

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی

ارزیابی سریع رسوب‌گذاری در بندر و کانال با استفاده از یک مدل ترکیبی بهبود یافته

نگارنده: هیوا کرمی

استاد راهنما

دکتر مهدی عجمی

دی 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 ہے:

پدرن مادر و ہمسر عزیزم

و بہ تمام آزادگانی کہ نیک می اندیشند.

ضمن عرض تشکر از همسر عزیزم که بی وجود نازنین و کمک های بی دریغش به پایان رساندن این تحقیق

امکان پذیر بود، از حضور استاد راهنمای کراتقدم که روشی بخش مسیر این تحقیق بودند کمال تشکر و امتنان

را دارم.

تعمیرنامه

اینجانب هیوا کرمی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد (دکتری) رشته مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه ارزیابی سریع رسوب‌گذاری در بندر و کانال با استفاده از یک مدل ترکیبی بهبود یافته تحت راهنمایی دکتر مهدی عجمی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها 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 پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

حکیده

پدیده‌ی رسوب‌گذاری و لای‌زایی همواره یکی از مشکلات اصلی در بنادر و کانال دسترسی آنها بوده است که با توجه به هزینه‌ی بالای عملیات لایروبی، این پدیده می‌تواند سودآوری و بازدهی بندر را تحت تاثیر قرار دهد. لذا توجه به نرخ رسوب‌گذاری به عنوان یک عامل تعیین کننده در تمامی مراحل طراحی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین برای دستیابی به یک طراحی بهینه که کمترین نرخ رسوب‌گذاری را در بلندمدت داشته باشد می‌بایست در همان مراحل ابتدایی طراحی به این پدیده توجه ویژه‌ای شود. از طرفی به دلیل اینکه در مراحل ابتدایی طراحی طرح‌های متعددی جهت بررسی وجود دارد می‌بایست برای محاسبه‌ی نرخ رسوب‌گذاری در دوره‌های بلندمدت از روشی سریع و قابل اتکا استفاده نمود. بدین منظور فن لیوون (۲۰۱۵) برای ارزیابی سریع رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی در بازه‌های بلندمدت، "مدل ترکیبی" را ارائه و با اعمال موفقیت‌آمیز آن به بندر ایمودن^۱، میزان رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی را با سرعت بالا و انطباق بسیار خوبی محاسبه نمود. لذا در این تحقیق سعی شده است که با مبنا قرار دادن "مدل ترکیبی"، با ایجاد ارتباط میان تغییرات خط ساحلی و غلظت رسوبات و همچنین با به کارگیری فرضیات متناسب با منطقه بندر نوشهر، عملکرد مدل برای این محدوده بهبود داده شود. نتایج حاصل از اعمال "مدل ترکیبی بهبود یافته" به بندر نوشهر برای یک دوره ۲۰ ساله نشان می‌دهد که با ایجاد ارتباط میان غلظت رسوبات معلق و خط ساحلی، دقت "مدل ترکیبی بهبود یافته" در پیش‌بینی تغییرات نرخ رسوب‌گذاری، افزایش چشمگیری داشته و تغییرات بلندمدت نرخ رسوب‌گذاری را به خوبی پیش‌بینی نموده است. همچنین با به کارگیری فرضیات ساده کننده و استفاده از روابط متناسب با شرایط منطقه‌ی مورد مطالعه، دقت مدل در پیش‌بینی نرخ رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی آن افزایش یافته است.

کلمات کلیدی: رسوب، بنادر، حوضچه، کانال دسترسی، خط ساحلی، مدل ترکیبی، نوشهر

¹ Ijmuiden

فهرست مطالب

ح	چکیده
أ	فهرست مطالب
ز	فهرست جداول
ح	فهرست اشکال
۱	فصل ۱: مقدمه و کلیات
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ طرح و بیان مسئله تحقیق
۴	۳-۱ اهمیت و ضرورت انجام تحقیق
۵	۴-۱ اهداف تحقیق
۵	۵-۱ پرسش‌های تحقیق
۵	۶-۱ ساختار پایان نامه و روند بررسی و تحلیل موضوع
۷	فصل ۲: مرور ادبیات فنی
۸	۲-۱ مقدمه

۲-۲ فرآیندهای تاثیرگذار بر میزان رسوب گذاری در بندر ۸

۱-۲-۲ تبادل آب میان بندر و آبهای پیرامونی ۸

۲-۲-۲ هندسه بندر ۱۳

۳-۲-۲ انتقال رسوب ۱۴

۳-۲ فرآیندهای تاثیرگذار بر میزان رسوب گذاری در کانال دسترسی ۱۵

۴-۲ اثرات احداث بندر بر عوامل موثر در میزان رسوب گذاری ۱۶

۱-۴-۲ تغییرات خط ساحلی ۱۸

۲-۴-۲ کنارگذری رسوبات ۱۹

۳-۴-۲ میدان جریان ۱۹

۲-۵ ابزارهای مدل سازی رسوب گذاری در بندر و کانال دسترسی ۲۰

۱-۵-۲ روابط تجربی ۲۰

۲-۶ ابزارهای مدل سازی خط ساحلی ۲۹

۲-۷ ابزارهای محاسبه سرعت و جهت جریان ۳۰

۸-۲ جمع بندی ۳۱

۳۲

فصل ۳ : مواد و روش های مدل سازی

۱-۳ مقدمه ۳۴

- ۳-۲ مفهوم کلی مدل ترکیبی فن لیوون ۳۴
- ۳-۳ ابزارهای مورد استفاده در مدل ترکیبی ۳۶
- ۳-۳-۱ مدل خط ساحلی یک بعدی ۳۶
- ۳-۳-۲ امواج و انتقال رسوب کرانه‌ای ۳۷
- ۳-۳-۳ تعیین زاویه‌ی خط ساحلی ۳۸
- ۳-۳-۴ تغییرات خط ساحلی ۴۸
- ۳-۳-۵ استخراج خط ساحلی ۵۰
- ۳-۴ مدل جریان ۵۰
- ۳-۴-۱ شبکه بندی و عمق سنجی ۵۲
- ۳-۴-۲ ساده‌سازی داده‌های موج ۵۸
- ۳-۵ رسوب‌گذاری در کانال دسترسی ۵۹
- ۳-۵-۱ پیاده سازی ۵۹
- ۳-۶ رسوب‌گذاری در بندر ۶۰
- ۳-۷ تغییرات غلظت رسوبات ۶۰
- ۳-۸ نحوه‌ی اتصال زیرمجموعه‌های مدل ترکیبی ۶۲
- ۳-۸-۱ خط ساحلی و شبکه بندی مدل دو بعدی ۶۲

۶۴	..... مدل جریان و SED-PIT ۳-۸-۲
۶۵	..... مدل جریان و SED-HAR ۳-۸-۳
۶۶	..... تبادل داده ۴-۸-۳
۶۸	..... حوزه‌ی کاربرد ۹-۳
۶۸	..... جمع بندی ۱۰-۳
۶۸	..... تغییرات اعمال شده در مدل ترکیبی ۱-۱۰-۳
۷۰	..... فرضیات ساده کننده و ساده‌سازی‌های صورت گرفته ۱۱-۳
۷۱	فصل ۴: پیاده سازی مدل ترکیبی بهبود یافته
۷۲	..... مقدمه ۱-۴
۷۲	..... معرفی بندر و ساحل نوشهر ۲-۴
۷۳	..... بررسی داده ها ۳-۴
۷۴	..... هندسه و جانمایی بندر نوشهر ۱-۳-۴
۷۵	..... داده‌های عمق سنجی ۲-۳-۴
۷۶	..... تغییرات خط ساحلی ۳-۳-۴
۷۶	..... جزر و مد ۴-۳-۴
۷۸	..... امواج ۵-۳-۴

- ۷۸..... رسوبات ۶-۳-۴
- ۸۰..... انتقال رسوب کرانه ای ۷-۳-۴
- ۸۱..... لایروبی ۸-۳-۴
- ۸۲..... پیاده سازی مدل ۴-۴
- ۸۳..... مدل خط ساحلی یک بعدی ۱-۴-۴
- ۸۸..... هندسه بندر و ساحل ۲-۴-۴
- ۹۱..... پنجره‌ی تابش موج ۳-۴-۴
- ۹۲..... پارامترهای عددی ۴-۴-۴
- ۹۲..... مدل عددی جریان ۵-۴
- ۹۳..... ساخت محیط مدل ۱-۵-۴
- ۹۶..... اجرای مدل امواج طیفی ۲-۵-۴
- ۹۸..... استخراج سرعت و جهت جریان ۳-۵-۴
- ۹۹..... رسوب‌گذاری در کانال دسترسی ۶-۴
- ۱۰۰..... رسوب‌گذاری در بندر ۷-۴
- ۱۰۱..... سایر پارامترها ۸-۴

فصل ۵: بحث و بررسی نتایج

۱۰۳

۱-۵ مقدمه ۱۰۴

۲-۵ نتایج به دست آمده از مدل ۱۰۴

۱-۲-۵ انتقال رسوب کرانه ای ۱۰۴

۲-۲-۵ تغییرات خط ساحلی ۱۰۵

۳-۲-۵ میدان جریان ۱۰۷

۴-۲-۵ میزان رسوب گذاری در کانال دسترسی ۱۱۰

۵-۲-۵ رسوب گذاری در حوضچه بندر ۱۱۰

۳-۵ تحلیل نتایج مدل ترکیبی بهبود یافته ۱۱۱

۱-۳-۵ مدل خط ساحلی یک بعدی ۱۱۲

۲-۳-۵ مدل عددی جریان ۱۱۲

۳-۳-۵ رسوب گذاری در بندر و کانال دسترسی ۱۱۳

۴-۵ بحث و نتیجه گیری ۱۱۵

۱-۴-۵ پاسخ به پرسشهای تحقیق ۱۱۶

۲-۴-۵ مقایسه عملکرد مدل ترکیبی و مدل ترکیبی بهبود یافته ۱۱۷

۳-۴-۵ جمع بندی ۱۲۰

۱۲۰	..... ۵-۵ پیشنهادات
۱۲۱	پیوست ۱: تنظیمات مدول امواج طیفی (Spectral Waves FM)
۱۳۰	پیوست ۲: تنظیمات مدول مدل جریان (Flow Model FM)
۱۵۰	مراجع

فهرست جداول

جدول ۱-۳	نمونه‌ای از جدول موج با نمایش ارتفاع موج مشخصه، جهت انتشار و درصد وقوع (فن لیوون، ۲۰۱۵).....	۳۷
جدول ۲-۳	فرضیات و ساده‌سازیهای صورت گرفته در مدل ترکیبی بهبود یافته.....	۷۰
جدول ۱-۴	پارامترهای موج ارائه شده توسط کمفس.....	۸۷
جدول ۲-۴	زوایای پنجره‌های تابش موج برای هر نقطه (از غرب به شرق).....	۹۲
جدول ۳-۴	تنظیمات مدول امواج طیفی.....	۹۷
جدول ۴-۴	تنظیمات مدول جریان.....	۹۹
جدول ۱-۵	مقایسه عملکرد مدل ترکیبی بهبود یافته با مدل ترکیبی.....	۱۱۸

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ فرآیندهای تبادل جریان در بندر (Coastalwiki.org) ۹
- شکل ۲-۲ ضریب تجربی وابسته به هندسه بندر (Coastalwiki.org) ۱۰
- شکل ۳-۲ تبادل عمودی آب به دلیل اختلاف فشار ناشی از گرادیان چگالی (پیانک، ۲۰۰۸) ۱۱
- شکل ۴-۲ زاویه‌ی نسبی کانال و جریان (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۱۷
- شکل ۵-۲ تاثیرات وجود بندر در ناحیه ساحلی (vilz.be) ۱۷
- شکل ۶-۲ اثر احداث آب‌شکن‌های کوتاه و بلند بر تغییرات خط ساحلی (vilz.be) ۱۸
- شکل ۷-۲ نمای کلی روابط تجربی رسوب‌گذاری در کانال (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۲۲
- شکل ۸-۲ نمای کلی رابطه‌ی ایسینک (Coastalwiki.org) ۲۷
- شکل ۹-۲ رسوب‌گذاری در یک سلول ساحلی (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۲۹
- شکل ۱-۳ موقعیت مکانی مدل‌ها نسبت به یکدیگر (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۳۵
- شکل ۲-۳ نمای کلی از نحوه عملکرد مدل (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۳۶
- شکل ۳-۳ زوایای مختلف ساحل ۳۸
- شکل ۴-۳ یک زاویه ساحل و یک زاویه انتشار موج (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۳۹
- شکل ۵-۳ یک زاویه ساحل و تمامی زوایای انتشار موج (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۳۹
- شکل ۶-۳ منحنی انتقال رسوب برای زوایای مختلف ساحل (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۴۰
- شکل ۷-۳ نمونه‌ای از اعمال اثر حضور موج‌شکن توسط پنجره موج (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۴۱
- شکل ۸-۳ گره‌های مدل خط ساحلی یک بعدی (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۴۲
- شکل ۹-۳ رابطه‌ی ایجاد شده میان توزیع عرضی انتقال رسوب کرانه‌ای و کنارگذری توسط فن لیوون (۲۰۱۵) ۴۳

- شکل ۳-۱۰ مفاهیم به کار برده شده در محاسبه کنارگذری (کمفس، ۲۰۰۰) ۴۴
- شکل ۳-۱۱ مثالی از گره‌های نزدیک بندر (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۴۶
- شکل ۳-۱۲ حالت‌های مختلف انتقال رسوب در دو سمت بندر (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۴۷
- شکل ۳-۱۳ جلو رفتگی خط ساحل (رسوب‌گذاری) (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۴۹
- شکل ۳-۱۴ جابجایی گره از نقطه Q به نقطه Q' برای هموار سازی مش (انیستیتو هیدرولیک دانمارک) ۵۳
- شکل ۳-۱۵ درونبایی گره P با استفاده از سه داده‌ی عمق مجزا و وزن‌های مربوطه (انیستیتو هیدرولیک دانمارک) ۵۴
- شکل ۳-۱۶ نحوه‌ی تعیین محدوده‌ی مدل جریان ۵۵
- شکل ۳-۱۷ شبکه بندی محدوده‌ی بندر در مدل جریان ۵۶
- شکل ۳-۱۸ مقطع عرضی ساحل: کشیدگی و فشردگی قسمت بالایی نیمرخ عرضی (فن لیوون، ۲۰۱۵) ۵۷
- شکل ۳-۱۹ عمق دهی به مدل جریان با استفاده از نیمرخ تعادلی دین ۵۷
- شکل ۳-۲۰ توزیع عرضی غلظت رسوب در راستای عمود بر ساحل ۶۱
- شکل ۳-۲۱ تبدیل سیستم مختصات یوتیام به مختصات محلی ۶۳
- شکل ۳-۲۲ استخراج داده و فاصله رواداری برای کانال دسترسی ۶۵
- شکل ۳-۲۳ استخراج داده و فاصله رواداری برای دهانه بندر ۶۶
- شکل ۳-۲۴ فلوجارت نحوه عملکرد مدل ترکیبی بهبود یافته ۶۷
- شکل ۴-۱ موقعیت جغرافیایی بندر نوشهر ۷۳
- شکل ۴-۲ سواحل شرقی و غربی بندر نوشهر ۷۳
- شکل ۴-۳ طرح بندی بندر نوشهر (maps.google.com) ۷۴

- شکل ۴-۴ جانمایی کانال دسترسی بندر نوشهر (maps.google.com) ۷۴
- شکل ۵-۴ شماتیک مقطع عرضی کانال دسترسی بندر نوشهر (ابعاد به متر) ۷۵
- شکل ۶-۴ عمق بستر بندر نوشهر (رستمی، ۱۳۹۰) ۷۵
- شکل ۷-۴ تغییرات خط ساحلی در بندر نوشهر (تعیین شده توسط تصاویر ماهواره های) ۷۷
- شکل ۸-۴ روند تغییرات خط ساحلی بندر نوشهر (مصطفایی و نورمند، ۱۳۹۶) ۷۷
- شکل ۹-۴ نمودار دانه بندی ۴ نمونه رسوبات بندر نوشهر (رستمی و همکاران، ۱۳۹۴) ۷۹
- شکل ۱۰-۴ محل های نمونه برداری (رستمی و همکاران، ۱۳۹۴) ۷۹
- شکل ۱۱-۴ نمودار وضعیت لایروبی بندر نوشهر (سالاریان و مصطفایی، ۱۳۹۴) ۸۲
- شکل ۱۲-۴ حجم لایروبی سالانه بندر نوشهر به تفکیک کانال دسترسی و حوضچه (رستمی و همکاران، ۱۳۹۴) ۸۲
- شکل ۱۳-۴ جدول موج بندر نوشهر (پریود پیک برای هر موج با جهت و ارتفاع مشخص) ۸۳
- شکل ۱۴-۴ جدول موج بندر نوشهر (درصد وقوع برای هر موج با جهت و ارتفاع مشخص) ۸۴
- شکل ۱۵-۴ زاویه کلی ساحل نسبت به شمال ۸۴
- شکل ۱۶-۴ زوایای مختلف ساحلی ۸۵
- شکل ۱۷-۴ نمودار $kd-d/L_0$ ۸۸
- شکل ۱۸-۴ خط مبنا و خطوط ساحلی در سال های ابتدایی و انتهایی مدل ۸۹
- شکل ۱۹-۴ جانمایی محل موج شکن ها ۹۰
- شکل ۲۰-۴ نیمرخ عرضی، عمق پایانی و طول نیمرخ فعال ۹۰
- شکل ۲۱-۴ پنجره های تابش موج در طول ساحل ۹۱
- شکل ۲۲-۴ خط ساحلی ایجاد شده توسط مدل یک بعدی و جانمایی بندر ۹۳
- شکل ۲۳-۴ تعیین محدوده ی مدل جریان ۹۴

- شکل ۴-۲۴ شبکه بندی مدل جریان ۹۴
- شکل ۴-۲۵ عمق دهی مدل جریان ۹۵
- شکل ۴-۲۶ محدوده‌ی مدل جریان مربوط به خط ساحلی سال ۱۳۷۶ ۹۵
- شکل ۴-۲۷ شبکه بندی مدل جریان در سال‌های مختلف ۹۶
- شکل ۴-۲۸ مقطع کانال نوشهر در رابطه تجربی SED-PIT ۱۰۰
- شکل ۴-۲۹ عرض دهانه ورودی بندر ۱۰۱
- شکل ۴-۳۰ اندیس شکست موج (ایستگاه تحقیقاتی هیدرولیک) ۱۰۲
- شکل ۵-۱ آهنگ انتقال رسوب کرانه‌ای با توجه به زاویه‌ی ساحل ۱۰۵
- شکل ۵-۲ مقایسه خطوط ساحلی محاسبه شده با رابطه کمفس (۲۰۰۰) با خطوط ساحلی اندازه‌گیری شده ۱۰۶
- شکل ۵-۳ مقایسه خطوط ساحلی محاسبه شده با رابطه کمفس اصلاح شده توسط اسمعیل پور (۱۳۹۷) با خطوط ساحلی اندازه‌گیری شده ۱۰۶
- شکل ۵-۴ میدان جریان محاسبه شده در سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۹۶ برای یک موج یکسان ۱۰۸
- شکل ۵-۵ سرعت جریان محاسبه شده در طول کانال در سال‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۹۹ توسط مدل ترکیبی فن لیوون ۱۰۸
- شکل ۵-۶ سرعت جریان در طول کانال دسترسی ۱۰۹
- شکل ۵-۷ سرعت جریان در عرض دهانه بندر ۱۰۹
- شکل ۵-۸ روند رسوب‌گذاری در کانال دسترسی در سال‌های مختلف ۱۱۰
- شکل ۵-۹ روند رسوب‌گذاری در حوضچه بندر در سال‌های مختلف ۱۱۱
- شکل ۵-۱۰ خطوط ساحلی محاسبه شده توسط مدل ترکیبی فن لیوون (۲۰۱۵) ۱۱۲

شکل ۵-۱۱ تغییرات سرعت جریان ناشی از دو موج متفاوت در طول کانال در سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۹۶

۱۱۳.....

شکل ۵-۱۲ رسوب‌گذاری در بندر (راست) و کانال (چپ) بین سال‌های مختلف توسط مدل ترکیبی فن

لیوون ۱۱۴.....

شکل ۵-۱۳ مقایسه‌ی حجم لایروبی سالانه بندر نوشهر و نتایج حاصل از مدل ترکیبی بهبود یافته..... ۱۱۵

شکل ۵-۱۴ مقایسه سرعت جریان محاسبه شده در طول کانال توسط داده‌های واقعی و ساده شده.. ۱۱۹

شکل ۵-۱۵ مقایسه سرعت جریان محاسبه شده در دهانه بندر توسط داده‌های واقعی و ساده شده... ۱۱۹

فصل ۱ : مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

دریا از دیرباز تا به امروز همواره یکی از مهمترین راههای ارتباطی و حمل و نقل به شمار رفته است. امروزه با توجه به گسترش صنعت حمل و نقل و جابجایی هرچه بیشتر کالا و انسان، نیاز به توسعه بنادر موجود و احداث بنادر جدید به عنوان پایانه‌های ارتباطی بیش از پیش احساس می‌شود. در طراحی بنادر می‌بایست عوامل زیادی در نظر گرفته شود تا بتوان به بهینه‌ترین حالت بهره برداری دست یافت. یکی از عمده‌ترین مشکلاتی که طراحان و متخصصان این حوزه با آن دست به گریبان هستند پدیده رسوب‌گذاری و لای زائی است. این پدیده باعث بروز کم عمقی در نواحی مختلف بندر و کانال دسترسی می‌گردد. پدیده‌ی کم عمقی نیز باعث ایجاد اختلال در عبور و مرور شناورها به ویژه شناورهای با تناژ بالا شده و می‌تواند موجب غیر قابل استفاده شدن بندر شود. هر ساله هزینه‌های بسیار هنگفتی برای مرتفع کردن این مشکل صرف می‌شود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که آهنگ رسوب‌گذاری در حوضچه بندر و کانال دسترسی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر روی سودآوری بنادر است (مجابی، ۱۳۹۰).

یکی از نیازمندی‌های اساسی در طراحی بندر این است که حداقل عمق آب مورد نظر برای تامین آب‌خور شناورها فراهم شود، که یکی از متداول‌ترین راه‌های نیل به این امر احداث کانال‌های دسترسی است. افزایش عمق ناگهانی حاصل از احداث آنها و به تبع کاهش سرعت جریان، آنها را مستعد رسوب‌گذاری می‌نماید. همچنین شرایط نسبتاً آرام حوضچه بنادر نسبت به آب‌های پیرامونی خود، شرایط مناسبی را برای ته‌نشینی رسوبات فراهم می‌کند. از این رو می‌بایست این رسوبات دائماً به وسیله لایروبی برداشته شوند تا مسیر بندر برای عبور و مرور باز بماند. با افزایش سائز شناورها و عمق آب‌خور آنها باید بندر و کانال آن نیز عمیق‌تر شوند، در نتیجه حجم لایروبی نیز افزایش خواهد یافت.

لایروبی هزینه‌ی بسیار بالایی دارد و سهم زیادی از هزینه‌ی نگهداری بندر را به خود اختصاص می‌دهد. لذا اتخاذ روشی که منجر به کاهش نرخ رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی آن گردد ضروری می‌نماید. اگر چه به طور کامل نمی‌توان از رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی اجتناب کرد اما می‌توان با انتخاب بهینه‌ترین طرح و جانمایی مناسب، در مراحل ابتدایی طراحی میزان آن را به طور چشمگیری کاهش داد (فن لیو ون^۱، ۲۰۱۵).

۲-۱ طرح و بیان مسئله تحقیق

میزان رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی در دوره‌های بلندمدت یکی از مهمترین پارامترهای دخیل در طراحی بندر و کانال دسترسی است که می‌بایست با دقت بالایی مورد بررسی قرار بگیرد که امروزه این امر توسط مدل‌های فیزیکی کوچک مقیاس و مدل‌های عددی پیچیده امکان‌پذیر است. به عنوان مثال مدل‌های عددی مانند مایک^۲ و دلفت^۳ 3D و... می‌تواند نرخ رسوب‌گذاری را با دقت خوبی پیش‌بینی کنند، اما روش‌های یاد شده مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی می‌باشند. از این‌رو برای بررسی طرح‌های متعددی که در مراحل ابتدایی طراحی وجود دارند مناسب نیستند. یکی دیگر از راه‌های محاسبه میزان رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی استفاده از روابط تجربی است. این روابط از سرعت بالایی برخوردار بوده و تقریباً بدون هزینه‌اند، اما عدم دقت کافی و محدودیت کاربرد این روابط، آنها را برای استفاده در این خصوص نامناسب می‌نماید. لذا استفاده از یک روش پرسرعت که نتایج قابل اعتماد و واقعی‌تری ارائه دهد امری ضروری است. متأسفانه با توجه به اهمیت بالای موضوع، تحقیقات بسیار کمی در این زمینه صورت گرفته است. از میان کارهای انجام شده در این زمینه می‌توان به دو مورد زیر اشاره نمود که شاخص‌ترین آنها هستند:

¹ Van Leeuwen

² Mike21

³ Delft3D

- "ابزار طراحی بندر"^۱ از موسسه‌ی دلتارس^۲. در نسخه‌ی فعلی این ابزار رابطه‌ی میان تغییرات بلندمدت خط ساحلی با فرآیندهای دخیل در رسوب‌گذاری مانند سرعت و جهت جریان، غلظت رسوبات و... مدنظر قرار نگرفته است.
 - "مدل ترکیبی"^۳ ارائه شده توسط فن لیوون (۲۰۱۵). در این مدل ترکیبی سعی شده است که با ترکیب روابط تجربی و مدل‌های عددی، میزان رسوب‌گذاری در بندر و کانال، با در نظر گرفتن توأمان فرآیندهای بلندمدت (تغییرات خط ساحلی) و فرآیندهای کوتاه‌مدت هیدرودینامیکی (تغییرات سرعت و جهت جریان) محاسبه گردد. فرضیات ساده‌کننده‌ی فراوان، عدم ارتباط میان غلظت رسوبات و تغییرات خط ساحلی و... عمده‌مسائلی است که در این مدل می‌تواند مورد بررسی و بهبود قرار بگیرد.
- از این رو در تحقیق حاضر سعی شده است که با ارزیابی قسمت‌های مختلف "مدل ترکیبی" و تغییرات ممکن، عملکرد مدل بهبود بخشیده شده و با اعمال مدل ترکیبی بهبود یافته به بندر نوشهر، عملکرد آن مورد بررسی قرار بگیرد.

۱-۳ اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

پدیده رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی یکی از مهم‌ترین فرآیندهای مرتبط با طراحی و بهره‌برداری از بندر می‌باشد. کشور ما نیز دارای مرزهای گسترده آبی در شمال و جنوب است که با توجه به افزایش روز افزون حمل و نقل و ارتباطات دریایی، ساخت و توسعه بنادر امری اجتناب‌ناپذیر است (مصطفایی و نورمند، ۱۳۹۶). در این بین توجه به بحث رسوب‌گذاری در بنادر و انتخاب بهترین طرح به منظور کاهش رسوب‌گذاری لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

¹ Harbour Design Tool

² Deltares

³ Hybrid Model

۱-۴ اهداف تحقیق

با توجه به اهمیت محاسبه‌ی میزان رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی برای دوره‌های بلندمدت با روشی سریع و نتایج قابل اتکا در مراحل ابتدایی طراحی، هدف کلی این تحقیق بررسی و بهبود مدلی است که فن لیوون (۲۰۱۵) برای ارزیابی سریع رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی ارائه نموده است (مدل ترکیبی). ایجاد ارتباط میان تغییرات خط ساحلی و تغییرات غلظت رسوب و اثر آن در میزان رسوب‌گذاری، اصلاح فرضیات ساده‌کننده و ساده‌سازی‌های صورت گرفته در این مدل و همچنین استفاده از روابط اصلاح شده برای سواحل منطقه مورد مطالعه (بندر نوشهر) به منظور کاربردی‌تر کردن مدل یاد شده، اهداف جزئی این تحقیق می‌باشند.

۱-۵ پرسش‌های تحقیق

کدام فرآیندهای تاثیرگذار بر رسوب‌گذاری در بندر و کانال در مدل ترکیبی در نظر گرفته نشده‌اند؟
کدام ساده‌سازی‌ها و مفروضات مدل ترکیبی قابل اصلاح و یا نامتناسب با شرایط منطقه مورد مطالعه است؟

با اعمال چه تغییراتی در ماژول‌های مدل ترکیبی می‌توان عملکرد آنها را بهبود بخشید؟

۱-۶ ساختار پایان نامه و روند بررسی و تحلیل موضوع

با توجه به اهداف ذکر شده، این پایان نامه در پنج فصل تدوین خواهد شد.
در فصل اول به بیان کلیات، اهداف و ضرورت‌های انجام این پژوهش پرداخته شد.
در فصل دوم ادبیات فنی، فرآیندهای رسوب‌گذاری در بندر و کانال، ابزارها و روابط تجربی موجود مرور خواهند شد.

در فصل سوم به بررسی بخش‌های مختلف مدل ترکیبی، راه‌های بهبود آن و اعمال تغییرات بهبود دهنده پرداخته می‌شود، در ادامه نیز نحوه‌ی تعامل بخش‌های مختلف مدل با هم، تشریح می‌گردد.

در فصل چهارم نیز ابتدا بندر نوشهر و ویژگی‌های آن معرفی می‌شوند و سپس داده‌های موجود مرور و بررسی شده و در نهایت مدل ترکیبی بهبود یافته به آن اعمال می‌شود.

در فصل پایانی نیز پس از بررسی کامل نتایج حاصل از مدل ترکیبی بهبود یافته، عملکرد آن با مدل ترکیبی فن لیوون مقایسه می‌شود و در نهایت با پاسخ به پرسش‌های تحقیق، نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای مطالعات و تحقیقات بعدی ارائه می‌گردد.

فصل ۲ : مرور ادبیات فنی

۱-۲ مقدمه

پدیده‌ی رسوب‌گذاری و مشکلات ناشی از آن همواره یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های طراحان بوده است. کاهش عمق آبخور بندر و کانال دسترسی آن و بسته شدن تدریجی دهانه بندر می‌تواند به صورت مستقیم کارایی و بهره‌وری بندر را تحت تاثیر قرار دهد. هزینه بالای لایروبی سالانه برای از بین بردن این پدیده یا کاهش اثرات آن نیز می‌تواند به طرز چشمگیری میزان سودآوری بندر را کاهش دهد. از این رو بررسی دقیق و توجه ویژه به این مشکل در همه‌ی مراحل طراحی امری ضروری می‌نماید. برای این منظور ابتدا می‌بایست فرآیندهای مهم و تاثیرگذار بر میزان رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی مورد مطالعه قرار بگیرند، لذا در این فصل نخست هریک از این فرآیندها بررسی شده و سپس ابزارهای موجود برای محاسبه‌ی میزان رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی مرور می‌شوند.

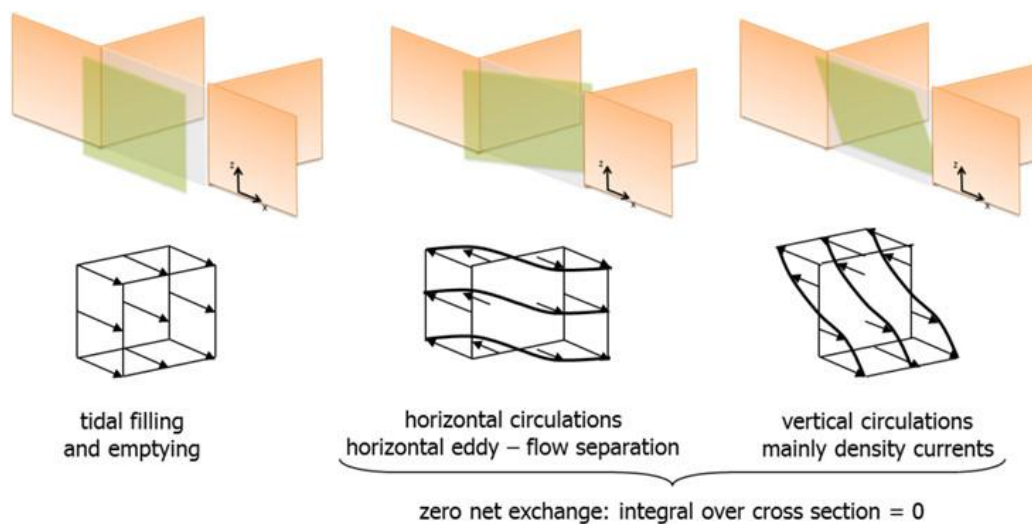
۲-۲ فرآیندهای تاثیرگذار بر میزان رسوب‌گذاری در بندر

به طور کلی عوامل تاثیرگذار در بندر را می‌توان به دو دسته‌ی عوامل طبیعی و عوامل غیر طبیعی تقسیم‌بندی نمود. عوامل طبیعی مانند اندازه ذرات، الگوی موج و جریان منطقه و...، عوامل غیرطبیعی مانند هندسه‌ی بندر، آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی و... می‌باشند که البته این عوامل غیرطبیعی و یا ایجادشده توسط انسان (مانند هندسه‌ی بندر) در نهایت با تغییر در عوامل طبیعی (مانند الگوی جریان) میزان رسوب‌گذاری را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در ادامه عوامل موثر در انتقال رسوب و رسوب‌گذاری در بندر را مورد بررسی قرار می‌دهیم. (واقفی و مقدسی، ۱۳۹۳)

۱-۲-۲ تبادل آب میان بندر و آب‌های پیرامونی

بدیهی است که در تمامی بنادر، تبادل آب میان بندر و محیط پیرامونی آن صورت می‌گیرد که این فرآیندهای تبادلی را می‌توان به سه دسته‌ی تبادل افقی، تبادل عمودی (یا چگالی) و تبادل جزر و

مدی تقسیم‌بندی نمود (فن راین، ۲۰۱۲). شکل ۱-۲ این فرآیندها را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد. با ورود آب محیط پیرامونی به داخل بندر، رسوباتی که همراه آب وارد بندر شده‌اند، به دلیل شرایط آرامتر داخل حوضچه تمایل به ته‌نشین شدن پیدا می‌کنند. بنابراین آبی که از بندر خارج می‌شود نسبت به آب وارد شده بار رسوبی کمتری دارد. تکرار مداوم این چرخه به مرور باعث کاهش عمق آب شده و به دنبال آن انجام عملیات لایروبی را ضروری می‌گرداند (ایسینک، ۱۹۸۹). در ادامه هر یک از فرآیندهای تبادل آب به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند.



شکل ۱-۲ فرآیندهای تبادل جریان در بندر (Coastalwiki.org)

۱-۲-۲ تبادل افقی آب

تبادل افقی آب به دلیل اختلاف موجود بین سرعت جریان آب در خارج از بندر با سرعت جریان آب در داخل بندر رخ می‌دهد. به این صورت که جریان عبوری از کنار دهانه بندر، قسمت پایین دست دهانه بندر را تحت تاثیر قرار داده و باعث ایجاد گردابه‌هایی در دهانه‌ی بندر می‌شود که تعداد این گردابه‌ها به هندسه‌ی بندر بستگی دارد. برای محاسبه حجم آب مبادله شده به صورت افقی از رابطه

زیر می‌توان بهره برد (گراف^۱، ۱۹۷۷):

$$Q_{hor} = f_{hor} h b u_0 - f_{hor.tide} Q_t \quad (۱-۲)$$

که در آن داریم:

Q_{hor} = نرخ آب تبادل شده افقی

$f_{hor.tide}, f_{hor}$ = ضرایب تجربی وابسته به هندسه بندر

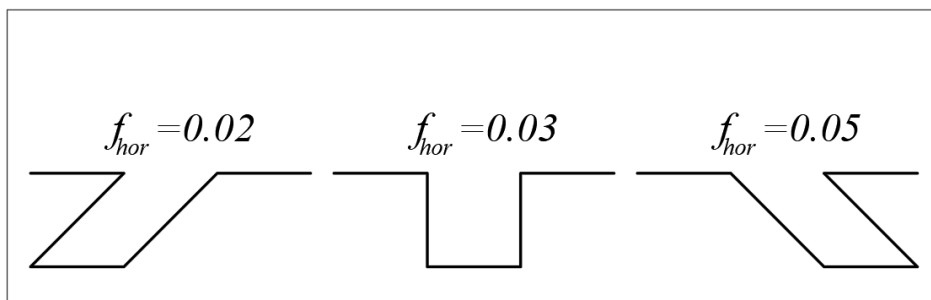
h = عمق دهانه بندر

b = عرض دهانه بندر

u_0 = سرعت جریان خارجی در مقابل دهانه بندر

Q_t = پر و خالی شدن مخزن به دلیل جزر و مد

در زمان جزر دریا هنگامی که آب از بندر خارج می‌شود معمولا گردابه‌ای تشکیل نشده و تبادل آبی صورت نمی‌گیرد. در نتیجه ضریب f_{hor} برای زمان جزر با زمان مد متفاوت است (معمولا برای زمان جزر برابر صفر است). در زمان مد دریا مقدار آن با توجه به هندسه دهانه بندر و شکل ۲-۲ تقریبا بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۵ متغییر است (بوی^۲، ۱۹۸۶).



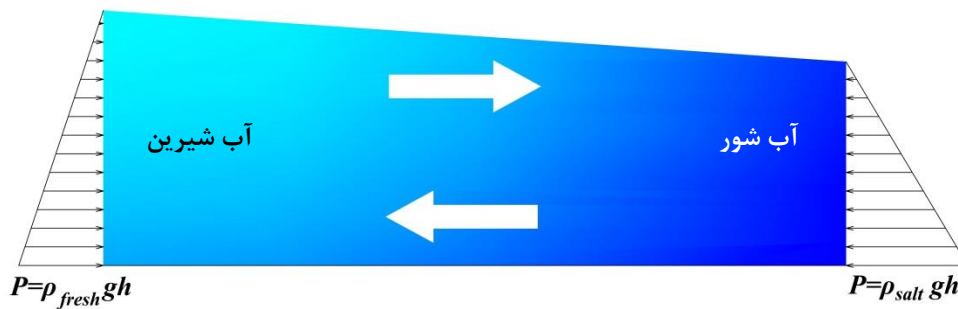
شکل ۲-۲ ضریب تجربی وابسته به هندسه بندر (Coastalwiki.org)

¹ Graaff

² Booij

۲-۱-۲-۲ تبادل عمودی آب

تبادل عمودی آب میان بندر و محیط پیرامونی آن اغلب به دلیل وجود گرادیان دما و یا گرادیان میزان شوری آب (به طور کلی اختلاف چگالی) رخ می‌دهد. اختلاف فشار میان لایه‌های زیرین آب در داخل بندر با آب پیرامونی (که به دلیل اختلاف چگالی ناشی از تفاوت دما، شوری و یا حتی غلظت رسوب ایجاد شده است) موجب می‌شود تا لایه‌های زیرین آب پیرامونی که چگالی بالاتری دارند به داخل حوضچه حرکت کنند (شکل ۳-۲). از این رو رسوبی که توسط این فرآیند وارد بندر می‌شود ممکن است تا انتهای حوضچه نیز پیشروی کند. این فرآیند تبدالی آب به دلیل افزایش غلظت رسوبات در نزدیکی بستر از اهمیت بیشتری برخوردار است، بنابراین حتی یک اختلاف چگالی کوچک می‌تواند باعث سرازیر شدن آورد رسوبی چشمگیری به داخل بندر شود.



شکل ۳-۲ تبادل عمودی آب به دلیل اختلاف فشار ناشی از گرادیان چگالی (پیانک، ۲۰۰۸)

نرخ تبادل عمودی آب که ناشی از اختلاف چگالی می‌باشد از رابطه زیر قابل محاسبه است (ایسینک ۱۹۸۹):

$$Q_{ver} = (u_{d0} - u_t) \times 0.5hb \quad (۲-۲)$$

که در آن:

$$u_{d0} = f_{ver} \left(\frac{\Delta\rho_0}{\rho_0} gh \right)^{\frac{1}{2}} \quad (۳-۲)$$

Q_{ver} = نرخ تبادل عمودی آب ناشی از اختلاف چگالی

ud_0 = سرعت جریان، فارغ از جریان جزر و مدی

ρ = چگالی آب

$\Delta\rho$ = اختلاف چگالی

f_{ver} = ضریب تجربی (بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۲۵)

u_t = سرعت جریان جزر و مدی

۳-۱-۲-۲ تبادل آب جزرو مدی

در هنگام مد دریا حجم معینی از آب پیرامونی که شامل مقداری رسوبات است وارد بندر می‌شود، اما در هنگام جزر همان حجم معین آب با مقدار رسوب کمتر از بندر خارج می‌شود. حجم آبی که در طول جزر و مد به بندر وارد شده و از آن خارج می‌گردد را می‌توان از طریق ضرب کردن «میزان اختلاف بین حداکثر و حداقل ارتفاع آب در طول جزر و مد» در «مساحت سطح حوضچه بندر» محاسبه نمود که به این حجم آب مبادله شده اصطلاحاً «منشور جزر و مدی»^۱ می‌گویند. نرخ آب مبادله شده‌ی ناشی از پر و خالی شدن بندر به دلیل جزر و مد نیز از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است (ایسینک، ۱۹۸۹):

$$Q_t = 2\alpha \times \frac{S}{T} \quad (۲-۴)$$

که در آن داریم:

Q_t = نرخ تبادل آب جزرو مدی

α = دامنه‌ی جزر و مد

S = مساحت حوضچه

T = بازه زمانی جزر و مد

^۱ Tidal Prism

۲-۲-۲ هندسه‌ی بندر

جانمایی موج‌شکن‌ها، طول موج‌شکن‌ها، زاویه بندر نسبت به جریان و ... مؤلفه‌هایی از هندسه بندر هستند که هر یک به نوعی با تحت تاثیر قرار دادن فرآیندهای هیدرودینامیکی اطراف بندر، نقش مهمی در کاهش یا افزایش رسوب‌گذاری ایفا می‌کنند. در ادامه تاثیر هندسه‌ی بندر بر هر یک از این فرآیندها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲-۲-۲ تاثیر هندسه‌ی بندر بر تبادل افقی آب

همانطور که در بخش ۱-۲-۲-۱ گفته شد، جریان عبوری از دهانه‌ی بندر به صورت عمده، قسمت پایین دست دهانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مطالعات بوی (۱۹۸۶) نشان می‌دهد که این زاویه با ضریب f_{hor} رابطه معکوس دارد، بدین صورت که برای زاویه‌های ۱۳۵، ۹۰ و ۴۵ درجه مقدار f_{hor} به ترتیب برابر با ۰,۰۲، ۰,۰۳ و ۰,۰۵ به دست آمده است. ین و همکاران (۲۰۰۰) با بررسی چندین بندر با هندسه‌های متفاوت دریافتند که تاثیر طول بندر بر نرخ تبادل افقی بسیار بیشتر از تاثیرات عرض بندر است. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با کاهش طول دهانه بندر تاثیر جزر و مد بر روی تبادل افقی افزایش می‌یابد (مجابی، ۱۳۹۰).

۲-۲-۲-۲ تاثیر هندسه بندر بر تبادل عمودی

متاسفانه علیرغم روشن بودن رابطه میان تبادل آب بین حوضچه بندر و آب‌های پیرامونی با میزان رسوب‌گذاری در بندر و همچنین به رغم پیشرفت روز افزون رایانه‌ها نیز سطح مطالعات و تحقیقات در این زمینه کاملاً محدود و ناکافی است (وانلده و دویاردین، ۲۰۱۴).

فان مارن و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که تغییر طول حوضچه بندر می‌تواند بر میزان تبادل آب عمودی (ناشی از اختلاف چگالی) تاثیر گذار باشد، اما میزان و نوع این تاثیر به

شدت به تغییرات شوری در طی جزر و مد بستگی دارد. در نتیجه افزایش طول بندر الزاماً منجر به افزایش رسوب‌گذاری در بندر نمی‌گردد، بلکه به عواملی مانند اختلاف فاز حداکثر غلظت رسوبات در آب‌های پیرامون بندر و تغییرات شوری و همچنین توزیع عمودی رسوبات وابسته است (مجابی، ۱۳۹۰).

۳-۲-۲ انتقال رسوب

پدیده انتقال رسوب یکی از مهمترین فرآیندهای ساحلی است که عوامل عمده‌ی محیطی موثر در ارتباط با آن شامل امواج، جریان‌ها، جزر و مد، بادهای، عوامل زمین‌شناسی و توپوگرافی و تغییر محیط سواحل توسط انسان است. همچنین علت انتقال رسوب در یک ناحیه ساحلی، معلق شدن رسوبات بستر در آب در اثر اغتشاش ناشی از شکست موج و همچنین وجود جریان ساحلی است، که جریان‌های ساحلی نیز عمدتاً در نزدیکی محل شکست موج و در اثر ایجاد تغییرات در خصوصیات امواج به وجود می‌آیند (طالب بیدختی و نیک منش، ۱۳۷۹).

