

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ



دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی راه و ساختمان
(گرایش سازه‌های هیدرولیکی)

مدل عددی غیر خطی متوسط گیری شده در
عمق جهت بررسی بالاروی امواج بلند

توسط
علی مهدوی

استاد راهنما:
دکتر ناصر طالب بیدختی

شهریور ماه ۱۳۸۷

۱۵۲۱۳۶

۱۳۸۷ / ۹ / ۲۴

به نام خدا

مدل عددی غیر خطی متوسط گیری شده در عمق جهت بررسی بالاروی
امواج بلند

به وسیله‌ی:

علی مهدوی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیتهای
تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی راه و ساختمان (گرایش سازه‌های هیدرولیکی)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر ناصر طالب بیدختی استاد بخش مهندسی عمران (رئیس کمیته)

دکتر قاسم حبیب آگهی استاد بخش مهندسی عمران

دکتر عبدالرسول رنجبران دانشیار بخش مهندسی عمران

شهریور ماه ۱۳۸۷

تقدیم به
پدر بزرگوار
و مادر مهربانم

سپاسگزاری

اکنون که به لطف پروردگار و دعای خیر دوستان این پایان نامه به اتمام رسیده است، به پاس حق شناسی لازم می‌دانم که مراتب قدردانی و تشکر را از استاد راهنما جناب آقای دکتر ناصر طالب بیدختی ابراز دارم که با راهنمایی‌های ارزنده‌ی خویش مرا در پیشبرد و تکامل این تحقیق یاری فرمودند. همچنین بسیار شایسته است که از اساتید مشاور محترم، آقایان دکتر قاسم حبیب آگهی و دکتر عبدالرسول رنجبران که با ارائه نظرات ارزشمندشان در جهت غنی‌تر ساختن این تحقیق یاری نمودند، صمیمانه تشکر نمایم.

در اینجا فرصت را غنیمت شمرده و از سایر اعضای هیات علمی بخش مهندسی عمران که در طول تحصیل از محضر ایشان استفاده کرده‌ام تشکر و قدردانی می‌کنم. از دوستان بزرگوار آقایان مهندس محمد حسین قیصری، حسین اشرفی و محمد معراجی و نیز سایر عزیزانی که بنده را در مراحل مختلف این تحقیق یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در پایان از پدر بزرگوار و مادر مهربانم که همواره دعای خیرشان بدرقه‌ی راهم بود کمال تشکر و قدر دانی را می‌نمایم.

توفیق الهی را برای خود و تمامی این عزیزان خواستارم.

چکیده

مدل عددی غیر خطی متوسط گیری شده در عمق جهت بررسی بالاروی امواج بلند

به وسیله:

علی مهدوی

مسأله تعیین انتشار و بالاروی امواج بلند بر روی ساحل شیب دار از مسائل کلاسیک هیدرودینامیک سواحل به شمار می رود که معمولاً در مطالعه اثرات سونامی بر سواحل مطرح می گردد. برای توصیف فرایندهای بالاروی و پایین روی امواج بلند به طور معمول از معادلات غیر خطی آب کم عمق (NLSW) استفاده می گردد. متأسفانه جوابهای تحلیلی موجود برای این معادلات تنها به حالت امواج غیر شکننده محدود می گردند. بنابراین برای محاسبات مرتبط با امواج شکننده بایستی از روش عددی استفاده نمود. در این مطالعه دو دسته الگوی عددی برای محاسبه بالاروی امواج بلند ارائه می گردد. در دسته اول که برای امواج غیر شکننده توسعه یافته است از تقریب تفاضل محدود معادلات (NLSW) برای محاسبه بالاروی موج استفاده می شود. در دسته دوم از روش حجم محدود برای گسسته سازی مکانی معادلات حاکمه و از روش بهینه مرتبه سوم رانگ کواتا برای انتگرال گیری زمانی استفاده می شود. این روش جوابی عاری از نوسان عددی را در نزدیکی گرادیانهای تند عمق آب که در نواحی نزدیک به جبهه موج شکننده ظاهر می شوند میسازد. مدل عددی ارائه شده موزون، پایدار و ساده در پیاده سازی بوده و به تلاش محاسباتی نسبتاً کمی نیازمند است. همچنین الگوهای مختلفی جهت شبیه سازی مرز متحرک خط ساحلی به کار رفته است. دقت مدل ارائه شده با مقایسه نتایج عددی با جوابهای تحلیلی یا داده های آزمایشگاهی اثبات می گردد. برای امواج منفرد اثرات شیب ساحل، زبری بستر و موقعیت اولیه قله موج بر میزان بالاروی بررسی می شود. در نهایت نشان داده می شود که تغییرات بیشینه بالاروی با شیب و زبری بستر برای امواج غیر شکننده منفرد و امواج شکننده منفرد متفاوت است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱- پیشگفتار
۲	۲-۱- طبقه بندی انواع شکست موج
۵	۳-۱- موج منفرد
۶	۴-۱- معادلات امواج آب کم عمق
۷	۵-۱- هدف از انجام تحقیق
۸	فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته
۸	۱-۲- تحلیل های نظری
۱۱	۲-۲- پژوهش های آزمایشگاهی
۱۶	۳-۲- شبیه سازی های عددی
۲۱	فصل سوم: تحلیل های موجود نظری
۲۱	۱-۳- بالاروی امواج غیر شکننده منفرد
۲۱	۱-۱-۳- معادلات حاکمه و فرضیات اساسی
۲۳	۲-۱-۳- نظریات تحلیلی برای حل معادلات آب کم عمق
۲۸	۳-۱-۳- نظریه غیر خطی
۳۳	فصل چهارم: روش های عددی
۳۳	۱-۴- معادلات حاکمه
۳۳	۱-۱-۴- معادلات غیر خطی آب کم عمق - شکل ناپایستار
۳۴	۲-۱-۴- معادلات غیر خطی آب کم عمق - شکل پایستار
۳۸	۲-۴- روش های عددی مدل سازی انتشار و بالاروی امواج غیر شکننده منفرد
۳۸	۱-۲-۴- الگوی در جهت و در خلاف جهت جریان (DUS)
۳۹	۱-۱-۲-۴- گسسته سازی معادلات
۴۰	۲-۲-۴- رهیافت مبتنی بر بقای جرم
۴۲	۱-۲-۲-۴- تعیین مکان خط ساحلی
۴۲	۲-۲-۲-۴- تعیین سرعت خط ساحلی
۴۳	۳-۲-۴- تکنیک نگاشت به فضای محاسباتی

