طراحی و بررسی رفتاری موج شکن آواری تحت بار بیشینه ی موج

روزبه فرخ زاد

دانشگاه آزاد اسلامی واحد بین المللی کیش

Roozbeh.farokhzad@gmail.com

امیرجواد مرادلو

دانشگاه زنجان

Ajmoradloo@yahoo.com

Archive of SID

چکیده :

موج شکن ها سازه های باریکی با طولها و ارتفاع های متفاوت هستند، معمولاً بصورت عمود بر خط ساحل جهت محافظت از یک منطقه ساحلی، بندر، لندرگاه یا حوضچه آرامش جهت حفاظت از امواج ساخته می شود. با پیشروی آب دریا به ویژه در سواحل شمالی و افزایش روزافزون ساخت و ساز در سواحل استفاده از سازه های حفاظتی از جمله موج شکن های سنگی با توجه به صرفه اقتصادی به دلیل منابع نسبتاً غنی مصالح سنگی برای حفظ و نیز احیاء ساحل دریا غالبا امروزه مورد توجه می باشد.

عملکرد اصلی موج شکن ها محافظت از مناطق ساحلی در برابر موج بیشینه است. در این نوع موج شکن ها اتلاف انرژی موج به صورت جذب انرژی بوسیله ی شکل و نوع طراحی است در صورتی که در سایر موج شکن ها این اتلاف انرژی به صورت انعکاس نیروی موج می باشد. هدف اصلی طراحی، سنجش ابعاد و اندازه های سطح مقطع است، طراحی و ساخت یک سازه ی پایدار که ویژگی جذب انرژی موج را به طور قابل قبولی دارا باشد به شدت به تجربه ی گذشته و مدل سازی فیزیکی بستگی دارد. این مقاله به تشریح مسائل کلیدی طراحی و ساخت و ساز موج شکن ها، با توجه خاص به ثبات آنها دارد.

واژگان کلیدی : موج شکن ، سازه بندر ، پوششهای سنگ ریزه ، شن ، حفاظت از ساحل

www.SID.ir

مقدمه

عملکرد اصلی موج شکن ها محافظت از مناطق ساحلی در برابر موج بیشینه است. انرژی موج در درجه ی اول از طریق جریان آشفته در داخل بوجود می آید و در لایه های زره ای موج شکن از بین می رود. (شکل ۱)

اگر موج دارای شیب تندی که مایل به دریاست باشد بعد از برخورد به قسمت مسطح موج شکن، موج به روی این سطح واژگون خواهد شد که این امر اتلاف انرژی بیشتری حاصل می کند. بعد از برخورد به شیب مقدار انرژی باقی مانده که به انرژی پتانسیل موج تبدیل شده به سوی دریا منعکس شده و به بادپناه سمت مقابل هدایت میگردد. در بیشتر مواقع انرژی به صورت نیروی انتقالی داخلی به سطح موج شکن برخورد می کند و کاهش این انرژی رخ می دهد. این مقدار انرژی داخلی موج که به موج شکن منتقل شده در طول جریان از طریق هسته از بین می رود و باقی مانده ی این انرژی بصورت یک موج در سمت باد پناه ظاهر می گردد. این تاثیر موج شکن است که توانایی خود را برای محدود کردن ارتفاع موج در نظر گرفته.

بخش عمده ای از سطح مقطع هسته ی موج شکن نسبتاً انبوهی از سنگ ریزه است. لایه ی زره پوش معمولاً با یک یا دو لایه از سنگ و یا انواع متعددی از زره های پیش ساخته ی بتنی ساخته می شود. لایه ی بیرونی است که به عنوان لایه ی پوشش اولیه نامیده می شود. اصطلاح آوار که در این مقاله استفاده می شود به طور خاص شامل سنگ، سنگ ریزه و زره پیش ساخته ی بتنی است. به طور مشابه ؛ واحد زره پوش شامل زره پیش ساخته ی بتنی و سنگ است.

اتلاف انرژی موج عمدتاً از طریق جذب انرژی توسط قلوه سنگهای موج شکن صورت میگرد و این امر متمایز از سایر موج شکنهای ثابت است. اواخر قرن گذشته موج شکنهای معروف آواری در شربورگ و پلیموت ساخته شد که عملکرد آنها ظاهراً از طریق انعکاس این نیرو بود[1]. طراحی و ساخت یک ساختار پایدار با ویژگی های جذب انرژی قابل قبول همچنان به شدت به تجربه ی گذشته و مدل سازی فیزیکی بستگی دارد. این مقاله به تشریح طراحی و ساخت و ساز مسائل کلیدی ، با توجه خاص به ثبات زره پوش می پردازد.

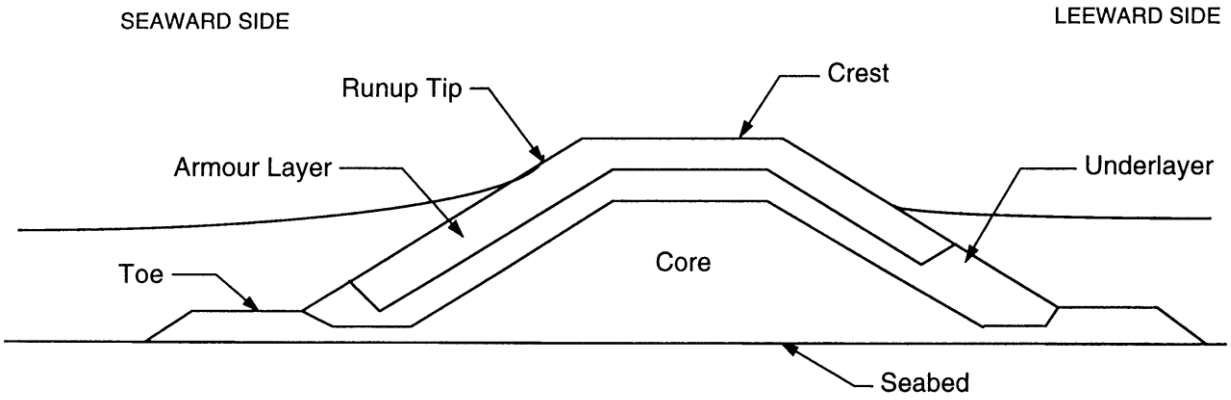
رویکرد طراحی

هدف اصلی طراحی سنجش ابعاد و اندازه های سطح مقطع است . این محاسبات به طور سنتی برگرفته از فرمولها و دستور العملهای داده شده توسط انجمن بین المللی دائمی کنگره[2] و ارتش مهندسی ایالات متحده ی آمریکاست[3].

