

طراحی بهینه موج شکنهای مایل به روش المان محدود

میر احمد لشته نشایی^۱

مرتضی شاکری مجد^۲

چکیده

موج شکنهابه عنوان سازه های محافظ بنادر و سواحل از اهمیت خاصی برخوردار میباشند. تحلیل و طراحی این نوع سازه با توجه به پیچیدگی نیروهای وارد بر آن و گوناگونی خصوصیات و شکل موج با مسائل مختلفی همراه است که مطالعه و تحقیق چند جانبه ای را از لحاظ سازه ای، زمین شناسی، هیدرولیکی می طلبد. بطور کلی دو دسته اصلی از موج شکنها مورد توجه خاص قرار گرفته اند که دسته اول موج شکن های مایل و دسته دوم موج شکن های قائم می باشند. در این مقاله تلاش شده است که ضمن بررسی کلیه ی نیروهای داخلی، خارجی و نحوه عملکرد هریک از این نیروها و چگونگی پاسخگویی مقاطع موج شکنهای مایل در برابر این نیروها، مؤثرترین پارامترهای طراحی که اقتصاد طرح را کنترل می نمایند، تعیین شود و با استفاده از این پارامترها، مقاطع بهینه ی اقتصادی که شرایط پایداری را هم تامین نمایند تعیین گردد. در این پژوهش از نرم افزار ADINA جهت طرح بهینه این سازه ها استفاده شده و درکنار آن نتایج بصورت کاربردی برای استفاده در طراحی اینگونه سازه ها ارائه شده اند. باتوجه به اهمیت شیب جانبی در طرح اقتصادی موج شکنهای مایل، در پژوهش حاضر با تاکید بر روابط متداول طراحی این نوع مقاطع، سعی بر این بوده که زاویه شیب بهینه در حالات مختلف طراحی تعیین گردد که نتایج مطالعات انجام شده محدوده مشخصی را با توجه به لا به بندی مقطع موج شکنهای مایل برای این زاویه بدست می دهند که می تواند در طراحی مد نظر قرار گیرد.

کلید واژه: سازه های دریایی، حفاظت ساحلی، موج شکنهای مایل، مدل سازه ای المان محدود، بهینه سازی مقاطع

Optimum Design of Rubble-mound Breakwaters using Finite Element Method

Abstract:

Study of different types of breakwaters has been one of the most important issues in marine engineering research during the past decades. Breakwaters are commonly constructed to prevent the harbors against wave action. Although there exist advanced, models in the literature regarding design of breakwaters, there is not enough information on economically optimum design of such structures.

In this paper, an economical analysis of breakwaters cross section is made to optimize the total cost of construction. Using ADINA software, the stress – strain analysis of breakwater cross section due to the economical external loads is performed and the results are presented in such a way that they can be used by researchers and designers for optimum design procedure of such structures.

Keywords: marine structure, offshore protection, breakwaters, finite element structural design, section optimization.

^۱ - استادیار گروه عمران - دانشکده فنی - دانشگاه گیلان

^۲ - کارشناس ارشد سازه هیدرولیکی mortezashakeri@yahoo.com

موج شکنها سازه هایی هستند که از بنادر و سواحل در مقابل امواج و جریانهای ساحلی محافظت می کنند. به طور کلی موج شکنها را می توان به دو دسته جدا از ساحل و متصل به ساحل تقسیم کرد. در حالت اتصال به ساحل، برای حفاظت ساحل بندر خارجی و در مواردی بندر داخلی، لنگرگاه و یا حوضچه در برابر امواج مورد استفاده قرار می گیرد. این سازه با کاستن از انرژی امواج، ارتفاع آنرا در ناحیه بندر کاهش می دهد و منطقه حفاظت شده ای برای پهلوگیری و مهارکشتیها و بارگیری و باراندازی آنها و دیگر تاسیسات بندر بوجود می آورد. موج شکنهای جدا از ساحل عمدتاً برای حفاظت از ساحل، در مقابل اثر موج یا تسونامی احداث می شوند. در این حالت، این سازه برای حفظ پایداری یک سازه محافظ ساحل نظیر دیوار ساحلی یا برای کاستن از فرسایش ساحل و یا برای اهداف نظیر آن به کار می رود [۱]. معمولاً موج شکن دور از ساحل به صورت یک سازه منقطع اجرا می شود که تعیین فواصل بین قسمتهای مختلف آن و طول آنها با توجه به نیاز طرح و بر اساس بررسی های انجام شده روی مدل هیدرولیکی مشخص می شود. روشهای دیگر تقسیم بندی موج شکنها را می توان بر اساس مصالح به کار رفته در آنها و یا نوع سازه تقسیم بندی کرد. سنگ طبیعی و بتن و یا ترکیبی از آنها در بیش از ۹۵٪ موج شکنهایی که تاکنون ساخته شده اند به کار رفته است. فولاد، چوب و حتی در بعضی موارد هوای فشرده هم برای شکستن نیروی امواج مورد استفاده قرار گرفته اند [۲]. از نظرنوع سازه مهمترین انواع موج شکنها عبارتند از موج شکنهای شیبدار (توده ای)، موج شکنهای دیواره ای (قائم)، موج شکنهای مرکب و موج شکنهای ویژه. گاهی از موج شکنها برای حفاظت کانال دسترسی در مقابل انتقال رسوب ساحلی و پایدار کردن یا ساماندهی یک مصب استفاده می شود، که در چنین حالتی Jetty نامیده می شود [۳]. انتخاب نوع موج شکن معمولاً با توجه به مواد موجود در محل یا در نزدیکی آن انجام می شود. عمق آب، وضعیت کف دریا، وظایف مورد انتظار از موج شکن و سرانجام تجهیزات موجود برای ساخت موج شکن از عوامل تعیین کننده می باشند. در مورد مساله طراحی موج شکنها هم با یک نگاه کلی می توان گفت که عوامل موثر عبارتند از: خطوط تراز بستر - تغییرات سطح آب در اثر جزر و مد، مشخصات موج و جریانهای ساحلی، باد، شرایط پی، رسوبات ساحلی، دسترسی به مصالح ساختمانی و کیفیت آنها و شرایط خاص نظیر استفاده از موج شکن، به عنوان اسکله، مقاصد کشتیرانی، تفریحی و غیره و نهایتاً عوامل اقتصادی و سیاسی [۵].

۲- فلسفه طراحی

مبانی طراحی هریک از موج شکنها را می توان به طور خلاصه به صورت زیر تبیین کرد: موج شکنهای قائم به عنوان سازه های صلب در نظر گرفته شده و با یک تحلیل شبه استاتیکی طراحی می شوند. در این شرایط بیشینه موج در پای سازه مورد ارزیابی قرار می گیرد. به این منظور مقادیر فشار، بار و حرکت از فرمولهای طراحی محاسبه می شوند. در نهایت بارهای اعمال شده به سازه با مقاومت آن مقایسه شده و ضرایب اطمینان برای تأیید محاسبه می شوند. در چنین حالتی عدم قطعیتی در طراحی وجود دارد که تا حد زیادی به شرایط موج و اعتبار فرمولهای بکار برده شده بستگی دارد [۶].

