بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای سید امید مقدس زاده پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان توسعه و کاربرد روش اصلاح شده ی المان مرزی – محدود مقیاس شده برای حل مساله ی تفرق امواج اطراف مانع قائم** در تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۱٦ 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 ناصر خاجی	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر مهدی شفیعی فر	استاد	
استاد ناظر	دکتر محمد تقی احمدی	استاد	
استاد ناظر	دکتر سعیدرضا صباغ یزدی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمد تقی احمدی	استاد	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه رساله مورد تأییداست
امضای استاد راهنما:

آیین‌نامه 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 شود.

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 آئین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیات 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 **سید امید مقدس‌زاده** دانشجوی رشته **مهندسی عمران/سازه‌های دریایی** ورودی سال تحصیلی **۹۰-۱۳۸۹** مقطع کارشناسی ارشد دانشکده **عمران و 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 آئین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب به لغو امتیاز اختراع به نام بنده و یا هرگونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمنا نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدین وسیله حق هرگونه اعتراض را از خود سلب نمودم.»

نام و نام خانوادگی

امضاء

سید امید مقدس زاده

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/ رساله دکتری نگارنده در رشته **عمران/سازه‌های دریایی** است که در سال **۱۳۹۱** در دانشکده **عمران و محیط زیست** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر **ناصر خاجی** و مشاوره 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.

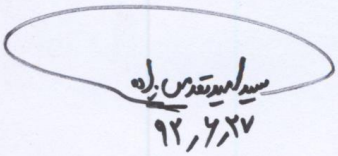
ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

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 **سید امید مقدس‌زاده** دانشجوی رشته **عمران/سازه‌های دریایی** مقطع **کارشناسی‌ارشد** تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضا:



دانشکده عمران و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران-سازه‌های دریایی

عنوان پایان‌نامه

توسعه و کاربرد روش اصلاح‌شده‌ی المان مرزی- محدود مقیاس شده برای حل مسأله‌ی تفرق امواج اطراف مانع قائم

نام دانشجو

سید امید مقدس‌زاده

استاد راهنما

دکتر ناصر خاجی

استاد مشاور

دکتر مهدی شفیعی‌فر

اسفند ۱۳۹۱

تقدیر و تشکر

بی شک بدون عنایات الهی انجام تحصیل و پژوهش برایم میسر نبود و پروردگار متعال را بابت ارزانی این موهبت شکرگزارم.

از استادبزرگوارم جناب آقای دکتر ناصر خاجی که در انجام این پایان نامه از راهنمایی ارزنده شان استفاده نمودم کمال تشکر و قدردانی را دارم، در مدت این پژوهش از ایشان به جز بهره علمی، درس زندگی نیز آموختم و از شاگردی ایشان به خود می بالم. همچنین از جناب آقای دکتر مهدی شفیعی فر که در طول دوران تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد همیشه از مشاوره و نظرات ایشان استفاده نموده ام تشکر صمیمانه دارم. امیدوارم که شاگردی شایسته برای این بزرگواران باشم.

از تمامی اساتید و معلمان عزیزم که در تمام دوران تحصیلم به من چگونه فکر کردن و زندگی کردن را آموختند تشکر می کنم. بر خود لازم می دانم از زحمات آقای دکتر محمد ایمان خدا کرمی در به ثمر رسیدن این پژوهش، تشکر داشته باشم. همچنین از هم فکری دوست عزیزم مهندس حمید آقابابازاده نیز کمال امتنان را دارم.

از خانواده ی عزیزم بابت همه حمایت ها و زحماتشان سپاسگزارم، جا دارد از پدرم که در زمان حیات خود با راهنمایی ها و دلسوزی ها و بعد از آن با دعای خیر خود همیشه اصلی ترین نقش در زندگیم را ایفا کرده است یادی داشته باشم. از مادر فداکارم و از برادران عزیزم بابت همه محبت هایشان ممنونم. از زحمات بسیار زیاد همسرم سرکار خانم ملیکا مدنی که در این مدت همگام و همراه من بوده، کمال قدردانی را دارم.

