پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد
مهندسی عمران - هیدرولیک

شبیه‌سازی عددی سونامی در سواحل ایران

نگارش:
احسان راست‌گفتار
۸۷۰۴۲۴۴

استاد راهنما:
دکتر محسن سلطانپور

اردیبهشت ۹۰

بسم الله الرّحمن الرّحيم

تقدیم به روح پاک پدرم که یاد و خاطرهٔ او همیشه همراه من است؛

و به مادر مهربانم، دریای بی‌کران فداکاری و عشق؛

و همچنین،

روح بزرگ و آزادهٔ آنهایی که

آرمان و عزت خویش را فدای مصلحت ننمودند . . .

اظهارنامهٔ دانشجو

موضوع پایان‌نامه: شبیه‌سازی عددی سونامی در سواحل ایران

دانشجو: احسان راست‌گفتار

شمارهٔ دانشجویی: ۸۷۰۴۲۴۴

استاد راهنما: دکتر محسن سلطانپور

این جانب احسان راست‌گفتار دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش آب - هیدرولیک دانشکدهٔ مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان‌نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط ایجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسندهٔ آن می‌باشد. هر گونه کپی برداری به صورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانهٔ دانشکدهٔ مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

۲- کلیهٔ حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازهٔ کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیر و تشکر

واژه‌ها ناتوان‌تر از آنند که در قالب آنها بتوانم حتی از ذره‌ای از زحمات بی‌دریغ مادرم قدردانی نمایم؛ با این حال، در این جا با تمام وجود از محبت‌ها و مهربانی‌های ایشان تشکر می‌کنم؛ او که با تلاش‌های وصف ناپذیر خود سبب شد هرگز لحظه‌ای فقدان پدر را احساس نکنم و با آسودگی خاطر و بدون کوچکترین دغدغه‌ای به کسب دانش و خلق این اثر بپردازم و در این راه یاری‌ام نمود.

از حمایت‌های بی‌دریغ برادر عزیزم نیز سپاسگذاری می‌کنم که همواره مشوقم بوده و وجودش به من دلگرمی و آرامش خاطر بخشیده است.

در آخر از کوشش‌ها و راهنمایی‌های فراوان و صمیمانهٔ استاد راهنمای بزرگوارم، جناب آقای دکتر سلطانپور، قدردانی نموده و از خدامند منان توفیق روزافزون ایشان را خواستارم.

چکیده

جهت ارزیابی خطر سونامی در سواحل ایران، وقوع سونامی احتمالی ناشی از یک زمین‌لغزش زیرسطحی در دریای خزر و همچنین سونامی سال ۱۹۴۵ مکران در دریای عمان شبیه‌سازی شده است. با توجه به احتمال بسیار اندک وقوع سونامی در خلیج فارس، از مدل‌سازی سونامی در این ناحیه صرف نظر می‌شود.

در تحقیق حاضر جهت شبیه‌سازی سونامی احتمالی ناشی از زمین لغزش زیرسطحی در دریای خزر مدل عددی ترکیبی GEOWAVE به کار برده می‌شود. در این مدل فاز تولید مدل‌سازی با استفاده از مدل TOPICS و فازهای انتشار و بالاروی به کمک مدل FUNWAVE شبیه‌سازی می‌گردند. به منظور شبیه‌سازی سونامی سال ۱۹۴۵ نیز از مدل عددی MOST استفاده می‌شود.

خروجی‌های شبیه‌سازی سونامی دریای خزر نشان می‌دهند که امواج سونامی در طول خطوط ساحلی ایران دامنهٔ بسیار کوچکی دارند و نمی‌توان بالاروی قابل توجهی را انتظار داشت. این مسئله را می‌توان با فاصله نسبتاً زیاد سواحل ایران و محل زمین‌لغزش و همچنین اثر محدود سونامی‌های زمین‌لغزشی، به دلیل استهلاک شعاعی و پراکندگی، مرتبط دانست.

