بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تربیت مدرّس
دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران–سازه‌های دریایی

مطالعه آزمایشگاهی موج‌شکن شناور دوبل

مهدی صنایعی

استاد راهنما:

دکتر مهدی شفیعی فر

استاد مشاور:

دکتر عطاالله نجفی جیلانی

زمستان ۱۳۹۰

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

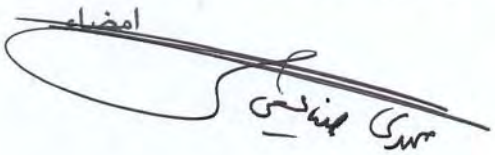
ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی : مهدی صنایعی

امضاء



آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسی عمران- سازه‌های دریایی است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر مهدی شفیعی‌فر، مشاوره جناب آقای دکتر عطاا... نجفی جیلانی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب مهدی صنایعی دانشجوی رشته مهندسی عمران- سازه‌های دریایی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: مهدی صنایعی

تاریخ و امضا:

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای مهدی صنایعی پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان مطالعه آزمایشگاهی موج شکن شناور دوبل** در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۰ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه های دریایی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر مهدی شفیعی فر	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر عطاالله نجفی جیلانی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمد حیدرزاده	استادیار	حیدرزاده
استاد ناظر	دکتر وحید چگینی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمد حیدرزاده	استادیار	حیدرزاده

تقدیم به مادر مهربان

و

پدر فداکارم

که در تمام شرایط زندگی

مشوق و یاور من بودند

تشکر و قدردانی

خداوند بزرگ و بلند مرتبه را شکر گزارم که توفیق داده است که در سایه‌ی الطاف و مرحمت‌های همیشگی و بیکرانش پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد به پایان رسد.

بر خود لازم می‌دانم که از زحمات فراوان و رهنمودهای اساتید مهربان و عزیزم، دکتر مهدی شفیعی‌فر و دکتر عطاالله نجفی جیلانی که در طی این مسیر پژوهشی صبورانه کمک کار اینجانب بودند، کمال تشکر و قدرانی را داشته باشم.

همچنین از حمایت‌ها و راهنمایی استاد گرامی در گروه سازه‌های دریایی جناب آقای دکتر علی‌اکبر آقاکوچک که درمدت تحصیل همواره یاورم بودند، و همچنین اساتید محترم دکتر وحید چگینی و دکتر محمّد حیدرزاده که قبول زحمت نموده و به مطالعه و بررسی این پژوهش همت نهادند، صمیمانه قدردانی می‌کنم.

در ضمن از تمامی دوستانی که در مدت این تحقیق و در به انجام رساندن آن همواره مرا یاری و همراهی نمودند، بویژه جناب آقای مهندس احمد رضایی مزیک سپاس گزارم.

بهمن ۱۳۹۰

چکیده:

از آنجایی که درصد قابل توجهی از جمعیت جهان در مناطق ساحلی پراکنده‌اند و زندگی آنها بطور مستقیم یا غیر مستقیم در ارتباط با دریا است، ایجاد منطقه ایمن در برابر امواج یکی از نیازهای اساسی مناطق ساحلی است. برای اینکه بتوان از مناطق ساحلی بصورت مناسب استفاده کرد، باید با استفاده از سازه‌های حفاظتی امنیت نواحی ناوبری و پهلوگیری داخل بندر را تامین کرد. استفاده از موج‌شکن‌ها اصلی‌ترین راهکار برای حفاظت مناطق ساحلی است. موج‌شکن شناور نیز به نوبه خود یکی از سازه‌های حفاظتی است که با هزینه ساخت کمتر نسبت به سایر انواع موج‌شکن‌ها، قابلیت تامین آرامش ناحیه ساحلی را تا محدوده‌ای از معیار آرامش داخل بندر دارد. این نوع موج‌شکن معمولاً برای سواحل و بنادر تفریحی که آرامش دائمی در آنها مدنظر نمی‌باشد و ایجاد آرامش نسبی در برابر هزینه ساخت پایین قابل توجیه است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. موج‌شکن شناور پانتونی یکی از معمول‌ترین موج‌شکن‌های شناور مورد استفاده است که متشکل از پانتون‌های متصل به هم می باشد. این نوع موج‌شکن در جاهایی که به کار رفته‌است کارایی قابل قبولی از خود نشان داده است.

در این تحقیق که در آزمایشگاه سازه‌های دریایی دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است، سه نوع مدل موج‌شکن شناور پانتونی تک، دوبل و کاتاماران ساخته شده و در معرض امواج نامنظم قرار گرفتند. با در نظر گرفتن میزان عبور موج به عنوان پارامتر هدف، مقدار ضریب عبور موج تحت اثر تغییرات ارتفاع، پریود و تیزی موج مورد مطالعه قرار گرفت. در مجموع ۳۷۰ آزمایش با شرایط مختلف انجام شدند و نتایج بدست آمده مورد مقایسه قرارگرفتند. برای تحلیل داده‌های خام برداشت شده از آزمایش‌های انجام یافته، روش دامنه فرکانسی مورد استفاده قرار گرفت که در این روش خطا در مقایسه با روش دامنه زمانی خیلی کمتر می‌باشد.

نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که با افزایش پریود موج برخوردی کارایی موج‌شکن شناور کاهش چشمگیری دارد و پریود موج یکی از عوامل تاثیرگذار در عملکرد موج‌شکن شناور می‌باشد. برای مقابله با امواج با پریود و طول موج بیشتر باید از پانتون‌های با عرض بیشتر استفاده کرد. یکی از راهکارهای افزایش عرض موج‌شکن با به کارگیری مصالح کمتر، استفاده از دو پانتون متصل به هم می‌باشد که با عنوان موج‌شکن شناور کاتاماران شناخته شده‌است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که موج‌شکن شناور کاتاماران در مقایسه با موج‌شکن شناور پانتونی تک عملکرد خیلی بهتری دارد. از آنجایی که عوامل موثر در عملکرد موج‌شکن شناور در مقایسه با موج‌شکن‌های معمولی پیچیده تر می‌باشد و شرایط هیدرودینامیکی حاکم و حرکت موج شکن و همچنین امواج ثانویه ایجاد شده تحت اثر حرکت پانتون‌ها تاثیر زیادی در میزان عبور موج از موج‌شکن شناور دارند. در این تحقیق نحوه جانمایی دو پانتون و تاثیر فاصله قرارگیری پانتون‌ها نسبت به هم نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌است. در مورد موج‌شکن شناور دوبل علاوه بر متغیرهای مورد مطالعه در موج‌شکن‌های شناور پانتونی تک و کاتاماران، تغییرات ضریب عبور موج در فواصل متفاوت بین پانتون‌ها مورد آزمایش واقع شدند و فاصله بهینه بین پانتون‌ها که در آن میزان عبور موج به داخل ناحیه بندر مینیمم می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان

می‌دهند که میزان عبور موج برای موج‌شکن شناور پانتونی دوبل در فاصله نسبی بین ۰/۸ تا ۰/۹ (فاصله قرارگیری دو پانتون نسبت به هم ۰/۸ تا ۰/۹ برابرِ طول موج طرح) عبور موج کمترین مقدار خود را دارد و عبور موج در این نوع آرایش از میزان عبور موج از موج‌شکن شناور کاتاماران نیز کمتر می‌باشد. همچنین بیشترین میزان عبور موج برای حالتی است که دو پانتون در فاصله نسبی ۱/۳ الی ۱/۴ قرارگیرند.

کلید واژه: موج نامنظم، موج‌شکن شناور پانتونی دوبل، ضریب عبور موج، فاصله بین پانتون‌ها، پریود موج، ارتفاع موج، تیزی موج.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... أ
فهرست جدول‌ها ..... د
فهرست شکل‌ها ..... ه

فصل ۱- کلیات ۱
۱-۱- مقدمه ۱
۱-۱-۱- موج‌شکن‌های توده‌سنگی ۱
۱-۱-۲- موج‌شکن‌های قائم ۲
۱-۱-۳- موج‌شکن مختلط توده سنگی و قائم ۳
۱-۱-۴- موج‌شکن‌های شناور ۳
۱-۱-۵- موج‌شکن‌های هوایی یا بادی ۴
۱-۱-۶- موج‌شکن‌های پایه‌دار یا منقطع ۴
۱-۱-۷- مقایسه انواع متداول موج‌شکن‌ها و بررسی هزینه ساخت آن‌ها ۵
۱-۲- موج‌شکن شناور ۶
۱-۲-۱- پیشینه موج‌شکن شناور ۶
۱-۲-۲- مزایا و معایب موج‌شکن شناور ۸
۱-۲-۲-۱- مزایای موج‌شکن شناور ۹
۱-۲-۲-۲- معایب موج‌شکن شناور ۹
۱-۳- هدف پژوهش ۱۰
۱-۴- ضرورت انجام تحقیق ۱۰
۱-۵- روش انجام تحقیق ۱۳
۱-۶- خلاصه فصول پایان نامه ۱۳

فصل ۲- پیشینه مطالعات ۱۴
۲-۱- انواع موجشکنهای شناور ۱۴
۲-۱-۱- موج شکن های شناور انعکاسی ۱۶
۲-۱-۲- موج شکن های جابه‌جا شونده ۱۸
۲-۱-۳- موج شکن های کاتاماران ۲۱
۲-۱-۴- موج شکن های شیبدار ۲۱
۲-۱-۵- موج شکن های تایر های لاستیکی ۲۱
۲-۱-۶- موج‌شکن شناور سریع النصب (Rapidly install F.B) ۲۴
۲-۱-۷- موج‌شکن شناور مهار شده (Tethered Float) ۲۵
۲-۱-۸- موج شکن های چوبی ۲۶

