

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی

بررسی تغییرات بلندمدت نیمرخ عرضی سواحل ماسه‌ای تحت تاثیر امواج و جزرومد با استفاده از مدل XBeach

نگارنده: علی شمس درخشان

اساتید راهنما

دکتر مهدی عجمی

دکتر سید احمد نشایی

خرداد ۱۳۹۸

در این صفحه صورت جلسه دفاع را قرار دهید. لازم است پس از صحافی این صفحه مجدداً توسط دانشکده مهر گردد و استاد راهنما با امضای خود اصلاحات پایان نامه را تایید کند.

تقدیم به پدر و مادر مهربانم :

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فدکار نصیم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند و ستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

نهال را "باران" بید، تا سیرایش کند از آب حیات و "آفتاب" بید تا تاباند نیرو را و محکم کند شاخه های تازه
رویده را؛ بسی شایسته است از اساتید فریخته و فرزانه ام جناب آقایان دکتر مهدی عجمی و دکتر سید احمد نشانی، و
پنجمین راهنمای همگامی بنده، آقای سهیل عطایی، آموزگاران که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند
تقدیر و شکر نمایم.

یکیشان بود دست آموزگار

ز بوسیدنی های این روزگار

تعمیر نام

اینجانب علی شمس درخشان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی سواحل، بنادر و سازه- های دریایی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی تغییرات بلندمدت نیمرخ عرضی سواحل ماسه‌ای تحت تاثیر امواج و جزرومد با استفاده از مدل XBeach تحت راهنمایی دکتر مهدی عجمی و دکتر سیداحمد نشایی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه‌ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

رسوبات فصلی یکی از اصلی‌ترین مواردی است که می‌تواند کارایی یک بندر را کاهش دهد. به عنوان مثال، در سال ۲۰۰۷، شرایط بندر صیادی زرآباد به دلیل حجم زیاد انباشت رسوب و بسته شدن ورودی آن، بحرانی شناخته شد.

مدل‌های عددی پیشرفته که برای پیش‌بینی رفتار سواحل در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف استفاده می‌شوند، معمولاً شامل بسیاری از پارامترهای آزاد هستند که نیاز به واسنجی دارند. به دلیل ظرفیت مدل عددی **XBeach** در مدل‌سازی دقیق فرآیندهای هیدرودینامیکی و مورفولوژیکی در حوزه دوبعدی، برای پژوهش حاضر انتخاب شده است. این مدل شامل حدود ۲۵۰ تنظیمات مدل است که حدود ۱۵۰ مورد از این تنظیمات مربوط به رفتار فیزیکی و عددی هستند و ۱۰۰ مورد دیگر پارامترهای مربوط به شرایط خاص می‌باشند. در این پژوهش ۱۰ پارامتر برای بهینه‌سازی پیش‌بینی مدل برای منطقه بندر صیادی زرآباد اتخاذ شده است. برای ارائه نتایج مراحل تحلیل حساسیت، واسنجی و صحت‌سنجی، دو نیم‌رخ ساحلی و دو دوره زمانی انتخاب شده است.

این مدل نتایج قابل توجهی در پیش‌بینی تغییرات نیم‌رخ‌های ساحلی زیر آب ارائه داد، اما مطابق انتظار، نتایج نواحی خشک نیم‌رخ‌ها، دارای خطاهای عمده‌ای بود. همچنین دقت مدل در پیش‌بینی شکل نیم‌رخ‌های بالادست بیشتر بوده است؛ یعنی با حرکت از سمت راست به چپ مدل، از دقت آن کاسته می‌شود که می‌تواند به دلیل نادیده گرفتن تقریبی جریان‌های موازی ساحل باشد. با توجه به نتایج، پیشنهاد می‌شود که برای دوره‌های زمانی طولانی، از حالت یک‌بعدی مدل استفاده شود. **XBeach** ثابت کرده است که یک ابزار مفید برای پیش‌بینی نیم‌رخ‌های ساحلی در منطقه، در بازه‌های زمانی طولانی است.

کلمات کلیدی: رسوب‌گذاری، مدل‌سازی عددی، نیم‌رخ ساحلی، بندر صیادی، **XBeach**

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱. مدل سازی تغییرات مورفولوژی ساحلی به کمک مدل XBeach (مطالعه مروری) :
پنجمین کنفرانس عمران، معماری و مدیریت شهری

2. Evaluation of Cross-Shore Profile Behavior in Medium-Term Timescales
Using XBeach: A Case Study of Zarabad Fishery Harbor, Iran:
INTERNATIONAL JOURNAL OF COASTAL & OFFSHORE ENGINEERING

فهرست مطالب

۵	فهرست جداول
۹	فهرست اشکال
۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱ بیان مساله.....
۵	۲-۱ پرسش های مطرح شده در این پژوهش.....
۵	۳-۱ فرضیات تحقیق.....
۶	۴-۱ ساختار پژوهش.....
۷	فصل ۲: مروری بر مفاهیم اصلی و مطالعات پیشین
۸	۲-۱ مقدمه.....
۸	۲-۲ مهمترین عوامل انتقال رسوبات در راستای عمود بر ساحل.....
۱۱	۳-۲ دورنمایی از فرآیندهای عمود بر ساحل.....
۱۴	۲-۳-۱ امواج مادون گرانشی.....
۱۵	۲-۳-۲ خزش.....
۱۶	۲-۳-۳ دینامیک ناحیه سواش و جریان آب زیرزمینی.....
۱۶	۲-۳-۴ چولگی.....
۱۷	۲-۳-۵ عدم تقارن موج.....
۱۸	۲-۳-۶ شکست موج.....
۱۹	۲-۳-۷ بلند شدن رسوبات با شکست موج و حرکات نوسانی.....

- ۲۰ ۲-۳-۸ خیز آب و فرو آب
- ۲۱ ۲-۳-۹ جریان های زیر کش
- ۲۲ ۲-۳-۱۰ جریانهای موازی ساحل
- ۲۳ ۲-۳-۱۱ فروریزش
- ۲۳ ۲-۳-۲ انتقال ناشی از باد
- ۲۴ ۲-۴ مطالعات پیشین (مقیاس های زمانی طولانی / بهینه سازی)
- ۲۴ ۲-۴-۱ پارامترهای WTI
- ۲۵ ۲-۴-۲ Zimmermann و همکاران (۲۰۱۵)
- ۲۵ ۲-۴-۳ Karunarathna و Pender (۲۰۱۳)
- ۲۶ ۲-۴-۲ Bart (۲۰۱۷)
- ۲۷ ۲-۴-۵ سایر
- ۲۷ ۵-۲ نتیجه گیری
- ۲۹ فصل ۳ : ساختار نظری مدل و روش مدل سازی
- ۳۰ ۱-۳ ساختار کلی XBeach
- ۳۴ ۳-۲ معادلات مورد استفاده در مدل
- ۳۴ ۳-۲-۱ تعادل اثر موج کوتاه
- ۳۵ ۳-۲-۲ تعادل انرژی غلتشی
- ۳۶ ۳-۲-۳ تنشهای تشعشعی
- ۳۷ ۴-۲-۳ نیروهای ناشی از موج
- ۳۷ ۳-۲-۵ روابط آب کم عمق
- ۳۸ ۳-۲-۶ انتقال رسوب : رابطه انتقال-انتشار

۳۸	.....۳-۲-۷ عدم تقارن و چولگی
۳۹	.....۳-۲-۸ اثر شیب بستر
۴۰	.....۳-۲-۹ به روز رسانی بستر
۴۱	.....۳-۲-۱۰ فروریزش
۴۱	.....۳-۳ روش های مورد استفاده در پژوهش
۴۱	.....۱-۳-۳ تنظیمات مدل
۴۶	.....۲-۳-۳ بهینه سازی تنظیمات مدل
۵۰	.....۳-۳-۳ ارزیابی کارکرد مدل
۵۳	.....فصل ۴: گزارش نتایج
۵۴	.....۱-۴ مقدمه
۵۴	.....۲-۴ مدل اولیه (مرجع)
۵۵	.....۳-۴ بهینه سازی تنظیمات مدل
۵۶	.....۴-۳-۱ تحلیل حساسیت عدم تقارن و چولگی موج
۵۹	.....۴-۳-۲ تحلیل حساسیت شیب های بحرانی فروریزش
۶۱	.....۳-۳-۴ تحلیل حساسیت پارامتر α
۶۳	.....۴-۳-۴ تحلیل حساسیت پارامتر γ
۶۵	.....۴-۳-۵ تحلیل حساسیت پارامتر γ_{max}
۶۷	.....۴-۳-۶ تحلیل حساسیت پارامتر β
۶۸	.....۴-۳-۷ تحلیل حساسیت پارامتر $bedfriccoef$
۷۰	.....۴-۳-۸ تحلیل حساسیت پارامتر h_{min}
۷۱	.....۴-۴ مدل بهینه

۷۱	۴-۴-۱ واسنجی مدل.....
۷۳	۴-۴-۲ صحتسنجی مدل.....
۷۴	۴-۵ بررسی کارایی دستک بندر زرآباد.....
۷۷	فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۷۸	۵-۱ پرسش اصلی:.....
۷۸	۵-۲ پرسش‌های فرعی:.....
۸۰	۵-۳ پیشنهادات برای کارهای آینده.....
۸۲	پیوست (الف): کد متلب انتقال امواج
۸۳	پیوست (ب): نمونه‌های از فایل params.txt
۸۵	مراجع

فهرست جداول

جدول ۱-۲	تنظیمات پیش فرض و تنظیمات WTI [۴۱]	۲۵
جدول ۱-۳	پارامترهای مورد نیاز در حالت ورودی موج stat_table	۴۴
جدول ۲-۳	مدل هایی که برای تحلیل حساسیت دو پارامتر facSk و facAs اجرا شدند	۴۷
جدول ۳-۳	مدل هایی که برای تحلیل حساسیت دو پارامتر wetslp و dryslp اجرا شدند	۴۸
جدول ۴-۳	مدل های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر alpha	۴۸
جدول ۵-۳	مدل های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر gamma	۴۸
جدول ۶-۳	مدل های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر gammax	۴۹
جدول ۷-۳	مدل های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر beta	۴۹
جدول ۸-۳	مدل های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر bedfriccoef	۴۹
جدول ۹-۳	مدل های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر hmin	۵۰
جدول ۱۰-۳	طبقه بندی BSS توسط Van Rijn [۵۳]	۵۲
جدول ۱-۴	امتیاز مهارت Brier برای دو نیمرخ انتخابی مدل مرجع	۵۴
جدول ۲-۴	امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت دو پارامتر عدم تقارن و چولگی	۵۸
جدول ۳-۴	امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت دو پارامتر wetslp و dryslp	۶۱
جدول ۴-۴	امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر alpha	۶۲
جدول ۵-۴	امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر gamma	۶۴
جدول ۶-۴	امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر gammax	۶۶
جدول ۷-۴	امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر beta	۶۸
جدول ۸-۴	امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر bedfriccoef	۶۹
جدول ۹-۴	امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر hmin	۷۱
جدول ۱۰-۴	نتایج کلی مرحله تحلیل حساسیت و واسنجی	۷۲
جدول ۱۱-۴	نتیجه امتیاز مهارت مرحله صحت سنجی	۷۳
جدول ۱-۵	خلاصه تحلیل حساسیت های صورت گرفته	۷۸

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه (بندر صیادی زرآباد) [۱] ۴
- شکل ۱-۲ تجزیه سرعت نزدیک بستر با توجه به رابطه ۲-۶ [۷] ۱۰
- شکل ۲-۲ نمای کلی از فرآیندهای عمود بر ساحل [۱۶] ۱۳
- شکل ۳-۲ فرآیند اول تشکیل امواج مادون گرانشی [۱۹] ۱۵
- شکل ۴-۲ شمای کلی از پدیده خزش [۲۱] ۱۵
- شکل ۵-۲ شمای کلی ناحیه سواش [۲۳] ۱۶
- شکل ۶-۲ شمای کلی از دو پدیده چولگی و عدم تقارن ۱۸
- شکل ۷-۲ شمای کلی فرآیند بلند شدن رسوب در نواحی مختلف [۳۵] ۲۰
- شکل ۸-۲ شمای کلی خیزآب و فروآب موج [۳۶] ۲۱
- شکل ۹-۲ شمای کلی پدیده جریان زیرکش ۲۲
- شکل ۱۰-۲ شمای کلی از جریان های موازی ساحل [۳۸] ۲۲
- شکل ۱۱-۲ شمای کلی از پدیده فروریزش ۲۳
- شکل ۱۲-۲ شمای کلی از انتقال رسوبات توسط باد ۲۴
- شکل ۱-۳ چرخه کلی فرآیند مدل XBeach [۴۹] ۳۱
- شکل ۲-۳ جزئیات ساختار نظری مدل XBeach [۴] ۳۳
- شکل ۳-۳ جانمایی نیمرخ های برداشت شده در منطقه مورد مطالعه (اسفند ۱۳۸۴) ۴۲
- شکل ۴-۳ یک نمونه نیمرخ امتدادیافته با استفاده از نیمرخ تعادلی Dean ۴۲
- شکل ۵-۳ شبکه مورد استفاده در پژوهش حاضر (تصویر سمت راست) - هیدروگرافی اولیه به دست آمده توسط نرمافزار Delft3D (تصویر سمت چپ) ۴۳
- شکل ۶-۳ تبدیل داده های موج از نقطه برداشت اطلاعات (۲۱) به مرز فراساحل مدل ۴۶
- شکل ۱-۴ نتایج پردازش مدل مرجع در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب دو نیمرخ مورد مطالعه ۵۵
- شکل ۲-۴ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر عدم تقارن در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۱ ۵۶
- شکل ۳-۴ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر عدم تقارن در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۲ ۵۷
- شکل ۴-۴ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر چولگی در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۱ ۵۷
- شکل ۵-۴ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر چولگی در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۲ ۵۷

شکل ۴-۶ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر wetslp در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ	۱
۵۹.....	
شکل ۴-۷ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر wetslp در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ	۲
۶۰.....	
شکل ۴-۸ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر dryslp در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ	۱
۶۰.....	
شکل ۴-۹ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر dryslp در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ	۲
۶۰.....	
شکل ۴-۱۰ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر alpha در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ	۱ و ۲
۶۲.....	
شکل ۴-۱۱ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر gamma در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب	
نیمرخ ۱ و ۲.....	۶۴
شکل ۴-۱۲ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر gammax در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب	
نیمرخ ۱.....	۶۶
شکل ۴-۱۳ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر gammax در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب	
نیمرخ ۲.....	۶۶
شکل ۴-۱۴ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر beta در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۱	
و ۲.....	۶۸
شکل ۴-۱۵ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر bedfriccoef در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب	
نیمرخ ۱ و ۲.....	۶۹
شکل ۴-۱۶ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر hmin در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ	
۱ و ۲.....	۷۰
شکل ۴-۱۷ نتایج واسنجی مدل در قالب دو نیمرخ ۱ و ۲.....	۷۲
شکل ۴-۱۸ نتایج صحت سنجی مدل در قالب دو نیمرخ ۱ و ۲.....	۷۳
شکل ۴-۱۹ نیمرخ مورد استفاده در بررسی کارایی دستک رسوب گیر.....	۷۴
شکل ۴-۲۰ نیمرخ ابتدایی و نهایی در شبیه سازی صورت گرفته به منظور بررسی کارایی دستک	
رسوبگیر.....	۷۵

فصل ۱: مقدمه

۱-۱ بیان مساله

در سراسر دنیا در حدود ۲۰۰ میلیون انسان در حاشیه سواحلی که کم‌تر از ۵ متر بالای سطح دریا قرار دارند، زندگی می‌کنند. انتظار می‌رود که این عدد تا پایان قرن ۲۱ میلادی به ۴۰۰ یا ۵۰۰ میلیون انسان برسد [۲]. همچنین ایران دارای حدود ۵۸۰۰ کیلومتر خط ساحلی است که سهم شمال کشور، ۸۹۰ کیلومتر، و جنوب کشور ۴۹۰۰ کیلومتر می‌باشد [۳]. منطقه ساحلی برای انسان‌ها، به دلیل موقعیت مناسب برای ماهی‌گیری، تجارت، حمل‌ونقل، جهانگردی و...، همواره مکانی جذاب جهت سکونت به شمار می‌رود. با افزایش جمعیت و فعالیت‌های ساحلی و پیشرفت علوم دریایی در ایران، نیاز به ساخت بنادر و زیرساخت‌های جدید و همچنین شناخت هرچه بیشتر چالش‌های ساحلی و دریایی بطور روزافزون افزایش می‌یابد. بسیاری از نواحی ساحلی در معرض سیلاب و فرسایش هستند، که خطری برای مردمی که در این مناطق زندگی می‌کنند محسوب می‌شود. از مخاطرات ناشی از انتقال رسوبات می‌توان به فرسایش ساحلی، تجمع رسوب در کانال ورودی بنادر، از بین رفتن تپه^۱ ساحلی و هجوم موج به منطقه مسکونی و... اشاره کرد. بنابراین بسیاری از این مناطق که در معرض چنین خطراتی هستند، مورد حفظ و نگهداری قرار می‌گیرند. این محافظت می‌تواند از نوع سخت و یا نرم باشد، برای مثال تغذیه ساحلی^۲، موج‌شکن و دیوار ساحلی [۴]. بنابراین پیش‌بینی صحیح رفتار رسوبات ساحلی می‌تواند از بسیاری از هزینه‌های اضافی جلوگیری کرده و حتی در جهت منافع کشور به کار برده شود.

در حال حاضر نرم‌افزارها و مدل‌های تجاری و رایگان متعددی قادر به پیش‌بینی رفتار رسوبات ساحلی هستند که هر یک دارای مزایا و معایب مخصوص به خود می‌باشند. از جمله این نرم‌افزارها و مدل‌ها می‌توان به Mike by DHI، SBeach، XBeach، Delft3D، CROSMOR و... اشاره کرد.

در این بین، نرم‌افزار تجاری Mike در میان شرکت‌ها و سازمان‌های ایرانی از محبوبیت بیشتری برخوردار است. دلیل این محبوبیت را می‌توان کاربری ساده، رابط گرافیکی مناسب و قابلیت‌های فراوان

^۱ dune

^۲ Beach nourishment

این نرم‌افزار عنوان کرد، اما به منظور استفاده از این نرم‌افزار می‌بایست هزینه گزافی پرداخت کرد و استفاده غیرقانونی از آن می‌تواند علاوه بر عواقب قانونی، موجب بروز خطاهایی در مدل‌سازی‌های انجام شده شود [۵].

Delft3D یک مجموعه نرم‌افزاری رایگان است که توسط موسسه تحقیقاتی Deltares توسعه یافته است. این مجموعه دارای بخش‌های مختلف Mor، Flow، Wave و... می‌باشد که برای بررسی هیدرودینامیک، مورفولوژی، انتقال رسوب و کیفیت آب، در نواحی ساحلی، دریایی و مصب‌ها مناسب است و این قابلیت‌ها را در قالب یک رابط گرافیکی نسبتاً مطلوب در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این مجموعه قادر به مدل‌سازی به صورت دوبعدی و سه‌بعدی می‌باشد [۶].

مدل CROSMOR یک مدل احتمالاتی است که بطور خاص برای پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی و شکل نیمرخ ساحلی توسط زبان برنامه‌نویسی فرترن^۱ نوشته شده است. این مدل به صورت "موج به موج"^۲ به شبیه‌سازی انتشار، تغییر شکل و شکستن امواج روی یک نیمرخ ساحلی می‌پردازد [۷].

XBeach یک مدل عددی فرآیند-مبنای^۳ است که بطور مکرر توسط بسیاری از شرکت‌ها و محققین دنیا جهت تعیین تغییرات مورفولوژی نزدیک ساحل مورد استفاده قرار می‌گیرد. نسبت به مدل‌های دیگر، XBeach دارای مجموعه‌ی کامل‌تری از روابط مربوط به فرآیندهای عمود بر ساحل^۴ است. برای مثال روابط جریان بازگشتی، تقارن موج، غلتابه^۵ موج و امواج بلند، برخلاف Delft3D، در مدل XBeach گنجانده شده است. به دلیل گنجاندن امواج بلند، XBeach بطور خاص برای مدل‌سازی فرآیندهای نزدیک ساحل مناسب می‌باشد، درحالی‌که Delft3D بیشتر در دامنه‌های بزرگتر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸].

^۱ Fortran

^۲ Wave by wave

^۳ Process-based

^۴ Cross-shore

^۵ roller

در سال‌های اخیر، برخی از محققین موفق به استفاده از XBeach برای مدل‌سازی در بازه‌های زمانی بیشتر از مقیاس طوفان‌ها، مانند سال‌ها و دهه‌ها شده‌اند که این موضوع زمینه مطالعاتی وسیعی در اختیار محققین قرار داده‌است [۴]. با توجه به هزینه بالای نرم‌افزارهای تجاری و همچنین امکان بروز خطا در استفاده از نرم‌افزارهای قفل‌شکسته، و با توجه به مزایای عنوان شده در این مطالعه برای مدل XBeach، این مدل می‌تواند جایگزین مناسبی برای نرم‌افزارهای تجاری و همچنین یک زمینه مطالعاتی غنی برای دانشجویان و محققین باشد.

بندر زرآباد در سواحل شمالی خلیج عمان، در استان سیستان و بلوچستان و در روستای زرآباد ($25^{\circ}23' N 59^{\circ}36' W$) واقع شده است. ساخت این بندر در سال ۱۳۸۴ به پایان رسید. بندر تحت هجوم مداوم امواج مونسون تابستانه و امواج/بادهای شمال در زمستان است. به دلیل کافی نبودن ظرفیت منبع پشت موج‌شکن اصلی، رسوب‌گذاری نسبتاً زیادی در دهانه بندر و در مدت‌زمان کمی پس از ساخت بندر مشاهده شد. حجم زیاد رسوبات، مسئولین را به بررسی‌های منظم با فاصله زمانی ۶ ماهه از ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶ وا داشت. یک دستک طولانی که از خم بازوی اصلی موج‌شکن شروع شده‌است، ساخته شد تا ظرفیت رسوبی سمت راست موج‌شکن را افزایش دهد (شکل ۱-۱) [۱].



شکل ۱-۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه (بندر صیادی زرآباد) [۱]

۲-۱ پرسش های مطرح شده در این پژوهش

پرسش اصلی

۱. آیا مدل قادر به پیش بینی رفتار رسوبات ساحلی در بازه های زمانی طولانی می باشد؟

پرسش های فرعی

۲. حساسیت مدل نسبت به پارامترهای انتخاب شده در پژوهش حاضر، در بازه های زمانی طولانی،

چقدر و با چه کیفیتی است؟

۳. آیا مدل قادر به پیش بینی نیمرخ های ساحلی اطراف بندر زرآباد در بازه های زمانی طولانی

می باشد؟

۴. آیا دستک ساخته شده بر روی بازوی موج شکن بندر زرآباد قادر به جلوگیری از انتقال رسوبات

به دهانه بندر می باشد؟

۳-۱ فرضیات تحقیق

❖ با توجه به اینکه مدل در اصل برای شرایط طوفانی طراحی شده است و فرآیندهای موازی

ساحل را تقریباً نادیده می گیرد [۹]، در این پژوهش نیز فرآیندهای عمود بر ساحل، فرآیند

غالب در تغییرات بستر سواحل فرض می شود.

❖ این مدل فاقد مازول مربوط به انتقال ناشی از باد می باشد و در اکثر موارد فرسایش تپه های

ماسه ای را بیش از حد پیش بینی می کند و می بایست این نکته را در بررسی نتایج در نظر

داشت.

❖ مدل XBeach با اعمال تغییراتی مانند اصلاح کد مدل، واسنجی پارامترهای مختلف و دخیل

کردن یا حذف برخی مازول ها، برای شبیه سازی در مقیاس طولانی قابل بهره برداری است.

❖ به دلیل عدم دسترسی به داده ها تغییرات سطح آب ناشی از جزر و مد در سراسر مرز

فراساحل، یکسان فرض شده است.

❖ به دلیل دشواری، زمان بر بودن و خطاهای احتمالی ایجادشده، فرض شده است که می توان تنها از تئوری موج دامنه کوتاه برای انتقال امواج از فراساحل به مرز فراساحل دامنه مورد مطالعه با دقت مطلوبی استفاده کرد [۱۰].

۴-۱ ساختار پژوهش

در فصل ۲ به ترتیب به معرفی پژوهش های اخیر مربوط به روابط نیمرخ های ساحلی، بندر زرآباد و مدل XBeach پرداخته می شود. در فصل ۳ مدل مورد مطالعه، روش های حل به کاررفته در مدل و بخش ها و روابط مورد استفاده توسط مدل معرفی شده است. همچنین در این فصل به روند کلی مورد استفاده در پژوهش حاضر اشاره می شود. در فصل چهار، نتایج حاصل از پردازش های صورت گرفته توسط مدل و تحلیل هر یک از این نتایج ارائه خواهد شد. در نهایت، در فصل ۵ به نتیجه گیری کلی پژوهش، پاسخ به پرسش های مطرح شده، و ارائه پیشنهاداتی جهت تحقیقات آینده پرداخته شده است.

فصل ۲: مروری بر معانییم اصلی و مطالعات پیشین

۱-۲ مقدمه

هدف اصلی این پژوهش بررسی تغییرات مورفولوژی ساحل بندر زرآباد در بازه‌های زمانی طولانی، از طریق یافتن تنظیماتی مناسب برای مدل عددی XBeach می‌باشد. انتقال رسوبات در جهت موازی ساحل بر تغییرات خط ساحلی^۱ اثر می‌گذارد و یک عامل تغذیه‌کننده یا منبع برای تعادل رسوبات عمود بر ساحل است. از سوی دیگر، فرآیندهای عمود بر ساحل، رسوبات را در راستای حرکت خود توزیع می‌کنند. با توجه به قابلیت‌های مدل، تصمیم گرفته شد که در این مطالعه بر روی فرآیندهای عمود بر ساحل تمرکز شود. در ادامه این فصل به مرور برخی از مفاهیم اصلی و مطالعات پیشین مربوط به نیمرخ‌های ساحلی و بخصوص مطالعات انجام‌شده توسط این مدل پرداخته می‌شود. در پایان، نتایج مطالعات و فرضیات در نظر گرفته‌شده بر مبنای این مطالعات، ارائه خواهد شد.