نتایج شبیه‌سازی سونامی سال ۱۹۴۵ نیز نشان می‌دهد که دامنهٔ امواج رسیده به سواحل جنوب شرقی ایران و خلیج چابهار در حدود ۰/۵ متر می‌باشد و بالاروی قابل‌توجهی در این نواحی رخ نمی‌دهد. بلندترین امواج سونامی نیز با دامنهٔ حدود ۳ متر به سواحل بندر پاسنی در جنوب پاکستان می‌رسند. این نتایج با نتایج دیگر شبیه‌سازی عددی سونامی سال ۱۹۴۵ همخوانی می‌کند، اما به هیچ وجه با اطلاعات میدانی در دسترس از میزان بالاروی امواج در این بندر (همچون ۴ الی ۵ متر، ۷ الی ۱۰ متر و ۱۲ الی ۱۵ متر) و زمان رسیدن آن‌ها مطابقت ندارد. با بررسی اطلاعات میدانی و مقایسهٔ آن‌ها با نتایج شبیه‌سازی‌ها، این گمان پدید آمد که یک منشاءِ غیرلرزه‌ای، همانند یک زمین‌لغزش زیرسطحی که توسط زمین‌لرزه تحریک شده باشد، عامل اصلی سونامی سال ۱۹۴۵ مکران بوده باشد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی سونامی، دریای خزر، دریای عمان، زمین‌لغزش زیرسطحی، ناحیهٔ مکران.

فهرست عناوین

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- سونامی و سواحل ایران ۲

۱-۲-۱- سواحل جنوبی ۳

۱-۲-۱- سواحل شمالی ۴

۱-۳- هدف ۶

۱-۳- ساختار پایان‌نامه ۷

فصل دوم: کلیات

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- مفهوم سونامی ۱۰

۲-۳- تولید سونامی ۱۲

۲-۳-۱- زمین‌لرزه ۱۳

۲-۳-۲- زمین‌لغزش ۱۵

۲-۳-۳- مقایسهٔ امواج ناشی از زمین‌لغزش زیرسطحی و جابه‌جایی لرزه‌ای ۱۸

۲-۴- انتشار سونامی ۲۲

۲-۴-۱- دسته‌بندی امواج با توجه به عمق آب نسبی ۲۳

۲-۴-۱-۱- امواج آب عمیق (امواج کوتاه) ۲۳

۲-۴-۱-۲- امواج آب کم‌عمق (امواج بلند) ۲۴

۲-۴-۲- معادلات مدل‌سازی پیشروی سونامی ۲۴

۲-۴-۲-۱- معادلات خطی آب کم‌عمق ۲۴

۲-۴-۲-۲- معادلات غیرخطی آب کم‌عمق ۲۵
۲-۴-۲-۳- معادلات غیرخطی بوسینسکی و پراکندگی فرکانسی ۲۵
۲-۴-۲-۴- مزایای معادلات غیرخطی بوسینسکی نسبت به معادلات آب کم‌عمق ۲۶
۲-۵- بالاروی سونامی ۲۸
۲-۶- ادبیات فنی ۳۱
۲-۶-۱- مطالعات صورت گرفته در زمینهٔ امواج ناشی از زمین‌لغزش زیرسطحی ۳۱

فصل سوم: مدل‌های عددی شبیه‌سازی سونامی

۳-۱- مقدمه ۴۰
۳-۲- مدل TUNAMI ۴۰
۳-۳- مدل MOST ۴۲
۳-۴- مدل ComMIT ۴۵
۳-۵- مدل TOPICS ۴۶
۳-۶- مدل FUNWAVE ۴۷
۳-۷- مدل GEOWAVE ۴۸
۳-۸- مدل COULWAVE ۴۹

فصل چهارم: روش‌های شبیه‌سازی

۴-۱- مقدمه ۵۲
۴-۲- شبیه‌سازی تولید سونامی ۵۲
۴-۲-۱- ابزار TOPICS ۵۲
۴-۲-۲- مدل دو بعدی جریان پتانسیل کاملاً غیرخطی (2D-FNPF) ۵۳
۴-۲-۲-۱- هندسهٔ مدل ۵۳

