

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی

ارائه روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم برای توسعه پایدار بنادر به منظور رفع مشکلات ناشی از رسوبگذاری؛ مطالعه موردی بندر انزلی

نگارنده:

محمد جواد کوهزاد

استاد راهنما:

دکتر مهدی عجمی

استاد مشاور:

مهندس میلاد شیرین زبان

شهریور ۱۳۹۷

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی عمران

گروه آب و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد جواد کوهزاد به شماره دانشجویی: ۹۳۱۴۵۴۴
تحت عنوان: ارائه یک روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم برای توسعه پایدار بنادر به منظور رفع مشکلات
ناشی از رسوبگذاری؛ مطالعه موردی بندر انزلی

در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۲۱ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه
..... مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
			مهدی عجمی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	مهدی توکلی		احمد احمدی
			امیر عباس عابدینی

تقدیم‌نامه

تقدیم به خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را ...

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم حامیان همیشگی من

و همسر عزیزم شریک زیباییهای زندگی‌م

و تنها برادرم که علاقه ام به او همتا ندارد

سپاس‌گزاری

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگاران بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه‌سار بنده‌نوازی‌هایش پایان‌نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان‌نامه به انجام نمی‌رسید.

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر عجمی که باکرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی‌های کارساز و سازنده بارور ساختند و در کمال سعه‌صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند، تقدیر و تشکر نمایم.

با تقدیر و درود فراوان از اساتید بزرگوار جناب آقای احمدی و جناب آقای عابدینی که زحمت داوری این پایان‌نامه را متقبل شدند؛

و با سپاس فراوان از سازمان بنادر و سواحل جمهوری اسلامی ایران که به این پژوهش در راستای دیتا‌های مورد نیاز، کاملاً حمایت کرده است.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تعهد نامه

اینجانب محمدجواد کوهزاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه ارائه یک رویکرد برای طراحی اکوسیستمی و توسعه بنادر پایدار؛ مطالعه موردی بندر انزلی

تحت راهنمایی دکتر مهدی عجمی متعهد می‌شوم.

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

امضای دانشجو

تاریخ ۱۳۹۷/۶/۱۵

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

جمعیت جهان در حال افزایش است. همگام با رشد جمعیت و گسترش تجارت جهانی نیاز به منابع اولیه و همچنین نیاز به حمل و نقل و جا به جایی این منابع بیشتر می شود. حمل و نقل بین المللی و صنعت بنادر مسئول جا به جایی حدود ۹۰٪ از کالاهای تجاری جهان می باشد. افزایش تقاضای نقل و انتقالات موجب افزایش تعداد و اندازه کشتی ها شده که این امر مستقیماً به افزایش نیاز به توسعه بنادر مربوط می شود. فرایند توسعه بنادر صرف نظر از اینکه چقدر خوب انجام شده باشد، صدمات محیط زیستی را در پی دارد. در سرتاسر جهان باید از روش های پایدار برای توسعه بنادر موجود استفاده شود. ترکیب این پیامدها منجر به شکل گیری زمینه این پژوهش شده است: توسعه پایدار بنادر.

روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم رویکرد جدیدی در توسعه بنادر است که شامل درک و شناخت ابتدایی سیستم در ابعاد بزرگتر است. این روش به صورت از بالا به پایین در ۳ سطح سیستم، ساختمان و مصالح بکار گرفته شده است. تمرکز این پژوهش برای استفاده از این روش در فاز ساختمان چرخه توسعه بندر با هدف یافتن روش های پایدار در سطح سیستم برای کاهش و رفع رسوبگذاری در بندر است.

روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم بر اساس فلسفه هایی مانند ساختمان با طبیعت است و از گزارشات پیانک در مورد بنادر پایدار ایده هایی اقتباس شده است. این روش شامل ۵ گام است: ۱- درک سیستم ۲- طرح گزینه ۳- مدل سازی گزینه ها ۴- ارزیابی گزینه ها ۵- طرح نهایی. همچنین از روش های کاهش رسوب گذاری در بنادر برای رسیدن به هدف این پژوهش استفاده شده است.

برای ارزیابی روش مورد مطالعه انتخاب شده است. بندر انزلی به عنوان مناسب ترین مورد برای بکارگیری این روش انتخاب شد. گام های یک تا پنج بر مورد مطالعه اعمال شد و این پژوهش سختی ها، چالش ها، فرصت ها، قوت ها و ضعف های مواجه شده در طول طرح را نشان می دهد. برای بهینه سازی مورد مطالعه و رسیدن به طرح پایدارتر دو گزینه برای رفع مشکل رسوبگذاری بندر ارائه و با مدل سازی توسط برنامه MIKE21 بررسی شد. دو روش نگه داشتن رسوب در حرکت و نگه داشتن رسوب در بیرون برای طرح گزینه ها استفاده شد. در طرح نگهداری رسوب در حرکت با هدف افزایش سرعت جریان در حوضچه بندر توسط جت از حجم رسوبات ته نشین شده کاسته شد و در طرح نگهداری رسوب در بیرون از طریق جداسازی مسیر رودخانه توسط کانال انحرافی، رسوبگذاری در حوضچه بندر متوقف شد.

طرح نهایی با بررسی ۲ طرح ارائه شده و مقایسه نهایی انتخاب شد. طرح جداسازی رودخانه از حوضچه بندر از طریق کانال انحرافی، یک روش پایدار و پاسخگو برای طرح بندر قلمداد شد و به عنوان طرح مبتنی بر اکوسیستم معرفی شد.

در ارزیابی، روش طرح نهایی با طرح سنتی مقایسه شد. بکارگیری این روش در بندر انزلی منجر به یک طرح پایدارتر شد. سرانجام در این تحقیق، بکارگیری روش به عنوان یک روش موثر برای رسیدن به طرح پایدارتر در فاز ساختمان توسعه بنادر موفقیت آمیز قلمداد شد. برای استفاده در آینده پتانسیل بالایی برای توسعه پایدار بنادر وجود دارد. توسعه بیشتر در فازهای مختلف، بر موارد مختلف، برای کاربری های متفاوت و کاربران مختلف می تواند به دست آید.

کلمات کلیدی: بندر پایدار، توسعه پایدار، بندر انزلی، اکوسیستم، رسوبگذاری.

فهرست

ز	فهرست اشکال	.....
ش	فهرست جداول	.....
۱	فصل اول: کلیات	.....
۲	۱-۱- مقدمه	.....
۲	۲-۱- صورت مسئله و نوآوری	.....
۵	۳-۱- اهداف پژوهش	.....
۸	۴-۱- روش پژوهش	.....
۱۱	۵-۱- ساختار گزارش	.....
۱۳	فصل دوم: تعاریف و روش ها	.....
۱۴	۱-۲- مقدمه	.....
۱۴	۲-۲- فلسفه ها	.....
۱۴	۱-۲-۲- بنادر پایدار	.....
۱۸	۲-۲-۲- ساختمان با طبیعت	.....
۲۰	۳-۲-۲- کار با طبیعت	.....
۲۱	۴-۲-۲- مهندسی با طبیعت	.....
۲۲	۵-۲-۲- ادغام فلسفه ها	.....
۲۴	۳-۲- روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم	.....
۲۶	۴-۲- روش های کاهش رسوب گذاری در بنادر	.....
۲۹	فصل سوم: مورد مطالعه و پیشینه تحقیق	.....
۳۰	۱-۳- مقدمه	.....
۳۰	۲-۳- چرخه توسعه بندر	.....
۳۰	۱-۲-۳- دسته های چرخه توسعه بندر	.....
۳۲	۲-۲-۳- جزئیات بیشتر در فاز ساختمان	.....
۳۳	۳-۳- معیار های انتخاب مورد مطالعه	.....
۳۴	۴-۳- تصمیم گیری برای انتخاب مورد مطالعه	.....
۳۴	۱-۴-۳- محدودیت ها	.....
۳۵	۲-۴-۳- مناسب ترین مورد مطالعه	.....
۳۵	۵-۳- معرفی بندر انزلی	.....
۳۷	۱-۵-۳- پیشینه بندر انزلی	.....
۴۱	فصل چهارم: مواد و روش ها	.....
۴۲	۱-۴- مقدمه	.....
۴۳	۲-۴- درک سیستم	.....
۴۳	۱-۲-۴- ویژگی های فیزیکی	.....
۵۵	۲-۲-۴- چالش های موجود بندر انزلی	.....

۵۶	.....	۳-۴ طرح گزینه های پیشنهادی
۵۹	.....	۴-۴ مدل سازی گزینه ها
۵۹	.....	۴-۴-۱ معرفی نرم افزار MIKE 21 و معادلات ریاضی حاکم
۶۶	.....	۴-۴-۲ مدل سازی بندر انزلی
۸۱	.....	۴-۴-۳ سناریو های مدل سازی
۸۵	.....	۴-۴-۴ نتایج مدل سازی بندر انزلی
۱۰۶	.....	۴-۴-۵ بررسی نتایج کمی بدست آمده از مدل سازی
۱۰۸	.....	۴-۵ نتایج بحث
۱۱۲	.....	۴-۶ طرح نهایی
۱۱۵	.....	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۱۶	.....	۵-۱ نتیجه گیری
۱۱۶	.....	۵-۱-۱ هدف پژوهش
۱۱۶	.....	۵-۱-۲ نتایج به دست آمده
۱۱۹	.....	۵-۲ پیشنهادات
۱۲۰	.....	مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: استراتژی ۳ وجهی برای رسیدن به پایداری (Schop,2014) ۵
- شکل ۱-۲: چرخه توسعه بندر (Ligteringen,2012) ۷
- شکل ۱-۳: ساختار روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم EBDA (E.Vrolijk,2015) ۱۰
- شکل ۲-۱: روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم ۲۵
- شکل ۳-۱: چرخه توسعه بندر (Ligteringen,۲۰۱۲) ۳۱
- شکل ۳-۲: چرخه توسعه بندر با جزئیات ۳۳
- شکل ۳-۳: طرح توسعه بندر انزلی ۳۶
- شکل ۳-۴: عکس های هوایی و ماهواره ای از بندر انزلی در سال های ۱۳۴۵ و ۱۳۸۰ (سازمان بنادر و دریانوردی) ۳۸
- شکل ۴-۱: طرح توسعه بندر انزلی (سازمان بنادر و دریانوردی استان گیلان) ۴۲
- شکل ۴-۲: موقعیت مکانی بندر انزلی (Google earth,2018) ۴۵
- شکل ۴-۳: بندر انزلی (Google earth, 2018) ۴۵
- شکل ۴-۴: نمودار بارش و دمای بندر انزلی (هواشناسی استان گیلان،۱۳۹۴) ۴۶
- شکل ۴-۵: گل باد منطقه انزلی در محدوده ساحل ۴۷
- شکل ۴-۶: نمایی از دریای خزر (NASA,2003) ۴۹
- شکل ۴-۷: گل موج منطقه بندر انزلی بر اساس داده های به دست آمده ۵۰
- شکل ۴-۸: اطلاعات مربوط به عمق سنجی در طرح توسعه بندر انزلی (سازمان بنادر و دریانوردی استان گیلان،۱۳۹۴) ۵۱
- شکل ۴-۹: اطلاعات مربوط به عمق سنجی بندر انزلی مدل کوچک مقیاس ۵۱
- شکل ۴-۱۰: اطلاعات مربوط به عمق سنجی دور از ساحل در مدل بزرگ مقیاس بندر انزلی ۵۲
- شکل ۴-۱۱: ریخت شناسی کف بستر آبی منطقه بندر انزلی در محدوده بندر و نزدیک ساحل ۵۳
- شکل ۴-۱۲: رودخانه های منتهی به حوضچه بندر انزلی (سازمان بنادر و دریانوردی استان گیلان،۱۳۸۷) ۵۴
- شکل ۴-۱۳: محل های پیشنهادی جت های هدایت کننده رسوب ۵۷
- شکل ۴-۱۴: کانال انحرافی پیشنهادی مسیر رودخانه ۵۸
- شکل ۴-۱۵: تصویر عمق سنجی منطقه تحت مطالعه ۶۶
- شکل ۴-۱۶: جانمایی بویه های ثبت باد و موج بندر انزلی ۶۷
- شکل ۴-۱۷: مرزبندی ایجاد شده برای انتخاب شبکه بهینه برای محل مورد مطالعه ۷۰
- شکل ۴-۱۸: شبکه بندی بهینه ی انتخاب شده برای منطقه تحت مطالعه ۷۱
- شکل ۴-۱۹: محل برداشت و مقایسه ارتفاع امواج ۷۲
- شکل ۴-۲۰: مقایسه ارتفاع موج برداشت شده و محاسبه شده بر اساس اندازه مش اول ۷۲
- شکل ۴-۲۱: مقایسه ارتفاع موج برداشت شده و محاسبه شده بر اساس اندازه مش دوم ۷۳
- شکل ۴-۲۲: مقایسه ارتفاع موج برداشت شده و محاسبه شده بر اساس اندازه مش سوم ۷۳
- شکل ۴-۲۳: مقایسه ارتفاع موج برداشت شده و محاسبه شده بر اساس اندازه مش چهارم ۷۳
- شکل ۴-۲۴: الگوریتم کلی مدل سازی، از نظر ترتیب اجرای ماژولهای مختلف ۷۴
- شکل ۴-۲۵: جانمایی بویه های اندازه گیری باد و امواج در منطقه بندر انزلی ۷۷
- شکل ۴-۲۶: مقایسه تراز آب برداشت شده و بدست آمده از مدل سازی برای منطقه بندر انزلی ۷۹
- شکل ۴-۲۷: مقایسه تراز سطح آب برداشت شده و محاسبه شده از مدل سازی در ناحیه بندر انزلی (Water Level Buoy = ۸۰
- تراز آب برداشت شده ، Water Level Simulated = تراز آب بدست آمده از مدل سازی)

۸۲	شکل ۴-۲۸: مدل سناریوی اول
۸۳	شکل ۴-۲۹: مدل سناریوی دوم
۸۴	شکل ۴-۳۰: مدل سناریوی سوم
۸۵	شکل ۴-۳۱: مدل سناریوی چهارم
۸۷	شکل ۴-۳۲: ارتفاع و جهت امواج در ناحیه انزلی برای مدل بزرگ مقیاس
۸۸	شکل ۴-۳۳: ارتفاع و جهت امواج در ناحیه انزلی برای مدل کوچک مقیاس
۸۹	شکل ۴-۳۴: سرعت و جهت جریان آب در ناحیه انزلی برای سناریوی اول
۹۰	شکل ۴-۳۵: سرعت و جهت جریان آب در ناحیه انزلی برای سناریوی اول
۹۱	شکل ۴-۳۶: سرعت و جهت جریان آب در ناحیه انزلی برای سناریوی دوم
۹۲	شکل ۴-۳۷: سرعت و جهت جریان آب در ناحیه انزلی برای سناریوی سوم
۹۳	شکل ۴-۳۸: سرعت و جهت جریان آب در ناحیه انزلی برای سناریوی چهارم
۹۴	شکل ۴-۳۹: تمرکز رسوبات معلق در ناحیه انزلی برای سناریوی اول
۹۵	شکل ۴-۴۰: تمرکز رسوبات معلق در ناحیه انزلی برای سناریوی دوم
۹۶	شکل ۴-۴۱: تمرکز رسوبات معلق در ناحیه انزلی برای سناریوی سوم
۹۷	شکل ۴-۴۲: تمرکز رسوبات معلق در ناحیه انزلی برای سناریوی چهارم
۹۸	شکل ۴-۴۳: سرعت نشست ذرات در ناحیه انزلی برای سناریوی اول
۹۹	شکل ۴-۴۴: سرعت نشست ذرات در ناحیه انزلی برای سناریوی دوم
۱۰۰	شکل ۴-۴۵: سرعت نشست ذرات در ناحیه انزلی برای سناریوی سوم
۱۰۱	شکل ۴-۴۶: سرعت نشست ذرات در ناحیه انزلی برای سناریوی چهارم
۱۰۲	شکل ۴-۴۷: مجموع خالص رسوبات نشسته در ناحیه انزلی برای سناریوی اول
۱۰۳	شکل ۴-۴۸: مجموع خالص رسوبات نشسته در ناحیه انزلی برای سناریوی دوم
۱۰۴	شکل ۴-۴۹: مجموع خالص رسوبات نشسته در ناحیه انزلی برای سناریوی سوم
۱۰۵	شکل ۴-۵۰: مجموع خالص رسوبات نشسته در ناحیه انزلی برای سناریوی چهارم
۱۰۶	شکل ۴-۵۱: موقعیت نقاط مشخص شده برای مقایسه مدلها در نقشه
۱۰۹	شکل ۴-۵۲: نمودار مقایسه سرعت متوسط جریان در سناریوهای مختلف
۱۱۰	شکل ۴-۵۳: نمودار مقایسه متوسط رسوبات معلق در سناریوهای مختلف
۱۱۱	شکل ۴-۵۴: نمودار مقایسه سرعت متوسط نشست رسوبات در سناریوهای مختلف
۱۱۱	شکل ۴-۵۵: نمودار مقایسه مجموع رسوبات ته نشین شده در سناریوهای مختلف
۱۱۳	شکل ۴-۵۶: طرح پایدار برای بندر انزلی
۱۱۸	شکل ۵-۱: مقایسه طرح نهایی با طرح سازمان بنادر
۱۱۸	شکل ۵-۲: طرح نهایی برای بندر انزلی

فهرست جداول

- جدول ۲-۱: ده اولویت محیط زیستی بنادر اروپایی طی سال های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۹ (ESPO Green Guide, ۲۰۱۲) ۱۶
- جدول ۴-۱: دبی و حجم متوسط رسوبات انتقالی از رودخانه ها به بندرانزلی (سازمان بنادر و دریانوردی استان گیلان) ۵۴
- جدول ۴-۲: ارتفاع موج حاصل شده بر اساس شبکه بندی های مختلف ۷۰
- جدول ۴-۳: ضرایب کالیبراسیون مدل نهایی موج ۷۶
- جدول ۴-۴: ضرایب کالیبراسیون مدل نهایی جریان ۷۶
- جدول ۴-۵: پارامترهای آماری و درصد خطا حاصل از مدلسازی ۷۸
- جدول ۴-۶: مختصات و مشخصات جت های جانمایی شده در بندر ۸۴
- جدول ۴-۷: مختصات نقاط مشخص شده برای مقایسه مدل ها ۱۰۶
- جدول ۴-۸: مقایسه سرعت متوسط جریان در نقاط مشخص شده با سناریوهای مختلف ۱۰۷
- جدول ۴-۹: مقایسه SSC در نقاط مشخص شده با سناریوهای مختلف ۱۰۷
- جدول ۴-۱۰: مقایسه سرعت متوسط نشست رسوبات در نقاط مشخص شده با سناریوهای مختلف ۱۰۷
- جدول ۴-۱۱: مقایسه مجموع خالص رسوبات نشسته رسوبات در نقاط مشخص شده با سناریوهای مختلف ۱۰۸

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه

در این بخش روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم^۱ معرفی می شود. در ابتدا ضرورت انجام این پژوهش بر مورد مطالعه شرح داده شده و سپس اهداف پژوهش تعیین می شود. روش دست یابی به اهداف در روش شناسی توضیح داده شده و در نهایت ساختار گزارش ارائه می شود.