[1] Townson 1973
[2] PIANC
[3] USACE

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. نمونه مقطع موج شکن آواری

بررسی اندازه ی طبیعی شکست شدن یک سازه مانند آنهایی که در سال ۱۹۷۹ توسط بیرد[۴] و همکاران ، در سال ۱۹۸۱ سورنسن و جنسن[۵] ، ۱۹۸۶ سیلوستر و هسو[۶] و ۱۹۸۹ بوسیله ی دیگر محققین ارائه شد زمینه ای فراهم آورد تا با استفاده از این داده ها بتوان ۱۶۱ موج شکن در ۲۷ کشور مختلف دنیا ساخته و مورد بهره برداری قرار گیرد.

پس از طراحی اولیه، عملکرد موج شکن، به ویژه ثبات زره پوش، انعکاس و انتقال موج، به طور معمول با یک مدل فیزیکی در یک فلوم موج بررسی می شود. مدلهای فیزیکی از نظر هندسی مطابق با سازه ی اصلی و در اندازه ی دقیق ساخته و بررسی می شود. فرض طراحی بر این است که نیروهای گرانشی مدل ها با قانون مدل فرود کوچک همخوانی داشته باشد. نیروهای ویسکوزیته با مقیاس خطی و با اندازه و مقدار کافی انتخاب می شوند و مواد تشکیل دهنده ی هسته برای ساخت مدل فیزیکی با دقت بالایی انتخاب و مورد بررسی قرار می گیرند. نسبت مقیاس گرفته شده ی مدل فیزیکی با توجه به حداکثر ارتفاع موج و عمق آب است که بستگی دارد به اندازه های موجود مجرای آب و اندازه ی واحدهای زره پوش ، اما به طور معمول بین ۲۰ تا ۵۰ اخذ می شود.

در نظر گرفتن اثرات زیست محیطی نیاز دارد به ارتباط بین تاثیر بصری، اشغال بستر دریا، تغییر در الگوی موج که همه ی این موارد یاد شده در طول هسته ی آزاد سازی تجهیز شده است. بازتاب و تفرق یک موج ممکن است در کشتیرانی با وجود موج شکن خود ایجاد یک جریان کند که خود باعث ایجاد فرسایش در آن محدوده گردد و تغییر عمق سنجی را تحت تاثیر خود قرار دهد، به خصوص در پایان پیشرفت ساخت و ساز. این امر میتواند بر میزان ثبات مواد مورد نیاز برای سازه ای که در این نزدیکی است تاثیر افزایشی داشته باشد .

به عنوان بخش عمده ای از فعالیتهایی که نیاز است در زمان ساخت و بهره برداری از یک موج شکن صورت گیرد باید دانست که مراقبت و نظارت و ساخت ساز قسمتی از موج شکنها که در زیر آب است کاری بس دشوار میباشد، مخصوصاً زمانی

[4] Bierd 1979
[5] Sorencen & Jensen 1986
[6] Silvester & Hesu 1989

Archive of SID

www.SID.ir

که دریا مواج است. در ساخت یک مدل فیزیکی پیش از ساخت مدل اصلی باید نکات ایده آل ساختار را در نظر داشت. مور[7] محقق سال ۱۹۸۹ با ارائه ی راهنمایی های اساسی در زمینه ی ساخت و ساز و برنامه ریزی طراحی توانست مراحل پیش روی مهندسین را مقدار قابل توجهی آسان سازد. در طراحی موج شکن در قسمت کم عمق کار بسیار آسان است چرا که می توانیم آب این نواحی را به قسمتهای پرعمق منتقل کنیم ولی باید به این نکته نیز توجه شود که جنبه های علمی ساخت و ساز باید با توجه خاصی به شرایط جوی، مقدار و اندازه ی امواج و رفتار ساختاری داده شده صورت پذیرد. موج شکن در آبهای عمیق باید حتما مورد بررسی و آزمایش قرار بگیرد بلاخص زمانی که آب دریا مساعد انجام این فعالیت باشد.

طراحی و ساخت و ساز مسائل

وضعیت دریا

جهت موج، که به طور معمول در دو جهت قرار دارد یکی در جهت وقوع حادثه و دیگری در جهت مورب و اشاره دارد به جهت حرکت موج نسبت به محور موج شکن. نکته ی دیگر اینکه طول تاج موج یک پدیده ی سه بعدی است که به صورت طولانی یا کوتاه مـورد بررسـی قرار میگیرد. ضروریـست که آزمونهای انجام گرفته ی روی مدل که نشان دهنده ی وضع دریا می باشند به درستی عمل کنند، بویژه برای موج شکنهای بزرگ و مخصوصاً زمانی که مجرای موج دو بعدی فرض شده باشد. هزینه ی اصلاح ارتفاع موج طراحی از طریق جمع آوری داده های اضافی و یا تجزیه و تحلیل ساختار وزنی بدست می آید.

ارتفاع موج شاخص، HS می باشد که در اکثر موارد برای توصیف دریای ناپایدار و آشفته مورد استفاده قرار می گیرد و به طور متوسط از یک سوم بالاترین امواج تعریف می گردد. برای طراحی موج شکن آواری سازمان USACE توصیه می کند که $H^1/_{10}$ به طور متوسط از بین بالاترین ده موج انتخاب گردد. ویدال و همکارانش[8] در سال (۱۹۹۵) نشان دادند یک پارامتر جدید در فرمول ثابت موج وجود دارد که با نماد n نمایش می دهند و ارتفاع متوسط بزرگترین موج در حالت آشفته ی دریا تعریف می شود. آنها نشان دادند که هم توزیع ارتفاع موج و هم تعداد کل امواج برای رسیدن به سطح آسیب پذیر زمانی که مقدار N 22 باشد ۱۰۰ برابر است، البته توصیه ی آنها تحقیق بیشتر می باشد. جنسن و همکارانش[9] در سال (۱۹۹۷) نشان دادند که $H^1/_{20}$ باید برای دامنه ای از سنگها استفاده شود که N آنها ۲۵۰ برابر است.

هنگامی که کمبود داده های موج و شرایط آب کم عمق وجود دارد، برای طراحی مناسب از حداکثر عمق موجود استفاده می کنیم. اگر چنین باشد، این امر مهم طلقی می شود که موج حاصل از جریانهای آشفته در عمق سنجی باید از طریق لای روبی و یا صیقلی کردن تاثیر پذیرد.