چکیده

تفرق امواج و تعیین تراز سطح آب اطراف موانع قائم در دریاهای آزاد از مسائل بسیار مهم در مهندسی سازه‌های دریایی است که به‌طور وسیعی در گذشته مورد تحقیق قرار گرفته است. با توجه به اهمیت این مساله از یک طرف، و نیاز به توسعه روش عددی جدید معادلات مجزا از طرف دیگر، در این پایان‌نامه، روش نیمه‌تحلیلی معادلات مجزا برای حل مسائل جریان و تفرق امواج در برخورد با موانع قائم در دریا توسعه داده شده است. در این روش فقط مرزهای مساله المان‌بندی می‌شوند و المان‌های مورد استفاده در مدل‌سازی هندسه و فیزیک مساله، المان‌های غیر ایزوپارامتریک مرتبه بالای ویژه‌ایی هستند که در آنها، چند جمله‌ایی‌های چبیشف نقش توابع نگاشت و چند جمله‌ایی‌های مرتبه بالای ویژه‌ای نقش توابع شکل را به عهده دارند. روش انتگرال‌گیری کلنشا-کورتیس به همراه شیوه تولید فرم انتگرالی معادلات حاکم بر روی المان‌های با ویژگی‌های ذکر شده، سبب تولید ماتریس ضرایب قطری و غیر درگیر شدن معادلات حاکم به ازای هر درجه آزادی می‌گردد که این امر هزینه محاسباتی حل مساله را بسیار کاهش می‌دهد. سپس برای بررسی صحت و دقت نتایج روش حاضر، مثال‌های عددی مختلفی با استفاده از روش معادلات مجزا مدل شده و انطباق خوبی بین نتایج این روش و حل‌های تحلیلی و حل‌های عددی دیگر مشاهده شده است.

کلمات کلیدی: روش معادلات مجزا، ماتریس ضرایب قطری، تفرق امواج، دامنه نامحدود، معادله هلمهولتز

فهرست مطالب

فهرست شکل‌ها و نمودارها ..... ت

فهرست جدول ..... ج

فهرست علائم و نشانه‌ها ..... ح

فصل ۱- مقدمه ۲

۱-۱- کلیات ۲

۱-۲- هدف ۳

۱-۳- پیش‌فرض‌ها ۴

۱-۴- جنبه نوآوری در پایان‌نامه ۴

۱-۵- ساختار پایان‌نامه ۴

فصل ۲- مروری بر ادبیات فنی و مطالعات گذشته ۷

۲-۱- مروری بر روش‌های عددی ۷

۲-۱-۱- روش المان محدود ۷

۲-۱-۲- روش المان مرزی ۸

۲-۱-۳- روش المان مرزی- محدود مقیاس شده ۹

۲-۱-۴- روش معادلات مجزا ۹

۲-۲- امواج در دریا ۱۰

۲-۳- مروری بر مطالعات گذشته ۱۲

۲-۳-۱- حل‌های تحلیلی و آزمایشگاهی ۱۲

۲-۳-۲- حل‌های عددی ۱۳

فصل ۳- مبانی روش معادلات مجزا ۱۸

۳-۱- مقدمه ۱۸

۳-۲- مدل‌سازی هندسه‌ی مساله ۱۸

۳-۳- مدل‌سازی فیزیک مساله ۲۴

۳-۴- روش انتگرال‌گیری یک بعدی کلنشا-کورتیس ۲۸

۳-۵- روش کلی حل معادلات حاکم در روش معادلات مجزا ۲۹

۳-۶- حل مساله‌ی پتانسیل با استفاده از روش معادلات مجزا ۳۰
۳-۶-۱- تئوری پتانسیل ۳۰
۳-۶-۲- حل معادله‌ی حاکم بر مسائل پتانسیل ۳۲
۳-۶-۳- مثال‌های عددی ۳۲