۲-۲ مهم‌ترین عوامل انتقال رسوبات در راستای عمود بر

ساحل

برای داشتن دید کلی از فرآیندهای عمود بر ساحل، نگاهی می‌اندازیم به سرعت نزدیک بستر و آن را توسط تجزیه Roelvink و Stive (۱۹۸۹) تقسیم‌بندی می‌کنیم [۱۱]. برای محاسبه انتقال رسوب (S) روابط بسیار زیادی وجود دارد که در بیشتر آن‌ها، پارامتر تنش برشی (τ) با توان مشخصی، دیده می‌شود:

$$S \propto \tau^k \quad (۱-۲)$$

تنش برشی آبی بستر را می‌توان با استفاده از قانون درجه دوم اصطکاک^۲ Grant و Madsen (۱۹۷۹) تعیین کرد [۱۲]:

$$\tau_b = 1/2\rho f'_{cw}|u_0(t)|u_0(t) \quad (۲-۲)$$

^۱ Shoreline changes

^۲ Quadratic friction law

که در آن u_0 سرعت افقی تابع زمان در نزدیکی بستر برای حرکات ترکیبی موج و جریان، f'_{cw} ضریب اصطکاک بین موج و جریان و ρ چگالی آب می‌باشد. این سرعت در بالای لایه مرزی تعریف می‌شود و به شکل زیر با انتقال رسوب در رابطه است:

$$S \propto (u^2)^k \quad (3-2)$$

که با جایگذاری ($2k = n$) نتیجه می‌شود:

$$S \propto u|u^{n-1}| \quad (4-2)$$

سرعت نزدیک بستر به سه بخش اصلی زیر تجزیه می‌شود [۱۱]:

$$u = \bar{u} + u_{lo} + u_{hi} \quad (5-2)$$

که در آن، \bar{u} بخش میانگین زمانی، u_{lo} حرکت با فرکانس پایین (مقیاس گروه موج یا موج بلند) و u_{hi} حرکت با فرکانس بالا (مقیاس موج کوتاه) می‌باشد.

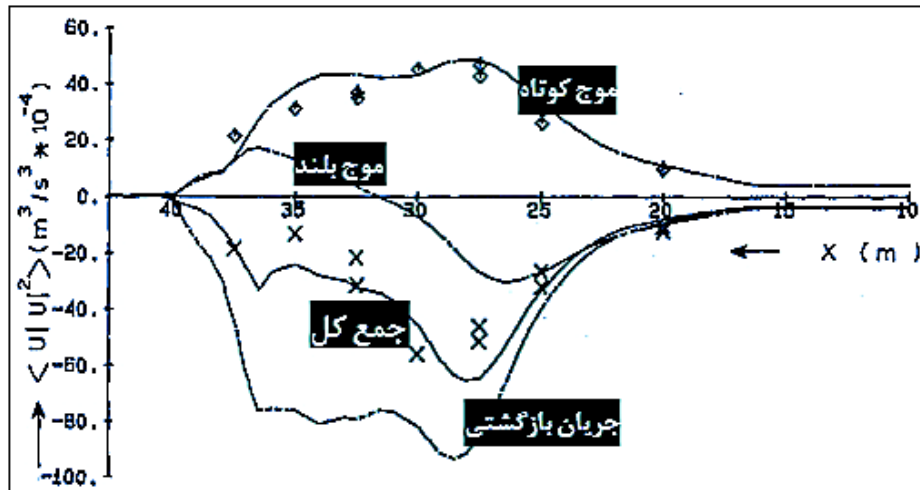
با استفاده از بسط تیلور می‌توان سهم بخش‌های مختلف (\bar{u} و u_{lo} و u_{hi}) را در انتقال رسوب نشان

داد [۱۱]:

$$\langle u|u|^2 \rangle = \langle \bar{u}|u_{hi}|^2 \rangle + \langle \bar{u}_{hi}|u_{hi}|^2 \rangle + \langle \bar{u}_{lo}|u_{hi}|^2 \rangle \quad (6-2)$$

رسوب بوسیله امواج کوتاه ($|\bar{u}_{hi}|^2$) شده و انتقال رسوبات توسط عبارت اول در سمت راست صورت

می‌گیرد. در شکل زیر تجزیه سرعت نزدیک بستر با توجه به رابطه بالا نشان داده شده است [۴].



شکل ۱-۲ تجزیه سرعت نزدیک بستر با توجه به رابطه ۲-۶ [۷]

سرعت افقی نزدیک بستر شامل عوامل دیگری مانند عدم تقارن موج^۱، گروه‌های موج، امواج بلند آزاد و مقید، جریان میانی، جریان زیرکش^۲ و موازی ساحل می‌باشد [۴]. در فهرست زیر خلاصه‌ای از فرآیندهای ساحلی که براساس منابع علمی مختلف، مهم شمرده شده‌اند، آورده شده‌است:

- ❖ جریان زیرکش در ترکیب با تحرک امواج، بخش اصلی جریان به سمت دریا است [۱۳].
- ❖ انتظار می‌رود انتقال رسوب ناشی از عدم تقارن و چولگی^۳ موج، در مقایسه با انتقال رسوب ناشی از جریان‌های میانی و امواج بلند، ناچیز باشد [۱۴].
- ❖ فرآیندهای مقابل در صورت مسطح بودن بستر، بسیار مهم می‌باشند: رانش^۴ و جاری‌سازی^۵ موج، جریان زیرکش و عدم تقارن موج. سیلان‌ها نیز نقش مهمی در انتقال رسوب خالص دارند [۱۵].
- ❖ در شرایط طوفان، سواش مادون‌گرانشی^۶ فرآیند غالب است [۱۶].

^۱ Wave asymmetry

^۲ undertow

^۳ skewness

^۴ drift

^۵ streaming

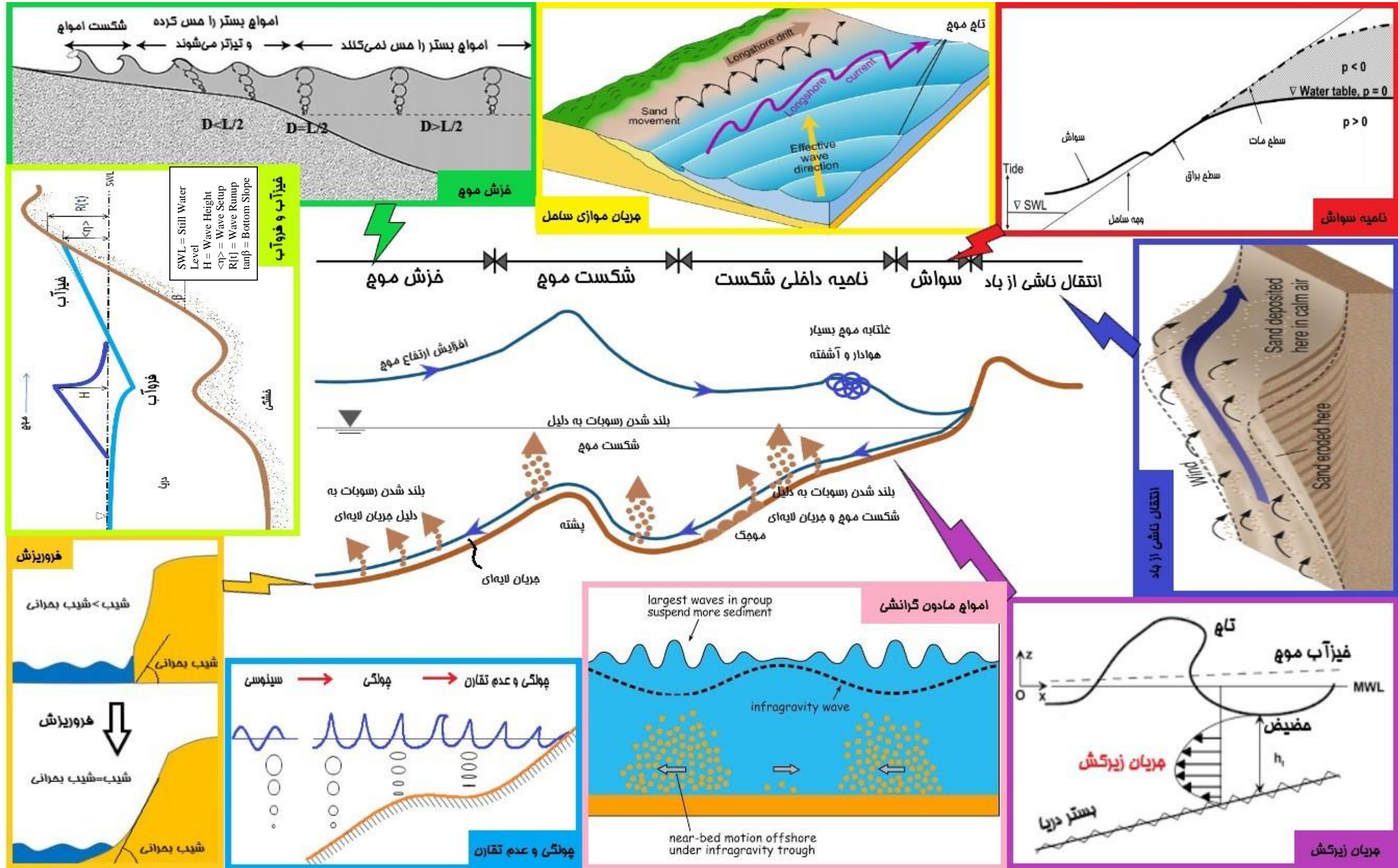
^۶ Infragravity swash

۲-۳ دورنمایی از فرآیندهای عمود بر ساحل

در ادامه برخی از انواع فرآیندهای عمود بر ساحل که به پژوهش حاضر مربوط می‌باشند، توضیح داده

می‌شوند. همچنین یک نمای کلی از فرآیندهای عمود بر ساحل بیان شده در این پژوهش در شکل ۲-۲

ارائه شده است:



شکل ۲-۲ نمای کلی از فرآیندهای عمود بر ساحل [۱۷]

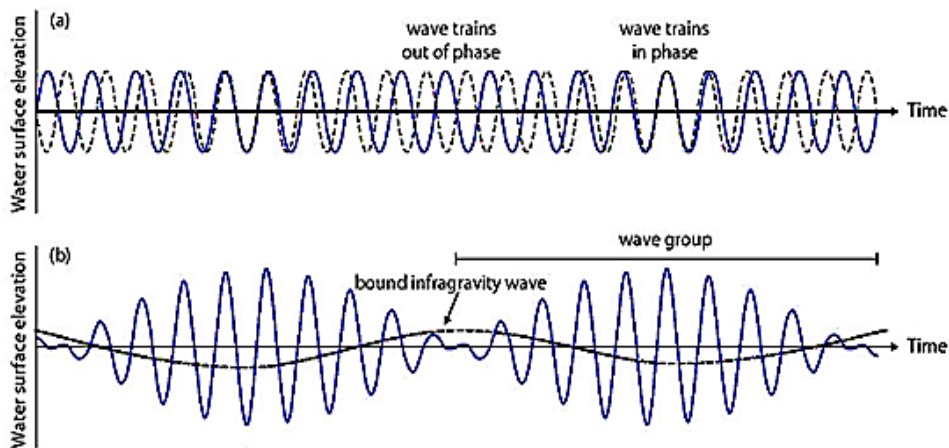
۲-۳-۱ امواج مادون گرانشی

به طور کلی امواج براساس دوره تناوب، نیروهای تولیدکننده و نیروهای بازگرداننده^۱ تقسیم‌بندی می‌شوند. Munk (۱۹۵۰) مشاهده کرد که انواع مشخصی از امواج بلند، مربوط به تغییرات امواج گرانشی هستند [۱۸]. امواج مادون‌گرانشی امواجی هستند که دوره تناوبی بین ۳۰ ثانیه تا ۵ دقیقه داشته و توسط امواج گرانشی (ناشی از باد) با دوره تناوب کم‌تر تولید می‌شوند. امواج مادون‌گرانشی به طور خاص برای فرسایش در شرایط طوفانی بسیار مهم هستند. در فراساحل، این امواج دارای ارتفاع نسبتاً کوچک، ولی در نزدیکی ساحل دارای ارتفاعی در حد چند متر می‌باشند [۴].

یک منطقه موج دارای اعضای متفاوت موج با طول‌ها و دامنه‌های گوناگون است. به همین دلیل، تاج‌ها و حوضیض‌های موج در برخی نقاط در یک فاز، و در برخی دیگر در فازهای متفاوت قرار می‌گیرند. وقتی امواج در یک فاز قرار می‌گیرند، دامنه‌شان با هم جمع می‌شود و وقتی در فازهای متفاوت باشند، تاج و حوضیض امواج، همدیگر را تعدیل می‌کند که این امر یک گروه موج نامنظم را تشکیل می‌دهد (شکل ۲-۳). فرآیند/ولی که باعث تشکیل امواج مادون‌گرانشی می‌شود این است که امواج کوتاه بزرگ‌تر نسبت به امواج کوتاه کوچک‌تر، حامل اندازه حرکت^۲ بیشتری هستند که باعث کاهش سطح آب در زیر امواج بزرگ و افزایش نسبی سطح آب در زیر امواج کوچک می‌شود. این امر باعث ایجاد تغییراتی در سطح متوسط آب با طول موج، فرکانس و سرعت مشابه با گروه موج می‌شود (شکل ۲-۳) که به این موج، موج مادون‌گرانشی می‌گویند. این موج، مقید به گروه موج و با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه نسبت به آن است. ارتفاع این گونه از امواج در دریاهای آزاد تنها در حدود یک سانتیمتر می‌باشد [۱۹].

^۱ Restoring forces

^۲ momentum

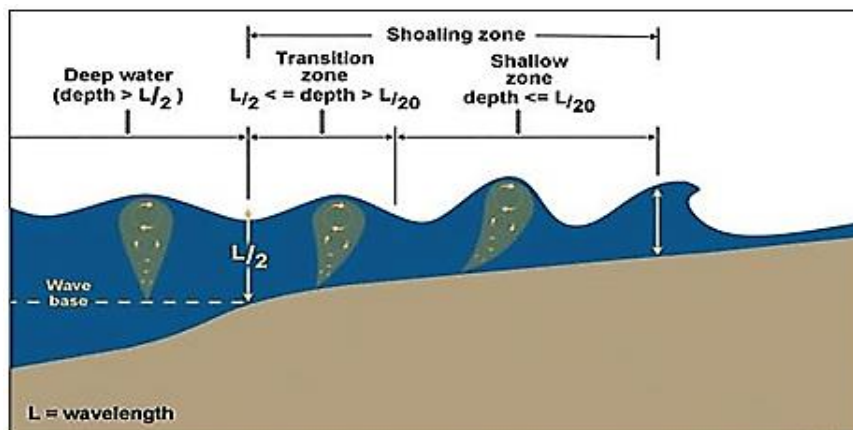


شکل ۳-۲ فرآیند اول تشکیل امواج مادون گرانشی [۲۰]

فرآیند دومی که باعث تشکیل امواج مادون گرانشی می شود مربوط به اختلاف نقاط شکست امواج در یک گروه موج در اعماق کم است؛ به این ترتیب که امواج کوتاه بزرگتر زودتر از امواج کوتاه کوچکتر می شکند و باعث ایجاد یک اختلاف زمانی در تنش های تشعشی ناحیه شکست می شوند و در نتیجه امواج مادون گرانشی را شکل می دهند [۲۱].

۲-۳-۲ خزش

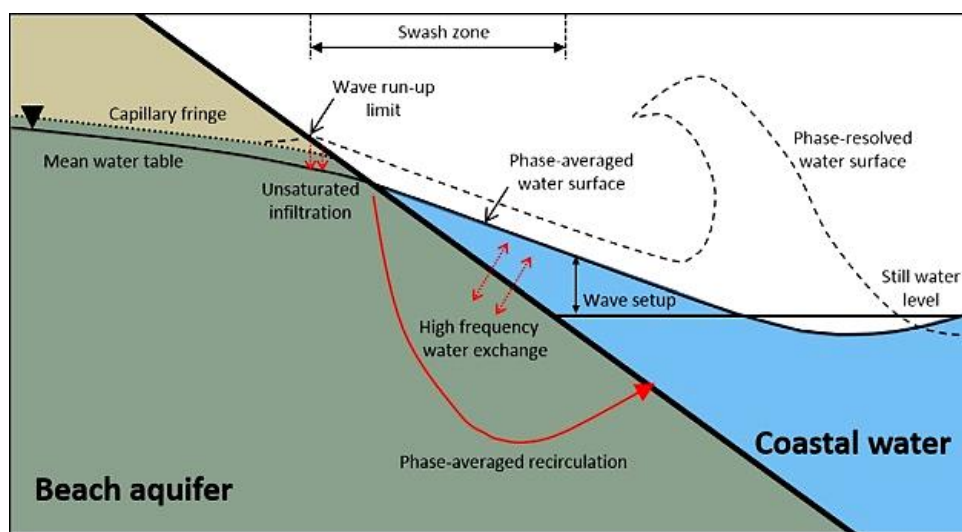
به تغییر شکل امواج با پیشروی به سمت آب های کم عمق، خزش می گویند. خزش زمانی رخ می دهد که عمق آب کم تر از نصف طول موج شود. این پدیده باعث کاهش سرعت انتشار و طول موج و همچنین تیزی آن می شود (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲ شمای کلی از پدیده خزش [۲۲]

۳-۳-۲ دینامیک ناحیه سواش و جریان آب زیرزمینی

نفوذ و خروج آب از میان بستر ساحل، می‌تواند نقشی حیاتی در پایداری ساحل و انتقال رسوبات داشته باشد. امروزه دینامیک ناحیه سواش به اندازه کافی قابل درک نمی‌باشد، اما مشخص شده‌است که سواحل دارای سطح ایستایی آب بالاتر، تمایل به فرسایش، و سواحل با سطح ایستایی آب پایین‌تر تمایل به رشد کردن دارند. یک توضیح احتمالی این است که هرچه سطح آب زیرزمینی کم‌تر باشد، نفوذ افزایش می‌یابد، بنابراین بازگشت^۱ آب کاهش یافته و منجر به کاهش انتقال رسوب به سمت دریا می‌شود [۲۳].



شکل ۲-۵ شمای کلی ناحیه سواش [۲۴]

۴-۳-۲ چولگی

در اثر پدیده خزش، چولگی اتفاق می‌افتد، یعنی حوضها مسطح‌تر و تاجها مرتفع‌تر می‌شوند. یک موج چوله را می‌توان با استفاده از نظریه مرتبه دوم استوکس تشریح کرد. این نظریه توضیح می‌دهد که یک موج غیرخطی، متشکل از چندین موج منظم است. یک موج چوله از ترکیب دو موج منظم با سرعت فاز مشابه، ولی دامنه نوسانی و پریود متفاوت به وجود می‌آید [۲۵].

امواج چوله معمولاً دارای انتقال رسوب خالص به سمت ساحل هستند. در مطالعات آزمایشگاهی مشاهده شده است که در ناحیه شکست امواج، مقدار چولگی بیشینه است، سپس تا وسط ناحیه سواش

^۱ backwash

کاهش یافته و سپس به سمت ساحل افزایش می‌یابد [۲۶]. همچنین امواج چوله می‌توانند به دلیل تاخیر فاز، انتقال رسوب به سمت دریا داشته باشند. در این سناریو ابتدا رسوبات توسط تاج به طرف ساحل حمل شده، و سپس توسط حوض، پیش از آنکه ته‌نشین شوند، به طرف دریا حمل می‌شوند. پارامتر تاخیر فاز P_s اینگونه بیان می‌شود [۲۷]:

$$P_s = \frac{\delta_s \omega}{\omega_s} = \frac{2\pi \Delta t_{settle}}{T} \quad (7-2)$$

که در آن، $\delta_s = 13d_{50}$ ضخامت جریان لایه‌ای، T پریرود موج و $P_s = 0.1-0.3$ معمولاً به دست می‌آید (d_{50} = قطر میانگین رسوب).

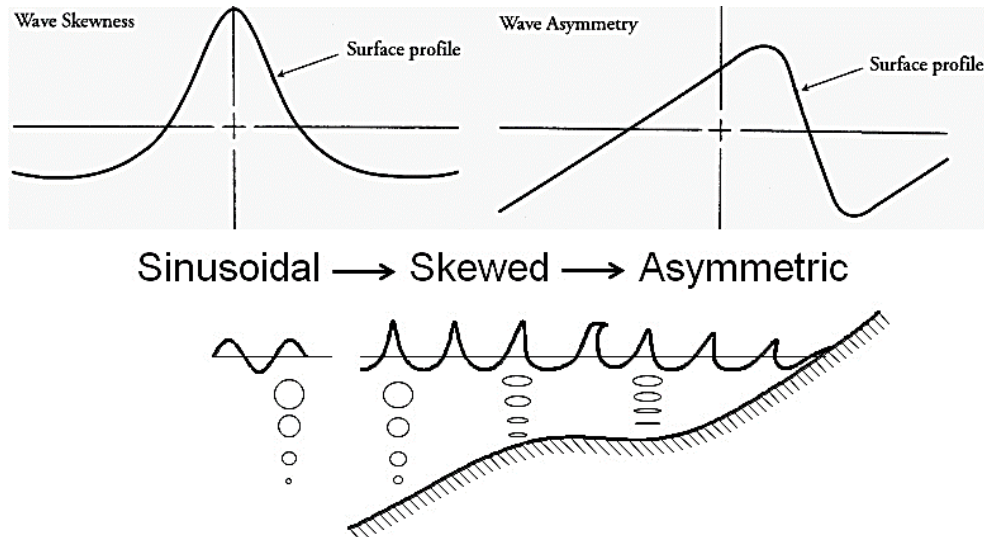
Butt و Russel (۱۹۹۹) سری‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای موج را روی یک ساحل با شیب ملایم (۰,۰۱۴) مقایسه کردند. مشخص شد که چولگی در میانه سواش، تحت شرایط متعادل، مثبت می‌باشد ($H_s \approx 0.8m$ در یاسو)، اما در شرایط طوفانی در جهت مخالف است ($H_s \approx 2.20m$ در یاسو) [۲۸].

۲-۳-۵ عدم تقارن موج

در آب کم‌عمق، تاج موج سریع‌تر از حوض موج حرکت می‌کند. بنابراین موج به تدریج به سمت جلو شیب پیدا کرده تا اینکه شکسته شود. به این پدیده عدم تقارن موج می‌گویند. شیب تند امواج نامتقارن موجب شتاب زیادی می‌شود که تحرک رسوبات را افزایش می‌دهد [۲۹]. با استفاده از نظریه استوکس، امواج نامتقارن را می‌توان توسط یک موج منظم دوم که فازش جلوتر از فاز موج اول است، توجیه کرد. Elgar و همکاران (۲۰۰۱)، از طریق مطالعه میدانی در داک، کارولینای شمالی^۱، شواهدی بدست آورد که بیانگر انتقال رسوبات به سمت ساحل توسط امواج نامتقارن بود [۳۰]. تست‌های آزمایشگاهی توسط Ruessink و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که رسوبات، بیشتر بوسیله تاج موج جابه‌جا می‌شوند [۳۱]. گفته می‌شود که فرآیند تشکیل پشته، ترکیبی از انتقال به سمت ساحل توسط امواج نامتقارن و انتقال به

^۱ Duck, North Carolina

سمت دریا توسط جریان زیرکش می‌باشد [۱۱]. شمای کلی از دو پدیده چولگی و عدم تقارن در شکل ۶-۲ قابل مشاهده است.



شکل ۶-۲ شمای کلی از دو پدیده چولگی و عدم تقارن

۶-۳-۲ شکست موج

وقتی شیب امواج بسیار زیاد شود، موج شروع به شکستن می‌کند. شکست موج به دوره تناوب، شیب بستر و ارتفاع موج بستگی دارد. باد می‌تواند سبب تاخیر و یا تعجیل در شکست موج شود، بنابراین باد در مقدار عرض ناحیه شکست امواج تاثیر دارد [۳۲].

غلتابه شکست موج، یک تبدیل انرژی به همراه آشفتگی برشی زیاد است که سرعت آن تقریباً با سرعت موج است. آشفتگی باقی‌مانده در ستون آب به سمت پایین حرکت می‌کند که برای تعلیق رسوب و ترکیب جریان‌های ناحیه شکست موج اهمیت دارد. فرآیند شکست توسط Battjes و Stive (۱۹۸۵)، Dally و همکاران (۱۹۸۵) تشریح شده است [۳۳].

به دلیل آشفتگی ناشی از شکست موج، مقدار رسوبات معلق به ویژه در ناحیه ابتدایی شکست، افزایش می‌یابد [۳۴].

۲-۳-۷ بلند شدن رسوبات با شکست موج و حرکات نوسانی

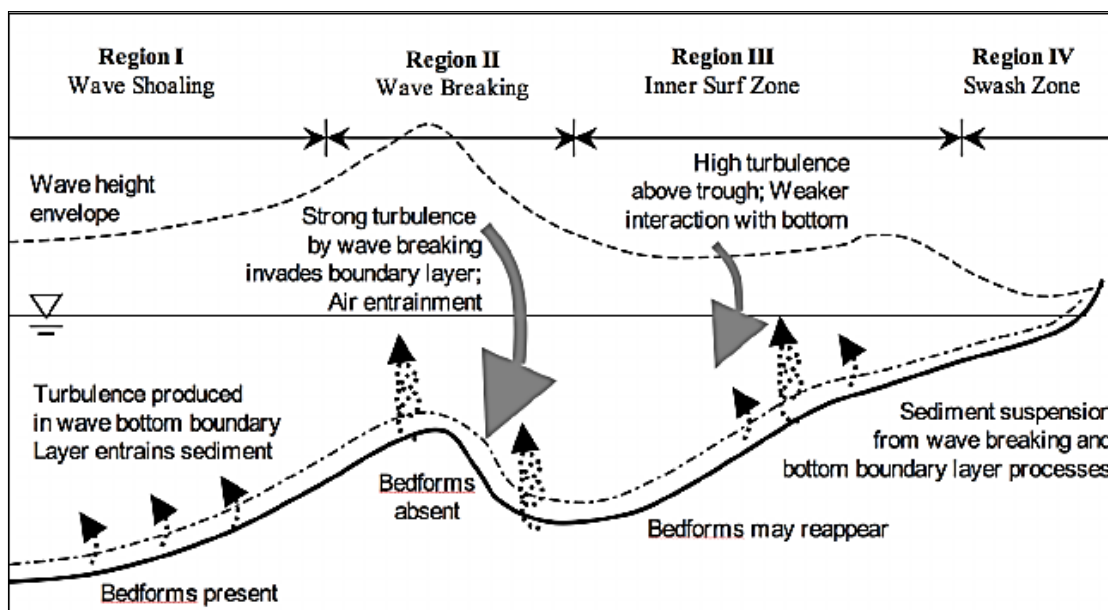
حرکت سیال در نزدیکی بستر، رسوبات را به دنبال خود می‌کشاند و آشفتگی و گردابه‌ها، آن را به درون ستون آب حمل می‌کنند. امواج بزرگ‌تر سرعت نوسانی قوی‌تری داشته و رسوب بیشتری را معلق می‌سازند ولی امواج کوچک‌تر سطح آشفتگی بالاتری ایجاد می‌کنند [۳۲].

در خارج از ناحیه شکست، کشیده شدن رسوب توسط حرکات نوسانی موج و جریان و حرکات با فرکانس پایین صورت می‌گیرد. تعلیق در بالای ستون آب، حاصل اندرکنش موج-جریان^۱ می‌باشد [۳۵].

در نزدیکی ناحیه شکست، امواج بلند یک جریان لایه‌ای ایجاد می‌کنند که باعث انتقال شدید رسوب می‌شود ولی تعلیق بسیار ناچیزی ایجاد می‌کند زیرا تقریباً فاقد آشفتگی است. در ناحیه شکست رسوبات مدت زمان بیشتری را به صورت معلق باقی می‌مانند. موجک‌ها زمانی در ناحیه‌ی شکست ایجاد می‌شوند که جریان‌های ناحیه شکست ضعیف باشند [۳۵].

در ناحیه شکست، جریان زیرین امواج در حال شکست، به انتقال رسوبات شدت می‌بخشد. غلتابه موج بخصوص در تعلیق رسوبات قسمت بالایی ستون آب تاثیر دارد [۳۵].

