

الله
الرحمن
الرحيم



دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی آب و محیط زیست

بررسی تأثیر هندسه و مورفولوژی بنادر بر بهینه سازی رسوبگذاری

(مطالعه موردی بندر نوشهر)

امیرمحمد خاکپور

استاد راهنما :

دکتر مهدی عجمی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

خرداد ماه ۱۳۹۵

با عشق تقدیم به

مادر

عزیز و مهربانم

تقدیر و تشکر

در اینجا لازم می دانم از تمام عزیزانی که با مساعدت های بی دریغ خود در پیشبرد اهداف این پایان نامه مؤثر بوده اند، کمال تشکر و قدردانی را به جای آورم.

از راهنمایی های استاد راهنمای بنده، **جناب آقای دکتر مهدی عجمی** تشکر می کنم.

از زحمات برادر و استاد گرانقدرم، **جناب آقای مهندس میثم بالی**، که راهنمایی ها و مساعدت های فکری ایشان راهگشای بسیاری از مشکلات موجود در پایان نامه بود، سپاس و قدردانی فراوان داشته و برای ایشان آرزوی موفقیت و سلامتی می کنم.

در آخر نیز از صبوری ها و حمایت های بی دریغ خانواده ی عزیزم، قدردانی کرده و حاصل این تلاش و پژوهش را با عشق تقدیم به ایشان و خصوصاً مادر مهربانم می کنم.

تعهد نامه

اینجانب امیر محمد خاکپور دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - سازه های دریایی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی تأثیر هندسه و مورفولوژی بنادر بر بهینه سازی رسوبگذاری (مطالعه موردی بندر نوشهر) تحت راهنمایی دکتر مهدی عجمی متعهد می شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

رسوبگذاری یکی از مهمترین عوامل تهدید کننده عملکرد صحیح بنادر است. پیچیدگی و تعداد پارامترهای وارد شونده در توابع رفتاری سازه‌های دریایی و موج‌شکن‌ها تحت شرایط مختلف محیطی و نیز هزینه‌های اجرایی بالای این سازه‌ها، حساسیت طراحی آن‌ها را بالا برده است. نرخ رسوب گذاری درون بنادر و کانال دسترسی علاوه بر ویژگی های رسوبات و موج و جریان حاکم در منطقه به هندسه و جانمایی بندر و کانال دسترسی نیز وابسته است. طرح هندسی مناسب بنادر، جانمایی موج شکن ها و کانال دسترسی، می تواند موجب کاهش رسوب گذاری در بنادر گردد.

برای بررسی کیفی و کمی پدیده رسوب گذاری درون بنادر و کانال های دسترسی از مدل های عددی و مدل های فیزیکی استفاده می شود. در مقایسه با مدل های فیزیکی، مدل های عددی کم هزینه تر بوده و کاربرد آن ها آسان تر می باشند، در نتیجه استفاده از آنها متداولتر است. در این پژوهش پس از بررسی تاثیر هندسه و شکل طرح بنادر بر روند رسوبگذاری در آنها، به صورت موردی، بندر نوشهر مورد مطالعه قرار گرفته است. سپس با استفاده از مدلسازی عددی با نرم افزار MIKE 21، ۷ طرح توسعه برای کاهش میزان رسوب گذاری در بندر نوشهر مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفت.

نتایج بر اساس دو غالب میزان رسوبگذاری و نیز هزینه های اجرایی امتیاز دهی شدند و در انتها، با مشاهده نتایج، طرح توسعه موجشکن اصلی بندر، که به صورت ایجاد یک دستک ۲۰۰ متری بر روی آن بود، به عنوان بهینه ترین حالت از نظر رسوب گذاری و هزینه ی اجرایی، انتخاب شد.

کلیدواژه: رسوبگذاری، MIKE 21، بندر نوشهر، هندسه بندر، دریای خزر.

مقالات برگرفته از پایان نامه و چاپ شده در مراجع معتبر:

۱. خاکپور ا.م.، عجمی م.، (۱۳۹۵)، " نقش و اهمیت رسوبات رودخانه ها بر رسوب گذاری در بندر نوشهر"، دومین کنفرانس دستاوردهای نوین پژوهشی در عمران، معماری و مدیریت شهری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
۲. خاکپور ا.م.، عجمی م.، (۱۳۹۵)، " نقش و اهمیت رسوبات رودخانه ها بر رسوب گذاری در بندر نوشهر"، مجله علمی - ترویجی علوم و فناوری دریا (در حال داوری).
۳. خاکپور ا.م.، عجمی م.، بالی م.، (۱۳۹۵)، " هندسه بنادر و نقش آن در روند رسوب گذاری (مطالعه موردی بندر نوشهر)"، مجله علمی - پژوهشی دریا فنون (در حال داوری).

فهرست مطالب

ش	فهرست شکل ها	.....
ط	فهرست جدول ها	.....
ع	فهرست علامت های اختصاری	.....

فصل اول (مقدمه و کلیات)

۲	۱-۱ مقدمه	.....
۳	۲-۱ انتقال رسوب و جریان های ساحلی	.....
۵	۳-۱ سوالات پژوهش	.....
۷	۴-۱ اهداف و روش تحقیق	.....
۸	۵-۱ تحقیقات گذشته	.....
۹	۶-۱ ساختار پایان نامه	.....

فصل دوم (مرور ادبیات فنی)

۱۲	۱-۲ انتقال رسوب	.....
۱۲	۱-۱-۲ پیشگفتار	.....
۱۲	۲-۱-۲ مشخصات رسوب	.....
۱۳	۱-۲-۱-۲ اندازه دانه ها	.....
۱۳	۲-۲-۱-۲ وزن مخصوص دانه ها	.....
۱۴	۳-۲-۱-۲ سرعت سقوط دانه ها	.....
۱۶	۳-۱-۲ تنش برشی بستر	.....

- ۱۷ ۱-۳-۱-۲ عوارض بستر و تنش موثر
- ۱۸ ۲-۳-۱-۲ سرعت برشی بستر
- ۱۸ ۳-۳-۱-۲ زبری بستر
- ۱۹ ۴-۱-۲ آغاز حرکت رسوبات
- ۱۹ ۱-۴-۱-۲ پارامتر شیلدز
- ۲۱ ۵-۱-۲ حالت های انتقال بار رسوبی
- ۲۱ ۱-۵-۱-۲ انتقال بار بستر
- ۲۲ ۲-۵-۱-۲ انتقال بار معلق
- ۲۳ ۳-۵-۱-۲ تراز مبنا و غلظت مبنا
- ۲۳ ۶-۱-۲ رسوبات چسبنده
- ۲۴ ۱-۶-۱-۲ شکل گیری لخته
- ۲۴ ۲-۶-۱-۲ ته نشینی
- ۲۷ ۱-۲-۶-۱-۲ ته نشینی کامل
- ۲۸ ۲-۲-۶-۱-۲ فرسایش
- ۲۸ ۲-۲ تاثیر شکل هندسی بندر
- ۲۸ ۱-۲-۲ پیشگفتار
- ۲۹ ۲-۲-۲ عوامل موثر روی رسوب گذاری و انتقال رسوب درون بندر
- ۲۹ ۱-۲-۲-۲ پیشگفتار
- ۳۰ ۲-۲-۲-۲ جریان های جزر و مدی
- ۳۲ ۳-۲-۲-۲ تبادل افقی
- ۳۳ ۴-۲-۲-۲ جریان های ناشی از چگالی
- ۳۴ ۵-۲-۲-۲ جانمایی موج شکن ها

- ۳-۲-۲ تاثیر شکل هندسی بندر روی تبادل افقی..... ۳۶
- ۴-۲-۲ تاثیر شکل هندسی بندر روی جریان‌های ناشی از چگالی..... ۳۶
- ۵-۲-۲ تاثیر جانمایی موج شکن بر روی رسوب گذاری در بنادر..... ۳۷
- ۶-۲-۲ تاثیر جانمایی کانال دسترسی بر نرخ رسوب گذاری درون کانال..... ۳۹
- ۷-۲-۲ تاثیر امتداد موج شکن ها بر گذر رسوب..... ۴۲
- ۸-۲-۲ استفاده از انعکاس موج برای کاهش رسوب گذاری در دهانه بندر..... ۴۳
- ۹-۲-۲ الگوهای موجود برای طرح بندر در سواحل ماسه ای..... ۴۵

فصل سوم (منطقه مورد مطالعه)

- ۱-۳ معرفی بندر نوشهر..... ۴۸
- ۲-۳ وضعیت بندر از نظر نفوذ موج و رسوب..... ۵۰
- ۳-۳ مورفولوژی سواحل جنوبی دریای خزر و منطقه نوشهر..... ۵۱
- ۱-۳-۳ پیشگفتار..... ۵۱
- ۲-۳-۳ مورفولوژی عمومی نوار ساحلی جنوبی..... ۵۱
- ۳-۳-۳ مورفولوژی سواحل اطراف بندر نوشهر..... ۵۳
- ۴-۳ بررسی تغییرات خط ساحلی نوشهر..... ۶۰
- ۵-۳ بررسی رسوب رودخانه های اطراف بندر..... ۶۴
- ۶-۳ بررسی تاثیر اطاله موجشکن اصلی..... ۶۴
- ۷-۳ نحوه تعامل رسوب با الگوی بندر نوشهر و راه حل کنترل رسوب..... ۶۶
- ۸-۳ جنس رسوبات و اطلاعات لایروبی..... ۶۷

فصل چهارم (مدل سازی و تفسیر نتایج)

- ۷۰ ۱-۴ پیشگفتار
- ۷۰ ۲-۴ معرفی نرم افزار روش های عددی Mike21
- ۷۳ ۱-۲-۴ معرفی ماژول Flow Model FM
- ۷۳ ۳-۴ ماژول SW
- ۷۳ ۱-۳-۴ معادلات حاکم بر ماژول SW
- ۷۵ ۲-۳-۴ داده های ورودی و اطلاعات خروجی
- ۷۶ ۳-۳-۴ تعیین محدوده جغرافیایی در نرم افزار
- ۷۸ ۴-۳-۴ شرایط مرزی در مرزهای مدل
- ۷۹ ۵-۳-۴ اطلاعات موج ورودی مدل
- ۸۰ ۴-۴ ماژول هیدرودینامیک (HD)
- ۸۰ ۱-۴-۴ معادلات حاکم بر ماژول هیدرودینامیک (HD)
- ۸۰ ۲-۴-۴ داده های ورودی و اطلاعات خروجی
- ۸۱ ۳-۴-۴ شرایط مرزی در مرزهای مدل
- ۸۲ ۵-۴ ماژول انتقال ماسه (ST)
- ۸۲ ۱-۵-۴ معادلات حاکم بر ماژول انتقال ماسه (ST)
- ۸۳ ۲-۵-۴ داده های ورودی و اطلاعات خروجی
- ۸۳ ۳-۵-۴ شرایط مرزی در مرزهای مدل
- ۸۴ ۶-۴ روش مدل سازی و کالیبراسیون کیفی مدل های جریان و رسوب
- ۸۷ ۷-۴ مدل سازی
- ۹۰ ۸-۴ نتایج
- ۹۱ ۱-۸-۴ رسوب گذاری در ورودی بندر

۲-۸-۴ هزینه اجرایی و اقتصادی..... ۹۳

فصل پنجم (نتیجه گیری و پیشنهادات)

۱-۵ پیشگفتار..... ۹۶

۲-۵ نتیجه گیری..... ۹۶

۳-۵ پیشنهادات..... ۹۷

منابع و مراجع

مراجع فارسی..... ۱۰۰

مراجع انگلیسی..... ۱۰۲

فهرست شکل ها

فصل اول (مقدمه و کلیات)

- شکل ۱-۱ برخی پارامترهای جانمایی موج شکن..... ۶
- شکل ۲-۱ برخی پارامترهای محیطی..... ۷

فصل دوم (مرور ادبیات فنی)

- شکل ۱-۲ طبقه بندی دانه های رسوبی..... ۱۴
- شکل ۲-۲ شمای تنش های وارده به جز سیال در جریان یکنواخت پایدار..... ۱۶
- شکل ۳-۲ طرح شماتیک نیروهای موثر..... ۱۷
- شکل ۴-۲ دیاگرام شیلدز..... ۲۰
- شکل ۵-۲ تاثیر غلظت روی سرعت سقوط رسوبات چسبنده..... ۲۶
- شکل ۶-۲ تبادل افقی بین جریان و حوضچه..... ۳۳
- شکل ۷-۲ انتشار لایه جریان با چگالی کمتر در محیط با سیال با چگالی بیشتر..... ۳۴
- شکل ۸-۲ زاویه بندر نسبت به جریان..... ۳۵
- شکل ۹-۲ پارامترهای جانمایی موج شکن و نواحی مورد ارزیابی..... ۳۸
- شکل ۱۰-۲ زاویه بین موج و بخش دوم موج شکن اصلی..... ۳۹
- شکل ۱۱-۲ موقعیت های مختلف موج شکن ثانویه، ورودی حوضچه و مسیر جریانات..... ۴۰
- شکل ۱۲-۲ مکانیزم های انتقال رسوب به دهانه بندر..... ۴۳
- شکل ۱۳-۲ تاثیر امتداد موج شکن ها بر نحوه تشکیل پشته های رسوبی..... ۴۳
- شکل ۱۴-۲ استفاده از موج منعکس شده برای دور کردن رسوب..... ۴۴
- شکل ۱۵-۲ نمونه هایی از بنادری که موج شکن اصلی آنها تغییر زاویه در انتها دارند..... ۴۴
- شکل ۱۶-۲ الگوهای سه گانه بنادر در سواحل ماسه ای..... ۴۵

فصل سوم (منطقه مورد مطالعه)

- شکل ۱-۳ هندسه عمومی خزر و موقعیت بندر نوشهر..... ۴۸
- شکل ۲-۳ بندر نوشهر..... ۴۹
- شکل ۳-۳ پیش روی ساحل چالوس به سمت دریا، آورد رسوب از رودخانه ی چالوس..... ۵۴
- شکل ۴-۳ تغییرات تراز ۶۰ سال دریای خزر بر اساس تراز آب های آزاد..... ۵۶
- شکل ۵-۳ رودخانه های اطراف بندر نوشهر..... ۵۷
- شکل ۶-۳ رودخانه ی چالوس..... ۵۸
- شکل ۷-۳ علائم فرسایش یافتگی و مقاومت خط ساحلی در سواحل شرق بندر نوشهر ۶۰
- شکل ۸-۳ موقعیت ساحل نوشهر در سال های مختلف..... ۶۱
- شکل ۹-۳ هیستوگرام لایروبی بندر نوشهر..... ۶۷

فصل چهارم (مدل سازی و تفسیر نتایج)

- شکل ۱-۴ داده های هیدروگرافی..... ۷۵
- شکل ۲-۴ مش بندی مثلثی..... ۷۶
- شکل ۳-۴ هیدروگرافی نهایی برای مدلسازی..... ۷۶
- شکل ۴-۴ سیستم تصویر UTM برای ایران..... ۷۷
- شکل ۵-۴ مرز های مدل..... ۷۸
- شکل ۶-۴ گل موج سال ۲۰۱۲..... ۷۹
- شکل ۷-۴ مرز های مدل..... ۸۱
- شکل ۸-۴ مرز های مدل..... ۸۳
- شکل ۹-۴ ایجاد جریان گردابه ای جلوی بندر..... ۸۶
- شکل ۱۰-۴ زبانه ی رسوبی تشکیل شده..... ۸۶

۸۸	..... شکل ۱۱-۴ طرح ۱
۸۸	..... شکل ۱۲-۴ طرح ۲
۸۸	..... شکل ۱۳-۴ طرح ۳
۸۹	..... شکل ۱۴-۴ طرح ۴
۸۹	..... شکل ۱۵-۴ طرح ۵
۸۹	..... شکل ۱۶-۴ طرح ۶
۹۰	..... شکل ۱۷-۴ طرح ۷
۹۱	..... شکل ۱۸-۴ تغییر تراز بستر برای طرح های هفت گانه

فهرست جدول ها

فصل اول (مقدمه و کلیات)

فصل دوم (مرور ادبیات فنی)

جدول ۱-۲ سرعت سقوط رسوبات غیر چسبنده..... ۱۵

جدول ۲-۲ روابط محاسبه انتقال بار بستر..... ۲۲

فصل سوم (منطقه مورد مطالعه)

جدول ۱-۳ مشخصات موجشکن های بندر نوشهر..... ۵۰

جدول ۲-۳ محاسبات نرخ آورد رسوب غرب نوشهر بر اساس تغییرات خط ساحلی..... ۶۲

فصل چهارم (مدل سازی و تفسیر نتایج)

جدول ۱-۴ معرفی ویژگی مرزها در ماژول SW..... ۷۸

جدول ۲-۴ معرفی ویژگی مرزها برای ماژول HD..... ۸۲

جدول ۳-۴ معرفی ویژگی مرزها برای ماژول ST..... ۸۳

جدول ۴-۴ بررسی سرعت بحرانی ناحیه نوشهر..... ۸۴

جدول ۵-۴ نام گذاری طرح ها..... ۸۷

جدول ۶-۴ امتیاز رسوب گذاری در ورودی بندر..... ۹۲

جدول ۷-۴ قالب امتیازدهی رسوبگذاری..... ۹۲

جدول ۸-۴ امتیاز اقتصادی..... ۹۳

جدول ۹-۴ قالب امتیازدهی اقتصادی..... ۹۳

فصل پنجم (نتیجه گیری و پیشنهادات)

جدول ۵-۱ نتایج امتیاز دهی به طرح ها..... ۹۶

فهرست علامت های اختصاری

A	..... سطح مقطع ورودی حوضچه.
B	..... عرض کانال دسترسی.
Be	..... عرض ورودی حوضچه.
c	..... غلظت حجمی.
C	..... ضریب شزی.
C	..... سرعت انتشار موج.
C'	..... ضریب شزی دانه ها.
C_a	..... ضریب تبادل.
C_b	..... غلظت رسوبات در نزدیکی بستر.
C_g	..... غلظت رسوبات در نزدیکی بستر.
D	..... نرخ ته نشینی کامل.
d	..... قطر ذرات رسوب.
D_*	..... پارامتر بی بعد شده اندازه دانه.
D_{50}	..... اندازه متوسط ذرات رسوبی.
d_f	..... قطر سقوط.
d_V	..... قطر کروی.
E	..... نرخ فرسایش رسوبات بستر.
f	..... فرکانس.
f	..... ضریب اصطکاک باد.
f_c	..... ضریب اصطکاک دارسی ویسباخ.

f_e	ضریب تبادل وابسته به هندسه دهانه ورودی و الگوی جریانات محلی
F_D	نیروی کشسانی ناشی از عوارض بستر
F_s	نرخ انتقال رسوبات به درون بندر
G	پارامتر نرخ استهلاک
g	شتاب گرانش (ثقل) زمین
H	ارتفاع موج
h	عمق آب
h_0	عمق آب هنگام تقرب جریان به کانال دسترسی
k_s	زبری موثر بستر
M	ثابت فرسایش
P	احتمال به تله افتادن رسوبات
Q	نرخ تبادل آب میان حوضچه و محیط
Q_e	نرخ رسوبگذاری در اثر تبادل افقی
Q_t	پتانسیل انتقال رسوبات توسط جریانات جزر و مدی به درون حوضچه
p	دانسیته شار در جهت X
p_a	فشار هوا
p_w	جرم حجمی آب
q	دانسیته شار در جهت Y
q_b	نرخ انتقال بار بستر
q_s	نرخ انتقال بار معلق
S	عبارت چشمه و چاه
s	چگالی مخصوص

T	پارامتر بی بعد شده تنش برشی بستر.....
t	زمان.....
u_0	سرعت جریان.....
u_*	سرعت برشی.....
u_{*0}	سرعت برشی بستر در هنگام تقرّب جریان به کانال دسترسی.....
U_{100}	سرعت جریان ۱ متر بالاتر از بستر.....
U_{100c}	سرعت جریان بحرانی ۱ متر بالاتر از بستر.....
V_0	سرعت تقرّب به کانال دسترسی.....
w_s	سرعت ته نشینی رسوبات
ε	نرخ استهلاک انرژی جنبشی آشفته
ζ	تغییرات تراز سطح آب.....
v	چگالی سینماتیکی
τ_b	تنش برشی بستر.....
τ'_b	تنش برشی ناشی از اصطکاک سطحی دانه ها.....
τ''_b	تنش برشی ناشی از عارضه بستر.....
τ_{cd}	تنش برشی بحرانی ته نشینی بستر.....
τ_{ce}	تنش برشی بحرانی فرسایش بستر.....
τ_{wc}	تنش برشی میانگین بستر.....
α	زاویه بندر نسبت به جریان.....
α_0	زاویه تقرّب جریان نسبت به محور کانال.....
β	شیب سطح آزاد آب.....
θ	جهت انتشار امواج.....

- θ_c پارامتر بحرانی شیلدز
- μ ضریب شکل بستر
- μ_r ضریب شکنج
- κ ثابت فون کارمن
- ρ وزن مخصوص آب
- $\tan \beta$ شیب بستر
- $\tan \phi$ ضریب اصطکاک دینامیکی دانه های رسوب
- $\tan \gamma$ شیب وجه جانبی کانال دسترسی



۱-۱. مقدمه

یکی از عوامل کاهش عملکرد و کاربری بنادر، رسوبات هستند. عمده منشأ رسوبات دریایی ذرات ریز موجود در آب رودخانه‌هایی است که به دریاها منتهی می‌شوند و توسط امواج و جریان‌های دریایی جابجا می‌گردند. طبیعتاً جهت تشخیص صحیح میزان رسوب‌گذاری داشتن اطلاعات دقیق از میزان رسوب وارد شده و اصول و مبانی مربوط به جابجایی رسوب در دریا نقش تعیین‌کننده‌ای در جانمایی بهینه بنادر از نظر مشکل رسوب‌گذاری دارد. پیچیدگی و تعداد پارامترهای وارد شونده در توابع رفتاری سازه‌های دریایی و موج‌شکن‌ها تحت شرایط مختلف محیطی و نیز هزینه‌های اجرایی بالای این سازه‌ها، حساسیت طراحی آن‌ها را بالا برده است؛ بنابراین برای استفاده حداکثری از آن‌ها، استفاده از تجارب دیگران و پند گرفتن از اشکالات موجود در طراحی‌های پیشین ضروری می‌باشد. بررسی تاریخچه و سوابق بنادر ایران و جهان نشان می‌دهد که اکثر بنادر تحت تأثیر حمل‌ونقل مواد رسوبی در کرانه نزدیک بوده و لایروبی پی‌درپی در حوضچه بندر و کانال دسترسی، جهت نگهداری حوضچه بندر و حفظ عمق موردنیاز جهت تردد کشتی‌ها و لنج‌ها لازم بوده است. حال این سؤال پیش می‌آید که چگونه می‌توان با پدیده رسوب‌گذاری در محدوده بنادر مقابله نمود و موقعیت و جانمایی بندر به چه صورت باشد تا حداقل رسوب‌گذاری در آن‌ها رخ دهد.

بررسی و شناخت رژیم‌های رسوب‌گذار و فرسایشی در سواحل، به ویژه هنگام ساخت و ساز دریایی نظیر مجتمع‌های بندری یکی از مهم‌ترین مراحل کارهای دریایی به شمار می‌رود. خط ساحلی بندرگاه یا ورودی کانال کشتیرانی و نتیجتاً سازه‌هایی که در ناحیه شکست امواج، امتداد می‌یابند، اغلب رسوبی را که به سمت پایین‌دست منتقل می‌شود، سد می‌کنند. برای کاهش فرسایش حاصل در پایین‌دست و یا رسوب‌گذاری ناخواسته در بندر یا کانال ورودی، لازم است که رسوب به‌طور مکانیکی (گذر رسوب) منتقل گردد. وجود تعدادی بندر در سواحل شمالی و جنوبی کشور که پس از ساخت و صرف هزینه‌های گزاف به دلیل عدم توجه کافی به مسئله رسوب در زمان طراحی آن‌ها از رسوب پر شده و کاربرد خود را

از دست داده‌اند، نشانگر ضرورت این امر می‌باشد. خارج شدن حتی بخشی از این امکانات زیر بنایی از سرویس‌دهی می‌تواند تأثیر جدی بر حمل و نقل مسافری و باربری داشته باشد.

تغییرات هیدرودینامیکی^۱ و مورفولوژیکی^۲ در نواحی ساحلی توسط دو عامل بادهای و جزر و مد^۳ به وقوع می‌پیوندند. وزش باد مستقیماً عامل انتقال ماسه در ساحل خشک و عامل تولید امواج، جریان‌ها و تغییرات تراز سطح آب می‌باشد؛ درحالی‌که جزر و مد در دوره زمانی متناوب، سطح آب را بالا و پایین برده و جریان‌های دریایی را تولید می‌کند.

سرعت‌های شعاعی امواج، جریان‌ها و به خصوص جریان‌های گردابی^۴ آب در ناحیه شکست موج^۵، موجب می‌شوند که رسوبات از بستر دریا جدا شده و به صورت معلق در آیند. جریان‌ها در ناحیه ساحلی موجب انتقال رسوبات در امتداد ساحل و عمود بر ساحل می‌شوند. کشش زیرین دریایی^۶ سبب انتقال رسوبات معلق به سمت دریا شده و ناحیه فوقانی موج باعث انتقال رسوبات به سمت ساحل می‌شود. همچنین، انتقال رسوب به سمت ساحل در نزدیکی بستر نیز به علت عدم تقارن جریان‌های شعاعی رخ می‌دهد. در جهت دریای ناحیه شکست^۷ در اثر عدم تقارن موج‌ها، انتقال رسوب به سمت ساحل به وقوع می‌پیوندد و نیروهای ثقلی باعث کاهش اثر نیروها در این ناحیه می‌شوند (لشته‌نشایی و غبرایی، ۱۳۸۵).

۲-۱. انتقال رسوب و جریان‌های ساحلی

در محیط‌های ساحلی، تأثیر امواج و جریان‌های ساحلی و همچنین تقابل رودها و دریا و علاوه بر آن اثر وزش باد در حضور ماسه زارهای وسیع و غیرو همگی از عوامل تغییردهنده شرایط مورفولوژیک محسوب

¹ Hydrodynamic

² Morphologically

³ Tide

⁴ Eddy currents

⁵ Wave breaking

⁶ under tow

⁷ Breaker zone

می شوند. در غالب سواحل، تغییرات ناشی از موارد فوق الذکر با سرعت بسیار پایینی صورت می پذیرد و در واقع تقابل ساحل و عوامل تغییردهنده آن در پایداری نسبی می باشند. چنان چه تغییراتی بر طبیعت دریایی منطقه ساحلی اعمال گردد، روند طبیعی عملکرد متقابل دریا و ساحل از حالت پایدار و ماندگار خارج شده و واکنش هایی جهت رسیدن به پایداری جدید در منطقه به وجود خواهد آمد. این واکنش ها در قالب رسوبگذاری و فرسایش و تغییرات خط ساحل بروز می نمایند و تا زمان پایداری یا تعادل مجدد طبیعت ادامه می یابد.

احداث سازه های ساحلی عموماً بر روند طبیعی تأثیرگذاری متقابل دریا و ساحل تأثیر گذاشته و منجر به تغییر رژیم هیدرودینامیک و مورفولوژی منطقه میگردد. این تغییرات به دلیل برهم خوردن تعادل موجود مابین تمامی عوامل و پدیده های جاری بر طبیعت منطقه طرح که طی سالیان متمادی شکل گرفته است، رخ می دهد. بررسی چگونگی ایجاد این تغییرات و مطالعه شیوه تغییر شکل خط ساحلی پس از احداث سازه ها از اهمیت بسیاری برخوردار است.

به دلیل متفاوت بودن توپوگرافی مناطق ساحلی، الگوهای جریان های نزدیک ساحل بسیار پیچیده هستند. جریان های ساحلی می توانند تحت تأثیر عوامل مختلفی شکل بگیرند. به طور کلی از عوامل اصلی که در به وجود آوردن جریان های ساحلی نقش دارند می توان به شکست امواج، نوسانات جزر و مدی، باد و امواج محلی اشاره نمود. در سواحل باز، جریاناتی که توسط شکست امواج مایل ایجاد می شوند عامل اصلی حاکم بر انتقال رسوبات محسوب می شوند. اگرچه بادهای قوی محلی نیز می توانند منجر به ایجاد جریان های قوی در ناحیه شکست شوند. این مجموعه جریان ها علاوه بر پتانسیل انتقال رسوب، بر الگوی پخش آلودگی در نواحی نزدیک ساحل نیز موثر هستند (چگینی، ۱۳۹۰؛ عطایی آشتیانی و همکاران، ۱۳۸۴).

الف- جریان های موازی با ساحل: عامل اصلی ایجاد این نوع جریان ساحلی، شکست امواج و تأثیر بادهای محلی است. شدیدترین مقدار این نوع جریان ها در بخش داخلی ناحیه شکست موج رخ

می دهد و با حرکت به سمت دور از ساحل، به سرعت از شدت آن کاسته می شود. به طور کلی این نوع جریان ها سرعتی در حدود $0/3$ متر بر ثانیه یا کمتر دارند؛ همچنین تغییرات سرعت جریان در عمق برای این گونه جریان ها ناچیز می باشد (چگینی، ۱۳۹۰).

ب- جریان های عمود بر ساحل: مؤلفه سرعت جریان عمود بر ساحل که حاصل از شکست امواج است، دلیل اصلی به وجود آمدن جریان های عمود بر ساحل می باشد. بر خلاف امواج موازی با ساحل، تغییرات سرعت برای جریان های عمود بر ساحل در راستای عمق قابل صرف نظر کردن نیست (چگینی، ۱۳۹۰).

ج- جریان های بازگشتی: جریان های بازگشتی^۸، جریان هایی قوی با عرض کم و رو به دریا هستند که در ناحیه شکست، شکل می گیرند. این جریان ها در واقع حرکت برگشتی آبی هستند که تحت اثر امواج وارد شده به ناحیه شکست و امواج ناشی از باد، در منطقه کرانه ساحلی انباشته شده و بار دیگر به سمت دریا باز می گردند. این گونه جریان ها اغلب به صورت دوره ای در امتداد عمود بر خط ساحل ایجاد می شوند (چگینی، ۱۳۹۰).