فصل ۴- توسعه‌ی روش معادلات مجزا برای حل معادله‌ی حاکم بر تفرق امواج ۳۹

۴-۱- معادله حاکم بر تفرق امواج ۳۹
۴-۲- روند تولید فرم انتگرالی معادله هلمهولتز ۴۰
۴-۳- ماتریس ضرایب در معادله‌ی هلمهولتز ۴۵
۴-۴- حل معادله‌ی حاکم در روش معادلات مجزا بر معادله‌ی هلمهولتز ۴۶

فصل ۵- تفرق امواج اطراف یک مانع قائم ۴۸

۵-۱- تئوری تفرق امواج اطراف مانع ۴۸
۵-۲- تفرق امواج اطراف استوانه با سطح مقطع دایروی ۵۲
۵-۳- تفرق امواج اطراف استوانه با سطح مقطع بیضوی ۶۷
۵-۴- تفرق امواج اطراف سیلندر مربعی ۷۰

فصل ۶- جمع‌بندی و پیشنهادات ۷۵

۶-۱- نتیجه‌گیری ۷۵
۶-۲- پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۷۶
منابع و مراجع ۷۷
واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۸۰
واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۸۳

فهرست شکل‌ها و نمودارها

شکل ۳-۱: نحوه مدل‌سازی مسایل دو بعدی شماتیک؛ الف) هندسه‌ی مساله در مختصات کلی، ب) هندسه‌ی مساله دو بعدی در مختصات محلی. ۱۹

شکل ۳-۲: توابع نگاشت یک المان سه گرهی بر اساس چند جمله‌ای‌های چبیشف. ۲۲

شکل ۳-۳: توابع شکل یک المان سه گرهی تولید شده با استفاده از چند جمله‌ای‌های مرتبه‌ی ۵. ..... ۲۵

شکل ۳-۴: مقایسه توابع نگاشت و توابع شکل یک المان سه گرهی. ۲۷

شکل ۳-۵: حوزه دو بعدی $\boldsymbol{\Omega}$ با شرایط مرزی نیومن و دیریکله. ۳۱

شکل ۳-۶: هندسه و شرایط مرزی در مختصات کلی. ۳۳

شکل ۳-۷-الف): شبکه بندی مساله، ب): المان سه گرهی استفاده شده در شبکه بندی. ۳۴

شکل ۳-۸: تغییرات تابع پتانسیل در امتداد محور $\boldsymbol{Y}$ در $\boldsymbol{x = 2.5}$. ۳۵

شکل ۳-۹: هندسه و شرایط مرزی در مختصات کلی. ۳۶

شکل ۳-۱۰-الف): شبکه بندی یک ششم از فضای مساله، ب):المان سه گرهی استفاده شده در شبکه بندی. ۳۷

شکل ۳-۱۱: تغییرات تابع پتانسیل در امتداد محور افقی. ۳۷

شکل ۵-۱:تعریف مساله. ۴۹

شکل ۵-۲:شبکه‌بندی برای استوانه دایره‌ای در روش معادلات مجزا. ۵۳

شکل ۵-۳:قسمت حقیقی تغییرات تراز سطح آب ناشی از تفرق امواج بر استوانه دایره‌ای. ۵۵

شکل ۵-۴: قسمت موهومی تغییرات تراز سطح آب ناشی از تفرق امواج بر استوانه دایره‌ای. ۵۵