موج شکنهای مایل به عنوان سازه های انعطاف پذیر در نظر گرفته می شوند. در این نوع سازه اندر کنش موج و سازه به خوبی درک نشده است. به همین دلیل طراحی موج شکنهای مایل بر اساس مفهوم آسیب قابل قبول یا حرکت اصلی آرمور انجام می شود. بدین منظور با استفاده از روابط تجربی، طراحی آرمور اصلی به ازای شرایط معین موج انجام می شود و سایر اجزای سازه توده سنگی به طور تجربی به لایه آرمور اصلی مربوط می شوند. در این نوع سازه ها مساله عدم قطعیت در طراحی ناشی از شرایط امواج است. در فلسفه طراحی موجود، ضریب اطمینان را نمی توان با استفاده از تحلیل نیمه استاتیک محاسبه کرد. البته پیشرفت هایی در طراحی با استفاده از احتمالات سازه های توده سنگی حاصل شده است. با وجود اینکه تعداد زیادی از پارامترهای دریا نظیر دوره موج، انرژی طیفی، جهت و نحوه شکستن امواج نیز در فرآیند طراحی دارای اهمیت ویژه ای می باشند، اما بهتر است که ارتفاع موج به عنوان معیار انتخاب شود زیرا ارتفاع موج عامل اصلی در ارزیابی عمل موج است. به طوریکه افزایش ارتفاع موج در پای سازه در ناحیه خاصی از دریا عموماً به افزایش احتمال تخریب سازه منجر می شود. در هر حال شرایط حادی موج که برای طراحی یک موج شکن انتخاب می شود باید به دقت مورد ارزیابی قرار گیرد. معمولاً موج طرح را به صورت مقدار مجردي از ارتفاع موج، که احتمال تجاوز ارتفاع از آن مقدار طی عمر سازه کم بوده در نظر می گیرند.

البته پارامتری که برای توصیف ارتفاع موج در حالت معینی از دریا به کار می رود، با توجه به روش طراحی مورد استفاده تغییر می کند به عنوان مثال در طراحی دیواره های قائم، استفاده از ارتفاع بیشینه موج H_{max} معمول است، در حالیکه در طراحی موج شکنهای توده سنگی از ارتفاع موج مشخصه H_s یا ارتفاع متوسط یک دهم مرتفع ترین امواج استفاده می شود. تخریب زمانی اتفاق می افتد که موج شکن دیگر نتواند به عنوان محافظ بندر یا ساحل عمل نموده و یا هزینه تعمیر سازه در اثر آسیب وارده غیر قابل قبول باشد. چنین وضعیتی، حالت حدی نهایی نامیده می شود. در مقابل این وضعیت حالتی وجود دارد که علی رغم آسیب دیدن موج شکن به ابعاد قابل توجه، هنوز امکان انجام کارهای معمول در داخل بندر وجود دارد. حالت اخیریه نام حالت حدی قابلیت سرویس نامیده می شود [۷]. در هر صورت احتمال میزان آسیب قابل قبول طی عمر سازه باید در مراحل اولیه انتخاب شود. بدین ترتیب که باید هزینه تعمیر سازه برآورد شده و در ارزیابی امکان پذیری پروژه از نظر اقتصادی در نظر گرفته شود. اگر چه در مراحل اولیه پروژه برآورد اولیه فوق چندان دقیق نیست، اما دقت این برآورد را می توان با پیشرفت کار و جمع آوری اطلاعات بیشتر افزایش داد.

۲-۱- طراحی کلی موج شکنها، روشهای اجرا و نگهداری سازه

تعیین اقلیم موج نخستین قدم در طراحی است. مشخصات موج را می توان در مرحله امکان پذیری مقدماتی با استفاده از روشهای پیش بینی موج ناشی از توفان تعیین کرد. در این روشها ارتفاع و دوره موج با استفاده از سرعت باد، مدت توفان و طول موج بدست می آیند. پیش از جمع آوری اطلاعات مفصل تر و تحلیل آنها، باید تعدادی از گزینه های طراحی اولیه را آماده و با یکدیگر مقایسه کرد. طراحی کلیه موج شکنها جز در موارد ساده باید با استفاده از مدل هیدرولیکی کنترل شوند. مقاطعی که باید مورد آزمایش قرار گیرند، پس از مقایسه گزینه های طراحی و انتخاب مقطع بهینه انتخاب خواهند شد. انجام آزمایشات مدل هیدرولیکی موثرترین و قابل اطمینان ترین راه برای تعیین پایداری یک موج شکن طراحی شده است و همچنین پیشرفتهای اخیر حاصله در روشهای آزمایشگاهی امکان بررسی مهمترین جنبه های هیدرولیکی پایداری سازه را فراهم کرده اند. یک سری آزمایشات جامع مدل فیزیکی باید برای اصلاح طرح و تعیین ایمنی آن تحت شرایط حدی انجام شود. به علت محدودیتهای زمانی و اقتصادی انجام آزمایشات مدل فیزیکی بر روی کلیه گزینه ها بندرت عملی است. بنابراین برنامه آزمایشگاهی باید برای بالا بردن راندمان آزمایشات و کمک به تفسیر نتایج به دقت تنظیم شود. اخیراً پیشرفتهایی در زمینه مدل محاسباتی برای بررسی رفتار هیدرولیکی سازه ها صورت گرفته است. همچنین برخی مدل های محاسباتی برای بررسی رفتار هیدرولیکی در داخل یک سازه توده سنگی و اثرات آن بر روی پایداری کلی ژئوتکنیکی تهیه شده اند [۸].

مرحله نهایی هر فرآیند طراحی شامل تحلیل کامل ریسکهای مورد انتظار و عواقب آسیب با نگرشی بر ایجاد تعادل بین هزینه های مقابله با آسیب قابل قبول و سرمایه گذاری اولیه می شود. البته توجه به مسائل تأمین ضرایب اطمینان کافی در مقابل انواع آسیبی که می توانند به خرابی کل سازه منجر شوند، اهمیت دارد. حجم و قابلیت اطمینان اطلاعات جمع آوری شده، نتایج آزمایشات مدل هیدرولیکی و محدودیتهای آنها، قابلیت دسترسی به مصالح ساختمانی و هزینه آنها، روشهای احداث و ریسک آسیب به سازه و تعمیر آنها، همگی باید در مرحله نهایی طراحی سازه مورد توجه قرار گیرد. همچنین تحلیل ریسک، باید به طور کامل در مرحله نهایی طراحی مورد توجه قرار گیرد. البته طراح لازم است در کل فرآیند طراحی به حاشیه های اطمینان کافی در مقابل تخریب نهایی طی عمر سازه و کاربرد فلسفه تحلیل ریسک توجه کند.