۱-۳. سوالات پژوهش

سوالات اساسی این پژوهش در موارد زیر خلاصه می گردد:

۱- تحت چه شرایطی میزان رسوب گذاری بهینه می گردد؟

۲- تاثیر هندسه و شمای بندر بر رسوبگذاری در محیط بندری چگونه است؟

۳- چطور با استفاده از مدل سازی می توان رسوب گذاری چند هندسه از بندر را با یکدیگر مقایسه نمود

و گزینه بهتر را انتخاب نمود؟

۴- چه عاملی موجب تأمین عمق ورودی بندر در شرایط انتقال رسوب می گردد؟

۵- راه های کنترل رسوب در بندر چیست؟

⁸ Rip currents

برای پاسخ به سوالات فوق لازم است رفتار رسوبات در حاشیه بندر مورد مطالعه قرار گیرد که به عوامل زیر وابسته می‌باشد:

*هندسه موج‌شکن که خود شامل موارد زیر می‌شود:

۱- طول قسمت‌های مختلف شاخه‌های اصلی و فرعی موج‌شکن

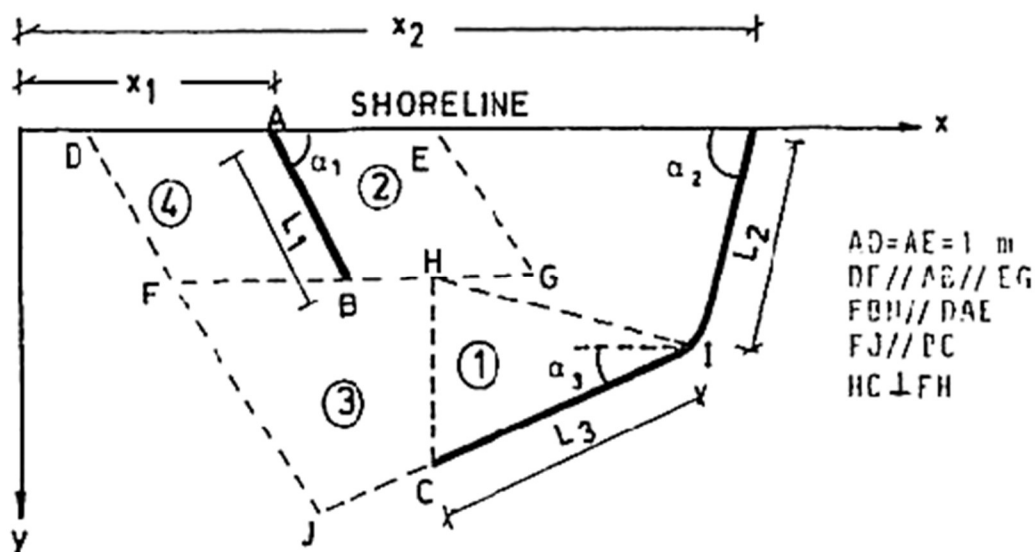
۲- زوایای قرارگیری شاخه‌های موج‌شکن

۳- موقعیت قرارگیری موج‌شکن

۴- موقعیت ورودی بندر

۵- فاصله شاخه‌های موج‌شکن از خط Surfe zone

در شکل (۱-۱) جزییات پارامترهای جانمایی موج‌شکن در محوطه بندری مشاهده می‌شود.

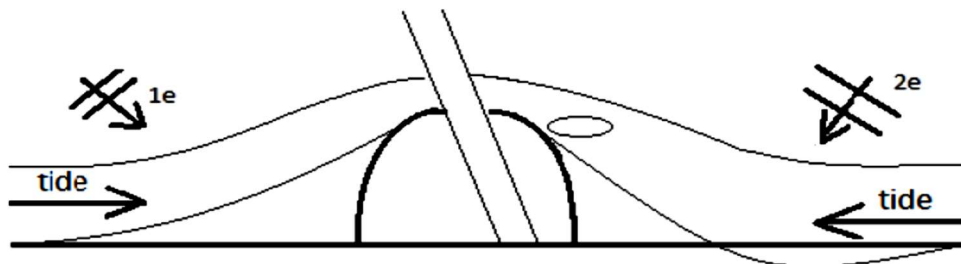


شکل (۱-۱). برخی پارامترهای جانمایی موج‌شکن (یوکسک، ۱۹۹۵)

*پارامترهای محیطی و مورفولوژی ساحل، که خود شامل موارد زیر می‌شود: (شکل ۲-۱)

۱- ارتفاع امواج

۲- زاویه امواج برخوردی



شکل (۲-۱). برخی پارامترهای محیطی (اسپریت، ۲۰۱۳)

۴-۱. اهداف پژوهش و روش تحقیق

هدف از انجام این مطالعه انتخاب یک طرح بهینه و مناسب برای بندر جهت کاهش میزان رسوب‌گذاری و افزایش پریود لایروبی بندر می‌باشد.

نرخ رسوب‌گذاری درون بندر و کانال دسترسی علاوه بر ویژگی‌های رسوبات و موج و جریان حاکم در منطقه به هندسه^۹ و جانمایی^{۱۰} بندر و کانال دسترسی نیز وابسته است. برای بررسی کیفی و کمی پدیده رسوب‌گذاری درون بندر و کانال‌های دسترسی از مدل‌های عددی^{۱۱} و مدل‌های فیزیکی استفاده می‌شود. در مقایسه با مدل‌های فیزیکی، مدل‌های عددی کم‌هزینه‌تر بوده و کاربرد آن‌ها آسان‌تر می‌باشند، در نتیجه استفاده از آنها متداولتر است. بنا بر آنچه بیان شد، رسیدن به درک عمیق‌تر از تاثیر شکل هندسی بندر بر رسوب‌گذاری و انتقال رسوبات درون بندر ضروری به نظر می‌رسد. به جهت دشواری و هزینه زیاد انجام مطالعه آزمایشگاهی در مورد تاثیر شکل‌های هندسی مختلف بندر روی رسوب‌گذاری و انتقال رسوبات با استفاده از تعداد زیاد نمونه آزمایشگاهی بندر با هندسه‌های مختلف،

⁹ Geometry

¹⁰ Layout

¹¹ Numerical models

در این مطالعه از مدلسازی عددی استفاده شده است. بنابراین نیاز به نرم‌افزاری قدرتمند در زمینه ی مدل‌سازی و تحلیل عملکرد سازه بندری در مواجهه با رسوبات، جریان و امواج داشتیم. با بررسی‌های مختلفی که بر روی نرم‌افزارهای موجود در بازار صورت گرفت، نرم‌افزار مایک ۲۱ انتخاب شد. در این پژوهش ابتدا تاثیر عوامل مورفولوژیکی، هندسی و ... بر رسوب گذاری در بنادر بیان شده سپس با توسعه و تغییر شمایل و هندسه بندر، و همچنین بررسی سناریوهای رسوبگیری در ناحیه غرب بندر، تاثیر این عوامل بر روند رسوبگذاری محیط بندر مطالعه می شود.

۱-۵. تحقیقات گذشته

در سال های اخیر محققان زیادی در ارتباط با رسوب گذاری و انتقال رسوبات درون بنادر مطالعه کرده اند. ین و همکاران (۲۰۰۱) یک مطالعه آزمایشگاهی روی تاثیر شکل هندسی بندر روی تخلیه و انتقال رسوبات انجام دادند. وینتر ورپ (۲۰۰۵) یک جمع بندی از مکانیزم های انتقال رسوبات در بنادر و معیارهای کاهش رسوب گذاری ارایه کرد. کواچپر و همکاران (۲۰۰۵)، مطالعه ای روی تاثیر شکل هندسی بندر بر رسوب گذاری درون بندر و کاربرد دیواره انحراف جریان به عنوان یک نمونه اصلاح هندسی در دهانه بندر برای کاهش رسوب گذاری انجام دادند. یوکسک (۱۹۹۵) یک مطالعه آزمایشگاهی در ارتباط با تاثیر جانمایی موج شکن روی انتقال رسوبات و رسوب گذاری درون بندر انجام داد و نتایج خود را به صورت تاثیر پارامتر های بی بعد شده هندسی جانمایی موج شکن ها بر رسوب گذاری و انتقال رسوبات درون بنادر بیان کرد.

مونگور (۱۹۸۷) با بررسی بندر برووالا در سریلانکا پیشنهاد نمودند که شاخه‌ها به صورت متقارن قرار گیرند به نحوی که جریان‌های رسوبی به موازات آن‌ها حرکت نموده و از جلو ورودی بندر دور شوند. گانیک (۱۹۹۲) با بررسی بندر یاکاکنت در ترکیه توصیه نمود که موج‌شکن اصلی عمود بر ساحل باشد و موقعیت موج‌شکن فرعی به نحوی اختیار شود که جریان‌های گردابی به وجود نیایند.

بوتین (۱۹۹۱) با استفاده از اطلاعات به دست آمده از مطالعه ۵۹ بندر ساخته شده در امریکا خاطرنشان نمود که شکل و موقعیت ورودی نقشی تعیین کننده در کم عمقی بندر دارد.

پولنو (۲۰۱۳) طی مطالعه و تحقیقات خود طی عنوان "Beach response to a fixed sand bypassing system" به بررسی استفاده از این روش در سواحل پرداخته است.

باسبوم و استیو (۲۰۱۱) طی مطالعه‌ای به عوامل مؤثر بر انتقال رسوب در حاشیه بنادر پرداختند.

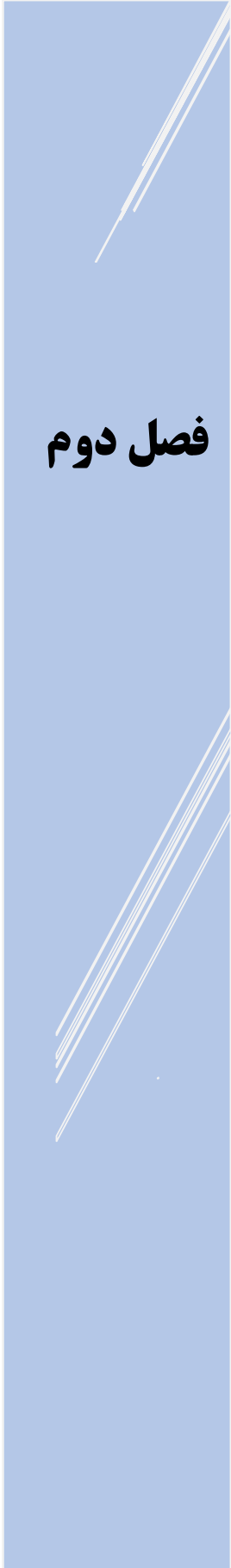
۱-۶. ساختار پایان نامه

در فصل دوم، ابتدا مشخصات رسوبات و همچنین تئوری انتقال رسوب و سپس تاثیر شکل هندسی بنادر و جانمایی کانال دسترسی بر رسوبگذاری بیان شده است.

در فصل سوم، منطقه مورد مطالعه معرفی شده، سپس به بررسی مورفولوژیک و همچنین خواص رسوبات این منطقه پرداخته شده است.

در فصل چهارم نیز ابتدا به معرفی نرم افزار مایک ۲۱ و ماژول مناسب برای مدلسازی پرداخته شده، سپس نتایج حاصل از مدلسازی تفسیر شده است.

در فصل پایانی نیز نتیجه گیری حاصل از انجام مطالعه و پیشنهادات ارائه شده است.



۲-۱. انتقال رسوب

۲-۱-۱. پیشگفتار

انتقال رسوبات^{۱۲} یکی از مهمترین موارد مورد نظر در طراحی های ساحلی بوده و با ایجاد پدیده هایی چون رسوب گذاری^{۱۳} و فرسایش^{۱۴} بر پروژه های ساحلی تاثیر می گذارد. فرسایش زمانی صورت می گیرد که نرخ وارد شدن رسوبات به یک منطقه از نرخ خروج رسوبات از آن منطقه کمتر باشد و به همین ترتیب هرگاه نرخ ورود رسوبات به یک ناحیه از نرخ خروج رسوبات از آن ناحیه بیشتر باشد رسوب گذاری رخ می دهد.

روابط مختلفی برای تخمین نرخ انتقال رسوبات ارائه شده است که از عدم قطعیت زیادی برخوردار می باشد. رژیم انتقال رسوبات در هر ناحیه ساحلی تحت تاثیر شرایط هیدرودینامیکی (موج و جریان) حاکم بر منطقه است. موج و جریان با اعمال نیروی اصطکاک به بستر، موجب آغاز حرکت رسوبات شده و در ادامه آنها را حمل می کنند. در نواحی که موج و جریان آرام باشد، شرایط لازم برای حمل رسوبات وجود نداشته و ته نشینی آغاز میشود. علاوه بر شرایط هیدرودینامیکی فرآیند انتقال رسوبات از ویژگی های خود رسوبات نیز تاثیر می پذیرد. رسوبات در حالت کلی به دو دسته چسبنده^{۱۵} و غیر چسبنده^{۱۶} تقسیم بندی می شوند.

۲-۱-۲. مشخصات رسوب

رسوبات موجود در سواحل به طور معمول شامل ذرات شن و ماسه تا ذرات بسیار ریز شامل لای و رس میشود. از نقطه نظر هیدرولیکی مهمترین ویژگی های رسوبات در ارتباط با اندازه، شکل و وزن مخصوص

¹² Sediment Transportation

¹³ Sedimentation

¹⁴ Erosion

¹⁵ Cohesive

¹⁶ Non Cohesive

بررسی میشوند. در این بخش خصوصیات رسوبات غیر چسبنده که از ماسه (۰,۰۶-۲) میلیمتر) تا شن (۲-۲۰ میلیمتر) را شامل می شوند بررسی می شود.

۱-۲-۱-۲. اندازه دانه ها

رسوبات موجود در کرانه ها از رس تا تخته سنگ متغیر هستند. دانه ها می توانند بر مبنای قطرشان طبقه بندی شوند. آسان ترین راه برای تحلیل توزیع اندازه دانه ها در یک نمونه داده شده آزمایش الک است که برای ذرات بزرگتر از ۰,۰۶ میلیمتر قابل اعمال است. در شکل (۱-۲) متداول ترین مقیاس های طبقه بندی دانه ها را نشان داده شده است. به غیر از قطر الک^{۱۷} معیار دیگر اندازه گیری اندازه دانه ها، قطر کروی^{۱۸} است که با d_v نشان داده شده و برابر قطر کره ای با همان حجم ذره داده شده است. این معیار (قطر کروی) شکل ذره رسوبی را به حساب نمی آورد و به همین دلیل معیار دیگری به نام قطر سقوط، d_f تعریف می شود. که برابر قطر ذره ای است که سرعت سقوط آن در آب ۲۴ درجه سلسیوس برابر سرعت سقوط کره ای به قطر d_f می باشد.

۲-۲-۱-۲. وزن مخصوص^{۱۹} دانه ها

ثقل مخصوص دانه ها در شرایط طبیعی کمترین تغییرات را نشان می دهد. نسبت $s = \frac{\rho_s}{\rho}$ که در آن ρ مقدار وزن مخصوص آب در دمای ۲۴ درجه سلسیوس و ρ_s مقدار وزن مخصوص رسوب است، معمولاً به مقدار ۲/۶۵ بسیار نزدیک است.

¹⁷ Sieve diameter

¹⁸ Spherical diameter

¹⁹ Specific gravity

Agency	Classification	Size limits (mm)
U.S. Department of Agriculture (USDA)	Gravel	> 2
	Very coarse sand	2-1
	Coarse sand	1-0.5
	Medium sand	0.5-0.25
	Fine sand	0.25-0.1
	Very fine sand	0.1-0.05
	Silt	0.05-0.002
	Clay	< 0.002
International Society of Soil Mechanics (ISSS)	Gravel	> 2
	Coarse sand	2-0.2
	Fine sand	0.2-0.02
	Silt	0.02-0.002
	Clay	< 0.002
Federal Aviation Agency (FAA)	Gravel	> 2
	Sand	2-0.075
	Silt	0.075-0.005
	Clay	< 0.005
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	Gravel	> 2
	Coarse sand	2-0.6
	Medium sand	0.6-0.2
	Fine sand	0.2-0.06
	Silt	0.06-0.002
	Clay	< 0.002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	Gravel	76.2-2
	Coarse sand	2-0.425
	Fine sand	0.425-0.075
	Silt	0.075-0.002
	Clay	< 0.002
Unified (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation, and American Society for Testing and Materials)	Gravel	76.2-4.75
	Coarse sand	4.75-2
	Medium sand	2-0.425
	Fine sand	0.425-0.075
	Silt and clay (fines)	< 0.075

شکل (۱-۲). طبقه بندی دانه های رسوبی

۳-۲-۱-۲. سرعت سقوط دانه ها

سرعت سقوط یا سرعت ته نشینی برابر سرعت حدی است که دانه ها هنگام سقوط در یک ستون سیال به اندازه کافی طولیل به آن می رسند. سرعت ته نشینی ذرات به عوامل مختلفی از جمله اندازه دانه، وزن مخصوص، شکل و ویسکوزیته سیال دارد. هنگامی که ذره در حین سقوط در سیال به سرعت ته نشینی می رسد، نیروی اصطکاک بین سیال و ذره رسوب و نیروی وزن با هم در تعادل قرار می گیرند. محققان گوناگون برای سرعت سقوط دانه های رسوبی روابط مختلفی ارائه داده اند که برخی از آنها در جدول (۱-۲) ارائه شده است.

جدول (۱-۲). سرعت سقوط رسوبات غیر چسبنده

$w_s = \frac{(s-1)gd^2}{18\nu}$	$1\mu m < d < 100\mu m$	(۱-۲)	فون راین ^۱ (۱۹۹۰)
$w_s = \frac{10\nu}{d} \sqrt{\left(1 + \frac{0.01(s-1)gd^3}{\nu^2}\right) - 1}$	$100\mu m < d < 1000\mu m$		
$w_s = 1.1\sqrt{(s-1)gd}$	$d \geq 1000\mu m$		
$w_s = \frac{\nu}{d} \sqrt{\left(10.36^2 + 1.049 \frac{gd^3}{\nu^2}\right)}$		(۲-۲)	سولزبی ^۲ (۱۹۹۷)
$w_s = \sqrt{\left(\left(13.95 \frac{\nu}{d}\right)^2 + 1.09(s-1)gd - 13.95 \frac{\nu}{d}\right)}$		(۳-۲)	ژانگ ^۳ (۱۹۸۹)
$w_s = \sqrt{(25 + 1.2D_*^2) - 5}$		(۴-۲)	چنگ ^۴ (۱۹۹۷)

در روابط فوق، w_s سرعت سقوط ذرات (متر بر ثانیه)، d قطر ذرات (متر)، g شتاب جاذبه (متر بر

متر) و ν لزجت سینماتیکی آب مجذور ثانیه)، $D_* = d \left[\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{\frac{1}{3}}$ پارامتر بی بعد شده اندازه دانه ها و

متر مربع بر ثانیه) می باشد. در غلظت های بالا، رسوبات معلق به دلیل بر همکنش جریان های اطراف

دانه های در حال سقوط دانه ها نیروهای اصطکاک بیشتری با سیال را تجربه می کنند که باعث کاهش

سرعت ته نشینی می شود. برای لحاظ کردن این پدیده در محاسبات سرعت ته نشینی دانه ها

ریچاردسون و زکی^۵ (۱۹۵۴) سرعت سقوط اصلاح شده را به صورت رابطه (۵-۲) ارائه دادند.

$$w_{sm} = (1-c)^{\gamma} w_s \quad (۵-۲)$$

¹ Van Rijn

² Soulsby

³ Zhang

⁴ Cheng

⁵ Richardson and Zaki

در رابطه (۵-۲)، C غلظت حجمی و γ یک ضریب تجربی است. ون و یو^۶ (۱۹۶۶) به صورت تجربی مقدار γ را ۰/۵۷۱ به دست آوردند.

۳-۱-۲. تنش برشی بستر

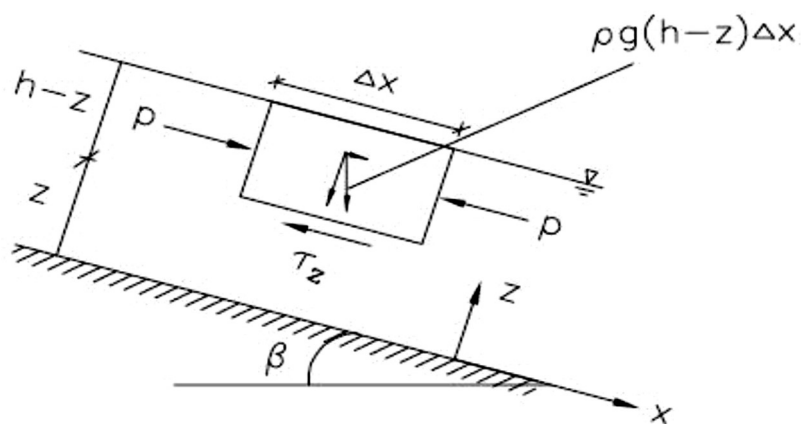
شمای تنش های وارده به جز سیال در جریان یکنواخت پایدار در شکل (۲-۲) نمایش داده شده است. برای جریان یکنواخت و پایدار تنش های وارد بر جزء سیال را می توان به صورت روابط (۶-۲)، (۷-۲) و (۸-۲) نوشت:

$$\tau_z \Delta x = \rho g h (h-z) \Delta x \sin \beta \quad (۶-۲)$$

$$\tau_b = \rho g h \sin \beta \quad (۷-۲)$$

$$\tau_b = \rho g h \sin \beta = \rho g \frac{\bar{u}}{C^2} = \frac{1}{8} \rho f_c \bar{u}^2 \quad (۸-۲)$$

در روابط فوق τ_b تنش برشی بستر، β شیب سطح آزاد آب، f_c ضریب اصطکاک دارسی ویسباخ و C ضریب شزی می باشد.



شکل (۲-۲). شمای تنش های وارده به جز سیال در جریان یکنواخت پایدار، (لیو^۷، ۲۰۰۱)

⁶ Wen and Yu

⁷ Liu

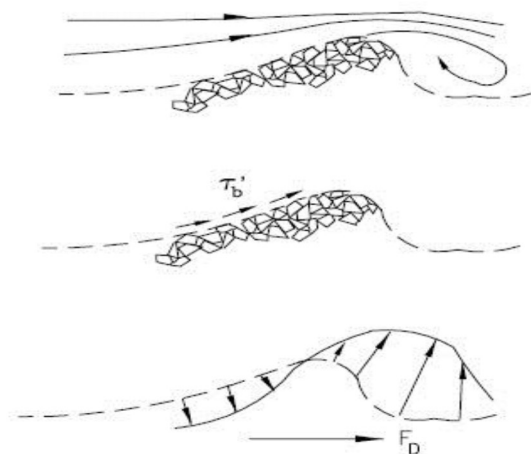
۲-۱-۳-۱. عوارض بستر و تنش موثر

در اثر حرکت دانه های رسوب روی بستر، بستر از حالت مسطح خارج شده و عوارض بستر شروع به شکل گرفتن می کنند. در اثر وجود عوارض بستر مقاومت در برابر جریان علاوه بر اصطکاک سطحی دانه ها ناشی از شکل عارضه بستر نیز خواهد بود. به تنش های برشی ناشی از عوارض بستر تنش موثر گفته می شود. شکل (۳-۲) طرح شماتیک تنش موثر روی جریان را نشان می دهد. تنش های بستر را می توان به صورت مجموع تنش های موثر و تنش های اصطکاکی نوشت، رابطه (۹-۲) تنش برشی ناشی از عارضه بستر و رابطه (۱۰-۲) مجموع تنش های موثر و تنش های اصطکاکی می باشد.

$$\tau_b'' = \frac{F_D}{A_R} \quad (۹-۲)$$

$$\tau_b = \tau_b' + \tau_b'' \quad (۱۰-۲)$$

در روابط (۹-۲) و (۱۰-۲)، F_D نیروی کشسانی ناشی از عوارض بستر (نیوتون)، A_R سطح افقی عارضه بستر (متر مربع)، τ_b'' تنش برشی ناشی از عارضه بستر (نیوتون بر متر مربع) و τ_b' تنش برشی ناشی از اصطکاک سطحی دانه ها (نیوتون بر متر مربع) می باشد.



شکل (۳-۲). طرح شماتیک نیروهای موثر، (لیو، ۲۰۰۱)

۲-۳-۱-۲. سرعت برشی بستر

سرعت برشی بستر مفهومی است که برای توصیف اندازه نیروهای وارد به بستر استفاده می شود، اگر چه به طور مستقیم نیرو وارد به بستر را بیان نمی کند، رابطه (۲-۱۱) بیانگر سرعت برشی است.

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} = \bar{u} \frac{\sqrt{g}}{C} \quad (۲-۱۱)$$

۲-۳-۱-۳. زبری بستر

مفهوم زبری بستر که زبری نیکورادزه نیز نامیده می شود ابتدا توسط نیکورادزه^۸ (۱۹۳۳) در لوله های زبر بیان شد. در شرایط طبیعی بستر حاوی رسوبات غیر یکنواخت و عوارض بستر بوده و زبری بستر را از روی اندازه گیری جریان و برازش پروفیل لگاریتمی جریان روی اطلاعات به دست آمده به دست می آید. در شرایط بستر یکنواخت زبری بستر دو برابر قطر متوسط دانه های رسوبات در نظر گرفته می شود، (لیو، ۲۰۰۱). با تعریف نواحی مختلف جریان بر اساس زبری نیکورادزه توسط کله بروک و وایت^۹ (۱۹۳۷) و تعریف پروفیل سرعت لگاریتمی برای جریان (رابطه ۲-۱۲) و نوشتن تنش بستر بر حسب ضریب شزی؛ ضریب شزی در نواحی مختلف جریان به صورت روابط (۲-۱۳-۱)، (۲-۱۳-۲) و (۲-۱۳-۳) بیان می شود.

$$u = \frac{u_*}{\kappa} \ln \left(\frac{y}{y_0} \right) \quad (۲-۱۱)$$

$$C = 18 \log \left(\frac{12h}{\frac{3.3v}{u_*}} \right) \quad \frac{u_* k_s}{v} \leq 5 \quad (۲-۱۳-۲)$$

$$C = 18 \log \left(\frac{12h}{\frac{k_s 3.3v}{u_*}} \right) \quad 5 < \frac{u_* k_s}{v} \leq 70 \quad (۲-۱۳-۲)$$

⁸ Nikuradse

⁹ Colebrook and White

$$C = 18 \log \left(\frac{12h}{k_s} \right) \quad \frac{u_* k_s}{\nu} > 70 \quad (3-13-2)$$

در روابط بالا، y_0 تراز سرعت صفر، y فاصله از بستر، C ضریب شزی، h عمق آب، u_* سرعت برشی بستر، ν لزجت سینماتیکی آب و κ ثابت فون کارمن می باشد.

۴-۱-۲. آغاز حرکت رسوبات

بستری از دانه های غیر چسبنده را در نظر بگیرید که در آن جریانی وجود دارد. در سرعت پایین جریان رسوبات بستر به حرکت در نمی آیند. با افزایش سرعت، نیروی اصطکاک اعمال شده به بستر افزایش یافته و دانه های رسوب شروع به حرکت می کنند و با جریان حمل می شوند. در تنش های اندکی بزرگتر از تنش بحرانی دانه های رسوب بستر برای آغاز حرکت، جابجایی رسوبات عمدتاً به صورت غلطش و جهش دانه های رسوب در نزدیکی بستر خواهد بود، (فون راین، ۱۹۹۰).

۴-۱-۲-۱. پارامتر شیلدز^{۱۰}

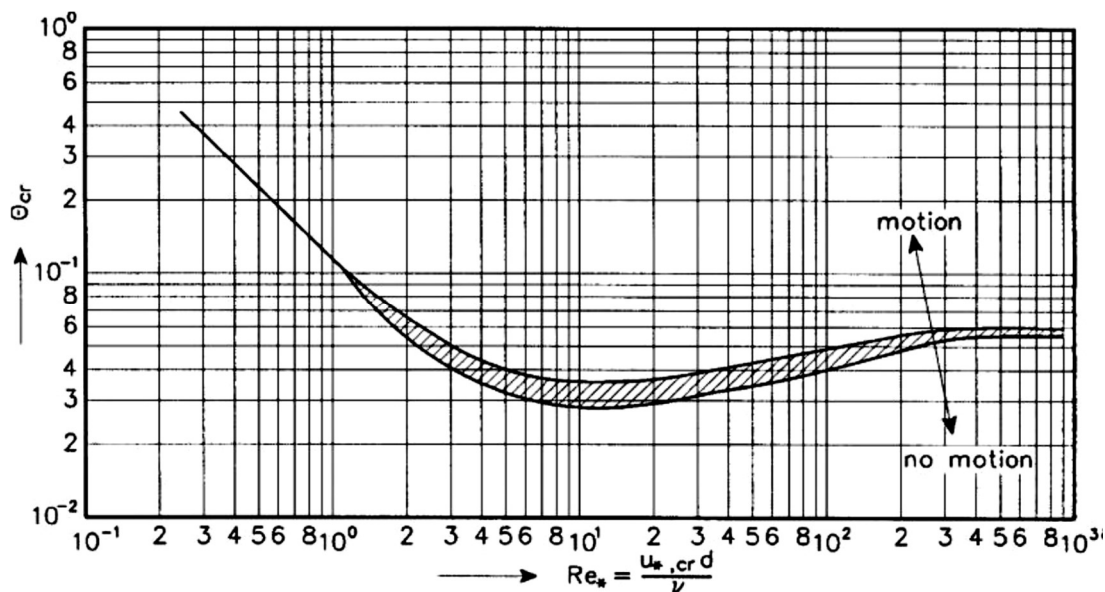
همان طور که گفته شد با افزایش سرعت جریان رسوبات بستر شروع به حرکت می کنند، به سرعتی که در آن رسوبات به آستانه حرکت می رسند، سرعت بحرانی جریان^{۱۱} گفته می شود. در اثر افزایش سرعت نیروهای محرک^{۱۲} از نیروی پایدارساز^{۱۳} بیشتر میشود. برای توضیح این مسئله راه حل کلاسیک شیلدز (۱۹۳۶) ارائه شد. شکل (۴-۲) مشاهدات آزمایشگاهی شیلدز که θ_c را به عدد رینولدز دانه ها مرتبط می کند را نشان می دهد.

¹⁰ Shields Parameter

¹¹ Critical velocity

¹² Driving forces

¹³ Stabilizing forces



شکل (۲-۴). دیاگرام شیلدز که آستانه حرکت را بر اساس عدد رینولدز بیان میکند، (فون راین، ۱۹۹۰)

تحلیل شیلدز بر مبنای تحلیل ابعادی بوده و فرض میکند که آستانه حرکت^{۱۴} در نسبت مشخصی بین نیروی پایدارساز و نیروی محرک فرا می رسد. تا زمانی که نیروهای محرک از مقدار نیروی پایدار ساز کمتر باشد دانه رسوب حرکت نمی کند. در واقع تا زمانی که سرعت از مقدار بحرانی برای شروع حرکت تجاوز نکند حرکتی صورت نمیگیرد. شیلدز با حل معادله تعادل نیروهای پایدار ساز و نیروهای محرک، رابطه (۲-۱۴) را برای بیان آستانه حرکت رسوبات ارائه داد. پارامتر سمت چپ رابطه، پارامتر بحرانی شیلدز نامیده می شود.

$$\theta_c = \frac{u_{*c}^2}{(s-1)gd} \quad (۲-۱۴)$$

فون راین (۱۹۹۰) دیاگرام شیلدز را به صورت تابعی از پارامتر بی بعد قطر دانه ها D^* به صورت رابطه (۲-۱۵) بیان کرد.

^{۱۴} Threshold of motion

$$\begin{aligned} \theta_{cr} &= 0.24 D_*^{-1.00} & \text{for } \rightarrow 1 < D_* \leq 4 & \quad (15-2) \\ \theta_{cr} &= 0.14 D_*^{-0.64} & \text{for } \rightarrow 4 < D_* \leq 10 \\ \theta_{cr} &= 0.04 D_*^{-0.10} & \text{for } \rightarrow 10 < D_* \leq 20 \\ \theta_{cr} &= 0.013 D_*^{0.29} & \text{for } \rightarrow 20 < D_* \leq 150 \\ \theta_{cr} &= 0.055 & \text{for } \rightarrow D_* > 150 \end{aligned}$$

۵-۱-۲. حالت های انتقال بار رسوبی

همان طور که پیش تر اشاره شد زمانی که سرعت برشی بستر از سرعت بحرانی برای آغاز حرکت تجاوز کند ذرات رسوب روی بستر در یک تماس پیوسته با بستر می لغزند. با افزایش بیشتر سرعت برشی بستر حرکت ذرات رسوب با جهش های نا منظم در امتداد بستر ادامه می یابد. زمانی که سرعت برشی بستر از سرعت سقوط دانه های رسوب فراتر می رود ذرات رسوب به سطحی وارد می شوند که آشفتگی نیروی رو بالایی بیشتر از وزن مستغرق دانه ها به دانه ها وارد می کند و رسوبات به حالت معلق در می آیند. در این حالت رسوبات به صورت بار بستر هم جابجا می شوند ولی سهم آنها از کل بار جابجا شده کاهش می یابد (سولزی، ۱۹۹۷). بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی نرخ جابجایی رسوبات تا حد زیادی وابسته به اندازه میانگین عمقی سرعت است، (فون راین، ۱۹۹۰).