۴۳	۱-۳-۲-۴-شرایط مرزی بر روی خط ساحلی	۵۰
۴۴	۲-۳-۲-۴-معادلات (NLSW) و شرایط مرزی در فضای محاسباتی	۵۳
۴۶	۳-۳-۲-۴-گسسته سازی معادلات در فضای محاسباتی	۵۵
۴۸	۴-۳-۲-۴-شرایط اولیه در مدل سازی موج منفرد	۵۶
۴۸	۳-۴-مدل سازی انتشار و بالاروی امواج شکننده منفرد	۵۸
۵۰	۱-۳-۴-الگوی یکنوای بالادست برای قوانین پایستار (MUSCL)	۶۰
۵۳	۲-۳-۴-روش گرادیان سطح (SGM)	۶۰
۵۵	۱-۲-۳-۴-پایستاری روش گرادیان سطح	۶۱
۵۶	۳-۳-۴-تخمین شار عددی در مرز سلول به کمک الگوی عددی (FORCE)	۶۲
۵۸	۴-۳-۴-تخمین شار عددی در مرز سلول به کمک حل کننده ریمان (HLL)	۶۴
۶۰	۵-۳-۴-شرایط مرز برای مدل حجم محدود	
۶۰	۱-۵-۳-۴-مرز متحرک	
۶۱	۲-۵-۳-۴-مرز غیر بازتابی	
۶۲	۶-۳-۴-انتگرال گیری زمانی و ملاحظات پایداری	
۶۴	فصل پنجم: نتایج و بحث	
۶۴	۱-۵-مدل های تفاضل محدود	
۶۴	۱-۱-۵-مدل سازی موج هارمونیک	
۶۷	۲-۱-۵-مدل سازی انتشار و بالاروی موج منفرد	
۷۱	۲-۵-ارزیابی مدل حجم محدود	
۷۱	۱-۲-۵-معیار موزون بودن الگوی عددی	
۷۳	۲-۲-۵-مدل سازی جریان شبه ایستا	
۷۶	۳-۲-۵-شبیه سازی جریان جزر و مد	
۷۹	۴-۲-۵-امواج ناشی از شکست سد	
۸۲	۵-۲-۵-پرش هیدرولیکی بر روی بستر افقی	
۸۴	۶-۲-۵-جریان دائمی بر روی بستر ناهموار	
۸۴	۱-۶-۲-۵-جریان انتقالی-بحرانی بدون شوک	
۸۴	۲-۶-۲-۵-جریان انتقالی-بحرانی با شوک	
۸۶	۳-۶-۲-۵-جریان زیر بحرانی	
۸۷	۷-۲-۵-بازتاب موج مثبت از دیواره قائم	
۸۹	۸-۲-۵-قطار موج سینوسی بر بستر شیب دار	
۹۰	۳-۵-کاربرد مدل حجم محدود در پیش بینی بالاروی امواج غیر شکننده منفرد	
۹۴	۴-۵-انتشار موج شکننده بر روی بستر شیب دار	
۹۶	۵-۵-جابجایی خط ساحلی و بیشینه بالاروی موج	
۱۰۰	۶-۵-تاثیر شیب بستر بر بیشینه بالاروی	
۱۰۰	۷-۵-تاثیر موقعیت اولیه قله موج بر بیشینه بالاروی	