۱-۲- صورت مسئله و نوآوری

جمعیت جهان در حال افزایش است. مطابق پیش بینی های سازمان ملل، جمعیت جهان ۸/۱ میلیارد نفر تا سال ۲۰۲۵ و همچنین به ۱۰ میلیارد نفر تا سال ۲۱۰۰ می رسد (سازمان ملل، دایره اقتصادی و بخش جمعیت و روابط اجتماعی^۲ ۲۰۱۳). همگام با رشد جمعیت و گسترش تجارت جهانی نیاز به منابع اولیه و همچنین نیاز به حمل و نقل و جا به جایی این منابع بیشتر می شود. حمل و نقل بین المللی و صنعت بنادر مسئول جا به جایی حدود ۹۰٪ از کالاهای تجاری جهان می باشد. حمل و نقل کانتینری بخش عمده ای از حمل و نقل دریایی را به عهده دارد. (UNCTAD^۳، ۲۰۰۹). ظرفیت بنادر کانتینری جهان در سال ۲۰۱۱ با ۵/۹٪ افزایش به ۵۷۲/۸ میلیون واحد بیست فوتی^۴ TEU افزایش یافته است. (UNCTAD، ۲۰۱۲).

افزایش تقاضای نقل و انتقالات موجب افزایش تعداد و اندازه کشتی ها شده که این امر مستقیماً به افزایش نیاز به توسعه بنادر مربوط می شود. تغییرات آب و هوایی بخش های مختلف زیر ساخت های بندر مانند کانال ورودی، موج شکن، محل پهلو گیری کشتی، کانال های داخلی، دیواره های اسکله، بویه ها، محوطه بار چینی، انبار ها، سیلوها و تجهیزات بندری را تحت تاثیر قرار خواهد داد.

¹ Ecosystem Based Design Approach

² United nations, Department of Economic & Social Affairs Population Division

³ **United Nations Conference on Trade and Development**

⁴ Twenty Foot Equivalent Unit

کشتی‌های با اندازه و ظرفیت بزرگتر بر ساختار پهلوگیری و فعالیت‌های عملیاتی بندری تاثیر می‌گذارند. افزایش تعداد کشتی‌ها به معنی افزایش آلودگی آب و هوا و دیگر تهدیدها برای محیط زیست می‌باشد. از این رو بنادر نیازمند بهبود ساختار پهلوگیری و افزایش ظرفیت تجهیزات جابجایی و کارآمدتر کردن عملیات بندری می‌باشند (یگانه محلاتی، ۱۳۹۲). نیاز به توسعه بنادر در حال حاضر، مستلزم سرمایه‌گذاری‌های ضروری در بنادر می‌باشد. همراه نشدن با این توسعه منجر به از دست دادن جایگاه تجارتي و رقابتي می‌شود. از این پس پیشرفت جهانی در توسعه بنادر نخواهد ایستاد (۲۰۱۱، PIANC^۵).

ایران کشوری در حال توسعه است. اقتصاد بین‌المللی و ملی در حال رشد است و در نتیجه حمل و نقل تجاری در حال افزایش است. بندر انزلی، به عنوان بزرگ‌ترین و فعال‌ترین بندر حاشیه جنوبی دریای خزر و سومین بندر مهم کشور بعد از بندر امام خمینی و شهید رجایی، برای تامین نیازها و بهبودی پیشرفت کشور در حال توسعه و گسترش است (سازمان بنادر و دریانوردی استان گیلان، ۱۳۹۶).

پس از پایان یافتن ساختمان موج شکن‌ها در طرح توسعه بندر انزلی، انتظارات بندر در مورد ایجاد آرامش درون حوضچه بندر برآورده شد اما مشکلات شدید نشست رسوبی در بندر به دلیل آرامش حوضچه پدید آمده است. در واقع شرایط جدید بندر مانند تله رسوب گیر عمل می‌کند و باعث ته نشینی رسوبات رودخانه‌ای درون حوضچه بندر می‌شود که موجبات لایروبی‌های متعدد و مدون در بندر را ایجاد می‌کند (مریان و حکیم زاده، ۱۳۹۴). مشکل لایروبی در بندر باعث ایجاد اختلال در فعالیت‌های بندری، ایجاد آلودگی‌های صوتی، کاهش کیفیت آب حوضچه، انتقال رسوبات آلوده به مکان دیگر و صدمه به زیست بوم‌های متنوع در اکوسیستم منطقه می‌شود (یگانه محلاتی، ۱۳۹۲).

⁵ The World Association for Waterborne Transport Infrastructure

فرایند توسعه بنادر صرف نظر از اینکه چقدر خوب انجام شده باشد، صدمات محیط زیستی را در پی دارد. افزایش آگاهی عمومی از روش های محیط زیستی با افزایش اعتراض و مقاومت اجتماع همراه خواهد بود. همچنین قانون گذاری ها در حوضه توسعه بنادر به طور فزاینده بر اساس مقررات سخت محیط زیستی می باشند. در سرتاسر جهان از روش های پایدار⁶ برای توسعه بنادر موجود استفاده می شود (Vellinga et al., 2014).

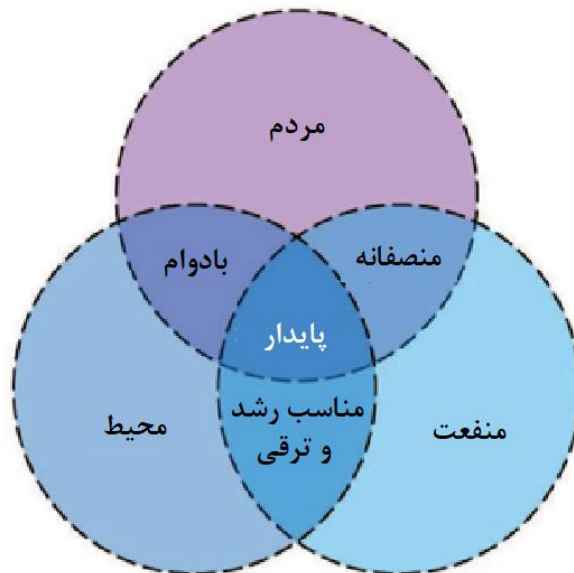
برای موثر واقع شدن طرح توسعه، صنعت بنادر نیازمند استفاده از یک استراتژی بلند مدت است. روش جدیدی در طراحی و توسعه بنادر نیاز است که از یک دیدگاه کاملاً متفاوتی آغاز شود. در روش طراحی بندر مبتنی بر اکوسیستم (EBDA)، نقطه آغاز جدید برای توسعه بندر، درک و شناخت ابتدایی سیستم در ابعاد بزرگتر است (E. Vrolijk, 2015). این کار اجازه درک بهتر از حساسیت منطقه ای را می دهد که طرح توسعه بندر در آنجا اجرا خواهد شد. این روش به صورت از بالا به پایین⁷ بکار گرفته می شود که شامل سه سطح: سیستم، ساختمان و مصالح است (Vellinga et al., 2014). فلسفه های گوناگونی برای تکامل این روش جدید در مهندسی بندر وجود دارد. بکارگیری این روش در طرح توسعه بندر، نیازمند دانش کافی از علم طراحی بندر، فلسفه های طراحی موجود و مفهوم بنادر پایدار است. در این پژوهش برای بهبود شرایط بهره برداری بندر، رفع مشکل رسوبگذاری و رسیدن به نتیجه پایدارتر، طرح توسعه پایدار برای بندر انزلی به روش مبتنی بر اکوسیستم ارائه شده است.

⁶ Sustainable

⁷ Top-Down

۱-۳-اهداف پژوهش

هدف این پژوهش استفاده از روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم برای رفع مشکل رسوبگذاری و ایجاد یک **بندر پایدار** است. برای ایجاد یک بندر پایدار، نیاز به یک تعریف برای پایداری به وجود می آید. مطابق گفته vellinga و همکاران [۲۰۱۴] یک دیدگاه بلند مدت لازم است و جنبه های متعددی باید در نظر گرفته شود: جنبه های بوم شناختی، اقتصادی و اجتماعی (vellinga و همکاران ، ۲۰۱۴). این روش به نام استراتژی ۳ وجهی^۸ (در این پژوهش ۳-م) مشهور است: محیط زیست، منفعت و مردم. ارتباط این ۳ مورد با ایجاد پایداری در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: استراتژی ۳ وجهی برای رسیدن به پایداری (Schop,2014)

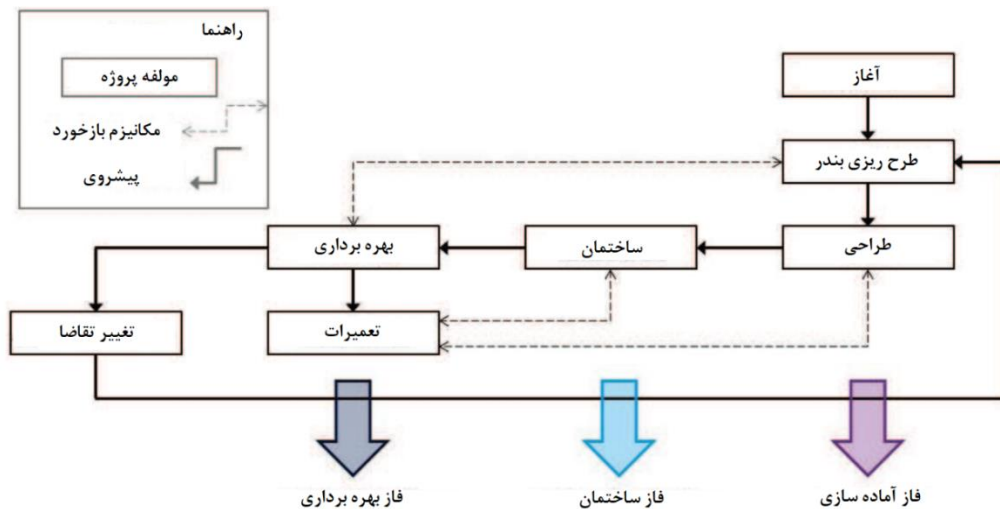
شکل ۱-۱، پایداری را وجه مشترک بین مردم (اجتماع)، محیط زیست (اکولوژی) و منفعت (اقتصاد) نشان داده است. از تحلیل شکل می توان پی برد که روش طراحی باید مناسب رشد و ترقی باشد؛ با

⁸ Triple Bottom Line Strategy

در نظر گرفتن اقتصاد و محیط زیست - منصفانه باشد؛ برای مردم معقول باشد تا سرمایه گذاری و کسب منفعت کنند - با دوام باشد؛ برای مردم در محیط پیرامونشان قابل زندگی کردن باشد .

در استراتژی ۳ وجهی کاملاً مشخص است که همه چیز به مردم مربوط می شود. مردم تصمیم گیرندگان اصلی هستند و بسیار مهم است که با در نظر گرفتن اولویت های مردم - محیط - منفعت به خواسته ها و نیازهای مردم منطقه پاسخ داده شود.

تمرکز این پژوهش بر بکارگیری یک روش پایدارتر در یک فاز بخصوص از فرایند توسعه بندر و مقایسه آن با طرح اصلی است. بندر انزلی در فاز عملیاتی و بهره برداری است. پیش تر E. Vrolijk در سال ۲۰۱۵ برای اولین بار از روش EBDA برای ایجاد طرح توسعه پایدار بندر تما در کشور غنا استفاده کرد. بندر تما در فاز آماده سازی چرخه توسعه بندر قرار داشته است. در این پژوهش طرح توسعه موجود بندر ارزیابی و با روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم بهبود می یابد و سپس طرح توسعه بهبود یافته برای بندر طرح ریزی، مدلسازی و ارزیابی می شود. بندر انزلی به دلیل موقعیت جغرافیایی نزدیک به تالاب ارزشمند انزلی و ارتباط با تالاب از طریق رودخانه ها عموماً تاثیر بسیار زیادی بر اکوسیستم منطقه و محیط اطرافش دارد. وقتی جنبه های مختلف اکولوژی و اجتماعی و اقتصادی به صورت یکپارچه در طرح بندر در نظر گرفته شوند، فرصت ها برای بهینه سازی طرح توسعه شناسایی خواهند شد. نحوه ارتباط فاز های مختلف چرخه توسعه بندر در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲: چرخه توسعه بندر (Ligteringen, 2012)

همانطور که در شکل ۱-۲ مشخص است، توسعه بندر یک فرآیند چرخه ای است و تغییر در وضعیت کاربری، تقاضا یا بهره برداری ممکن است موجب تغییر در برنامه ریزی و در نتیجه در طراحی بندر شود.

همانطور که گفته شد این تحقیق بر روی بندر انزلی که در حال توسعه است انجام گرفته است. از آنجایی که دامنه ایده های پایداری و روش های پایدار موضوعات زیادی را در بر می گیرد، در این پژوهش به بررسی روند رسوبگذاری در بندر انزلی پرداخته شده است. ابتدا شرایط حال حاضر ارزیابی شده و سپس برای کاهش رسوبگذاری بندر به روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم طرح بندر بهینه سازی می شود. در حال حاضر بندر در فاز ساختمان قرار دارد، و از این روش بر فاز سیستم استفاده شده است. این روش بر تمام فازهای مختلف فرآیند توسعه بندر قابل اعمال است.

تمرکز این پژوهش گسترش ایده پایداری و روش های پایدار در توسعه بندر و بکارگیری آن برای بندر مورد نظر است. هدف اصلی در این پژوهش به صورت زیر کوتاه شده است:

«ارائه یک روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم برای توسعه پایدار بنادر بمنظور رفع مشکل رسوبگذاری و بکارگیری این روش در مورد مطالعه مشخص برای آزمایش و ارزیابی مزیت های آن.

برای رسیدن به این هدف مطالعات فنی سازمان یافته انجام شده و گام هایی برای رسیدن به این هدف مشخص شده است:

۱. تحقیق و بررسی جدید ترین روش های کاهش رسوبگذاری و فلسفه های موجود توسعه پایدار بنادر .
۲. معرفی اصول روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم .
۳. بکارگیری روش بر مورد مطالعه .
۴. ارزیابی نتایج بدست آمده از بکارگیری روش جدید بر مورد مطالعه و مقایسه آن با طرح سنتی .
۵. ارائه پیشنهادات برای مطالعات آینده بر مورد مطالعه .

نحوه اعمال این روش بر مورد مطالعه در بخش بعدی شرح داده شده است.

۱-۴- روش پژوهش

روش پژوهش در این بخش شرح داده می شود. از گام های روش EBDA که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است به عنوان اساس این پژوهش استفاده شده است. همچنین از روش های کاهش رسوبگذاری در بنادر برای رسیدن به هدف خاص این پژوهش استفاده شده است.

بخش اول این روش شامل نتایج تحقیقات و مرور ادبیات فنی است که از گام هایی که در بالا گفته شد به عنوان معیار های راهبردی این پژوهش استفاده شده است. در این بخش اصول روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم و روش های کاهش رسوبگذاری در بنادر معرفی شده اند.

سپس در بخش بعد، یک پروژه توسعه بندر بخصوص (در این پژوهش بندر انزلی) برای بکارگیری روش انتخاب می شود. در ابتدا برای به دست آوردن درک و شناخت کامل سیستم مورد مطالعه قرار می گیرد و گزینه های احتمالی پیشنهاد، ارزیابی و بهسازی می شوند. برای ارزیابی کیفی و کمی روش های بکار گرفته شده، گزینه ها، مدلسازی می شوند و طرح نهایی معرفی می شود. در نهایت برای بدست آوردن آگاهی از مزایا و معایب طرح این روش با روش سنتی مقایسه می شود .

بخش آخر با ارزیابی نتایج بدست آمده آغاز می شود. هدف ارزیابی بدست آوردن آگاهی از قابلیت بکارگیری روش بر مورد مطالعه است . نتایج بدست آمده از این پژوهش مربوط به مورد مطالعه ارائه شده و در نهایت این گزارش با ارائه پیشنهاداتی برای مورد مطالعه به پایان می رسد.

تشریح روش

- فلسفه ها
- بنادر پایدار
- فرآیند توسعه بنادر
- طرح مبتنی بر اکوسیستم
- روش های کاهش رسوبگذاری

مورد مطالعه

- انتخاب مورد مطالعه
- درک سیستم
- طرح گزینه ها
- مدلسازی گزینه ها
- نتایج بحث

ارزیابی

- ارزیابی نتایج
- پیشنهادات

شکل ۱-۳: ساختار روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم EBDA (E.Vrolijk,2015)

۱-۵- ساختار گزارش

در این بخش موضوع پژوهش معرفی شد. ضرورت پژوهش با شرح مسئله توسعه پایدار بنادر و وضعیت کنونی بندر مورد مطالعه بطور مختصر تشریح شد و انگیزه تحقیق نشان داده شد. دیدگاه و اهداف پژوهش معین شد و برای راهنمایی خوانندگان این گزارش، روش پژوهش تعریف شد. ساختار گزارش گنجانده شده در این پژوهش به طور خلاصه در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.