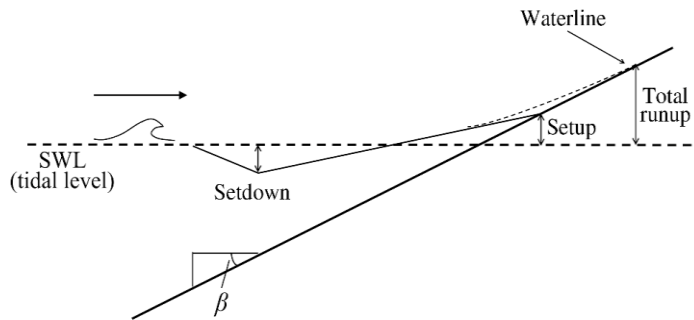
^۱ Ripple-wave-current



شکل ۲-۷ شمای کلی فرآیند بلند شدن رسوب در نواحی مختلف [۳۶]

۲-۳-۸ خیزآب و فروآب

به دلیل گرادیان تنش تشعشی در راستای عمود بر ساحل که بوسیله خزش ایجاد می‌شود، سطح متوسط آب در طرف دریای ناحیه شکست کاهش می‌یابد؛ به این پدیده، فروآب گفته می‌شود. در مرحله آغازین شکست موج بیشترین میزان فروآب اتفاق می‌افتد، سپس در هنگام شکست موج، شار اندازه-حرکت افزایش یافته و پس از شکست موج، تنش تشعشی به تدریج مستهلک می‌شود که این امر باعث افزایش تدریجی سطح متوسط آب می‌شود که به آن خیزآب می‌گویند. بیشترین میزان خیزآب در خط ساحلی اتفاق می‌افتد و همچنین بادها می‌توانند باعث ایجاد خیزآب و فروآب شوند [۳۲].

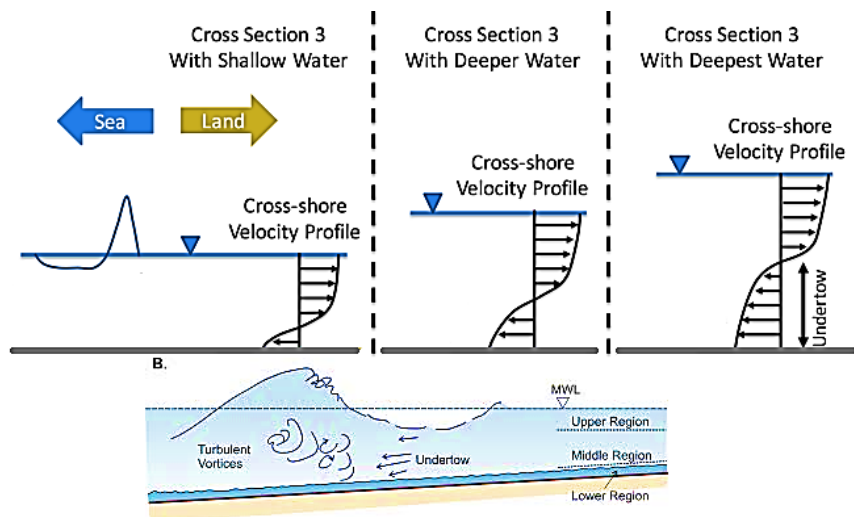


شکل ۲-۸ شمای کلی خیزآب و فروآب موج [۳۷]

۹-۳-۲ جریان های زیرکش

امواج در حال شکست، دارای یک شار پسماند در جهت انتشار موج هستند که این پدیده باعث انتقال رسوب به سمت ساحل در قسمت بالایی ستون آب می شود. این انتقال با یک جریان به سمت دریا در قسمت پایینی ستون آب جبران می شود که به آن جریان زیرکش می گویند. این پدیده مهم ترین عامل انتقال رسوب به سمت دریا می باشد. جریان زیرکش در اعماق کم، قوی ترین نوع جریان ها هستند، بنابراین نقش مهمی در انتقال رسوب دارند [۳۴].

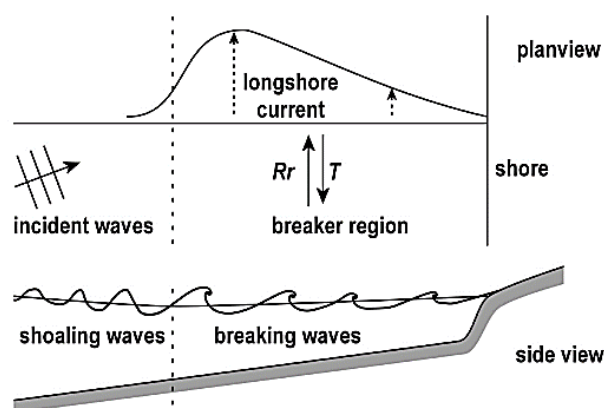
باد هم می تواند یک تنش برشی اضافی اعمال کند که آن هم باید به نحوی جبران شود. این یعنی حرکت باد به سمت دریا (به سمت ساحل) موجب ایجاد جریان به سمت ساحل (به سمت دریا) در قسمت پایینی ستون آب می شود. جریان زیرکش در ترکیب با تحرک امواج، عامل اصلی انتقال رسوبات به سمت دریا می باشند [۱۳].



شکل ۹-۲ شمای کلی پدیده جریان زیرکش

۱۰-۳-۲ جریان‌های موازی ساحل

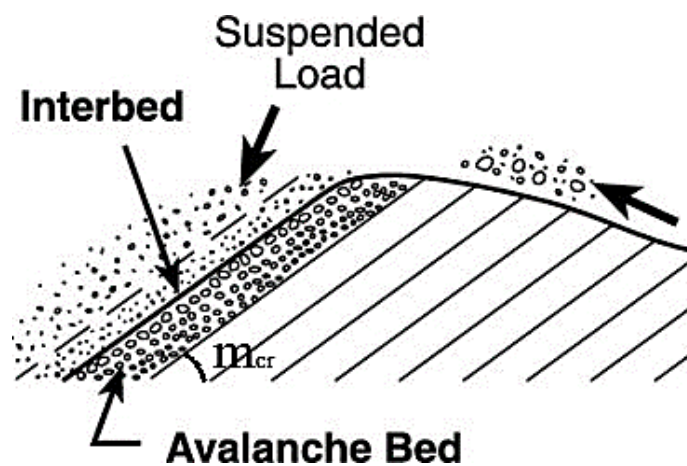
شکست امواج مایل نسبت به ساحل، باعث ایجاد تنش تشعشی در جهت موازی ساحل و در نتیجه ایجاد جریان‌های موازی ساحل می‌شود. خارج از ناحیه شکست، هیچ نیروی مستقیمی در راستای موازی ساحل وجود ندارد، اما آب موجود در ناحیه شکست، آب خارج از ناحیه شکست را با خود می‌کشد [۳۸]. بخش راستای موازی ساحل باد نیز برای جریان‌های موازی ساحل مهم است. این اثر می‌تواند هم‌جهت با جریان و یا در خلاف جهت آن باشد.



شکل ۱۰-۲ شمای کلی از جریان‌های موازی ساحل [۳۹]

۲-۳-۱۱ فروریزش^۱

اگر شیب بستر از شیب بحرانی تجاوز کند، انتقال رسوب در جهت کاهش دادن شیب تا مقدار بحرانی ادامه خواهد یافت. فروریزش بخصوص توسط امواج مادون گرانشی فعال می‌شود. امواج مادون گرانشی بخشی از نیمرخ ساحلی را زیر آب می‌برد. یک واکنش زنجیره‌ای به صورت ناگهانی پس از گذر از شیب بحرانی اتفاق می‌افتد. وقتی رسوبات داخل قسمت مرطوب نیمرخ قرار می‌گیرند، بوسیله جریان زیرکش و بازگشت امواج مادون گرانشی به سمت دریا انتقال داده می‌شوند [۴۰].



شکل ۲-۱۱ شمای کلی از پدیده فروریزش

۲-۳-۱۲ انتقال ناشی از باد^۲

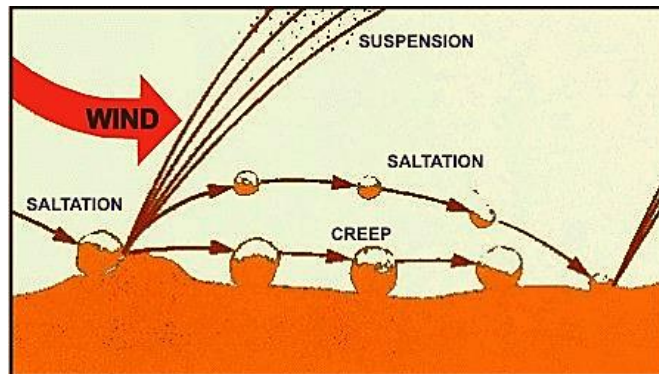
تپه‌های ساحلی اساساً به دلیل انتقال رسوبات بوسیله باد شکل می‌گیرند. De Vries و همکاران با استفاده از داده‌های عمق‌سنجی هلندی JARKUS رفتار تپه‌های ساحلی را در مقیاس زمانی ده‌ساله تخمین زده و دریافتند که تغییرات حجمی تپه ساحلی به شیب ساحل و همچنین مقدار رطوبت بستگی دارد؛ این پارامترها عوامل محدودکننده انتقال ناشی از باد هستند. شیب بستر بر ظرفیت انتقال و آستانه حرکت ذرات اثر می‌گذارد [۴۱].

^۱ Avalanching

^۲ Aeolian transport

در هنگام بررسی نتایج XBeach باید در نظر داشت که این مدل فاقد ماژول مربوط به انتقال ناشی

از باد می‌باشد و در اکثر موارد فرسایش تپه‌های ماسه‌ای را بیش از حد پیش‌بینی می‌کند [۴].



شکل ۲-۱۲ شمای کلی از انتقال رسوبات توسط باد

۴-۲ مطالعات پیشین (مقیاس های زمانی طولانی / بهینه -

سازی)

۱-۴-۲ پارامترهای WTI

XBeach دارای حدود ۲۵۰ نوع تنظیم مختلف است. تقریباً ۱۵۰ مورد از این تنظیمات بیانگر رفتار فیزیکی و عددی بوده و ۱۰۰ مورد دیگر برای شرایط خاص استفاده می‌شوند. به عقیده Van Geer و همکاران (۲۰۱۵)، ۱۰ پارامتر XBeach تاثیر بسزایی در نتایج مدل دارند. این پارامترها برای سواحل هلند و مدل‌های یک‌بعدی طوفان بهینه‌سازی شده و تنظیمات WTI نامیده می‌شوند. احتمال تفاوت بسیار کم مقادیر در طول سواحل هلند وجود دارد [۴۲]. تنظیمات WTI در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱-۲ تنظیمات پیش فرض و تنظیمات WTI [۴۲]

Parameter	Default	WTI	Definition
fw	0.000	0.000	Short wave friction coefficient
cf	0.003	0.001	Dimensionless friction coefficient
gammax	2.000	2.364	Maximum wave height to water
beta	0.100	0.138	Breaker slope coefficient in roller
wetslp	0.300	0.260	Critical avalanching slope under
alpha	1.000	1.262	Wave dissipation coefficient
facSk	0.100	0.375	Skewness factor
facAs	0.100	0.123	Asymmetry factor
gamma (surfbeat)	0.550	0.541	Breaker parameter for Roelvink
gamma (stationary)	0.550	0.780	Breaker parameter for Baldock

۲-۴-۲ Zimmermann و همکاران (۲۰۱۵)

Zimmerman و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های سواحل بلژیک مطالعاتی را جهت یافتن تنظیمات خاصی از مدل XBeach برای مدل‌های طولانی‌مدت انجام دادند. در ابتدا وی تلاش کرد که با واسنجی ضرایب عدم تقارن و چولگی، نتایج مدل را بهبود بخشد. فرسایش به خوبی مدل شد اما رسوبات به خوبی در مرحله بازسازی، به سمت دریا رانده نشدند. وی تصور کرد که این امر ناشی از محدودیات انتقال در ناحیه سواش و یا به دلیل در نظر نگرفتن جریان آب زیرزمینی باشد [۴۳].

در آزمایش دوم وی تلاش کرد که با دخیل کردن اندرکنش آب زیرزمینی با نیمرخ، دقت نتایج طولانی‌مدت مدل را بهبود بخشد. این مهم حاصل شد اما هنوز مشخص نشده‌است که آیا نتایج بهبودیافته، تنها به دلیل دخیل کردن آب زیرزمینی حاصل شده، یا اینکه این تغییر مصنوعی، اتفاقات دیگری در سایر بخش‌های مدل ایجاد کرده که منجر به نتیجه مذکور شده‌است [۴۳].

۳-۴-۲ Karunarathna و Pender (۲۰۱۳)

Karunarathna و Pender (۲۰۱۳) از XBeach برای شبیه‌سازی طولانی‌مدت سواحل نارابین^۱ استفاده کرد. دو مدل، یکی برای طوفان و یکی برای بازسازی در زمان ۲۰-۲۹ روز، واسنجی شد. برای واسنجی مدل برای نیمرخ‌های دوران پساتوفان از ضریب شزی (C)، ضریب نفوذپذیری (k) و شیب سلول^۲ تر

^۱ narrabeen

^۲ Wet cell gradient

پیش از فروریزش (wetslope) استفاده کرد [۴۴]. ماژول جریان آب زیرزمینی در دوره بازسازی پس از طوفان فعال شد، زیرا نفوذپذیری برای ایجاد سکوی ساحلی^۱ در طی مرحله بازسازی اهمیت دارد [۴۵]. این ماژول جریان آب زیرزمینی، نفوذ و خروج آب به/از بستر را شبیه‌سازی می‌کند. معیار حداکثر زاویه موج ورودی θ_{max} توسط Pender به کار گرفته نشد زیرا احتمال ایجاد جریان لایه‌ای در شرایط آرام دریا بسیار کم است. عملکرد مدل با استفاده از امتیاز مهارت Brier (BSS^۲) سنجیده شد. به عنوان یک معیار دیگر، از اختلاف حجم بین نیمرخ‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و همچنین خطوط تراز ۰ و ۲ متر استفاده شد. استفاده ترکیبی از مدل‌های طوفان و بازسازی، RMAE‌های (خطای میانگین مطلق ریشه^۳) پایینی برای تغییرات سالیانه نیمرخ نشان داد [۴۴].

Pender بیان کرد که مرز ۳ متری ارتفاع موج که میان دو حالت طوفانی و آرام فرض شده است، به مدل اجازه نشان دادن پویایی پشته و حالت‌های میانی را نمی‌دهد.

۲-۴-۲ Bart (۲۰۱۷)

Bart در تحقیقات خود به افزایش دقت مدل در مقیاس زمانی بلندمدت از طریق ترکیب دو حالت مدل XBeach، یعنی ایستا و ضربه‌غلتابی^۴ به صورت یک‌بعدی پرداخت. وی به این نتیجه رسید که در هر دو حالت مدل، فرسایش بیش از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌شود اما در اکثر موارد، حال ایستا از دقت بیشتری نسبت به دو حالت ضربه‌غلتابی و ترکیبی برخوردار است. در حالت ترکیبی مورد استفاده توسط وی، تپه ماسه‌ای شسته می‌شود و به درستی شکل نمی‌گیرد ولی تا قبل از این اتفاق، مدل ترکیبی دقت بیشتری نسبت به حالت ایستا دارد [۴].

^۱ berm

^۲ Brier Skill Score

^۳ Root Mean Absolute Error

^۴ surfbeat

۲-۴-۵ سایر

Bodde و همکاران نیز در مطالعه‌ای مشابه با پژوهش‌های Bart در مورد یک پروژه تغذیه ساحلی در هلند، به نتایج مشابهی دست یافتند [۴۶].

Van Bemmelen نیز از این مدل برای شبیه‌سازی رفتار سواحل جیبی^۱ در مدت زمان ۵ سال استفاده کرده‌است. وی به مقایسه حالت‌های مختلف موجود در مدل با امواج ورودی مایل و عمودی پرداخته است. بطور کلی در حالت غیرهیدرواستاتیک نتایج نزدیکتری به مقادیر اندازه‌گیری شده به دست آمد. وی اینطور نتیجه گرفت که برای استفاده از این مدل در بازه‌های زمانی طولانی‌تر، نیاز به اصلاح روابط انتقال رسوب حس می‌شود. گفتنی است که وی برای واسنجی مدل خود از ضرایب عدم تقارن و چولگی استفاده کرده است [۴۷].

Albert (۲۰۱۷) از مدل XBeach برای مدل‌سازی تغییرات مورفولوژی یکی از بنادر سواحل پنسیلوانیا استفاده کرد که نتایج قابل قبولی نیز از مدل‌سازی‌های وی بدست آمد. سپس وی با در نظر گرفتن یک تیغه^۲ به بررسی عملکرد مدل در مورد انتقال رسوب موازی ساحل پرداخت که نتایج در حد "خوب" ارزیابی شد [۴۸].

۲-۵ نتیجه‌گیری

در این بخش به تشریح برخی پدیده‌های دخیل در انتقال رسوبات عمود بر ساحل پرداخته شد که می‌توانند در انتخاب بهتر ضرایب واسنجی مدل مفید باشند. برخی نتیجه‌گیری‌های انجام شده از این بخش در زیر فهرست شده است:

❖ نتایج مطالعات پیشین نشان می‌دهد که مدل XBeach برای شبیه‌سازی در مقیاس طولانی، با

اعمال تغییراتی قابل بهره‌برداری است [۴، ۴۲، ۴۴، ۴۶-۴۹].

^۱ Pocket beach

^۲ jetty

❖ برای در نظر گرفتن تقریبی انتقالات موازی ساحل می‌توان از حالت دوبعدی مدل استفاده کرد [۹].

❖ حالت ایستای مدل برای موارد طولانی مدت با شرایط موج ملایم مناسب‌تر است [۴].

❖ ضرایب عدم تقارن و چولگی از مهم‌ترین پارامترهای واسنجی در این مدل به حساب می‌آیند [۴, ۴۶, ۴۷].

❖ می‌بایست در تحلیل نتایج این نکته را در نظر داشت که با توجه به اینکه مدل فاقد ماژول انتقال ناشی از باد است، معمولاً فرسایش تپه‌های ساحلی را بیش از حد نشان می‌دهد [۴].

فصل ۳: ساختار نظری مدل و روش مدل سازی

در این فصل به بررسی ساختار کلی مدل، روابط حاکم بر مدل، شرایط مرزی در نظر گرفته شده در پژوهش حاضر، معرفی دامنه مدل سازی شده و همچنین روش و فرضیات مورد استفاده در این پژوهش پرداخته می شود.

۳-۱ ساختار کلی XBeach

XBeach مدلی است که قادر به شبیه سازی هیدرودینامیک ناحیه نزدیک ساحل و همچنین اندرکنش جریان های مختلف با بستر و رسوبات می باشد. توالی بخش های مختلف این مدل در شکل ۳-۱ نشان داده شده است. توالی بخش های این شکل به صورت حلقه وار تکرار می شود تا اینکه زمان مدل سازی به پایان برسد [۴]. مدل با دریافت مرزها و مقادیر ورودی زیر شروع به کار می کند:

❖ شرایط مرزی موج

❖ شرایط مرزی جریان، جزر و مد و امواج دورا^۱

❖ ورودی باد

❖ ورودی رسوب

❖ داده های عمق سنجی

❖ ورودی دبی

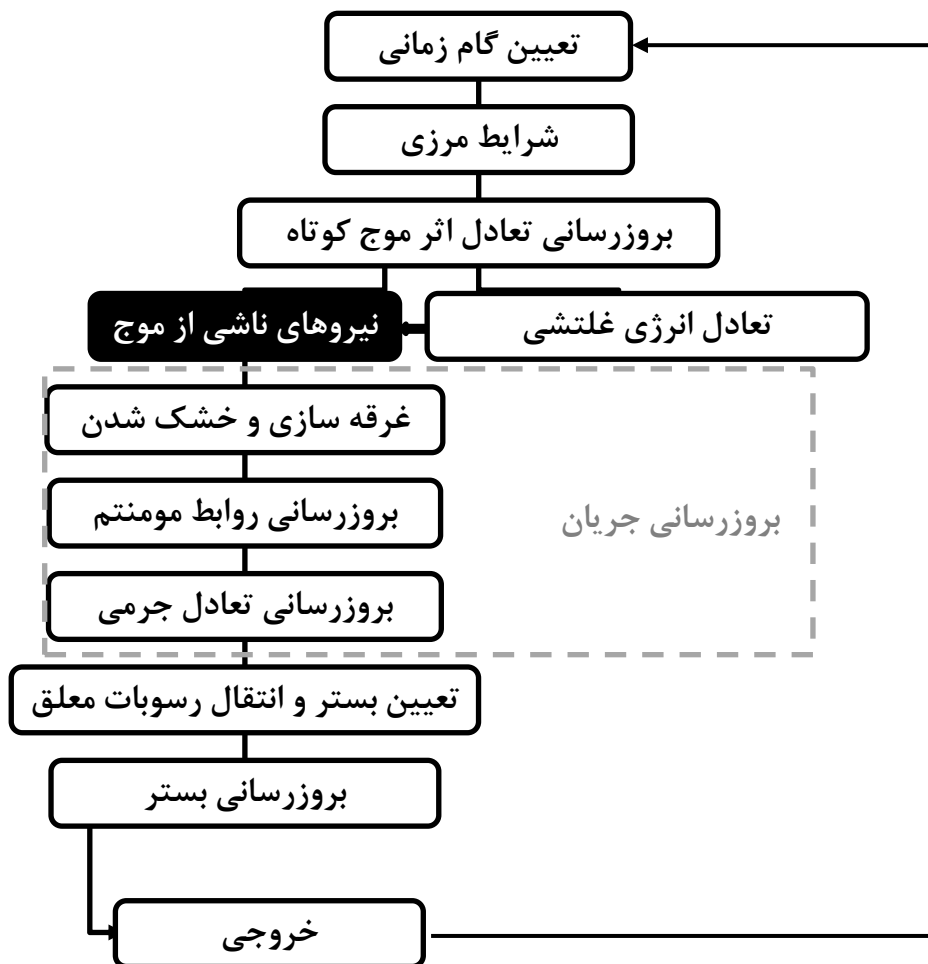
بعد از دریافت ورودی ها و شرایط مرزی، XBeach تعادل اثر موج^۲ را در اولین گام زمانی حل می کند. تعادل اثر موج، انتشار امواج کوتاه را حل می کند. روابطی که حرکات و جریان های امواج بلند را حل می کنند، معادلات اندازه حرکت غیرخطی آب کم عمق (NLSWE^۳) هستند. تعادل اثر موج کوتاه، ورودی های مورد نیاز برای NLSWE را در قالب نیروهای ناشی از موج به دو صورت ارائه می دهد: ۱. با استفاده از تنش های تشعشعی حاصل از تعادل اثر موج ۲. با استفاده از تنش های تشعشعی حاصل از تعادل انرژی غلتشی [۴].

^۱ surge

^۲ Wave action balance

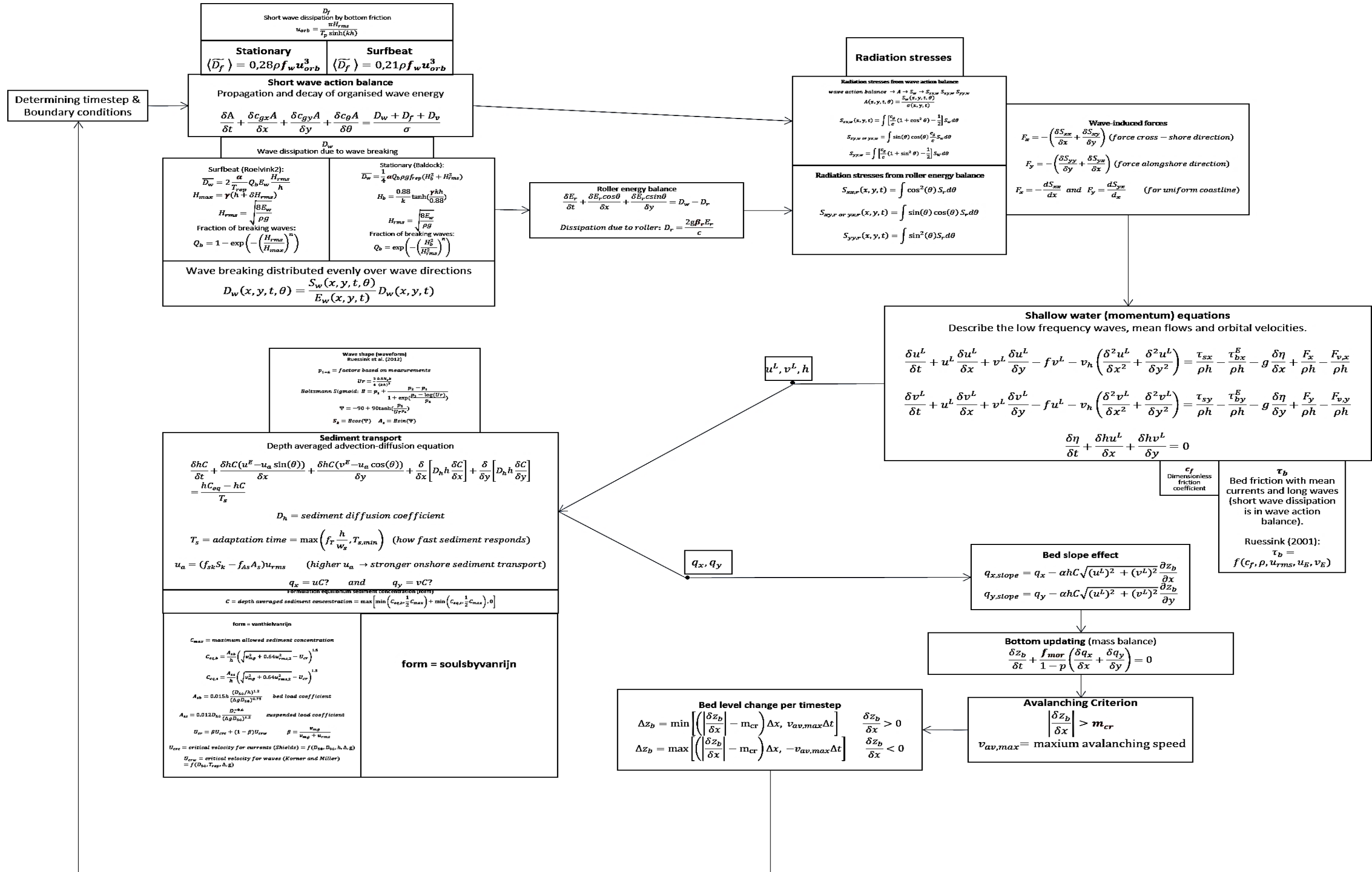
^۳ Non-Linear Shallow Water Momentum

بنابراین روابط NLSWE حل شده و در نتیجه آن، سرعت‌های جریان (u^L, v^L) و تغییرات تراز آب (h) برای رابطه انتقال رسوب که یک رابطه انتقال-انتشار^۱ است، فراهم می‌شوند. سرعت‌های لاگرانژی جریان (u^L, v^L) و تغییرات تراز آب (h) پارامترهای ورودی روابط انتقال رسوب معلق می‌باشند. انتقال رسوبی که به کمک این روابط به دست آمده است (q_s, q_y) برای تعیین اثر شیب بستر اصلاح می‌شود. با استفاده از حجم ورودی و خروجی رسوب در هر سلول، بستر ساحل به کمک یک رابطه تعادل جرمی به‌روزرسانی می‌شود. مدل چک می‌کند که آیا بستر به شیب تر و خشک بحرانی رسیده است یا خیر، در صورت تجاوز از این مقادیر، اصلاحی را روی شیب بستر انجام می‌دهد تا به شرایط مورد نیاز برسد [۴].