۴-۲-۲-۲- سینماتیک لغزش و معادلات حاکم ۵۵
۴-۲-۲-۳- صحت‌سنجی مدل ۵۷
۴-۲-۳- روابط پیش‌بینی دامنهٔ مشخصهٔ موج سونامی ۵۷
۴-۲-۴- محاسبهٔ ترازسطح آزاد آب با استفاده از روابط پیش‌بینی دامنهٔ موج سونامی ۵۹
۴-۲-۵- تخمین پارامترهای زمین‌لغزش (ورودی‌های ابزار TOPICS) ۶۱
۴-۲-۶- مدل MOST ۶۳
۴-۲-۷- پارامترهای لرزه‌ای زمین‌لرزهٔ سال ۱۹۴۵ دریای عمان ۶۴
۴-۳- شبیه‌سازی انتشار و بالاروی سونامی ۶۶
۴-۳-۱- معادلات بوزینسک ۶۶
۴-۳-۱-۱- انواع معادلات بوزینسک ۶۶
۴-۳-۱-۲- جملات موجود در معادلات بوزینسک ۷۰
۴-۳-۲- پدیده‌های الحاقی به معادلات بوزینسک ۷۳
۴-۳-۲-۱- شکست موج ۷۳
۴-۳-۲-۲- خط ساحلی متحرک ۷۷
۴-۳-۲-۳- اختلاط آشفتهٔ زیرشبکه ۸۰
۴-۳-۲-۳- اصطکاک بستر ۸۲
۴-۳-۳- معادلات غیرخطی آب کم‌عمق در مختصات کروی ۸۳

فصل پنجم: روش‌های عددی

۵-۱- مقدمه ۸۵
۵-۲- روش تفاضل محدود ۸۵
۵-۲-۱- گسسته‌سازی زمانی ۸۶
۵-۲-۲- گسسته‌سازی مکانی ۸۹
۵-۳- شرایط مرزی ۹۰

۵-۳-۱- مرز دیواره‌ای ۹۱
۵-۳-۲- مرز جذبی ۹۲
۵-۴- تصفیهٔ عددی ۹۳

فصل ششم: مدل‌سازی سونامی احتمالی دریای خزر

۶-۱- مقدمه ۹۸
۶-۲- محدودهٔ مدل عددی در دریای خزر ۹۸
۶-۳- خروجی‌های مدل TOPICS ۱۰۰
۶-۴- خروجی‌های مدل FUNWAVE ۱۰۴

فصل هفتم: مدل‌سازی سونامی سال ۱۹۴۵ دریای عمان

۷-۱- مقدمه ۱۱۳
۷-۲- محدودهٔ مدل عددی در دریای عمان ۱۱۳
۷-۳- خروجی مرحلهٔ تولید ۱۱۶
۷-۴- خروجی مراحل انتشار و بالاروی ۱۱۷
۷-۵- مقایسهٔ نتایج شبیه‌سازی با نتایج دیگر شبیه‌سازی‌های سونامی سال ۱۹۴۵ مکران ۱۲۴
۷-۶- مقایسهٔ نتایج شبیه‌سازی با داده‌های میدانی ۱۲۴
۷-۷- شبیه‌سازی سونامی سال ۱۹۴۵ مکران با تمرکز بر بندر پاسنی ۱۲۷
۷-۸- تفسیر نتایج ۱۳۱

فصل هشتم: جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

۸-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۳۳

۸-۲- پیشنهادات ۱۳۴

پیوست الف: ۱۳۶

جزئیات پارامترها و نتایج ۳۲ شبیه‌سازی عددیِ لغزش‌های زیرسطحی

با استفاده از مدل 2D-FNPF

پیوست ب: ۱۳۸

مراحل جبری تبدیل معادلات بوزینسک کاملاً غیرخطی از حالت برداری

به حالت جبری و ساده

پیوست ج: ۱۴۳

آشنایی با نحوهٔ به‌کارگیری مدل GEOWAVE

مقالات ارائه شده ۱۴۷

منابع و مراجع

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: نقشهٔ زمین‌شناختی و موقعیت ناحیهٔ فرورو مکران. ۳

شکل ۱-۲: موقعیت زمین‌لغزش زیرسطحی احتمالی در دریای خزر. ۵

شکل ۱-۳: موقعیت مکانی سونامی‌های مشاهده‌شده و نواحی فعال لرزه‌ای در دریای خزر. ۶

شکل ۲- ۱: ویرانی روستایی در نزدیکی سواحل سوماترای اندونزی در اثر سونامی اقیانوس هند. ۹