صفحه

عنوان

۵-۸-تأثیر زبری بستر بر بیشینه بالاروی ۱۰۲

فصل ششم: جمع بندی و مطالعات آینده ۱۰۴

منابع ۱۰۶

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۴.....	شکل (۱-۱): طبقه بندی انواع شکست موج
۶.....	شکل (۲-۱): تعریف پارامترهای یک موج منفرد
۲۲.....	شکل (۱-۳): تعریف پارامترهای مربوط به انتشار و بالاروی یک موج منفرد. (شکل بدون مقیاس است)
۳۶.....	شکل (۱-۴): حجم کنترل در فضای $x-t$. جواب در گام زمانی $n+1$ به داده های گام زمانی n و شارهای عددی بین سلولی بستگی دارد.
۳۸.....	شکل (۲-۴): تعیین آخرین گره تر. چنانچه $\eta_{j_{wet}} > -h_{j_{wet}+1}$ باشد، آنگاه $j_{wet} = j_{wet} + 1$ خواهد بود.
۴۱.....	شکل (۳-۴): نامگذاری گره‌ها (R فاصله افقی خط ساحلی تا آخرین گره محاسباتی می‌باشد) A، B، و C نقاط واقع در سطح در یک گام زمانی هستند.
۴۵.....	شکل (۴-۴) - (a): فضای واقعی و (b): ناحیه حل در مسأله بالاروی موج
۵۰.....	شکل (۵-۴): مدل سازی ناپیوستگی یک آشترک ناشی از شکست سد. خط پیوسته نمایشگر حل دقیق و دایره- خط چین نشان دهنده حل عددی به روش تسخیر شوک بر روی گره‌های محاسباتی می‌باشد.
۵۲.....	شکل (۶-۴): باز ساخت قطعه‌ای- خطی اندازه حرکت در سلول i ام. مقدار برون یابی شده‌ی خطی، مقدار متوسط سلولی و همینطور مقادیر نقطه‌ای اندازه حرکت در مرز سلول مشخص گردیده‌اند.
۵۶.....	شکل (۷-۴): طرحی از متغیرهای باز سازی شده‌ی جریان. متوسط انتگرالی متغیرهای بازسازی شده‌ی جریان با مقدار متغیر در مرکز سلول برابر است.
۵۸.....	شکل (۸-۴): مجموعه‌ی شارهای عددی به عنوان ترکیبی از شار لکس- فردریش (LF) و شار لکس- وندروف (LW)
۶۰.....	شکل (۹-۴): ساختار دو موجی در حل مسأله ریمان بوسیله‌ی رهیافت (HLL)
۶۱.....	شکل (۱۰-۴): مرز ثابت و مرز متحرک در مسأله‌ی بالاروی موج منفرد. تراز مرز متحرک نسبت به سطح اولیه آب در زمان t با $R(t)$ نشان داده شده است.
۶۵.....	شکل (۱-۵): تعریف پارامترهای موج هارمونیک

شکل (۲-۵): مقایسه طول موج محاسبه شده و تحلیلی برای موجی با

۶۵ $a/h_0 = 0.02$ و پریودهای مختلف

شکل (۳-۵): نیمرخ های سطح آزاد در لحظه حداکثر بالاروی سه موج

هارمونیک با پریودهای 300, 500 و 700 ثانیه بر روی شیب 1:10

۶۶ دامنه بدون بعد امواج $a/h_0 = 0.02$ می باشد. مدل ۱: و مدل ۲: —

شکل (۴-۵): شکل موج در زمان های مختلف برای موج منفردی با

$H/h_0 = 0.03$ که بر روی آبی با عمق ثابت h_0 منتشر می گردد. قله

موج در لحظه $t^* = 0$ در $x = 0$ قرار دارد. حل دقیق با خط ممتد و

۶۸ نتایج مدل ۱ با * و مدل ۲ با × مشخص گردیده است.

شکل (۵-۵): نیمرخ های سطح آزاد برای موج منفرد $H/h_0 = 0.02$

۶۸ بر روی شیب 1:10. مدل ۱: و مدل ۲: —

شکل (۶-۵): بالاروی موج منفردی با $H/h_0 = 0.0185$ بر روی شیب

1:19.85 در زمان های بدون بعد $t\sqrt{g/h_0}$ برابر با (a): 25, (b): 30

, (c): 35, (d): 40, (e): 45 و (f): 50. مدل ۱ با مدل ۲ با —

۶۹ داده های آزمایشگاهی با سمبل ها مشخص گردیده اند.

شکل (۷-۵): بالاروی موج منفردی با $H/h_0 = 0.0185$ بر روی شیب

1:19.85 در زمان های بدون بعد $t\sqrt{g/h_0}$ برابر با (a): 25, (b): 30

, (c): 35, (d): 40, (e): 45 و (f): 50. نتایج مدل عددی مدل ۳ با

۷۰ خط ممتد و داده های آزمایشگاهی با سمبل ها مشخص گردیده اند.