۱-۵-۱-۲. انتقال بار بستر

به طور معمول انتقال رسوبات به صورت غلطش و لغزش و جست و خیز در امتداد بستر انتقال بار بستر نامیده می شود. در شرایط وجود جریان های ضعیف یا شن و ماسه درشت بار بستر وجه غالب انتقال رسوبات است. روابط زیادی برای تخمین نرخ انتقال بار بستر ارائه شده است. اولین رابطه از این دست رابطه پیتر-میر و مولر^{۱۵} (۱۹۴۸) بود که بر اساس آزمایشات فلوم روی ذرات با دانه بندی یکنواخت و مخلوط به دست آمد. بگنولد^{۱۶} (۱۹۶۶) بر اساس مفهوم انرژی رابطه ای ارائه داد و میزان کار انجام

¹⁵ Meyer-Peter and Muller

¹⁶ Bagnold

شده توسط جریان سیال را به نرخ رسوبات منتقل شده ارتباط داد. فون راین (۱۹۸۴) رابطه ای نیمه تجربی بر مبنای نوشتن معادله حرکت دانه منفرد رسوب ارائه داد که به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد. مجموعه روابط ذکر شده در جدول (۲-۲) ارائه شده است.

جدول (۲-۲). روابط محاسبه انتقال بار بستر

$\frac{q_b}{d_{50}^{1.5} \sqrt{(s-1)g}} = 8(\mu\theta - 0.047)^{1.5}$	(۱۶-۲)	پیتر-میر و مولر (۱۹۴۸)
$q_b = \frac{e_b \tau_b \bar{u}}{\rho g (s-1) \cos \beta (\tan \phi - \tan \beta)}$	(۱۷-۲)	بگنولد (۱۹۶۶)
$q_b = 0.053 d_{50}^{1.5} D_*^{-0.3} T^{1.5} \sqrt{(s-1)g} \rightarrow T < 3$ $q_b = 0.1 d_{50}^{1.5} D_*^{-0.3} T^{1.5} \sqrt{(s-1)g} \rightarrow T \geq 3$	(۱۸-۲)	فون راین (۱۹۸۴)

در روابط فوق، q_b نرخ انتقال حجمی در واحد عرض (مترمکعب بر ثانیه در واحد عرض)، $\mu = \left(\frac{C}{C'}\right)^{1.5}$

ضریب شکل بستر، $C = 18 \log\left(\frac{12h}{k_s}\right)$ ضریب شزی (مجذور متر بر ثانیه)، $C' = 18 \log\left(\frac{12h}{3d_{90}}\right)$ ضریب

شزی دانه ها (مجذور متر بر ثانیه)، u_* سرعت برشی بستر (متر بر ثانیه)، $s = \frac{\rho_s}{\rho}$ چگالی نسبی رسوبات،

k_s زبری موثر بستر (متر)، h عمق آب (متر)، d_{50} اندازه متوسط دانه ها (متر)، $\tan \beta$ شیب بستر،

$\tan \phi$ ضریب اصطکاک دینامیکی دانه های رسوب، $T = \frac{\tau'_b - \tau_{bcr}}{\tau_{bcr}}$ پارامتر بی بعد شده تنش برشی

بستر، $D_* = d_{50} \left[\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]$ پارامتر بی بعد شده اندازه دانه، τ'_b تنش برشی موثر بستر (نیوتون بر متر

مربع)، g شتاب جاذبه (متر بر مجذور ثانیه) می باشد.

۲-۵-۱-۲. انتقال بار معلق

همانطور که پیش تر بیان شد هنگامی سرعت برشی بستر از سرعت سقوط دانه های رسوب فراتر می

رود تعلیق رسوبات آغاز می شود. سرعت رسوبات معلق در راستای افقی برابر سرعت سیال فرض می شود و رفتار آنها به صورت غلظت توصیف می شود. بر اساس فرضیات بگنولد (۱۹۶۶)، تعلیق رسوبات زمانی آغاز می شود که $u_* \geq w_s$ فون راین (۱۹۸۴) معیاری برای آستانه تعلیق رسوبات ارائه داد که آستانه تعلیق رسوبات را به مراتب پایین تر از بگنولد (۱۹۶۶) محاسبه می کند، (رابطه ۲-۱۹). انگلاند^{۱۷} (۱۹۶۵) بر مبنای یک تحلیل پایداری، معیار آستانه تعلیق رسوبات را به صورت رابطه (۲-۲۰) ارائه داد.

$$\frac{u_*}{w_s} \geq \frac{4}{D_*} \quad 1 < D_* \leq 10 \quad (۱۹-۲)$$

$$\frac{u_*}{w_s} \geq 0.4 \quad D_* > 10 \quad (۱۹-۲)$$

$$\frac{u_*}{w_s} \geq 0.25 \quad (۲۰-۲)$$

۲-۱-۵-۳. تراز مینا و غلظت مینا

منطقی ترین تعریف برای تراز مینا لبه فوقانی لایه بار بستر می باشد. بنابر این تعریف غلظت مینا برابر متوسط غلظت رسوبات در لایه بار بستر در نظر گرفته می شود. در صورت وجود عوارض بستر تراز مینا برابر نصف ارتفاع عارضه بستر و یا زبری معادل بستر در نظر گرفته می شود ولی در هر حال این میزان نباید از $0.01h$ کمتر باشد. فون راین، (۱۹۹۰)، گارسیا و پارکر^{۱۸} (۱۹۹۱) مرور جامعی روی روابط ارائه شده برای محاسبه غلظت مینا انجام دادند.

۲-۱-۶. رسوبات چسبنده

ترکیبات رسوبی با بیش از ده درصد ذرات کوچکتر از $4\mu m$ (رس) دارای خواص چسبندگی می باشند.

¹⁷ Engelund

¹⁸ Garcia and Parker

در این حالت نیروهای الکترواستاتیکی بین ذرات رسوب قابل مقایسه یا بزرگتر از نیروی جاذبه روی دانه های رسوب خواهند بود در نتیجه رسوبات تمایل به تجمع و ایجاد لخته هایی دارند که اندازه و سرعت سقوط آنها به مراتب بزرگتر از ذرات منفرد است، (فون راین، ۱۹۹۰).

۲-۱-۶-۱. شکل گیری لخته

رسوبات ریز دانه به دلیل وجود نیروهای قوی بین ذرات به طور عمده تمایل دارند به یکدیگر بچسبند و واحدهای بزرگتری را شکل دهند. هرچه اندازه ذرات رسوب کوچکتر باشد شدت این نیروها بزرگتر خواهد بود. فرآیند لخته شدگی تا حد زیادی وابسته به نوع رسوبات، شرایط جریان و غلظت یون های موجود در آب است. در آبهای شیرین لخته شدن به غلظت رسوبات، شکل و اندازه آنها بستگی دارد، (ژو^۱ و همکاران، ۲۰۰۶). در کاربردهای مهندسی اثر لخته شدگی با کاهش سرعت ته نشینی اعمال می شود.

۲-۱-۶-۲. ته نشینی

یکی از مهم ترین فرآیندهای رسوبات چسبنده که در مطالعه تغییرات مورفولوژیک و حمل رسوبات معلق مورد توجه قرار می گیرد، ته نشینی است. سرعت ته نشینی در رسوبات چسبنده تا حد زیادی به غلظت رسوبات و شوری آب بستگی دارد. ته نشینی زمانی اتفاق می افتد که تنش برشی بستر از تنش بحرانی برای آغاز ته نشینی کمتر باشد. سرعت ته نشینی می تواند برای یک ذره منفرد یا با در نظر گرفتن اثر ممانعت و یا لخته شدگی محاسبه شود. مطالعات مهتا و پاراتینادز^۲ (۱۹۷۳) نشان داد که فرآیند ته نشینی رسوبات در رسوبات چسبنده به تنش بستر، آشفتگی در نزدیک بستر، سرعت سقوط، غلظت و نوع رسوبات، عمق جریان و ساختار یونی جریان حاوی رسوبات ریز دانه بستگی دارد. سرعت

¹ Zhu

² Mehta and Partheniades

سقوط دانه ها برای یک دانه منفرد می تواند بر اساس قانون استوکس محاسبه شده که تنها به قطر دانه بستگی دارد، رابطه (۲۱-۲).

$$w_s = \frac{\rho(s-1)gd^2}{18\nu} \quad (21-2)$$

با افزایش غلظت رسوبات و افزایش تصادم بین آنها و به دلیل نیروهای میان ذره ای بین رسوبات لخته های رسوبی شکل می گیرد. شکل (۵-۲) اثر غلظت بر سرعت سقوط دانه ها را نشان می دهد. تنش های آشفته ناشی از آشفتگی در جریان با از بین بردن لخته ها نرخ لخته شدگی را کاهش می دهد. با افزایش افزایش بیشتر غلظت رسوبات لخته ها به اندازه کافی بزرگ می شوند تا بر هم اثر بگذارند. با افزایش بیشتر غلظت رسوبات، ($c > 10$ کیلوگرم بر متر مکعب) فاصله بین لخته ها کاهش یافته و نیروهای بین ذره ای قویتر می شوند. در این حالت سرعت سقوط قابل چشم پوشی بوده و مخلوط آب و رسوب به صورت گل روان در می آید. گل روان عمدتاً در نزدیکی بستر شکل می گیرد. (فون راین ۱۹۹۰).

کرون^۱ (۱۹۶۲) بر مبنای مشاهدات آزمایشگاهی اثر افزایش غلظت روی سرعت سقوط را به صورت رابطه (۲۲-۲) بیان کرد:

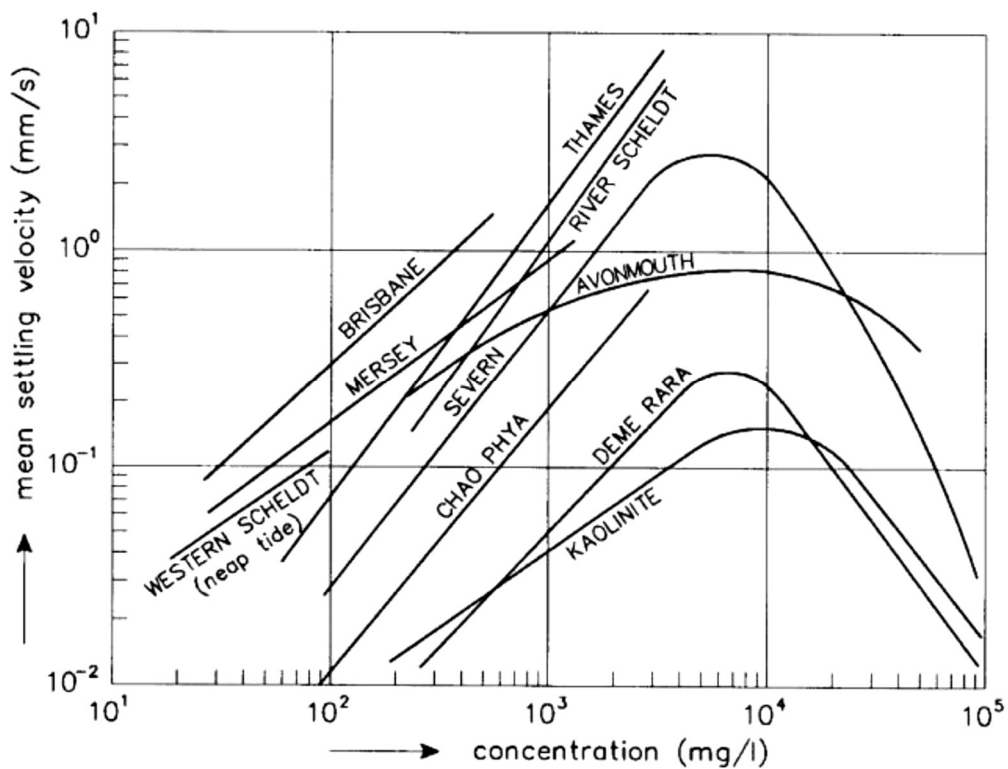
$$w_s = KC \frac{4}{3} \quad (22-2)$$

در رابطه فوق، w_s سرعت سقوط رسوبات و K ضریب کالیبراسیون، تقریباً برابر ۰,۰۰۱ است کول و مایلز (۱۹۸۳) رابطه (۲۳-۲) را که شبیه رابطه (۲۲-۲) است ارائه دادند. در رابطه کول و مایلز^۲ (۱۹۸۳) داریم، $0.001 \leq K \leq 0.002$.

$$w_s = KC \quad (23-2)$$

¹ Krone

² Cole and Miles



شکل (۲-۵). تاثیر غلظت روی سرعت سقوط رسوبات چسبنده، (فون لاسن، ۱۹۹۰)

فون لاسن^۱ (۱۹۹۴) رابطه ای برای سرعت سقوط رسوبات چسبنده با در نظر گرفتن اثر استهلاک انرژی جنبشی ارائه کرد، رابطه (۲-۲۴).

$$w_s = KC^n \frac{1+aG}{1+bG^2} \quad (۲-۲۴)$$

$$G = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\nu}}$$

n, K, b, a ثابت های تجربی و G پارامتر نرخ استهلاک است. نزو و ناکاگاوا^۲ (۱۹۹۳) رابطه ای برای تخمین نرخ استهلاک انرژی جنبشی آشفته، ε در جریان یکنواخت ارائه دادند، رابطه (۲-۲۵).

^۱ Van Leussen

^۲ Nezu and Nakagawa

$$\varepsilon = \frac{u_*}{\kappa h} \frac{1 - \eta}{\eta} \quad (25-2)$$

$$\eta = \frac{z}{h}$$

در رابطه (۲۵-۲)، u_* سرعت برشی بستر (متر بر ثانیه)، h عمق جریان (متر)، κ ثابت فون کارمن و Z فاصله از بستر در راستای قائم (متر) است.

روابط ذکر شده اثر ممانعت در غلظت های بالا را در نظر نمی گیرند و در غلظت های بالا مناسب نیستند. نیکولسون و اکانر^۱ (۱۹۸۶) رابطه (۲۶-۳) را برای در نظر گرفتن اثرات ممانعت در غلظت های بالا ارائه دادند.

$$w_s = A_1 C^{B_1} \rightarrow C < C_H \quad (26-2)$$

$$w_s = A_1 C_H^{B_1} \left[1.0 - A_2 (C - C_H)^{B_2} \right] \rightarrow C \geq C_H$$

در رابطه فوق، C_H غلظتی است که در آن اثر ممانعت آغاز می شود (کیلوگرم بر متر مکعب) و A_1 ، A_2 ، B_1 ، B_2 ثابت های تجربی هستند.

به طور کلی با توجه به غلظت رسوبات معلق با دو نوع رسوب گذاری روبرو هستیم، ته نشینی کامل و ته نشینی جزئی.

۱-۲-۶-۱-۲ ته نشینی کامل

همانطور که اشاره شد در محدوده غلظتهای پائین، ($c \leq 0.3$ کیلوگرم بر متر مکعب) به علت میزان کم برخورد بین دانه ها لخته شدگی قابل توجهی رخ نمی دهد و اندازه لخته های رسوب تقریباً یکنواخت خواهد بود. در این حالت مقاومت لخته ها تقریباً یکنواخت بوده و تنش بحرانی رسوب گذاری برای همه آنها یکسان خواهد بود. کرون (۱۹۶۲) یک رابطه تجربی برای تخمین نرخ ته نشینی کامل رسوبات ارائه

¹ Nicholson and O'Connor

داد که به طور گسترده به کار می رود، رابطه (۲۷-۲).

$$D = \begin{cases} (1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}}) w_s c_b & \tau_b < \tau_{cd} \\ 0 & \tau_b \geq \tau_{cd} \end{cases} \quad (27-2)$$

در رابطه بالا، D نرخ ته نشینی رسوبات (کیلوگرم بر متر مربع در واحد زمان)، τ_b تنش برشی بستر (متر مربع بر ثانیه)، τ_{cd} تنش برشی بحرانی ته نشینی بستر و c_b غلظت رسوبات در نزدیکی بستر (کیلوگرم بر مترمکعب) می باشد.

۲-۱-۶-۲-۲. فرسایش

با افزایش تنش برشی بستر و تجاوز آن از تنش برشی بحرانی بستر برای فرسایش، رسوبات شروع به جدا شدن از بستر کرده و به صورت معلق وارد جریان می شوند. پاراتینادز (۱۹۶۵) رابطه (۲۹-۲) را برای تخمین نرخ فرسایش بستر ارائه داد.

$$E = \begin{cases} (\frac{\tau_b}{\tau_{ce}} - 1)M & \tau_b > \tau_{ce} \\ 0 & \tau_b \leq \tau_{ce} \end{cases} \quad (29-2)$$

در رابطه فوق، E نرخ فرسایش رسوبات بستر و M ثابت فرسایش می باشد. واحد هر دو مورد کیلوگرم بر مترمربع در واحد زمان می باشد. τ_{ce} نیز تنش برشی بحرانی فرسایش بستر (مترمربع بر ثانیه) است.

۲-۲. تاثیر شکل هندسی بندر

۱-۲-۲. پیشگفتار

امروزه یکی از مهمترین پارامترهای مورد نظر در طراحی بندر، علاوه بر الزامات ناوبری^۱ مسئله انتقال رسوبات و رسوب گذاری^۲ درون بندر است. اهمیت این مسئله به این علت است که رسوب گذاری درون بندر موجب کم عمق شدن^۳ حوضچه بندر و کانال دسترسی^۴ شده و سبب اختلال در عبور و مرور شناورها و صرف مبالغ هنگفت جهت لایروبی می شود. روند انتقال رسوبات و رسوب گذاری در بندر و نواحی ساحلی به وسیله روش هایی چون عکس برداری هوایی^۵، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، بررسی تغییرات توپوگرافی بستر دریا و ردیابی مسیر حرکت ماسه های رنگ شده^۶ صورت می گیرد.

در فرآیند انتقال رسوبات و رسوب گذاری درون بندر علاوه بر الگوی موج و جریان در ناحیه ای که بندر در آن واقع شده است، شکل هندسی بندر نیز موثر است. در حقیقت پارامترهای هندسی بندر روی الگوی موج و جریان درون بندر تاثیرگذار است. میزان پارامترهای هندسی بندر که توسط طراح قابل تعیین و تغییر است زیاد نیست و در بیشتر موارد این پارامترها توسط ملاحظات اقتصادی و ناوبری تعیین می شوند. برای مثال عرض و عمق ورودی بندر با توجه به ملاحظات ناوبری و مساحت بندر با توجه به ملاحظات اقتصادی و تعداد کشتی هایی که باید در بندر پهلو بگیرند تعیین می شود.

در روشهای تحلیل موجود پارامترهای هندسی مرتبط با رسوب گذاری و انتقال رسوب در بندر به صورت بدون بعد بیان میشود. در فرآیند طراحی بندر برای بررسی اثر پارامترهای هندسی بر روی انتقال رسوب و رسوب گذاری از مدلهای هیدرولیکی و عددی استفاده میشود. در ادامه فصل به عوامل انتقال رسوبات و رسوب گذاری درون بندر و تاثیر پارامترهای هندسی بندر بر روی آنها پرداخته می شود.

¹ Navigation requirements

² Sedimentation

³ Shoaling

⁴ Access channel

⁵ Aerial Photography

⁶ Fluorescent sand

۲-۲-۲. عوامل موثر روی رسوب گذاری و انتقال رسوب درون بنادر

۲-۲-۲-۱. پیشگفتار

در بنادر بسته به محل احداث آنها جریان تبادل آب^۷ میان بندر و آب های پیرامون آن وجود دارد. این جریان تبدالی از مجموعه جریان های جزر و مدی^۸، تبادل افقی^۹ و جریان های ناشی از چگالی^{۱۰} تشکیل شده است. وجود این جریان تبدالی موجب انتقال رسوبات به درون بندر می شود و رسوبگذاری در بندر به وقوع می پیوندد که نرخ آن به طور ساده از رابطه (۲-۳۰) محاسبه می شود، (وینتر ورپ^{۱۱}، ۲۰۰۵).

$$F_s = P.C_a.Q \quad (۲-۳۰)$$

در رابطه فوق، F_s نرخ رسوبگذاری (مترمکعب بر ثانیه)، P احتمال به تله افتادن رسوبات، C_a ضریب تبادل و Q نرخ تبادل آب میان حوضچه و محیط (مترمکعب بر ثانیه) می باشد. شکل هندسی بندر از یک سو روی نرخ تبادل آب میان حوضچه و محیط و از سوی دیگر روی الگوی جریان درون بنادر تاثیر می گذارد. احداث موج شکن نیز علاوه بر بر هم زدن تعادل ساحل که در طول زمان به دست آمده، الگوی موج و جریان درون لنگرگاه را تحت تاثیر قرار میدهد. در ادامه فصل به شرح عوامل فوق و ارتباط آنها با شکل هندسی بندر پرداخته می شود.

۲-۲-۲-۲. جریان های جزر و مدی

در اثر تغییرات سطح آب درون بندر ناشی از جزر و مد، جریان های بزرگی در دهانه بندر ایجاد می

⁷ Water exchange flow

⁸ Tidal currents

⁹ Horizontal exchange

¹⁰ Density driven currents

¹¹ Winterwerp

شود. به دلیل طول موج بلند (از مرتبه ۱۰۰ کیلومتر) در مقایسه با عمق (متر) سرعت انتشار چنین جریانی، برابر سرعت موج بلند در آب کم عمق است، (رابطه ۲-۳۱).

$$C = \sqrt{gd} \quad (۲-۳۱)$$

در معادله بالا، C سرعت انتشار جریان (متر بر ثانیه)، g شتاب گرانش (متر بر مجذور ثانیه) و d عمق آب (متر) می باشد. بالا رفتن سطح آب در دریا موجب ایجاد جریان درون سوا^۱ به درون حوضچه بندر شده که آب گرفتگی^۲ نامیده میشود و سطح آب درون حوضچه را نیز بالا میبرد. به طور عکس پایین رفتن سطح آب در دریا موجب جریان برونسوا^۳ در ورودی حوضچه شده که جریان فرونشینی^۴ نامیده شده و موجب پایین آمدن سطح آب در حوضچه می شود. میزان پتانسیل انتقال رسوبات توسط جریانات جزر و مدی به درون حوضچه را می توان از رابطه بگنولد (۱۹۶۶)، اصلاح شده توسط گاد^۵ و همکاران (۱۹۸۷)، محاسبه کرد، رابطه (۲-۳۲).

$$Q_t = \beta(U_{100} - U_{100c})^3 \quad (۲-۳۲)$$

در معادله بالا، Q_t نرخ انتقال رسوبات (مترمکعب بر ثانیه)، U_{100} سرعت جریان ۱ متر بالاتر از بستر (متر بر ثانیه)، U_{100c} سرعت بحرانی ۱ متر بالاتر از سطح بستر و β ثابت تجربی (برای همه اندازه دانه های مختلف برابر $1.73 \times 10^{-5} \text{ gs}^2 \text{ cm}^{-4}$ است) .

در اثر ورود یا خروج جریانات جزر و مدی، وابسته به هندسه بندر و شدت جریانات جزر و مدی یک یا چند گردابه^۶ در حوضچه شکل می گیرد که وابسته به زمان هستند و در فرآیند تخلیه رسوبات و

¹ Inflow

² flood

³ Out flow

⁴ Ebb

⁵ Gadd

⁶ eddy

رسوبگذاری درون حوضچه نقش مهمی را ایفا می کنند. جیانگ و فالکونر^۱ (۱۹۸۳، ۱۹۸۵) تحقیقاتی را روی تاثیر جزر و مد بر روی ویژگیهای تبادل آب حوضچه انجام دادند. به علاوه، نیس و فالکونر^۲ (۱۹۸۹) نیز مطالعاتی در مورد سرعت متوسط گیری شده در عمق ناشی از جزر و مد در بنادر انجام دادند. در حوضچه بنادر به دلیل اینکه طول حوضچه در مقایسه با طول موج جزر و مدی^۳ ناچیز است، سطح آب درون حوضچه و سطح آب دریا هنگام تغییرات جزر ومدی اختلاف فاز ندارند. در زمان حداکثر سطح آب در دریا سطح آب حوضچه نیز به حداکثر خود رسیده است و در این لحظه شروع به پایین آمدن می کند. این وضعیت، حالت سکون حداکثر^۴ نامیده می شود. تفاضل سطح آب حداکثر و حداقل درون حوضچه ضرب درمساحت کف حوضچه حجم آبی را مشخص میکند که در نصف چرخه جزر و مدی از ورودی حوضچه عبور می کند و منشور جزر و مدی^۵ نامیده میشود.

۲-۲-۳. تبادل افقی

درک فرایند انتقال رسوبات نیازمند وجود درک صحیحی از هیدرودینامیک محلی است. فرآیند تبادل افقی ناشی از اختلاف سرعت جریان در امتداد ورودی بندر و آب درون حوضچه بندر است. جریان در گوشه بالادست از حوضچه جدا شده و یک لایه اختلاط آشفته میان حوضچه بندر و جریان شکل می گیرد که گوشه پایین دست را نیز تحت تاثیر قرار می دهد. در اثر سرعت جریان، آب درون حوضچه نیز به حرکت در آمده و پس از بلوکه شدن در ناحیه ایستایی^۶ یک یا چند گردابه درون حوضچه تشکیل می دهد، شکل (۲-۶). تعداد این گردابه ها به هندسه حوضچه وابسته است. خطی که نقطه جدایی جریان^۷ را به ناحیه ایستایی متصل می کند، خط جریان نامیده می شود و موقعیت آن روی ناحیه ای

¹ Jiang and Falconer

² Nece and Falconer

³ Tidal wave length

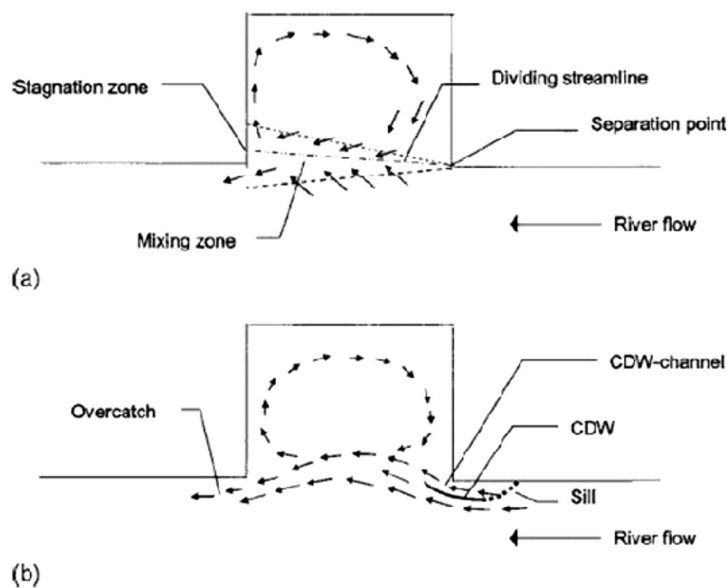
⁴ High water slack tide

⁵ Tidal prism

⁶ Stagnation zone

⁷ Flow separation

به عرض ناحیه اختلاط تغییر می کند.



شکل (۲-۶). تبادل افقی بین جریان و حوضچه، (کویجپر^۱ و همکاران، ۲۰۰۵)

در ناحیه اختلاط سرعت از مقدار کم درون حوضچه تا سرعت جریان به طور تدریجی تغییر می کند. قدرت و نرخ رشد لایه اختلاط آشفته میزان تبادل را معلوم می کند. میزان تبادل افقی را می توان توسط رابطه (۲-۳۳) بیان کرد.

$$Q_e = f_e A u_0 \quad (2-33)$$

در معادله فوق، u_0 سرعت جریان (متر بر ثانیه)، A سطح مقطع ورودی حوضچه (متر مربع)، f_e ضریب تبادل وابسته به هندسه دهانه ورودی و الگوی جریانات محلی و Q_e نرخ تبادل رسوبات (متر مکعب بر ثانیه) می باشد.

مقادیر معمول f_e برای حوضچه های واقع در خط ساحلی بسته به زاویه گوشه پایین دست دهانه بندر بین ۰,۰۵ تا ۰,۰۰۵ تغییر می کند ولی مقادیر خارج از این دامنه نیز دیده شده است، (بویتز^۲، ۱۹۶۸)،

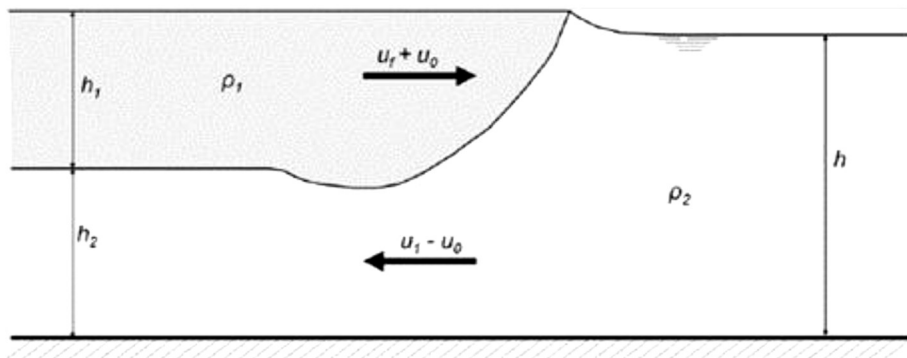
¹ Kuyjper
² Booij

(آیسینک^۱، ۱۹۸۹) و (کوایجپر و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۲-۴. جریان های ناشی از چگالی

جریان های ناشی از چگالی از جریان یافتن یک سیال در سیال دیگر با چگالی متفاوت ایجاد می شود. این شکل از جریانات می تواند ناشی از گرادیان شوری^۲، یا غلظت رسوبات باشد ولی به طور عمده ناشی از گرادیان شوری هستند.

وقتی چگالی آب خارج از حوضچه بندر از چگالی آب درون حوضچه کمتر باشد فشار هیدرواستاتیکی نزدیک بستر^۳ درون حوضچه بیشتر بوده و جریان رو به بیرون در نیمه پایین تر ستون آب در حوضچه ایجاد می شود که با جریان به سمت داخل آب با چگالی کمتر در نزدیکی سطح همراه می گردد. اگر چگالی آب خارج از بندر بیشتر باشد جهت جریان نزدیک بستر به سمت داخل حوضچه و جهت جریان نزدیک سطح به سمت خارج حوضچه خواهد بود، شکل (۲-۷).



شکل (۲-۷). انتشار لایه جریان با چگالی کمتر در محیط با سیال با چگالی بیشتر، (فان مارن^۴ و همکاران، ۲۰۰۹)

¹ Eysink

² Salinity gradient

³ Near bed hydrostatic pressure

⁴ Van Maren

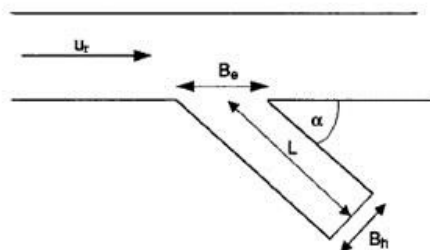
۲-۲-۵. جانمایی موج شکن ها^۱

وجود موج شکن باعث سد شدن مسیر انتقال رسوبات به موازات ساحل شده و در این حالت موج شکن مانند تله رسوبی عمل کرده و رسوبات پشت آن جمع می شوند. موج و جریان، رسوبات جمع شده پشت موج شکن را به سمت نوک موج شکن منتقل کرده و موجب کم عمقی اطراف دهانه می شود. شکست موج در اطراف دهانه که در اثر کاهش عمق روی می دهد موجب معلق شدن رسوبات در آب شده و در نتیجه این رسوبات حتی با امواج ضعیف نیز به درون حوضچه منتقل می شوند.