شکل ۲-۲: دورهٔ تناوب امواج اقیانوس. ۱۰

شکل ۲-۳: کاهش طول‌موج و افزایش ارتفاع امواج سونامی با نزدیک شدن به ساحل. ۱۱

شکل ۲-۴: منابع مختلف احتمالی تولید سونامی. ۱۳

شکل ۲-۵: ایجاد امواج سونامی در اثر زلزله. ۱۳

شکل ۲-۶: نمایش پارامترهای گسل. ۱۴

شکل ۲-۷: لغزش گسل. ۱۵

شکل ۲-۸: ویرانی بر جای مانده از سونامی گینهٔنو در سال ۱۹۹۸. ۱۶

شکل ۲-۹: زمین‌لغزش‌های مستغرق و نیمه مستغرق. ۱۷

شکل ۲-۱۰: نحوهٔ انتشار امواج سونامی. ۱۸

شکل ۲-۱۱: نمودارهای هاماک. ۲۱

شکل ۲-۱۲: دسته‌بندی امواج با توجه به عمق آب نسبی. ۲۳

شکل ۲-۱۳: شبیه‌سازی سونامی سال ۱۹۸۳ در دریای ژاپن. ۲۷

شکل ۲-۱۴: تصاویر ماهواره‌ای باندآآچه قبل و بعد از بالا روی سونامی اقیانوس هند در سال ۲۰۰۴. ۲۸

شکل ۲-۱۵: تبیین عبارات برخورد سونامی در ساحل. ۲۹

شکل ۲-۱۶: مقایسهٔ درشت‌نمایی اطلاعات ژرفاسنجی مراحل انتشار (+) و بالاروی (•). ۲۹

شکل ۲-۱۷: بسترهای شیبدار و اشکال مختلف تودهٔ لغزندهٔ صلب در آزمایش‌های نجفی جیلانی و ... ۳۲

شکل ۲-۱۸: امواج ناشی از زمین‌لغزش‌های صلب در مدل‌سازی‌های فاین و همکاران. ۳۴

شکل ۳-۱: نتایج شبیه‌سازی بالاروی سونامی سال ۱۹۴۵گسل مکران در بندر پاسنی. ۴۱

شکل ۳-۲: تراز سطح اولیهٔ اقیانوس (تغییرشکل بستر اقیانوس) به‌دست‌آمده از مدل Most. ۴۲
شکل ۳-۳: مقایسهٔ سری زمانی موج محاسبه‌شدهٔ مدل Most با نتایج ثبت‌کننده‌های کف اقیانوس. ۴۴
شکل ۳-۴: مقایسهٔ اندازه‌گیری‌های میدانی بالاروی سونامی در اکوشیری. ۴۴
شکل ۳-۵: نمونه‌ای از گسل‌های از پیش تعریف‌شده در مدلComMIT. ۴۵
شکل ۳-۶: معرفی فایل‌های شبکه‌ای ژرفاسنجی به مدل ComMIT. ۴۶
شکل ۳-۷: بیشینهٔ دامنهٔ سونامی شبیه‌سازی شده با مدل FUNWAVE در مجاورت سوماترا. ۴۸
شکل ۳-۸: بیشینهٔ دامنهٔ سونامی سال ۱۹۹۸ گینهٔنو، شبیه‌سازی‌شده با مدل GEOWAVE. ۴۹
شکل ۴-۱: شمایی از هندسهٔ گسستگی جرم زیرسطحی و پارامترهای اصلی در مدل 2D-FNPF. ۵۴
شکل ۴-۲: مقایسهٔ دامنهٔ بی بعد حاصله از مدل 2D-FNPF با مشاهدات آزمایشگاهی. ۵۷
شکل ۴-۳: مقایسهٔ دامنه‌های پیش‌بینی شده و شبیه‌سازی شدهٔ بی‌بعد سونامی. ۵۸
شکل ۴-۴: نمونه‌ای از تابع دوبل گاؤسین برای تراز تقریبی سه بعدی سونامی (مقطع طولی). ۶۰
شکل ۴-۵: نمونه‌ای از تابع دوبل گاؤسین برای تراز تقریبی سه بعدی سونامی. ۶۰
شکل ۴-۶: مقطع عرضی بستر دریای خزر در منطقهٔ محتمل وقوع زمین‌لغزش. ۶۲
شکل ۴-۷: صفحات مستطیلی گسیخته شده گسل مکران در اثر زمین‌لرزهٔ سال ۱۹۴۵. ۶۵
شکل ۴-۸: مقایسهٔ رابطهٔ پراکندگی حل دقیق با روابط پراکندگی معادلات اِن‌وُگا و معادلات بوزینسک استاندارد. ۶۸
شکل ۴-۹: نمایی از کانال در حضور مجرای باریک. ۷۸
شکل ۵-۱: مشخصات محدودهٔ محاسباتی FUNWAVE. ۹۲
شکل ۵-۲: تابع پاسخ برای تصفیهٔ یک بعدی نُه نقطه‌ای. ۹۵
شکل ۵-۳: تابع پاسخ برای تصفیهٔ دو بعدی ۹×۹ نقطه‌ای. ۹۶
شکل ۶-۱: محدودهٔ مدل عددی و موقعیت دقیق زمین‌لغزش در شبیه‌سازی سونامی دریای خزر. ۹۸
شکل ۶-۲: ژرفاسنجی دریای خزر. ۱۰۰
شکل ۶-۳: تغییرات تراز سطح آزاد اولیه با عرض زمین‌لغزش برای زمین‌لغزش احتمالی دریای خزر. ۱۰۱
شکل ۶-۴: تراز سطح آزاد اولیهٔ آب بر مبنای زمین لغزش احتمالی دریای خزر. ۱۰۲