پدیده انتقال رسوب را می‌توان به طور کلی به دو دسته زیر تقسیم کرد:

۱- انتقال رسوب موازی ساحل (انتقال رسوب کرانه‌ای)

۲- انتقال رسوب عمود بر ساحل

هر چند این دو مکانیزم از هم مستقل نبوده و همواره به صورت همزمان رخ می‌دهند اما به منظور سادگی در بررسی مسائل مربوط به این پدیده معمولاً به صورت جداگانه مورد مطالعه قرار می‌گیرند. در مسائلی نظیر بررسی روند رسوب‌گذاری و یا رسوب برداری در حوضچه بنادر و کانال دسترسی آنها، پدیده‌ی انتقال رسوب کرانه‌ای است که بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد، اما در مواردی همچون

بالا آمدن سطح آب دریا یا وقوع طوفان‌ها که شرایط هیدرودینامیکی منطقه تغییر میکند، روند انتقال رسوب در راستای عمود بر ساحل دستخوش تغییر شده و این امر سبب ایجاد تغییرات در نیمرخ عرضی بستر دریا خواهد شد (شالباف تبار، ۱۳۸۶).

۳-۲ فرآیندهای تاثیرگذار بر میزان رسوب‌گذاری در کانال دسترسی

کانال‌های ایجادشده به وسیله‌ی خاکبرداری بستر رودخانه‌ها و یا حفر شده در بستر دریا به منظور افزایش عمق آب و فعالیت‌های کشتیرانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این کانال‌ها را می‌توان با زوایای مختلف نسبت به راستای جریان اصلی آب‌های پیرامونی ایجاد نمود. بنابراین بررسی دقیق جریان در داخل و اطراف کانال از اهمیت زیادی برخوردار است (پیانک، ۲۰۰۸). عمده جریاناتی که تاثیر به‌سزایی بر رسوب‌گذاری در داخل کانال دارند، جریانات جزر و مدی و جریانات ساحلی هستند که وجود کانال این جریانات را دستخوش تغییر می‌نماید. مهمترین پارامترها در این رابطه، هندسه‌ی کانال (شیب جانبی، عمق و عرض کانال) و زاویه‌ی میان محور اصلی کانال و جریان هستند.

فن راین (۲۰۱۳) سه عامل زیر را به عنوان عوامل رسوب‌گذاری در کانال دسترسی معرفی می‌کند:

۱- کاهش ظرفیت انتقال رسوب در کانال به دلیل کاهش سرعت جریان (به ویژه در کانال‌هایی که عمود بر جریان هستند)

۲- اثرات گرانشی که باعث القای یک نیروی رو به پایین به ذرات بستر در شیب‌های جانبی می‌شود (به ویژه در کانال‌های موازی با جریان)

۳- جابجایی شول^۱ها و بانک‌ها^۲

هنگامی که جریان وارد کانال می‌شود ظرفیت انتقال رسوب کاهش می‌یابد، در نتیجه بخشی از بار

^۱ shoals

^۲ banks

بستر و بار معلق ته‌نشین می‌شوند در صورتی که شیب جانبی کانال زیاد باشد (۱ به ۵ یا بیشتر) ممکن است به علت تغییر ناگهانی عمق، تفکیک جریان و جریان برگشتی رخ دهد که به تولید انرژی آشفته‌گی زیادی منجر می‌شود. این پدیده به میزان زیادی مقدار رسوب‌گذاری را کاهش می‌دهد (فن راین، ۱۹۹۳).

زاویه‌ی میان محور اصلی کانال و جریان یکی از مهم‌ترین عوامل در میزان رسوب‌گذاری است که می‌توان آن را به سه دسته‌ی کلی زیر تقسیم‌بندی نمود (فن راین، ۲۰۱۳):

۱- جریان موازی با راستای کانال: در این حالت به دلیل کاهش اصطکاک بستر دریا سرعت جریان در کانال افزایش می‌یابد.

۲- جریان عمود بر راستای کانال: در این حالت به دلیل افزایش عمق آب سرعت جریان کاهش می‌یابد. این اثر در نزدیکی بستر بیشتر است. در صورتی که شیب جانبی کانال تند باشد (۱ به ۵ و بیشتر) جریان معکوس نیز می‌تواند رخ دهد.

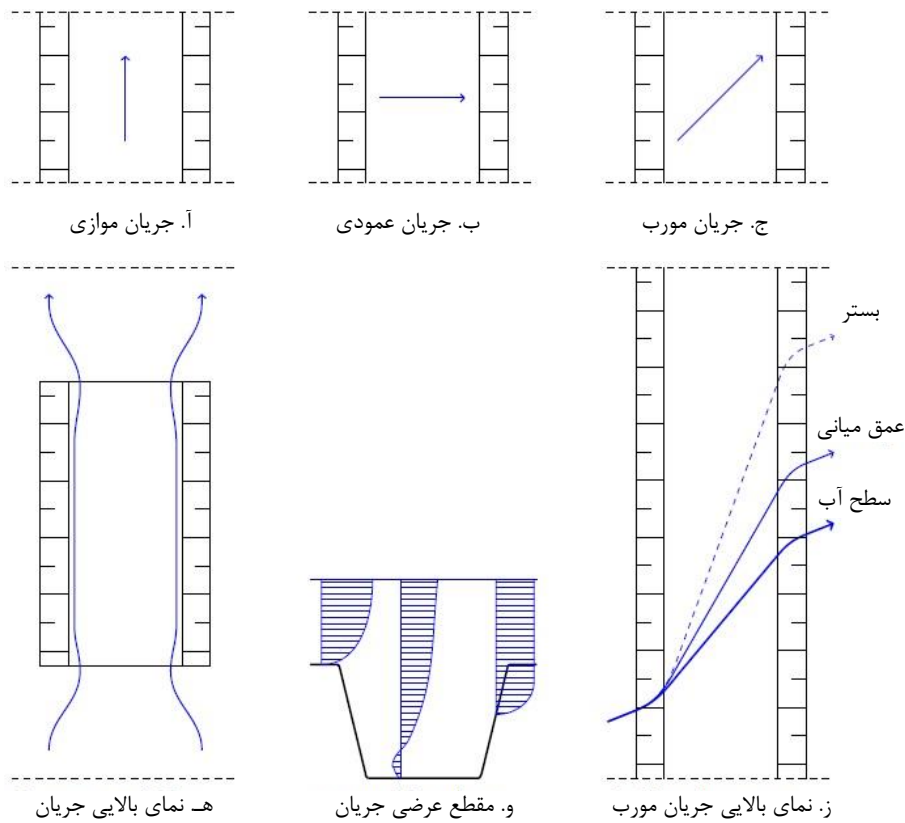
۳- جریان مایل بر محور کانال: در این حالت اثرات جریان موازی و جریان عمود بر محور کانال به صورت همزمان رخ می‌دهد. مولفه‌ی عمود سرعت جریان بر محور کانال با عمق آب نسبت معکوس دارد، این در حالی است که مولفه موازی سرعت جریان با محور کانال با کاهش اصطکاک افزایش می‌یابد. در نتیجه در کانال خطوط جریان دچار انکسار می‌شوند.

شکل ۲-۴ حالت‌های مختلف زاویه‌ی میان جریان و کانال را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد.

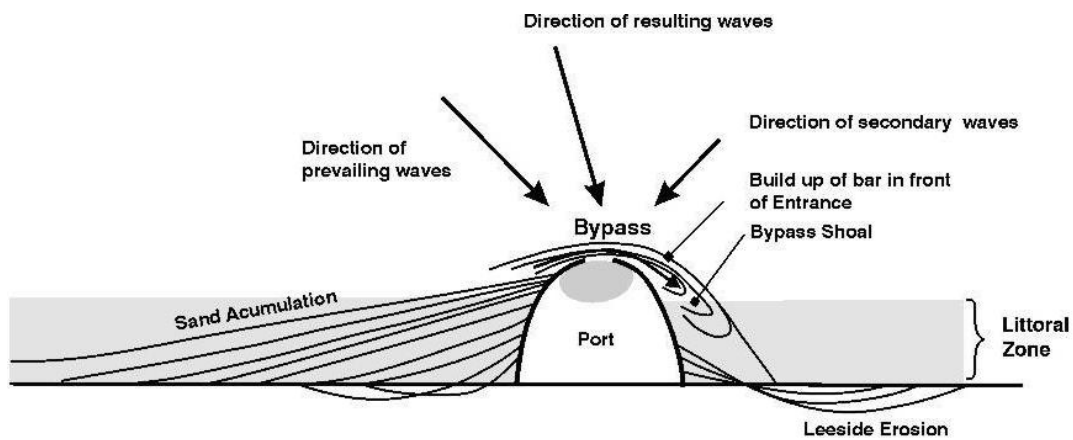
۲-۴ اثرات احداث بند بر عوامل موثر در میزان رسوب‌گذاری

سواحل به صورت طبیعی به دلیل ثبات طولانی مدت در وضعیت خود، به تعادلی نسبی رسیده‌اند. انسان با ساختن سازه‌هایی مانند آب‌شکن‌ها، موج‌شکن‌ها و... این تعادل را به صورت موقت بر هم می‌زند. در نتیجه‌ی این عمل بسیاری از خصوصیات ناحیه ساحلی تحت تاثیر سازه‌س احداث شده

تغییر می‌کند. پدیده‌هایی مانند تغییرات میدان جریان و تغییرات خط ساحلی از جمله این موارد هستند. شکل ۵-۲ تاثیرات وجود بندر در ناحیه ساحلی را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد. در ادامه برخی از این تغییرات مورد بررسی قرار می‌گیرند.



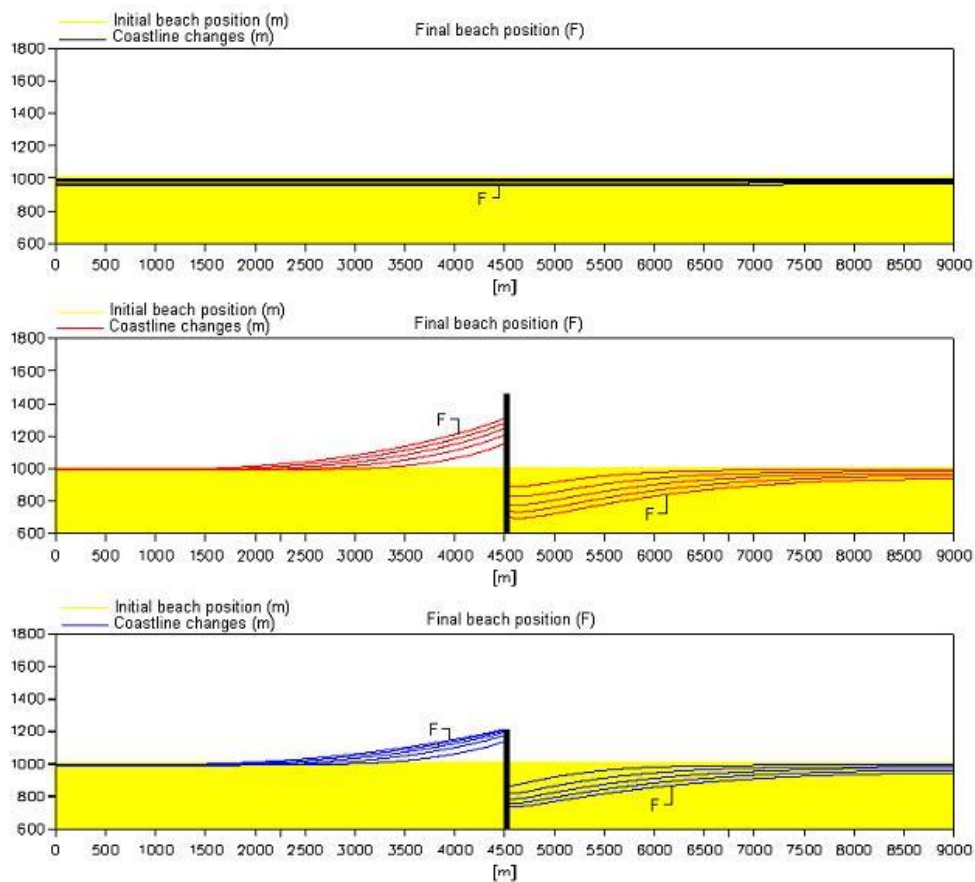
شکل ۴-۲ زاویه‌ی نسبی کانال و جریان (فن لیوون، ۲۰۱۵)



شکل ۵-۲ تاثیرات وجود بندر در ناحیه ساحلی (vilz.be)

۲-۴-۱ تغییرات خط ساحلی

تغییر در خط ساحلی عمدتاً به دلیل عواملی چون امواج، جزر و مد، طوفان‌های دوره ای، تغییرات سطح دریا، فرآیندهای فرسایش ساحلی، رسوب‌گذاری و فعالیت‌های انسانی است. عامل اصلی چنین تغییراتی، انتقال رسوب در محدوده خط ساحل یا نوسانات سطح دریا و امثال آن می‌باشد. تفاوت قدرت حمل رسوب از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر سبب ایجاد فرسایش یا ته‌نشینی رسوبات و در نتیجه باعث تغییرات خط ساحلی می‌گردد (شاهین و آزر م سا، ۱۳۹۲). احداث سازه‌هایی مانند موج‌شکن‌ها، آب‌شکن‌ها و... با بر هم زدن تعادل ساحل، خط ساحلی را دستخوش تغییر می‌کنند که این تغییرات با توجه به جهت غالب انتقال رسوب کرانه‌ای و شکل سازه احداث شده در هر مورد می‌تواند متفاوت باشد. شکل (۲-۵) اثر احداث آب‌شکن بر تغییرات خط ساحلی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۶ اثر احداث آب‌شکن‌های کوتاه و بلند بر تغییرات خط ساحلی (vilz.be)

۲-۴-۲ کنارگذری رسوبات

به مرور زمان و با پیشروی ساحل در پشت موجشکن بالادست (با توجه به جهت غالب انتقال رسوب کرانه‌ای) پتانسیل کنارگذری نیز افزایش می‌یابد، که این افزایش کنارگذری می‌تواند باعث افزایش ورود رسوبات توسط جریان‌های پیرامون بندر مانند پر شدن جزر و مدی بندر گردد. لذا در صورت امکان می‌بایست بندر به گونه‌ای طراحی گردد که موجشکن‌ها تا جایی ادامه پیدا کنند که عرض ناحیه رانه ساحلی کاملاً قطع شده و در طول عمر مفید بندر کنارگذری رخ ندهد.

۲-۴-۳ میدان جریان

راه بانی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با استفاده از مدل عددی مایک ۲۱ تاثیر احداث موجشکن بر الگوی امواج و جریان منطقه را بررسی کردند. آنها از داده‌های باد و موج مربوط به قبل از احداث موجشکن (ماه‌های مارس و آوریل ۲۰۱۳) برای مدل‌سازی استفاده نمودند. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که احداث موجشکن بر ایجاد آرامش در حوضچه بندر و ایجاد تغییر در جهت جریان تاثیر دارد. میانگین ارتفاع موج و سرعت جریان در دهانه بندر قبل از احداث موجشکن به ترتیب ۱ متر و ۰/۳ متر بر ثانیه بوده است که این مقادیر بعد از احداث موجشکن به ترتیب به ۰/۴ متر و ۰/۱۵ متر بر ثانیه کاهش یافته است.

لشته نشایی و همکاران (۱۳۹۵) اثر احداث آبشکن‌ها و موجشکن‌های جدا از ساحل بر میدان‌های ناشی از امواج در نواحی ساحلی بندر انزلی را در حالت‌های ساحل حفاظت شده با آبشکن و موجشکن‌های جدا از ساحل بررسی کردند و با مقایسه الگوی انتشار امواج، تحلیلی بر کارآمدی و یا عدم کارآمدی این سازه‌های دریایی انجام دادند.

لشته نشایی و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی الگوی جریان پیرامون آبشکن‌های اطراف دهانه‌ی رودخانه سرفیدرود دریافتند که خطوط جریان در نوک آبشکن‌ها منقبض شده و به دلیل اینکه سرعت جریان

در نوک آبشکن‌ها بیشتر از محدوده میان آنها است، رسوب‌گذاری در محدوده میان آبشکن‌ها رخ می‌دهد.

۲-۵ ابزارهای مدل‌سازی رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی

ابزارهای موجود برای مدل‌سازی رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی را می‌توان به سه دسته‌ی کلی تقسیم نمود (فن لیوون، ۲۰۱۵):

۱- روابط تجربی

۲- مدل‌های عددی پیچیده

۳- مدل‌های فیزیکی کوچک مقیاس

با توجه به اینکه استفاده از مدل‌های فیزیکی کوچک مقیاس و مدل‌های عددی پیچیده در محاسبه‌ی میزان رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی مستلزم صرف زمان زیاد و هزینه‌های هنگفتی است، این ابزارها برای استفاده در مراحل ابتدایی طراحی گزینه‌های مطلوبی نیستند (فن لیوون، ۲۰۱۵). لذا با توجه به رویکرد تحقیق حاضر، در ادامه به مرور روابط تجربی موجود در این زمینه پرداخته خواهد شد.

۲-۵-۱ روابط تجربی

پیش‌بینی و برآورد میزان رسوب‌گذاری در یک بندر و یا یک کانال دسترسی به صورت دقیق و نزدیک به واقعیت به دلیل وجود فرآیندهای پیچیده و بسیار زیاد دخیل در پدیده‌ی رسوب‌گذاری امری دشوار، زمان‌بر و پرهزینه است، از این رو شمار زیادی از محققین با استفاده از فرضیات ساده‌کننده‌ی بسیاری، سعی در ارائه‌ی روابطی برای نیل به این منظور داشته‌اند. اکثر این روابط از فرضیات ساده‌کننده‌ای مانند مستطیلی فرض کردن حوضچه‌ی بندر و یا مقطع عرضی کانال دسترسی استفاده

می‌کنند، همچنین در میان فرآیندهای تاثیرگذار در میزان رسوب‌گذاری، معمولاً فرآیندهایی که نقش عمده‌ای را ایفا می‌کنند لحاظ شده و از سایر فرآیندها چشم‌پوشی می‌شود. از مزایای استفاده از روابط تجربی می‌توان سرعت بالای محاسبات و در نتیجه کاهش زمان و هزینه را نام برد، از طرفی این روابط دارای نقطه ضعف‌هایی هستند که عدم دقت کافی و محدودیت کاربرد از جمله‌ی آنها است. لذا استفاده از این روابط در مراحل ابتدایی طراحی به دلیل اختصاص زمان و بودجه‌ی محدود، مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

۲-۵-۱-۱ روابط تجربی رسوب‌گذاری در کانال دسترسی

در چند سال گذشته چندین مدل مختلف برای پیش‌بینی نرخ رسوب‌گذاری در کانال‌ها ارائه شده است، به عنوان مثال گوله^۱ و همکاران ۱۹۷۲، مایر^۲ و همکاران ۱۹۷۶، بیکر^۳ ۱۹۸۰، لین^۴ ۱۹۸۰، گالوین^۵ ۱۹۸۲، ایسینک و ورماس^۶ ۱۹۸۳ و فن راین ۱۹۸۶ مدل‌هایی را ارائه کرده‌اند (فن لیوون، ۲۰۱۵)، که در ادامه برخی از این روابط آورده شده است. لازم به ذکر است که در تمامی این روابط، مقطع عرضی کانال مستطیلی در نظر گرفته می‌شود، (شکل ۲-۷):

^۱ Gole

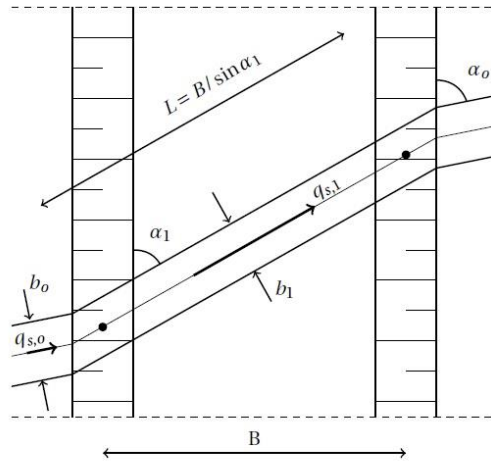
^۲ Mayor

^۳ Bijker

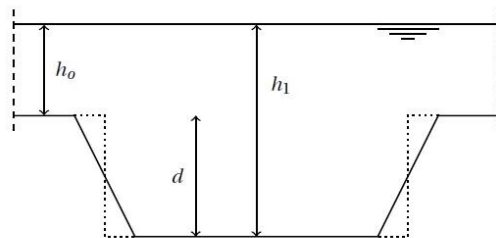
^۴ Lean

^۵ Galvin

^۶ Vermaas



نمای بالایی



نمای جانبی

شکل ۷-۲ نمای کلی روابط تجربی رسوب‌گذاری در کانال (فن لیوون، ۲۰۱۵)

فرمول مایر (۱۹۷۶):

این فرمول به دلیل در نظر نگرفتن اثر انکسار موج، تنها برای حالتی که جریان عبوری عمود بر محور کانال باشد کاربرد دارد، اما بعدها فن راین با اضافه کردن عبارت b_0/b_1 اثر انکسار را نیز در نظر گرفت (نخعی، ۱۳۸۱).

$$q_{s,x} = \left(\frac{b_0}{b_1}\right) q_{s,0} \exp\left(-A \frac{h_0 b_0}{h_1 b_1}\right) + q_{s,1} (1 - \exp(-Ax)) \quad (۵-۲)$$

که در آن داریم:

$q_{s,0}$ = ظرفیت انتقال ذرات معلق در خارج کانال

$q_{s,1}$ = ظرفیت انتقال ذرات معلق در داخل کانال

b_0 = عرض جریان ورودی به کانال

b_1 = عرض جریان در کانال

$x =$ مختصات طولی

$h_0 =$ عمق بیرون کانال

$h_1 =$ عمق کانال

$$\frac{(w_s)^2}{(\varepsilon_1 \cdot \bar{u}_1)} = A = \text{ضریب}$$

$w_s =$ سرعت سقوط ذرات

$\varepsilon_1 =$ ضریب اختلاط میانگین گیری شده در عمق کانال $= 0.085 u_{*,1} h_1$

$u_{*,1} =$ سرعت برشی بستر

$\bar{u}_1 =$ سرعت جریان میانگین گیری شده در عمق کانال

میزان رسوب گذاری در واحد طول کانال از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

$$\Delta s = \left[q_{s,0} \left(\frac{b_0}{b_1} \right) \left(1 - e^{\left(-A \frac{h_0 b_0 B}{h_1 b_1 \sin \alpha_1} \right)} \right) - q_{s,1} \left(1 - e^{\left(-A \frac{B}{\sin \alpha_1} \right)} \right) \right] \sin \alpha_1 \quad (۶-۲)$$

که در آن:

$B =$ عرض کانال

لازم به ذکر است که در این رابطه اثرات فرسایش دیواره‌ی جانبی در پایین دست کانال را که به دلیل

افزایش سرعت‌ها رخ می‌دهد در نظر گرفته نشده است، لذا جواب‌های آن دست بالا است.

فرمول ایسینک و ورماس (۱۹۸۳)

رابطه‌ی ظرفیت انتقال رسوب به قرار زیر است:

$$q_{s,x} = \left(\left(\frac{b_0}{b_1} \right) q_{s,0} \right) - \left(\frac{b_0}{b_1} q_{s,0} - q_{s,1} \right) \left(1 - \exp \left(-A \frac{x}{h_1} \right) \right) \quad (۷-۲)$$

که در آن:

$$A = 0.015 \left(\frac{2W_s}{u_{0,1}} \right) \left(1 + \frac{2W_s}{u_{*,1}} \right) \left(1 + 4.1 \left(\frac{k_s}{h_1} \right)^{0.25} \right) \quad (۸-۲)$$

که در آن:

$$k_s = \text{زبری بستر}$$

و در آخر میزان رسوب‌گذاری در واحد طول کانال نیز از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta s = \left[\left(q_{s,0} \left(\frac{b_0}{b_1} \right) - q_{s,1} \right) \left(1 - e^{\left(-A \frac{B}{h_1 \sin \alpha_1} \right)} \right) \right] \sin \alpha_1 \quad (9-2)$$

رابطه‌ی SED-PIT

فن راین با فرض توزیع هیدرواستاتیک فشار برای جریان‌های دریایی و تبعیت سرعت‌های افقی از پروفیل لگاریتمی و با در نظر گرفتن مشخصات موج منطقه و همچنین با استفاده از داده‌های حاصل از لایروبی چندین کانال مختلف، نسبت به بهبود رابطه‌ی ایسینگ و ورماس اقدام نمود. نتایج حاصل از اعمال این رابطه به کانال بندر شونینگن^۱ عملکرد خوب این رابطه را نشان می‌دهد. لذا در مدل ترکیبی از این رابطه برای محاسبه‌ی نرخ رسوب‌گذاری در کانال استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در این رابطه از تعریف لوله جریان استفاده می‌شود می‌توان قانون بقای جرم را به کار برد، از این رو داریم:

$$V_1 = V_0 \left(\frac{h_0 \sin \alpha_0}{h_1 \sin \alpha_1} \right) \quad (10-2)$$

$$b_1 = \left(\frac{V_0 h_0 b_0}{V_1} \right) h_1 \quad (11-2)$$

ظرفیت انتقال رسوب با توان سوم سرعت جریان ارتباط داده شده است:

$$q_{s,1} = \left(\frac{V_1}{V_0} \right)^3 q_{s,0} \quad (12-2)$$

¹ Scheveningen

میزان ته‌نشین شدن ذرات رسوب معلق در هر قسمت را می‌توان از رابطه‌ی (۱۳-۲) به دست آورد:

$$\Delta s = \left(\frac{b_0}{b_1} q_{s,0} - q_{s,1} \right) e_s \Delta t L \sin \alpha_1 \quad (13-2)$$

که در آن:

e_s = ضریب دردام افتادگی ذرات معلق

سایر پارامترهای این مدل به شرح زیر است:

V_0 = سرعت جریان در خارج کانال

V_1 = سرعت جریان در داخل کانال

h_1 = عمق آب در داخل کانال نسبت به msl

h_0 = عمق آب در خارج کانال نسبت به msl

d = عمق کانال ($h_1 - h_0$)

b_0 = عرض لوله جریان در خارج کانال

b_1 = عرض لوله جریان در داخل کانال

L = طول محور لوله‌ی جریان

$q_{s,0}$ = ظرفیت انتقال ذرات معلق در خارج کانال

$q_{s,1}$ = ظرفیت انتقال ذرات معلق در داخل کانال

ضریب در دام افتادگی را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه نمود، در این رابطه از پارامترهایی

استفاده شده است که مشخصات جریان، کانال و رسوبات را بیان می‌کند (فن راین، ۲۰۱۳).

$$e_s = 1 - e^{\frac{-C_{VR}L_{eff}d}{h_1^2}} \quad (۲-۱۴)$$

$$C_{VR} = \text{ضریب فن راین} = 0.25 \left[\frac{w_s}{\varepsilon u_{*1}} \right] \left[1 + \left(\frac{2w_s}{\varepsilon u_{*1}} \right) \right]$$

w_s = سرعت سقوط ذرات

$U_{1,*}$ = سرعت برشی بستر

L_{eff} = طول موثر رسوب گذاری در کانال = $B/\sin\alpha_1$

$$\alpha_1 = \text{زاویه ی انحراف جریان در کانال} = \text{atan} \left(\left(\frac{h_0}{h_1} \right) \tan\alpha_0 \right)$$

از میان روابط یاد شده در این بخش این رو برای محاسبه ی نرخ رسوب گذاری مدل ترکیبی از این را

۲-۱-۵-۲ روابط تجربی رسوب گذاری در بندر

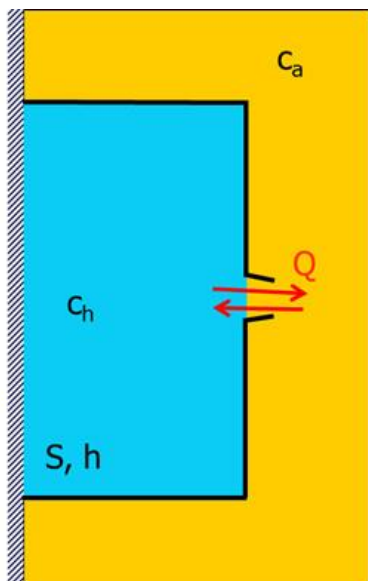
ایسینک در سال ۱۹۸۹ توانست برای نخستین بار نرخ رسوب گذاری در حوضچه بندر را به صورت کمی بیان کند. روش تخمینی او در شکل ۲-۸ به صورت مختصر نشان داده شده است. رابطه ایسینک در سال ۱۹۹۴ توسط هدلند^۱ مورد ارزیابی قرار گرفت و در سال ۲۰۱۲ فن راین با بسط و گسترش این روابط، مدلی به نام SED-HAR ارائه نمود که در ادامه به آن پرداخته می شود (وینترورپ و فن کسترن^۲، ۲۰۰۴).

رابطه ی SED-HAR (فن راین، ۲۰۱۲)

فن راین با به کار بردن چرخه ی جزر و مدی به جای میانگین جزر و مد در رابطه ی ایسینک (silthar)، آن را بهبود بخشید و در مطالعات مربوط به رسوب گذاری چندین بندر مختلف با وفقیقت به کار برد. این رابطه SED-HAR فرآیندهای تبادل آب دریا با آب داخل بندر را تشریح می کند.

¹ Headland

² Van Kesteren



mass balance: $\frac{dVc_h}{dt} = Qc_a - Qc_h - F_s$

siltation rate: $F_s = \alpha SW_s c_h$

$$\frac{dc_h}{dt} = \frac{Q}{V} c_a - c_h \left(\frac{Q}{V} + \frac{\alpha W_s}{h} \right)$$

αW_s = effective settling velocity,
accounting for:

- local turbulent mixing,
- non-homogenous c-distribution

شکل ۸-۲ نمای کلی رابطه‌ی ایسینک (Coastalwiki.org)

همانطور که گفته شد به دلیل کاهش سرعت جریان در حوضچه بندر، رسوبات تمایل به ته‌نشینی پیدا می‌کنند، پس می‌توان نتیجه گرفت که نرخ رسوب‌گذاری به سرعت سقوط ذرات بستگی دارد.

سه فرآیند اصلی تبادل آب در بندر به قرار زیر است:

- پر و خالی شدن توسط جزر و مد (Q_t)
- گردش گردابه‌ای افقی در دهانه بندر به دلیل عبور جریان (Q_{hor})
- گردش عمودی به دلیل اختلاف چگالی (Q_{ver})

توازن جرمی رسوبات داخل بندر را نیز می‌توان به صورت زیر نوشت:

در حالت مد:

$$A \frac{d(h_c)}{dt} = (Q_t + Q_{hor} + Q_{ver})C_0 - (Q_{hor} + Q_{ver})C - ACW_{s,eff} \quad (۱۵-۲)$$

در حالت جزر:

$$A \frac{d(h_c)}{dt} = (Q_{hor} + Q_{ver})C_0 - (Q_t + Q_{hor} + Q_{ver})C - ACW_{s,eff} \quad (۱۶-۲)$$

که در آن:

A : مساحت حوضچه

C : غلظت رسوبات در حوضچه

C_0 : غلظت رسوبات خارج از بندر

$W_{s,eff}$: سرعت سقوط موثر

چنانکه در روابط فوق دیده می‌شود، تبادل آب دائماً در حال رخ دادن است. آب دریا با غلظت رسوب C_0 وارد بندر می‌شود در حالی که آب بندر با غلظت C از آن خارج می‌شود. از این رو در یک مدت زمان مشخص، رسوب‌گذاری (به دلیل کاهش سرعت جریان در بندر) به طور میانگین با نرخ ثابتی ادامه می‌یابد که میزان این نرخ به سرعت سقوط موثر و غلظت رسوب در بندر بستگی دارد (فن راین، ۲۰۱۲).

مقدار آب مبادله شده را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$Q_t = A \frac{dn_0}{dt} \quad (۱۷-۲)$$

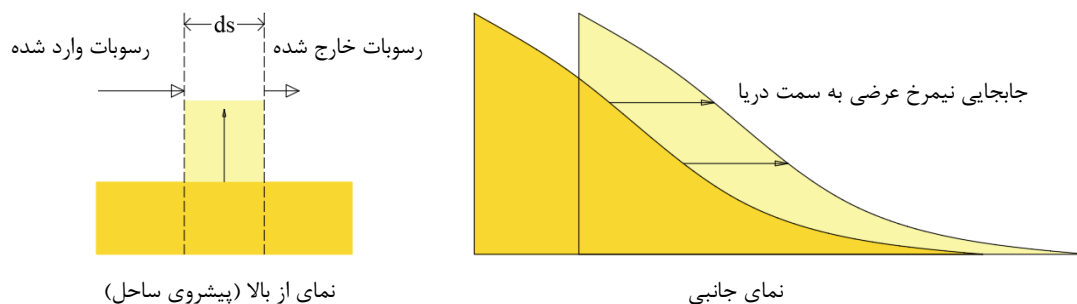
$$Q_{hor} = f_{hor} b h u_0 - f_{hor,tide} Q_t \quad (۱۸-۲)$$

$$Q_{ver} = 0.5 f_{ver} b h \left(\frac{\Delta \rho_0}{\rho_0} g h \right)^{0.5} \quad (۱۹-۲)$$

که f_{hor} ضریب تبادل افقی است که به هندسه دهانه بندر وابسته است و مقدار آن برای جزر و مد متفاوت است. در حالت جزر این مقدار برابر با صفر یا بسیار کوچک است زیرا در این حالت هنگام خروج آب در دهانه بندر گردابه‌ای تشکیل نمی‌شود و یا به ندرت تشکیل می‌شود. در زمان مد دریا نیز مقدار آن با توجه به هندسه دهانه بندر و (شکل ۲-۲) تقریباً بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۵ متغیر است. $f_{hor,tide}$ نیز ضریب تبادل جزر و مدی افقی است که معمولاً بین ۰/۱ تا ۰/۲۵ است. f_{ver} نیز ضریب تجربی تبادل عمودی است که مقدار آن بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۲۵ در نظر گرفته می‌شود (پیانک، ۲۰۰۸).

۲-۶ ابزارهای مدل‌سازی خط ساحلی

امروزه مدل‌ها و ابزارهای بسیار زیادی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات خط ساحلی وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به مدل لیتپک^۱ از بسته نرم‌افزاری مایک، مدل^۲ جنسیس^۳ و... اشاره کرد. گستردگی کاربرد و دقت مطلوب مدل‌های عددی یاد شده از نقاط مثبت آن‌ها به شمار می‌آید، اما شبیه‌سازی بلندمدت تغییرات خط ساحلی با این مدل‌ها که بر اساس بازه‌های زمانی واقعی عمل می‌کنند، امری به شدت زمان‌بر است. از این رو برخی محققین مانند کمفس (۲۰۰۰) و رولونیک و رنیرز (۲۰۱۲) روش‌های ساده‌تری ارائه نموده‌اند که بر مبنای تئوری تک‌خطی و توازن جرمی در طول ساحل عمل می‌کنند بدین صورت که در طول ناحیه‌ی ساحلی در هر نقطه که مقدار رسوبات وارد شده بیشتر از مقدار رسوبات خارج شده از آن نقطه باشد، پیش‌روی ساحل و اگر مقدار رسوبات وارد شده کمتر از رسوبات خارج شده باشد، پسروی ساحل رخ می‌دهد. نکته حائز اهمیت این است که در این گونه مدل‌ها (مدل‌های تک‌خطی) نیمرخ عرضی ساحل بدون تغییر و ثابت در نظر گرفته می‌شود، به طوری که فقط به سمت دریا و یا به سمت خشکی تغییر مکان می‌دهد. شکل ۲-۹ فرآیند پیش‌روی ساحل در این گونه مدل‌ها را نمایش می‌دهد.



شکل ۲-۹ رسوب‌گذاری در یک سلول ساحلی (فن لیوون، ۲۰۱۵)

¹ Litpack

² Unibest

³ Genesis

از فواید روش‌های تک خطی می‌توان به سرعت بالای محاسبات برای به دست آوردن تغییرات بلندمدت خط ساحلی اشاره کرد، در مقابل ثابت فرض شدن نیمرخ عرضی ساحل، عدم گستردگی در پوشش حالت‌های مختلف مانند سواحل غیر ماسه‌ای و... از نقاط ضعف این مدل‌ها محسوب می‌شود.

۲-۷ ابزارهای محاسبه سرعت و جهت جریان

در تمامی روابط و مدل‌های ارائه شده در بخش‌های پیشین، سرعت و جهت جریان به عنوان مقادیر ورودی می‌بایست موجود و مشخص باشند، از این رو می‌توان با استفاده از مدل‌های عددی که فرآیندهای پیچیده هیدرودینامیکی را شبیه سازی و محاسبه می‌کنند، این مقادیر را در هر نقطه‌ای دلخواه به دست آورد. مدل‌های عددی مایک ۲۱ از انستیتو هیدرولیک دانمارک^۱ و دلفت 3D^۲ از موسسه دلتارس^۳ هلند از جمله معروف‌ترین مدل‌های عددی هیدرودینامیکی می‌باشند. در ادامه به معرفی مدل جریان مایک ۲۱ از بسته نرم افزاری مایک پرداخته می‌شود که در زمینه اندازه‌گیری میدان جریان کاربرد دارد.

مدل جریان مایک ۲۱ (شبکه‌بندی منعطف)^۴

مدل جریان مایک ۲۱ یک مدل دو بعدی است که بر پایه‌ی شبکه‌بندی منعطف مثلثی و مستطیلی غیریکنواخت^۵ اجرا می‌شود. این مدل برای کاربردهای اقیانوسی و محیط‌های ساحلی و مصبی طراحی شده است. محدوده‌ی کاربرد این مدل به طور کلی حوزه‌هایی است که در آن پدیده‌های جریان و

^۱ DHI

^۲ Delft3D

^۳ Deltares

^۴ Mike21 Flow Model FM

^۵ Flexible Mesh

انتقال اهمیت دارند، البته با قابلیت مش‌بندی غیر یکنواخت، این مدل به راحتی در مناطق ساحلی و دریایی قابل استفاده است. در راستای افقی نیز می‌توان از مختصات کارتزین یا کروی استفاده نمود. این مدل بر پایه‌ی حل عددی میانگین رینولدز معادلات دو بعدی آب کم عمق (معادلات ناوراستوکس) عمل می‌کند. بنابراین این مدل شامل معادلات پیوستگی، اندازه حرکت، دما، شوری و چگالی است.

مزیت استفاده از قابلیت شبکه‌بندی غیریکنواخت مایک ۲۱ این است که بیشترین میزان انعطاف‌پذیری را ارائه می‌دهد، به عنوان مثال: (۱) کنترل توزیع گره‌ها این امکان را ایجاد میکند که بهینه‌ترین استفاده از گره‌ها صورت بگیرد (۲) اختصاص دادن شبکه‌بندی درشت برای محیط‌های کم اهمیت و شبکه‌بندی ریزتر برای محل‌هایی که اهمیت بیشتری دارند (۳) انطباق‌پذیری عمقی و شبکه‌بندی منطبق با مرزها.

۲-۸ جمع بندی

در میان ابزارهای موجود برای برآورد میزان رسوب‌گذاری بلندمدت در بندرها و کانال‌های دسترسی مربوطه، فقدان روشی که بتواند نتایج قابل اعتماد و نزدیک به واقعیت، با سرعت کافی و در مدت زمان کوتاه، ارائه دهد به شدت محسوس است.

فن لیوون (۲۰۱۵) مدلی تحت عنوان مدل ترکیبی به منظور رفع این خلأ ارائه نموده که در این مدل سعی شده است با ترکیب سرعت روابط تجربی و دقت مدل‌های عددی و همچنین با استفاده از یک مدل تک‌خطی برای محاسبه تغییرات بلندمدت خط ساحلی، فرآیندهای بلندمدت و کوتاه‌مدت هیدرودینامیکی را در محاسبه نرخ مربوط به رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی به صورت توأمان در نظر بگیرد. با توجه به روابط تجربی استفاده شده در این مدل ترکیبی (SED-HAR و SED-PIT) می‌توان دریافت که غلظت رسوبات در آب‌های پیرامونی بندر نقش بسزایی در تعیین نرخ

رسوب‌گذاری دارند. لذا هرگونه تغییر در میزان غلظت رسوبات می‌تواند منجر به تغییرات گسترده‌ای در برآورد نرخ رسوب‌گذاری شود. بدیهی است که با تغییرات خط ساحلی غلظت رسوبات معلق در اطراف بندر دستخوش تغییر می‌گردد که این پدیده در مدل ترکیبی ارائه شده توسط فن لیوون در نظر گرفته نشده است. از این‌رو می‌توان با ایجاد ارتباط میان تغییرات خط ساحلی با غلظت آب‌های پیرامونی در جهت بهبود مدل ترکیبی گام برداشت.

در فصل بعدی به بررسی قسمت‌های مختلف مدل ترکیبی پرداخته شده و به دنبال آن، راهکارهای بهبود عملکرد مدل و نحوه‌ی اعمال آنها مطرح می‌گردند.

فصل ۳ : مواد و روش های مدل سازی

۱-۳ مقدمه

همانطور که در بخش پیشین بیان شد، ابزارهای بیشماری برای تعیین نرخ رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی وجود دارد، اما هیچ یک از ابزارهای موجود قابلیت و توانایی در نظر گرفتن توامان فرآیندهای بلندمدت مانند تغییرات خط ساحلی و فرآیندهای کوتاه‌مدت مانند رسوب‌گذاری، میدان جریان و... نداشتند. در این راستا فن لیوون (۲۰۱۵) به منظور ایجاد ارتباط میان تغییرات خط ساحلی و فرآیند رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی که در بازه‌های زمانی متفاوتی عمل می‌کنند یک مدل اولیه به نام "مدل ترکیبی" ارائه نمود. در ادامه نخست مروری بر مفهوم مدل ترکیبی انجام شده و سپس ماژول‌های مختلف به کار رفته در آن معرفی می‌گردد و به دنبال آن روش‌ها و فرآیندهایی که می‌توانند به بهبود عملکرد مدل ترکیبی منجر شوند مشخص خواهند شد. پس از آن ورودی‌های مورد نیاز و ساده‌سازی‌های صورت گرفته که برای اجرای مدل ضروری است توضیح داده شده می‌شود.

۲-۳ مفهوم کلی مدل ترکیبی فن لیوون

این مدل تغییرات بلندمدت خط ساحل را با فرآیندهای کوتاه‌مدت مانند جریان‌های شکل گرفته در اطراف بندر و رسوب‌گذاری ترکیب می‌کند، که برای دستیابی به این مهم از ابزارهای زیر استفاده شده است:

(۱) یک مدل بلندمدت خط ساحلی یک بعدی^۱

(۲) یک مدل عددی هیدرودینامیکی دو بعدی

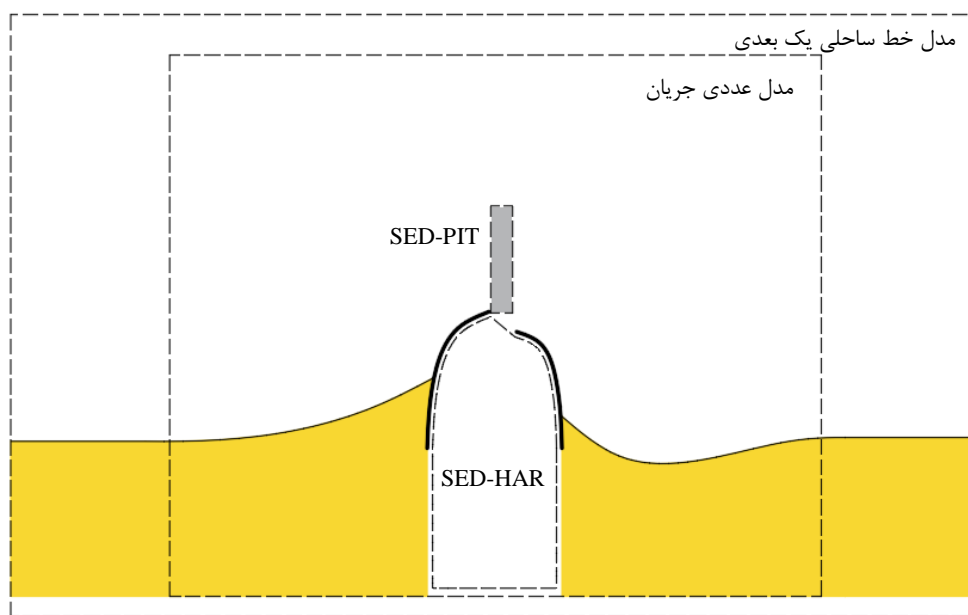
(۳) دو رابطه تجربی، یکی برای تعیین نرخ رسوب‌گذاری در بندر (SED-HAR) و یکی برای

تعیین نرخ رسوب‌گذاری در کانال دسترسی (SED-PIT)

¹ 1D Coastline

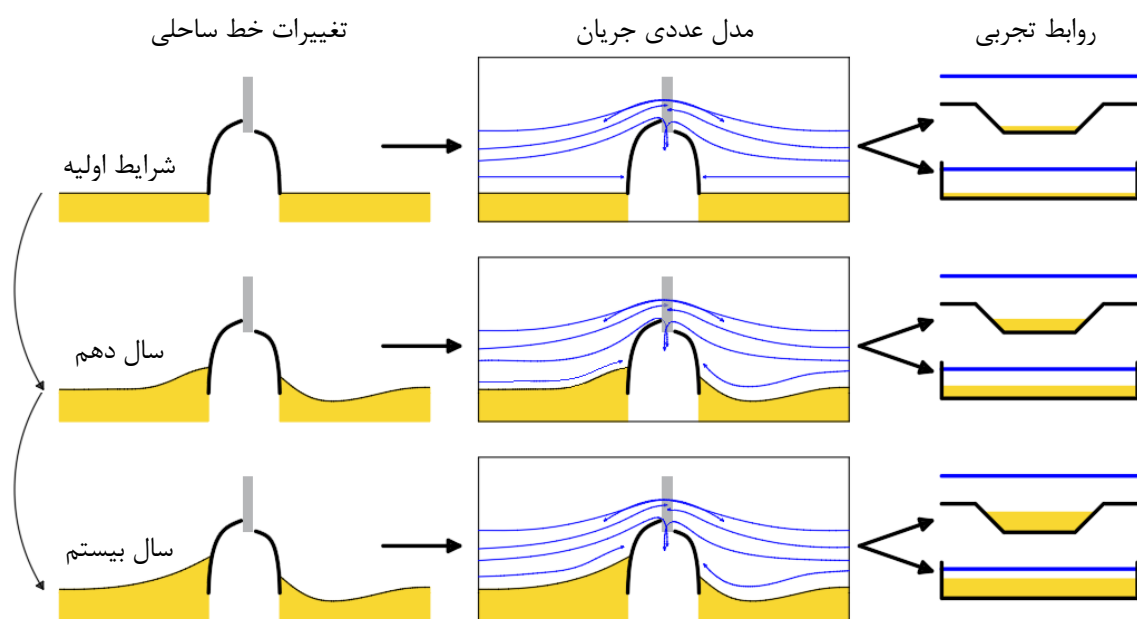
در شکل ۱-۳ موقعیت جغرافیایی هر یک از این مدل‌ها نسبت به یکدیگر به صورت شماتیک نشان داده شده است.

