

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی

شناخت راهکارهای ایجاد کنارگذر طبیعی رسوب از بنادر و پیشنهاد گزینه ممکن و مناسب برای بندر نوشهر

نگارنده:

علی قمی

استاد راهنما

دکتر مهدی عجمی

شهریور ماه ۱۳۹۸

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان پر عشق مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بگو شدم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانی‌تان را پاس نتوان گفتم.

امروز، مستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشت رضای شما

آوردی کران سنگ ترا از این ارزان نداشتیم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم کوزه غبار حسنگی‌تان

را بروداید.

بوسه بر دستان پر مهرتان

شکر و قدردانی

خداوند سبحان را سپاس گزارم که به بنده حقیر توفیق انجام و اتمام پژوهش حاضر را عنایت فرمود. از زحمات استاد راهنمای بنده، جناب آقای دکتر مهدی عجمی، که راهنمایی‌ها و مساعدت‌های فکری ایشان راهگشای بسیاری از مشکلات موجود در پایان نامه بود، سپاس و قدردانی فراوان داشته و از ایزد منان برای ایشان توفیق و سلامتی می‌طلبم.

همچنین از مساعدت و راهنمایی‌های بی‌دریغ اساتید و دوستان گرامی، جناب آقای مهندس امیر جباری، کارشناس ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی و جناب آقای دکتر میثم بالی، دکتری مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی به جهت راهنمایی‌های بسیار سودمند و در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز و کمک در تکمیل فرآیند مدلسازی و تکمیل فرآیند تحقیق، کمال سپاسگزاری را دارم.

تعمیرنامه

اینجانب علی قمی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران-سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه شناخت راهکارهای ایجاد کنارگذر طبیعی رسوب از بنادر و پیشنهاد گزینه ممکن و مناسب برای بندر نوشهر 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 بوده اند 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 ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

برای بهره‌برداری مطلوب از بنادر، شناخت پدیده‌های هیدرودینامیکی و تأثیرات آن‌ها بر فرآیندهای دریایی و ساحلی از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از مهمترین پدیده‌های دریایی، رسوب‌گذاری و فرسایش در بنادر و اطراف آن است. ساخت بنادر در سواحل باعث قطع جریان رانه ساحلی شده و با گذشت زمان و پیشروی ساحل بالادست، آغاز کنارگذر رسوب از مقابل بندر، باعث ایجاد مشکل رسوب‌گذاری در بندر می‌شود. عدم سازگاری هندسه موجشکن بنادر، یکی از دلایل این مشکل است. هرساله لایروبی رسوبات انباشته شده بنادر، هزینه‌های بالایی را به بنادر وارد می‌کند.

در این پژوهش ابتدا به بررسی روش‌های ایجاد سازگاری بنادر با کنارگذر طبیعی رسوب و اصلاح هندسی موجشکن بنادر با هدف کاهش رسوب‌گذاری پرداخته شده است. سپس به منظور بررسی وضعیت هیدرودینامیکی و مشکلات رسوبی بندر نوشهر، یکی از بنادر مهم شمالی کشور که با مشکل رسوب‌گذاری در کانال دسترسی و دهانه بندر مواجه است، مدل‌سازی عددی دوبعدی در نرم‌افزار Mike21 صورت گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده از مطالعات و مدل‌سازی های پیشین صورت گرفته در بندر نوشهر و مدل‌سازی صورت گرفته در این پژوهش، با شناخت عوامل موثر در رسوب‌گذاری این بندر، ۴ سناریو با هدف کاهش این مشکلات، بررسی و مقایسه شد. در انتها سناریو شماره ۴ با کاهش حدود ۹۰ درصدی حجم لایروبی نسبت به وضعیت لایروبی سال‌های اخیر بندر نوشهر، به عنوان طرح بهینه انتخاب شد.

کلمات کلیدی: رسوب‌گذاری، کنارگذر رسوب، مدل‌سازی عددی، هندسه بندر، بندر نوشهر

فهرست مطالب

ک	فهرست جداول
ل	فهرست اشکال
۱	فصل ۱: کلیات و تعاریف
۲	۱-۱ مقدمه.....
۳	۱-۲ تعاریف.....
۳	۱-۲-۱ هیدرودینامیک سواحل.....
۴	۱-۲-۲ جریانهای ناحیه ساحل.....
۵	۳-۲-۱ انتقال رسوب.....
۵	۴-۲-۱ رسوبگذاری و فرسایش.....
۶	۳-۱ سوالات پژوهش.....
۷	۴-۱ اهداف پژوهش و روش تحقیق.....
۷	۵-۱ ساختار پایان نامه.....
۹	فصل ۲: مروری بر مفاهیم اصلی و مطالعات پیشین
۱۰	۱-۲ هیدرودینامیک ناشی از امواج.....
۱۰	۱-۱-۲ تنش تشعشی.....
۱۱	۲-۱-۲ خیزآب و فروآب.....
۱۲	۳-۱-۲ جریان موازی ساحل.....
۱۳	۲-۲ انتقال رسوب.....
۱۳	۱-۲-۲ مشخصات رسوب.....

۱۳	..... اندازه دانهها ۲-۲-۲
۱۴	..... سرعت سقوط ذرات رسوب ۳-۲-۲
۱۴	..... تنش برشی بستر ۴-۲-۲
۱۵	..... آغاز حرکت رسوبات ۵-۲-۲
۱۶	..... عمق فعال رسوبی ۶-۲-۲
۱۶	..... طرح هندسی موجشکن بنادر در سواحل ماسه ای ۷-۲-۲
۲۰	..... مطالعات انجام شده ۳-۲
۲۷	..... نتیجه گیری ۱-۳-۲

فصل ۳: معرفی منطقه مورد مطالعه

۲۹	
۳۰	..... معرفی بندر نوشهر ۱-۳
۳۲	..... مطالعات انجام شده برای بندر نوشهر ۳-۲
۳۳	..... وضعیت فعلی بندر به جهت نفوذ موج و رسوب ۳-۳
۳۴	..... بررسی عکسهای هوایی و تغییرات خطوط ساحلی اطراف بندر ۴-۳
۳۵	..... اطلاعات مربوط به رودخانههای اطراف بندر ۵-۳
۳۸	..... وضعیت و مشخصات رسوب در منطقه نوشهر ۶-۳
۴۲	..... مورفولوژی سواحل اطراف بندر نوشهر ۷-۳
۴۴	..... بررسی تاثیر اطاله موجشکن ۸-۳
۴۵	..... جمع بندی ۹-۳

فصل ۴: مدل سازی و تفسیر نتایج

۴۷	
۴۸	..... پیشگفتار ۱-۴
۴۸	..... معرفی نرم افزار Mike21 ۲-۴
۵۰	..... انتخاب ماژول ۳-۴

۵۱	.....۴-۴ ماژول SW
۵۱	.....۴-۴-۱ معادلات حاکم بر ماژول SW
۵۲	.....۴-۴-۲ داده های ورودی و شرایط مرزی در ماژول SW
۵۴	.....۴-۴-۳ اطلاعات موج و باد ورودی مدل
۵۶	.....۴-۵-۵ ماژول هیدرودینامیک HD
۵۶	.....۴-۵-۱ معادلات حاکم بر ماژول هیدرودینامیک HD
۵۶	.....۴-۵-۲ داده های ورودی و شرایط مرزی ماژول HD
۵۸	.....۴-۶-۶ ماژول انتقال ماسه ST
۵۸	.....۴-۶-۱ معادلات حاکم بر ماژول انتقال ماسه ST
۵۹	.....۴-۶-۲ داده های ورودی و شرایط مرزی ماژول ST
۶۰	.....۴-۷ حساسیت سنجی و کالیبراسیون مدل
۶۴	.....۴-۸-۱ تحلیل و بررسی نتایج مدلسازی
۶۴	.....۴-۸-۱-۱ نتایج مدلسازی موج و جریان
۶۶	.....۴-۸-۲ بررسی مکانیزمهای رسوبگذاری
۷۰	.....۴-۸-۳ جمع بندی
۷۰	.....۴-۹-۹ تحلیل و بررسی نتایج مدلسازی سناریوها
۷۲	.....۴-۹-۱ سناریو شماره ۱
۷۵	.....۴-۹-۲ سناریو شماره ۲
۷۷	.....۴-۹-۳ سناریو شماره ۳
۷۹	.....۴-۹-۴ سناریو شماره ۴
۸۲	.....۴-۱۰ مقایسه نتایج

فصل ۵: نتیجه گیری

۸۷

۸۸ ۱-۵ پیشگفتار

۸۸ ۲-۵ نتیجه گیری

۹۰ ۳-۵ پیشنهادات

منابع و مراجع

فهرست جداول

جدول ۳-۱. مشخصات رسوبی ایستگاه ۴۹	۴۰
جدول ۳-۲. مشخصات رسوبی ایستگاه ۵۰	۴۱
جدول ۳-۳. مشخصات رسوبی ایستگاه ۵۱	۴۱
جدول ۳-۴. مشخصات رسوبی ایستگاه ۵۲	۴۱
جدول ۳-۵. مشخصات رسوبی ایستگاه ۵۳	۴۱
جدول ۴-۱. معرفی مرزهای ماژول SW	۵۴
جدول ۴-۲. دبی رودخانه های اطراف بندر نوشهر	۵۷
جدول ۴-۳. معرفی مرزهای ماژول HD	۵۷
جدول ۴-۴. معرفی مرزهای ماژول ST	۵۹
جدول ۴-۵. تحلیل حساسیت پارامترهای مختلف	۶۰
جدول ۴-۶. تحلیل حساسیت مش	۶۱
جدول ۴-۷. مشخصات ایستگاه های اندازه گیری موج و جریان	۶۲
جدول ۴-۸. نتایج مقایسه آماری داده های اندازه گیری شده و پیش بینی شدهی مدل موج	۶۴
جدول ۴-۹. مشخصات طرح هندسی موجشکن های ارائه شده در سناریوها	۷۱
جدول ۴-۱۰. جدول امتیازات هر سناریو برای معیار های مورد نظر	۸۶

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱. قسمت های ناحیه ساحلی ۳
- شکل ۲-۱. جریان زیرکش ۴
- شکل ۳-۱. رسوبگذاری در بالادست و فرسایش در پایین دست سازه ۶
- شکل ۱-۲. انتقال جرم در ستون آب و در جهت انتشار امواج ۱۰
- شکل ۲-۲. خیزآب و فروآب در ناحیه شکست موج ۱۱
- شکل ۳-۲. نیرویهای وارد بر ستون آب که موجب جریان موازی ساحل است ۱۲
- شکل ۴-۲. نمودار دانه بندی ۱۳
- شکل ۵-۲. تنش وارد بر جزء سیال در جریان یکنواخت ۱۴
- شکل ۶-۲. نمودار شیلدز ۱۵
- شکل ۷-۲. سه طرح هندسی بنادر ۱۶
- شکل ۸-۲. انباشت رسوبات در جلوی بندر ۱۷
- شکل ۹-۲. فرآیند تشکیل جریان گردابه‌های ۱۸
- شکل ۱۰-۲. طرح بنادر با دو موجشکن متقارن و کنارگذر طبیعی ۱۹
- شکل ۱۱-۲. قطع جریان گردابه‌های و هدایت جریان موازی ساحل به پاییندست ۲۰
- شکل ۱۲-۲. طرح پیشنهادی جدید برای بندر Hwide sande ۲۲
- شکل ۱۳-۲. طرح اولیه (A) و طرح پیشنهادی جدید (B) برای بندر Hanstholm ۲۳
- شکل ۱۴-۲. طرح‌های بررسی شده برای بندر ماهیگیری ۲۴
- شکل ۱۵-۲. وضعیت فعلی (A) و طرح جدید موجشکن بررسی شده (B) ۲۵
- شکل ۱۶-۲. وضعیت فعلی و سناریوهای تعریف شده برای حل مشکل رسوبگذاری ۲۷
- شکل ۱-۳. موقعیت بندر نوشهر ۳۰
- شکل ۲-۳. عکس هوایی از بندر نوشهر پیش از اطاله موجشکن ۳۱
- شکل ۳-۳. تغییرات صورت گرفته در بندر نوشهر ۳۱
- شکل ۴-۳. انباشت رسوبات در ساحل بالادست ۳۴
- شکل ۵-۳. تغییرات خط ساحل در بالادست بندر نوشهر ۳۵
- شکل ۶-۳. موقعیت رودخانه‌های اطراف بندر نوشهر ۳۶
- شکل ۷-۳. آمار ناخالص لایروبی بندر نوشهر در سال‌های مختلف (مخلوط آب و رسوب) ۳۷
- شکل ۸-۳. آمار رسوب‌دهی رودخانه‌های چالوس و کورکورسر و مقایسه آن با لایروبی بندر نوشهر .. ۳۸
- شکل ۹-۳. ایستگاه‌های برداشت رسوبی در سمت غربی بندر نوشهر ۳۹
- شکل ۱۰-۳. ایستگاه‌های برداشت رسوبی در سمت شرقی بندر نوشهر ۳۹

- شکل ۳-۱۱. نمونه برداری ایستگاههای رسوبی در اطراف بندر نوشهر ۴۲
- شکل ۳-۱۲. تغییرات تراز ۶۰ سال دریای خزر بر اساس تراز آبهای آزاد (اداره کل سواحل و بنادر استان گیلان) ۴۳
- شکل ۳-۱۳. تشکیل زبانه رسوبی پس از ساخت اطاله موجشکن ۴۵
- شکل ۴-۱. الگوریتم ماژول های مورد استفاده در این مدلسازی ۵۱
- شکل ۴-۲. شبکه مش محاسباتی ۵۳
- شکل ۴-۳. داده های هیدروگرافی ۵۳
- شکل ۴-۴. هیدروگرافی نهایی برای مدلسازی ۵۳
- شکل ۴-۵. مرزهای مدل ۵۴
- شکل ۴-۶. گل موج سری زمانی سال ۲۰۱۳ در مرز شمالی ۵۵
- شکل ۴-۷. گل باد سال ۲۰۱۳ برای منطقه نوشهر ۵۵
- شکل ۴-۸. مرزهای مدل ۵۷
- شکل ۴-۹. تغییرات تراز سطح آب سال ۲۰۱۳ ۵۸
- شکل ۴-۱۰. مرزهای مدل ۵۹
- شکل ۴-۱۱. بخش بندی ابعاد مش ۶۱
- شکل ۴-۱۲. مقایسه نتایج اندازه گیری موج و پیش بینی شده در ایستگاه ۵ متری نوشهر در ماه جولای ۶۲
- شکل ۴-۱۳. مقایسه نتایج اندازه گیری موج و پیش بینی شده در ایستگاه ۵ متری نوشهر در ماه می ۶۲
- شکل ۴-۱۴. مقایسه نتایج اندازه گیری جریان و پیش بینی شده در ایستگاه ۵ متری نوشهر در ماه جولای ۶۳
- شکل ۴-۱۵. گل جریان برای ۶ ماه نخست سال ۲۰۱۳ در نقطه t1 ۶۴
- شکل ۴-۱۶. موقعیت نقطه t1 در مقابل بندر بهم منظور بررسی جریان ۶۵
- شکل ۴-۱۷. الگوی جریان در اطراف بندر از سمت شرق به غرب ۶۵
- شکل ۴-۱۸. جهت امواج در اطراف بندر در زمان وقوع جریان شرق به غرب ۶۶
- شکل ۴-۱۹. الگوی جریان در زمان طوفان در مقابل دهانه بندر ۶۶
- شکل ۴-۲۰. رسوبات وارد شده از دو رودخانه چالوس و ماشلک ۶۷
- شکل ۴-۲۱. انتقال رسوبات همراه جریان غرب به شرق ۶۸
- شکل ۴-۲۲. انتقال رسوبات رودخانه ماشلک همراه جریان شرق به غرب ۶۸
- شکل ۴-۲۳. نمایی از وضعیت رسوبگذاری بندر نوشهر برای یکسال ۶۹
- شکل ۴-۲۴. نمایی از سناریو شماره ۱ ۷۳
- شکل ۴-۲۵. الگوی جریان غرب به شرق در سناریو شماره ۱ ۷۳
- شکل ۴-۲۶. الگوی جریان شرق به غرب در سناریو شماره ۱ ۷۳
- شکل ۴-۲۷. نمایی از وضعیت رسوبگذاری سناریو شماره ۱ ۷۴

- شکل ۴-۲۸.نمایی از سناریو شماره ۲..... ۷۵
- شکل ۴-۲۹.الگوی جریان غرب به شرق در سناریو شماره ۲..... ۷۶
- شکل ۴-۳۰.الگوی جریان شرق به غرب در سناریو شماره ۲..... ۷۶
- شکل ۴-۳۱.نمایی از وضعیت رسوبگذاری سناریو شماره ۲..... ۷۷
- شکل ۴-۳۲.نمایی از سناریو شماره ۳..... ۷۸
- شکل ۴-۳۳.الگوی جریان غرب به شرق در سناریو شماره ۳..... ۷۸
- شکل ۴-۳۴.الگوی جریان شرق به غرب در سناریو شماره ۳..... ۷۸
- شکل ۴-۳۵.نمایی از وضعیت رسوبگذاری سناریو شماره ۳..... ۷۹
- شکل ۴-۳۶.نمایی از سناریو شماره ۴..... ۸۰
- شکل ۴-۳۷.الگوی جریان غرب به شرق در سناریو شماره ۴..... ۸۰
- شکل ۴-۳۸.الگوی جریان شرق به غرب در سناریو شماره ۴..... ۸۱
- شکل ۴-۳۹.نمایی از وضعیت رسوبگذاری سناریو شماره ۴..... ۸۱
- شکل ۴-۴۰.نمایی از محل پروفیل نتایج تغییرات بستر..... ۸۳
- شکل ۴-۴۱.نمودار تغییرات بستر در سال ۲۰۱۳ برای وضعیت فعلی بندر نوشهر..... ۸۳
- شکل ۴-۴۲.نمودار تغییرات بستر در سال ۲۰۱۳ برای سناریو شماره ۱..... ۸۴
- شکل ۴-۴۳.نمودار تغییرات بستر در سال ۲۰۱۳ برای سناریو شماره ۲..... ۸۴
- شکل ۴-۴۴.نمودار تغییرات بستر در سال ۲۰۱۳ برای سناریو شماره ۳..... ۸۴
- شکل ۴-۴۵.نمودار تغییرات بستر در سال ۲۰۱۳ برای سناریو شماره ۴..... ۸۵

فصل ۱: کلیات و تعاریف

۱-۱ مقدمه

امروزه حدود ۹۰ درصد مبادلات تجارت جهانی از طریق دریاها و کشتیرانی انجام میگردد و نقش و اهمیت بنادر به عنوان حمل و نقل دریایی در پاسخگویی به این حجم عظیم، اعم از کالا و مسافر بیش از پیش نمایان می‌شود. در کشورهای همجوار با دریا، سواحل به عنوان کانون فعالیت‌های اقتصادی اعم از تجارت، صنعت، حمل و نقل کالا و مسافر، تفریحی، گردشگری و شیلات و پرورش آبزیان محسوب می‌گردد و در همه حال فرصت‌های ایده آلی را برای توسعه اقتصادی و سرمایه گذاری فراهم می‌سازد. کشور ایران با بیش از ۵۸۰۰ کیلومتر خط ساحلی، نقش پر رنگی را در میان جوامع دریایی در جهان و بالاخص خاورمیانه ایفا می‌نماید. با توجه به سواحل زیاد کشور در جنوب و شمال، بهره برداری و ساخت بنادر تجاری، اقتصادی، صیادی، و تفریحی می‌تواند منافع شایان توجه برای کشور داشته باشد و برای بهره‌برداری بهینه از این بنادر، شناخت پدیده‌های هیدرودینامیکی و تاثیرات آنها بر فرآیندهای دریایی و ساحلی (تغییرات الگوی رسوبی، فرسایش نواحی ساحلی و ...) حائز اهمیت می‌باشد.

تحقیقات بسیاری در خصوص مهندسی سواحل در کشورهای مختلف صورت گرفته است، این تحقیقات نشان می‌دهد که فرآیند های طبیعی بسیار پیچیده و غیر قابل پیش بینی در سواحل وجود دارد. دخالت های انسانی منجر به تاثیرات مخرب بر پدیده‌های ساحلی شده است، بطوری که فرآیند- های طبیعی این نواحی را دچار تغییرات گسترده ای نموده است. یکی از مهمترین پدیده‌های دریایی، فرآیند فرسایش و رسوب گذاری نواحی ساحلی می‌باشد. مسئله رسوب گذاری در داخل حوضچه بنادر، و رسوب گذاری و فرسایش پذیری سواحل اطراف سازه‌های دریایی، از اهمیت بالایی برخوردار است، تا جایی که می‌تواند فعالیت بنادر را مختل کند. شناخت مسئله حمل رسوب دریایی، قبل از ساخت بنادر و تعیین چگونگی حرکت رسوب و رسوب گذاری، بعد از احداث سازه های دریایی، باید در همان فاز اول پروژه بررسی گردد، زیرا که با توجه به موقعیت ساحل و جهت حرکت و میزان انتقال رسوب ، و همچنین پتانسیل ساحل از لحاظ رسوب گذاری و یا فرسایش پذیری، میتوان میزان بازدهی و عمر

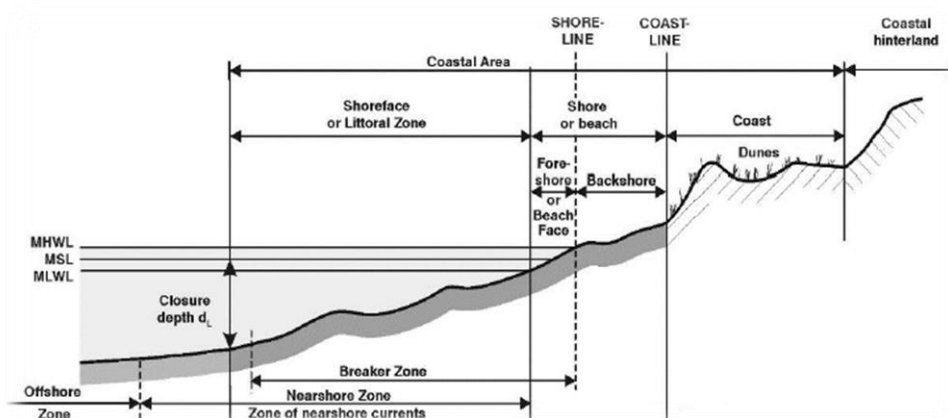
پروژه را تعیین نمود. مسئله دیگری که باید مدنظر قرارگیرد، هزینه سالیانه بالای لایروبی بنادر است و این امر می‌تواند از لحاظ اقتصادی ساخت بنادر را غیر اقتصادی کند. هزینه های بالای لایروبی و فرسایش در پایین دست بنادر، سبب شده مطالعات زیادی جهت بررسی فرآیندهایی که در مشکلات مطرح شده نقش دارند، انجام شود و روش‌ها و مدل‌های گوناگونی برای کمی کردن نرخ رسوبگذاری و ارائه راه‌حل‌هایی جهت کاهش آن پیشنهاد شود.

۲-۱ تعاریف

۱-۲-۱ هیدرودینامیک سواحل

فرآیندهای فعال ناحیه نزدیک ساحل^۱ توسط عوامل و نیروهای مختلفی ایجاد می‌شوند. تحت تاثیر این نیروهای خارجی حرکت سیال آب به صورت جریان های ساحلی، جزر و مد و جریان‌های جزر و مدی، طوفان و... ظاهر می‌شوند (Horikawa, 1988).

ناحیه نزدیک ساحل را می‌توان از ناحیه خشکی تا محل شکست امواج در سمت دریا، تعریف نمود (Horikawa, 1988). طبقه بندی نواحی ساحلی مطابق شکل (۱-۱) نشان داده شده است.



شکل ۱-۱. قسمت های ناحیه ساحلی (Mangor, 2004)

^۱ Nearshore zone

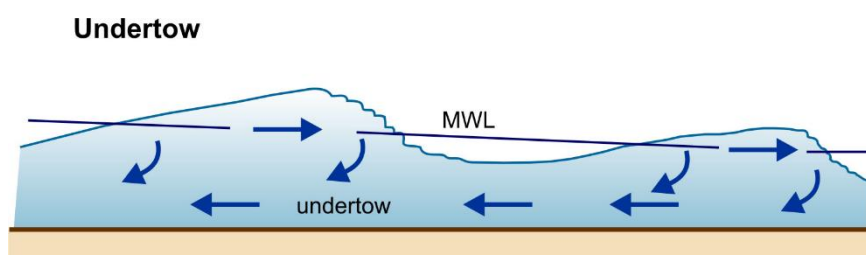
۱-۲-۲ جریان‌های ناحیه ساحل

مهم‌ترین جریان‌های ناحیه ساحلی در ناحیه شکست، به دلیل شکست امواج رخ می‌دهد (Mangor, 2004). این جریان‌ها عبارتند از:

الف) جریان موازی ساحل^۱: عامل اصلی شکل‌گیری این جریان تنش‌های ناشی از شکست امواج مورب است که تنش تشعشی^۲ نام دارد (Mangor, 2004). به طور کلی این جریان‌ها سرعتی در حدود ۰/۳ متر بر ثانیه یا کمتر دارند؛ همچنین تغییرات سرعت جریان در این‌گونه جریان‌ها ناچیز است (چگینی ۱۳۹۰). سرعت این جریان در طول طوفان می‌تواند به بیش از ۲/۵ متر بر ثانیه نیز برسد. جریان موازی ساحل عامل اصلی حمل رسوبات در امتداد ساحل است که به آن رانه ساحلی^۳ می‌گویند (Mangor, 2004).

ب) جریان عمود بر ساحل: مؤلفه سرعت جریان عمود بر ساحل که حاصل از شکست امواج است، دلیل اصلی شکل‌گیری جریان‌های عمود بر ساحل است. برخلاف جریان موازی ساحل، تغییرات سرعت برای این جریان قابل‌توجه نیست (چگینی، ۱۳۹۰). این جریان‌ها شامل:

✓ جریان زیرکش^۴: جریان دائمی ناشی از امواج پیش‌رونده به سمت ساحل که، جبران جریان جرمی متوسط و حفظ تعادل جرم جریان رو به ساحل، باعث ایجاد آن می‌شود (Svendson, 1984). این جریان در نزدیکی بستر و با جهت رو به دریا است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲. جریان زیرکش (Honson, 2013)

^۱ Longshore current

^۲ Radiation stress

^۳ Litttoral drift

^۴ Undertow

✓ جریان بازگشتی^۱: جریان‌هایی با عرض کم و رو به دریا هستند که در ناحیه شکست شکل می‌گیرند. این جریان در واقع حرکت برگشتی آب اضافی است که از شکست امواج به کنار ساحل وارد می‌شود و به آب عمیق برمی‌گردد (Mangor, 2004).

۱-۲-۳ انتقال رسوب^۲

رسوب در بستر دریا زمانی که در معرض نیروهای به اندازه کافی بزرگ یا تنش‌های برشی قرار گیرد، به وسیله جریان‌ها یا مدار سرعت موج^۳ یا هردو، حمل می‌شود. عوامل مختلفی مانند: شرایط امواج ورودی به منطقه، تغییرات تراز آب، جزر و مد^۴، امواج طوفانی^۵، خیزآب موج^۶، هیدروگرافی منطقه، نوع رسوبات، دانه‌بندی رسوبات و میزان دبی رسوبی از منابع رسوبی مانند: رودخانه‌ها و سواحل، در میزان انتقال رسوب تاثیر گذارند (Mangor, 2004).

۱-۲-۴ رسوب‌گذاری^۷ و فرسایش

خط ساحل یک تعادل پویا بین خشکی و دریا است که بطور پیوسته تحت تاثیر نیروهای پویا مانند: باد، امواج و جزرومد، قرار دارد. این نیروها با رسوب‌گذاری و فرسایش، باعث تغییر شکل خط ساحل می‌شوند. این تعادل پویا می‌تواند با دخالت انسان دچار تغییرات شود که از جمله آن می‌توان به تاثیرات ساخت سازه‌های دریایی مانند: موجشکن^۸، آبشکن^۹، حتی^{۱۰} و سازه‌های عمود بر ساحل که باعث قطع یا کند شدن جریان رسوبی موازی ساحل می‌شوند، اشاره کرد (Berman, 2011). قطع جریان توسط این سازه‌ها باعث رسوبگذاری و پیشروی ساحل در بالادست و فرسایش در پایین دست بندر می‌شود (شکل ۱-۳). هر دو اثر ناخوشایند است زیرا با قطع جریان رسوبی، فرسایش در پایین

^۱ Rip current

^۲ Sediment transport

^۳ Wave orbital velocity

^۴ Tide

^۵ Storm surge

^۶ Wave setup

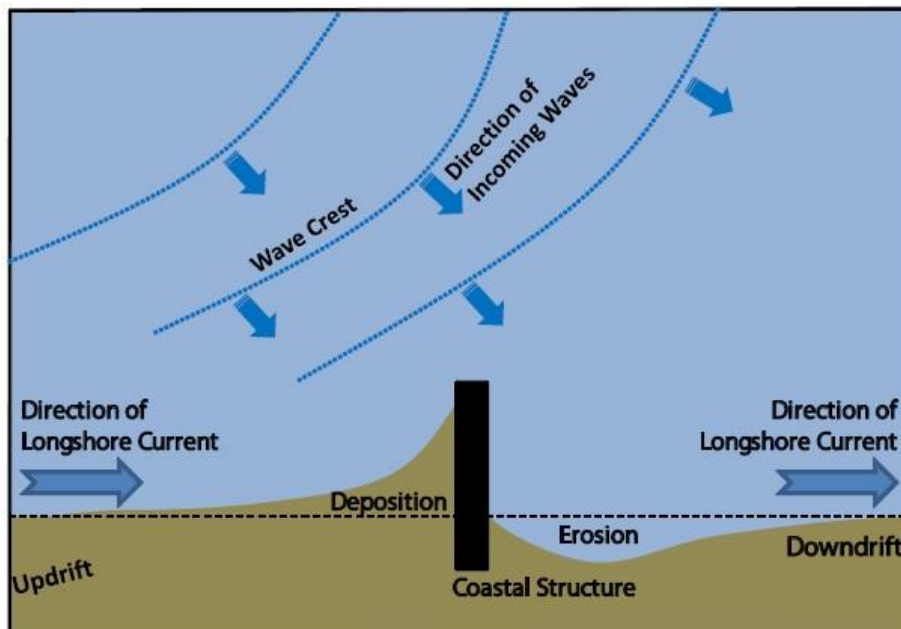
^۷ Sedimentation

^۸ Breakwater

^۹ Groin

^{۱۰} Jetty

دست بنادر موجب بروز مشکل و زیر آب رفتن زمین‌ها در این ناحیه می‌شود و در بالادست با پیش روی ساحل ناشی از رسوبگذاری، رسوبات به سمت دهانه بندر حرکت می‌کنند (PIANC, 1981).