شکل ۵-۵: قسمت حقیقی تغییرات تراز کلی آب اطراف استوانه دایره‌ای. ۵۶

شکل ۵-۶: قسمت موهومی تغییرات تراز کلی آب اطراف استوانه دایره‌ای. ۵۶

شکل ۵-۷: قسمت حقیقی تغییرات سرعت مماسی بر استوانه دایره‌ای. ۵۷

شکل ۵-۸: قسمت موهومی تغییرات سرعت مماسی بر استوانه دایره‌ای ۵۷

شکل ۵-۹:تغییرات تراز سطح آب بر استوانه دایروی $\boldsymbol{ka = 0.5}$. ۵۸

شکل ۵-۱۰:تغییرات تراز سطح آب بر استوانه دایروی $\boldsymbol{ka = 1}$. ۵۹

شکل ۵-۱۱:تغییرات تراز سطح آب بر استوانه دایروی $\boldsymbol{ka = 3}$. ۵۹

شکل ۵-۱۲:تغییرات تراز سطح آب بر استوانه دایروی $\boldsymbol{ka = 5}$. ۶۰

شکل ۵-۱۳:تغییرات تراز سطح آب در امواج تاج کوتاه بر استوانه دایروی $kx = 2\ m-1\quad ky = 0\ m-1$ ۶۱
شکل ۵-۱۴: تغییرات تراز سطح آب در امواج تاج کوتاه بر استوانه دایروی ۶۱
شکل ۵-۱۵: تغییرات تراز سطح آب در امواج تاج کوتاه بر استوانه دایروی $kx = 1\ m-1\quad ky = 1\ m-1$ ۶۲
شکل ۵-۱۶: تغییرات تراز سطح آب در امواج تاج کوتاه بر استوانه دایروی ۶۲
شکل ۵-۱۷: تغییرات تراز سطح آب در امواج تاج کوتاه بر استوانه دایروی $kx = 0\ m-1\quad ky = 2\ m-1$ ۶۳
شکل ۵-۱۸:مقایسه مقادیر تراز سطح آب اطراف استوانه دایرهای برای $k = 2\ m-1$ ۶۴
شکل ۵-۱۹:تغییرات ضریب اینرسی نسبت به ky/kx در $kxa = 2$ ۶۶
شکل ۵-۲۰: تغییرات ضریب کشانی نسبت به ky/kx در $kxa = 2$ ۶۶
شکل ۵-۲۱:تغییرات نیروی کل نسبت به ky/kx در $kxa = 2$ ۶۷
شکل ۵-۲۲:استوانه بیضوی با نسبت قطری ۲ به ۱. ..... ۶۸
شکل ۵-۲۳:شبکه‌بندی برای استوانه بیضوی در روش معادلات مجزا. ۶۸
شکل ۵-۲۴:قسمت حقیقی تغییرات تراز سطح آب اطراف استوانه بیضوی. ۶۹
شکل ۵-۲۵: قسمت موهومی تغییرات تراز سطح آب اطراف استوانه بیضوی. ۶۹
شکل ۵-۲۶:سیلندر مربعی. ۷۰
شکل ۵-۲۷:شبکه‌بندی سیلندر مربعی شامل دو زیردامنه محدود و یک دامنه نامحدود در روش معادلات مجزا. ۷۱
شکل ۵-۲۸:قسمت حقیقی تغییرات تراز سطح آب در امتداد سطح سیلندر مربعی ۷۱
شکل ۵-۲۹: قسمت موهومی تغییرات تراز سطح آب در امتداد سطح سیلندر مربعی ۷۲
شکل ۵-۳۰:قسمت حقیقی سرعت مماسی در امتداد سطح سیلندر مربعی ۷۳
شکل ۵-۳۱: قسمت موهومی سرعت مماسی در امتداد سطح سیلندر مربعی ۷۳

فهرست جدول

جدول ۱-۱ : ضرایب ثابت a_m، $m=0,\ldots,2n_\eta+1$؛ برای یک المان $n_\eta+1$ گرهی ۲۶
جدول ۱-۵۱ : مشخصات رایانه ۷۳

فهرست علائم و نشانه‌ها

محور شعاعی دستگاه مختصات محلی	Ξ	طول موج	L		
محور مماسی دستگاه مختصات محلی	H	چگالی جرمی	ρ		
تابع پتانسیل کل	Φ	واحد موهومی	$\sqrt{-1}$		
تابع پتانسیل موج برخوردی	ϕ^I	عمق آب دریا	h		
تابع پتانسیل موج پراکنده شده	ϕ^s	تراز سطح آب	η		
ماتریس ژاکوبی	$\hat{J}$	دامنه مسئله	Ω		
ماتریس تابع شکل	N	اپراتور گرادیان	∇		
ماتریس تابع نگاشت	Φ	تابع شار	q		
عدد موج	K	تابع وزن	w		
عدد موج در راستای محور x	k_x	شرط مرزی دیریکله	Γ_ϕ		
عدد موج در راستای محور y	k_y	شرط مرزی نیومن	Γ_q		
فرکانس زاویه‌ای	Ω	واحد زمان	t		
پریود موج	T	شتاب جاذبه	g		
دامنه موج	A				