شکل (۸-۵)-(a): نیمرخ های سطح آزاد و شکل بستر در آزمون تعیین

موزون بودن مدل عددی. (b): روند کاهش خطای محاسبات با افزایش

۷۲ تعداد سلول های محاسباتی

شکل (۹-۵): اغتشاش $\varepsilon = 0.2m$ بر روی بستر ناهموار در لحظه

۷۴ (a): $t = 0$ و (b): $t = 0.066s$

شکل (۱۰-۵)-(a): انتشار اغتشاش $\varepsilon = 0.2m$ بر روی بستر ناهموار

در لحظه $t = 0.7s$ و (b): مقایسه نیمرخ سطح آزاد با مدل عددی

۷۵ لیوکویو (۱۹۹۸).

شکل (۱۱-۵): مقایسه نیمرخ سطح آزاد برای جریان شبه ایستا با

۷۶ $\varepsilon = 0.01m$ در لحظه $t = 0.7s$.

شکل (۱۲-۵): شبیه سازی جریان جزر و مد در زمان $t = 7429.83s$ و

مقایسه با جواب تحلیلی. (a): سطح آزاد جریان و (b): سرعت جریان

۷۸ در طول کانال

شکل (۵-۱۳): طرحی شماتیک از مسأله شکست سد بر بستر خشک ۸۰

شکل (۵-۱۴): انتشار امواج ناشی از شکست سد بر بستر خشک در زمان‌های مختلف و مقایسه آن با جواب تحلیلی ۸۰

شکل (۵-۱۵): طرحی شماتیک از مسأله شکست سد بر بستر غیر خشک ۸۰

شکل (۵-۱۶) - (a): موج ناشی از شکست سد در لحظه‌ی بدون بعد $t^* = 8$ و (b): جزئیات جبهه‌ی موج ۸۱

شکل (۵-۱۷): مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های آزمایشگاهی برای پرش هیدرولیکی با عدد فرود بالادست $F_r = 4.21$ ۸۳

شکل (۵-۱۸): مقایسه نتایج عددی با جواب تحلیلی برای جریان انتقالی-بحرانی بدون شوک بر روی بستر ناهموار ۸۵

شکل (۵-۱۹): مقایسه نتایج عددی با جواب تحلیلی برای جریان انتقالی-بحرانی با شوک ۸۵

شکل (۵-۲۰): مقایسه نتایج عددی با جواب تحلیلی برای جریان زیر بحرانی بر روی بستر ناهموار ۸۶

شکل (۵-۲۱): انتشار موج مثبت و مقایسه آن با جواب تحلیلی (a): موج پیش رونده در زمان $t = 300.90s$ و (b): موج پس از بازتاب از دیواره واقع در $x = 10000m$ در زمان $t = 1500.68s$. جهت حرکت موج با فلش مشخص شده است. ۸۸

شکل (۵-۲۲): بالاروی قطار موج سینوسی بر سطح شیب دار و مقایسه با حل تحلیلی. نتایج عددی با خط ممتد و جواب تحلیلی با دواپر توخالی نشان داده شده‌اند. ۸۹

شکل (۵-۲۳): بالاروی موج منفردی با $H/h_0 = 0.0185$ بر روی شیب $1:19.85$ در زمان‌های بدون بعد $t\sqrt{g/h_0}$ برابر با (a): 25, (b): 30, (c): 35, (d): 40, (e): 45, (f): 50, (g): 55, (h): 60, (i): 65 و (j): 70. نتایج مدل عددی با خط ممتد، داده‌های آزمایشگاهی با سمبل‌ها و حل تحلیلی با خط چین مشخص گردیده‌اند. ۹۱

شکل (۵-۲۴): تاریخچه زمانی جابجایی سطح آزاد در نقاط (a): $x/h_0 = 0.25$ و (b): $x/h_0 = 9.95$ و مقایسه نتایج با جواب تحلیلی سینولاکس (۱۹۸۶). ۹۲

شکل (۵-۲۵): بالاروی موج منفردی با $H/h_0 = 0.04$ بر روی شیب $1:19.85$ در زمان‌های بدون بعد $t\sqrt{g/h_0}$ برابر با (a): 20, (b): 26, (c): 32, (d): 38, (e): 44, (f): 50, (g): 56 و (h): 62. نتایج مدل عددی با خط ممتد و داده‌های آزمایشگاهی با سمبل‌ها مشخص گردیده‌اند. ۹۳