۲-۱-۹- کشتیها و بارجهای قدیمی ۲۶
۲-۱-۱۰- موج شکن شناور ترمز موج ۲۶
۲-۲- پیشینه مطالعات آزمایشگاهی انجام یافته روی عملکرد موجشکنهای شناور ۲۸
۲-۲-۱- اثر ارتفاع موج روی عملکرد موجشکن شناور ۲۸
۲-۲-۲- اثر پریود موج ۲۹
۲-۲-۳- اثر تیزی موج ۳۰
۲-۲-۴- بررسی انعکاس موج از موجشکن شناور ۳۱
۲-۲-۵- عملکرد موج شکن شناور متخلخل ۳۴
۲-۳- پیشینه مطالعات آزمایشگاهی روی نیروهای مهار موجشکنهای شناور ۳۶
۲-۳-۱- تاثیر مشخصات موج بر نیروهای مهار ۳۶
۲-۳-۲- تاثیر شکل و الگوی مهاربندی در نیروهای مهار ۳۷
۲-۳-۳- تاثیر آبخور نسبی در نیروهای مهار ۳۹
۲-۳-۴- تاثیر جانمایی موجشکن شناور در نیروهای مهار ۴۰
۲-۴- پیشینه مطالعات آزمایشگاهی انجام یافته روی پاسخهای حرکتی موجشکن شناور ۴۱
۲-۵- مطالعات انجام یافته در مورد اتصالات بین قطعات موجشکن شناور ۴۳
۲-۶- مطالعات انجام یافته در موردجانمایی اجزای موجشکن شناور ۴۴
۲-۷- جمع‌بندی پیشینه مطالعات ۴۶

فصل ۳- مدل‌سازی آزمایشگاهی ۵۱
۳-۱- مقدمه ۵۱
۳-۲- آنالیز ابعادی بر اساس معیار فرود ۵۱
۳-۳- تجهیزات آزمایشگاه ۵۳
۳-۳-۱- فلوم ۵۳
۳-۳-۲- سیستم تولید موج ۵۴
۳-۳-۳- جاذب موج ۵۵
۳-۳-۴- سنسور ارتفاع سنج ۵۸
۳-۴- ساخت مدل آزمایشگاهی ۵۸
۳-۵- برنامه آزمایشها ۶۱

فصل ۴- بررسی و تحلیل نتایج ۶۴
۴-۱- شرح روش تحلیل ۶۴
۴-۲- موجشکن شناور پانتونی تک ۶۹
۴-۲-۱- تاثیر ارتفاع موج برخوردی بر موج عبوری از موجشکن ۷۰
۴-۲-۲- تاثیر تیزی موج بر عملکرد موجشکن شناور تک ۷۱
۴-۲-۳- تاثیر پریود موج بر عملکرد موجشکن شناور تک ۷۳
۴-۲-۴- تاثیر نحوه مهاربندی بر عملکرد موجشکن شناور تک ۷۶
۴-۲-۴-۱- مهاربندی خطی ۷۶

۴-۲-۴-۲- مهاربندی آویزان ۷۶
۴-۲-۴-۳- مقایسه دو نوع مهاربندی ۷۷
۴-۳- موجشکن شناور پانتونی دوبل ۷۹
۴-۳-۱- تاثیر ارتفاع موج برخوردی بر عبور موج از موجشکن شناور دوبل ۸۵
۴-۳-۲- تاثیر تیزی موج بر عملکرد موجشکن شناور دوبل ۸۵
۴-۳-۳- تاثیر پریود موج بر عملکرد موجشکن شناور دوبل ۸۵
۴-۳-۴- تاثیر فاصله پانتونها بر عملکرد موجشکن شناور دوبل ۹۵
۴-۴- موجشکن شناور کاتاماران ۱۰۰
۴-۴-۱- تاثیر ارتفاع موج برخوردی بر عبور موج از موجشکن شناور کاتاماران ۱۰۱
۴-۴-۲- تاثیر تیزی موج بر عملکرد موجشکن شناور کاتاماران ۱۰۲
۴-۴-۳- تاثیر پریود موج بر عملکرد موجشکن شناور کاتاماران ۱۰۲
۴-۵- مقایسه عملکرد موجشکنهای شناور پانتونی تک، دوبل و کاتاماران ۱۰۳
۴-۶- بررسی پاسخهای حرکتی موجشکن شناور ۱۰۹
۴-۶-۱- حرکات موج‌شکن شناور ۱۰۹
۴-۶-۲- پاسخ دامنه حرکتی(RAO) ۱۱۴
فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۱۸
۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۱۸
۵-۲- پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۱۱۹
فهرست مراجع ۱۲۰