شکل ۳-۱. رسوبگذاری در بالادست و فرسایش در پایین دست سازه (Berman, 2011)

۳-۱ سوالات پژوهش

سوال این است که چگونه می‌توان با پدیده رسوب‌گذاری در محدوده بندر مقابله نمود و موقعیت و جانمایی بندر به چه صورت باشد تا حداقل رسوب‌گذاری در آن‌ها رخ دهد. سوالات مهم مطرح شده در این تحقیق:

۱. راه‌کارهای کنارگذری رسوب از دهانه بندر چیست؟
۲. دلایل اصلی رسوب‌گذاری بندر نوشهر چیست؟
۳. تاثیر رودخانه‌های اطراف بندر نوشهر بر رسوب‌گذاری چیست؟
۴. تغییرات تراز سطح آب دریای خزر چه تاثیری بر رسوب‌گذاری بندر نوشهر داشته است؟
۵. راه‌کارهای بهینه برای کاهش مشکل رسوب‌گذاری در بندر نوشهر چیست؟

۱-۴ اهداف پژوهش و روش تحقیق

عدم سازگاری و تطابق بین مورفولوژی و الزامات ناوبری، مشکل اساسی در بندر نوشهر است. به همین دلیل این پایان نامه با هدف پیدا کردن شرایطی که کنارگذری طبیعی رسوب در کنار عملکرد ناوبری بندر بهینه شود، انجام گرفت. این شرایط زمانی رخ می دهد که عملیات کشتیرانی به صورت پیوسته انجام گیرد و تاثیر موجشکن بندر بر فرآیندهای مورفولوژیکی به حداقل برسد.

در این تحقیق ابتدا به عوامل موثر بر رسوب گذاری در بنادر و اصول طراحی هندسی بندر که باعث کنار گذر طبیعی رسوب در بندر می شوند پرداخته می شود. پس از آن بر اساس اصول علمی، اجرایی و اقتصادی سناریوها و طرح هایی برای کاهش رسوب گذاری پیشنهاد می شود که توسط مدل سازی عددی که به نسبت مدلسازی آزمایشگاهی دشواری و هزینه کمتری دارد مورد بررسی قرار می گیرد. بررسی های مختلف بر روی نرم افزارهای موجود در بازار صورت گرفت که در نهایت نرم افزار Mike21 برای مدلسازی انتخاب شد. که نرم افزاری قدرتمند در زمینه مدلسازی دوبعدی پدیده های مربوط به خورها، دریاچه ها، نواحی کم عمق ساحلی و دریاها می باشد.

۱-۵ ساختار پایان نامه

در فصل دوم، ابتدا به شناخت فرآیندهای دریایی، معادلات و تئوری های حاکم بر آنها پرداخته می شود. سپس انواع هندسه موجشکن بنادر به همراه مزایا و معایب آنها، بیان می شود. در ادامه روش های ایجاد کنارگذر طبیعی رسوب بیان شده است.

در فصل سوم، ابتدا منطقه مورد مطالعه و اهمیت آن پرداخته شده. سپس مطالعات انجام شده در این منطقه به طور خلاصه بیان می شود. و در نهایت مشکلات منطقه و دلایل مؤثر بر این مشکلات بیان می شود.

در فصل چهارم، ابتدا به معرفی نرم افزار مدل سازی عددی Mike21 پرداخته شده و در ادامه مازول- های مورد استفاده از این نرم افزار و روابط تئوری آنها، سپس اطلاعات مورد استفاده در مدل سازی معرفی شده. در ادامه صحت سنجی مدل انجام گرفته است و پس از احراز صحت مدل به معرفی سناریو هایی که قرار است مورد آنالیز قرار گیرند، پرداخته شده است. در نهایت خروجی های نرم افزار، تحلیل و تفسیر نتایج ارائه خواهد شد.

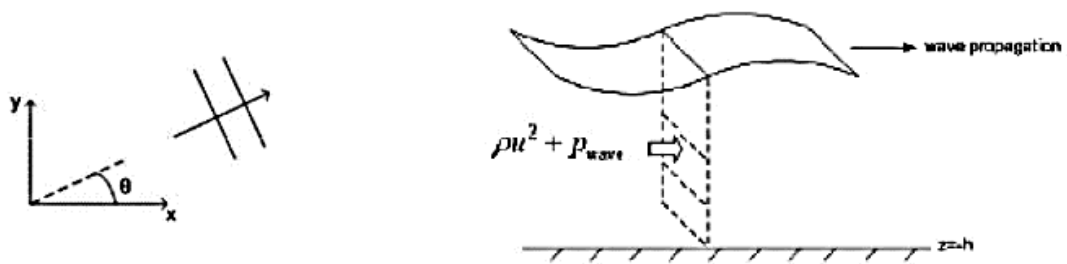
در فصل پایانی، به جمع بندی نتایج بدست آمده در فصل سوم و چهارم پرداخته شده و پیشنهادات لازم برای پژوهش های آتی ارائه شده است.

فصل ۲: مروری بر معانییم اصلی و مطالعات پیشین

۱-۲ هیدرودینامیک ناشی از امواج

۱-۱-۲ تنش تشعشعی

یک انتقال جرم میانگین از ذرات آب در جهت انتشار موج وجود دارد که در تئوری های موج خطی تعریف نشده است. این انتقال جرم آب باعث شار حرکت در ستون آب است، که به آن تنش تشعشعی می گویند (شکل ۱-۲) (Dean & Dalrymple, 2004).



شکل ۱-۲. انتقال جرم در ستون آب و در جهت انتشار امواج (Bosboom & Stive, 2012)

امواجی که به صورت مورب به ساحل می رسند سه نوع تنش تشعشعی ایجاد می کنند:

S_{xx} : تنش نرمال در جهت x

S_{yy} : تنش نرمال در جهت y

S_{xy} : تنش ناشی از انتقال جرم x در جهت y یا بالعکس، بدلیل مورب بودن امواج نسبت

به محور مختصات

$$S_{xx} = \int_{-h_0}^n (\rho u_x) u_x dz + \int_{-h_0}^n p_{wave} dz \quad (12-2)$$

$$S_{yy} = \int_{-h_0}^n (\rho u_y) u_y dz + \int_{-h_0}^n p_{wave} dz \quad (13-2)$$

$$S_{xy} = \int_{-h_0}^n (\rho u_x) u_y dz \quad (14-2)$$

هنگامی که موج شکسته می شود، باعث تغییر در شار حرکت ناشی از موج و گرادیان های تنش تشعشعی می شود، این تغییرات تاثیر قابل توجهی در هیدرودینامیک نزدیک ساحل دارد. تغییر تنش

تشعشی باعث ایجاد فروآب و خیزآب در ناحیه شکست می‌شود که این دو عامل شکل‌گیری جریان در امتداد ساحل، ناشی از امواج مورب هستند (Bosboom & Stive, 2012). با استفاده از تئوری موج خطی، تنش تشعشی را می‌توان به صورت روابط زیر تعمیم داد:

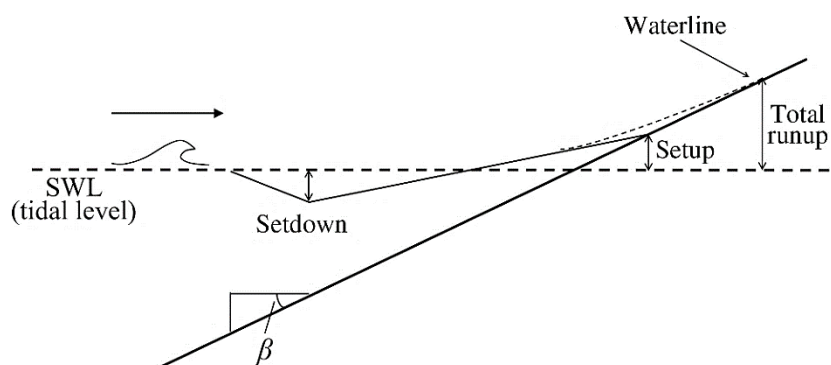
$$S_{xx} = E \left[n(\cos 2\theta + 1) - \frac{1}{2} \right] \quad (15-2)$$

$$S_{yy} = E \left[n(\sin 2\theta + 1) - \frac{1}{2} \right] \quad (16-2)$$

$$S_{xy} = E \left[nC \cos \theta \left(\frac{\sin \theta}{c} \right) \right] \quad (17-2)$$

۲-۱-۲ خیزآب^۱ و فروآب^۲

بدلیل شیب‌های راستای عمود بر ساحل در تنش تشعشی، که توسط خزش^۳ ایجاد می‌شود، تراز متوسط آب در طرف دریای ناحیه شکست کاهش می‌یابد؛ به این پدیده، فروآب گفته می‌شود (Sorensen, 1987). بیشترین میزان فروآب در مرحله‌ی آغازین شکست موج اتفاق می‌افتد. در ناحیه‌ی شکست، شار مومنوم در هنگام شکست موج افزایش می‌یابد. پس از شکست موج، تنش تشعشی به تدریج مستهلک می‌شود و این امر باعث افزایش تدریجی تراز متوسط آب می‌شود که به آن خیزآب می‌گویند (شکل ۲-۲). بیشترین میزان خیزآب در خط ساحلی اتفاق می‌افتد. باد هم می‌تواند باعث ایجاد خیزآب و فروآب شود (Dally, 2010).



شکل ۲-۲. خیزآب و فروآب در ناحیه شکست موج (Chang, et al., 2015)

^۱ Wave setup

^۲ Wave setdown

^۳ Shoaling

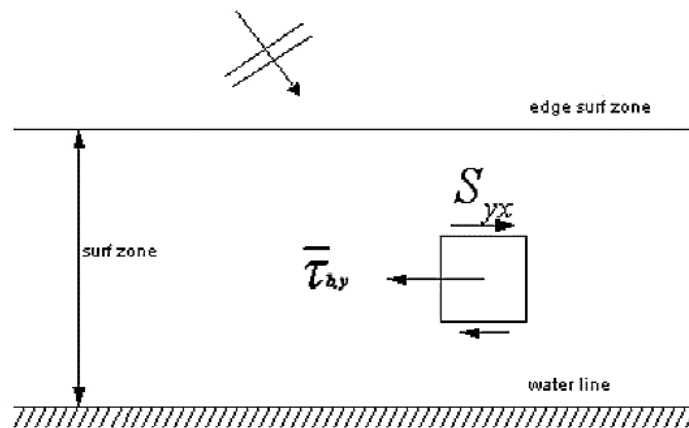
۳-۱-۲ جریان موازی ساحل

تغییر تنش تشعشعی S_{xy} در ناحیه شکست باعث ایجاد یک انتقال اندازه حرکت در امتداد ساحل می-شود که به آن جریان موازی ساحل می-گویند. برخلاف جهت عمود بر ساحل، در جهت موازی ساحل گرادیان فشار نمی-تواند توسعه یابد تا گرادیانهای تنش تشعشعی را در ناحیه شکست به تعادل برساند. بنابراین جریانهای موازی ساحل باعث توسعه تنش برشی بستر خواهند شد، که به عنوان نیروی بازسازی تعادل عمل خواهد کرد (Dean & Dalrymple, 2004).

Bowen (۱۹۶۹)، Thronton (۱۹۷۰) و Longuet-Higgins (۱۹۷۰) تعادل اندازه حرکت را به صورت معادله زیر معرفی نمودند:

$$F_y = \frac{dS_{xy}}{dx} = \tau_{by} \quad (۱۸-۲)$$

در این معادله F_y نیرو در جهت y و τ_{by} تنش برشی در جهت y است. در نتیجه برای اینکه جریان موازی ساحل بتواند بطور پیوسته توسعه یابد، نیروی حمل کننده F_y باید بزرگتر از تنش برشی بستر ناشی از اصطکاک باشد (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲. نیرویهای وارد بر ستون آب که موجب جریان موازی ساحل است (Bosboom & Stive, 2012)

۲-۲ انتقال رسوب

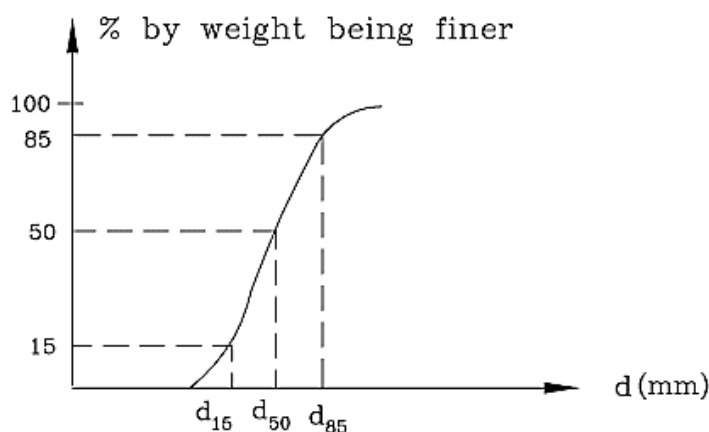
همانطور که در فصل قبل اشاره شد، حمل و نقل ذرات رسوب توسط فرآیندهای ساحلی مانند جریان-ها و امواج، انتقال رسوب توصیف می‌شود. این اتفاق زمانی رخ می‌دهد که سرعت جریان یا تنش برشی بستر بیش از سرعت بحرانی یا تنش برشی بحرانی ذرات باشد (Dean & Dalrymple, 2004).

۱-۲-۲ مشخصات رسوب

رسوبات مواد تجزیه شده ای هستند که، توسط فرآیندهای فیزیکی یا شیمیایی از سنگ‌ها در پوسته زمین شکل می‌گیرند. آنها می‌توانند از نظر ابعاد، رنگ، خواص معدنی، شکل، وزن مخصوص، و چسبندگی متفاوت باشند (Van Rijn, 1986). اما در حالت کلی می‌توان رسوبات را در دو گروه چسبنده و غیر چسبنده قرار داد. رس و لای در گروه رسوبات چسبنده و ماسه (با قطر ۰/۰۶ تا ۲ میلی‌متر) و شن (با قطر ۲ تا ۲۰ میلی‌متر) در گروه رسوبات غیر چسبنده تعریف می‌شوند.

۲-۲-۲ اندازه دانه‌ها

میانگین قطر ذرات رسوب D_{50} و دانه‌بندی، دو پارامتر مهم برای انتقال رسوب هستند. روش بسیار مفید برای تجزیه و تحلیل اندازه دانه‌ها، تحلیل به وسیله الک است (شکل ۲-۴) (Liu, 2001).



شکل ۲-۴. نمودار دانه بندی (Liu, 2001)

۳-۲-۲ سرعت سقوط ذرات رسوب

سرعت سقوط یا سرعت ته‌نشینی، برابر سرعت حدی است که دانه‌ها هنگام سقوط در یک ستون سیال به آن می‌رسند. سرعت سقوط را می‌توان یک سرعت ثابت از یک ذره، در حجم آب بی‌نهایت معرفی کرد (Van de Graaff, 2009).

$$w_s = \sqrt{\frac{4(\rho_s - \rho)gD}{3\rho C_D}} \quad (19-2)$$

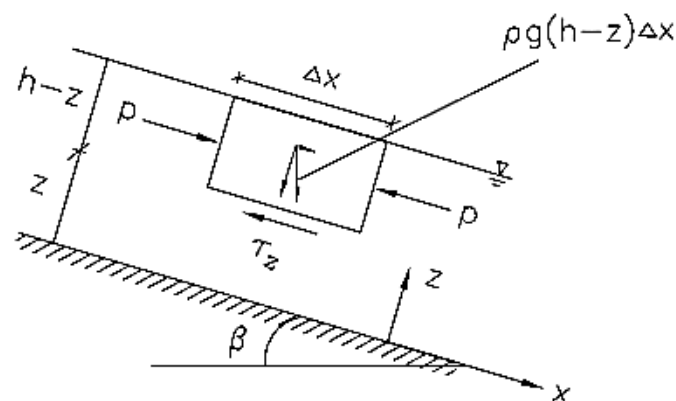
۴-۲-۲ تنش برشی بستر

شکل تنش‌های وارد به جزء سیال در جریان یکنواخت پایدار در (شکل ۹-۲) نمایش داده شده است. برای جریان یکنواخت و پایدار تنش‌های وارد بر جزء سیال را می‌توان به صورت روابط زیر نوشت:

$$\tau_z \Delta x = \rho g (h - z) \Delta x \sin \beta \quad (20-2)$$

$$\tau_b = \rho g h \sin \beta = \frac{1}{8} \rho f_c u^2 \quad (21-2)$$

در روابط فوق τ_b تنش برشی بستر، β شیب سطح آزاد و f_c ضریب اصطکاک داری ویسبناخ^۱ می‌باشد (Liu, 2001).



شکل ۵-۲. تنش وارد بر جزء سیال در جریان یکنواخت (Liu, 2001)

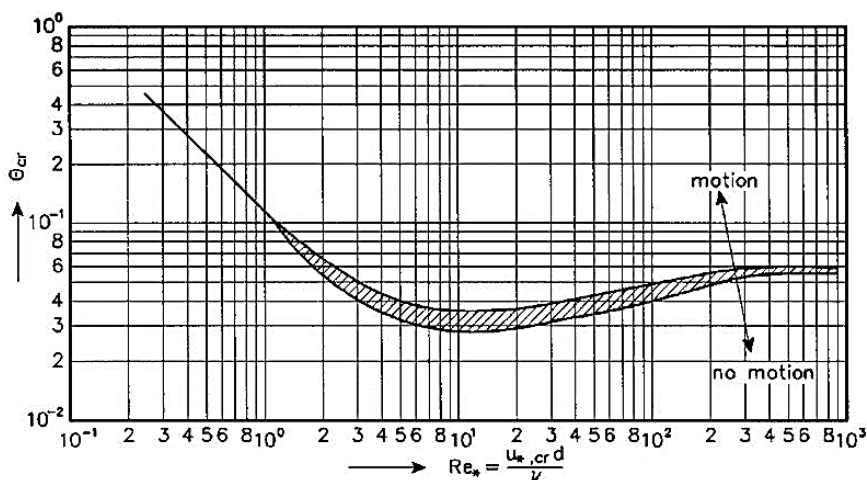
^۱Darcy-Weisbach

۵-۲-۲ آغاز حرکت رسوبات

بستری از دانه‌های غیر چسبنده را در نظر بگیرید که در آن جریانی وجود دارد. در سرعت‌های پایین جریان، رسوبات بستر به حرکت در نمی‌آیند. با افزایش سرعت جریان، رسوبات بستر شروع به حرکت می‌کنند. به سرعتی که در آن رسوبات به حرکت می‌رسند، سرعت بحرانی^۱ جریان گفته می‌شود. Shields در سال (۱۹۳۶) پارامتر θ_c را بر مبنای مشاهدات آزمایشگاهی ارائه می‌کند (رابطه ۲-۲۲). او فرض می‌کند که آستانه حرکت در نسبت مشخصی بین نیروی پایدارساز و نیروی محرک فرا می‌رسد.

$$\theta_c = \frac{u_*^2}{(s-1)gd} \quad (2-22)$$

در این رابطه u_* سرعت برشی بستر و s چگالی مخصوص ذرات است. در (شکل ۲-۱۰) می‌توان بر مبنای عدد رینولدز^۲، مقدار θ بحرانی را بدست آورد.



شکل ۲-۶. نمودار شیلدز (Shields, 1936)

^۱ Critical velocity

^۲ Reynolds number

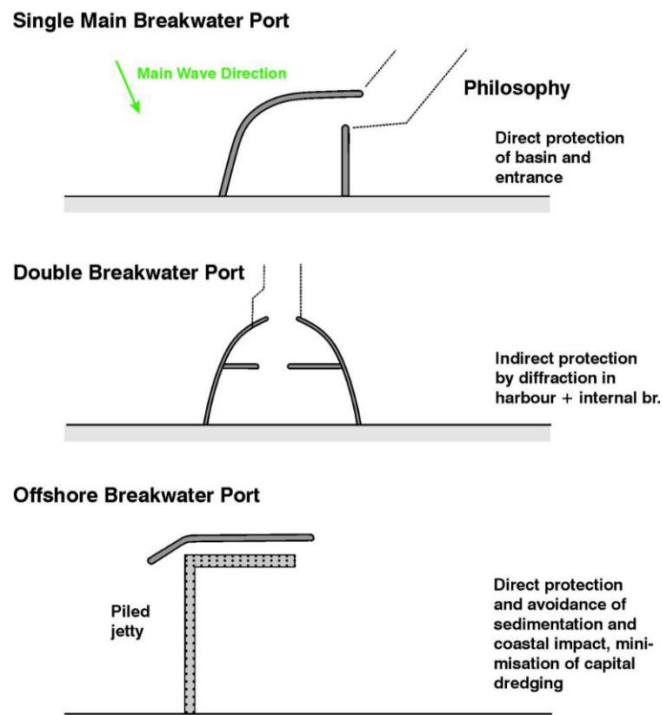
۲-۲-۶ عمق فعال رسوبی

عمقی که فراتر از آن هیچ تغییر قابل ملاحظه‌ای در بستر دریا، به دلیل فرآیندهای ساحلی رخ نمی‌دهد (شکل ۱-۱). بنابراین می‌توان آن را به عنوان مرز ناحیه ساحلی معرفی کرد. Hallemeyer (۱۹۸۱) رابطه زیر را برای محاسبه عمق فعال رسوبی ارائه نمود:

$$d_1 = 2.28H_s - 68.5 \frac{H_s^2}{gT_s^2} \quad (2-23)$$

۲-۲-۷ طرح هندسی موجشکن بنادر در سواحل ماسه ای

به طور کلی سه نوع طرح برای بنادر در سواحل دارای رانه ساحلی می‌توان تعریف کرد (شکل ۲-۱۱):

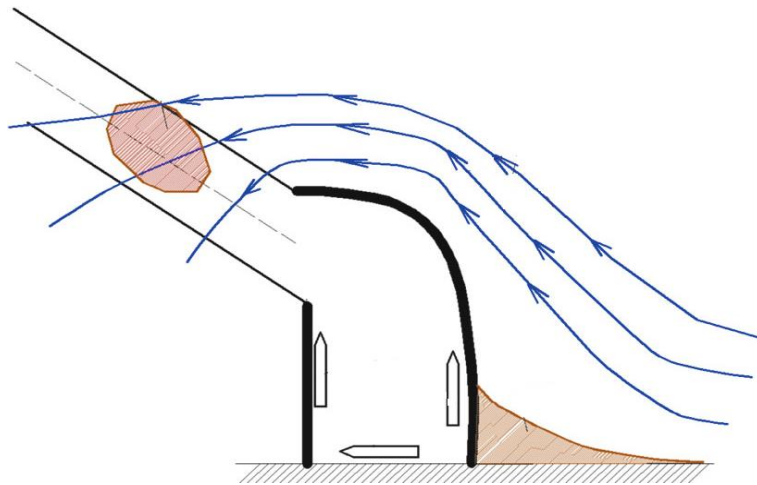


شکل ۲-۷. سه طرح هندسی بنادر (Mangor, 2004)

۲-۲-۷-۱ بنادر دارای یک موجشکن اصلی

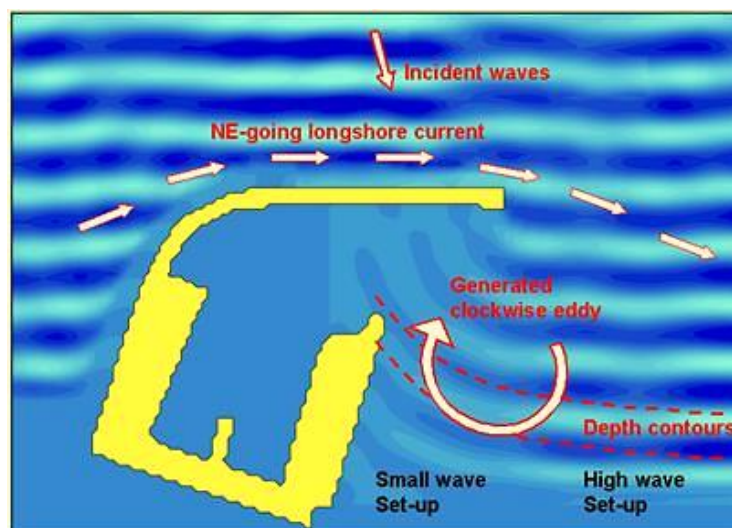
در این طرح یک موجشکن اصلی در جهت عمود بر امواج غالب از بندر حفاظت می‌کند و یک موجشکن ثانویه وظیفه حفاظت بندر از امواج در جهت‌های دیگر را دارد. این طرح به خوبی آرامش حوضچه بندر و دهانه ورودی را تامین میکند اما یکی از مشکلات مهم آن، قطع جریان رسوبی موازی ساحل در سال‌های ابتدایی ساخت بندر و فرسایش پایین‌دست بندر است. پس از پرشدن رسوبات در

بالادست موج‌شکن اصلی، رسوبات با جریان موازی ساحل به سمت دهانه بندر حرکت کرده و باعث مشکل رسوب‌گذاری در جلوی بندر و کانال دسترسی می‌شوند (شکل ۲-۱۲)، زیرا کاهش ناگهانی سرعت جریان در کانال دسترسی به علت افزایش عمق، نیروی کافی برای حرکت ذرات معلق رسوب وجود نداشته و انباشت رسوب در کانال دسترسی اتفاق می‌افتد (Gorlova, 2017).



شکل ۲-۸. انباشت رسوبات در جلوی بندر (Gorlova, 2017)

یکی دیگر از مشکلات این طرح تشکیل جریان گردابه‌ای در پایین دست و دهانه بندر است. در قسمت موج‌پناه موج‌شکن اصلی به دلیل امواج کوچکتر نسبت به نواحی مجاور و خیزآب موج کوچکتر نسبت به نواحی مجاور، باعث ایجاد شیب در سطح آب و تشکیل جریان از سمت خیزآب بزرگتر به سمت خیزآب کوچکتر می‌شود (شکل ۲-۱۳). این جریان گردابه‌ای باعث تله‌اندازی رسوب در جلوی بندر می‌شود (Mangor, 2004).



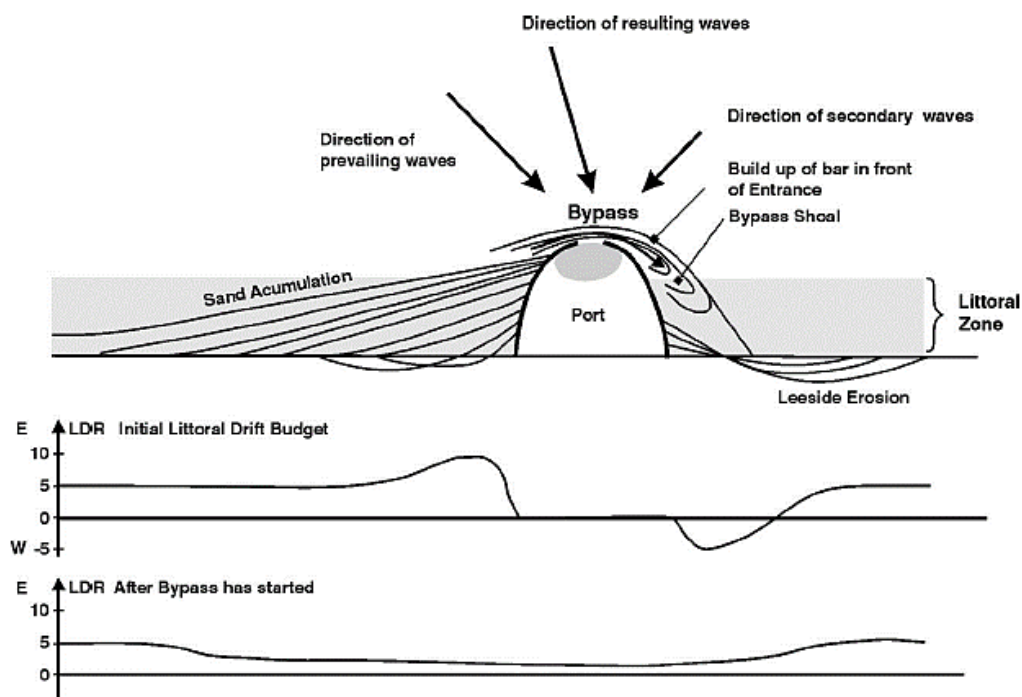
شکل ۹-۲. فرآیند تشکیل جریان گردابه‌ای (Mangor, 2004)

۲-۷-۲-۲ بندار با دو موجشکن متقارن

در این طرح دو موجشکن متقارن و یک اندازه با دهانه رو به دریا یا حتی رو به امواج غالب از بندر حفاظت می‌کنند. فلسفه‌ی اصلی این طرح، حداقل رسوبگذاری به همراه بیشترین کنارگذری رسوب^۱ به وسیله انعکاس امواج برخوردی با موجشکن و انقباض جریان موازی ساحل در جلوی بندر است. همچنین فرسایش سواحل پایین دست بندر به حداقل برسد و در عین حال یک شرایط ناوربری پایدار و قابل قبول فراهم شود (Mangor, 2004).

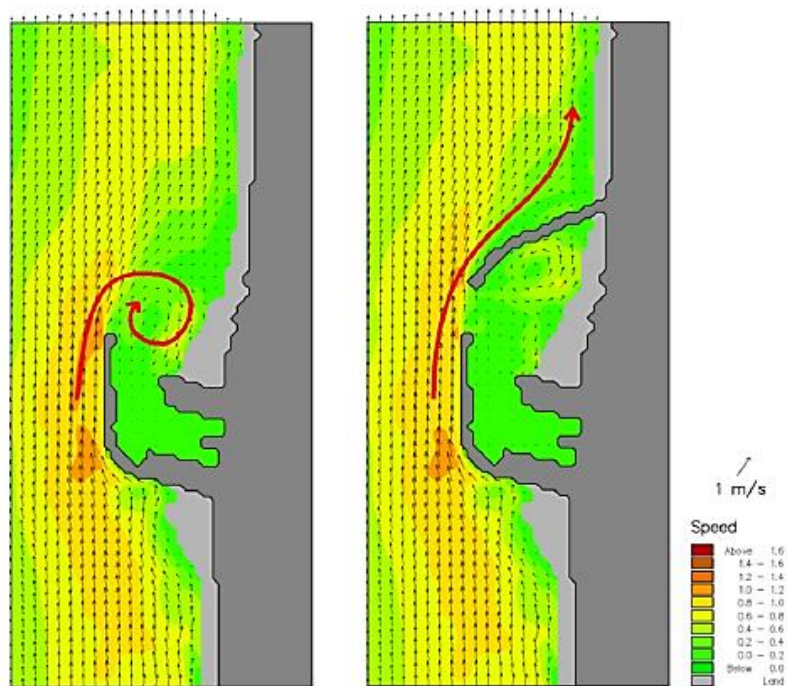
وضعیت رسوب‌گذاری و کنارگذر رسوب را می‌توان در دو حالت سال‌های ابتدایی ساخت بندر و پس از شروع کنارگذری رسوب در نظر گرفت (شکل ۲-۱۳). در سال‌های اولیه ساخت موجشکن، انباشت رسوب در بالادست بندر صورت می‌گیرد و پس از پرشدن ظرفیت بالادست، با حرکت پشته ماسه‌ای به سمت دهانه بندر کنارگذری آغاز می‌شود. پس از شروع کنارگذری، ممکن است یک نوار باریک رسوب با سرعت کمی در جلوی بندر یا دهانه آن تشکیل شود که اجتناب ناپذیر است. اما مدت زمان شکل‌گیری این پشته رسوبی نسبت به بندار دارای یک موجشکن بیشتر است و فرسایش در پایین دست بسیار کمتر خواهد بود.

^۱ Natural sediment bypass



شکل ۱-۲. طرح بنادر با دو موجشکن متقارن و کنارگذر طبیعی (Mangor, 2004)

همانطور که پیش تر بیان شد یکی از عوامل انباشت رسوب در بنادر با یک موجشکن، تشکیل جریان گردابه‌ای و انباشت رسوب ناشی از آن در جلوی دهانه بندر بود. یکی از مزایای این طرح قطع جریان گردابه‌ای و هدایت جریان موازی ساحل به پایین دست بندر است (شکل ۲-۱۵) که می‌تواند به عنوان راه‌حلی برای کاهش رسوب‌گذاری، افزایش کنارگذر رسوب و فرسایش سواحل پایین دست بندر باشد (Mangor, 2004).