۲-۲- روشها و روابط طراحی موج شکنها

معمولاً استفاده از مدل های فیزیکی جهت طراحی دقیق کلیه سازه های مهم توده سنگی پیشنهاد می شود. باید توجه داشت که فرمولهای ارائه شده عموماً برای تشریح عملکرد هیدرولیکی تعداد کمی از حالت های ساده شده کاربرد دارند [۹]. در این خصوص می توان به دو رابطه معروف جهت محاسبه وزن قطعات لایه آرمور زیر اشاره کرد:

الف - رابطه ایری بارن

$$W = (mH^3 \gamma_a) / (\Delta^3 (\cos \theta - \sin \theta)^3)$$

ب- رابطه هودسون

$$W = \rho_a H^3 / (K_D \Delta^3 \cot \alpha)$$

که در آن:

$$\Delta = S_r - 1$$

ρ_a : وزن مخصوص مصالح لایه آرمور

H : ارتفاع موج طرح

K_D : ضریب پایداری

γ_a : چگالی مصالح لایه آرمور

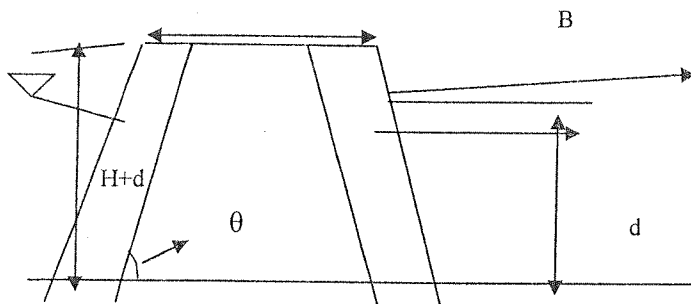
m : ضریب جنس سنگ

در اغلب موارد آزمایشها برای محدوده، مشخصی از شرایط موج انجام می شوند. همچنین هندسه سازه های مورد آزمایش هم اغلب مشمول ساده سازیهای زیادی است. به هر حال در استفاده از هر رابطه باید به وضعیت مورد استفاده در تعیین آن رابطه توجه زیادی داشت. شرایط محیطی (موج، جریانها و مشخصات ژئوتکنیکی) ما را به سوی پارامترهای تعیین شرایط مرزی بر روی سازه و یا در مقابل آن رهنمون می نماید. اینها پارامترهای هستند که اغلب تحت تأثیر خودسازه قرار نداشته و طراح هیچ اختیاری بر روی چنین پارامترهایی ندارد. ارتفاع موج، نحوه توزیع ارتفاع امواج، شکست موج، شکل طیفی، زاویه موج، جریانات ساحلی هندسه ساحل، عمق آب و ترازهای مختلف آب از پارامترهای هیدرولیکی محیطی اصلی می باشند. یکی از شرایط ژئوتکنیکی محیطی خاص، زلزله می باشد. پارامترهای حاکم می توانند به پارامترهای هیدرولیکی، پارامترهای ژئوتکنیکی و پارامترهای سازه ای تقسیم بندی شوند. پارامترهای مربوط به چگونگی عملکرد موج بر روی سازه منجر به پاسخ هیدرولیکی سازه می شوند. پاسخهای هیدرولیکی مهم عبارتند از: بالا روی و پایین آمدگی موج، سرریزی موج، عبور (انتقال) امواج و بازتاب امواج از جمله پارامترهای ژئوتکنیکی هم به عنوان مثال، می توان به روانگرایی، گردایانه های دینامیکی و فشار آب منفذی اضافی اشاره کرد. پارامترهای سازه ای زیادی هستند که می توانند برای یک سازه تعریف شوند. تعدادی از پارامترهای سازه ای عمده عبارتند از: شیب سازه، جرم و چگالی جرمی سنگ، شکل سنگها، صافی سطح آنها، چسبندگی، تخلخل، نفوذ پذیری، مدول بالک، مدول برشی، ابعاد و اندازه های مقطع افقی سازه [۱۰]. بارهای وارده بر سازه یا اجزای آن از روی پارامترهای محیطی، هیدرولیکی، ژئوتکنیکی و سازه ای در ترکیب با هم تعیین می شوند. این بارها را می توان به سه دسته تقسیم کرد: بارهای ناشی از حرکت خارجی آب بر روی شیب، حرکت داخلی آب و بار زلزله حرکت خارجی آب تحت اثر عواملی نظیر تغییر شکل موج (شکنا یا ناشکنا بودن آن)، و بالا روی و پایین آمدگی، عبور (انتقال) امواج، سرریزی و بازتاب موج قرار دارد. حرکت داخلی آب هم شامل مواردی نظیر نفوذ یا تراوش آب در سازه، تغییرات فشار منفذی می باشد. می توان گفت تقریباً کلیه پارامترهای سازه ای کم و بیش بر روی بارها مؤثرند. به عنوان نمونه اندازه، شکل و دانه بندی سنگهای آرمور بر روی زبری شیب و در نتیجه بر بالا روی و پایین آمدگی موج مؤثرند. دانه بندی فیلتر در کنار مشخصات سنگهای آرمور، بر نفوذ پذیری سازه و به تبع آن بر روی حرکت داخلی آب مؤثر می باشند. برای فرموله کردن قدرت سازه از پارامترهای سازه ای استفاده می شود. که طبق گفته های فوق این پارامترها اثر زیادی هم دارند و سرانجام مقایسه قدرت و بارها، ما را به سمت پاسخی از سازه یا اجزای آن رهنمون می نماید که به اصطلاح مکانیسم خرابی نامیده می شود. مکانیسم خرابی می تواند به صورت قطعی و یا احتمالی مورد بررسی قرار گیرد. پاسخهای سازه ای و هیدرولیکی عبارتند از پایداری لایه های آرمور، لایه های فیلتر، تاج و پشت موج شکن، خاکریزهای پنجه و پایداری دیوارهای تاج و پایداری دینامیکی شیبها، پاسخهای ژئوتکنیکی شامل فعل و انفعالات خرابی لغزشی، نشست، روانگرایی، پاسخهای دینامیکی، فرسایش و ضربات داخلی می باشند [۱۱].

۲-۳- اصول کلی بهینه سازی ابعاد موج شکن و مبانی ریاضی

هدف از ارائه این بخش شرح مجموعه فرضیات، محاسبات و عملیات انجام شده جهت مدل سازی و تحلیل پارامترهای سازه ای موج شکن می باشد. در این راستا نخست کلیاتی در مورد ترتیب اعمال نیروها شرح داده می شود. فرضیات به کار رفته مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه ضمن معرفی نرم افزار بکار رفته مراحل مختلف مدل سازی و تحلیل انجام داده می شود. در هر مورد از نتایج مورد نیاز استفاده شده تا به هدف مورد نظر یعنی مقطع بهینه دست یافته شود. کلیه پارامترهای هندسی مقطع در این بخش به عنوان متغیر تلقی می شوند و با تغییر هر یک از آنها و اجرای برنامه به بهینه سازی و کنترل پایداری مقطع پرداخته می شود. تعداد زیادی از پارامترها نظیر ارتفاع موج تصادفی، عمق آب در جلوی موج شکن و تراز