اثر جانمایی موج شکن ها روی فرآیند رسوب گذاری درون بندر از دو زاویه قابل بررسی است، نخست حجم رسوباتی که از موج شکن عبور کرده و به نواحی اطراف دهانه ها می رسد و دوم موقعیت قرارگیری دهانه ورودی بندر نسبت به موج و جریان غالب که روی پدیده تفرق^۲ و مقدار رسوبات حمل شده به وسیله موج به درون بندر تاثیر دارند.

۲-۲-۳. تاثیر شکل هندسی بندر روی تبادل افقی

همانطور که اشاره شد، تبادل رسوبات بین بندر و محیط اطراف در حالت کلی توسط رابطه (۲-۳۳)، قابل بیان است. مطالعات بویژ (۱۹۸۶) روی بندرهای با زاویه های مختلف نسبت به جریان، نشان داد که با کاهش زاویه α میزان f_e افزایش می یابد، (شکل ۲-۸).



شکل (۲-۸). زاویه بندر نسبت به جریان

¹ Break waters

² diffraction

در مطالعات بویژ (۱۹۸۶)، برای زوایای ۰،۴۵، ۹۰، ۱۳۵ درجه مقدار f_e به ترتیب ۰،۰۵، ۰،۳۱ و ۰،۱۹ به دست آمد.

درشتهوف^۱ (۱۹۷۰)، مجموعه آزمایشاتی را روی بندرهایی با طول مفروض L ، عمق h و عرض ورودی متغیر Be انجام داد. در تمام آزمایشات بندرها با زاویه ۹۰ درجه نسبت به جریان قرار داشتند. درشتهوف (۱۹۷۰)، بعد از انجام آزمایشات مذکور و آنالیز مجدد داده های خود نتایج را به صورت گرافیکی ارائه کرد که در آن Q_e به عنوان تابعی از Be نمایش داده شده بود، رابطه (۲-۳۴).

$$\begin{cases} \frac{Q_e}{U_n} = 0.046 + f_e Be \\ f_e = 0.034 \end{cases} \quad (2-34)$$

در معادله فوق، U_n سرعت جریان (متر بر ثانیه)، Be عرض ورودی حوضچه (متر)، h عمق آب (متر)، f_e ضریب تبادل و Q_e نرخ تبادل رسوبات (متر مکعب بر ثانیه) می باشد. مشاهده می شود که با افزایش عرض ورودی تبادل رسوبات افزایش می یابد. تغییرات f_e با تغییر زاویه α نشان دهنده اهمیت تاثیر هندسه روی هیدرودینامیک و در نتیجه جریان تبدالی است، با این وجود اطلاعات آزمایشگاهی هنوز کمتر از آن است که بتوان به یک نتیجه گیری کلی در مورد رابطه کاربردی میان f_e و α رسید. این^۲ و همکاران (۲۰۰۰)، مطالعاتی را روی نرخ تبادل بنادر مستطیلی با هندسه متفاوت انجام دادند. بنا بر نتایج آزمایشات این و همکاران، طول بندر تاثیر به مراتب بیشتری روی نرخ تبادل نسبت به عرض دارد و تاثیر جزر و مد روی تبادل افقی در بندرهای با ورودی کم عرض^۳ شدیدتر خواهد بود.

۲-۲-۴. تاثیر شکل هندسی بندر روی جریانات ناشی از چگالی

همان طور که پیش تر ذکر شد در اثر اختلاف چگالی آب درون حوضچه و آبهای پیرامونی، بسته به آن

¹ Dursthoff

² Yin

³ narrow

که چگالی آب درون حوضچه بیشتر باشد یا کمتر جریان هایی به خارج یا درون حوضچه بندر به وجود می آید. تغییرات غلظت رسوبات معلق در طول دوره جزر و مدی و رابطه آن با جریان تبادل آب تا حد زیادی روی رسوب گذاری درون بنادر در اثر جریانات ناشی از چگالی موثر است.

فان مارن و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه ای که بر روی یکی از حوضچه های جدید بندر آنتورپ بلژیک انجام شد، با استفاده از اندازه گیری های میدانی و مدل های عددی با دقت بالا نشان دادند که با افزایش طول حوضچه نرخ رسوب گذاری کاهش پیدا می کند. علت اصلی این پدیده را می توان در اختلاف فاز میان حداکثر غلظت رسوبات در آب های پیرامون حوضچه و جریان تبدالی ناشی از چگالی در حوضچه یافت که باعث می شود در صورت دو برابر شدن طول حوضچه جریان نزدیک بستر رو به خارج از حوضچه، همزمان با غلظت حداکثر رسوبات معلق در آبهای پیرامونی حوضچه رخ بدهد. این تحلیل نتیجه میدهد که افزایش طول حوضچه لزوماً به افزایش رسوب گذاری نمی انجامد بلکه بسته به شرایط می تواند موجب افزایش یا کاهش میزان رسوب گذاری شود.

۲-۵. تاثیر جانمایی موج شکن بر روی رسوب گذاری در بنادر

همانطور که پیش تر اشاره شد شکل هندسی و جانمایی موج شکن ها روی نرخ رسوب گذاری درون لنگرگاه و حجم لایروبی سالانه موثر است. مطالعات متعددی نشان میدهد که مشکل کم عمق شدن^۱ درون بنادر مربوط به پارامترهای متعدد جانمایی موج شکن است، (کارتنی^۲ و همکاران، ۱۹۹۱)، (تاناکا، ۱۹۸۷)، (تاناکا و ساتو^۳، ۱۹۷۶)، (وانگ^۴، ۱۹۸۷)، (ژون کوان و ژیان کون^۵، ۱۹۸۷). اکثر مطالعات مورد اشاره مربوط به یک محل مشخص بود. از آنجایی که این مشکل در همه نقاط دنیا رخ می دهد نیاز به تعیین معیارهایی برای طراحی به منظور کاهش میزان رسوب گذاری در بنادر وجود داشت.

¹ Shoaling

² Cartney

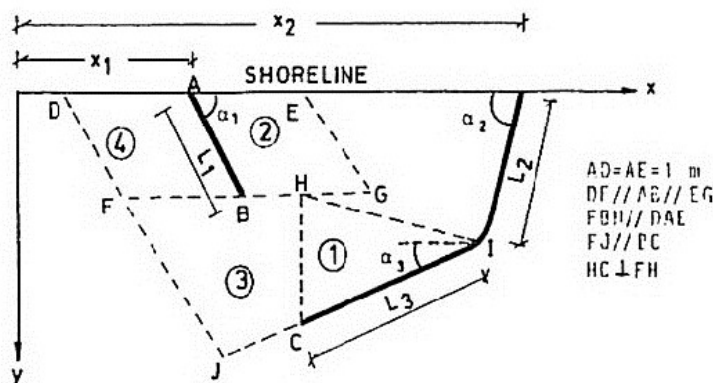
³ Tanaka and Sato

⁴ Wang

⁵ Zhangquan and Xiankun

یوکسک^۱ (۱۹۹۵) در یک مطالعه آزمایشگاهی تاثیر جانمایی موج شکن روی رسوب گذاری درون بندر را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه پارامترهای طول و محل موج شکن های اولیه و ثانویه و زاویه آنها با خط ساحلی مطابق شکل (۹-۲) مورد بررسی قرار گرفت.

بر اساس نتایج مطالعه یوکسک (۱۹۹۵)، افزایش α_2 و L_2 در کاهش میزان رسوب گذاری در بندر موثر است ولی تاثیر L_2 بیشتر است. هم چنین، زاویه بخش دوم موج شکن اصلی (α_3) با خط ساحلی نیز در میزان رسوبگذاری درون بندر موثر است.



شکل (۹-۲). پارامترهای جانمایی موج شکن و نواحی مورد ارزیابی (یوکسک، ۱۹۹۵)

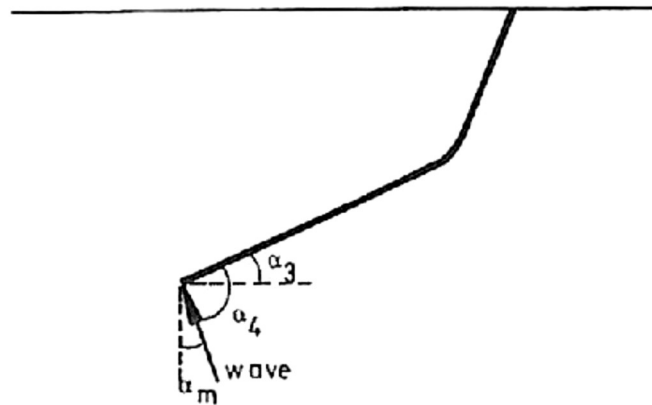
در شکل (۱۰-۲)، زاویه بین خط ساحلی و موج در نوک موج شکن و زاویه بین موج شکن و موج در نوک موج شکن است. با توجه به شکل داریم (رابطه ۲-۳۵):

$$\begin{cases} \alpha_3 > \alpha_m \rightarrow \alpha_4 > 90 \\ \alpha_3 = \alpha_m \rightarrow \alpha_4 = 90 \rightarrow \{ \alpha_4 = \alpha_3 - \alpha_m + 90 \\ \alpha_3 < \alpha_m \rightarrow \alpha_4 < 90 \end{cases} \quad (۲-۳۵)$$

یوکسک (۱۹۹۵) بیان داشت، زمانی که $\alpha_4 \gg 90$ است ضرایب تفرق و در نتیجه ارتفاع موج در حوضچه

¹ Yüksek

بزرگتر و در نتیجه رسوبگذاری کم تر است. در این حالت نوسانات سطح آب دریا^۱ قابل توجه خواهد بود. در مقابل، در شرایطی که $90 \ll \alpha_4$ ضرایب تفرق و ارتفاع موج درون حوضچه کم است.



شکل (۲-۱۰): زاویه بین موج و بخش دوم موج شکن اصلی (یوکسک، ۱۹۹۵)

در نتیجه موج انرژی کافی برای حمل رسوبات را نداشته و میزان رسوبگذاری قابل توجه خواهد بود. زمانی که $90 \cong \alpha_4$ ، یعنی $\alpha_3 \cong \alpha_m$ ، تقریباً هر دو مشکل نوسانات سطح آب و کم عمقی ناشی از رسوبگذاری به حداقل مقدار خود میرسد، (یوکسک، ۱۹۹۵).

مطالعات متعددی نشان می دهد که یکی از پارامترهای مهم موثر روی رسوبگذاری درون بندر شکل ورودی آن هاست، (تاناکا و ساتو، ۱۹۷۶)، (دانلی و مک اینیس^۲، ۱۹۶۸)، (دایانادا و گرتسن^۳، ۱۹۸۳).

همانطور که در شکل (۲-۱۱) دیده میشود بر حسب موقعیت نقطه A که از امتداد راستای موج از نوک موج شکن اصلی به طرف خط ساحلی بدست می آید سه وضعیت وجود دارد. بر اساس نتایج یوکسک

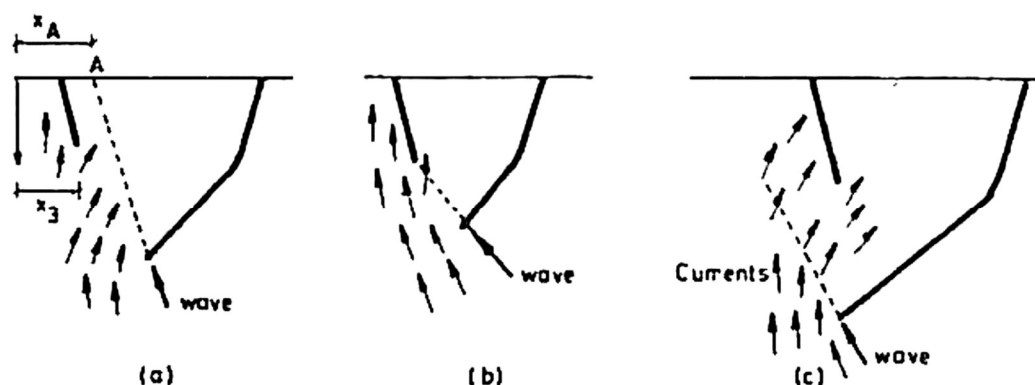
(۱۹۹۵)، وضعیت $1 \approx \frac{x_3}{x_A}$ در مجموع بهترین موقعیت برای موقعیت موج شکن ثانویه از نظر کاهش

رسوبگذاری درون بندر است.

¹ Sea level fluctuation

² Donnelly and MacInnis

³ Dayanada and Gerritsen



شکل (۲-۱): موقعیت های مختلف موج شکن ثانویه، ورودی حوضچه و مسیر جریانات (بوکسک، ۱۹۹۰)

۲-۲-۶. تاثیر جانمایی کانال دسترسی بر نرخ رسوب گذاری درون کانال

کشتی هایی که آبخور^۱ آنها بیش از عمق موجود است همواره نیاز به کانال دسترسی^۲ برای ورود به بنادر دارند. بسته به عمق کانال و شیب آن، طول کانال میتواند از چند صد متر تا چند کیلومتر متغیر باشد. در جانمایی کانال های دسترسی^۳ باید ملاحظات مربوط به ناوبری و نرخ رسوب گذاری سالانه در نظر گرفته شود. ابعاد کانال نیز به ابعاد و تناژ شناور در حال حرکت، مقررات محلی، شرایط رسوب گذاری، لایروبی اولیه^۴ و لایروبی نگه داری^۵ بستگی دارد. در ادامه به بررسی جانمایی کانال دسترسی از جنبه حجم سالانه رسوبگذاری پرداخته می شود. هنگام عبور موج از روی کانال ارتفاع موج کاهش یافته و در نتیجه قابلیت حمل رسوبات آن نیز کاهش می یابد.

پارامترهای اساسی که بر راندمان به تله افتادن رسوبات در یک کانال موثرند عبارتند از:

α_0 : زاویه تقریب^۶ جریان نسبت به محور کانال

¹ Draft

² Access channel

³ Channel layout

⁴ Capital dredging

⁵ Maintenance dredging

⁶ Approach angle

v_0 : سرعت تقرّب^۱

h_0 : عمق تقرّب^۲

u_{0*} : سرعت برشی بستر در هنگام تقرّب جریان^۳

w_s : سرعت سقوط ذرات^۴

H : ارتفاع موج

d : عمق کانال

B : عرض کانال

$\tan \gamma$: شیب وجه جانبی کانال

k_s : زبری بستر^۵

تاثیر کاهش ارتفاع موج روی تغییرات بستر نسبتاً کم است و میتوان ارتفاع موج داخل و خارج کانال را یکی گرفت، فون راین و همکاران (۱۹۸۵). در اثر زاویه جریان با محور کانال، خطوط جریان در کانال دچار انکسار^۶ می شوند. در اثر انکسار، خطوط جریان فشرده شده و افزایش سرعت رخ می دهد. از طرفی با توجه به افزایش عمق در کانال و پیوستگی، سرعت باید کاهش یابد. افزایش یا کاهش کلی سرعت در کانال بستگی به آن دارد که کدامیک از دو پدیده مذکور قوی تر باشد. فون راین و همکاران (۱۹۸۵)، در یک مطالعه عددی اثر زاویه تقرّب جریان نسبت به کانال (α_0) و سایر پارامترها را روی راندمان به تله اندازی رسوبات در یک کانال را بررسی کردند که نتایج آن را میتوان به صورت خلاصه به شکل زیر بیان

¹ Approach velocity

² Approach depth

³ Approach bed-shear velocity

⁴ Particle fall velocity

⁵ Bed roughness

⁶ Refraction

کرد:

رسوب گذاری در کانال حداقل است : $\alpha_0 = 10^\circ$

افزایش سرعت کلی در کانال رخ می دهد : $\alpha_0 < 20^\circ$

تاثیر انکسار روی رسوب گذاری اندک است : $\alpha_0 = 60^\circ$

می توان اثر انکسار روی رسوب گذاری در کانال را نادیده گرفت : $\alpha_0 > 60^\circ$

در حالت کلی با افزایش زاویه α_0 مقدار رسوب گذاری درون کانال افزایش می یابد.

در حالت کلی با افزایش عمق نسبی کانال $\left(\frac{d}{h_0}\right)$ ، میزان رسوب گذاری درون کانال افزایش می یابد.

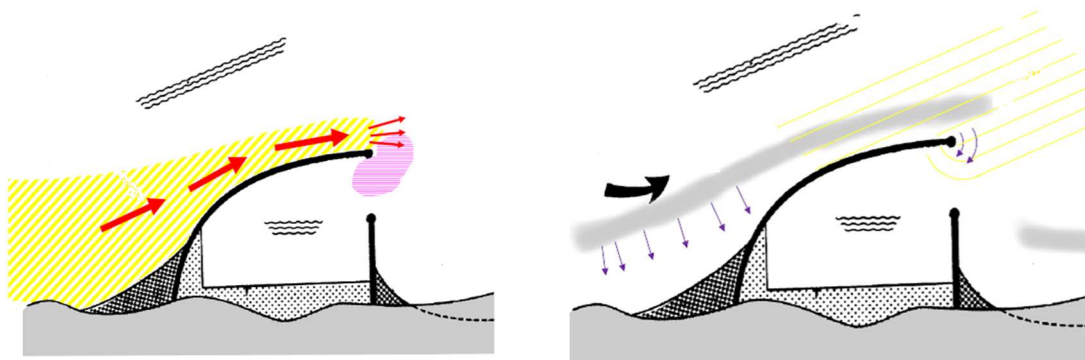
در حالت کلی با افزایش عرض نسبی کانال $\left(\frac{B}{h_0}\right)$ ، میزان رسوب گذاری درون کانال افزایش می یابد.

۲-۷. تاثیر امتداد موج شکن ها بر گذر رسوب

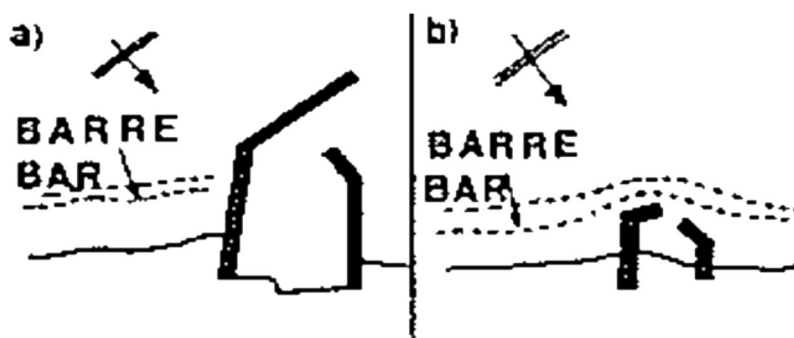
امتداد موج شکن ها تا ناحیه خیزاب ساحلی، موجب جلوگیری از شکست موج در ناحیه ورودی بندر شده و ورودی بندر از این منظر از ناحیه نقل و انتقالات ساحلی دور می ماند. اما چنانچه امتداد بندر کمتر از عرض این ناحیه باشد رسوبات امکان گذر از روبروی بندر و حتی به داخل بندر را خواهد داشت. بنابر این انتقال رسوب به دهانه بندر تحت مکانیزم هایی رخ می دهد. اگر بندر ناحیه شکست موج را پوشش دهد رسوبات پشت بندر تجمع کرده و در اثر پر شدن پشت موج شکن اصلی و در اثر حرکت موج و جریان شروع به حرکت کرده و در ناحیه ورودی جمع می شوند. اما اگر ناحیه شکست تحت پوشش موج شکن ها قرار نگرفته باشد، از طرفی رسوبات از جلوی بندر گذر کرده و به ناحیه ورودی و در نتیجه داخل بندر می رسد، از طرف دیگر نیز پشته های رسوبی تشکیل شده در اثر طوفان های رخ

داده که معمولاً در نزدیکی ناحیه خیزاب ساحلی تشکیل می شود، به سمت ساحل حرکت کرده و به دهانه بندر منتقل می شوند.

شکل های اشکال (۱۲-۲) و (۱۳-۲) به صورت شماتیک موارد گفته شده را نمایش می دهند.



شکل (۱۲-۲): مکانیزم های انتقال رسوب به دهانه بندر، (اداره کل بنادر و دریانوردی ایران، ۱۳۹۴)



شکل (۱۳-۲): تاثیر امتداد موج شکن ها بر نحوه تشکیل پشته های رسوبی، (پیانک^۱، ۱۹۸۱)

۲-۲-۸. استفاده از انعکاس موج برای کاهش رسوب گذاری در دهانه بندر

هنگامی که موج به سازه ی موج شکن برخورد می نماید منعکس می شود. انعکاس موج میتواند به دور نگه داشتن رسوب از دهانه بندر کمک کند. برای کمک به این امر توصیه شده است که انتهای موج شکن اصلی دارای تغییر زاویه ای باشد. این کار مزایایی دارد:

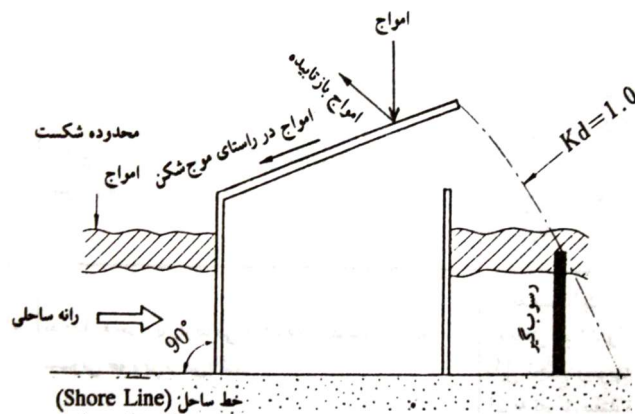
¹ PIANC

✓ ایجاد آرامش در مسیر دسترسی شناور در نزدیک دهانه برای زاویه تقرب مناسب

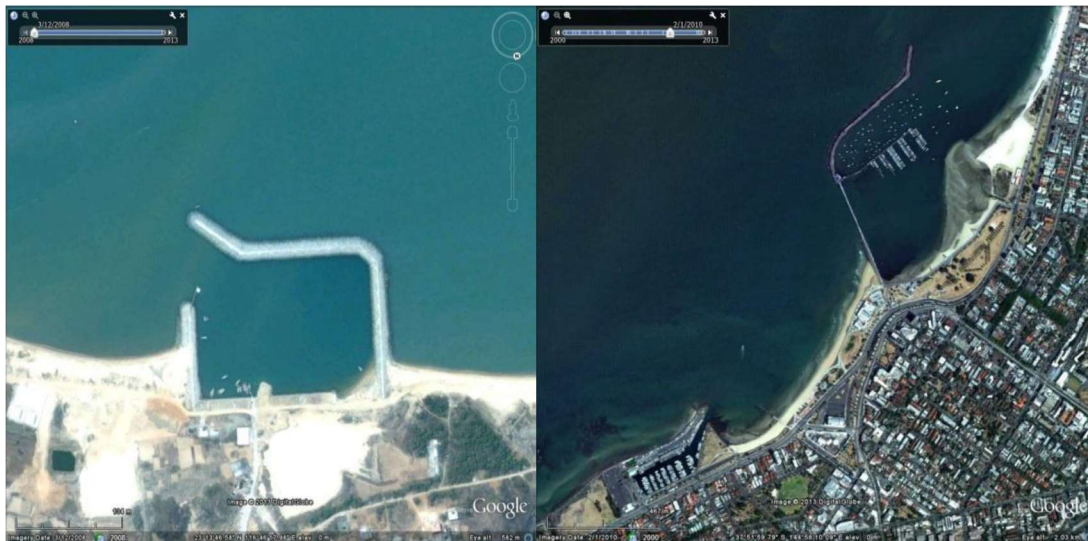
✓ ممانعت از شکل گیری چرخابه در مقابل دهانه بندر

✓ دور کردن محل رسوبگذاری پشت هد از دهانه بندر و مسیر دسترسی

شکل (۱۴-۲) استفاده از انعکاس موج و شکل (۱۵-۲) نمونه هایی از بنادری است که موج شکن اصلی آنها تغییر زاویه در انتها دارند.



شکل (۱۴-۲): استفاده از موج منعکس شده برای دور کردن رسوب، (دیباج نیا، ۱۳۷۵)

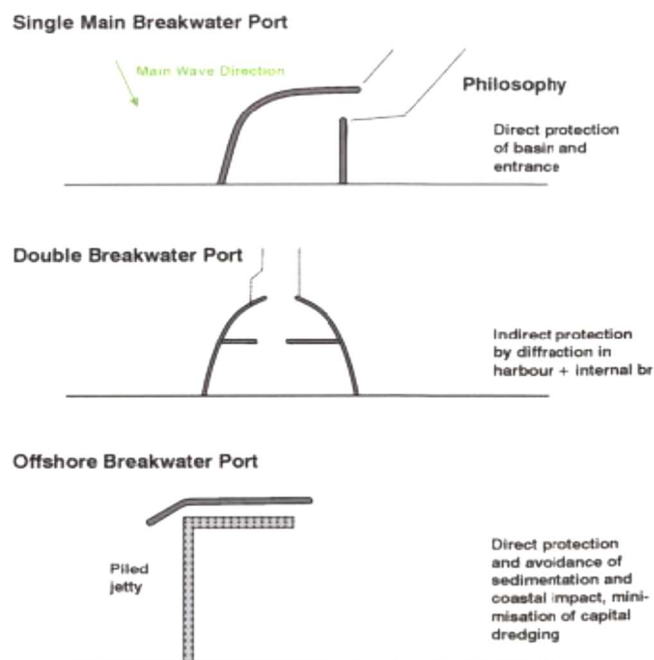


شکل (۱۵-۲): نمونه هایی از بنادری که موج شکن اصلی آنها تغییر زاویه در انتها دارند

۹-۲-۲. الگوهای موجود برای طرح بندر در سواحل ماسه ای

چند نوع الگوی پیشنهادی برای طرح بندر در کنار ساحل ماسه ای متناسب با شرایط مختلفشان در شکل (۱۶-۲) مشاهده می شود. همانطور که در شکل ها دیده می شود، بطور کلی سه الگوی اصلی وجود دارد:

- ✓ بندر با دهانه رو به دریا یا رو به موج
- ✓ بندر با دهانه یکطرفه
- ✓ بندر منفصل مجزا از ساحل



شکل (۱۶-۲): الگوهای سه گانه بندر در سواحل ماسه ای (DHI، ۲۰۰۳)

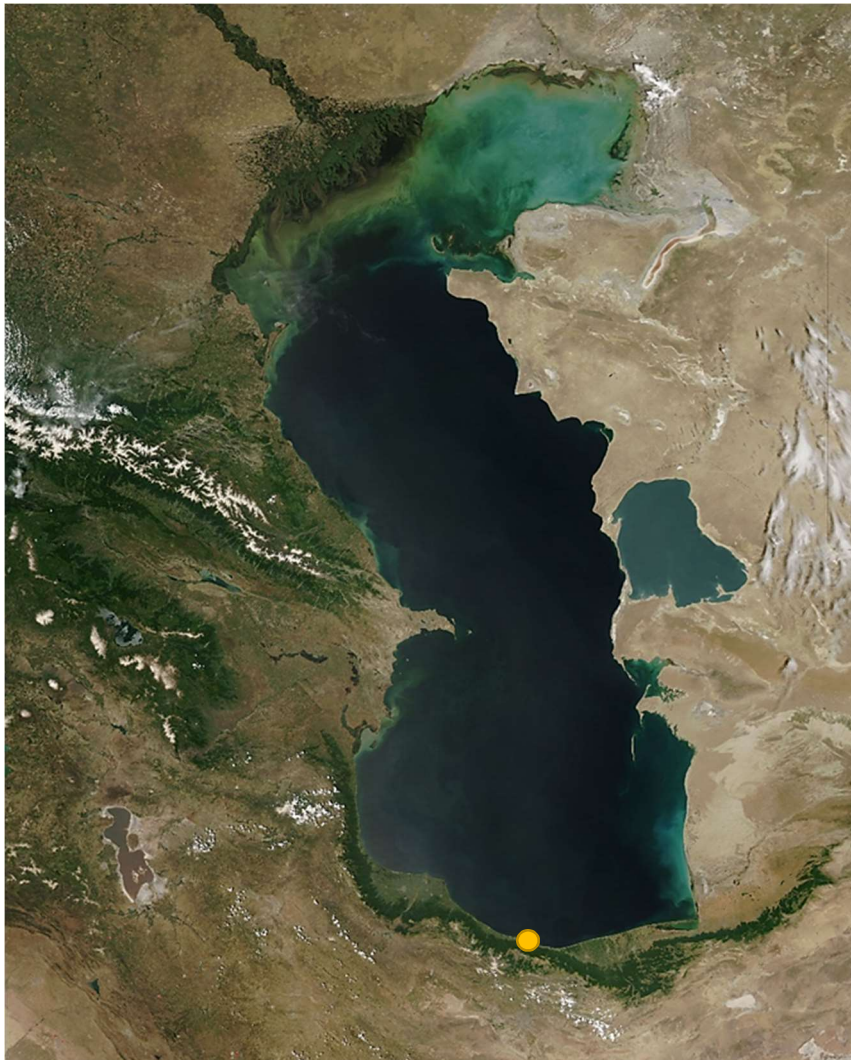
فصل سوم

منطقه مورد مطالعه

۳

۱-۳. معرفی بندر نوشهر

بندر نوشهر در شمال ایران و در جنوب دریای خزر در مختصات $51^{\circ}32'$ طول شرقی و $36^{\circ}39'$ عرض شمالی قرار گرفته است. این بندر در ساحل جنوبی دریای خزر قرار گرفته و تحت تأثیر شرایط جوی و هیدرودینامیکی حاکم بر این دریاچه ی بسیار بزرگ قرار دارد. شکل (۱-۳) هندسه عمومی خزر و موقعیت بندر نوشهر در دریای خزر را نشان می دهد.