شکل ۲-۱۱. قطع جریان گردابه‌ای و هدایت جریان موازی ساحل به پایین دست (Mangor, 2004)

۲-۳ مطالعات انجام شده

مطالعات زیادی جهت درک فرآیندهایی که در رسوب‌گذاری بندر نقش دارند، انجام شده است. مدل‌های گوناگونی برای کمی کردن نرخ رسوب‌گذاری و ارائه راه‌حلهایی جهت کاهش آن پیشنهاد گردیده است. از جمله‌ی این پژوهش‌ها، می‌توان اشاره کرد به:

Yuksek (۱۹۹۵) در مطالعه‌ای آزمایشگاهی تاثیر جانمایی موج‌شکن روی رسوب‌گذاری بندر را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه پارامترهای طول و زاویه موج‌شکن اولیه و ثانویه و زاویه آنها با خط ساحلی مورد بررسی قرار گرفته است. Hofland و همکاران (۲۰۰۱) مطالعاتی را در دانشگاه Delft هلند بروی یک روش جدید به نام دیوار منحرف کننده جریان، برای کاهش رسوب‌گذاری بندر، به خصوص بندر رودخانه ای و جزرومدی انجام دادند.

Brøker و همکاران (۲۰۰۷) مطالعه‌ای روی بندر Thorsminde در ساحل جنوبی دانمارک انجام دادند. این بندر که در ورودی یک تالاب جزرومدی قرار دارد و با مشکل رسوب‌گذاری در ورودی مواجه است. بدلیل وجود دو آبشکن در بالای ورودی بندر جریان رسوبی مسدود شده و در پایین دست بندر

مشکل فرسایش به وجود آمده است. در این مطالعه یک مدل‌سازی عددی در نرم افزار Mike21 که شامل ماژول‌هایی برای شبیه سازی امواج، جریان ها، انتقال رسوب و تغییرات بستر، استفاده شده است. در این مطالعه طرح جدید برای حل مشکل بندر با دو هدف اولیه: (۱) افزایش عمق طبیعی در مقابل ورودی و کاهش میزان لایروبی. (۲) کاهش میزان نفوذ امواج در طول طوفان و سهولت در امر ناوبری انجام شد، همچنین هدف ثانویه طرح جدید موج‌شکن بندر، کاهش فرسایش در سواحل پایین دست بندر است.

Grunnet (۲۰۰۹) مطالعه‌ای روی بندر Hvide sande در دانمارک با هدف کاهش مشکل رسوبگذاری دهانه بندر و کاهش فرسایش پایین دست انجام داد. طرح موجود با توجه به گسترش ساحل در بالادست باعث رسوبگذاری در ورودی و به وجود آمدن مشکلات ناوبری برای بندر شده است. طرح جدید با هدف افزایش عمق، کاهش میزان لایروبی و کاهش فرسایش پایین دست بندر، بر اساس طرح بندر با کنارگذر طبیعی با دو موج‌شکن اصلی پیشنهاد شد (شکل ۲-۱۶). مدل‌سازی مورفولوژیکی در نرم افزار Mike21 ساخته شد و با طوفان های مستند، کالیبره و اعتبار سنجی شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد با ساخت طرح جدید با هزینه نگهداری کمتر و لایروبی سالانه ۵۰ درصد کمتر نسبت به طرح موجود کارایی بندر حفظ می‌شود.

Mangor و همکاران (۲۰۱۰) طرح بنادر دارای دو موج‌شکن رو به دریا با کنارگذر رسوب را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه حالت های بحرانی برای بنادر کوچک و بزرگ نسبت به عرض ناحیه شکست، مقایسه و نقد و بررسی شد و برای حل مشکلات هر کدام راه حل هایی ارائه دادند.



شکل ۲-۱۲. طرح پیشنهادی جدید برای بندر Hvide sande (Mangor, 2010)

Pattiaratchi و همکاران (۲۰۱۱) پروژه تحقیقاتی را در دانشگاه وسترن استرالیا بر روی بندر Geographe در جنوب غربی استرالیا با هدف حل مشکل رسوبگذاری بندر و افزایش میزان گنارگذر طبیعی رسوب از جلوی بندر و تأمین عمق ناوبری بیشتر انجام دادند. در این مطالعه با استفاده از مدلسازی عددی در نرم افزار Mike21 ابتدا وضعیت موجود مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس ۸ سناریو برای حل مشکل مطرح گردید و در مدلسازی بررسی شد. برای مدلسازی جریان از ماژول Mike21 HD ، شبیه سازی موج و انتقال از آب عمیق از ماژول Mike21 SW و بدلیل ماسه ای بودن جنس رسوبات منطقه از ماژول Mike21 ST برای شبیه سازی انتقال رسوب استفاده شد. اطلاعات مورد استفاده در مدل شامل: اطلاعات باد، هیدروگرافی، موج استخراج شده در مرز باز از مدل بزرگ مقیاس و تغییرات سطح آب بود. صحت سنجی مدل با استفاده از اطلاعات اندازه گیری شده ارتفاع و جهت موج و سرعت و جهت جریان، صورت گرفت.

Christensen و همکاران (۲۰۱۲) مدلسازی عددی طرح هندسی موجشکن جدید با هدف افزایش کنارگذر رسوب، افزایش عمق ناوبری در دهانه بندر و کاهش فرسایش خط ساحل در پایین دست بندر Hanstholm در ساحل غربی دانمارک انجام دادند (شکل ۲-۱۷). این مدلسازی در نرم افزار Mike21 با مش نامنظم و ماژول های انتقال موج ، ماژول جریان و انتقال رسوب انجام گرفت. مدل

توسط اطلاعات موج و جریان اندازه گیری شده در فاصله یک کیلومتری از شمال غربی بندر، صحت سنجی شد. همچنین برای ارزیابی تاثیرات ساخت طرح هندسی جدید در خط ساحل و فرسایش آن از مدل Litpack از مجموعه نرم‌افزاری Mike Zero استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان دهنده شرایط مطلوبی نسبت به طرح موجود در زمینه افزایش عمق دهانه ورودی بدلیل افزایش سرعت جریان و کاهش فرسایش پایین دست به دلیل کنارگذری بیشتر است.



شکل ۲-۱۳. طرح اولیه (A) و طرح پیشنهادی جدید (B) برای بندر Hanstholm (Christensen, 2012)

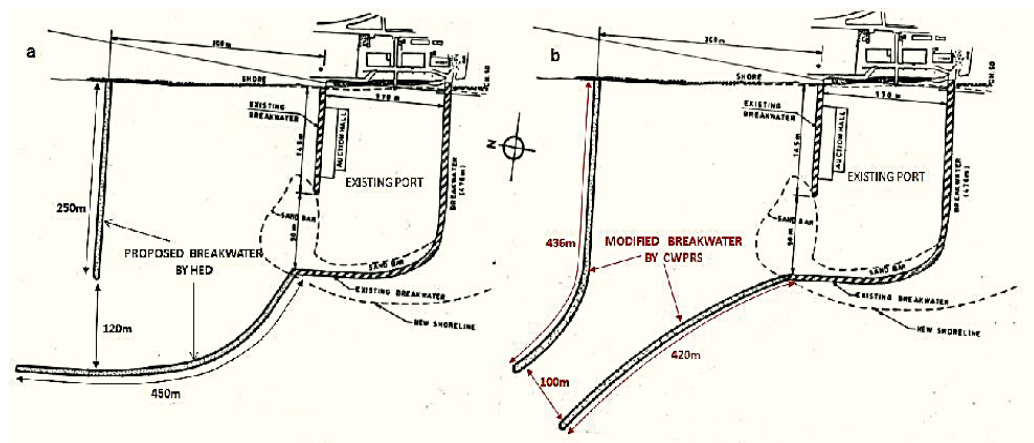
Sugathan و همکاران (۲۰۱۴) مدلسازی عددی را توسط نرم افزار Mike21 و مدل Litpack برای شناخت جریانات، رسوب‌گذاری، فرسایش و انتقال رسوب ناشی از ساخت یک موج‌شکن یک طرفه برای بندری جدید، در ساحل Vizhinjan در هند انجام دادند.

Spruit (۲۰۱۳) پایان‌نامه کارشناسی ارشد در دانشگاه Delft هلند برای بررسی عملکرد، هندسه بنادر با کنارگذر طبیعی رسوب در نرم افزار Delft 3D انجام داد و نتیجه گرفت: هندسه ساده‌ی موج شکن دو طرفه منجر به سرعت بیشتر جریان در جلوی بندر می شود و نسبت به بندر یک طرفه در اندازه مساوی اما دارای یک موج‌شکن اصلی است. سرعت جریان زیاد در ترکیب با طول موج شکن ها منجر به کاهش محدود عمق جلوی بندر و رسوب‌گذاری بسیار کمی در بندر نیز می شود.

Barve و همکاران (۲۰۱۵) مدلسازی عددی را برای ارزیابی آرامش حوضچه ، میزان نرخ رسوب‌گذاری و تغییرات ساحل پس از ساخت موج‌شکن‌های یک بندر ماهیگیری در ساحل Kerala در کشور هند انجام دادند. در این مدلسازی برای انتقال امواج آب عمیق به ساحل از ماژول Mike21 SW استفاده

شد. همچنین برای بررسی تاثیر پدیده‌های دریایی غیرخطی مانند: خزش، انکسار، انعکاس^۱ و تفرق^۲، در آرامش حوضچه بندر از ماژول Mike21 BW که یک مدل مبتنی بر معادله بوزینسک^۳ است استفاده شد. نتایج مدلسازی نشان داد طرح موجشکن پیشنهادی از آرامش خوبی در ۳۳۵ روز ساحل برخوردار است.

Kori و همکاران (۲۰۱۵) مطالعه‌ای برای طرح توسعه یک بندر ماهیگیری در هند، با هدف کاهش میزان رسوبگذاری و افزایش آرامش حوضچه بندر انجام دادند. طرح‌های پیشنهادی دو شرکت مشاور توسط یک مدلسازی عددی در نرم افزار Mike21 برای ارزیابی الگوی جریانات، ارتفاع امواج ورودی به بندر و رسوبگذاری، صورت گرفت. نتایج نشان دهنده برتری طرح هندسی موجشکن با ساختار آستینی^۴ بدلیل آرامش مناسب حوضچه و رسوبگذاری کمتر نسبت به طرح هندسی موجشکن یک-طرفه، است.



شکل ۲-۱۴. طرح‌های بررسی شده برای بندر ماهیگیری (Kori, 2015)

Jha و همکاران (۲۰۱۵) برای یک بندر ماهیگیری قدیمی در خلیج Mopla در سواحل هند که دارای رسوبگذاری زیاد ناشی از جریانات جزرومدی و تشکیل جریانات گردابه ای در دهانه بندر ناشی از شکست امواج بود؛ مدلسازی عددی را توسط نرم افزار Mike 21 و ماژول هیدرودینامیک این نرم افزار

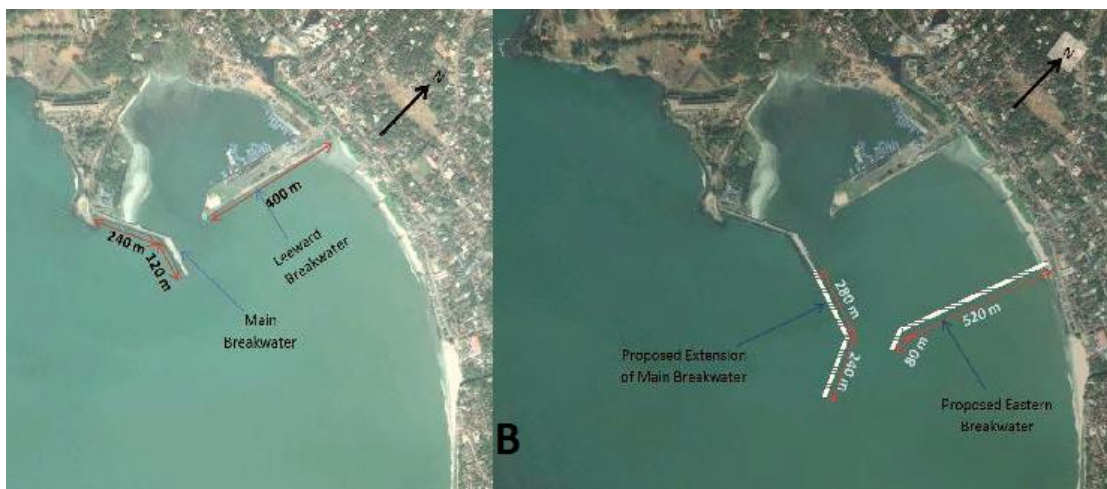
^۱ Reflection

^۲ Diffraction

^۳ Boussinesq

^۴ طرح هندسی موجشکن بندر که از دو بازوی موازی به فاصله ورودی، رو به دریا و عموماً عمود بر جهت موج است.

(HD) انجام دادند. در این مدل‌سازی یک طرح اطاله روی موج‌شکن اصلی موجود با هدف قطع جریان گردابه‌ای در جلوی بندر و دور کردن جریان رسوبی موازی ساحل با تغییر زاویه انتهای موج‌شکن که باعث دور شدن جریان می‌شود، مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۲-۱۵. وضعیت فعلی (A) و طرح جدید موج‌شکن بررسی شده (B) (Jha, 2015)

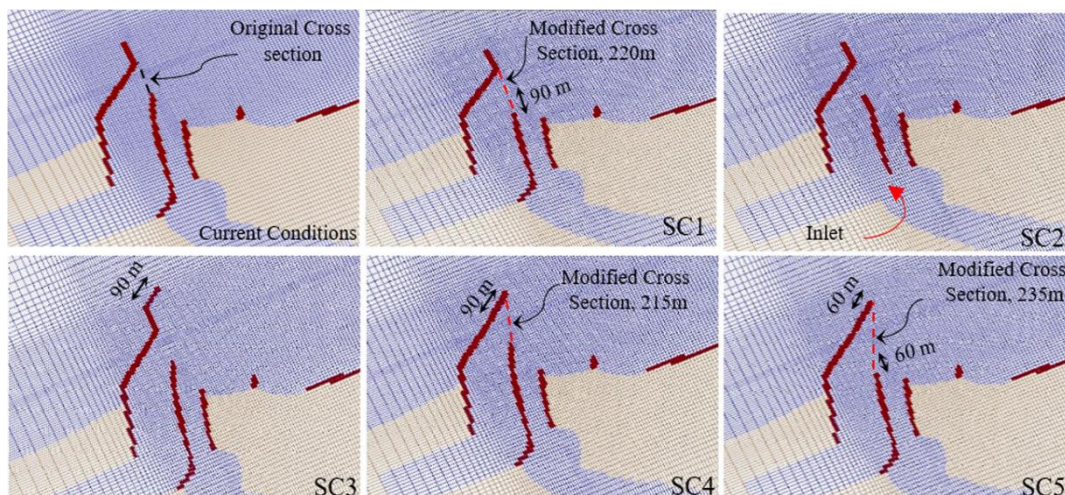
Ca'ceres و همکاران (۲۰۱۶) مطالعه‌ای را برای بررسی فرآیندهای هیدرودینامیکی در بندر ماهیگیری Mar del Plata در بوینس آیرس آرژانتین و اثرات آن بر مورفولوژی خط ساحلی مجاور انجام دادند. در این مطالعه مشکلات رسوب‌گذاری ورودی بندر و فرسایش پایین دست، بوسیله شبیه سازی در نرم افزار Mike21 انجام گرفت. تمام مدل بر اساس یک رویکرد عددی متشکل از روش حجم محدود^۱ محاسبه شده و دارای مش نامنظم شامل عناصر مثلثی یا چهار ضلعی با اندازه های مختلف است. مش بندی در چهار زیرگروه انجام گرفت که با نزدیک شدن به ساحل اندازه مش‌ها کاهش و دقت محاسبات و وضوح آن، افزایش می‌یابد. مدل مورفولوژیکی براساس اندازه گیری های سری زمانی پارامترهای موج و تغییرات سطح آب برای یک دوره ۱ ساله (۲۰۰۹) موجود که برای ورودی بندر کالیبره گردید.

^۱ Finite Volume Method

Soltani و همکاران (۲۰۱۷) مدل‌سازی عددی را برای شناخت الگوی جریان انتقال رسوب در خلیج ناپیند ایران، بدلیل چسبیده بودن جنس رسوبات با استفاده از ماژول Mike21 MT ، در نرم افزار Mike21 انجام دادند. Kumar Jha و همکاران (۲۰۱۷) برای ارزیابی الگوی جریان و انتقال رسوب در Khambhat در هند، از مدل‌سازی عددی با نرم افزار Mike21 استفاده کردند. در این مدل‌سازی بدلیل رس و لای بودن جنس رسوبات خلیج از ماژول Mike21 MT (Mud Transport) استفاده شد.

Irham و همکاران (۲۰۱۸) برای شناخت الگوی جریان و انتقال رسوب در بندر ماهیگیری Lampulo در اندونزی از مدل‌سازی ریاضی توسط یک کد عددی دوبعدی معادلات غیر خطی موج، استفاده کردند. Putra Hatta و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از نرم افزار Mike21 برای شناخت الگوی جریان و انتقال رسوب در خلیج Ambon اندونزی، مطالعه‌ای را انجام دادند.

Sharaan و همکاران (۲۰۱۸) بندر ماهیگیری El-Burullus در مصر، که با مشکل رسوب‌گذاری شدید مواجه است، را مورد بررسی قرار دادند. انباشت رسوب در جلوی دهانه ورودی بندر متمرکز شده و این تهدیدی برای عمق ناوبری بندر است. نیاز به لایروبی هرساله در بندر باعث اعمال هزینه های زیادی به بندر می‌شود. برای درک فرآیندهای ساحل و ارائه راه‌حل‌های جدید، از یک مدل‌سازی عددی دوبعدی، از مجموعه نرم افزاری CMS ساخته شده توسط سازمان مهندسی ارتش امریکا، استفاده شد. این نرم‌افزار تمامی فرایندهای ساحلی مانند: تولید و انتشار موج، خزش، انکسار، انعکاس، اندرکنش موج-موج و موج-جریان، تفرق، خیزآب موج، بالاروی موج، انتقال رسوب و تاثیرات سازه های ساحلی را در نظر می‌گیرد (CIRP: <http://cirp.wes.army.mil>). برای مدل‌سازی از اطلاعات هیدروگرافی، باد، موج و جزرومد و برای صحت‌سنجی از اطلاعات اندازه‌گیری شده موج و تغییرات سطح آب استفاده شد. برای حل مشکلات بندر ۵ طرح جدید (شکل ۲-۲۰) برای هندسه موجشکن با هدف افزایش کنارگذری رسوب و افزایش عمق ناوبری ارائه شد و مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.



شکل ۲-۱۶. وضعیت فعلی و سناریوهای تعریف شده برای حل مشکل رسوبگذاری (Sharan, 2018)

Agrawal و همکاران (۲۰۱۹) مدلسازی عددی را برای ساخت یک بندر جدید در ساحل Kerala هند دادند. در این مطالعه ۴ طرح هندسی برای موجشکن بندر پیشنهاد شد و با استفاده از مدل دوبعدی نرم افزار Mike21 مورد ارزیابی قرار گرفت. برای انتقال موج از آب عمیق به سمت ساحل از ماژول Mike21 SW و برای بررسی آرامش بندر از ماژول Mike21 BW استفاده شد. مدلسازی موج ابتدا در یک مدل بزرگ مقیاس به ابعاد ۱۱۵ کیلومتر در ۸۵ کیلومتر با اطلاعات باد و هیدروگرافی انجام گرفت سپس نتایج برای مدل محلی با ابعاد ۵ کیلومتر در ۴/۵ کیلومتر با ابعاد ۳ متر در ۳ متر، استخراج شد.

۲-۳-۱ نتیجه گیری

مرور مطالعات انجام شده، اطلاعات خوبی در مورد مشکلات رسوب گذاری بنادر و مدلسازی عددی و ارائه راه حل برای آن به خواننده می‌دهد. برای مدلسازی دوبعدی محیط‌های ساحلی نرم افزار Mike21 کاربرد زیادی در سراسر جهان دارد. این نرم افزار دارای ماژول‌های مختلفی برای شبیه سازی فرایندهای هیدرودینامیکی و مورفولوژیکی است. برای شبیه‌سازی این فرایندها در ناحیه بندر و اطراف آن، نیازمند ساخت مدل محلی هستیم. این مدل بر پایه اطلاعات مرزی استخراج شده موج و جریان از مدل بزرگ مقیاس است. همچنین هیدروگرافی منطقه و نوع دانه‌بندی و جنس رسوبات نقش مهمی در نتایج مدلسازی دارند. یکی از مهم ترین قسمت های مدلسازی عددی صحت سنجی

آن است. که برای صحت سنجی مدل محلی از اطلاعات اندازه‌گیری شده موج و جریان در منطقه مورد نظر استفاده می‌شود.

فصل ۳ : معرفی منطق مورد مطالعه

۳-۱ معرفی بندر نوشهر

بندر نوشهر یکی از مهمترین و با سابقه‌ترین بنادر شمالی کشور می‌باشد. این بندر در جنوب دریای خزر، در مختصات $51^{\circ}32'$ طولی شرقی و $36^{\circ}39'$ عرض شمالی، قرار دارد (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱. موقعیت بندر نوشهر (Google Earth)

ساخت بندر نوشهر در سال ۱۳۰۹ هجری خورشیدی با مشارکت شرکت‌های بورورکس (هلند) و آگرمن (بلژیک) آغاز شد و در سال ۱۳۱۸ به بهره‌برداری رسید (شکل ۳-۲). طی ۵۰ سال پس از ساخت، بندر دچار مشکل شدید نفوذ موج بوده است. در سال ۱۳۶۸ به منظور حذف مشکلات نفوذ موج، بازوی غربی آن اطاله داده شده است. ساخت این بازو در سال ۱۳۷۴ به اتمام رسیده است. به دلیل نیاز به اراضی کافی برای پسرکانه، در سال ۱۳۷۲ مراحل استحصال اول زمین در سمت شرقی بندر آغاز و در سال ۱۳۷۵ به اتمام رسید. در نهایت به منظور توسعه اراضی موجود، مراحل استحصال دوم اراضی در سمت شرقی بندر از سال ۱۳۸۶ آغاز و در سال ۱۳۹۰ به پایان رسید (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۲. عکس هوایی از بندر نوشهر پیش از اطاله موجشکن (بالی و همکاران، ۱۳۹۵)



شکل ۳-۳. تغییرات صورت گرفته در بندر نوشهر (Google Earth)

از زمان بهره‌برداری این بندر به نظر می‌رسد که در دهه‌های ابتدایی هیچ گونه مشکلاتی به لحاظ رسوبی برای بندر گزارش نشده است که با توجه به وجود ظرفیت انباشت موجود در پشت بازوی موجشکن می‌تواند بسیار منطقی باشد. در سه دهه گذشته، مشکلات رسوبی به صورت جدی دامن‌گیر بندر شده است به طوری که کانال ورودی بندر، نیازمند لایروبی مستمر بوده است. علی‌رغم تغییرات ایجاد شده در جانمایی و منابع آلودگی و رسوب، اما همچنان مشکلات ناشی از رسوب در بندر وضعیت بهره‌برداری آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لایروبی حدود سیصد هزار متر مکعب در سال

۱۳۸۹ نشان از وضعیت نامناسب بندر به لحاظ رسوبی است که می بایست راه حل مناسبی برای کاهش آن در نظر گرفته شود (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳).

۳-۲ مطالعات انجام شده برای بندر نوشهر

مطالعات محدودی در مورد بندر نوشهر و دلایل رسوب گذاری آن انجام شده است. در سال ۱۳۹۲ شرکت تهران برکلی به بررسی مشکلات رسوبی در اطراف بندر نوشهر پرداخته است. آنها با بررسی هیدرودینامیک منطقه، در اظهار نظر کلی مهم ترین دلایل رسوب گذاری را آورد رسوبات غرب بندر و جریان های غرب به شرق بیان کردند، اما در مورد جزئیات آن بحثی نکردند. در ادامه، آنها چند دستک رسوب گیر در مکان های مختلف پیشنهاد کردند تا بدین ترتیب این دستکها مانع از انتقال رسوب به دهانه بندر شوند. بالی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه ای به بررسی وضعیت هیدرودینامیک بندر نوشهر از زمان ساخت و تغییرات انجام شده در این بندر با مدلسازی عددی با داده های اندازه گیری شده پرداختند و رودخانه های اطراف بندر و جریان گردابه ای در مقابل بندر را از عوامل رسوب گذاری در بندر نوشهر معرفی کردند. در زمینه مطالعات دانشجویی نیز تحقیقاتی توسط رستمی و همکاران (۱۳۹۰)، نورمند و مصطفایی (۱۳۹۳) و همچنین خاکپور (۱۳۹۵) در مورد دلایل رسوب گذاری بندر نوشهر انجام شده است. رستمی و همکاران (۱۳۹۰) با شبیه سازی عددی به روند فرسایش و تخمین میزان فرسایش احتمالی و رسوب گذاری در محدوده ی حوضچه بندر نوشهر پرداختند. آنها آورد رسوبات رودخانه های بالادست بندر را مهم ترین منبع رسوب گذاری اعلام کردند، اما در مطالعات انجام شده، در مورد جزئیات و نحوه رسوب گذاری، به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات کافی در زمان مطالعه، گزارشی ارائه نشده است.

نورمند و مصطفایی (۱۳۹۳)، نیز با ارزش گذاری پارامترهای مختلف در رسوب گذاری بندر نوشهر و استفاده از نظرات صاحبان ذی ربط تغییرات تراز سطح آب را مهمترین دلیل مشکل رسوب گذاری بندر نوشهر اعلام کردند. یافته های حاصل از پژوهش آنها که حاصل از تجزیه و تحلیل داده های آماری بر اساس تکنیک سلسله مراتبی بوده است (AHP) نشان داد که تغییرات سطح آب دریای خزر

با میزان ۳۴ درصد دارای بیشترین تأثیر بوده است. تغییرات خط ساحلی اطراف بندر با میزان ۲۶ درصد، جابه جایی رسوبات ساحلی با میزان ۱۶ درصد، موقعیت مکانی بندر ۱۳ درصد، اجرای پروژه های طرح توسعه بندر با میزان ۱۱ رتبه های بعدی را کسب نموده اند. خاکپور (۱۳۹۵) نیز با بررسی جانمایی بندر نوشهر، هندسه نامناسب بندر نوشهر بعد از اطاله بازوی اصلی را مهمترین دلیل رسوبگذاری بیان کرده است

۳-۳ وضعیت فعلی بندر به جهت نفوذ موج و رسوب

براساس شواهد موجود و گفته های مسئولین بندر وضعیت کنونی حوضچه بندر به جهت تامین آرامش لازم عمدتاً مطلوب است. این آرامش حاصل اجرای اطاله موج شکن غربی است که احداث آن از سال ۱۳۶۸ شروع و در سال ۱۳۷۴ به اتمام رسید. این موج شکن اطاله شده عمود بر جهت حرکت امواج غالب است. پشت این موج شکن که سدی در مقابل حرکت رسوبات موازی با ساحل در جهت جریان غالب (غرب به شرق) است، احیاء ساحل رخ داده است (شکل ۳-۴). این احیاء افزایشی است و رسوبات جمع شده روز به روز بیش از پیش به قسمت ورودی بندر نفوذ کرده و سبب افزایش روز افزون لایروبی در این ناحیه می شود. همچنین پس از اتمام پروژه احیاء اراضی شرقی بندر نوشهر در سال ۱۳۸۹ به نظر می رسد که رسوب گذاری در کانال ورودی بندر بیشتر شده است.

رسوبات به مرور زمان بر اثر جریان غالب (غرب به شرق) در پشت موج شکن غربی جمع شده و به صورت زبانه ای از راس موج شکن غربی گذشته و به ورودی بندر نفوذ کرده اند. نفوذ رسوبات با گذشت زمان افزایش یافته و سبب تغییر مسیر ورود کشتی ها شده است (شکل ۳-۴). در حال حاضر بیشتر تمرکز لایروب ها در ورودی بندر و با هدف جلوگیری از پیشرفت این زبانه رسوبی و بسته نشدن مسیر تردد شناورهاست. روی این زبانه رسوبی عمق آبخور کشتی ها تامین نمی شود و حتی این عمق در قسمت هایی به کمتر از ۲ متر هم می رسد.



شکل ۳-۴. انباشت رسوبات در ساحل بالادست (Google Earth)

با توجه به اینکه مسیر ورودی بندر با ایجاد زبانه ی رسوبی افزایشی در این ناحیه تغییر کرده است، مشکلاتی به وجود می آید که مخالف ضوابط و آیین نامه های طراحی بنادر وسازه های دریایی ایران است. با توجه به شکل ۱-۴ که مسیر تغییر یافته ی ورودی کشتی به بندر را نشان می دهد، ورودی بندر در ناحیه ای تقریباً موازی خط ساحلی قرار گرفته است که باعث افزایش هزینه های لایروبی و همچنین قرار نگرفتن مسیر ورودی در قسمت بیشترین عمق طبیعی و قرار نگرفتن در کوتاه ترین مسیر می شود علاوه بر این موقعیت ورودی بندر باید به گونه ای جانمایی گردد که حتی الامکان زاویه امتداد ورودی کانال دسترسی و امتداد باد غالب، جریانهای موثر و امواج طوفانی از ۳۰ درجه بیشتر نشود که با توجه به مسیر اجباری جدید ورود شناورها به بندر نوشهر این مورد رعایت نشده است (بهزادی، ۱۳۹۵).

۳-۴ بررسی عکس‌های هوایی و تغییرات خطوط ساحلی اطراف

بندر

استفاده از عکس‌های قدیمی و مقایسه آن برای دوره‌های مختلف از روش‌های شناخته شده و معمول برای پیش‌بینی الگوی رسوبی در منطقه می‌باشد. برای منطقه بندر نوشهر در پوشش عکس‌های هوایی، عکس‌های سال ۱۳۶۲ و تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۳۹۱ مورد بررسی قرار گرفت. طی این بازه زمانی

۲۹ ساله، ضلع غربی بندر نوشهر دارای رسوب‌گذاری و خشکی‌زایی بوده است، اما ضلع شرقی آن دچار فرسایش و خوردگی ساحل شده است (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵. تغییرات خط ساحل در بالادست بندر نوشهر (بهزادی، ۱۳۹۵)

۳-۵ اطلاعات مربوط به رودخانه‌های اطراف بندر

عامل اصلی شکل‌گیری باریکه ساحلی شمال در مقیاس زمین‌شناسی، آورد رسوب از کوهستان به وسیله رودخانه‌های متعدد است. منطقه ساحلی رامسر و چالوس تا دهانه رودخانه گلندرود (بین سیسنگان و نور) در نوار باریکی بین دریای خزر و رشته کوه البرز قرار دارد و علت این مسئله حضور کم رودخانه‌های فعال در این محدوده می‌باشد. منطقه نوشهر در اطراف رودخانه‌های پر آبی مانند چالوس، کورکورسر و ماشالک قرار گرفته است. در شکل (۳-۶) رودخانه‌های اطراف بندر نوشهر آورده شده است. در میان این رودخانه‌ها، رودخانه چالوس و رودخانه کورکورسر در سمت غربی بندر و رودخانه‌های نوشهر، ماشالک و خیرود در سمت شرقی بندر رسوباتی را وارد دریا می‌کنند. برای رودخانه‌های چالوس، کورکورسر و خیرود اندازه‌گیری‌های دبی و دبی رسوبی برای سال‌های مختلف وجود دارد. برای رودخانه چالوس از سال ۱۳۴۴ تا سال ۱۳۹۰ به صورت نامنظم اندازه‌گیری‌هایی برای دبی و رسوب انجام شده است. بیشترین دبی آبی و دبی رسوبی به ترتیب ۱۳۸ متر مکعب بر ثانیه در سال ۱۳۵۴ و ۵۵۱۵۴۱ تن در روز در سال ۱۳۶۵ ثبت شده است. با میانگین‌گیری در طی این سالها،

می‌توان دبی ۳۰ مترمکعب بر ثانیه و دبی رسوبی ۲۵۰۰ تن در روز را برای رودخانه چالوس در نظر گرفت.