۱

مقدمه

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– کلیات

اقیانوس‌ها و دریاها همواره در طول تاریخ در زندگی بشر دارای اهمیت ویژه‌ای بوده‌اند. اقیانوس‌ها ٪۷۱ سطح کل کره زمین را در بر گرفته‌اند، حدود دو سوم جمعیت کره زمین در نوار ساحلی و یا نزدیک آن زندگی می‌کنند.

به دلیل ساختِ سازه‌هایی در سواحل و در داخل اقیانوس‌ها بشر نیازمند آشنایی و توسعه‌ی علوم دریایی شده است. به همین دلیل مهندسی دریا که از مجموعه گرایش‌های مهندسی عمران است، روز به روز در سرتاسر دنیا توسعه یافته است. در کشور ما نیز، به دلیل اهمیت حمل و نقل دریایی و وجود منابع عظیم نفت و گاز در آب‌های اطراف کشور، توسعه‌ی مطالعات و تحقیقات در زمینه‌ی مهندسی دریا ضروری به نظر می‌رسد. یکی از مهمترین مسائل در آب‌های آزاد بحث انتشار امواج و محاسبه نیروهای ناشی از این امواج و جریان‌های دریایی به سازه‌های موجود در آب است. معادله‌ی حاکم بر انتشار امواج در دریا معادله‌ی لاپلاس است، بدین‌صورت که با در نظر گرفتن تابع پتانسیل اسکالر Φ که در معادله‌ی (۱-۱) صدق می‌کند (Milne and Milne, 1953) و محاسبه آن با استفاده از شرایط مرزی حاکم در کف و سطح دریا می‌توان مقدار سرعت موج و در نهایت میزان نیروی ناشی از امواج را بدست آورد.

$$\nabla^2\Phi = 0 \qquad (۱-۱)$$

در انتشار امواج به سمت ساحل به دلیل عوامل مختلف؛ امواج دچار پدیده‌های مختلفی می‌شود که یکی از مهمترین آن‌ها پدیده‌ی تفرق امواج است. پدیده‌ی تفرق امواج از برخورد جبهه‌ی موج با یک مانع اتفاق می‌افتد؛ بدین ترتیب که امواج در برخورد با یک مانع دچار تفرق شده و تراز سطح آب قبل و بعد از برخورد موج به مانع، دچار تغییر می‌شود یا به بیانی دیگر وقتی که ارتفاع یک موج در یک نقطه در طول تاج موج نسبت به نقطه‌ی مجاور دیگر بزرگتر باشد تفرق رخ خواهد داد. در تفرق امواج انرژی موج به صورت جانبی و عمود بر جهت قالب انتشار موج منتشر می‌شود. می‌توان گفت تفرق امواج در مورد انتشار امواج در فواصل طولانی‌تر اهمیت بیشتری دارند. معادله‌ی ریاضی حاکم بر تفرق امواج، معادله‌ی هلمهولتز است؛ بدین ترتیب که Φ تابع پتانسیل موج متفرق شده در معادله‌ی (۱-۲) که در آن k عدد موج است صدق می‌کند. (Milne and Milne, 1953)

$$\nabla^2\Phi^s + k^2\Phi^s = 0 \qquad (۲-۱)$$

برای تفرق امواج اطراف یک مانع قائم با سطح مقطع‌های مختلف این معادله با استفاده از روش‌های تحلیلی قابل حل است که این امر برای مسائل ساده در گذشته توسط پژوهشگران مختلف انجام شده است. از آنجا که حل تحلیلی دارای پیچیدگی‌های زیاد است روش‌های عددی مختلف در حل این مساله توسعه یافته‌اند.