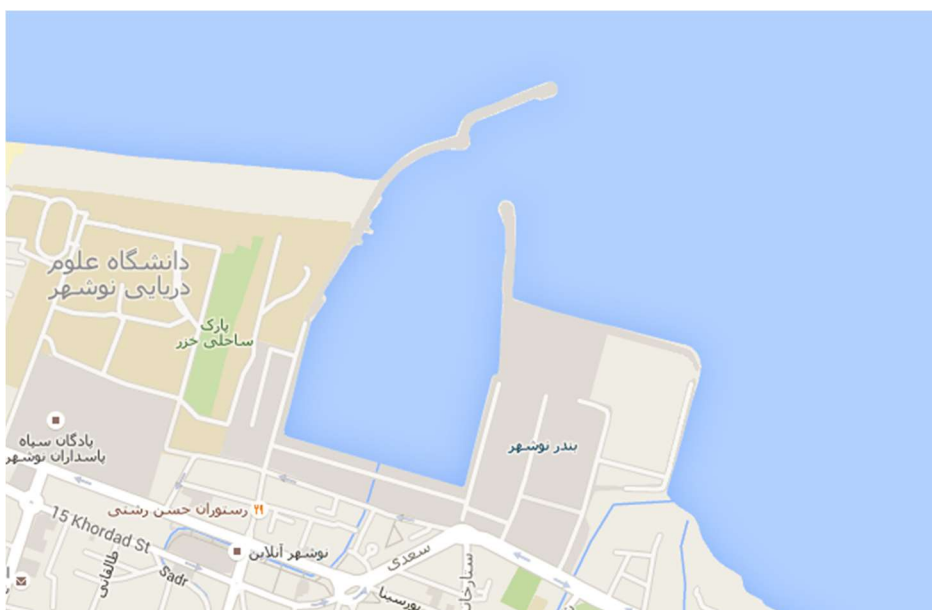


شکل (۱-۳). هندسه عمومی خزر و موقعیت بندر نوشهر

دریای خزر با وسعتی حدود 438000 کیلومتر مربع بزرگترین دریاچه کره زمین به شمار می رود که از

طریق رود ولگا و ولگادن به دریای سیاه و دریای بالتیک راه یافته و بنادر دریای خزر را به آبهای آزاد متصل می نماید. طول دریای خزر حدود ۱۲۰۵ کیلومتر و عرض متوسط آن ۵۵۴ کیلومتر است. انتهای شمالی دریای خزر تا محدوده بسیار وسیعی کاملاً کم عمق است. این ناحیه کم عمق تا جنوب مصب ولگا ادامه یافته و عمق آن کمتر از ۱۵ متر می باشد. قسمت جنوبی دریای خزر شرایط کاملاً متفاوتی داشته و در اکثر قسمت ها عمیق می باشد. در جنوب و جنوب غربی خزر عمق نزدیک به ۱۰۰۰ متر نیز وجود دارد.

بندر نوشهر در استان مازندران و در ۷ کیلومتری شهر چالوس ، در فاصله ۱۸۰ کیلومتری شهر ساری و ۱۹۴ کیلومتری شهر تهران قرار گرفته است. شهرستان نوشهر از شمال به دریای خزر، از جنوب به رشته کوه های البرز، از شرق به شهرستان نور و از غرب به شهرستان چالوس منتهی می گردد. این بندر در فاصله ی سال های ۱۳۰۹ تا ۱۳۱۸ احداث گردیده است. از آن زمان تا کنون ساحل در قسمت غربی بندر پیش روی کرده است که این مسئله نشان دهنده این است که برآیند راستای حمل رسوب ساحلی از غرب به شرق در این ناحیه می باشد. شکل (۲-۳) جانمایی عمومی بندر نوشهر را نشان می دهد.



شکل (۲-۳). بندر نوشهر

بندر نوشهر در حال حاضر دارای دو موجشکن توده سنگی می باشد. بازوی اصلی آن که همان موجشکن غربی است، دارای طولی معادل ۱۰۴۰ متر بوده و دارای هسته توده سنگی است. تراز تاج آن نسبت به تراز متوسط سطح آب در ابتدا ۵ متر و در انتها ۵/۵ متر می باشد. در سال ۶۹ به منظور تامین آرامش درون حوضچه بندر طرح اطاله ی موجشکن اصلی اجرا شد که اطاله ی آن نیز ۳۱۵ متر طول دارد. بازوی شرقی نیز دارای طولی معادل ۷۹۰ متر است. مشخصات موجشکن های بندر نوشهر در جدول (۱-۳) ارائه شده است.

جدول (۱-۳). مشخصات موجشکن های بندر نوشهر

تراز تاج نسبت به تراز آب(متر)	لایه ی مغزه ی مترس		لایه ی پنجه		لایه ی فیلتر		لایه ی آرمور		طول (متر)	موجشکن
	وزن(تن)	نوع	وزن(تن)	نوع	وزن(تن)	نوع	وزن(تن)	نوع		
5.5	1-100	سنگی	0.5-1	سنگی	0.5-1	سنگی	4-7	سنگی	1040	بازوی غربی
7	1-100	سنگی	0.5-1	سنگی	0.5-1	سنگی	5-8	سنگی	790	بازوی شرقی

۲-۳. وضعیت بندر از نظر نفوذ موج و رسوب

براساس گزارش ها و هیدروگرافی هایی که زیر نظر واحد آب نگاری بندر انجام شده، در حال حاضر وضعیت انباشت رسوب به خصوص در قسمت ورودی بندر چندان مطلوب نیست. رسوبات به مرور زمان بر اثر جریان غالب (غرب به شرق) در پشت موجشکن غربی جمع شده و به صورت زبانه ای از راس موجشکن غربی گذشته است. نفوذ رسوبات به دهانه بندر با گذشت زمان افزایش یافته و سبب تغییر مسیر ورودی کشتی ها شده است. 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 عمق آبخور کشتی ها تامین نشده و حتی در قسمت هایی به زیر ۲ متر هم می رسد، (رستمی، ۱۳۹۰).

۳-۳. مورفولوژی سواحل جنوبی دریای خزر و منطقه نوشهر

۳-۳-۱. پیشگفتار

منطقه نوشهر در نوار ساحلی باریک بین دریای خزر و رشته کوه البرز قرار گرفته است و مورفولوژی بلندمدت آن تحت تاثیر مورفولوژی عمومی تر کل این منطقه قرار دارد. شناخت مورفولوژی بلند مدت و وسیع باریکه مزبور به شناخت رفتار مورفولوژیک منطقه نوشهر کمک می کند.

۳-۳-۲. مورفولوژی عمومی نوار ساحلی جنوبی (تهران برکلی، ۱۳۹۰)

نوار باریک ساحلی شمال از یکسو تحت تاثیر دریای مازندران و از سوی دیگر تحت تاثیر رشته کوه البرز قرار دارد. رشته کوه البرز بخاطر فعالیت های آتشفشانی و چین خوردگی البرز غربی بوجود آمده است. مرز جنوبی دریای خزر نیز در واقع کناره های گودال عظیمی است که توسط گسل های عادی و معکوس فعال محدود شده است. دریای خزر در طول تاریخ پیشروی ها و پسروی های زیادی داشته و در مواقعی به آبهای آزاد اقیانوس ها متصل بوده است. عامل اصلی این تغییرات، توالی دوره های یخبندان و نیمه یخبندان است. باریکه ساحلی شمال در طول دوران زمین شناسی، به دفعات با بالا رفتن و پائین آمدن سطح آب دریا مواجه بوده و از آن اثر گرفته است. بعد از هر بالا آمدگی سطح آب دریا، یک لایه رسوبی جدید شکل گرفته و محدوده ای که در این نوسان متأثر شده را پوشش داده است. به این دلیل نوار شمالی کشور از مجموعه رسوبات دریایی، رودخانه ای، تبخیری و بادرفتی که در رخساره های مختلف نهشته شده اند، تشکیل شده است.

عامل اصلی شکل گیری باریکه ساحلی شمال در مقیاس زمین شناسی، آورد رسوب از کوهستان به وسیله رودخانه های متعدد است. شرایط زمین شناسی باریکه شمالی بیانگر پیدایش واحدهای سنگی مختلف آذرین، دگرگونی و رسوبی و تشکیل ضخامت قابل ملاحظه ای از رسوبات آبرفتی از کوهپایه تا سواحل است.

دشت رشت - آستانه لنگرود مخروط افکنه بزرگ سفیدرود است که بوسیله رسوبات آبرفتی پوشیده شده است. منطقه دستک دماغه کهنه سفید رود است و ساحل دستک تا رودسر بخش شرقی دلتای عظیم کهنه سفیدرود هستند. باریکه ساحلی بین رودسر تا محمود آباد که از نوار باریک ساحلی و دهها دلتای بزرگ و کوچک تشکیل شده، تحت تاثیر کم بودن آورد رسوب از خشکی توسط رودخانه ها قرار دارد. در این ناحیه هر کجا رودخانه ی قابل اعتنایی وجود داشته، پهنای نوار ساحلی تا حدی و بطور موضعی افزایش یافته است (مثلا دلتای رودخانه چالوس). از محمودآباد به سمت شرق، مناطق ساحلی تحت تاثیر رسوب رودخانه های نکا، تجن، طالار، بابل رود و ... قرار گرفته اند که مجموعاً رسوب قابل ملاحظه ای از کوهستان می آورند و باعث عریض شدن نوار ساحلی شده اند.

منطقه ساحلی رامسر و چالوس تا دهانه رودخانه گلندرود (بین سیسنگان و نور)، نوار ساحلی طولانی ای است که توالی رسوبی آن از رخساره های رودخانه ای - سیلابی به همراه رسوبات دریایی کواترنر تشکیل شده است. رسوب رودخانه های بابلرود، تالار، فریدونکنار، نکاء، چالوس، سرداب رود، پلنگرود، تیله رود و فرح آباد و ده ها آبراهه فرعی مهمترین نقش را در شکل گیری لندفرم دشت ساحلی استان داشته اند. لندفرم های جلگه ساحل و دشت سیلابی مهمترین لندفرم های واحد دشت به شمار رفته که حاصل رسوبگذاری فرآیندهای خشکی و دریایی هستند. رسوبات تشکیل دهنده لندفرم های یاد شده دقیقاً از کوهپایه تا دریا روند ریز دانه شدن را نشان می دهند. عملکرد فرسایشی امواج بر لندفرم های ساحلی تاثیر گذاشته است.

شیب عمومی ساحل دریا یکی از عوامل تاثیر گذار بر مورفولوژی می باشد. شیب عمومی سواحل دریای خزر توسط عوامل هیدرودینامیکی و آورد رسوب از خشکی کنترل شده است. نیمرخ ساحل در منطقه چالوس پرشیب ترین ناحیه استان مازندران و یکی از پرشیب ترین سواحل ایرانی خزر می باشد.

جهت حمل رسوب از انزلی تا میانکاله از سمت غرب به شرق می باشد. مطالعات تغییرات خطوط ساحلی بیانگر فرسایش سواحل از سال ۱۳۵۶ تا ۱۳۷۴ می باشد که در طی آن تراز آب دریای خزر بیش از ۲ متر بالا آمده است. نیمرخ ساحل در این دوره دچار آبستگي شده و درهر قسمت از سواحل خزر که

مازاد بودجه رسوبی وجود داشته برای جبران فرسایش پروفیل ساحل مصرف می گردیده است. در بسیاری از مناطق هنوز آثار سال های فرسایش باقیمانده است. اگر در این سواحل مازاد بودجه رسوبی برقرار باشد هنوز تا سال ها بعد برای ترمیم آثار فرسایش ساحل استفاده خواهد شد. اگر تراز آب دریا در سالهای آینده شروع به کاهش نماید مقدار قابل توجهی رسوب ساحلی از پشت بنادر و از عارضه های طبیعی مثل دلتاها آزاد خواهد شد که به چرخه انتقال رسوب ساحلی اضافه می شود. در این صورت در مناطقی که حمل واقعی رسوب کمتر از پتانسیل حمل می باشد (مثل سواحل فرسایشی شرق نوشهر) مقدار واقعی حمل رسوب افزایش پیدا خواهد کرد و به ظرفیت حمل نزدیک تر خواهد شد.

شناسایی منابع تغذیه کننده^۲ و خارج کننده^۳ رسوب از سیستم ساحلی، نقش مهمی در شناسایی مورفولوژی و تعیین بیلان رسوبی دارد. مهمترین منابع تغذیه کننده، رسوب رودخانه ها هستند. در حد فاصل رودسر تا محمود آباد عارضه طبیعی خاصی وجود ندارد که در حال حاضر به صورت چاله رسوبی عمل کند. بنادر از جمله بندر چالوس و دستک های احداث شده مهمترین تله رسوبی این محدوده به شمار می روند. البته سواحل این منطقه نیز از داخل خشکی به مقدار زیاد تغذیه رسوبی نمی شوند و جزء سواحل فرسایشی به شمار می روند.

۳-۳-۳. مورفولوژی سواحل اطراف بندر نوشهر (تهران برکلی، ۱۳۹۰)

منطقه چالوس و نوشهر در واقع دره های آبرفتی رودخانه هستند که در باریکه کم رسوب بین کوه و دریا شکل گرفته اند. پیش روی طبیعی ساحل به سمت دریا در مقابل شهر چالوس و همچنین پیش روی موضعی ساحل در غرب بندر نوشهر به وضوح در تصویر دیده می شوند. علت پیش روی ساحل چالوس به سمت دریا، آورد رسوب از رودخانه ی چالوس در طی زمان های طولانی می باشد. این موضوع در شکل (۳-۳) دیده می شود.

² source

³ sink



شکل (۳-۳). پیش روی ساحل چالوس به سمت دریا، آورد رسوب از رودخانه ی چالوس

در حال حاضر رودخانه چالوس در سمت شرق دماغه ی این مخروط افکنه به دریا می ریزد و با توجه به جهت غالب حمل رسوب ساحلی (از غرب به شرق) نمی تواند دماغه ی غربی اش را ایجاد کند. اما در گذشته قطعاً مصب رودخانه در قسمت های غربی تری قرار داشته است. تغییر محل مصب در طی زمان در اینگونه سواحل امری شناخته شده است که گاهی تحت تاثیر سیلاب ها و به دنبال مدت ها رسوبگذاری و افزایش تراز در مسیر بستر قدیمی رخ می دهد. قاعدتاً در طول دوره ی طولانی، محل مصب رودخانه چالوس در محل دماغه قرار داشته است.

ارتفاعات منطقه غالباً دامنه ها و شیب های نسبتاً ناپایداری دارند. بیشتر آنها ترکیب ماسه سنگی دارند. این شرایط به تغذیه رسوب از رودخانه چالوس به اراضی آبرفتی و ساحل دریا کمک کرده است. در نقشه لندفرم های ساحلی، جنس نوار ساحلی این منطقه از نوع دشت ساحلی و جنس اراضی پشت آن از نوع دشت سیلابی ثبت شده است.

این منطقه جزء مناطق موج گیر سواحل خزر محسوب می شود و تعامل طوفان های دریا با رسوبات ساحلی در آنجا زیاد است. در بسیاری از نقشه های هیدروگرافی و پروفیل های عمود بر ساحل برداشت

شده از این محدوده، آثار فعالیت جابجایی رسوب عمود بر ساحل در ناحیه شکست امواج به صورت سدهای ماسه ای^۴ موازی ساحل دیده می شود.

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.

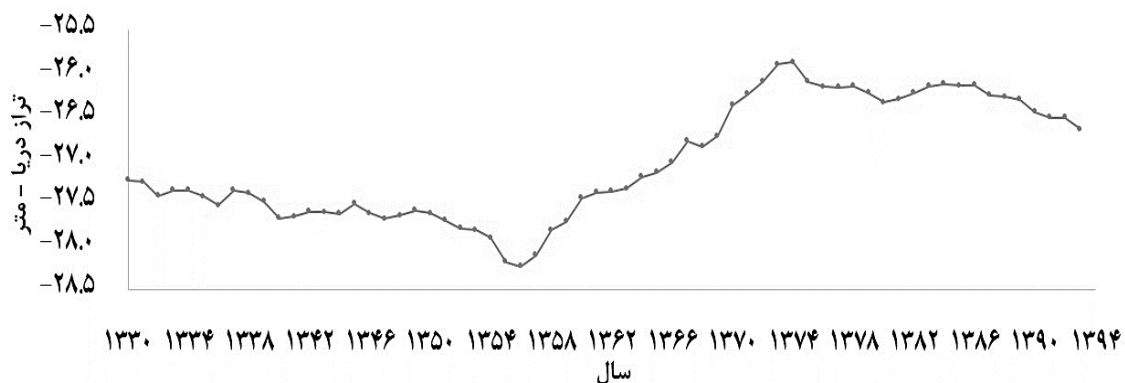
با توجه به شکل گل موج منطقه و با توجه به تفاوت های خط ساحلی در محل نوشهر و اطراف آن، انتظار می رود که پتانسیل حمل رسوب خالص سالانه در منطقه نوشهر بیشتر از اطراف آن باشد. بندر نوشهر در میانه ی یک ناحیه ساحلی ۱۰ کیلومتری نسبتاً مستقیم قرار دارد که پتانسیل حمل رسوب آن تقریباً یکسان است. شکل ساحل بندر نوشهر و اطراف آن را نشان می دهد. در فاصله ۴/۵ کیلومتری غرب بندر دماغه ای وجود دارد که باعث انحنای و تغییر زاویه ی ساحل شده است. زاویه ی خط عمود بر ساحل در سمت غرب آن عارضه حدود ۱۰ درجه و در سمت شرق آن - اطراف بندر نوشهر - حدود ۲۰ درجه است. در ۵ کیلومتری شرق بندر نوشهر نیز زاویه ی ساحل تغییر کرده و به حدود ۱۰ تا ۱۲ درجه می رسد. با حرکت بیشتر به سمت شرق بازهم زاویه ی خط ساحلی به امتداد غربی - شرقی نزدیک تر میشود.

در منطقه نوشهر عامل اصلی جابجایی رسوب ساحلی اثر شکست امواج است که از یک طرف باعث معلق شدن ماسه های بستر شده و از طرف دیگر جریان ساحلی ایجاد می کند. از زمان احداث بندر نوشهر تا سالها پس از آن جریان جابجایی رسوب (خالص سالانه از غرب به شرق) بوسیله بندر نوشهر تقریباً قطع شده بود. در این سال ها تنها طوفان های شدید می توانستند ناحیه ی شکست موج و انتقال رسوب را تا جلوتر از دهانه بندر گسترش داده و مقداری رسوب از مقابل دهانه بندر عبور دهند. پس از گذشت

⁴ Sand bar

سال ها ساحل غربی بندر پیش روی کرد و اطراف هد موجشکن کم عمق شد و مقدار انتقال رسوب از مقابل دهانه افزایش پیدا کرد. طبیعتا این افزایش به مقادیر اولیه عبور رسوب مربوط به سالهای قبل از احداث بندر نمی رسد. زیرا پیش روی ساحل غربی باعث تغییر زاویه ی خط ساحل در آن منطقه و نزدیک تر شدن آن به زاویه ی عمود بر جهت موج غالب گردیده است. اطاله موجشکن اصلی بندر در اوایل دهه ۱۳۷۰ نیز باعث کاهش موقتی انتقال رسوب از مقابل دهانه بندر تا چند سال محدود شده است.

تغییر تراز آب دریای خزر در طی عمر بندر نوشهر قابل توجه بوده و این پدیده نیز بر میزان کنارگذری رسوب از مقابل دهانه بندر در سال های مختلف تاثیر گذاشته است. در سال هایی که تراز دریا پایین می رود عمق دهانه بندر کمتر میشود و عبور رسوب از مقابل آن افزایش می یابد. در سال هایی که تراز آب دریا بالاتر می رود عمق دهانه بندر بیشتر می شود و عبور رسوب از مقابل آن کاهش می یابد. زیرا در این شرایط خط شکست موج به ساحل نزدیکتر شده و مقدار بیشتری از عرض منطقه ی خیزاب ساحلی^۵ بوسیله موجشکن اصلی پوشش داده می شود. در طی سال های عمر بندر نوشهر در ضمن اینکه ساحل غربی در معرض رسوبگذاری قرار داشته است، ساحل شرقی نیز در معرض پتانسیل فرسایش بوده است. شکل (۳-۴) تغییرات تراز آب دریای خزر در قرن اخیر را نمایش می دهد.



شکل (۳-۴). تغییرات تراز ۶۰ سال دریای خزر بر اساس تراز آب های آزاد (اداره کل سواحل و بنادر استان گیلان، ۱۳۹۴)

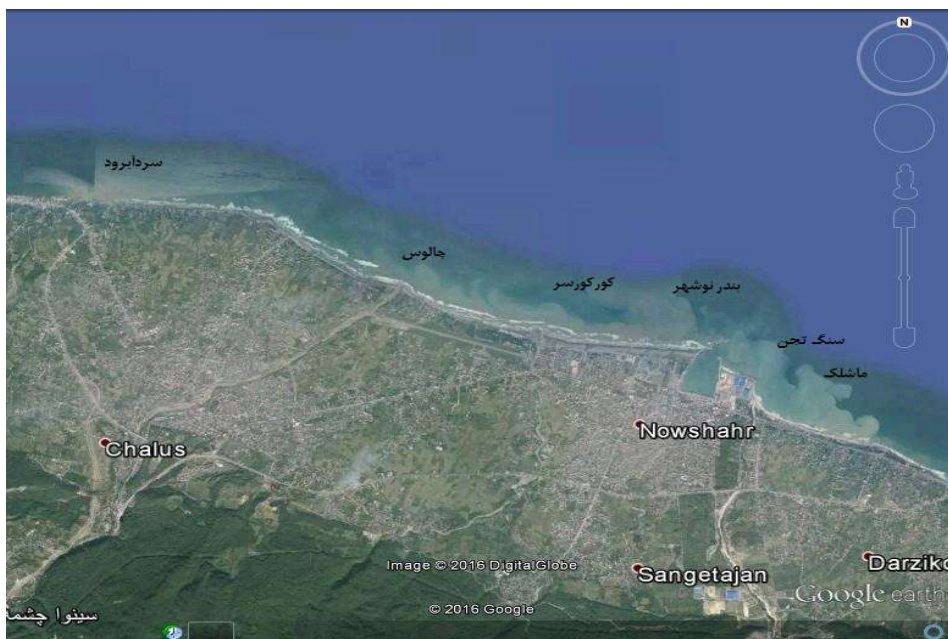
⁵ Surf zone

بیان رسوبی موثر بر بندر نوشهر تحت تاثیر دو نوع منشاء قرار دارد:

✓ آورد رسوب از رودخانه ها

✓ انتقال رسوب ساحلی در سواحل بالادست (غرب) بندر

رودخانه های اطراف بندر نوشهر از غرب به شرق عبارتند از سردآبرود، چالوس، کورکورسر، سنگ تجن و ماشلک می باشند. شکل (۳-۵) رودخانه های اطراف بندر نوشهر را نمایش می دهد.



شکل (۳-۵). رودخانه های اطراف بندر نوشهر

مهمترین رودخانه بالادست بندر، رودخانه چالوس است که رسوب آن باید مورد توجه قرار گیرد. این رودخانه بزرگترین حوضه ی آبریز استان مازندران را داراست. شکل (۳-۶) رودخانه ی چالوس که بزرگترین پتانسیل آورد رسوب منطقه می باشد را نشان می دهد.

بجز آن رود نسبتاً کوچک دیگری هم بین بندر و مصب رود چالوس وجود دارد که آورد رسوب آن به مراتب کمتر از رودخانه طولانی چالوس است و ناچیز محسوب می گردد. ساخت و سازهای سال های اخیر در مسیر رود چالوس می تواند باعث افزایش آورد رسوب در زمان ساخت و ساز شده باشد. تکمیل



شکل (۳-۶). رودخانه ی چالوس

سازه های مختلف از قبیل پل ها و کاهش عرض رودخانه بخاطر بزرگراه و احداث سد و بند هم بر تغییرات آتی آورد رسوب موثر است.

در ساحل پایین دست (شرق) بندر دو رودخانه ی دیگر قرار دارند که عبارتند از سنگ تجن و ماشلک. از بین این دورودخانه ، ماشالک رسوب بیشتری به دریا می آورد که البته کمتر از چالوس است. رسوبات این مصب نسبت به رسوبات معمول دریا درشت دانه تر هستند.

جهت برآیند حمل رسوب ساحلی در ساحل شرقی باعث دور شدن رسوب از بندر و حرکت آن به سمت سیسنگان است. عدم پیشروی ساحل در کنار موج شکن شرقی و اراضی احیاء شده هم این موضوع را تایید می کند. البته مقداری کاهش عمق و نشست رسوب در پناه موج شکن فرعی و اراضی احیاء شده قابل انتظار است، زیرا جهت موج غالب از سمت شمال غربی تا شمال غربی است و این سازه ها می توانند تا حدی به ایجاد آرامش در مقابل مصب ها کمک کنند. جریان عمومی موازی ساحل (شورش دریا) که در در زمان طوفان شکل می گیرد و تا چند روز ادامه می یابد، میتواند در کنار اراضی احیاء شده شرق بندر، جریانی به سمت دریا ایجاد کند. جریان به تنهایی نمی تواند رسوبات ماسه ای را با خود حمل کند، بلکه به شرایط شکست موج هم نیاز دارد.

ساحل بالادست بندر نوشهر دارای شکستگی مشخصی در غرب مصب فعلی چالوس است.

در دو سوی این شکستگی دو پاره ساحل با زوایای مختلف وجود دارند که پتانسیل آورد رسوب در آن دو متفاوت است. پتانسیل حمل رسوب در پاره ساحل شرقی کمتر و در پاره ساحل نزدیک بندر بیشتر است. بنابر این پاره ساحل شرقی تر کنترل کننده مقدار آورد رسوب ساحلی به پاره ساحل نزدیک بندر است و پاره ساحل اخیر حالت فرسایشی تری دارد مگر آنچه از رسوب که از طریق مصب رودخانه چالوس به آن اضافه می شود. در کنار بندر مجدداً زاویه ساحل (به دلیل پیش روی قبلی) تغییر کرده و به زاویه پاره ساحل شرقی نزدیک می شود. بنابر این پتانسیل حمل رسوب در این محل دوباره کاهش می یابد. حجم رسوبی که از مقابل هد موج شکن اصلی عبور می کند و به مقابل دهانه بندر میرسد تابع پتانسیل حمل رسوب در این ناحیه نزدیک به بندر است.

رسوبگذاری در کانال دسترسی بندر نوشهر ناشی از گذر رسوب ساحلی از مقابل موجشکن اصلی آن است. یعنی پس از ده ها سال پیش روی ساحل غربی، رسوب امکان کنارگذری پیدا کرده و رسوب از ساحل غربی به دهانه بندر می رسد.

ساحل پایین دست بندر نوشهر نسبتاً در مقابل فرسایش مقاوم است. نشانه های این امر عبارتند از:

✓ عدم عقب نشینی قابل توجه ساحل شرقی مجاور بندر در مقایسه با محل اولیه آن (با توجه به

موقعیت اسکله جنوبی)

✓ عدم مشاهده عقب نشینی عمومی قابل توجه ساحل مزبور در سالهای مختلف در سالهای

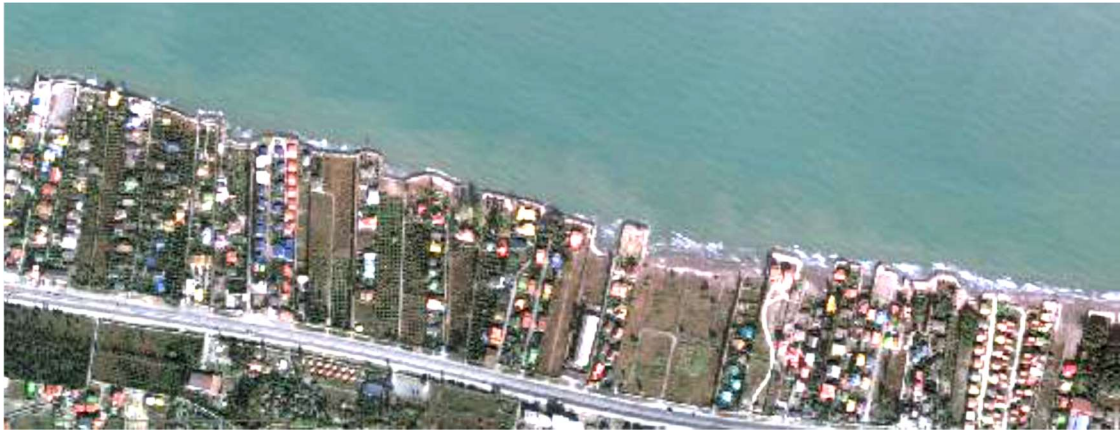
مختلف بخصوص بعد از توقف افزایش تراز آب دریا

✓ عدم مشاهده ناحیه فرسایشی مشخص با انحنا معمول در شرق بندر نوشهر که با تغییر زاویه

ساحل در انتهای ناحیه فرسایشی همراه باشد، شکل (۳-۷).

علت مقاوم بودن نسبی ساحل مزبور آن است که دریا قبلاً پلاژ ماسه ای را شسته و مالکان خصوصی

نیز هر یک به نوعی دیواره حفاظتی احداث کرده اند. جنس اراضی خشکی منطقه نیز سست نیست.



شکل (۷-۳). علانم فرسایش یافتگی و مقاومت خط ساحلی در سواحل شرق بندر نوشهر

۴-۳. بررسی تغییرات خط ساحلی نوشهر

خط ساحلی منطقه نوشهر در طی سال های عمر بندر این شهر تحت تاثیر دو عامل قرار داشته است:

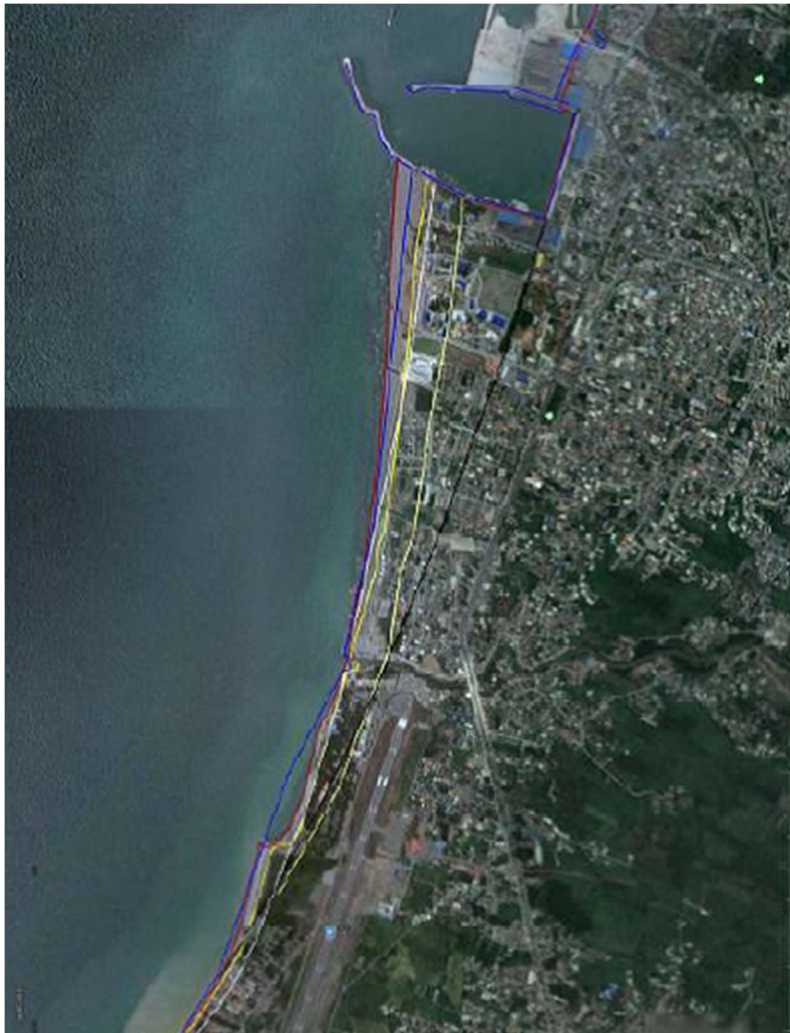
✓ تغییر تراز آب دریای خزر

✓ رسوبگذاری در ساحل غربی بندر بخاطر قطع مسیر انتقال رسوب ساحلی

بررسی تغییرات خط ساحلی و تفکیک اثر دو عامل فوق در طی عمر بندر برای محاسبه مقدار آورد رسوب لازم است.