در بخش ۲ فلسفه ها و تعاریف مربوط به شکل گیری روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم توضیح داده شده است. در انتهای این فلسفه ها، بنادر پایدار معرفی شده اند. شاخص های کلیدی روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم و روش های کاهش رسوبگذاری در بنادر معرفی می شوند.

بخش ۳، فرآیند گزینش بندر مورد مطالعه مناسب برای این پژوهش را نشان می دهد. چرخه ی توسعه بندر و فاز مورد نظر با جزئیات دقیق تر تشریح می شود. در نهایت بندر مورد مطالعه، فازی که مورد مطالعه در آن قرار دارد و وضعیت فعلی بندر، معرفی و تشریح می شود.

سپس در بخش ۴ روش بر مورد مطالعه بکار گرفته می شود. نخست کل سیستم مورد مطالعه قرار می گیرد و مشخصه های فیزیکی آن معرفی می شود. از این نقطه، گزینه های احتمالی با روش های پایدار پیشنهاد می شود. با تمرکز بیشتر بر تغییرات در روند رسوب گذاری، برای شبیه سازی روش ها و کسب آگاهی از پیامد های این روش ها از مدلسازی استفاده می شود. نتایج برای ارزیابی و مقایسه طرح نهایی با طرح اصلی استفاده می شوند.

در بخش ۵ یک بازنگری به هدف این پژوهش انجام می شود. نتایج منحصر به مورد مطالعه دوباره ارائه می شود و در نهایت بخش با ارائه پیشنهادات در مورد تمام این پژوهش به پایان می رسد.

فصل دوم: تعاریف و روش ها

۲-۱-۱-۲-مقدمه

این بخش اساس روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم را بیان می کند. فلسفه هایی که برای شکل گیری این روش به کار گرفته شده اند، توصیف می شوند و عناصر کلیدی این روش استخراج می شود. همچنین روش های کاهش رسوبگذاری در بنادر در این بخش تشریح می شوند.

۲-۲-۲-فلسفه ها

روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم بر اساس جدیدترین فلسفه ها و روش های پایدار شکل گرفته است. ۳ فلسفه ساختمان با طبیعت^۹، کار با طبیعت^{۱۰} و مهندسی با طبیعت^{۱۱} یک دیدگاه و هدف مشخص دارند. در حقیقت هر سه مورد یک روش یکپارچه شده را توسعه می دهند. در این بخش فلسفه ها با جزئیات شرح داده می شوند تا موضوع اصلی مرتبط با این پژوهش استخراج شود. در درجه اول مفهوم توسعه پایدار و بندر پایدار شرح داده می شود.

۲-۲-۱-۲-بنادر پایدار

هدف از طراحی و توسعه بندر مبتنی بر اکوسیستم، ایجاد یک بندر پایدار است. بنابراین، لازم است مفهوم بندر پایدار و توسعه پایدار تعریف شود. E. Vrolijk در سال ۲۰۱۵ در گزارشی (طراحی بندر مبتنی بر اکوسیستم) تعریف بندر پایدار را بصورت زیر ارائه کرد:

"یک بندر پایدار بین جوانب اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی تعادل و هماهنگی برقرار می کند. یعنی بندر با توجه به اکوسیستم منطقه ای که در آنجا قرار گرفته و در بلند مدت با عملیات با طبیعت باعث کسب منفعت اجتماعی و رونق منطقه می شود (Vrolijk, 2015)".

⁹ Building With Nature

¹⁰ Working With Nature

¹¹ Engineering With Nature

بندر رتردام^{۱۲} از پیشگامان طرح توسعه پایدار برای حفظ آینده ایمن، پایداری را این گونه تعریف می کند: "سرمایه گذاری های امروز نباید در کاهش کیفیت زندگی نسل های آینده هزینه شود". به طور کلی مبنای توسعه پایدار براساس توازن بین ملاحظات اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی است. در متون فنی مختلف پایداری و راه های اعمال آن به طور گسترده تعریف شده اند. در این بخش چند منبع معرفی می شوند که تعریفی از بنادر پایدار را بیان می کنند و ویژگی های یک بندر پایدار را با جزئیات شرح می دهند.

۲-۱-۱- سازمان بنادر دریایی اروپا^{۱۳}

ESPO (سازمان بنادر دریایی اروپا، ۲۰۱۲) تعریفی برای پایداری از گزارش برانتلند^{۱۴} ۱۹۸۶ اتخاذ کرده است؛

توسعه پایدار، توسعه ای است که در مواجهه با نیاز حال حاضر، توانمندی نسل های بعد را در مواجهه با نیازشان به مخاطره نمی اندازد. مبنای توسعه پایدار توازن میان ملاحظات اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی است.

- دیدگاه اقتصادی : شامل بازگشت سرمایه، استفاده سودمند از محوطه های بندری و تامین تجهیزات برای شرکت ها است تا به حداکثر ظرفیت بهره وری برسند .
- دیدگاه محیط زیستی : مربوط به عملکرد و مدیریت محیط زیستی است که برای هر بندر متمایز در مکان بخصوص خودش است.

¹² Rotterdam Port

¹³ European Sea Port Organization

¹⁴ Brundtland Report

- دیدگاه اجتماعی : شامل عواملی نظیر بهبود اشتغال (غیر) مستقیم، رابطه بندر با محیط های معطوف (شهر) و تحت پوشش آن .

تمرکز گزارش "راهنمای سبز ESPO"¹⁵ (سازمان بنادر دریایی اروپا، ۲۰۱۲) برای توسعه بنادر پایدار بطور کلی بر اساس در نظر گرفتن جوانبی مانند کیفیت هوا، بقای انرژی، تغییرات اقلیمی، صدا، زباله و کیفیت آب می باشد. این سازمان راهنمایی ها و پیشنهاداتی را برای صنعت بنادر با هدف کاهش اثرات منفی بر محیط زیست و اجتماع ارائه نموده است. از دیدگاه های ESPO به عنوان معیارهای راهنما در طرح این پژوهش استفاده شده است . سازمان بنادر دریایی اروپا با بررسی مسائل محیط زیستی در بین ۱۲۲ بندر اروپایی طی سالهای ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۹ پرداخت و ۱۰ اولویت محیط زیستی بندر اروپایی طی این سالها را مشخص نمود. جدول ۲-۱ ده اولویت محیط زیستی بندر اروپایی طی سالهای ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۹ را نشان می دهد.

جدول ۲-۱: ده اولویت محیط زیستی بندر اروپایی طی سال های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۹ (ESPO Green Guide, 2012)

	1996	2004	2009
1	توسعه بندر (آب)	زباله های بندری	آلودگی صوتی
2	کیفیت آب	عملیات لایروبی	کیفیت هوا
3	تخلیه مواد لایروب شده	تخلیه مواد لایروب شده	زباله های بندری
4	عملیات لایروبی	گرد و خاک	عملیات لایروبی
5	گرد و خاک	آلودگی صوتی	تخلیه مواد لایروب شده
6	توسعه بندر(زمین)	کیفیت هوا	ارتباط با جامعه محلی
7	اراضی آلوده شده	تخلیه و بارگیری کالاهای خطرناک	مصرف انرژی
8	نابودی زیست بوم های طبیعی	سوخت رسانی	گرد و خاک
9	حجم ترافیک کالا	توسعه بندر(زمین)	توسعه بندر (آب)
10	اثرات صنعتی شدن	تخلیه آب توازن	توسعه بندر(زمین)

¹⁵ ESPO Green Guide

پیانک انجمن جهانی زیر ساخت های حمل و نقل دریایی است. مجمعی که در آن متخصصین شرکت دارند تا ماهرانه ترین مشاوره را نقل کنند. به عنوان یک موسسه غیر دولتی و بی نفع، متخصصین را گرد هم می آورد تا مشکلات محیط زیستی، اقتصادی و حتی (تخصصی، صنعتی) را که مربوط به زیر ساخت های حمل و نقل دریایی است، مورد بررسی قرار دهند. اعضای این مجمع شامل دولت ها، مدیران عمومی، شرکت ها و اشخاص علاقه مند می باشد (Pianc ۱۸۸۵). در مارس ۲۰۱۴ گروه عملیاتی ۱۵۰ پیانک گزارشی با عنوان "بنادر پایدار: راهنمایی برای مدیران بنادر"^{۱۷} منتشر کردند. این گروه عملیاتی تعریف بندر پایدار را به صورت زیر ارائه کردند :

"یک بندر پایدار، بندری است که در آن مدیر بندر به همراه کاربران به طور پیش رونده و مسئولانه، بر اساس استراتژی توسعه سبز اقتصادی^{۱۸}، با فلسفه عملیات با طبیعت و با مشارکت سهامداران، توسعه و اداره بندر را در دست دارند که با یک دیدگاه بلند مدت بر منطقه ای که در آن قرار دارد و امتیاز جایگاهی که در زنجیره لجستیک دارد آغاز می شود، بنابراین تضمین توسعه ای که نیاز های نسل آینده را پیش بینی می کند، به سود آنها و رونق منطقه ای که در آن به کار گرفته شده، خواهد بود." (ولینگا و همکاران ۲۰۱۴).

ایده طراحی با دیدگاه بلند مدت در بسیاری موارد توسعه بندر پایدار تکرار می شود. دیدگاه بلند مدت می تواند نه تنها به جای یک ابزار، بلکه به عنوان یک عامل محرک برای روش های جدید بکار گرفته شود. تعیین بخصوص واژه "بلند مدت" در هر موقعیتی متفاوت است ولی برای هر پروژه باید مشخص شود. با استفاده از دیدگاه بلند مدت در یک پروژه، روش هایی که به طور مثال با تغییرات

¹⁶ Pianc

¹⁷ Sustainable Ports: A Guide For Port Authorities

¹⁸ Economic Green Growth Strategy

اقلیمی مرتبط هستند می تواند در نظر گرفته شود که این امر در دیدگاه کوتاه مدت امکان پذیر نیست.

۲-۱-۳-۲- استخراج عناصر مهم

از تعاریف یاد شده عناصر زیر به عنوان تعریف بندر پایدار برای این پروژه اقتباس شده است.

- دیدگاه های مختلف ESPO: اقتصادی، اجتماعی، محیط زیستی
- در نظر گرفتن آینده همانطور که در ESPO و Pianc آورده شده : دیدگاه بلند مدت

با استفاده از این عناصر یک تعریف برای **بندر پایدار** ایجاد شده است :

"بندر پایدار، بندری است که علاوه بر در نظر گرفتن توسعه در حوضه اقتصادی بندر، در توسعه محیط زیست و اجتماع منطقه پیرامونش نقش موثری دارد. در حقیقت بندر با استفاده از دیدگاه بلند مدت باعث رونق اقتصادی، افزایش کیفیت زندگی اجتماعی و پایداری اکوسیستم منطقه می شود."

از این تعریف در اقتباس عناصر مناسب از فلسفه های مختلف در بخش های پیش رو استفاده شده است.

۲-۲-۲- ساختمان با طبیعت

BWN یا ساختمان با طبیعت یک برنامه ابداع شده در هلند است که توسط Ecoshape ارائه شده است. Ecoshape در سال ۲۰۰۸ تاسیس شده و یک مجمع شامل شرکای خصوصی، آژانس های دولتی، دانشگاه ها و موسسات علمی است که در زمینه ای که طبیعت، مهندسی و جامعه یک نقش را ایفا می کنند، فعالیت می کند. عقیده بر این است که با کمک مهندسان، اکولوژیست ها و جامعه شناسان برای تغییر فلسفه ساختمان در طبیعت در جهت رسیدن به فلسفه ساختمان با طبیعت به دنبال راه حل های مهندسی هیدرولیکی پایدار باشند. [de Vriend and van

[2012، Koningsveld

برنامه BWN یک رویکرد یاد گیری حین عمل است که قابل بکارگیری در پروژه های مختلف در پنج منطقه متمایز می باشد؛ سواحل ماسه ای، خور ها، سواحل حاره ای، دریا های تپه ای کم عمق و رودخانه های دلتایی.

در BWN بین فاز های مختلف پروژه تمایز ایجاد شده است به طوریکه هر فاز این پروژه هدف مختص خود را دارد. برنامه BWN از تقسیم بندی زیر در فاز های مختلف یک پروژه استفاده می کند.

[Ecoshape, 2012]

- آغاز
- طرح و برنامه ریزی
- ساختمان
- بهره برداری و نگهداری

در فاز های مختلف، فرصت های مختلف ایجاد می شود و احتمالات برای شرایط مختلف بررسی می شود [Ecoshape, 2012].

فلسفه BWN ، راهکارهایی در پنج مرحله معمول طراحی در یک فرایند چرخه ای معرفی کرده است که برای ایجاد یک طرح BWN می تواند مورد استفاده قرار گیرد:

- گام اول: درک سیستم.
- گام دوم: تعیین گزینه هایی که سرویس های اکوسیستمی را استفاده و یا تامین می کنند .
- گام سوم: ارزیابی کیفیت گزینه ها و انتخاب اولیه یک راه حل صحیح .
- گام چهارم: بهینه سازی راه حل انتخاب شده، لحاظ کردن محدودیت های عملی و

قانونی

• گام پنجم: آماده سازی راه حل برای به کارگیری در فاز بعدی پروژه

این گام ها همانطور که توضیح داده شد در هر فاز از پروژه قابل بکارگیری است و لذا به عنوان یک فرایند چرخه ای عمل می کند [devriend and van kolngsveld 2012].

۲-۲-۳- کار با طبیعت

کار با طبیعت (WWN) فلسفه ای است که اولین بار در سال ۲۰۰۸ توسط پیانک در یک نشریه ارائه شد و اخیرا در سال ۲۰۱۱ باز نویسی شده است. کار با طبیعت یک فرایند یکپارچه است که شامل شناسایی و بکارگیری راه حل های برد-برد است که طبیعت را مورد لحاظ قرار داده تا برای هر دو طرف مطرح کنندگان پروژه و ذینفعان محیط زیست قابل قبول باشد. عقیده بر این است که این روش در آغاز پروژه انجام شود، وقتی که انعطاف پذیری در طراحی وجود دارد تا به طور پیش رونده فرصت ها بیشتر شوند و شکست ها، تاخیرات و هزینه های اضافی کاهش یابند. فلسفه WWN فرایند انجام پروژه را به صورت زیر بیان می کند:

• تثبیت اهداف و نیاز های پروژه

• درک درست از محیط زیست

• استفاده از مشارکت ذینفعان برای شناسایی راه حل های ممکن برد - برد .

• آماده سازی طرح ها و پیشنهادات پروژه اولیه به نفع ناوبری و محیط زیست .

WWN اهداف پروژه را بر خلاف طرح سنتی در مراحل اول از لحاظ محیط زیستی در نظر می گیرد [Pianc, 2008]. گزارش نشریه پیانک به طور ویژه ای بر بخش سیستم تمرکز دارد. لازم به ذکر است که فلسفه WWN می تواند و باید در توسعه برنامه ها و طرح های استراتژیک مورد استفاده قرار گیرد. چند مولفه فلسفه WWN قابل استفاده است. مولفه هایی مانند درک درست از محیط زیست و هدف قرار دادن راه حل های برد - برد از این فلسفه اتخاذ شدند.

۲-۲-۴-مهندسی با طبیعت

سومین فلسفه مشهور، فلسفه مهندسی با طبیعت (EWN) است. EWN ابتکار عملی از هیات مهندسین ارتش آمریکا¹⁹ (USACE) است و هدف آن رسیدن به پایداری بیشتر در جنبه های محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی مربوط به زیر ساخت های منابع آبی است (USACE, 2014). هدف EWN پیوند دادن فرایند های مهندسی و طبیعی توسط اقدامات مشترک است. اصول راهبردی فلسفه EWN به عنوان یک روش پیش رونده موارد زیر هستند:

- کلی نگر : یک روش اکوسیستمی برای برنامه ریزی، طراحی، ساخت و بهره برداری پروژه ها است، بطوریکه در فرایند تصمیم گیری، عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی بطور متوازن ارزیابی شده اند.
- یک روش سیستمی: باز تاب این واقعیت که پروژه های USACE در میان سیستم های پیچیده ی فیزیکی، اجتماعی و فرهنگی وجود دارند و اینکه یک عمل به تنهایی بر بسیاری از بخش های دیگر سیستم تاثیر می گذارد .
- پایدار: بر یافتن راه حل های پایدار و انعطاف پذیر بلند مدت در پروژه و سلسله مزایایی که توسط سیستم در طول زمان فراهم می شود، تمرکز دارد .
- مبتنی بر علم: نخست بر پایه و پس از آن با تعامل اصولی با فرایند ها و نیرو های طبیعی بنا شده است تا اهداف مهندسی به انجام برسد.

¹⁹ United States Army Corps Of Engineers

- اقدام مشترک: بر اساس ارتباط، تعهد و همکاری موثر شرکا و ذی نفعان از آغاز تا پایان تمام چرخه های یک پروژه که از ابتدایی ترین مراحل طراحی و برنامه ریزی آغاز می شود .
- موثر و به صرفه: کاهش وقت و دوباره کاری، در حالی که آسیب های اجتماعی به حداقل می رسد.
- از لحاظ اجتماعی پاسخگو: به طور کلی با ارزش ها، اهداف، علایق و اولویت های USACE، شرکا، ذی نفعان و اجتماع هم راستا است .
- ابتکاری: از تکنولوژی های جدید در حال و آینده استقبال می کند و شامل آموزش پیوسته، انتقال تکنولوژی و پذیرش شیوه های جدید و پیشرو است .
- تطبیق پذیر: ارائه روش ها، ساختار ها و فرایندهای تطبیق پذیر که تکنیک های پایدار و توسعه ای و ضروری را ممکن می سازد .