ایستایی جز شرایط محیطی می باشند و طراح کنترل خاصی بر آنها ندارد. از سوی دیگر پارامترهایی وجود دارد که بسته به نوع استفاده از موج شکن به طراح دیکته می شود نظیر عمق ارتفاع آزاد که به نوع استفاده از موج شکن مرتبط می شود. بدین ترتیب تنها پارامتر مستقلی که برای موج شکن مایل تعیین کننده است، زاویه شیب موج شکن می باشد. به ازای هر زاویه شیب خاص موج شکن (پارامتری که کاملاً در اختیار طراح می باشد) وزن کل موج شکن، وزن واحدهای آرمور و ابعاد واحدهای آرمور تعیین و تغییر می یابند و انتخاب بهینه زمانی رخ می دهد که پایداری سازه تامین گردد. در مورد موج شکن های قائم تعیین پارامترهای مؤثر در بهینه سازی اقتصادی بسیار آسانتر است زیرا در این مورد مشخصاً حجم کمتر مصالح سبب بهینه شدن طرح می گردد و طرح در ارتباط با پایداری مشکل زیادی نخواهد داشت. تنها مسأله رعایت پایداری در عین سرویس دهی لازم می باشد که این مسأله با تغییر عرض مقطع یعنی حداقل عرضی که با شرایط موجود (عمق آب در جلوی سازه - ارتفاع موج و ...) و شرایط سرویس دهی قابل قبول باشد حل خواهد شد. از آنجایی که شرایط سرویس دهی ارتفاع مقطع را هم در اغلب موارد دیکته می کند در نتیجه حجم کل مقطع و به طبع آن وزن کل در حالت بهینه قابل محاسبه خواهد بود [۴].



B: عرض در قسمت تاج موج شکن
A: مساحت در مقطع عرضی موج شکن Armor Layer
V: حجم موج شکن
W: وزن لایه آرمور
n: تعداد لایه آرمور

با استفاده از فرضیات فوق و در حالت کلی خواهیم داشت:

$$B = 3K_{\Delta} D_{n50}; A = [B + (h+d)/\text{tg } \theta] * (h+d) \quad (3-1-1)$$

$$V = A \cdot D_{n50} = [3 K_{\Delta} D_{n50} + (h+d)/\text{tg } \theta] * (h+d) \cdot D_{n50} \cdot \gamma_s \quad (3-1-2)$$

$$W = N * W_1; W = [(d+h) * (D_{n50})^2] / \text{Sin } \theta \quad (3-1-3)$$

رابطه (۳-۱-۳) در مورد هر محاسبه وزنی صادق خواهد بود. در اینجا به طور خاص از برای فرمول ابری بارن استفاده شده

است. بنابراین خواهیم داشت:

$$D_{n50} = (W/\gamma_s)^{1/3} \quad (3-2-1)$$

وزن مصالح داخلی مقطع موج شکن (W_{int}) در این حالت عبارت است از:

$$W_{int} = \{ [(3 * K_{\Delta} * m^{1/3} * H) / (\Delta * (\text{Cos } \theta - \text{Sin } \theta))] + (h+d)/\text{tg } \theta \} * (h+d) * [m^{1/3} * H * \gamma_{sint}] / (\Delta * (\text{Cos } \theta - \text{Sin } \theta)) \quad (3-2-2)$$

با فرض پارامترهای زیر خواهیم داشت:

$$C_1 = [3 * K_{\Delta} * m^{2/3} * H^2 * (h+d) * \gamma_{sint}] / \Delta^2$$

$$C_2 = [(h+d)^2 * m^{1/3} * H * \gamma_{sint}] / \Delta$$

در این مرحله با مشتق گیری نسبت به θ در رابطه (۳-۲-۲) مسئله را ادامه می دهیم:

$$dW_{int} / d\theta = [2 * C_1 * (\text{Cos } \theta + \text{Sin } \theta) / (\text{Cos } \theta - \text{Sin } \theta)^3] + [C_2 * \text{Cotg } \theta * (\text{Cos } \theta + \text{Sin } \theta) / (\text{Cos } \theta - \text{Sin } \theta)^2] - [C_2 * \text{Csc } \theta^2 / (\text{Cos } \theta - \text{Sin } \theta)] \quad (3-2-3)$$

وزن لایه موج شکن از دو رابطه (۳-۲-۳) و (۳-۲-۴) قابل محاسبه خواهد بود:

$$W = [(d+h) * m^{2/3} * H^2 * \gamma_s] / [\Delta^2 \text{Sin } \theta (\text{Cos } \theta + \text{Sin } \theta)^2] \quad (3-2-4)$$

$$W = [(d+h) * m^{2/3} * H^2 * \gamma_s] / [\Delta^3 \text{Sin } \theta (\text{Cos } \theta - \text{Sin } \theta)^2] \quad (3-2-5)$$

با فرض پارامتر زیر خواهیم داشت:

$$C_3 = [(d+h) * m^{2/3} * H^2 * \gamma_s] / \Delta^3$$

$$W = C_3 * 1 / [\text{Sin } \theta (\text{Cos } \theta - \text{Sin } \theta)^2] \quad (3-2-6)$$

در این مرحله در رابطه (۳-۲-۶) مشتق گیری نسبت به W را ادامه خواهیم داد:

$$dW/d\theta = [2C_{sc}\theta(\cos\theta + \sin\theta)/(\cos\theta - \sin\theta)^3] * C_3 - [C_{tg}\theta * \cos\theta * C_3^2 / (\cos\theta + \sin\theta)] \quad (3-2-7)$$

بنابراین وزن بهینه کل برای موج شکن از رابطه (۸-۲-۳) بدست خواهد آمد:

$$W_{sum} = W + W_{int}$$

$$dW/d\theta = 0 ; dW/d\theta + dW_{int}/d\theta = 0$$

$$[2C_1(\cos\theta + \sin\theta) + C_2 C_{tg}\theta(\cos\theta + \sin\theta)(\cos\theta - \sin\theta) - C_2 C_{tg}\theta(\cos\theta + \sin\theta)(\cos\theta - \sin\theta) - 2C_3 C_{sc}\theta(\cos\theta + \sin\theta) - C_3 C_{tg}\theta C_{sc}\theta(\cos\theta - \sin\theta)/(\cos\theta - \sin\theta)^3] = 0 \quad (3-2-8)$$

برای حل در این قسمت از روش نیوتن-رافسون استفاده می شود که نهایتاً منجر به معادلات زیر خواهد شد.