شکل ۳-۱ چرخه کلی فرآیند مدل XBeach [۵۰]

^۱ Advection-diffusion



شکل ۲-۳ جزئیات ساختار نظری مدل XBeach [۴]

۲-۳ معادلات مورد استفاده در مدل

۱-۲-۳ تعادل اثر موج کوتاه

انتشار و زوال امواج کوتاه به وسیله تعادل اثر موج کوتاه حل می‌شود [۵۱]. این تابع بر اساس تعادل انرژی که در مکان (x, y) و زمان (t) تغییر می‌کند نوشته شده است و تابعی از فرکانس مطلق (ω) و جهت ورود موج (θ) می‌باشد:

$$E(\omega, \theta; x, y, t) \quad (۱-۳)$$

در حضور جریان‌ها، پارامتر مناسب‌تر برای انتشار موج، پارامتر اثر موج^۱ است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$A(x, y, t, \theta) = \frac{S_w(x, y, t, \theta)}{\sigma(x, y, t)} \quad (۲-۳)$$

که در آن:

$$S_w(x, y, t, \theta) = \text{چگالی انرژی موج در هر صندوق}^۲$$

فرکانس ذاتی^۳ برابر است با:

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kh)} \quad (۳-۳)$$

تعادل اثر موج به این صورت بیان می‌شود:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial c_{gx} A}{\partial x} + \frac{\partial c_{gy} A}{\partial y} + \frac{\partial c_{\theta} A}{\partial \theta} = - \frac{D_w + D_f + D_v}{\sigma} \quad (۴-۳)$$

اولین عبارت در این معادله نماینده نرخ محلی تغییر در زمان چگالی اثر است. سایر عبارات در سمت چپ رابطه، توصیف‌کننده انتقال خالص اثر موج در دامنه‌های متفاوت می‌باشد [۵۱]. اثر موج با سرعت

^۱ Action Balance

^۲ bin

^۳ intrinsic

گروه منتشر می‌شود: $c_g(x, y, t, \theta)$. عبارات سمت راست رابطه بالا، گزاره‌های پراکنش بوده و استهلاک^۱ رابطه را فراهم می‌کنند:

D_w : پراکنش ناشی از شکست موج. این عبارت، گزاره تغذیه‌کننده برای تعادل انرژی غلتشی می‌باشد.

D_f : پراکنش ناشی از اصطکاک بستر

D_v : پراکنش ناشی از پوشش گیاهی

انحراف استوکس^۲ بوسیله انرژی موج کوتاه (E_w) و جهت (θ) از اثر موج با ارتفاع h در دو جهت بدست می‌آید:

$$u^s = \frac{E_w \cos \theta}{\rho h c} \quad \text{و} \quad v^s = \frac{E_w \sin \theta}{\rho h c} \quad (5-3)$$

۲-۲-۳ تعادل انرژی غلتشی

وقتی موج می‌شکند، انرژی موج به تدریج در غلتابه‌های سطحی ذخیره می‌شود. در جایی که موج شروع به شکستن می‌کند، به دلیل خیزآب و جریان‌های موازی ساحل، قوی‌ترین گرادیان‌های تنش تشعشی انتظار می‌رود. در عمل، یک وقفه به دلیل ذخیره تدریجی انرژی شکست موج در غلتابه‌های سطحی وجود دارد. پراکندگی ناشی از شکست موج (D_w) یک گزاره استهلاکی در تعادل اثر موج کوتاه، و یک گزاره منبع در تعادل انرژی غلتشی است [۴].

تعادل انرژی غلتشی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\partial E_r}{\partial t} + \frac{\partial E_r c \cos \theta}{\partial x} + \frac{\partial E_r c \sin \theta}{\partial y} = D_w - D_r \quad (6-3)$$

که در آن:

$$D_r = \frac{2g\beta_r E_r}{c} \quad (7-3)$$

^۱ sink

^۲ Stokes drift

$$\bar{D}_w = \frac{1}{4} \alpha Q_b \rho g f_{rep} (H_b^2 + H_{rms}^2) \quad (8-3)$$

$$Q_b = \exp \left[- \left(\frac{H_b^2}{H_{rms}^2} \right) \right], \quad H_b = \frac{0.88}{k} \tanh \left[\frac{\gamma k h}{0.88} \right]$$

۳-۲-۳ تنش‌های تشعشعی

تنش‌های تشعشعی ارتباط بین تعادل اثر موج کوتاه و روابط آب کم‌عمق را تشکیل می‌دهند. تنش‌های تشعشعی ابتدا از تعادل اثر موج و توسط تبدیل اثر موج (A) به چگالی انرژی در هر صندوق با ضرب آن در فرکانس ذاتی بدست می‌آید [۹]:

$$S_w(x, y, t, \theta) = A(x, y, t, \theta) * \sigma(x, y, t) \quad (9-3)$$

آن دسته از تنش‌های تشعشعی که بطور مستقیم از انرژی تعادل اثر موج به دست می‌آیند به صورت زیر تعریف می‌شوند [۹]:

$$S_{xx,w}(x, y, t) = \int \left(\frac{c_g}{c} (1 + \cos^2 \theta) - \frac{1}{2} \right) S_w d\theta$$

$$S_{xy,w}(x, y, t) = S_{yx,w}(x, y, t) = \int \sin \theta \cos \theta \frac{c_g}{c} S_w d\theta \quad (10-3)$$

$$S_{yy,w}(x, y, t) = \int \left(\frac{c_g}{c} (1 + \sin^2 \theta) - \frac{1}{2} \right) S_w d\theta$$

انرژی غلتشی نیز یکی دیگر از عوامل تشکیل تنش‌های تشعشعی است. انرژی غلتشی E_r ابتدا توسط مشتق جزئی زیر به انرژی موج در هر صندوق تبدیل می‌شود [۹]:

$$S_r(x, y, t, \theta) = \frac{\partial E_r(x, y, t)}{\partial \theta} \quad (11-3)$$

دوباره انرژی موج در صندوق‌های جهتی به تنش‌های تشعشعی در جهت‌های xx , xy , yx , yy تقسیم می‌شود [۹]:

$$S_{xx,r}(x, y, t) = \int (\cos^2 \theta) S_r d\theta \quad (12-3)$$

$$S_{xy,r}(x, y, t) = S_{yx,r}(x, y, t) = \int \sin \theta \cos \theta S_r d\theta \quad (13-3)$$

$$S_{yy,r}(x, y, t) = \int (\sin^2 \theta) S_r d\theta \quad (14-3)$$

۳-۲-۴ نیروهای ناشی از موج^۱

تنش‌های تشعشعی باعث شکل‌گیری نیروهای ناشی از موج می‌شوند. نیروهای ناشی از موج (F_x, F_y) عبارات محرکه روابط غیرخطی آب کم‌عمق (NLSWE) هستند [۹].

$$F_x = -\left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}\right) \quad (15-3)$$

$$F_y = -\left(\frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{yx}}{\partial x}\right) \quad (16-3)$$

۳-۲-۵ روابط آب کم‌عمق

امواج با فرکانس پایین، جریان‌های میانی^۲ و سرعت‌های مداری، در روابط آب کم‌عمق نمایان می‌شوند. برای در نظر گرفتن شار جرمی ناشی از امواج و جریان بازگشتی، معادله تعمیم‌یافته لاگرانژ میانگین (GLM^۳) در عمق متوسط استفاده شده‌است. در این ساختار، معادلات اندازه‌حرکت و پیوستگی بر حسب سرعت لاگرانژ (u^L) نوشته می‌شود. سرعت لاگرانژ به صورت فاصله طی شده توسط ذره آب در یک پرپود موج، تقسیم بر پرپود موج تعریف می‌شود. معادلات GLM که به دست می‌آید، به صورت زیر نوشته می‌شوند [۴۹]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^L}{\partial t} + u^L \frac{\partial u^L}{\partial x} + v^L \frac{\partial u^L}{\partial y} - f v^L - v_h \left(\frac{\partial^2 u^L}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u^L}{\partial y^2} \right) &= \frac{\tau_{sx}}{\rho h} - \frac{\tau_{bx}^E}{\rho h} - g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{F_x}{\rho h} - \frac{F_{v,x}}{\rho h} \\ \frac{\partial v^L}{\partial t} + u^L \frac{\partial v^L}{\partial x} + v^L \frac{\partial v^L}{\partial y} + f u^L - v_h \left(\frac{\partial^2 v^L}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v^L}{\partial y^2} \right) &= \frac{\tau_{sy}}{\rho h} - \frac{\tau_{by}^E}{\rho h} - g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{F_y}{\rho h} - \frac{F_{v,y}}{\rho h} \quad (17-3) \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial h u^L}{\partial x} + \frac{\partial h v^L}{\partial y} &= 0 \end{aligned}$$

که در آن:

^۱ Wave-induced forces

^۲ Mean flows

^۳ Generalized Lagrangian Mean formulation

$$u^L = u^E + u^S \quad \text{and} \quad v^L = v^E + v^S$$

τ_{sx} و τ_{sy} تنش‌های برشی باد، τ_{bx} و τ_{by} تنش‌های برشی بستر، η سطح آب، F_x و F_y تنش‌های ناشی از موج، $F_{v,x}$ و $F_{v,y}$ تنش‌های ناشی از پوشش گیاهی، v_h لزجت افقی و f ضریب کوریولیس^۱ می‌باشد.

۳-۲-۶ انتقال رسوب : رابطه انتقال-انتشار

وقتی تراکم رسوب عمق میانگین (C) بیشتر از تراکم تعادلی (C_{eq}) باشد، ته‌نشینی رسوب اتفاق می‌افتد و بالعکس. این موضوع با استفاده از عبارت سمت راست رابطه انتقال-انتشار بیان می‌شود [۴]:

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial hC(u^E - u^a \sin(\theta))}{\partial x} + \frac{\partial hC(v^E - u^a \cos(\theta))}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[D_h h \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D_h h \frac{\partial C}{\partial y} \right] \quad (۱۸-۳)$$

$$= \frac{hC_{eq} - hC}{T_s}$$

در این رابطه، T_s زمان سازگاری است، که بیانگر زمان عکس‌العمل رسوب می‌باشد:

$$T_s = \max \left(f_{Ts} \frac{h}{w_s}, T_{s,\min} \right) \quad (۱۹-۳)$$

D_h ضریب انتشار رسوب، h عمق آب در محل، w_s سرعت سقوط رسوب و u^E و v^E مولفه‌های سرعت اوپلری^۲ و f_{Ts} یک ضریب اصلاحی برای در نظر گرفتن این حقیقت که w_s با اطلاعات عمق میانگین تعیین می‌شود، می‌باشد.

۳-۲-۷ عدم تقارن و چولگی

به دلیل اینکه XBeach انرژی امواج کوتاه را در سراسر طول موجشان میانگین می‌گیرد، شکل موج در نظر گرفته نمی‌شود [۱۴]. با این حال، وقتی امواج به آب کم عمق می‌رسند، شکل و حرکت مداری آن‌ها غیرخطی تر می‌شود. اثرات غیرخطی بودن (چولگی و عدم تقارن) در رابطه انتقال-انتشار (۱۸-۳) در نظر گرفته شده‌است. عدم تقارن و چولگی در این رابطه به شکل u^a نمایان می‌شود:

$$u^a = (f_{Sk} S_k - f_{As} A_s) u_{ms} \quad (۲۰-۳)$$

^۱ Coriolis

^۲ Eulerian velocity

که در آن A_s و S_k به ترتیب پارامترهای چولگی و عدم تقارن، و f_{As} و f_{Sk} ضرایب واسنجی می‌باشند (facAs و facSk نیز خوانده می‌شوند). دو گزینه برای در نظر گرفتن شکل موج در XBeach وجود دارد: فرمول Ruessink و همکاران (۲۰۱۲) و فرمول Van Thiel De Vries (۲۰۰۹). فرمول Ruessink و همکاران بر اساس یک سری اطلاعاتی متشکل از بیش از ۳۰۰۰۰ بررسی میدانی پدیده چولگی و عدم تقارن تحت امواج شکننا و ناشکنا تهیه شده‌است. چولگی و عدم تقارن بوسیله فرمول‌های زیر به دست می‌آیند [۹]:

$$B = p_1 + \frac{p_2 - p_1}{1 + \exp \frac{p_3 - \log Ur}{p_4}} \quad (21-3)$$

$$\psi = -90 + 90 \tanh(p_5 / Ur^{p_6})$$

$$S_k = B \cos \psi \quad \text{and} \quad A_s = B \sin \psi$$

که در آن B تابع Boltzmann Sigmoid می‌باشد که بوسیله ضرایب p_1 تا p_6 بر روی داده‌های میدانی برازش داده می‌شود. این تابع به صورت S-شکل بوده و مجانب بالایی و پایینی آن به ترتیب با p_1 و p_2 تعریف می‌شود. نقطه عطف تابع در بین این دو عدد یعنی $(p_1 + p_2)/2$ قرار دارد. و U عدد اورسل می‌باشد [۹].

۳-۲-۸ اثر شیب بستر

بیشتر فرمول‌های انتقال براساس فرض افقی بودن (تقریبی) بستر نوشته شده‌اند. شیب بستر در نواحی نزدیک ساحل، بر انتقال رسوبات تاثیر می‌گذارد که به آن اثر شیب بستر می‌گویند. شیب بستر از راه‌های مختلفی روی انتقال رسوب تاثیرگذار است [۵۲]:

۱. تاثیرگذاری روی سرعت جریانات نزدیک بستر
۲. تغییر دادن شرایط آستانه حرکت رسوب
۳. تغییر نرخ انتقال رسوب و/یا جهت حرکت رسوب

از روابط زیر برای در نظر گرفتن اثر شیب بستر در انتقال رسوب در XBeach استفاده می‌شود:

$$q_{x,slope} = q_x - \alpha h C \sqrt{(u^L)^2 + (v^L)^2} \frac{\partial z_b}{\partial x}$$

$$q_{y,slope} = q_y - \alpha h C \sqrt{(u^L)^2 + (v^L)^2} \frac{\partial z_b}{\partial y}$$
(۲۲-۳)

این فرمول به صورت پیش فرض در مدل به کار برده می شود. روش دیگر، استفاده از فرمول Soulsby است که برای مطالعه بیشتر می توان به (Roelvink et al., 2015) مراجعه کرد.

۳-۲-۹ به روز رسانی بستر

در XBeach، برای به روزرسانی بستر از یک رابطه تعادل حجمی استفاده می شود. در این تعادل، ورودی و خروجی خالص رسوب در دو راستای x و y ، کاهش و یا افزایش سطح بستر را تعیین می کند [۹]:

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{f_{mor}}{(1-p)} \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) = 0$$
(۲۳-۳)

در این رابطه، P تخلخل، q_x و q_y نرخ انتقال رسوب در دو جهت x و y است. f_{mor} یک ضریب شتاب مورفولوژیکی می باشد؛ این مدل دو روش برای شتاب دادن به تغییرات مورفولوژیک دارد [۹]:

در مورد اول، تمام زمان های ورودی تقسیم بر f_{mor} می شوند. این بدین معنی است که هر حالت موج با ضریب I/f_{mor} کم شده و در ازای آن شتاب تغییرات f_{mor} برابر می شود. برای فعال کردن این گزینه باید "morfacopt=1" قرار داده شود، این روش برای شرایط حدی موج نیز مناسب است.

مورد دیگر "morfacopt=0" است؛ در این گزینه، بخشی کوچک از شرایط هیدرودینامیکی، به عنوان نماینده کل شرایط در نظر گرفته می شوند. در این روش فاصله گام های زمانی تغییر نمی کند اما شتاب تغییرات بستر ضرب در f_{mor} می شود. این گزینه برای مواردی مناسب است که می توان یک بازه زمانی طولانی را با یک بازه کوچکتر نشان داد؛ یعنی این گزینه برای دوره های زمانی شامل شرایط حدی موج، مناسب نیست.

۳-۲-۱۰ فروریزش

فروریزش زمانی اتفاق می‌افتد که شیب بستر از شیب بحرانی بیشتر شود؛ در این صورت، یک انتقال رسوب در راستای تغییر شیب به شیب بحرانی انجام می‌گیرد [۴۰]. معیار زیر برای فروریزش در XBeach مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$\left| \frac{\partial z_b}{\partial x} \right| > m_{cr} \quad (۲۴-۳)$$

که در آن، m_{cr} شیب بحرانی بستر می‌باشد. در این مدل، به صورت پیش‌فرض شیب بحرانی خشک ۱,۰ و شیب بحرانی تر ۰,۳ در نظر گرفته می‌شود. همچنین، یک سرعت فروریزش بیشینه ($v_{av,max}$) برای جلوگیری از تغییرات ناگهانی سطح بستر در نظر گرفته شده است. روابط زیر تغییرات سطح بستر را در هر گام زمانی و با در نظر گرفتن فروریزش نشان می‌دهند:

$$\begin{cases} \Delta z_b = \min \left(\left(\left| \frac{\partial z_b}{\partial x} \right| - m_{cr} \right) \Delta x, v_{av,max} \Delta t \right), & \frac{\partial z_b}{\partial x} > 0 \\ \Delta z_b = \max \left(- \left(\left| \frac{\partial z_b}{\partial x} \right| - m_{cr} \right) \Delta x, -v_{av,max} \Delta t \right), & \frac{\partial z_b}{\partial x} < 0 \end{cases} \quad (۲۵-۳)$$

۳-۲ روش‌های مورد استفاده در پژوهش

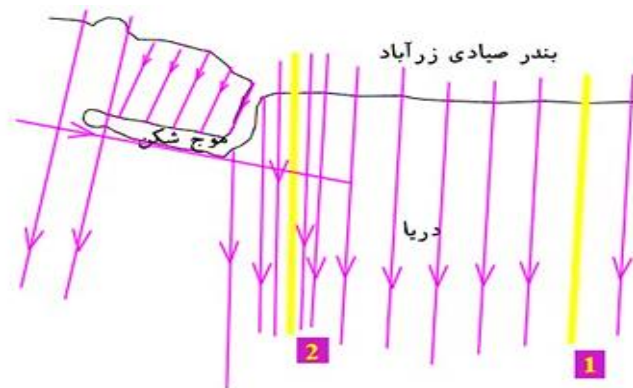
۳-۳-۱ تنظیمات مدل

۳-۳-۱-۱ مدل مرجع

با توجه به اینکه تنظیمات WTI که پیش‌تر به آن اشاره شد، جامع‌ترین تنظیمات موجود در ادبیات فنی برای استفاده بلندمدت از XBeach است، این تنظیمات، به عنوان تنظیمات مرجع برای شروع کار شبیه‌سازی در پژوهش حاضر استفاده شده است. جزئیات این تنظیمات در جدول ۲-۱ آورده شده است.

۳-۱-۲ منطقه مورد مطالعه و عمق سنجی

بندر زرآباد در سواحل شمالی خلیج عمان، در استان سیستان و بلوچستان و در روستای زرآباد ($25^{\circ}23'N$ $59^{\circ}36'W$) واقع شده است (به فصل ۱ مراجعه شود). در اسفند سال ۱۳۸۴ و پس از ساخت بندر، تعداد ۱۶ نیمرخ از داخل و اطراف محل بندر زرآباد برداشت شد که مبنای شبیه‌سازی محل در این پژوهش می‌باشد. با توجه به تراکم بیشتر نیمرخ‌ها در سمت راست بندر و همچنین حیاتی بودن مکان دو نیمرخ ۱ و ۲، این دو نیمرخ برای بررسی نتایج انتخاب شده‌اند. کلیه نیمرخ‌ها و همچنین نیمرخ‌های انتخابی برای ارائه نتایج در شکل ۳-۳ نشان داده شده‌است.



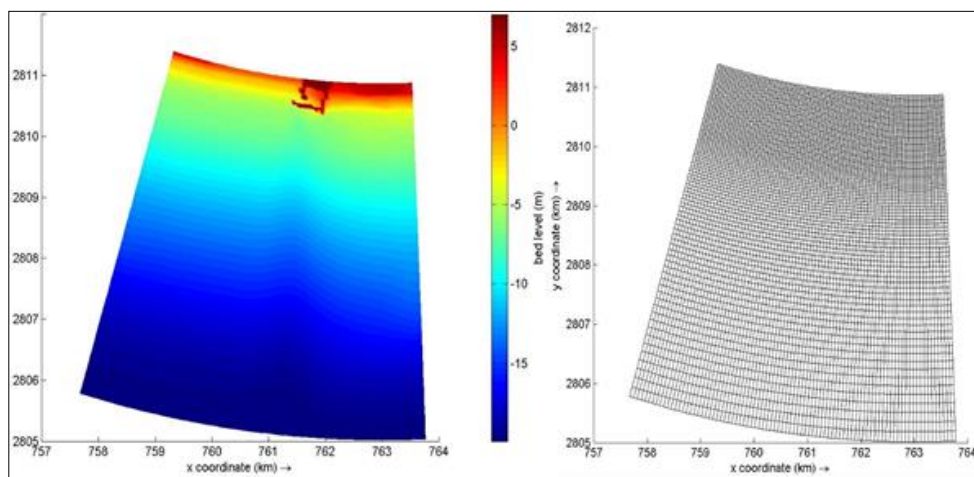
شکل ۳-۳ جانمایی نیمرخ‌های برداشت شده در منطقه مورد مطالعه (اسفند ۱۳۸۴)

معیار XBeach برای عمق مرز فراساحل این است که نسبت سرعت گروه به سرعت فاز می‌بایست کم‌تر از حدود ۰,۸۵-۰,۹ باشد، و با توجه به اینکه نیمرخ‌های برداشت‌شده تقریباً تا عمق ۷ متر می‌باشند، نیمرخ‌ها توسط نیمرخ تعادلی Dean تا عمق مورد نظر (۲۰ متر) امتداد داده شدند (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴ یک نمونه نیمرخ امتداد یافته با استفاده از نیمرخ تعادلی Dean

در نهایت توسط بخش Quickin در نرم افزار Delft3D، عمق های نامشخص بین نیمرخ ها، درون یابی شده و پس از اصلاحات مورد نیاز، یک هیدروگرافی تقریبی از محل مورد مطالعه بدست آمد. همانطور که در شکل ۳-۵ مشاهده می شود، شبکه انتخابی برای این مطالعه، شبکه منحنی شکل است؛ این نوع شبکه- بندی این امکان را فراهم می سازد که مرز فراساحل قادر به دریافت محدوده بیشتری از زوایای امواج باشد. همچنین برای افزایش دقت محاسبات در نزدیکی ساحل، شبکه بندی به صورت تدریجی از فراساحل به سمت ساحل، ریزتر می شود. شبکه و هیدروگرافی ابتدایی منطقه مورد مطالعه را در شکل ۳-۵ مشاهده می کنید.



شکل ۳-۵ شبکه مورد استفاده در پژوهش حاضر (تصویر سمت راست) - هیدروگرافی اولیه به دست آمده توسط نرم افزار Delft3D (تصویر سمت چپ)

۳-۳-۱-۳ قطر ذرات

قطر میانگین ذرات (d_{50}) بر اساس نمونه گیری و انجام آزمایش دانه بندی بر روی رسوبات انباشته شده در اطراف بندر تعیین شده است که مقدار آن ۹۰ میکرومتر ($90\mu m$) می باشد.

۳-۱-۴ شبکه بندی جهت‌ی امواج

جهت موج (جهتی که موج از آن نشأت می‌گیرد) را می‌توان هم به صورت کارترین ($\theta_{\text{naut}}=0$) و هم به شیوه دریانوردی^۱ ($\theta_{\text{naut}}=1$) مشخص کرد. اگر از قاعده دریانوردی استفاده شود، زاویه امواج نسبت به شمال (صفر درجه) و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت سنجیده می‌شوند (شرق: ۹۰ درجه). سیستم مختصات کارترین نسبت به محور x شبکه عمق‌سنجی (شکل ۳-۵) سنجیده می‌شود؛ این به این معنی است که برای شبکه‌ای با محور x غرب-به-شرق (فراساحل به ساحل)، موجی با زاویه صفر درجه، به صورت عمودی وارد شبکه می‌شود.

در پژوهش حاضر به دلیل استفاده از مختصات UTM^۲ در شبیه‌سازی، برای شبکه‌بندی جهت‌ی امواج ورودی از قاعده دریانوردی استفاده شده است تا از پیچیدگی در فهم مدل جلوگیری شود. با انجام این کار، با توجه به موقعیت جغرافیایی بندر، نیازی به چرخاندن بندر در مدل، و همچنین تغییر زاویه امواج ورودی نخواهد بود.

۳-۱-۵ شرایط مرزی امواج

XBeach تنظیمات گوناگونی برای تعیین ورودی امواج دارد. برای این پژوهش با توجه به داده‌های موج در دسترس و فرض حالت ایستا (به فصل ۲ مراجعه شود)، از گزینه *stat_table* استفاده شده است. هر فایل ورودی تهیه‌شده به این شکل، می‌بایست دارای پارامترهای مشخص شده در جدول زیر باشد:

جدول ۳-۱ پارامترهای مورد نیاز در حالت ورودی موج *stat_table*

پارامتر	واحد	تعریف
H_{rms}	متر	ارتفاع مشخصه موج
T_p	ثانیه	پریود حداکثر
Mainang	درجه	جهت موج
Duration	ثانیه	مدت زمان تابیدن هر حالت موج

^۱ Nautical

^۲ Universal Transverse Mercator

داده‌های موج مورد استفاده در این پژوهش، داده‌های به دست آمده از مدل Wave Watch III می‌باشند که پس از ایجاد تغییرات لازم، به شکل قالب مورد نیاز XBeach در آمد.