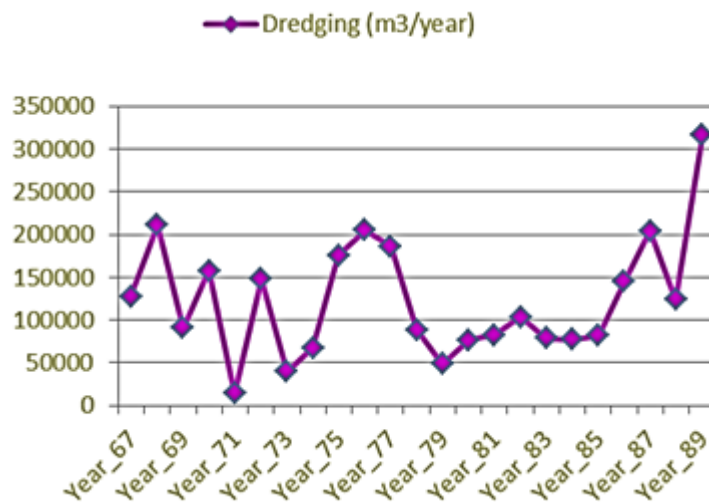
شکل ۳-۶. موقعیت رودخانه‌های اطراف بندر نوشهر (Google Earth)

برای رودخانه کورکورسر از سال ۱۳۶۱ تا سال ۱۳۹۰ به صورت نامنظم اندازه‌گیری‌های دبی و رسوب انجام شده است. بیشترین دبی آبی و دبی رسوبی به ترتیب ۲۶ متر مکعب بر ثانیه در سال ۱۳۶۸ و ۹۴۱۰ تن در روز در سال ۱۳۶۶ ثبت شده است. با میانگین‌گیری در طی این سالها، می‌توان دبی ۴ مترمکعب بر ثانیه و دبی رسوبی ۱۰۵ تن در روز را برای رودخانه کورکورسر در نظر گرفت.

برای رودخانه‌های نوشهر و ماشلک متاسفانه ایستگاه اندازه‌گیری در دسترس نبوده است. با توجه به اینکه این دو رودخانه در قسمت شرقی و در نزدیکی بندر واقع شدند، اطلاعات رسوبی آنها از اهمیت بالایی برخوردار است. به عنوان یک تقریب مهندسی و با فرض اینکه مقدار بارش و جنس رسوبات در دو سمت بندر یکی باشد، می‌توان با محاسبه مساحت حوضه آبریز برای رودخانه‌های موجود و با یک نسبت ساده مقدار دبی و دبی رسوبی دو رودخانه نوشهر و ماشلک را بدست آورد. با توجه به اینکه حوضه آبریز رودخانه کورکورسر به لحاظ نقطه شروع رودخانه و تعداد انشعابات رودخانه‌های وارد شده به رودخانه‌های ماشلک و نوشهر شبیه است از اطلاعات این رودخانه استفاده می‌شود. با محاسبه نسبت مساحت حوضه‌های آبریز، مجموع مقدار دبی رسوبی هر دو رودخانه ماشلک و نوشهر $1/3$ برابر

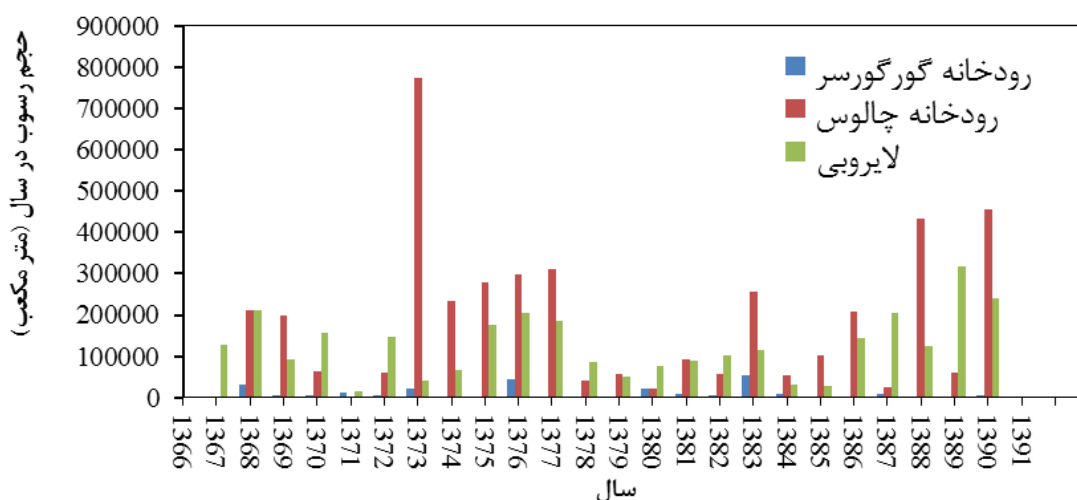
رودخانه کورکورسر تخمین زده شده است. بدین ترتیب مقدار دبی رودخانه ماشالک و نوشهر حدود ۵ متر مکعب بر ثانیه و مقدار دبی رسوبی ۱۳۰ تن در روز برآورد شده است و در محاسبات نیز از این مقدار استفاده می‌شود.

مشاهده می‌شود که آورد رسوبی رودخانه‌ها در بالادست قابل ملاحظه بوده است. به عنوان مثال رودخانه‌های چالوس و کورکورسر به طور متوسط سالیانه ۳۵۰,۰۰۰ متر مکعب رسوب وارد دریا می‌کنند. این مقدار تقریباً ۲ برابر میانگین حجم لایروبی بندر نوشهر از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۰ می‌باشد. شکل (۷-۳) آمار ناخالص لایروبی بندر نوشهر را برای سال‌های مختلف نشان می‌دهد. این آمار افزایش میزان لایروبی در سال‌های اخیر را بیان می‌کند. شکل (۸-۳) مقایسه مقدار احجام لایروبی شده با مقدار رسوباتی که دو رودخانه چالوس و کورکورسر وارد دریا می‌ریزند را نشان می‌دهد. این نمودار به خوبی نشان می‌دهد که رسوبات رودخانه‌ای می‌توانند از مهمترین منابع رسوبات لایروبی شده بندر نوشهر باشند (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳).



شکل ۷-۳. آمار ناخالص لایروبی بندر نوشهر در سال‌های مختلف (مخلوط آب و رسوب) (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳)

در این نمودار مشاهده می‌شود که حجم رسوبات رودخانه‌ای بیشتر از مقدار لایروبی می‌باشد و این مسئله به این خاطر خواهد بود که لزوماً تمام رسوبات رودخانه‌ای به جلوی بندر نمی‌رسد و یا بخشی از آن از جلوی بندر عبور خواهد کرد. این نمودار نشان می‌دهد که تغییرات میزان لایروبی سالانه در بندر نوشهر به تغییرات آورد رسوبی رودخانه‌ها بستگی دارد.



شکل ۳-۸. آمار رسوبدهی رودخانه‌های چالوس و کورگورسر و مقایسه آن با لایروبی بندر نوشهر (پویا

طرح پارس، ۱۳۹۳)

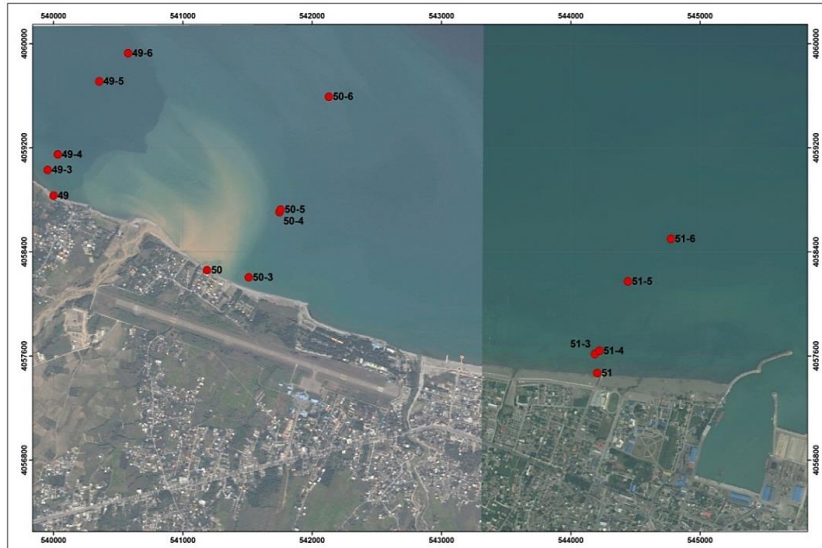
در سال ۱۳۷۳ با وجود آورد زیاد رسوب رودخانه چالوس میزان لایروبی بندر پایین بوده است. علت این مساله اطاله بازوی اصلی و افزایش همزمان تراز آب بوده است. با افزایش تراز آب دریای خزر، منطقه شکست به آب‌های کم‌عمق‌تر جابه‌جا می‌شود و بدین ترتیب رسوبات در پشت بندر ته نشین خواهد شد. همچنین عمق آب مناطق مورد بهره برداری افزایش و نیاز به لایروبی کاهش می‌یابد (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳).

۳-۶ وضعیت و مشخصات رسوب در منطقه نوشهر

در پروژه پایش و مطالعات شبیه سازی سواحل شمالی کشور اطلاعاتی از وضعیت رسوبی اطراف بنادر برداشت شده است. از جمله این اطلاعات می‌توان به برداشت‌های رسوبی در ایستگاه‌های مختلف و همچنین ثبت پروفیل در مسیرهای عمود بر ساحل اشاره کرد. اطلاعات دقیق رسوبی می‌تواند در شبیه‌سازی دقیق‌تر تغییرات رسوبی اطراف بندر کمک کند.

شکل (۳-۹) و شکل (۳-۱۰) نمایی از وضعیت ایستگاه‌های رسوبی برداشت شده را نشان می‌دهد. برای این ایستگاه‌ها اطلاعاتی همچون قطر متوسط دانه‌ها، مقدار درصد ماسه، ضریب یکنواختی و

ضریب تغییرات، گزارش خواهد شد. این اطلاعات در پرپایی مدل عددی به منظور بررسی تغییرات رسوب در اطراف بندر نوشهر نیاز خواهد شد.



شکل ۳-۱۹. ایستگاه‌های برداشت رسوبی در سمت غربی بندر نوشهر (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳)



شکل ۳-۱۰. ایستگاه‌های برداشت رسوبی در سمت شرقی بندر نوشهر (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳)

مشخصات رسوبی ایستگاه‌های مختلف در جدول (۳-۱) تا جدول (۳-۴) آورده شده است. ایستگاه ۴۹ قبل از رودخانه واقع شده است و با توجه به جریان‌های رو به پایین نمی‌تواند تحت تأثیر رسوبات رودخانه‌ای باشد. قطر متوسط دانه‌ها در این مسیر از ساحل تا آب عمیق به تدریج کم می‌شود و به مقدار ثابتی خواهد رسید. ضریب تغییرات و یکنواختی در نزدیکی ساحل بیشتر از آب‌های عمیق‌تر است. علت این مسئله نیز تنوع دانه‌بندی رسوبات به خصوص حضور مخلوط شن و ماسه در اطراف

ساحل است. در مسیر ۵۰ و ۵۱ نیز تغییرات تقریباً به مانند مسیر ۴۹ می‌باشد. در این قسمت نیز سواحل شامل مخلوط رسوبی شن و ماسه می‌باشد. تغییرات قابل ملاحظه تنها در ایستگاه‌های نزدیک ساحل مشاهده و در اندازه متوسط رسوبات می‌باشد. به طور کلی در قسمت غربی بندر، رسوبات در آب‌های عمیق‌تر یکسان و یکنواخت هستند. از عمق تقریباً ۶ به بعد تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مشخصات رسوبی مشاهده نمی‌شود و این تغییرات در طول ساحل نیز یکسان است. البته مقداری لای در آب‌های عمیق‌تر و نزدیک بندر مشاهده شده است. اما در نواحی ساحلی وقتی از بندر به سمت غرب حرکت می‌کنیم اندازه رسوبات بزرگ‌تر خواهد شد. در مجموع مشخصات رسوبی در قسمت غربی و در محدوده بین رودخانه و بندر یکسان می‌باشد. اما در قسمت شرقی بندر و در مسیر ۵۲ اندازه رسوبات به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. سواحل این قسمت بیشتر به صورت شن می‌باشد. حتی اندازه رسوبات در قسمت شرقی بندر تا دو برابر اندازه آن در آب عمیق قسمت غربی می‌باشد. به طور کلی در قسمت شرقی اندازه رسوبات بزرگ‌تر از قسمت غربی می‌باشد و در این قسمت با دور شدن از بندر اندازه رسوبات به سمت شرق‌تر، کوچک‌تر خواهد شد. علاوه بر اندازه‌گیری‌هایی که به صورت منظم انجام شده است، در چند ایستگاه به صورت نامنظم اندازه‌گیری‌هایی صورت گرفته است که در شکل (۳-۱۱) محل ایستگاه‌ها و اندازه متوسط رسوب دیده می‌شود. این برداشت‌های میدانی نیز نشان می‌دهد که اندازه رسوبات در قسمت غربی بندر یکنواخت‌تر و در سمت شرقی غیر یکنواخت و درشت‌تر است (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳).

جدول ۱-۳. مشخصات رسوبی ایستگاه ۴۹ (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳)

ایستگاه	D50	D10	D30	D60	Cu	Cz	sand	Gravel	Silt	Water depth
49-1	0.6	0.2	0.48	0.7	3.05	1.65	0.94	0.06	0	-
49-2	0.55	0.32	0.4	0.65	2.05	0.77	0.81	0.19	0	-3.0
49-3	0.2	0.15	0.18	0.22	1.47	0.98	100	0	0	-3.5
49-4	0.2	0.13	0.17	0.21	1.62	1.06	100	0	0	-3.5
49-5	0.12	0.09	0.1	0.14	1.56	0.79	100	0	0	-7.4
49-6	0.12	0.09	0.1	0.14	1.56	0.79	100	0	0	-9.6

جدول ۳-۲. مشخصات رسوبی ایستگاه ۵۰ (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳)

ایستگاه	D50	D10	D30	D60	Cu	CZ	sand	gravel	Silt	Water depth
50-1	0.34	0.2	0.3	0.36	1.8	1.25	100	0	0	-
50-2	0.55	0.32	0.4	0.65	2.05	0.77	0.48	52	0	-2.5
50-3	0.2	0.15	0.18	0.22	1.47	0.98	100	0	0	-2.5
50-4	0.2	0.13	0.17	0.21	1.62	1.06	100	0	0	-6.3
50-5	0.12	0.09	0.1	0.14	1.56	0.79	80	0	20	-6.3
50-6	0.12	0.09	0.1	0.14	1.56	0.79	83	0	17	-9.8

جدول ۳-۳. مشخصات رسوبی ایستگاه ۵۱ (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳)

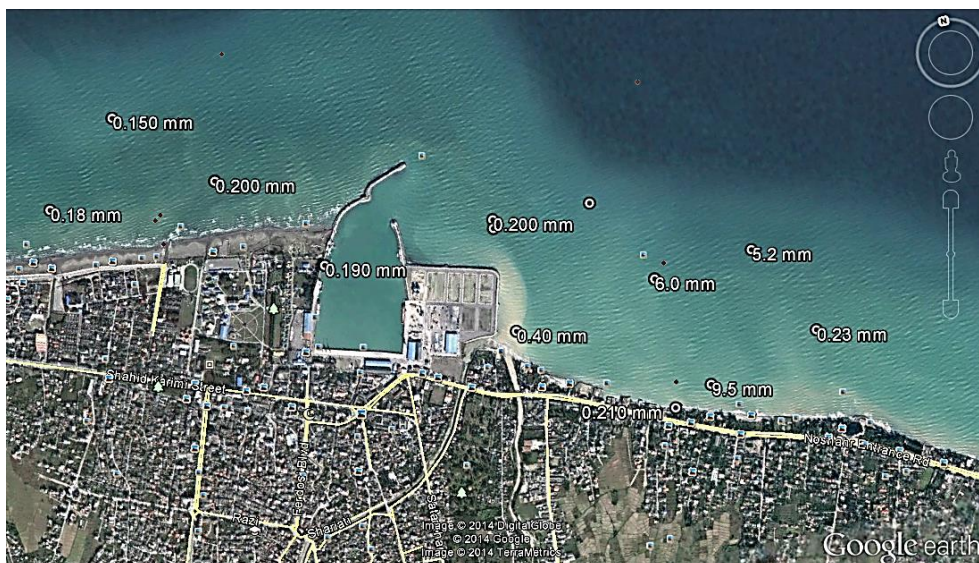
ایستگاه	D50	D10	D30	D60	Cu	CZ	sand	gravel	Silt	Water depth
51-1	0.3	0.16	0.2	0.29	1.81	0.86	100	0	0	-
51-2	0.3	0.16	0.2	0.29	1.81	0.86	100	0	0	-2.1
51-3	0.7	0.09	0.3	0.95	10.56	1.05	0.89	0.11	0	-2.4
51-4	0.2	0.15	0.18	0.22	1.47	0.98	100	0	0	-2.4
51-5	0.1	0.75	0.095	0.14	1.87	0.86	100	0	20	-6.7
51-6	0.12	0.75	0.1	0.14	1.87	0.95	100	0	17	-9.0

جدول ۳-۴. مشخصات رسوبی ایستگاه ۵۲ (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳)

ایستگاه	D50	D10	D30	D60	Cu	CZ	sand	gravel	Silt	Water depth
52-1	1	0.45	0.65	1.4	3.11	0.67				
52-2	2.5	1	1.3	3.51	3.51	0.48	44	56	0	-0.6
52-4	0.28	0.17	0.21	0.3	1.76	0.86	0.89	0.11	0	-2.0
52-5	0.29	0.16	0.21	0.3	1.88	0.92	100	0	0	-6.7
52-6	0.27	0.16	0.2	0.3	1.88	0.83	100	0	20	-10.3

جدول ۳-۵. مشخصات رسوبی ایستگاه ۵۳ (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳)

ایستگاه	D50	D10	D30	D60	cu	CZ	sand	gravel	Silt	Water depth
53-1	0.6	0.43	0.5	0.65	1.51	0.89	100	0	0	-2.9
53-2	0.8	0.1	0.42	0.95	9.5	1.86	67	33	0	-2.9
53-4	0.23	0.16	0.2	0.26	1.63	0.96	100	0	0	-4.1
53-5	0.22	0.16	0.2	0.25	1.56	1	100	0	0	-6.1
53-6	0.23	0.17	0.2	0.26	1.53	0.9	100	0	0	-9.6



شکل ۳-۱۱. نمونه برداری ایستگاه‌های رسوبی در اطراف بندر نوشهر (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳)

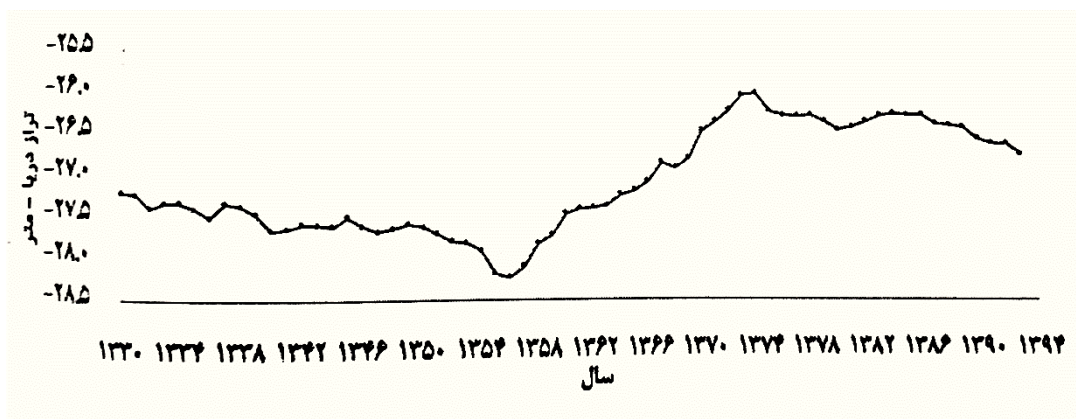
۳-۷ مورفولوژی سواحل اطراف بندر نوشهر

جهت برآیند انتقال رسوب ساحلی سالانه در منطقه چالوس مثل اکثر سواحل شمالی کشور از غرب به شرق می باشد. علت این امر آن است که زاویه موج غالب نسبت به خط عمود بر ساحل به سمت مخالف ساعتگرد تمایل دارد. پیشروی ساحل در سمت غربی بندر و عدم پیشروی ساحل در سمت شرقی آن از زمان احداث (۱۳۰۹ تا ۱۳۱۸) تا کنون، این مطلب را تایید می کند. جنس رسوبات این منطقه نیز همانند اکثر سواحل جنوبی دریای خزر از نوع ماسه است.

در منطقه نوشهر عامل اصلی جابه‌جایی رسوب ساحلی، اثر شکست امواج است که از یک طرف باعث معلق شدن ذرات ماسه‌ای بستر شده و از طرف دیگر جریان موازی ساحل ایجاد می‌کند. جهت خالص حمل رسوب ساحلی سالانه در منطقه نوشهر از سمت غرب به شرق می‌باشد. از زمان احداث بندر نوشهر در سال ۱۳۱۸ تا سالها پس از آن جریان جابه‌جایی رسوب (خالص سالانه از غرب به شرق) به وسیله بندر نوشهر تقریباً قطع شده بود. در این سالها تنها طوفان‌های شدید می‌توانستند ناحیه‌ی شکست موج و انتقال رسوب را تا جلوتر از دهانه بندر گسترش داده و مقداری رسوب از مقابل دهانه بندر عبور دهند. اما پس از گذشت سالها ساحل غربی بندر پیشروی کرده و اطراف هد موجشکن کم عمق شده و مقدار انتقال رسوب از مقابل دهانه افزایش پیدا کرد. طبیعتاً این افزایش در کنار بندر به

مقادیر اولیه حمل رسوب مربوط به قبل از احداث بندر نمی‌رسد زیرا پیشروی ساحل غربی باعث تغییر زاویه‌ی خط ساحل در آن منطقه و نزدیکتر شدن آن به زاویه‌ی عمود بر جهت موج غالب گردید. اطاله موجشکن اصلی بندر احتمالاً باعث کاهش موقتی انتقال رسوب از مقابل دهانه بندر تا چند سال محدود بود. جنس رسوبات در سواحل اطراف نوشهر همانند اکثر سواحل جنوبی دریای خزر از نوع ماسه است (تهران برکلی، ۱۳۹۰).

تغییر تراز آب دریای خزر در طی عمر بندر نوشهر قابل توجه بوده و این پدیده نیز بر میزان کنار گذری رسوب از مقابل دهانه بندر در سال‌های مختلف تاثیر گذاشته است. در سال‌هایی که تراز دریا پایین می‌رود عمق دهانه بندر کمتر می‌شود و عبور رسوب از مقابل آن افزایش می‌یابد. در سال‌هایی که تراز آب دریا بالاتر می‌رود عمق دهانه بندر بیشتر می‌شود و عبور رسوب از مقابل آن کاهش می‌یابد. زیرا در این شرایط خط شکست موج به ساحل نزدیکتر شده و مقدار بیشتری از عرض منطقه‌ی خیزاب ساحلی بوسیله موجشکن اصلی پوشش داده می‌شود. در طی سال‌های عمر بندر نوشهر در ضمن اینکه ساحل غربی در معرض رسوبگذاری قرار داشته است، ساحل شرقی نیز در معرض پتانسیل فرسایش بوده است. شکل (۳-۱۲) تغییرات تراز آب دریای خزر در قرن اخیر را نمایش می‌دهد.



شکل ۳-۱۲. تغییرات تراز ۶۰ سال دریای خزر بر اساس تراز آبهای آزاد (اداره کل سواحل و بنادر استان گیلان)

۳-۸ بررسی تاثیر اطاله موجشکن

مشاهدات و برداشت های کارشناسان محلی نشان می دهد که از سال ۱۳۷۵ به بعد یک پشته رسوبی در دهانه بندر شروع به شکل گرفتن کرده است. این تاریخ همزمان است با اطاله موجشکن اصلی. به این دلیل سوالاتی در رابطه با نقش اطاله در ایجاد پشته رسوبی مطرح شده است. توضیح داده شد که علت این امر پایان یافتن روند بیست ساله افزایش تراز آب و آغاز روند کاهش آن تا سال ۱۳۸۰ بود. با این حال هم زمانی یاد شده باعث طرح این نظریه شده است که اطاله موجشکن اصلی باعث تغییر روند جریان غرب به شرق دریا در زمان طوفان و ایجاد گرداب های ساعتگرد در پشت بندر در سمت شرقی آن می گردد. مشاهدات صیادان نیز حداقل در یک مورد نشانگر انتقال تجهیزات ماهیگیری جدا شده در طوفان تقریبا از مقابل ساحل هتل در شرق بندر به محل دهانه بندر نوشهر بوده است. این نظریه می گوید که چون اطاله موج شکن اصلی باعث بروز گردابه شده و آب برگشتی در مقابل دهانه بندر به سمت دریا جت می شود، مسیر جریان غرب به شرق از مقابل دهانه بندر مانع شده و رسوبات را در همان محل می نشاند (شکل ۳-۱۳). این دیدگاه معتقد است که شاید احیاء اراضی اخیر در ساحل شرقی بندر نیز به تمرکز جریان آب قطع کننده جریان و تشدید این پدیده کمک کرده باشد.

مشاهدات صیادان نشان می دهد که پس از آرام شدن طوفان شمال غربی، تا چند روز جریانی از سمت غرب به شرق بوجود می آید که صیادان آن را به عنوان شورش داشتن دریا می شناسند. این جریان با پدیده شکست موج همراه نیست و همانند جریان عمومی دریا در آن منطقه عمل می کند. شبیه سازی ها نشان می دهد که در این شرایط وجود بندر نوشهر و اطاله موجشکن آن میتواند باعث شکل گیری گردابه در ناحیه شرقی بندر شود. این جریان برگشتی میتواند تورهایی را که در زمان طوفان در شرق جدا شده اند به سوی دهانه بندر هدایت کند. اما باید توجه داشت که در این شرایط دیگر انتقال رسوب قابل توجهی در منطقه وجود ندارد. انتقال رسوب ماسه ای قابل توجه در زمانی اتفاق می افتد که علاوه بر جریان، پدیده شکست موج هم برقرار باشد (تهران برکلی، ۱۳۹۰).



شکل ۳-۱۳. تشکیل زبانه رسوبی پس از ساخت اطاله موجشکن

۳-۹ جمع بندی

هندسۀ موجشکن بندر نوشهر در سال‌های ابتدایی ساخت آن، دارای طرح بندر با دهانه رو به دریا بوده است که پس از مشکلات نفوذ امواج با ساخت اطاله روی موجشکن اصلی به یک بندر تک موجشکن یا یک طرفه تبدیل شده است. سال‌های ابتدایی ساخت به دلیل انباشت رسوبات در بالادست موجشکن اصلی، مشکل رسوبگذاری در مقابل بندر وجود نداشته است. اما پس از پر شدن ظرفیت بالادست موجشکن و پیشروی ساحل به سمت دریا، زبانه ماسه ای به سمت دهانه بندر حرکت کرده و باعث ایجاد مشکل رسوبگذاری برای بندر شده است. همچنین طرح فعلی بندر، بر اساس شواهد محلی و مشاهدات صیادان، باعث تشکیل یک جریان گردابه ای در جلوی دهانه بندر در زمان طوفان می‌شود که می‌تواند باعث تله اندازی رسوب در این محل شود. کاهش تراز سطح آب دریای خزر نیز باعث تشدید مشکل رسوبگذاری بندر شده است. زیرا با عقب نشینی خط ساحل، ناحیه شکست موج تغییر کرده و دهانه بندر به داخل ناحیه شکست رسیده است.

یکی از مطالعات مهمی که در سال‌های اخیر با هدف شناخت هیدرودینامیک و مورفولوژی بندر نوشهر، انجام گرفته است، مربوط به مطالعات شرکت مهندسین مشاور پویا طرح پارس تحت عنوان "پایش و

مطالعات شبیه سازی سواحل شمالی کشور" بوده است. در گزارش این مطالعه نتایج کلی از وضعیت مشکلات رسوبی بندر نوشهر به صورت زیر بیان گردیده است:

- جریان قوی غرب به شرق و شرق به غرب در منطقه وجود دارد.
- جریان گردابه‌ای قوی در اثر جریان غرب به شرق به وجود خواهد آمد.
- بخشی از رسوباتی که به همراه جریان غرب به شرق به جلوی دهانه بندر می‌رسند در اثر کاهش ناگهانی سرعت در جلوی بندر ته نشین می‌شوند.
- جریان شرق به غرب نیز می‌تواند بخشی از رسوبات رودخانه ماشلک را به سمت دهانه بندر برساند.
- افزایش ورود رسوبات از رودخانه‌ها باعث تشدید مشکل بندر نوشهر می‌شود.

در فصل بعد ابتدا به مدلسازی وضعیت فعلی بندر نوشهر، صحت سنجی مدل محلی و بررسی الگوی جریانات و وضعیت رسوبگذاری بندر پرداخته خواهد شد و با توجه به نتایج بدست آمده از مدلسازی و نتایج مطالعات پیشین، راه‌حل‌هایی برای کاهش مشکلات ارائه خواهد شد.

فصل ۴: مدل سازی و تفسیر نتایج

۴-۱ پیشگفتار

انتقال رسوب در محیط های ساحلی یک فرآیند مداوم تحت اثر عوامل باد، امواج و جزر و مد است. تغییرات شدید آب و هوا مانند طوفان باعث تسریع روند این انتقال در مناطق ساحلی می شود. این فرآیندهای طبیعی از طریق مداخله انسان به ویژه از طریق ساخت سازه های ساحلی مانند: آبشکن ها، موجشکن ها، بنادر و... تغییر می کند. این فرآیندهای پیچیده را می توان از طریق اتصال مدل های موج، هیدرودینامیک و انتقال رسوب، مورد بررسی قرار داد. از جمله این نرم افزارها می توان به Mike (DHI), Delft 3D اشاره کرد که در این مطالعه از نرم افزار Mike21 از مجموعه نرم افزاری Mike استفاده شده است.

۴-۲ معرفی نرم افزار Mike21

مدل های مختلف ریاضی، اعم از Mike3، Mike21، Mike11 و ... در این نرم افزار گنجانده شده است. از میان مدل های ریاضی مطرح در جهان در تحلیل پدیده های حاکم بر محیط دریا، مدل ریاضی Mike21 یکی از شناخته ترین آنهاست. این برنامه ی کامپیوتری که توسط انستیتو هیدرولیک دانمارک و با همکاری انستیتو کیفیت آب پایه ریزی و به مرور زمان تکمیل و توسعه یافته است، دارای قابلیت های محاسباتی و گرافیکی بالایی در زمینه ی مدل کردن پدیده های مربوط به خورها، دریاچه ها، نواحی کم عمق ساحلی، خلیج ها و دریاها می باشد.

این نرم افزار سیستم جامعی برای مدل کردن جریان های آزاد دوبعدی است که در آنها لایه بندی جریان سیال قابل نظر باشد و در عین حال در کامپیوترهای موجود قابل اجرا است. رقم های پسوند ۲۱ از چپ به راست در واقع کاربرد این سیستم برای جریان های دو بعدی و یک لایه را بیان می کند.