$$\theta_n = \theta_{n-1} - f(\theta_{n-1}) / f'(\theta_{n-1})$$

$$f'(\theta) = 2C_1(\cos\theta - \sin\theta) + C_2 \{-4(\cos^2\theta + \csc^2\theta)[(\cos\theta + \sin\theta) + 2C_{tg}(\cos\theta - \sin\theta)]\}.$$

$$(\cos\theta - \sin\theta) + C_3 \{C_{sc}\theta[2(\cos\theta - \sin\theta) - C_{tg}\theta(\cos\theta + \sin\theta)] + C_{sc}\theta(\cos\theta - \sin\theta)\}.$$

$$(\cotg^2\theta + \csc^2\theta) \quad (3-2-9)$$

۲-۴- معرفی نرم افزار و تواناییهای مورد استفاده

جهت تهیه مدل اجزای محدود موج شکن از نرم افزار ADINA بهره گرفته شده است. از جمله مهمترین دلایل استفاده از این نرم افزار توانایی آن در مدل کردن هندسه های پیچیده بدون ایجاد نقاط منفرد می باشد. یعنی سازه هایی که در مدل های دستی و اولیه به صورت جدا از هم تلقی می شود را می توان به راحتی به کمک این برنامه یکپارچه مدل نمود و نتایج حاصله را با دقت بالا بررسی نمود. نرم افزار واسط ADINA - M به عنوان ابزاری در جهت نیل به هندسه های سه بعدی پیچیده عمل می نماید و جهت اتصال جزئیات مدل شده به یکدیگر مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به سطوح با نسبت طول به عرض قابل توجه در هندسه مدل در صورت استفاده از المان هایی با مشخصات مکعبی شکل هشت گرهی به دلیل ایجاد اجزایی با نسبت هایی نامناسب پاسخ های نهایی همراه با خطای بسیار بدست می آید. به همین دلیل از المان هرمی شکل هشت گرهی جهت رفع این خطا استفاده گردید. جهت تحلیل مدل ساخته شده از الگوریتم تحلیل فوق استفاده شده است که از جمله برتری های نرم افزار ADINA بر سایر نرم افزارهای اجزای محدود می باشد. این الگوریتم که مخصوص مدل های سه بعدی پیچیده است به کاهش زمان و افزایش دقت در تحلیل می انجامد و بدین ترتیب سبب تسریع در محاسبات می شود. مشابه بسیاری از نرم افزارهای اجزای محدود، این نرم افزار نیز قابلیت مدل سازی فنرهای خطی و غیر خطی را دارا می باشد که برای در نظر گرفتن رفتار خاک زیر بستر سازه از این قابلیت استفاده می شود. با توجه به تمامی موارد ذکر شده مدل اجزای محدود سازه تهیه شده قابل ذکر است که در تهیه مدل حداکثر تلاش جهت تطابق با هندسه واقعی بکار گرفته شده و مدل سازی به صورت 3 Dsolid انجام شده است که نمونه هایی از آن در اشکال (۱) و (۲) مورد بررسی قرار گرفته است. جهت مدل سازی دو قسمت مجزا شامل هسته و پوسته (لایه آرمور) با خصوصیات مشخص از پیش تعیین شده مورد استفاده قرار گرفتند. سپس پی سازه به عنوان لایه هسته به صورت master و لایه آرمور به صورت slave در نظر گرفته شد. مدل های مختلف ساخته شده واقعی (ابعاد موج شکن بندرانزلی و بندر نوشهر) با ابعاد سازه ای متفاوت مدل شده و نیروهای موثر بر آن اعمال گردید. کنترل مقدار جابجایی در سه جهت محورهای مختصات با توجه به اشکال (۳) و (۴) و سپس کنترل تنش در لایه های مختلف با توجه به شکل (۶) صورت گرفت. در انتها کرنش اعضا و پایداری سازه با توجه به اشکال (۷) و (۸). کنترل شده و نتایج مدل های پایدار به صورت جداول و نمودارهای ضمیمه ارائه شده اند (گراف و جدول ایری بارن و هودسون).

۳- نتیجه گیری

۱- در مورد طراحی موج شکنها با یک نگاه کلی می توان گفت که عوامل موثر عبارتند از: خطوط تراز بستر، تغییرات سطح آب در اثر جزر و مد، باد، رسوبات ساحلی، دسترسی به مصالح ساختمانی و کیفیت آنها، شرایط خاص نظیر استفاده از موج شکن

به عنوان اسکله، مقاصد کشتیرانی و غیره، عوامل اقتصادی و سیاسی در کنار عواملی نظیر مشخصات موج، شرایط پی و نحوه استقرار موج شکن در سایت مورد نظر.

۲- به نظر می رسد که عامل کلیدی در بهینه سازی موج شکنهای مایل زاویه شیب موج شکن می باشد. که نمونه هایی از آن در شکل هانمایش داده شده است.

۳- عامل اساسی در بهینه سازی موج شکنهای قائم عرض مقطع می باشد.

۴- مطابق رابطه هودسون، زاویه شیب بهینه برای موج شکنهای مایل بین ۳۵ تا ۶۰ درجه می باشد که بسته به نوع آرمور، ارتفاع موج، ارتفاع آزاد سازه و عمق آب جلوی موج شکن متغیر است.

۵- مطابق رابطه ابری بارن، زاویه شیب بهینه موج شکنهای مایل بین ۲۰ تا ۲۵ درجه می باشد که با توجه به نوع آرمور، ارتفاع موج، ارتفاع آزاد سازه و عمق آب جلوی موج شکن تغییر می کند.

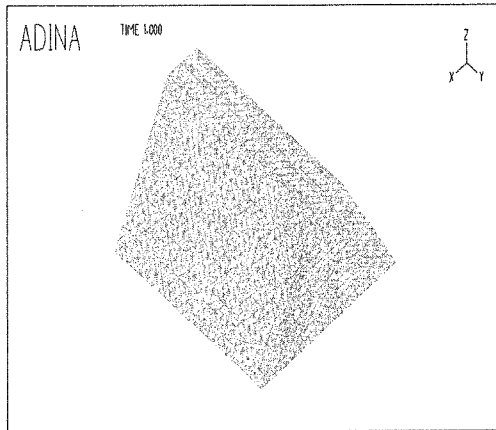
۶- توجه به تفاوت نتایج بندهای ۴ و ۵، نشانگر اهمیت لایه آرمور در شیب بهینه موج شکن می باشد. چرا که اختلاف اساسی فرمولهای ابری بارن و هودسون در نحوه اعمال جنس لایه آرمور می باشد.

۷- عرض بهینه موج شکنهای قائم می تواند، با توجه به ارتفاع موج، عمق آب در جلوی سازه، ارتفاع پی توده سنگی و ارتفاع آزاد سازه تعیین گردد.