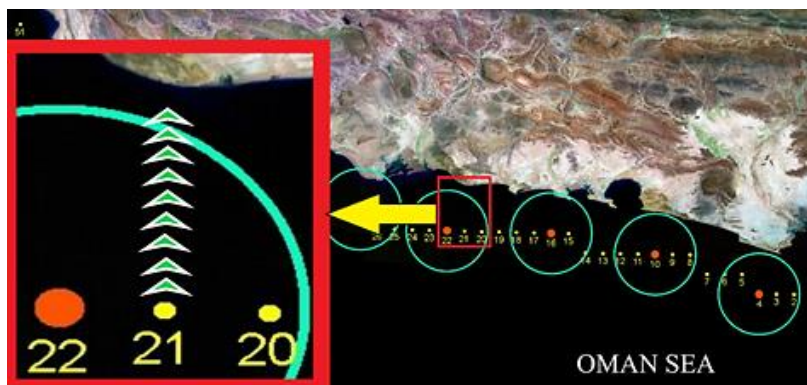
تغییرات ایجاد شده در داده‌های خام در زیر فهرست شده است:

۱. عمده‌ترین تغییر ایجاد شده در داده‌های ورودی موج، تبدیل مشخصات موج از نقطه برداشت اطلاعات (نقطه ۲۱ در شکل ۳-۶)، به مکان مرز فراساحل می‌باشد. این تبدیل به کمک معادلات موج دوبعدی و کد نوشته شده در نرم‌افزار متلب^۱ (پیوست الف) صورت گرفته است. استفاده ترکیبی از تئوری‌های مختلف موج در اعماق مختلف کار بسیار دشواری بوده و موجب بروز خطاهایی در فصول مشترک دو تئوری می‌شود. تئوری موج دامنه کوتاه که در پژوهش حاضر از آن استفاده شده است، با توجه به عمق نسبی امواج، تنها برای محدوده امواج کم عمق ($d/L < 0.05$) مناسب نمی‌باشد، و حتی در نواحی کم عمق اگر شکل نیمرخ موج در کار مهندسی مربوطه اهمیت نداشته باشد، می‌توان از آن استفاده کرد [۱۰]. با توجه به تعداد بالای سری‌های موج مورد استفاده در پژوهش حاضر و موارد ذکر شده در بالا، و همچنین با توجه به اینکه درصد کمی از سری‌های موج مورد استفاده در این پژوهش در محدوده عمق نسبی کم قرار می‌گیرند، از تئوری موج دامنه کوتاه به تنهایی استفاده شده است.

۲. با توجه به اینکه ارتفاع امواج در داده‌های خام به صورت H_{m0} گزارش شده است، این مقادیر به کمک رابطه $H_{m0} = 1.416H_{rms}$ تبدیل به H_{rms} های مورد نیاز مدل شد.

۳. امواج با زوایای دورشونده از شبکه مدل (-۹۰ تا ۹۰ درجه)، از داده‌های ورودی خام حذف شدند.

^۱ Matlab



شکل ۳-۶ تبدیل داده های موج از نقطه برداشت اطلاعات (۲۱) به مرز فراساحل مدل

۴. تمام سری داده های موج، به صورت تصادفی مرتب شدند تا از اثرات ناشی از امواج مشابه در یک فصل، پیشگیری شود.

۳-۱-۳-۶ شرایط مرزی جزر و مد

به دلیل عدم دسترسی به داده های جزر و مدی در محل بندر زرآباد، از داده های نزدیکترین ایستگاه که مربوط به بندر چابهار است استفاده شده است. برای شرایط جزر و مدی در مدل، از حالت $tideloc=1$ استفاده شده است؛ یعنی تغییرات سطح آب ناشی از جزر و مد در سراسر مرز فراساحل، یکسان است. بنابراین هیچ جریان جزر و مدی در راستای موازی ساحل به مدل وارد نمی شود.

۳-۲-۳ بهینه سازی تنظیمات مدل

با توجه به مرور ادبیات فنی صورت گرفته، ۱۰ پارامتر جهت حساسیت سنجی انتخاب شدند. پس از اتمام حساسیت سنجی های در نظر گرفته شده، دقیق ترین تنظیمات به دست آمده جهت واسنجی مدل انتخاب می شود. پارامترهای انتخاب شده برای حساسیت سنجی به این ترتیب می باشند:

- ❖ $facSk$: ضریب واسنجی جریان های میانگین زمانی ناشی از چولگی موج؛
- ❖ $facAs$: ضریب واسنجی جریان های میانگین زمانی ناشی از عدم تقارن موج؛
- ❖ α : ضریب پراکنش موج در معادله Roelvink یا Baldock؛
- ❖ $wetslp$: شیب بحرانی فروریزش در زیر سطح آب؛

❖ $dryslp$: شیب بحرانی فروریزش در بالای سطح آب؛

❖ β : ضریب شیب شکست در مدل غلتشی؛

❖ γ_{max} : بیشترین نسبت ارتفاع موج به عمق آب؛

❖ γ : پارامتر شکست در معادله Baldock یا Roelvink؛

❖ $bedfriccoef$: ضریب اصطکاک بستر؛

❖ h_{min} : آستانه عمق آبی که در اعماق بیش از آن، انحراف استوکس در مدل دخیل می‌شود.

قابل ذکر است که با توجه به هدف این پژوهش، که یافتن مقادیر بهینه برای پارامترهای مربوط به فرآیندهای ساحلی است، پارامتر CFL^1 که به منظور تنظیم گام زمانی در مدل گنجانده شده است، پیش از آغاز تحلیل حساسیت‌ها، به صورت مجزا تحلیل حساسیت شده تا مدل در حالت پایدار قرار گیرد؛ لذا از ذکر بهینه‌سازی‌های پیش از آغاز کار صرف نظر شده‌است. همچنین با توجه به اینکه شبکه‌بندی مدل به صورت متغیر لحاظ شده‌است و از فراساحل تا خط ساحلی به تدریج ریزتر می‌شود و همچنین محدودیت مدل در ابعاد هر خانه شبکه که می‌بایست حداقل برابر طول موج باشد، از تحلیل حساسیت شبکه‌بندی مدل صرف نظر شده‌است.

۳-۲-۱ تحلیل حساسیت عدم تقارن و چولگی موج

پارامترهای $facSk$ و $facAs$ به منظور تعیین جهت انتقال رسوبات بکار می‌روند و بنابراین انتظار می‌رود که نقش مهمی در مدل‌سازی انتقال رسوبات در جهت ساحل در طی شرایط آرام داشته باشند. مدل‌هایی که برای تحلیل حساسیت این دو پارامتر اجرا شدند، در جدول ۲-۳ نشان داده شده‌است.

جدول ۲-۳ مدل‌هایی که برای تحلیل حساسیت دو پارامتر $facSk$ و $facAs$ اجرا شدند

-	0.1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.123*	0.1	0.0	<i>facAs</i>
1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.375*	0.35	0.3	0.2	0.1	0.0	<i>facSk</i>

* Reference model

¹ Courant-Friedrichs-Lewy number

۳-۲-۳-۲ تحلیل حساسیت شیب‌های بحرانی فروریزش

wetslp و dryslp به ترتیب شیب‌های بحرانی قسمت تر و خشک نیمرخ می‌باشند که در صورت تجاوز شیب نیمرخ از این شیب‌ها، تبادل رسوب بین سلول‌های مجاور در راستای بازگرداندن شیب نیمرخ به حالت شیب بحرانی صورت می‌گیرد. مدل‌هایی که برای تحلیل حساسیت این دو پارامتر آزمایش شدند در جدول ۳-۳ نشان داده شده است.

جدول ۳-۳ مدل‌هایی که برای تحلیل حساسیت دو پارامتر wetslp و dryslp اجرا شدند

-	1.0	0.75	0.5	0.4	0.3	0.26*	0.2	0.1	<i>wetslp</i>
2.0	1.8	1.5	1.2	1.0*	0.8	0.6	0.3	0.1	<i>dryslp</i>

* Reference model

۳-۲-۳-۳ تحلیل حساسیت پارامتر alpha

پارامتر alpha همان ضریب پراکندگی موج است که در معادله Baldock در فصل ۲ به آن اشاره شد. همانطور که از معادله برداشت می‌شود، میزان پراکندگی موج با ضریب alpha رابطه مستقیم دارد. مدل‌های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر alpha در جدول ۴-۳ مشاهده می‌شود.

جدول ۴-۳ مدل‌های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر alpha

2.0	1.75	1.5	1.262*	1.25	0.75	0.5	<i>alpha</i>
-----	------	-----	--------	------	------	-----	--------------

* Reference model

۳-۲-۳-۴ تحلیل حساسیت پارامتر gamma

gamma ضریبی است که در معادلات Roelvink و همچنین Baldock، با ضرب در مجموع عمق آب و بخشی از ارتفاع موج ($H_{max} = \gamma \cdot (h + \delta H_{rms})$)، ارتفاع بیشینه موج را تعیین می‌کند. مدل‌های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر gamma در جدول ۵-۳ آمده است.

جدول ۵-۳ مدل‌های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر gamma

0.9	0.8	0.78*	0.7	0.6	0.5	0.4	<i>gamma</i>
-----	-----	-------	-----	-----	-----	-----	--------------

* Reference model

۳-۲-۳-۵ تحلیل حساسیت پارامتر γ

این پارامتر، یک عامل بازدارنده می‌باشد که به صورت نسبت بیشینه ارتفاع موج به عمق آب، تعریف شده‌است. مدل‌های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر γ در جدول ۳-۶ آمده است.

جدول ۳-۶ مدل‌های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر γ

5.0	4.0	3.0	2.5	2.4	2.364*	2.2	2.1	2.0	1.2	0.4	γ
-----	-----	-----	-----	-----	--------	-----	-----	-----	-----	-----	----------

* Reference model

۳-۲-۳-۶ تحلیل حساسیت پارامتر β

پارامتر β ، ضریب شیب شکست در مدل غلتشی می‌باشد؛ با استفاده از مدل غلتشی، خیز آب ناشی از موج، جریان بازگشتی و جریان موازی ساحل، بیشتر به سمت ساحل انتقال داده می‌شوند. هرچه β کمتر باشد، این انتقال بیشتر اتفاق می‌افتد. مدل‌های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر β در جدول ۳-۷ فهرست شده‌است.

جدول ۳-۷ مدل‌های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر β

0.3	0.25	0.2	0.15	0.138*	0.1	0.08	0.07	0.05	β
-----	------	-----	------	--------	-----	------	------	------	---------

* Reference model

۳-۲-۳-۷ تحلیل حساسیت پارامتر $bedfriccoef$

این پارامتر توسط پارامتر بی بعد C_f و یا معادلات شزی یا مانینگ به مدل اضافه می‌شود؛ ضریب اصطکاک بستر را می‌توان توسط فقط یک پارامتر برای کل دامنه، و یا از طریق اضافه کردن یک فایل اصطکاک بستر ($bedfricfile$) برای هر سلول به صورت مجزا تعریف کرد. به دلیل عدم دسترسی به مقدار واقعی این پارامتر، در این پژوهش به یافتن مقدار بهینه آن از طریق تحلیل حساسیت پرداخته شده‌است. مدل‌های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر $bedfriccoef$ در جدول ۳-۸ فهرست شده است.

جدول ۳-۸ مدل‌های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر $bedfriccoef$

0.004	0.003	0.0025	0.002*	0.0015	0.001	0.000035	$bedfriccoef$
-------	-------	--------	--------	--------	-------	----------	---------------

* Reference model

۳-۳-۲-۸ تحلیل حساسیت پارامتر h_{min}

این پارامتر باعث اضافه شدن نمود عددی معادلات آب کم عمق که حرکات آب را حل می کند، به مدل می شود. بخصوص در اعماق کم، برخی فرآیندهای شدید ساحلی به منظور پرهیز از رفتار غیرواقعی ساحل، می بایست محدود شوند. پارامتر h_{min} که به صورت " آستانه عمقی که در اعماق بیش از آن، انحراف استوکس در مدل دخیل می شود" تعریف شده است، از جریانات بازگشتی بسیار قوی و تراکم های بالا جلوگیری می کند. مدل های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر h_{min} در جدول ۳-۹ نشان داده شده است.

جدول ۳-۹ مدل های اجرا شده به منظور تحلیل حساسیت پارامتر h_{min}

1.0	0.8	0.6	0.5*	0.4	0.3	0.2	0.1	0.001	h_{min}
-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	-------	-----------

* Reference model

۳-۳-۳ ارزیابی کارکرد مدل

در این پژوهش از دو طریق "امتیاز مهارت خطای میانگین مربعات ($MSESS$) یا امتیاز مهارت Brier (BSS)" و به صورت کیفی (چشمی) به ارزیابی کارکرد مدل پرداخته خواهد شد. معیارهای دیگری هم برای ارزیابی کارکرد مدل در ادبیات فنی پیشین یافت شد ([۴, ۴۲, ۴۴, ۴۶-۴۹]) که به دلایل زیر از آن ها صرف نظر شد:

- مکان خط ساحلی: انتقال رسوبات در راستای موازی ساحل، عامل اصلی تعیین موقعیت خط تراز صفر می باشد و همانطور که پیش تر گفته شد، مدل XBeach انتقالات عمود بر ساحل را عامل اصلی تغییرات مورفولوژی ساحلی در نظر می گیرد، بنابراین نمی توان موقعیت خط تراز صفر را به عنوان معیاری از دقت مدل در نظر گرفت.

^۱ Mean Squared Error Skill Score

• **تشکیل تپه‌های ساحلی:** همانطور که گفته شد، XBeach در پیش‌بینی تشکیل تپه‌های

ساحلی دچار نقص است، و فرسایش زیادی را در تراز بالای سطح آب نشان می‌دهد، بنابراین

تشکیل یا عدم تشکیل تپه‌های ساحلی نمی‌تواند معیار مناسبی از دقت مدل باشد.

۳-۳-۱- امتیاز مهارت Brier

برای تعیین اینکه آیا بهینه‌سازی‌های انجام شده در جهت کارآمد کردن و دقیق‌تر کردن مدل صورت گرفته‌اند یا خیر، به طور معمول از یک امتیاز مهارت استفاده می‌شود. تعریف امتیاز مهارت طبق واژه-نامه‌ی هواشناسی (۲۰۱۶) به این صورت است: "یک محاسبه آماری از دقت پیش‌بینی‌ها یا تاثیر تکینک-های شناسایی". معمول‌ترین روش مقایسه تغییرات سطح بستر در مطالعات مهندسی سواحل، استفاده از BSS می‌باشد. بطور رسمی به این روش، امتیاز مهارت خطای میانگین مربعات (MSESS) گفته می‌شود [۵۳]:

$$MSESS \text{ (یا BSS)} = 1 - \frac{\langle |z_p - z_m|^2 \rangle}{\langle |z_i - z_m|^2 \rangle} \quad (۲۶-۳)$$

که در آن: z_p تراز نیمرخ پیش‌بینی شده، z_m تراز نیمرخ اندازه‌گیری شده، z_i تراز نیمرخ ابتدایی می‌باشد. برای سادگی بیشتر، در ادامه این مطالعه، مقادیر امتیاز مهارت Brier به صورت درصد بیان شده است. این معادله نشان می‌دهد که دقت پیش‌بینی مدل در مقایسه با حالت اولیه سطح بستر چقدر است. اگر نیمرخ پیش‌بینی شده برابر با نیمرخ اولیه باشد، یعنی از نظر مدل هیچ اتفاقی رخ نداده است، در نتیجه BSS مساوی صفر است؛ اگر نیمرخ پیش‌بینی شده دقیقاً برابر با نیمرخ اندازه‌گیری شده باشد، BSS برابر یک است؛ و اگر نتیجه نیمرخ پیش‌بینی شده بدتر از نیمرخ حالت اولیه باشد، BSS مقادیر منفی اختیار می‌کند. طبقه‌بندی زیر برای BSS ارائه شده است [۵۴]:

جدول ۱۰-۳ طبقه بندی BSS توسط Van Rijn [۵۴]

امتیاز	طبقه بندی
کوچکنر از صفر	بد
۰,۰-۰,۳	ضعیف
۰,۳-۰,۶	منطقی
۰,۶-۰,۸	خوب
۰,۸-۱,۰	عالی

این روش همیشه اطلاعات دقیقی از دقت پیش‌بینی مدل به محقق ارائه نمی‌دهد زیرا تنها فاصله نیمرخ‌ها را ملاک قرار داده و برای مثال شکل پستی و بلندی‌های نیمرخ در آن دیده نمی‌شود. به همین منظور برای دقت بیشتر در ارزیابی مدل، می‌بایست به صورت چشمی نیز نیمرخ‌ها را بررسی کرد.

فصل ۴ : گزارش نتایج

۱-۴ مقدمه

در این فصل ابتدا به تشریح مدل انتخاب شده به عنوان مدل مرجع بهینه‌سازی و همچنین نتایج حاصل از آن، پرداخته شده است. سپس نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای انتخابی به صورت شکل نیمرخ و جداول امتیاز مهارت، ارائه شده است. با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل‌های حساسیت، تنظیمات بهینه مدل انتخاب شده و نتیجه حاصل از آن در ادامه آورده می‌شود. در قسمت پایانی این فصل، پس از اضافه کردن دستک ساخته شده در خم بازوی اصلی موج‌شکن به مدل، نتایج مدل‌سازی بهینه تشریح خواهد شد.

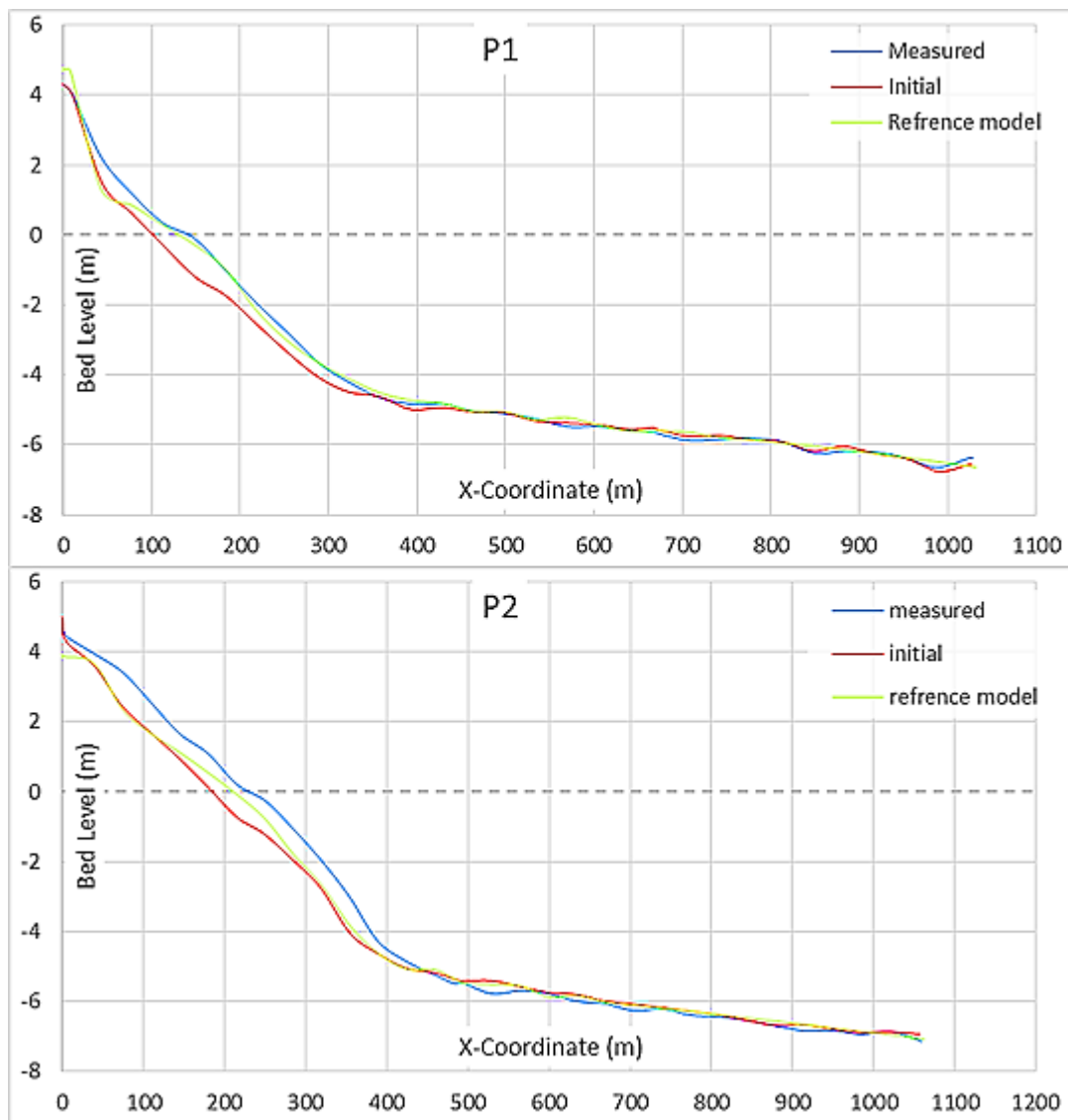
۲-۴ مدل اولیه (مرجع)

تنظیمات اولیه انتخاب شده برای شروع عملیات بهینه‌سازی، مقادیر استفاده شده در تنظیمات WTI به اضافه مقادیر پیش‌فرض برای پارامترهای خارج از چارچوب WTI می‌باشد. مقادیر مورد استفاده برای پارامترهای انتخابی، در جداول مربوطه در فصل ۳ مشخص شده‌اند.

مدل حاصل، که مدل مرجع نامیده می‌شود، برای یک بازه حدود ۷ ماهه (اسفند ۱۳۸۴ تا مهر ۱۳۸۵) اجرا شد که نتیجه آن، برای دو نیمرخ انتخابی (به فصل ۲ مراجعه شود) به عنوان نمونه در شکل نشان داده شده است. همچنین نتایج محاسبات امتیاز مهارت Brier در قالب جدول ۱-۴ آمده است.

جدول ۱-۴ امتیاز مهارت Brier برای دو نیمرخ انتخابی مدل مرجع

<i>Profile</i>	<i>BSSup</i>	<i>BSSdown</i>
<i>1</i>	-20.344	85.082
<i>2</i>	-6.352	48.689



شکل ۴-۱ نتایج پردازش مدل مرجع در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب دو نیمرخ مورد مطالعه

همانطور که از شکل و جدول بالا مشخص است و همچنین در فصول پیش به آن اشاره شد، مدل در پیش‌بینی تغییرات بستر بالای تراز آب ضعیف عمل می‌کند. همچنین با حرکت به سمت پایین‌دست، از دقت مدل کاسته شده و رسوب‌گذاری کمی را نشان می‌دهد.

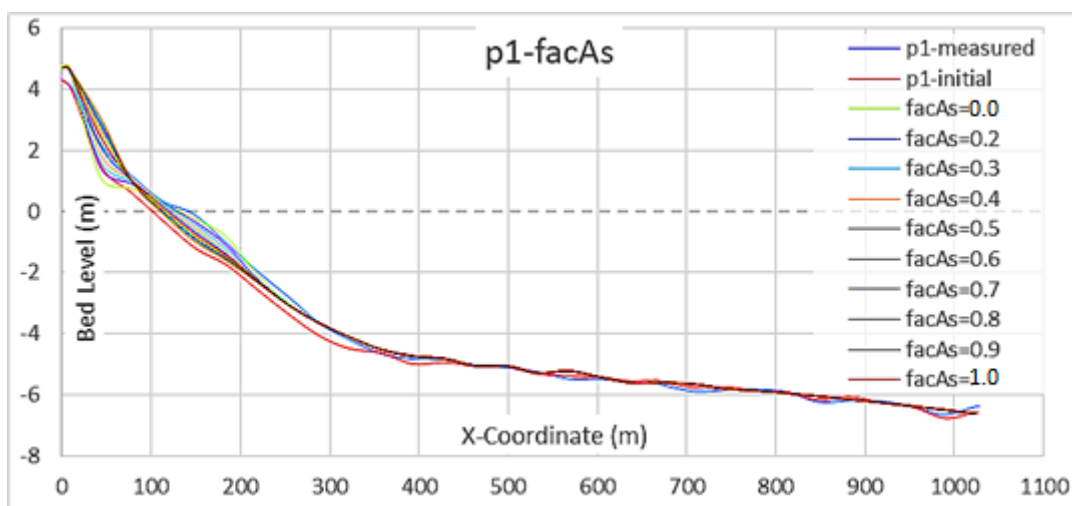
۴-۳ بهینه‌سازی تنظیمات مدل

در فصل ۳ توضیح داده شد که چگونه حساسیت‌سنجی برای تمام پارامترهای انتخاب‌شده صورت گرفت تا تعیین شود که آیا تنظیمات بهینه‌تری برای مدل‌سازی طولانی‌مدت در این مکان خاص، نسبت به

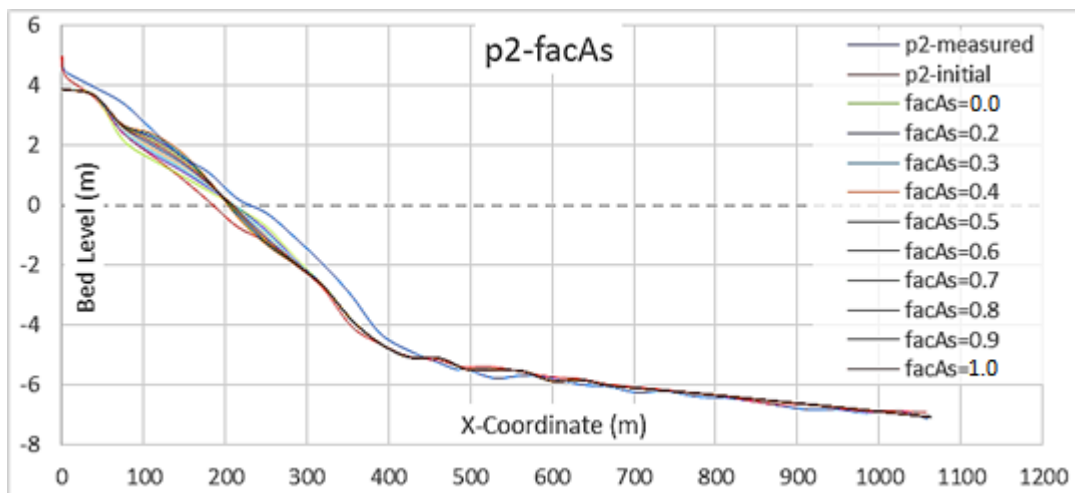
تنظیمات اولیه وجود دارد یا خیر. با توجه به این تنظیمات بهینه می‌توان به پتانسیل واقعی مدل در شرایط مورد نظر پی برد. همچنین، هدف دیگر از این تحلیل‌ها، به دست آوردن درک بهتری از عملکرد و نقش پارامترهای یادشده در مدل XBeach می‌باشد.

۴-۳-۱ تحلیل حساسیت عدم تقارن و چولگی موج

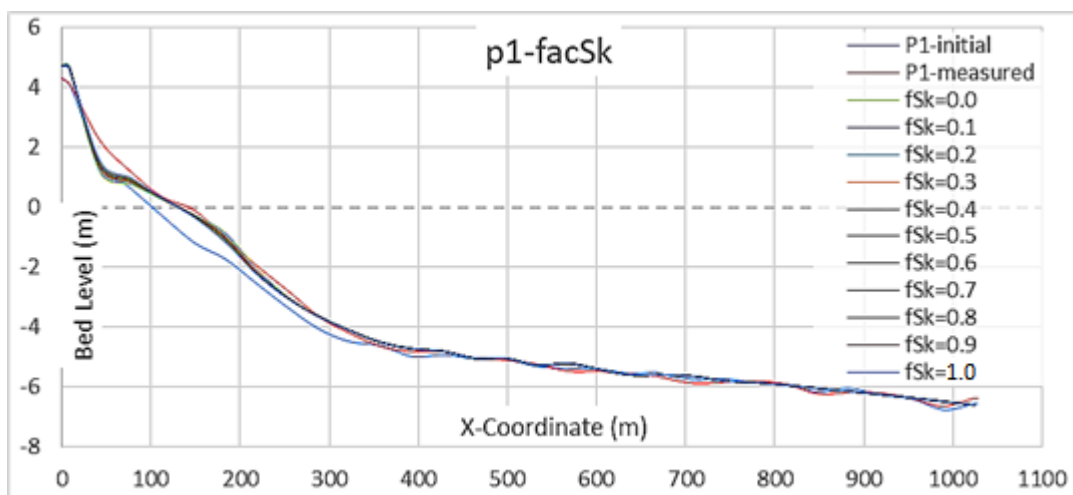
در مدل اولیه، تغذیه رسوبی مورد انتظار دیده نشد؛ پارامترهای عدم تقارن و چولگی موج می‌توانند انتقال رسوبات را به سمت ساحل افزایش دهند. این بخش به تحلیل حساسیت این دو پارامتر می‌پردازد تا چگونگی تاثیرات این دو پارامتر بر رفتار انتقال رسوبات در جهت عمود بر ساحل و در نتیجه شکل کلی نیمرخ‌ها بررسی شود. در تحلیل حساسیت صورت گرفته، با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها (نسبت به مدل اولیه)، پارامترهای عدم تقارن و چولگی موج از صفر تا یک (با توجه به فصل ۳) تغییر داده شدند. نتایج حاصل از این مدل در شکل‌های (۴-۲ تا ۴-۵) نشان داده شده است. همچنین، امتیازهای مهارت Brier را می‌توان در جدول ۴-۲ یافت.