- مدل خط ساحلی یک بعدی
- مدل عددی جریان در اطراف بندر
- رابطه تجربی برای رسوب‌گذاری در کانال دسترسی (SED-PIT)
- رابطه تجربی برای رسوب‌گذاری در بندر (SED-HAR)



شکل ۱-۳ موقعیت مکانی مدل‌ها نسبت به یکدیگر (فن لیوون، ۲۰۱۵)

از آنجایی که تغییرات خط ساحلی در مقیاس زمانی طولانی تری نسبت به تغییر در شرایط هیدرودینامیکی و رسوب‌گذاری بندر و کانال دسترسی قرار می‌گیرد، در مدل ترکیبی از آن به عنوان شرایط مرزی برای محاسبه میدان جریان و مقدار کنارگذاری رسوبات استفاده شده است. در شکل ۲-۳ نیز یک نمای کلی از روند عملکرد مدل ترکیبی مشاهده می‌شود. همان گونه که در این شکل مشخص است نحوه‌ی عملکرد مدل ترکیبی به این صورت است که با محاسبه و پدید آمدن هر خط ساحلی جدید توسط مدل خط ساحلی یک بعدی، یک مدل جریان جدید نیز اجرا شده و میزان رسوب‌گذاری برای این موقعیت توسط روابط تجربی محاسبه می‌شود.



شکل ۳-۲ نمای کلی از نحوه عملکرد مدل (فن لیوون، ۲۰۱۵)

۳-۳ ابزارهای مورد استفاده در مدل ترکیبی

در این بخش به معرفی هر یک از قسمت‌های مدل ترکیبی پرداخته شده و راهکارهای بهبود آن‌ها معرفی می‌گردد.

۱-۳-۳ مدل خط ساحلی یک بعدی

وظیفه این مدل محاسبه‌ی میزان تغییرات خط ساحل در طول زمان است. مدل خط ساحلی یک بعدی به میزان زیادی بر پایه کاربست که رولونیک و رنیرز انجام داده‌اند. این مدل از نظر هندسی و جغرافیایی بسیار بزرگتر از محدوده مدل دو بعدی هیدرودینامیکی و روابط تجربی است. دو بخش

عمده‌ی این مدل به قرار زیر است (فن لیوون، ۲۰۱۵):

- محاسبه میزان انتقال رسوب کرانه‌ای ایجاد شده توسط امواج
- محاسبه میزان تغییرات خط ساحلی با استفاده از انتقال رسوب محاسبه شده در بخش قبلی.

۲-۳-۳ امواج و انتقال رسوب کرانه‌ای

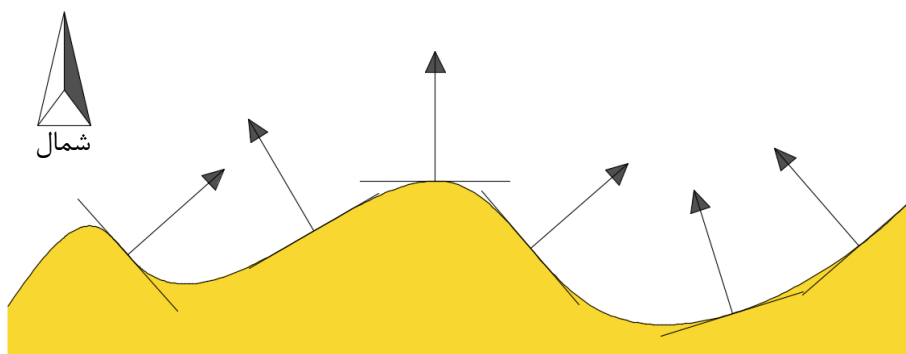
فن لیوون به منظور کاهش مدت زمان محاسبات نرخ انتقال رسوب کرانه‌ای در این مدل، داده‌های موج موجود را با استفاده از روشی ساده و در عین حال کاربردی ساده‌سازی کرده است. او با ایجاد یک جدول امواج که نماینده‌ی داده‌های موج منطقه مورد مطالعه است توانست به طرز قابل ملاحظه‌ای تعداد امواج و به دنبال آن مدت زمان محاسبات را کاهش دهد. روش او به این صورت بود که او با توجه به حداکثر و حداقل ارتفاع و جهت انتشار، امواج را دسته‌بندی و برای هر دسته میانگین پریود پیک و درصد وقوع را محاسبه نمود. وی داده‌های موج ساده‌سازی شده را به صورت یک جدول امواج درآورد. یک جدول امواج بیان‌کننده امواجی با جهت انتشار متوسط (ϕ_{wave})، ارتفاع موج مشخصه (H_s)، پریود پیک (T_p) و درصد وقوع است. به عنوان نمونه جدول ۱-۳ یک نمای کلی از جدول موجی است که او ارائه نمود. این جدول درصد وقوع، ارتفاع موج‌های مشخصه، جهت انتشار موج نمایش می‌دهد. فن لیوون از این جدول برای تعیین نرخ انتقال رسوب استفاده نمود.

5	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0
4,5	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0
3,5	0	0	0,02	0,01	0	0	0	0	0
H_s 3	0	0,01	0,03	0,02	0	0	0	0	0
2,5	0	0,01	0,04	0,02	0	0	0	0	0
2	0	0,02	0,07	0,05	0	0	0	0	0
1,5	0,01	0,02	0,09	0,05	0,01	0,01	0	0	0
1	0,03	0,03	0,09	0,06	0,02	0,02	0	0	0
0,5	0,02	0,02	0,07	0,06	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
		20	40	60	80	100	120	140	160
		ϕ_{wave}							

جدول ۱-۳ نمونه‌ای از جدول موج با نمایش ارتفاع موج مشخصه، جهت انتشار و درصد وقوع (فن لیوون، ۲۰۱۵)

۳-۳-۳ تعیین زاویه‌ی خط ساحلی

در مدل ترکیبی برای تعیین زاویه‌ی خط ساحلی، زاویه‌ای که بردار عمود بر ساحل با راستای شمال می‌سازد در نظر گرفته می‌شود. در این مدل فرض بر این است که خط ساحلی در طول تغییرات خود دارای یک حداقل و حداکثر زاویه با راستای شمال باشد، به طوری که زاویه ساحل از این زوایای حداقلی و حداکثری تجاوز نکند. به عنوان مثال اگر زاویه کلی ساحل به سمت شمال است انتظار می‌رود این بازه بین شرق و غرب و حتی کمی کمتر باقی بماند. این فرض برای کاهش محاسبات و زمان مربوطه در نظر گرفته شده است.



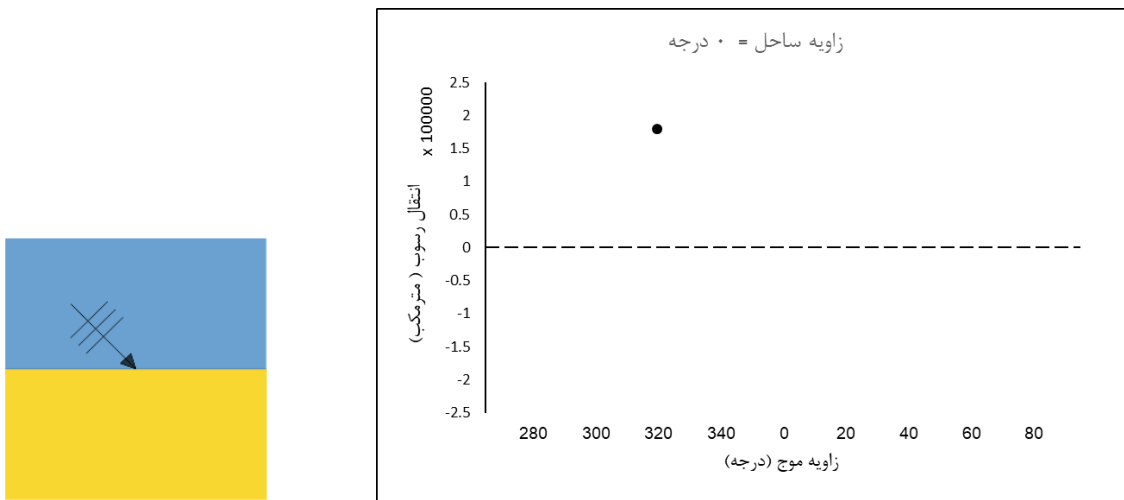
شکل ۳-۳ زوایای مختلف ساحل

برای رسم منحنی انتقال رسوب ابتدا باید زاویه انتشار امواج نسبت به ساحل محاسبه گردد. این مقدار از رابطه $(\varphi_{rel} = \varphi_{wave} - \varphi_{coast})$ به دست می‌آید که به آن زاویه نسبی گفته می‌شود. حال با داشتن ارتفاع امواج و زاویه نسبی آنها نرخ انتقال رسوب قابل محاسبه است. روند محاسبه نرخ انتقال رسوب برای هر موج و هر زاویه‌ی ساحل تکرار می‌شود. در نهایت مقادیر انتقال رسوب کرانه‌ای ایجاد شده توسط هر موج در درصد وقوع آن موج ضرب شده و با هم جمع می‌شوند.

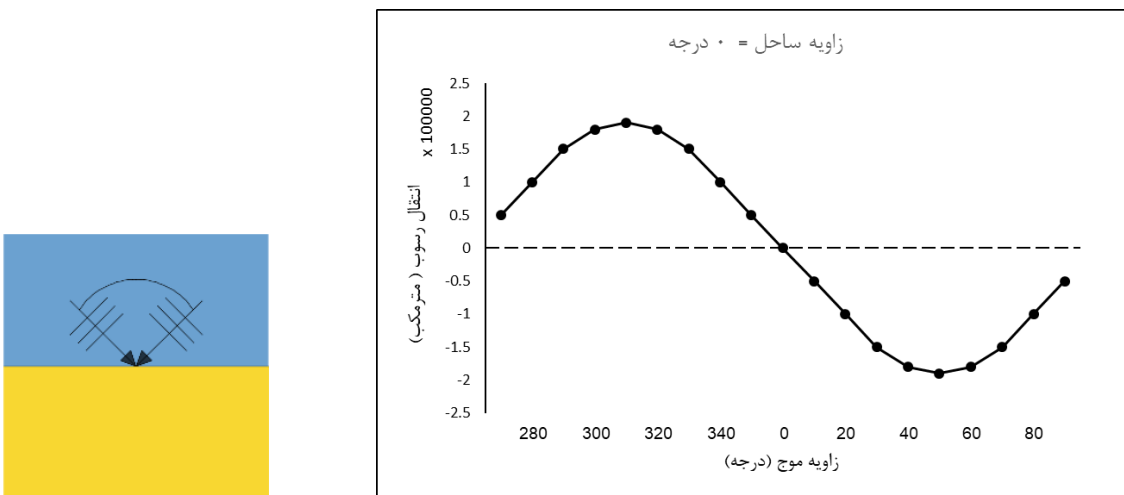
فن لیوون در مدل ترکیبی برای تعیین رسوب‌گذاری یا فرسایش در یک سلول ساحلی از مفهومی تحت عنوان "منحنی انتقال رسوب" و برای در نظر گرفتن اثر وجود موج‌شکن‌ها از مفهوم "پنجره تابش موج" استفاده کرده است که در ادامه تشریح می‌شوند.

منحنی انتقال رسوب

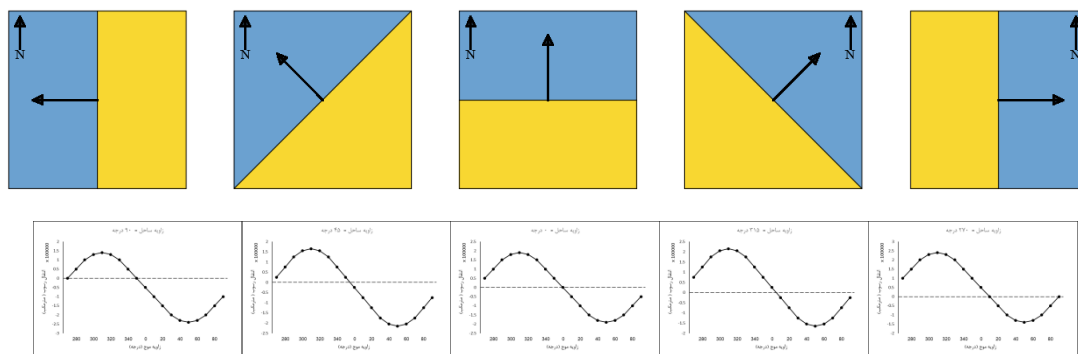
فن لیوون مقادیر نرخ انتقال رسوب برای تمامی امواج نسبت به هر زاویه‌ی ساحل را در نموداری با محورهای انتقال رسوب و زاویه‌ی موج ترسیم نمود. در این روش میزان انتقال رسوب برای تمامی امواجی که زاویه‌ی انتشارشان با هم برابر است، با هم جمع شده و به عنوان یک نقطه در منحنی انتقال رسوب رسم می‌گردد (شکل ۳-۴). با رسم نقاط مربوط به هر زاویه انتشار موج در نمودار یاد شده منحنی انتشار ایجاد می‌شود (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۴ یک زاویه ساحل و یک زاویه انتشار موج (فن لیوون، ۲۰۱۵)



شکل ۳-۵ یک زاویه ساحل و تمامی زوایای انتشار موج (فن لیوون، ۲۰۱۵)



شکل ۳-۶ منحنی انتقال رسوب برای زوایای مختلف ساحل (فن لیوون، ۲۰۱۵)

پنجره تابش موج

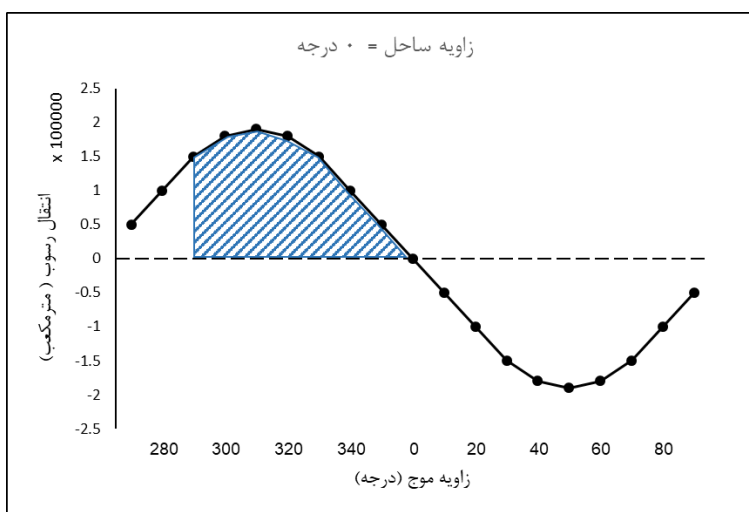
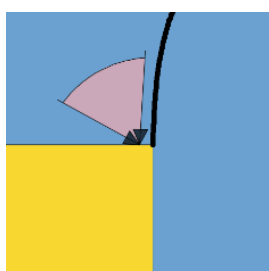
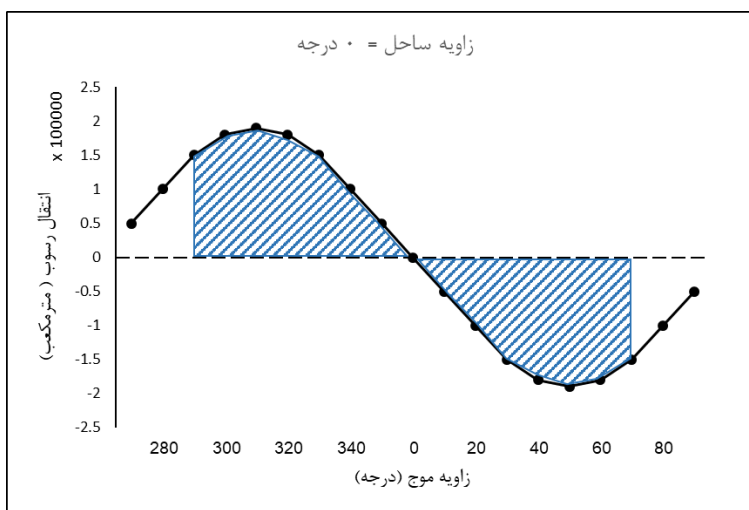
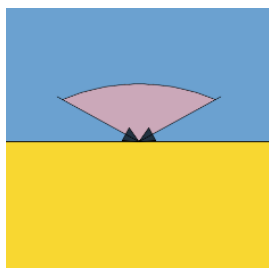
پنجره‌های تابش موج در چند نقطه در امتداد ساحل به گونه‌ای تعریف می‌شوند که نمایانگر بازه امواجی باشند که می‌توانند در آن نقطه منجر به انتقال رسوب شوند. میزان انتقال رسوب در هر نقطه نیز برابر با مساحت سطح زیر نمودار منحنی انتقال رسوب با توجه به پنجره تابش موج در آن نقطه است (برای مثال به شکل ۳-۷ رجوع شود). برای محاسبه نرخ انتقال رسوب در فاصله بین نقاطی که پنجره امواج برای آنها ایجاد شده است از درون یابی خطی استفاده می‌شود.

انتقال رسوب کرانه‌ای

در مدل ترکیبی فن لیوون برای محاسبه‌ی میزان انتقال رسوب کرانه‌ای از رابطه نیمه تجربی سرک^۱ (۱۹۸۴) استفاده شده است. روابط نیمه تجربی نمایشی ساده شده از فرآیندهای فیزیکی هستند که از تعداد کمی ضرایب تجربی و داده‌های ورودی استفاده می‌کنند. این روابط به دلیل ساده بودنشان و نیز تخمین سریعی که از نرخ انتقال رسوب کرانه‌ای می‌دهند عموماً در محاسبات و مطالعات اولیه‌ی مهندسی سواحل به کار می‌روند. فرمول‌های سرک (۱۹۸۴)، کمفیس^۲ (۱۹۹۱) و... از جمله‌ی این روابط نیمه تجربی‌اند. بهترین و دقیق‌ترین روش برای تعیین نرخ انتقال رسوب کرانه‌ای، مقایسه

^۱ CERC

^۲ Kamphuis



شکل ۳-۷ نمونه‌ای از اعمال اثر حضور موج‌شکن توسط پنجره موج (فن لیوون، ۲۰۱۵)

اطلاعات هیدروگرافی در دوره‌های مختلف با فواصل زمانی مناسب در محدوده بنادر و یا سازه‌های متقاطع با ساحل است که در محدوده ساحل ساخته شده‌اند، در صورت عدم وجود چنین بنادر و سازه‌هایی و یا عدم وجود اطلاعات هیدروگرافی مناسب، ناگزیر به استفاده از روشهای محاسباتی بر مبنای اطلاعات موج جهت تخمین این نرخ می‌باشیم (اسمعیل پور مطلق، ۱۳۹۷).

با توجه به اینکه عموم این روابط نیمه تجربی از مطالعات صورت گرفته در سواحل دیگر کشورها استخراج شده و با اقلیم امواج و رسوب‌گذاری حاکم بر آن مناطق انطباق دارد، اسمعیل پور مطلق (۱۳۹۷) در تحقیقی نسبت به اصلاح ضریب تجربی رابطه‌ی کمفس با استفاده از آمار و اطلاعات

مربوط به امواج و خصوصیات دانه بندی رسوبات در شش ساحل دریای خزر اقدام نمود. لذا در راستای بهبود و مناسب‌تر نمودن مدل ترکیبی برای سواحل جنوبی دریای خزر از رابطه‌ی اصلاح شده‌ی کمفس در این تحقیق استفاده می‌شود:

$$Q = 19.69 \times 10^4 H_{s,b}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} D_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad \text{برای فصل گرم} \quad (۱-۳)$$

$$Q = 17.91 \times 10^4 H_{s,b}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} D_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad \text{برای فصل سرد} \quad (۲-۳)$$

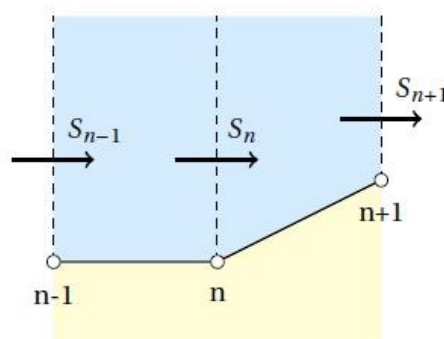
بدین صورت که ابتدا مقدار انتقال رسوب کرانه‌ای با استفاده از روابط (۱-۳) و (۲-۳) برای هر موج به صورت جداگانه محاسبه شده و سپس میانگین مقادیر به دست آمده به عنوان مقدار انتقال رسوب کرانه‌ای ایجاد شده توسط آن موج در نظر گرفته می‌شود.

یکی دیگر از پارامترهایی که برای محاسبه‌ی میزان انتقال رسوب کرانه‌ای باید تعیین گردد زاویه‌ی ساحل نسبت به شمال است، برای این منظور از روش زیر که روشی پیشرو است استفاده می‌شود:

$$\theta_n = \tan^{-1} \left(\frac{y_{n+1} + y_n}{x_{n+1} + x_n} \right) + \frac{1}{2} \pi \quad (۳-۳)$$

پس از محاسبه انتقال رسوب در تمامی گره‌ها میزان تغییر در رسوبات هر گره نیز به صورت روش پسرو محاسبه می‌گردد:

$$\Delta S_n = S_n - S_{n-1} \quad (۴-۳)$$

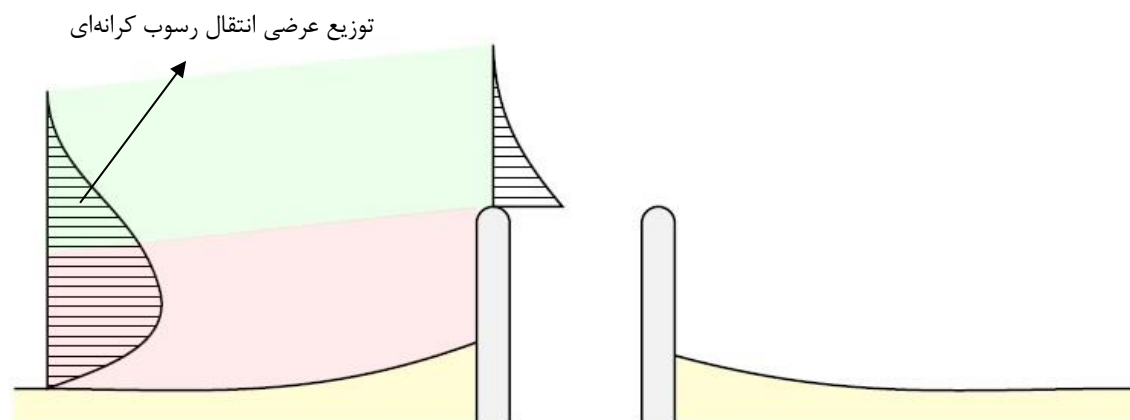


شکل ۳-۸ گره‌های مدل خط ساحلی یک بعدی (فن لیوون، ۲۰۱۵)

حال با داشتن میزان تغییر رسوب و با استفاده از توازن حجمی می‌توان تغییرات خط ساحلی را به دست آورد (روابط (۳-۱۸) و (۳-۴) و (۳-۴)). در مدل ترکیبی برای گره‌های مرزی در ابتدا و انتهای خط ساحلی، کسری از تغییرات نزدیک‌ترین گره استفاده شده است.

گره‌های نزدیک بندر

همانطور که در روابط (۳-۳) و (۳-۴) مشاهده می‌شود، گره‌های مدل خط ساحلی در نزدیکی بندر با ناپیوستگی مواجه خواهد شد. برای برطرف نمودن اثر ناپیوستگی ابتدا می‌بایست مقدار کنارگذری رسوبات محاسبه گردد. در مدل ترکیبی فن لیوون برای محاسبه‌ی کنارگذری ابتدا توزیع انتقال رسوب کرانه‌ای در راستای عمود بر ساحل از طریق ترکیب توازن انرژی موج^۱ و رابطه‌ی انتقال رسوب سولزی^۲ فن راین (۱۹۹۷) محاسبه می‌شود. سپس مطابق شکل ۳-۹، مقدار کنارگذری با توجه به مساحت بخشی از سطح توزیع عرضی انتقال رسوب کرانه‌ای، که پس از برخورد با موج‌شکن از آن عبور می‌کند به دست می‌آید.



شکل ۳-۹ رابطه‌ی ایجاد شده میان توزیع عرضی انتقال رسوب کرانه‌ای و کنارگذری توسط فن لیوون (۲۰۱۵)

با توجه به نیاز این روش به محاسبات بسیار زیاد برای دستیابی به توزیع عرضی انتقال رسوب کرانه‌ای ایجاد شده توسط هر موج و به دنبال آن محاسبه‌ی کنارگذری، در راستای کاهش حجم محاسبات و

¹ Wave energy balance

² Soulsby

افزایش سرعت مدل از روش توسط کمفس (۲۰۰۰) برای محاسبه‌ی کنارگذری در مدل ترکیبی بهبود یافته استفاده می‌شود، در این روش مقدار کنارگذری رسوبات برپایه‌ی شکل نیمرخ عرضی ساحل محاسبه می‌شود، فرض بر این است که نرخ کنارگذری رسوب به نیمرخ فعال وابسته است (شکل ۱۰-۳). نیمرخ عرضی ساحل نیز از رابطه‌ی دین^۱ (۱۹۷۷) (۵-۳) به دست می‌آید.

$$d = A_p X^{2/3} \quad (5-3)$$

که در آن A_p ضریب نیمرخ عرضی است و مقدار آن به طور عمده به قطر متوسط ذرات رسوب (D_{50}) وابسته است. دین (۱۹۸۳) برای محاسبه‌ی این ضریب رابطه‌ی زیر را ارائه نمود:

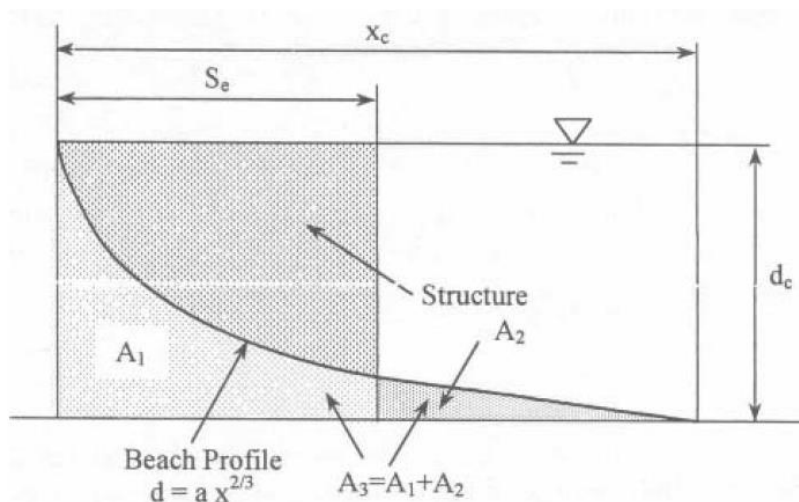
$$A_p = 0.5 w_f^{0.44} \quad (6-3)$$

سرعت سقوط ذرات (w_f) را نیز از رابطه‌ی ارائه شده توسط سرک (۱۹۸۴) می‌توان محاسبه نمود:

$$w_f = \left[\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) g \right]^{0.7} \frac{D_{50}^{1.1}}{6\nu^{0.4}} \quad \text{for } 1.3 \times 10^{-4} \leq D_{50} \leq 1.6 \times 10^{-3} m \quad (7-3)$$

$$w_f = 1.05 \left[\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) g D_{50} \right]^{0.5} \quad \text{for } 1.6 \times 10^{-3} \leq D_{50} \leq 8 \times 10^{-3} m \quad (8-3)$$

که در آن ρ_s و ρ به ترتیب چگالی ذرات رسوبی و چگالی آب و ν لزجت سینماتیکی آب است.



شکل ۱۰-۳ مفاهیم به کار برده شده در محاسبه کنارگذری (کمفس، ۲۰۰۰)

¹ Dean

در ادامه برای محاسبه‌ی کنارگذری می‌بایست فاصله طولی نیمرخ فعال را (جایی که نیمرخ عرضی ساحل به عمق نهایی^۱ (dc) می‌رسد) از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$X_c = \left(\frac{d_c}{A_p}\right)^{3/2} \quad (9-3)$$

طول موثر موج‌شکن (بخشی از طول موج‌شکن که در بازه خط ساحلی و انتهای طول نیمرخ فعال قرار می‌گیرد) نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S_e = S_s - x_s \quad (10-3)$$

در رابطه فوق مقدار x_s نشان دهنده موقعیت خط ساحلی نسبت به موج‌شکن است.

حال می‌توان با انتگرال گیری از نیمرخ فعال به مقدار کنارگذری به صورت زیر دست یافت:

$$\frac{Q_{by}}{Q} = \frac{A_2}{A_3} = \left(1 - \frac{A_1}{A_3}\right) = 1 - \left\{ \frac{S_e d_c - 3/5 A_p S_e^{5/3}}{x_c S_e - 3/5 A_p x_c^{5/3}} \right\} \quad (11-3)$$

برای $0 < S_e < x_c$

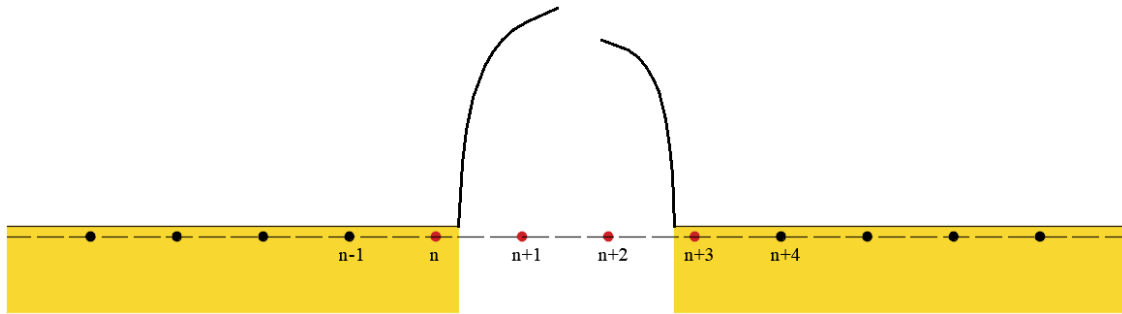
$$Q_{by} = 0 \quad \text{برای } S_e \geq x_c$$

$$Q_{by} = Q \quad \text{برای } S_e \leq x_c \quad (12-3)$$

که در آن Q مقدار انتقال کرانه‌ای در نزدیک‌ترین گره به بندر است. همانطور که قبلاً نیز بیان شد فرض بر این است که نیمرخ ساحلی ثابت بوده و فقط به عقب یا جلو حرکت می‌کند، در نزدیکی موج‌شکن‌ها خط ساحلی به مرور پیشروی کرده و میزان کنارگذری نیز افزایش می‌یابد، این فرآیند همواره ادامه داشته تا زمانی که ظرفیت موج‌شکن پر بشود ($S_e=0$)، آنگاه تمامی رسوبات از موج‌شکن می‌گذرند ($Q_{by}=Q$).

¹ Closure depth

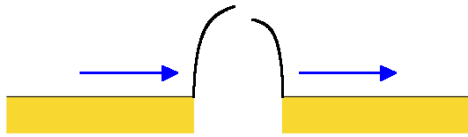
با مشخص شدن میزان کنارگذری در هر دو سمت بندر، می‌توان مشکل عدم پیوستگی نقاط در اطراف بندر را مطابق روش ارائه شده در مدل ترکیبی مرتفع نمود. در مثال زیر (شکل ۳-۱۱) نقاط n ، $n+1$ ، $n+2$ و $n+3$ نزدیک‌ترین نقاط به موج‌شکن‌ها هستند.



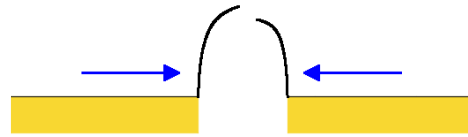
شکل ۳-۱۱ مثالی از گره‌های نزدیک بندر (فن لیوون، ۲۰۱۵)

همانطور که در تصویر دیده می‌شود در این نقاط نمی‌توان مانند سایر گره‌ها زاویه ساحل و به دنبال آن میزان انتقال رسوب در آنها را محاسبه نمود. در این حالت گره‌ها به سه دسته تقسیم بندی می‌شوند: گره‌های سمت چپ بندر، مانند n ، گره‌های داخل بندر، مانند $n+1$ و $n+2$ و گره‌های سمت راست بندر مانند $n+3$ ، از آنجایی که نقاط داخل بندر فاقد عقب رفتگی یا جلو رفتگی هستند نیازی به محاسبه انتقال رسوب ندارند، لذا مقدار تغییرات خط ساحلی برای این نقاط صفر در نظر گرفته می‌شود. اما برای حل مشکل ناپیوستگی ایجاد شده در گره سمت چپ بندر (گره n) و گره سمت راست بندر (گره $n+3$) می‌بایست از نزدیک‌ترین گره‌هایی که اطلاعات آنها موجود است استفاده نمود (گره $n+4$ در سمت راست و گره $n-1$ در سمت چپ بندر). در هنگام استفاده از این نقاط چهار حالت ممکن است رخ بدهد:

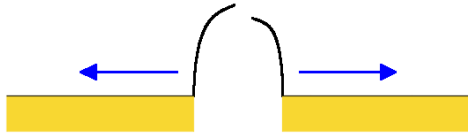
- ۱) انتقال رسوب مثبت در هر دو سمت بندر
- ۲) انتقال رسوب مثبت در سمت چپ و انتقال رسوب منفی در سمت راست بندر
- ۳) انتقال رسوب منفی در سمت چپ و انتقال رسوب مثبت در سمت راست بندر
- ۴) انتقال رسوب منفی در هر دو سمت بندر



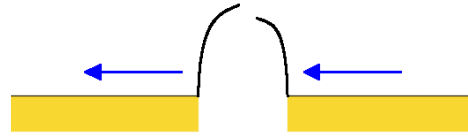
۱. انتقال رسوب مثبت در هر دو سمت بندر



۲. انتقال رسوب مثبت در سمت چپ و انتقال رسوب منفی در سمت راست بندر



۳. انتقال رسوب منفی در سمت چپ و انتقال رسوب مثبت در سمت راست بندر



۴. انتقال رسوب منفی در هر دو سمت بندر

شکل ۳-۱۲ حالت‌های مختلف انتقال رسوب در دو سمت بندر (فن لیوون، ۲۰۱۵)

با مشخص شدن میزان انتقال رسوب و جهت آن در نقاط یاد شده می‌بایست برای استفاده از این مقادیر ضرایبی تحت عنوان ضریب کنارگذری و ضریب در دام افتادگی تعریف گردد. ضریب کنارگذری تعیین کننده‌ی میزان رسوباتی است که از موج‌شکن اول عبور کرده‌اند. ضریب در دام افتادگی نیز میزان رسوباتی که از موج‌شکن اول عبور کرده ولی در بندر یا کانال به دام افتاده و از موج‌شکن دوم نتوانسته‌اند عبور کنند را تعیین می‌کند.

با توجه به یکی از چهار حالت یاد شده میزان انتقال رسوب به عنوان مثال برای نقاط n و $n+3$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

حالت اول:

$$S_n = b_{ltr} \times S_{n-1} \quad (۱۳-۳)$$

$$S_{n+3} = b_{ltr} \times tr_{ltr} \times S_{n-1}$$

حالت دوم:

$$S_n = b_{ltr} \times S_{n-1} - |b_{rtl} \times tr_{rtl} \times S_{n+4}| \quad (۱۴-۳)$$

$$S_{n+3} = -|b_{rtl} \times S_{n+4}| + |b_{ltr} \times tr_{ltr} \times S_{n-1}|$$

حالت سوم:

$$S_n = 0 \quad (۱۵-۳)$$

$$S_{n+3} = 0$$

حالت چهارم:

$$S_n = -|b_{rtl} \times tr_{rtl} \times S_{n+4}| \quad (16-3)$$

$$S_{n+3} = -|b_{rtl} \times S_{n+4}|$$

در این معادلات عبارت "b" به معنی "ضریب کنارگذاری رسوب" و عبارت "tr" به معنی "ضریب در دام افتادگی" است. عبارت‌های "rtl" و "ltr" به ترتیب به معنی "راست به چپ" و "چپ به راست" می‌باشند. مقدار ضریب در دام افتادگی را نیز می‌توان با توجه مشخصات جریان از رابطه‌ی باتمن^۱ و همکاران (۱۹۹۶) محاسبه نمود:

$$tr = 1 + (C_0 - C_1)Q / C_0 w_f A_e \quad (17-3)$$

که در آن C_0 غلظت رسوبات در آب‌های پیرامونی، C_1 غلظت رسوبات در داخل حوضچه، Q شار جرمی (انتقال رسوب کرانه‌ای)، w_f سرعت سقوط ذرات و A_e مساحت دهانه بندر است.

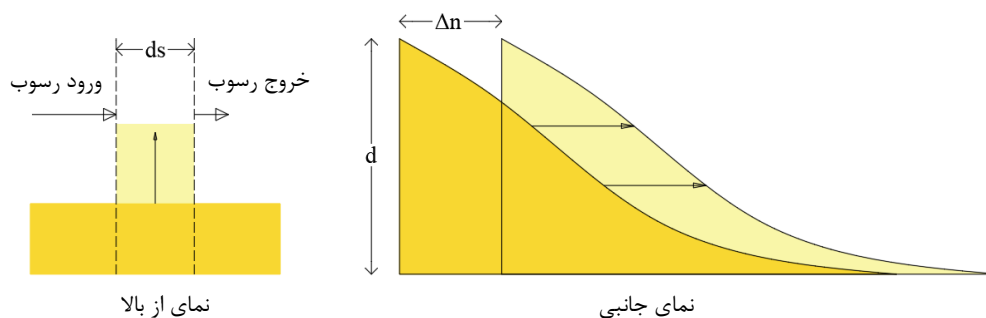
روش کار به این صورت است که برای محاسبه‌ی ضرایب در دام افتادگی از چپ به راست و از راست به چپ به ابتدا میزان انتقال رسوب ایجاد شده توسط هر یک از امواج جدول موج محاسبه شده و سپس با توجه به نوع انتقال رسوب کرانه‌ای ایجاد شده توسط هر موج (انتقال رسوب مثبت (از چپ به راست) و انتقال رسوب منفی (از راست به چپ))، ضریب در دام افتادگی آنها محاسبه می‌شود و در نهایت میانگین ضرایب در دام افتادگی مثبت و منفی به ترتیب به عنوان ضریب در دام افتادگی از چپ به راست و از راست به چپ به کار برده خواهند شد.

۳-۳-۴ تغییرات خط ساحلی

لشته‌نشایی و همکاران (۱۳۸۵) با بررسی پدیده‌ی انتقال رسوب عرضی و تغییرات بستر سواحل در اثر تکرار این پدیده و استفاده از دو روش مدل فیزیکی و ریاضی، برگشت‌پذیری پدیده‌ی انتقال رسوب

¹ Butman

عمود بر ساحل را تایید نمودند. با توجه به اینکه نیمرخ سواحل ماسه‌ای بر اثر انتقال رسوب عمود بر ساحل دائماً در حال تغییر و تحول است، دست یافتن به یک نیمرخ پایدار برای اینگونه سواحل امری ناممکن است (اسمعیل‌پور مطلق، ۱۳۹۷). از این رو در مدل ترکیبی بهبود یافته نیز به منظور افزایش سرعت محاسبات از تئوری تک خطی برای محاسبه تغییرات خط ساحلی استفاده می‌شود. بدین معنی که اثرات انتقال رسوب عرضی با در نظر گرفتن یک نیمرخ تعادلی، در مدل لحاظ شده و از محاسبه‌ی میزان انتقال رسوب عرضی در تعیین تغییرات خط ساحلی صرف نظر می‌گردد. لذا نیمرخ عرضی ساحل بر اساس نیمرخ تعادلی دین (۱۹۹۱) محاسبه شده و همواره ثابت می‌ماند و فقط به هنگام رسوب‌گذاری به سمت جلو و به هنگام فرسایش به سمت عقب حرکت می‌کند. برای تعیین این عقب‌رفتگی یا جلورفتگی (فرسایش یا رسوب‌گذاری) از توازن جرمی در طول ساحل استفاده می‌شود. شکل زیر فرآیند تغییر خط ساحلی (پیشروی خط ساحلی) را نمایش می‌دهد:



شکل ۳-۱۳ جلورفتگی خط ساحل (رسوب‌گذاری) (فن لیوون، ۲۰۱۵)

میزان تغییرات خط ساحلی در راستای عمود بر ساحل از طریق رابطه‌ی زیر و با داشتن مقادیر: عرض سلول ساحلی (فاصله‌ی بین گره‌های خط ساحلی) و عمق پروفیل فعال، محاسبه می‌شود.

$$sed_{out} - sed_{in} = \Delta S = d \times \Delta n \times ds \quad (۱۸-۳)$$

که در آن:

d_s = فاصله بین گره‌ها در امتداد ساحل

d = ارتفاع پروفیل فعال

$\Delta n =$ تغییر عرضی خط ساحلی

۳-۳-۵ استخراج خط ساحلی

برای ساخت شبکه‌بندی در مدل عددی دو بعدی جریان که از این پس به اختصار مدل جریان نامیده می‌شود، خط ساحلی می‌بایست مشخص باشد. از این رو مدل یک بعدی خط ساحلی در چندین گام زمانی از پیش تعیین شده خطوط ساحلی را تولید و ذخیره می‌کند. پس از تعیین تمام خطوط ساحلی توسط مدل یک بعدی، مدل‌سازی محیط و شبکه بندی با توجه به خط ساحلی انجام شده و سپس مدل جریان اجرا می‌شود.

۳-۴ مدل جریان

میدان جریان یکی از مهمترین پارامترها در تعیین میزان رسوب‌گذاری است که هرگونه تغییری در آن می‌تواند نرخ رسوب‌گذاری را دستخوش تغییر کند، از این رو بسیار مهم است که در مدل ترکیبی تغییرات میدان جریان در پی تغییرات خط ساحلی و مرفولوژیک منطقه به دقت محاسبه گردد. امروزه مدل‌های عددی زیادی در زمینه مدل‌سازی محیط‌های دریایی، رودخانه‌ای و... وجود دارد. بسیاری از این مدل‌ها توسط دانشگاه‌ها و برخی دیگر توسط موسسات تحقیقاتی و یا شرکت‌های خصوصی توسعه یافته‌اند که بعضی از این مدل‌ها به مرور زمان در دسترس عموم قرار گرفته و در پروژه‌های تجاری استفاده شده‌اند. در این بین نرم‌افزارهای دلفت^۱ 3D از شرکت دلتارس و مایک ۲۱ از انستیتو هیدرولیک دانمارک از شهرت جهانی برخوردارند (آندرو و همکاران، ۲۰۱۶). فن لیوون در مدل ترکیبی برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرودینامیکی و محاسبه‌ی میدان جریان از نرم‌افزار دلفت 3D استفاده نمود که نتایج حاصل شده از این نرم‌افزار نشان می‌دهد علی‌رغم تغییرات خط ساحلی و

^۱ Delft 3D

مورفولوژی منطقه در طول زمان، میدان جریان تقریباً بدون تغییر بوده است. در حالی که انتظار می‌رود با تغییرات بلندمدت خط ساحلی، میدان جریان دستخوش تغییر شود. از این رو برای محاسبه‌ی میدان جریان می‌بایست به دنبال ابزاری دقیق‌تر بود.

پارساپور و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی اقدام به مدل‌سازی رودخانه‌ی بو^۱ در کانادا توسط دو نرم‌افزار مایک ۲۱ و دلفت 3D نمودند، پس از مقایسه نتایج به دست آمده روشن شد که نرم افزار مایک ۲۱ نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد. همچنین آنها به این نتیجه رسیدند که نرم‌افزار دلفت 3D برای حصول نتایج مشابه نرم‌افزار مایک ۲۱ نیازمند شبکه بندی ریزتری است که این امر به افزایش مدت زمان محاسبات منجر می‌شود. لذا در این تحقیق به منظور جبران نقص عملکرد مدل ترکیبی در محاسبه میدان جریان از نرم افزار مایک ۲۱ برای این منظور استفاده می‌شود.