روش‌های عددی بسیاری برای مدل‌سازی پدیده‌های فیزیکی و به خصوص مدل‌سازی و حل مسائل انتشار امواج مطرح شده‌اند؛ ولی به طور کلی همه این روش‌ها خالی از ایراد نیستند، برخی از این روش‌ها زمان زیادی برای حل مسائل نیاز دارند، برخی دیگر پاسخ‌های دقیقی ارائه نمی‌کنند و برخی دیگر در حل یکسری از مسائل محدودیت‌هایی دارند. در حل مسائل انتشار امواج روش‌های سنتی عددی مانند روش المان محدود در مسائل شامل تکینگی تنش، دقت چندان مناسبی نداشته‌اند، به همین دلیل در حل این مسائل از روش‌های عددی دیگری نیز استفاده شده است که هرکدام دارای نقاط ضعف و قوت مربوط به خود هستند. در این میان روش‌های بدون شبکه به دلیل اینکه درجات آزادی بسیار کمتری نسبت به سایر روش‌ها داشته و همچنین از دقت بالایی نیز برخوردار هستند، مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. بر این اساس اخیرا یک روش نیمه تحلیلی جدید به نام روش معادلات مجزا توسط خاجی و خداکرمی ارائه شده است که در این روش ماتریس‌های مشخص سیستم به ماتریس‌های قطری تبدیل شده که باعث غیر وابسته شدن معادلات به یکدیگر می‌شود، در نتیجه یکسری معادلات دیفرانسیل معمولی غیر درگیر برای هر درجه آزادی به وجود آمده که با حل هر معادله یکی از مجهولات مساله بدست می‌آید. نتیجه این روش در حل مسائل پتانسیل و الاستواستاتیک دو بعدی و سه بعدی و الاستو-دینامیک بسیار دقیق است (Khaji et al., 2011)، لذا توسعه‌ی این روش در مسائل انتشار امواج در دریا و اطمینان از صحت نتایج آن و سپس کاربرد آن در مسائل دریایی ضروری به نظر می‌رسد.

۱-۲- هدف

هدف از انجام این پژوهش توسعه‌ی روابط حاکم بر روش معادلات مجزا در مسائل انتشار تفرق امواج و سپس حل مسائل مربوط به انتشار و تفرق امواج توسط این روش و کنترل صحت و دقت نتایج و هزینه‌های محاسباتی آن با روش‌های عددی دیگر و حل‌های تحلیلی موجود است.

از یک طرف با توجه به هزینه زمانی زیاد و برخی از مشکلات در حل مسائل انتشار و تفرق امواج توسط روش‌های عددی دیگر و از طرف دیگر با توجه به جدید بودن روش معادلات مجزا و احتیاج به توسعه یافتن این روش، هدف از انجام این پژوهش ضروری به نظر می‌رسد.

۱-۳- پیش‌فرض‌ها

در این پژوهش، فرض‌های زیر در نظر گرفته شده است:

- مساله به صورت دو بعدی در نظر گرفته شده است.
- آب دریا به صورت سیال تراکم ناپذیر و غیر لزج و همچنین جریان، غیر چرخشی در نظر گرفته شده است.
- بستر دریا به صورت صلب، غیر قابل نفوذ و افقی در نظر گرفته شده و از اندرکنش آب و بستر دریا صرفنظر شده است.
- مانع به صورت صلب، عمود بر بستر دریا و با شکل مقطع دلخواه در نظر گرفته شده است.

۱-۴- جنبه نوآوری در پایان‌نامه

روش معادلات مجزا برای اولین بار در سال ۲۰۱۱ میلادی توسط خاجی و خداکرمی ارائه شده است (Khaji and Khodakarami, 2011). بدیهی است که این روش مانند روش‌های عددی دیگر مستلزم توسعه و کاربرد در محیط‌ها و مسائل گوناگون است. در این تحقیق برای اولین بار این روش در محیط دریا و برای مسائل تفرق امواج توسعه یافته است. همچنین برای حل مسائل کد عددی با استفاده از نرم‌افزار Matlab(R2010a) تهیه شده است که می‌تواند مبنایی برای تکمیل برنامه‌ی تحقیقاتی و محاسباتی آتی باشد. این موضوع خود از مصادیق بدیع بودن این تحقیق است.