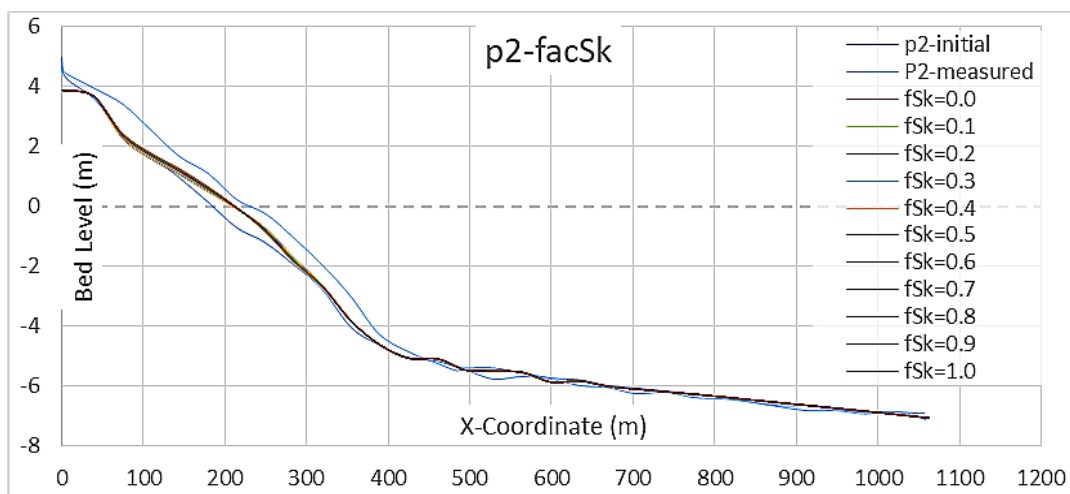
شکل ۴-۲ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر عدم تقارن در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۱



شکل ۳-۴ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر عدم تقارن در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۲



شکل ۴-۴ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر چولگی در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۱



شکل ۵-۴ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر چولگی در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۲

جدول ۲-۴ امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت دو پارامتر عدم تقارن و چولگی

<i>facAs</i>	<i>P1</i>		<i>P2</i>		<i>facSt</i>	<i>P1</i>		<i>P2</i>	
	<i>BSSup</i>	<i>BSSdown</i>	<i>BSSup</i>	<i>BSSdown</i>		<i>BSSup</i>	<i>BSSdown</i>	<i>BSSup</i>	<i>BSSdown</i>
0.0	-58.801	85.661	-29.636	51.362	0	20.880	68.150	-21.244	52.649
0.1	-20.314	85.132	-6.442	48.693	0.1	-42.175	85.975	-17.305	51.641
0.2	4.793	83.724	4.793	45.657	0.2	-33.227	85.661	-12.998	50.425
0.3	17.068	80.009	17.068	42.262	0.3	-25.823	85.364	-9.190	49.391
0.4	27.391	74.849	27.391	38.350	0.35	-19.421	85.301	-7.093	48.824
0.5	35.245	68.719	35.245	34.086	0.4	-18.922	85.017	-5.666	48.433
0.6	40.794	63.492	40.794	29.949	0.5	-12.354	84.650	-1.949	47.547
0.7	44.310	58.744	44.310	26.462	0.6	-4.907	84.191	1.386	46.625
0.8	46.726	54.067	46.726	23.142	0.7	0.273	83.743	4.089	45.745
0.9	48.212	49.009	48.212	19.646	0.8	7.426	83.142	6.907	44.751
1.0	49.129	44.138	49.129	16.283	0.9	13.993	82.501	9.233	43.855
					1.0	19.097	81.782	11.732	42.943

با توجه به شکل های (۲-۴ و ۳-۴) از تحلیل حساسیت پارامتر عدم تقارن، در هر دو شکل، یک نقطه هم‌گرایی دیده می‌شود که از این به بعد به آن نقطه تقاطع گفته خواهد شد. مشاهده می‌شود که بطور کلی با افزایش مقدار پارامتر عدم تقارن، تجمع رسوبات در بالای نقطه تقاطع افزایش یافته و از حجم رسوبات در پایین این نقطه کاسته می‌شود؛ بنابراین مقدار فرسایش تپه ساحلی کاهش می‌یابد. با توجه به این نکته و همچنین جدول ۲-۴، افزایش مقدار این پارامتر به تدریج (تا مقدار ۰,۵) باعث افزایش امتیاز مهارت در بالای خط ساحلی می‌شود و پس از عبور نیمرخ از نیمرخ اندازه‌گیری، دوباره از امتیاز مهارت یادشده، کاسته می‌شود. به هر حال، با توجه به شیب نیمرخ و اهمیت پیش‌بینی قسمت تر ساحل، مقدار پارامتر عدم تقارن ۰,۱ به عنوان مقدار بهینه انتخاب شد.

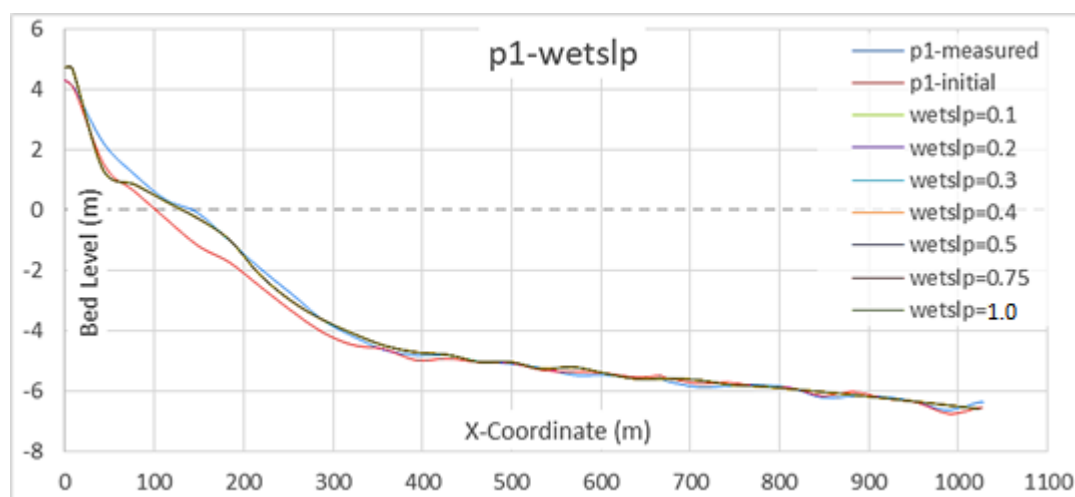
موارد ذکر شده در بالا، برای پارامتر چولگی نیز صادق است، با این تفاوت که این پارامتر تاثیر بسیار

کمی در تغییر شکل نیمرخ ارائه داده است؛ این امر می‌تواند به این دلیل باشد که چولگی موج بنا بر شرایط موجود، قادر به انتقال رسوبات به سمت دریا یا به سمت ساحل می‌باشد (رجوع شود به ۲-۳-۴). در نهایت با توجه به مقادیر جدول ۴-۲ مقدار ۰,۳۵ به عنوان مقدار بهینه انتخاب شد.

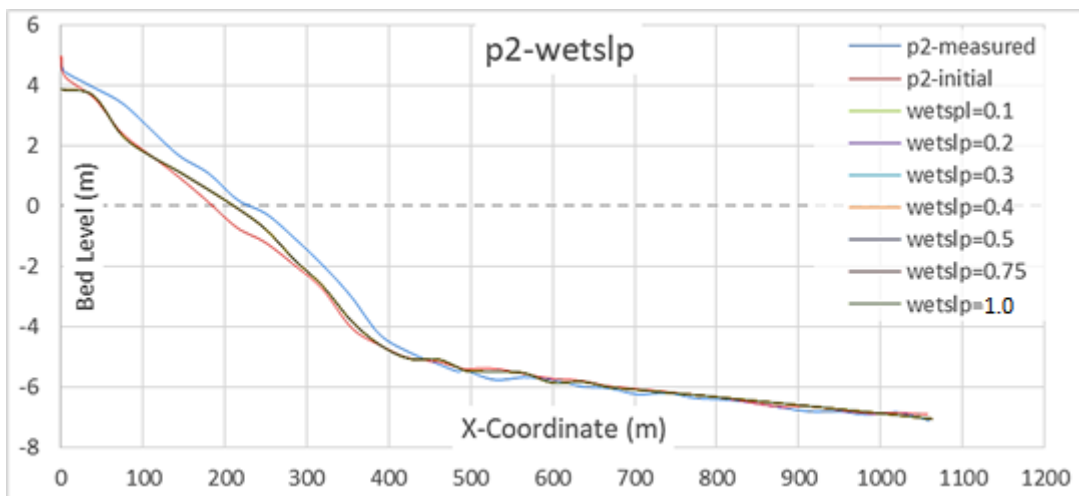
۲-۳-۴ تحلیل حساسیت شیب‌های بحرانی فروریزش

از آنجایی که نواحی خیس، بیشتر از نواحی خشک مستعد فروریزش هستند، شیب‌های بحرانی متفاوتی برای این دو حالت در نظر گرفته شده‌است. همانطور که در فصل پیش اشاره شد، مقادیر پیش‌فرض برای نواحی تر و خشک به ترتیب ۰,۳ و ۱,۰ می‌باشد.

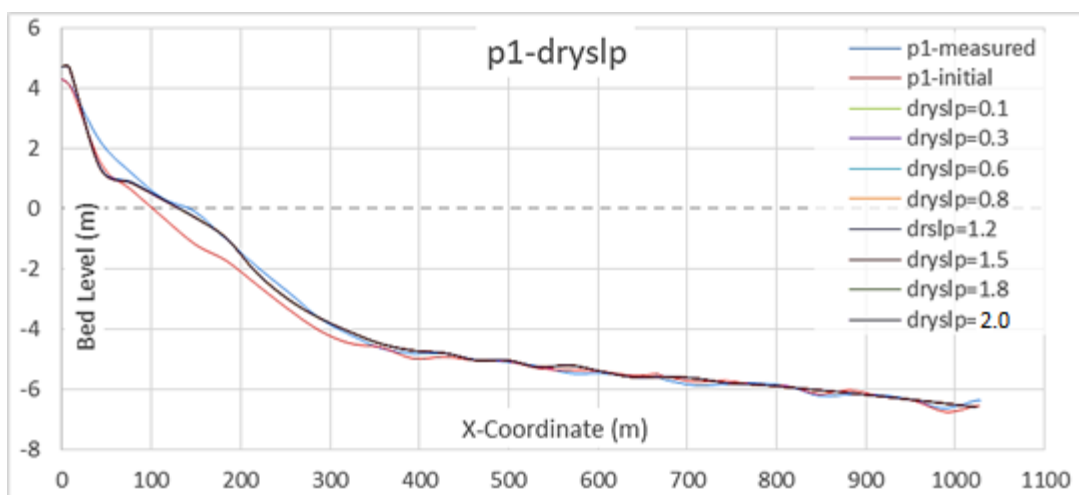
در تحلیل حساسیت صورت گرفته، با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها (نسبت به مدل مرجع)، پارامترهای مربوط به حالت‌های بحرانی فروریزش برای حالت خشک و تر در محدوده مجاز (با توجه به فصل ۳) تغییر داده شدند. نتایج حاصل از این مدل‌ها در شکل‌های (۴-۶ تا ۴-۹) نشان داده شده‌است. همچنین، امتیازهای مهارت Brier را می‌توان در جدول ۴-۳ یافت.



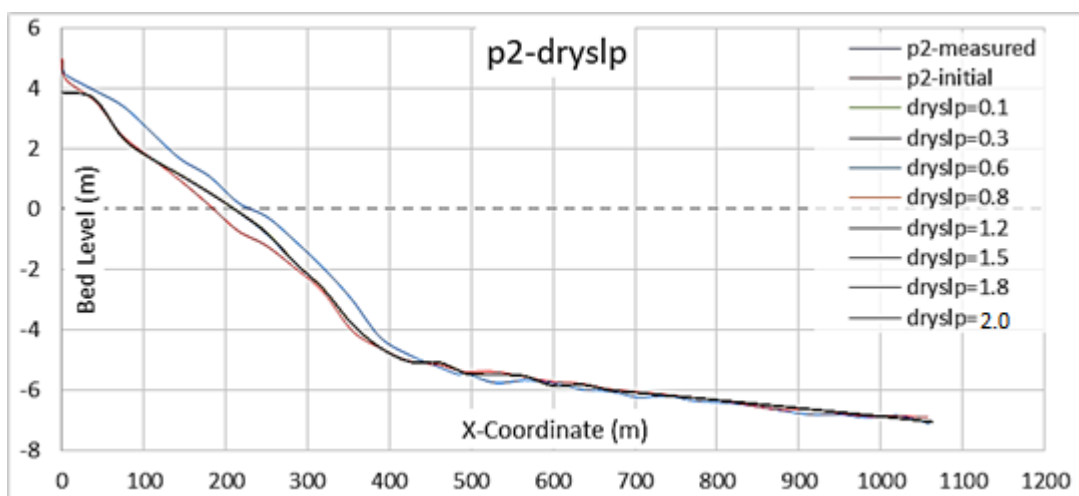
شکل ۴-۶ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر wetslp در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۱



شکل ۴-۷ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر wetslp در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۲



شکل ۴-۸ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر dryslp در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۱



شکل ۴-۹ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر dryslp در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۲

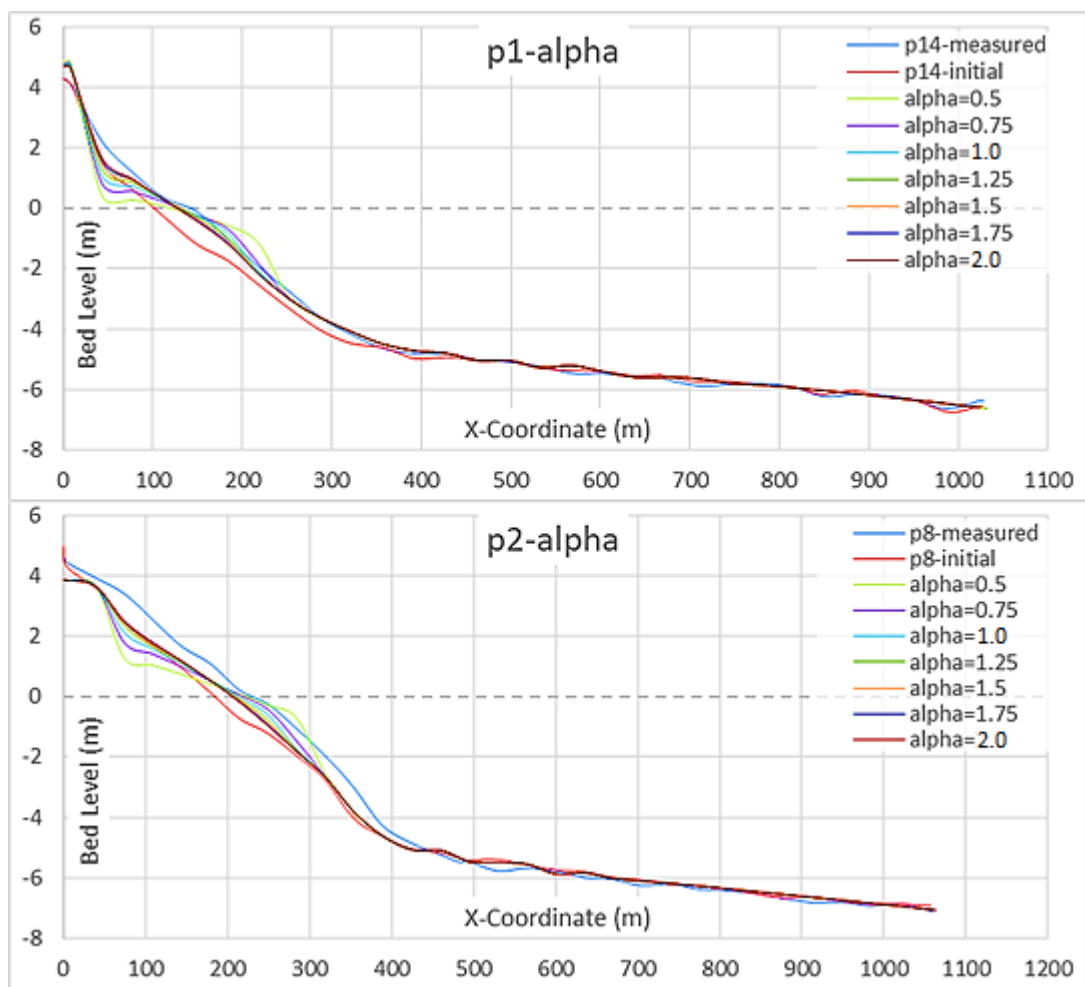
جدول ۳-۴ امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت دو پارامتر wetslp و dryslp

	P1		P2		dryslp	P1		P2	
	BSSup	BSS down	BSSup	BSS down		BSSup	BSS down	BSSup	BSS down
wetslp									
0.1	-17.915	85.081	-5.972	47.884	0.1	37.676	85.108	-5.761	48.191
0.2	-19.954	85.073	-6.458	48.073	0.3	-20.389	85.075	-6.466	48.036
0.3	-20.559	85.125	-6.389	47.977	0.6	-17.216	84.937	-5.892	47.648
0.4	-20.320	85.110	-6.391	47.975	0.8	-16.508	84.899	-5.572	47.329
0.5	-20.320	85.110	-6.391	47.975	1.2	-9.401	84.999	-4.664	45.798
0.75	-20.320	85.110	-6.391	47.975	1.5	-17.216	84.943	-5.891	47.655
1.0	-20.320	85.110	-6.391	47.975	1.8	-16.767	84.878	-5.646	47.442
					2.0	-16.316	84.889	-5.554	47.310

همانطور که از شکل‌ها و جدول بالا مشخص است، تغییر دو پارامتر شیب بحرانی تاثیر چندانی در رفتار نیمرخ ساحلی ایجاد نمی‌کند؛ این امر می‌تواند به دلیل امواج بسیار ملایم موجود در منطقه در بازه زمانی مورد مطالعه باشد که عملاً از ایجاد شیب‌های تند (بیشتر از شیب بحرانی) جلوگیری می‌کند، در نتیجه تغییر این دو پارامتر در بهینه‌سازی مدل عملکرد خنثی داشته است. بنابراین برای این دو پارامتر، همان مقادیر مدل مرجع در نظر گرفته می‌شود.

۳-۳-۴ تحلیل حساسیت پارامتر alpha

با توجه به اینکه میزان پراکندگی موج با ضریب alpha رابطه مستقیم دارد، این پارامتر نیز با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها، در محدوده مجاز تعیین‌شده (فصل ۳) تغییر داده‌شد و تحلیل حساسیت آن صورت گرفت که نتایج حاصل از این تحلیل در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده‌است. همچنین، امتیازهای مهارت Brier را می‌توان در جدول ۴-۴ یافت.



شکل ۴-۱۰ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر alpha در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۱ و ۲

جدول ۴-۴ امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر alpha

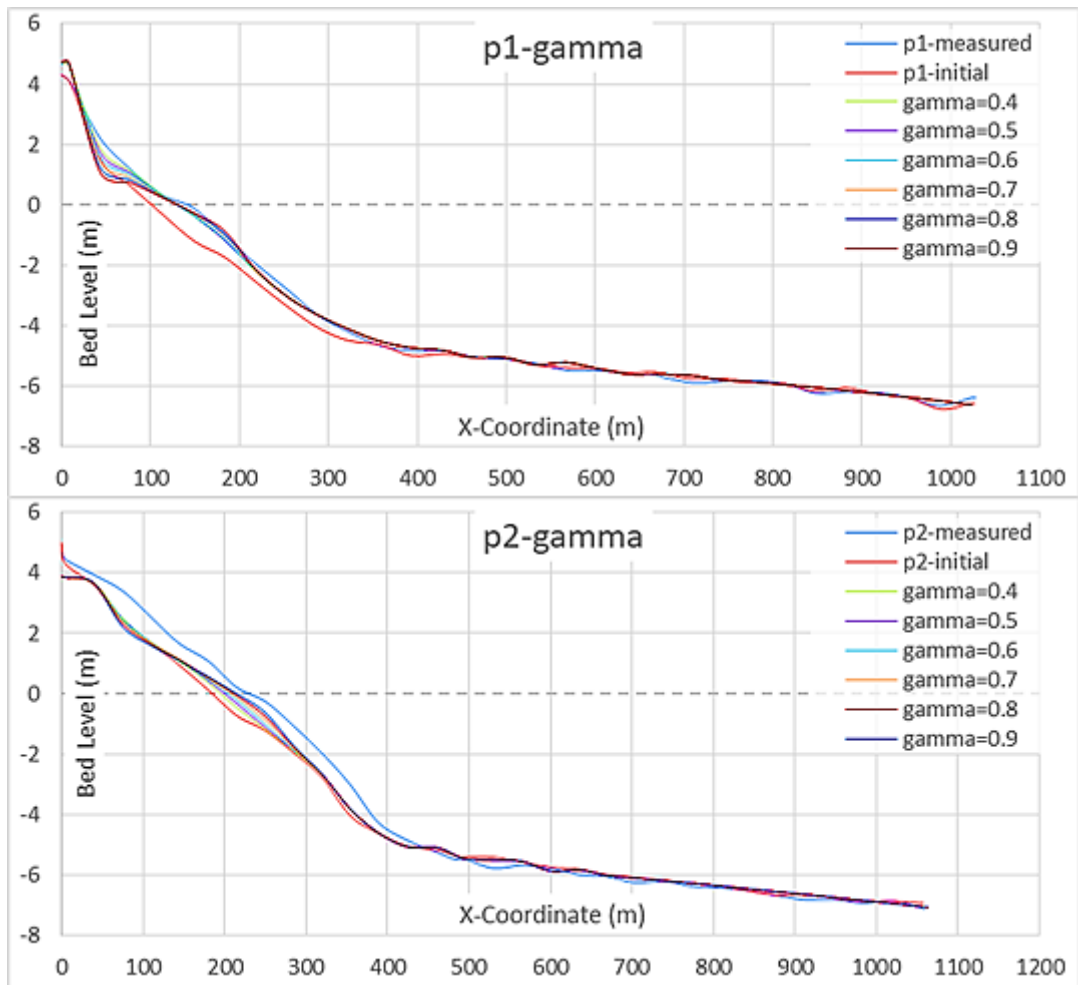
<i>alpha</i>	<i>P1</i>		<i>P2</i>	
	<i>BSSup</i>	<i>BSSdown</i>	<i>BSSup</i>	<i>BSSdown</i>
0.5	-101.407	14.652	-174.572	67.088
0.75	-139.802	83.469	-71.628	61.808
1.0	-66.887	85.124	-27.518	53.045
1.25	-8.263	85.044	-6.242	50.011
1.5	7.504	84.105	2.970	44.669
1.75	23.283	82.739	7.933	42.141
2.0	32.583	81.425	11.069	40.192

با توجه به شکل ۴-۱۰، با افزایش این پارامتر، مقدار رسوب‌گذاری در بالای نقطه تقاطع افزایش می‌یابد. این امر را می‌توان با توجه به معادله (۳-۸) توجیه کرد؛ با توجه به اینکه با افزایش این ضریب، مقدار

اتلاف انرژی موج نیز افزایش می‌یابد، در نتیجه انرژی موج برای شستن رسوبات بالای نقطه تقاطع کافی نمی‌باشد. و همچنین هرچه این ضریب کم‌تر باشد، موج انرژی بیشتری داشته، و فرسایش تپه ساحلی نیز بیشتر می‌شود. با توجه به جدول بالا و همچنین شیب نیمرخ‌های موجود در شکل ۴-۱۰، مقدار ۱,۲۵ به عنوان مناسب‌ترین مقدار برای مدل بهینه، انتخاب شد.

۴-۳-۴ تحلیل حساسیت پارامتر γ

γ ضریبی است که در معادلات مربوط به شکست موج در تعیین ارتفاع بیشینه موج نقش دارد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت این پارامتر در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده‌است. همچنین، امتیازهای مهارت Brier را می‌توان در جدول ۴-۵ یافت.