---

[7] Mour 1989
[8] Vidal 1995
[9] Jensen 1997

Archive of SID

www.SID.ir

تعامل موج و موج شکن

در امتداد طول موج شکن در صورتی که عمق سنجی به صورت نقطه به نقطه ی متمرکز صورت می گیرد وضعیت آب و هوا و مقدار و اندازه ی امواج نیز باید چک گردد. غلظت انرژی موج را می توان در زمان طوفان از تغییر در جهت باد در جهات مختلف محاسبه نمود.

اگر چه بیشتر انرژی توسط موج شکن ها از بین می رود، مقدار انعکاس موج باید برای ارزیابی اثرات آن بر روی ناوبری و آبشستگی ها مورد بررسی قرار گیرد. عمق آبشستگی های بزرگ اغلب با ضریب انعکاس بالا مرتبط است. باید به این نکته توجه داشت که صخره هایی که به سمت دریا گسترش یافته اند می توانند در مقابل فرسایش مقاوت کنند و همچنین میتوانند ارتفاع موج طراحی را قبل از رسیدن به موج شکن کاهش دهند و شیب امواج را به سمت دریا باز گردانند.

در این رابطه زاویه ی شیب را با Y نشان می دهند ، ارتفاع موج را با H و طول موج دوردست از ساحل را می توان با پارامتی مانند x نشان داد که بدست می آید توسط :

$$\varphi = \frac{\tan Y}{(\frac{H}{L_0})^{\frac{1}{2}}} \qquad (1)$$

سودمندی بدست آمدن φ به طور گسترده ای توسط باتجس[10] اثبات و نشان داده شده است. او به تفسیر فیزیکی φ پرداخت، و آن دامنه ی شکست امواج را نشان می دهد ، که تقریباً نسبت Y به شیب متناسب محلی از شکست موج است. رزونانس بالازدگی[11]و پایین زدگی[12] موج با طول موج رخ می دهد که در آن φ در محدوده ۲ تا ۳ است و از این رو نوعی از انواع غوطه وری یا سقوط را شامل می شود.

به دلیل حجم گسترده ای از شوت های موج[13] ، فاصله ی R_u برای دامنه هایی صاف از رابطه ی زیر بدست می آید :

$$R_u(rough) = r.R_u(Smooth) \qquad (2)$$

در اغلب اوقات ، r یک ضریب تصحیح زبری و نفوذپذیریست . R_u نسبت اندازه گیری سطح آب است که در تعریف کمیته ی USACE آمده عبارت است از ارتفاعی است که در دیگر امواج این ارتفاع دیده نمی شود. در سال ۱۹۷۸ استوا و همچنین در سال ۱۹۸۱ گیمنز ارزش مقدار R_u برای دامنه های موج شکن زرهی نشان می دهد که ممکن است برای هر زره به ارزش واحدی از r باشد. حال نتایج مناسب عددی برای مدلسازی شوت های موج در دامنه های کوتاه بدست آمده است.

[10] Battjes 1998
[11] Uprush
[12] Downrush
[13] Runup

Archive of SID

www.SID.ir

پیکربندی مقطع

۱. زاویه ی شیب

به طور کلی ممکن است دامنه های جانبی شیبدار که برای به حداقل رساندن مواد موجود در هسته به کار میروند باعث کاهش حداقل دسترسی جرثقیل به تاج موج شکن گردند. با این حال ممکن است که زاویه و دامنه ی شیب را کمتر کنیم تا این دسترسی برای جرثقیل راحتتر گردد. دامنه ی شیبها معمولاً در محدوده ی 1V:1.5H تا 1V:3H است و میزان نفوذ آب بین واحدهای زره پوش نیز باید در نظر گرفته شود. با افزایش زاویه، به ثبات اصطکاک و همچنین فشرده شدن لایه ها به خاطر وزن لایه های مجاور کمک می شود. با این حال با کاهش زاویه وزن در بخش شیب به صورت عمودی بر خود جسم موج شکن وارد می شود. این بدین معنی است که زاویه ی شیب بهینه باید با توجه به حداکثر تعامل و ثبات موج شکن طراحی شود.

۲. ضخامت لایه

ثبات زره به طور کلی با افزایش ضخامت این لایه بدست می آید. برای بدست آورد یک اطمینان خاطر لایه ها را ضخیمتر طراحی و ساخته می شوند که این امر باعث بالا بردن ظرفیت باربری زره می شود. حد مجاز برای ساخت این لایه ها باید به میزانی باشد که موقعیت با ثبات تری برای لایه های موج شکن ایجاد کند.

۳. ارتفاع تاج

ارتفاع تاج باید حداقل بیش از موجی باشد که برای طراحی قابل قبول است و امکان رخ دادن آن وجود دارد. این موضوع باید در حداکثر شوت های موج مورد بررسی قرار گیرد .

۴. پروفایل تعادل

تعادل، پروفیلهایی که تحت اثر موج هستند برای توزیع و توسعه ی این بارها و همچنین داشتن تعادل باید به صورت S شکل باشند. آسیب گسترده به موج شکنی که دارای شیب رو به دریاست معمولاً نتیجه ی موادیست که در امتداد محور SWL و یا در نزدیکی آن ته نشین شده اند. تا زمانی که تعادل بین فرسایش صفحه ی یکپارچه رسیده باشد مشخصات توسعه همچنان ادامه می یابد. برای اطمینان از تعادل معمولاً ابتدا از سایتهایی با دامنه ی جزر و مدی کم استفاده می شود. شباهت بین پروفیلهای مرحله ای نزدیک به ساحل و پروفیل های تعادلی در سال ۱۹۸۷ توسط ون در میل به صورت کاملاً تجربی و با داشتن تعدادی از داده ها بیان شد.

