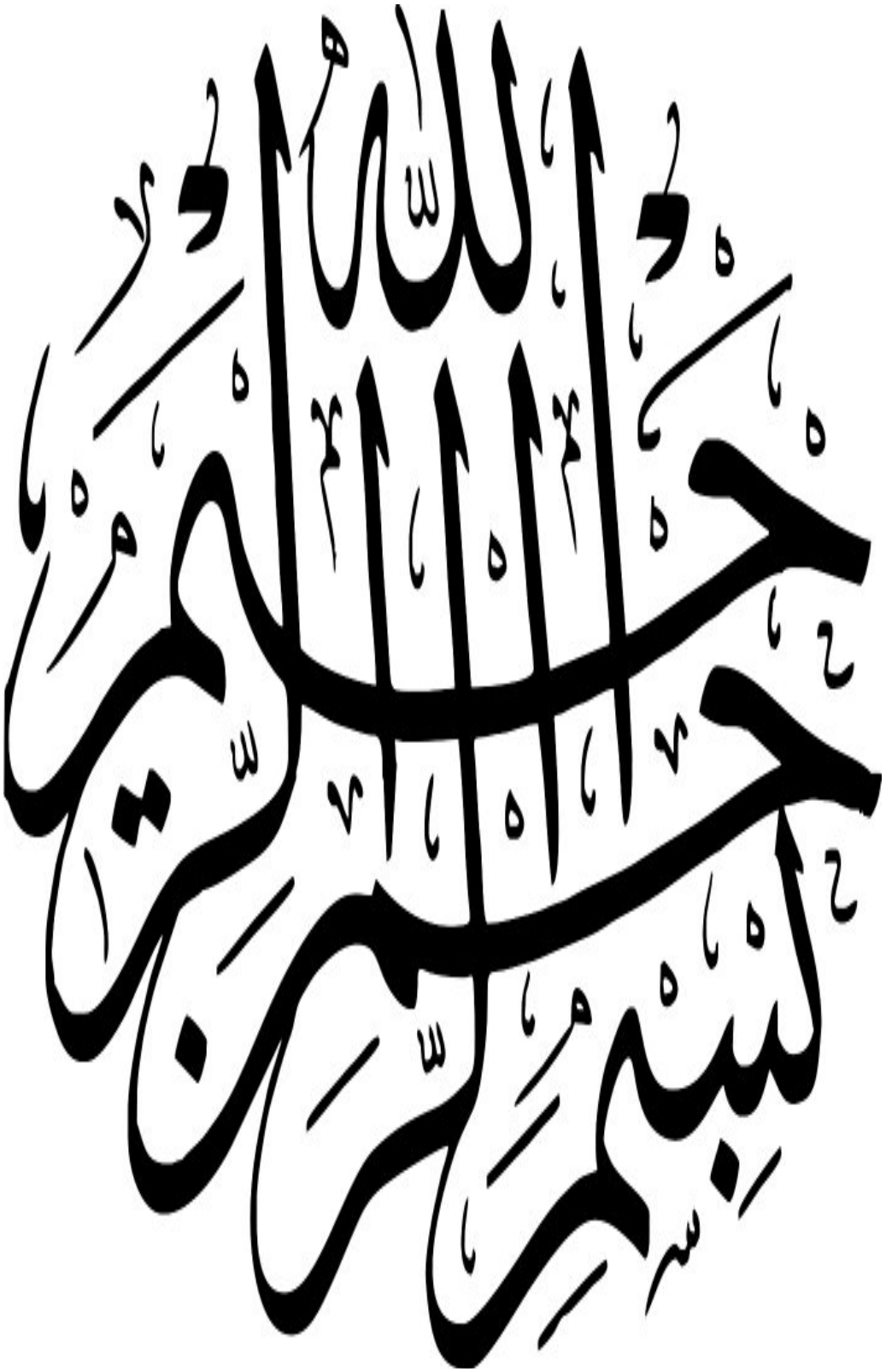
بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای احمد رضایی مزیک پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان بررسی عددی عملکرد موج شکن شناور پانتونی 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 عطاالله نجفی جیلانی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر مهدی شفیعی قر	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمد حیدرزاده	استادیار	
استاد ناظر	دکتر وحید چگینی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمد حیدرزاده	استادیار	

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، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (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/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندس عمران- سازه‌های دریایی است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده مهندسی عمران-محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکترعطاالله تجفی جیلانی و مشاور جناب آقای دکتر مهدی شفیعی‌فر 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 را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت 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 شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب احمد رضایی مزیک دانشجوی رشته: مهندسی عمران-سازه‌های دریایی مقطع: کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی:
احمد رضایی مزیک
تاریخ و امضا:
۹۱/۱/۲۷

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

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری 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 هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدیدآورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

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

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

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

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب احمد رضایی مزیک دانشجوی رشته مهندسی عمران-سازه‌های دریایی ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۸ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران-محیط زیست متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آئین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران قوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم».