- شکل (۲۶-۵): بالاروی موج منفردی با $H/h_0 = 0.3$ بر روی شیب 1:19.85 در زمان های بدون بعد $t\sqrt{g/h_0}$ برابر با 0: (a), 5: (b), 10: (c), 15: (d), 20: (e), 25: (f), 30: (g), 35: (h), 40: (i), 45: (j), 50: (k) و 55: (l) ، نتایج مدل عددی با خط ممتد و داده های آزمایشگاهی سینولاکیس (۱۹۸۶) با سمبل ها مشخص گردیده اند. (برای محاسبات از الگوی بخش ۳-۳-۴ استفاده شده است) ۹۵
- شکل (۲۷-۵): مقایسه نتایج عددی مدل ارائه شده و سایر روش های موجود عددی برای بالاروی موج منفردی با $H/h_0 = 0.3$ از شیب 1:19.85 در لحظه $t\sqrt{g/h_0} = 15$ ۹۶
- شکل (۲۸-۵): بالاروی موج منفردی با $H/h_0 = 0.3$ بر روی شیب 1:19.85 در زمان های بدون بعد $t\sqrt{g/h_0}$ برابر با 0: (a), 5: (b), 10: (c), 15: (d), 20: (e), 25: (f), 30: (g), 35: (h), 40: (i), 45: (j), 50: (k) و 55: (l) ، نتایج مدل عددی با خط ممتد و داده های آزمایشگاهی سینولاکیس (۱۹۸۶) با سمبل ها مشخص گردیده اند. (برای محاسبات از الگوی بخش ۳-۳-۴ استفاده شده است) ۹۷
- شکل (۲۹-۵): ارتفاع خط ساحل از تراز اولیه آب به عنوان تابعی از زمان و مقایسه نتایج عددی با داده های آزمایشگاهی سینولاکیس (۱۹۸۶) ۹۸
- شکل (۳۰-۵): حداکثر بالاروی امواج منفرد بر روی شیب 1:5.67 به عنوان تابعی از ارتفاع بدون بعد موج و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی ۹۸
- شکل (۳۱-۵): حداکثر بالاروی امواج منفرد بر روی شیب 1:15 به عنوان تابعی از ارتفاع بدون بعد موج و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی ۹۹
- شکل (۳۲-۵): حداکثر بالاروی امواج منفرد بر روی شیب 1:19.85 به عنوان تابعی از ارتفاع بدون بعد موج و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی ۹۹
- شکل (۳۳-۵): بالاروی بدون بعد امواج غیرشکننده و شکننده به عنوان تابعی از شیب بستر ۱۰۱
- شکل (۳۴-۵): تأثیر موقعیت قرارگیری قله موج بر میزان بالاروی موج بر روی سه شیب مختلف ۱۰۱
- شکل (۳۵-۵): تأثیر زبری بستر بر بیشینه بالاروی امواج منفرد بر روی شیب 1:19.85 ۱۰۳

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

تعیین بالاروی امواج بلند بر روی سواحل شیب دار یکی از مسائل کلاسیک هیدرودینامیک سواحل به شمار می‌رود که معمولاً در مطالعات اثرات سونامی بر نواحی ساحلی مطرح می‌شود. سونامی‌ها امواجی دریایی هستند که دارای طول موج بسیار زیاد و پریود طولانی می‌باشند و معمولاً به وسیله‌ی یک اغتشاش ضربه‌ای^۱ نظیر زلزله زیر دریایی، زمین لغزش یا فعالیت آتشفشانی که جابجایی توده آب را سبب می‌شود، به وجود می‌آیند. به خاطر طول موج بسیار زیاد، امواج سونامی به عنوان امواج آب کم عمق^۲ (امواج بلند) شناخته می‌شوند. یک موج هنگامی موج آب کم عمق نامیده می‌شود که نسبت عمق آب به طول موج آن بسیار کوچک باشد. برای امواج آب کم عمق، سرعت انتشار یک موج دامنه کوتاه برابر با ریشه دوم حاصلضرب شتاب گرانش و عمق آب است. به عنوان مثال این امواج در آبی به عمق ۴ کیلومتر (عمق متوسط آب اقیانوس‌ها) با سرعت ۲۰۰ متر بر ثانیه یا ۷۰۰ کیلومتر بر ساعت منتشر می‌شوند.

از آنجائیکه نرخ اتلاف انرژی یک موج با طول موج نسبت عکس دارد، بنابراین افت انرژی در انتشار امواج سونامی ناچیز می‌باشد. این امواج در آب‌های عمیق با سرعت بسیار زیاد و افت انرژی کم حرکت می‌کنند. همینکه امواج سونامی نواحی عمیق را ترک می‌کنند و به انتشار در نواحی کم عمق نزدیک به ساحل ادامه می‌دهند، ارتفاع آنها به شدت افزایش یافته و طول موج آنها کم می‌شود. در نهایت هنگامی که این امواج به خط ساحلی نزدیک می‌شوند مشابه یک جذر و مد سریعاً خیزان و افتان^۳ و یا مجموعه‌ای از امواج شکننده ظاهر می‌شوند. بیشینه ارتفاعی که موج به صورت عمودی بالاتر از تراز آب قرار می‌گیرد، بالاروی موج گفته می‌شود. در برخی حالات بحرانی، تراز سطح آب تا حد آگیری نواحی ساحلی بالا می‌آید به طوری که