این مدل با دارا بودن قابلیت های گوناگون در دریافت اطلاعات ورودی در محدوده ی وسیعی از کاربردها و ارائه ی خروجی های مناسب جهت کاربردهای تحقیقاتی و مهندسی، ابزاری مناسب جهت تحلیل پدیده ی رسوب گذاری و فرسایش در سواحل و تعیین نرخ انتقال می باشد.

این مدل با بهره گیری از ماژول های مختلف، توانایی بررسی پدیده هایی همچون موارد زیر را دارا می باشد (Mike21 Manual, 2014):

✓ تغییرات سطح آب و جریان های ناشی از پدیده جزر و مد (Tidal Exchange and Currents)

✓ افزایش ارتفاع سطح آب در اثر باد های شدید (Stom Surge)

✓ انتشار یا توزیع شوری و حرارت (Heat and Salt Recirculation)

✓ بررسی کیفیت آب (Water Quality)

✓ انتشار یا توزیع آلودگی هایی از جنس فلزات سنگین (Heavy Metals Dispersion)

✓ توزیع امواج در داخل بندرگاه (Harbors Wave disturbance)

✓ بررسی اثرات پدیده تفرق امواج با در نظر گرفتن موج طیفی (Spectral Wave Diffraction)

✓ انتشار امواج از منطقه آب عمیق به منطقه ساحلی (Near shore spectral Wind)

✓ ناوبری در بنادر (Ship Motion)

✓ برآورد نرخ انتقال رسوبات و میزان نهشت و فرسایش در منطقه ساحلی (Longshore sediment

transport rate & erosion and deposition in coastal region)

این مدل قادر است با گرفتن اطلاعات اولیه مربوطه پارامترهای اساسی و لازم برای امر طراحی در

پروژه هایی نظیر ساخت بندرگاه ها، انتخاب روش های حفاظت سواحل، مدل های متشابه برای

ناوبری و مانور کشتی ها، سازه های دور از ساحل و حتی خطوط لوله در بستر دریاها را فراهم آورد.

مدل ریاضی Mike21 از ماژول های متعددی جهت شبیه سازی پدیده ها استفاده می نماید که از نظر

موضوعی به شرح زیر قابل دسته بندی می باشند (Mike21 Manual, 2014):

۱. هیدرولیک ساحلی و اقیانوس شناسی "Coastal Hydraulics & Oceanography"، که شامل

مدلسازی هیدرولیک جزرومد، باد، موج های به وجود آمده توسط جریان ها، امواج طوفانی و

امواج سیلاب می باشد.

✓ ماژول باد موج طیف (Spectral Wind - Wave Module)

✓ ماژول هیدرودینامیکی (Hydrodynamic Module)

۲. هیدرولیک محیط زیست " Environmental Hydraulics "، این بخش هرچیزی را از جابجایی و حرکت طبقات اتمسفری بصورت افقی تحت تاثیر گرما به صورت نرمال و پراکندگی آلاینده های محافظه کارانه تا کیفیت آب شامل واکنش های شیمیایی را شبیه سازی می کند.

✓ ماژول کیفیت آب (Water Quality Module)

✓ ماژول فلزات سنگین (Heavy Metal Module)

۳. امواج " Waves "، این بخش نیز تلاطم امواج در بندرگاه ها، پیش بینی، پارامترهای طراحی موج، تغییر شکل های غیر خطی و تکان های کشتی را شامل می شود و به عنوان ابزاری برای طراحی بندرگاه سازه های ساحلی، کانال های کشتیرانی و آزمایش اثر امتداد موج شکن های جدید بکار گرفته می شود.

✓ ماژول امواج بوسینیسک (Boussinesq wave)

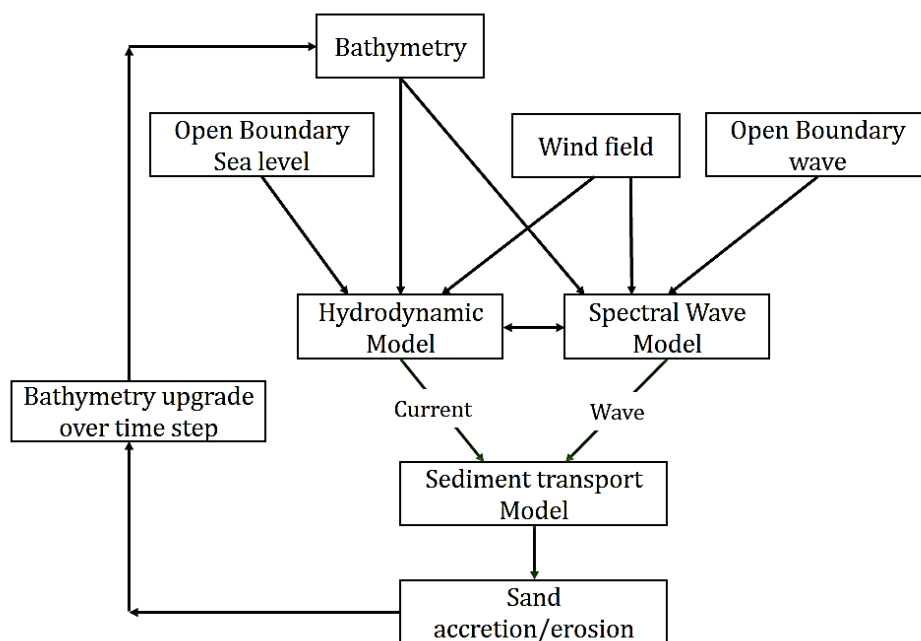
۴. مراحل رسوب بر سواحل " Sediment Processes on Coast "، شامل پژوهش های انتقال رسوب جهت کانال های کشتیرانی، دهانه های بنادر، سواحل، اسکله ها و... می شود.

✓ ماژول انتقال ماسه (Sand Transport Module)

✓ ماژول انتقال رس و لای (Mud Transport Module)

۳-۴ انتخاب ماژول

با در نظر گرفتن ماهیت نسبتاً کم عمق و وضعیت جغرافیای بندر نوشهر، تصمیم گرفته شد که یک مدل کوپل موج و هیدرودینامیک، دو بعدی با عمق متوسط مناسب ترین ابزار برای این مطالعه است. خلاصه ای از ماژول های مختلف سیستم مدل سازی MIKE 21 بصورت شماتیک تنظیم مدل بصورت کوپل در شکل (۱-۴) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱. روند عملکرد ماژول های مورد استفاده‌ی مدل‌سازی در این مطالعات

۴-۴ ماژول SW

۴-۴-۱ معادلات حاکم بر ماژول SW

مدل ریاضی مورد استفاده جهت پیش بینی مشخصه های امواج، ماژول SW می باشد. مبنای این مدل برای پیش بینی موج، معادله انتقال انرژی همراه با ترم چشمه و چاه می باشد. به منظور لحاظ کردن طبیعت تصادفی امواج دریا، معادله انرژی در شکل طیفی آن در نظر گرفته می شود (شیرین و همکاران، ۱۳۹۴). شکل معادلات در حالت دوبعدی به صورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\cos \theta}{c} \frac{\partial (E.C.C_g)}{\partial x} + \frac{\sin \theta}{c} \frac{\partial (E.C.C_g)}{\partial y} + \frac{C_g}{c} \left\{ \sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y} \right\} \frac{\partial E}{\partial \theta} = S \quad (1-4)$$

E: طیف انرژی موج فرکانسی جهتی، t: زمان، x,y: مختصات دکارتی در حالت دوبعدی، f: فرکانس،

θ : جهت انتشار موج، C_g : سرعت گروهی موج، C: سرعت انتشار موج، S: عبارت چشمه و چاه.

معادله فوق خاطرنشان می کند که هر مولفه از یک طیف فرکانسی جهتی با سرعت گروهی موج حرکت می کند و در مسیر خود تحت اثر افزایش یا کاهش انرژی ناشی از توپوگرافی کف دریا، سرعت و جهت باد و نیز شکل طیف قرار می گیرد. آخرین عبارت در سمت چپ معادله مذکور اثر انکسار و

پشته کردن موج را در نظر می‌گیرد. عبارت منبع در سمت راست معادله انتقال موج بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} + S_{bot} + S_{surf} \quad (2-4)$$

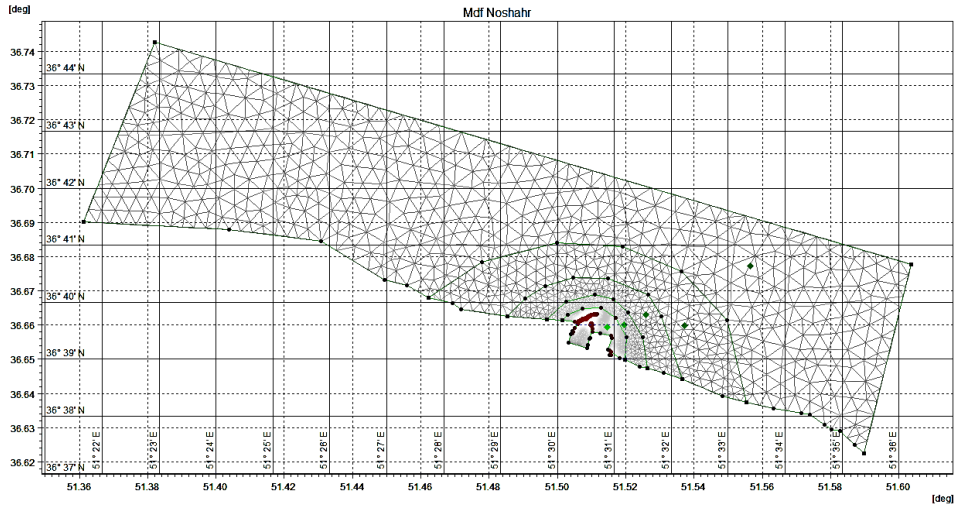
که در آن S_{in} معرف انتقال انرژی از باد به سطح آب، S_{nl} معرف انتقال انرژی از یک فرکانس به فرکانس دیگر توسط اندرکنش غیرخطی امواج، S_{dis} معرف استهلاک انرژی موج در اثر پدیده سفیدک راس موج^۱، S_{bot} معرف استهلاک موج ناشی از اندرکنش با بستر دریا، S_{surf} معرف استهلاک انرژی موج ناشی از شکست موج در ناحیه کم عمق می‌باشد.

۴-۴-۲ داده های ورودی و شرایط مرزی در ماژول SW

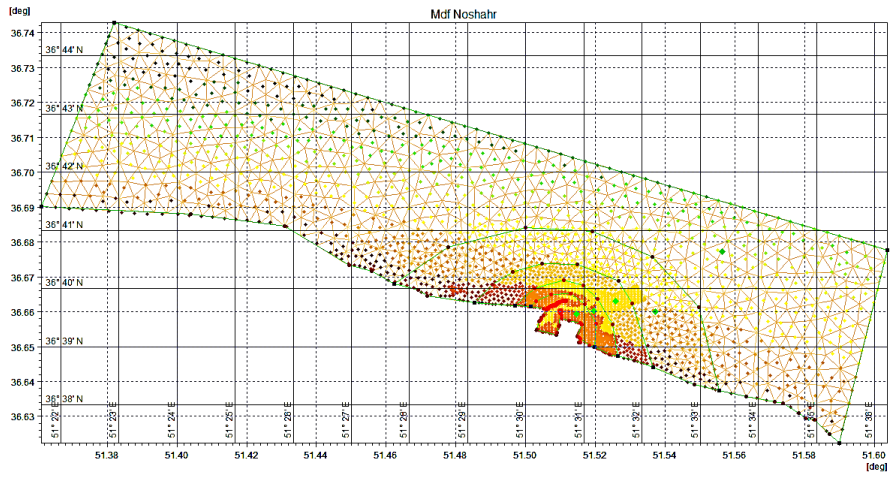
داده های ورودی در این ماژول شامل داده های عمق سنجی، داده های مربوط به هندسه مرزهای مدل، داده های موج، داده های باد، داده های مربوط به شرایط مرزی در مرزهای مدل بوده و داده های خروجی نیز شامل خصوصیات موج، اعم از ارتفاع و پرپود آن و همچنین تنش تشعشی می باشد. یکی از مهم ترین عوامل در مدلسازی عددی امواج، هیدرودینامیک و مورفولوژی، داده های هیدروگرافی است. این داده ها به ویژه در انتقال موج به نزدیک ساحل و انتقال رسوب در آب کم عمق تاثیرگذار است.

هندسه مدل به گونه ای انتخاب گردید تا با داده های هیدروگرافی منطقه نوشهر سازگاری داشته و بر اساس توصیه راهنمای نرم افزار Mike21 برای مدلسازی مناطق ساحلی باشد (شکل ۴-۲). در شکل (۴-۳) داده های هیدروگرافی بندر نوشهر در شبکه مش اولیه نشان داده شده است.

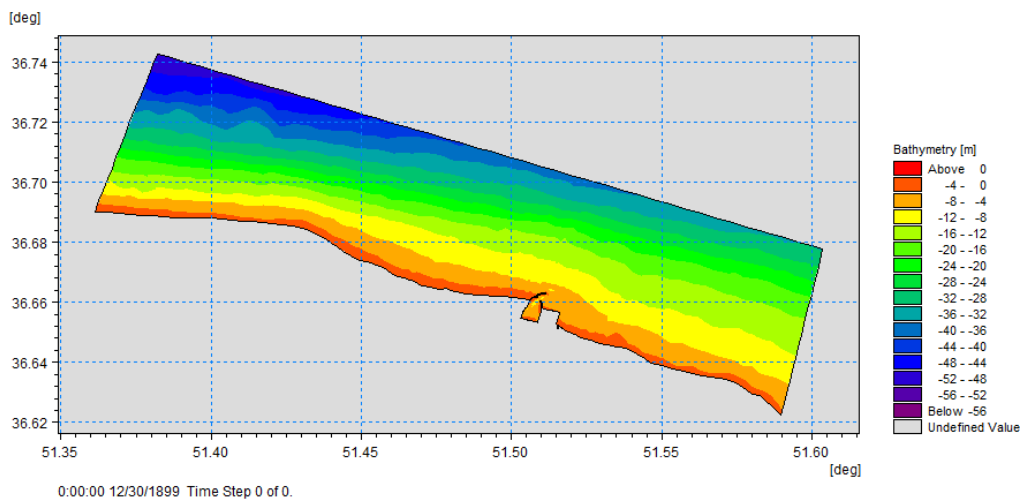
^۱White capping



شکل ۲-۴. شبکه مش محاسباتی

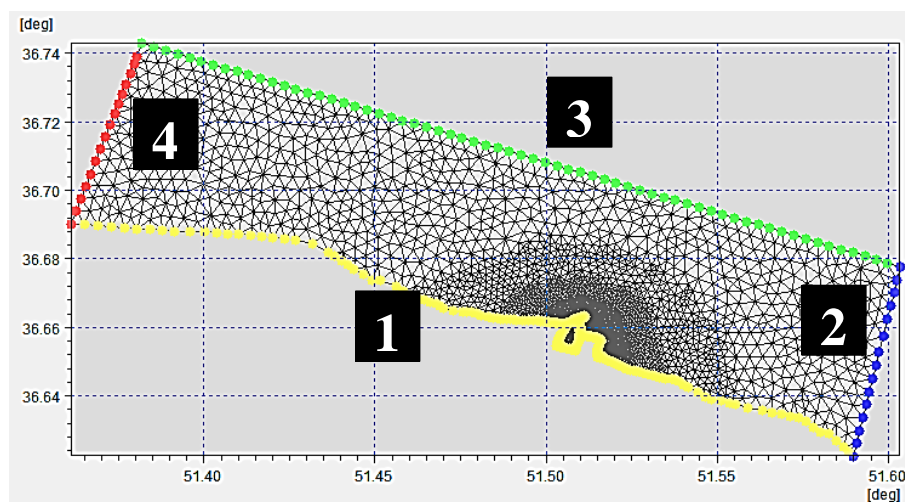


شکل ۳-۴. داده های هیدروگرافی



شکل ۴-۴. هیدروگرافی نهایی برای مدل سازی

مرزهای مدل با ۴ کد نامگذاری شده است (شکل ۴-۵) که، شرایط مرزی در مرزهای مدل مطابق جدول (۴-۱) تعریف شده است. کد ۱ مرز خشکی مدل است و کد ۳ مرز ورودی موج است که داده های آن از خروجی مدل بزرگ مقیاس استخراج شده است. کد ۲ و ۴ مرزهای جانبی مدل هستند و برای این نوع از شرط مرزی یک محاسبه یک بعدی از معادلات اساسی در امتداد خط مرزی حل می-شود. اطلاعات امواج دریافتی در نقطه شروع و نقطه پایان خط از خطوط مرزی متصل به دست می-آید.



شکل ۴-۵. مرزهای مدل

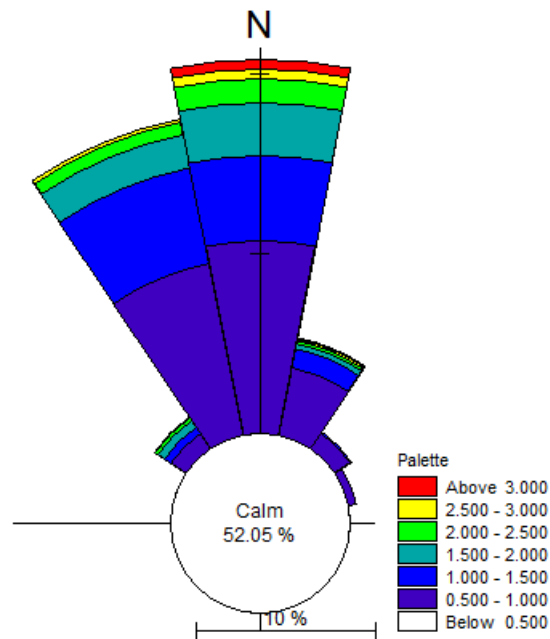
جدول ۴-۱. معرفی مرزهای ماژول SW

Boundary Name	Format
Code 1	Land boundary
Code 2	Lateral boundary
Code 3	Wave parameters (Varying in time, constant along)
Code 4	Lateral boundary

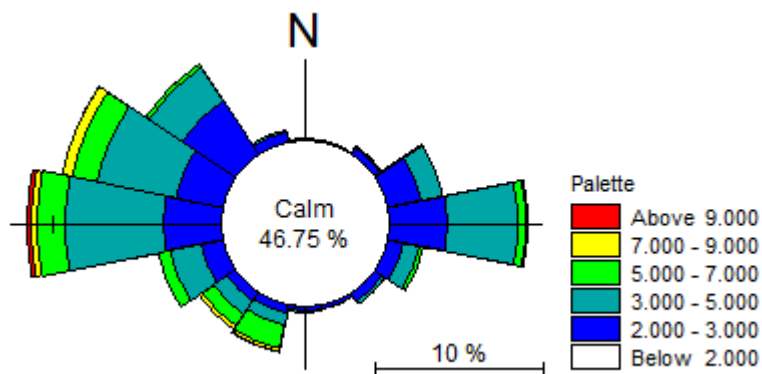
۴-۳-۴ اطلاعات موج و باد ورودی مدل

اطلاعات موج مربوط به سال ۲۰۱۳ به صورت سری زمانی با فاصله زمانی ۱ ساعت در مرز شمالی مدل که از مدل بزرگ مقیاس سازمان بنادر و دریانوردی استخراج شده، استفاده شده است. این مدل در مطالعات پایش و مونیترینگ دریای خزر توسط این سازمان ساخته و کالیبره شده است. شکل (۴-۶) گل موج سال ۲۰۱۳ را برای منطقه نوشهر با تفکیک ۲۲/۵ درجه نمایش می-دهد. به منظور

اعمال نیروی باد در مدل از یکی از معروفترین و در عین حال در دسترس ترین داده های هواشناسی، داده های مدل عددی مرکز اروپایی پیش بینی میان مدت هوا (ECMWF) بصورت سری زمانی برای کل سال ۲۰۱۳ با گام زمانی یک ساعت استفاده شده است. شکل (۴-۷) گل باد منطقه نوشهر را نشان می دهد.



شکل ۴-۶. گل موج سری زمانی سال ۲۰۱۳ در مرز شمالی



شکل ۴-۷. گل باد برای منطقه نوشهر

۴-۵ ماژول هیدرودینامیک HD

۴-۵-۱ معادلات حاکم بر ماژول هیدرودینامیک HD

ماژول هیدرودینامیک (HD)، تغییرات سطح آب و جریان در واکنش به نیروهای مختلف در محیط-های دریایی را نشان می دهد. معادلات این ماژول به صورت متداول در حالت سه بعدی بیان می شود ولی معادلات برای جریان دو بعدی، با انتگرال گیری معادلات بر روی اعماق بدست می آید. معادلات بقای جرم و مومنتم به عنوان معادلات حاکم در این ماژول می باشد که در معادلات (۴-۳ تا ۴-۵) آورده شده است. در این ماژول جهت حل معادلات از روش حجم محدود استفاده شده است.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (۳-۴)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 h^2} - \gamma \left[\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right] - \omega q - fvv_x + h \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{p_a}{p_w} \right] = 0 \quad (۴-۴)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 h^2} - \gamma \left[\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right] - \omega q - fvv_y + h \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{p_a}{p_w} \right] = 0 \quad (۵-۴)$$

در معادلات بالا پارامترها به صورت زیر معرفی می گردند:

h: عمق آب t: زمان x,y: مختصات دکارتی در حالت دو بعدی f: ضریب اصطکاک باد؛ تغییرات

تراز سطح آب c: ضریب شزی Pa: فشار هوا P: جرم حجمی آب u,v: سرعت متوسط عمقی در

جهت های مختلف p,q: دانسیته شار در جهت های مختلف

مقادیر پارامترهایی که در این مطالعات مورد استفاده قرار گرفته اند، در بخش ۴-۷ ارائه گردیده است.

۴-۵-۲ داده های ورودی و شرایط مرزی ماژول HD

در این ماژول داده های مربوط به هیدروگرافی و مش بندی مدل، مشابه ماژول SW است و به دلیل نبود جزر و مد در دریای خزر نیاز به وارد کردن اطلاعات آن نیست. دبی رودخانه های مهم اطراف بندر نوشهر در محل خود به مدل وارد شده و بدلیل کوپل بودن این ماژول با ماژول SW، تنش تشعشعی در تمام سطح مش به ماژول وارد می شود. داده مربوط به تغییرات تراز سطح آب در مرزهای کناری مدل وارد می شود. خروجی های این ماژول شامل: سرعت و جهت جریان و تغییرات سطح آب است.

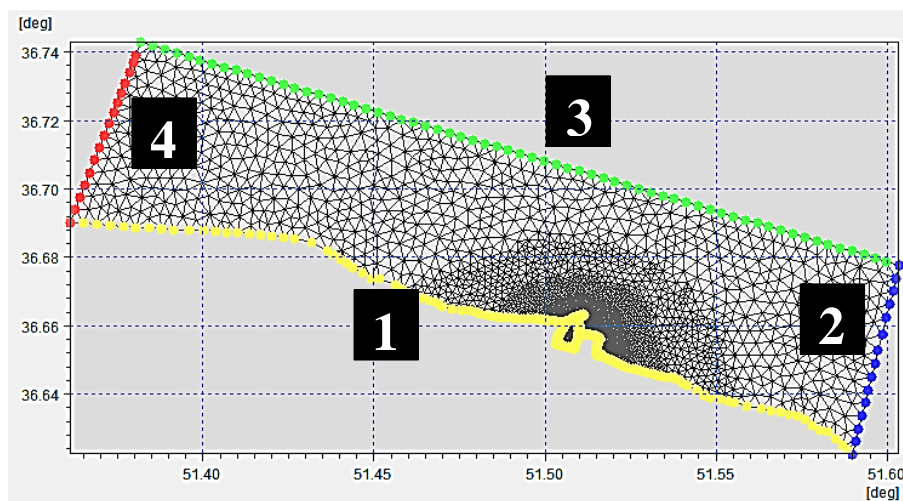
دبی رودخانه های اطراف بندر شامل رودخانه چالوس و کورکورسر در غرب بندر و ماشلک در شرق بندر می باشد که مطابق جدول (۲-۴) در محل مختصات آن به مدل وارد گردید. (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳)

(۱۳۹۳)

جدول ۲-۴. دبی رودخانه های اطراف بندر نوشهر (پویا طرح پارس، ۱۳۹۳)

رودخانه چالوس	۳۰ متر مکعب بر ثانیه
رودخانه کورکورسر	۵ متر مکعب بر ثانیه
رودخانه ماشلک	۵ متر مکعب بر ثانیه

شرایط مرزی در مرزهای مدل مطابق جدول (۳-۴) تعریف شده است. کد ۱ مرز خشکی مدل است و کد ۳ مرز شمالی مدل با فرض سرعت صفر برای جریان تعریف شده است. کد ۲ و ۴ مرزهای جانبی مدل هستند در آن ها از داده های تغییرات تراز سطح آب بصورت سری زمانی در این مرزها از مدل بزرگ مقیاس استخراج شد. شکل (۸-۴) کدگذاری مرزهای مدل را نشان می دهد.

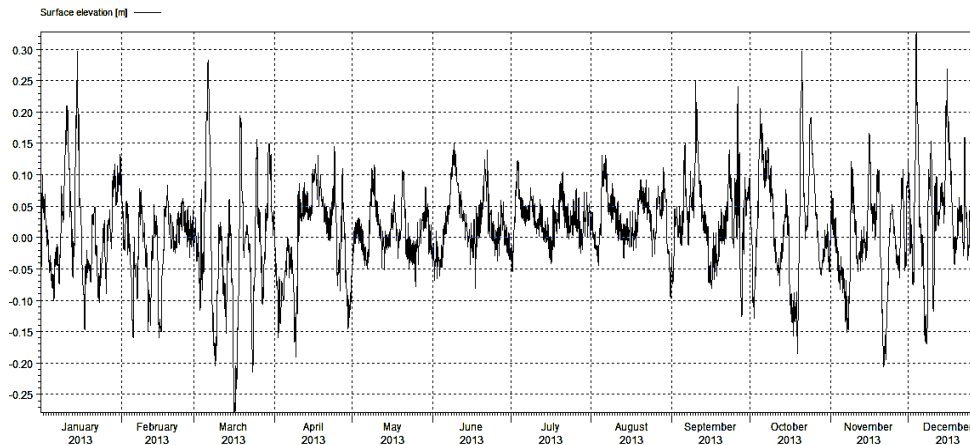


شکل ۸-۴. مرزهای مدل

جدول ۳-۴. معرفی مرزهای ماژول HD

Boundary Name	Format
Code 1	Land boundary
Code 2	Specified level
Code 3	Zero normal velocity
Code 4	Specified level

تغییرات تراز سطح آب بصورت سری زمانی با گام زمانی ۱ ساعت برای کل سال ۲۰۱۳ به مرزهای کناری مدل بصورت ثابت در مرز داده شده است (شکل ۹-۴). این داده های از مدل بزرگ مقیاس دریای خزر مربوط به مدلسازی سازمان بنادر و دریانوردی، استخراج شده است.



شکل ۹-۴. تغییرات تراز سطح آب سال ۲۰۱۳

۴-۶ مازول انتقال ماسه ST

۴-۶-۱ معادلات حاکم بر مازول انتقال ماسه ST

مازول انتقال ماسه (ST)، جهت شبیه سازی انتقال رسوبات غیر چسبنده مورد استفاده قرار می گیرد. معادلات بایکر^۱ به عنوان معادلات حاکم در این مازول می باشد که در معادلات (۴-۶ تا ۴-۸) آورده شده است، قابل ذکر است که در روش بایکر بار بستر^۲ و بار معلق^۳ به صورت جدا از هم حساب شده و در انتها با یکدیگر جمع می شوند. جهت حل معادلات از روش تفاضل محدود استفاده شده است.

$$q_t = q_b + q_s \quad (۴-۶)$$

$$q_b = d_{50} \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}} \exp\left(\frac{0.27(s-1)d_{50}\rho g}{\mu_r \tau_{wc}}\right) \quad (۴-۷)$$

$$q_s = 1.83q_b \left(I_1 \ln\left(\frac{h}{0.033k_s}\right) + I_2 \right) \quad (۴-۸)$$

^۱ Bijker

^۲ Bed load

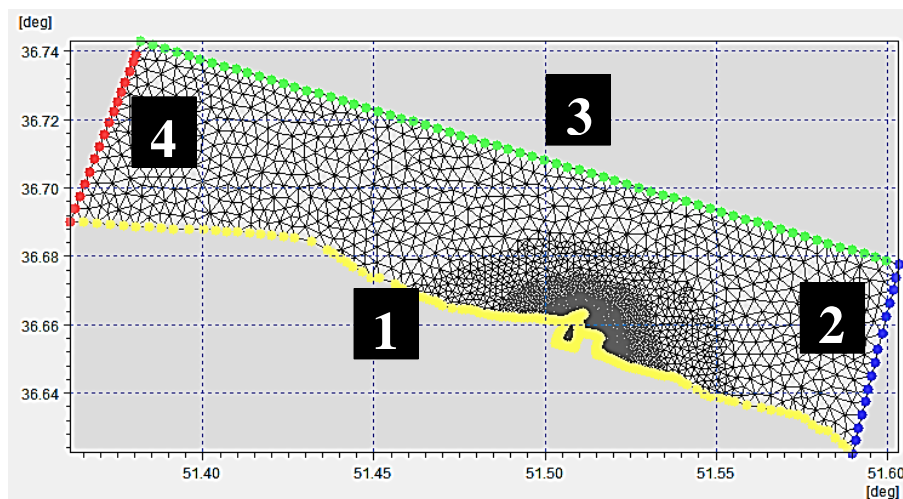
^۳ Suspended load

در معادلات بالا، q_b بار بستر، q_s بار معلق، d_{50} اندازه متوسط ذرات، τ_c تنش برشی بستر، ρ جرم مخصوص آب، S جرم مخصوص نسبی ذرات، g شتاب جاذبه، μ ضریب شکنج، τ_{wc} تنش برشی میانگین بستر، h عمق آب، k_s زبری بستر، I_1 و I_2 انتگرال های انیشتین است.

۴-۶-۲ داده های ورودی و شرایط مرزی ماژول ST

ورودی های مورد نیاز این ماژول مشخصات رسوبات، خروجی های حاصل از برپایی ماژول های موج و جریان و زبری بستر است و خروجی های نرم افزار تغییرات غلظت رسوب، تغییرات تراز بستر، تراز بستر می باشد.

شرایط مرزی در این ماژول مطابق شکل (۴-۱۰) با ۴ کد تعریف شده است که در جدول (۴-۴) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰. مرزهای مدل

جدول ۴-۴. معرفی مرزهای ماژول ST

Boundary Name	Format
Code 1	Land boundary
Code 2	Zero sediment flux gradient for outflow, zero bed change for in flow
Code 3	Zero sediment flux gradient for outflow, zero bed change for in flow
Code 4	Zero sediment flux gradient for outflow, zero bed change for in flow

۷-۴ حساسیت سنجی و کالیبراسیون مدل

پارامترها و عواملی مختلفی در مازول های SW و HD تاثیرگذار خواهد بود که از این رو برای بررسی و ارزیابی تاثیر این عوامل به تحلیل حساسیت آنها پرداخته شد. نتیجه این بررسی نشان داده است که در مدل دوبعدی موج، پارامترهای اصطکاک بستر^۱ و سفیدک راس موج^۲ و در مدل جریان، پارامترهای مقاومت بستر^۳ و لزجت گردابه‌ای^۴ تأثیر زیادی در تغییرات جواب خواهند داشت. جدول (۴-۵) نتیجه بررسی تأثیر پارامترهای موثر را در مدل دوبعدی نشان می‌دهد.