Archive of SID

www.SID.ir

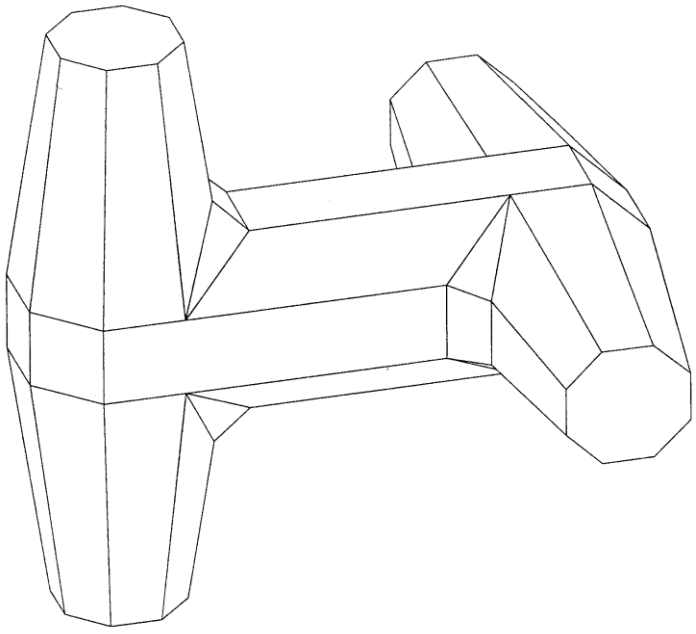
۵. موج شکن پله ای (باریکه ای)

موج شکن پله ای دارای یک سکوی پله ای میباشد که در نزدیکی SWL ساخته شده ، عرض این پله به طور کامل از لایه ی زره پوش ساخته می شود. تصور می شود که لایه ی پایینی (داخلی) از لایه های زره پوش معمولی و یا زره پوشهای کوچکتر همراه با سنگ ریزه استفاده می شود. به طور کلی مشخصات اصلی موج شکن در سمتی که رو به دریاست ، دارای پله های فشرده تر است تا تحت بارهای ناشی از امواج با ثبات تر عمل کند.

لایه ی زره ای

۱. نوع زره

واحد زره را می توان به انواع مدلهای جمع و جور، به هم پیسته و یا توخالی با توجه به شکل و موارد استفاده طبقه بندی کرد. واحد زره پوش فشرده که از سنگ و سنگ ریزه تشکیل شده به دلیل اصطکاک کمتر در زمان برخورد امواج از نیروی وزن خود برای مقابله با آنها استفاده می کند. در مقایسه، واحد زره پوش به هم پیوسته که در (شکل ۲) نشان داده شده است نیروی مقاوم در برابر امواج را از واحد مجاور تکیه شده به خود بدست می آورد. یک واحد زره پوش متخلخل تر نسبت به واحد زره پوش پیوسته، انرژی موج بیشتری را درون فضاهای خود کاهش می دهد. با این حال تمایل به واحد زره پوش گسسته بیشتر است. چرا که ایجاد یک شکستگی در واحد زره پوش پیوسته باعث شکستگی کلی آن واحد زره پوش می شود .



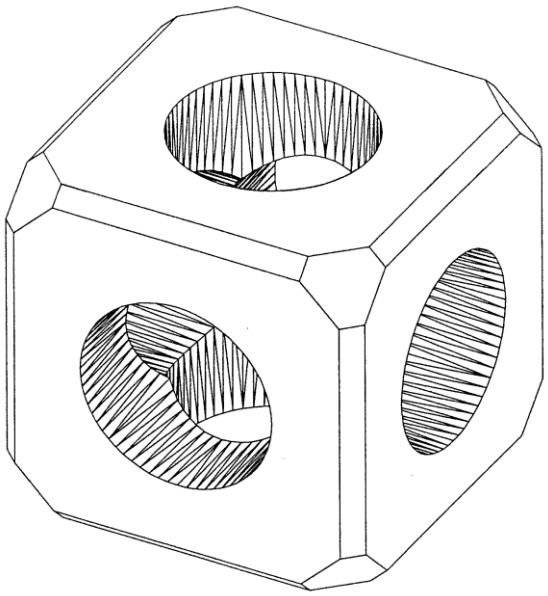
شکل ۲. واحد زره ای دالاس[۱۴]

[14] Dolos

www.SID.ir

واحد زره پوش تو خالی (متخلخل) که اصطلاحاً Shephard Hill energy Dissipator خوانده می شود و در (شکل ۳) نمایش داده شده در یک الگوی منظم تشکیل یک Accropode را می دهد. این Accropode ها در اوایل سال ۱۹۸۰ توسط مشاوران فرانسوی توسعه داده شد. این الگوی منظم تضمین می کند که فضای رضایت بخشی به وجود آمده که همیشه برای اتلاف انرژی حاصل از امواج در دسترس است، دقیقاً بر خلاف واحد زره پوش جمع و جور و به هم پیوسته که در آن تخلخل وابسته به موقعیت نسبی آنهاست. این الگو نیز مانند واحد به هم پیوسته در معرض دیفرانسیل حل و فصل لایه های زیرین می باشد.

کمیته ی USACE فهرست برخی از انواع بسیاری از واحد های زره پوش را در اختیار گذاشته است. آنها یک دیاگرام منطقی برای انتخاب اولیه ی این واحد که شامل هزینه های حق التالیف و در دسترس قرار دادن اشکال است در نظر گرفته اند. در سال ۱۹۸۵ محققی به نام بوران[15]خلاصه ای از ارزیابی انواع زره پوشها ارائه کرد.



شکل ۳. واحد زره ای SHED

واحد زره پوش پیش ساخته ی بتنی با توجه به نتایجی که از تحقیقات (Pianc 1985) محاسبه و ساخته می شود زمانی که سنگ مناسب در دسترس نیست و یا زمانی که HS بیشتر از ۵ متر باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان می دهد که وزن آنها باید بین ۶ تن تا ۵۰ تن باشد. انتخاب بین سنگ و بتن ممکن است تمایل به ترکیب با ساختارهای موجود با ویژگی های طبیعی را تحت تاثیر قرار دهد.

تتراپدها[16]، برای اولین بار از مهندسی واحد زره پوش پیش ساخته ی بتنی، توسط شرکت فرانسوی Nyerpic در سال ۱۹۵۳ استفاده شد. این شرکت به جای استفاده از گزینه ی بالا بردن وزن زره پوش ها به دنبال بهبود نفوذپذیری در بین

[15] Buurun 1985
[16] Tetrapad

www.SID.ir

بافتهای موج شکن ها بود. اولین پروژه ی که با استفاده از تتراپدها برای کاهش انرژی امواج استفاده شد در سال ۱۹۵۵ و در اطراف باند فرودگاه ولینگتون بود.

موج شکن Dolos ، برای اولین بار در ترمیم و بازسازی موج شکنهای آسیب دیده ی بندر شرقی لندن و همچنین در جنوب آفریقای جنوبی استفاده شد (شکل ۲). استفاده از این موج شکنها دو دلیل داشت یکی استفاده از محصولی جدید که تازه ثبت اختراع شده بود و دوم کاهش هزینه ها. مدلهای چوبی برای اصلاح شکل زره پوش ها و همچنین رسیدن به بالاترین میزان تخلخل مورد استفاده قرار گرفت. این نوع از موج شکنها حاصل تحقیقات بسیار و نظارت بر اجرای درجای آنها بوده است، به دلیل تعداد خرابی زیاد این نوع و همچنین نیاز به ارائه ی اطلاعاتی برای حمایت از مدیریت و ساخت، این موج شکنها از انواع کم نقص موج شکنها می باشد.