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- خلاصه مطالعات آزمایشگاهی ۴۷
جدول ۳-۱- ابعاد و روابط پارامترها در معیار فرود. ۵۳
جدول ۳-۲- مشخصات آزمایش‌های انجام یافته روی فلوم و جاذب موج..... ۶۱
جدول ۳-۳- مشخصات آزمایش‌های انجام یافته روی موجشکن شناور پانتونی تک..... ۶۲
جدول ۳-۴- مشخصات آزمایش‌های انجام یافته روی موجشکن شناور پانتونی دوبل ۶۲
جدول ۳-۵- مشخصات آزمایش‌های انجام یافته روی موجشکن شناور کاتاماران..... ۶۳
جدول ۴-۱- نتایج آزمایشات مدل فیزیکی برای پانتون تک با مهارهای خطی..... ۶۹
جدول ۴-۲- نتایج آزمایشات مدل فیزیکی برای پانتون تک با مهارهای آویزان..... ۷۰
جدول ۴-۳- نتایج آزمایش موجشکن شناور پانتونی دوبل..... ۸۱
جدول ۴-۴- نتایج آزمایش‌های موجشکن شناور کاتاماران..... ۱۰۱
جدول ۴-۵- مشخصات ماژول شتابسنج و ژیروسکوپ..... ۱۱۰
جدول ۴-۶- پاسخهای محتمل یک سیستم ۱۱۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- نمونه ای از یک موج‌شکن توده سنگی ۲
شکل ۱-۲- سطح مقطع یک موج‌شکن قائم ۲
شکل ۱-۳- سطح مقطع یک موج‌شکن مختلط توده سنگی و قائم ۳
شکل ۱-۴- سطح مقطع یک موج‌شکن شناور ۳
شکل ۱-۵- سطح مقطع یک موج‌شکن بادی ۴
شکل ۱-۶- سطح مقطع یک موج‌شکن پایه دار ۴
شکل ۱-۷- مقایسه هزینه ساخت انواع موج‌شکن‌ها با توجه به تغییرات عمق آب ۵
شکل ۱-۸- مقطع و پلان موج‌شکن بومباردون ۸
شکل ۱-۹- سطح توصیه‌پذیری نقاط دریای خزر برای احداث موج‌شکن شناور ۱۱
شکل ۱-۱۰- سطح توصیه‌پذیری نقاط خلیج فارس برای احداث موج‌شکن شناور ۱۲
شکل ۱-۱۱- سطح توصیه‌پذیری نقاط تنگه هرمز برای احداث موج‌شکن شناور ۱۲
شکل ۲-۱- الگوهای قابل کاربرد برای موج شکن های شناور از نوع جعبه ای شکل (Box breakwater) ۱۴
شکل ۲-۲- الگوهای قابل کاربرد برای موج شکن های شناور از نوع پانتونی (Pontoon breakwater) ۱۵
شکل ۲-۳- الگوهای قابل کاربرد برای موج شکن های شناور از نوع حصیری (Mat breakwater) ۱۵
شکل ۲-۴- الگوهای قابل کاربرد برای موج شکن های شناور از نوع مهار شده (Tethered float breakwater) ۱۵
شکل ۲-۵- موج شکن شناور دوبل ۱۶
شکل ۲-۶- یک نمونه از موج‌شکن شناور میله ای ۱۷
شکل ۲-۷- ردیفهای چند گانه موج شکن شناور میله ای ۱۷
شکل ۲-۸- موج شکن شناور میله ای به همراه تایر های لاستیکی ۱۷
شکل ۲-۹- نمونه‌ای از یک نوع موج‌شکن شناور A-Frame ۱۸
شکل ۲-۱۰- نمونه ای از موج شکن شناور پانتونی ۱۹
شکل ۲-۱۱- مقطع موج‌شکن شناور بادی(Pneumatic) ۲۰
شکل ۲-۱۲- نمونه ای از یک موج شکن شناور کیسونی ۲۰
شکل ۲-۱۳- موج‌شکن شناور کاتاماران ۲۱
شکل ۲-۱۴- موج‌شکن شناور مایل ۲۱
شکل ۲-۱۵- موج شکن شناور مارپیچی موجی ۲۲
شکل ۲-۱۶- موج شکن شناور گودیر ۲۳
شکل ۲-۱۷- موج شکن شناور تایر لوله ای ۲۴