از طرفی فن لیوون به منظور افزایش سرعت مدل جریان، داده‌های موج ورودی مدل را به سه موج شامل موج مثبت (موجی که بیشترین انتقال رسوب کرانه‌ای مثبت را با توجه به درصد وقوعش ایجاد می‌کند)، موج منفی (موجی که بیشترین انتقال رسوب کرانه‌ای منفی را با توجه به درصد وقوعش ایجاد می‌کند) و موج بزرگ (موجی که بیشترین انتقال رسوب کرانه‌ای را بدون در نظر گرفتن درصد وقوع و جهت انتقال ایجاد می‌کند) خلاصه نمود. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه با این کار سرعت اجرای مدل به طرز چشمگیری کاهش پیدا می‌کند، اما دقت داده‌های به دست آمده از مدل نیز تا حد زیادی کاهش یافته است. لذا می‌توان با اصلاح ساده‌سازی صورت گرفته در داده‌های ورودی مدل جریان، به نتایج دقیق‌تری دست یافت. با توجه به اینکه داده‌های جدول موج مورد استفاده در ماژول خط ساحلی یک بعدی، در بر دارنده‌ی ویژگی‌های بیشتری از امواج منطقه مورد مطالعه هستند، در مدل ترکیبی بهبود یافته برای افزایش دقت نتایج مدل عددی جریان از داده‌های جدول موج به عنوان داده‌های ورودی مدل جریان استفاده می‌شود.

¹ Bow River

۳-۴-۱ شبکه بندی و عمق سنجی^۱

مش بندی در مدل عددی جریان (مدل جریان مایک ۲۱) با استفاده از خطوط ساحلی ای که مدل یک بعدی خط ساحلی در گام های زمانی متفاوت ایجاد کرده است در چند مرحله ساخته می شود. فرآیند ساخت شبکه توسط مدول تولید مش^۲ مایک انجام می شود. این مدول می تواند شبکه هایی شامل هر دو نوع مش مستطیلی و مثلثی را تولید کند. روش کار به این صورت است که هر ناحیه دلخواه توسط یک چندضلعی ایجاد و تعریف می شود، سپس هر چندضلعی می تواند مش بندی چهار گوش یا سه گوش داشته باشد. در صورت عدم تعریف نوع مش بندی، به صورت پیش فرض از مش بندی مثلثی استفاده می شود.

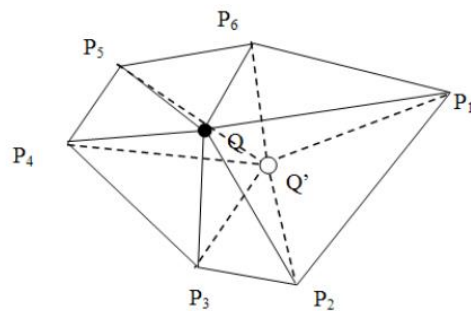
مراحل ایجاد شبکه بندی در این مدول به صورت زیر است:

- تعریف چند ضلعی ها و مشخص کردن نوع شبکه بندی اعم از چهار گوش یا سه گوش
 - تنظیم مشخصات برای هر کدام از چند ضلعی ها (در صورت عدم انجام تنظیمات، مقادیر پیش فرض در نظر گرفته می شود)
 - تولید مش در هر کدام از چند ضلعی ها
 - استفاده از روش مش بندی سه گوش برای ناحیه هایی که شامل چند ضلعی نیستند
- بدین ترتیب، ایده کلی این است که ابتدا مش چهار گوش ایجاد و سپس از مش سه گوش برای اتصال شبکه ها به هم استفاده شود (انیستیتو هیدرولیک دانمارک، ۲۰۱۷).

¹ Bathymetry

² Mesh Generator

برای احتیاط بیشتر بهتر است که پس از شبکه بندی با استفاده از گزینه هموارسازی^۱، آن را برای استفاده کاربردی تر در شبیه سازی، بهبود بخشیم. در عملیات هموارسازی تلاش بر این است که گره‌ها در موقعیتی قرار بگیرند که زوایای بین المان‌ها بیشترین مقدار ممکن باشد (شکل ۳-۱۴). نرم افزار مایک این امکان را به کاربر می‌دهد که داده‌های عمق را با فرمت‌های مختلفی به مدل وارد کند (برای مثال داده‌های عمقی به صورت نقطه‌ای با پسوند XYZ، یا داده‌های عمقی به صورت منحنی میزان با پسوند XYZ. و یا داده‌های عمقی که فرمت Mike21 را دارند). همچنین کاربر می‌تواند با استفاده از ابزارهای داخلی خود نرم افزار نیز نسبت به ایجاد داده‌ی عمقی اقدام نماید.



شکل ۳-۱۴ جابجایی گره از نقطه Q به نقطه Q' برای هموار سازی مش (انیستیتو هیدرولیک دانمارک)

پس از وارد کردن داده‌های عمقی، نرم افزار با استفاده از روش خطی اقدام به درونیابی می‌کند. اگر چند دسته داده‌ی عمق مجزا در نرم افزار وارد شود، نرم افزار با استفاده از اولویت بندی‌ای که کاربر تعیین می‌کند به داده‌ها وزن داده و سپس اقدام به درونیابی می‌نماید. سازوکار اولویت بندی در هنگام درونیابی به صورت زیر است:

فرض کنید که به تعداد n عدد داده از منابع مختلف و با هر فرمت پشتیبانی شده‌ای (نظیر XYZ، dfs2، dfsu و mesh) وارد شده است، که آن‌ها به ترتیب D_1, D_2, \dots, D_n نامیده می‌شوند.

- درونیابی برای هر کدام از داده‌ها (D_i) به صورت جداگانه انجام می‌شود، از این رو یک مش که

فقط بر مبنای این داده است به نام M_i ایجاد می‌شود

¹ Smoothing

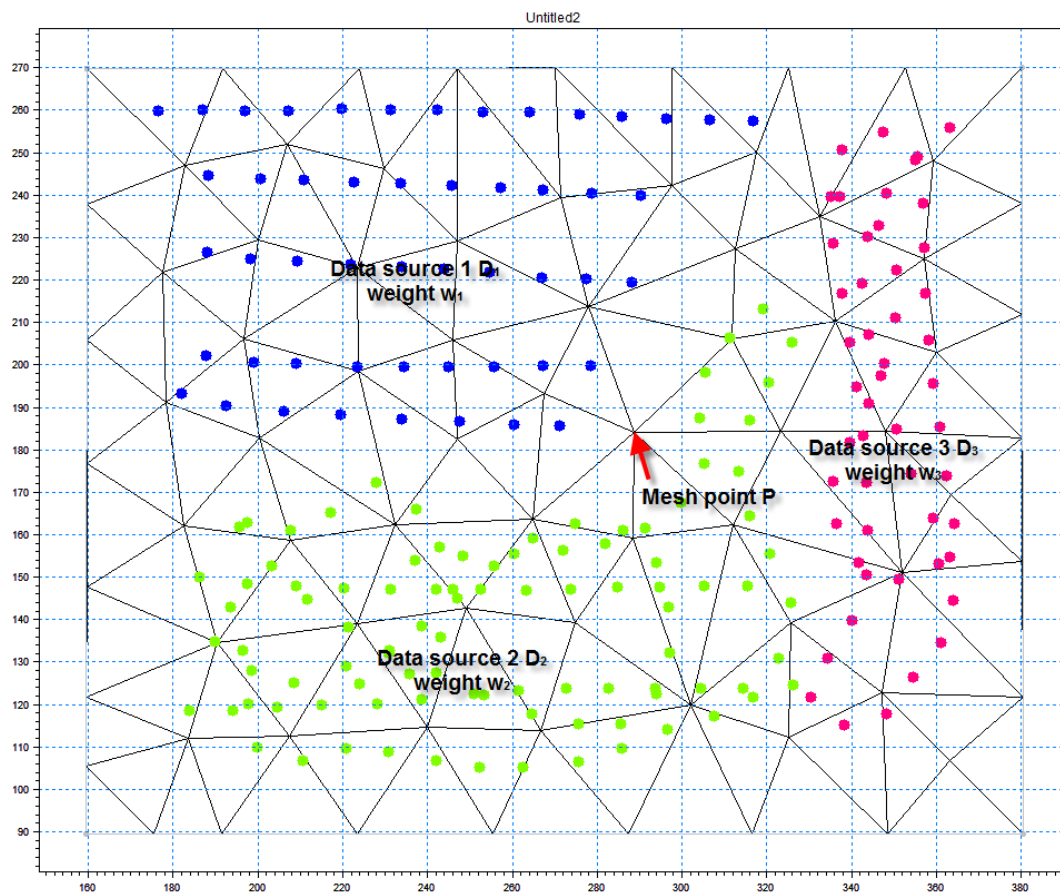
- هر منبع داده‌ای دارای وزنی بین ۰ تا ۱ است (W_i)
- مش نهایی با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید

$$M = \sum_{i=1}^n M_i W_i \quad (۱۹-۳)$$

به صورتی که رابطه‌ی زیر برقرار باشد

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (۲۰-۳)$$

شکل ۳-۱۵ فرآیند درونیابی با استفاده از سه منبع داده‌ی مجزا را نمایش می‌دهد.



شکل ۳-۱۵ درونیابی گره P با استفاده از سه داده‌ی عمق مجزا و وزن‌های مربوطه (انیستیتو هیدرولیک دانمارک)

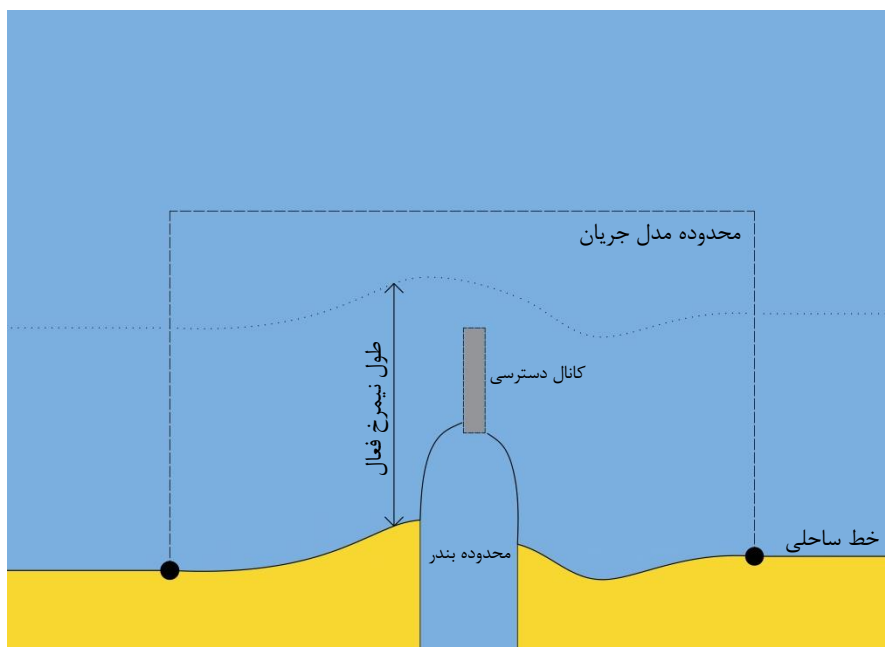
پس از پایان درونیابی نقطه‌ی P دارای مقدار Z حاصل از سه درونیابی منابع داده ۱ تا ۳ با توجه به وزنشان است.

$$Z(P) = w_1 Z(P, D_1) + w_2 Z(P, D_2) + w_3 Z(P, D_3) \quad (۳-۲۱)$$

که در آن $Z(P, D_i)$ منحصرأ درونیابی حاصل از منبع داده D_i است.

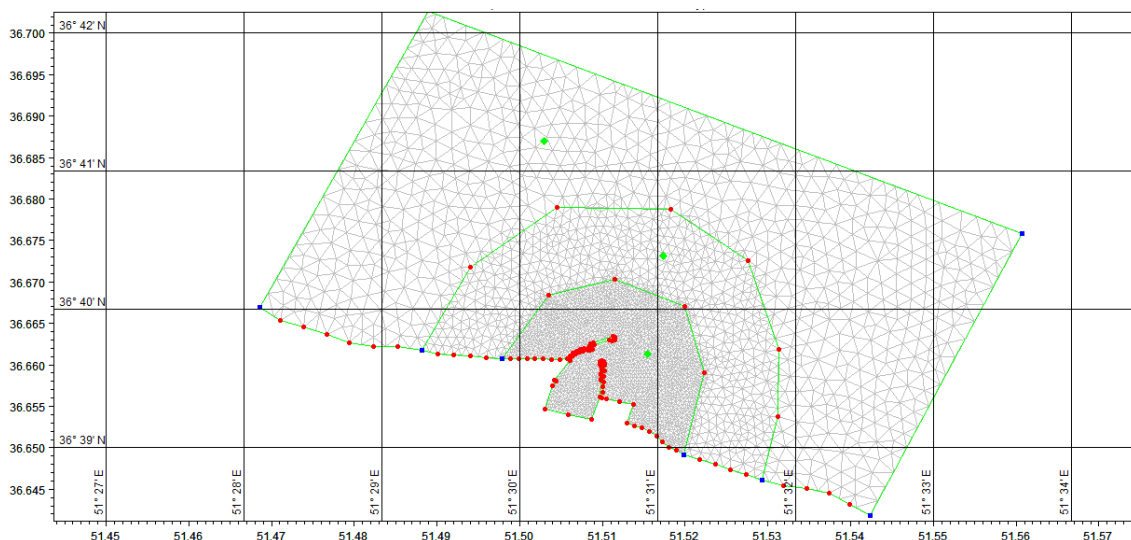
شبکه بندی

برای ایجاد شبکه بندی ابتدا مختصات خط ساحلی ای که مدل یک بعدی ایجاد کرده است توسط نرم افزار مایک فراخوانده می شود. پس از آن طرح و پیکربندی بندر مورد نظر توسط کاربر در فاصله ی میان دو خط ساحلی که توسط مدل یک بعدی ایجاد شده است، وارد می گردد. سپس می بایست محدوده مدل نیز توسط کاربر تعیین گردد، برای این منظور فرض می شود نقاط ابتدا و انتهای خط ساحلی نقاط نسبتاً با ثباتی هستند، در انتخاب آن ها می بایست دقت شود که این نقاط به اندازه کافی از موج شکن ها فاصله داشته باشند و در عین حال آنقدر دور نباشند که عرض شبکه بیش از حد زیاد شده و باعث افزایش مدت زمان محاسبات گردد. در راستای عمود بر ساحل نیز محدوده ی مدل را تا مقداری بعد از رسیدن به انتهای نیمرخ فعال در نقطه ای که بیشترین پیشروی را داشته است در نظر می گیریم (شکل ۳-۱۶).



شکل ۳-۱۶ نحوه ی تعیین محدوده ی مدل جریان

پس از مشخص شدن محدوده‌ی مدل با استفاده از چند چندضلعی این محدوده به سه ناحیه‌ی نزدیک بندر، اطراف بندر و دور از بندر تقسیم می‌شود (شکل ۳-۱۷). شبکه بندی در این نواحی به ترتیب از ریز و درشت تغییر می‌کند. علت این کار جلوگیری از محاسبات اضافی در نقاط کم اهمیت تر و در نتیجه افزایش سرعت مدل است.



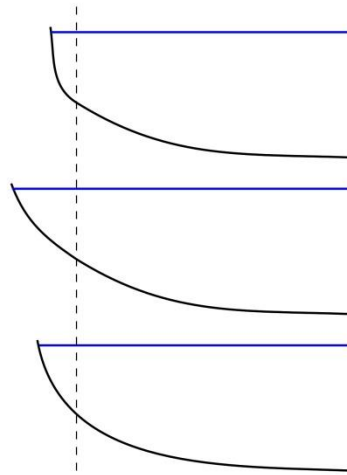
شکل ۳-۱۷ شبکه بندی محدوده‌ی بندر در مدل جریان

عمق دهی

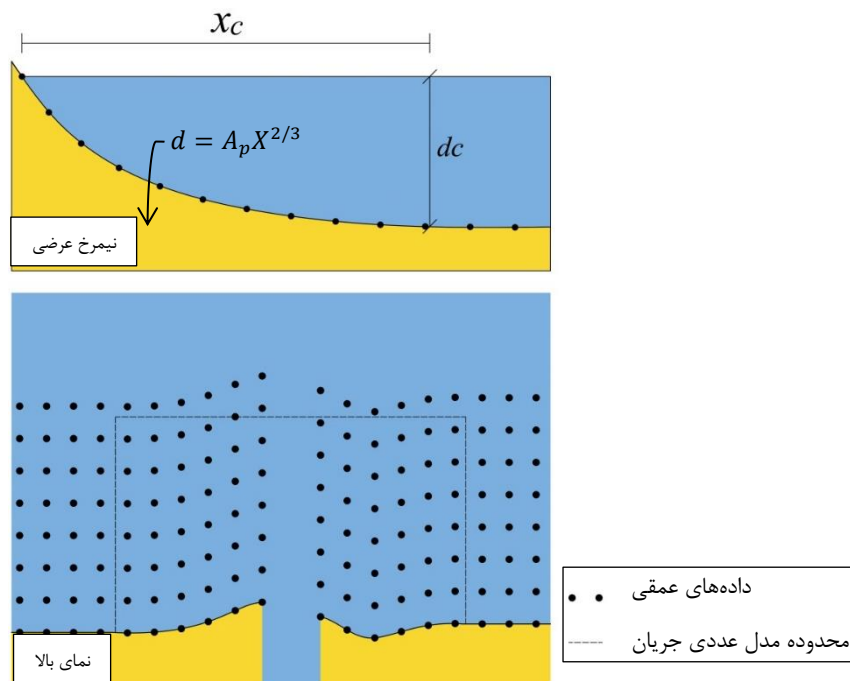
در مدل ترکیبی برای عمق دهی به مدل از نیمرخ تعادلی دین استفاده شده است. اما با توجه به ابزار مورد استفاده در مدل ترکیبی فن لیوون (دلفت 3D) برای جلوگیری از ناپیوستگی در مدل عددی جریان فرض شده است به جای جابجایی کامل نیمرخ عرضی ساحل به سمت جلو و عقب، فقط قسمت ابتدایی آن (از محل خط ساحلی تا نوک موج‌شکن) دچار فشردگی و کشیدگی شود (شکل ۳-۱۸) که در واقعیت اینگونه نیست.

در این تحقیق نیز از نیمرخ تعادلی دین برای عمق دهی به مدل عددی جریان استفاده می‌شود، با این تفاوت که برای انطباق بهتر مدل جریان با شرایط واقعی، نیمرخ عرضی ساحل به سمت جلو و عقب حرکت داده می‌شود. از این رو پس از استخراج خطوط ساحلی توسط مدل یک بعدی در گام‌های

زمانی مختلف، با استفاده از نرم افزار اکسل نیمرخ تعادلی دین بر روی این خطوط ساحلی با فواصل مساوی در امتداد ساحل اعمال می‌گردد. سپس در راستای عمود بر ساحل نیز مقادیر به دست آمده با استفاده از رابطه نیمرخ تعادلی دین به عنوان داده‌های عمقی ذخیره می‌شود (شکل ۳-۱۹). بدیهی است نقاط روی خط ساحلی دارای مقدار z برابر با صفر هستند.



شکل ۳-۱۸ مقطع عرضی ساحل: کشیدگی و فشردگی قسمت بالایی نیمرخ عرضی (فن لیوون، ۲۰۱۵)



شکل ۳-۱۹ عمق دهی به مدل جریان با استفاده از نیمرخ تعادلی دین

داده‌های عمقی در داخل بندر و کانال دسترسی نیز با توجه به طرح مورد نظر، هم می‌تواند در نرم افزار اکسل و هم در خود نرم افزار مایک تعریف شود.

پس از ایجاد داده‌های عمقی ابتدا از نرم افزار اکسل خروجی با پسوند .txt گرفته شده و سپس به فایل قابل فراخوانی توسط نرم افزار مایک (با پسوند .xyz) تبدیل می‌شود.

در هنگام مدل‌سازی مدل جریان در نرم افزار مایک پس از فراخوانی داده‌های خط ساحلی، مشخص شدن محدوده‌ی مدل و ایجاد شبکه بندی فایل‌های حاوی داده‌های عمقی فراخوانی می‌شوند، در ادامه با استفاده از گزینه‌ی درونیابی^۱ مدول تولید مش مایک همانگونه که پیش تر توضیح داده شد مقادیر Z برای تمامی گره‌های شبکه ایجاد شده با استفاده از درونیابی در میان داده‌های عمقی محاسبه می‌گردد.

۳-۴-۲ ساده‌سازی داده‌های موج

فن لیون برای محاسبه‌ی میدان جریان با توجه به تغییرات خط ساحلی، از سه نوع موج استفاده نمود. دو موج که بیشترین سهم را در ایجاد انتقال رسوب کرانه‌ای مثبت و منفی (با توجه به درصد وقوع شان) دارند و یک موج بزرگ که بدون در نظر گرفتن درصد وقوع، بیشترین انتقال رسوب کرانه‌ای را ایجاد می‌کند. اگرچه این ساده‌سازی به میزان زیادی به کاهش مدت زمان محاسبات مدل عددی جریان می‌انجامد، اما به شدت باعث کاهش دقت محاسبات می‌شود. لذا با توجه به اینکه اجرای مدل عددی جریان مایک برای یک دوره‌ی کامل یک ساله، فرآیند زمان بری است، می‌توان به منظور کاهش این مدت زمان و در عین حال حفظ دقت مطلوب مدل عددی جریان، از داده‌های موج موجود در جدول امواج را که در بخش ۳-۳-۲ توضیح داده شد و بیانگر ویژگی‌های موج منطقه است، با توجه به درصد وقوع هر موج، استفاده نمود. با این کار تعداد امواجی که به عنوان داده‌ی ورودی در مدل

^۱ Interpolate

عددی جریان وارد می‌شود به طرز قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد که این امر سبب کاهش مدت زمان محاسبات و افزایش سرعت مدل می‌شود. و اما در عین حال ماهیت کلی امواج منطقه مورد مطالعه حفظ شده است.

۳-۵ رسوب‌گذاری در کانال دسترسی

در مدل ترکیبی محاسبه‌ی رسوب‌گذاری در کانال دسترسی با استفاده از رابطه‌ی تجربی SED-PIT ارائه شده توسط فن راین (۲۰۱۳) انجام می‌شود. این رابطه که در بخش ۲-۵-۱-۱ توضیح داده شده است، کانال را به صورت یک ترانسه‌ی چهارضلعی در نظر می‌گیرد و جریان را مانند لوله‌های جریانی که توازن جرمی دارند فرض می‌کند (فن لیوون، ۲۰۱۵).

۳-۵-۱ پیاده‌سازی

با توجه به اینکه تمامی پارامترهای کانال دسترسی در طول کانال متغیر است، لذا نمی‌توان یک کانال دسترسی را با یک زاویه، یک سرعت جریان، یک عمق خارجی و ... تعریف کرد. از این رو فن لیوون در این مدل، کانال را به چندین قسمت تقسیم نمود، که هر قسمت پارامترهای منحصر به خود مانند عمق خارجی، سرعت‌های جریان و ... را از مدل دو بعدی جریان می‌گیرد. بنابراین کانال به صورت یکپارچه شبیه‌سازی نمی‌شود، بلکه چندین کانال با پارامترهای متفاوت شبیه‌سازی می‌شوند. لازم به ذکر است که رابطه‌ی SED-PIT عمق خارجی در هر دو سمت کانال را یکسان در نظر می‌گیرد که در واقعیت اینگونه نیست، اما با توجه به اینکه تراز بستر در دو طرف کانال تفاوت خیلی زیادی ندارد می‌توان از میانگین آنها استفاده نمود.

اگرچه در محاسبات کانال به چند قسمت تقسیم شده است اما برخی پارامترها مانند عمق کانال نسبت به msl^1 و عرض کانال در کل طول کانال ثابت باقی می‌ماند. طول و زاویه کانال توسط مجموعه‌ای از مختصات‌های مشخص تعیین می‌گردد. تقسیم کردن کانال به قسمت‌های کوچک این اجازه را می‌دهد که ناهمگنی‌ها در طول کانال نیز به حساب بیایند (فن لیوون، ۲۰۱۵).

۳-۶ رسوب‌گذاری در بندر

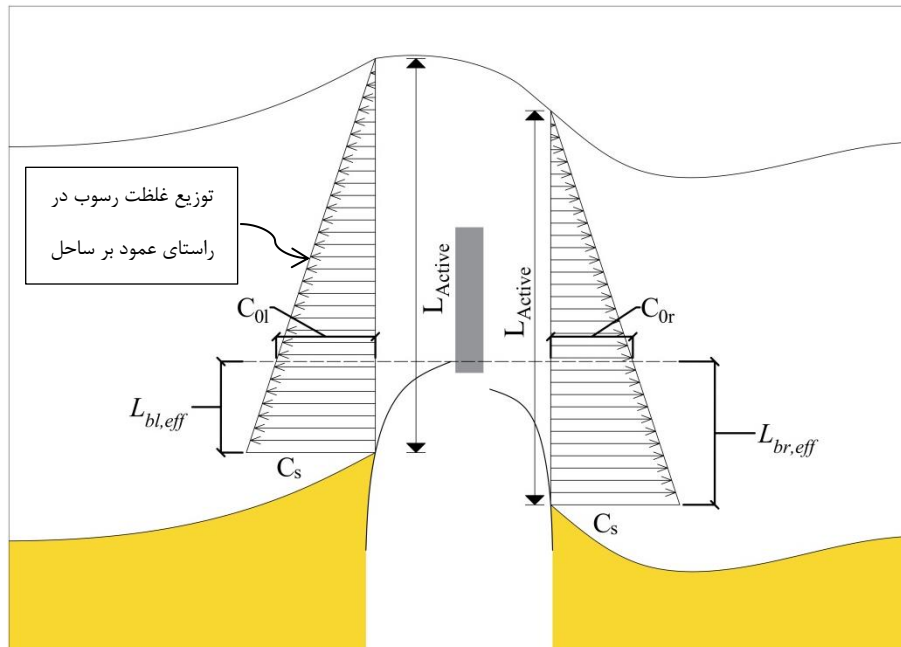
در این مدل محاسبه‌ی رسوب‌گذاری در بندر نیز توسط رابطه‌ی SED-HAR ارائه شده توسط فن راین (۲۰۱۲) صورت می‌گیرد. این رابطه فرآیندهای تبادل آب دریا با آب داخل بندر را تشریح می‌کند که هر کدام از این فرآیندها در بخش ۰ توضیح داده شده‌اند. همانطور که گفته شد به دلیل کاهش سرعت جریان در حوضچه بندر، رسوبات تمایل به ته‌نشینی پیدا می‌کنند، پس می‌توان نتیجه گرفت که نرخ رسوب‌گذاری به سرعت سقوط ذرات بستگی دارد.

۳-۷ تغییرات غلظت رسوبات

غلظت رسوبات معلق یکی از پارامترهای بسیار مهم و تاثیرگذار در محاسبه‌ی نرخ رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی است که اثر تغییرات آن در "مدل ترکیبی" در نظر گرفته نشده است. از این رو در این تحقیق سعی شده است با ایجاد ارتباط میان تغییرات خط ساحلی و غلظت رسوبات معلق، اثر تغییرات غلظت رسوب بر محاسبه‌ی نرخ رسوب‌گذاری را در مدل ترکیبی لحاظ نمود. برای این منظور فرض می‌شود که توزیع غلظت رسوبات معلق در راستای عمود بر ساحل خطی است و با تغییرات خط

¹ Mean Sea Level

ساحلی، غلظت رسوبات در اطراف دهانه بندر نیز تغییر کند. بدین صورت که با پیشروی خط ساحلی غلظت رسوبات در اطراف دهانه بندر افزایش و با پسروی خط ساحلی کاهش می‌یابد (شکل ۳-۲۰).



شکل ۳-۲۰ توزیع عرضی غلظت رسوب در راستای عمود بر ساحل

لذا با استفاده از روابط زیر می‌توان تغییرات غلظت در اطراف دهانه بندر در پی تغییرات خط ساحلی را

محاسبه نمود:

$$C_{0l} = \frac{(L_{Active} - L_{bl,eff})C_s}{L_{Active}} \quad (۲۲-۳)$$

$$C_{0r} = \frac{(L_{Active} - L_{br,eff})C_s}{L_{Active}} \quad (۲۳-۳)$$

که در آن داریم:

$$L_{Active} = \text{طول نیمرخ فعال}$$

$$C_s = \text{غلظت رسوب در ناحیه خط ساحلی}$$

$$L_{bl,eff} = \text{تصویر طول موجشکن سمت چپ بر راستای عمود بر ساحل}$$

$$C_{0l} = \text{غلظت رسوب در سمت چپ دهانه بندر}$$

$L_{br,eff}$ = تصویر طول موجشکن سمت راست بر راستای عمود بر ساحل

C_{0r} = غلظت رسوب در سمت راست دهانه بندر

و در نهایت از مقدار میانگین غلظت محاسبه شده در دو سمت بندر به عنوان غلظت آبهای پیرامونی در روابط تجربی استفاده می شود:

$$C_0 = \frac{C_{0l} - C_{0r}}{2} \quad (۲۴-۳)$$

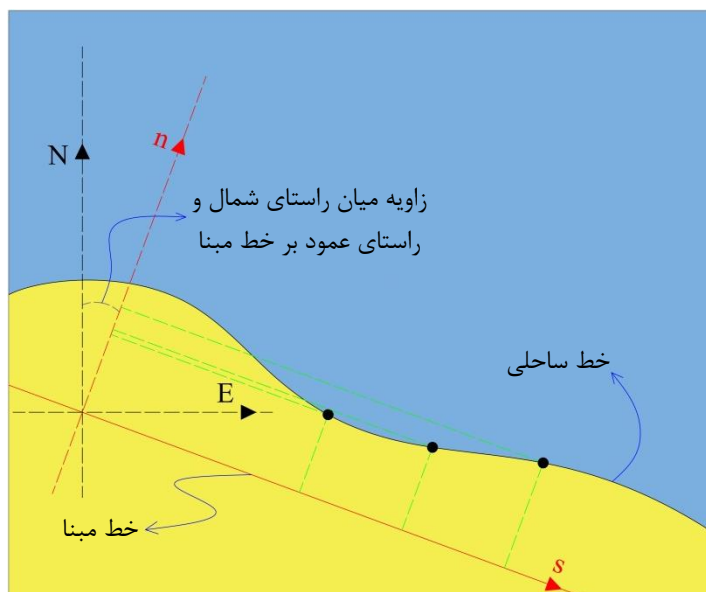
۳-۸ نحوه‌ی اتصال زیرمجموعه‌های مدل ترکیبی

پس از معرفی هر یک از ابزارهای مورد استفاده در مدل ترکیبی، ساده‌سازی‌ها و بهبودهای ممکن، در ادامه به نحوه‌ی تعامل هر کدام از این بخش‌ها با یکدیگر پرداخته می‌شود.

۳-۸-۱ خط ساحلی و شبکه بندی مدل دو بعدی

ساخت یک شبکه با استفاده از خط ساحلی در بخش ۳-۴-۱ توضیح داده شد. در مدل خط ساحلی یک بعدی برای ایجاد خطوط ساحلی از یک سیستم مختصاتی محلی استفاده می‌شود، در این سیستم ابتدا یک خط مبنای تقریباً موازی با راستای کلی ساحل تعریف می‌شود، پس از آن مختصات یوتی‌ام^۱ همه‌ی عوارض موجود (به عنوان مثال خط ساحلی، موج‌شکن، حوضچه بندر و...) به وسیله چرخش و انتقال محورهای مختصاتی به سیستم مختصاتی محلی با مولفه‌های s و n تبدیل می‌شود. به این صورت که فاصله در راستای خط مبنا با « s » و فاصله عمود بر خط مبنا با « n » نمایش داده می‌شود (شکل ۳-۲۱). پس از محاسبه‌ی تغییرات خط ساحلی و ایجاد خطوط ساحلی در گام‌های زمانی از پیش تعیین شده، مختصات‌های محلی دوباره به سیستم مختصاتی یوتی‌ام باز می‌گردند تا در مدل جریان به راحتی قابل استفاده باشند.

^۱ UTM



شکل ۳-۲۱ تبدیل سیستم مختصات یوتی ام به مختصات محلی

پس از وارد کردن خطوط ساحلی ایجاد شده توسط مدل یک بعدی خط ساحلی به محیط نرم افزار مایک، به دلیل استفاده از سیستم مختصاتی متفاوت در مدل خط ساحلی یک بعدی مشاهده می شود که گره های ایجاد شده بر روی خط ساحلی از فواصل یکسان برخوردار نیستند. به منظور ایجاد شبکه بندی یک دست در مدول تولید مش نرم افزار مایک بهتر است که فواصل گره ها بر روی خط ساحلی از فاصله یکسانی برخوردار باشند برای این منظور از دستور "توزیع مجدد گره ها" استفاده می شود. در انجام این روند باید در نظر داشت که اگر فاصله گره ها از هم کم در نظر گرفته شود شکل خط ساحلی وارد شده به نرم افزار کمتر تغییر می کند اما از طرفی باعث ریزتر شدن شبکه بندی می گردد که این امر منجر به افزایش مدت زمان محاسبات میشود. و در صورتی که فواصل در نظر گرفته شده برای گره ها زیاد باشد شکل خط ساحلی وارد شده به محیط نرم افزار دستخوش تغییرات زیادی می شود. بنابراین فواصل باید به صورتی توسط کاربر تنظیم گردد که علاوه بر حفظ شکل کلی خط ساحلی ایجاد شده توسط مدل یک بعدی خط ساحلی، باعث ریزتر شدن بی دلیل شبکه بندی مدل دو بعدی جریان نگردد.

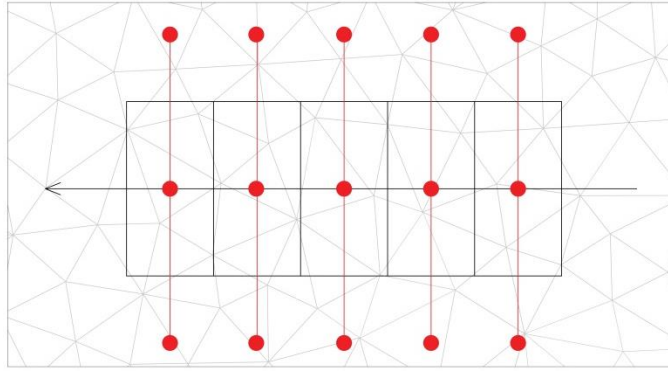
۲-۸-۳ مدل جریان و SED-PIT

داده‌های ورودی SED-PIT را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد:

- ابعاد کانال و عمق بستر در اطراف آن
- سرعت و جهت جریان
- مشخصات ذرات رسوب (قطر و غلظت)
- تنظیمات عددی: گام‌های زمانی و اندازه قطعات کانال

همانطور که در بخش ۳-۴-۱ گفته شد داده‌های عمقی کانال یا از طریق نرم افزار اکسل یا در محیط خود نرم افزار مایک در مدل وارد می‌شود. از این اطلاعات وارد شده توسط کاربر برای عمق‌دهی به کانال در مدل جریان استفاده می‌شود. سپس در صورتی که طول کانال به اندازه‌ای طولانی باشد که نتوان برخی پارامترها نظیر عمق خارجی کانال را در تمامی نقاط برای آن یکسان در نظر گرفت کانال به قطعات کوچکتر با اندازه‌های برابر تقسیم شده و اندازه‌های آن در SED-PIT وارد می‌شود (فن‌لیوون، ۲۰۱۵).

به دلیل اینکه اندازه سلول‌ها در شبکه مدل جریان خیلی کوچک نیستند، نمی‌توان کانال را بسیار دقیق در آن تعریف نمود. از این رو برای خواندن سرعت جریان در خارج از کانال باید سلول‌هایی را انتخاب کرد که به اندازه کافی دور بوده و تحت تاثیر پیاده سازی کانال در مدل جریان قرار نگرفته باشند. به همین منظور مقداری فاصله‌ی رواداری (عمود بر محور کانال) در نظر گرفته شده است (شکل ۳-۲۲). مقدار این فاصله توسط کاربر قابل تنظیم است. با استفاده از درون‌یابی خطی در میدان جریان، سرعت و جهت جریان در داخل و خارج از هر کدام از قسمت‌های کانال محاسبه و به SED-PIT ارسال می‌گردد.



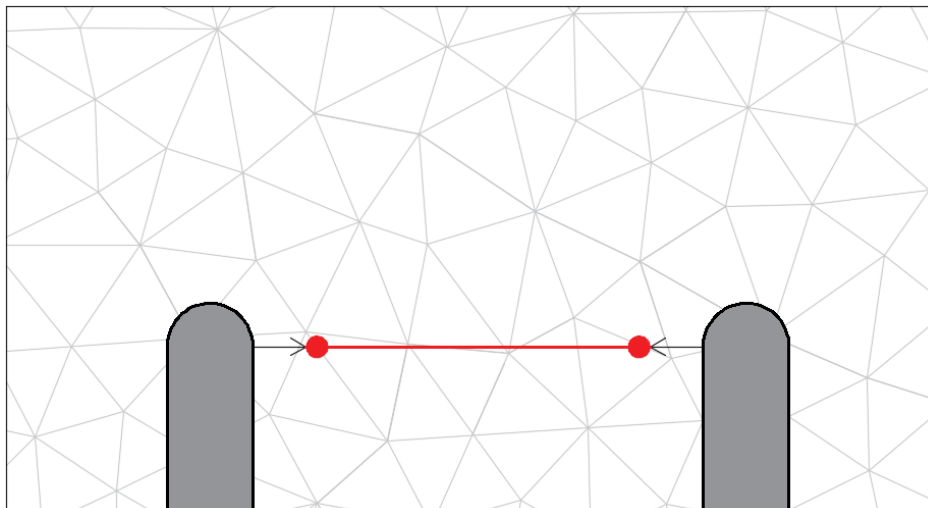
شکل ۳-۲۲ استخراج داده و فاصله رواداری برای کانال دسترسی

۳-۸-۳ مدل جریان و SED-HAR

همانطور که در بخش قبل گفته شد ابعاد و اندازه‌های بندر و موج‌شکن‌ها در مدل جریان پیاده شده است، از این رو داده‌هایی که مدل جریان برای رابطه SED-HAR ایجاد می‌کند به قرار زیر است:

- مساحت بندر
- ابعاد دهانه بندر (اعم از زاویه، عرض و عمق)
- سرعت و جهت جریان

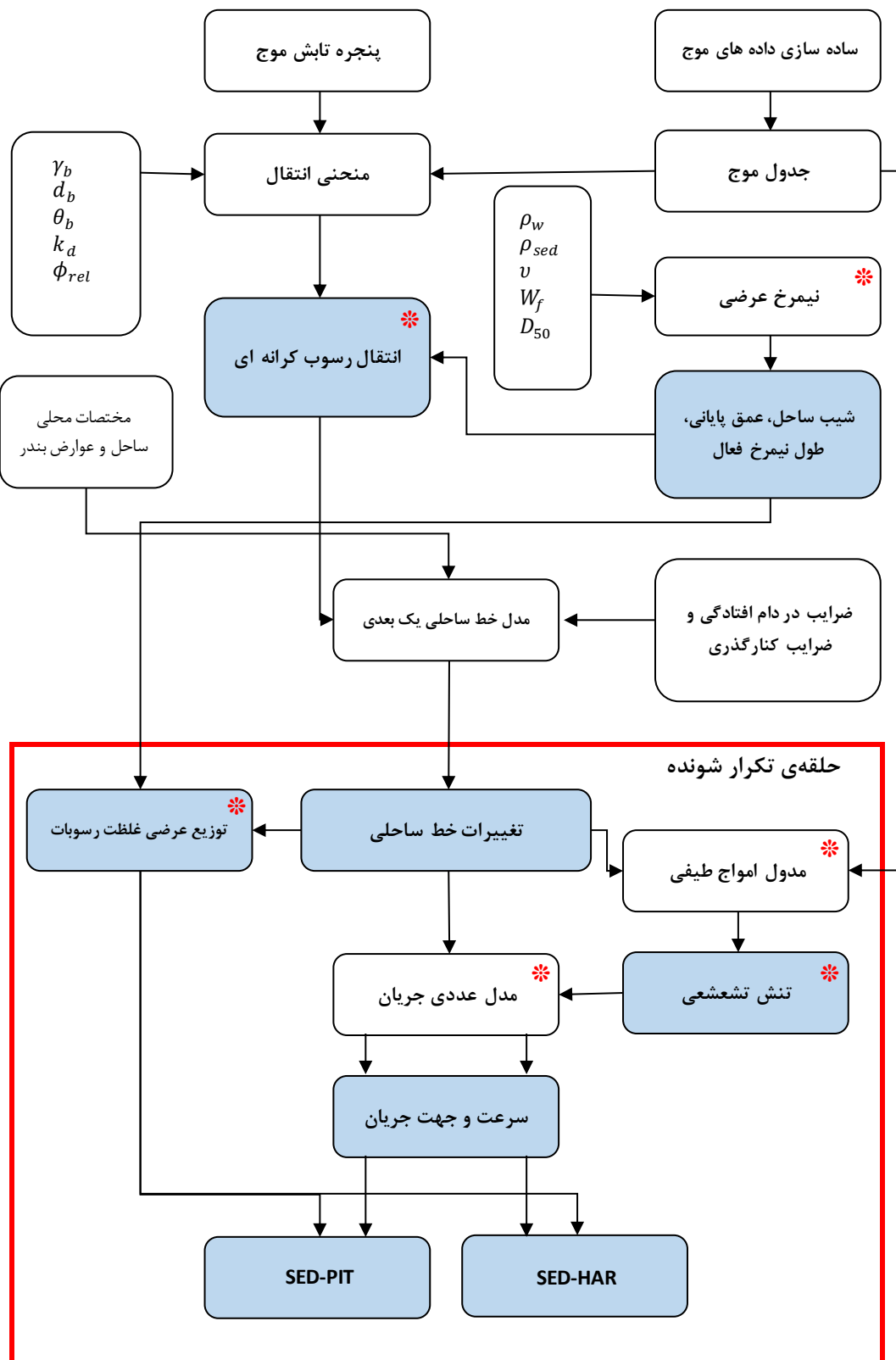
در استخراج داده برای رابطه SED-HAR نیز مانند رابطه SED-PIT مقداری فاصله رواداری در نظر گرفته می‌شود. به این صورت که یک خط با فاصله مشخصی (فاصله رواداری) از نوک موج‌شکن‌ها تعریف شده و سرعت میانگین در طول این خط به عنوان سرعت جریان در ورودی بندر (u_0) در رابطه SED-HAR به کار می‌رود (شکل ۳-۲۳). مشخصات رسوب در داخل و خارج بندر و همچنین ضرایب و دامنه جزر و مدی توسط کاربر در رابطه SED-HAR وارد می‌شود (فن لیوون، ۲۰۱۵).



شکل ۳-۲۳ استخراج داده و فاصله رواداری برای دهانه بندر

۴-۸-۳ تبادل داده

همانطور که در فلوجارت زیر (شکل ۳-۲۴) دیده می‌شود روند انجام محاسبات و نحوه پیوند مدل‌ها از نظر تبادل داده نمایش داده شده است. در این فلوجارت داده‌های ورودی در مستطیل‌های سفید و داده‌های حاصل از محاسبات در مستطیل‌های آبی رنگ رسم شده‌اند. همچنین قسمت‌هایی که در راستای بهبود مدل ترکیبی تغییر و یا به فلوجارت اضافه شده است با علامت * متمایز گردیده‌اند.



شکل ۳-۲۴ فلوجارت نحوه عملکرد مدل ترکیبی بهبود یافته

۳-۹ حوزه‌ی کاربرد

برای درک حوزه‌ی کاربرد مدل ترکیبی می‌بایست به حوزه‌های کاربرد زیرمجموعه‌های به کار رفته در آن رجوع کرد:

- بندر می‌بایست در یک ساحل قالباً ماسه‌ای قرار داشته باشد
- در ساحل موج حاکم باشد
- حالت کلی انتقال رسوب به صورت کرانه‌ای باشد

به طور کلی باید این نکته مدنظر باشد که ایجاد مدلی که بتواند میزان رسوب‌گذاری در طول زمان را دقیقاً پیش‌بینی کند حتی با مدل‌های سه بعدی پیچیده موجود امکان پذیر نیست. بدیهی است که از مدل ترکیبی، به دلیل ساده‌سازی‌های فراوانی که در آن ایجاد شده است تا به محاسبات سرعت بالا دست یابد، نمی‌توان انتظار داشت که از دقت بسیار بالایی برخوردار باشد. در واقع کاربرد و ثمربخشی این مدل بر پایه تخمین‌های نسبی آن است که با آن می‌توان حالت و طرح‌های موجود را بررسی و از نظر میزان رسوب‌گذاری آنها را با هم مقایسه نمود (فن لیوون، ۲۰۱۵).