امضاء: احمد رضایی

تاریخ: ۹۱/۲/۲۰

دانشگاه تربیت مدرّس
دانشکده مهندسی عمران‌محیط زیست

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران‌سازه‌های دریایی

بررسی عددی عملکرد موج‌شکن شناور پانتونی دوبل

احمد رضایی مزیک

استاد راهنما:

دکتر عطاالله نجفی جیلانی

استاد مشاور:

دکتر مهدی شفیعی فر

زمستان ۱۳۹۰

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 عطاالله نجفی جیلانی و دکتر مهدی شفیعی‌فر 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 محمد 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 مهدی صنایعی سپاس گزارم.

بهمن‌ماه ۱۳۹۰

چکیده

با وجود حجم قابل توجه فعالیت‌های انجام گرفته در مناطق ساحلی، طراحی سازه‌های حفاظت ساحل با هزینه کم، یک نیاز اساسی برای بنادر کوچک می‌باشد. موج‌شکن‌ها (ثابت و شناور) سازه‌هایی هستند که با انعکاس و استهلاک انرژی موج برخوردی و کاهش ارتفاع موج در سمت آرام موج‌شکن سبب حفاظت خط ساحل و سازه‌های ساحلی می‌گردند. هر چند موج‌شکن‌های ثابت همواره عملکرد حفاظتی بالاتری را نسبت به موج‌شکن‌های شناور فراهم می‌کنند، اما موج‌شکن شناور یک راه حل کم هزینه نسبت به موج‌شکن ثابت می‌باشد که می‌تواند به صورت کارآ در مناطق با شرایط آرام به کار گرفته شود.

با توجه به کاهش عملکرد موج‌شکن شناور پانتونی در پریودهای موج بیش از ۳-۴ ثانیه برای افزایش کارآیی، رفتار هیدرودینامیکی موج‌شکن شناور دوبل در این پایان نامه مورد بررسی قرار گرفته است. به‌همین منظور عملکرد موج‌شکن شناور پانتونی و دوبل برای مقادیر مختلف آبخور، عرض موج‌شکن، زاویه مهاربندی و فاصله پانتون‌ها در برابر امواج نامنظم دریا با مشخصات مختلف موج برخوردی مورد بررسی قرار گرفته است.

برای مدلسازی عددی موج‌شکن شناور از نرم‌افزار ANSYS ماژول AQWA استفاده گردیده است. پس از صحت‌سنجی نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی، برای بررسی عملکرد موج‌شکن شناور، سعی گردید شرایط شبیه‌سازی به گونه‌ای انتخاب گردد که تناسب بیشتری با شرایط حاکم بر آب‌های کرانه‌های کشور داشته باشد.

در تحلیل نتایج مدلسازی عددی سعی گردید تا با تعریف پارامترهای بدون بعد جدید، تحلیل مناسب‌تر و مطابق با عملکرد واقعی موج‌شکن شناور ارائه گردد. نتایج حاصل از مدل عددی بیانگر این نکته است که پارامترهای پریود موج، عرض پانتون و عمق آبخور تاثیر بسزایی در عملکرد موج‌شکن شناور پانتونی و دوبل دارد. انتخاب عرض نسبی بزرگتر از ۰/۵ برای موج‌شکن شناور پانتونی و دوبل می‌تواند کارآیی این نوع موج‌شکن شناور را افزایش دهد. استفاده از موج‌شکن شناور دوبل می تواند کارایی این نوع موج‌شکن را افزایش دهد، هر چند برای داشتن عملکرد مطلوب، نیاز به انتخاب فاصله بهینه بین پانتون‌های موج‌شکن می‌باشد.

کلید واژه: موج‌شکن شناور پانتونی دوبل، ضریب عبور موج، نرم‌افزار ANSYS AQWA، فاصله بین پانتون‌ها

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... أ
فهرست جدول‌ها ..... ه
فهرست شکل‌ها ..... و

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 ۵
۱-۲-۱- پیشینه موج‌شکن شناور ۶
۱-۲-۲- مزایا و معایب موج‌شکن شناور ۸
۱-۲-۲-۱- مزایای موج‌شکن شناور ۸
۱-۲-۲-۲- معایب موج‌شکن شناور ۹
۱-۳- هدف پژوهش ۹
۱-۴- ضرورت انجام تحقیق ۱۰
۱-۵- روش انجام تحقیق ۱۳
۱-۶- ساختار پایان نامه ۱۳