EWN یک روش توصیفی وسیع است. موارد بالا قابل بکارگیری است اما در ارتباط با توسعه این روش مستقیماً مناسب نیستند. ۴ مورد اول به عنوان مهمترین اصل ها برای این پژوهش در نظر گرفته شده که باعث ایجاد یک روش کل نگر، در سطح سیستم و رسیدن به نتایج پایدار به شیوه مبتنی بر علم می شود.

۲-۲-۵- ادغام فلسفه ها

در بخش های پیشین تمام فلسفه ها با جزئیات شرح داده شده و نکات علمی اصلی آنها مشخص شد . بر این اساس به این نتیجه می رسیم که تمامی فلسفه ها یک روش یکپارچه را توصیف می کنند که متفاوت از روش های سنتی است. برنامه ساختمان با طبیعت (BWN) به عنوان اساس طرح ریزی این روش جدید استفاده شده است. همچنین اصول WWN و EWN در این روش بکار گرفته شده است.

مهمترین مزیت این فلسفه ها جستجو برای فرصت های پایدار در طرح و توسعه بندر بجای تمرکز بر کاهش اثرات منفی است. پروژه با مطالعه در سطح سیستم آغاز می شود و یک دیدگاه بلند مدت در مراحل ابتدایی پروژه نشان دهنده تفکر پایدار در روش است. هدف این روش طراحی یکپارچه، توسعه و افزایش ارزش تمام جوانب پروژه اعم از اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی است. ارزیابی ها می تواند در سطح سیستم، ساختمان و مصالح و همچنین در تمام فاز های پروژه انجام شود.

با توجه به مطالبی که در بالا گفته شد، نمونه های مشابه بسیاری از فلسفه ها، تعریف ها و توضیحات مختلف، مانند بندر سبز، بندر انعطاف پذیر، بندر آینده، بندر بدون اثر و نمونه های دیگر که مفهوم یکسانی را می رسانند وجود دارد که از نام بردن آن ها در این پژوهش صرف نظر شد.

برای پروژه بندر انزلی روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم ارائه شده است تا اهداف پژوهش مشخص شوند و راه حل های پایدارتری در پروژه توسعه بندر بدست آید. همانطور که در بالا نشان داده شد عناصر استخراج شده از این فلسفه ها دامنه گسترده ای را پوشش می دهند که قابلیت بکارگیری همه موارد آن در یک پروژه امکان پذیر نیست. با تحلیل اولیه سیستم بندر انزلی مشکلات بزرگی نمایان می شود که از این موارد می توان مشکلات ناشی از رسوبگذاری، عملیات لایروبی، تخلیه مواد لایروبی، محدودیت فضای توسعه خشکی و دریا، نابودی زیست بوم های طبیعی ارزشمند تالاب انزلی، آلودگی ناشی از فعالیت های بندری و... را نام برد. در این پژوهش بکارگیری روش مبتنی بر اکوسیستم با تمرکز بر توسعه پایدار بندر و به منظور رفع یا کاهش مشکلات ناشی از رسوبگذاری در حوضچه بندر صورت می گیرد. در این پژوهش، محدودیت هایی مانند زمان و مکان در نظر گرفته شده است. مولفه های این رویکرد بر اساس فرضیات و نه بر اساس تحقیقات و تحلیلات بکار گرفته شده اند. همچنین تمام فاز های پروژه به حداکثر توان بالقوه شان، همانطور که در BWN شرح داده شد، پرداخت نشده است.

۲-۳- روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم

موسسه ارزیابی اکوسیستم هزار ساله MA²⁰ در سال ۲۰۰۱ بنا به درخواست ژنرال کوفی عنان وزیر ملل متحد تاسیس شد. هدف اصلی آن بررسی پیامدهای تغییرات اکوسیستمی بر رفاه بشر و ایجاد زمینه علمی برای اقدامات لازم برای پایدار کردن و نگهداری از اکوسیستم ها می باشد (zakri and Watson, 2005). تعریف واضحی از اکوسیستم که از MA اقتباس شده در ادامه آورده شده است:

"یک اکوسیستم مجموعه ای پویا از اجتماع گیاه، حیوان و میکرو ارگانیسم ها به همراه محیط غیر زنده است، که متقابلاً به عنوان یک واحد عملیاتی بر هم اثر می کنند. انسانها یک جزو جدایی ناپذیر از اکوسیستم هستند. اکوسیستم ها در اندازه با هم بسیار متفاوت هستند. یک حوضچه موقت در تنه ی یک درخت تو خالی و بستر یک اقیانوس هر دو می توانند یک اکوسیستم باشند ."

این روش اولین بار در سال ۲۰۱۵ توسط E. Vrolijk در بندر تما غنا که در فاز آماده سازی بندر جدید قرار داشت ابداع شد. بکارگیری این روش در هر فاز پروژه مختص به مورد مطالعه ای است که روش بر آن اعمال شده ولی این روش قابل بکارگیری در تمام فازهای پروژه است (Vrolijk, 2015). از عناصر این روش ابداعی در راهبرد این پروژه استفاده شد. نکات آغازین روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم (EBDA) بصورت گام به گام در شکل ۲-۱ نشان داده شده و در ادامه توضیح داده شده است.

²⁰ Millenium Assessment



شکل ۲-۱: روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم

گام اول درک صحیح از سیستم در سطح فیزیکی، بوم شناختی، اقتصادی و اجتماعی است. فرصت ها در تمام سطوح جست و جو می شوند. درک سیستم نه تنها شامل مطالعه محیط زیست در منطقه آبی و خشکی با خصوصیات، طبیعی و هیدرودینامیکی آنها است، بلکه همچنین باید اطلاعات مربوط به شرایط اقتصادی و اجتماعی منطقه تهیه شود و تحقیقات لازم برای توسعه های بندر انجام شود.

در گام دوم، طرح های پیشنهادی ایجاد شده و از لحاظ کیفی بررسی می شوند. فرایند های طبیعی باید از پیش مورد بررسی قرار گرفته باشند و اطلاعات صحیح موجود باشد. برای شرایط اقتصادی و اجتماعی، وقتی که خواسته ها و اهداف مشخص باشد، نتایج کار می تواند قابل پیش بینی باشد. برای همین، مشارکت سهامداران در این مرحله به طور خاص اهمیت دارد. روش ها در سه بخش توسعه می یابند. سیستم، ساختمان و مصالح. در این فاز تمرکز بر اجرا در سطح سیستم است.

در گام سوم گزینه های توسعه یافته مدلسازی می شوند و اثرات آنها شبیه سازی می شود. برای درک بهتر فرایندهای موجود از مدل MIKE 21 استفاده خواهد شد. نتایج عددی بدست آمده می تواند با طرح سنتی مقایسه شود که احتمال برتری روش مبتنی بر اکوسیستم را آشکار می کند. علاوه بر این، نتایج به دست آمده برای بهسازی دقیق طراحی و تایید تصمیم گیری ها مفید است.

گام چهارم ارزیابی گزینه های طرح توسعه یافته است. نتایج مدل بحث می شود و گزینه های متفاوت در نظر گرفته می شود. چنانچه نتایج منفی در حین ارزیابی ظاهر شود، یک حلقه بازخورد به گام دوم روش ممکن است بوجود بیاید.

گام پنجم جمع بندی بهینه ترین گزینه ها و پس از آن انتخاب یک طرح نهایی است. در این گام روش های پایدار با دیگر سطوح طراحی ارتباط پیدا می کند (سطح ساختمان و مصالح).

در این پژوهش روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم برای بندر انزلی در سطح سیستم بکار گرفته می شود. لازم به ذکر است که در گام اول روش، حداکثر توان بالقوه بکار گرفته نشده و بیشتر خصوصیات فیزیکی سیستم مورد مطالعه قرار گرفته است. پس از معرفی روش، با توجه به هدف این پژوهش، روش های پایدار کاهش رسوب گذاری در بنادر معرفی می شوند.

۲-۴- روش های کاهش رسوب گذاری در بنادر

برای حل مشکل رسوبگذاری روش های کاهش رسوبگذاری در بنادر بررسی می شوند. با پیاده سازی اقدامات کاهش رسوبگذاری در بنادر و یا مکان یابی بنادر در آبهای عمیق طبیعی می توان از اقدامات نگه داری اجتناب نمود و یا آن را به حداقل رساند. فناوری های کاهش رسوب بنادر به گونه ای طراحی شده اند تا رسوب را در سیستم نگه دارند، در همین راستا در سال ۱۹۸۷ Korne به طور خلاصه اشاره کرد که دو روش اصلی برای کاهش رسوبگذاری وجود دارد:

۱- نگه داشتن رسوب در بیرون (KSO)^{۲۱}

۲- نگه داشتن رسوب در حال حرکت (KSM)^{۲۲}

استراتژی سوم عبارت است از:

۳- نگه داشتن رسوب قابل کشتیرانی (KSN)^{۲۳}

استراتژی های نگه داشتن رسوب در بیرون بر کاهش نفوذ رسوب به یک حوضچه یا کانال کشتیرانی متمرکز است و استراتژی های نگه داری رسوب در حال حرکت بر افزایش سرعت جریان در مناطق آرام به منظور جلوگیری از ته نشینی رسوب متمرکزند. استراتژی های نگه داشتن رسوب قابل کشتیرانی از مزایای قابلیت کشتیرانی در نزدیکی یا داخل جریان کم چگالی گل که غالباً در بستر یک حوضچه یا کانال واقع شده، سود می جوید. مفهوم عمق فعال قابل کشتیرانی در دهه ۱۹۷۰ معرفی شد و ادامه یافت و اکنون در بسیاری از بنادر مورد استفاده قرار گرفته است.

روش نگهداشتن رسوب در بیرون می تواند شامل موانع، بهسازی ورودی، سازه های هادی، دریچه ها، موانع بادی و تله های رسوب باشد. استراتژی های نگه داشتن رسوب در بیرون در مناطق آرام که اجرای روش های نگه داری رسوب در حال حرکت عملی نیست بسیار مناسب است. برعکس، استراتژی های نگهداری رسوب در حال حرکت برای اسکله های لایروبی شده واقع در محدوده های جریان جزر و مدی که در آنها اندکی افزایش در سرعت جریان به معنای کاهش قابل توجه در رسوبگذاری است، بسیار مناسب است. این رویکرد می تواند شامل سازه های هادی جریان یا تقویت جریان با کمک پروانه و جت باشد. استراتژی نگهداشتن رسوب قابل کشتیرانی، به موضوع رژیم های رسوب نزدیک بستر با کدورت بالا در مناطق با جریان گل و ایجاد لایه های گل سیال به طور عمدی

²¹ Keep the Sediment Out

²² Keep the Sediment Moving

²³ Keep the sediment Navigable

می پردازد. در اغلب مواقع بیشترین سود از ترکیب روش ها و استراتژی های کاهش رسوبگذاری در بنادر حاصل می گردد (گزارش ۱۰۲ پیانک، ۲۰۰۸). در این پژوهش امکان استفاده از دو روش KSO و KSM بررسی می شود. روش KSN به دلیل عدم وجود جریان قوی در نظر گرفته شده که برای بندر انزلی قابل بکارگیری نیست.

در این فصل به معرفی و توضیح روش ها، فلسفه ها و جدیدترین نظریه ها در مورد توسعه بنادر پایدار پرداخته شد. تمامی فلسفه های نامبرده یک روش یکپارچه را توسعه می دهند. روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم از این فلسفه ها برای رسیدن به هدف پایدار در توسعه بنادر استفاده می کند. از آنجایی که ایده پایداری مسائل گسترده و وسیعی را پوشش می دهد، در این پژوهش با تمرکز بر حل مشکلات ناشی از رسوبگذاری و لایروبی بنادر، روش های پایدار کاهش رسوبگذاری در بنادر معرفی شدند. دو روش KSO و KSM به عنوان روش های مناسب برای این پژوهش انتخاب شده و در فصل ۴ بر مورد مطالعه بکار گرفته می شود. در فصل بعد روند انتخاب مورد مطالعه مناسب توضیح داده می شود.

فصل سوم: مورد مطالعه و پیشینه تحقیق

۳-۱- مقدمه

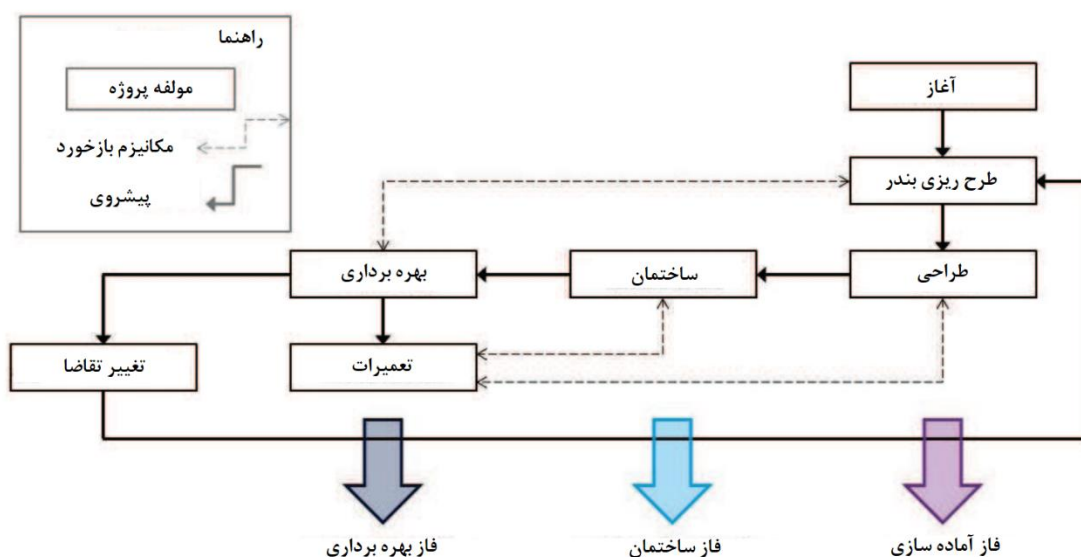
در این بخش فرایند گزینش مناسب ترین مورد مطالعه برای بکارگیری روش شرح داده می شود. برای سازماندهی به فرایند گزینش، ابتدا پروژه های توسعه بنادر به صورت طبقه بندی شده معرفی شده است. این کار با مطالعه فرایند های توسعه بنادر و یافتن فاز پروژه در چرخه توسعه انجام شده است. سپس معیارهای مورد نظر برای انتخاب مورد مطالعه معین می شود (بخش ۳-۳). مورد مطالعه در بخش ۳-۴ انتخاب می شود و توضیح خلاصه ای از این مورد مطالعه و پیشینه آن در بخش ۳-۵ داده می شود.

۳-۲- چرخه توسعه بندر

در این بخش به معرفی چرخه توسعه بندر می پردازیم و دسته های چرخه توسعه بندر در ادامه توضیح داده شده است. همچنین چگونگی ارتباط فازهای مختلف توسعه بندر در این بخش شرح داده شده است.

۳-۲-۱- دسته های چرخه توسعه بندر

به منظور طبقه بندی پروژه های بندری و درک پتانسیل روش طرح مبتنی بر اکوسیستم در فاز های مختلف چرخه توسعه بندر، این مهم است که درک کاملی از توسعه بنادر جدید و موجود بدست آید. از تحلیل این چرخه به منظور طبقه بندی بنادر با توجه به فاز بخصوصی که در آن قرار دارند استفاده شده است. با این طبقه بندی، ارزیابی سریعی از روش های احتمالی قابل اجرا برای بنادر مختلف می تواند صورت گیرد. در شکل ۳-۱ طرح چرخه توسعه بندر نشان داده شده است [۲۰۱۲ Ligteringen].



شکل ۳-۱: چرخه توسعه بندر (Ligteringen, 2012)

به منظور طبقه بندی پروژه های مختلف بندری، سه دسته متفاوت تعیین شده است. در شکل ۳-۱ بندر ساخته نشده در فاز آماده سازی قرار دارد، در حالیکه بنادر در حال توسعه در فاز ساختمان هستند. بنادر عملیاتی اساساً در فاز بهره برداری هستند.

۳-۱-۱-۲-۱-۱-۱-۱ دسته ی ۱: بنادر ساخته نشده

بنادر ساخته نشده در دسته ای هستند که هیچ بندری هنوز وجود ندارد. روش های پایدار می تواند در ابتدای پروژه با آنالیز محیط و اکوسیستم آن منطقه اعمال شود. احتمالات مختلف جستجو می شوند و در طراحی بندر لحاظ می شوند. در مراحل ابتدایی اطلاعات کمی ممکن است موجود باشد، اما منجر به کار تحقیقی بسیار وسیع و طرح پیشنهاداتی با عدم قطعیت زیاد می شود.

۳-۱-۲-۱-۲-۱-۲ دسته ۲: بنادر در حال توسعه

بنادری که در این دسته قرار می گیرند، بنادری هستند که در حال ساخت هستند و یا بنادر موجودی هستند که در حال توسعه یافتن هستند. وابسته به نوع توسعه، احتمال اعمال تغییرات در طراحی وجود دارد. اطلاعات مورد نیاز طرح توسعه انتظار می رود که وجود داشته باشد، چرا که در طول فرایند طراحی و یا ساختمان بنادر موجود احتمالاً از برخی جوانب بررسی و مورد توجه قرار گرفته اند. در این پژوهش بندر مورد مطالعه در این دسته قرار دارد.

۳-۲-۱-۳-دسته ۳: بنادر عملیاتی

در بنادر در این دسته هیچ گونه فعالیت ساختمانی انجام نمی شود، که منجر به چشم انداز دیگری بر روش های قابل اجرا می شود. در فاز بهره برداری یک بندر، همچنین پیشرفت هایی می تواند در فرایند توسعه پایدار صورت گیرد. این پیشرفت ها بیشتر بر فعالیت های مدیریتی و عملیاتی تمرکز دارند. در حقیقت در فاز های ساختمان و بهره برداری هرگاه بندر با چالشی رو به رو شود، در فاز تعمیرات و نگهداری راه حل ها جستجو می شوند و حلقه بازخوردی به طراحی و یا ساختمان ایجاد می شود .