۳-۱۰ جمع بندی

۳-۱۰-۱ تغییرات اعمال شده در مدل ترکیبی

همانطور که در بخش‌های پیشین تشریح شد، مدل ترکیبی از ۴ بخش (ماژول) اصلی تشکیل شده است. اولین ماژول، مدل خط ساحلی یک بُعدی است. این ماژول در مدل ترکیبی وظیفه‌ی محاسبه‌ی تغییرات بلندمدت خط ساحلی را با توجه به مشخصات موج و شکل ساحل منطقه‌ی مورد نظر بر عهده دارد. در این مدل میزان انتقال رسوب کرانه‌ای نقش تعیین کننده‌ای در محاسبه‌ی خط ساحلی ایفا می‌کند. لذا با توجه به اهمیت پارامتر یاد شده، در این تحقیق به منظور تطابق بیشتر مدل با

محدوده‌ی بندر نوشهر و حصول نتایج بهتر، از روابط اصلاح شده‌ی کمفس توسط اسمعیل پور (۱۳۹۷) استفاده می‌شود. همچنین در ماژول خط ساحلی یک بعدی مدل ترکیبی برای محاسبه‌ی میزان کنارگذری رسوبات از ترکیب توزیع انتقال رسوب کرانه‌ای و توازن انرژی موج^۱ در راستای عمود بر ساحل استفاده می‌شود. در این روش می‌بایست برای هر موج مقادیر انتقال رسوب کرانه‌ای و توازن انرژی موج به صورت مجزا محاسبه گردد. به همین خاطر در مدل ترکیبی بهبود یافته برای افزایش سرعت مدل در محاسبه‌ی میزان کنارگذری از روش کمفس (مطابق آنچه که در بخش ۳-۳-۳ گفته شد) استفاده می‌شود.

دومین ماژول در مدل ترکیبی، مدل جریان است که وظیفه‌ی محاسبه‌ی میدان جریان (سرعت و جهت جریان) و اندازه‌گیری تغییرات آن در پی تغییرات خط ساحلی، بر عهده‌ی آن است. با توجه به اینکه پارامترهای سرعت و جهت جریان به عنوان داده‌های ورودی اصلی در ماژول‌های سوم و چهارم مدل ترکیبی (روابط SED-PIT و SED-HAR) به کار برده می‌شوند، می‌بایست دقت مدل در محاسبه‌ی این پارامترها افزایش یابد. از این رو با توجه به آنچه که در بخش ۳-۴ بیان شد برای افزایش دقت مدل ترکیبی در محاسبه‌ی میدان جریان، مدل جریان مایک ۲۱ جایگزین مدل جریان دلفت 3D گردید، همچنین به جای خلاصه نمودن داده‌های ورودی مدل جریان به سه موج (موج مثبت، موج منفی و موج بزرگ) از داده‌های جدول موج به عنوان ورودی در این ماژول استفاده می‌شود، که نتایج حاصل از این تغییرات در بخش‌های بعدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در نهایت ماژول‌های سوم و چهارم مدل ترکیبی، روابط SED-PIT و SED-HAR ارائه شده توسط فن راین هستند که به ترتیب وظیفه‌ی تخمین نرخ رسوب‌گذاری در کانال و حوضچه بندر را بر عهده دارند. این روابط از داده‌های ورودی نظیر سرعت و جهت جریان و غلظت رسوبات برای برآورد میزان رسوب‌گذاری استفاده می‌کنند، بدیهی است که با افزایش دقت در محاسبه‌ی این مقادیر، نتایج

¹ Wave energy balance

دقیق‌تری از این روابط حاصل خواهد شد. از طرفی نتایج به دست آمده از مدل ترکیبی فن لیوون نشان می‌دهند که میزان نرخ رسوب‌گذاری حساسیت بالایی به تغییرات غلظت رسوب دارد، لذا در تحقیق حاضر به منظور افزایش دقت و بهبود نتایج روابط SED-PIT و SED-HAR علاوه بر تغییر مدل جریان (از دلفت 3D به مایک ۲۱)، سعی شده است با ایجاد ارتباط میان تغییرات خط ساحلی و غلظت رسوبات معلق، خلاء موجود در مدل ترکیبی در این زمینه بر طرف گردد.

۳-۱۱ فرضیات ساده‌کننده و ساده‌سازی‌های صورت گرفته

ارزیابی سریع رسوب‌گذاری برای دوره‌های بلندمدت در بندر و کانال دسترسی هدف اصلی ایجاد مدل ترکیبی بوده است، که در این راه به منظور کاهش مدت زمان محاسبات، ساده‌سازی‌ها و فرضیات ساده‌کننده‌ی فراوانی در نظر گرفته شده‌اند. در جدول زیر فرضیات و ساده‌سازی‌های صورت گرفته در مدل ترکیبی بهبود یافته به صورت کلی مشاهده می‌شود.

نام ماژول	فرضیات صورت گرفته	ساده‌سازی‌داده‌های ورودی
مدل خط ساحلی یک بعدی	محدود بودن تغییرات زاویه ساحل - ثابت ماندن تغییرات نیمرخ عرضی ساحل در پی تغییرات خط ساحلی - غالب بودن انتقال رسوب کرانه ای در منطقه	استفاده از جدول موج به عنوان نماینده امواج منطقه
مدل عددی جریان (مدل جریان مایک ۲۱)	عمق دهی محدوده مدل بر اساس نیمرخ تعادلی دین - عدم حضور جریان‌های ناشی از باد	استفاده از جدول موج به عنوان نماینده امواج منطقه
رابطه SED-PIT	مستطیلی بودن مقطع کانال - برابر بودن عمق آب در دو طرف کانال	-
رابطه SED-HAR	مکعبی بودن حوضچه بندر - ته نشینی رسوبات با ضخامت یکسان در طول و عرض بندر	-

جدول ۳-۲ فرضیات و ساده‌سازی‌های صورت گرفته در مدل ترکیبی بهبود یافته

فصل ۴ : پیاده سازی مدل ترکیبی بهبود یافته

۱-۴ مقدمه

در این فصل به معرفی بندر نوشهر و بررسی داده‌های موجود از آن و همچنین اعمال مدل ترکیبی بهبود یافته‌ی تشریح شده در فصل قبل، به بندر نوشهر پرداخته می‌شود. به عبارت دیگر مدل ترکیبی بهبود یافته با استفاده از داده‌های بندر نوشهر صحت سنجی می‌شود. در بخش اول این فصل بندر نوشهر و ساحل آن معرفی و ویژگی‌های آن‌ها برشمرده می‌شود. در بخش بعدی نیز داده‌های موجود بررسی و مرور شده و در ادامه از این داده‌ها در اجرای مدل بهره برده می‌شود.

۲-۴ معرفی بندر و ساحل نوشهر

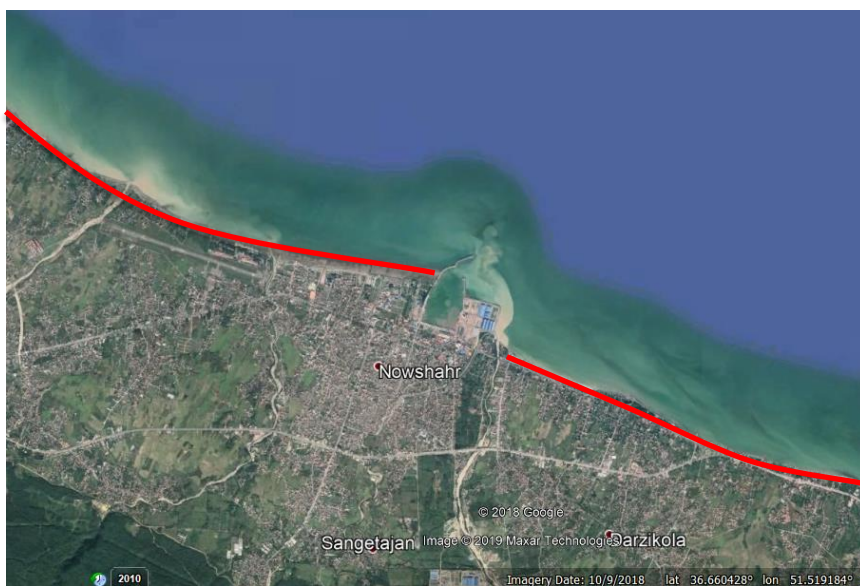
بندر نوشهر با موقعیت جغرافیایی ۵۱ درجه شمالی و ۳۶ درجه شرقی که در ناحیه میانی ساحل جنوبی دریای خزر واقع شده است (شکل ۱-۴). طی سالهای ۱۳۰۹ تا ۱۳۱۸ توسط دو شرکت هلندی و بلژیکی احداث و در سال ۱۳۱۹ با ورود نخستین کشتی تجاری حامل قطعات و ماشین آلات کارخانه ذوب آهن کرج راه اندازی گردید (اکبری نسب و همکاران، ۱۳۹۴).

طی سالهای ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۶ موج‌شکن اصلی بندر اطلاع داده شد. در همین دوره قسمتی از ساحل شرقی بندر نیز احیاء گردید. در سال های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹ ناحیه احیاء شده به سمت دریا و به سمت شرق گسترش داده شد. ساحل غربی بندر نوشهر در سال های پس از احداث بندر پیشروی کرد. شکل ۱-۴ موقعیت بندر نوشهر و اجزاء آن را نمایش می‌دهد (کمالیان و صفری، ۱۳۹۱).

ساحل غربی بندر نوشهر دارای شکستگی مشخصی در غرب مصب فعلی رودخانه‌ی چالوس است (احتمالاً در گذشته دور محل مصب بوده است) و ساحل شرقی آن تقریباً یک ساحل مستقیم است. نکته قابل اشاره این است که زاویه عمومی ساحل غربی و شرقی بندر با هم متفاوت بوده و اختلاف زاویه‌ای حدود ۲۰ درجه با هم دارند (شکل ۲-۴).



شکل ۱-۴ موقعیت جغرافیایی بندر نوشهر



شکل ۲-۴ سواحل شرقی و غربی بندر نوشهر

۳-۴ بررسی داده ها

در این بخش به بررسی داده‌های موجود از بندر نوشهر از قبیل: هندسه و جانمایی بندر، عمق سنجی، موقعیت خط ساحلی، نیمرخ عرضی، سازه‌ها، مشخصات رسوبات، امواج، جزر و مد و انتقال رسوب کرانه‌ای پرداخته می‌شود.

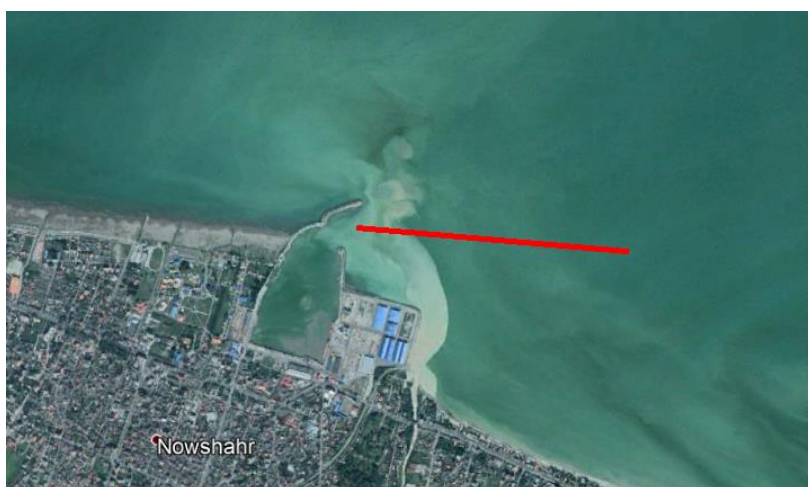
۱-۳-۴ هندسه و جانمایی بندر نوشهر

ناحیه‌ای که به عنوان حوضچه بندر در نظر گرفته شده است از قسمت جنوبی بندر تا دهانه ورودی واقع در شمال بندر مساحتی بالغ بر ۸۷۸،۴۱۲ مترمربع دارد (شکل ۳-۴).

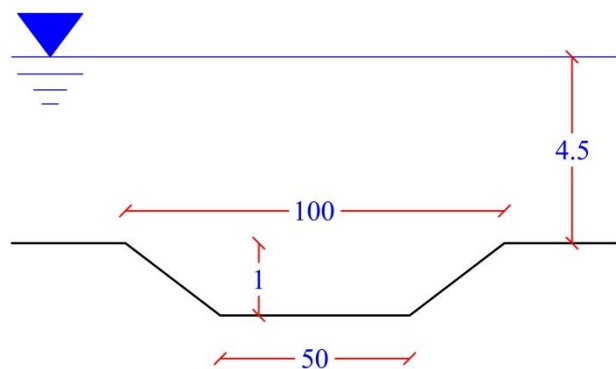


شکل ۳-۴ طرح بندی بندر نوشهر (maps.google.com)

بندر نوشهر دارای کانال دسترسی به طول ۱ مایل دریایی (حدود ۱/۸۶ کیلومتر)، به عمق ۵/۵۰ متر و مسیر شمال شرقی به جنوب غربی با کورس ورودی ۲۷۵ درجه است (noshahrport.pmo.ir). محدوده لایروبی این کانال به طول ۲۵۰ متر و عرض مقطعی با مشخصات ذیل (عرض بالا ۱۰۰ متر و عرض پایین ۵۰ متر) در نظر گرفته می‌شود (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۴ جانمایی کانال دسترسی بندر نوشهر (maps.google.com)



شکل ۴-۵ شماتیک مقطع عرضی کانال دسترسی بندر نوشهر (ابعاد به متر)

۲-۳-۴ داده‌های عمق سنجی

داده‌های عمق سنجی وضعیت موجود بندر نوشهر در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود، خطوط منحنی میزان در سمت چپ و راست بندر وضعیت نامتقارنی دارند که عمده دلیل آن عدم تقارن نسبی طرح بندی و ظاهر بندر نوشهر است. همچنین در سمت راست بندر و در نزدیکی موج‌شکن شرقی فرسایش چشمگیری قابل مشاهده است.



شکل ۴-۶ عمق بستر بندر نوشهر (رستمی، ۱۳۹۰)

۳-۳-۴ تغییرات خط ساحلی

سال هاست که سواحل دریای خزر در حال پایش و ارزیابی از طریق برداشت‌های میدانی و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای است. و تغییرات خط ساحلی بندر نوشهر از این قاعده مستثنی نیست، و داده‌های آن حتی تا قبل از طرح توسعه و اطاله موج‌شکن آن در قالب تصاویر ماهواره‌ای برای عموم در دسترس است. تاثیرات توسعه بندر در قسمت شرقی و اطاله موج‌شکن غربی بر روی تغییرات خط ساحلی در شکل ۴-۷ به وضوح دیده می‌شود.

در سال ۱۳۹۳ شرکت مهندسین مشاور پویا طرح پارس تغییرات خط ساحل بندر نوشهر با استفاده از عکس هوایی سال ۱۳۶۲ و تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۹۱ را با قدرت بالا بررسی نمود، که مشخص شد طی این بازه زمانی ۲۹ ساله، ضلع غربی بندر نوشهر دارای رسوب‌گذاری و خشکی زایی بوده است اما ضلع شرقی آن دچار فرسایش و خوردگی ساحل شده است. شکل ۴-۸ وضعیت فرسایش و رسوب، همان الگوی کلی انتقال رسوب از غرب به شرق دریای خزر را نشان می‌دهد (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳).

۴-۳-۴ جزر و مد

جزر و مد یکی از اثراتی است که ماه بر زمین می‌گذارد. در تعریف اولیه، جزر و مد به پایین رفتن و بالا آمدن آب سطح دریاها و اقیانوس‌ها گفته می‌شود و این دو اثر را از وجود نیروی جاذبه‌ای به غیر از جاذبه‌ی زمین می‌دانیم. در میان سیارات منظومه‌ی شمسی، سیاره‌ی زمین، تنها سیاره‌ای است که دارای مقادیر بسیار زیاد آب در سطحش می‌باشد، به طوری که تقریباً سه چهارم سطح آن از آب پوشیده شده است. تقریباً در تمام نقاط ساحلی دنیا، جزر و مد به صورت دو بار مد (بالا آمدن آب) و دو بار جزر (پایین آمدن آب) وجود دارد. مقدار اختلاف بالا و پایین آمدن آب، بین چند سانتیمتر تا چند متر و در نقاط مختلف دنیا، متفاوت است (سالاریان و مصطفایی، ۱۳۹۴).



شکل ۴-۷ تغییرات خط ساحلی در بندر نوشهر (تعیین شده توسط تصاویر ماهواره های)



شکل ۴-۸ روند تغییرات خط ساحلی بندر نوشهر (مصطفایی و نورمند، ۱۳۹۶)

مقدار جزر و مد در دریای خزر کمتر از آن است که اثر آن قابل ملاحظه باشد. در این دریاچه‌ی بزرگ دامنه جزر و مد کمتر از ۱۰ سانتیمتر است. دلیل این امر آن است که خزر به اقیانوس‌ها یا دریا‌های آزاد متصل نیست. بنابراین جریانات جزر و مدی قابل توجه هم وجود ندارند. امکان کشتیرانی بین خزر و دریا‌های آزاد از طریق رود ولگا و مسیرهای بعدی وجود دارد، اما عبور آب در این مسیر به وسیله دریچه‌های متعدد کنترل گردیده است (تهران برکلی، ۱۳۹۰). از این رو در مدل پیش رو از اثر جزر و مد در مدل جریان صرف نظر گردیده است.

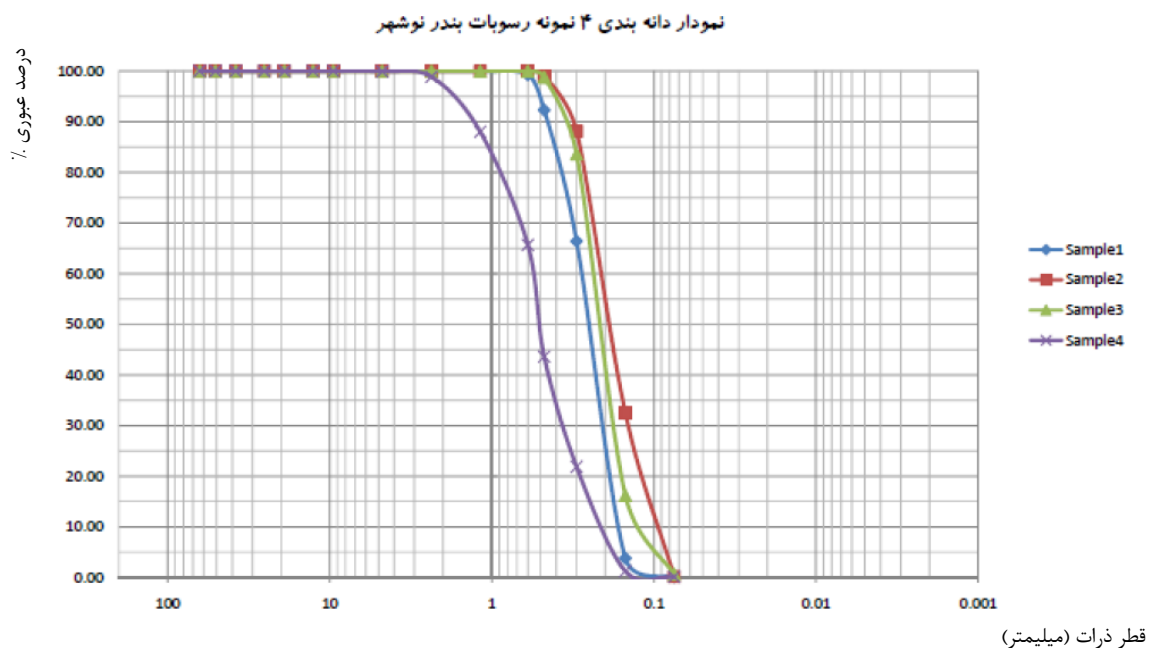
۴-۳-۵ امواج

داده‌های موج آب عمیق مورد استفاده در این تحقیق از مدل بزرگ مقیاس سازمان بنادر و دریانوردی در محدوده‌ی بندر نوشهر به صورت سری زمانی به دست آمده است.

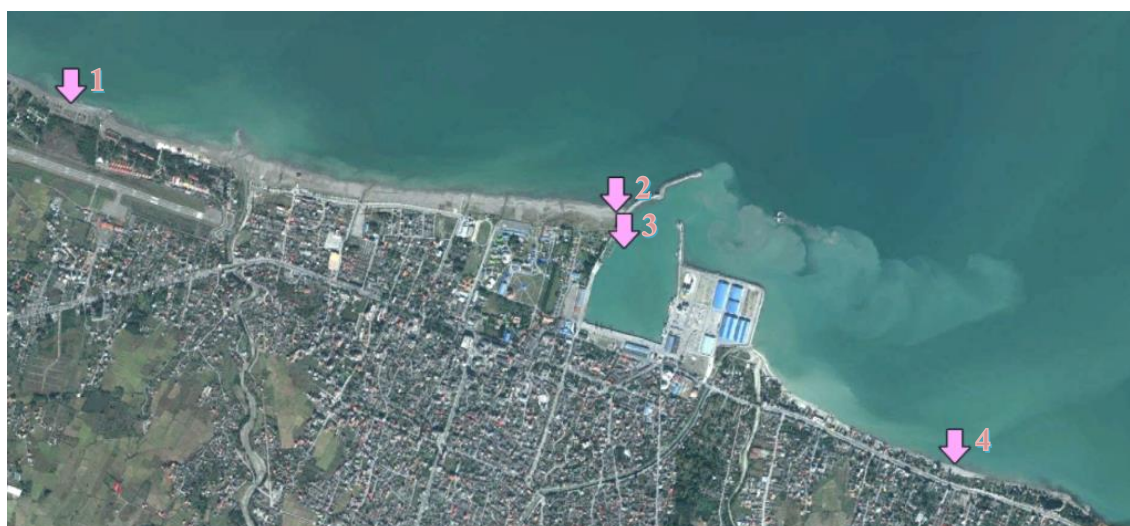
۴-۳-۶ رسوبات

ساحل منطقه نوشهر یک ساحل ماسه‌ای است. در سال ۱۳۹۴ رستمی و همکاران در روند انجام یک تحقیق به دلیل نبود مطالعات کافی، اقدام به اندازه‌گیری میدانی به شکل نمونه برداری دست خورده از رسوبات معلق در یکی از روزهایی که دریا موج بوده کرده‌اند و آزمایش‌های دانه بندی را روی نمونه‌ها انجام دادند تا به نوعی داده‌های پیشین نیز کنترل شده باشد. نمودار دانه بندی و جانمایی این چهار نمونه در شکل ۴-۹ و شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است (رستمی و همکاران، ۱۳۹۴). در گزارش‌های پیشین اندازه D_{50} را در اطراف بندر نوشهر ۰/۱۸ میلی‌متر مطرح کرده بودند که در این تحقیق نیز با توجه به دقت نمونه گیری در بین نمونه‌ها (به ترتیب ۲ - ۳ - ۱ - ۴) معیارهای زیر برای ادامه محاسبات انتخاب شده است (رستمی، ۱۳۹۰):

$$D_{50} = 0.18 \text{ mm}, G_s = 2650 \text{ kg/m}^3$$



شکل ۴-۹ نمودار دانه بندی ۴ نمونه رسوبات بندر نوشهر (رستمی و همکاران، ۱۳۹۴)



شکل ۴-۱۰ محل های نمونه برداری (رستمی و همکاران، ۱۳۹۴)

متأسفانه به دلیل اینکه تا کنون نمونه برداری میدانی‌ای برای به دست آوردن غلظت رسوبات معلق در محدوده‌ی بندر نوشهر صورت نگرفته است، اطلاعات دقیقی در این زمینه در دسترس نمی‌باشد. از این رو مریدنژاد و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و عکس‌های

مُدیس^۱ نسبت به تخمین غلظت رسوبات معلق در کرانه‌های جنوبی دریای خزر اقدام نمودند. با توجه به نتایج این تحقیق از مقدار ۰/۰۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب برای محاسبات استفاده شده است.

۴-۳-۷ انتقال رسوب کرانه ای

با توجه به بررسی ویژگی‌های فیزیکی رسوبات محدوده بندر نوشهر و بررسی رسوب‌گذاری رودخانه‌های منتهی به محدوده دریایی اطراف بندر نوشهر مشخص شد که اندازه متوسط رسوبات نمونه‌های گرفته شده در دریا و بندر با اندازه‌ی متوسط رسوبات رودخانه‌های منتهی به محدوده دریایی اطراف بندر تفاوت‌های زیادی دارد و نمی‌توان نقش رسوبات رودخانه‌ای را در رسوب‌گذاری بندر محسوس دانست از این رو می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد و می‌توان گفت که منشأ اصلی رسوبات بندر، رسوبات دریایی است (رستمی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین رستمی و همکاران با استفاده از مدل Litpack از بسته نرم افزاری Mike21 نسبت به محاسبه نرخ انتقال رسوب کرانه‌ای در محدوده بندر نوشهر اقدام نمودند که طی آن مشخص شد جهت غالب حرکت رسوب در منطقه از غرب به شرق می‌باشد. بر این اساس میزان دبی رسوب از غرب به شرق معادل ۴۱۰۰۰۰ مترمکعب در سال و میزان دبی رسوب از شرق به غرب ۱۳۰۰۰۰ مترمکعب در سال برآورد شده است. در نتیجه میزان انتقال رسوب غرب به شرق در حدود ۲۸۰۰۰۰ مترمکعب در سال از انتقال رسوب شرق به غرب بیشتر است. به این ترتیب میزان تجمع رسوب در پشت موج شکن غربی نسبت به موج شکن شرقی به مراتب بیشتر بوده و در پشت موج شکن غربی، پدیده احیای ساحل رخ می‌دهد و با گذشت زمان این رسوب‌گذاری در طول موج‌شکن پیشرفت خواهد کرد.

^۱ MODIS

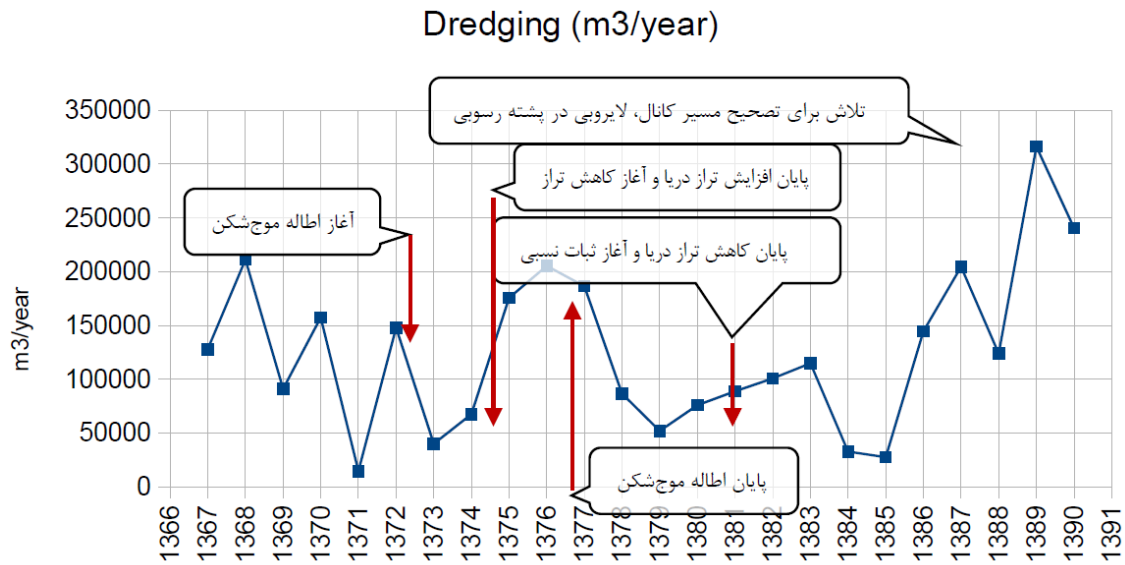
۴-۳-۸ لایروبی

(سالاریان و مصطفایی، ۱۳۹۴) در گزارشی تاریخی لایروبی بندر نوشهر را به شرح زیر بیان کرده‌اند (شکل ۴-۱۱):

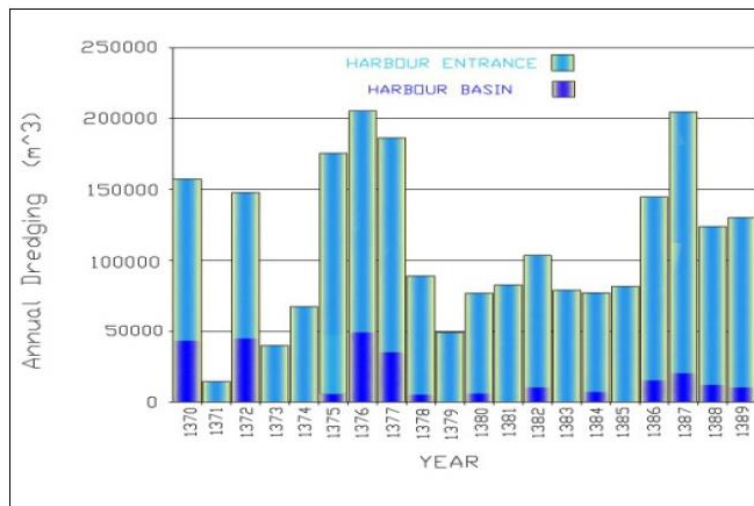
- در سال های قبل از ۱۳۶۷ هر ساله تراز آب در حال افزایش بوده است. این پدیده پیوسته عمق دهانه بندر را ترمیم و یا افزایش می‌داد. لذا در این سال‌ها با توجه به عدم رسوب‌گذاری قابل توجه در بندر عمل لایروبی نیز صورت نگرفته است.
- از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۷۴ جلو آمدگی ساحل غربی در حدی بوده است که کنارگذری رسوب اتفاق بیافتد. آمار لایروبی در طی این مدت به طور عمومی روند کاهشی داشته است.
- از سال ۱۳۷۴ افزایش تراز آب متوقف شده و میزان لایروبی نیز افزایش یافته است. پس از سال ۱۳۸۰، روند کاهشی تراز سالانه آب دریا هم متوقف شده و این امر به محدود ماندن حجم کنارگذری رسوب کمک کرده است.
- بین سال های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ حجم لایروبی بسیار کم بوده و قاعدتاً باعث بجا ماندن مقداری از رسوبات عبور کرده از مقابل موج‌شکن اصلی شده است.
- در سال های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ حجم لایروبی به طور قابل توجهی از تمام سال های قبل بیشتر بوده است، که دلیل آن تلاش لایروبی مقداری از پشته رسوبی توسعه یافته و بجا مانده از سالهای قبل است.

با توجه به داده‌های فوق می‌توان نتیجه گرفت که حجم لایروبی سالانه در بندر نوشهر و کانال دسترسی آن به صورت میانگین ۱۲۶۰۰۰ متر مکعب در سال است.

همچنین شکل ۴-۱۲ میزان لایروبی در بندر و کانال دسترسی را به تفکیک نمایش می‌دهد (رستمی و همکاران، ۱۳۹۴)، که در آن میانگین لایروبی سالانه‌ی کانال دسترسی حدود ۱۰۰۰۰۰ مترمکعب و میانگین لایروبی سالانه در حوضچه بندر حدود ۲۰۰۰۰ مترمکعب است.



شکل ۴-۱۱ نمودار وضعیت لایروبی بندر نوشهر (سالاریان و مصطفایی، ۱۳۹۴)



شکل ۴-۱۲ حجم لایروبی سالانه بندر نوشهر به تفکیک کانال دسترسی و حوضچه (رستمی و همکاران، ۱۳۹۴)

۴-۴ پیاده سازی مدل

این مدل بر روی بندر نوشهر و برای سال‌های بین ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ (به مدت ۲۰ سال) به دلیل در دسترس بودن داده‌های لایروبی و همچنین اتمام اطاله‌ی موج‌شکن غربی اجرا می‌شود. لازم به یادآوری است که مدل ترکیبی برای ارزیابی سریع رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی با فرض

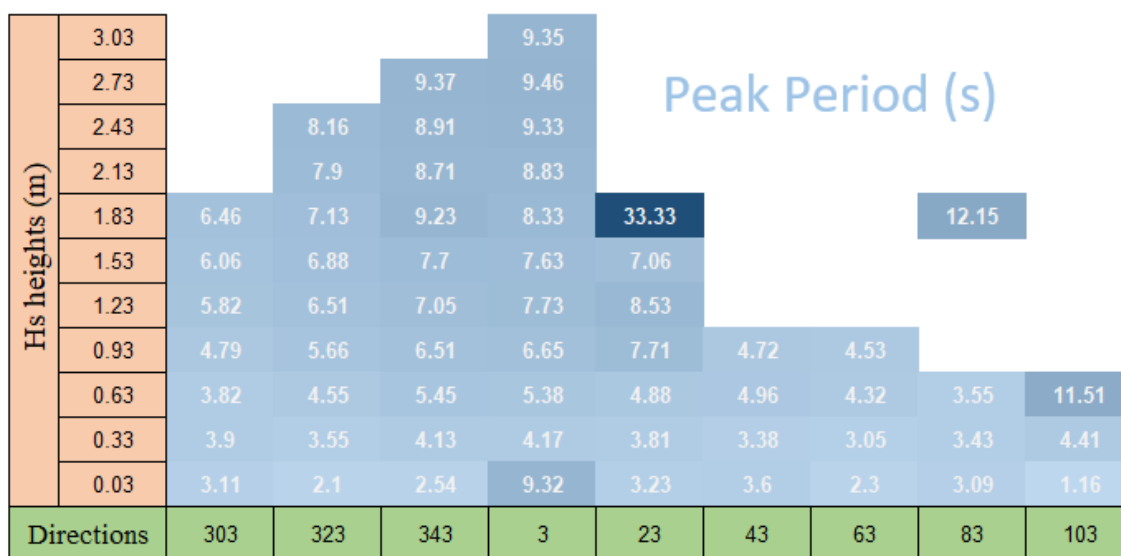
اینکه داده‌های کمی در دسترس است ایجاد شده است، هرچند که داده‌های خوب و مناسبی از بندر نوشهر وجود دارد.

۱-۴-۴ مدل خط ساحلی یک بعدی

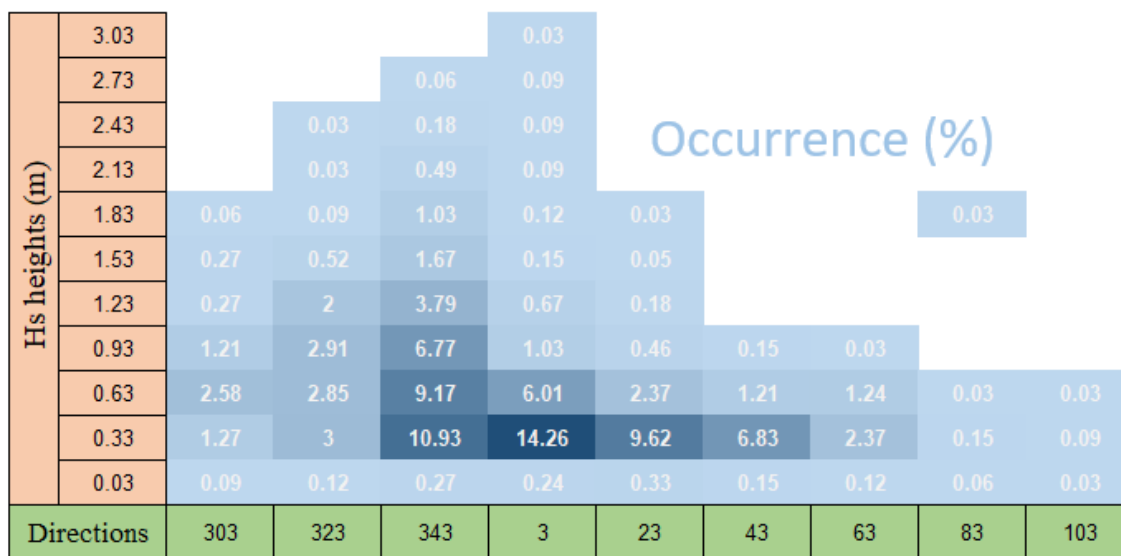
این مدل بر پایه‌ی مشخصات موج منطقه، مشخصات هندسی خط ساحلی، نیمرخ عرضی، مشخصات رسوب و مقادیر عددی ورودی عمل می‌کند. همچنین با توجه به بازه‌ی در نظر گرفته شده برای اجرای مدل در بندر نوشهر این مدل به مدت ۲۰ سال و با گام زمانی یک سال اجرا می‌شود.

۱-۱-۴-۴ مشخصات موج منطقه

همانطور که در بخش ۳-۳-۲ گفته شد داده‌های موج موجود مطابق روش توضیح داده شده دسته بندی و به صورت یک جدول امواج در می‌آید. این کار برای کاهش حجم محاسبات و افزایش سرعت مدل انجام می‌شود. جدول موج حاصل از داده‌های موج بندر نوشهر در شکل ۴-۱۳ و شکل ۴-۱۴ مشاهده می‌شود.

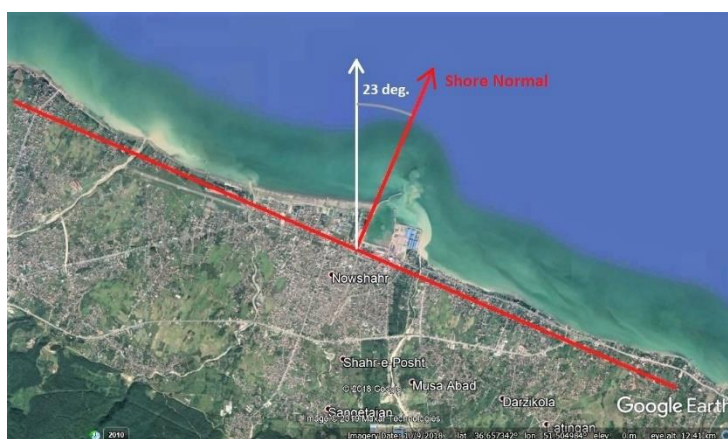


شکل ۴-۱۳ جدول موج بندر نوشهر (پریود پیک برای هر موج با جهت و ارتفاع مشخص)



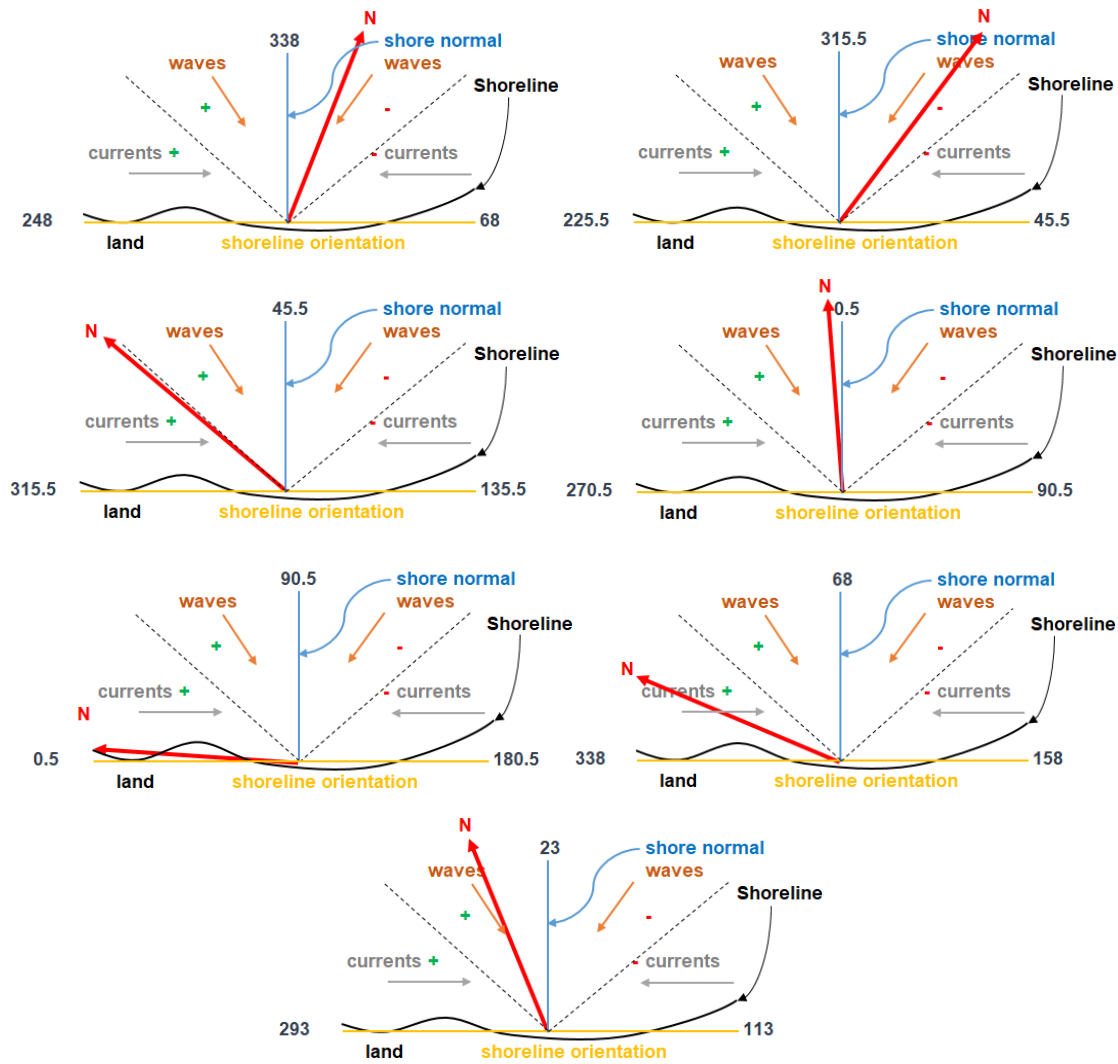
شکل ۴-۱۴ جدول موج بندر نوشهر (درصد وقوع برای هر موج با جهت و ارتفاع مشخص)

پیش از محاسبه‌ی پارامترهای موج می‌بایست نخست زوایای ساحل را تعیین و سپس سایر مراحل طی شوند، برای این منظور ابتدا باید زاویه عمومی ساحل مشخص شود که با بررسی تصاویر ماهواره‌ای از محل بندر نوشهر و ساحل آن و با استفاده از ابزار اندازه‌گیری نرم افزار گوگل ارث^۱ زاویه ساحلی حدود ۲۳ درجه تعیین گردید (شکل ۴-۱۵). سپس مطابق آنچه در بخش ۳-۳-۲ به آن اشاره شد زوایای ساحلی مختلف با فواصل ۲۲/۵ درجه از زاویه‌ی اولیه ساحل (۲۳ درجه) مطابق شکل ۴-۱۶ مشخص شدند.



شکل ۴-۱۵ زاویه کلی ساحل نسبت به شمال

¹ Google Earth



شکل ۴-۱۶ زوایای مختلف ساحلی

زاویه نسبی موج و ساحل نیز همانطور که در بخش ۳-۳-۲ گفته شد از رابطه $(\varphi_{rel} = \varphi_{wave} + \varphi_{coast})$ بدست می‌آید. برای محاسبه پارامترهای طول موج آب عمیق و سرعت موج آب عمیق از روابط زیر استفاده شده است:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (۱-۴)$$

$$C_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{L_0}{T} \quad (۲-۴)$$

عمق آب و ارتفاع موج در ناحیه شکست نیز از روابط زیر بدست می‌آید:

$$d_{br} = [(H_{s,0}^2 C_0 \cos \varphi_{rel}) / (\alpha \gamma^2 g^{0.5})]^{0.4} \quad (۳-۴)$$

$$H_{sb} = d_{br}\gamma \quad (4-4)$$

که در آن d_{br} عمق آب در ناحیه شکست، H_{sb} ارتفاع موج در ناحیه شکست، g شتاب گرانش زمین، α ضریب کالیبراسیون و γ اندیس شکست است.