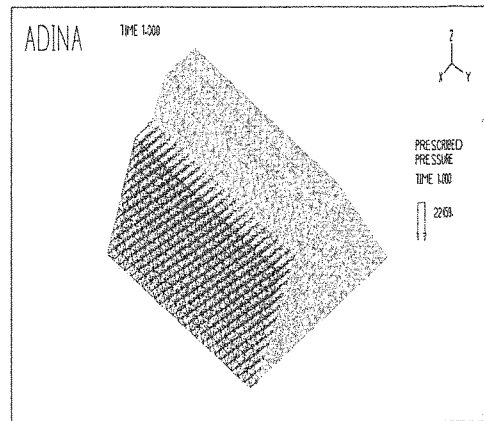
۴- منابع و مراجع

- ۱- شاکری مجد، مرتضی، (۱۳۸۲) - پایان نامه کارشناسی ارشد- طراحی بهینه موج شکنهای قائم و مایل.
- ۲- پیش نویس آیین نامه سازه های دریایی ایران، سازمان بنادر و کشتیرانی، ۱۳۸۰ (در حال تدوین).
- ۳- چگینی، وحید، (۱۳۷۷) - راهنمای طراحی موج شکنها (جلد اول) مجموعه کتابهای مهندسی دریا، شماره ۲، شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری.
- ۴- مهرداد، میر عبدالحمید، لسته نشایی، میر احمد، پشدار، محمد، اردیبهشت ماه ۱۳۸۲، بررسی تاثیر شیب جانبی در طرح اقتصادی موج شکنهای مایل، ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، صفحه ۵۲۳ الی ۵۳۰.
- 5- J. W. Van Deer Meer, 1985, Static and Dynamic Stability Of Loose Materials, Delft Hydraulics.
- 6- P. Bruwn (ed.), 1985, Design and Construction of Mounds for Breakwaters and Costal Protection, Developments in Costal Engineering.
- 7- J.A. Battjes, 1974, Computation of Set - Up, Lp, Long Shore Currents, Run - Up and Overtopping Due to Wind - Generated Waves, Common Hydraulics, Delft univ, of Technology.
- 8- N.W.H. allsop, P.J. Hawkes, F.A. Jackson and L. Franco, 1985, Wave Run - up on Steep Slopes - Model Tests under Random Waves. Report SR2, Hydraulic Research.
- 9- J.P. Ahrens, Irregular, 1981, Wave Run- up on Smooth Slopes, CERC Technical Paper No. 81-17.
- 10- Delft Hydraulics, Part III, M 1983, 1989, Slopes of Loose Materials Wave Run - up on Statically Stable Rock Slopes under Wave Attack. Report on Model Investigation.
- 11- M.W. Owen, 1980, Design of Seawalls Allowing For Wave Overtopping, Report No. Ex 924, Hydraulics Research.

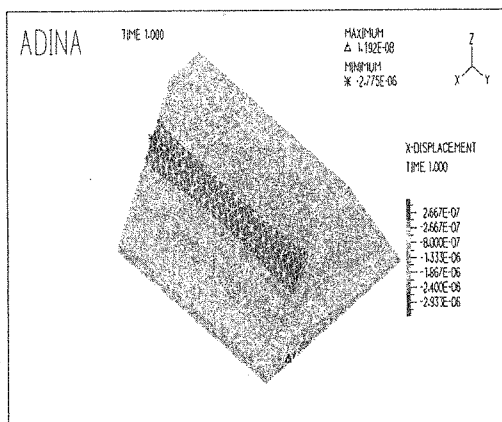
۱. نمونه‌هایی از مدل ورودی و نتایج خروجی مدل المان محدود برای موج شکن مایل



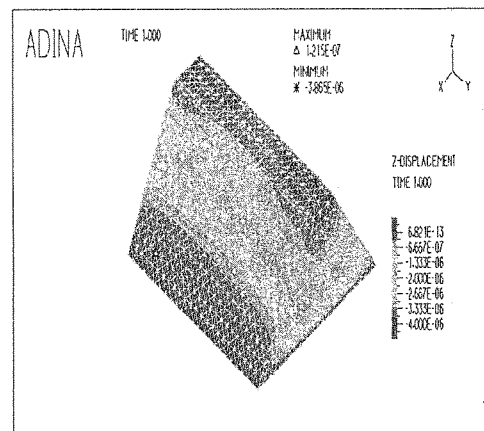
شکل ۲- مدل المان محدود برای موج شکن



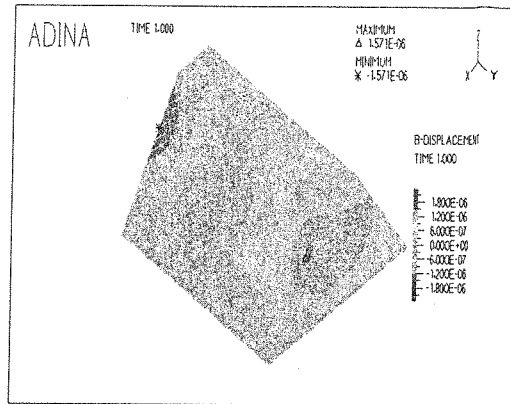
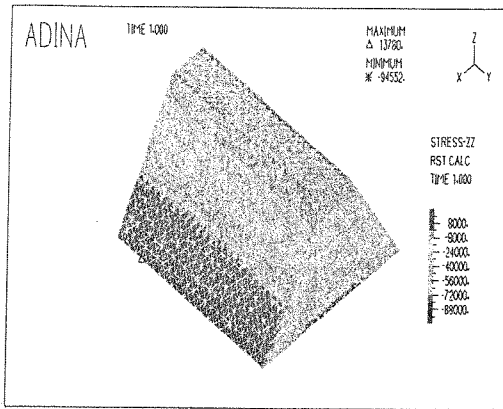
شکل ۱- مدل المان محدود همراه موج موثر



شکل ۴- کنترل مقدار جابجایی در جهت عرض

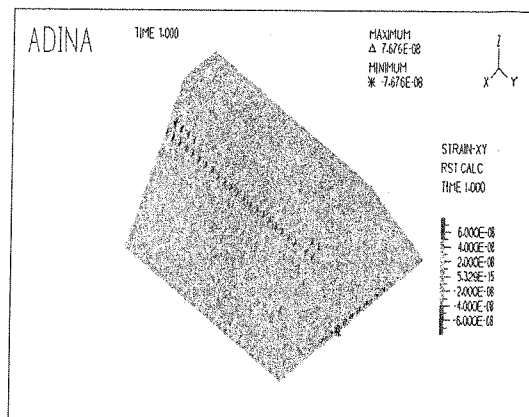
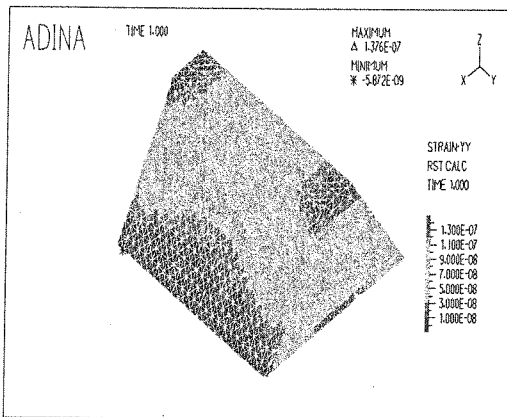