شکل ۶-۵: خطوط هم‌میزان سطح آزاد اولیهٔ آب، بر مبنای زمین‌لغزش احتمالی دریای خزر. ۱۰۳
شکل ۶-۶: پیشروی امواج سونامی محاسبه شده. ۱۰۴
شکل ۶-۷: موقعیت نقاط خروجی سری زمانی امواج. ۱۰۵
شکل ۶-۸: سری زمانی ارتفاع امواج در نقاط خروجی A تا G. ۱۰۷
شکل ۶-۹: سری زمانی ارتفاع امواج در نقاط خروجی H تا K. ۱۰۸
شکل ۶-۱۰: حداکثر تراز سطح آزاد ثبت شده در تمام نقاط محاسباتی محدودهٔ مدل برای عرض‌های مختلف زمین‌لغزش. ۱۱۰
شکل ۷-۱: محدودهٔ مدل عددی شبیه‌سازی سونامی سال ۱۹۴۵ ناحیهٔ مکران. ۱۱۴
شکل ۷-۲: بالاآمدگی و فرورفتگی اولیهٔ سطح آزاد آب در اثر زلزلهٔ سال ۱۹۴۵ ناحیهٔ مکران. ۱۱۶
شکل ۷-۳: پیشروی امواج سونامی ۱۹۴۵ در دریای عمان. ۱۱۷
شکل ۷-۴: موقعیت نقاط خروجی سری زمانی امواج. ۱۱۸
شکل ۷-۵: سری زمانی دامنهٔ امواج در نقاط خروجی A تا N. ۱۱۸
شکل ۷-۶: برخورد امواج سونامی به سواحل شمالی بندر چابهار. ۱۲۲
شکل ۷-۷: حداکثر تراز سطح آزاد ثبت شده در خلال شبیه‌سازی سونامی ۱۹۴۵ مکران. ۱۲۳
شکل ۷-۸: موقعیت نقاط خروجی سری زمانی امواج در شبیه‌سازی سونامی ۱۹۴۵ توسط حیدرزاده و همکاران. ۱۲۵
شکل ۷-۹: سری زمانی دامنهٔ امواج در شبیه‌سازی سونامی ۱۹۴۵ توسط حیدرزاده و همکاران. ۱۲۵
شکل ۷-۱۰: محدودهٔ مدل عددی شبیه‌سازی سونامی سال ۱۹۴۵ مکران با تمرکز بر بندر پاسنی. ۱۲۸
شکل ۷-۱۱: موقعیت نقاط خروجی سری زمانی امواج. ۱۲۹
شکل ۷-۱۲: سری زمانی دامنهٔ امواج در نقاط خروجی O تا T. ۱۳۰
شکل ۷-۱۳: عکس هوایی از موقعیت بندر پاسنی. ۱۳۱

فهرست جداول

جدول ۲- ۱: ارتباط بین بزرگی سونامی با ارتفاع حداکثر موج آن در ساحل و خسارات حاصله. ۲۰

جدول ۴-۱: پارامترهای زمین لغزش احتمالی دریای خزر. ۶۱

جدول ۴-۲: مشخصات صفحات مستطیلی گسیخته شده گسل مکران در اثر زمین‌لرزهٔ سال ۱۹۴۵. ۶۵