شکل ۲-۱۸- موج شکن شناور سریع النصب ۲۵
شکل ۲-۱۹- مقطعی از یک موج شکن شناور مهار شده ۲۵
شکل ۲-۲۰- نمونه ای از یک موج شکن شناور چوبی ۲۶
شکل ۲-۲۱- نمونه ای از موج‌شکن شناور نوع ترمز موج ۲۷
شکل ۲-۲۲- به کارگیری موج‌شکن شناور نوع ترمز موج ۲۷
شکل ۲-۲۳- تاثیر ارتفاع موج برخوردی بر عبور موج ۲۹
شکل ۲-۲۴- رابطه بین ضریب عبور موج و پریود موج‌شکن شناور ۳۰
شکل ۲-۲۵- فلوم موج و مدل به کار رفته در آزمایش Hegde ۳۰
شکل ۲-۲۶- مقادیر ضریب عبور موج بر حسب تیزی موج برای W/L=0.5 ..... ۳۱
شکل ۲-۲۷- مقطع فلوم موج دانشگاه صنعتی کاتالانیای اسپانیا ۳۱
شکل ۲-۲۸- ضریب انعکاس و عبور موج برای موج منظم ۳۳
شکل ۲-۲۹- مقایسه بین ضریب عبور و انعکاس موج برای موج نامنظم ۳۴
شکل ۲-۳۰- مقطع بلوک‌های الماس شکل ۳۵
شکل ۲-۳۱- مقطع موج شکن شناور متخلخل ۳۵
شکل ۲-۳۲- نمونه ای از مهاربند دو طرفه ۳۶
شکل ۲-۳۳- تغییرات نیروی مهار به عنوان تابعی از تیزی موج ۳۷
شکل ۲-۳۴- الگوهای مهاربندی ارائه شده توسط Sannasiraj et al ۳۷
شکل ۲-۳۵-ضریب انتقال موج Kt در دو روش آزمایشگاهی و نظری برای الگوهای مختلف مهار ۳۸
شکل ۲-۳۶- مقطع موج شکن شناور π شکل ۴۲
شکل ۲-۳۷- مقایسه بین ضریب عبور موج، موج شکن شناور پانتونی و π شکل ۴۳
شکل ۲-۳۸- نمونه ای از اتصال صلب بین قطعات پانتونی ۴۴
شکل ۲-۳۹- نمونه ای از اتصال انعطاف پذیر بین قطعات پانتونی ۴۴
شکل ۲-۴۰- جانمایی موج‌شکن شناور به صورت تک ۴۵
شکل ۲-۴۱- جانمایی موج‌شکن شناور به صورت جفت ۴۵
شکل ۲-۴۲- جانمایی های متفاوت موج شکن شناور ۴۵
شکل ۳-۱- انواع موجساز ۵۴
شکل ۳-۲- موجساز پیستونی آزمایشگاه سازههای دریایی دانشگاه تربیت مدرس ۵۵
شکل ۳-۳- ساحل سنگی در فلوم آزمایشگاه دانشگاه تربیت مدرس برای جذب موج ۵۶
شکل ۳-۴- جاذب موج فلزی متخلخل ۵۶
شکل ۳-۵- پروفیلهای به کار رفته برای کاهش انعکاس موج از انتهای فلوم ۵۷
شکل ۳-۶- نتایج بدست آمده برای سه نوع جاذب موج ۵۷
شکل ۳-۷- تصویر شماتیک پانتون ساخته شده ۵۹
شکل ۳-۸- پانتونهای ساخته شده ۵۹
شکل ۳-۹- پانتونهای ساخته شده ۶۰

شکل ۳-۱۰- اتصال مهاربند زنجیری ۶۰
شکل ۳-۱۱- اتصال مهاربند کابلی ۶۱
شکل ۴-۱- طیف انرژی امواج مورد استفاده در تحقیق ۶۵
شکل ۴-۲- عرض محاسباتی به کار رفته در رابطه ۴-۵ ..... ۶۸
شکل ۴-۳- رابطه بین ارتفاع موج برخوردی و عبوری از موج‌شکن شناور پانتونی تک با مهاربندی آویزان ۷۲
شکل ۴-۴- رابطه بین ارتفاع موج برخوردی و عبوری از موج‌شکن شناور پانتونی تک با مهاربندی خطی ۷۲
شکل ۴-۵- تغییرات ضریب عبور موج از موجشکن شناور پانتونی تک با مهارهای خطی با تغییر تیزی موج برخوردی ۷۳
شکل ۴-۶- تغییرات ضریب عبور موج از موجشکن شناور پانتونی تک با مهارهای آویزان با تغییر تیزی موج برخوردی ۷۳
شکل ۴-۷- تغییرات ضریب عبور موج از موجشکن شناور پانتونی تک با مهارهای خطی با تغییر پریود موج برخوردی ۷۴
شکل ۴-۸- تغییرات ضریب عبور موج از موجشکن شناور پانتونی تک با مهارهای آویزان با تغییر پریود موج برخوردی ۷۴
شکل ۴-۹- رابطه بین پریود موج برخوردی و ضریب عبور موج (بهزاد و همکاران) ۷۵
شکل ۴-۱۰- تغییرات ضریب عبور موج با تغییر مقدار To برای مهارهای خطی ۷۵
شکل ۴-۱۱- تغییرات ضریب عبور موج با تغییر مقدار To برای مهارهای آویزان ۷۵
شکل ۴-۱۲- مهاربندی خطی ۷۶
شکل ۴-۱۳- مهارهای آویزان ۷۷
شکل ۴-۱۴- مهارهای گسیخته شده در حالت مهاربندی خطی ۷۸
شکل ۴-۱۵- عبور موج از موج‌شکن شناور در دو حالت مهاربندی ۷۸
شکل ۴-۱۶- عبور امواج با پریودهای مختلف تحت دو حالت مهاربندی ۷۹
شکل ۴-۱۷- شکل شماتیک سیستم موجشکن شناور دوبل و نحوه رفتار آن در برابر موج ۷۹
شکل ۴-۱۸- موجشکن شناور پانتونی دوبل ۸۰
شکل ۴-۱۹- تغییرات ارتفاع موج عبوری با تغییر ارتفاع موج برخوردی به موجشکن شناور دوبل ۸۶
شکل ۴-۲۰- تغییرات ضریب عبور موج با تغییر مقادیر تیزی موج ۸۹
شکل ۴-۲۱- تاثیر پریود موج برخوردی در میزان عبور موج از موج‌شکن شناور دوبل ۹۲
شکل ۴-۲۲- تغییرات ضریب عبور موج با تغییر فاصله نسبی بین دو پانتون ۹۶
شکل ۴-۲۳- شکل شماتیک موج‌شکن شناور کاتاماران ۱۰۰
شکل ۴-۲۴- موج‌شکن شناور کاتاماران مورد آزمایش ۱۰۰
شکل ۴-۲۵- تغییرات ارتفاع موج عبوری با تغییر ارتفاع موج برخوردی به موجشکن شناور کاتاماران. ۱۰۱
شکل ۴-۲۶- تغییرات ضریب عبور موج با تغییر مقادیر تیزی موج ۱۰۲