فصل ۲- مروری بر تحقیقات گذشته ۱۵
۲-۱- انواع موج‌شکن شناور ۱۶
۲-۱-۱- موج‌شکن‌های شناور انعکاسی ۱۹
۲-۱-۱-۱- موج‌شکن شناور دوبل ۱۹
۲-۱-۱-۲- موج‌شکن شناور میله‌ای ۲۰
۲-۱-۱-۳- موج‌شکن‌های مستغرق با بویه‌های متخلخل جفت ۲۱
۲-۱-۱-۴- موج‌شکن‌های A شکل ۲۲
۲-۱-۲- موج‌شکن‌های جابه جا شونده ۲۳
۲-۱-۲-۱- موج‌شکن شناور پانتونی ۲۳
۲-۱-۲-۲- موج‌شکن شناور متخلخل ۲۴

۲-۱-۲-۳- موج‌شکن شناور π شکل ۲۵
۲-۱-۲-۴- موج‌شکن شناور بادی ۲۶
۲-۱-۲-۵- موج‌شکن شناور قفسی ۲۷
۲-۱-۲-۶- موج‌شکن شناور کیسونی (صندوقهای) ۲۸
۲-۱-۲-۷- موج‌شکن شناور مستغرق ۲۹
۲-۱-۲-۸- موج‌شکن شناور کاتاماران ۳۰
۲-۱-۳- موج‌شکن شناور مایل ۳۱
۲-۱-۴- موج‌شکن‌های شناور لاستیکی ۳۲
۲-۱-۴-۱- موج‌شکن مارپیچی موجی ۳۳
۲-۱-۴-۲- موج‌شکن شناور گودیر ۳۳
۲-۱-۴-۳- موج‌شکن شناور تایر لوله‌ای ۳۴
۲-۱-۵- موج‌شکن شناور سریع‌النصب ۳۵
۲-۱-۶- موج‌شکن شناور مهار شده (Tethered Float) ۳۵
۲-۱-۷- موج‌شکن‌های چوبی ۳۶
۲-۱-۸- کشتی‌ها و بارج‌های قدیمی ۳۶
۲-۱-۹- موج‌شکن‌های شناور ترمز موج ۳۷
۲-۲- بررسی پارامترهای هیدرودینامیکی و سازه‌ای موثر بر عملکرد موج‌شکن شناور ۳۸
۲-۲-۱- سامانه مهار موج‌شکن شناور ۳۸
۲-۲-۱-۱- مهار موج‌شکن شناور ۳۸
۲-۲-۱-۲- مشخصات و جنس مهاربند ۴۰
۲-۲-۱-۳- تاثیر سیستم مهار بر عملکرد موج‌شکن شناور ۴۱
۲-۲-۲- جانمایی اجزای موج‌شکن شناور ۴۵
۲-۲-۳- جانمایی دیواره بندر ۴۶
۲-۲-۴- بهینه‌سازی مقطع موج‌شکن شناور ۴۷
۲-۲-۵- بررسی عبور موج از موج‌شکن شناور ۴۸
۲-۲-۶- بررسی انعکاس موج از موج‌شکن شناور ۴۹
۲-۳- موج‌شکن شناور در ایران ۵۰
۲-۳-۱- مطالعات آزمایشگاهی ۵۰
۲-۳-۱-۱- تحقیقات کرمی و عطارزاده (۱۳۷۶) ۵۰
۲-۳-۱-۲- تحقیقات اکبری، بهزاد و چگینی (۱۳۷۸) ۵۱
۲-۳-۱-۳- تحقیقات صادقی و چگینی (۱۳۷۸) ۵۱
۲-۳-۱-۴- تحقیقات جاویدی و چگینی (۱۳۸۱) ۵۱
۲-۳-۱-۵- تحقیقات فروزنده و همکاران (۱۳۸۴) ۵۲
۲-۳-۱-۶- تحقیقات علی‌یاری و همکاران (۱۳۸۶) ۵۲
۲-۳-۲- مطالعات عددی ۵۲
۲-۳-۲-۱- تحقیقات تمجیدیان و کتابداری (۱۳۸۶) ۵۲
۲-۳-۲-۲- تحقیقات خلیلی و شفیعی‌فر (۱۳۸۹) ۵۳

فصل ۳- مدلسازی عددی ۵۴
۳-۱- انتخاب نرم‌افزار ۵۴
۳-۱-۱- بسته‌های نرم‌افزاری هیدرودینامیک شناور ۵۴
۳-۲- معرفی نرم‌افزار ANSYS AQWA ۵۷
۳-۲-۱- تئوری تفرق-انتشار ۶۰
۳-۳- طراحی مدل عددی ۶۳
۳-۳-۱- مدلسازی ۶۳
۳-۳-۱-۱- جرم موج‌شکن شناور ۶۳
۳-۳-۱-۲- شرایط مرزی ۶۴
۳-۳-۱-۳- مش‌بندی ۶۴
۳-۳-۱-۴- ضرایب جرم‌افزوده و میرایی هیدرودینامیکی ۶۶
۳-۳-۲- مهاربند ۶۷
۳-۳-۳- موج منظم و نامنظم ۶۷
۳-۳-۳-۱- موج منظم ۶۷
۳-۳-۳-۲- موج نامنظم ۶۸
۳-۳-۴- نتایج ۶۸
۳-۴- صحت‌سنجی ۶۹
۳-۴-۱- فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری ۶۹
۳-۴-۱-۱- موج‌شکن شناور پانتونی ۶۹
۳-۴-۱-۲- موج‌شکن شناور کاتاماران ۷۱
۳-۴-۲- فلوم موج دانشگاه تربیت مدرس ۷۲
۳-۴-۳- جمع‌بندی ۷۴