یکی دیگر از پارامترهایی که در محاسبه‌ی انتقال رسوب با استفاده از روابط (۱-۳) و (۲-۳) مورد نیاز است زاویه نسبی موج با ساحل در ناحیه شکست ($\varphi_{rel,b}$) است که با استفاده از قانون اسنل^۱ و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\sin \varphi_{rel,b}}{C_b} = \frac{\sin \varphi_{rel,0}}{C_0} \quad (5-4)$$

که در آن C_b سرعت موج در لحظه شکست است و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

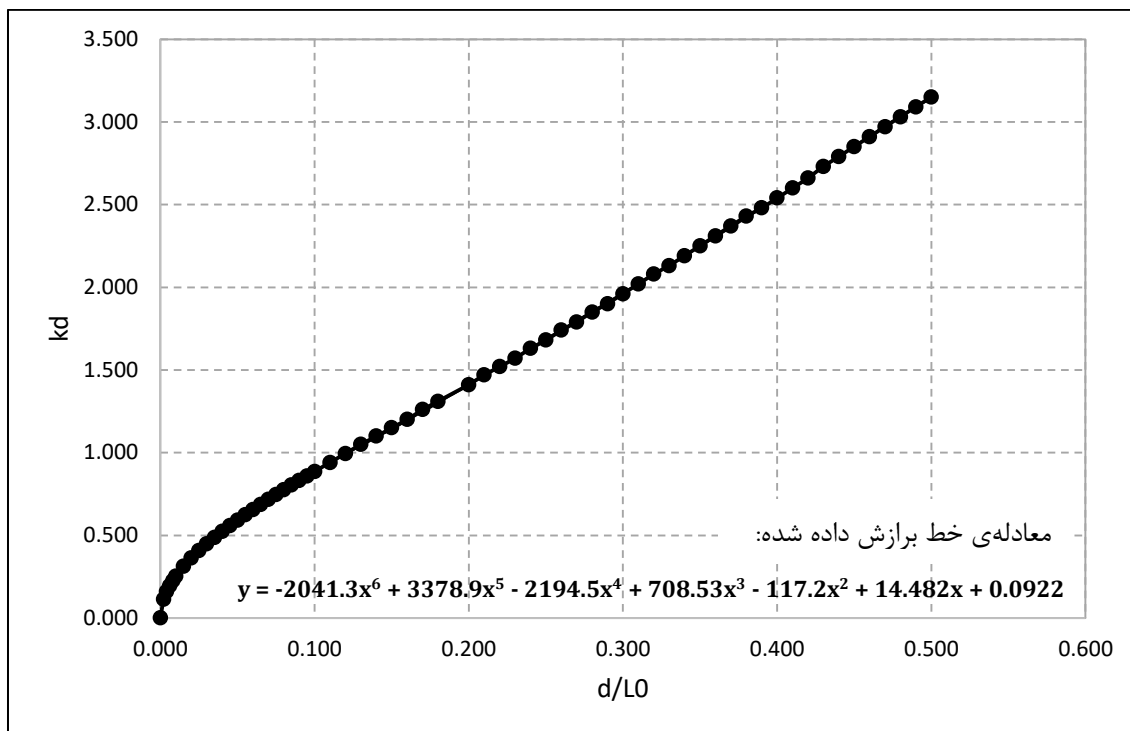
$$C_b = \frac{gT}{2\pi} \tanh kd_{br} \quad (6-4)$$

که در آن $(k = \frac{2\pi}{L})$ عدد موج است، به منظور محاسبه‌ی مقدار عبارت kd برای هر موج در ناحیه شکست ابتدا اعداد مربوط به مقادیر kd در قبال d/L_0 ، که در جدول ارائه شده توسط کمفس (جدول ۱-۴) آورده شده است در نرم افزار اکسل وارد شده و پس از رسم نمودار $kd-d/L_0$ ، از معادله‌ی نزدیک‌ترین خط برازش داده شده به اعداد وارده، برای محاسبه‌ی مقادیر kd استفاده می‌شود (شکل ۴-۱۷).

¹ Snel's law

$\frac{d}{L_o}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s
0.00	0.000	0.0000	0.000	0.000	1.000	-
0.01	0.248	0.0403	0.253	0.256	1.032	1.440
0.02	0.347	0.0576	0.362	0.370	1.066	1.230
0.03	0.420	0.0714	0.448	0.463	1.102	1.120
0.04	0.480	0.0833	0.523	0.547	1.140	1.060
0.05	0.531	0.0942	0.592	0.627	1.180	1.020
0.06	0.575	0.1040	0.655	0.703	1.222	0.993
0.07	0.614	0.1140	0.716	0.779	1.267	0.971
0.08	0.649	0.1230	0.774	0.854	1.315	0.955
0.09	0.681	0.1320	0.831	0.930	1.366	0.942
0.10	0.709	0.1410	0.886	1.007	1.419	0.933
0.11	0.735	0.1500	0.940	1.085	1.475	0.926
0.12	0.759	0.1580	0.994	1.166	1.536	0.920
0.13	0.780	0.1660	1.050	1.254	1.604	0.917
0.14	0.800	0.1750	1.100	1.336	1.669	0.915
0.15	0.818	0.1830	1.150	1.421	1.737	0.913
0.16	0.835	0.1920	1.200	1.509	1.811	0.913
0.17	0.850	0.2000	1.260	1.621	1.905	0.913
0.18	0.864	0.2080	1.310	1.718	1.988	0.914
0.19	0.877	0.2170	1.360	1.820	2.076	0.916
0.2	0.888	0.2250	1.410	1.926	2.170	0.918
0.21	0.899	0.2340	1.470	2.060	2.290	0.920
0.22	0.909	0.2420	1.520	2.177	2.395	0.923
0.23	0.918	0.2510	1.580	2.324	2.530	0.926
0.24	0.926	0.2590	1.630	2.454	2.650	0.929
0.25	0.933	0.2680	1.680	2.590	2.776	0.932
0.26	0.940	0.2770	1.740	2.761	2.936	0.936
0.27	0.946	0.2850	1.790	2.911	3.078	0.939
0.28	0.952	0.2940	1.850	3.101	3.259	0.942
0.29	0.957	0.3030	1.900	3.268	3.418	0.946
0.30	0.961	0.3120	1.960	3.479	3.620	0.949
0.31	0.965	0.3210	2.020	3.703	3.835	0.952
0.32	0.969	0.3300	2.080	3.940	4.065	0.955
0.33	0.972	0.3390	2.130	4.148	4.267	0.958
0.34	0.975	0.3490	2.190	4.412	4.524	0.961
0.35	0.978	0.3580	2.250	4.691	4.797	0.964
0.36	0.980	0.3670	2.310	4.988	5.087	0.967
0.37	0.982	0.3770	2.370	5.302	5.395	0.969
0.38	0.984	0.3860	2.420	5.578	5.667	0.972
0.39	0.986	0.3960	2.480	5.929	6.013	0.974
0.40	0.988	0.4050	2.540	6.300	6.379	0.976
0.41	0.989	0.4140	2.600	6.695	6.769	0.978
0.42	0.990	0.4240	2.660	7.113	7.183	0.980
0.43	0.991	0.4340	2.720	7.557	7.623	0.982
0.44	0.992	0.4430	2.790	8.110	8.171	0.983
0.45	0.993	0.4530	2.850	8.615	8.673	0.985
0.46	0.994	0.4630	2.910	9.151	9.206	0.986
0.47	0.995	0.4720	2.970	9.720	9.772	0.987
0.48	0.995	0.4820	3.030	10.324	10.373	0.988
0.49	0.996	0.4920	3.090	10.966	11.011	0.990

جدول ۴-۱ پارامترهای موج ارائه شده توسط کمفس



شکل ۴-۱۷ نمودار $kd-d/L_0$

۴-۲ هندسه بندر و ساحل

تمامی مختصات‌ها اعم از خط ساحلی و محدوده بندر و موقعیت موج‌شکن‌ها با توجه به موقیت خط مبنا تعریف می‌شوند. همانگونه که در شکل ۴-۱۸ دیده می‌شود خط مبنا دقیقاً در پشت خط ساحلی قرار دارد. طول خط مبنا نیز تقریباً ۱۴ کیلومتر است. خط ساحلی اولیه (سال ۱۳۷۶) به طول تقریبی ۱۳/۹۸ کیلومتر نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و در نرم افزار آرک مپ^۱ تعیین گردیده است. لازم به ذکر است که خط ساحلی سال ۱۳۹۶ فقط برای مقایسه با خط ساحلی اولیه آورده شده است و در روند پیاده سازی مدل از آن استفاده‌ای نشده است. از موقعیت مکانی موج‌شکن‌ها نیز برای جانمایی پنجره‌های تابش موج و تعیین میزان کنارگذری (که در بخش‌های بعدی به آن پرداخته شده است) استفاده می‌شود.

¹ Arc Map



شکل ۴-۱۸ خط مبنا و خطوط ساحلی در سال‌های ابتدایی و انتهایی مدل

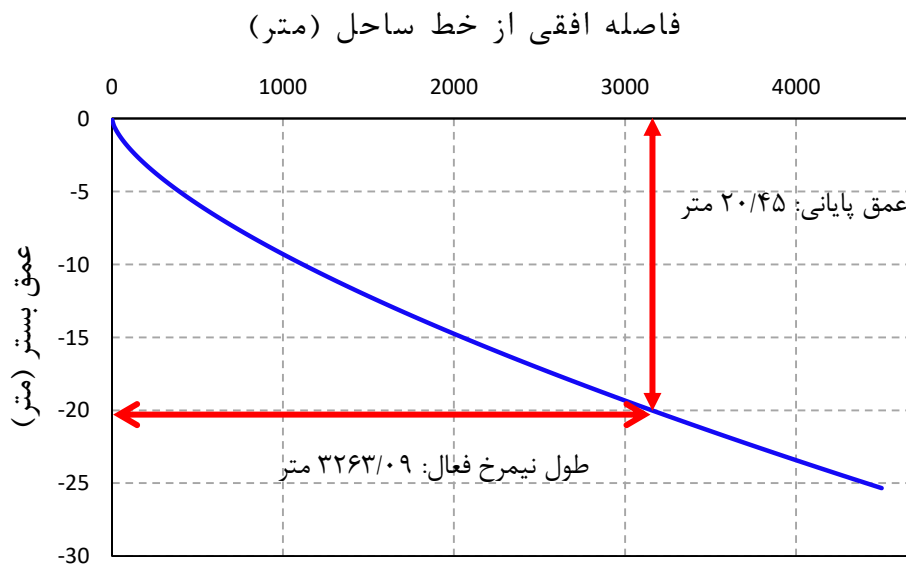


شکل ۴-۱۹ جانمایی محل موج شکن ها

نیمرخ عرضی ساحل

اگرچه داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی میدانی در این زمینه وجود دارد اما در پیاده سازی مدل ترجیح بر استفاده از کمترین داده‌ها برای اجرای مدل است، از این رو با استفاده از مقدار قطر میانگین ذرات $(D_{50} = 0.18 \text{ mm})$ و رابطه‌ی دین نیمرخ عرضی ساحل، عمق نهایی، طول نیمرخ فعال و شیب ساحل تعیین گردید (شکل ۴-۲۰). عمق نهایی نیز از رابطه‌ی زیر محاسبه شده است:

$$d_c = 6.75 \times H_{s,max} \quad (4-7)$$



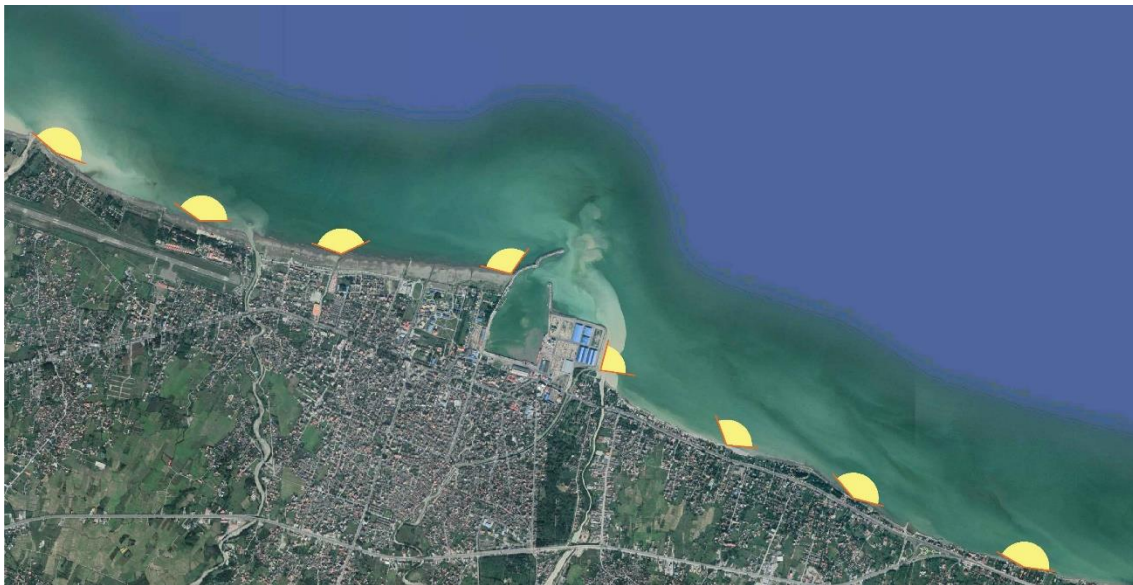
شکل ۴-۲۰ نیمرخ عرضی، عمق پایانی و طول نیمرخ فعال

شیب ساحل نیز از تقسیم عمق پایانی بر طول نیمرخ فعال بدست می‌آید.

$$m_b = \frac{d_c}{X_c} \quad (۸-۴)$$

۳-۴-۴ پنجره‌ی تابش موج

همانطور که در بخش ۳-۳-۲ گفته شد برای در نظر گرفتن اثر سایه‌ای موج‌شکن‌ها بر میزان نرخ انتقال رسوب کرانه‌ای از مفهومی به نام پنجره‌ی تابش موج استفاده می‌شود. مطابق شکل ۴-۲۱ در هشت نقطه پنجره تابش موج به گونه‌ای تعیین شده است که از فاصله‌ای حدود دو برابر طول موج‌شکن‌ها با محدود شدن زاویه پنجره، اثرات سایه‌ای موج‌شکن در نظر گرفته شود. در جدول ۴-۲ زوایای تعریف شده برای هر یک از این نقاط مشخص شده است. هرچه فاصله این نقاط از موج‌شکن‌ها بیشتر شود پنجره‌ی تابش موج متناظر با آن بازتر و هرچه به آن‌ها نزدیک‌تر شود زاویه‌ی پنجره‌ی تابش موج تنگ‌تر می‌گردد، بدین معنی که با نزدیک شدن به موج‌شکن‌ها امواجی که می‌توانند باعث ایجاد انتقال رسوب کرانه‌ای شوند محدودتر می‌شوند. برای نقاطی که در فاصله‌ی بین دو پنجره‌ی تابش موج قرار دارند از درونیابی خطی استفاده می‌شود.



شکل ۴-۲۱ پنجره‌های تابش موج در طول ساحل

شماره پنجره زاویه اول (درجه) زاویه دوم (درجه)

۱۰۳	۳۰۳	۱
۸۳	۳۰۳	۲
۶۳	۳۰۳	۳
۲۳	۳۰۳	۴
۱۰۳	۲۳	۵
۱۰۳	۳۴۳	۶
۱۰۳	۳۲۳	۷
۱۰۳	۳۰۳	۸

جدول ۲-۴ زوایای پنجره‌های تابش موج برای هر نقطه (از غرب به شرق)

۴-۴-۴ پارامترهای عددی

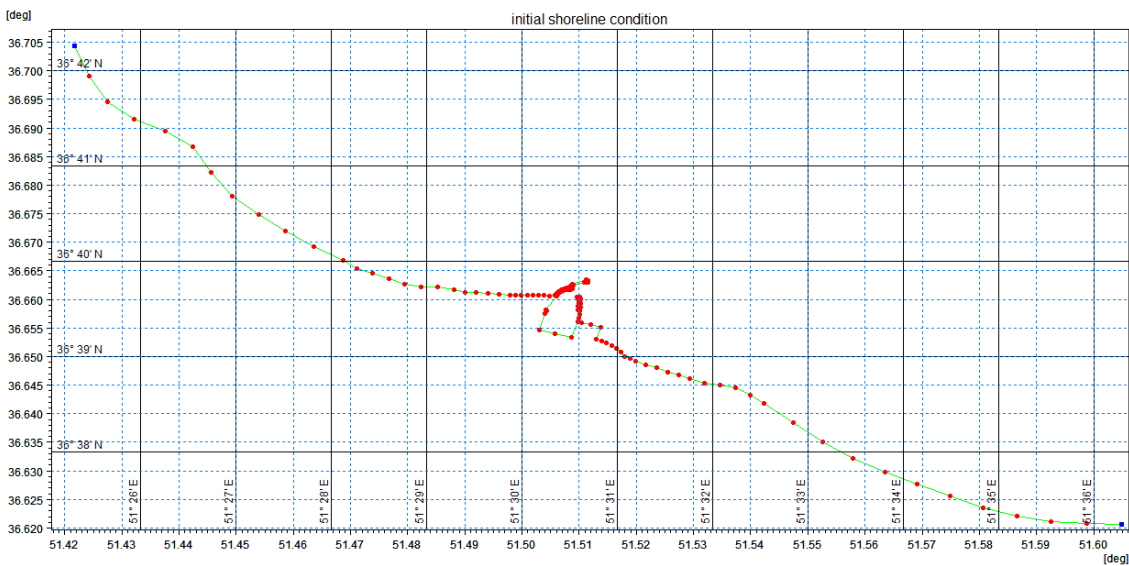
مقادیر ضریب در دام افتادگی با توجه به مشخصات جریان و هندسه‌ی بندر توسط رابطه (۳-۱۷) برای جریان از چپ به راست و از راست به چپ به ترتیب $0/24$ و $0/32$ تخمین زده شده است. مقادیر کنارگذری نیز همانند روش تشریح شده در بخش ۳-۳-۴ محاسبه می‌شود. فاصله‌ی افقی (در امتداد ساحل) گره‌ها در مدل خط ساحلی یک بعدی نیز ۵۰ متر در نظر گرفته شده است.

۵-۴ مدل عددی جریان

برای ساخت مدل عددی جریان در نرم افزار مایک ابتدا باید با استفاده از مدول تولید مش، محیط مدل ایجاد شود. پس از آن با استفاده از مدول جریان دو بعدی مقدار سرعت و جهت جریان در نقاط مدنظر محاسبه می‌شود. در ادامه نحوه انجام هر یک از این مراحل به تفصیل بررسی می‌شوند.

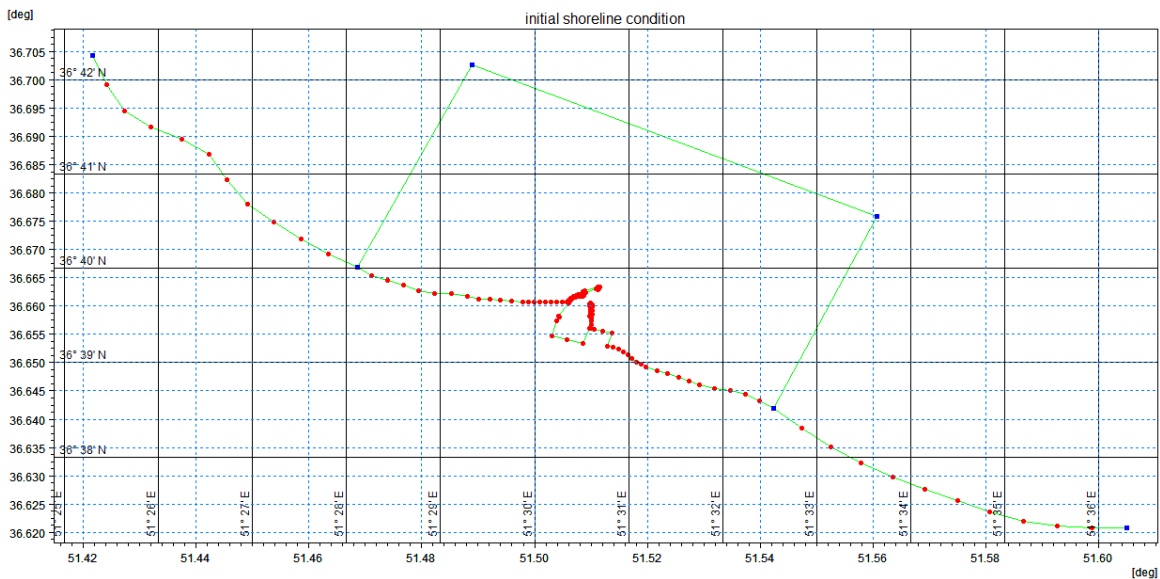
۴-۵-۱ ساخت محیط مدل

برای این منظور ابتدا خط ساحلی ایجاد شده توسط مدل یک بعدی خط ساحلی در محیط مدول تولید مش وارد شده و سپس مختصات عوارض بندر اعم از حوضچه و موج شکن ها به آن اضافه می شود (شکل ۴-۲۲). از آنجایی که خط ساحلی تولید شده توسط مدل یک بعدی خط ساحلی دارای طول بیش از حد نیاز در مدل جریان است از این رو محدوده‌ی مدل عددی جریان را تا جایی در نظر می گیریم که خط ساحلی پس از آن نقطه تغییرات چشم گیری نداشته باشد (شکل ۴-۲۳). پس از آن محدوده‌ی مدل به منظور کاهش مدت زمان محاسبات به سه قسمت نزدیک بندر، اطراف بندر و دور از بندر تقسیم می شود، که میزان حداکثر مساحت شبکه بندی در هر کدام از این سه ناحیه به ترتیب $1/23 \times 10^{-7}$ ، $1/641 \times 10^{-7}$ و $2/469 \times 10^{-6}$ مربع درجه^۱ در نظر گرفته شده است. نمونه‌ای از شبکه بندی ایجاد شده در شکل ۴-۲۴ مشاهده می شود.

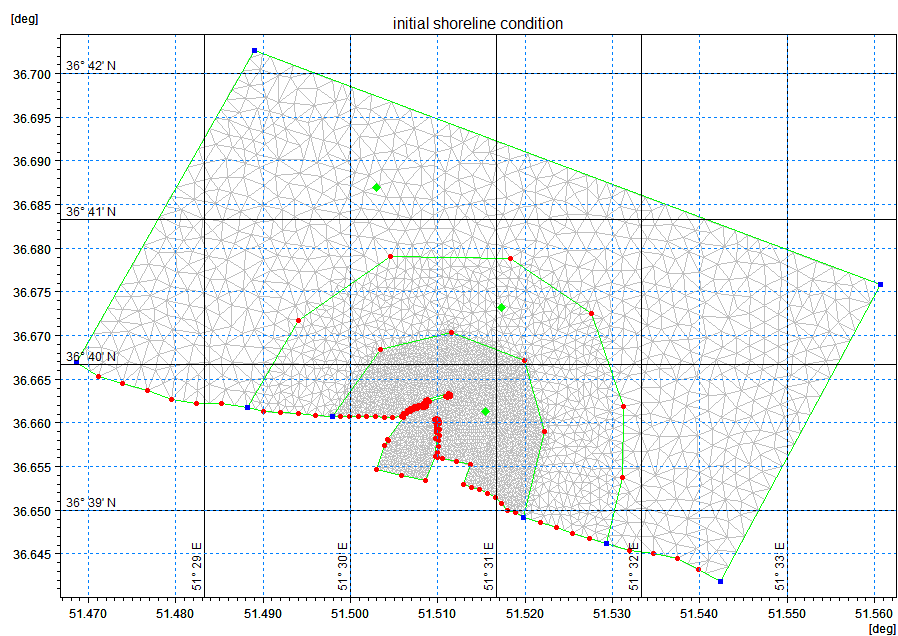


شکل ۴-۲۲ خط ساحلی ایجاد شده توسط مدل یک بعدی و جانمایی بندر

^۱ Lat/Long [deg.²]



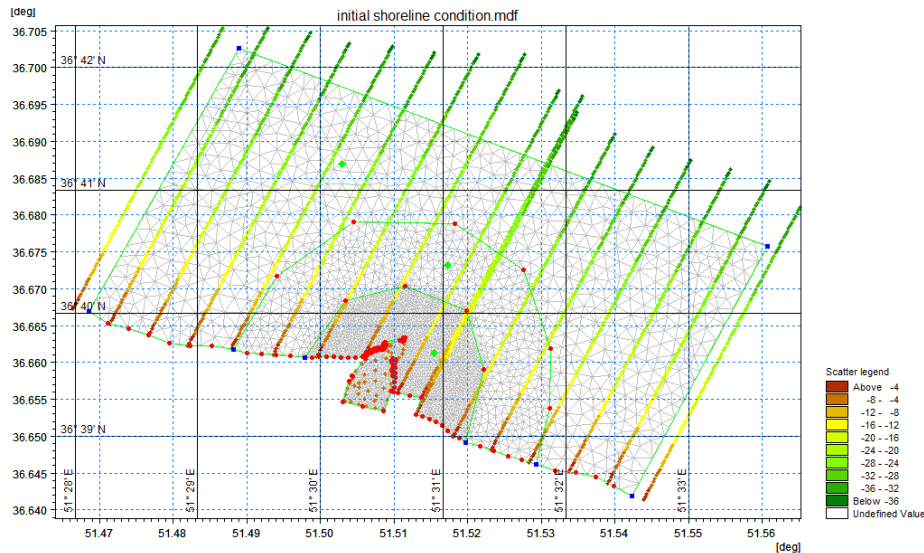
شکل ۲۳-۴ تعیین محدوده‌ی مدل جریان



شکل ۲۴-۴ شبکه بندی مدل جریان

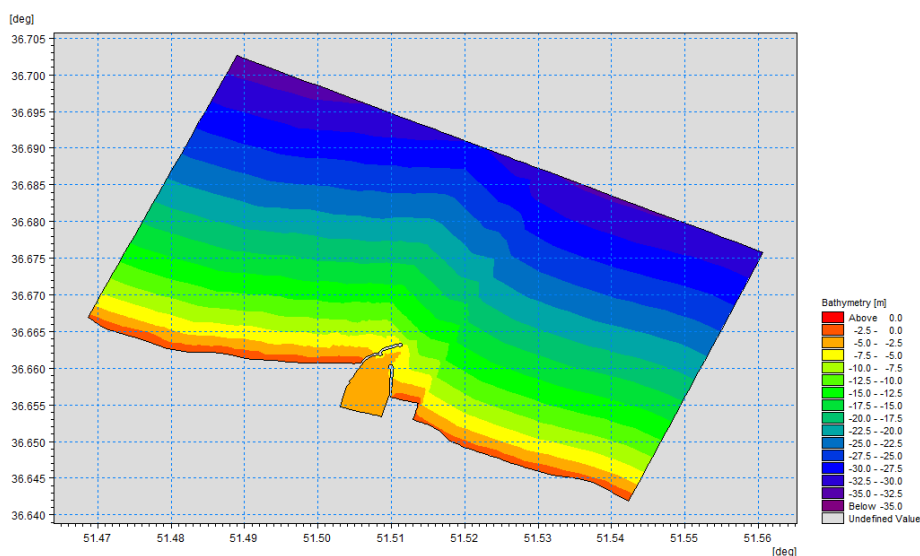
پس از ایجاد شبکه بندی در محدوده‌ی مدل، داده‌های عمقی توسط رابطه‌ی نیمرخ تعادلی دین رابطه‌ی (۵-۳) در راستای عمود بر ساحل برای فواصل هر ۵۰ متر (تا ۵۰۰۰ متر) و در راستای موازی ساحل برای هر ۵۰۰ متر تا خارج از محدوده مدل ایجاد شده است. داده‌های عمقی داخل بندر و کانال

دسترسی نیز به صورت دستی و در همان محیط مدول تولید مش برای یک بار وارد شده است (شکل ۴-۲۵).

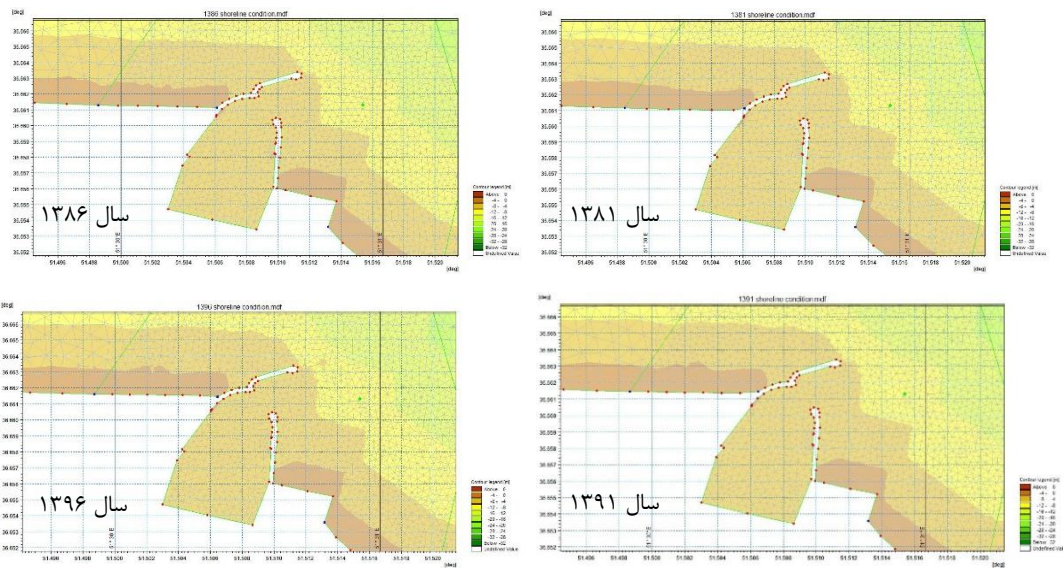


شکل ۴-۲۵ عمق دهی مدل جریان

و در نهایت پس از وارد کردن داده‌های عمقی و با استفاده از درونیابی، عمق دهی به مدل صورت می‌گیرد. تمامی مراحل ذکر شده برای هر خط ساحلی می‌بایست طی گردد. شکل ۴-۲۶ محیط مدل مربوط به خط ساحلی سال ۱۳۷۶ و شکل ۴-۲۷ بخشی از شبکه بندی مدل جریان برای خطوط ساحلی در سال‌های مختلف را نمایش می‌دهد.



شکل ۴-۲۶ محدوده‌ی مدل جریان مربوط به خط ساحلی سال ۱۳۷۶



شکل ۴-۲۷ شبکه بندی مدل جریان در سال های مختلف

۴-۵-۲ اجرای مدول امواج طیفی^۱

پس از اتمام ساخت محیط مدل و شبکه بندی آن، برای ورود داده های موج به مدل جریان می بایست ابتدا با استفاده از مدول امواج طیفی نرم افزار مایک ۲۱، داده های موج به صورت تنش تشعشعی در سطح آب درآمده و به عنوان ورودی به مدل جریان اضافه می شود. بدین منظور داده های موج ساده سازی شده ی منطقه ی نوشهر (جدول موج بخش ۴-۴-۱) به عنوان شرایط مرزی در مرز شمالی مدل و با توجه به داده های موجود (ارتفاع موج مشخصه، پریود پیک و جهت میانگین انتشار) تحت حالت "امواج متغیر در زمان، ثابت در طول خط" اعمال شده است. همچنین در مرزهای شرق و غرب مدل نیز به دلیل عمود بودن نسبی منحنی های میزان بستر با راستای مرزها از شرایط "مرز جانبی"^۲ استفاده شده است. در نهایت مدول امواج طیفی در گام های زمانی ۳۶۰۰ ثانیه ای و با ۵۸ تکرار (۵۸ ساعت) اجرا شده است. در جدول ۴-۳ نمونه ای از تنظیمات کلی مورد استفاده در این مدول آورده شده است.

^۱ Spectral waves

^۲ Lateral Boundary

Domain	
mesh file	1396 condition.mesh
Map projection	Long\Lat
Minimum depth cutoff (m)	-0.000190058
Datum shift (m)	0
Nodes in file	3322
Elements in file	6348
Mesh decomposition	include reordering
Time	
No. of time steps	58
Time step interval (seconds)	3600
Spectral wave module	
Basic equations	Directionally decoupled parametric formulation
Time formulation	Instationary formulation
Geographical space discretization	Low order, fast algorithm
Max. number of levels in transport calculation	32
number of time steps in the source calculation	1
Minimum time step	0.01 sec
Maximum time step	30 sec
Water level conditions	No water level variation
Current conditions	No current
Ice coverage	No ice coverage
Diffraction	smoothing factor = 1 number of smoothing steps = 1
Wave breaking	Functional form (Ruessink et. al. 2003)
Bottom friction	Nikuradse roughness, $kN = 0.00036$ m
Initial conditions	Zero spectra
Boundary conditions	
East boundary	Lateral boundary
West boundary	Lateral boundary
North boundary	Wave parameters (Version 1) =Varying in time, constant along line
South boundary	Land boundary

جدول ۳-۴ تنظیمات مدول امواج طیفی

۴-۵-۳ استخراج سرعت و جهت جریان

در این مرحله با استفاده از مدول جریان دو بعدی مایک ۲۱ سرعت و جهت جریان ایجاد شده توسط امواج جدول موج در دهانه بندر و در طول کانال محاسبه می‌شود. از این رو در این مدول داده‌های موج (تنش‌های تشعشعی ناشی از امواج که در مرحله قبل محاسبه شده اند) و محیط مدل (ایجاد شده توسط مدول تولید مش) به عنوان داده‌های ورودی ارائه می‌شوند، لذا با توجه به نوع داده‌ی ورودی (تنش تشعشعی) شرایط مرزی در این مدول برای همه‌ی مرزهای آبی اعم از شمالی، شرقی و غربی یکسان و از نوع "شرایط فلتر"^۱ در نظر گرفته شده است. مدول جریان دو بعدی مایک نیز با توجه به اینکه از خروجی‌های مدول امواج طیفی استفاده می‌کند با گام زمانی ۳۶۰۰ ثانیه و ۵۸ تکرار اجرا می‌شود. پس از اجرای، مدل داده‌های محاسبه شده (سرعت و جهت جریان) برای دهانه بندر و در طول کانال دسترسی (در داخل و خارج کانال) استخراج و در روابط تجربی یاد شده برای تخمین رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی به کار برده می‌شوند. تنظیمات کلی این مدول نیز در جدول ۴-۴ آورده شده است.

Domain	
mesh file	1396 condition.mesh
Map projection	Long\Lat
Minimum depth cutoff (m)	-0.000190058
Datum shift (m)	0
Nodes in file	3322
Elements in file	6348
Mesh decomposition	include reordering
Time	
No. of time steps	58
Time step interval (seconds)	3600
Module Selection	
Hydrodynamic	
Hydrodynamic module	
Solution Technique	Low order, fast algorithm

¹ Flather Condition

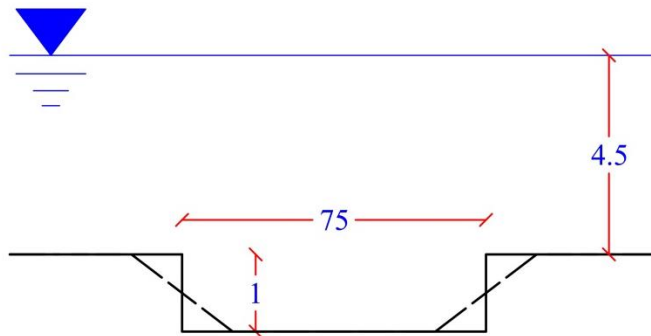
Geographical space discretization	Low order, fast algorithm
Time formulation	Low order, fast algorithm
Minimum time step	0.01 sec
Maximum time step	30 sec
Critical CFL number	0.8
Depth	No depth correction
Flood and Dry	drying depth $h_{dry} = 0.005m$ flooding depth $h_{flood} = 0.05m$ wetting depth $h_{wet} = 0.1m$
Density	Barotropic
Eddy Viscosity	Default value
Bed Resistance	Manning number = 32 ($m^{1/3}/s$)
Coriolis Forcing	Varying in domain
Wind Forcing	No
Ice coverage	No ice coverage
Tidal Potential	No
Precipitation-Evaporation	No
Wave Radiation	Varying in time and domain
Sources	No
Initial conditions	Zero spectra
<hr/> Boundary conditions <hr/>	
East boundary	Flather condition
West boundary	Flather condition
North boundary	Flather condition
South boundary	Land boundary

جدول ۴-۴ تنظیمات مدول جریان

۴-۶ رسوب گذاری در کانال دسترسی

رابطه تجربی SED-PIT مقطع کانال را به صورت مستطیل در نظر می گیرد، از این رو عرض کانال دسترسی با توجه به (شکل ۴-۲۸) ۷۵ متر در نظر گرفته می شود. همچنین برای انجام محاسبات تخمین رسوب گذاری، از ۲۵۰ متر ابتدایی طول کانال استفاده می شود، که علت آن محدود بودن ناحیه لایروبی به همین ناحیه است. به دلیل تغییرات سرعت جریان در طول کانال و به منظور دستیابی به نتایج بهتر، کانال دسترسی به ۵ قسمت ۵۰ متری تقسیم شده است که سرعت و جهت

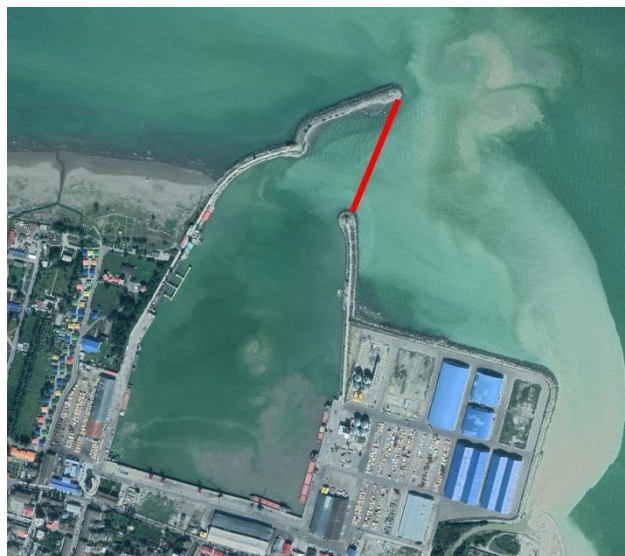
جریان در داخل و خارج از کانال، در ۵ نقطه در امتداد محور اصلی کانال از مدل جریان استخراج شده است، که از میانگین مقادیر در تخمین میزان رسوب گذاری استفاده می شود. پس از محاسبه ی کامل نرخ رسوب گذاری برای هر یک از سرعت ها و جهت های جریان ناشی از هر موج، مقادیر به دست آمده توسط درصد وقوع هر موج تعدیل و سپس نرخ رسوب گذاری متناظر با جدول موج تعیین می گردد.



شکل ۴-۲۸ مقطع کانال نوشهر در رابطه تجربی SED-PIT

۷-۴ رسوب گذاری در بندر

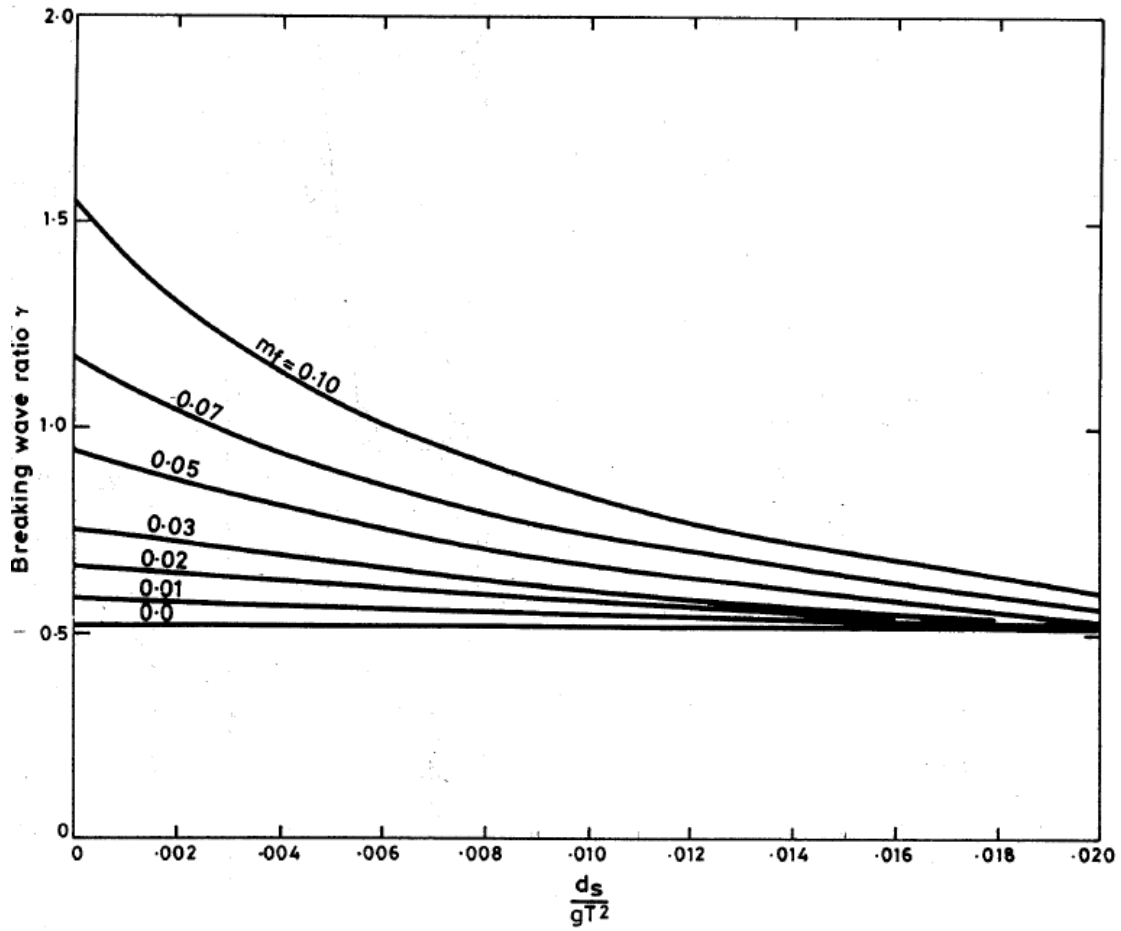
رابطه ی رسوب گذاری در بندر (SED-HAR) نیز همانند رابطه ی کانال دسترسی به داده های ورودی مانند سرعت و جهت جریان و هندسه بندر از جمله ابعاد دهانه ی بندر و مساحت حوضچه نیاز دارد. برای عرض دهانه ی بندر فاصله ی داخل به داخل بین نوک موج شکن ها در نظر گرفته شده است که مقدار آن ۳۱۰ متر است. عمق دهانه بندر نیز برابر با عمق آب خور حوضچه بندر یعنی ۵/۵۰ متر در نظر گرفته شده است. مساحت حوضچه ی بندر نیز همانگونه که در بخش ۴-۳-۱ به آن اشاره شد ۸۷۸،۴۱۲ مترمربع می باشد. داده ی مورد نیاز بعدی زاویه ی دهانه ی بندر است که از آن برای محاسبه ی زاویه ی نسبی جریان در دهانه استفاده می شود. مقدار این زاویه ۱۱۲/۶ درجه است که خط عمود بر دهانه بندر با شمال می سازد.



شکل ۴-۲۹ عرض دهانه ورودی بندر

۴-۸ سایر پارامترها

لزجت سینماتیکی آب 1×10^{-6} مترمربع بر ثانیه و چگالی آب 1020 کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شده است، سرعت سقوط ذرات معلق نیز با توجه به قطر میانگین رسوبات بندر نوشهر ($0/18$ میلیمتر) از رابطه‌ی ($3-7$) محاسبه می‌شود. در مدل خط ساحلی یک بعدی نیز برای محاسبه‌ی عمق در ناحیه شکست و ارتفاع موج‌شکنا، مقدار $0/55$ برای اندیس شکست (γ_b) در نظر گرفته شده است، همانطور که در شکل ۴-۳۰ مشاهده می‌شود با توجه به شیب ساحل محاسبه شده برای بندر نوشهر (حدوداً $0/063$) مقدار اندیس شکست فارغ از سایر پارامترها در حدود مقدار یاد شده باقی می‌ماند.



شکل ۴-۳۰ اندیس شکست موج (ایستگاه تحقیقاتی هیدرولیک)^۱

¹ Hydraulics Research Station

فصل ۵ : بحث و بررسی نتیج

۵-۱ مقدمه

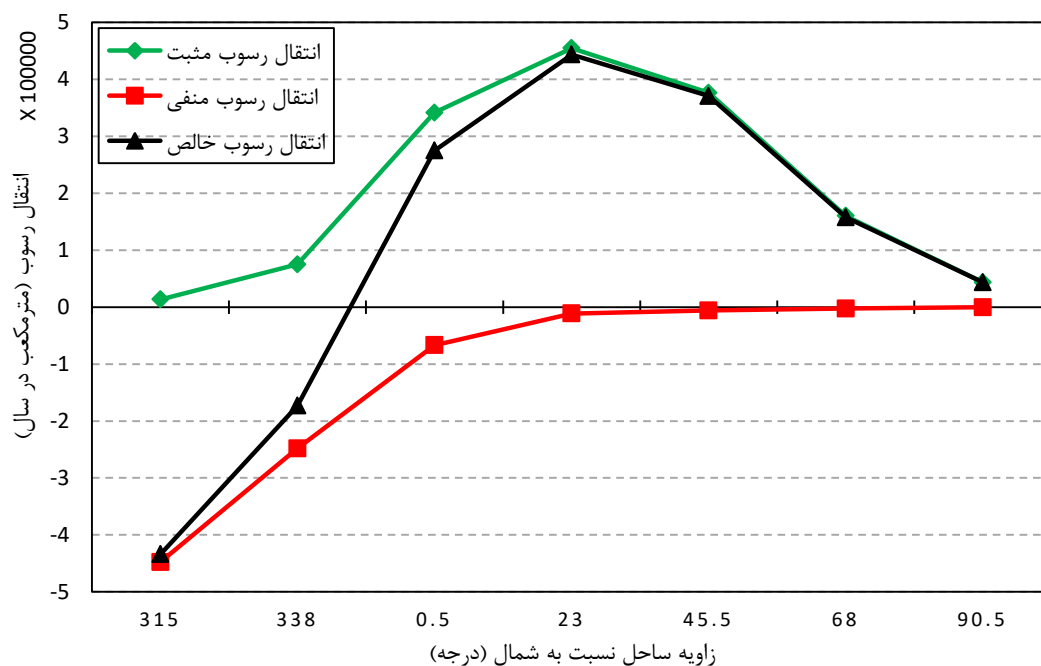
در این تحقیق سعی شده است که با ایجاد تغییراتی (که در فصل سوم به آنها اشاره شده است) در مدل ترکیبی ارائه شده توسط فن لیوون که قابلیت به کار بردن همزمان تغییرات بلندمدت خط ساحلی و فرآیندهای هیدرودینامیکی کوتاهمدت را دارد، بتوان تخمین آهنگ رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی توسط این مدل را بهبود و به شرایط منطقه ساحلی بندر نوشهر نزدیک‌تر نمود. پس از پیاده سازی مدل ترکیبی و تغییرات یاد شده، این مدل به بندر نوشهر اعمال شد. در این بخش ابتدا نتایج به دست آمده با توجه به داده‌های موجود از بندر نوشهر بررسی شده و سپس نتایج حاصله با نتایج مدل ترکیبی فن لیوون مقایسه می‌شود. در آخر نیز نتیجه گیری نهایی و پیشنهادات برای تحقیقات و مطالعات آینده ارائه می‌گردد.