جدول ۶-۱: پارامترهای محاسبه‌شدهٔ زمین‌لغزش احتمالی دریای خزر. ۱۰۱

جدول ۶-۲: حداکثر فرورفتگی و بالاآمدگیِ اولیهٔ سطح آزاد آب برای عرض‌های مختلف زمین‌لغزش احتمالی دریای خزر. ۱۰۲

جدول ۶-۳: مختصات جغرافیایی نقاط خروجی سری زمانی امواج. ۱۰۶

جدول ۶-۴: حداقل و حداکثر مقدار ارتفاع امواج در نقاط خروجی. ۱۰۹

جدول ۷-۱: مشخصات و محدودهٔ شبکه‌های ژرفاسنجی شبیه‌سازی سونامی سال ۱۹۴۵ ناحیهٔ مکران. ۱۱۳

جدول ۷-۲: گزارش‌های مختلف موجود از ارتفاع امواج سونامی سال ۱۹۴۵ ناحیهٔ مکران. ۱۲۶

جدول ۷-۳: مشخصات و محدودهٔ شبکه‌های ژرفاسنجی شبیه‌سازی سونامی سال ۱۹۴۵ ناحیهٔ مکران با تمرکز بر بندر پاسنی. ۱۲۸

فهرست علائم و نشانه‌ها

محورهای مختصات افقی	x, y
محور مختصات قائم	z
زمان	t
شتاب گرانش	g
چگالی آب	ρ

موج

طول‌موج	L
عدد موج	k
دامنه	a
فرکانس	ω
سرعت فازی	C
عدد اورسل	U_r

گسل صفحه‌ای

طول گسل	L
عرض گسل	W
زاویهٔ گسل نسبت به افق	δ
زاویهٔ امتداد گسل با جهت شمال جغرافیایی در سطح زمین	θ
زاویهٔ میل گسل	φ
میزان لغزش گسل	u
عمق گسل	H

زمین‌لغزش زیرسطحی

تابع پتانسیل سرعت	ϕ
زاویهٔ سطح شیبدار نسبت به افق	θ
طول تودهٔ لغزنده	b
عرض تودهٔ لغزنده	w
ضخامت حداکثر تودهٔ لغزنده	T
عمق استغراق اولیه تودهٔ لغزنده	d
چگالی نسبی تودهٔ لغزنده	γ
سطح مقطع عمود بر راستای حرکت تودهٔ لغزنده	A_c
حجم تودهٔ لغزنده	V_l
جابه‌جایی تودهٔ لغزنده	S
زمان مشخصه	t_0
شتاب اولیه	a_0
سرعت نهایی لغزش	u_t
دامنهٔ مشخصهٔ موج اولیه	η_0
مکان ثبت دامنهٔ مشخصهٔ موج اولیه	x_{g}
طول‌موج مشخصهٔ موج اولیه	λ_0
ضریب اصطکاک سطح	C_n
ضریب جرم افزوده	C_m
ضریب پسا	C_d
زاویهٔ دوران مرکز جرم ریزش	Φ
شعاع دوران ریزش	R

معادلات بوزینسک و پدیده‌های همراه آن

سطح آزاد آب	η
عمق آب	h
بردار سرعت افقی	$u_\alpha(u,v)$
عمق معرف	z_α
لزجت گردابه‌ای	ν
ضریب طول اختلاط	δ_b
معیارآغاز و توقف شکست	η_t^*
زاویه ورود موج نسبت به محور x ها	θ
تراز ساحل	z^*
سطح مقطع کانال موج	A
عرض کانال موج	b
عرض مجرا نسبت به یک واحد عرضِ ساحل	δ
ضریب اختلاط	c_m
ضریب اصطکاک بستر	f

معادلات غیرخطی آب کم‌عمق در مختصات کروی

طول جغرافیایی	λ
عرض جغرافیایی	ϕ
شعاع زمین	R
پارامتر کوریولیس	f
زبری بستر	C_f
ضریب مانینگ	n

عدد هاماک

جابه‌جایی محلی بستر	ξ_0
طول جابه‌جایی	b
زمان مشخصهٔ جابه‌جایی بستر	t_c

حل عددی

تعداد نقاط محاسباتی مدل در دو جهت افقی	M, N
اندازهٔ شبکه‌های مکانی دو جهت افقی	$\Delta x, \Delta y$
گام زمانی	Δt
تابع پاسخِ تصفیهٔ عددی	R