برای مشخص کردن تحمل وزن سنگ به کار رفته در زره پوش، از جمله ۲۵٪ از وزن اسمی، حداکثر درصد وزن زره پوش باید از درصد وزن اسمی کمتر باشد و نتیجه ی آن به طور معمول بین ۵۰ تا ۷۰٪ است. در سنگ ریزی روی یک موج شکن، سنگها دارای طیف گسترده ای اندازه ها می باشند که در اینجا کمیته ی USACE توصیه می کند که از این نوع سنگ ریزی زمانی استفاده شود که ارتفاع موج طرح (به طور متوسط از بالاترین ۱۰٪ امواج) کمتر از حدود ۱,۵ متر باشد.

باید به شکل دقیقی توجه کرد که ارتفاع در لایه ی پوششی اولیه خاتمه یابد. با توجه به بررسی های (Pianc 1985) به طور معمول مقدار SWL باید زیر 1.5HS باشد. زره در زیر این سطح معمولاً از سنگ های ریز تشکیل شده، حتی در زمانی که بتن در بالای سطح ریخته شده باشد.

استفاده از انواع مختلف زره پوش پیش ساخته ی بتنی با داشتن لایه های پوششی غیر معمول است. محققی به نام فاستر[۱۷]در سال ۱۹۸۵ بیان کرد که در SWL به دلیل اینکه اکثر امواج عملکرد متمرکزی دارند، ساخت و ساز موج شکنها از روش دالاس و تریبار[۱۸] دارای مشکلاتی است. وزن زره ممکن است در امتداد طول موج شکن با اختلاف عمق آب متفاوت باشد و از این ارتفاع امواج نیز متفاوت می گردد، البته برای اینکه طرح اقتصادی تر و علمی تر اجرا شود یک وزن ثابت را برای آن اتخاذ نمود.

تغییرات در شیب انتقال موج معمولاً در سمت بادپناه است که در آن شیب مسطح تر در نزدیکی Steepened است تا با تنه ی اصلی موج شکن مطابقت داشته باشد. زره های قدیمی و جدید نیازمند مراقبت و بازبینی می باشند به ویژه برای قسمتهایی که موج ها به صورت مورب بر موج شکن وارد می شوند و همچنین محلی که زره های جدید دارای وزن کمتری هستند. بامگارتنر[۱۹] و همکارانش (۱۹۸۵) و مارکل[۲۰] و دوباس[۲۱] (۱۹۸۵) بیان کردند که برای بازسازی زره های آسیب دیده در نتیجه ی برخورد موج های سهمگین میتوان از سنگها استفاده کرد. برای زره مکعبی دالاس می توان از مشکل لایه های تو در تو داخلی و بیرونی نام برد.

[17] Foster
[18] Tribar
[19] Baumgartner
[20] Markel
[21] Dubose

Archive of SID

www.SID.ir

۲. اندازه و ثبات زره

فرمول اولیه که به طراح کمک می کرد وزن زره پوش را با استفاده از ارتفاع موج طرح بدست آورد در سال ۱۹۳۳ توسط دو محقق به نامهای دکاسترو[۲۲] و برونیز[۲۳] مطرح شد و تا سال ۱۹۳۸ این روند طراحی توسط لری بارن [۲۴] ادامه پیدا کرد و به صورت نظری مطرح شد. آزمون مدل این طرح اولین بار در سال ۱۹۵۰ در آبراه آزمایشگاه WES توسط کمیته ی USACE با استفاده از زره پوشهای مکعبی و تتراپودها اجرا شد . ضریب اصطکاک بین واحد ، یک متغییر مستقل در فرمول ، به طور گسترده ای با شکل و روش قرار دادن زره پوشها متفاوت است . استفاده از مدل لری بارن در همان آزمایشگاه WES رها شد و این در حالی است که امروزه هنوز از این روش در مکانهای دیگر استفاده می شود.

مهندس ارشد WES به نام هادسون[۲۵]برای بخش عملکرد موج فرمولی ارائه کرد که امروزه با نام هادسون آن را می شناسیم و عبارتست از :

$$W = \frac{w_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot\theta} \qquad (3)$$

که در آن W وزن خشک یک واحد زره پوش منحصر به فرد در لایه ی پوشش اولیه است، K_D ضریب ثبات تجربی می باشد که از عوامل موثر بر ثبات زره پوش است، w_r وزن واحد مواد به کار رفته در زره پوش است، H ارتفاع موج طرح در ساختار شیب است و S_r وزن مخصوص واحد زره پوش و θ است. معادله ی (۳) با جایگزین کردن وزن متوسط سنگ ریزه W_{50} به جای W و با استفاده از مقدار مناسبی از K_D است.

هادسون با ارزیابی کشش مایع و نیروهای داخلی و دانستن این موضوع که وزن واحد زره پوش مشتق شده، اقدام به طراحی لایه ی پوشش زره پوش منحصر به فرد خود کرد. از اصطکاک بین واحد ها چشم پوشی شد ولی اثر آن را در نظر گرفت تا بتواند آنرا در K_D جایگزین کند، ارزش K_D از آزمون مدل و با اندازه گیری مقدار H تعیین می شود که در مقدار H گاهی این مقادیر برابر سطح آستانه ی خسارت است. این ارزش ها توسط کمیته ی USACE ارائه شده و به صورت دوره ای مورد بازبینی قرار می گیرد.