¹ impulsive disturbance

² shallow water waves

³ rising and falling

با پوشیده شدن گسترده مناطق ساحلی با آب و جریان آواری^۱، ویرانی قابل ملاحظه‌ای به وجود می‌آید. از آنجائیکه بیشترین خسارت امواج بلند ناشی از بالاروی آنها در خط ساحلی است، توانایی پیش بینی بالاروی وابسته به این امواج شکننده، یکی از جنبه‌های مهم فعالیت‌های مرتبط با زلزله به شمار می‌رود. همچنین این اعتقاد وجود دارد که امواج منفرد^۲ قادر به بیان ویژگی‌های مهم مرتبط با اثرات امواج سونامی بر نواحی ساحلی می‌باشند.

۱-۲- طبقه بندی انواع شکست موج

در این مجال مناسب است که به بیان خصوصیات انواع شکست موج بر روی ساحل پرداخته شود.

مطابق شکل (۱-۱) انواع شکست به شرح زیر است.

- شکست ریزشی^۳: همینکه شکست آغاز می‌شود؛ آشفتگی^۴ و کف بر روی قله موج پدیدار شده و سپس در خلال انتشار موج به سمت ساحل کف به سمت پایین جبهه موج پاشیده می‌شود. آشفتگی یک مستهلک کننده دائمی انرژی است که سبب کاهش نسبتاً یکنواخت ارتفاع موج می‌گردد.
 - شکست مستغرق^۵: در این نوع شکست، زبانه‌ای در قله موج به وجود می‌آید که به سمت جلو خم شده و در پای جبهه موج فرو می‌ریزد. عمل شکست و استهلاک انرژی بیشتر محدود به نقطه شکست می‌باشد. زبانه فرو ریزنده موج ممکن است امواج نامنظمی تولید کند که به سمت جلو انتشار می‌یابند و در نزدیک ساحل می‌شکنند.
 - شکست خروشان^۶: در این حالت قله و جبهه موج در خلال انتشار بر روی ساحل تقریباً شکل نامتقارن خود را حفظ می‌نمایند. در این حالت شکست، امواج دارای شکلی نظیر موج ایستا و موج بازتابیده می‌باشند.
- هر چند که سه نوع شکست ذکر شده نسبتاً از یکدیگر متمایزند، در صورت تغییرات تدریجی در سراسری موج^۷ و شیب بستر می‌توان انتقال تدریجی از یک نوع به نوع دیگر را انتظار داشت (برخی از محققین حالت بین شکست مستغرق و شکست خروشان را شکست فرو ریزنده^۸

¹debris flow

²solitary waves

³spilling breaking

⁴turbulence

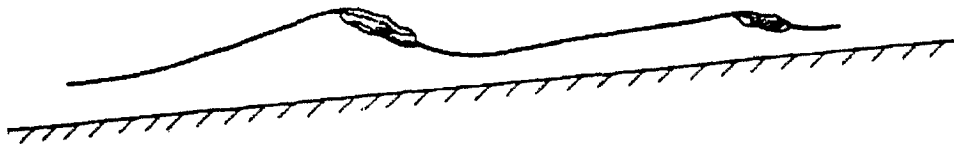
⁵plunging breaking

⁶surging breaking

⁷wave steepness

⁸collapsing breaking

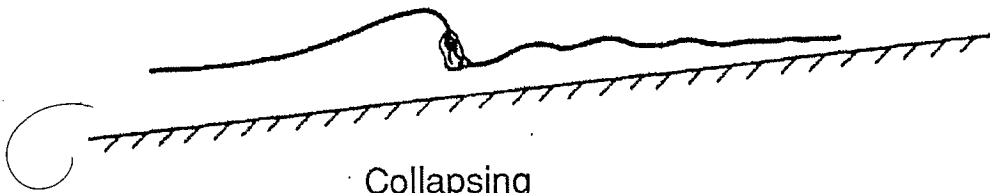
می‌نامند). باید توجه داشت که شکست موج بر میزان انرژی بازتاب یافته از شیب و میزان بالاروی موج بر روی ساحل تأثیر گذار است به علاوه شناخت نوع شکست موج مسأله‌ای مهم در بارگذاری سازه‌های حفاظت از ساحل است به عنوان مثال پایداری یک سازه سنگ ریز که در معرض امواج شکننده است، به نوع شکست امواج برخوردی وابسته است. هنگامی که موجی شکننده به دیواره دریایی برخورد می‌کند، فشارهایی بر روی آن ایجاد می‌شود که دارای مقداری بسیار زیاد بوده و در مدت زمانی بسیار کوتاه رخ می‌دهند. در شکست ایده آل موج، جبهه موج به موازات سطح دیواره به آن برخورد می‌کند. این نوع برخورد بیشترین فشارها را ایجاد می‌نماید. علاوه بر آن بیشینه فشارها تقریباً به طور همزمان در سرتاسر ناحیه برخورد به وجود می‌آیند. در شکست ایده آل تمامی مومنتم جبهه موج در مدت بسیار کوتاهی از بین می‌رود. با توجه به عمود بودن جبهه موج، هوا به راحتی از مقابل آن رها شده و در نتیجه بر فرایند تولید فشارهای برخورد هیچگونه تأثیری نمی‌گذارد. هر چه جبهه موج سطحی صافتر داشته باشد احتمال بوجود آمدن فشارهای برخورد بزرگتر، بیشتر است.