شکل ۴-۱۱ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر gamma در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۱ و ۲

جدول ۴-۵ امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر gamma

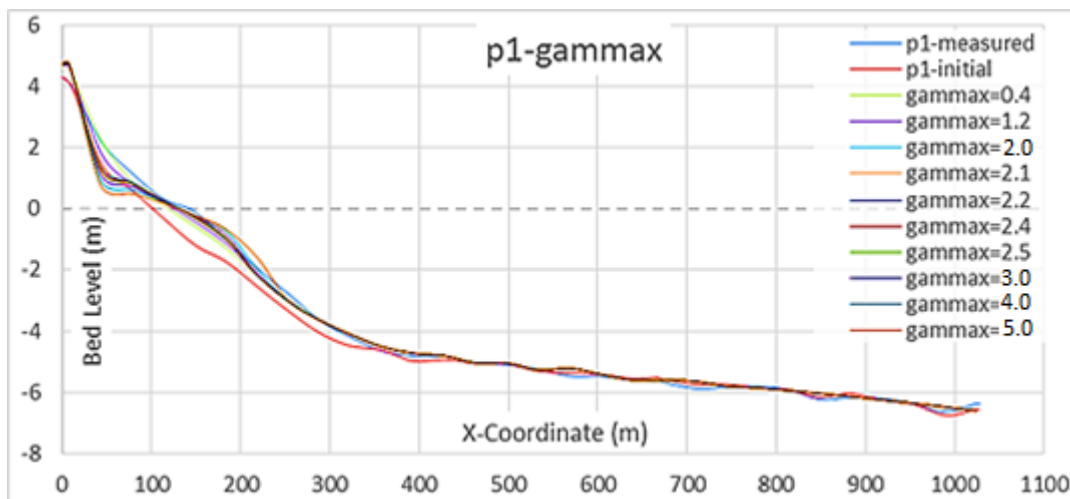
gamma	p1		p2	
	BSSup	BSSdown	BSSup	BSSdown
0.4	54.340	82.050	-2.735	24.332
0.5	43.862	82.331	0.894	30.689
0.6	28.661	83.354	1.025	37.281
0.7	5.116	84.512	-1.473	43.613
0.8	-19.652	85.154	-8.138	49.124
0.9	-63.673	85.199	-17.931	53.941

با توجه به شکل بالا، در هر دو نیمرخ مورد مطالعه، با افزایش مقدار پارامتر gamma، به فرسایش ناحیه بالای نقطه تقاطع افزوده می‌شود؛ این امر را می‌توان با بررسی معادله (۳-۸) توجیه کرد، که در آن با

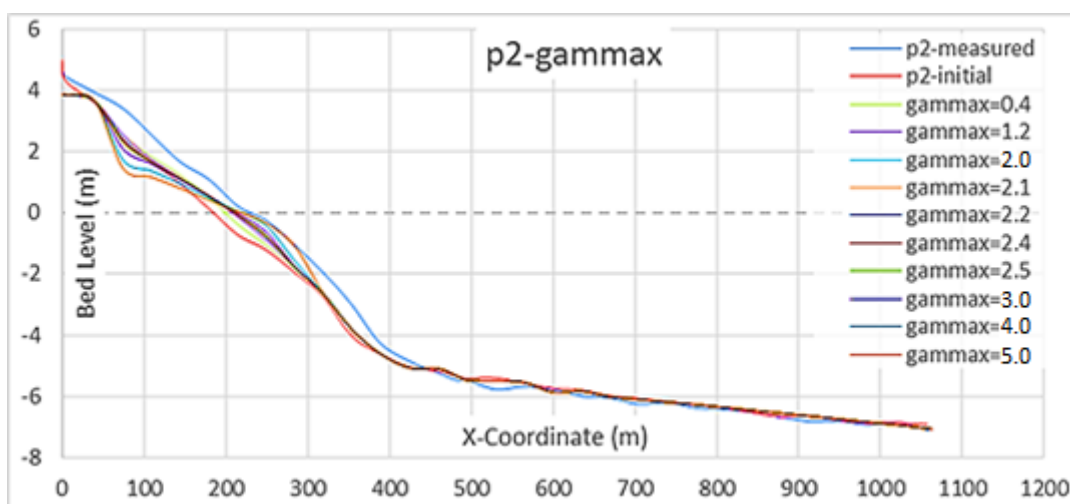
افزایش مقدار این پارامتر، ارتفاع شکست موج افزایش می‌یابد، بنابراین موج با انرژی بیشتری به خشکی می‌رسد و فرسایش بیشتری را به وجود می‌آورد و در مسیر بازگشت، رسوبات را با خود به ناحیه زیر نقطه تقاطع حمل می‌کند. با در نظر گرفتن شیب نیمرخ‌ها و همینطور امتیازات مهارت به دست آمده، مقدار ۰,۸ به عنوان مقدار بهینه پارامتر γ انتخاب شد.

۴-۳-۵ تحلیل حساسیت پارامتر γ_{max}

این پارامتر، یک عامل بازدارنده می‌باشد که به صورت نسبت بیشینه ارتفاع موج به عمق آب، تعریف شده است. کاهش این پارامتر باعث کاهش ارتفاع موج در اعماق بسیار کم می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت این پارامتر در شکل ۴-۱۲ و شکل ۴-۱۳ نشان داده شده‌است. همچنین، امتیازهای مهارت Brier را می‌توان در جدول ۴-۶ یافت.



شکل ۴-۱۲ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر gammax در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۱



شکل ۴-۱۳ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر gammax در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۲

جدول ۴-۶ امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر gammax

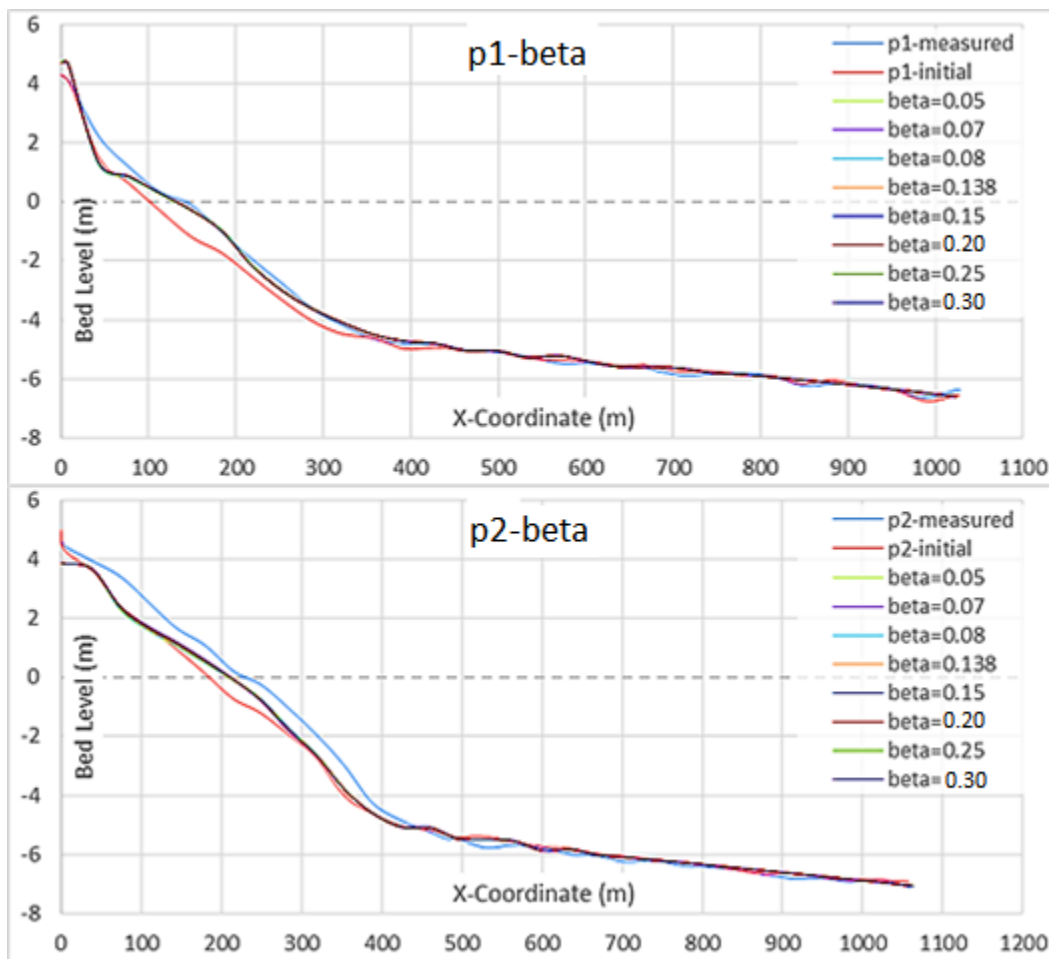
gammax	$P1$		$P2$	
	BSS_{Sup}	BSS_{Down}	BSS_{Sup}	BSS_{Down}
0.4	53.709	74.970	15.551	32.419
1.2	40.410	81.989	11.187	43.292
2.0	0.388	84.479	1.791	48.459
2.1	-3.606	84.654	-0.039	48.838
2.2	-5.312	85.106	-3.243	49.642
2.4	-22.880	85.114	-7.350	49.981
2.5	-31.041	85.160	-15.176	50.703
3.0	-59.189	85.045	-29.737	53.369
4.0	-106.472	84.591	-83.526	61.190
5.0	-157.272	79.427	-139.091	66.323

با توجه به توضیحات بیان شده در همین بخش، و همچنین شکل‌های بالا، کاهش مقدار این پارامتر از

ارتفاع موج در اعماق کم می‌کاهد؛ بنابراین افزایش آن، باعث افزایش ارتفاع و در نتیجه افزایش انرژی موج در هنگام رسیدن به خشکی می‌شود که فرسایش بیشتری را به همراه خواهد داشت. با در نظر گرفتن این توضیحات و همچنین جدول امتیازات مهارت، مقدار ۲,۲ به عنوان مقدار بهینه پارامتر γ_{max} انتخاب شد.

۴-۳-۶ تحلیل حساسیت پارامتر β

ضریب شیب شکست در مدل غلتشی، یعنی پارامتر β با توجه به نقشی که در مدل غلتشی ایفا می‌کند (فصل ۳)، در محدوده مجاز مربوطه، حساسیت‌سنجی شده است. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت این پارامتر در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است. همچنین، امتیازهای مهارت Brier را می‌توان در جدول ۴-۷ یافت.



شکل ۴-۱۴ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر β در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۱ و ۲

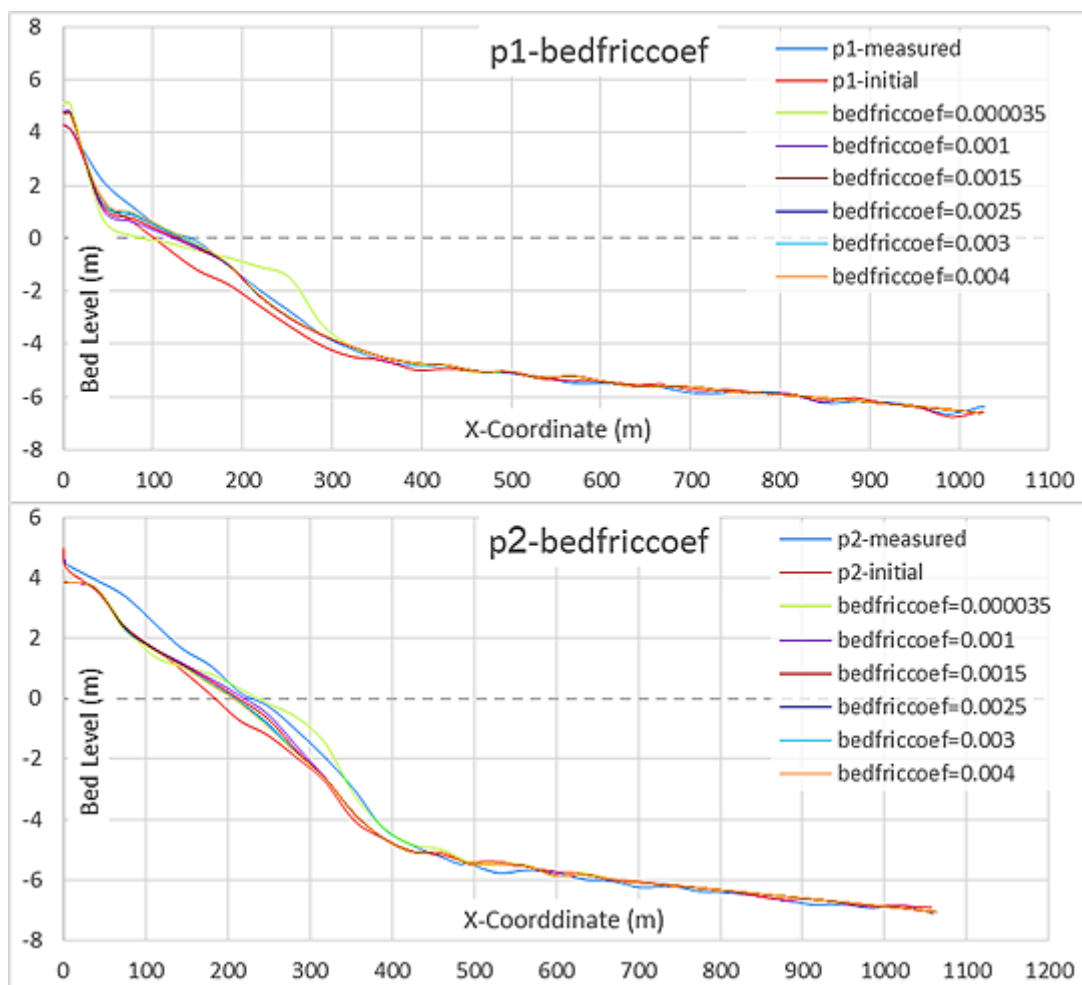
جدول ۴-۷ امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر β

<i>beta</i>	<i>P1</i>		<i>P2</i>	
	<i>BSSup</i>	<i>BSSdown</i>	<i>BSSup</i>	<i>BSSdown</i>
<i>0.05</i>	-29.567	85.127	-21.244	52.047
<i>0.06</i>	-26.44	85.113	-18.111	51.735
<i>0.07</i>	-24.848	85.109	-17.305	51.023
<i>0.08</i>	-22.689	85.091	-12.998	49.787
<i>0.15</i>	-16.684	85.060	-5.666	47.764
<i>0.2</i>	-14.916	85.074	-1.949	46.864
<i>0.25</i>	-14.511	85.086	1.386	45.927
<i>0.3</i>	-14.153	85.100	4.089	45.033

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش ۳-۳-۲-۶، این پارامتر باعث انتقال برخی فرآیندهای ساحلی به سمت خشکی می شود، که جدول ۴-۷ گواهی بر این ادعا می باشد. یکی از فرآیندهایی که انتقال داده می شود، جریان موازی ساحل است، که این انتقال باعث تغییرات مقادیر مربوط به نیمرخ پایین دست شده است. به طور کلی همانطور که از شکل ۴-۱۴ مشخص است، این پارامتر تاثیر بسزایی در رفتار نیمرخها نداشته و بنابراین مقدار مربوط به مدل مرجع، به عنوان مقدار بهینه لحاظ می شود.

۴-۳-۷ تحلیل حساسیت پارامتر bedfriccoef

ضریب اصطکاک بستر را می توان توسط یک پارامتر تنها برای کل دامنه، و یا از طریق اضافه کردن یک فایل اصطکاک بستر (bedfricfile) برای هر سلول به صورت مجزا تعریف کرد. به دلیل عدم دسترسی به مقدار واقعی این پارامتر، در این پژوهش به یافتن مقدار بهینه آن از طریق تحلیل حساسیت پرداخته شده است. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت این پارامتر در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. همچنین، امتیازهای مهارت Brier را می توان در جدول ۴-۸ یافت.



شکل ۴-۱۵ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر bedfriccoef در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ

۲ و ۱

جدول ۴-۸ امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر bedfriccoef

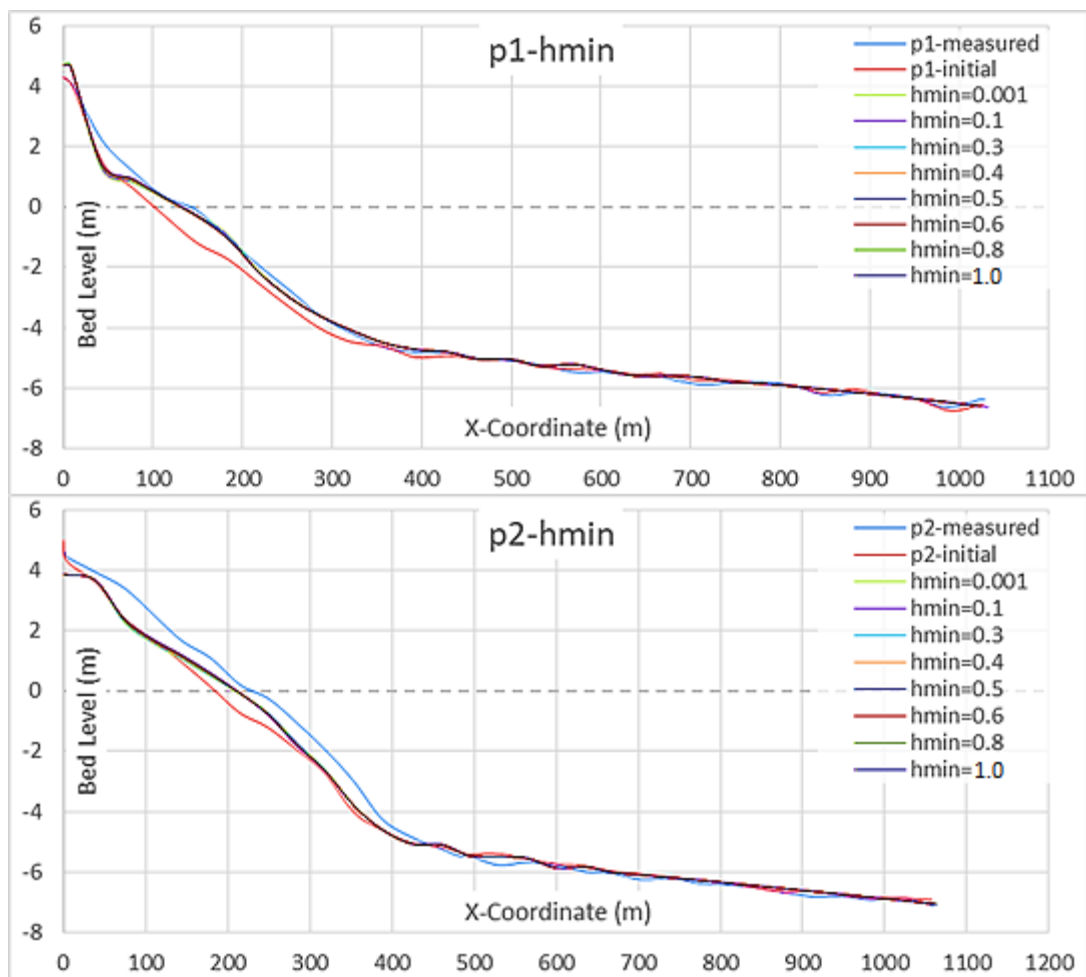
<i>bedfriccoef</i>	<i>P1</i>		<i>P2</i>	
	<i>BSSup</i>	<i>BSSdown</i>	<i>BSSup</i>	<i>BSSdown</i>
0.000035	-107.593	-164.443	-11.598	82.015
0.001	-78.543	83.644	2.234	59.098
0.0015	-37.862	84.512	-1.478	52.083
0.0025	-7.167	85.417	-7.319	50.246
0.003	1.909	85.604	-14.304	43.115
0.004	13.055	85.835	-18.786	40.312

با توجه به شکل بالا، با افزایش اصطکاک بستر، شیب بستر نیز افزایش می‌یابد که با مشخصات سواحل درشت‌دانه و ریزدانه مطابقت دارد. به دلیل عدم پایداری مدل در مقادیر بالاتر از ۰,۰۰۴ اصطکاک بستر،

از ارائه نتایج مربوط به آن خودداری شده است. با توجه به جدول فوق و همچنین پیشنهاد پروفیسور Roelvink از دانشگاه Delft هلند، مقدار $0,0025$ به عنوان مقدار بهینه برای مدل انتخاب شد.

۴-۳-۸ تحلیل حساسیت پارامتر h_{min}

پارامتر h_{min} که به صورت "آستانه عمق آبی که در اعماق بیش از آن، انحراف استوکس در مدل دخیل می شود" تعریف شده است، از جریانات بازگشتی بسیار قوی و تراکم‌های بالا جلوگیری می کند. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت این پارامتر در شکل ۴-۱۶ نشان داده شده است. همچنین، امتیازهای مهارت Brier را می توان در جدول ۴-۹ یافت.



شکل ۴-۱۶ نتایج تحلیل حساسیت پارامتر h_{min} در بازه زمانی اسفند ۸۴ تا مهر ۸۵ در قالب نیمرخ ۱ و ۲

جدول ۹-۴ امتیازات مهارت حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر hmin

hmin	P1		P2	
	BSSup	BSSdown	BSSup	BSSdown
0.001	-33.773	86.219	-21.244	52.047
0.1	-25.639	86.120	-17.305	51.023
0.3	-15.702	85.907	-12.998	49.987
0.4	-10.619	85.716	-9.190	49.337
0.5	-6.231	85.561	-5.666	48.764
0.6	-3.423	85.553	-1.949	46.864
0.8	1.041	85.682	1.386	45.927
1.0	6.287	85.948	4.089	45.033

با توجه به توضیحات بیان شده در ابتدای این بخش، این پارامتر تاثیر چندانی در تغییرات نیمرخ زیر تراز صفر ندارد، که در جدول فوق کاملا مشهود است. همچنین به دلیل ملایم بودن امواج موجود در منطقه و با در نظر گرفتن اینکه این پارامتر برای محدود کردن جریان‌های بازگشتی قوی استفاده می‌شود، این پارامتر تغییرات زیادی را در تغییر شکل نیمرخ‌ها در بالای تراز صفر ایجاد نکرده است. با این حال، با در نظر داشتن جدول ۹-۴، مقدار ۰,۵ به عنوان مقدار بهینه پارامتر hmin انتخاب شده است.

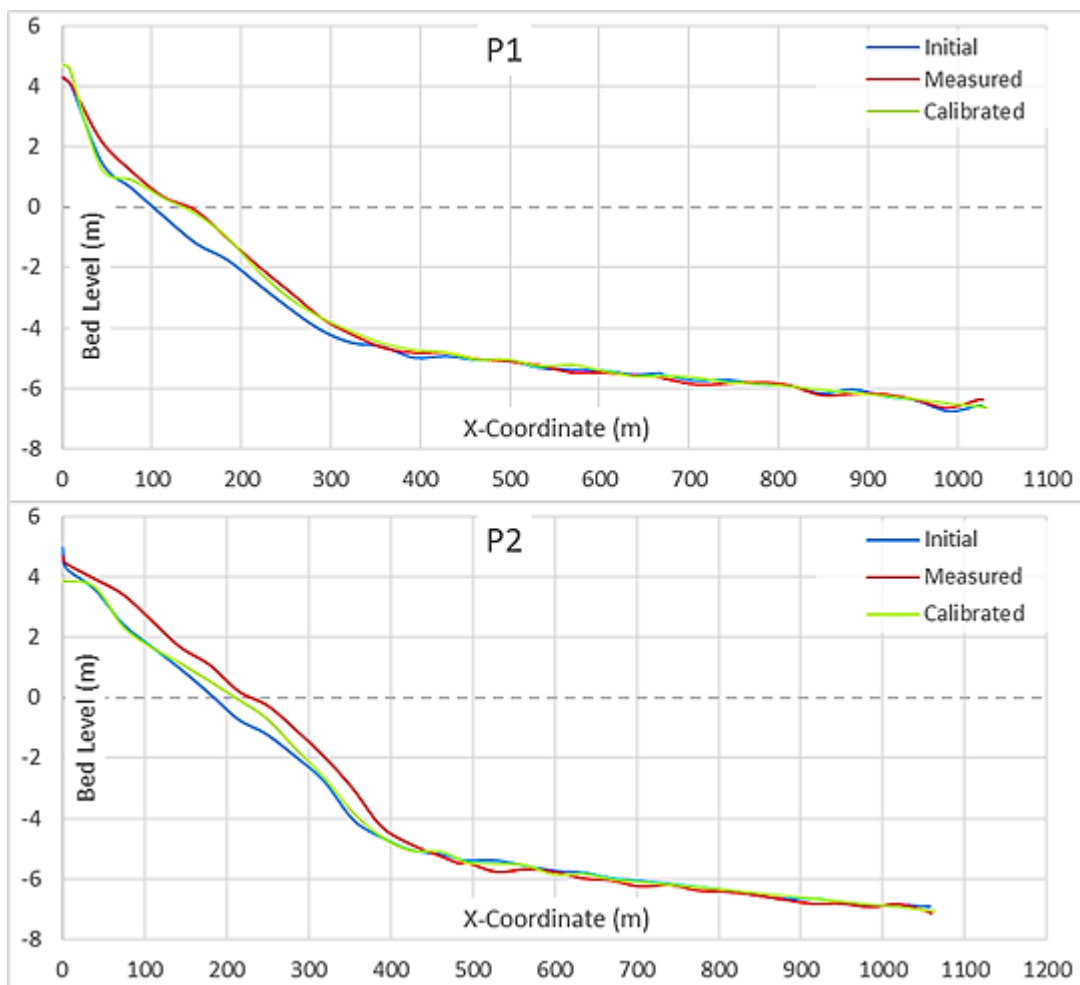
۴-۴ مدل بهینه

۴-۴-۱ واسنجی مدل

با توجه به تحلیل حساسیت‌های صورت گرفته در بخش ۴-۳ و مقادیر بهینه انتخاب شده برای هر پارامتر، تنظیمات جدیدی برای مدل به دست آمد. جمع‌بندی مقادیر بهینه انتخاب شده در جدول ۴-۱۰، و نتیجه پردازش مدل بهینه برای دوره ۷ ماهه (واسنجی) در شکل ۴-۱۷ ارائه شده است.

جدول ۴-۱۰ نتایج کلی مرحله تحلیل حساسیت و واسنجی

Parameter	Range	Selected	P1		P2	
			BSSup	BSSdown	BSSup	BSSdown
<i>bedfriccoef</i>	3.5e-05~0.9	0.0025	-7.167	85.417	-7.319	50.246
<i>gammax</i>	0.4~5.0	2.2	-5.312	85.106	-3.243	49.642
<i>beta</i>	0.05~0.3	0.138	-20.344	85.082	-6.352	48.689
<i>wetslp</i>	0.1~1.0	0.26	-20.344	85.082	-6.352	48.689
<i>dryslp</i>	0.1~2.0	1.0	-20.344	85.082	-6.352	48.689
<i>alpha</i>	0.5~2.0	1.25	-8.263	85.044	-6.242	50.011
<i>facSk</i>	0.0~1.0	0.35	-19.421	85.301	-7.093	48.824
<i>facAs</i>	0.0~1.0	0.1	-20.314	85.132	-6.442	48.693
<i>gamma</i>	0.4~0.9	0.8	-19.652	85.154	-8.138	49.124
<i>hmin</i>	0.001~1.0	0.5	-6.231	85.561	-5.666	48.764
Calibrated model	-	-	-6.274	87.722	-5.193	53.325

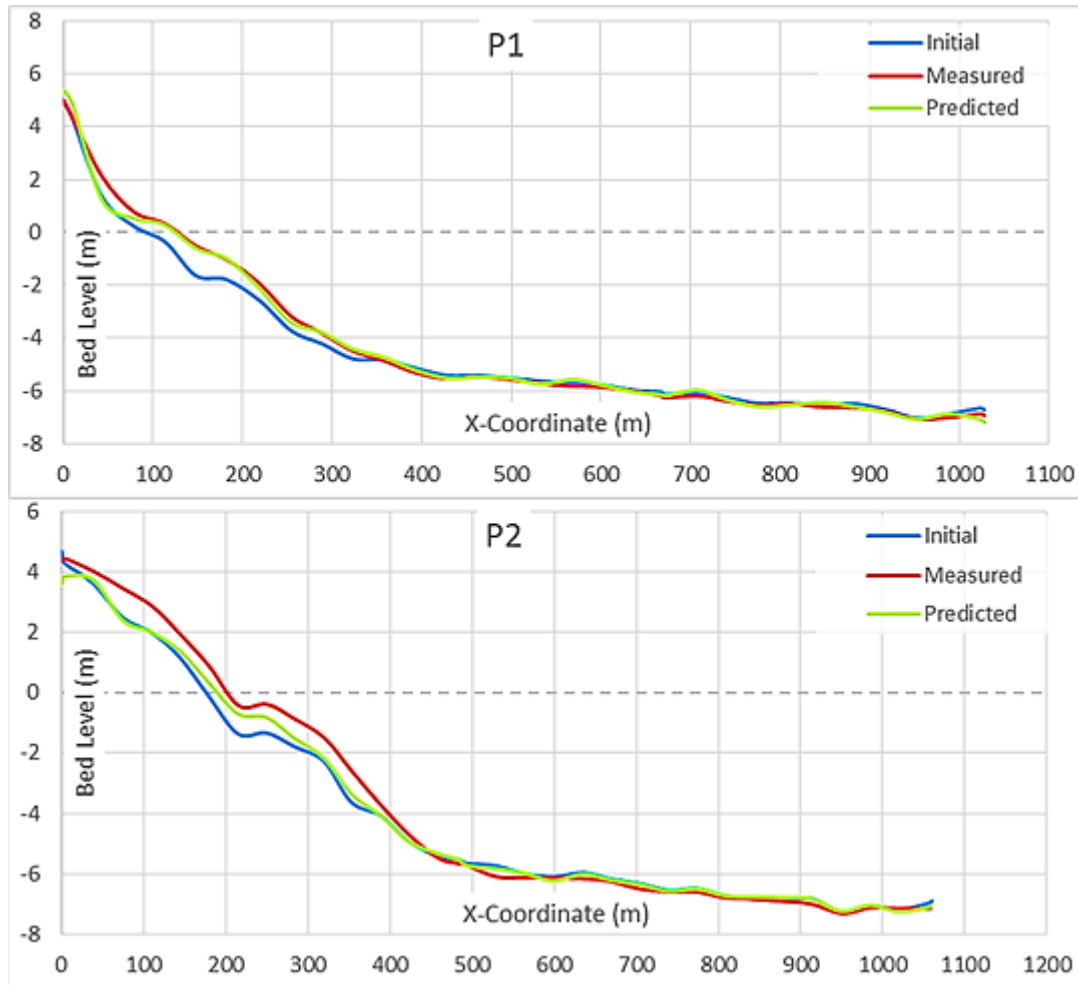


شکل ۴-۱۷ نتایج واسنجی مدل در قالب دو نیمرخ ۱ و ۲

با توجه به نتایج گزارش شده از پردازش واسنجی مدل، بهینه‌سازی مدل نسبتاً موفقیت‌آمیز بوده است.