شکل ۴-۲۷- تغییرات ضریب عبور موج با تغییر مقادیر پریود موج در موج‌شکن شناور کاتاماران.....۱۰۳
شکل ۴-۲۸- تغییرات ضریب عبور موج با تغییر مقادیر To در موج‌شکن شناور کاتاماران ۱۰۳
شکل ۴-۲۹- مقایسه نتایج عملکرد موج‌شکن شناورپانتونی تک، دوبل و کاتاماران ۱۰۵
شکل ۴-۳۰- درجات آزادی حرکتی موج‌شکن شناور ۱۰۹
شکل ۴-۳۱- ماژول شتاب‌سنج و ژیروسکوپ مورد استفاده در آزمایشها.....۱۱۱
شکل ۴-۳۲- نمودار سری‌های زمانی شتاب، سرعت و تغییر مکان در راستای قائم پانتون ۱ (سمت دریا) ۱۱۲
شکل ۴-۳۳- طیف پاسخ در راستای قائم پانتون۱ (سمت دریا).....۱۱۲
شکل ۴-۳۴- نمودار سری‌های زمانی شتاب، سرعت و تغییر مکان در راستای قائم پانتون ۲ (سمت ساحل) ۱۱۳
شکل ۴-۳۵- طیف پاسخ در راستای قائم پانتون۲ (سمت ساحل).....۱۱۳
شکل ۴-۳۶- نمودار تغییر مکان در راستای قائم دو پانتون تحت اثر موج نامنظم W5 .....۱۱۴
شکل ۴-۳۷- طیف پاسخ سازه موج‌شکن شناور پانتونی تک به موج برخوردی.....۱۱۵
شکل ۴-۳۸- طیف موج برخوردی ۱۱۵
شکل ۴-۳۹- عملگر دامنه حرکت.....۱۱۶

فصل ۱– کلیات

۱–۱–مقدمه

از آنجایی که درصد قابل توجهی از جمعیت جهان در مناطق ساحلی پراکنده شده‌اند و از لحاظ اقتصادی وابستگی زیادی به دریا دارند، ضرورت ایجاد منطقه‌ای آرام و محافظت شده در برابر پدیده‌های دریایی از قبیل موج و طوفان برای پهلوگیری شناورها وسایر فعالیت‌های مرتبط با دریا مطرح می‌شود. سازه‌های حفاظت از ساحل از قبیل موج‌شکن‌ها، دیواره‌های ساحلی، آبشکن‌ها و ... برای ایجاد چنین منطقه‌ای به‌کار می‌روند [۱].

به‌طور کلی در بنادر محوطه مشخصی را در نظر گرفته و آنرا به‌وسیله موج‌شکن محاصره می‌کنند. در تقسیم‌بندی موج‌شکن‌ها می‌توان دو جنبه اصلی را در نظر گرفت.

I. تقسیم‌بندی به لحاظ سازه‌ای و مصالح مورد استفاده

II. تقسیم‌بندی به لحاظ آرایش موج‌شکن‌ها و موقعیت قرار گیری آنها نسبت به هم.

به لحاظ آرایش کلی و موقعیت قرارگیری نیز می‌توان موج‌شکن‌ها را به انواع زیر تقسیم بندی کرد.