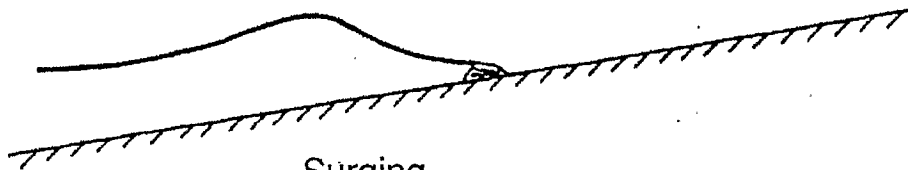
Spilling



Plunging



Collapsing



Surging

شکل (۱-۱): طبقه بندی انواع شکست موج

۱-۳- موج منفرد

از آنجا که این تحقیق بیشتر بر روی انتشار و بالاروی امواج منفرد تمرکز دارد در اینجا به بیان ویژگی‌های این موج پرداخته می‌شود. موج منفرد به صورت یک برآمدگی منفرد بر بالای عمق ثابتی از آب دست نخورده با سرعت یکنواخت و بدون تغییر شکل انتشار می‌یابد. جان اسکات راسل^۱ در ۱۸۳۴ اولین کسی بود که با مشاهده حرکت کُند یک برآمدگی آب در یک آبراهه، اصطلاح موج منفرد را به کار برد [گزارش شده توسط استوکر (۱۹۵۷)]. وی سپس با انجام یک سری آزمایش دقیق به بررسی طبیعت این پدیده پرداخت. این محقق دریافت که این امواج، بلند و از نوع موج آب کم عمق هستند که بدون تغییر شکل با سرعت یکنواخت c در آبی با عمق ثابت h_0 منتشر می‌شوند [شکل (۱-۲)].

$$c = \sqrt{g(h_0 + H)} \quad (1-1)$$

در رابطه فوق H ارتفاع موج و g شتاب گرانش است. کورتوگ و دیوریس^۲ در اواخر قرن نوزدهم میلادی، برای مدل سازی ارتفاع امواج گرانشی بلند که در آبراهه ای با عمق کم آب منتشر می‌شوند یک معادله غیر خطی به صورت زیر ارائه نمود.

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} + c_0 \frac{\partial \mu}{\partial x} + \frac{3c_0}{2h_0} \mu \frac{\partial \mu}{\partial x} + \frac{c_0 h_0^2}{6} \frac{\partial^3 \mu}{\partial x^3} = 0 \quad (2-1)$$

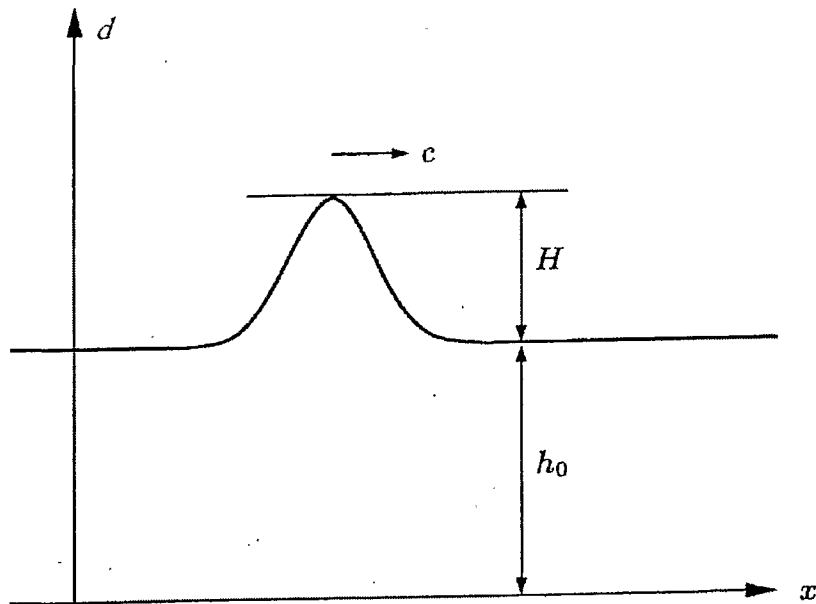
که در آن $c_0 = \sqrt{gh_0}$ و عمق آب $d = h_0 + \mu$ می‌باشد. معادله فوق یک معادله غیر خطی مرتبه سه با مشتقات جزئی است که به معادله کورتوگ - دیوریس (KdV) معروف است. چنانچه برای این معادله جوابی به شکل موج انتشاری $\mu(x, t) = f(x - ct)$ فرض شود؛ می‌توان با اعمال شرایط مرزی در فواصل دور از معادله انتگرال گیری کرد. این شرایط مرزی بیان می‌کند که با $x \rightarrow \pm\infty$ نیمرخ سطح آزاد $\mu(x, t)$ ، با سرعت کافی به صفر میل می‌کند. پس از اندکی عملیات جبری می‌توان نشان داد که معادله (۲-۱) جوابی به شکل زیر دارد.