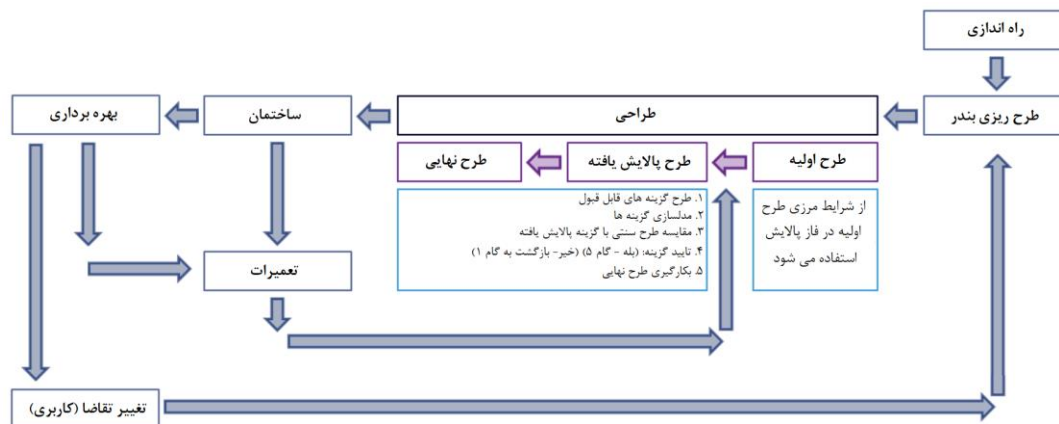
به پیروی از فلسفه ها اولین گام شناسایی و بررسی سیستم موجود بندر است. با در نظر گرفتن این که بندر موجود (بندر انزلی) در حال توسعه و مورد بهره برداری است و با تغییر تقاضا احتمال تغییر در طراحی بندر نیز وجود دارد، لذا می توان این فاز را پیچیده ترین فاز پروژه نام برد. اما با بررسی روش های قابل اجرای احتمالی و تحلیل اطلاعات موجود می توان گزینه های طرح توسعه پایدار را محدود کرد و بهترین گزینه را بهسازی کرد. لذا مورد مطالعه از دسته بنادر در حال توسعه انتخاب شده است.

۳-۲-۲-جزئیات بیشتر در فاز ساختمان

همانطور که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است، فاز ساختمان پروژه توسعه بندر بعد از طراحی و قبل از بهره برداری کامل قرار دارد . یعنی یا بندر جدید در حال ساخت و توسعه است و یا بندر موجود در حال بهره برداری و توسعه است در این بخش نگاه عمیق تری به این فاز پروژه می اندازیم تا بتوانیم مورد مطالعه را با جزئیات دقیق تری تعیین کنیم .

پروژه با مرحله راه اندازی آغاز می شود. بخش های مختلفی می توانند آغاز کننده یک پروژه بندری باشند. یعنی با تصمیم صاحبان بنادر یا دولت، در این فاز از پروژه یک نقش اصلی برای بندر تعیین می شود . از این نقطه به بعد با مطالعه و آنالیز محیط زیست و داده های مورد نیاز (مانند اعداد

خروجی، فضای در دسترس، حداکثر عمق آب و ...) یک طرح توسعه ایجاد می شود. در فاز ساختمان، هنگام رو به رو شدن با چالش های عملیاتی راه حل های پایدار تر جست و جو می شوند. تغییرات لازم برای بهبودی طرح توسعه با ایجاد یک حلقه ی باز خورد به فاز طراحی قابل اصلاح است . شکل ۲-۳ جزئیات بیشتر در این فاز از چرخه توسعه را گام به گام نشان می دهد.



شکل ۲-۳: چرخه توسعه بندر با جزئیات

۳-۳- معیار های انتخاب مورد مطالعه

برای انتخاب مناسب ترین مورد مطالعه، چند معیار معین شده است که در این بخش به آن ها می پردازیم. معیارهایی مانند مکان پروژه، وجود داده های ضروری و فاز مورد مطالعه در این پژوهش استفاده شده است.

مکان پروژه

در این پژوهش مکان مورد مطالعه در کشور ایران و ترجیحا شمال ایران قرار داشته باشد، چرا که ارتباط و دسترسی به بنادر شمال کشور به آسانی فراهم می شود و اثراتی که بر محیط زیست ارزشمند این منطقه دارد بیشتر مورد توجه و بررسی است.

داده ها

معیار بعدی در انتخاب مورد مطالعه وجود اطلاعات مورد نیاز است . مانند :

- عمق سنجی

- شرایط امواج

- شرایط باد

با مطالعات و بررسی های دقیق، چنین اطلاعاتی برای تمام نقاط جهان می تواند بدست آید، اما به دلیل محدودیت زمانی ترجیح داده می شود که اطلاعات راحت تر در دسترس باشند. موقعی که اطلاعات موجود نیست از فرضیات استفاده می شود، اما از کیفیت پژوهش و مورد مطالعه می کاهد، لذا تا حد امکان باید پرهیز شود .

فاز در چرخه توسعه بندر

مورد مطالعه طوری انتخاب می شود که در فاز ساختمان چرخه توسعه بندر باشد، جایی که چالش ها نمایان شده اند و امکان تغییر در طراحی بندر وجود دارد . همانطور که پیش تر گفته شد برای مقابله با مشکلات و چالش ها در فاز ساختمان نیاز به بهسازی طرح با ایجاد یک حلقه باز خورد به فاز طراحی است . با ایجاد گزینه های مطلوب در فاز پالایش طراحی و با اطلاعاتی که انتظار می رود در دسترس باشد طرح پیشنهادی ایجاد و ارزیابی می شود .

۳-۴-تصمیم گیری برای انتخاب مورد مطالعه

در این بخش با بررسی ۳ مورد بندر انتخابی و با اهمیت در دریای خزر، مورد مطالعه این پژوهش انتخاب می شود.

۳-۴-۱-محدودیت ها

در فاز های ابتدایی این پژوهش، موارد مختلفی، پتانسیل پیشنهاد شدن به عنوان مورد مطالعه را نشان دادند. اما معیار های مکان و اطلاعات مورد نیاز بندری محدود کننده بوده اند. پروژه های بندر امیرآباد، بندر نوشهر و بندر انزلی به عنوان موارد احتمالی انتخاب برای این پژوهش در نظر گرفته شدند. بعلاوه مواردی که گفته شد، شرایط اکوسیستمی و علاقه اجتماعی و صاحبان پروژه برای

بکارگیری روش در نظر گرفته می شود. برای موارد بالا، تمامی بنادر نامبرده مطالعه، آنالیز و به نحوی در نظر گرفته شدند.

۳-۴-۲- مناسب ترین مورد مطالعه

در نهایت، بندر انزلی به عنوان پروژه مناسب این پژوهش انتخاب شده است. دلایل مهم انتخاب این مورد مطالعه به شرح زیر است .

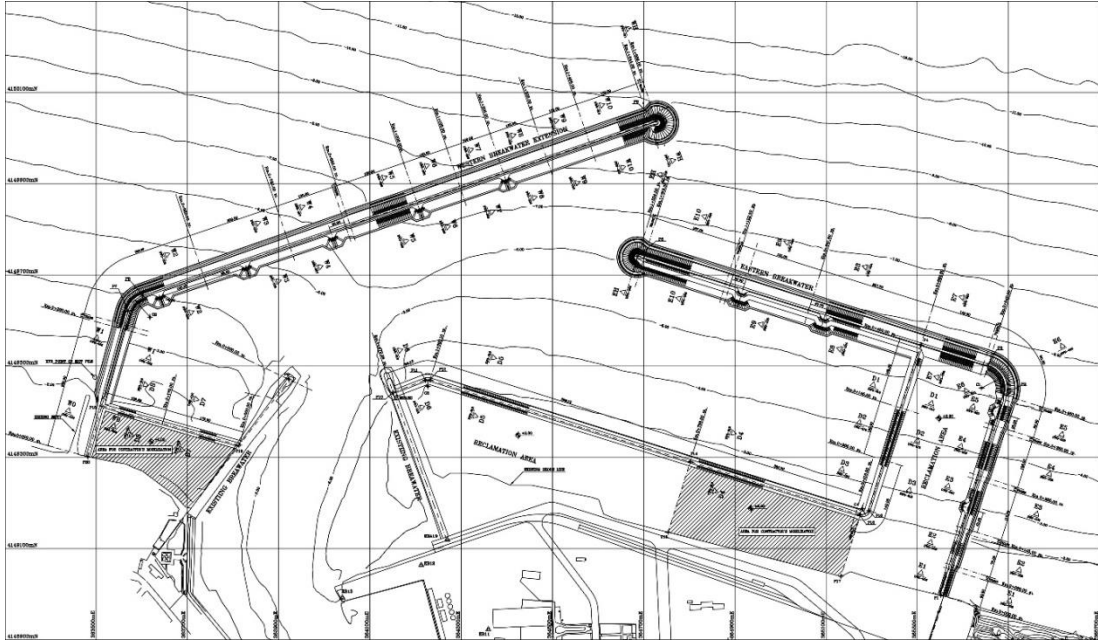
- فاز پروژه: پروژه طرح توسعه موجود و شرایط لازم برای بهینه سازی را دارد.
- شرایط محیط زیستی: وجود تالاب انزلی متصل به بندر، صنعت ماهی گیری و تنوع زیستی عوامل مهم و تاثیر پذیر از شرایط بندر هستند.
- اهمیت بندر: بندر انزلی بعنوان سومین بندر مهم کشور نقش مهمی در زنجیره لجستیک دارد.
- موجود بودن داده ها: به دلیل وجود طرح توسعه اخیر بندر اطلاعات لازم موجود است.

توضیح مختصری در مورد پروژه در بخش بعدی داده شده است.

۳-۵- معرفی بندر انزلی

بندر انزلی در جنوب غربی دریای کاسپین در حد فاصل شهرستان رشت و تالش قرار دارد . موقعیت بندر به لحاظ طول و عرض جغرافیایی در ۴۹,۴۶۸۳۱۶' طول شرقی و ۳۷,۴۷۵۵۷۴' عرض شمالی واقع شده است. ساختگاه دقیق بندر، محل اتصال تالاب انزلی و دریا می باشد. بندر انزلی، یکی از مهمترین بنادر دریای خزر می باشد. در حال حاضر، پروژه بندر انزلی در حال توسعه و در فاز ساختمان قرار دارد. در این طرح توسعه ۲ موجشکن جدید غربی و شرقی از ورود رسوبات دریا به حوضچه بندر تا حد مطلوبی جلوگیری می کنند. همچنین فضای بیشتری برای فعالیت های بندری اختصاص یافته و تعداد پست اسکله ها در زمان بهره برداری کامل از ۱۰ به ۲۴ پست اسکله افزایش

خواهد یافت تا بندر پاسخگوی تعداد کشتی های بیشتری باشد. طرح توسعه جدید بندر در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳: طرح توسعه بندر انزلی

در دسته بندی چرخه توسعه، بندر انزلی در فاز ساختمان قرار دارد (شکل ۳-۲)، بنابر این احتمال بهینه سازی و پالایش طرح بندر وجود دارد. از مزیت های این مورد مطالعه وجود یک طرح توسعه است، که به این پژوهش اجازه بررسی احتمالات و بهینه سازی ها در بکارگیری این روش را می دهد، لذا نیازی به صرف وقت برای توسعه یک بندر سنتی نیست. به همین دلیل فرصت مقایسه روش جدید و تاثیراتش با وضعیت مرجع وجود دارد. اما لازم بذکر است که در بکارگیری بر مورد واقعی، تمام داده ها موجود نیستند و در بعضی موارد فرضیات نیاز هستند.

با استفاده از EBDA و ادغام آن با روش های کاهش رسوبگذاری در بنادر برای این پروژه، احتمالات بهسازی طرح به سمت یک بندر پایدارتر جستجو می شود. بررسی هایی در مورد استفاده از فرآیندهای هیدرولیکی برای پیشگیری از رسوب گذاری در حوضچه بندر و در نتیجه کاهش فعالیت های لایروبی انجام خواهد شد.

۳-۵-۱- پیشینه بندر انزلی

به دلیل اهمیت تجاری - صنعتی بندر انزلی، بزرگترین بندر ایران در دریای خزر می باشد. تاکنون مطالعات متنوعی در خصوص این بندر انجام شده است که در راستای اهداف این پژوهش به مواردی که مورد استفاده قرار گرفته و مد نظر بوده به طور مختصر در ادامه اشاره شده است.

بی شک از زمانیکه انسانها در سواحل دریای خزر ساکن شدند با دریا سر و کار داشتند و برای گذشتن از دریا به منظور داد و ستد و نزدیکی با اقوام دیگر و بهره گیری از منابع دریایی، به ساخت قایق ها، کشتی های کوچک و بزرگ بادبانی و تجاری مشغول شدند. خلیج انزلی از ۲ نظر مورد توجه دریانوردان بوده است:

- موقعیت طبیعی خلیج و کانال انزلی

- موقعیت جغرافیایی انزلی و نزدیکی آن به مراکز تجاری گیلان.

این بندر در سال ۱۳۰۶ که تحت مدیریت کشور روسیه بود، به مقامات دولتی وقت تحویل داده شد و در سال ۱۳۰۱ نیز اولین کشتی توسط آلمانیها از اروپا به بندر انزلی آورده شد. در سال ۱۸۹۵ میلادی برابر با ۱۲۷۴ خورشیدی کار بنای موج شکن غازیان به طول ۷۵۰ متر و موج شکن انزلی به طول ۵۲۰ متر شروع و در سال ۱۹۱۴ میلادی برابر ۱۲۹۳ خورشیدی پروژه احداث موج شکن ها پایان یافت (سازمان بنادر دریا نوردی استان گیلان، ۱۳۹۶). موج شکن فرعی درون حوضچه بندر نیز با هدف کاهش نا آرامی های حوضچه بندر در هنگام طوفان در سال ۱۳۷۴ به طول ۲۰۱ متر ساخته شد.

یکی از مشکلات اصلی که بندر انزلی در طول بهره برداری با آن مواجه بوده، نا آرامی حوضچه بندر در هنگام وقوع برخی طوفانها بوده است. احداث دستک میانی بر روی موج شکن شرقی نیز با هدف کاهش و حذف این نا آرامی ها صورت گرفت. بر اساس گفته مسئولین بندر، پس از احداث دستک میانی نیز مشکل نا آرامی درون حوضچه حل نشد و از این بابت همواره خساراتی متوجه تجهیزات مستقر و پهلو گیری کشتیها در بندر بوده است (مدارایی و همکاران، ۹۰). شکل (۳-۴) نمایی از بندر قبل از طرح توسعه را نشان می دهد.



شکل ۳-۱: عکس های هوایی و ماهواره ای از بندر انزلی در سال های ۱۳۴۵ و ۱۳۸۰ (سازمان بندر و دریانوردی)

بندر انزلی در محل مصب جریانهای خروجی تالاب بین المللی انزلی به دریا ساخته شده، ولی همواره به دلیل وضعیت طولی و جهتی موج شکن ها با مشکل ورود امواج با ارتفاع بلند به همراه جریانهای تند دریایی به داخل بندر روبرو بوده است. همچنین با توجه به اینکه اسکله های موجود برای بهره برداری بندر در زمانهای پرتراфик کافی نبوده، با توسعه موج شکن ها و استحصال محدوده بیشتر، امکان احداث و بکارگیری تعداد اسکله های بیشتر فراهم می شود. در نتیجه با توسعه موج شکن ها

علاوه بر حل مشکل ورود امواج با ارتفاع زیاد، ظرفیت ناوبری بندر نیز به طور مؤثری افزایش می یابد (مریان و حکیم زاده ۹۴).

با افزایش حمل و نقل تجاری بندر و بزرگتر شدن کشتی ها مشکلات متعددی برای بندر به وجود آمد. عمده ترین مشکلات بندر رسوبگذاری درون حوضچه بندر در اثر امواج دریا و ته نشینی رسوبات درون حوضچه بندر بوده است. حجم رسوبات ته نشین شده در حوضچه بندر انزلی سالانه بین ۱۷۰،۰۰۰ تا ۲۰۰،۰۰۰ متر مکعب بوده است (بهلولی و همکاران، ۱۳۸۳). بررسی های انجام شده در مورد منشا رسوبات با توجه به اندازه گیری های رسوب بستر نشان می دهد عمده رسوبات داخل بندر منشا ساحلی داشته اند (کنارسری و همکاران، ۱۳۸۹). از این مقدار رسوب، رقمی معادل ۳۵۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰ مترمکعب ناشی از رسوباتی است که از سمت تالاب به داخل بندر حمل می شود که حجم فراوانی از آن قبل از رسیدن به موجشکن فرعی به صورت یکنواخت در حوضچه پخش میشود. بقیه حجم رسوبات نوع رسوب بستر ساحلی است که حجمی بین ۱۳۰،۰۰۰ تا ۱۵۰،۰۰۰ مترمکعب را به خود اختصاص داده است (بهلولی و همکاران، ۱۳۸۳). همچنین نتایج به دست آمده از مدلسازی ها نشان می دهد طول بازوهای موج شکن های قدیمی در مقایسه با پهنای منطقه فعال ساحلی کوچک بوده است و موج شکن نمی توانسته از ورود رسوبات به بندر جلوگیری کند (یگانه بختیاری و محمدیان، ۱۳۸۷).

طرح توسعه ساخت موج شکن های شرقی و غربی به طول ۲۷۵۰ متر و استحصال ۴۰ هکتار بارانداز جدید که گامی موثر در راستای توسعه و افزایش ضریب ایمنی و ظرفیت بندر است، از سال ۱۳۸۸ آغاز شد. با اطاله موج شکن مذکور ظرفیت بندر به ۱۷ میلیون تن در سال خواهد رسید. پس از اجرایی شدن طرحهای توسعه ضمن افزایش تعداد اسکله های بندر به ۲۴ پست ظرفیت پذیرش کشتیها نیز به میزان قابل توجهی افزایش خواهد یافت (سازمان بنادر و دریانوردی استان گیلان، ۱۳۹۶).