شکل ۳- کنترل مقدار جابجایی در جهت ارتفاع



شکل ۶- کنترل تنش در جهت ارتفاع موج شکن

شکل ۵- کنترل مقدار جابجائی حول محور محلی



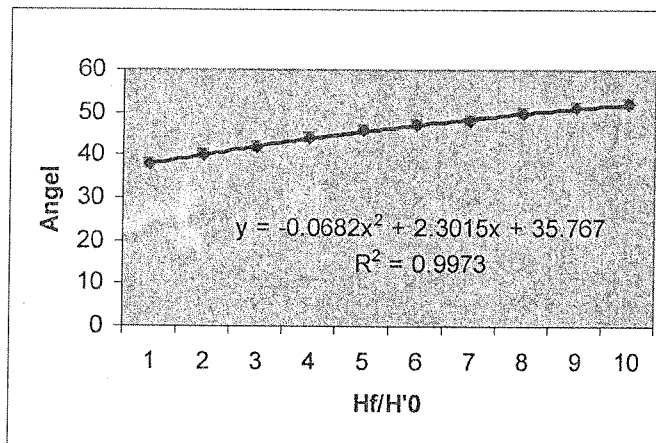
شکل ۸- کنترل جابجائی در صفحه yy

شکل ۷- کنترل جابجائی المان در صفحه xy

۲. گرافها و جدول های مقاطع پایدار بر اساس جنس آرمور

Hudson Formula Charts for Smooth Stones

جدول ۱- زاویه و بر اساس نسبت پارامتر موج موثر (H_f/H'_0) در نزدیکی ساحل و یا کمترین عمق در کنار ساحل

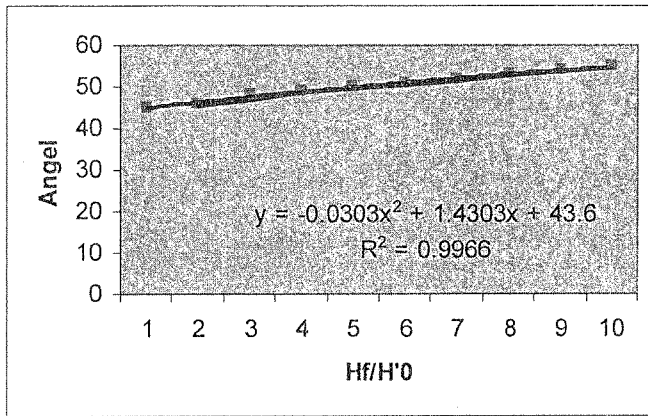


Local Properties	
$d/H' = 1$ & $H' = 5.0$ m	
H_f/H'_0	Angel(Degree)
1	38
1.2	40
1.4	42
1.6	44
1.8	46
2	47
2.2	48
2.4	50
2.6	51
2.8	52

گراف ۱- معادله درجه ۲ بدست آمده برای جدول شماره ۱

Hudson Formula Charts for Smooth Stones

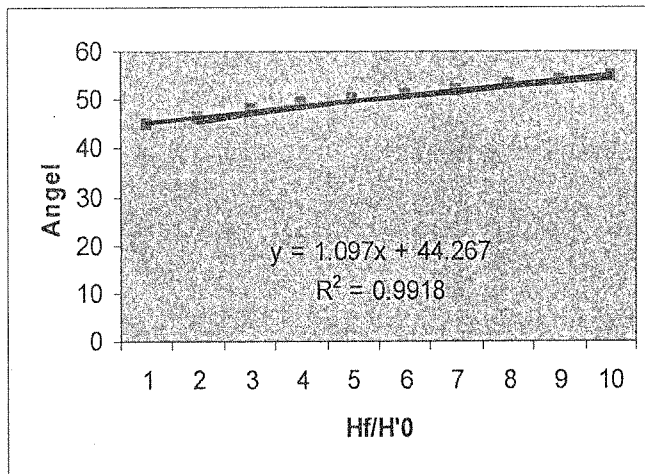
جدول ۲- زاویه و بر اساس نسبت پارامتر موج موثر (H_f/H'_0) با افزایش عمق



Local Properties	
d/H' 0=2 & H' 0= 5 m	
Hf/H'0	Angel(Degree)
1	45
1.2	46
1.4	48
1.6	49
1.8	50
2	51
2.2	52
2.4	53
2.6	54
2.8	55

گراف ۲- معادله درجه ۲ بدست آمده برای جدول شماره ۲

جدول ۳- زاویه و بر اساس نسبت پارامتر موج موثر (H_f/H'_0) با افزایش عمق

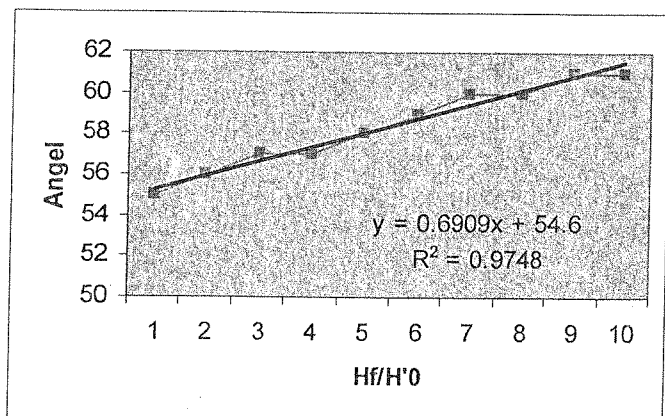


Local Properties	
d/H' 0=3 & H' 0=5.0 m	
Hf/H'0	Angel(Degree)
1	45
1.2	46
1.4	48
1.6	49
1.8	50
2	51
2.2	52
2.4	53
2.6	54
2.8	55

گراف ۳- معادله درجه ۲ بدست آمده برای جدول شماره ۳

Hudson Formula Charts for Smooth Stones

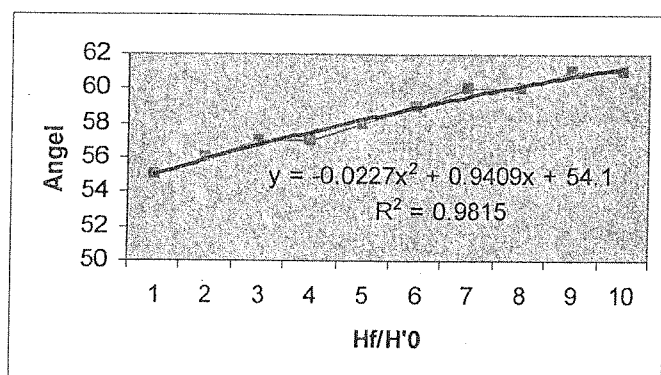
جدول ۴- زاویه و بر اساس نسبت پارامتر موج موثر (H_f/H'_0) با افزایش عمق



Local Properties	
$d/H'_0=4$ & $H'_0=5.0$ m	
H_f/H'_0	Angel(Degree)
1	55
1.2	56
1.4	57
1.6	57
1.8	58
2	59
2.2	60
2.4	60
2.6	61
2.8	61