۵-۲ نتایج به دست آمده از مدل

در این بخش نتایج به دست آمده در هر یک از قسمت‌های مدل ترکیبی بهبود یافته (مدل خط ساحلی یک بعدی، مدل جریان و روابط تجربی) ارائه می‌شود. که این نتایج به قرار زیر اند:

۵-۲-۱ انتقال رسوب کرانه ای

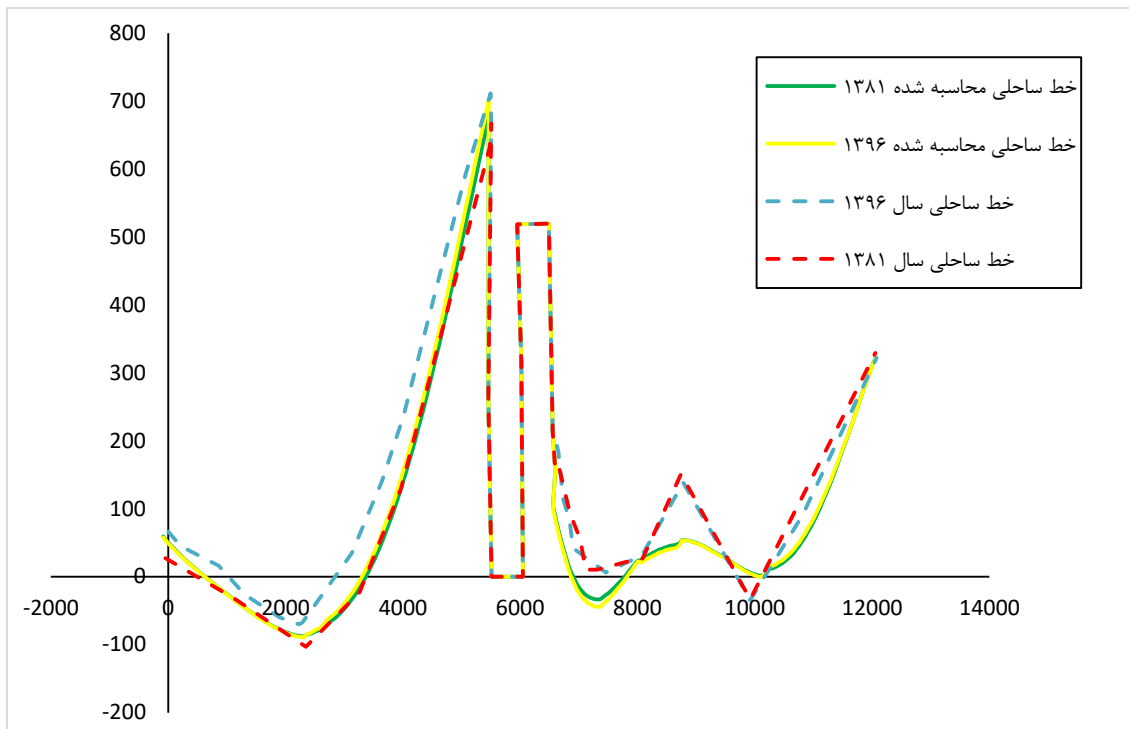
زاویه‌ی خط عمود بر ساحل در غرب بندر نوشهر با شمال حدوداً $4/7$ درجه و در شرق بندر حدوداً $26/8$ درجه است. آهنگ انتقال رسوب خالص محاسبه شده توسط مدل، در غرب بندر حدود 300000 مترمکعب و در شرق بندر حدود 450000 متر مکعب در سال و در راستای غرب به شرق است. که این مقدار از عدد به دست آمده توسط (رستمی و همکاران، ۱۳۹۰) یعنی 280000 مترمکعب در سال بیشتر است. با توجه به شکل ۵-۱ می‌توان دریافت که آهنگ انتقال رسوب کرانه‌ای با کمترین تغییر در زاویه‌ی ساحل به مقدار زیادی می‌تواند تغییر کند.



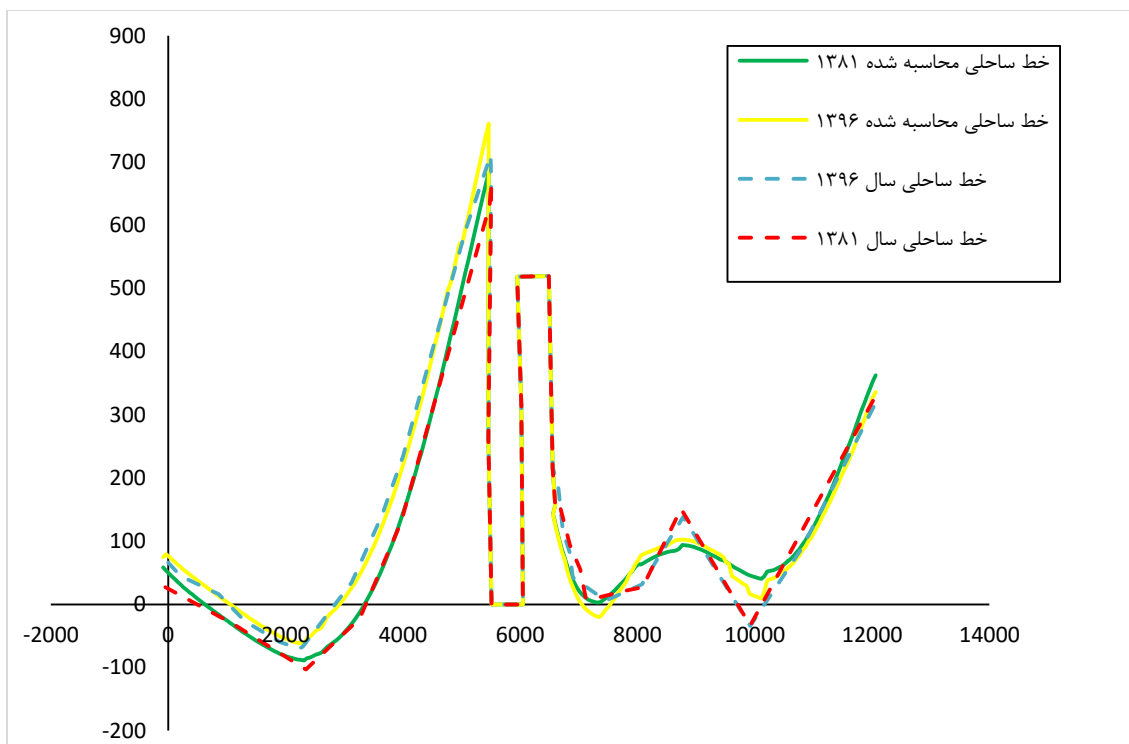
شکل ۱-۵ آهنگ انتقال رسوب کرانه‌ای با توجه به زاویه‌ی ساحل

۲-۲-۵ تغییرات خط ساحلی

شکل ۲-۵ و شکل ۳-۵ خطوط ساحلی محاسبه شده توسط مدل خط ساحلی یک بعدی و خطوط ساحلی اندازه‌گیری شده در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۹۶ را نمایش می‌دهند. در شکل اول از رابطه‌ی کمفیس و در شکل دوم از رابطه‌ی اصلاح شده‌ی کمفیس توسط اسمعیل پور مطلق (۱۳۹۷) برای محاسبه‌ی نرخ انتقال رسوب استفاده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در حالت اول با توجه به دست پایین بودن میزان انتقال رسوب محاسبه شده توسط رابطه‌ی کمفیس برای منطقه‌ی نوشهر، خطوط ساحلی محاسبه شده تغییرات کمتری نسبت به خطوط ساحلی اندازه‌گیری شده دارند اما در حالت دوم خطوط ساحلی محاسبه شده توسط مدل، از انطباق مناسبی با خطوط ساحلی اندازه‌گیری شده برخوردار است که عملکرد صحیح مدل خط ساحلی یک بعدی در پیش بینی صحیح خط ساحلی را تایید می‌کند.



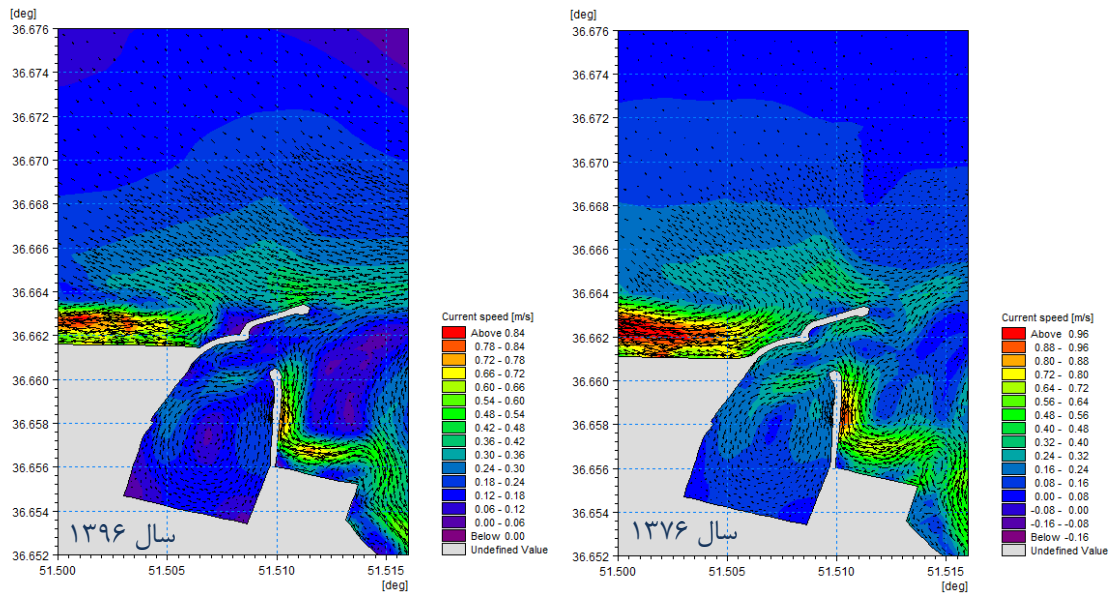
شکل ۲-۵ مقایسه خطوط ساحلی محاسبه شده با رابطه کمفیس (۲۰۰۰) با خطوط ساحلی اندازه‌گیری شده



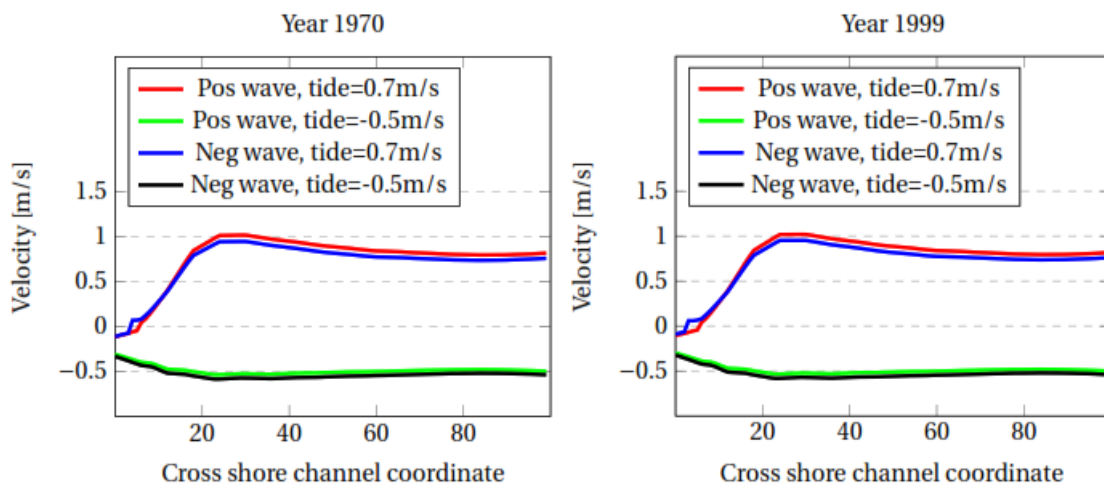
شکل ۳-۵ مقایسه خطوط ساحلی محاسبه شده با رابطه کمفیس اصلاح شده توسط اسمعیل پور (۱۳۹۷) با خطوط ساحلی اندازه‌گیری شده

۳-۲-۵ میدان جریان

همانطور که در فصل بخش ۳-۴ اشاره شد در مدل ترکیبی فن لیوون علی‌رغم تغییرات خط ساحلی، میدان‌های جریان محاسبه شده توسط ماژول مدل جریان (دلفت 3D) بدون تغییر هستند. شکل ۵-۵ سرعت جریان محاسبه شده در طول کانال توسط مدل ترکیبی فن لیوون در فاصله زمانی ۲۹ سال را نمایش می‌دهد، همانگونه که مشاهده می‌شود سرعت جریان در طی ۲۹ سال بدون تغییر مانده است. به همین دلیل در این تحقیق برای افزایش دقت مدل ترکیبی در محاسبه‌ی میدان جریان، ماژول مدل جریان از نرم افزار دلفت 3D به نرم افزار مایک ۲۱ تغییر یافت. با توجه به تعداد امواج جدول موج (۵۹ موج) و تعداد خطوط ساحلی مورد استفاده (۴ خط ساحلی محاسبه شده توسط مدل یک بعدی به همراه خط ساحلی اولیه)، تعداد ۲۹۵ میدان جریان از اجرای مدل عددی جریان به دست آمد. در شکل ۴-۵ میدان جریان محاسبه شده در سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۹۶ به عنوان نمونه، میدان جریان در اطراف دهانه بندر برای یک موج یکسان مشاهده می‌شود، همانگونه که مشخص است کاهش محسوسی در سرعت جریان در پی تغییرات خط ساحلی دیده می‌شود. نمودار سرعت جریان در دهانه بندر و کانال دسترسی در شکل ۷-۵ و شکل ۶-۵ این روند کاهش را به خوبی به نمایش می‌گذارند. مقایسه‌ی نتایج حاصل از مدل ترکیبی برای یک دوره‌ی تقریباً ۳۰ ساله (شکل ۵-۵) و نتایج حاصل از مدل ترکیبی بهبود یافته برای یک دوره ۲۰ ساله (شکل ۷-۵) نشان (۶-۵) می‌دهد که توانایی مدل ترکیبی در محاسبه‌ی میدان جریان، افزایش چشمگیری داشته و عملکرد مدل در این بخش بهبود یافته است.



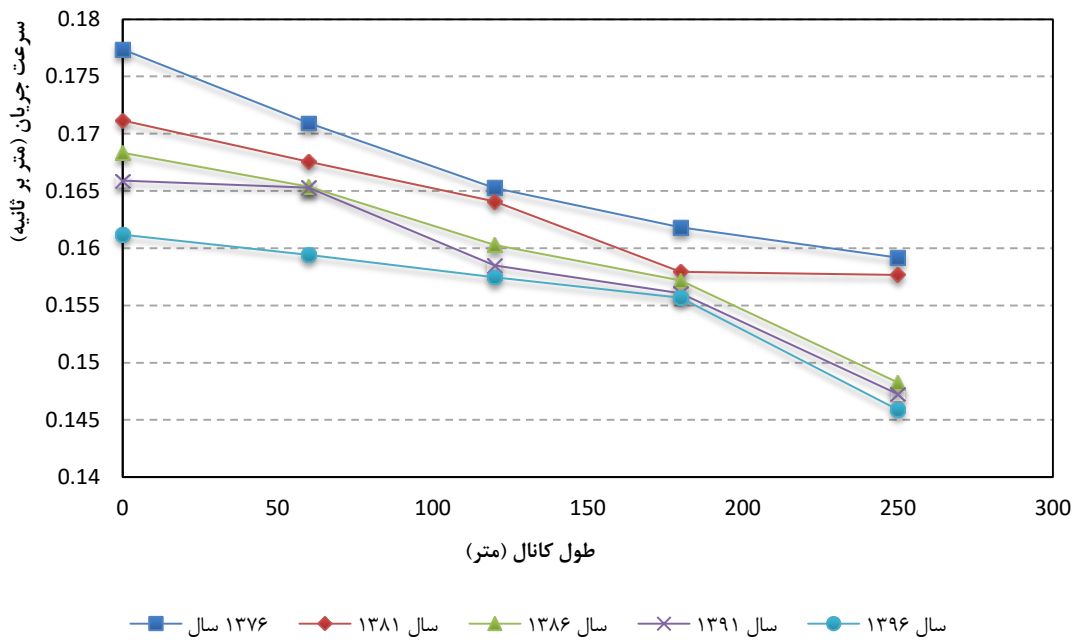
شکل ۴-۵ میدان جریان محاسبه شده در سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۹۶ برای یک موج یکسان



(a) Flow velocities along channel year 1970

(b) Flow velocities along channel year 1999

شکل ۵-۵ سرعت جریان محاسبه شده در طول کانال در سال‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۹۹ توسط مدل ترکیبی فن لیوون



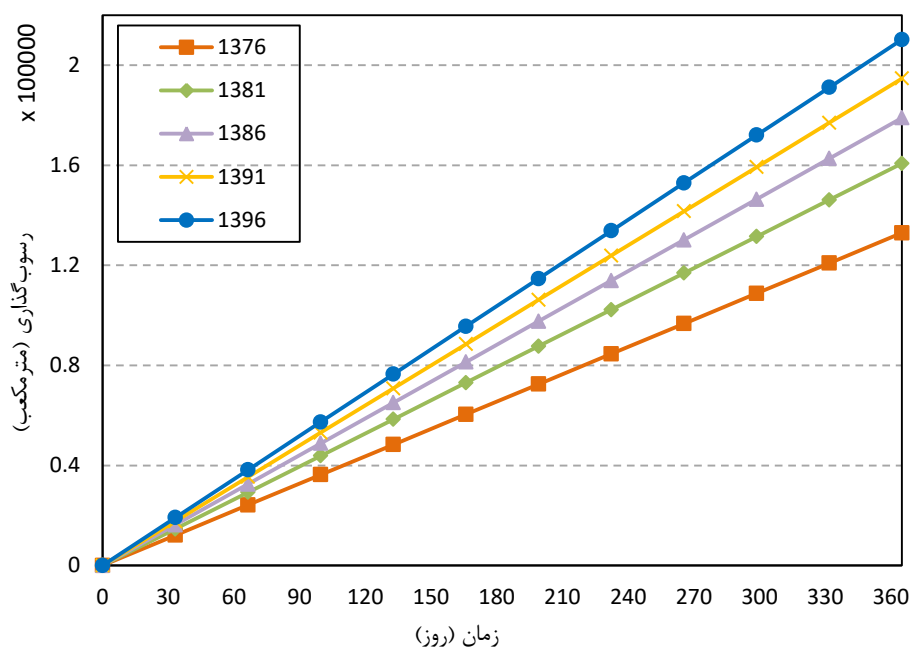
شکل ۵-۶ سرعت جریان در طول کانال دسترسی



شکل ۵-۷ سرعت جریان در عرض دهانه بندر

۴-۲-۵ میزان رسوب گذاری در کانال دسترسی

همانطور که گفته شد برای محاسبه نرخ رسوب گذاری در کانال دسترسی از ۲۵۰ متر ابتدایی آن استفاده می شود که به دلیل تغییرات سرعت جریان در طول کانال و برای دستیابی به نتایج بهتر، کانال دسترسی به ۵ قسمت ۵۰ متری تقسیم شده است. پس از محاسبه ی مقدار رسوب گذاری در هر قسمت مقادیر محاسبه شده با هم جمع شده اند. بر این اساس برای سال های ۱۳۷۶، ۱۳۸۱، ۱۳۸۶، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۶ به ترتیب مقادیر ۱۷۸۹۲۸، ۱۶۰۶۸۶، ۱۳۲۹۱۶، ۱۹۴۶۴۴ و ۲۱۰۲۰۲ مترمکعب در سال به دست آمده است که روند افزایش رسوب گذاری در کانال دسترسی را نشان می دهد. شکل ۸-۵ رشد رسوب گذاری در کانال دسترسی را در گذر زمان نمایش می دهد.

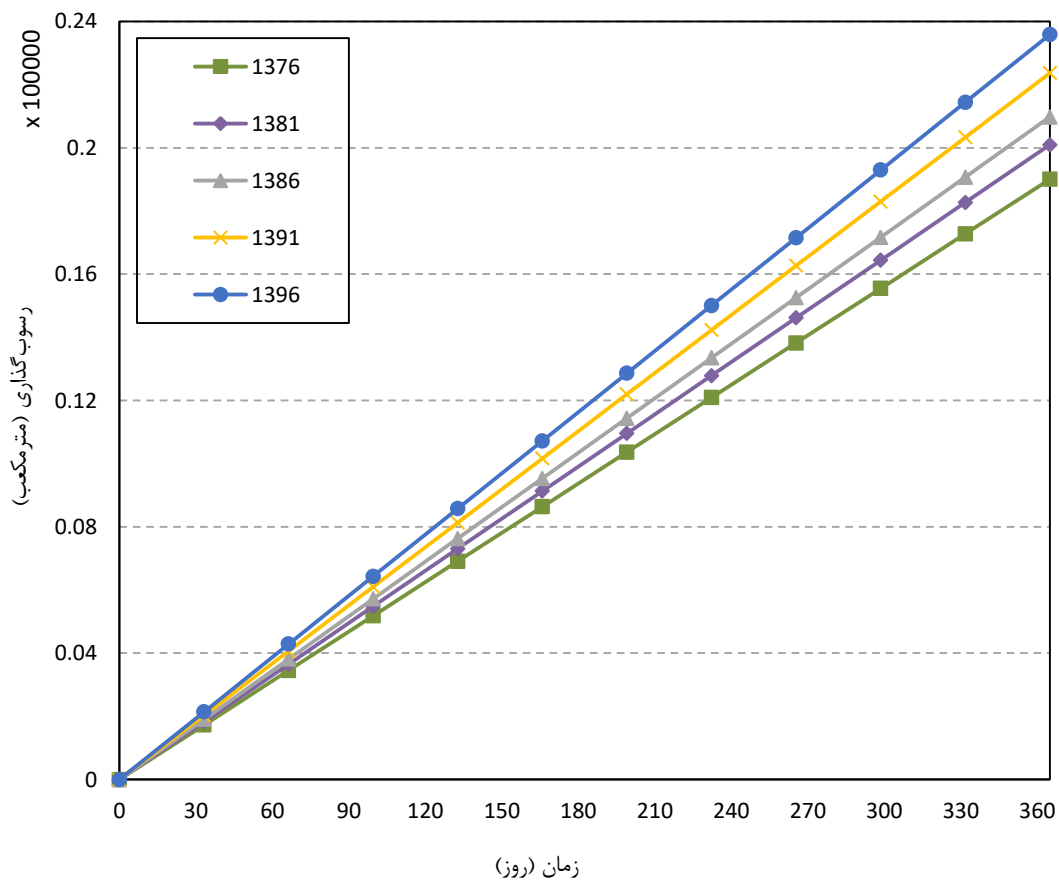


شکل ۸-۵ روند رسوب گذاری در کانال دسترسی در سال های مختلف

۵-۲-۵ رسوب گذاری در حوضچه بندر

در محاسبه ی میزان رسوب گذاری در بندر نیز مانند رسوب گذاری در کانال دسترسی مقادیر محاسبه شده، توسط درصد وقوع هر موج تعدیل می شود و پس از تجمیع کلیه مقادیر میزان رسوب گذاری

سالانه در حوضچه بندر به دست می‌آید. این مقادیر برای سال‌های ۱۳۷۶، ۱۳۸۱، ۱۳۸۶، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۶ به ترتیب ۱۹۰۰۶، ۲۰۰۹۳، ۲۰۹۸۱، ۲۲۳۶۹ و ۲ مترمکعب در سال است. که با توجه به میانگین لایروبی حوضچه بندر (حدود ۲۰،۰۰۰ مترمکعب در سال) مقادیر به دست آمده از مدل ترکیبی به داده‌های موجود نزدیک است. در شکل ۵-۹ میزان رسوب‌گذاری در حوضچه بندر در سال‌های مختلف و روند تغییرات آن مشاهده می‌شود.



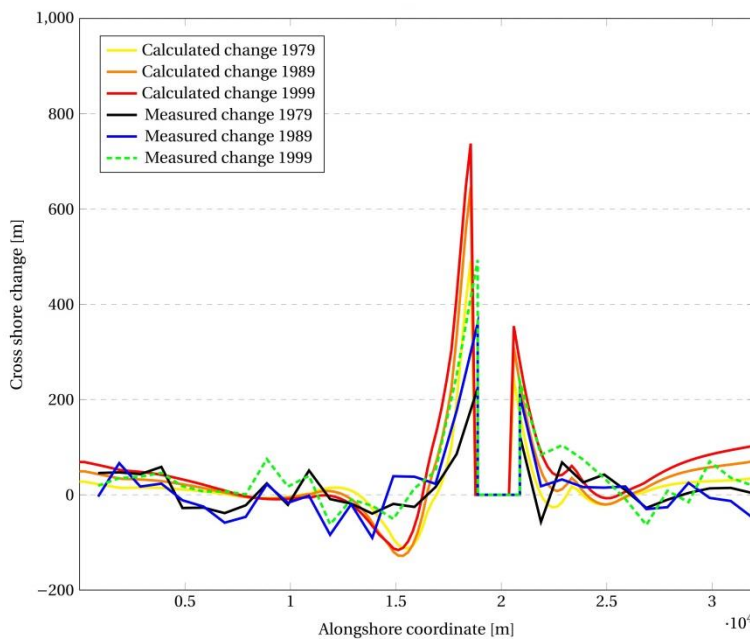
شکل ۵-۹ روند رسوب‌گذاری در حوضچه بندر در سال‌های مختلف

۳-۵ تحلیل نتایج مدل ترکیبی بهبود یافته

در این بخش نتایج حاصل از هر یک از ماژول‌های مدل ترکیبی بهبود یافته مورد بررسی و با نتایج حاصل از مدل ترکیبی فن لیوون مقایسه می‌شود.

۱-۳-۵ مدل خط ساحلی یک بعدی

همانطور که در شکل ۱۰-۵ مشاهده می شود، تغییرات خطوط ساحلی محاسبه شده توسط مدل ترکیبی فن لیوون سرعت بیشتری نسبت به خطوط اندازه گیری شده دارد. به عنوان مثال خط ساحلی محاسبه شده در سال ۱۹۹۹ در سمت چپ بندر با خط ساحلی اندازه گیری شده حدود ۲۰۰ متر و در سمت راست بندر حدود ۱۰۰ متر فاصله دارد. با مقایسه ی شکل های شکل ۳-۵ و شکل ۱۰-۵ می توان دریافت که با توجه به تغییرات ایجاد شده در ماژول خط ساحلی یک بعدی (استفاده از رابطه ی محاسبه انتقال رسوب متناسب با منطقه ی مورد مطالعه و تغییر روش محاسبه ی کنارگذری) به بهبود عملکرد مدل و افزایش دقت آن در این زمینه شده است.

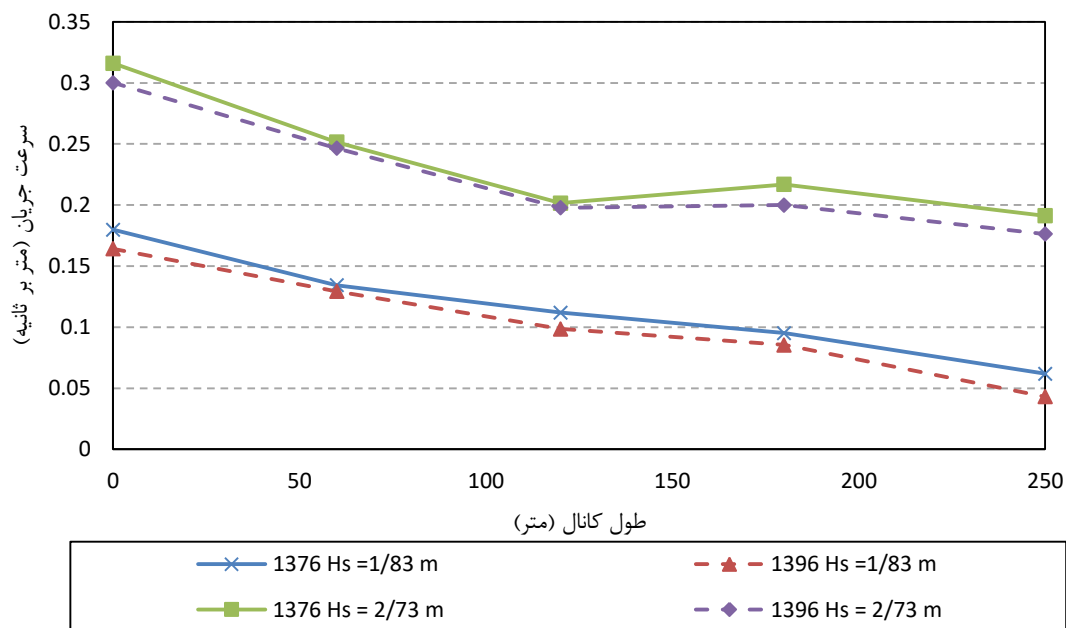


شکل ۱۰-۵ خطوط ساحلی محاسبه شده توسط مدل ترکیبی فن لیوون (۲۰۱۵)

۲-۳-۵ مدل عددی جریان

همانطور که پیش تر بیان شده نتایج حاصل از مدل ترکیبی فن لیوون که به بندر ایمودن اعمال شده است نشان می دهد که تغییرات خط ساحلی در یک بازه زمانی حدوداً ۳۰ ساله تاثیری بر میدان

جریان نداشته است. اما بررسی نتایج به دست آمده از مدل ترکیبی بهبود یافته مبین آن است که میدان جریان در پی تغییرات خط ساحلی در یک بازه‌ی ۲۰ ساله، تغییرات مهم و قابل اعتنایی داشته است، لذا می‌توان نتیجه گرفت که مازول جریان استفاده شده در مدل ترکیبی بهبود یافته دقت بیشتری در محاسبه‌ی تغییرات میدان جریان دارد. شکل ۵-۱۱ تغییرات سرعت جریان ایجاد شده توسط دو موج متفاوت را در فاصله‌ی زمانی ۲۰ ساله نمایش می‌دهد.

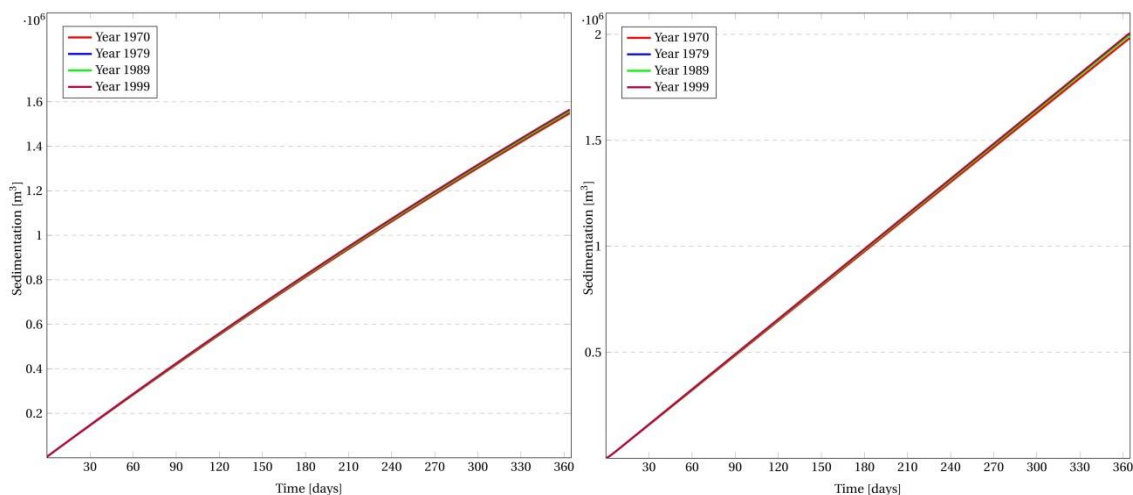


شکل ۵-۱۱ تغییرات سرعت جریان ناشی از دو موج متفاوت در طول کانال در سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۹۶

۳-۳-۵ رسوب‌گذاری در بندر و کانال دسترسی

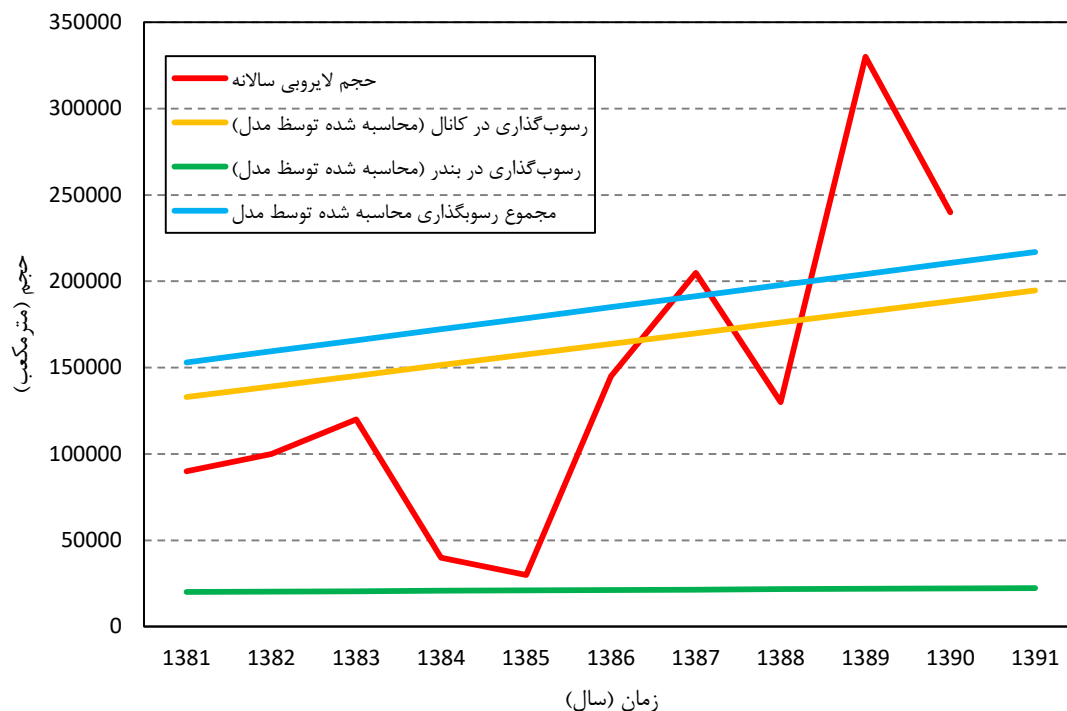
نتایج حاصل از اعمال مدل ترکیبی فن لیوون به بندر ایمودین و کانال دسترسی آن نشان می‌دهد که مدل ترکیبی میزان رسوب‌گذاری در حوضچه‌ی بندر را مقداری دست‌پایین (حدوداً نیم برابر) و میزان رسوب‌گذاری در کانال دسترسی را با انطباق بسیار خوبی نسبت به داده‌های میدانی برآورد نموده است. اما نکته‌ی حائز اهمیت و نقطه ضعف اصلی این مدل این است که به دلیل عدم تغییر در میدان جریان با تغییرات خط ساحلی و همچنین عدم ارتباط میان غلظت رسوبات با تغییرات خط ساحلی،

مدل ترکیبی در پیش‌بینی تغییرات نرخ رسوب‌گذاری متناسب با تغییرات خط ساحلی ناتوان بوده است. شکل ۵-۱۲ نتایج مدل ترکیبی برای بندر ایمودن در سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۹ را نمایش می‌دهد که نشان دهنده‌ی عدم تغییر نرخ رسوب‌گذاری در یک بازه‌ی حدوداً ۳۰ ساله است.



شکل ۵-۱۲ رسوب‌گذاری در بندر (راست) و کانال (چپ) بین سال‌های مختلف توسط مدل ترکیبی فن لیوون

اما نتایج به دست آمده از مدل ترکیبی بهبود یافته (شکل‌های ۵-۸ و ۵-۹) به خوبی نشان می‌دهد که تغییرات میدان جریان و غلظت رسوبات در اطراف بندر در پی تغییرات خط ساحلی، میزان رسوب‌گذاری در کانال دسترسی و بندر را تحت تاثیر قرار داده است. شکل ۵-۱۳ مقادیر لایروبی سالانه بندر نوشهر و مقادیر رسوب‌گذاری سالانه به دست از مدل ترکیبی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ لایروبی بندر و کانال به صورت کامل صورت نگرفته است، همچنین در سال ۱۳۸۹ افزایش چشمگیر لایروبی به دلیل تلاش برای لایروبی پشته‌ی رسوبی به جا مانده از سال‌های قبل بوده است. با در نظر داشتن این نکات می‌توان نتیجه گرفت که مدل نتیجه‌ی اعمال مدل ترکیبی بهبود یافته به بندر نوشهر موفقیت‌آمیز بوده و این مدل روند تغییرات رسوب‌گذاری در این بندر را با دقت مطلوبی پیش‌بینی نموده است.



شکل ۵-۱۳ مقایسه‌ی حجم لایروبی سالانه بندر نوشهر و نتایج حاصل از مدل ترکیبی بهبود یافته

۴-۵ بحث و نتیجه‌گیری

فن لیوون (۲۰۱۵) مدلی ترکیبی ارائه نمود که با آن بتوان فرآیندهای بلندمدت و کوتاه‌مدت دخیل در میزان رسوب‌گذاری را به صورت توأمان در نظر گرفت، همچنین با استفاده از ساده‌سازی داده‌های ورودی و فرضیات ساده‌کننده‌ی فراوان، سرعت مدل را افزایش داد. عدم توانایی در محاسبه‌ی تغییرات میدان جریان و عدم ارتباط میان غلظت رسوبات معلق در اطراف بندر و تغییرات خط ساحلی از نقاط ضعف این مدل به شمار می‌روند که در این تحقیق سعی شده است با روش‌هایی که در بخش‌های پیشین بیان شد، این نقاط ضعف برطرف و عملکرد مدل بهبود داده شود.

در ادامه به پرسش‌هایی که در فصل اول مطرح گردید پاسخ داده می‌شوند و سپس مقایسه‌ی عملکرد مدل ترکیبی فن لیوون و مدل ترکیبی بهبود یافته به صورت کلی در یک جدول آورده خواهد شد.

۵-۴-۱ پاسخ به پرسش‌های تحقیق

کدام فرآیندهای تاثیرگذار بر رسوب‌گذاری در بندر و کانال در مدل ترکیبی در نظر گرفته نشده‌اند؟

غلظت رسوبات معلق یک پارامتر مهم و تغییرات آن یکی از تاثیرگذارترین فرآیندهای دخیل در نرخ رسوب‌گذاری است، که در تحقیق حاضر با ایجاد ارتباط میان این پارامتر و تغییرات خط ساحلی، تاثیرات این فرآیند در مدل ترکیبی بهبود یافته لحاظ گردید و نتایج حاصل از آن مؤید تاثیر فراوان این پارامتر بر نرخ رسوب‌گذاری است.

کدام ساده‌سازی‌ها و مفروضات مدل ترکیبی قابل اصلاح و یا نامتناسب با شرایط منطقه مورد مطالعه است؟

ساده‌سازی و یا فرض عدم حضور برخی از فرآیندها به منظور اجتناب از پیچیدگی در مسائل و حل راحت‌تر آنها بخشی جدا نشدنی از رویکرد مهندسی در حل مسائل پیچیده است، خواه این ساده‌سازی‌ها جزئی و قابل اغماض بوده و خواه گسترده و آشکار باشد. با توجه به ماهیت مدل ترکیبی که بر پایه‌ی استفاده از کمترین داده‌ها (عدم وجود داده‌های کافی) و سرعت عملکرد بالا بنا گردیده، این مدل نیز دارای فرضیات ساده کننده و ساده‌سازی‌های فراوانی است.

در این میان یکی از فرضیاتی که به منظور بهبود عملکرد مدل و با توجه به منطقه مورد مطالعه (بندر نوشهر) اصلاح گردید نحوه‌ی تغییرات نیمرخ عرضی ساحل در ماژول مدل جریان در پی تغییرات خط ساحلی است، در واقع با ثابت فرض نمودن نیمرخ عرضی ساحلی به جای فشردگی و کشیدگی قسمت ابتدایی آن، شرایط مدل به شرایط واقعی نزدیک‌تر گردید.

اما مهمترین فرض اصلاح شده در مدل ترکیبی، فرض ثابت ماندن غلظت رسوبات معلق در طول زمان است، که این فرض با ایجاد ارتباط میان تغییرات خط ساحلی و تغییرات غلظت رسوبات اصلاح و به دنبال آن عملکرد مدل بهبود یافت.

اگرچه ساده‌سازی صورت گرفته در امواج ورودی مدل جریان در مدل ترکیبی، سرعت مدل را به طرز چشمگیری افزایش داده است، اما با توجه به میدان‌های جریان محاسبه شده توسط مدل ترکیبی می‌توان دریافت که دقت مدل در محاسبه تغییرات میدان جریان به شدت کاهش یافته است. به همین دلیل در این تحقیق به جای استفاده از یک موج مثبت و منفی و یک موج بزرگ، از داده‌های جدول موج که نماینده و در بر دارنده‌ی مشخصات امواج منطقه هستند به عنوان ورودی مدل جریان استفاده گردید.

با اعمال چه تغییراتی در ماژول‌های مدل ترکیبی می‌توان عملکرد آن را بهبود بخشید؟

در این تحقیق دو ماژول از ماژول‌های چهارگانه مدل ترکیبی (روابط SED-PIT و SED-HAR) بدون تغییر مانده‌اند، در واقع سعی شده است با بهبود کیفیت داده‌های ورودی مورد استفاده در این روابط، نتایج حاصل از آنها بهبود یابد. برای این منظور تغییرات بهبود دهنده‌ای در سایر ماژول‌ها یعنی خط ساحلی یک بعدی و مدل جریان اعمال گردیده است. بدین صورت که در مدل خط ساحلی یک بعدی روش محاسبه‌ی کنارگذری مطابق آنچه که در بخش ۳-۳-۳ گفته شد تغییر یافت و همچنین از رابطه‌ی اصلاح شده کمفس برای محاسبه‌ی نرخ انتقال رسوب استفاده شده است. ماژول مدل عددی جریان نیز به دلیل عدم توانایی مدل ترکیبی فن لیوون در محاسبه‌ی تغییرات میدان جریان در طول زمان از دلفت 3D به مایک ۲۱ تغییر یافت که نتایج به دست آمده از مدل ترکیبی بهبود یافته نشان دهنده‌ی افزایش دقت مدل در محاسبه‌ی میدان جریان می‌باشد.

۲-۴-۵ مقایسه‌ی عملکرد مدل ترکیبی و مدل ترکیبی بهبود یافته

در این بخش نحوه عملکرد مدل ترکیبی و مدل ترکیبی بهبود یافته به صورت کلی و در جدول ۱-۵ ارائه می‌گردد.