با توجه به نتایج گزارش محمدنژاد و حکیم زاده (۱۳۹۴) مشخص شد که بندر انزلی بعد از ساخت موج شکن های جدید از نظر آرامش داخل حوضچه، از وضعیت نسبتاً قابل قبولی برخوردار است، اما رسوبگذاری داخل حوضچه و لزوم لایروبی بافاصله های زمانی کم، مشکلی برای بندرانزلی محسوب می شود. این مشکل پس از احداث موجشکنهای جدید بندر نمایان شده که پیامد آن نیاز به لایروبی های مکرر را روشن میسازد. متأسفانه تاکنون راه حلی برای مشکل رسوب داخل حوضچه بندر انزلی ارائه نشده و خود مسئولین بندر نیز اجرای طرح توسعه بندر انزلی را موفقیت آمیز ارزیابی نمی کنند. ازاین رو به طور کلی میتوان چنین بیان کرد که با توسعه بندر و اطاله بازوهای شرقی و غربی موجشکن به هدف توسعه بندر و تأمین آرامش بندر دست یافته شده است، اما همین آرامش شرایط را برای ته نشینی رسوبات فراهم می نماید. در صورت عدم رفع این مشکل، بندر به صورت مداوم و در بازه های زمانی کوتاه باید از یک برنامه لایروبی مدون و منظم بهره برد. این امر جدا از بحث هزینه بسیاری که بر بندر تحمیل می نماید، راندمان بهره برداری بندر را نیز کاهش خواهد داد (محمدنژاد و حکیم زاده، ۱۳۹۴).

فصل چهارم: مواد و روش ها

۴-۱- مقدمه

بندر انزلی، به عنوان بزرگ ترین و فعال ترین بندر حاشیه جنوبی دریای خزر و سومین بندر مهم در کشور بعد از بندر امام خمینی و شهید رجایی، برای تامین نیازها و بهبودی توسعه کشور در حال پیشرفت و گسترش است (سازمان بنادر و دریانوردی استان گیلان، ۱۳۹۶). طرح توسعه به پیشنهاد سازمان بنادر و دریانوردی استان گیلان آغاز شده است. جزئیات طرح توسعه در شکل (۴-۱) ارائه شده است. توسعه با ایجاد موج شکن های جدید بندر آغاز شده و انتظار می رود در سال های آینده اسکله های جدید بندر به بهره برداری برسد. پس از پایان یافتن ساختمان موج شکن ها انتظارات بندر در مورد ایجاد آرامش درون حوضچه بندر برآورده شده ولی مشکلات شدید نشست رسوبی در بندر به دلیل آرامش حوضچه پدید آمده است. در واقع شرایط جدید بندر مانند تله رسوب گیر عمل می کند و رسوبات رودخانه ای که منشا آن از سمت تالاب انزلی است درون حوضچه بندر ته نشین می شوند. در این پژوهش برای بهبودی شرایط بندر و نتیجه مطلوب، طرح توسعه پایدار بندر انزلی مبتنی بر اکوسیستم برای رفع مشکل رسوبگذاری ارائه شده است.



شکل ۴-۱: طرح توسعه بندر انزلی (سازمان بنادر و دریانوردی استان گیلان)

مراحل رسیدن به یک طرح پایدار و اکوسیستمی در بخش ۲-۳ توضیح داده شده است. پنج مرحله از روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم دوباره در این بخش نشان داده شده است.

اولین گام به دست آوردن درک کامل از سیستم مورد مطالعه است (بخش ۲-۴). ویژگی های فیزیکی سیستم مورد بررسی قرار گرفته است. پس از آن، چند گزینه قابل قبول برای بهسازی، طرح و بررسی می شود (بخش ۳-۴). تحقیقات کیفی و کمی بیشتر بر گزینه های مطرح شده با مدل ریاضی (بخش ۴-۴) انجام می شود. انتخاب مناسب ترین طراحی باید انجام شود. نتایج به دست آمده از مدلسازی ها در بخش ۴-۵ مورد بحث قرار می گیرند و طرح نهایی به عنوان طرح مبتنی بر اکوسیستم (بخش ۴-۶) معرفی می شود.

در زمینه این پژوهش، گام های روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم در مورد بندر انزلی در سطح سیستم و به منظور کاهش و رفع رسوبگذاری در حوضچه بندر انزلی با استفاده از روش های پایدار کاهش رسوبگذاری در بنادر بکار گرفته شده است.



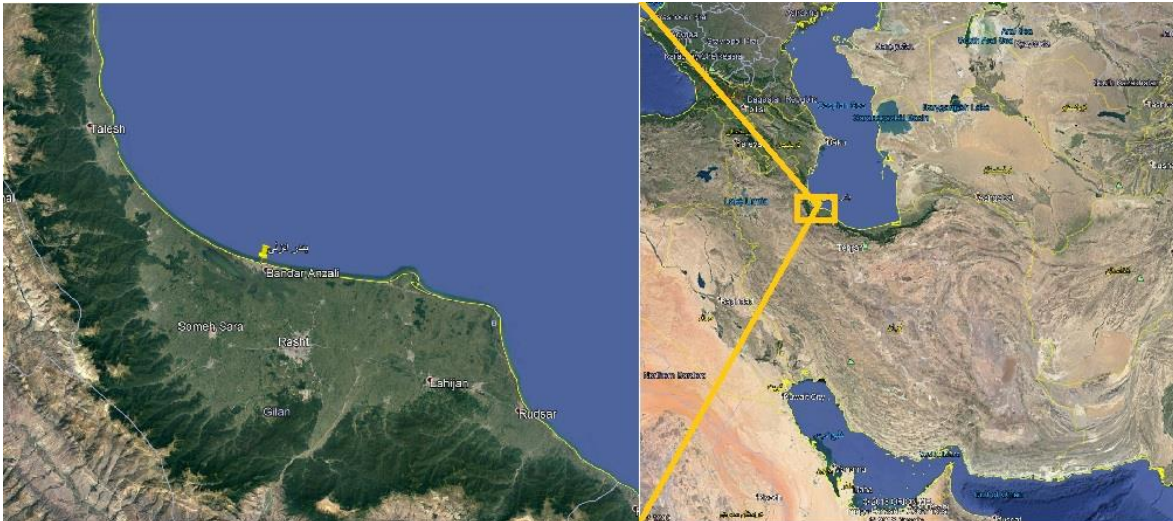
۲-۴-۲-درک سیستم

در این بخش، وضعیت فعلی بندر و منطقه مورد مطالعه شرح داده شده و مورد آنالیز قرار گرفته است. ابتدا ویژگی های منطقه در یک آنالیز محیطی شناسایی می شود که منجر به ویژگی های فیزیکی می شود.

۲-۴-۱-ویژگی های فیزیکی

در این بخش ویژگی های فیزیکی منطقه مورد مطالعه مانند اطلاعات جغرافیایی، اقلیمی، موج و موارد دیگر تشریح شده است.

در آغاز، تصویر بزرگ‌تر، آنالیز می‌شود. در شکل ۴-۲، محل مورد مطالعه در جهان و دقیق‌تر در شمال ایران نشان داده شده است. بندر انزلی در جنوب غربی دریای خزر، در موقعیت جغرافیایی $37,475574^{\circ}$ شمالی و $49,468316^{\circ}$ شرقی و در استان گیلان واقع است. ارتفاع آن از سطح دریا منهای ۲۶ متر می‌باشد. بندرانزلی از شمال به دریای خزر از جنوب به شهرستان صومعه سرا از شرق به شهرستان رشت و از غرب به شهرستان رضوانشهر متصل می‌باشد. شهرستان بندرانزلی در ناحیه‌ای کاملاً جلگه‌ای به صورت طولی و در ساحل دریای خزر واقع شده و دارای آب و هوای مرطوب است. بخشی از محیط زیست طبیعی این شهرستان را دریا (۴۰ کیلومتر نوار ساحلی) و بخش مهم دیگر را اکوسیستم ارزشمند تالاب انزلی تشکیل می‌دهد. نام انزلی به پیشینه تاریخی اش در بیشتر شهرهای اروپایی شناخته شده است. فاصله بندر انزلی تا تهران ۳۸۰ کیلومتر، تا مرکز استان ۴۰ کیلومتر و تا اولین فرودگاه ۳۵ کیلومتر می‌باشد. این بندر در باریکه بین تالاب انزلی و دریای خزر قرار گرفته است. به واسطه شرایط خاص اقلیمی و عوامل طبیعی حاکم بر منطقه خصوصاً آبراهه‌های منتهی به بندر، محدوده بندر را میتوان به دو بخش نسبتاً مجزا به نام‌های انزلی و غازیان تقسیم نمود. آبراهه اصلی بندر، این دو بخش را به یکدیگر متصل مینماید. منطقه غازیان محل اتصال ۴ روگای اصلی منشعب از تالاب به نامهای سوسرروگا، پیربازار روگا، راسته خاله روگا و نهنگ روگا است. در سمت غرب بندر و با فاصله کمی از غازیان نیز روگای شنبه بازار قرار دارد. شکل (۴-۲) منطقه مورد مطالعه را نشان میدهد (سازمان مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۰).



شکل ۴-۲: موقعیت مکانی بندر انزلی (Google earth, 2018)

با بزرگنمایی بر روی موقعیت منطقه، وضعیت کلی بندر در شکل ۴-۳ قابل مشاهده است. در این مقیاس وضعیت بندر در منطقه و ارتباط با پس کرانه قابل مشاهده است.

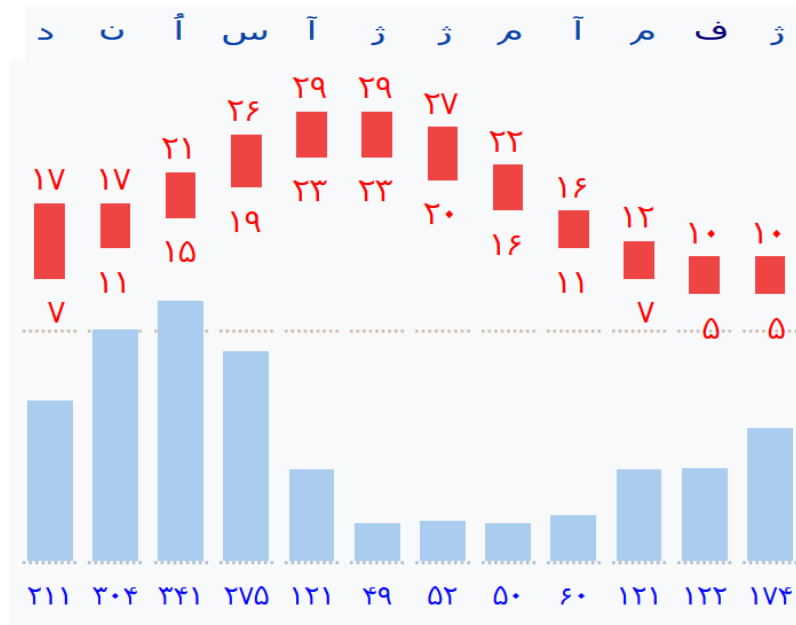


شکل ۴-۳: بندر انزلی (Google earth, 2018)

۴-۲-۱-۲-۲-۴ اقلیم شناسی

این شهر دارای آب و هوای مرطوب ساحلی می باشد. میزان بارندگی شهر انزلی بسیار بالا بوده به طوری که سالانه متوسط ۱۸۹۲ میلی متر بارندگی دارد و طبق آمار پر باران ترین شهر ایران است. بیشترین بارندگی در ماه های شهریور و مهر با ۴۴۰,۹ میلی متر گزارش شده است. میزان رطوبت

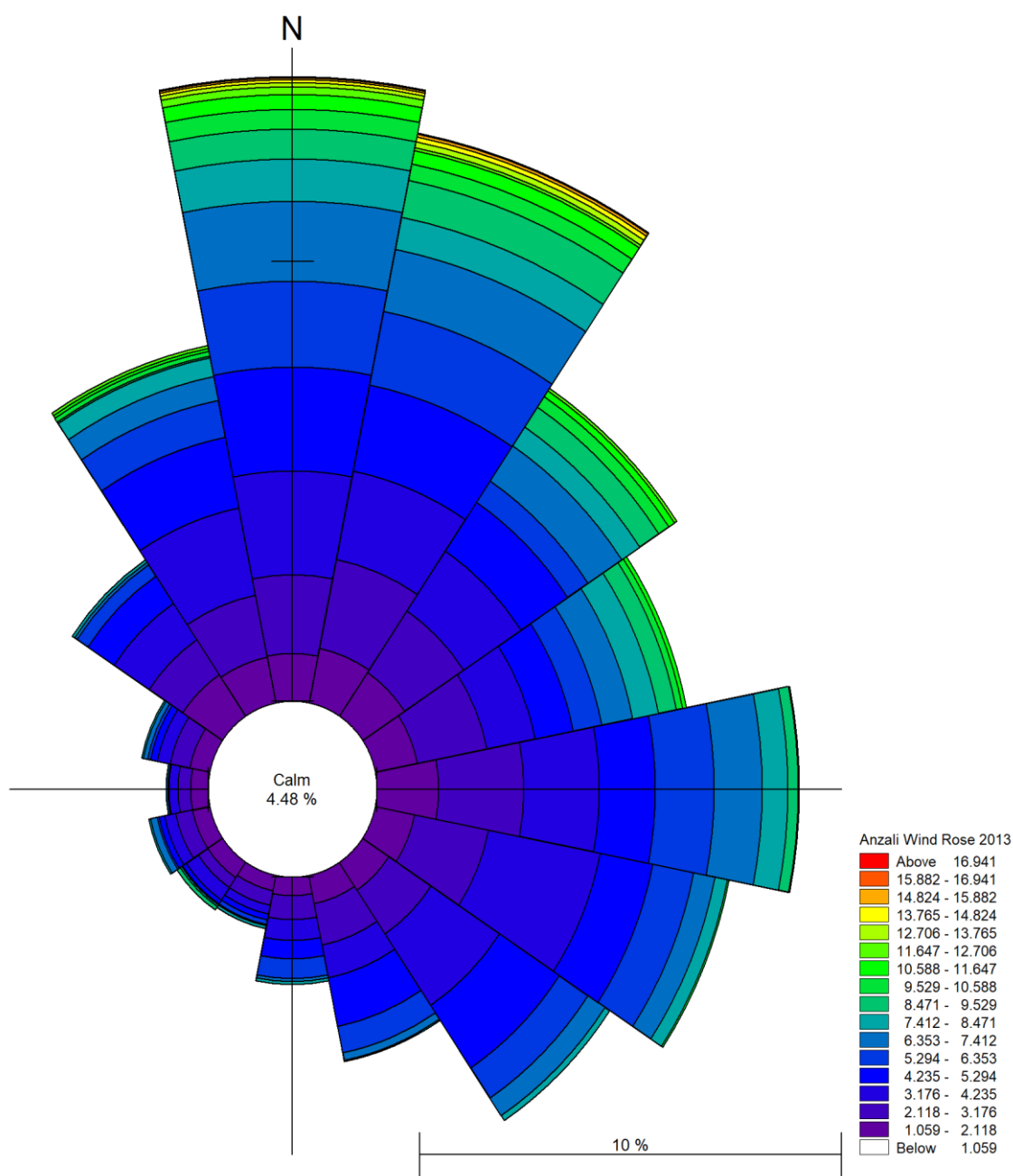
نسبی سالیانه به‌طور متوسط حدود ۷۱ تا ۹۷ درصد و درجه حرارت محیط زیست بین ۵.۳ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد در نوسان بوده است. نمودار آب و هوا در شکل ۴-۴ نشان داده شده است. انزلی



شکل ۴-۴: نمودار بارش و دمای بندر انزلی (هواشناسی استان گیلان، ۱۳۹۴)

ب‌طور کلی تابستان‌های گرم و مرطوب و زمستان‌های ملایم دارد.

میانگین سرعت باد سالانه در بندر انزلی ۹.۳ گره یا ۲.۲ متر بر ثانیه می‌باشد. کمترین سرعت باد حدود ۴.۳ گره یا ۹.۱ متر بر ثانیه در آوریل و ۵.۳ گره در ژوئیه و بیشترین آن حدود ۳.۴ گره یا ۴.۲ متر بر ثانیه در ژانویه و نوامبر می‌باشد. تندترین باد ثبت شده طی دوره آماری ۵۸ گره یا ۲.۳۲ متر بر ثانیه در ۳۰ اکتبر ۱۹۵۲ از جهت شمالی (۳۶۰ درجه) بوده است (داده‌های آب و هوایی بندر انزلی، ۱۳۹۴). شکل ۴-۵ گل باد منطقه بندر انزلی در محدوده ساحل را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵: گل باد منطقه انزلی در محدوده ساحل

۴-۲-۱-۳-دریاشناسی

اطلاعات مربوط به شرایط دریایی منطقه بندر انزلی (در این پژوهش به دلیل عدم وجود جریان ناشی از جذر و مد فقط موج و عمق سنجی) در این بخش توضیح داده شده است.