جدول ۴-۵. تحلیل حساسیت پارامترهای مختلف

حساسیت کم	حساسیت متوسط	حساسیت زیاد
اثر یخبندان	ابعاد مش	اصطکاک بستر
پارامتر شکست موج	لزجت گردابه ای	سفیدک راس موج
اثر دبی رودخانه ها	روش حل معادلات	مقاومت بستر

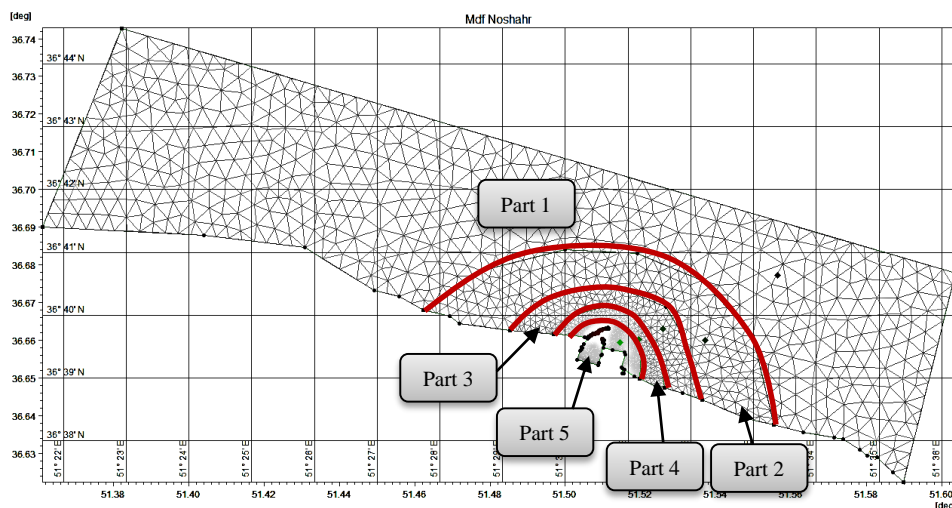
الف. حساسیت سنجی ابعاد مش: برای حساسیت سنجی ابعاد مش، مدل ابتدا با درشت ترین مش مثلثی ممکن، مدل محلی اجرا می شود این کار در ابتدا برای سنجش حساسیت مدل نسبت به ابعاد مش می‌باشد. که ابعاد مش به شکل پلکانی کم شده تا به اندازه مشی رسیده که اولاً مدل ناپایدار نشود، ثانياً اختلاف زیادی در مقایسه خروجی دیده نشود این روش ریچاردسون نام دارد. مطابق شکل (۴-۱۰) بخش‌بندی صورت گرفته در مدل محلی نشان داده شده است. بر این اساس مطابق جدول (۴-۶) ابعاد مش و ابعاد نهایی که واحد آن بر حسب deg^2 می باشد، مشاهده می شود. همچنین در سیستم جغرافیایی هر درجه روی تغییر روی کره زمین معادل ۱۰۰ کیلومتر می باشد.

^۱ Bottom Friction

^۲ White Capping

^۳ Bed Resistance

^۴ Eddy Viscosity



شکل ۴-۱۱. بخش بندی ابعاد مش

جدول ۴-۶. تحلیل حساسیت مش

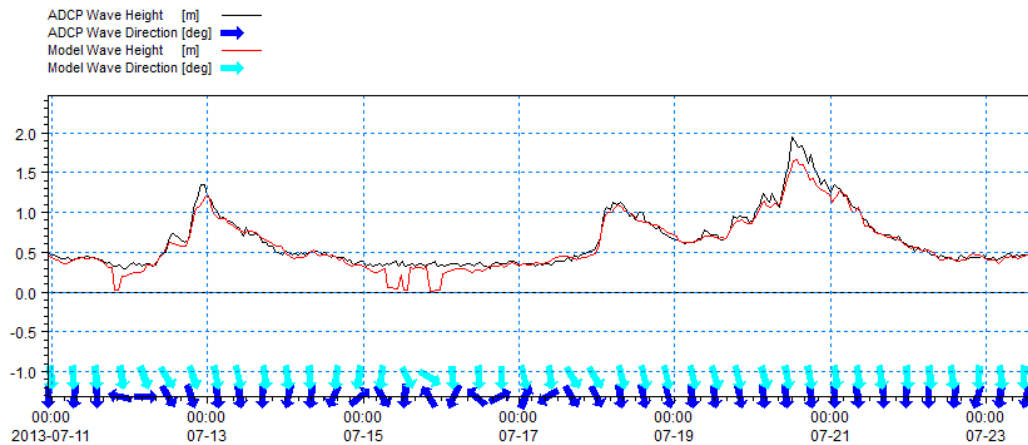
	Rough	Rough/2	Rough/4	Rough/8	Rough/16	Final
Part 1	0.00002	0.00001	0.000005	2.5E-06	1.25E-06	1.5E-05
Part 2	0.00001	0.000005	0.0000025	1.25E-06	6.25E-07	6.2E-06
Part 3	5E-06	2.5E-06	1.25E-06	6.25E-07	3.125E-07	2.47E-06
Part 4	3E-06	1.5E-06	7.5E-07	3.75E-07	1.875E-07	8.65E-07
Part 5	7.5E-07	3.8E-07	1.875E-07	9.38E-08	4.6875E-08	1.25E-07

ب. کالیبراسیون مدل موج و جریان: برای کالیبراسیون ماژول SW، پارامتر اصطکاک بستر طبق توصیه راهنمای نرم افزار از بازه ۰/۲ تا ۰/۰۰۲ تغییر داده شد و در نهایت مقدار ۰/۰۲ بیشترین همپوشانی و برای پارامتر سفیدک راس موج مقدار Cdis در بازه ۱ تا ۴/۵ تغییر داده شد که مقدار ۲ برای این پارامتر بهترین همپوشانی را دارد. شکل (۴-۱۲ و ۴-۱۳) مقایسه نتایج اندازه گیری موج و پیش بینی آن توسط مدل عددی را نشان می دهد.

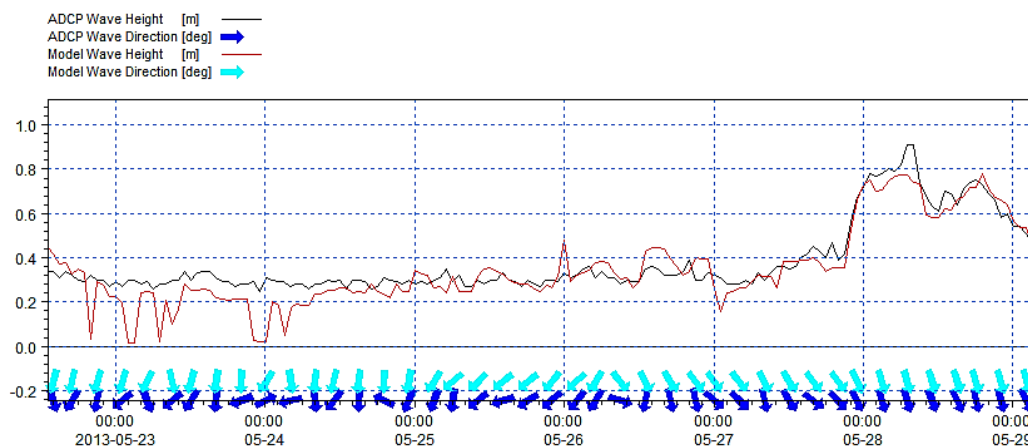
به منظور صحت سنجی مدل های عددی همواره نیاز به داده های آزمایشگاهی یا میدانی است. در این مطالعه از داده های اندازه گیری موج و جریان در ساحل نوشهر با مشخصات مکانی جدول (۴-۶) که از سازمان بنادر و دریانوردی ایران اخذ شده است، استفاده شده است.

جدول ۴-۷. مشخصات ایستگاه های اندازه گیری موج و جریان

عمق ایستگاه	مختصات جغرافیایی		نوع دستگاه	ایستگاه
	X (m)	Y (m)		
۱۰ متری	۵۳۴۶۸۳	۴۰۶۱۵۰۰	AWAC	نوشهر
۵ متری	۵۳۴۸۱۱	۴۰۶۰۸۲۹	AWAC	نوشهر



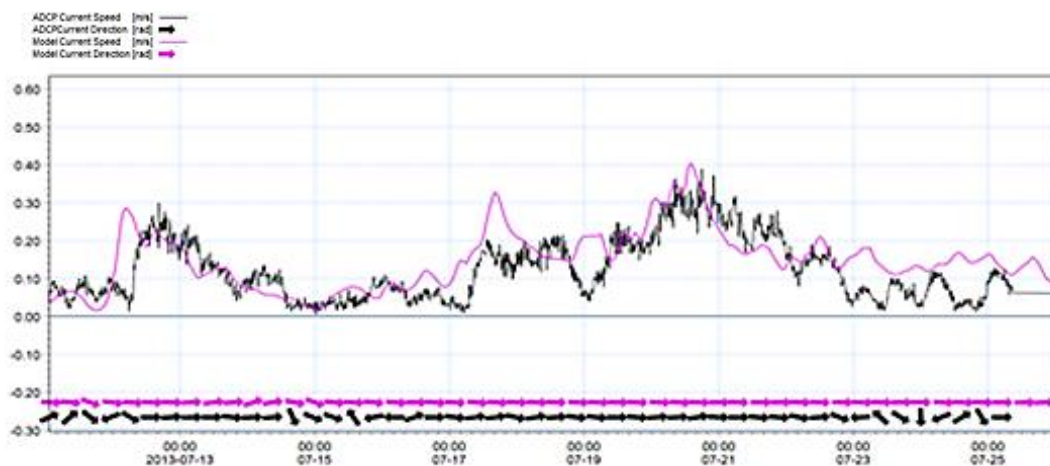
شکل ۴-۱۲. مقایسه نتایج اندازه گیری موج و پیش بینی شده در ایستگاه ۵ متری نوشهر در ماه جولای



شکل ۴-۱۳. مقایسه نتایج اندازه گیری موج و پیش بینی شده در ایستگاه ۵ متری نوشهر در ماه می

برای کالیبراسیون ماژول HD، از پارامتر مقاومت بستر یا ضریب مانینگ (n)، استفاده شده است. ابتدا این پارامتر در بازه عدد ۲۰ تا ۴۰ تغییر داده شد و در نهایت مقدار $۳۲ (m^{1/3}/s)$ ، بهترین همپوشانی را با داده های اندازه گیری جریان داشته است. شکل (۴-۱۴) نیز مقایسه نتایج پیش بینی مدل دو بعدی جریان (همزمان جریان ناشی از باد و شکست موج) را با اندازه گیری های جریان در ایستگاه نوشهر و عمق ۵ متری را در ماه جولای نشان می دهد. متأسفانه اندازه گیری ها برای چند روز

بوده است و از این رو مقایسه برای همین چند روز انجام شده است. مقایسه نتایج جریان در این ایستگاه نیز برای چند روز مطلوب بوده است.



شکل ۴-۱۴. مقایسه نتایج اندازه‌گیری جریان و پیش‌بینی شده در ایستگاه ۵ متری نوشهر در ماه جولای

علاوه بر مشاهده‌ی نتایج رضایت بخش در نمودارهای مقایسه نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل با داده‌های اندازه‌گیری، همچنین از روش‌های نیمه تجربی یا همان پارامترهای آماری نیز میزان دقت مدل ارزیابی شده است. روابط (۴-۹ تا ۴-۱۱) که به ترتیب، ضریب همبستگی پیرسون^۱، جذر متوسط مربع خطاها و درصد خطا نام دارند، برای مقایسه دقت داده‌های مدلسازی نسبت به داده‌های واقعی استفاده شده است.

$$corr = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \times \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (۹-۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_i - x_i)^2} \quad (۱۰-۴)$$

$$Error = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - x_i|}{x_i} \quad (۱۱-۴)$$

در این روابط آماری، x سری آماری نتایج اندازه‌گیری، y سری آماری نتایج پیش‌بینی شده و \bar{x} و \bar{y} متوسط هریک از این دو سری را نشان می‌دهد. n نیز تعداد کل داده‌ها در سری آماری می‌باشد. جدول (۴-۸) دقت داده‌ها را بر اساس روابط بالا نشان می‌دهد.

^۱ Pearson correlation coefficient

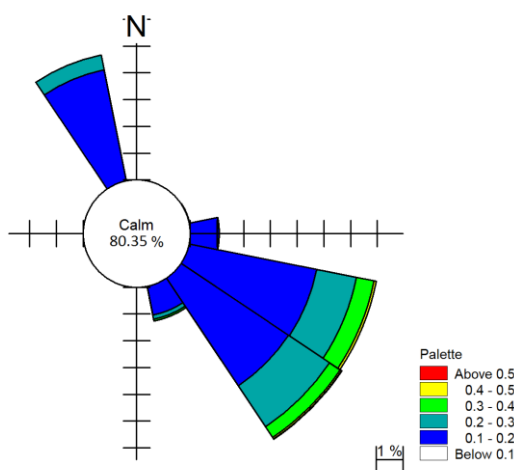
جدول ۴-۸. نتایج مقایسه آماری داده های اندازه گیری شده و پیش بینی شده ی مدل موج

Error %	RMSE (m) ^۱	Corr %	
۱۱/۸۴	۰/۱	۹۵/۲۷	ایستگاه ۵ متری نوشهر

۴-۸ تحلیل و بررسی نتایج مدل سازی

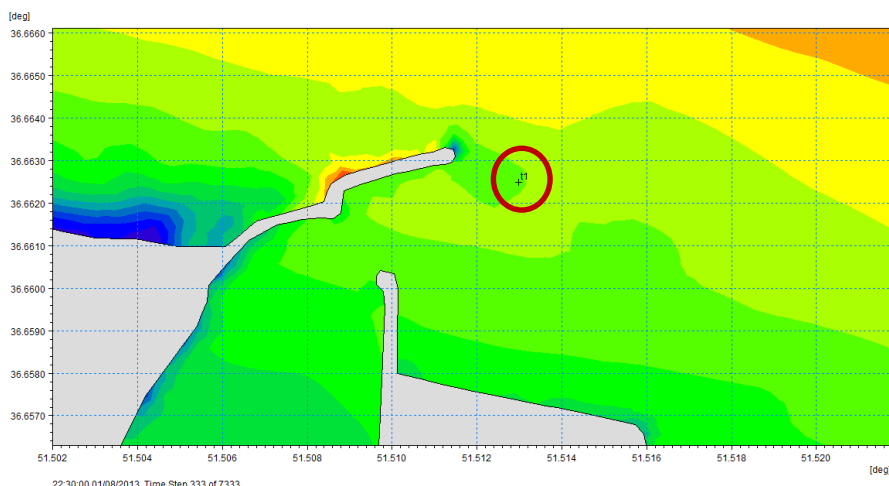
۴-۸-۱ نتایج مدل سازی موج و جریان

در این بخش به بررسی الگوهای جریان در بندر نوشهر و شناخت رژیم های مختلف آن پرداخته می شود. نتایج مدل جریان برای سال ۲۰۱۳ نشان دهنده دو جهت جریان برای منطقه است. شکل (۴-۱۵) جهت جریان را برای ۶ ماه نخست سال ۲۰۱۳ نشان می دهد. همینطور که در مشاهده می شود جریان اصلی و غالب در اطراف بندر، جریان غرب به شرق است. شکل (۴-۱۶) مکان نقطه t1 را که گل جریان در آن ترسیم شده است، نشان می دهد، میانگین سرعت برای جریان غرب به شرق حدود ۰/۲ ثانیه و در زمان طوفان به بیش از ۰/۷ متر بر ثانیه می رسد.



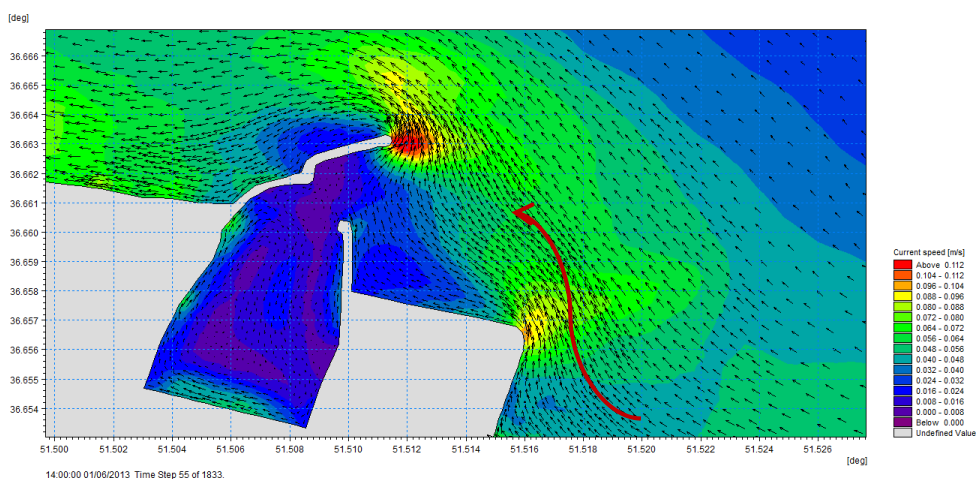
شکل ۴-۱۵. گل جریان برای ۶ ماه نخست سال ۲۰۱۳ در نقطه t1

^۱ محدوده مقادیر ۰/۱ تا ۰/۵ قابل قبول است.

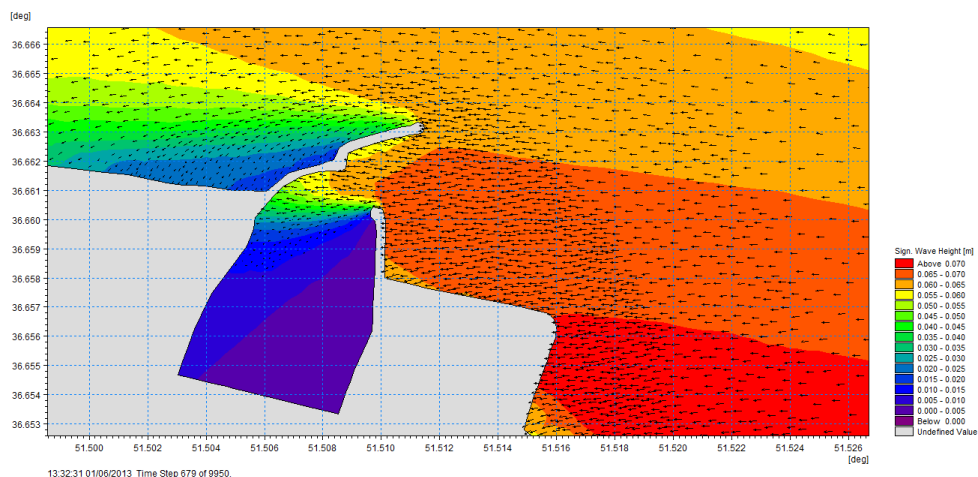


شکل ۴-۱۶. موقعیت نقطه t1 در مقابل بندر به منظور بررسی جریان

همچنین حدود ۸۰ درصد از جریانات سرعت کمتر از ۰/۱ متر بر ثانیه دارند. طبق نتایج مدل موج و جریان، در زمان‌های خاصی از سال، جریان از سمت شرق به غرب بندر وجود دارد (شکل ۴-۱۷). مطابق شکل (۴-۱۸) زمانی که موج از سمت شمال شرق بندر وجود دارد، جریان تغییر جهت داده و از سمت شرق به غرب می‌شود (شکل‌های (۴-۱۷ و ۴-۱۸) جهت جریان و موج را در یک گام زمانی نشان می‌دهند). میانگین سرعت این جریانات حدود ۰/۱ متر بر ثانیه و بیشترین سرعت مشاهده شده حدود ۰/۳ متر بر ثانیه است.

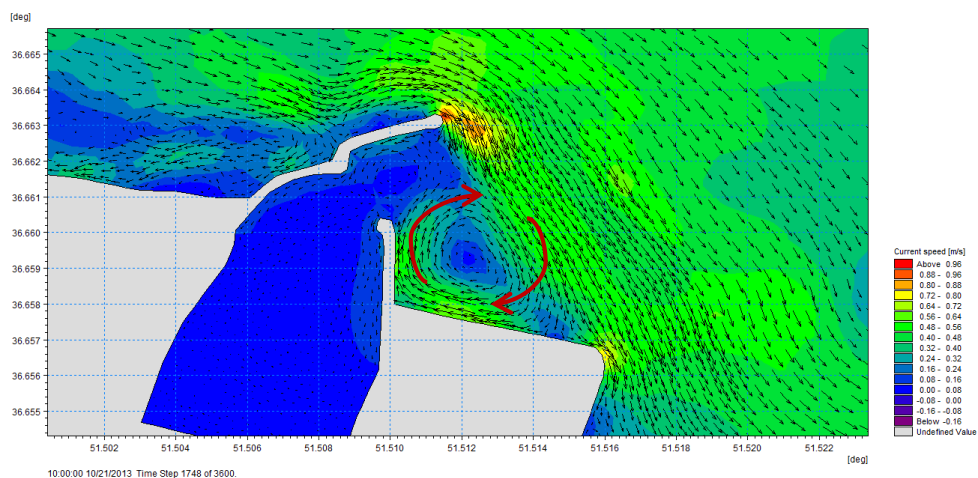


شکل ۴-۱۷. الگوی جریان در اطراف بندر از سمت شرق به غرب



شکل ۴-۱۸. جهت امواج در اطراف بندر در زمان وقوع جریان شرق به غرب

بررسی الگوی جریان در طول سال نشان می‌دهد در زمان امواج طوفانی در مقابل دهانه بندر، یک جریان گردابه‌ای ناشی از جریان پر سرعت غرب به شرق شکل می‌گیرد که می‌تواند ناشی از پدیده نوسان خیزآب در پشت موجشکن اصلی باشد (شکل ۴-۱۹). این جریان گردابه‌ای می‌تواند مسیر حرکت رسوبات را تغییر داده و به مقابل دهانه بندر منتقل کند.



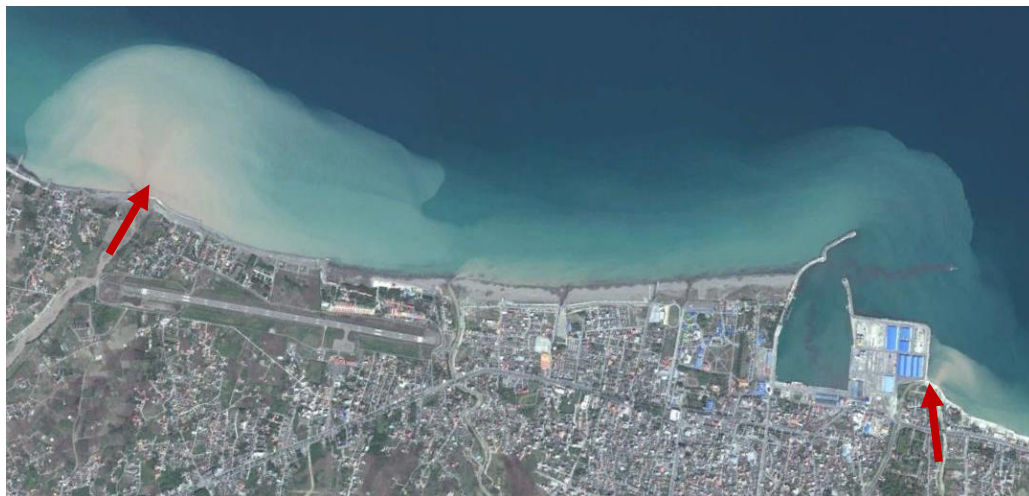
شکل ۴-۱۹. الگوی جریان در زمان طوفان در مقابل دهانه بندر

۴-۸-۲ بررسی مکانیزم‌های رسوبگذاری

با توجه به مباحث مطرح شده از نتایج مدل جریان، دو رژیم جریان غرب به شرق و شرق به غرب در منطقه بندر نوشهر حاکم است. جریان غرب به شرق، جریان غالب منطقه است که با توجه به محاسبه

محاسبه پارامتر شیلدز برای رسوب منطقه، سرعت بحرانی $0/15$ متر بر ثانیه بدست آمده است، می توان گفت که این جریان توانایی انتقال رسوب را دارد.

تصاویر ماهواره‌ای در اطراف بندر به ویژه رودخانه‌های اطراف، نشان می‌دهد منبع اصلی ورود رسوبات به منطقه رودخانه‌های چالوس و ماشلک هستند (شکل ۴-۲۰). مطابق شکل (۴-۲۱) جریان غرب به شرق در زمان طوفان، رسوب را به سمت دهانه بندر حمل می‌کند. این رسوبات هنگام عبور از مقابل دهانه بندر به دلیل وجود جریان گردابه‌ای در این محل، تغییر مسیر داده و با کم شدن سرعت جریان در پشت موجشکن اصلی و در مرکز گردابه، رسوبات درشت دانه ته‌نشین شده و باعث کاهش عمق آب می‌شوند و رسوبات ریزدانه‌تر به پایین دست بندر انتقال می‌یابند. اما با توجه به فرسایشی و دندان‌آبی بودن خط ساحل پایین دست بندر می‌توان نتیجه گرفت بخش زیادی از رسوبات از مقابل بندر عبور نکرده و در مقابل بندر انباشته می‌شود.



شکل ۴-۲۰. رسوبات وارد شده از دو رودخانه چالوس و ماشلک



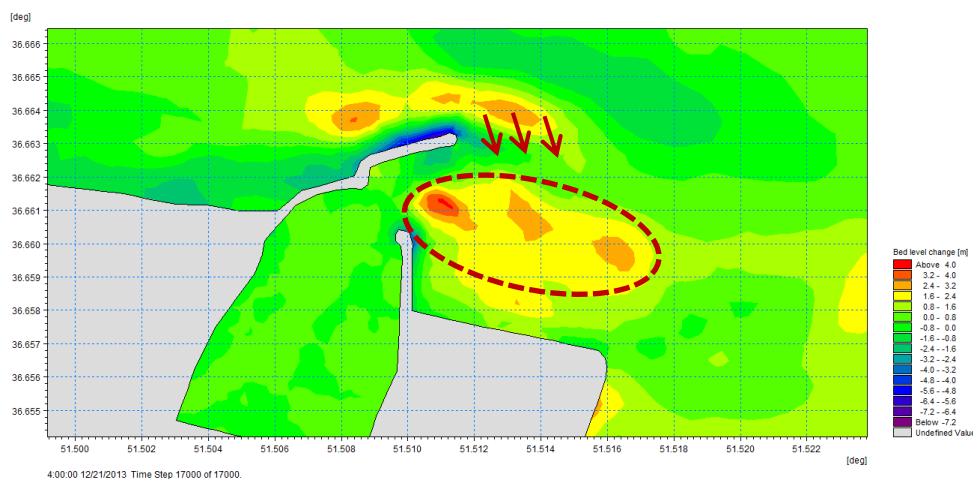
شکل ۴-۲۱. انتقال رسوبات همراه جریان غرب به شرق

همانطور که پیشتر گفته شد، مکانیزم دیگر جریان در منطقه، جریان شرق به غرب است که با توجه به گل باد نوشهر (شکل ۴-۷)، وجود این جریان منطقی بوده و در زمانی که سرعت جریان توانایی حمل رسوب را داشته باشد، این جریان می تواند رسوبات را از سمت شرق بندر و رودخانه ماشلک به طرف دهانه بندر انتقال دهد و بدلیل برخورد جریان با موجشکن اصلی بخشی از رسوبات همراه این جریان در مقابل دهانه بندر انباشته می شود (شکل ۴-۲۲).



شکل ۴-۲۲. انتقال رسوبات رودخانه ماشلک همراه جریان شرق به غرب

مطابق شکل (۴-۲۳) نتایج مدل انتقال رسوب (ST) برای کل سال ۲۰۱۳، نشان می‌دهد رسوبات پس از عبور از مقابل موجشکن اصلی بندر، به سمت مقابل دهانه بندر حرکت کرده و ته‌نشین می‌شوند. که طبق مباحث مطرح شده بالا این نتایج بدست آمده منطقی می‌باشد. همچنین وجود کانال دسترسی بندر که عمق بیشتر نسبت به اطراف خود دارد، می‌تواند به عنوان عاملی تشدید کننده برای مشکل رسوبگذاری بندر معرفی شود. زیرا کانال دسترسی با عمق بیشتر نسبت به اطراف باعث کاهش ناگهانی سرعت جریان در این محل می‌شود و رسوباتی که با جریان گردابه‌ای به مقابل دهانه بندر آورده می‌شوند، در محلی که سرعت جریان کمتر است ته‌نشین می‌شوند.



شکل ۴-۲۳. نمایی از وضعیت رسوبگذاری بندر نوشهر برای یکسال

۴-۸-۳ جمع بندی

انتقال رسوب ناشی از جریان های قوی ناشی از باد و شکست امواج در اطراف بندر نوشهر، پرشدن ظرفیت پشت موجشکن اصلی و دبی رسوبی بالای رودخانه های اطراف بندر بدلیل وجود معادن شن و ماسه، را می توان از عوامل مهم مشکل رسوبگذاری بندر نوشهر برشمرد. هدف اصلی مدلسازی وضعیت فعلی بندر نوشهر، صحت سنجی مدل با داده های اندازه گیری موجود و سازگاری کیفی نتایج مدل با مدلسازی های پیشین بوده است. نتایج مدلسازی وضعیت فعلی بندر نوشهر، مطابقت خوبی با مطالعات پیشین صورت گرفته در بندر نوشهر دارد. از جمله این مطالعات می توان به مدلسازی انجام گرفته توسط شرکت مهندسین مشاور پویا طرح پارس که در فصل قبل بیان گردیده، اشاره کرد.

۴-۹ تحلیل و بررسی نتایج مدلسازی سناریوها

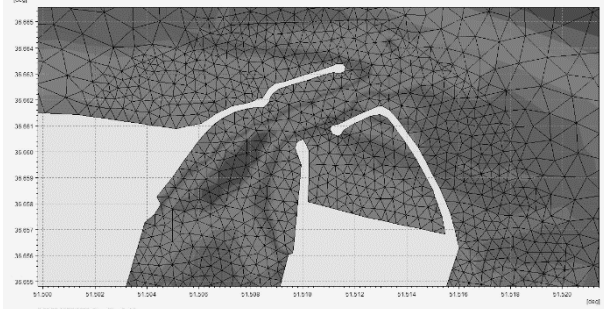
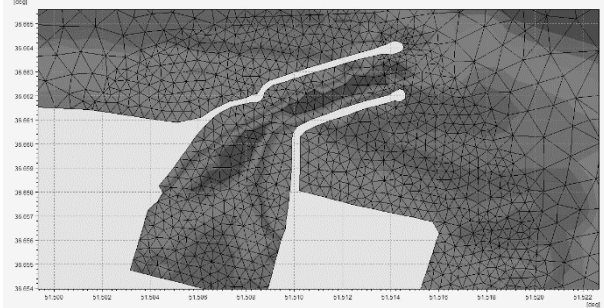
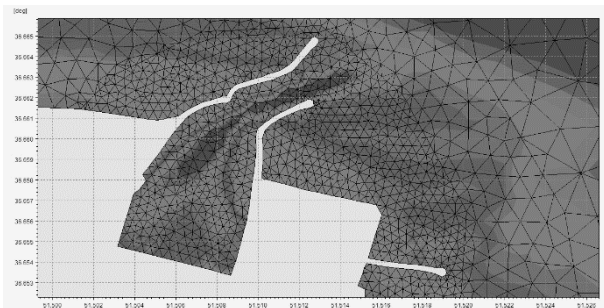
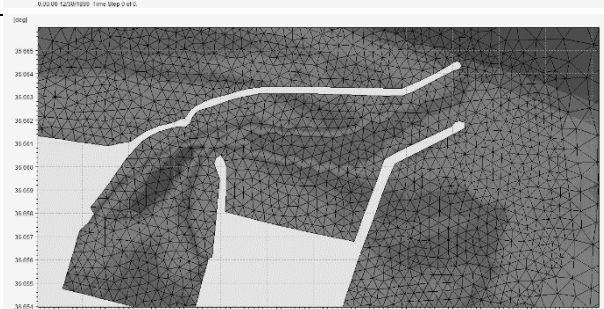
در این قسمت با توجه به مشکلات و عوامل مورد بحث قرار گرفته در قسمت قبل و روشهایی که در مراجع و مقالات برای حل مشکل رسوبگذاری برای بنادر موجود در سواحل ماسه ای پیشنهاد شده است، چهار سناریو برای حل مشکل رسوبگذاری بندر نوشهر و سازگاری آن با کنارگذر طبیعی رسوب، ارائه می شود و مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد.