- ❑ بندر با موج‌شکن موازی با ساحل – دهانه ورودی با موج‌شکن عرضی
- ❑ بندر با موج‌شکن موازی با ساحل – دهانه ورودی به طرف دریا
- ❑ بنادر با موج‌شکن موازی
- ❑ بنادر با موج‌شکن متقارب
- ❑ بنادری با موج‌شکن غیر متصل به ساحل

با محوریت تقسیم‌بندی موج‌شکن‌ها به لحاظ سازه‌ای و جنس مصالح، انواع اصلی موج‌شکن شامل موج‌شکن‌های توده‌سنگی[1] (سنگریزه‌ای)، موج‌شکن‌های قائم، موج‌شکن مختلط توده سنگی و قائم، موج‌شکن‌های شناور، موج‌شکن‌های هوایی یا بادی و موج‌شکن‌های پایه‌دار یا منقطع قابل تعریف خواهد بود. معرفی مختصری از انواع موج‌شکن‌ها ارائه می‌گردد.

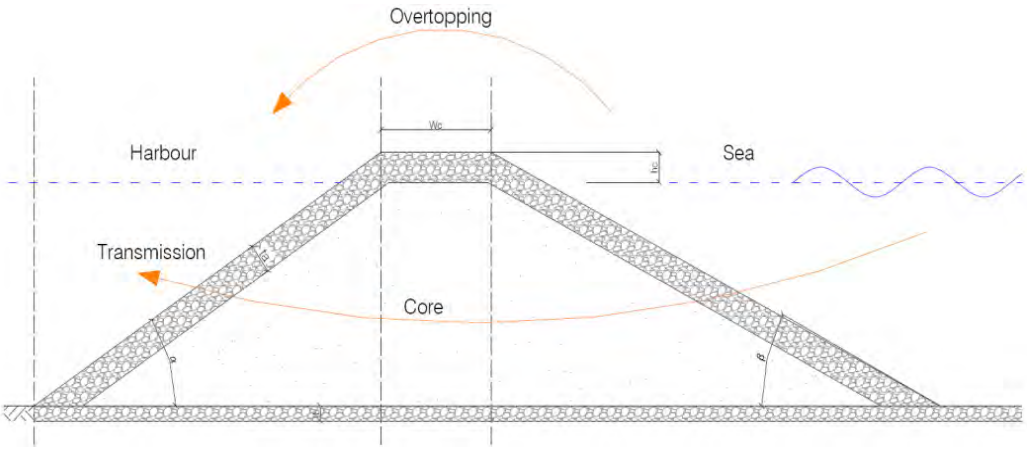
۱–۱–۱– موج‌شکن‌های توده‌سنگی

موج‌شکن‌های توده‌سنگی معمولاً از سه قسمت تشکیل شده‌اند که عبارتند از:

- هسته (Core)
- لایه میانی یا لایه فیلتر(Filter layer)
- لایه پوششی یا لایه آرمور(Armour layer)

[1] Rubble mound Breakwater

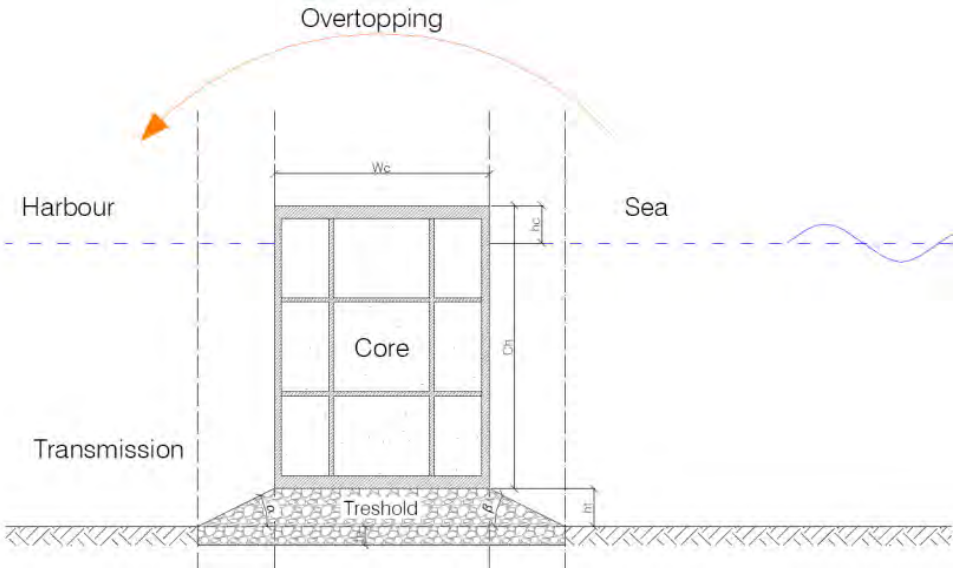
به طور کلی استحکام استقرار سنگ‌های موج‌شکن به وزن و شکل هر قطعه سنگ و به شیب قرار گرفته بر روی آن وابسته است. در شکل ۱-۱ ، نمونه‌ای از موج‌شکن توده‌سنگی نشان داده شده است.