گراف ۴- معادله درجه ۲ بدست آمده برای جدول شماره ۴

جدول ۵- زاویه و بر اساس نسبت پارامتر موج موثر (H_f/H'_0) در انتهای موج شکن

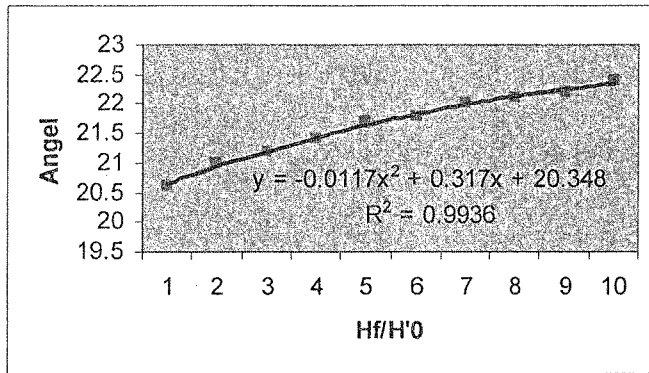


Local Properties	
$d/H'_0=5$ & $H'_0=5.0$ m	
H_f/H'_0	Angel(Degree)
1	55
1.2	56
1.4	57
1.6	57
1.8	58
2	59
2.2	60
2.4	60
2.6	61
2.8	61

گراف ۵- معادله درجه ۲ بدست آمده برای جدول شماره ۵

Irribaren Formula Charts for Smooth Stones

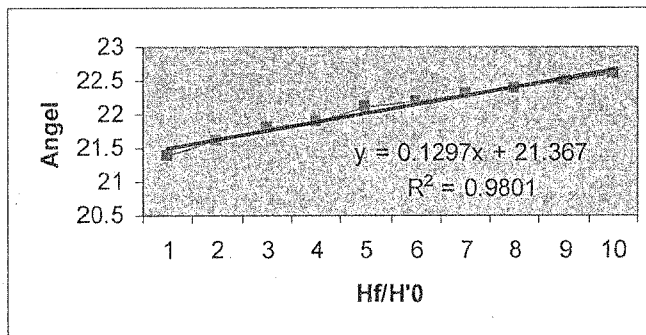
جدول ۶- زاویه و بر اساس نسبت پارامتر موج موثر ($H_f/H'0$) در نزدیکی ساحل و با کمترین عمق در کنار ساحل



Local Properties	
d/H'0=1 & H'0=5.0 m	
Hf/H'0	Angel(Degree)
1	20.6
1.2	21
1.4	21.2
1.6	21.4
1.8	21.7
2	21.8
2.2	22
2.4	22.1
2.6	22.2
2.8	22.4

گراف ۶- معادله درجه ۲ بدست آمده برای جدول شماره ۶

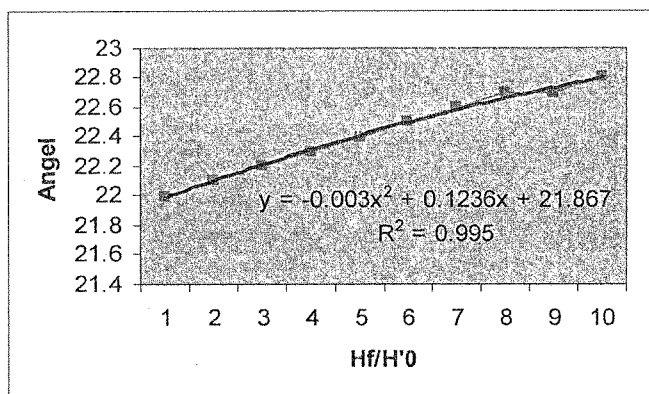
جدول ۷- زاویه و بر اساس نسبت پارامتر موج موثر ($H_f/H'0$) با افزایش عمق



Local Properties	
d/H'0=2 & H'0=5 m	
Hf/H'0	Angel(Degree)
1	21.4
1.2	21.6
1.4	21.8
1.6	21.9
1.8	22.1
2	22.2
2.2	22.3
2.4	22.4
2.6	22.5
2.8	22.6

گراف ۷- معادله درجه ۲ بدست آمده برای جدول شماره ۷

جدول ۸- زاویه و بر اساس نسبت پارامتر موج موثر ($H_f/H'0$) با افزایش عمق

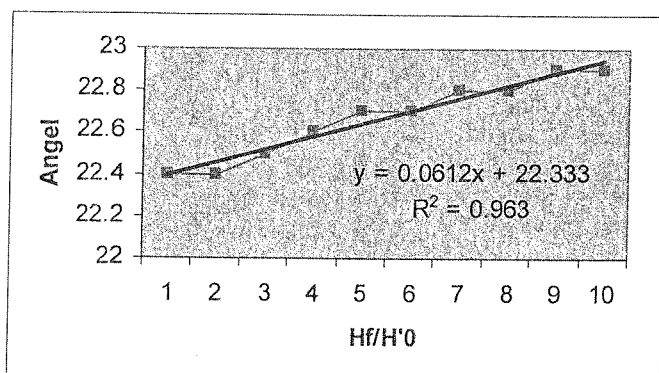


Local Properties	
d/H'0=3 & H'0=5.0 m	
Hf/H'0	Angel(Degree)
1	22
1.2	22.1
1.4	22.2
1.6	22.3
1.8	22.4
2	22.5
2.2	22.6
2.4	22.7
2.6	22.7
2.8	22.8

گراف ۸- معادله درجه ۲ بدست آمده برای جدول شماره ۸

Iribaren Formula Charts for Smooth Stones

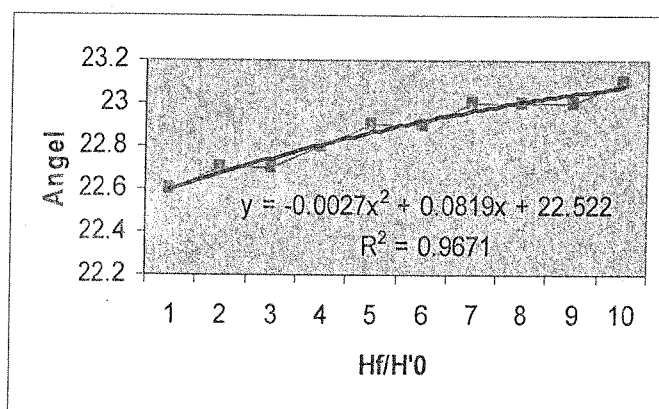
جدول ۹- زاویه و بر اساس نسبت پارامتر موج موثر ($H_f/H'0$) با افزایش عمق



Local Properties	
$d/H'0=4$ & $H'0=5.0$ m	
$H_f/H'0$	Angel(Degree)
1	22.4
1.2	22.4
1.4	22.5
1.6	22.6
1.8	22.7
2	22.7
2.2	22.8
2.4	22.8
2.6	22.9
2.8	22.9

گراف ۹- معادله درجه ۲ بدست آمده برای جدول شماره ۹

جدول ۱۰- زاویه و بر اساس نسبت پارامتر موج موثر ($H_f/H'0$) در انتهای موج شکن



Local Properties	
$d/H'0=5$ & $H'0=5.0$ m	
$H_f/H'0$	Angel(Degree)
1	22.6
1.2	22.7
1.4	22.7
1.6	22.8
1.8	22.9
2	22.9
2.2	23
2.4	23
2.6	23
2.8	23.1

گراف ۱۰- معادله درجه ۲ بدست آمده برای جدول شماره ۱۰