با توجه به بررسی ها و مطالعات انجام گرفته در فصل سه، سناریوها باید به گونه ای باشند که با اهداف کلی اشاره شده در زیر سازگاری داشته باشند:

افزایش سرعت جریان در مقابل بندر	قطع جریان گردابه ای
کاهش حجم و تمرکز محل لایروبی	کاهش تاثیرات رودخانه های اطراف

جدول (۴-۹) خلاصه ای از مشخصات فیزیکی و هندسه ی سناریوهای ارائه شده را نشان می دهد.

جدول ۴-۹. مشخصات طرح هندسی موجشکن های ارائه شده در سناریوها

سناریو	هندسه	ابعاد موجشکن و عرض دهانه بندر
S1		۸۰۰ متر طول بازوی جدید عرض دهانه بندر ۲۰۰ متر
S2		۳۰۰ متر اطاله روی موجشکن اصلی و ۴۵۰ متر روی موجشکن شرقی عرض دهانه ۲۰۰ متر
S3		۲۵۰ متر اطاله روی موجشکن اصلی، ۳۰۰ متر روی موجشکن شرقی و ۳۵۰ متر دستک در قسمت شرق بندر عرض دهانه ۲۰۰ متر
S4		۸۰۰ متر موجشکن جدید روی موجشکن اصلی و ۷۵۰ متر به عنوان موجشکن ثانویه عرض دهانه ۲۰۰ متر

کلیه این سناریوها برای کل سال مدلسازی و تحلیل قرار گرفت که در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت.

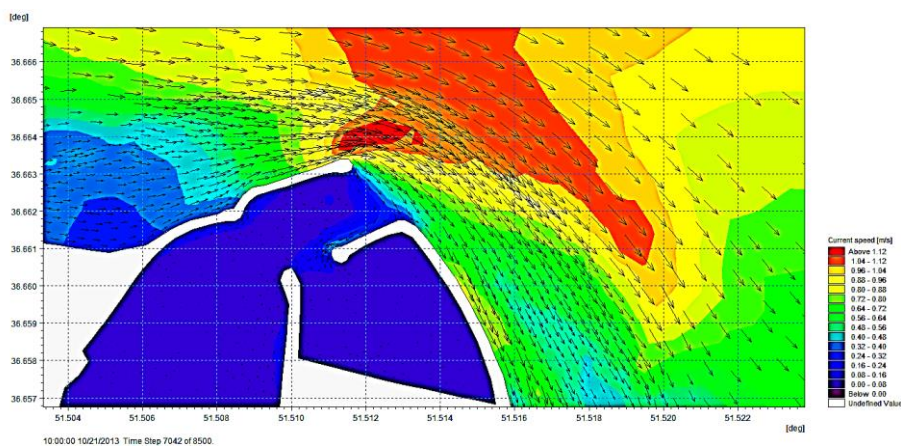
۴-۹-۱ سناریو شماره ۱

این سناریو با هدف ایجاد کنارگذر طبیعی رسوب به پایین دست بندر، قطع جریان گردابه ای و کاهش تاثیرات جریان شرق به غرب، به صورت افزودن یک موجشکن جدید در قسمت شمال شرقی بندر به طول ۷۵۰ متر مدلسازی شد. مطابق شکل (۴-۲۴) بازوی شماره ۱ به طول ۶۰۰ متر به عنوان موجشکن محافظ بندر عمل کرده و بازوی شماره ۲ به طول ۲۰۰ متر برای تامین آرامش حوضچه بندر از امواج شمالی (امواج صفر تا ۲۲/۵ درجه)، جانمایی شده است. ایده طرح این سناریو بر اساس طرح بنادر متقارن با دهانه رو به دریا که توسط Mangor در سال ۲۰۰۴ ارائه شده است گرفته شده است. زاویه بازوی شماره ۱ به شکلی انتخاب شده است تا بیشترین انعکاس موج را با توجه به جهت امواج طوفانی غالب منطقه داشته باشد، زیرا انعکاس موج در مقابل بندر و انقباض جریان غرب به شرق باعث افزایش سرعت جریان و افزایش حجم کنارگذری رسوب از مقابل بندر می‌شود.

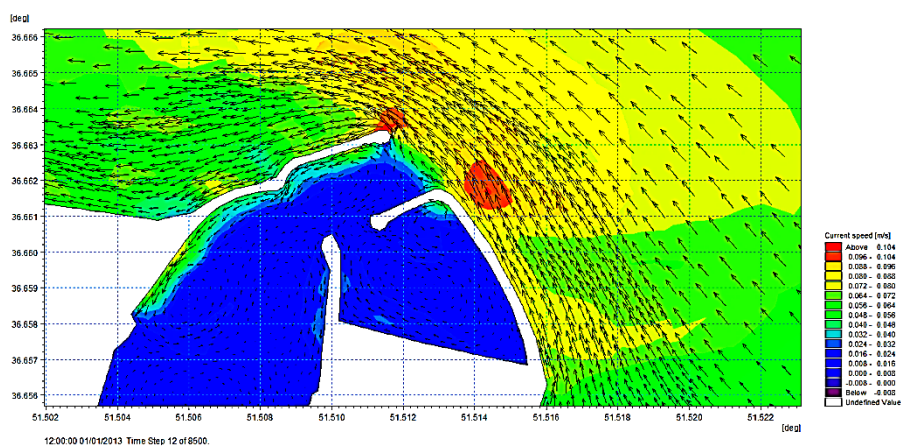
مدلسازی موج، جریان و انتقال رسوب برای کل سال ۲۰۱۳ توسط مدل محلی کالیبره شده صورت گرفته است. مطابق شکل (۴-۲۵)، سرعت و جهت جریان غرب به شرق نشان می‌دهد، این طرح به خوبی توانایی قطع جریان گردابه ای در زمان طوفان و هدایت جریان به پایین دست از مقابل دهانه بندر را دارد. همچنین این طرح در زمان جریان شرق به غرب نیز عملکرد بهینه داشته و باعث دور شدن جریان از دهانه بندر می‌شود (شکل ۴-۲۶).



شکل ۴-۲۴. نمایی از سناریو شماره ۱



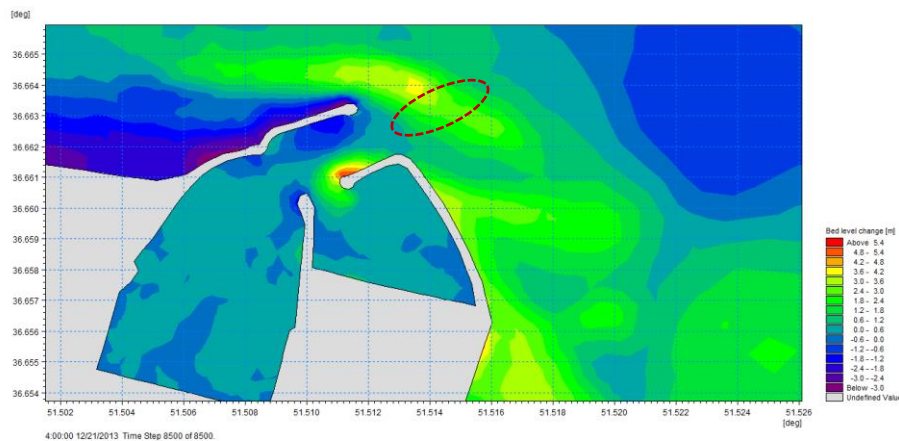
شکل ۴-۲۵. الگوی جریان غرب به شرق در سناریو شماره ۱



شکل ۴-۲۶. الگوی جریان شرق به غرب در سناریو شماره ۱

نتایج مدل انتقال رسوب در شکل (۴-۲۷) برای کل سال ۲۰۱۳ نشان می‌دهد، این سناریو باعث ایجاد گذر طبیعی رسوب از مقابل بندر به سمت پایین دست و شرق بندر می‌شود. از مزایای این طرح می‌توان به: کاهش فرسایش در سواحل پایین دست، امکان احداث پست اسکله جدید، امکان استحصال زمین در قسمت پشت موجشکن جدید، کاهش حجم لایروبی و عدم پراکندگی محل لایروبی نام برد. یکی از معایب این طرح رشد زبانه رسوبی مقابل بندر و در محل کانال دسترسی بندر است که در شکل نشان داده شده است، علت این امر کاهش ناگهانی سرعت جریان در محل کانال بدلیل افزایش عمق است.

طبق آمار لایروبی سال‌های اخیر بندر نوشهر، هر ساله حدود ۲۰۰ هزار متر مکعب لایروبی برای حفظ عملیات ناوبری انجام شده است. در این سناریو با فرض مساحت لایروبی حدود ۲۵ هزار مترمربع بر اساس شکل خط‌چین مشخص شده و میانگین انباشت رسوب ۲ متر، سالانه به ۵۰ هزار متر مکعب در سال لایروبی نیاز است، که طرح جدید نسبت به وضعیت فعلی بندر نوشهر توانایی کاهش حدود ۷۵ درصدی میزان لایروبی را دارد.



شکل ۴-۲۷.نمایی از وضعیت رسوبگذاری سناریو شماره ۱

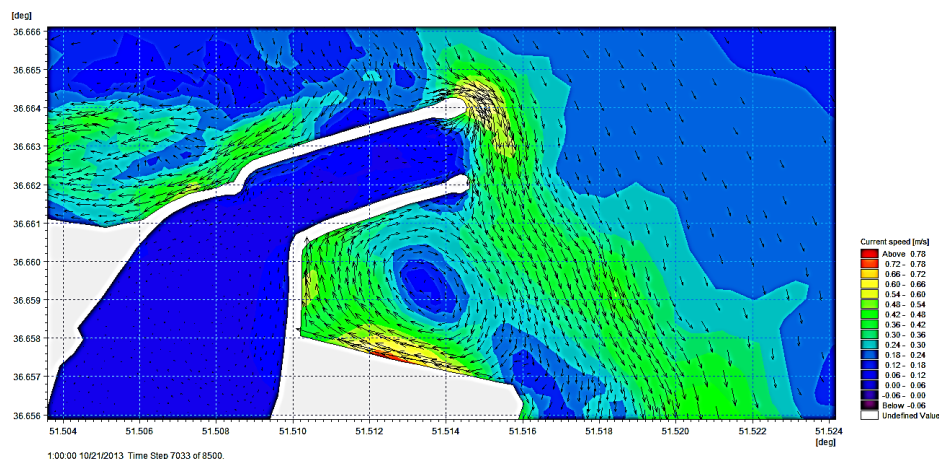
۴-۹-۲ سناریو شماره ۲

این سناریو بر اساس طرح بنادر با دهانه آستینی شکل با دو بازوی موازی تقریباً عمود بر جهت امواج غالب طراحی شده است. مطابق شکل (۴-۲۸)، بازوی شماره ۱ توسط یک اطاله ۳۰۰ متری در امتداد موجشکن اصلی بندر، باعث دور شدن دهانه بندر از ناحیه شکست و بازوی شماره ۲ با طول ۴۵۰ متر مانع رسوبگذاری ناشی از جریان گردابه ای تشکیل شده از جریان غرب به شرق و رسوبات رودخانه‌ی ماشلک که با جریان شرق به غرب به دهانه بندر می‌رسیدند، می‌شود. شکل (۴-۲۹ و ۴-۳۰) به ترتیب جهت و سرعت جریان غرب به شرق و شرق به غرب را نشان می‌دهد. الگوی جریانات در زمان طوفان نشان دهنده عملکرد خوب این سناریو برای اهداف مورد نظر دارد.

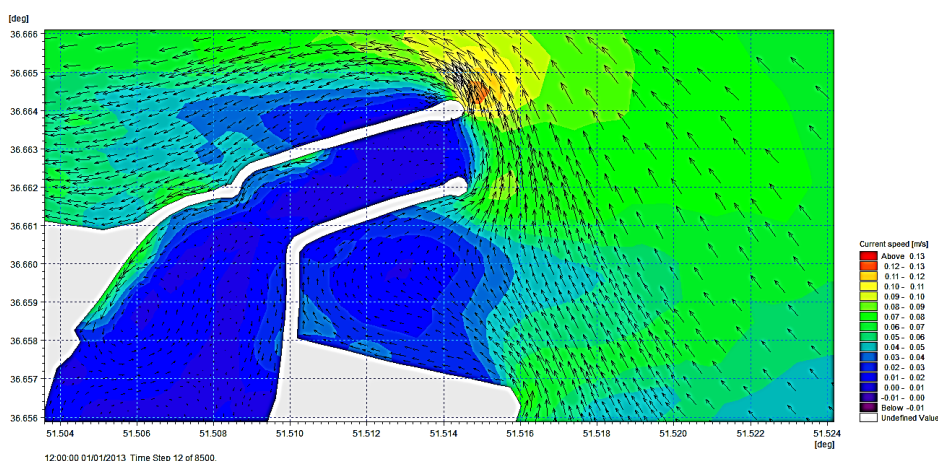
ایده این سناریو بر اساس مطالعه Kori و همکاران در سال ۲۰۱۵ روی یک بندر ماهیگیری در هند توسط مدل‌سازی عددی و مقایسه دو طرح هندسی انجام گرفت، برگرفته شده است.



شکل ۴-۲۸.نمایی از سناریو شماره ۲

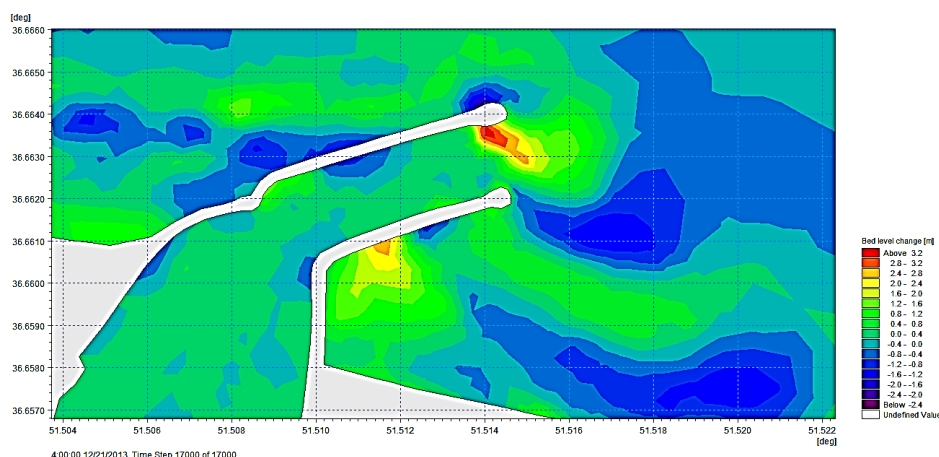


شکل ۴-۲۹. الگوی جریان غرب به شرق در سناریو شماره ۲



شکل ۴-۳۰. الگوی جریان شرق به غرب در سناریو شماره ۲

مطابق شکل (۴-۳۱)، یک زبانه کوچک رسوبی در مقابل دهانه بندر تشکیل می‌شود. دلیل تشکیل این زبانه رسوبی، وجود کانال دسترسی با عمق بیشتر از اطراف است که کاهش سرعت جریان و رسوبگذاری را به همراه دارد. همچنین در قسمت پشت موجشکن شرقی، انباشت رسوبات ناشی از جریان گردابه‌ای مشاهده می‌شود که بازوی افزوده شده به خوبی مانع رسیدن این رسوبات به دهانه بندر شده است. از مزایای این سناریو می‌توان گفت: حوضچه بندر از آرامش مطلوبی برخوردار است، حجم لایروبی کم و تمرکز سطح لایروبی را به همراه دارد. با توجه به محل رسوبات انباشته شده در مقابل دهانه بندر، می‌توان سطح لایروبی را ۲۰ هزار مترمربع با عمق ۱/۵ متر و حجم ۳۰ هزار متر مکعب لایروبی، کاهش ۸۰ درصدی میزان لایروبی را در نظر گرفت.



شکل ۴-۳۱. نمایی از وضعیت رسوبگذاری سناریو شماره ۲

۳-۹-۴ سناریو شماره ۳

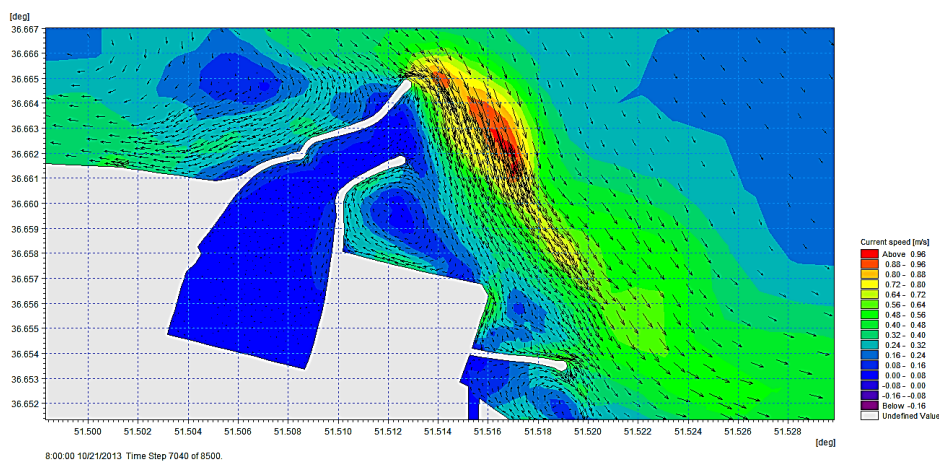
این سناریو شامل ساخت سه بازو مطابق شکل (۴-۳۲) است، دستک شماره ۱ یک اطاله به طول ۲۰۰ متر و با زاویه ۳۰ درجه‌ای نسبت به موجشکن اصلی با هدف دور کردن جریان از دهانه بندر، دستک شماره ۲ به طول ۳۰۰ متر با هدف جلوگیری از رسیدن رسوبات به دهانه بندر و دستک شماره ۳ برای انحراف رسوبات رودخانه ماشلک، جانمایی شده‌اند.

وضعیت الگوی جریان غرب به شرق در این سناریو در شکل (۴-۳۳)، نشان می‌دهد زبانه دور کننده جریان (دستک شماره ۱) توانایی دور کردن جریان از مقابل بندر را در زمان طوفان ندارد ولی دستک شماره ۲ می‌تواند مانع رسیدن جریان گردابه‌ای به دهانه بندر شود. جریان شرق به غرب در این سناریو بخاطر وجود دستک شماره ۳ مقدار کمی تغییر جهت داده اما به دهانه بندر میرسد (شکل ۴-۳۴).

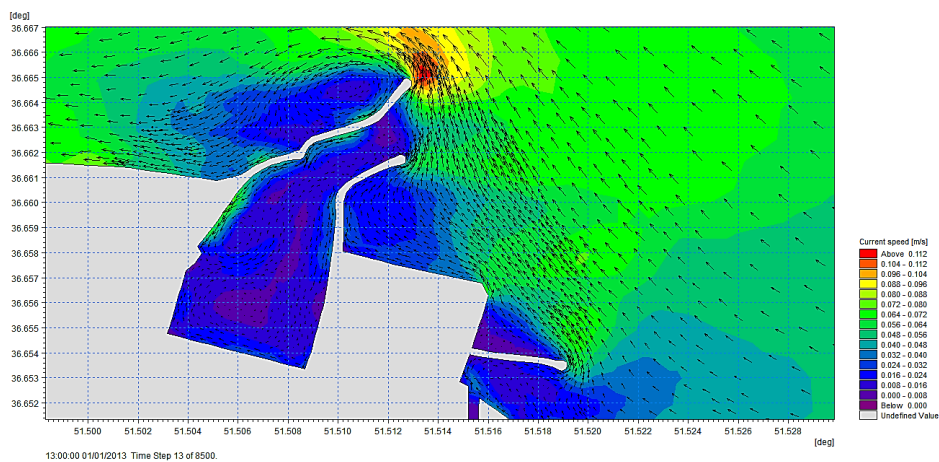
ایده طرح این سناریو برای دستک شماره ۱ بر اساس طرح زبانه دور کننده جریان که در بنادر بسیاری که با رسوب گذاری در امتداد موجشکن اصلی مواجه بوده‌اند، پیشنهاد شده است. دستک شماره ۲ برای قطع چرخابه و دستک شماره ۳ از مطالعات شرکت مهندسی مشاور پویا طرح پارس برای بندر نوشهر گرفته شده است.



شکل ۴-۳۲. نمایی از سناریو شماره ۳

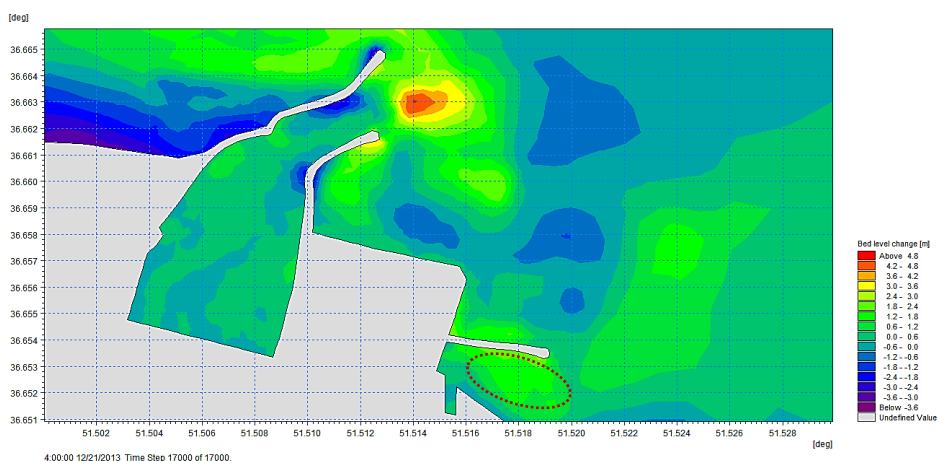


شکل ۴-۳۳. الگوی جریان غرب به شرق در سناریو شماره ۳



شکل ۴-۳۴. الگوی جریان شرق به غرب در سناریو شماره ۳

مطابق شکل (۴-۳۵) وضعیت رسوبگذاری بندر در این سناریو نتیجه مطلوبی نداشته و با وضعیت فعلی بندر تفاوت چندانی نداشته و با رشد زبانه ماسه ای مقابل موجشکن اصلی، کنارگذری رسوب شروع شده و در مقابل دهانه بندر انباشته می‌شود. در قسمت شرقی بندر دلیل وجود دستک شماره ۳ رسوب گذاری در پشت دستک صورت گرفته است و می‌توان انتظار داشت این دستک برای دور کردن رسوبات رودخانه ماشلک مفید واقع شود.



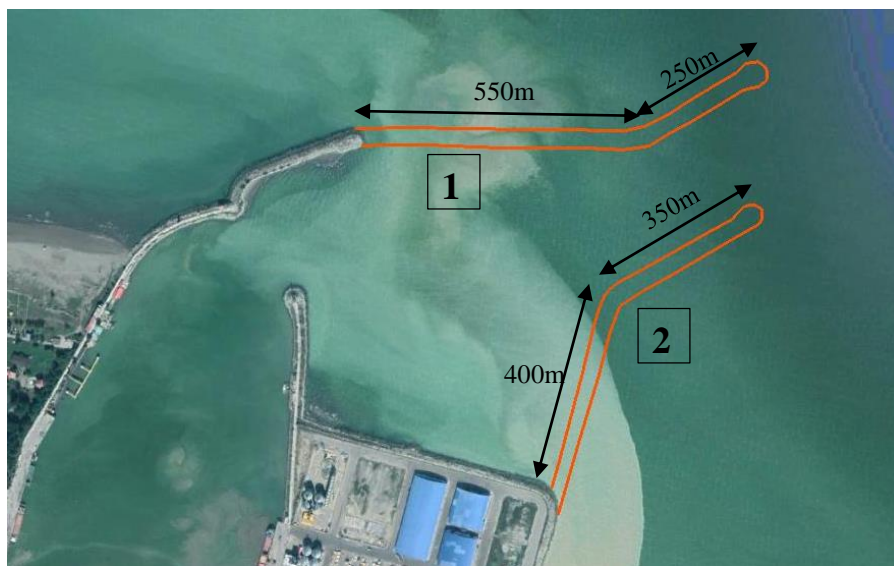
شکل ۴-۳۵.نمایی از وضعیت رسوب گذاری سناریو شماره ۳

۴-۹-۴ سناریو شماره ۴

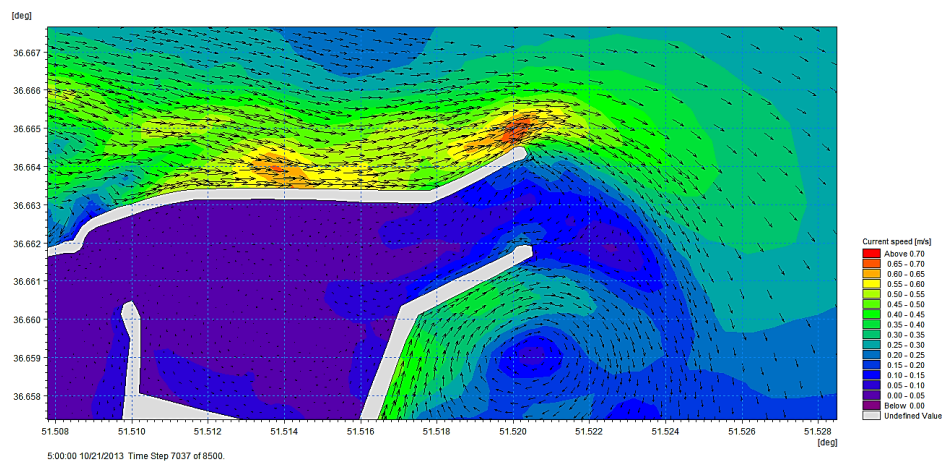
سناریو شماره ۴ را می‌توان به عنوان یک طرح توسعه برای بندر نوشهر تعریف کرد، زیرا نسبت به سناریوهای قبل طول موجشکن بیشتری دارد. مطابق شکل (۴-۳۶) این سناریو دو بازوی موجشکن جدید به بندر اضافه می‌شود. بازوی شماره ۱ به طول ۸۰۰ متر و بازوی شماره ۲ به طول ۷۵۰ متر از بندر محافظت می‌کنند. هدف اصلی این طرح، دور کردن دهانه بندر از ناحیه شکست و انتقال آن به ناحیه عمیق تر تا به کانال دسترسی نیاز نباشد و با عمق طبیعی بستر آبخور مورد نیاز بندر تامین شود.

نتایج مدل جریان در شکل (۴-۳۷ و ۴-۳۸) به ترتیب نشان می‌دهد، طرح جدید به خوبی در زمان طوفان، جریان غرب به شرق را به پایین دست بندر هدایت کرده و از دهانه بندر دور می‌شود. همچنین بازوی شماره ۲ مانع رسیدن جریان گردابه‌ای به دهانه بندر می‌شود. جریان شرق به غرب نیز به دلیل تغییر زاویه در انتهای بازوی شماره ۲ از دهانه بندر عبور کرده و وارد بندر نمی‌شود.

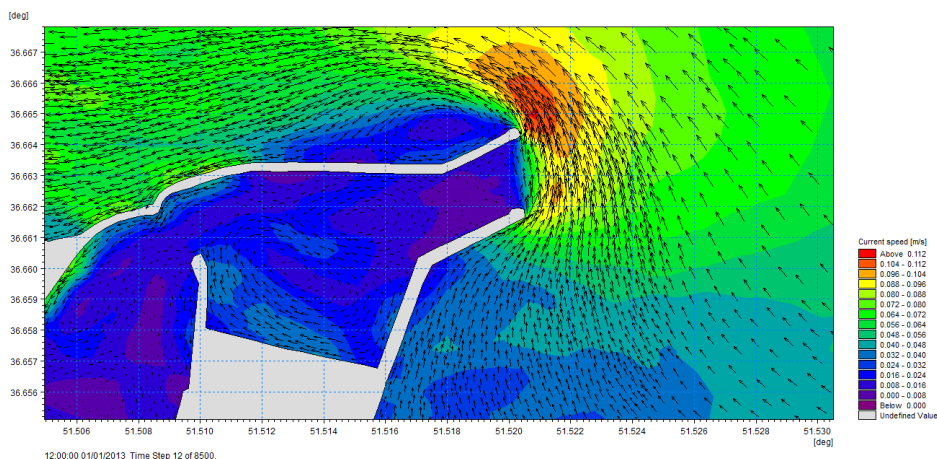
هندسه این سناریو بر اساس یک مطالعه عددی و آزمایشگاهی برای حل مشکل رسوبی و پیشروی ساحل بالادست یک بندر ماهیگیری در جنوب هند که توسط مرکز مطالعات مهندسی آب و برق (CWPRS)، برگرفته شده است. انتخاب طول و زاویه موجشکن بر اساس عمق طبیعی منطقه و جهت امواج و جریان طرح گردیده است.



شکل ۴-۳۶. نمایی از سناریو شماره ۴

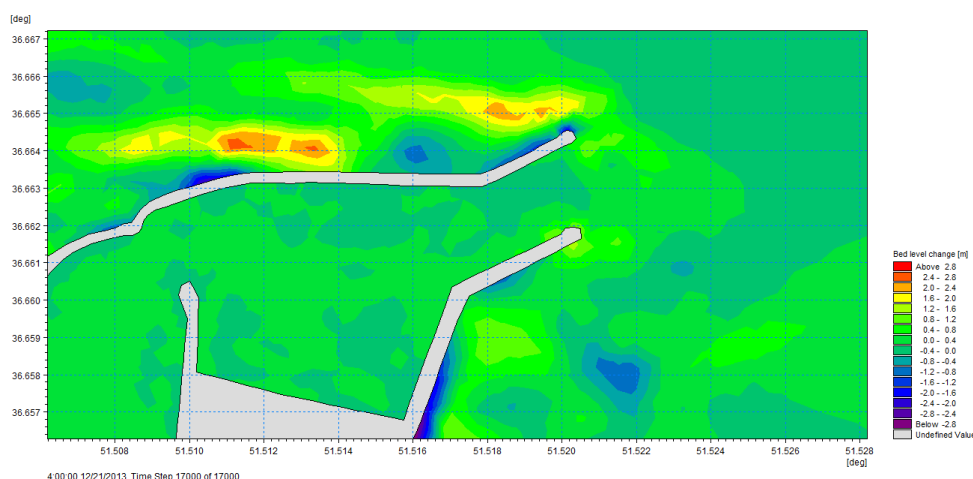


شکل ۴-۳۷. الگوی جریان غرب به شرق در سناریو شماره ۴



شکل ۴-۳۸. الگوی جریان شرق به غرب در سناریو شماره ۴

وضعیت رسوبگذاری این سناریو مطابق شکل (۴-۳۹) نشان می‌دهد، این سناریو عملکرد بسیار مطلوبی داشته و با گذشت یکسال رسوبگذاری در مقابل دهانه بندر نزدیک صفر بدست آمده است. دلیل این امر، دور شدن مسیر جریان غرب به شرق از مقابل دهانه بندر به وسیله تغییر زاویه انتهایی بازوی شماره ۱ و عدم نیاز به کانال دسترسی بندر بدلیل تامین عمق آبخور بندر با عمق طبیعی بستر. از مزایای این سناریو می‌توان به: تامین آرامش حوضچه، کاهش چشم‌گیر حجم لایروبی و قابلیت احداث اسکله‌های جدید در قسمت شمال شرقی بندر، اشاره کرد. البته این سناریو نسبت به سه سناریو دیگر هزینه اجرایی بالاتری دارد.