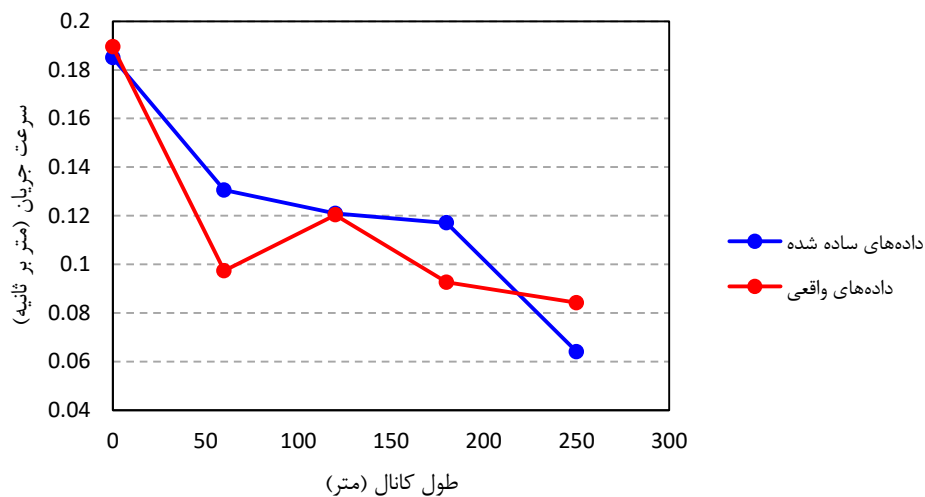
زمینه عملکرد	مدل ترکیبی	مدل ترکیبی بهبود یافته
محاسبه تغییرات خط ساحلی	سرعت رشد بیشتر خطوط محاسبه شده نسبت به خطوط اندازه گیری شده	انطباق بهتر با خط ساحلی اندازه گیری شده
محاسبه میدان جریان	عدم توانایی در محاسبه تغییرات میدان جریان	قادر به محاسبه کوچکترین تغییرات در سرعت و جهت جریان
محاسبه تغییرات غلظت رسوبات معلق	ثابت فرض نمودن غلظت رسوبات در طول زمان	محاسبه تغییرات غلظت رسوبات در پی تغییرات خط ساحلی
محاسبه رسوب گذاری در کانال و بندر	محاسبه مناسب رسوب گذاری در کانال و بندر، عدم توانایی محاسبه تغییرات نرخ رسوب گذاری در طول زمان	محاسبه مناسب رسوب گذاری در کانال و بندر با دقت مطلوب و توانایی محاسبه تغییرات نرخ رسوب گذاری در طول زمان
مدت زمان اجرا مدل	برای یک دوره زمانی ۴۰ ساله: کمتر از یک ساعت	برای یک دوره زمانی ۲۰ ساله حدوداً ۴ ساعت

جدول ۵-۱ مقایسه عملکرد مدل ترکیبی بهبود یافته با مدل ترکیبی

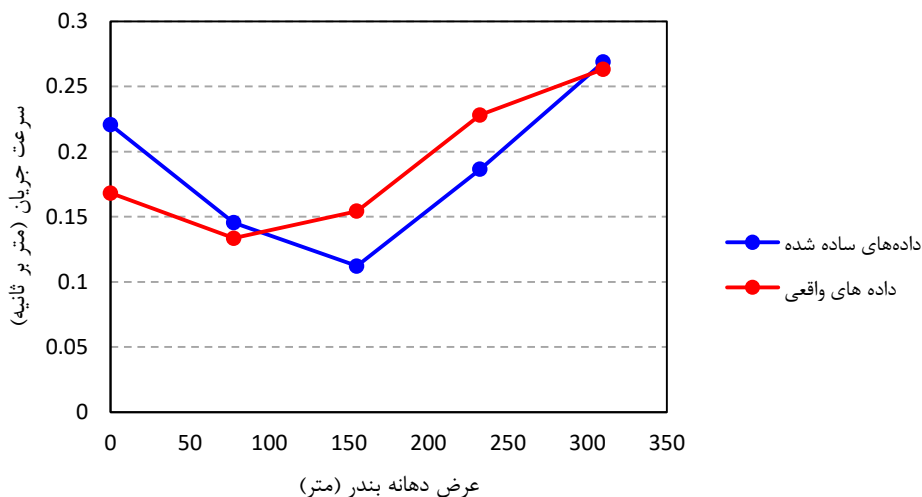
اگرچه سرعت مدل ترکیبی بهبود یافته نسبت به مدل ترکیبی کاهش داشته است، اما با در نظر گرفتن بازه ۲۰ ساله محاسبات، مدل از سرعت بسیار بالایی برخوردار است. همچنین با توجه به اینکه دقت مدل و توانایی آن در پیش بینی تغییرات نرخ رسوب گذاری افزایش یافته است می توان از این کاهش سرعت نسبی را نادیده گرفت.

اثرات ساده سازی

در مدل ترکیبی بهبود یافته ساده سازی هایی در راستای افزایش سرعت مدل صورت گرفته است که عمده ترین آنها ساده سازی امواج منطقه و عمق دهی به محدوده مدل بر اساس نمیرخ تعادلی دین می باشد. شکل ۵-۱۴ و شکل ۵-۱۵ مقایسه ی مقادیر سرعت جریان محاسبه شده در طول کانال و دهانه بندر توسط داده های موج و عمق واقعی و داده های ساده سازی شده را به نمایش می گذارد.



شکل ۵-۱۴ مقایسه سرعت جریان محاسبه شده در طول کانال توسط داده های واقعی و ساده شده



شکل ۵-۱۵ مقایسه سرعت جریان محاسبه شده در دهانه بندر توسط داده های واقعی و ساده شده

بیشترین اختلاف سرعت جریان در طول کانال ۳۴٪ و در طول دهانه بندر ۳۱٪ می باشد که با در نظر گرفتن حجم گسترده‌ی ساده‌سازی داده‌ها در مدل ترکیبی بهبود یافته، وجود این اختلافات امری اجتناب ناپذیر است. ضمناً این نکته را باید در خاطر داشت که رویکرد مدل ترکیبی بهبود یافته پیش‌بینی تغییرات نرخ رسوبگذاری حاصل از طرح‌بندی‌های مختلف و مقایسه اثرات آنها بر نرخ رسوبگذاری است، نه محاسبه‌ی دقیق میزان رسوب‌گذاری (که حتی با مدل های عددی پیچیده نیز امری دشوار است).

۵-۴-۳ جمع بندی

در نهایت این مدل برای یک دوره ۲۰ ساله به بندر نوشهر اعمال شد که نتایج به دست آمده از مدل برای میزان رسوب‌گذاری در بندر از دقت بسیار خوبی برخوردارند اما نتایج به دست آمده برای کانال دسترسی قدری دست بالا هستند، البته باتوجه به گستردگی ساده‌سازی‌های صورت گرفته و فراوانی فرضیات ساده کننده، کاملاً بدیهی است که برآورد میزان رسوب‌گذاری توسط مدل با مقدار واقعی متفاوت است. لذا می‌بایست اساس استفاده از این مدل باید بر پایه‌ی ارزیابی مقایسه‌ای طرح‌های موجود در مراحل ابتدایی طراحی باشد و پس از مشخص شدن طرح‌های نهایی می‌بایست از سایر روش‌ها برای برآورد دقیق‌تر میزان رسوب‌گذاری استفاده گردد.

۵-۵ پیشنهادات

به دلیل محدودیت در دسترسی به داده‌های واقعی و قابل اتکا، این مدل تنها به بندر نوشهر که داده‌های آن در دسترس بود اعمال شده است، لذا پیشنهاد می‌گردد به منظور صحت‌سنجی عملکرد مدل بهبود یافته، با اعمال آن به بنادر و کانال‌های دسترسی بیشتر در تحقیقات آتی به بررسی عملکرد مدل پرداخته شود.

در این تحقیق اثر جریان‌های ناشی از باد دیده نشده است، در موقعیت‌هایی که اثر جزر و مد کم باشد، جریان‌های ناشی از باد می‌تواند بر میزان رسوب‌گذاری تاثیر به‌سزایی داشته باشد، لذا پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده اثرات جریان‌های ناشی از باد در مدل لحاظ و مورد بررسی قرار گیرد.

پوست ۱: تنظیمات مدول امواج طیفی (Spectral Waves FM)

در این قسمت جزئیات تنظیمات مدول امواج طیفی به صورت کامل ارائه می‌گردد. بخش‌های اصلی این تنظیمات به ترتیب عبارتند از: مشخصات محاسبه‌گر (رایانه)، مشخصات محیط مدل، اطلاعات شبکه‌بندی، مشخصات مرزها، نوع مدول انتخابی (در اینجا امواج طیفی) و روش محاسبات، مشخصات داده‌های خروجی، که جزئیات مربوط به هر یک در ذیل بخش مربوطه آورده شده است.

Target: FemEngineSW

==== Computing Environment =====

Computer name : LENOVO

Number of processors: 4

=====

Section: SYSTEM -----

Section: TIME -----

start_time : 2013 1 1 12 0 0

time_step_interval : 3600

number_of_time_steps : 58

Section: DOMAIN -----

number_of_dimensions : 2

number_of_meshes : 1

file_name : E:\Model\1381 condition\1381 condition.mesh

datum_depth : 0

minimum_depth : -0.000123

thresshold_depth : -0.000123 (default)

number_of_domains : 16

type_of_reordering : 1

==== Mesh information =====

Number of elements : 6365

Number of faces : 9695

Number of nodes : 3331

Number of sections : 4
 Min x-coordinate (degree) : 51.468445
 Max x-coordinate (degree) : 51.560673
 Min y-coordinate (degree) : 36.641948
 Max y-coordinate (degree) : 36.702621
 Min z-coordinate (m) : -33.935235
 Max z-coordinate (m) : -0.000123

=====
 ===== Boundary information =====
 =====

number	code	number of points	number of faces
1	1	207	206
2	3	22	21
3	4	45	44
4	5	25	24

=====
 =====

Section: SPECTRAL_WAVE_MODULE -----

mode : 2

Section: EQUATION -----

formulation : 1

time_formulation : 2

JONSWAP_factor_1 : 0.92

JONSWAP_factor_2 : 0.83

Section: TIME -----

start_time_step : 0

time_step_factor : 1

Section: SPACE -----

number_of_mesh_geometry : 1

Section: SPECTRAL -----

type_of_directional_discretization : 1

number_of_directions : 16

Section: SOLUTION_TECHNIQUE -----

error_level : 0

maximum_number_of_errors : 200

minimum_period : 0.1
maximum_period : 25
initial_period : 8
scheme_of_space_discretization_geographical : 1
scheme_of_space_discretization_direction : 1
scheme_of_space_discretization_frequency : 1
scheme_of_time_integration : 1 (default)
number_of_levels_in_transport_calc : 32
number_of_steps_in_source_calc : 1
type_of_CFL_number : 2 (default)
maximum_CFL_number : 1
dt_min : 0.01
dt_max : 30

Section: DEPTH -----

type : 0
minimum_depth : 0.01

Number of water points: 6365

Section: CURRENT -----

type : 0

Section: WIND -----

type : 0

Section: ICE -----

type : 0

Section: DIFFRACTION -----

type : 1
minimum_delta : -0.75
maximum_delta : 3
type_of_smoothing : 1
smoothing_factor : 1
number_of_smoothing_steps : 1

Section: BOTTOM_FRICTION -----

type : 3

```

type_of_effect_on_frequency : 1
constant_fc : 0
Section: NIKURADSE_ROUGHNESS -----
    format : 0
    constant_value : 0.00036
Section: WAVE_BREAKING -----
    type : 1
    type_of_gamma : 2
    type_of_effect_on_frequency : 0
    alpha : 1
    gamma_steepness : 1
    type_of_roller : 0
Section: WAKE_WASH -----
Section: STRUCTURES -----
    Section: POINT_STRUCTURES -----
        type : 0
    Section: LINE_STRUCTURES -----
        number_of_structures : 0
        output_of_link_data : 0
Section: INITIAL_CONDITIONS -----
    type : 0
Section: BOUNDARY_CONDITIONS -----
    Section: CODE_1 -----
        type : 1 (default)
    Section: CODE_3 -----
        type : 6
    Section: CODE_4 -----
        type : 2
        format : 1
        file_name : E:\Model\initial shoreline condition\Wave TS.dfs0
        item_numbers : 4 3 2 1
        type_of_soft_start : 1

```

soft_time_interval : 0
reference_values : 0 8 270 5
type_of_time_interpolation : 1
type_of_directional_distribution : 1
type_of_directional_normalization : 1

----- Data File Summary -----

Creator: MIKE Zero

File : E:\Model\initial shoreline condition\Wave TS.dfs0

Title : Untitled

Start date Start time Sets Interval Unit

2013-01-01 12:00:00 59 3600 second

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
n	Spreading factor	5	5	()
dir	Mean Wave Direction	3	343	degree
tp	Wave period	1.16	33.330002	second
Hs	Significant wave hei	0.029999	3.03	meter

type_of_angle_definition : 1 (default)

Section: CODE_5 -----

type : 6

Section: OUTPUTS -----

number_of_outputs : 1

Section: OUTPUT_1 -----

include : 1

file_name : E:\Model\1381 condition\sxx sxy syy 1381.dfsu

title : Output 1

type : 1

format : 2

delete_value : 1.E-35 (default)

flood_and_dry : 2

precision : 2 (default)

first_time_step : 0
last_time_step : 58
time_step_frequency : 1
number_of_variables : 0 (default)
interpolation_type : 1

Section: INTEGRAL_WAVE_PARAMETERS -----

hm0_minimum : 0.01
type_of_h_max : 3
duration : 10800
distance_above_bed_for_particle_velocity : 0

Section: Total_wave_parameters -----

Significant_wave_height : 1
Maximum_wave_height : 0
Peak_wave_period : 1
Wave_period_t01 : 0
Peak_wave_direction : 0
Mean_wave_direction : 1
Directional_standard_deviation : 0
Wave_velocity_components : 0
Radiation_stresses : 1
Particle_velocities : 0
Wave_power : 0

Section: INPUT_PARAMETERS -----

Surface_elevation : 0
Water_depth : 0
Current_velocity_components : 0
Ice_concentration : 0

Section: MODEL_PARAMETERS -----

Friction_coefficient : 0
Breaking_parameter_gamma : 0
Courant_number : 0
Time_step_factor : 0

Convergence_angle : 0
 Length : 0
 Area : 0
 Breaking_index : 0
 coordinate_type : LONG/LAT
 Section: AREA -----
 number_of_points : 4
 Section: POINT_1 -----
 x : 51.467523
 y : 36.641341
 Section: POINT_2 -----
 x : 51.467523
 y : 36.703228
 Section: POINT_3 -----
 x : 51.561595
 y : 36.703228
 Section: POINT_4 -----
 x : 51.561595
 y : 36.641341

===== Output Statistics =====

----- Data File Summary -----

Creator:

File : E:\Model\1381 condition\sxx sxy syy 1381.dfsu

Title : Output 1

Start date Start time Sets Interval Unit

2013-01-01 12:00:00 59 3600 second

Static items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Node id	Grid Codes	1	3331	Integer
X-coord	Latitude/longitude	51.468445	51.560673	degree
Y-coord	Latitude/longitude	36.641948	36.702621	degree
Z-coord	Item geometry 3-dime	-33.935235	-0.000123	meter

Code	Grid Codes	0	5 Integer
Element id	Grid Codes	1	6365 Integer
Element type	Grid Codes	21	21 Integer
No of nodes	Grid Codes	3	3 Integer
Connectivity	Grid Codes	1	3331 Integer

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Sign. Wave Height	Significant wave hei	0	3.1051	meter
Peak Wave Period	Wave period	0.21231	26.984247	second
Mean Wave Direction	Mean Wave Direction	0.000026	360	degree
Rad. Stress, Sxx	Radiation Stress	0	2.98788	m ³ /s ²
Rad. Stress, Sxy	Radiation Stress	-0.544128	1.228263	m ³ /s ²
Rad. Stress, Syy	Radiation Stress	0	6.454383	m ³ /s ²

===== Spectral Wave Simulation Diagnostic =====

Number of time steps : 16229
Duration time (s) : 208800
Minimum time step (s): 4.946966
Maximum time step (s): 29.752066
Level factor : 5.548668

===== Spectral Wave Simulation Timings =====

Task	CPU time	Elapsed time
Update forcings	7.20	1.87
Transport step	1358.39	351.61
Growth/decay step	1784.80	452.96
Other calculations	2211.47	567.00

Total	5363.72	1373.67

===== Overall Timings =====

Task	CPU time	Elapsed time

Pre-processing	0.27	0.17

Calculation	5363.72	1374.00
Post-processing	5.95	2.07

Total	5369.94	1376.24
-------	---------	---------

Normal run completion

پوست ۲: تنظیمات مدول مدل جریان (Flow Model FM)

در این قسمت نیز جزییات تنظیمات مدول مدل جریان به صورت کامل ارائه شده است. بخش‌های اصلی این تنظیمات به ترتیب عبارتند از: مشخصات رایانه، مشخصات محیط مدل، اطلاعات شبکه‌بندی، مشخصات مرزها، نوع مدول انتخابی (در اینجا مدل جریان) و روش محاسبات، مشخصات داده‌های خروجی، که جزییات مربوط به هر یک در ذیل بخش مربوطه آورده شده است.

Target: FemEngineHD

==== Computing Environment =====

Computer name : LENOVO

Number of processors: 4

=====

Section: SYSTEM -----

Section: TIME -----

start_time : 2013 1 1 12 0 0

time_step_interval : 3600

number_of_time_steps : 58

Section: DOMAIN -----

number_of_dimensions : 2

number_of_meshes : 1

file_name : E:\Model\1381 condition\1381 condition.mesh

datum_depth : 0

minimum_depth : -0.000123

thresshold_depth : -0.000123 (default)

number_of_domains : 16

type_of_reordering : 1

==== Mesh information =====

Number of elements : 6365

Number of faces : 9695

Number of nodes : 3331

Number of sections : 4
 Min x-coordinate (degree) : 51.468445
 Max x-coordinate (degree) : 51.560673
 Min y-coordinate (degree) : 36.641948
 Max y-coordinate (degree) : 36.702621
 Min z-coordinate (m) : -33.935235
 Max z-coordinate (m) : -0.000123

==== Boundary information =====

number	code	number of points	number of faces
1	1	207	206
2	3	22	21
3	4	45	44
4	5	25	24

====

Section: MODULE_SELECTION -----

mode_of_hydrodynamic_module : 2
 hydrodynamic_features : 1
 mode_of_transport_module : 0
 mode_of_mud_transport_module : 0
 mode_of_sand_transport_module : 0
 mode_of_eco_lab_module : 0
 mode_of_particle_tracking_module : 0

Section: HYDRODYNAMIC_MODULE -----

mode : 2

Section: EQUATION -----

formulation : 4
 time_formulation : 2 (default)

Section: TIME -----

start_time_step : 0
 time_step_factor : 1

Section: SPACE -----

number_of_2D_mesh_geometry : 1

number_of_2D_mesh_velocity : 1
 number_of_2D_mesh_elevation : 1
 Section: FLOOD_AND_DRY -----
 type : 2
 drying_depth : 0.005
 flooding_depth : 0.05
 mass_depth : 0.1
 Section: DEPTH -----
 type : 0
 Section: DENSITY -----
 type : 0
 Section: EDDY_VISCOSITY -----
 Section: HORIZONTAL_EDDY_VISCOSITY -----
 type : 3
 Section: SMAGORINSKY_FORMULATION -----
 format : 0
 constant_value : 0.28
 minimum_eddy_viscosity : 0.000001
 maximum_eddy_viscosity : 1.E+10
 Section: BED_RESISTANCE -----
 type : 4
 Section: MANNING_NUMBER -----
 format : 0
 constant_value : 32
 Section: CORIOLIS -----
 type : 2
 Section: WIND_FORCING -----
 type : 0
 Section: ICE -----
 type : 0
 Section: TIDAL_POTENTIAL -----
 type : 0

Section: PRECIPITATION_EVAPORATION -----

type_of_precipitation : 0

type_of_evaporation : 0

Section: RADIATION_STRESS -----

type : 1

format : 3

soft_time_interval : 0

file_name : E:\Model\1381 condition\sxx sxy syy 1381.dfsu

item_number_for_sxx : 4

item_number_for_sxy : 4

item_number_for_syy : 4

----- Data File Summary -----

Creator:

File : E:\Model\1381 condition\sxx sxy syy 1381.dfsu

Title : Output 1

Start date Start time Sets Interval Unit

2013-01-01 12:00:00 59 3600 second

Static items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Node id	Grid Codes	1	3331	Integer
X-coord	Latitude/longitude	51.468445	51.560673	degree
Y-coord	Latitude/longitude	36.641948	36.702621	degree
Z-coord	Item geometry 3-dime	-33.935234	-0.000123	meter
Code	Grid Codes	0	5	Integer
Element id	Grid Codes	1	6365	Integer
Element type	Grid Codes	21	21	Integer
No of nodes	Grid Codes	3	3	Integer
Connectivity	Grid Codes	1	3331	Integer

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Sign. Wave Height	Significant wave hei	0	3.1051	meter
Peak Wave Period	Wave period	0.21231	26.984247	second

Mean Wave Direction Mean Wave Direction 0.000026 360 degree
 Rad. Stress, Sxx Radiation Stress 0 2.98788 m³/s²
 Rad. Stress, Sxy Radiation Stress -0.544128 1.228263 m³/s²
 Rad. Stress, Syy Radiation Stress 0 6.454383 m³/s²

Section: SOURCES -----

number_of_sources : 0

Section: SOLUTION_TECHNIQUE -----

scheme_of_time_integration : 1
 scheme_of_space_discretization_horizontal : 1
 method_of_space_discretization_horizontal : 0
 type_of_entropy_fix : 1 (default)
 CFL_critical_HD : 0.8
 dt_min_HD : 0.01
 dt_max_HD : 30
 CFL_critical_AD : 0.8
 dt_min_AD : 0.01
 dt_max_AD : 30
 type_of_land_condition : 2 (default)
 error_level : 0
 maximum_number_of_errors : 200

Section: STRUCTURE_MODULE -----

relaxation_factor : 0 (default)

Section: STRUCTURES -----

Section: WEIR -----

output_of_link_data : 0 (default)

Section: DIKES -----

number_of_dikes : 0
 output_of_link_data : 0

Section: GATES -----

number_of_gates : 0
 output_of_link_data : 0 (default)

Section: PIERS -----

```

format : 0
number_of_piers : 0
Section: TURBINES -----
format : 0
number_of_turbines : 0
Section: SHIP -----
Section: INITIAL_CONDITIONS -----
type : 1
surface_elevation_constant : 0
u_velocity_constant : 0
v_velocity_constant : 0
Section: BOUNDARY_CONDITIONS -----
internal_land_boundary_type : 1
Section: CODE_1 -----
type : 1
Section: CODE_3 -----
type : 12
type_interpolation_constrain : 0
type_of_data : 2 (default)
format : 0
constant_values : 0 0
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 0
reference_values : 0 0
type_of_time_interpolation : 1
Section: DATA_2 -----
format : 0
constant_value : 0
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 0
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1

```

type_of_coriolis_correction : 0
type_of_wind_correction : 0
type_of_pressure_correction : 1
type_of_relaxation : 0 (default)
distance : 10000 (default)

Section: CODE_4 -----

type : 12
type_interpolation_constrain : 0
type_of_data : 2 (default)
format : 0
constant_values : 0 0
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 0
reference_values : 0 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: DATA_2 -----

format : 0
constant_value : 0
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 0
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1
type_of_coriolis_correction : 0
type_of_wind_correction : 0
type_of_pressure_correction : 1
type_of_relaxation : 0 (default)
distance : 10000 (default)

Section: CODE_5 -----

type : 12
type_interpolation_constrain : 0
type_of_data : 2 (default)
format : 0

constant_values : 0 0
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 0
reference_values : 0 0
type_of_time_interpolation : 1

Section: DATA_2 -----

format : 0
constant_value : 0
type_of_soft_start : 2
soft_time_interval : 0
reference_value : 0
type_of_time_interpolation : 1
type_of_coriolis_correction : 0
type_of_wind_correction : 0
type_of_pressure_correction : 1
type_of_relaxation : 0 (default)
distance : 10000 (default)

Section: TEMPERATURE_SALINITY_MODULE -----

temperature_mode : 0
salinity_mode : 0

Section: DECOUPLING -----

type : 0

Section: OUTPUTS -----

number_of_outputs : 5

Section: OUTPUT_1 -----

include : 1
file_name : E:\Model\1381 condition\output\Access channel.dfs1
title : Access Channel
type : 1
format : 1
delete_value : 1.E-35 (default)
flood_and_dry : 2

precision : 2 (default)
first_time_step : 0
last_time_step : 58
time_step_frequency : 1
number_of_variables : 0 (default)
interpolation_type : 2
interpolation_subtype : 1 (default)

Section: PARAMETERS_2D -----

SURFACE_ELEVATION : 0
STILL_WATER_DEPTH : 0
TOTAL_WATER_DEPTH : 0
U_VELOCITY : 0
V_VELOCITY : 0
P_FLUX : 0
Q_FLUX : 0
CURRENT_SPEED : 1
CURRENT_DIRECTION : 1
WIND_U_VELOCITY : 0
WIND_V_VELOCITY : 0
AIR_PRESSURE : 0
PRECIPITATION : 0
EVAPORATION : 0
DRAG_COEFFICIENT : 0
EDDY_VISCOSITY : 0
RADIATION_STRESS_GRADIENT_X : 0 (default)
RADIATION_STRESS_GRADIENT_Y : 0 (default)
CFL_NUMBER : 0
CONVERGENCE_ANGLE : 0
AREA : 0
coordinate_type : LONG/LAT
input_format : 1

Section: Line -----

number_of_points : 0 (default)
x_first : 51.511116
y_first : 36.661661
x_last : 51.513882
y_last : 36.661485
npoints : 5

===== Line Output Information =====

Element	x (degree)	x (degree)	z (m)	code
2488	51.51111600	36.66166100	-5.04250182	0
2524	51.51180750	36.66161700	-6.32459076	0
2554	51.51249900	36.66157300	-7.57661027	0
2518	51.51319050	36.66152900	-8.93210765	0
2480	51.51388200	36.66148500	-9.77584652	0

=====

Section: OUTPUT_2 -----

include : 1
file_name : E:\Model\1381 condition\output\port enterance.dfs1
title : Port Enterance
type : 1
format : 1
delete_value : 1.E-35 (default)
flood_and_dry : 2
precision : 2 (default)
first_time_step : 0
last_time_step : 58
time_step_frequency : 1
number_of_variables : 0 (default)
interpolation_type : 2
interpolation_subtype : 1 (default)

Section: PARAMETERS_2D -----

SURFACE_ELEVATION : 0
STILL_WATER_DEPTH : 0

TOTAL_WATER_DEPTH : 0
 U_VELOCITY : 0
 V_VELOCITY : 0
 P_FLUX : 0
 Q_FLUX : 0
 CURRENT_SPEED : 1
 CURRENT_DIRECTION : 1
 WIND_U_VELOCITY : 0
 WIND_V_VELOCITY : 0
 AIR_PRESSURE : 0
 PRECIPITATION : 0
 EVAPORATION : 0
 DRAG_COEFFICIENT : 0
 EDDY_VISCOSITY : 0
 RADIATION_STRESS_GRADIENT_X : 0 (default)
 RADIATION_STRESS_GRADIENT_Y : 0 (default)
 CFL_NUMBER : 0
 CONVERGENCE_ANGLE : 0
 AREA : 0
 coordinate_type : LONG/LAT
 input_format : 1

Section: Line -----

number_of_points : 0 (default)
 x_first : 51.510089
 y_first : 36.660578
 x_last : 51.511119
 y_last : 36.662774
 npoints : 5

===== Line Output Information =====

Element	x (degree)	x (degree)	z (m)	code
3928	51.51008900	36.66057800	-5.00000000	0
3914	51.51034650	36.66112700	-5.00000000	0

2430	51.51060400	36.66167600	-5.00000000	0
2514	51.51086150	36.66222500	-5.00058390	0
2637	51.51111900	36.66277400	-5.26456728	0

=====
Section: OUTPUT_3 -----

include : 1
file_name : E:\Model\1381 condition\output\LAC.dfs1
title : L.A.C
type : 1
format : 1
delete_value : 1.E-35 (default)
flood_and_dry : 2
precision : 2 (default)
first_time_step : 0
last_time_step : 58
time_step_frequency : 1
number_of_variables : 0 (default)
interpolation_type : 2
interpolation_subtype : 1 (default)

Section: PARAMETERS_2D -----

SURFACE_ELEVATION : 0
STILL_WATER_DEPTH : 0
TOTAL_WATER_DEPTH : 0
U_VELOCITY : 0
V_VELOCITY : 0
P_FLUX : 0
Q_FLUX : 0
CURRENT_SPEED : 1
CURRENT_DIRECTION : 1
WIND_U_VELOCITY : 0
WIND_V_VELOCITY : 0
AIR_PRESSURE : 0

PRECIPITATION : 0
 EVAPORATION : 0
 DRAG_COEFFICIENT : 0
 EDDY_VISCOSITY : 0
 RADIATION_STRESS_GRADIENT_X : 0 (default)
 RADIATION_STRESS_GRADIENT_Y : 0 (default)
 CFL_NUMBER : 0
 CONVERGENCE_ANGLE : 0
 AREA : 0
 coordinate_type : LONG/LAT
 input_format : 1

Section: Line -----

number_of_points : 0 (default)
 x_first : 51.51114
 y_first : 36.662129
 x_last : 51.513932
 y_last : 36.661932
 npoints : 5

===== Line Output Information =====

Element	x (degree)	x (degree)	z (m)	code
2557	51.51114000	36.66212900	-5.02301416	0
2616	51.51183800	36.66207975	-6.47832824	0
2640	51.51253600	36.66203050	-7.67166617	0
2612	51.51323400	36.66198125	-9.05348408	0
2516	51.51393200	36.66193200	-10.19408276	0

=====

Section: OUTPUT_4 -----

include : 1
 file_name : E:\Model\1381 condition\output\RAC.dfs1
 title : R.A.C
 type : 1
 format : 1

delete_value : 1.E-35 (default)
flood_and_dry : 2
precision : 2 (default)
first_time_step : 0
last_time_step : 58
time_step_frequency : 1
number_of_variables : 0 (default)
interpolation_type : 2
interpolation_subtype : 1 (default)

Section: PARAMETERS_2D -----

SURFACE_ELEVATION : 0
STILL_WATER_DEPTH : 0
TOTAL_WATER_DEPTH : 0
U_VELOCITY : 0
V_VELOCITY : 0
P_FLUX : 0
Q_FLUX : 0
CURRENT_SPEED : 1
CURRENT_DIRECTION : 1
WIND_U_VELOCITY : 0
WIND_V_VELOCITY : 0
AIR_PRESSURE : 0
PRECIPITATION : 0
EVAPORATION : 0
DRAG_COEFFICIENT : 0
EDDY_VISCOSITY : 0
RADIATION_STRESS_GRADIENT_X : 0 (default)
RADIATION_STRESS_GRADIENT_Y : 0 (default)
CFL_NUMBER : 0
CONVERGENCE_ANGLE : 0
AREA : 0
coordinate_type : LONG/LAT

input_format : 1

Section: Line -----

number_of_points : 0 (default)

x_first : 51.511022

y_first : 36.66109

x_last : 51.513822

y_last : 36.66087

npoints : 5

===== Line Output Information =====

Element	x (degree)	x (degree)	z (m)	code
2428	51.51102200	36.66109000	-5.08452385	0
2451	51.51172200	36.66103500	-6.35751819	0
2450	51.51242200	36.66098000	-7.63271637	0
2448	51.51312200	36.66092500	-8.72189468	0
3599	51.51382200	36.66087000	-9.10255610	0

=====

Section: OUTPUT_5 -----

include : 1

file_name : E:\Model\initial shoreline condition\output\flow field.dfsu

title : Flow Field

type : 1

format : 2

delete_value : 1.E-35 (default)

flood_and_dry : 2

precision : 2 (default)

first_time_step : 0

last_time_step : 58

time_step_frequency : 1

number_of_variables : 0 (default)

interpolation_type : 1

Section: PARAMETERS_2D -----

SURFACE_ELEVATION : 0

STILL_WATER_DEPTH : 0
TOTAL_WATER_DEPTH : 0
U_VELOCITY : 1
V_VELOCITY : 1
P_FLUX : 0
Q_FLUX : 0
CURRENT_SPEED : 1
CURRENT_DIRECTION : 1
WIND_U_VELOCITY : 0
WIND_V_VELOCITY : 0
AIR_PRESSURE : 0
PRECIPITATION : 0
EVAPORATION : 0
DRAG_COEFFICIENT : 0
EDDY_VISCOSITY : 0
RADIATION_STRESS_GRADIENT_X : 0 (default)
RADIATION_STRESS_GRADIENT_Y : 0 (default)
CFL_NUMBER : 0
CONVERGENCE_ANGLE : 0
AREA : 0
coordinate_type : LONG/LAT
Section: AREA -----
 number_of_points : 4
Section: POINT_1 -----
 x : 51.467523
 y : 36.641341
Section: POINT_2 -----
 x : 51.467523
 y : 36.703228
Section: POINT_3 -----
 x : 51.561595
 y : 36.703228

Section: POINT_4 -----

x : 51.561595

y : 36.641341

===== Output Statistics =====

----- Data File Summary -----

Creator:

File : E:\Model\1381 condition\output\Access channel.dfs1

Title : Access Channel

Start date Start time Sets Interval Unit

2013-01-01 12:00:00 59 3600 second

Axis Sets Interval Axis origin Unit

1 5 0.000692 0 degree

Static items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Bathymetry	Bathymetry	-9.775846	-5.042502	meter

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Current speed	Current Speed	0	0.249372	m/s
Current direction	Current Direction	0	359.787127	degree

----- Data File Summary -----

Creator:

File : E:\Model\1381 condition\output\port entrance.dfs1

Title : Port Entrance

Start date Start time Sets Interval Unit

2013-01-01 12:00:00 59 3600 second

Axis Sets Interval Axis origin Unit

1 5 0.000606 0 degree

Static items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Bathymetry	Bathymetry	-5.264567	-5	meter

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
-----------	-----------	---------	---------	------

Current speed Current Speed 0 0.498498 m/s
Current direction Current Direction 0 359.978973 degree

----- Data File Summary -----

Creator:

File : E:\Model\1381 condition\output\LAC.dfs1

Title : L.A.C

Start date Start time Sets Interval Unit

2013-01-01 12:00:00 59 3600 second

Axis Sets Interval Axis origin Unit

1 5 0.000699 0 degree

Static items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Bathymetry	Bathymetry	-10.194083	-5.023014	meter

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Current speed	Current Speed	0	0.31521	m/s
Current direction	Current Direction	0	357.477184	degree

----- Data File Summary -----

Creator:

File : E:\Model\1381 condition\output\RAC.dfs1

Title : R.A.C

Start date Start time Sets Interval Unit

2013-01-01 12:00:00 59 3600 second

Axis Sets Interval Axis origin Unit

1 5 0.000702 0 degree

Static items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Bathymetry	Bathymetry	-9.102556	-5.084524	meter

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
-----------	-----------	---------	---------	------

Current speed Current Speed 0 0.291541 m/s
 Current direction Current Direction 0 359.773685 degree

----- Data File Summary -----

Creator:

File : E:\Model\initial shoreline condition\output\flow field.dfsu

Title : Flow Field

Start date Start time Sets Interval Unit

2013-01-01 12:00:00 59 3600 second

Static items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Node id	Grid Codes	1	3331	Integer
X-coord	Latitude/longitude	51.468445	51.560673	degree
Y-coord	Latitude/longitude	36.641948	36.702621	degree
Z-coord	Item geometry 3-dime	-33.935235	-0.000123	meter
Code	Grid Codes	0	5	Integer
Element id	Grid Codes	1	6365	Integer
Element type	Grid Codes	21	21	Integer
No of nodes	Grid Codes	3	3	Integer
Connectivity	Grid Codes	1	3331	Integer

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
U velocity	u-velocity component	-1.280181	0.635725	m/s
V velocity	v-velocity component	-0.834749	0.954042	m/s
Current speed	Current Speed	0	1.282534	m/s
Current direction	Current Direction	0	359.998371	degree

===== Hydrodynamic Simulation Diagnostic =====

Shallow water equations

Number of time steps : 947145

Minimum time step (s) : 0.216082

Maximum time step (s) : 0.221879

Average time step (s) : 0.220451

=====
===== Hydrodynamic Simulation Timings =====

Task	CPU time	Elapsed time
Update forcings	1025.20	286.08
Solve Shallow Water eq.	4739.00	1321.14
Temperatur/Salinity Module	0.00	0.00
Update forcings	0.00	0.00
Solve Advection-Dispersion eq.	0.00	0.00
Other calculation	0.00	0.00
Turbulence Module	0.00	0.00
Update forcings	0.00	0.00
Solve Advection-Dispersion eq.	0.00	0.00
Other calculation	0.00	0.00
Other calculation	3362.59	945.75
Total	9192.52	2568.88

=====
===== Overall Timings =====

Task	CPU time	Elapsed time
Pre-processing	0.77	0.55
Calculation	9192.55	2568.90
Post-processing	19.14	7.99
Total	9212.45	2577.43

=====
===== Memory Usage =====

Peak memory usage (MB) 30.39

=====
===== Performance =====

Number of threads: 4

=====
=====

Normal run completion

مراج

اسمعيل پور مطلق ب، (۱۳۹۷)، پايان نامه ارشد: "بهبود دقت پيش بينی نرخ انتقال رسوب موازی ساحل و ارتباط آن با تغييرات خط ساحلی"، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

اکبری نسب، م، عبداله نژاد، ا. و متاجی، غ. (۱۳۹۴)، "بررسی الگوی جریانات موازی ساحل بر روند رسوبگذاری در کانال دسترسی بندر نوشهر" سومین کنفرانس بین المللی اقیانوس شناسی خلیج فارس، تهران.

انجمن بین المللی زیرساخت های حمل و نقل دریایی (PIANC)، (۲۰۰۸)، "روش های کاهش رسوب گذاری در بنادر (گزارش)"، چاپ اول، انتشارات متن گستر آریا، تهران، ص ۱۹-۳۵.

پویا طرح پارس، مهندسین مشاور، (۱۳۹۳)، پایش و مطالعات شبیه سازی سواحل شمالی کشور، گزارش فاز ۱ و ۲ بندر نوشهر (مناطق خاص)، موجود در اداره کل مهندسی سواحل و بنادر، معاونت توسعه و تجهیز بنادر، سازمان بنادر و دریانوردی.

تهران برکلی، مهندسین مشاور، (۱۳۹۰)، مجموعه مطالعات مرحله اول پروژه احداث ساماندهی حفاظتی شرقی و غربی بندر نوشهر، موجود در اداره کل بنادر و دریانوردی استان مازندران.

راه بانی، مریم، قادری، دانیال، خالقی، مژگان. (۱۳۹۷). "بررسی تاثیر احداث موج شکن بندر جاسک بر الگوی جریان و موج منطقه با استفاده از نرم افزار MIKE21". فصلنامه علمی دریا فنون، ۵(۲)، ۹۵-۱۰۴.

رستمی، س.، (۱۳۹۰)، پایان نامه ارشد: "بررسی روند فرسایش و رسوبگذاری در حوضچه بندر نوشهر"، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان،

رستمی، س.، نظامیوند چگینی، ا.، غبرایی، ع. و لشته‌نشایی، م. و اصفهانی‌زاده سختی لنگرودی، م. (۱۳۹۴)، "بررسی روند رسوبگذاری در حوضچه بندر نوشهر به کمک مدل ریاضی" مجله صنعت حمل و نقل دریایی، سال اول، شماره ۳.

سالاریان، م. و مصطفایی، م. (۱۳۹۴) "ارائه مدل مفهومی عوامل موثر بر رسوبگذاری کانال دسترسی و حوضچه آرامش بندر (با تاکید بر مطالعات بندر نوشهر)" نخستین همایش بین المللی جامع مدیریت ایران، مرکز همایش‌های توسعه ایران، تهران. https://www.civilica.com/Paper-IUMC01-IUMC01_150.html

شالباف تبار ح.، (۱۳۸۶)، پایان نامه ارشد: "مدلسازی عددی انتقال رسوب عمود بر ساحل در اطراف سازه‌های ساحلی"، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر،

طالبی بیدختی ن.، نیک منش م.، (۱۳۸۰)، "توسعه یک مدل رایانه ای برای پیش بینی نرخ انتقال رسوب ساحلی"، روش‌های عددی در مهندسی، سال ۲۰، شماره ۲، ص ۷۷-۹۱

URL: <http://jcme.iut.ac.ir/article-۲۲۸-۱-fa.html>

کمالیان، ر. و صفری، ح. (۱۳۹۱) "تاثیر تغییرات تراز آب دریای خزر بر رسوبگذاری در بندر نوشهر" دهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، تهران.

گزارش مدل‌سازی امواج دریای خزر، منطقه نوشهر، وزارت راه و شهرسازی، سازمان بنادر و دریانوردی،

۱۳۹۲

لشته نشایی، م.؛ افسوس بی‌ریا ح، طاهری ا.ع، (۱۳۹۲)، "بررسی الگوی رسوبگذاری در مجاورت آبشکن‌ها به کمک مدل ریاضی Mike 21 مطالعه موردی دهنه سر سفیدرود"، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان،

https://www.civilica.com/Paper-NCCE07-NCCE07_0313.html

لشته نشانی م.؛ مهرداد م.ع.ح، اقتداری س، (۱۳۹۵)، "بررسی الگوی امواج و جریان‌های دریایی در مجاورت موج شکن‌های جدا از ساحل و آبشکن‌ها"، دومین کنفرانس بین المللی تحقیقات در عمران، معماری و شهرسازی و محیط زیست پایدار، استانبول، موسسه مدیران ایده پرداز پایتخت ویرا،

https://www.civilica.com/Paper-CAUEM02-CAUEM02_017.html

مجابی، م. (۱۳۹۰)، پایان نامه ارشد: "مدلسازی دو بعدی رسوبگذاری و انتقال رسوبات درون بنادر و تعیین پارامترهای هندسی بهینه برای جانمایی بنادر و کانالهای دسترسی در خورها"، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

مصطفایی م، نورمند ب، (۱۳۹۶)، "شناسایی عوامل موثر بر رسوب گذاری کانال دسترسی و حوضچه آرامش بنادر (مطالعه موردی: بندر نوشهر)"، نشریه صنعت حمل و نقل دریایی، شماره ۲، سال ۳، ص ۲۴-۳۰.

واقفی م، مقدسی ن، (۱۳۹۳)، "عملکرد آبشکن‌ها در روند تغییرات خط ساحل"، فصلنامه علوم و فناوری دریا ۶۹ (۶۹)،

https://www.civilica.com/Paper-JR_MSTJ-JR_MSTJ-69-69_001.html

Butman, C.A., Grant, W.D., & Stolzenbach, K.D. (1986). "Predictions of sediment trap biases in turbulent flows: A theoretical analysis based on observations from the literature", *Marine Research Journal*, 44, 601-644, 1986

Eysink, W. D. (1989) "Sedimentation in harbour basins. small density differences may cause serious effects", *International Harbour Congress*, 9th, Antwerp, Belgium.

Eysink, W. D. and Vermaas, H. (1983) "Computational methods to estimate the sedimentation in dredged channels and harbour basins in estuarine environments" In *International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries*, 1st, Colombo, Sri Lanka.

Kamphuis, J.W. (2000) "Advanced series on ocean engineering- Introduction to coastal engineering and management", Vol. 16, *World Scientific*, USA.

Moridnejad, A., Abdollahi, H., Alavipanah, S.K. et al. (2015) "Applying artificial neural networks to estimate suspended sediment concentrations along the southern coast of the Caspian Sea using MODIS images". *Arab J Geosci* 8, 891-901 doi:10.1007/s12517-013-1171-3

Parsapour-moghaddam, P., Colin D. Rennie and Jonathan Slaney. (2018) “Hydrodynamic Simulation of an Irregularly Meandering Gravel-Bed River: Comparison of MIKE 21 FM and Delft3D Flow models”, *E3S Web Conf.*, Vol. 40.

Roelvink, D. and Reniers, A. (2012) “Advances in Coastal and Ocean Engineering- A guide to modeling coastal morphology”, Vol. 12, *World Scientific*, USA.

Symonds, A. M., Vijverberg, T., Post, S., van der Spek, B.-J., Henrotte, J., & Sokolewicz, M. (2017) “Comparison between Mike 21 FM, Delft3D and Delft3D FM flow model of Western port Bay, Australia”, *Coastal Engineering Proceedings*, 1(35), Antalya, Turkey.

Van Leeuwen, Y. B. (2015) MSc. Thesis, “Port and channel sedimentation- A hybrid model for rapid assessments”, Civil Engineering and Geosciences depart., Delft University of Technology.

Van Maren D.C, Winterwerp J.C, Sas M, Vanlede J, (2009), “The effect of dock length on harbour siltation”, *Continental Shelf Research*, 29, pp 1410-1425.

Van Rijn, L.C. (1986) “Sedimentation of dredged channels by currents and waves” *J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 112, 5, pp541–559.

Van Rijn, L.C. (2016) “Harbour siltation and control measures”, www.leovanrijn-sediment.com.

Van Rijn, L.C. (2013) “Basics of channel deposition/siltation”, Aqua Publications, The Netherlands.

Vanlede, J. and Dujardin, A. (2014) “A geometric method to study water and sediment exchange in tidal harbors” *J. of Ocean Dynamics*, 64, 11, pp1631–1641. DOI 10.1007/s10236-014-0767-9.

Wniterwerp J.C, Van Kesteren W.G.M, (2004), “Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment”, 1, *Elsevier*, Amsterdam, pp 155.

Abstract

Sedimentation and dredging have always been one of the major problems in ports and access channels that can affect port efficiency and profitability due to the high cost of the dredging operation. Therefore, considering the sedimentation rate as a determinant factor is essential and inevitable in all design stages. Accordingly, to achieve an optimal design that has the lowest sedimentation rate in the long-term, special attention must be paid to this phenomenon in the early stages of design. On the other hand, since there are many primary designs in the early stages of the design process, a fast and reliable method has to be used to calculate the sedimentation rate over the long periods. For this purpose, Van Leeuwen (2015) developed a "hybrid model" for rapid assessment of port and access channel sedimentation in long-term periods and by successful applying of the model to the Ijmuiden Port, he calculated the sedimentation rate at the port and the access channel with excellent compliance. Thus in this study, it has been tried to improve the performance of the "hybrid model" by developing a relationship between shoreline changes and sediment concentration and applying the appropriate assumptions to the Nowshahr port area. The results of applying the "improved hybrid model" to the Nowshahr port area for 20 years show that the accuracy of the "improved hybrid model" in estimating the sedimentation rate changes has dramatically increased by making a relationship between the sediment concentration and shoreline changes. Also, by using the simplifying assumptions and the appropriate relations to the conditions of the study area, the precision of the model in estimation of the sedimentation rate in the port and its access channel has been enhanced.

Keywords: Sediment, Ports and harbor, Basin, Access Channel, Shoreline, Hybrid model, Nowshahr



Shahrood University of
Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Coasts, Ports and Marine Structures

Rapid assessment of sedimentation in harbor basin and access channel by an improved Hybrid Model

By: Hiwa Karami

Supervisor:
Dr. Mahdi Adjami

Jan 2020