فصل ۴- تحلیل نتایج ۷۶
۴-۱- متغیرهای مورد بررسی ۷۶
۴-۱-۱- پارامترهای سازه‌ای ۷۶
۴-۱-۱-۱- عرض پانتون ۷۶
۴-۱-۱-۲- مهاربندی موج‌شکن شناور ۷۷
۴-۱-۲- پارامترهای هیدرودینامیکی ۷۸
۴-۱-۲-۱- موج برخوردی ۷۹
۴-۲- تحلیل نتایج ۸۱
۴-۲-۱- موج‌شکن شناور پانتونی ۸۱
۴-۲-۱-۱- تغییرات ارتفاع موج ۸۲
۴-۲-۱-۲- زاویه مهاربندی ۸۴
۴-۲-۱-۳- عمق آبخور ۸۶
۴-۲-۱-۴- عرض پانتون ۸۹
۴-۲-۱-۵- پریود موج ۹۴

۴-۲-۲- موج‌شکن شناور دوبل ۱۰۰
۴-۲-۲-۱- تغییرات ارتفاع موج ۱۰۱
۴-۲-۲-۲- زاویه مهاربندی ۱۰۳
۴-۲-۲-۳- عمق آبخور ۱۰۶
۴-۲-۲-۴- عرض پانتون ۱۰۷
۴-۲-۲-۵- پریود موج ۱۱۲
۴-۲-۲-۶- فاصله بین پانتون‌ها ۱۱۷
۴-۳- جمع‌بندی ۱۲۱
۴-۳-۱- تغییرات ارتفاع موج ۱۲۲
۴-۳-۲- عرض پانتون ۱۲۲
۴-۳-۳- پریود موج ۱۲۳
فصل ۵- نتیجه‌گیری ۱۲۶
۵-۱- مقدمه ۱۲۶
۵-۲- موج‌شکن شناور پانتونی ۱۲۶
۵-۳- موج‌شکن شناور دوبل ۱۲۷
۵-۴- پیشنهاد برای تحقیقات آینده ۱۲۸
فهرست مراجع ۱۲۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- مقادیر ابعاد موج‌شکن شناور با بهینه‌سازی شکل و وزن موج‌شکن ۴۸
جدول ۳-۱- مقایسه قابلیت نرم‌افزارهای مدلسازی هیدرودینامیک شناور ۵۷
جدول ۳-۲- نحوه تعریف وزن موج‌شکن شناور در ANSYS AQWA ۶۴
جدول ۳-۳- مشخصات مش‌بندی در ANSYS AQWA ۶۵
جدول ۳-۴- مشخصات مهاربندهای موج‌شکن شناور در ANSYS AQWA ۶۷
جدول ۳-۵- نحوه تعریف فرکانس موج در ANSYS AQWA ۶۸
جدول ۳-۶- میزان خطا در مدلسازی عددی ۷۴
جدول ۴-۱- محدوده متغیرهای مورد بررسی برای موج‌شکن شناور پانتونی ۸۱
جدول ۴-۲- محدوده تغییرات پارامترهای بدون بعد موج‌شکن شناور پانتونی ۸۲
جدول ۴-۳- محدوده متغیرهای مورد بررسی برای موج‌شکن شناور دوبل ۱۰۰
جدول ۴-۴- محدوده تغییرات پارامترهای بدون بعد موج‌شکن شناور دوبل ۱۰۱