بیش از ۲۰ فرمول مشابه دیگر وجود دارد که برخی از آنها با استفاده از رابطه ی بین اصطکاک و طول موج تعریف می شوند و در آنها T یک متغییر است. بسیاری از این فرمول ها از جمله فرمول (۳) برای شرایط امواج بلند کاکلدار که در حال حرکت عمود بر محور موج شکن است طراحی شده اند. دو محقق لوسد[۲۶]و خمینز[۲۷]در سال (۱۹۷۹) در آزمون نشان دادن رابطه ی بین H ، T و θ برای انواع زره ها طرحی تعاملی بر اساس منحنی بیان کردند. هالتژاوسن[۲۸] در سال (۱۹۹۳) برای زره دالاس فرمولهای آماری ارائه کرد که مخصوص شیب ۱:۱٫۵ است و در آبهای عمیق کاربرد دارد و امروزه نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

---

[22] Decastro
[23] Beroniz
[24] Lribarren
[25] R.Y Hudson
[26] Losad
[27] Giménez-Curto
[28] Holtzhausen

Archive of SID

www.SID.ir

وندرمیر[۲۹] در سال ۱۹۹۵ فرمول تجربی به دست آمده ی زیر را برای اندازه گیری سنگ زره پوش ارئه کرد :

$$H_s/\Delta D_{n50} x\sqrt{\varphi} = 6.2P^{0.18}(S/\sqrt{N})^{0.2} \quad (4)$$

برای غوطه وری امواج ($\varphi < 2-4$)

$$H_s/\Delta D_{n50} = 1.0P^{-0.13}(S/\sqrt{N})^{0.2}\sqrt{\cot\alpha\varphi^P} \quad (5)$$

برای افزایش امواج، که در آن D چگالی جرم نسبی است ، D_{n50} قطر زره اسمی می باشد و P عامل نفوذپذیری بدون بعد است و N تعداد امواج برای رسیدن به سطح آسیب میباشد، مقدار S را میتوان از فرمول زیر بدست آورد :

$$S = A_e/D_{n50}^2 \quad (6)$$

که در آن A_e سطح مقطع حاصل از فرسایش می باشد.

به گفته ی وندرمیر در سال ۱۹۹۵ ، ارزش P از حداقل ۰,۱ برای یک لایه زره پوش دو بعدی با ضخامت n50 که بر روی یک هسته ی نفوذناپذیر واقع شده با ارزشی از P که حداکثر ۰,۶ برای یک ساختار همگن متشکل از سنگریزه متفاوت است. او توصیه می کند که حساسیت تجزیه و تحلیل بر روی تمامی پارامترها به عنوان به عنوان بخشی از فرآیند طراحی انجام گیرد.

افزایش ضخامت کمر دالاس، به عنوان نسبت عرض از ساقه های مرکزی هشت ضلعی (بین صفحه های اندازه گیری) به ابعاد طولانیترین واحد آن تعریف شده است اما باید توجه داشت که تنش کاهش میابد. بورچارتس[۳۰]و نیلسون[۳۱] در سال ۱۹۸۷ بعد از بررسی بسیار دریافتند که نتیجه ی گزارش همانست اما تنها برای آسیب های بیش از ۵ درصد در منطقه ی SWL ± HS . این واضح است که پایین لایه ی زره تخلخل دارد و پیوستگی آن کمتر است. آنان نتیجه گرفتند که زره آکروپود برای امواج با دوره ی طولانی ($\varphi \geq 3$) با ثبات تر عمل میکنند نسبت به زره پوشهای دالاس ، اما در امواج کوتاه ثبات مشابهی دارند.

[29] Van Der Meer
[30] Burcharth
[31] Brejnegaard-Nielsen

Archive of SID

www.SID.ir

۳. تعریف و ارزیابی آسیب

آسیب های قابل تحمل تا سطح قابل قبولی باید در طراحی در نظر گرفته و پیش بینی شود. خسارت به طور کلی عبارتست از حذف و یا شکستگی قسمتهایی از واحدهای زره پوشهای فردی، کشویی و یا لایه های فشرده. برای واحدهای پیش ساخته ی بتنی، ضربه ی سهمگین به عنوان آسیبهای طبقه بندی شده است و بیش از این حد می تواند باعث شکستگی کامل یا شکستگی تدریجی لایه ی زره پوش شود. برای موج شکنی که در معرض موجهای سهمگین قرار گرفته و یا موج انتقالی داخلی با آن برخورد می کند، ثبات زره پوش در بالای لایه ی زره و در نزدیکی بادپناه بیشتر است.

هنگامی که از یک مدل برای تعیین شرایط آستانه ی آسیب استفاده می شود، مقدار کمی از آسیب باید رعایت شود که به طور کلی به عنوان شرط بدون آسیب پذیرفته می شود. این به ارزیابی میزان آسیب مشاهده شده در مدل به عملکرد سازه در اندازه کامل مربوط و برای تفسیر نتایج مدل بر این اساس مهم است.

برای بیان تعداد واحدهای آسیب دیده یک روش موجود اینست که به عنوان یک درصد از تعداد کل واحدهای موجود در دامنه در نظر گرفته شود. یکی از مشکلاتی که میتوان به این روش گرفت این است که مقدار محاسبه شده بستگی دارد به تعداد لایه های زره پوش و همچنین باید بدانیم که مقایسه ی مقاطع مختلف در انواع زره ها دشوارست. یکی از روشهایی که بتوان برای تخمین و محاسبه ی آسیبها استفاده کرد اینست که برای بیان آسیب به همان درصد از واحدهای زره پوش آواری زره فعال را از منطقه حذف کنیم. این منطقه ای که مورد بررسی قرار میگرد از وسط تاج در سمتی که به سوی دریاست آغاز می شود و تا ارتفاع موج مشخصه زیر SWL ادامه می یابد. آسیب صفر و یا وضعیت بدون آسیب به طور معمول بین ۰ تا ۵٪ می باشد. برای دامنه های سنگ ریزه، از جمله پروفیلهای تعادل، برای توصیف حرکت یک حجم مواد استفاده از رابطه ی (۶) مناسبتر است.

از آنجا که واحد های پیش ساخته می تواند در نتیجه تکان خوردن بشکنند، یک رویکرد بهتر اینست که با ترکیبی از چرخش و جابه جایی برای طبقه بندی و کنار هم قرار دادن این واحدها استفاده شود. پس از توزیع آسیب می توان با مقایسه ی درصد خسارت به طبقه بندی آسیب پرداخت، که در آن درصد خسارت از نظر تعداد کل واحد در منطقه از حذف زره فعال تعیین خواهد شد. با توجه به حساسیت هر نوع واحد به شکستگی، توزیع آسیب های مجاز را می توان با استفاده از ارزیابی نتایج آزمون مدل بدست آورد.

۴. قدرت واحدهای زره ای

از آنجایی که بارگذاری وابسته به زمان پیچیدگی های آن را دشوار می سازد دقت طراحی یک طرح تقویت کننده، امریست واضح برای بهم پیوستن واحدهای بتن. افزایش قابل توجه در هزینه و همچنین افزایش احتمال ترک خوردگی از معایب تقویت کننده ها می باشد. اگر از مواد تقویت کننده ی مصنوعی استفاده کنیم می توانیم آنرا در مرحله ی دوم حذف کنیم.