شکل ۱-۱- نمونه ای از یک موج‌شکن توده سنگی

۱-۱-۲- موج‌شکن‌های قائم[1]

عملکرد حفاظتی این نوع موج‌شکن‌های قائم به صورت انعکاس موج تابشی در برخورد به بدنه قائم آن می‌باشد. این نوع موج‌شکن‌ها در اندرکنش با امواج دارای تفاوت‌های اساسی با موج‌شکن‌های سنگریزه‌ای می‌باشد. موج‌شکن‌های قائم در عمق‌های بیشتری نسبت به نوع توده‌سنگی احداث می‌گردند به دلیل امواج انعکاسی درپای این سازه‌ها و تشدید ارتفاع موج ناشی از امواج ایستا، ارتفاع این تاج این موج‌شکن‌ها تا دو برابر ارتفاع شاخص موج طوفان طراحی می‌گردد. در شکل ۱-۲، نمونه‌ای از این نوع موج‌شکن نشان داده شده است.

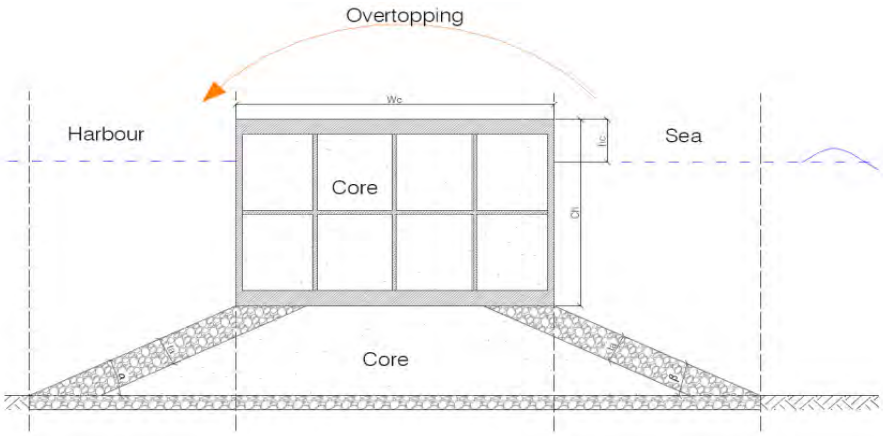


شکل ۱-۲- سطح مقطع یک موج‌شکن قائم

[1] Vertical Breakwater

۱-۱-۳- موج‌شکن مختلط توده سنگی و قائم

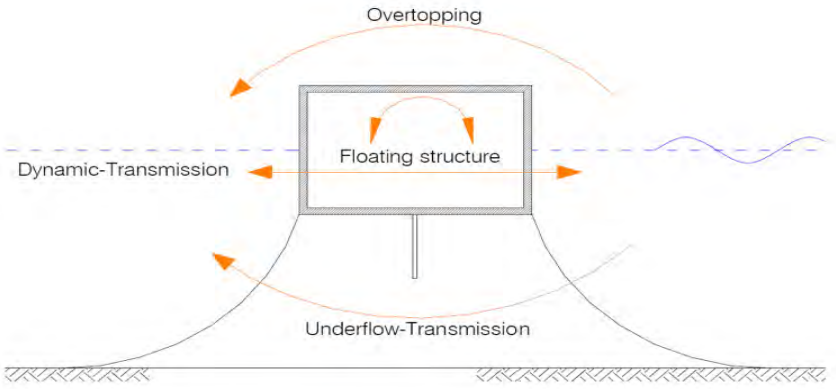
در بعضی موارد اسکله در پشت موج‌شکن‌ها پیش‌بینی می‌شود. لذا سمت داخلی موج‌شکن را با ساختن دیواری قائم در نظر می‌گیرند که امکان پهلوگیری به کشتی‌ها را می‌دهد .چنین دیوار قائمی باید به اندازه کافی غیر قابل نفوذ باشد، تا موجی که از بدنه موج‌شکن می‌گذرد از دیوار عبور نکند. البته این نکته را در محاسبات اسکله باید رعایت کرد و در نظر گرفت. در شکل ۱-۳، یک نمونه از موج‌شکن مختلط توده‌سنگی و قائم مشخص شده است.



شکل ۱-۳- سطح مقطع یک موج‌شکن مختلط توده سنگی و قائم

۱-۱-۴- موج‌شکن‌های شناور [1]

موج‌شکن‌های شناور جهت ایجاد یک محیط بندری آرام به صورت دائمی یا موقت به کار می‌روند. در چند سال اخیر این موج‌شکن‌ها مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. این موج‌شکن‌ها با فرض اینکه قسمت عمده انرژی موج در قسمت بالای آن متمرکز است ساخته می‌شوند. در شکل ۱-۴، یک نمونه از موج‌شکن شناور نشان داده شده‌است.



شکل ۱-۴- سطح مقطع یک موج‌شکن شناور

[1] Floating Breakwater