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 [۱] ۵
شکل ۱-۸- مقطع و پلان موج‌شکن بومباردون [۳] 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- پارامترهای سازه‌ای و هیدرودینامیکی موثر بر ضریب عبور موج [۱] ۱۵
شکل ۲-۲- الگوهای قابل کاربرد برای موج‌شکن‌های شناور از نوع جعبه‌ای شکل [۵] ۱۶
شکل ۲-۳- الگوهای قابل کاربرد برای موج‌شکن‌های شناور از نوع حصیری [۵] ۱۶
شکل ۲-۴- الگوهای قابل کاربرد برای موج‌شکن‌های شناور از نوع پانتونی [۵] ۱۷
شکل ۲-۵- الگوهای قابل کاربرد برای موج‌شکن‌های شناور از نوع مهار شده [۵] ۱۷
شکل ۲-۶- مقطع موج‌شکن شناور دوبل [۸] ۱۹
شکل ۲-۷- منحنی تغییرات ضرائب انتقال و انعکاس موج در موج‌شکن شناور دوبل [۸] ۱۹
شکل ۲-۸- یک نمونه از موج‌شکن شناور میله‌ای [۹] ۲۰
شکل ۲-۹- ردیف‌های چند گانه موج‌شکن شناور میله‌ای [۹] ۲۰
شکل ۲-۱۰- موج‌شکن شناور میله‌ای به همراه تایرهای لاستیکی [۹] ۲۰
شکل ۲-۱۱- مقایسه مقادیر تئوری و آزمایشگاهی در سامانه دو لایه ای [۹] ۲۱
شکل ۲-۱۲- مقطع موج‌شکن شناور میله ای متخلخل [۱۲] ۲۱
شکل ۲-۱۳- مقایسه ضریب انعکاس و عبور موج برای داده‌های آزمایشگاهی و برنامه عددی توسعه یافته [۱۲] ۲۲
شکل ۲-۱۴- نمونه‌ای از یک نوع موج‌شکن شناور A-Frame ۲۲
شکل ۲-۱۵- نمونه ای از موج‌شکن شناور پانتونی ۲۳
شکل ۲-۱۶- مقطع بلوک‌های الماس شکل [۱۴] ۲۴
شکل ۲-۱۷- مقطع موج‌شکن شناور متخلخل [۱۴] ۲۴

شکل ۲-۱۸- نحوه تغییرات ضریب عبور موج در صورت وجود دیواره‌های نفوذ ناپذیر کناری [۱۴]..... ۲۵
شکل ۲-۱۹- مقطع موج‌شکن شناور π شکل [۱۵]..... ۲۶
شکل ۲-۲۰- مقایسه بین ضریب عبور موج، موج‌شکن شناور پانتونی و π شکل [۱۵]..... ۲۶
شکل ۲-۲۱- مقطع موج‌شکن شناور بادی [۱۶]..... ۲۷
شکل ۲-۲۲- جزئیات موج‌شکن شناور قفسی [۱۷]..... ۲۷
شکل ۲-۲۳- مشخصات فلوم موج برای بررسی رفتار موج‌شکن قفسی [۱۷]..... ۲۸
شکل ۲-۲۴-تغییرات ضریب انتقال موج نسبت به $\frac{G}{D}$ [۱۷]..... ۲۸
شکل ۲-۲۵- نمونه ای از یک موج‌شکن شناور کیسونی..... ۲۹
شکل ۲-۲۶- جانمایی فلوم موج و پارامترهای مورد بررسی [۱۸]..... ۲۹
شکل ۲-۲۷- نحوه تغییرات سطح آب بر اساس مدل عددی و مدل آزمایشگاهی [۱۸]..... ۳۰
شکل ۲-۲۸- موج‌شکن شناور کاتاماران [۲۰]..... ۳۱
شکل ۲-۲۹- شرایط مرزی در بررسی موج‌شکن شناور کاتاماران [۲۰]..... ۳۱
شکل ۲-۳۰- موج‌شکن شناور مایل [۲۱]..... ۳۲
شکل ۲-۳۱- شکل شماتیک موج‌شکن شناور مایل مورد آزمایش [۲۱]..... ۳۲
شکل ۲-۳۲- تاثیر تیزی موج روی ضریب انتقال (h=0.33m,l=1.46m) [۲۱]..... ۳۲
شکل ۲-۳۳- موج‌شکن شناور مارپیچی موجی [۵]..... ۳۳
شکل ۲-۳۴- موج‌شکن شناور گودیر [۵]..... ۳۴
شکل ۲-۳۵- موج‌شکن شناور تایر لوله‌ای [۵]..... ۳۴
شکل ۲-۳۶- موج‌شکن شناور سریع النصب [۲۲]..... ۳۵
شکل ۲-۳۷- مقطعی از یک موج‌شکن شناور مهار شده [۳]..... ۳۶
شکل ۲-۳۸- نمونه‌ای از یک موج‌شکن شناور چوبی [۴]..... ۳۶
شکل ۲-۳۹- نمونه ای از موج‌شکن شناور نوع ترمز موج [۲۳]..... ۳۷
شکل ۲-۴۰- پلان یک نوع مهار شمع [۵]..... ۳۹
شکل ۲-۴۱- پلان یک نوع مهاربندی بوسیله شمع‌کوبی در عمق [۵]..... ۳۹
شکل ۲-۴۲- پلان یک نوع مهاربندی با بکارگیری اجرام سنگین [۵]..... ۴۰
شکل ۲-۴۳- وضعیت‌های مختلف مهارشدگی موج‌شکن شناور [۲۴]..... ۴۲
شکل ۲-۴۴- تغییرات نیروی مهاری،مهارهای سمت دریا [۲۴]..... ۴۳
شکل ۲-۴۵- مقطع موج‌شکن شناور و پارامترهای مورد بررسی [۲۶]..... ۴۴
شکل ۲-۴۶- مقایسه نتایج مدل عددی توسعه یافته و مطالعات گذشته [۲۶]..... ۴۴
شکل ۲-۴۷- جانمایی موج‌شکن شناور: (الف) به صورت تک (ب) به صورت جفت [۵]..... ۴۵
شکل ۲-۴۸- جانمایی‌های متفاوت موج‌شکن شناور [۲۸]..... ۴۵
شکل ۲-۴۹- مقایسه ضریب عبور موج برای جانمایی‌های مختلف [۲۸]..... ۴۶
شکل ۲-۵۰- مقطع مدل عددی مورد بررسی [۲۹]..... ۴۶