Archive of SID

www.SID.ir

قدرت واحد زره را می توان با استفاده از آزمایش قطره بدست آورد در این آزمایش اثرات بین واحدها و نیروهای وارد شده را در مقیاس کل سازه شبیه سازی می کنیم. این آزمایش نشان می دهد که واحدهای بزرگتر بتنی در طول در دوران ترمیم بیشتر در معرض شکستگی می باشند تا واحدهای کوچکتر بتنی و دلیل آن هم کاهش قدرت ذخیره ی نیروی حاصل از موج، کاهش شیب و درجه حرارت بالاست. اگرچه گزارشهای داده شده مبنی بر آنست که شکستگی واحدهای بتنی پیش ساخته ی بزرگتر بیشتر از واحدهای بتنی پیش ساخته ی کوچتر نیست.

روش جایگزین اندازه گیری تنش در یک مدل ابتدا در سال ۱۹۹۱ توسط بورچارتس و همکارانش ارائه شد. یکی از روشها اینست که تعداد بارهای وارده ی سهمگین و تعداد واحدهای جابه جا شده را برآورد کنیم و تعداد واحدهایی که در اندازه ی کامل شکستند را بدانیم. روش دوم اینست که برای اندازه گیری نیروها در مکانهای مختلف و همچنین در درون واحدهای انتخاب شده از برون یابی یک مدل عددی استفاده می کنیم. برای بدست آوردن مقیاس قدرت مواد زره پوش بیش از یک روش وجود دارد. روش تفسیر آسیب ذهنی، بدان معنی است که واحدهای شکسته را نمی توان دوباره استفاده نمود.

۵. سیستم های انتقال مواد و قرار دادن واحد های زره پوش

زره پوش سنگی باید با طولانی ترین بعد، عمود بر شیب قرار گیرد. اگرچه بهم پیوستن واحدهای بتنی معمولاً به صورت تصادفیست، تراکم بسته ی مورد نظر بوسیله ی تعیین مختصات درجا و قراردادن هر واحد به صورت جداگانه بدست می آید. به دلیل دادن موقعیت های مناسب قرار گیری جرثقیل برای انجام فعالیت باید در نظر داشته باشیم که موقعیت های واحد زره پوش به راحتی بتواند حرکت کند. در برخی موارد ممکن است به خاطر شرایط اقتصادی از تعداد کمتری واحدهای زره ای بزرگتر استفاده شود.

قایق حمل به دلیل بارگیری و همچنین موقعیت مکانیش باید زمان بیشتری را مصرف کند که مهمترین دلیل و شرط لازم مناسب بودن وضعیت دریاست. همچنین ممکن است در یک نرخ بالاتر از شکستگی در هنگام قرار دادن زره ها رخ دهد که نتیجه ی آن محدود کردن طیف وسیعی از کارهاست. با این وجود ، شکستگی به طور کلی صرف نظر از روشهای قرار دادن خاص رخ می دهد.

اگر یک لایه زره با فرض تعمیر و نهگداری منظم طراحی شده باشد پس باید در همان طراحی به وسایل مورد نیاز جهت بلند کردن و روشهای قرار دادن تجهیزات هم توجه کرد. عمل بالا بردن و قلاب کردن واحدهای بتنی درجا مخصوصاً در زیر آب کاری بس مشکلست.

۶. پشتیبانی شصت پا

برای طراحی شصت پا مهمترین عامل در نظر گرفتن وضعیت دریاست و از این رو تست کردن مدل فیزیکی معمولاً در زمانیست که جزر و مد دریا کم باشد ، باید به این نکته نیز در طراحی توجه کرد که ارتفاع موج طراحی و محدود نکردن عمق از اهمیت زیادی برخوردار است. آبشستگی موج شکن در قسمت شصت پا و در پشت موج شکن (بادپناه) رخ می دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

ساختار شصت پا به صورت عمده از واحدهای زره پوش است که ریختن سنگهای مختلف در اطراف آن پشتیبانی خوبی برای لایه ی زره پوش در این قسمت به حساب می آید و همچنین این لایه را از شکست ناشی از لغزش دایره ای محافظت می کند. گزارش های متعدد در زمینه ی شکست لایه ی زره پوش ، آغاز شکست را در شسته شدن لایه ی شنی و از دست دادن حمایت شصت پا دانسته اند.

ساختار شصت پا عبارتست از نوعی بتن درجای ریخته گری که وجود واحدهای توخالی در آن ضروری می باشد و همین امر دلیل آن شده که به آبهای کم عمق محدود شوند. در برخی از موارد مانند انواع زره ها به صورت کاملاً پیوسته می باشد و گاهی هم با تغییر شکلهای بهبود یافته به شکل دالاس اجرا می شود. از نظر ساخت و ساز فقط در آبهای کم عمق عملی است. اگر ژئوتکستایل استفاده می شود، باید به جنبه های عملی قرار دادن آن زیر آب بسیار توجه کرد. برای جلو گیری از ضعیف شدن این واحد باید مراقبت نیز در برنامه ی طراحی گنجانده شود.

لایه ی زیرین

لایه ی زیرین به عنوان پایه ای اولیه برای لایه ی زره پوش و به عنوان یک فیلتر برای جلوگیری از فرسوده شدن هسته کاربرد دارد همچنین هسته را در طول ساخت و ساز محافظت می کند. اندازه ی سنگی که در لایه ی زیرین به کار می رود نسبتی از W بیان می شود. این لایه تضمین می کند که لایه های مجاور در هم بافته شده اند و همچنین پتانسیل فرسایش داخلی را به مقدار قابل توجهی کاهش می دهد. به طور کلی ثبات زره موج شکن نفوذپذیری در لایه های زیرین را افزایش می دهد.

پیشنهاد شده است که از چسب در شیارهای موجود در بین لایه ی زره و لایه ی زیرین استفاده شود البته این یک روش معمول برای جلوگیری از نفوذپذیری نیست. امروزه از تکنیکی استفاده می گردد که اولین بار در سال ۱۹۶۴ توسط دکتر کاروالئو[۳۲] ارائه شد و در آن از لایه های پیش ساخته ی بتنی که با هم یکی می شوند و دو لایه زره پوش بر روی آن قرار میگیرد.