۲-۴-۴ صحت‌سنجی مدل

حال باید صحت عملکرد مدل برای یک دوره زمانی متفاوت (۱۳۸۵/۱۲ تا ۱۳۸۶/۸) سنجیده شود. نتیجه صحت‌سنجی مدل برای دوره ۸ ماهه در شکل ۴-۱۸ ارائه شده است. همچنین امتیازات مهارت مرحله حساسیت‌سنجی در جدول ۴-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۸ نتایج صحت‌سنجی مدل در قالب دو نیم‌رخ ۱ و ۲

جدول ۴-۱۱ نتیجه امتیاز مهارت مرحله صحت‌سنجی

<i>Profile</i>	<i>BSSup</i>	<i>BSSdown</i>
1	-1.871	86.324
2	-3.733	46.072

با توجه به شکل و جدول گزارش‌شده از حساسیت‌سنجی مدل، نتایج نسبتاً مشابهی با مرحله واسنجی

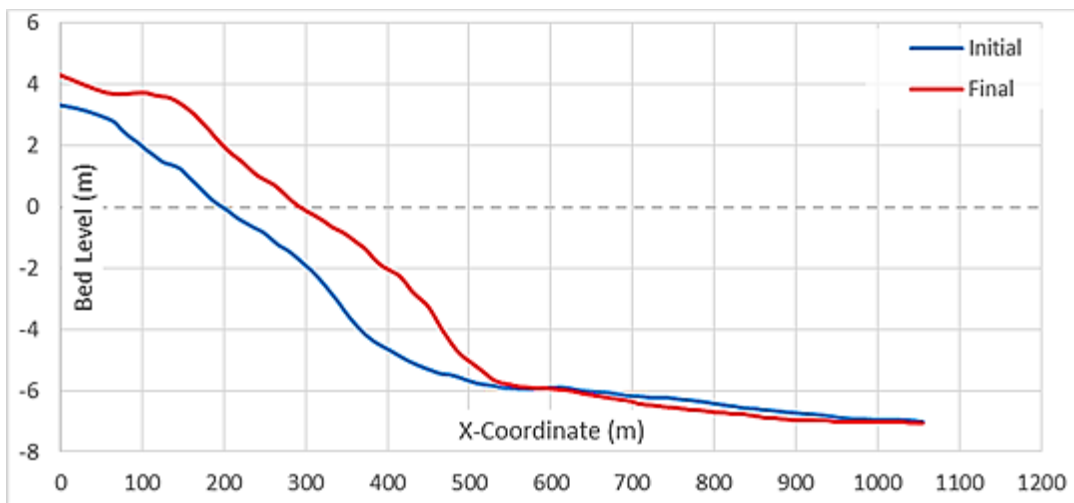
به دست آمده است.

۴-۵ بررسی کارایی دستک بندر زرآباد

برای بررسی روند تغییرات بستر پشت دستک رسوب گیر، از یک نیمرخ به صورت موازی با دستک و در پشت آن، استفاده شده است (شکل ۴-۱۹). همچنین برای این شبیه سازی یک بازه زمانی ۳ ساله در نظر گرفته شد و داده های موج و جزرومد مربوط به اسفند ۱۳۸۴ تا اسفند ۱۳۸۷ به دلیل عدم دسترسی به داده های مربوط به پس از ساخت دستک رسوب گیر، به عنوان ورودی اطلاعات موج استفاده شدند. نتیجه این شبیه سازی در قالب نیمرخ یادشده، در شکل ۴-۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۹ نیمرخ مورد استفاده در بررسی کارایی دستک رسوب گیر



شکل ۴-۲۰ نیمرخ ابتدایی و نهایی در شبیه سازی صورت گرفته به منظور بررسی کارایی دستک رسوبگیر

از دو طریق بررسی مکان تراز صفر و حجم رسوب به بررسی کارایی دستک مورد بحث می پردازیم. حجم رسوب بین دو نیمرخ ابتدایی و انتهایی در عرض ۱ متر، از طریق محاسبه مساحت بین دو نیمرخ، اندازه گیری شد و مقدار تقریبی ۸۸۲,۰۳ متر مکعب به دست آمد. این یعنی در حدود ۲۹۴ متر مکعب رسوب در هر سال که مقدار قابل توجهی است.

همچنین همانطور که در شکل ۴-۲۰ قابل مشاهده است، مکان خط ساحلی در حدود ۱۰۰ متر پیشروی داشته که با توجه به طول ۴۵۰ متری دستک رسوب گیر، مقدار قابل ملاحظه ای است.

فصل ۵ : نتیجہ گیری و پیشہادات

در این فصل به پاسخ و بحث در مورد پرسش‌های اصلی و فرعی مطرح شده در فصل اول پرداخته می‌شود:

۵-۱ پرسش اصلی:

۱. آیا مدل قادر به پیش‌بینی رفتار رسوبات ساحلی در بازه‌های زمانی طولانی می‌باشد؟
 با توجه به مقادیر BSS به دست آمده از مراحل واسنجی و صحت‌سنجی (جدول ۴-۱۰ و جدول ۴-۱۱)، و همچنین جدول ۳-۱۰، کارایی مدل از بالادست تا پایین‌دست، از "عالی" تا "منطقی" برای نواحی زیر آب، تغییر می‌کند. اما مطابق انتظار، برای نواحی خشک، فرسایش بسیار بیش از مقدار واقعی نشان داده شده و کارایی مدل "بد" ارزیابی شده است. بنابراین انتظار می‌رود که استفاده از مدل به صورت یک‌بعدی، کارایی مناسب‌تری نسبت به حالت دوبعدی در بازه‌های زمانی طولانی داشته باشد.

۵-۲ پرسش‌های فرعی:

۱. حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف (β , γ , bedfriccoef , h_{min})
 γ , α , dryslp , wetslp , facAs , facSk) در بازه‌های زمانی طولانی، چقدر و با چه کیفیتی است؟

نتیجه تحلیل حساسیت‌های صورت گرفته به طور خلاصه در جدول زیر گزارش شده است:

جدول ۵-۱ خلاصه تحلیل حساسیت‌های صورت گرفته

توضیحات	تاثیر گذار / بی تاثیر	پارامتر
با افزایش اصطکاک بستر، شیب بستر نیز افزایش می‌یابد که با مشخصات سواحل درشت‌دانه و ریزدانه مطابقت دارد.	✓	<i>bedfriccoef</i>
افزایش این پارامتر باعث افزایش ارتفاع و در نتیجه افزایش انرژی موج در هنگام رسیدن به خشکی می‌شود که فرسایش بیشتری را به همراه خواهد داشت.	✓	<i>gamma</i>

این پارامتر باعث انتقال برخی فرآیندهای ساحلی به سمت خشکی می‌شود و با افزایش آن، کارایی مدل در نواحی خشک افزایش یافت.	✓	<i>beta</i>
به دلیل امواج بسیار ملایم موجود در منطقه در بازه زمانی مورد مطالعه باشد که عملاً از ایجاد شیب‌های تند (بیشتر از شیب بحرانی) جلوگیری می‌کند	x	<i>wetslp & dryslp</i>
با افزایش این پارامتر، مقدار رسوب‌گذاری در بالای نقطه تقاطع افزایش می‌یابد.	✓	<i>alpha</i>
با افزایش مقدار این دو پارامتر، تجمع رسوبات در بالای نقطه تقاطع افزایش یافته و از حجم رسوبات در پایین این نقطه کاسته می‌شود. البته پارامتر چولگی تأثیر کم‌تری در این پژوهش داشته است.	✓	<i>facAs & facSk</i>
با افزایش مقدار این پارامتر، ارتفاع شکست موج افزایش می‌یابد، بنابراین موج با انرژی بیشتری به خشکی رسیده و فرسایش بیشتری را به وجود می‌آورد و در مسیر بازگشت، رسوبات را با خود به ناحیه زیر نقطه تقاطع حمل می‌کند.	✓	<i>gamma</i>
به دلیل ملایم بودن امواج موجود در منطقه و با در نظر گرفتن اینکه این پارامتر برای محدود کردن جریان‌های بازگشتی قوی استفاده می‌شود، این پارامتر تغییرات زیادی را در تغییر شکل نیمرخ‌ها ایجاد نکرده است.	x	<i>hmin</i>

۲. آیا مدل قادر به پیش‌بینی نیمرخ‌های ساحلی اطراف بندر زرآباد در بازه‌های زمانی

طولانی می‌باشد؟

همانطور که گفته شد، دقت مدل با حرکت به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد و بهتر است از مدل به صورت یک‌بعدی استفاده کرد. با این حال نتایج حاصل از مدل‌سازی بندر زرآباد قابل قبول بوده، و می‌توان از آن در مطالعات دیگر استفاده کرد.

۳. آیا دستک ساخته شده بر روی بازوی موج‌شکن بندر زرآباد قادر به جلوگیری از انتقال

رسوبات به دهانه بندر می‌باشد؟

نتیجه پردازش سه‌ساله از مدل واسنجی‌شده، با دخیل کردن دستک رسوب‌گیر ساخته شده، مقدار تقریبی ۲۹۴ مترمکعب رسوب در هر سال را در عرض یک متر در پشت دستک گزارش داد. همچنین در طی این سه سال، خط ساحلی به میزان حدود ۱۰۰ متر پیشروی داشته است که با در نظر گرفتن طول دستک، مقدار قابل توجهی است. این نکته را باید در نظر داشت که طبق گزارش‌های به‌دست‌آمده از بندر زرآباد، ارتفاع امواج طی سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است.

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که دستک رسوب‌گیر ساخته‌شده، بهترین راه برای جلوگیری از انتقال رسوبات به طرف دهانه بندر نمی‌باشد و تنها تاثیر کوتاه‌مدت دارد. همچنین سالانه هزینه زیادی را جهت لایروبی رسوبات پشت دستک در بر خواهد داشت.

۳-۵ پیشنهادات برای کارهای آینده

۱. همانطور که در این مطالعه دیده شد، مدل در پیش‌بینی رفتار نواحی خشک نیمرخ کارایی ندارد. بنابراین شاید بتوان به کمک دخیل کردن فرآیند "انتقال رسوبات ناشی از باد"، دقت مدل را افزایش داد.
۲. در این مطالعه از سری‌های موج به طور کامل استفاده شد. می‌توان تاثیر روش‌های کاهش ورودی^۱ مدل را در نتایج آن بررسی کرد.
۳. یکی از نواقص مدل، پیش‌بینی نامناسب تشکیل پشته ساحلی است که می‌تواند موضوع جالبی برای مطالعه باشد.
۴. همانطور که گفته شد، این مدل شامل تعداد بسیاری از پارامترهای اختیاری است. می‌توان تاثیر آن‌ها را در نتایج مدل مورد مطالعه قرار داد.
۵. همانطور که نتیجه شد، دستک رسوب‌گیر ساخته‌شده کارایی مناسبی در طولانی‌مدت نخواهد

^۱ Input reduction methods

داشت. بنابراین مطالعه روش‌های مناسب‌تر برای رفع مشکل رسوب‌گذاری بندر، می‌تواند موضوع جالبی برای تحقیق باشد.

پیوست (الف) : کد متلب انتقال امواج

```
clear
clc
cd 'C:\Users\DATA RAYANEH SHOMAL\Desktop\xb';
data=xlsread('waveshal.xlsx');
alfaz=data(:,3);
if(alfaz<=180)
    alfaz=180-alfaz;
else
    alfaz=(270-alfaz);
end
alfaz=alfaz.*pi./180;
%alfaz=abs((pi)-alfaz);
hz=data(:,1);
l=zeros(14664,1);
ll=zeros(14664,1);
d2=600;
T=data(:,2);
lenT=size(T,1);
L2=0:703;
g=9.81;
d=25;
for t=1:lenT
    eps=703;
    for L2=0:703
        L1=((g*T(t)^2)/(2*pi))*tanh(2*pi*d/L2);
        if abs(L1-L2)<eps
            eps=abs(L1-L2);
            l(t)=L1;
        end
    end
end
end
%%d=16;
for t=1:lenT
    eps=703;
    for L2=0:703
        L1=((g*T(t)^2)/(2*pi))*tanh(2*pi*d2/L2);
        if abs(L1-L2)<eps
            eps=abs(L1-L2);
            ll(t)=L1;
        end
    end
end
end
k=2*pi./l;
n=(1/2).*(1+(2.*k.*d)./sinh(2.*k.*d));
ks=sqrt(ll./(2.*n.*1));
alfa=asin((l./ll).*sin(alfaz));
kr=sqrt(abs((cos(alfaz))./cos(alfa)));
h=kr.*ks.*hz;
roh=1025;
E=((roh*g/8)*h.^2.*1);
x=l./ll;
```

پیوست (ب) : نمونه‌ای از فایل params.txt

```
%% Grid parameters %%%
gridform = delft3d
depfile = 54.dep
xyfile = curvN.grd
posdwn = -1.0000
thetamin = 110
thetamax = 260
thetanaut = 1
dtheta = 10.0000

%% Model time parameters %%%
CFL = .7000
tstop = 15156000

%% Wave boundary condition parameters %%%
instat = stat_table
bcfile = StatFeb-Sep.txt
nmax = .9000
lateralwave = neumann
maxiter = 200
scheme = upwind_1
maxerror= 0.0005

%% Flow boundary condition parameters %%%
front = abs_1d
left = neumann
right = neumann
back = abs_1d
carspan = 0
tidetype = instant

%% Tide boundary conditions %%%
tideloc = 1
zs0file = T2-9no0.txt

%% Wave breaking parameters %%%
break = baldock
gamma = .78
alpha = 1.2620
gammax = 2.3640

%% Flow parameters %%%
bedfriction = cf
bedfriccoef = .002

%% Sediment transport parameters %%%
form = vanthiel_vanriijn
waveform = ruessink_vanriijn
BRfac = 1.0000
facsl = .1500
facua = .1000
facSk = .3750
facAs = .1230
turbadv = none
turb = wave_averaged
Tbfac = 1.0000
Tsmmin = .5000
```

```
fallvelred = 1
bdslpeffmag = soulsby_bed
bdslpeffini = total
bdslpeffdir = talmon
bdslpeffdirfac = 1.0000
```

```
%% Bed composition parameters %%%%%%%%%%
```

```
ngd = 1
nd = 3
por = .4000
D50 = .0003
D90 = .0005
rhos = 2650.0000
dzc = .1000
dzc1 = .1000
dzc2 = .1000
dzc3 = .1000
sedcal = 1.0000
ucrcal = 1.0000
```

```
%% Morphology parameters %%%%%%%%%%
```

```
morfac = 10.0000
morfacopt = 1
morstart = 0
morstop = 15156000
wetslp = .2600
dryslp = 1.0000
hswitch = .1000
dzmax = .0500
struct = 1
ne_layer = ne54.dep
```

```
%% Output variables %%%%%%%%%%
```

```
outputformat=netcdf
tstart = 0
tintg = 3600.0000
tintm = 3600.0000
nglobalvar = 7
zb
zs
H
u
v
sedero
thetamean
```

```
%% Flow numerics parameters %%%%%%%%%%
```

```
oldhu = 1
```

```
%% Sediment transport numerics parameters %%%%%%%%%%
```

```
thet anum = 1.0000
sourcesink = 0
cmax = .1000
```

مراجع

1. TABASI, M., M. SOLTANPOUR, and M.P. RAVINDRA. *STUDY AND MODELING OF CROSS-SHORE SEDIMENT TRANSPORT AT ZARABAD FISHERY PORT*. in *37thIAHR World Congress*. 2017. Kuala Lumpur, Malaysia.
2. Bosch, T., et al., *World Ocean Review 2010: Living with the oceans*. 2010, Mare.
3. Harlioglu, M. and A. Farhadi, *Iranian Fisheries Status: An Update (2004-2014)*. Fish Aqua J, 2017. **8**(192): p. 2.
4. Bart, L., *Long-term modelling with XBeach: combining stationary and surfbeat mode in an integrated approach*. 2017, Delft University of technology.
5. Virkkunen, I., et al., *Grown cracks for NDT development and qualification*. Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, 2009. **51**(5): p. 271-278.
6. Deltares. *about Delft3D*. Delft3D 2018; Available from: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/about>.
7. Van Rijn, L., *General view on sand transport by currents and waves: data analysis and engineering modelling for uniform and graded sand (TRANSPOR 2000 and CROSMOR 2000 models)*. Z2899. 29/Z2099. 30/Z2824. 30. 2001, Delft, The Netherlands: WL| Delft Hydraulics.
8. Trouw, K.J.M., et al., *Numerical modelling of hydrodynamics and sediment transport in the surf zone: a sensitivity study with different types of numerical models*. Coastal Engineering Proceedings, 2012. **1**(33): p. 23.
9. Roelvink, v.D., et al., *XBeach Technical Reference: Kingsday Release*. Model description and reference guide to functionalities, 2015.
10. Sorensen, R.M., *Basic coastal engineering*. Vol. 10. 2005: Springer Science & Business Media.
11. Roelvink, J. and M. Stive, *Bar-generating cross-shore flow mechanisms on a beach*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 1989. **94**(C4): p. 4785-4800.
12. Grant, W.D. and O.S. Madsen, *Combined wave and current interaction with a rough bottom*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 1979. **84**(C4): p. 1797-1808.
13. Mariño-Tapia, I., et al., *Cross-shore sediment transport on natural beaches and its relation to sandbar migration patterns: 2. Application of the field transport parameterization*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2007. **112**(C3).
14. Van Thiel de Vries, J., *Dune erosion during storm surges*. 2009.
15. Fredsoe, J., B.M. Sumer, and M. Arnskov. *Time scale for wave/current scour below pipelines*. in *The First International Offshore and Polar Engineering Conference*. 1991. International Society of Offshore and Polar Engineers.
16. Raubenheimer, B., R. Guza, and S. Elgar, *Wave transformation across the inner surf zone*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 1996. **101**(C11): p. 25589-25597.
17. Mangor, K. *Coastal Hydrodynamics And Transport Processes*. 2019.
18. Munk, W.H., *Origin and generation of waves*. 1951, SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY LA JOLLA CALIF.
19. Aucan, J. and F. Ardhuin, *Infragravity waves in the deep ocean: An upward revision*. Geophysical Research Letters, 2013. **40**(13): p. 3435-3439.

20. Wright, J., A. Colling, and D. Park, *Waves, tides and shallow-water processes*. Vol. 4. 1999: Gulf Professional Publishing.
21. Battjes, J., et al., *Shoaling of subharmonic gravity waves*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2004. **109**(C2).
22. Elsayed, O. and H. Oumeraci, *Breaching of Coastal Barriers under Extreme Storm Surges and Implications for Groundwater Contamination: Improvement and Extension of the XBeach Model to Account for New Physical Processes*. 2015, Internal Report.
23. Horn, D.P., *Beach groundwater dynamics*. Geomorphology, 2002. **48**(1-3): p. 121-146.
24. Elfrink, B. and T. Baldock, *Hydrodynamics and sediment transport in the swash zone: a review and perspectives*. Coastal Engineering, 2002. **45**(3-4): p. 149-167.
25. Hsu, T.J. and D.M. Hanes, *Effects of wave shape on sheet flow sediment transport*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2004. **109**(C5).
26. Cox, D., W. Hobensack, and A. Sukumaran, *Bottom stress in the inner surf and swash zone*. Coastal Engineering(2000), 2001: p. 108-119.
27. Dohmen-Janssen, C.M., et al., *Phase lags in oscillatory sheet flow: experiments and bed load modelling*. Coastal Engineering, 2002. **46**(1): p. 61-87.
28. Butt, T. and P. Russell, *Suspended sediment transport mechanisms in high-energy swash*. Marine Geology, 1999. **161**(2-4): p. 361-375.
29. Drake, T.G. and J. Calantoni, *Discrete particle model for sheet flow sediment transport in the nearshore*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2001. **106**(C9): p. 19859-19868.
30. Elgar, S., *Coastal profile evolution at Duck, North Carolina: A cautionary note*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2001. **106**(C3): p. 4625-4627.
31. Ruessink, B.G., et al., *Observations of velocities, sand concentrations, and fluxes under velocity-asymmetric oscillatory flows*. Journal of geophysical research: Oceans, 2011. **116**(C3).
32. Dally, W., *Surf zone processes, Encyclopedia of Coastal Science*. 2005, Springer Netherlands.
33. Dally, W.R. and C.A. Brown, *A modeling investigation of the breaking wave roller with application to cross-shore currents*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 1995. **100**(C12): p. 24873-24883.
34. Dally, W.R., R.G. Dean, and R.A. Dalrymple, *A model for breaker decay on beaches*. Coastal Engineering Proceedings, 1984. **1**(19).
35. Nielsen, P., *Shear stress and sediment transport calculations for swash zone modelling*. Coastal Engineering, 2002. **45**(1): p. 53-60.
36. Maddux, T.B., et al., *The Cross-shore sediment transport experiment (CROSSTEX)*, in *Coastal Engineering 2006: (In 5 Volumes)*. 2007, World Scientific. p. 2547-2559.
37. Chang, H.-K., W.-W. Chen, and J.-C. Liou, *Shifting the waterlines of satellite images to the mean water shorelines considering wave runup, setup, and tidal variation*. Journal of Applied Remote Sensing, 2015. **9**(1): p. 096004.
38. Svendsen, I.A. and U. Putrevu, *Nearshore mixing and dispersion*. Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences, 1994. **445**(1925): p. 561-576.
39. Grasmeyer, B.T., *Process-based cross-shore modelling of barred beaches*. 2002.
40. Roelvink, D., et al., *Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands*. Coastal engineering, 2009. **56**(11-12): p. 1133-1152.

41. De Vries, S., et al., *Dune behavior and aeolian transport on decadal timescales*. Coastal Engineering, 2012. **67**: p. 41-53.
42. Van Geer, P., et al., *XBeach 1D-Probabilistic model: ADIS, Settings, Model uncertainty and Graphical User Interface*. Tec. Rep 1209436-002-HYE, 2015. **1**.
43. Wang, L., et al., *Scientific support regarding hydrodynamics and sand transport in the coastal zone: Calibration of a Long term morphological model of the Belgian shelf*. WL Rapporten, 2015.
44. Pender, D. and H. Karunarathna, *A statistical-process based approach for modelling beach profile variability*. Coastal Engineering, 2013. **81**: p. 19-29.
45. Jensen, S.G., et al., *Berm formation and dynamics on a gently sloping beach; the effect of water level and swash overtopping*. Earth Surface Processes and Landforms, 2009. **34**(11): p. 1533-1546.
46. Bodde, W., et al., *Long-term morphological modelling: combining storm impact and daily conditions in an integrated modeling framework*. Coastal Dynamics 2017, 2017.
47. Van Bemmelen, C., *Long Term Process-Based Morphological Modelling of Pocket Beaches*. 2017.
48. Albert, K.M., *Modeling Morphological Change on Western Kenai Peninsula Beaches*. 2017, University of Alaska Anchorage.
49. Laknath, D. and J. Sasaki. *Elucidation of Seasonal Sediment Transport Processes in Kirinda Fishery Harbour in Sri Lanka using XBeach Model*. in *The Twenty-second International Offshore and Polar Engineering Conference*. 2012. International Society of Offshore and Polar Engineers.
50. Smit, P., et al., *XBeach: Non-hydrostatic model*. Report, Delft University of Technology and Deltares, Delft, The Netherlands, 2010.
51. Holthuijsen, L., N. Booij, and T. Herbers, *A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents*. Coastal engineering, 1989. **13**(1): p. 23-54.
52. Walstra, D., et al. *The effects of bed slope and wave skewness on sediment transport and morphology*. in *Coastal Sediments*. 2007. ASCE New Orleans, USA.
53. Bosboom, J. and A. Reniers, *Displacement-based error metrics for morphodynamic models*. Advances in Geosciences, 2014. **39**: p. 37-43.
54. Van Rijn, L., et al., *The predictability of cross-shore bed evolution of sandy beaches at the time scale of storms and seasons using process-based profile models*. Coastal Engineering, 2003. **47**(3): p. 295-327.

Abstract

Among the numerous problems that decrease the capability of a harbor in the country, seasonal sedimentation is identified as a major problem for many fishery harbors. In 2007, Zarabad Fishery Harbor conditions were also identified as critical due to the large volume of sand accumulation and consequent closure of its entrance. Numerical modeling of coastal bed level change was implemented to provide insight into the typical response of the Zarabad beach to regular wave attacks, and to obtain an operational and validated model for the site. Advanced numerical models employed to predict coastal evolution at a variety of time and spatial scales usually include many free parameters that require calibration to the available field data. The XBeach numerical model was selected for its capacity to accurately model hydrodynamic and morphological processes over a two-dimensional domain. It comprises about 250 model settings that approximately 150 of these settings relate to physical and numerical Behavior and the other 100 are case-specific parameters. In this research, 10 parameters are adopted to optimize the model prediction efficiency for Zarabad Fishery Harbor area. For calibration and validation stages, two cross-shore profiles and two medium-term time periods are selected. The model showed great promise in predicting the evolution of cross-shore profiles under water, but as expected, the dry part results showed major errors. XBeach proved to be an operational tool to predict cross-shore profiles in the area, in such timescales.

Keywords: Sedimentation, Numerical modeling, cross-shore profile, Fishery harbor, XBeach



Shahrood University of
Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Coastal Engineering, Ports and Marine Structures

Long-Term Investigation of Cross- Shore Profile Changes In Sandy Beaches Using XBeach

By: Ali Shams Derakhshan

Supervisor:

Dr. Mahdi Adjami

Dr. Seyed Ahmad Neshaei

June 2019