شکل ۲-۵۱- نحوه تغییرات ضریب عبور موج با توجه به فاصله دیواره کناری (در شکل سمت چپ kr=1 و درشکل سمت راست kr=0.3) [۲۹] ۴۷
شکل ۲-۵۲- پارامترهای مطرح در بهینه‌سازی شکل هندسی موج‌شکن شناور [۳۱] ۴۷
شکل ۲-۵۳- مقطع موج‌شکن‌های شناور تک، جفت، تخته-شبکه [۳۲] ۴۸
شکل ۲-۵۴- مقطع فلوم موج دانشگاه صنعتی کاتالانیای اسپانیا [۳۳] ۴۹
شکل ۲-۵۵- ضریب انعکاس و عبور موج برای موج منظم [۳۳] ۵۰
شکل ۳-۱- ساختار بسته‌های نرم‌افزاری ۵۴
شکل ۳-۲- جزئیات مرحله پیش‌پردازش [۴۲] ۵۵
شکل ۳-۳- جزئیات مرحله پس پردازش(نمایش نتایج) [۴۲] ۵۵
شکل ۳-۴- جزئیات مرحله انجام محاسبات [۴۲] ۵۶
شکل ۳-۵- خلاصه‌ای از جزئیات مرحله پیش‌پردازش نرم‌افزار AQWA [۴۲] ۵۸
شکل ۳-۶- خلاصه‌ای از جزئیات مرحله پردازش نرم‌افزار AQWA [۴۲] ۵۹
شکل ۳-۷- خلاصه‌ای از جزئیات خروجی‌های نرم‌افزار AQWA [۴۲] ۶۰
شکل ۳-۸- تعریف شرایط مرزی در تئوری تفرق ۶۱
شکل ۳-۹- تعریف دو المان تفرق مجاور ۶۶
شکل ۳-۱۰- مش‌بندی پانتون موج‌شکن شناور ۶۶
شکل ۳-۱۱- نحوه تعریف طیف موج در نرم‌افزار AQWA ۶۸
شکل ۳-۱۲- نمونه‌ای از تغییرات سطح آب در نرم‌افزار AQWA ۶۹
شکل ۳-۱۳- ابعاد پانتون و نحوه مهاربندی مدل آزمایشگاهی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری ۷۰
شکل ۳-۱۴- موج‌شکن شناور پانتونی شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار ۷۰
شکل ۳-۱۵- نتایج صحت‌سنجی مدل عددی موج‌شکن شناور پانتونی ۷۰
شکل ۳-۱۶- ابعاد پانتون و نحوه مهاربندی مدل آزمایشگاهی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری ۷۱
شکل ۳-۱۷- موج‌شکن شناور کاتاماران شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار ۷۱
شکل ۳-۱۸- نتایج صحت‌سنجی مدل عددی موج‌شکن شناور کاتاماران با (الف) عمق آبخور ۱/۱ متر (ب) عمق آبخور ۱/۳ متر ۷۲
شکل ۳-۱۹- ابعاد پانتون برای واسنجی مدل عددی ۷۲
شکل ۳-۲۰- مدل شبیه سازی شده در نرم‌افزار ۷۳
شکل ۳-۲۱- نتایج صحت‌سنجی مدل عددی موج‌شکن شناور دوبل ۷۳
شکل ۳-۲۲- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر فاصله نسبی ۷۴
شکل ۴-۱- ابعاد پانتون برای بررسی عملکرد موج‌شکن شناور ۷۶
شکل ۴-۲- نحوه تغییر شکل نحوه مهاربندی موج‌شکن شناور در شرایط جزرومد: (الف) حالت مد (ب) حالت جزر ۷۷

