (1992), "Scour problems and Methods for Prediction of Maximum Scour at Vertical Seawalls", Technical report CERC-92-16, US Army Engineer Waterways Experiment Station.
- 6-Holms, P. and Neshaei, M.A.L. (1996), "The Effect of Seawalls on Coastal Morphology". Proceeding of the Second IAHR Symposium on Habitats Hydraulics, Ecohydraulics 2000. Vol. A, pp.525-530.
- 7-Kobayashi, N., Tega, Y. (2002), "Sand Suspension and Transport on Equilibrium Beach". J. of Waterway, Port, Coastal Engineering. ASCE. Vol. 128, No.6. pp.238-248.
- 8-Whitehouse, R., (1998), "Scour at Marine Structures", Thomas Telford, London, UK., xix+198p.