همانطور که شکل (۸-۳) نشان می دهد، میزان پیش روی ساحل در سال های اولیه پس از احداث بندر شدیدتر از سالهای بعد بوده است. کاهش سرعت پیش روی پس از سال های اولیه، ناشی از گسترش انباره رسوبگذاری در امتداد ساحل به سمت غرب بوده است. در سالهای اخیر علت دیگری هم اضافه شده است و آن افزایش عبور رسوب از مقابل دهانه بندر می باشد. این پدیده ناشی از پیش روی ساحل و کم شدن عمق در دهانه بندر است. در دهه ی چهل و پنجاه که تراز آب خزر پایین رفته بود نیز عبور رسوب از مقابل دهانه تسهیل شده بوده است. تغییر زاویه ساحل مجاور بندر در طول زمان و نزدیکتر شدن آن به حالت عمود بر موج غالب نیز در شکل دیده می شود. این پدیده همان عاملی است که باعث

گسترش ناحیه ی رسوبگذاری به سمت غرب می شود. همین عامل باعث کاهش نرخ جابجایی رسوب در کنار بندر پس از پیش روی ساحل آنجا می شود.



شکل (۳-۸). موقعیت ساحل نوشهر در سال های مختلف

(خط سیاه: مربوط به سال ۱۳۱۵ ، زرد کمرنگ: ۱۳۳۴ ، سفید: ۱۳۴۲ ، زرد پر رنگ: ۱۳۶۸ ، آبی: ۱۳۸۰ ، قرمز: ۱۳۸۹)

خطوط ساحلی در دوره های زمانی مختلف با یکدیگر مقایسه شده اند. جدول (۳-۲) بطور خلاصه نتایج مقایسه را نشان می دهد و شامل ستون های زیر است:

✓ A : مقدار خالص ساحل سازی ایجاد شده در هر دوره تحت اثر رانه ساحلی رسوب (حذف اثر

تغییرات تراز آب) بر حسب متر مربع

✓ B: مقدار خالص پیش روی ساحل غربی مجاور بندر در هر دوره تحت اثر رانه ساحلی رسوب

(حذف اثر تغییرات تراز آب) بر حسب متر

✓ C: فاصله ساحل از دهانه بندر با توجه به شرایط واقعی تراز آب و موقعیت خط ساحلی بر

حسب متر

پارامتر اخیر برای آن ارائه شده است که با عرض ناحیه شکست موج مقایسه شود و ایده ای از مقدار تله

اندازی رسوب ساحلی توسط بندر به دست دهد. عرض منطقه ی خیزاب ساحلی در منطقه نوشهر در

حدود ۴۰۰ تا ۵۰۰ متر تخمین زده می شود.

جدول (۲-۳). محاسبات نرخ آورد رسوب غرب نوشهر بر اساس تغییرات خط ساحلی، (تهران برکلی، ۱۳۹۰)

#	آغاز	پایان	مدت(سال)	A	B	C(انتها-ابتدا)
۱	۱۳۱۸	۱۳۳۴	۱۶	۴۷۰۰۰۰	۴۰۰	۹۰۰-۴۰۰
۲	۱۳۳۴	۱۳۴۳	۱۰	۴۲۵۰۰۰	۱۵۰	۴۰۰-۲۰۰
۳	۱۳۴۳	۱۳۶۸	۲۵	۳۰۰۰۰	۴۰	۲۰۰-۲۵۰
۴	۱۳۶۸	۱۳۸۰	۱۲	۱۳۵۰۰۰	۸۰	۲۵۰-۳۶۰
۵	۱۳۸۰	۱۳۸۹	۹	۵۰۰۰۰	۷۰	۳۶۰-۲۹۰

در فاصله سالهای ۱۳۱۸ تا ۱۳۳۴ که بندر به تازگی احداث شده بوده، بیشترین پیش روی خالص خط

ساحل (بخاطر رانه ساحلی) اتفاق افتاده است. در این مدت تراز آب دریا در حال کاهش بوده است.

ترکیب کاهش تراز آب و پیشروی ساحل باعث کاهش فاصله دهانه بندر از ساحل شده است. با این حال

در اکثر آن سال ها دهانه بندر کاملاً خارج از ناحیه شکست بوده و تمام رسوب ساحلی بوسیله بندر به

تله می افتاده است.

در فاصله سال های ۱۳۳۴ تا ۱۳۴۳ سرعت پیش روی خط ساحلی کاهش یافته اما گستره آن به سمت

غرب افزایش یافته است. تراز آب دریا در طی این مدت در حال کاهش بوده است. ترکیب کاهش تراز آب و پیش روی ساحل باعث شده است که فاصله هد موج شکن اصلی تا ساحل در انتهای این دوره تنها به ۲۰۰ متر بالغ شود. این نشان می دهد که در انتهای دوره مزبور قطعا قسمتی از رانه رسوب ساحلی بخصوص در شرایط طوفان های نسبتا شدید از مقابل موج شکن اصلی عبور می کرده است.

در فاصله سالهای ۱۳۴۳ تا ۱۳۶۸ تراز آب دریا ابتدا بطور مقابل ملاحظه ای کاهش یافته و سپس افزایش یافته است. کمترین تراز آب قرن اخیر در همین دوره اتفاق افتاده است. در طی این دوره، آورد رسوب ساحلی باعث ساحل سازی طبیعی قابل توجهی در کنار بندر نشده است. سهم عمده ای از رسوباتی که به کنار بندر می آمده اند می توانسته اند از مقابل بندر عبور کنند و به شرق بندر نوشهر منتقل شوند. زیرا به دلیل پایین بودن تراز آب و پیشروی ساحل غربی، دهانه بندر تنها ۲۰۰ متر با ساحل فاصله داشته و کم عمق بوده است. در دوره پایین رفتن تراز آب، ساحل غربی ظرفیت جدیدی برای تله اندازی رسوب نداشته است. حتی احتمالا از رسوبات ساحل غربی در این مدت برداشته شده و به شرق بندر منتقل شده اند. اثر کاهش شدید تراز دریا و افزایش سریع بعدی آن باعث شده است که هماهنگی این دو خط ساحلی نسبت به هم کمتر از دوره های دیگر باشد.

در فاصله سالهای ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ (۱۱ سال) آورد رسوب باعث ۸۰ متر پیش روی خط ساحلی مجاور بندر و حدود ۱۳۵ هزار متر مربع ساحل سازی شده است (با حذف اثر تغییر تراز آب دریا). این بطور مشخص بیشتر از مقادیر مربوط به دوره ۲۵ ساله ی قبل است. علت این امر افزایش ظرفیت انباره رسوبی پشت بندر بخاطر اطاله موجشکن اصلی است. بالا آمدن تراز آب هم به این روند کمک کرده است. در ابتدای این دوره فاصله خط ساحلی تا دهانه بندر ۲۵۰ متر بوده که با اطاله موجشکن اصلی به ۴۰۰ متر افزایش یافته و تا انتهای دوره به ۳۶۰ متر کاهش یافته است. پس در مقایسه با دوره قبل مقدار بیشتری از منطقه ی خیزاب ساحلی را پوشش داده و عبور رسوب از مقابل دهانه کاهش یافته است. مساحت ساحل سازی در این سال ها کمتر از دوره مشابه در سال های اولیه احداث بندر است. قسمتی از این اختلاف بخاطر کنارگذری رسوب از مقابل دهانه بندر نوشهر در سال های اخیر است.

تشدید شرایط فرسایشی سواحل منطقه یعنی کاهش رسوب در دسترس هم می تواند علت قسمتی از آن باشد.

۳-۵. بررسی رسوب رودخانه های اطراف بندر

با بررسی آمار و محاسبات رسوب گذاری، میزان آورد رسوب ماسه ای رودخانه چالوس حدود ۱۰۷۰۰۰ مترمکعب در سال می باشد، (حبیبی گیلاکجانی، ۱۳۹۴). در مورد رودخانه های کورکورسر و سردآبرود تاکنون مطالعات دقیق جریان و بار رسوبی صورت نگرفته است. طبق مشاهدات مصالح بستر رودخانه ها، رودخانه ی سردآبرود مشابه رودخانه ماشلک می باشد. شیب این دو رودخانه نیز در ناحیه ی جلگه ای برابر ۱ درصد می باشد. در مسیر رودخانه سردآبرود سدی وجود دارد که آب آن جهت مصارف کشاورزی به کار می رود. این آب بندان خود نقش تله ی رسوبگیر را ایفا می کند بنابراین بخشی از آورد این رودخانه کاسته می شود. در نتیجه با توجه به تشابه ذکر شده با رودخانه ماشلک و همچنین در نظر گرفتن اثر سد، می توان به طور تقریبی بیان کرد که آورد رسوب این رودخانه حدود ۱۵۰۰۰ مترمکعب در سال می باشد. آخرین مورد بین رودخانه ها کورکورسر که کوچکترین آنها می باشد به صورت تقریبی و با توجه به شباهت های آن با رودخانه های دیگر، دارای آورد رسوب ۵۰۰۰ مترمکعب در سال می باشد، (حبیبی گیلاکجانی، ۱۳۹۴). محاسبات مربوط به جریان، بار بستر و بار معلق رودخانه های ماشلک و سنگ تجن نیز نشان داد متوسط بار بستر سالیانه رودخانه ماشلک ۶۹۰۰۰ متر مکعب و برای رودخانه سنگ تجن، ۳۵۰۰۰ متر مکعب می باشد. متوسط آورد ماسه از این رودخانه ها به دریا برای رودخانه های ماشلک و سنگ تجن به ترتیب ۱۳۰۰۰ تن در سال و ۷۰۰۰ تن در سال برآورد شد، (تهران برکلی، ۱۳۹۰).

۳-۶. بررسی تاثیر اطاله موجشکن اصلی (تهران برکلی، ۱۳۹۰)

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 جدانشده در طوفان تقریباً از مقابل ساحل هتل در شرق بندر به محل دهانه بندر نوشهر بوده است. این نظریه میگوید 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 دچار مانع شده و رسوبات را در همان محل می نشاند. 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 بندر 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.

۷-۳. نحوه تعامل رسوب با الگوی بندر نوشهر و راه حل کنترل رسوب

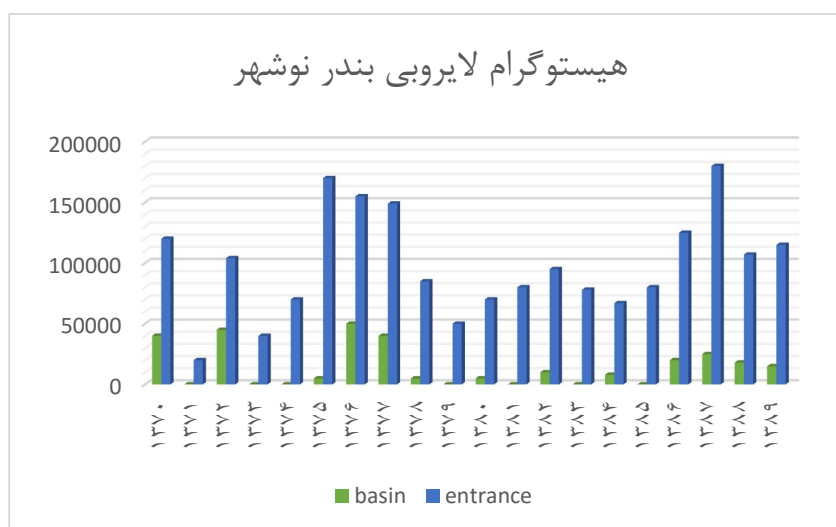
بندر نوشهر در زمان ساخت دارای الگوی دهانه رو به دریا بوده است. اطاله موجشکن اصلی در دهه ۷۰ شمسی شکل نوشهر را به سمت بنادر با دهانه یک طرفه نزدیک تر کرد. تا جایی که به مبحث رسوب مربوط است، این تغییر اهمیت خاصی نداشته است زیرا در هر دو حالت بنا نبوده است که رانه ساحلی رسوب توانایی عبور از مقابل دهانه بندر را داشته باشد. در زمان طراحی بندر نوشهر دهانه بندر تا فاصله زیادی در خارج از ناحیه شکست امواج تعبیه شد و رسوب از مقابل آن عبور نمی کرد. در سالهای اخیر بخاطر ده ها سال پیشروی ساحل غربی (و در سالهای میانی بخاطر کاهش شدید تراز آب خزر) امکان عبور رسوب از مقابل دهانه فراهم بوده است. اما آبخورهای مورد نیاز در سالهای اخیر و متعاقب آن احداث کانال دسترسی بدین معنی است که نمی خواهیم رسوب از مقابل بندر عبور کند. زیرا کانال دسترسی در سواحل ماسه ای همچون تله عمل می کند و تقریباً تمام رسوب عبور کننده از مقابل دهانه را به تله می اندازد. اگر بنا بود رسوب بندر نوشهر با حفظ این شرایط کنترل شود، باید بعد از هر طوفان بارهای رسوبی را در امتداد مسیر دسترسی لایروبی می کردند. این شیوه بعضاً در بنداری که دارای آبخور طبیعی کافی بوده و به کانال دسترسی ندارند، بکار می رود. ولی به هر حال اگر بندری دارای کانال دسترسی باشد، نمی توان از ایده کنارگذری طبیعی رسوب از مقابل آن استفاده کرد. بلکه باید مانع رسیدن رسوب به مقابل دهانه بندر شد. مطالعات نشان داده است که مقدار خالص آورد رسوب واقعی در ساحل غربی بندر نوشهر بطور متوسط در حدود ۱۷۵ هزار متر مکعب در سال می باشد که بیشتر از ۱۰۰ هزار مترمکعب آن رسوبات متعلق به رودخانه چالوس می باشد. در سال های اخیر کانال دسترسی بندر نیاز به همین حدود لایروبی داشته است. همچنین مشخص شد که ترسیب در کانال دسترسی ناشی از پر شدن نسبی انباره رسوبی غرب بندر و عبور رسوبات ساحلی از مقابل دهانه آن است. این شرایط برای بندر نوشهر با عمر ۷۲ ساله اش طبیعی است و راه های مختلفی برای کنترل و مدیریت آن وجود دارد. این راه ها عبارتند از:

- ✓ لایروبی دوره ای کانال دسترسی
- ✓ احداث آبشکن و دستک رسوبگیر
- ✓ اجرای عملیات کنارگذری مصنوعی رسوب
- ✓ ایجاد هدلند/خلیج مصنوعی
- ✓ و ...

در این پژوهش طرح هایی برای به تله اندازی رسوب در غالب اجرای دستک و آبشکن برای کاهش رسوبگذاری در بندر مطرح شده است.

۳-۸. جنس رسوبات و اطلاعات لایروبی

مطابق مطالعات گذشته عدد جرمی ۲,۵ تن بر متر مکعب برای رسوبات غالب منطقه ی نوشهر (ماسه ای) در نظر گرفته شده است (رستمی و همکاران، ۱۳۹۰). شکل (۳-۹) اطلاعات لایروبی حوضچه و ورودی بندر نوشهر از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ را نمایش می دهد. همانطور که در شکل مشاهده می گردد در سالهای اخیر حجم زیادی از رسوبات لایروبی شده مربوط به ناحیه ی ورودی بندر می باشد.



شکل (۳-۹). هیستوگرام لایروبی بندر نوشهر، (اداره کل بنادر و دریانوردی استان مازندران، ۱۳۷۰-۱۳۸۹)

فصل چهارم

مدل سازی و تفسیر نتایج

۴

۴-۱. پیشگفتار

مدلسازی به عنوان یکی از ابزارهای ساده سازی و نمایش نمادین نظریه است. اندیشمندان با آگاهی از مزیت های غیر قابل انکار مدل، ابزاری برای شناخت دنیا و پدیده های پیچیده موجود در آن، به مدلسازی پدیده ها، برای شناخت پدیده ها و نحوه تاثیر آنها بر یکدیگر، دست می زنند. با توجه به وجود موانعی همچون خطا در کارهای آزمایشگاهی و عدم امکان ایجاد برخی شبیه سازی های آزمایشگاهی مدلسازی های نرم افزاری کمک شایانی به پیشرفت در زمینه های علمی می کند. از آنجایی که پدیده های دریایی دارای پیچیدگی های بسیاری هستند، برای بررسی و پیش بینی عوامل موثر بر الگوهای حاکم دریا در مقیاس بزرگ می توان با مطالعات میدانی درازمدت با صرف هزینه های بسیار و یا استفاده از نرم افزارهای قدرتمند مدلسازی همانند Delft 3D ، MIKE (DHI) و ... بهره برد.

۴-۲. معرفی نرم افزار روش های عددی Mike21

مدل های مختلف ریاضی، اعم از Mike11 ، Mike21 ، Mike3 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^۶ و با همکاری انستیتو کیفیت آب^۷ 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 دریا ها می باشد.

این نرم افزار سیستم جامعی برای مدل کردن جریان های آزاد^۸ دوبعدی است که در آنها لایه بندی^۹ جریان سیال قابل نظر باشد و در عین حال در کامپیوترهای موجود قابل اجرا است. رقم های

⁶ Danish Hydraulic Institute

⁷ Water Quality Institute

⁸ Free Surface Flows

⁹ Stratification

پسوند ۲۱ از چپ به راست در واقع کاربرد این سیستم برای جریان های دوبعدی و یک لایه را بیان می کند. علیرغم اینکه برنامه کامپیوتری Mike21 از مدرن ترین امکانات نرم افزاری بهره گرفته است، بطور پیوسته تحت بازنگری قرار داشته و کاربردهای جدیدتری به آن اضافه می شود.

براساس اعلام انستیتو هیدرولیک دانمارک نرم افزار Mike21 حاصل ۲۹ سال تلاش مداوم برای ایجاد یک سیستم پیشرفته ی مدل کردن ریاضی است که در بیش از ۳۹۹ مورد کاربرد عملی در پروژه های مختلف در سراسر دنیا، بکارگرفته شده و بر اساس نتایج و تجربیات حاصله از آنها مورد تجدید نظر و توسعه و تکمیل قرار گرفته است. 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 رسوب می باشد.

این مدل با بهره گیری از ماژول های مختلف، توانایی بررسی پدیده هایی همچون موارد زیر را دارا می باشد:

- ✓ 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 (برکشند طوفان) (Storm Surge)
- ✓ انتشار یا توزیع شوری و حرارت (Heat and Salt Recirculation)
- ✓ بررسی کیفیت آب (Water Quality)
- ✓ انتشار یا توزیع آلودگی هایی از جنس فلزات سنگی (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-Wave)
- ✓ تعیین مشخصات امواج فراساحل با استفاده از منحنی های هم فشار (Deep Water Wave Characteristics)

✓ 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:

۱. هیدرولیک ساحلی و اقیانوس شناسی " Coastal Hydraulics & Oceanography "، که شامل مدل سازی 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 گل (Mud Transport Module)

۴-۲-۱. معرفی ماژول Flow Model FM

Flow Model FM یک سیستم مدل سازی جامع برای مدل سازی های دوبعدی و سه بعدی توسعه یافته توسط DHI است. این سیستم مدل سازی برای عملکردهای مختلط در اقیانوس ها، مناطق ساحلی و مناطق با اهمیت محیط زیستی همچون خلیج ها توسعه یافته است و از زیر برنامه های زیر تشکیل شده است:

✓ ماژول هیدرودینامیک (HD)

✓ ماژول نقل و انتقالات دریایی

✓ ماژول مدل سازی آزمایشگاهی

✓ ماژول انتقال گل و لای (MT)

✓ ماژول انتقال ماسه (ST)

۴-۳. ماژول SW

۴-۳-۱. معادلات حاکم بر ماژول SW

مدل ریاضی مورد استفاده جهت پیش بینی مشخصه های امواج، مدل SW می باشد. مبنای این مدل برای پیش بینی موج، حل معادله انتقال انرژی همراه با ترم های 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 وهمکاران، ۱۳۹۴). شکل معادلات انتقال در حالت دو بعدی 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 دو بعدی

f : فرکانس

θ : جهت انتشار امواج

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 می گیرد. عبارت منبع در سمت راست معادله انتقال موج بصورت زیر تعریف می شود :

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} + S_{bot} + S_{surf}$$

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 رأس موج

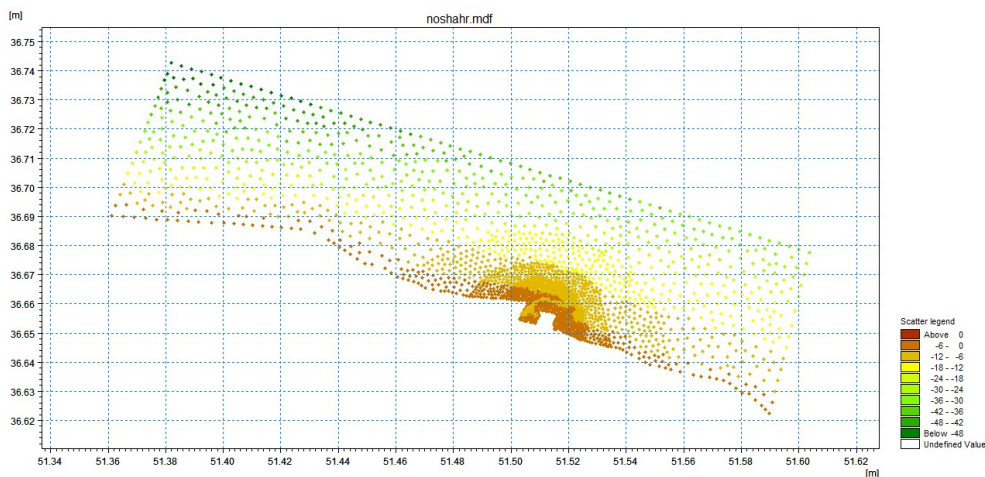
(White Capping) ، S_{bot} معرف استهلاک موج ناشی از اندرکنش با بستر دریا و S_{surf} معرف استهلاک

انرژی موج ناشی از شکست موج در ناحیه کم عمق می باشد.

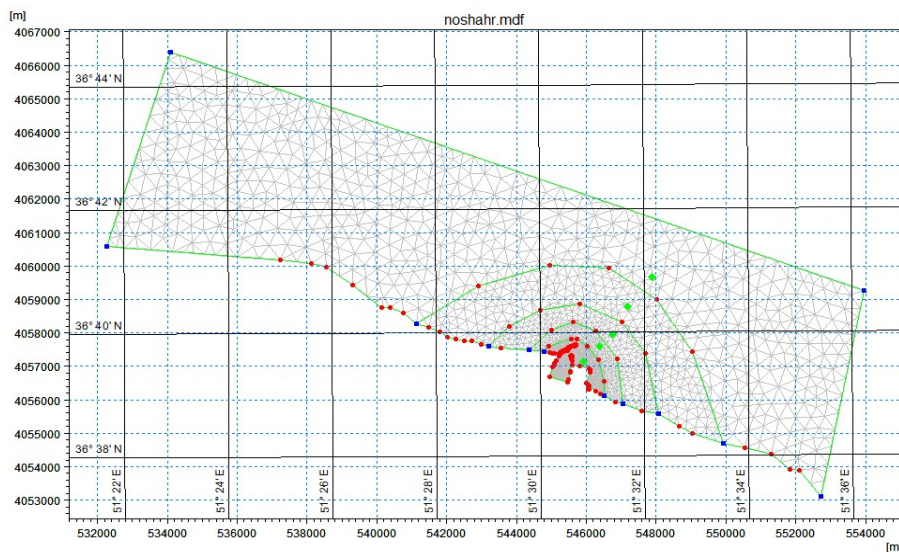
۲-۳-۴. داده های ورودی و اطلاعات خروجی

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 شعشی^{۱۰} می باشد. برای بندر نوشهر داده های عمق سنجی و همچنین فایل مش ساختار نیافته (مش مثلثی) و نهایی در شکل (۱-۴ تا ۳-۴) قابل مشاهده است.

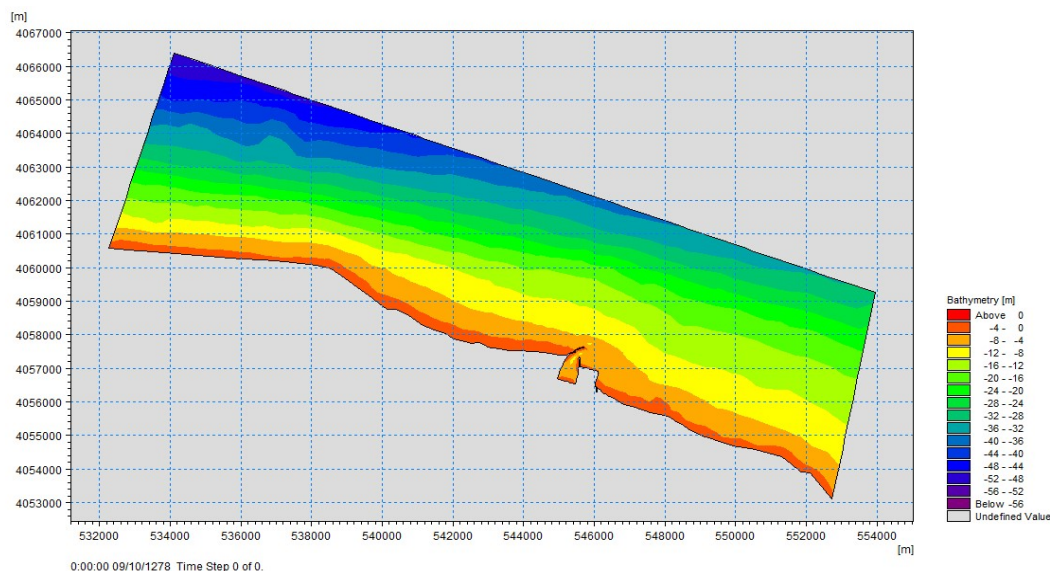
داده های هیدروگرافی و فایل مش، با توجه به داده های موجود برای بندر نوشهر، به نحوی ساخته شده است که اولاً رودخانه های مهم اطراف بندر در محدوده فایل مش قرار بگیرد و ثانیاً تا قسمتی که امواج عمیق برای این ناحیه داریم فایل مش امتداد یابد.



شکل (۱-۴). داده های هیدروگرافی



شکل (۴-۲). مش بندی مثلی



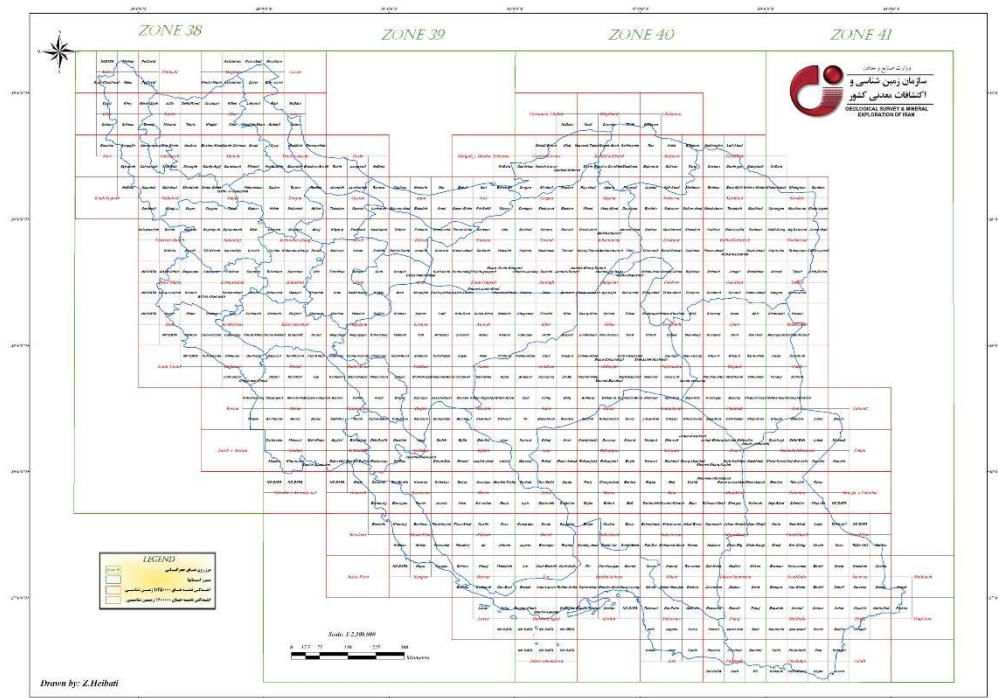
شکل (۴-۳). هیدروگرافی نهایی برای مدل سازی

۳-۳-۴. تعیین محدوده جغرافیایی در نرم افزار

از آنجا که زمین تقریباً به شکل کروی است، به منظور تصویر کردن صحیح موقعیت های نقاط روی سطح زمین سیستم طول و عرض جغرافیایی ابداع شده است. اما برای تهیه نقشه، سطح منحنی زمین باید به سطحی مستوی تغییر پیدا کند. مسلماً تصویر کردن یک سطح منحنی بر روی یک صفحه موجب جابجایی نقاط و تغییر شکل عوارض خواهد، برای نمایش صحیح سطح کروی زمین بر روی یک نقشه

سطح نیاز به یک سیستم تصویر داریم. به کمک یک سیستم تصویر مختصات جغرافیایی به یک سیستم مختصات متریک دوبعدی تبدیل می شود. سیستم تصویر مورد استفاده در این مدلسازی، سیستم تصویر UTM است. UTM مخفف عبارت Universal Transverse Mercator است.

سیستم تصویر UTM در سالهای آخر دهه ۱۹۴۰ به وسیله ارتش آمریکا ابداع شد و بر اساس این سیستم تصویر، زمین به ۶۹ زون ۶ درجه ای در طول های جغرافیایی تقسیم بندی شده است. این زونها از غرب به شرق و از یک تا ۶۹ نامگذاری شده اند. کشور ما در زون های ۳۸ تا ۴۱ قرار گرفته است. همان گونه که در شکل (۴-۴) مشاهده می شود منطقه مورد مطالعه در این پژوهش در منطقه با مختصات نقشه UTM 39 واقع شده است، که در نرم افزار به عنوان اولین ورودی وارد می گردد.