شکل ۴-۳- تغییرات ارتفاع موج عبوری به ارتفاع موج برخوردی برای: (الف) پریود ۳ ثانیه (ب) پریود ۴ ثانیه (ج) پریود ۵ ثانیه ۷۸
شکل ۴-۴- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر تیزی موج(S_{om}) برای: (الف) موج‌شکن شناور پانتونی (ب) موج‌شکن شناور دوبل ۷۹
شکل ۴-۵- طیف موج‌های برخوردی ۸۰
شکل ۴-۶- نمونه‌ای از پروفیل تغییرات سطح آب تولید شده با توجه به طیف موج ۸۰
شکل ۴-۷- پارامترهای مورد بررسی در موج‌شکن شناور پانتونی ۸۱
شکل ۴-۸- نحوه عملکرد موج‌شکن شناور پانتونی در کاهش ارتفاع موج عبور ۸۲
شکل ۴-۹- کانتورهای تغییرات سطح آب برای پریود پیک(T_p): (الف) ۲ ثانیه (ب) ۳ ثانیه (ج) ۴ ثانیه (د) ۵ ثانیه ۸۳
شکل ۴-۱۰- تغییرات ارتفاع موج مشخصه در مقابل و پشت موج‌شکن شناور پانتونی ۸۴
شکل ۴-۱۱- ساده‌سازی نحوه مهاربندی موج‌شکن شناور ۸۵
شکل ۴-۱۲- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به تغییرات زاویه مهاربندی موج‌شکن شناور پانتونی ۸۵
شکل ۴-۱۳- نمایش شماتیک از اربیتال حرکت ذرات آب ۸۶
شکل ۴-۱۴- تمرکز درصد انرژی جنبشی بالای عمق نسبی z/h [۳] ۸۷
شکل ۴-۱۵- تغییرات ضریب عبور موج برای عمق آبخورهای مختلف موج‌شکن شناور پانتونی ۸۸
شکل ۴-۱۶- تغییرات ضریب عبور موج برای عرض‌های مختلف پانتون موج‌شکن شناور پانتونی ۸۹
شکل ۴-۱۷- نحوه تاثیر عرض پانتون موج‌شکن شناور بر ضریب عبور موج ۹۰
شکل ۴-۱۸- تغییرات ارتفاع موج مشخصه مقابل و پشت موج‌شکن شناور پانتونی برای پریود پیک (T_p=2s): (الف) پانتون با عرض ۳ متر (ب) پانتون با عرض ۵ متر (ج) پانتون با عرض ۷ متر ۹۱
شکل ۴-۱۹- بردار تغییرات ارتفاع موج مشخصه مقابل و پشت موج‌شکن شناور پانتونی برای پریود پیک (T_p=2s): (الف) پانتون با عرض ۳ متر (ب) پانتون با عرض ۵ متر (ج) پانتون با عرض ۷ متر ۹۲
شکل ۴-۲۰- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر عرض نسبی برای موج‌شکن شناور پانتونی ۹۳
شکل ۴-۲۱- تغییرات ارتفاع موج مشخصه مقابل و پشت موج‌شکن شناور پانتونی: (الف) پانتون با عرض ۳ متر (ب) پانتون با عرض ۵ متر ۹۴
شکل ۴-۲۲- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پریود موج برای موج‌شکن شناور پانتونی: (الف) پانتون با عرض ۳ متر (ب) پانتون با عرض ۵ متر (ج) پانتون با عرض ۷ متر (د) کلیه نتایج ۹۵
شکل ۴-۲۳- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پریود پیک موج برخوردی در موج‌شکن شناور پانتونی ۹۶
شکل ۴-۲۴- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر To برای موج‌شکن شناور پانتونی: (الف) عرض پانتون ۳ متر (ب) عرض پانتون ۵ متر (ج) عرض پانتون ۷ متر (د) کلیه نتایج ۹۷
شکل ۴-۲۵- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر To برای موج‌شکن شناور پانتونی ۹۸
شکل ۴-۲۶- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر L_{om}/B برای موج‌شکن شناور پانتونی ۹۹
شکل ۴-۲۷- پارامترهای مورد بررسی در موج‌شکن شناور دوبل ۱۰۰