۱-۵- ساختار پایان‌نامه

این پایان نامه از ۶ فصل تشکیل شده است، همانگونه که اشاره شد در این فصل مقدمه‌ای بر ضرورت انجام این پایان‌نامه ارائه شد. در فصل دوم مروری به تحقیقات انجام شده در گذشته توسط پژوهشگران مختلف در انتشار و تفرق امواج اطراف موانع صورت می‌گیرد. در این فصل سعی شده که نقاط ضعف و قوت روش‌های عددی مختلف در مسائل تفرق امواج به طور جامع مورد بررسی قرار گیرد و نیاز به

روش‌های عددی جدیدتری برای پوشاندن نقاط ضعف این روش‌ها مشخص گردد. پس از آن در فصل سوم مبانی کلی روش معادلات مجزا و جزئیات مربوط به این روش به طور مفصل مورد بحث قرار می‌گیرد و در انتها چند مثال از مسائل پتانسیل دو بعدی به منظور تسلط و اطمینان از صحت نتایج این روش ارائه می‌گردد. در ادامه در فصل چهارم به توسعه روش معادلات مجزا در حل معادله هلمهولتز که معادله حاکم بر تفرق امواج است پرداخته می‌شود. در فصل پنجم پس از مقدمه‌ای کوتاه بر تئوری تفرق امواج به حل مسائل گوناگون توسط روش معادلات مجزا و صحت سنجی آن با حل‌های تحلیلی و روش‌های عددی دیگر پرداخته می‌شود. در انتها نیز در فصل ششم جمع‌بندی از موارد مطرح شده در فصل‌های قبل و ارائه پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی انجام می‌گیرد.

۲

مروری بر ادبیات فنی و مطالعات گذشته

فصل ۲– مروری بر ادبیات فنی و مطالعات گذشته

۲–۱– مروری بر روش‌های عددی

کاربرد روش‌های عددی مختلف در چند دهه‌ی اخیر در حل مسائل تفرق امواج توسعه زیادی یافته است. در طی این سال‌ها روش‌های عددی گوناگونی برای حل مسائل تفرق امواج در برخورد با یک مانع در دریا ارائه شده اند که برخی از آن‌ها به دلیل هزینه‌های زمانی زیاد و سرعت کم، امروزه کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند و برخی روش‌های عددی جدیدتر به دلیل سرعت بیشتر در انجام محاسبات توسعه یافته‌اند. در این بخش، به مرور روش‌های عددی که در حل مساله تفرق امواج در برخورد با یک مانع در دریا بیشتر به کار رفته‌اند، پرداخته می‌شود و در انتها، مزایا و معایب این روش‌ها با روش معادلات مجزا مقایسه می‌گردد.

۲–۱–۱– روش المان محدود

در روش المان محدود[1]، در ابتدا دامنه مساله به یکسری المان[2] که با یکدیگر هم‌پوشانی ندارند تقسیم می‌شود. هندسه المان را می‌توان با درونیابی مقادیر گرهی به وسیله یکسری توابع که توابع نگاشت[3] نامیده می‌شوند، توصیف نمود که با نوشتن معادلات تعادل برای هر المان می‌توان نیروهای داخلی هر المان را محاسبه نمود. سپس با یک روشِ ضعیف کردن معادلات دیفرانسیل، معادلات حاکم بر مساله ضعیف شده و در انتها با اسمبل کردن مقادیر معلوم و مجهول برای هر المان می‌توان دستگاه معادلات دیفرانسیل حاکم را تشکیل داد. حال با استفاده از شرایط مرزی مساله می‌توان این دستگاه معادلات را حل نمود و مقادیر مجهول گرهی را بدست آورد. خصوصیات روش المان محدود را به طور مختصر می‌توان به صورت زیر ذکر کرد:

- در این روش دامنه‌ی مساله به تعدادی المان محدود، که فقط در گره‌ها به هم متصل هستند، تقسیم می‌شود که به تعداد زیادی مجهولات گرهی یا درجات آزادی منجر می‌شود.

[1] Finite Element Method (FEM)
[2] Element
[3] Mapping functions