دریای خزر

این دریا که گاهی بزرگترین دریاچه جهان و گاهی کوچکترین دریای خودکفای کره زمین طبقه‌بندی می‌شود، بزرگترین پهنه آبی محصور در خشکی است که با هیچ اقیانوسی ارتباط ندارد. طول آن حدود ۱۰۳۰ تا ۱۲۰۰ کیلومتر و عرض آن بین ۱۹۶ تا ۴۳۵ کیلومتر است. سطح دریای خزر در حدود ۲۸ متر پائین‌تر از سطح دریاهای آزاد است و این باعث شده که هیچ آبی از این دریا بیرون نرود. حدود ۸۱٪ آب دریای خزر از رود ولگا تامین می‌شود که در شمال غربی دریای خزر قرار دارد. کل طول خط ساحلی آن حدود ۷۰۰۰ کیلومتر با حجم آبی حدود ۷۸۷۰۰ کیلومتر مکعب است. دریای خزر از لحاظ ریخت‌شناسی به سه قسمت تقسیم می‌شود: قسمت کم عمق شمالی با عمق متوسط ۵ متر، قسمت میانی با عمق متوسط ۱۹۰ متر و خزر جنوبی با عمق بیشینه ۱۰۲۵ متر. طبیعت بسته دریای خزر آن را منزلگاه جانوران و گیاهان منحصربفرد کرده است اما در عین حال موجب شده تا در مقابل آلودگی‌های کشاورزی و صنعتی و نفتی بسیار آسیب‌پذیر باشد. از منابع مهم دریای خزر ذخایر نفت و گاز موجود در زیر بستر دریا و همچنین انواع ماهیان خاویاری را می‌توان نام برد. از خصوصیات بارز این پهنه آبی می‌توان به شیرین بودن نسبی آب آن، تغییرات زیاد سطح آب در ۵۰ سال اخیر و عدم وجود جریان‌های ناشی از جزر و مد اشاره کرد. بدیهی است که به دلیل عمق زیاد آب در جنوب دریا شیب بستر در نواحی بندر انزلی نسبتاً تندتر می‌باشد. شکل ۴-۶ نمای کلی از دریای خزر را نشان می‌دهد (برایی، ۱۳۹۰).

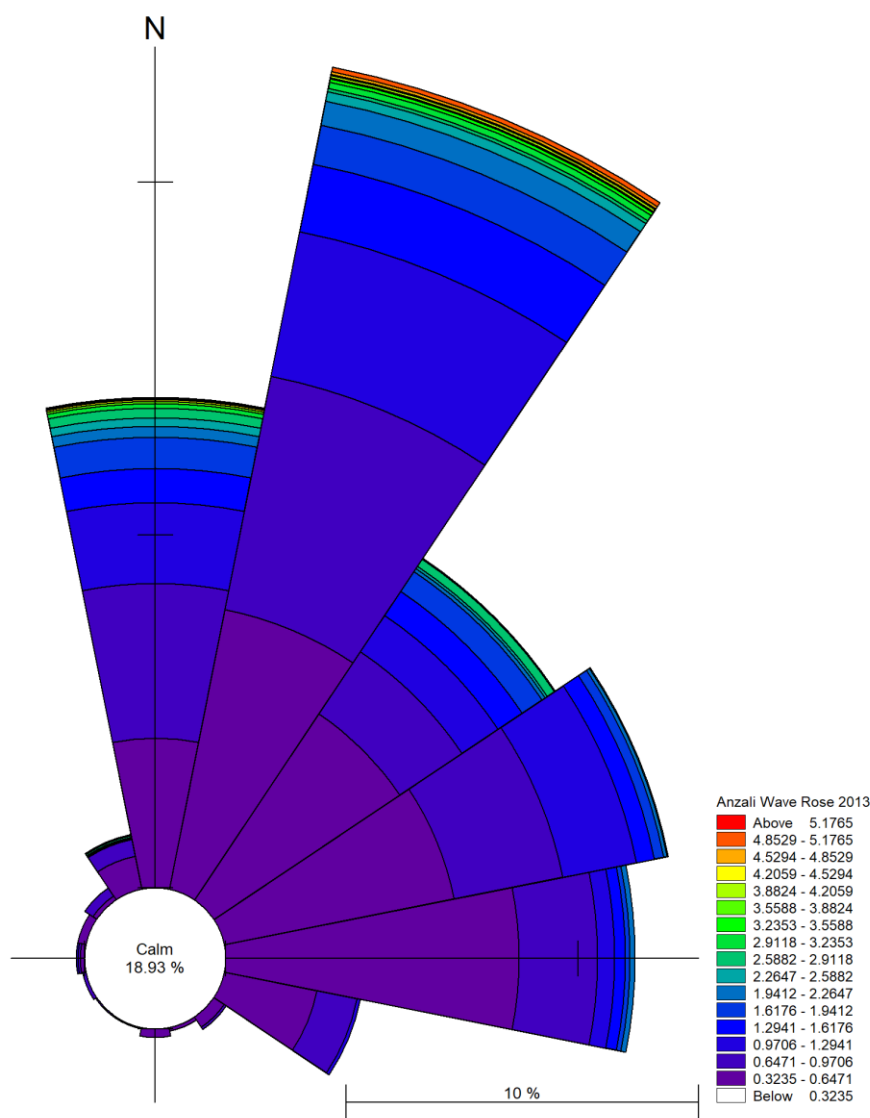


شکل ۴-۶: نمایی از دریای خزر (NASA, 2003)

موج

با توجه به محل منطقه مطالعه، شرایط جوی غالب موج ناشی از شرایط بادهای وزنده بر دریای خزر است. جهت غالب موج به دست آمده از داده های موج ثبت شده از شمال و شمال شرقی به دست آمده و ارزیابی شده است. شکل ۴-۷ گل موج به دست آمده در محدوده ساحلی بندر انزلی را نشان

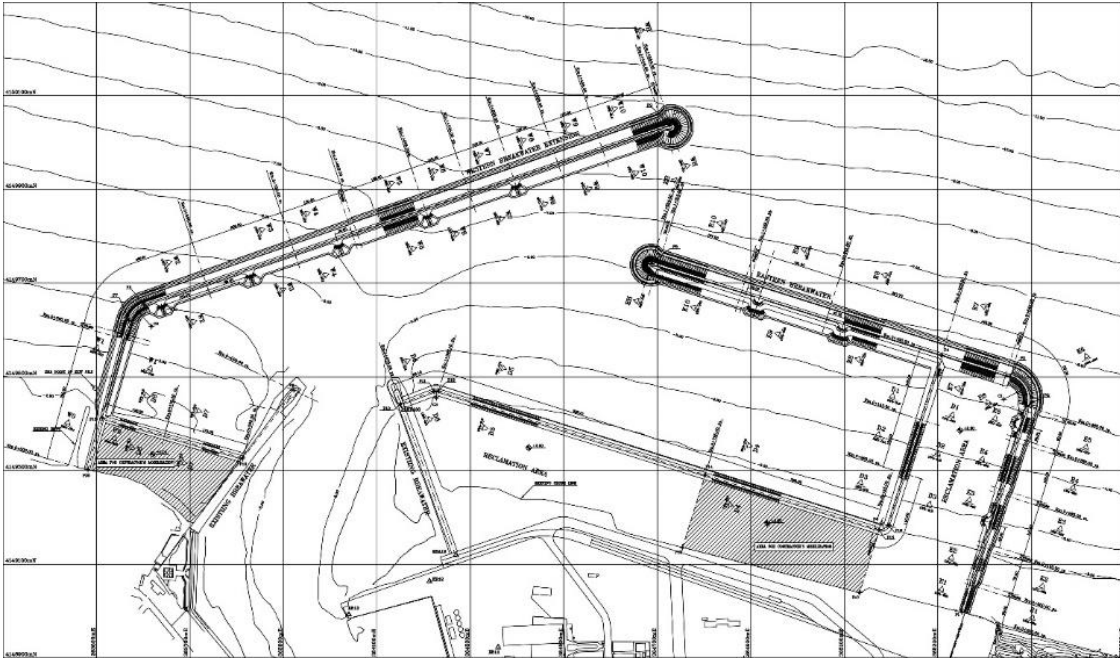
می دهد.



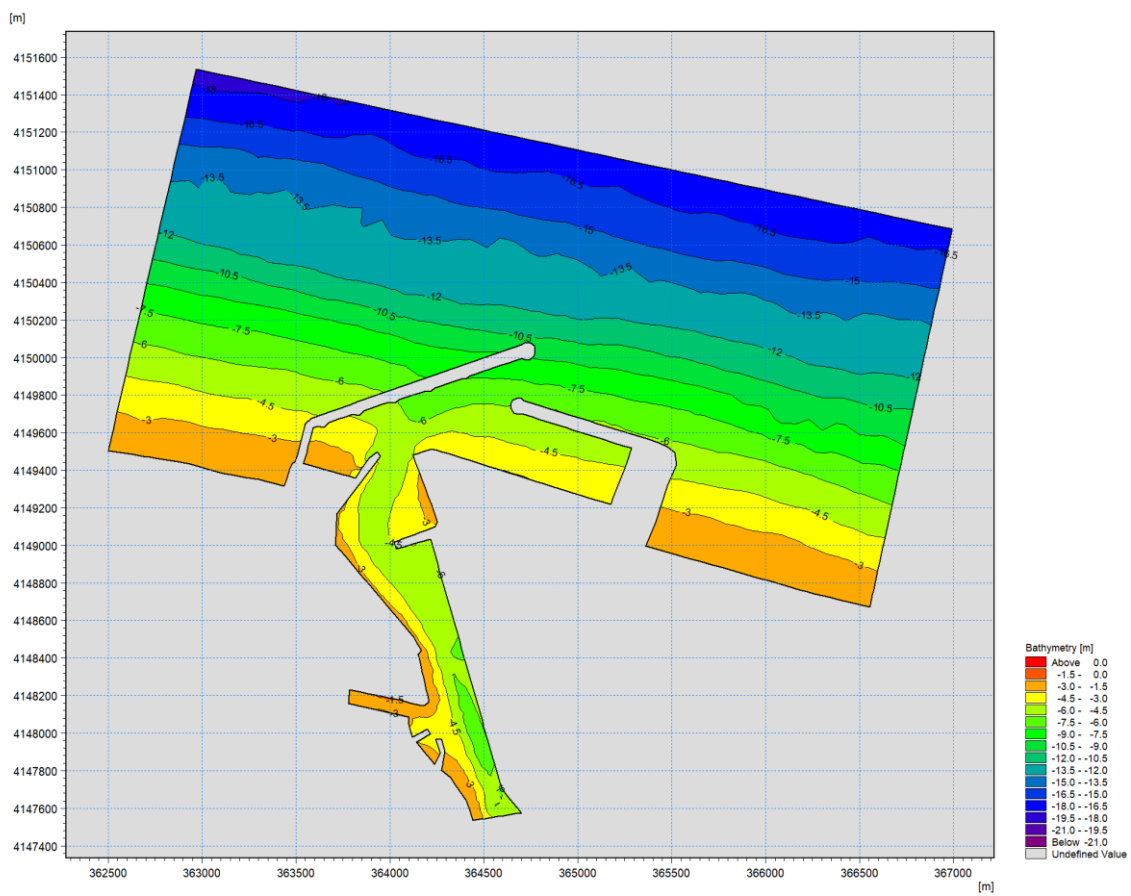
شکل ۴-۷: گل موج منطقه بندر انزلی بر اساس داده های به دست آمده

عمق سنجی

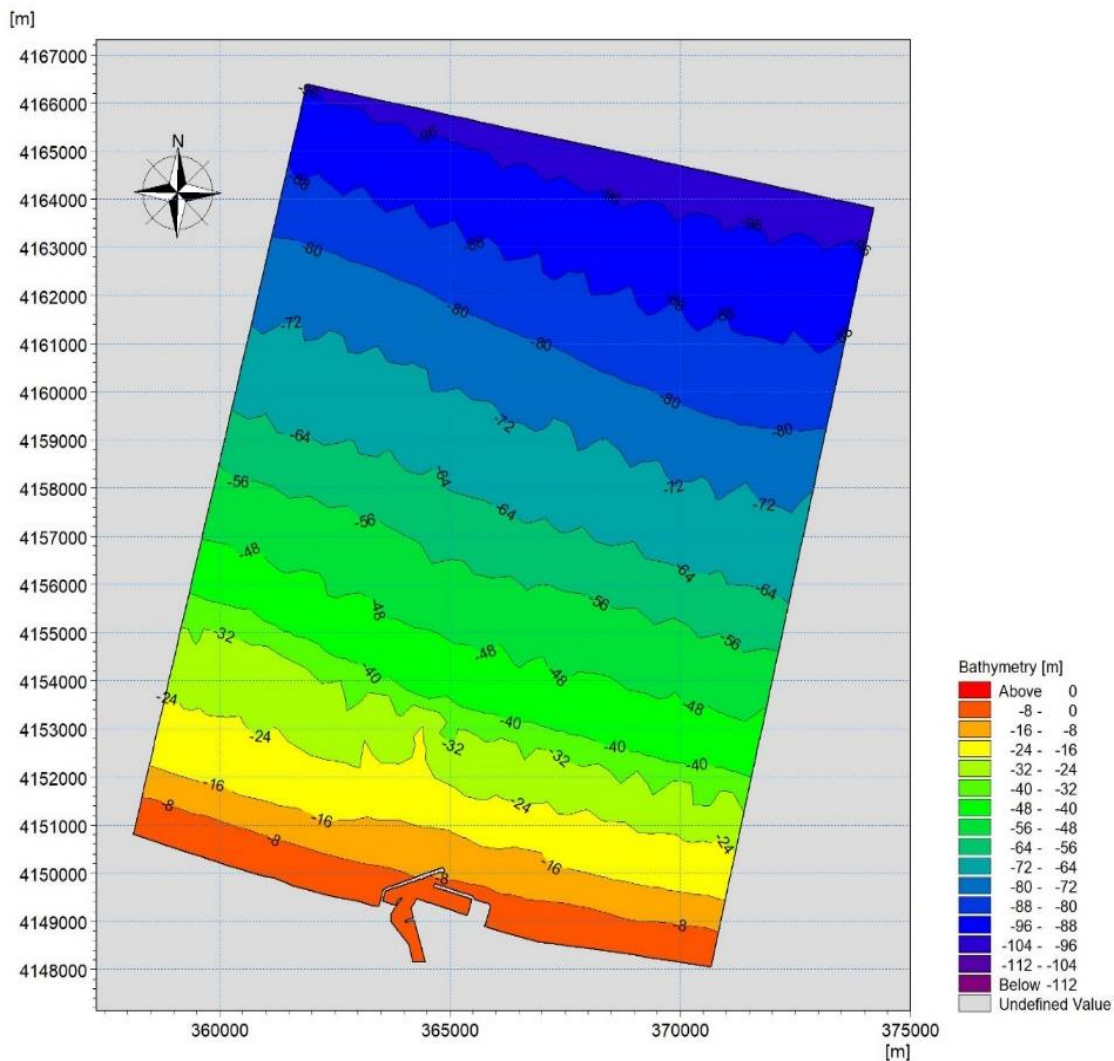
بخشی از داده های هیدروگرافی منطقه بندر انزلی که بیشتر محدود به منطقه داخلی بندر و بخشی از اطراف آن میشد از سازمان بنادر و دریا نوردی تهیه شد اما با توجه به مورد نیاز بودن محدوده گسترده تری از عمق سنجی ها، بخصوص برای ساخت مدل بزرگ مقیاس منطقه بخش دیگر داده ها از سایت مرکز داده اقیانوس شناسی بریتانیا (British Oceanographic Data Center) BODC تهیه شده اند. شکل های ۴-۸ تا ۴-۱۰ اطلاعات مربوط به عمق سنجی منطقه بندر انزلی را نشان می دهد.



شکل ۴-۸: اطلاعات مربوط به عمق سنجی در طرح توسعه بندر انزلی (سازمان بنادر و دریانوردی استان گیلان، ۱۳۹۴)