$$\mu(x, t) = H \operatorname{sech}^2 \left[\sqrt{\frac{3H}{4h_0^3}} (x - X - ct) \right] \quad (3-1)$$

که در آن X موقعیت قرار گیری قله موج نسبت به مبدأ مختصات است. در فواصل دور از $x = ct + X$ ، نیمرخ سطح آزاد سریعاً به صفر میل می‌نماید.

¹ John Scott Russell

² Korteweg and deVries (KdV)



شکل (۱-۲): تعریف پارامترهای یک موج منفرد

۱-۴- معادلات امواج آب کم عمق

بر اساس معادله حرکت ناویراستوکس، در حالت عمومی شتاب ذره‌های سیال برآیندی از شتاب ناشی از گرادیان فشار، شتاب جاذبه و شتاب ناشی از نیروهای لزجت است. با صرف‌نظر نمودن از تراکم پذیری آب و نیروهای لزجت چنانچه از معادلات ناویراستوکس در جهت عمق جریان انتگرال گیری شود، معادلاتی به دست می‌آید که در آنها سرعت به صورت متوسط گیری شده در عمق بوده و توزیع فشار هیدرواستاتیکی حاکم است. این معادلات، به معادلات غیر خطی آب کم عمق معروف می‌باشند و در آنها سرعت در راستای عمق جریان تغییر نمی‌کند. البته استفاده از این معادلات در مواردی صحیح است که طول مشخصه جریان از عمق آن بسیار بزرگتر باشد. معادلات غیر خطی آب کم عمق در واقع بیان قوانین بقای جرم و بقای اندازه حرکت هستند و همانطور که بعداً نشان داده خواهد شد، می‌توانند به دو صورت پایستار یا ناپایستار نوشته شوند.

۱-۵- هدف از انجام تحقیق

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه انتشار و بالاروی امواج غیرشکننده و شکننده صورت گرفته است. در یک طبقه بندی کلی این مطالعات به سه دسته تحقیقات آزمایشگاهی، مطالعات تحلیلی و مطالعات عددی قابل تقسیم می‌باشند. روش‌های تحلیلی معمولاً به حل جریان‌های بدون ناپیوستگی در عمق منحصر می‌شوند و در صورت وجود ناپیوستگی‌هایی نظیر شوک و یا شکست موج از ارائه‌ی جواب صحیح و عاری از نوسانات عددی باز می‌مانند. همچنین تحقیقات آزمایشگاهی به دلیل هزینه فراوان کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. با توجه به مطالب فوق در این تحقیق مدلی عددی برای بررسی فرایند انتشار و بالاروی امواج بلند ارائه می‌گردد. مروری بر تحقیقات پیشین در در فصل دوم ارائه می‌گردد. در فصل سوم به بررسی روشهای تحلیلی موجود در متون علمی پرداخته می‌شود.

بسته به اینکه موج شکننده یا غیر شکننده باشد از روش‌های تفاضل محدود و حجم محدود برای گسسته سازی مکانی معادلات غیر خطی آب کم عمق استفاده می‌گردد. جزئیات این روش‌ها در فصل چهارم به تفصیل ارائه می‌گردد. در فصل پنجم نتایج مدل‌های عددی که در محیط فرتن ۹۰ پیاده سازی و اجراء گردیده است با داده‌های آزمایشگاهی و یا جواب‌های تحلیلی مقایسه می‌گردد. با طرح مثال‌های متعدد عددی برای جریان‌های دارای ناپیوستگی در عمق و مقایسه آنها با نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی نشان داده می‌شود که مدل حجم محدود ارائه شده از قابلیت تحلیل مسائل متعدد جریان آب کم عمق برخوردار است. شایان ذکر است که مدل حجم محدود ارائه شده دارای خاصیت موزون بودن می‌باشد و بدون نیاز به عبارات‌های اضافی نظیر لزجت مصنوعی به نحو شایسته‌ای ناپیوستگی‌های جریان را تسخیر می‌نماید. در ادامه پس از صحت‌سنجی مدل به بررسی اثرات شیب بستر، موقعیت اولیه قله موج نسبت به خط ساحل و زبری بستر- که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است- بر فرایند انتشار و بالاروی امواج منفرد پرداخته می‌شود. در فصل ششم نتایج به دست آمده از این تحقیق به همراه نگاهی اجمالی به عرصه‌های پیش روی تحقیق ارائه می‌شود.