شکل ۴-۳۹. نمایی از وضعیت رسوبگذاری سناریو شماره ۴

۴-۱۰ مقایسه نتایج

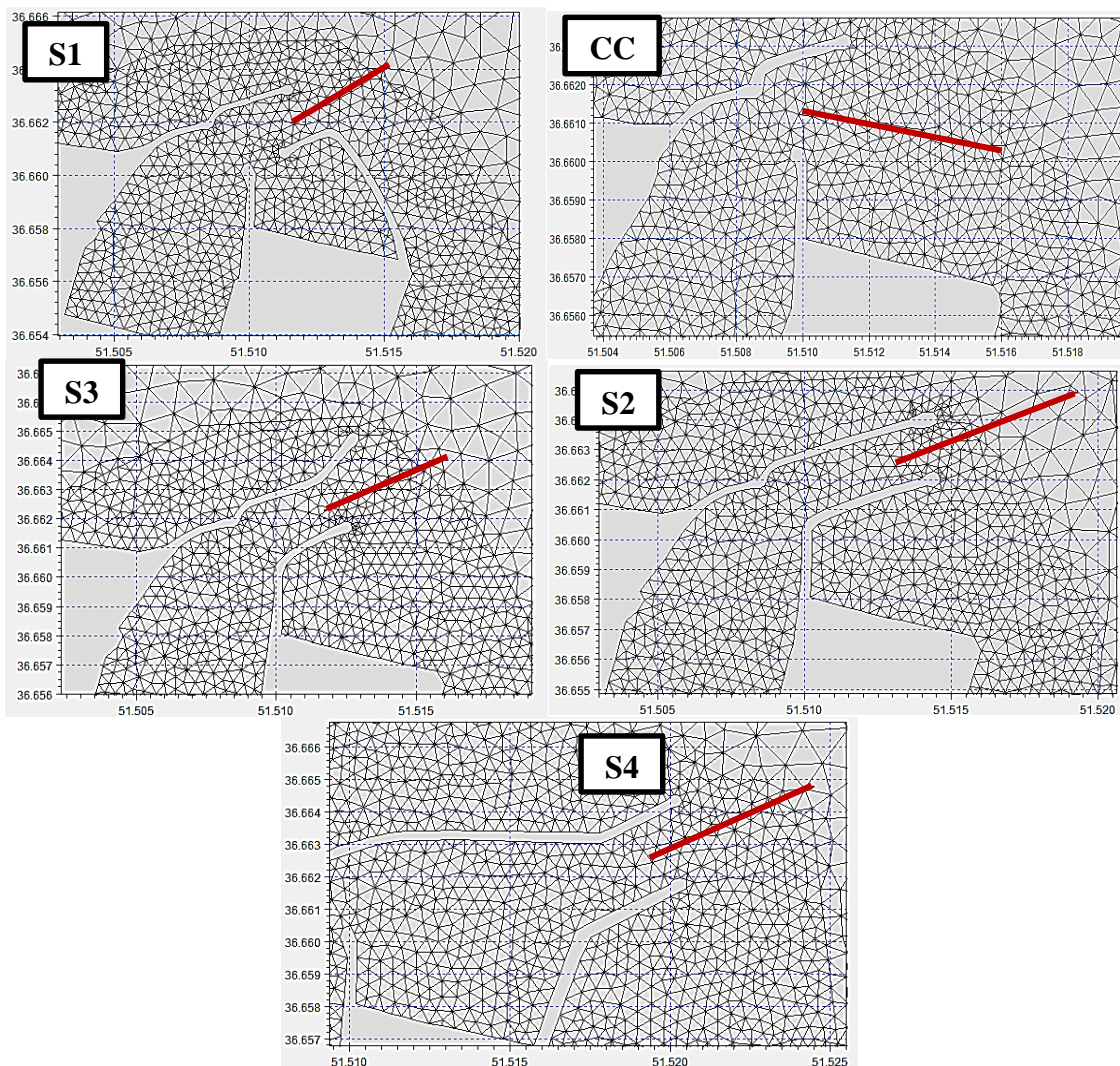
در این بخش مقایسه‌ی نتایج و عملکرد سناریوها بر اساس سه معیار زیر صورت می‌گیرد:

۱. وضعیت رسوبگذاری کانال دسترسی و دهانه بندر.

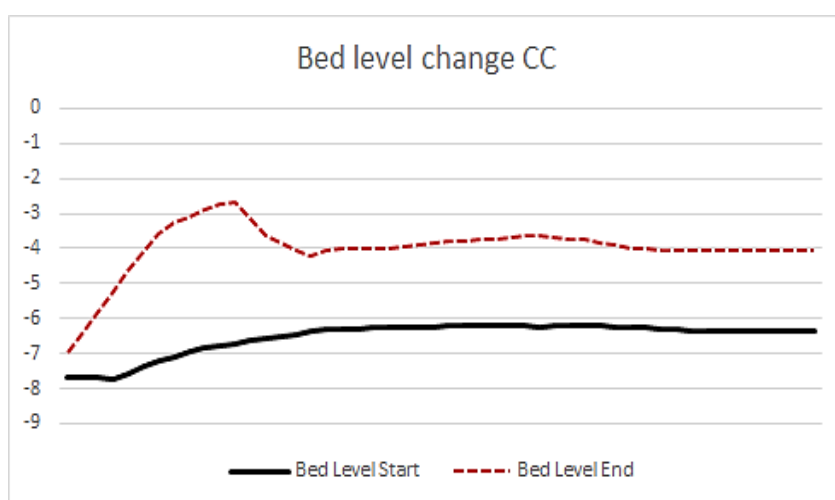
۲. میزان سازگاری با کنارگذر طبیعی رسوب.

۳. امکان پیش بینی طرح‌های توسعه بندر در آینده.

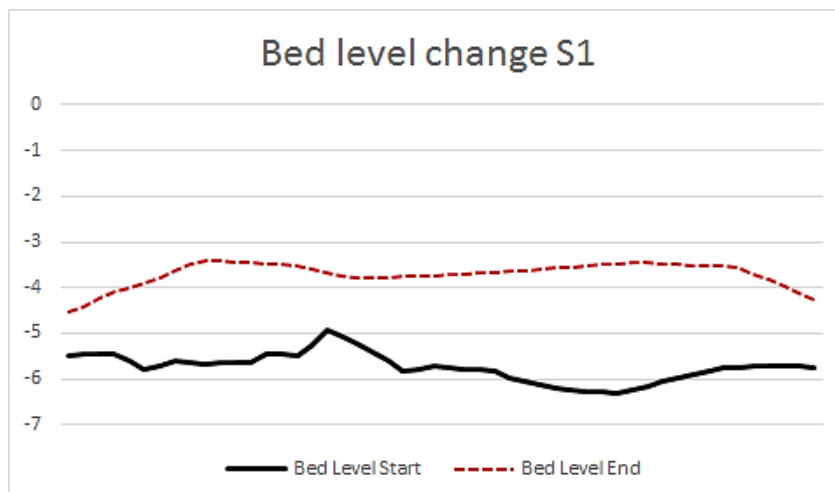
وضعیت کانال دسترسی و دهانه بندر یکی از مهم ترین عوامل در کارایی بندر و حفظ عملیات بندری است و مشکل رسوبگذاری در کانال دسترسی و دهانه بندر می‌تواند این فرآیند را مختل کند و هزینه های زیادی را برای لایروبی به بندر تحمیل کند. برای مقایسه وضعیت رسوبگذاری در سناریوها مطابق شکل (۴-۴۰)، در محل‌های مشخص شده از نتایج تغییرات بستر در طول یکسال پروفیل برداشت شده است که در شکل‌های (۴-۴۱ تا ۴-۴۵) نشان داده شده است. نتایج این پروفیل‌ها نشان می‌دهد سناریو شماره ۴ با کاهش حدود ۹۵ درصدی میزان لایروبی، عملکرد بسیار مطلوبی را خواهد داشت و پس از آن، سناریو شماره ۲ با کاهش حدود ۸۰ درصد از حجم لایروبی به همراه خواهد داشت.



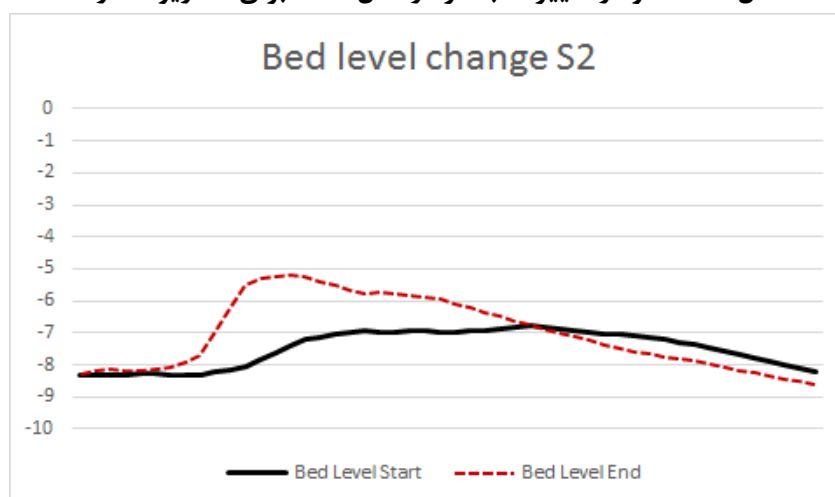
شکل ۴-۴۰. نمایی از محل پروفیل نتایج تغییرات بستر



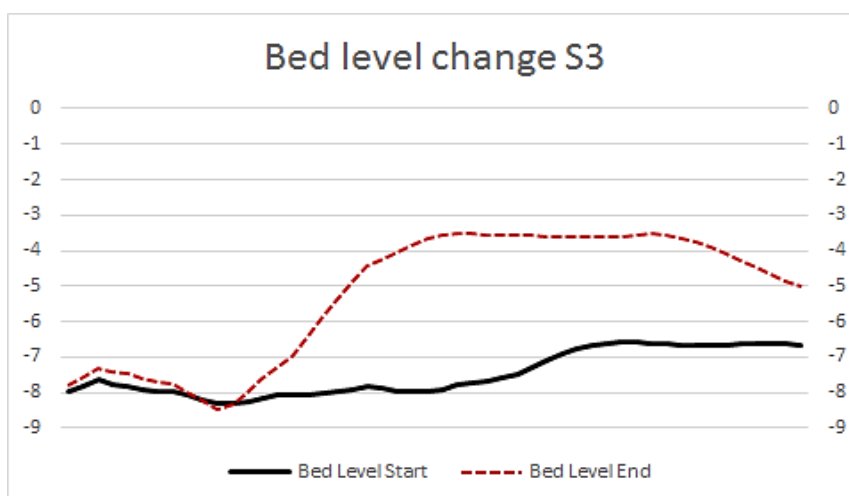
شکل ۴-۴۱. نمودار تغییرات بستر در سال ۲۰۱۳ برای وضعیت فعلی بندر نوشهر



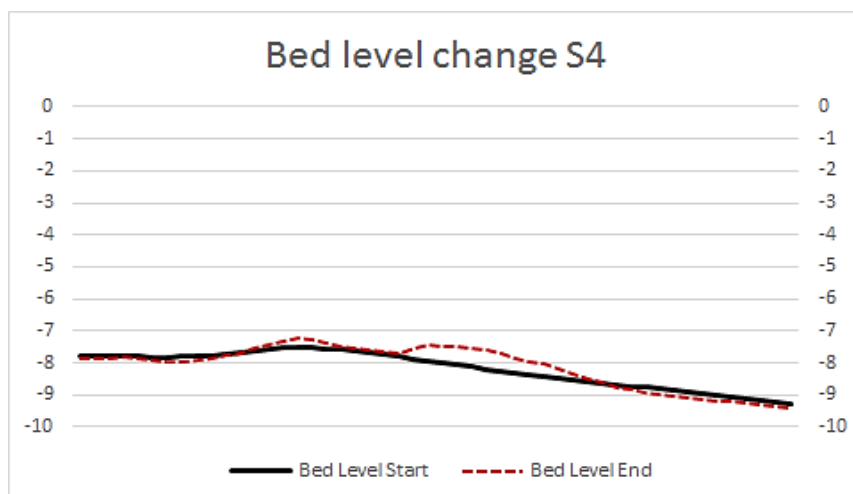
شکل ۴-۴. نمودار تغییرات بستر در سال ۲۰۱۳ برای سناریو شماره ۱



شکل ۴-۴. نمودار تغییرات بستر در سال ۲۰۱۳ برای سناریو شماره ۲



شکل ۴-۴. نمودار تغییرات بستر در سال ۲۰۱۳ برای سناریو شماره ۳



شکل ۴-۴۵. نمودار تغییرات بستر در سال ۲۰۱۳ برای سناریو شماره ۴

با توجه به پر شدن ظرفیت پشت موجشکن اصلی، آورد بالای رسوب از بالا دست بندر و فرسایشی بودن ساحل پایین دست بندر، مساله کنارگذر رسوب از مقابل بندر و سازگاری هندسه موجشکن بندر با آن، نقش مهمی در ارائه راه حل کاهش رسوبگذاری بندر خواهد داشت. طبق نتایج وضعیت رسوبگذاری سناریو ها در شکل‌های (۴-۲۷، ۴-۳۱، ۴-۳۵ و ۴-۳۹)، سناریو شماره ۱ دارای کنارگذر رسوب بیشتری نسبت به سناریوهای دیگر بوده و پس از آن سناریو شماره ۴ نیز با کنارگذر طبیعی رسوب سازگاری مطلوبی خواهد داشت.

وجود مشکل رسوبگذاری برای بندر نوشهر با توجه به گذشت ۸۰ سال از عمر بندر و کاهش تراز سطح آب دریای خزر، دور از انتظار نبوده است. اما نکته مهمی که در ارائه راه حل و ساخت و ساز جدید در بندر نوشهر در نظر داشت، امکان توسعه بندر در آینده مانند: ساخت اسکله های جدید و استحصال زمین است. در سناریو های ارائه شده، دو سناریو ۱ و ۴، می‌توانند به عنوان طرح توسعه برای بندر نوشهر و سناریو های ۲ و ۳ به عنوان راه حل مشکل رسوبگذاری، ارائه شوند. سناریو شماره ۴ نسبت به سناریو شماره ۱، فضای مانور شناور بیشتر دارد و همچنین حوضچه بندر از آرامش بیشتری برخوردار است. اما سناریو شماره ۱ از هزینه ساخت کمتری برخوردار است.

بر اساس مقایسه کیفی انجام شده با ۳ معیار مطرح شده، در جدول (۴-۱۰) به سناریوها برای هر معیار بر اساس عملکرد هر کدام امتیاز ۱ تا ۴ داده شد. و در آخر مجموع امتیازها در ۳ معیار نشان می‌دهد، سناریو شماره ۴ مناسب ترین راه حل برای بندر نوشهر خواهد بود.

جدول ۴-۱۰. جدول امتیازات هر سناریو برای معیار های مورد نظر

سناریوها	امتیاز بر اساس سه معیار اصلی مقایسه			جمع امتیازها
	رسوبگذاری	کنارگذر رسوب	امکان توسعه	
سناریو ۱	۲	۴	۳	۹
سناریو ۲	۳	۲	۱	۵
سناریو ۳	۱	۱	۰	۲
سناریو ۴	۴	۳	۴	۱۱

فصل ۵: نتیجه گیری

۵-۱ پیشگفتار

بندر نوشهر یکی از مناطق مهم اقتصادی کشور و یکی از بنادر مهم شمال کشور، در سال‌های اخیر با مشکل رسوب‌گذاری در مقابل دهانه بندر و کانال دسترسی مواجه شده است. به طوری که طبق آمار حجم لایروبی انجام شده در سال‌های اخیر، حدود ۲۰۰ هزار مترمکعب لایروبی سالانه برای حفظ عملیات کشتیرانی در بندر نوشهر انجام گرفته است که هزینه‌های زیادی را به بندر تحمیل کرده است. با توجه به پیچیده بودن شرایط هیدرودینامیکی و عوامل متعدد در فرآیند رسوب‌گذاری بندر، نیاز به بررسی دقیق و شناخت کامل از وضعیت امواج و جریانات منطقه و عوامل تاثیر گذار بر این فرآیندها است، تا بتوان راه حل‌های مناسبی برای حل مشکل رسوبگذاری بندر نوشهر ارائه داد. در این پژوهش ابتدا به شناخت عوامل و روش‌های کنارگذر طبیعی رسوب از بنادر پرداخته شد. سپس در فصل سوم اطلاعات شرایط محیطی، رودخانه‌های اطراف و مولفه‌های دریایی منطقه بندر و اطراف آن گردآوری شده است. در فصل چهارم مدلسازی عددی در نرم افزار Mike21 به وسیله مدل محلی کالیبره شده موج، جریان و انتقال رسوب انجام گرفت. وضعیت هیدرودینامیک و تغییرات مورفولوژیکی منطقه بندر مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. سپس با توجه به نتایج بدست آمده، ۴ سناریو برای حل مشکل بندر ارائه و بررسی شده است.

۵-۲ نتیجه گیری

پس از ساخت مدل کوپل موج و جریان، به وسیله داده‌های اندازه‌گیری اعتبارسنجی صورت گرفت و مدل محلی بندر نوشهر برای مدت یکسال مدلسازی شد. نتایج مدل دوبعدی نشان داد که جریانات در اطراف بندر تحت تاثیر باد و امواج ناشی از باد بوده و در دو جهت غرب به شرق و شرق به غرب حرکت می‌کنند. جریان غالب منطقه جریان غرب به شرق است، اما در برخی از روزهای سال به دلیل تغییر جهت باد، جریان از سمت شرق به غرب وجود دارد. جنس رسوبات بستر در اطراف بندر ماسه‌ای بوده و منبع اصلی این رسوبات رودخانه‌های اطراف است. از مهم ترین این رودخانه‌ها، رودخانه چالوس، کورکورسر و ماشک هستند. در سال‌های اخیر با ایجاد

معادن شن و ماسه در بالادست رودخانه ها و برداشت بی رویه از بستر رودخانه ها، حجم رسوب زیادی وارد دریا می شود. این رسوبات به وسیله جریان قوی رانه ساحلی که در زمان طوفان وجود به سمت بندر حرکت کرده و بدلیل پرشدن ظرفیت پشت موجشکن اصلی بندر، از مقابل بندر عبور کرده و باعث ایجاد مشکل رسوب گذاری می شود.

بر اساس مدل جریان و انتقال رسوب، می توان عوامل زیر را در رسوب گذاری بندر نوشهر موثر دانست:

- ✓ حجم بالای رسوب وارد شده به منطقه، از طریق رودخانه های اطراف بندر
- ✓ تشکیل جریان گردابه ای در زمان طوفان به دلیل ساخت اطاله روی موج شکن اصلی بندر نوشهر
- ✓ کاهش تراز سطح آب دریای خزر در سال های اخیر و در نتیجه آن نزدیک شدن دهانه بندر به ناحیه شکست موج

- ✓ وجود کانال دسترسی با عمق بیشتر نسبت به بستر طبیعی در مقابل دهانه بندر
- ✓ گذشت ۸۰ سال از ساخت بندر و پرشدن ظرفیت پشت موج شکن با پیشروی ساحل بدلیل قطع جریان رانه ساحلی پس از ساخت بندر

با توجه به مسائل مطرح شده و شناسایی مشکلاتی که به لحاظ رسوبی در بندر نوشهر وجود، ۴ سناریو با در نظر داشتن اهداف کلی زیر برای کاهش این مشکلات مطرح گردید:

۱. قطع جریان گردابه ای در زمان طوفان از مقابل دهانه بندر
۲. سازگاری طرح با کنارگذر طبیعی رسوب از مقابل بندر
۳. کاهش تأثیر رودخانه ای ماشلک و رسوبات ناشی از جریان شرق به غرب
۴. کاهش مشکل فرسایش اراضی پایین دست بندر با افزایش کنارگذر طبیعی رسوب
۵. تأمین عمق آبخور مورد نیاز بندر با حداقل لایروبی سالانه

پس از بررسی نتایج مدل سازی سناریوها و عملکرد هر سناریو با سه معیار: وضعیت رسوب گذاری، سازگاری با کنارگذر طبیعی رسوب و امکان توسعه بندر در آینده، مقایسه گردید. در نهایت سناریو شماره ۴ به کاهش بالای ۹۰ درصدی نسبت حجم لایروبی فعلی بندر نوشهر، به عنوان طرح بهینه

انتخاب شد. این سناریو علاوه بر کاهش میزان لایروبی و تامین آرامش حوضچه، امکان توسعه بندر برای احداث اسکله‌های جدید و توسعه اراضی پسرکانه را خواهد داشت.

نتایج سناریوها تایید کرد، برای سواحل ماسه‌ای، در طرح‌هایی که از کانال دسترسی برای تأمین عمق آب‌خور شناورها استفاده می‌شود، نمی‌توان از ایده کنارگذر طبیعی رسوب استفاده کرد. زیرا کانال دسترسی مانند یک تله رسوب عمل خواهد کرد و بخش زیادی از رسوبات در این قسمت انباشته خواهد شد. در نتیجه توصیه می‌شود برای کاهش مشکلات رسوبی بنادر دهانه بنادر تا قسمتی امتداد یابد که عمق طبیعی بستر توانایی تامین عمق آب‌خور شناورهای بندر را داشته باشد.

۳-۵ پیشنهادات

پیشنهاداتی که برای ادامه در پژوهش‌های آینده مطرح می‌گردند عبارتند از:

۱. بررسی روش‌های مناسب تله اندازی رسوب در سواحل تفریحی غرب بندر نوشهر با هدف کاهش

رسوبگذاری بندر

۲. بررسی تغییرات بلند مدت خط ساحل در اطراف بندر نوشهر بر اثر کاهش و افزایش نسبی سطح

دریای خزر

۳. بررسی کمی تغییرات خط ساحل بالادست بندر نوشهر بر اثر رسوبات ناشی از سیلاب‌های

رودخانه چالوس

۴. مطالعه روش‌های کنارگذر مصنوعی رسوب مناسب برای بندر نوشهر

۵. بررسی کارایی روش‌های مطرح شده برای کنارگذر طبیعی رسوب در دیگر بنادر شمال کشور

منابع و مراجع

❖ مراجع فارسی

- اداره کل بنادر و دریانوردی استان گیلان، (۱۳۹۴)، "گزارش تغییرات سطح آب دریای خزر"، بخش هیدروگرافی، معاونت مرکز اطلاعات
- بالی، م؛ جندقی علایی، م، معینی، م، (۱۳۹۵)، "بررسی وضعیت هیدرودینامیک و رسوبگذاری در اطراف بندر نوشهر"، هجدهمین همایش صنایع دریایی، جزیره کیش، انجمن مهندسی دریایی ایران
- بهزادی، م، (۱۳۹۵)، پایان نامه ارشد: "بررسی جریان و انتقال رسوب در محدوده بندر نوشهر با استفاده از تجزیه و تحلیل مطالعات پیشین"، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد واحد تنکابن
- پویا طرح پارس، (۱۳۹۳)، "پایش و مطالعات شبیه سازی سواحل شمالی کشور، گزارش فاز ۱ و ۲ بندر نوشهر، مهندسین مشاور، موجود در اداره کل بنادر و دریانوردی استان مازندران
- تهران برکلی، (۱۳۹۰)، "مجموعه مطالعات مرحله اول پروژه احداث ساماندهی حفاظتی شرقی و غربی بندر نوشهر"، مهندسین مشاور، موجود در اداره کل بنادر و دریانوردی استان مازندران
- خاکپور، ا، (۱۳۹۵)، پایان نامه ارشد: "بررسی تاثیر هندسه و مورفولوژی بنادر بر بهینه سازی رسوب گذاری (مطالعه موردی بندر نوشهر)"، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- رستمی، س، نظامیوند چگینی، ا، غبرایی، ع، نشایی، م. (۱۳۹۰)، "بررسی روند رسوب گذاری در حوضچه بندر نوشهر به کمک مدل ریاضی"، دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، رشت، انجمن هیدرولیک ایران، دانشگاه گیلان
- کمالیان، ر، صفری، ح. (۱۳۹۱)، "تاثیر تغییرات تراز آب دریای خزر بر رسوبگذاری در بندر نوشهر"، دهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، تهران، سازمان بنادر و دریانوردی

- Agrawal, J. D., Patil, H. C., Chanda, S., & Nagendra, T. (2019). Evolving Fishing Harbour Layout by Wave Tranquility Study Using Mathematical Model, A Case Study. In Proceedings of the Fourth International Conference in Ocean Engineering (ICOE2018) (pp. 521-533). Springer, Singapore.
- Barve, K. H., Ranganath, L. R., Karthikeyan, M., Kori, S., & Kudale, M. D. (2015). Wave tranquility and littoral studies for development of a mini fishing harbour. *Aquatic Procedia*, 4, 72-78.
- Berman, G. (2011). Longshore Sediment Transport Cape Cod Massachusetts.
- Bosboom, J., & Stive, M. J. (2012). Coastal dynamics I: lectures notes CIE4305.
- Brøker, I., Zyserman, J., Østergaard Madsen, E., Mangor, K., & Jensen, J. (2007). Morphological modelling: a tool for optimisation of coastal structures. *Journal of Coastal Research*, 1148-1158.
- Cáceres, R. A., Zyserman, J. A., & Perillo, G. M. (2016). Analysis of sedimentation problems at the entrance to Mar del Plata Harbor. *Journal of Coastal Research*, 32(2), 301-314.
- Chang, H. K., Chen, W. W., & Liou, J. C. (2015). Shifting the waterlines of satellite images to the mean water shorelines considering wave runup, setup, and tidal variation. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9(1), 096004.
- Christensen, B. B., Deigaard, R., Brøker, I., Kærgaard, K., Hansen, A. B., Drønen, N & Gravesen, H. (2012). The expansion of the port of hanstholm—the future conditions for a bypass harbour. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(33), 41.
- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (2004). Coastal processes with engineering applications. Cambridge University Press.
- Gorlova, A. A., & Makarov, K. N. (2017). Sediment Deposition in Artificial Harbors and Approach Channels. *Power Technology and Engineering*, 5(50), 473-479.
- Grunnet, N., Brøker, I., Clausen, E., & Sørensen, P. (2009). Improving bypass and increasing navigation depth: A vision for Hvide Sande Harbour, Denmark. In Proceedings Of Coastal Dynamics 2009: Impacts of Human Activities on Dynamic Coastal Processes (With CD-ROM) (pp. 1-14.)
- Hofland, B., Christiansen, H., Crowder, R. A., Kirby, R., Van Leeuwen, C. W., & Winterwerp, J. C. (2001, September). The Current Deflecting Wall in an estuarine harbour. In PROCEEDINGS OF THE CONGRESS-INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR HYDRAULIC RESEARCH (pp. 613-621.)
- Horikowa, K. (1988). Nearshore Dynamics and Coastal Processes: Theory,

Measurement, and Predictive Models.

- Irham, M., & Setiawan, I. (2018, January). The numerical model of the sediment distribution pattern at Lampulo National fisheries port. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 106, No. 1, p. 012067). IOP Publishing.
- Jha, R. K., Singh, A. K., Ranganath, L. R., & Singh, A. (2017). Study of Hydrodynamic and Sediment Transport in Gulf of Khambhat, Western Coast India—A Numerical Approach. In *Development of Water Resources in India* (pp. 79-94). Springer, Cham.
- Jha, S. N., Sharma, V. B., Sinha, J., & Kudale, M. D. (2015). Significance of wave and tide induced circulation in development of a fishery harbour. *Procedia Engineering*, 116, 293-299.
- Kori, S. K., Borkar, A. S., Vaidya, A. M., & Kudale, M. D. (2015). Design of Fishing Harbour Layout in High Littoral Drift Zone. *Procedia engineering*, 116, 320-325.
- Liu, Z. (2001). Sediment transport. *Aalborg Universitet*, 54-56.
- Mangor, K. (2004). Shoreline management guidelines.
- Mangor, K., Brøker, I., Deigaard, R., & Grunnet, N. (2010). Bypass harbours at littoral transport coasts. In *PIANC MMX Congress*.
- Pattiaratchi, C., & Wijeratne, S. (2012). Port Geographe sand and seagrass wrack modelling study: validation and assessment 2011.
- PIANC (1981). Report on design of breakwaters for yacht harbours. General Secretariat of PIANC, Brussels, Belgium
- Rijn, L. C. V. (1984). Sediment transport, part II: suspended load transport. *Journal of hydraulic engineering*, 110(11), 1613-1641.
- Sharaan, M., Ibrahim, M. G., Iskander, M., Masria, A., & Nadaoka, K. (2018). Analysis of sedimentation at the fishing harbor entrance: case study of El-Burullus, Egypt. *Journal of coastal conservation*, 22(6), 1143-1156.
- Soltani, P., Askar, M. B., Bahrami, H., & Pour, S. H. (2017). Evaluation of Sediment Transport in the Naiband Gulf Area Using Mike21. *Open J. Geol*, 7, 182-192.
- Spruit, R. M. (2013). A Bypass Friendly Harbour.
- Svendsen, I. A. (1984). Mass flux and undertow in a surf zone. *Coastal Engineering*, 8(4), 347-365.
- Van de Graaff, J. (2009). Coastal morphology and coastal protection. *Collegedictaat CT5309*.
- Yüksek, Ö. (1995). Effects of breakwater parameters on shoaling of fishery harbors. *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 121(1), 13-22.

Abstract

Understanding the hydrodynamic phenomena and their effects on marine and coastal processes is important for optimal port utilization. One of the most important marine phenomena is sedimentation and erosion in and around ports. The construction of harbors in coasts disrupts the coastal flow and as the upstream coast progresses, the inception of the sediment bypass in front of the harbor causes sedimentation problems in the port. One of the reasons for this concern is the incompatibility of breakwater geometry. Dredging sediment accumulated in harbors adds heavy expenses to harbors each year.

In this research ‘first, the methods of adapting harbors with natural sediment bypass and geometrical modification of harbors breakwater to reduce sedimentation are investigated. Then, two-dimensional numerical modeling was performed in Mike21 software to investigate the hydrodynamic status and sedimentary problems of Nowshahr Port, one of the major northern ports facing the problem of sedimentation in the access channel and harbor entrance. Based on the results and identifying the factors influencing the sedimentation of this harbor, four scenarios were evaluated and compared to reduce these difficulties. Finally, scenario number 4 was selected as the optimal design by reducing the dredging volume by approximately 90 percent compared to Nowshahr harbor dredging condition in recent years.

Keywords: Sedimentation, Sediment bypass, Numerical Modeling, Port layout, Nowshahr port



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

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

**A study on port natural sediment
bypass systems, proposing the
convenient options for Nowshahr port**

By: Ali Ghomi

Supervisor:

Dr. Mehdi Adjami

Aug, 2019