هسته

نفوذپذیری هسته تحت تاثیر Runup موج و ثبات زره پوش است بدین معنی که نفوذپذیری کم باعث افزایش Runup و در نتیجه پایینتر آمدن ثبات زره پوش می شود و بلعکس. اگرچه هسته ی متراکم انتقال و انعکاس موج را کاهش می دهد بنابراین برای جلوگیری از فرسایش داخلی تا حد ممکن باید از تراکم بیش از حد پرهیز کرد. درجه بندی فیلتر هسته به طور چشم گیری نفوذپذیری هسته را کاهش می دهد اما توزیع مجدد مواد داخلی باعث جلوگیری از این امر نمیگردد. انتخاب مواد به کار رفته در هسته به طور کلی با توجه به تجربیات و دستورالعملهای گذشته است.

ممکن است نفوذ بستر از مقادیر موجود در طراحی بزرگتر باشد و همچنین ممکن است که با طراحی ممکن ارتفاع تاج کاهش یابد و همین امر باعث بالازدگی آب بر روی بستر موج شکن گردد. در بستر دریا بهتر است که پیش از اجرا عملیات تحکیم صورت گیرد اما می توان با مرحله بندی ساخت و ساز به گونه ای عملیات تحکیم را انجام داد که تحکیم به عنوان درآمد حاصل از ساخت و ساز رخ دهد و منجر به هزینه ی اضافی نگردد. از آنجایی که هسته بدون هیچ سپر محافظتی است

[32] DR.CARVALHO 1964

Archive of SID

www.SID.ir

تجزیه ی آن در گام اول توسط موج صورت می گیرد که ممکن است به واحدهای زره در آینده آسیب برساند. روانگرایی موج ناشی از زلزله باعث می شود در طراحی ملاحظاتی را در نظر بگیریم.

تکنیک های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل پروفیل های تعادل را می توان به ارزیابی رفتار هسته در زمان طوفان استفاده کرد. مشخص کردن حداکثر طول هسته بر اساس خطر آسیب در زمان ساخت و ساز برآورد می گردد.

رو ساخت (بنای فوقانی)

روبنا شامل یک بلوک سرپوش بتنی یا دیوار تاج است که دسترسی را برای تعمیر و نگهداری و بازبینی دوره ای فراهم می سازد و ضروریست که این واحد به صورت توخالی طراحی و اجرا گردد. همچنین این بنا می تواند مقدار بالازدگی آب را کاهش دهد و تاج موج شکن را تقویت کند.

بارگذاری دینامیکی نتیجه ی تاثیر موج بر بنای فوقانی موج شکن و بر اساس بالا آمدگی است، در پشت این بنا میتوان سوراخ دریچه تعبیه کرد ولی شرط آن تمیز نگه داشتن این دریچه هاست. از بالاآمدگی موج ممکن است بار قائم اضافی حاصل شود. جان پناه در نظر گرفته شده برای جلوگیری از بالاآمدگی موج ممکن است باعث به تله انداختن امواج و درنتیجه سر ریز شدن آب از روی زره را حاصل شود. درهای کشویی توسط اصطکاک بین لایه ی زیرین و هسته مقاوم می شوند.

ینسن[۳۳] در سال ۱۹۸۳ دستورالعملهای زیر را ارائه کرد :

i. ارتفاع زره پوش به سمت دریا را گسترش دهید (برای به حداقل رساندن نیروهای وارد به بنای فوقانی)
ii. بلوک کلاهک به هسته و پاشنه ی موج شکن متصل کنید
iii. گسترش هسته تا قسمت زیرین بلوک کلاهک
iv. گسترش شیب بادپناه که به طور مستقیم در معرض بالازدگی آب است تا آب بالا زده با عبور از بادپناه به طور مستقیم از روی زره به سطح آب دریا بازگردد.

مواد موجود در زیر پله یا باید دارای نفوذپذیری بالایی باشند تا فشارهای بالارونده را کاهش دهند و یا باید دارای نفوذپذیری کمی باشند تا افزایش منافذ نفوذ آب جلوگیری کنند. با این حال ممکن است زره پوش در سمت بادپناه کنده شود.

[33] Jensen 1983

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه گیری

تابع اصلی موج شکن آواری عمل محافظت در برابر موج بیشینه است. با وجود بیش از شش دهه از تحقیقات کاربردی، طراحی همچنان تا حد زیادی بر تجربه و مدل سازی فیزیکی از ساختار پیشنهاد می شود. تعامل بین واحدهای زره پوش شناخته شده است و در نتیجه طراحی لایه های زره پوش تا حد زیادی تجربیست. ثبات زره توسط وزن آن، شکل، اندازه ی زیر لایه ها و شکل آنها، نفوذپذیری هسته، پشتیبانی شصت پا و جزیئات بنای فوقانی حاصل می شود. آسیبهای بوجود آمده در لایه ی زره پوش باید در بازدید دوره ای به طور کلی گزارش شوند. ضروریست که آزمون مدل وضعیت دریا را بدرستی شبیه سازی کند. جنبه های علمی تحقیق و تبدیل آن از یک مدل به ساختاری با مقیاس ایده آل در اندازه ی کامل ، بستگی به فاز ساخت و ساز و تعمیر و نگهداری آن دارد .

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

چگینی، وحید(۱۳۷۷) – راهنمای طراحی موج شکنها (جلد اول و دوم) مجموعه کتابهای مهندسی دریا، شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری.

فاز مطالعاتی طرح محافظت از ساحل دهنه سرکیاشهر (دهنه سر سفیدرود) – کارفرما شرکت سهامی آب منطقه ای استان گیلان، مشاور طراحان محیط خزر ۱۳۸۴.

سید مجدالدین میرحسینی، بابک عارف پور(۱۳۷۸) – مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای (ترجمه)، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

حاجتی مدارکی، عطاوا... لشته نشایی، میراحمد خوش بین(۱۳۸۲)، "ضرایب اطمینان در برابر واژگونی دیوارهای ساحلی بتنی" مجموعه مقالات ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران، از صفحه ۴۹۷ الی ۵۰۴.

PIANC.2000,Seismic Design Guidline for Port Structures,Working Group No.34 of Maritime Navigation Commisson international Navigation Association.

Shore Protection Manual,1992,Coastal Engineering Research Center,U.S.Army Corps of Engineering,Washington D.C.

Hoque,M.A&Asano,T.&Lashteh Neshaei,M.A(2001).“Effect of ReflectiveStructures on Undertow Distribution“.Proceeding of the Fourth International Symposium Wave2001.California,USA,Vol.2,PP1042-1051

Archive of SID

www.SID.ir