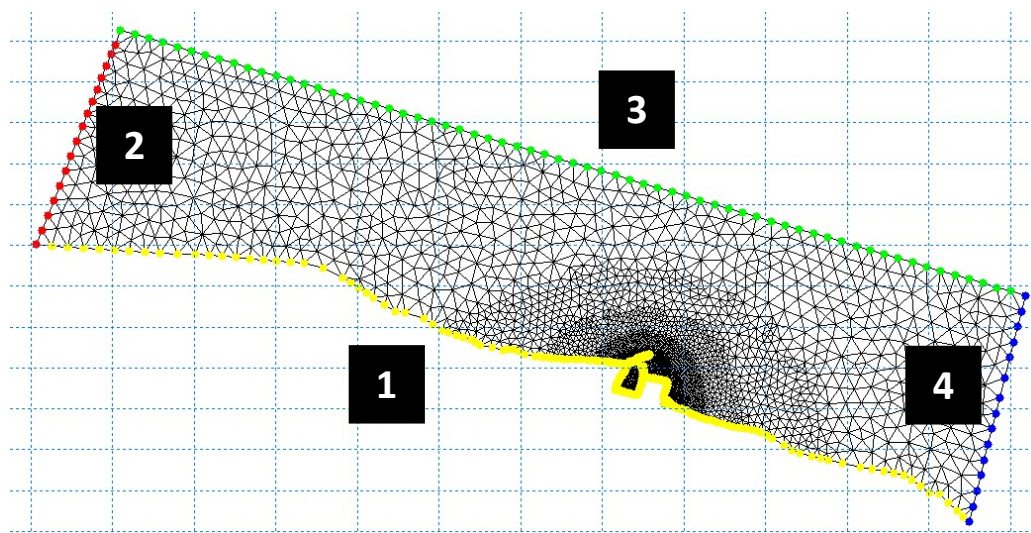


شکل (۴-۴). سیستم تصویر UTM برای ایران

۴-۳-۴. شرایط مرزی در مرزهای مدل

مدل بندر مطابق شکل (۴-۵) دارای ۴ مرز به شماره کد های ۱ تا ۴ می باشد که مطابق جدول (۴-۱)

هر کد بیانگر ویژگی آن می باشد



شکل (۴-۵). مرز های مدل

جدول (۴-۱)، معرفی ویژگی مرزها در ماژول SW

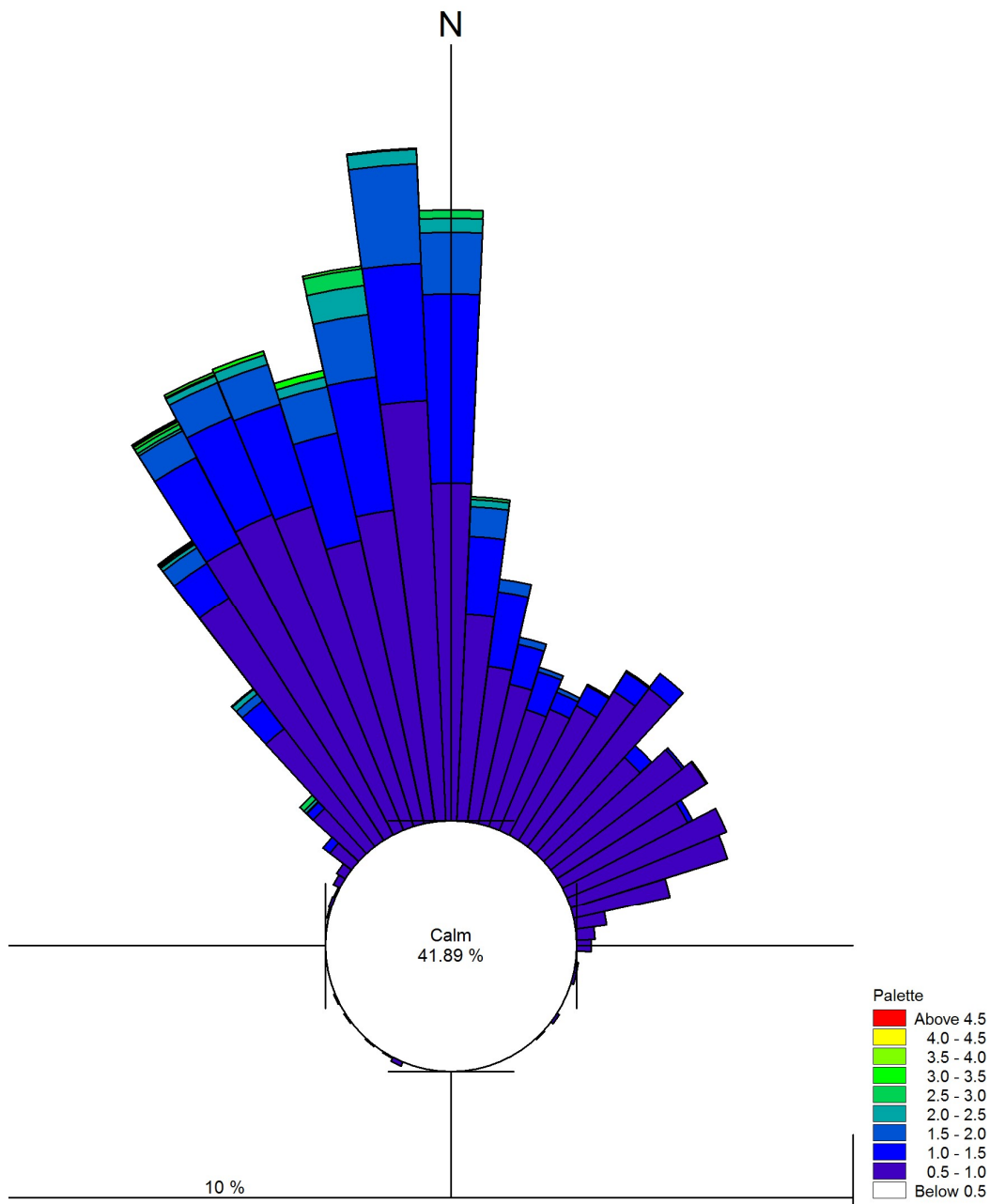
Code 1	Land boundary
Code 2	Lateral boundary
Code 3	Wave parameters (Varying in time, constant along line)
Code 4	Lateral boundary

کد ۲ و کد ۴: به دلیل وجود جریان های موازی ساحل در منطقه مورد مطالعه، باید قسمتی از مرزها که در محدوده ناحیه خیزاب ساحلی قرار می گیرد به صورت Lateral boundary تعریف شود تا اثر خروج و یا صرف نظر از جریان های موازی ساحل در مدلسازی دیده شود.

کد ۳: این مرز، محل ورودی موج در منطقه مدلسازی است که بصورت سری زمانی، متغیر در زمان و ثابت در مرز ورودی، به مدل اعمال گردیده است.

۴-۳-۵. اطلاعات موج ورودی مدل

اطلاعات موج سال ۲۰۱۲ در مرز باز شمال مدل به عنوان شرط مرزی مدل مورد نیاز می باشد. این داده ها پس از دریافت و ساخت سری زمانی با توجه به دوره مدل سازی به مرز اعمال شد. شکل (۴-۶) گل موج سال ۲۰۱۲ را نمایش می دهد.



شکل (۴-۶). گل موج سال ۲۰۱۲

۴-۴. ماژول هیدرودینامیک (HD)

۴-۴-۱. 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 (۴-۲ تا ۴-۴) آورده شده است. در این ماژول جهت حل معادلات از روش حجم محدود استفاده شده است.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (۲-۴)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2.h^2} - \gamma \left[\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right] - \omega q - f v v_x + h \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{p_a}{p_w} \right] = 0 \quad (۳-۴)$$

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

در معادلات بالا پارامترها به صورت زیر معرفی می گردد:

h : عمق آب t : زمان X, Y : مختصات دکارتی در حالت دو بعدی f : ضریب اصطکاک باد

κ : تغییرات تراز سطح آب c : ضریب شزی P_a : فشار هوا P_w : جرم حجمی آب

v, u : سرعت متوسط عمقی در جهت های مختلف p, q : دانسیته شار در جهت های مختلف

۴-۴-۲. داده های ورودی و اطلاعات خروجی

ورودی های مورد نیاز در برخی موارد مشابه ماژول SW می باشد که عبارتند از: داده های عمق سنجی،

مولفه های جزر و مدی در مرزها، آمار سرعت و جهت جریان در چند نقطه، دبی چشمه و چاه ها، دبی رودخانه ها و همچنین تنش تشعشی حاصل از مدلسازی در ماژول SW. خروجی های نرم افزار عبارتند از: سرعت جریان و تغییرات تراز آب.

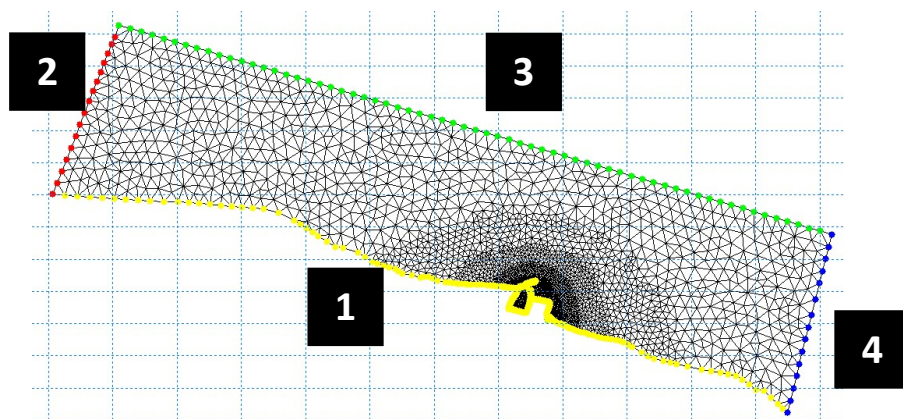
دبی رودخانه های اطراف بندر که شامل رودخانه های چالوس و کورکورسر در غرب بندر و سنگ تجن و ماشالک در شرق بندر می باشد به صورت زیر به مدل اعمال گردید، (پویا طرح پارس، ۱۳۹۴):

- ✓ در مختصات (۵۱,۴۵۶۱۶۳ , ۳۶,۶۷۲۳۹)، رودخانه چالوس=۴۰ مترمکعب بر ثانیه
- ✓ در مختصات (۵۱,۴۷۹۱۲۳ , ۳۶,۶۶۳۹۴۳)، رودخانه کورکورسر=۱۰ مترمکعب بر ثانیه
- ✓ در مختصات (۵۱,۵۱۵۰۲۹ , ۳۶,۶۵۲۶۷۷)، رودخانه ماشالک و رودخانه سنگ تجن=۱۰

مترمکعب بر ثانیه

۳-۴-۴. شرایط مرزی در مرزهای مدل

مدل بندر مطابق شکل (۷-۴) دارای ۴ مرز به شماره کد های ۱ تا ۴ می باشد که مطابق جدول (۲-۴) هر کد بیانگر ویژگی آن می باشد.



شکل (۷-۴). مرزهای مدل

جدول (۴-۲)، معرفی ویژگی مرزها برای ماژول HD

Code 1	Land (Zero Normal Velocity)
Code 2	Specified discharge
Code 3	Land (Zero Normal Velocity)
Code 4	Specified discharge

۴-۵. ماژول انتقال ماسه (ST)

۴-۵-۱. معادلات حاکم بر ماژول انتقال ماسه (ST)

ماژول انتقال ماسه (ST)، جهت شبیه سازی انتقال رسوبات غیرچسبنده مورد استفاده قرار می گیرد. معادلات بایکر به عنوان معادلات حاکم در این ماژول می باشد که در معادلات (۴-۵ و ۴-۶) آورده شده است، قابل ذکر است که در روش بایکر بار بستر و بار معلق 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.

$$q_b = d_{50} \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}} \exp\left(\frac{0.27(s-1)d_{50}\rho g}{\mu_r \tau_{wc}}\right) \quad (۴-۵)$$

$$q_s = 1.83q_b \left(I_1 \ln\left(\frac{h}{0.033k_s}\right) + I_2 \right) \quad (۴-۶)$$

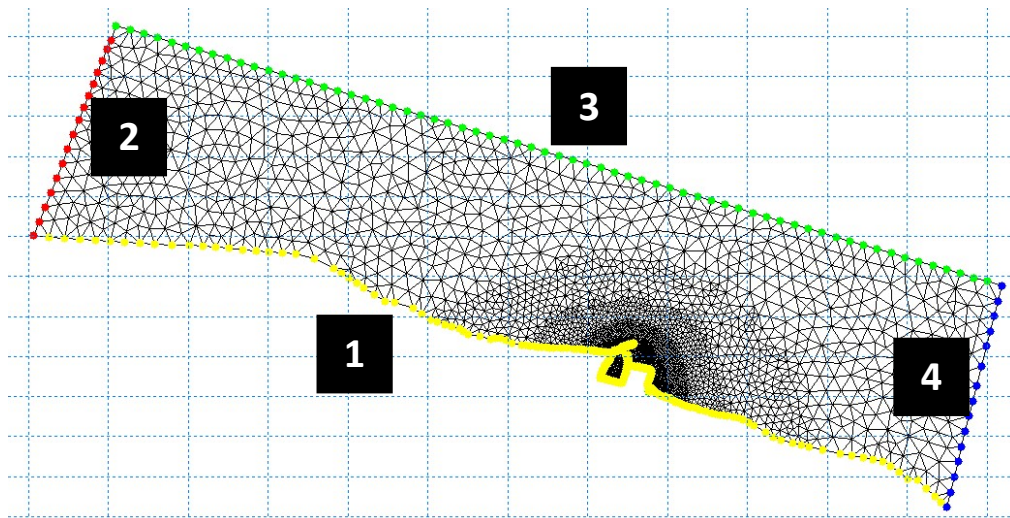
در معادلات (۴-۵ و ۴-۶)، q_b بار بستر، q_s بار معلق، d_{50} اندازه متوسط ذرات، τ_c تنش برشی بستر، ρ جرم مخصوص آب، S جرم مخصوص نسبی ذرات، g شتاب جاذبه، μ_r ضریب شکنج، τ_{wc} تنش برشی میانگین بستر، h عمق آب، k_s زبری بستر، I_1 و I_2 انتگرال های انیشتین است.

۴-۵-۲. داده های ورودی و اطلاعات خروجی

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

۴-۵-۳. شرایط مرزی در مرزهای مدل

مدل بندر مطابق شکل ۴-۸ دارای ۴ مرز به شماره کد های ۱ تا ۴ می باشد که مطابق جدول ۴-۳ هر کد بیانگر ویژگی آن می باشد.



شکل (۴-۸). مرز های مدل

جدول (۴-۳)، معرفی ویژگی مرزها برای ماژول ST

Code 1	Land
Code 2	Equilibrium conditions
Code 3	Equilibrium conditions
Code 4	Equilibrium conditions

۴-۶. روش مدل‌سازی و کالیبراسیون کیفی مدل‌های جریان و رسوب

در این پژوهش از دو نوع تحلیل برای مدل‌سازی جریان و سپس مشاهده رسوبگذاری استفاده شد. تحلیل اول ایجاد جریان بحرانی پایدار و تحلیل دوم ایجاد جریان بحرانی ناپایدار به کمک مدل‌سازی باد و امواج بود. برای مدل‌سازی شرایط بندر نوشهر در نرم افزار، ابتدا با توجه به اطلاعات جریان و رسوب ناحیه نوشهر که از سازمان بنادر دریافت گردید، با محاسبه عدد شیلدز، سرعت برشی بحرانی و سپس سرعت جریان بحرانی، که ذره رسوب را به حرکت در می‌آورد، محاسبه می‌شود. طبق اطلاعات موجود از رسوب ناحیه ی نوشهر و مطابق اطلاعات دریافتی از سازمان بنادر و همچنین گزارشات شرکت تهران برکلی و پویا طرح پارس، ذرات رسوبی در ناحیه نوشهر ماسه ای بوده و متوسط اندازه ذرات برابر ۲۰۰ میکرون متر می‌باشد. پس از محاسبه عدد شیلدز، سرعت بحرانی جریان برابر ۰,۱۵ متر بر ثانیه برآورد شد. با مراجعه به داده های دریافتی جریان ناحیه نوشهر که مربوط به سال ۲۰۱۲ می‌باشد، با محاسبات صورت گرفته مشخص شد که حدود ۳۸ درصد از داده های جریان مقداری بیشتر از عدد بحرانی ۰,۱۵ متر بر ثانیه داشته اند. جدول (۴-۴) نتایج بررسی را نمایش می‌دهد.

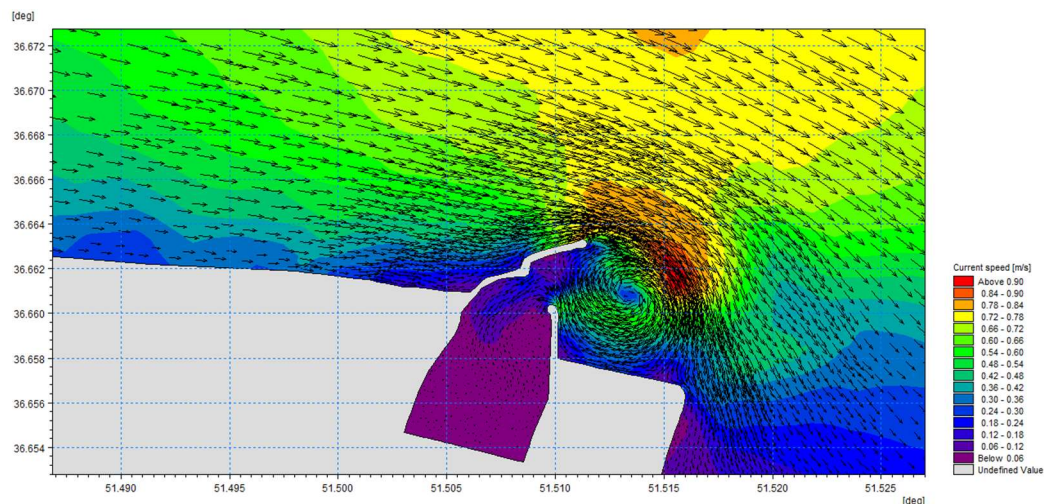
جدول (۴-۴)، بررسی سرعت بحرانی ناحیه نوشهر

****	تعداد	%	%اصلاحی
>0.15	7998	37.78166	37.93938
<0.15	13171	62.21834	62.47806
کل داده ها	21169		
کل داده ها اصلاحی	21081		

با تحلیلی آماری می‌توان گفت در ۳۸ درصد از ایام سال جریان بحرانی، رسوب را در این ناحیه به حرکت در می‌آورد. بنابراین با حدود ۴ ماه مدل‌سازی شرایط بندر و با سرعت جریان ۰,۱۵ متر بر ثانیه، مدل‌سازی معادل یک سال خواهیم داشت. تحلیل دوم نیز ایجاد همین جریان به کمک مدل‌سازی امواج برای یک سال بود.

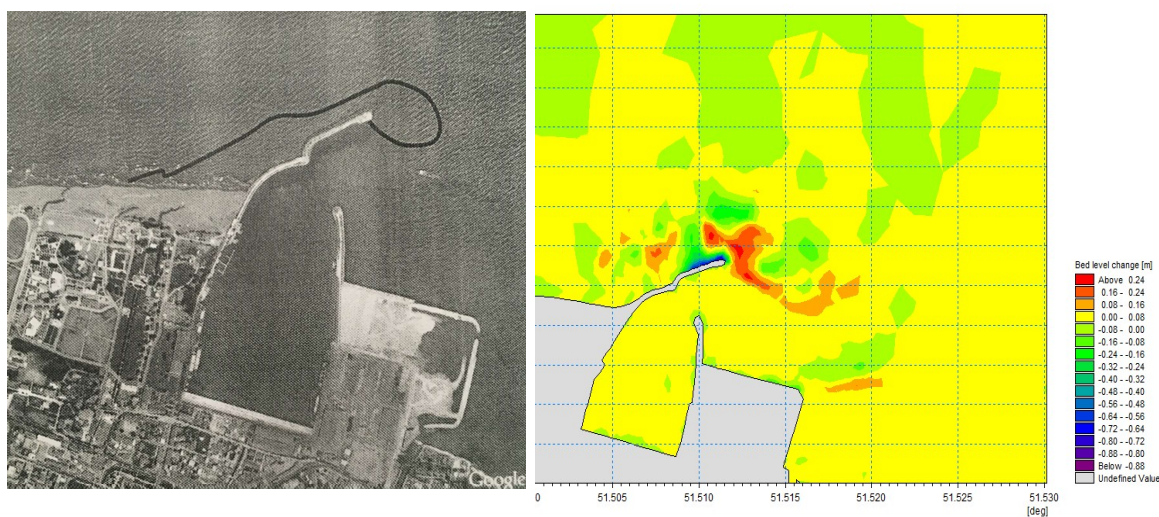
در این پژوهش و در نرم افزار، با تغییر پارامترها ابتدا جریان ۰,۱۵ یک بار به صورت پایدار و بار دیگر به کمک مدل‌سازی امواج، جریان ناپایدار ایجاد شده و سپس مدل‌سازی جهت مشاهده حرکت رسوب به صورت کیفی انجام پذیرفت.

با بررسی نتایج حاصل از خروجی مدل‌ها، در نهایت جریان ناپایدار حاصل از مدل‌سازی امواج منطقی و قابل قبول بوده و رسوبگذاری در بندر تحت این شرایط و با مدل‌سازی یک ساله بررسی شد. در حالتی که جریان پایدار ایجاد شد، اولاً جریان گردابه‌ای در جلوی بندر به درستی تشکیل نشده و از طرفی رسوبگذاری و حرکت رسوبات نیز منطقی نبود. علت استفاده از چنین تحلیلی اولاً در دسترس نبودن داده‌های سطحی باد و همچنین موج و ثانیاً زمان بر بودن مدل‌سازی تحت چنین شرایطی بود. اطلاعات دریافتی باد معمولاً نقطه‌ای بوده و این اطلاعات برای تحلیل جریان‌های ناشی از باد ناقص می‌باشد. از طرفی اندازه‌گیری اطلاعات رسوبگذاری در سواحل ایران به ندرت صورت می‌پذیرد و در ساحل نوشهر نیز چنین اطلاعاتی موجود نبود. لذا برای این پژوهش از آنالیز و مقایسه کیفی استفاده شده است. با توجه به داده‌هایی که از باد، موج و جریان در دسترس بود، کالیبراسیون به صورت کیفی انجام شد. چرا که این داده‌ها به صورت نقطه‌ای بوده و با اعمال این داده‌ها به یک سطح عملاً نتایج با واقعیت به طور قطع اختلاف خواهد داشت. اما نتایج مجموعه مدل‌سازی به صورت کیفی با هم قابل مقایسه خواهد بود. برای کالیبره کردن مدل جریان، دو شرط مورد بررسی قرار گرفت. اول اینکه با توجه به اطلاعات میدانی جریان، جریان مدل‌سازی شده در محدوده جریانات ثبت شده بویه قرار گرفته و قادر به حرکت دادن و جابجایی رسوبات منطقه مورد نظر باشد. شرط دوم نیز الگوی جریان شکل گرفته بود، که اولاً به درستی جهت جریان از غرب به شرق شکل گیرد و ثانیاً جریان گردابه‌ای نیز جلوی بندر تشکیل گردد. شکل (۴-۹) حرکت جریان و نحوه شکل‌گیری گردابه جریان در ورودی بندر را نمایش می‌دهد.



شکل (۴-۹). ایجاد جریان گردابه ای جلوی بندر

برای کالیبره کردن مدل رسوب، الگوی رسوبگذاری بحث و مطرح شده در گزارشات سازمان بنادر و مطالعات پیشین مورد استناد قرار گرفت. براساس گزارش ها و هیدروگرافی هایی که زیر نظر واحد آب نگاری بندر انجام شده، وضعیت انباشت رسوب به خصوص در قسمت ورودی بندر چندان مطلوب نیست. در دهانه بندر، زبانه ی رسوبی تشکیل شده است که این زبانه در مدلسازی انجام شده نیز مطابق شکل، (۴-۱۰) قابل مشاهده است.



شکل (۴-۱۰). عکس چپ: زبانه ی رسوبی تشکیل شده در ناحیه ورودی بندر (رستمی، ۱۳۹۰)
عکس راست: زبانه ی رسوبی تشکیل شده در مدلسازی

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 عمق آبخور کشتی ها تامین نشده و حتی در قسمت هایی به زیر ۲ متر هم می رسد، (رستمی، ۱۳۹۰).

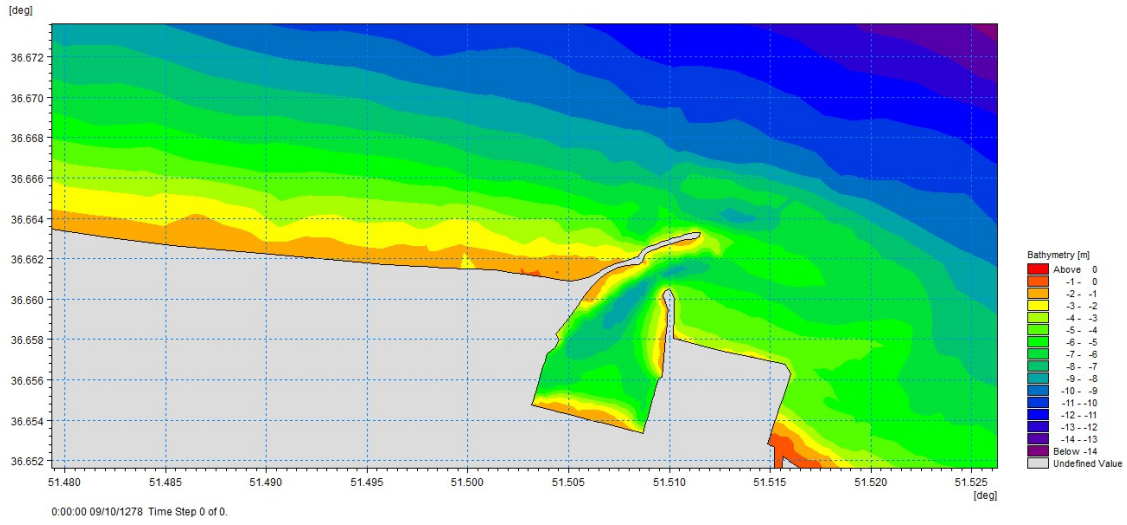
۷-۴. مدلسازی

در این بخش طرح های مدلسازی شده مطابق جدول (۴-۵) نامگذاری شده می گردد. برای هر کدام از این طرح ها، موج، جریان و رسوب مدل شده و سپس خروجی رسوبگذاری برای هر کدام استخراج شده است. در هر خروجی، طرح ها برحسب عملکردشان امتیازدهی می شوند تا در بخش نتیجه گیری بتوان طرح با بهترین اثرات بر فرآیندهای رسوبگذاری را براساس تفسیرهای این فصل معرفی نمود. نحوه ی امتیاز دهی به این صورت می باشد که براساس قالب امتیاز دهی و از اعداد ۱ تا ۵ (که عدد پنج برای بهترین عملکرد و عدد یک برای ضعیف ترین عملکرد می باشد) ، استفاده می گردد.

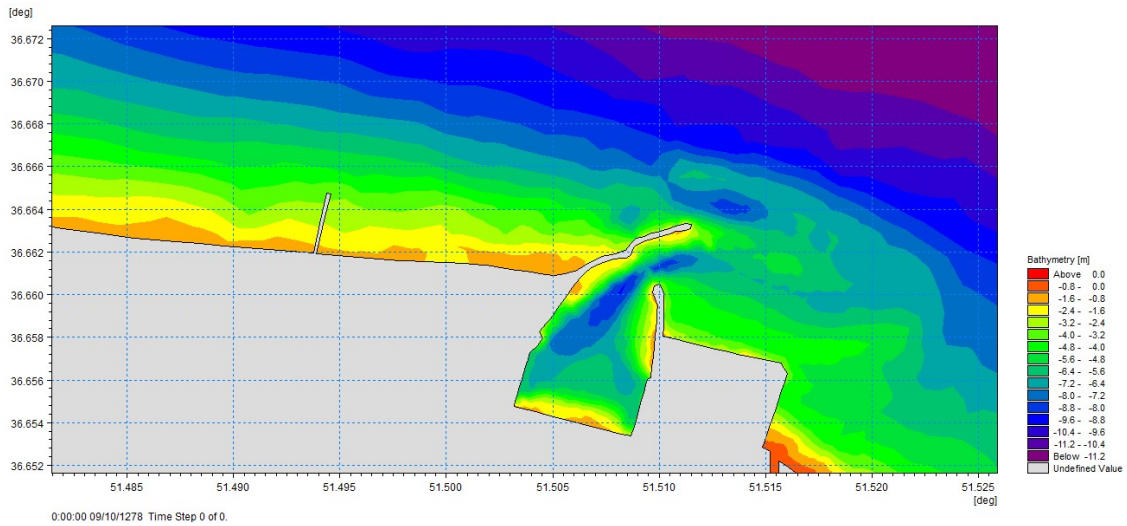
در شکل های(۴-۱۱ تا ۴-۱۷) این طرح ها نمایش داده شده است.