شکل ۴-۲۸- نحوه عملکرد موج‌شکن شناور دوبل در کاهش ارتفاع موج عبور ۱۰۱
شکل ۴-۲۹- کانتورهای تغییرات سطح آب برای پریود پیک(T_p): (الف) ۲ ثانیه (ب) ۳ ثانیه (ج) ۴ ثانیه (د) ۵ ثانیه ۱۰۲
شکل ۴-۳۰- تغییرات ارتفاع موج مشخصه در مقابل و پشت موج‌شکن شناور دوبل ۱۰۳
شکل ۴-۳۱- ساده‌سازی نحوه مهاربندی موج‌شکن شناور ۱۰۴
شکل ۴-۳۲- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به تغییرات زاویه مهاربندی موج‌شکن شناور دوبل.. ۱۰۵
شکل ۴-۳۳- تغییرات ضریب عبور موج برای عمق آبخورهای مختلف موج‌شکن شناور دوبل با پانتون به عرض ۳ متر ۱۰۶
شکل ۴-۳۴- تغییرات ضریب عبور موج برای عمق آبخورهای مختلف موج‌شکن شناور دوبل با پانتون به عرض ۵ متر ۱۰۷
شکل ۴-۳۵- تغییرات ارتفاع موج مشخصه مقابل و پشت موج‌شکن شناور دوبل برای پریود پیک (T_p=2s): (الف) پانتون با عرض ۳متر (ب) پانتون با عرض ۵ متر (ج) پانتون با عرض ۷ متر ۱۰۸
شکل ۴-۳۶- تغییرات ارتفاع موج مشخصه مقابل و پشت موج‌شکن شناور دوبل برای پریود پیک (T_p=4s): (الف) پانتون با عرض ۳متر (ب) پانتون با عرض ۵ متر (ج) پانتون با عرض ۷ متر ۱۰۹
شکل ۴-۳۷- بردار تغییرات ارتفاع موج مشخصه مقابل و پشت موج‌شکن شناور دوبل: (الف) پانتون با عرض ۳ متر (ب) پانتون با عرض ۵ متر ۱۱۰
شکل ۴-۳۸- تغییرات ضریب عبور موج برای عرض‌های مختلف پانتون موج‌شکن شناور دوبل ۱۱۱
شکل ۴-۳۹- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر عرض نسبی برای موج‌شکن شناور دوبل..... ۱۱۲
شکل ۴-۴۰- تغییرات ارتفاع موج مشخصه مقابل و پشت موج‌شکن شناور دوبل:(الف)پانتون با عرض ۳ متر (ب)پانتون با عرض ۵ متر ۱۱۳
شکل ۴-۴۱- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پریود موج برای موج‌شکن شناور دوبل: (الف) پانتون با عرض ۳ متر (ب) پانتون با عرض ۵ متر (ج) پانتون با عرض ۷ متر (د) کلیه نتایج ۱۱۴
شکل ۴-۴۲- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پریود پیک موج در موج‌شکن شناور دوبل ۱۱۴
شکل ۴-۴۳- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر To برای موج‌شکن شناور دوبل: (الف) عرض پانتون ۳ متر (ب) عرض پانتون ۵ متر (ج) عرض پانتون ۷ متر (د) کلیه نتایج ۱۱۵
شکل ۴-۴۴- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر L_{om}/B برای موج‌شکن شناور دوبل ۱۱۶
شکل ۴-۴۵- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر To برای موج‌شکن شناور دوبل ۱۱۶
شکل ۴-۴۶- تغییرات ماکزیمم ارتفاع موج مشخصه برا ی موج‌شکن شناور دوبل با فواصل مختلف بین پانتون‌ها (الف) پریود موج برخوردی ۲ ثانیه (ب) پریود موج برخوردی ۳ ثانیه (ج) پریود موج برخوردی ۴ ثانیه ۱۱۸
شکل ۴-۴۷- نمونه‌ای از تغییرات ضریب عبور موج برای موج‌شکن شناور دوبل نسبت به پارامتر Xo : (الف) پانتون با عرض ۳ متر (ب) پانتون با عرض ۵ متر (ج) پانتون با عرض ۷ متر (د) کلیه نتایج..... ۱۱۹
شکل ۴-۴۸- تغییرات ضریب عبور موج برای موج‌شکن شناور دوبل نسبت به پارامتر Xo : (الف) پانتون با عرض ۳ متر (ب) پانتون با عرض ۵ متر (ج) پانتون با عرض ۷ متر (د) کلیه نتایج ۱۲۰

شکل ۴-۴۹- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر Xo در موج‌شکن شناور دوبل..... ۱۲۱
شکل ۴-۵۰- مقایسه تغییرات ارتفاع موج مشخصه در مقابل و پشت موج‌شکن شناور پانتونی و دوبل ۱۲۲
شکل ۴-۵۱- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر B/L_{om} ۱۲۳
شکل ۴-۵۲- تغییرات نیروی افقی و قائم موج با فرکانس بلند و کوتاه..... ۱۲۴
شکل ۴-۵۳- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر L_{om}/B ۱۲۴
شکل ۴-۵۴- تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر To ۱۲۵

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 و آبشکن‌ها برای ایجاد چنین منطقه‌ای به‌کار می‌روند.

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 تقسیم‌بندی 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 توده‌سنگی و قائم، موج‌شکن‌های شناور، موج‌شکن‌های هوایی یا بادی و موج‌شکن‌های پایه‌دار یا منقطع قابل تعریف خواهد بود. در ادامه 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