جدول (۴-۵)، نام گذاری طرح ها

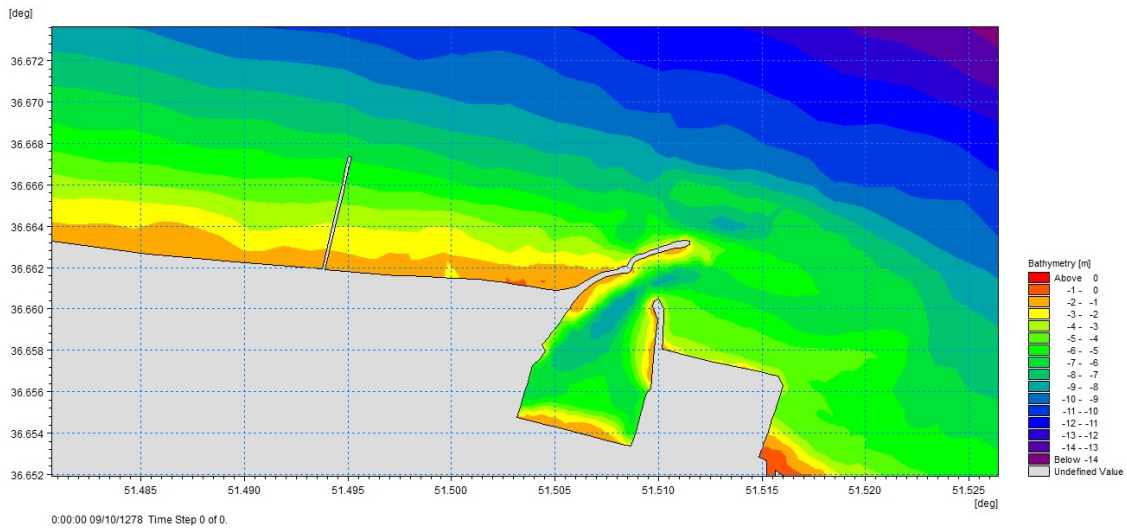
Type	Specification
Plan 1	هندسه فعلی بندر
Plan 2	یک آبشکن ۳۰۰ متری در فاصله ی ۱۱۰۰ متری غرب بندر
Plan 3	یک آبشکن ۶۰۰ متری در فاصله ی ۱۱۰۰ متری غرب بندر
Plan 4	یک دستک ۲۰۰ متری روی موج شکن اصلی
Plan 5	یک دستک ۳۰۰ متری روی موج شکن اصلی
Plan 6	یک آبشکن ۴۵۰ متری در فاصله ی ۱۱۰۰ متری غرب بندر و یک آبشکن ۴۵۰ متری در فاصله ی ۲۰۰۰ متری غرب بندر
Plan 7	یک دستک ۲۵۰ متری روی موج شکن اصلی و یک آبشکن ۴۵۰ متری در فاصله ی ۱۱۰۰ متری غرب بندر



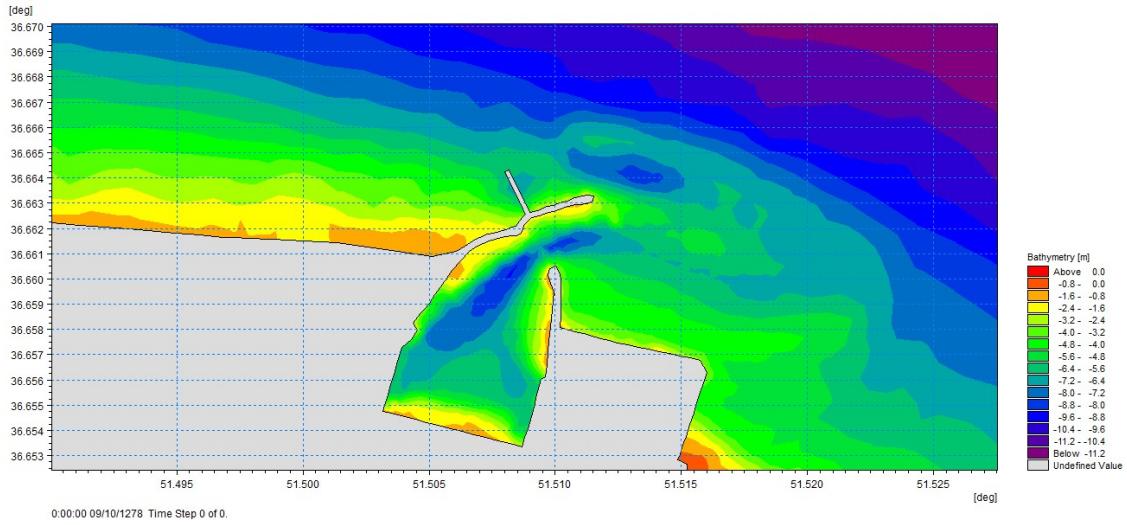
شکل (۴-۱۱). طرح ۱



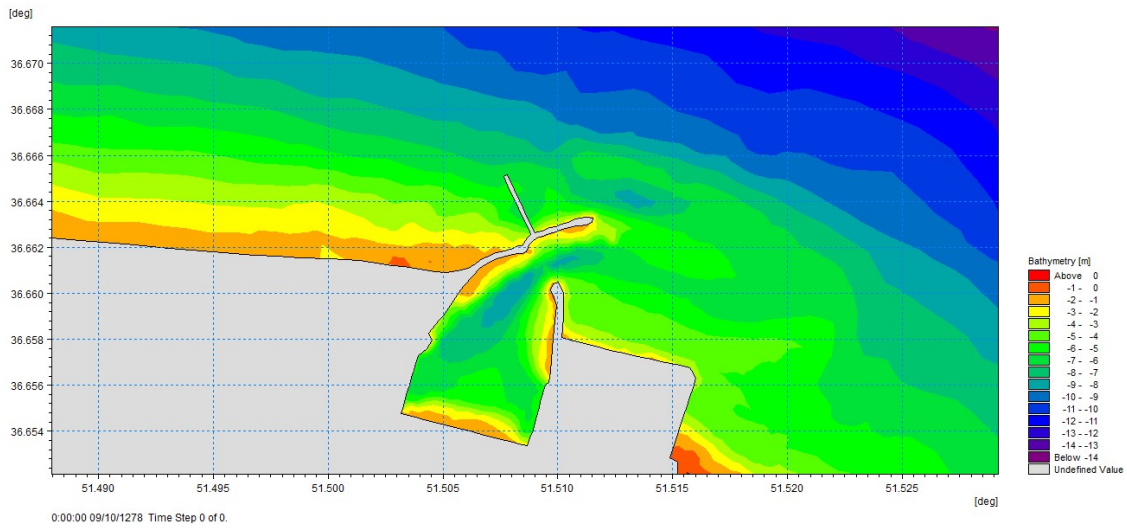
شکل (۴-۱۲). طرح ۲



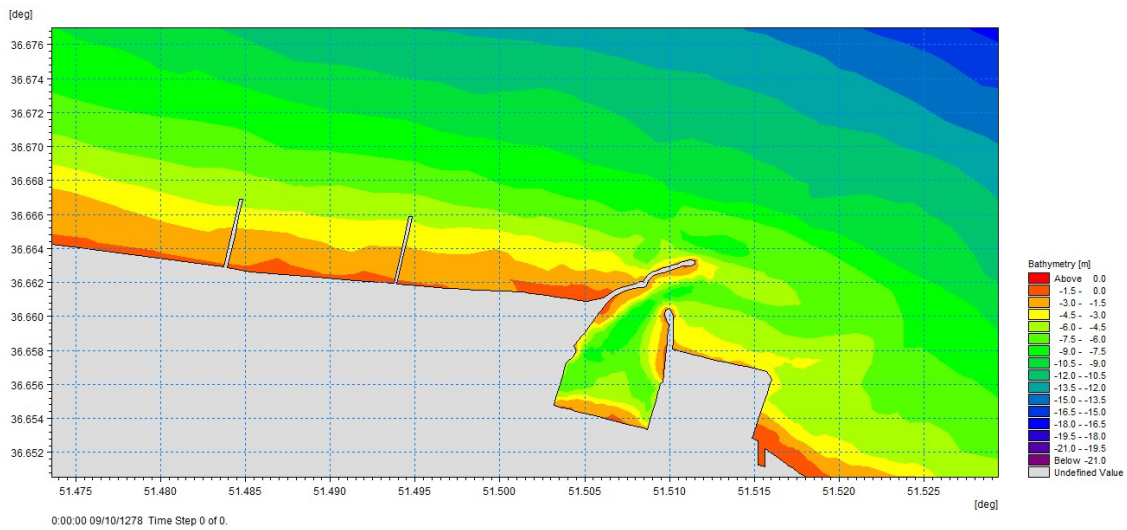
شکل (۴-۱۳). طرح ۳



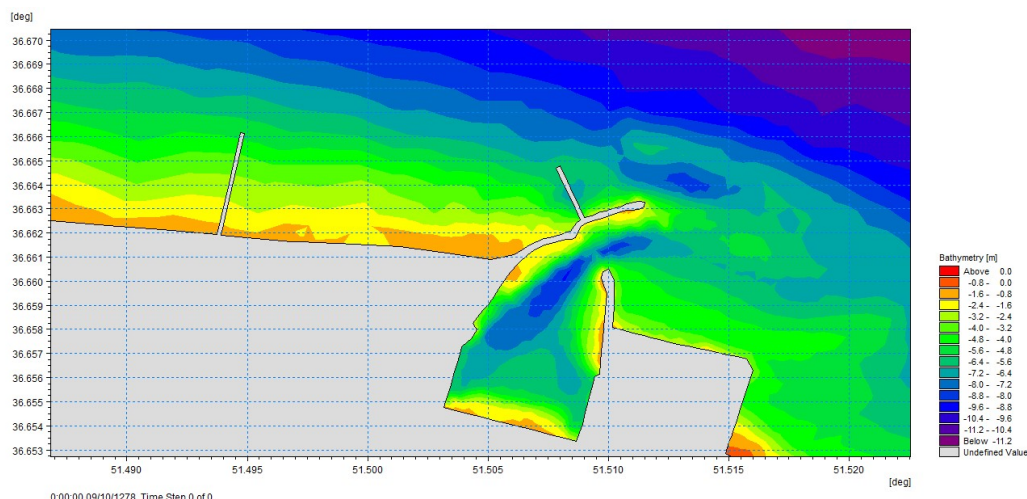
شکل (۴-۱۴). طرح ۴



شکل (۴-۱۵). طرح ۵



شکل (۴-۱۶). طرح ۶



شکل (۴-۱۷). طرح ۷

معیار تعیین فاصله آبشکن ها، آیین نامه طراحی سازه های حفاظت ساحل ایران بوده است. با فرض کردن بندر به عنوان یک آبشکن ساحلی، مطابق آیین نامه اعداد ۱،۵، ۲ و ۳ برابر طول آبشکن، می تواند فاصله مناسب آبشکن ها از یکدیگر باشد. طول آبشکن ها و دستک ها نیز با توجه به پیشروی ساحل در بندر نوشهر و عرض ناحیه خیزاب ساحلی که تا حدود ۶۰۰ متر نیز برآورد شده است، تعیین شده و مقایسه نتایج، بین فواصل و طول این آبشکن ها و دستک ها در طرح های یاد شده صورت گرفته است.

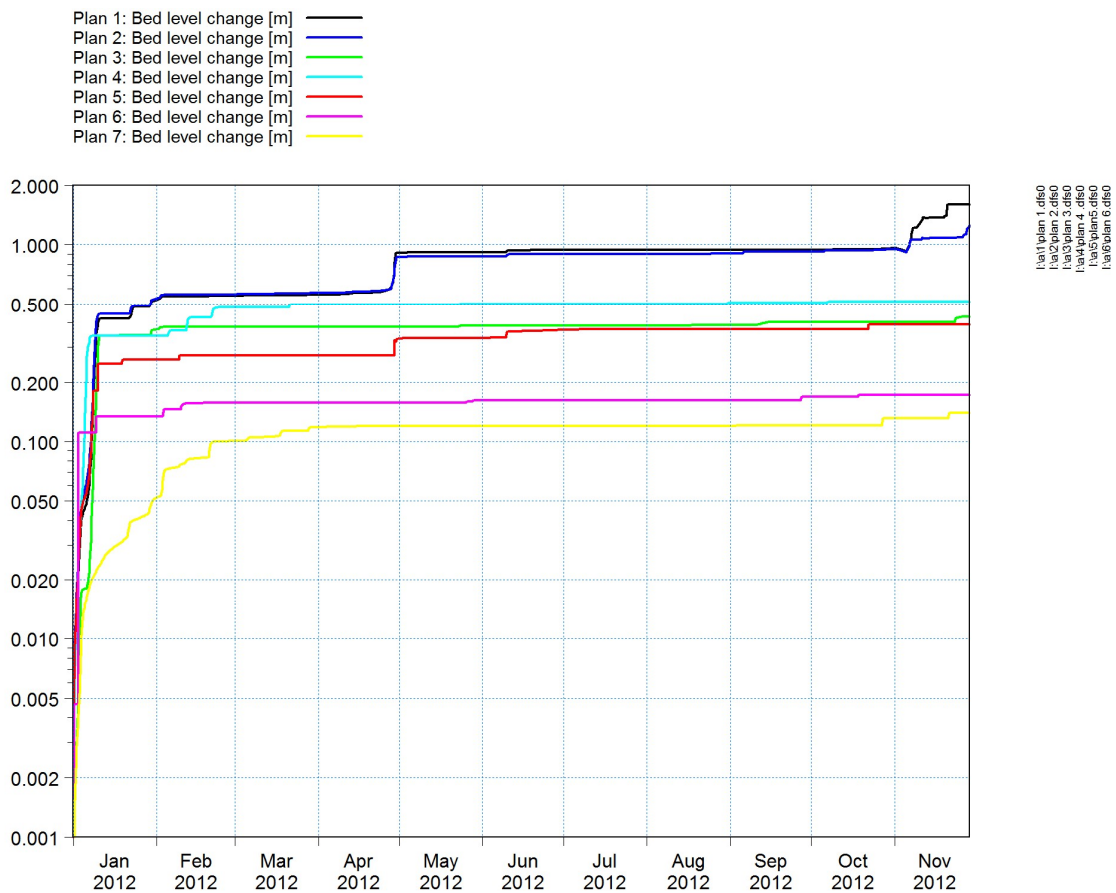
۸-۴. نتایج

امتیاز دهی به مدلسازی انجام شده در قالب های زیر بررسی می گردد:

- ✓ خروجی نقطه ای، رسوب گذاری در یک نقطه از ورودی بندر
- ✓ توجه اقتصادی با توجه به حجم سازه ی مدل شده

۴-۸-۱. رسوب گذاری در ورودی بندر

طبق گزارشات تهیه شده از وضعیت رسوبگذاری بندر نوشهر، مشکل اصلی و بخش عظیمی از رسوبگذاری در دهانه بندر صورت می گیرد و در حوضچه بندر، رسوبگذاری ناچیز می باشد. بنابراین در این مطالعه، خروجی مدلسازی ها برای این بخش از بندر دریافت گردید. تغییرات تراز بستر در یک سال مدلسازی و در نقطه (۵۱،۵۱۱۵۳ ، ۳۶،۶۶۲۳۳۵) در ورودی بندر مطابق جدول (۴-۶) می باشد. تصویر (۴-۱۸) نیز وضعیت رسوبگذاری در ورودی بندر در طرح های مختلف، در مدت یک سال مدلسازی، را نشان می دهد. با بررسی تغییرات تراز بستر بر حسب متر، امتیاز دهی به طرح ها صورت گرفت. طرح ها با توجه به بازه ی تغییرات تراز بستر، مطابق قالبی که در جدول (۴-۷) نمایش داده شده است، امتیازدهی شده اند.



شکل (۴-۱۸). تغییر تراز بستر برای طرح های هفت گانه

جدول (۴-۶)، امتیاز رسوب گذاری در ورودی بندر

Type	تغییرات تراز بستر در انتهای مدلسازی	امتیاز
Plan 1	1.61	-----
Plan 2	1.32	1
Plan 3	0.43	4
Plan 4	0.51	4
Plan 5	0.39	4
Plan 6	0.16	5
Plan 7	0.13	5

جدول (۴-۷)، قالب امتیازدهی رسوبگذاری

تغییر تراز بستر (متر)	امتیاز
0.14 – 0.37	5
0.38 – 0.61	4
0.62 – 0.85	3
0.86 – 1.00	2
1.1 – 1.32	1

همانطور که در نتایج مشخص شده است، آبشکن ۳۰۰ متری در فاصله ۱۱۰۰ متری عملکرد مناسبی در برابر رسوبگذاری نداشته است. دلیل این امر هم پیش روی ساحل در سالهای بعد از ساخت بندر و همچنین افزایش عرض ناحیه خیزاب ساحلی می باشد. به عبارت دیگر این آبشکن ۳۰۰ متری تاثیر بسیار کمی بر کاهش رسوبگذاری در بندر داشته است و رسوبات از آن گذشته و به بندر می رسند.

اما طرح ۳، با افزایش طول آبشکن به ۶۰۰ متر، توانسته میزان رسوبگذاری در دهانه بندر را از ۱ متر و ۶۱ سانتی متر (طرح ۱)، به ۴۳ سانتی متر کاهش دهد. در طرح های ۴ و ۵ که شامل یک دستک بر روی موجشکن اصلی بندر بود، شاهد این موضوع بودیم که با افزایش طول این دستک، میزان رسوب گذاری از ۵۱ سانتی متر به ۳۹ سانتی متر کاهش پیدا کرده است. طرح های ترکیبی ۶ و ۷، که بهترین عملکرد را در میزان رسوب گذاری داشته اند، میزان رسوب گذاری را به ترتیب به ۱۶ و ۱۳ سانتی متر

رسانده اند. از طرفی عملکرد سازه هایی که بر روی موجشکن اصلی اجرا شده اند بهتر از آبشکن ها بوده است. دلیل این امر نیز کنترل رسوب در نزدیکی دهانه بندر می باشد.

۲-۸-۴. هزینه اقتصادی (بعد اجرایی)

با در نظر گرفتن طراحی یکسان برای کلیه دستک ها و آبشکن های مدل شده، می توان با تخمین تقریبی مساحت مقطع طولی سازه، طرح ها را مطابق جدول (۴-۸) از نظر هزینه های اجرا، امتیازدهی کرد. مقاطع طولی، مثلثی و دوزنقه فرض شده و با توجه به مساحت های محاسبه شده در قالبی مطابق جدول (۴-۹) امتیازدهی شده اند.

جدول (۴-۸)، امتیاز اقتصادی

Type	مشخصات هندسی طرح	مساحت	امتیاز
Plan 1	-----	-----	-----
Plan 2	0 , 3.5 , 300 (meter)	525	5
Plan 3	0 , 6.2 , 600 (meter)	1860	3
Plan 4	3.8 , 6.8 , 200 (meter)	1060	4
Plan 5	3.8 , 6.8 , 6.4 , 300 (meter)	1720	3
Plan 6	0 , 6.15 , 450 (meter) 0 , 6.15 , 450 (meter)	2767.5	1
Plan 7	3.8 , 6.8 , 6 , 250 (meter) 0 , 6.15 , 450 (meter)	2763.7	1

جدول (۴-۹)، قالب امتیازدهی اقتصادی

مساحت (متر مربع)	امتیاز
525 - 975	5
976 - 1425	4
1426 - 1875	3
1876 - 2325	2
2326 - 2775	1

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱. پیشگفتار

این پژوهش با هدف ارزیابی هندسی و علل رسوب گذاری در دهانه و محیط بندر نوشهر و ارائه راهکارهایی برای کاهش رسوبگذاری انجام پذیرفت، که در آن با استفاده از داده های موجود به شبیه سازی امکان سنجی اجرای این تغییرات واقع در جنوب دریای خزر و با استفاده از نرم افزار Mike 21 پرداخته شد. پس از بررسی نحوه تاثیر جانمایی بندر و مورفولوژی منطقه بر رسوبگذاری در بندر و بررسی لزوم کاهش رسوبگذاری و کنترل آن در بندر نوشهر، هفت طرح برای توسعه موجشکن اصلی و ساحل غربی بندر مورد ارزیابی و مدلسازی قرار گرفت و نتایج و تفسیر خروجی های مدلسازی در فصل چهارم ارائه گردید. در این فصل با توجه به مدلسازی طرح ها در فصل چهارم، به جمع بندی نهایی پرداخته شده و طرح با بهترین عملکرد معرفی می گردد.

۵-۲. نتیجه گیری

با توجه به مدلسازی صورت گرفته در ۷ طرح، نتایج امتیاز دهی به صورت جدول (۵-۱) می باشد:

جدول (۵-۱). نتایج امتیاز دهی به طرح ها

طرح	امتیاز		
	رسوب گذاری در دهانه ی بندر	هزینه های اجرایی	مجموع
Plan 1	-----	----	-----
Plan 2	۱	۵	۶
Plan 3	۴	۳	۷
Plan 4	۴	۴	۸
Plan 5	۴	۳	۷
Plan 6	۵	۱	۶
Plan 7	۵	۱	۶

بنابراین طرح ۴، که شامل یک دستک ۲۰۰ متری روی موجشکن اصلی بندر می باشد بهینه ترین گزینه در بین موارد بالا، برای کنترل رسوب بندر نوشهر می باشد.

به جز طرح ۲، سایر طرح ها نیز بر روند رسوبگذاری تاثیر مطلوبی داشتند. البته باید در نظر داشت که بدون ملاحظات اقتصادی طرح های ۶ و ۷، عملکرد خوبی در زمینه کنترل رسوب گذاری در بندر داشته اند و راه حل های بهتر ولی هزینه بری در مقایسه با دیگر طرح ها به حساب می آید.

۳-۵. پیشنهادات

تحقیقات در حیطه مهندسی سواحل دامنه کار بسیار زیادی دارد و در زمینه انتقال رسوب، خطوط ساحلی و امواج و ریخت شناسی محیط های بندری می توان مطالعات و تحقیقات و نوآوری های زیادی داشت. متأسفانه در ایران هنوز به صورت کاملاً جدی به اهمیت تحقیقات در زمینه فرایندهای ساحلی و نقش کلیدی مناطق ساحلی و بنادر در صنعت و اقتصاد پی نبرده اند.

برای ادامه کار پیشنهاداتی ارائه میگردد:

✓ بررسی تاثیر زوایای قرارگیری موجشکن ها، اطاله ها و آبشکن ها بر روند رسوبگذاری (استفاده از ایده ی آبشکن مایل)

✓ کنترل رودخانه های بالادست و ایجاد طرح حفاظت ساحل نظیر احداث جتی در خروجی این رودخانه و مطالعه تاثیر آن بر رسوب گذاری در محیط بندر

✓ برداشت اطاله ایجاد شده و بررسی گزینه های بهتر و مفید تر برای کاهش رسوب گذاری در دهانه بندر

✓ بررسی اثر رودخانه های پایین دست بندر نوشهر بر رسوب گذاری در بندر

✓ بررسی یک طرح هندسی مناسب برای کنارگذر طبیعی رسوب در شرایط دریای خزر و سواحل جنوب کشور

✓ بررسی تاثیر هندسه دیگر بنادر کشور و بررسی کاهش روند رسوب گذاری در آنها

منابع و مراجع

❖ مراجع فارسی

اداره کل بنادر و دریانوردی استان گیلان (۱۳۹۴)، "گزارش تغییرات تراز سطح آب دریای خزر"، معاونت بخش هیدروگرافی، مرکز اطلاعات.

اداره کل بنادر و دریانوردی ایران، (۱۳۹۴)، "دوره ی آموزشی کاهش رسوب در بنادر"، اداره کل مهندسی سواحل و بنادر.

اداره کل بنادر و دریانوردی استان مازندران، (۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹)، گزارش قسمت هیدروگرافی و لایروبی. برگه خ، (۱۳۸۷)، "اصول مهندسی دریا"، انتشارات دانشگاه تهران.

پویا طرح پارس، مهندسین مشاور، (۱۳۹۴)، "پیش مطالعات مرحله اول پروژه بررسی رسوبگذاری بندر نوشهر".

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

چگینی و، (۱۳۹۰)، "مجموعه کتاب های مهندسی سواحل"، مرکزی ملی اقیانوس شناسی و سازمان بنادر و دریا نوردی، شماره ۶ و ۷.

حبیبی گیلاکجانی م، (۱۳۹۴)، "بررسی مورفولوژی و الگوی رسوبی در سواحل و محدوده ی دریایی شهرستان نوشهر"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، گیلان.

دیباچ نیا م، (۱۳۷۵)، "راهنمای طراحی بنادر صیادی تالیف انجمن ملی بنادر صیادی ژاپن"، انتشارات دانشگاه تهران.

رستمی س، (۱۳۹۰)، "بررسی روند فرسایش و رسوب گذاری در حوضچه بندر نوشهر"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان.

رستمی س، نظامیوند چگینی ا ه، غبرایی ع، لشته نشایی م ا، (۱۳۹۰)، "بررسی روند رسوب گذاری در حوضچه بندر نوشهر به کمک مدل ریاضی"، دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، رشت، انجمن هیدرولیک ایران، دانشگاه گیلان.

شیرین م ر، اسکندری ح، علیخانی ا، (۱۳۹۴)، "بررسی اثر توسعه موج شکن های بندر رستمی بر روی فرآیند رسوبگذاری در نواحی بندر"، دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، تبریز.

عطایی آشتیانی ب، نجفی جیلانی ع، (۱۳۸۴)، "مهندسی سواحل (هیدرودینامیک سواحل)"، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

لشته نشایی م ا، غبرایی ع، (۱۳۸۵)، "پهنه بندی نیمرخ ناحیه ساحلی دریای خزر"، تحقیق بین دانشگاهی گیلان و گرگان.

- Bagnold ,R.A, (1966), “An Approach to The Sediment Transport Problem from General Physics”, *Physiographic and Hydraulic Studies of Rivers , Geological Professional Paper 422-1,U.S Governmental Printing Office 36pp.*
- Booij, R., (1986), “Measurements of Exchange between River and Harbor”. *Rep. 9-86, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.(in Dutch).*
- Cartney, B.L.Mc, Herrmann, F.A.Jr, Simmons, B.H, (1991), “Estuary Waterway Projects-Lessons learned”, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE,117(4), pp. 409-421.*
- Cheng, N.S, (1997), “Simplified settling velocity formula for sediment particle”, *Journal of Hydraulic Engineering, 123(2), pp. 149-152.*
- Cole, P., and G.V. Miles, (1983), “Two-Dimensional Model of Mud Transport”, *Journal Of Hidraulic Engineering, ASCE, vol. 109, no. 1, pp. 1 - 12.*
- Colebrook, C.F and White, C..M., (1937), “Experiments with fluid friction in roughened pipes.” *Proc.Roy.Soc., Series A, 161, 367-81.*
- Dayanada, H.V, Gerritsen, F., (1983), “Sedimentation Studies Carried out on a Small Harbor Sited in an Area of High Littoral Drift”. *Int. Conf. on Coast. and Port Engrg.*
- Donnelly, P., and MacInnis, I.,(1968),“Experiences with Self-Dredging Harbor Entrances”. *Proc. 11th Conf. on Coast. Engrg., London, England, pp. 1284-1294.*
- Dursthoff, W., (1970), “On the Quantitative Exchange of Water between Harbor and River”, *Mitteilungen des Franzius Institut für Grund-und Wasserbau der Technischen UniversitätHannover, 34, pp. 194-368.(in German).*
- Engelund,F, (1965), “A Criterion for the occurrence of suspended load”., *La Houille Blanche, No 8, France.*
- Engelund F, Fredsoe J.(1976). “ A sediment transport model for straight alluvial channels”. *Nordic Hydrology 7: 293–306.*
- Eysink, W.D., (1989), “Sedimentation in Harbor Basins-Small Density Differences May Cause Serious Effect”.*Proc. 9th Int. Harbor Congress, Delft Hydraulics, Delft , The Netherlands.*

- Gadd , P.E., Lavell, J.W., Swift, J.D.P., (1978), “Estimate of Sand Transport on the New York Shelf Using Near-Bottom Current Meter Observations”, *Journal of Sedimentary Petrology* , 48(1), pp. 239-252.
- Garcia MH, Parker G, (1991). “Entrainment of bed sediment into suspension”. *Journal of Hydraulic Engineering* 111(4): 414–435.
- Jiang, j.X, Falconer, R.A., (1983), “On The Tidal Exchange Characteristics of Model Rectangular”, *Proc Institute of Civil Engineers, Part 2.* 2:475-489.
- Jiang, J.X, Falconer, R.A., (1985), “The Influence of Entrance Conditions and Longshore Currents On Tidal Flushing and Circulation in Model Rectangular Harbours” *Int.Conf.on Numerical and Hydraulic Modeling of Ports and Harbours. BHRA Fluid Engineering, Birmingham, Paper B4, p.65-74.*
- Krone, R.B., (1962), “Flume studies on the transport of sediment in Estuarine shoaling processes”. *Berkeley: Hydraulic Engineering Laboratory, University of California.*
- Kuijper ,C., Christiansen ,H., Cornelisse, J.M., Winterwerp, J.C., (2005), “Reducing Harbor Siltation .II: Case Study of Parkhafen in Hamburg” *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, November/December, pp. 267-276.*
- Liu, Z., (2001), “Sediment transport”, *Lecture Notes, Alborg University, Denmark.*
- Mehta, A.J., and E. Partheniades (1973), “Depositional Behavior of Cohesive Sediments,” *Tech report No. 16, Univ. of Florida, Gainesville, Florida.*
- Meyer-Peter E. and Muller R. (1948), “ Formula for bed load transport”, *Proceedings of International Association for Hydraulic Research, 2nd Meeting, Stockholm*
- Nece, R.E., Falconer, R.A., (1989), “Modelling of tide induced depth averaged velocity distributions in a square harbor”. *In: Proceedings of the International Conference on Hydraulic and Environmental Modelling of Coastal, Estuarine, and River Waters, Bradford, UK, 1989, pp. 56–66.*
- Nezu, I., and H. Nakagawa, (1993), “*T-turbulence in Open-Channel Flows*” *International Association for Hydraulic Research, Monograph Series, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.*
- Nicholson, J., and B.A. O'Connor (1986). “Cohesive Sediment Transport Model” *Journal Of Hydraulic Engineering, vol. 112, no. 7, pp. 621 -640.*
- Nikuradse, J. (1933), “Strömungsgesetze in Rauhen Röhren”. *Forschung Arb. Ing. Wesen No.361, Germany.*

- Partheniades, E. (1965). "Erosion and Deposition of Cohesive Soils," *Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the ASCE, vol. 91, no. HY 1, January, pp. 105-139*.
- PIANC, Design of breakwaters for yacht harbors, 1981.
- Richardson, Y.F, Zaki, W.N, (1954), "Sedimentation and fluidization", *Part I. Trans. Inst. Chem. Eng. , Vol 32, p.35-53*.
- Shields A., (1936), "Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik und Turbulenz forschung auf die Geschiebewegung, " *Mitteilung Preussischen Versuchanstalt Wasser, Erd, Schiffbau, Berlin, No.26 (in German)*.
- Soulsby ,R.(1997), "Dynamics of marine sands, a manual for practical application", *McGraw-Hill Book Company, New York*.
- Tanaka, N., (1987), "Beach Erosion at the Up-Drift Coast of a Breakwater Prolonged Obliquely From the Shore : Senadi Port". *Coast. Sediments ' 77, pp. 1026-1041*.
- Tanaka, N., Sato, S., (1976), "Topographic Change Resulting from Construction of a Harbor on Sandy Beach : Kashima Port", *Proc., 15th Conf. on Coast. Engrg., pp. 1824-1847*.
- Van Leussen, W. (1994). "Estuarine Macroflocs and Their Role in Fine-Grained Sediment Transport," *Ph.D. thesis, Utrecht University (NL)*.
- Van Maren, D.S., Winterwerp, J.C., Sas,M., Vanlede, J., (2009), "The Effect of Dock Length on Harbor Siltation", *Continental Shelf Research 29, pp. 1410-1425*.
- Van Rijn L. C, (1984), "Sediment pick up function", *Journal of hydraulic engineering, ASCE, Vol.110, No. 10*.
- Van Rijn L. C, (1984a), "Sediment transport partI: bed load transport", *Journal of hydraulic Engineering", ASCE, Vol.110, No. 10*.
- Van Rijn L. C, (1984b), "Sediment transport partII: suspended load transport", *Journal of hydraulic engineering, ASCE, Vol.110, No. 11*.
- Van Rijn L. C, (1984c), "Sediment transport partIII: Bed form and alluvial roughness," *Journal of hydraulic engineering, ASCE, Vol.110, No. 1*.
- Van Rijn, L.C., (1986), "Sedimentation of Dredged Channel by Currents and Waves," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 5*.

- Van Rijn, L.C, (1990). “Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas”, Aqua Publications, The Netherlands.
- Wen, C.Y and Yu, Y.H., (1966), “Mechanics of Fluidization” *Fluid Particle Technology, Chemical Engineering progress symposium Series* , 62(62), 100-11.
- Wang, R., (1987), “The Review and Prospect of Siltation Study on Tianjin Port”. *Proc., Coast. and Port Engrg in Developing Countries; Vol. 2, pp. 1478-14-90.*
- Winterwerp, J.C., (2005), “Reducing Harbor Siltation. I: Methodology”,. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, November/December, pp. 258-266.*
- Yüksek, Ö., (1992), “A Study on the Sedimentation Processes in Fishery Harbors and Developing Appropriate Design Criteria”, *Phd Thesis, Black Sea, Tech.Univ., Trabozn, Turkey(in Turkish).*
- Yüksek, Ö., (1995), “Effect of Breakwater Parameters on Shoaling of Fishery Harbors ”, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, January/February, pp. 13-22.*
- Yin, J., Falconer, R.A., Chen, Y., Probert, S.D., (2000), “Water and Sediment Movements in Harbours”, *Applied Energy* 67, pp. 341-352.
- Zhang R. J., (1989), “Sediment dynamics in rivers”, *Water resources press (in Chinese).*
- Zhangquan, M., and Xiankun,K., (1987), “The Application of Coastal Dynamic geomorphology to Harbour-Site Choosing –an Example of Qinhuangdao Oil Dock”. *Proc., Coast. and Port Engrg in Developing Countries; Vol. 1, pp. 809-818.*
- Zhu, J , Jia, Y. ,Wang. S.S.Y, (2006), “CCHE2D Cohesive Sediment Transport Model in Freshwater” *Proceeding seventh conference on hydroscience and engineering(ICHE). 10-13 sep, Philadelphia , USA.*

Abstract

Sedimentation is one of the most important factors threatening proper operation of ports. The complexity and number incoming parameters in marine structures and breakwaters under different environmental conditions and behavioral functions also administrative costs of these structures, their design sensitivity has increased. Sedimentation rate In addition to the features available in the ports and channels and the flow of sediments and wave prevailing in the region geometry And the location of the port and access channel as well. Ports appropriate geometric design, breakwater layout And access channel, can reduce the sedimentation in ports.

To evaluate the quality and quantity of Sedimentation in ports and channels of access The numerical models and physical models are used. Compared with physical models, numerical models are less expensive and easier to use it, As a result, their use is more common. The present study investigated the effect of geometry and shape of ports on the process of sedimentation in their plans, and as case has been studied Noshahr Port. By using numerical modeling software with Mike 21, 7 development plan, to reduce sedimentation in the port of Noshahr studied and compared.

The results two categories based on amount of sedimentation and administrative costs were scored and at the end, The results showed that the breakwater of the port development plan, which as create a 200-meter picket on it, As the best state of sedimentation and administrative expenditure, was chosen.

Keywords: Sedimentation, MIKE 21, Nowshahr port, Breakwater layout, Caspian Sea.



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

**The effect of ports geometry and morphology to
optimize sedimentation (Case study; Nowshahr port)**

Amir Mohammad Khakpour

Supervisor:

Dr. Mehdi Adjami

June 2016