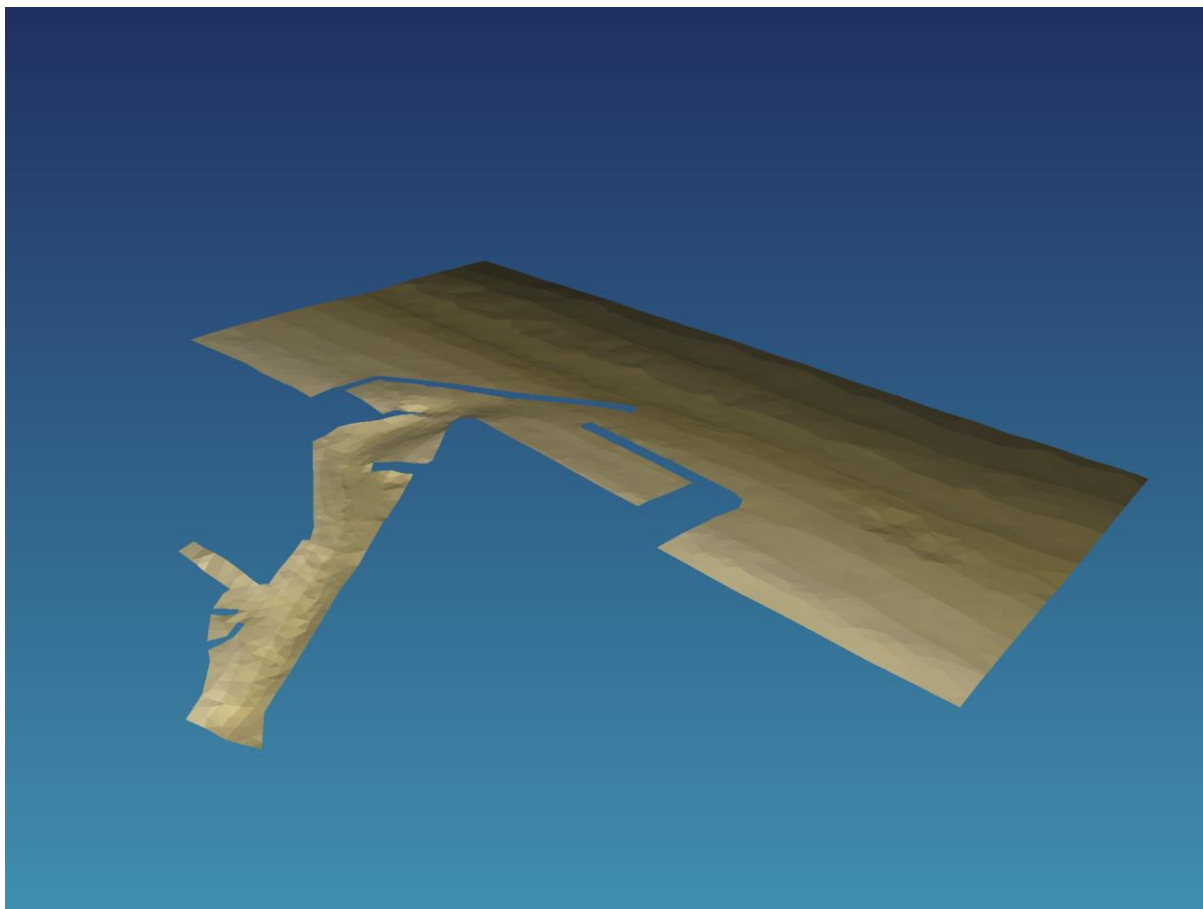


شکل ۴-۹: اطلاعات مربوط به عمق سنجی بندر انزلی مدل کوچک مقیاس



شکل ۴-۱۰: اطلاعات مربوط به عمق سنجی دور از ساحل در مدل بزرگ مقیاس بندر انزلی

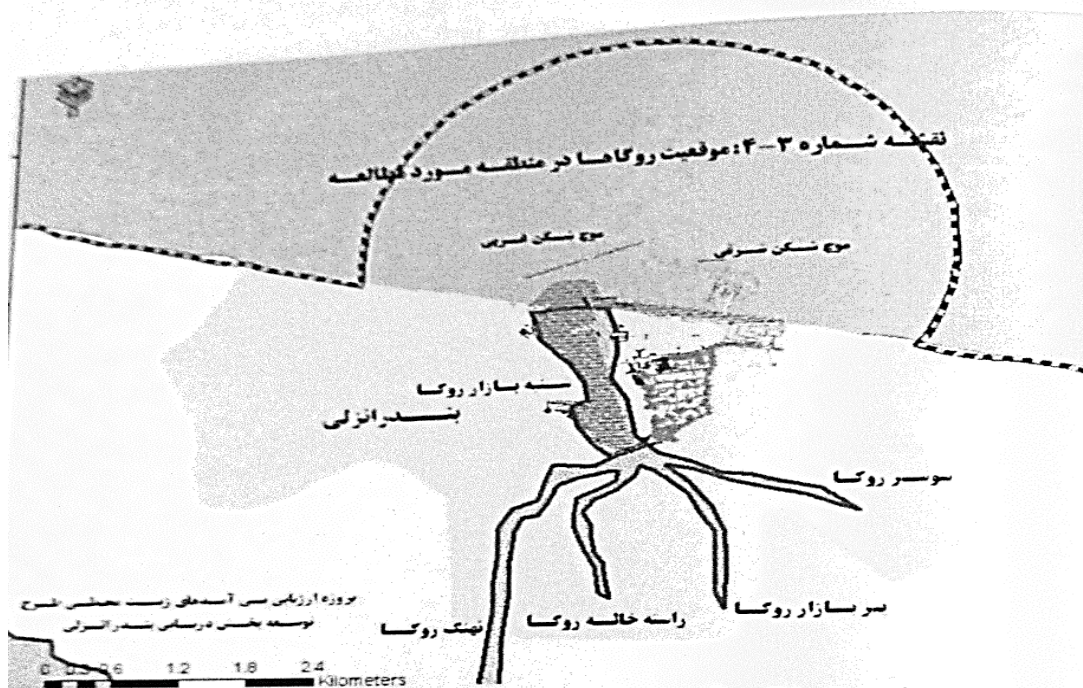
با نگاهی به تصویر هیدروگرافی منطقه بندر انزلی در مدل بزرگ مقیاس در می یابیم که شیب بستر نسبتاً زیاد است و در فاصله تقریباً یک کیلومتری از بندر، عمق بستر ۱۰۰ متر است. در ادامه تصویر مربوط به ریخت شناسی منطقه بستر بندر و دریا شبیه سازی شده و ارائه می شود (شکل ۴-۱۱).



شکل ۴-۱۱: ریخت شناسی کف بستر آبی منطقه بندر انزلی در محدوده بندر و نزدیک ساحل

۴-۲-۱-۴- رودخانه ها

در شکل ۴-۱۲ موقعیت و اسامی ۵ روگایی که به بندر متصل هستند، ارائه شده است. همچنین در جدول ۴-۱ مقادیر دبی و سایر مشخصات این رودخانه ها آورده شده است. در گذشته که اندازه کشتی ها کوچکتر بوده و عمق آب رودخانه قابل کشتیرانی بود، ایستگاه پیربازار در نزدیکی شهر رشت مقصد پهلوگیری کشتی های تجاری اروپایی بوده است. امروزه حجم رسوبات ته نشین شده در بستر رودخانه که معضل بزرگی برای تالاب و اکوسیستم منطقه به شمار می رود، اجازه کشتیرانی را به دلیل عمق نامناسب نمی دهد و فقط قایق های کوچک محلی توان تردد در این روگها را دارند.



شکل ۴-۱۲: رودخانه های منتهی به حوضچه بندر انزلی (سازمان بنادر و دریانوردی استان گیلان، ۱۳۸۷)

منشا فعلی رسوبات حوضچه بندر انزلی رسوباتی است که از تالاب توسط این رودخانه ها به محیط بندر وارد شده و سپس به دریا منتقل می شوند. قطر رسوبات ته نشین شده از این رودخانه ها کمتر از ۰,۱۷ میلیمتر است و اغلب رسوبات معلق گل و لای و رس هستند که از بستر تالاب جدا شده اند. دبی و حجم رسوبات انتقالی توسط این رودخانه ها به صورت جدول شماره ۴-۱ است.

جدول ۴-۱: دبی و حجم متوسط رسوبات انتقالی از رودخانه ها به بندر انزلی (سازمان بنادر و دریانوردی استان گیلان)

ردیف	نام رودخانه	دبی (m^3/sec)	حجم رسوبات (mg/l)
۱	سوسر روگا	۸,۷	۱۹۷,۶
۲	پیربازار روگا	۱۱,۵	۲۰۳,۳
۳	راسته خاله روگا	۵,۹	۱۹۷,۶
۴	نهنگ روگا	۴۶,۷	۱۱۷,۸
۵	شنبه بازار روگا	۱۶,۹	۲۱۰,۹

۴-۲-۲- چالش های موجود بندر انزلی

با رشد اقتصاد و رشد حمل و نقل دریایی بنادر ملزوم به همگام شدن با این رشد و توسعه هستند. نیاز به سازه های پهلوگیری بزرگتر و قوی تر، عمق آبخور بیشتر و تجهیزات جدیدتر برای تخلیه و بارگیری کالا امری ضروری است و دلیل کافی برای توسعه بندر است. انزلی به دلیل اینکه در محل مسیر روگاهای اصلی منطقه قرار گرفته است از گذشته تا کنون شاهد ته نشینی رسوبات حمل شده توسط این روگاها بوده است. همچنین امواج از سمت دریا وارد حوضچه بندر شده و فعالیت های بندر دچار مشکل شده و خسارت های زیان باری به بندر وارد کرده است. طرح توسعه ساخت موج شکن های شرقی و غربی به طول ۲۷۵۰ متر و استحصال ۴۰ هکتار بارانداز جدید که گامی موثر در راستای توسعه و افزایش ضریب ایمنی و ظرفیت بندر است، از سال ۱۳۸۸ آغاز شده است. با اطاله موج شکن های جدید ظرفیت بندر به ۱۷ میلیون تن در سال خواهد رسید. پس از اجرایی شدن طرحهای توسعه ضمن افزایش تعداد اسکله های بندر به ۲۴ پست ظرفیت پذیرش کشتیها نیز به میزان قابل توجهی افزایش خواهد یافت (سازمان بنادر و دریانوردی استان گیلان، ۱۳۹۶).

با توجه به نتایج مدلسازی محمدنژاد و حکیم زاده (۱۳۹۴) مشخص شد که بندر انزلی بعد از ساخت موج شکن های جدید از نظر آرامش داخل حوضچه، از وضعیت نسبتا قابل قبولی برخوردار است، اما رسوبگذاری داخل حوضچه و لزوم لایروبی بافاصله های زمانی کم، مشکلی برای بندرانزلی محسوب میشود. این مشکل پس از احداث موجشکنهای جدید بندر نمایان شده که پیامد آن نیاز به لایروبی های مکرر را روشن میسازد. متأسفانه تاکنون راه حلی برای مشکل رسوب داخل حوضچه بندر انزلی ارائه نشده و خود مسئولین بندر نیز اجرای طرح توسعه بندر انزلی را موفق ارزیابی نمی کنند. از این رو به طور کلی میتوان چنین بیان کرد که با توسعه بندر و اطاله بازوهای شرقی و غربی موجشکن به هدف توسعه بندر و تأمین آرامش بندر دست یافته شده است، اما همین آرامش شرایط را برای ته نشینی رسوبات معلق فراهم می نماید. در صورت عدم رفع این مشکل، بندر به صورت مداوم و در بازه های زمانی کوتاه باید از یک برنامه لایروبی مدون و منظم بهره برد. این امر جدا از بحث هزینه

بسیاری که بر بندر تحمیل می نماید، راندمان بهره برداری بندر را نیز کاهش خواهد داد (محمدنژاد و حکیم زاده، ۱۳۹۴).

۴-۳- طرح گزینه های پیشنهادی

با توجه به مشکلات جدید ایجاد شده درون بندر که ناشی از رسوبات رودخانه های عبوری از حوضچه بندر است، در این پژوهش به بررسی راه حل مشکل رسوبگذاری بندر به روش طراحی اکوسیستمی می پردازیم. در این بخش گزینه های احتمالی و روش های حل مسئله بررسی می شود. گزینه های منتخب در بخش ۴-۴ مدلسازی می شود و در نهایت پس از مقایسه کمی و کیفی طرح نهایی انتخاب می شود.

در رابطه با بندر انزلی گزینه های احتمالی قابل استفاده KSO و KSM می باشند و KSN به دلیل وجود جریان نسبی رودخانه ها به تنهایی قابل اعمال نیست. لذا ۲ گزینه برای کنترل حجم رسوبات ورودی بندر باقی می ماند که پس از بررسی مدلسازی گزینه ها آغاز می شود:

گزینه اول: افزایش سرعت جریان رودخانه ای به طوری که رسوبات قبل از ته نشین شدن از محیط بندر خارج شده و به دریا منتقل شوند. این در شکل ۴-۱۳ با استفاده از جت های افزایش دهنده سرعت جریان نشان داده شده است. طرح این گزینه احتمالی بر اساس فرضیات بوده چراکه تکنولوژی طراحی و ساخت این جت ها هنوز در کشور بکار گرفته نشده و اطلاعات دقیقی از طراحی این جت ها موجود نیست و فقط مشخصاتی مانند قطر ورودی جت، قدرت جت، دبی خروجی جت ها و... در دسترس بوده که از این اطلاعات برای ایجاد مدل ریاضی استفاده شده است.



شکل ۴-۱۳: محل های پیشنهادی جت های هدایت کننده رسوب

گزینه دوم: رسوبات وارد حوضچه بندر نشوند، یعنی کانال انحرافی برای رودخانه ها تعبیه شود تا بندر از هرگونه مشکل رسوبی در امان باشد (شکل ۴-۱۴) با توجه به اینکه موج شکن ها مانع اثر امواج و ورود رسوبات ساحلی به محیط بندر می شوند (این در نتایج اجرای مدل سناریو اول مشهود است).



شکل ۴-۱۴: کانال انحرافی پیشنهادی مسیر رودخانه

با بررسی اولیه گزینه ها این نتیجه حاصل شد که هر دو گزینه راه حل های پایداری ارائه می دهند و قابلیت به کارگیری هر دو مورد با توجه به دیدگاه بلند مدت روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم وجود دارد. لذا در بخش بعدی مدل سازی گزینه ها توسط بسته نرم افزاری MIKE 21 انجام شده تا ارزیابی های کمی و کیفی از مقایسه طرح های پیشنهاد شده با طرح موجود ارائه شده توسط سازمان بنادر صورت گیرد.

۴-۴-مدلسازی گزینه ها

در این بخش، روند شبیه‌سازی گزینه‌ها شرح داده شده است. در روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم، این مرحله سوم است. در ابتدای این بخش به معرفی بسته نرم افزاری MIKE 21 می‌پردازیم.

۴-۴-۱-معرفی نرم افزار MIKE 21 و معادلات ریاضی حاکم

در این بخش ابتدا نرم افزار MIKE 21 معرفی شده و هر یک از ماژول های دخیل در پروسه مدل سازی این طرح پروژه به طور مختصر معرفی و عملکرد آن توضیح داده می‌شود. 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 نرم افزار سیستم جامعی برای مدل کردن جریان های بندر دوبعدی است که در آنها لایه بندی جریان سیال قابل نظر باشد و در عین حال در کامپیوترهای موجود قابل اجرا است. رقم های پسوند ۲۱ از چپ به راست در واقع کاربرد این سیستم برای جریان های دوبعدی و یک لایه را بیان می کند. این مدل با دارا بودن قابلیت های گوناگون در دریافت اطلاعات ورودی در محدوده 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 های طبیعی متعددی را دارد که در زیر برخی از آنها که قابل توجه این پژوهش است، نام برده شده است:

✓ 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)

✓ 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 پروژه‌هایی نظیر ساخت بندرگاه‌ها، انتخاب روش‌های حفاظت سواحل، مدل‌های متشابه برای ناوربری و مانور کشتی‌ها، سازه‌های دور از ساحل و حتی خطوط لوله در بستر دریاها را فراهم آورد. مدل ریاضی Mike21 از ماژول‌های متعددی جهت شبیه‌سازی پدیده‌ها استفاده می‌نماید که از نظر موضوعی به موارد زیر می‌توان اشاره کرد که در این پژوهش استفاده شده است:

۱- هیدرولیک ساحلی و اقیانوس‌شناسی "Coastal Hydraulics & Oceanography"، که شامل مدل‌سازی هیدرولیک جزرومد، باد، موج‌های به وجود آمده توسط جریان‌ها، امواج طوفانی و امواج سیلاب است.

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

✓ ماژول هیدرو دینامیک (Hydrodynamic Module)

۲- مراحل رسوب بر سواحل "Sediment Processes on Coast" شامل پژوهش‌های انتقال رسوب جهت کانال‌های کشتیرانی، دهانه‌های بنادر، سواحل، اسکله‌ها و... می‌شود.

✓ ماژول انتقال مواد ماسه (Sand Transport Module)

✓ ماژول انتقال گل (Mud Transport Module)

۴-۱-۱-۴-۱- توصیف سامانه مدل‌سازی ریخت‌شناختی

سامانه مدل‌سازی ریخت‌شناختی منطقه ساحلی بر اساس ماژول‌های استاندارد MIKE 21 شناخته شده و بر اساس یک طرح یکپارچه ساده با پیشرفت زمان برای سیر تکاملی تغییرات بستر شکل گرفته است. MIKE 21 از تعدادی ماژول که به صورت ترتیبی اجرا می‌شوند تشکیل شده است. سامانه مدل‌سازی ریخت‌شناختی از اجزاء مختلفی تشکیل شده که در زیر فقط به معرفی چند ماژول بطور مختصر پرداخته شده است:

• MIKE 21 SW

مدل عددی MIKE 21 SW یک مدل نسل سوم طیفی امواج ناشی از باد است که بر پایه شبکه بندی بدون ساختار به حل معادلات جریان می پردازد این مدل رشد زوال و انتقال امواج تولید شده بوسیله باد و امواج دور از نواحی ساحلی و دور از ساحل را شبیه سازی می کند؛ برتری مدل های نسل سوم نسبت به مدل های نسل دوم و اول به دلیل حذف فرض های محدود کننده و امکان انتقال انرژی امواج کوچکتر به امواج بزرگتر اتفاق افتاده است. دو فرمول بندی مختلف در مدل MIKE 21 SW در نظر گرفته شده است:

- فرمول بندی پارامتریک جهت دار غیر درگیر

- فرمول بندی کاملاً طیفی

فرمول بندی پارامتریک جهت دار غیر درگیر بر پایه تعیین پارامترهای معادله بقای عمل موج استوار است پارامتر بندی در یک فضای متناوب با معرفی لنگرهای صفر و یک طیف رفتار موج به عنوان پارامترهای وابسته صورت می پذیرد. فرمول بندی کاملاً طیفی بر پایه معادله عمل موج استوار است در این نوع فرمول بندی فرکانس جهت مند طیف عمل موج تنها به یک متغیر وابسته است. معادلات پیوستگی پایه برای کاربردهای کوچک مقیاس در مختصات کارتیزین و برای کاربردهای بزرگ مقیاس در مختصات کروی قطبی فرمول بندی می شوند جداسازی معادلات حاکم در فضای هندسی و طیفی با استفاده از روش مرکزیت سلول اجسام محدود انجام می پذیرد. در فضای هندسی، شبکه بندی بدون ساختار اعمال می شود و انتگرال گیری زمانی با استفاده از نظریه چند گامی انجام می پذیرد در اینجا از روش صریح چند گامی برای انتشار عمل موج استفاده می شود.

لازم به ذکر است که شبیه سازی امواج ناشی از باد در آب های کم عمق و ساحلی در حال حاضر تنها با استفاده از فرمول بندی کاملاً طیفی امکان پذیر است. به همین منظور در اینجا تنها مختصری درباره معادلات حاکم بر این فرمول بندی اکتفا شده است. دینامیک امواج ثقیلی بوسیله معادله انتقال چگالی عمل موج تفسیر می شود برای مطالعات انتقال موج در مقیاس کوچک معادلات پایه در

مختصات کارتزین فرمول بندی می شود. در عین حال مختصات قطبی سه بعدی برای فرمول بندی در مقیاس های بزرگ مورد استفاده است. طیف چگالی عمل موج در طول زمان و مکان تغییر کرده و تابعی از دو پارامتر فازی موج است. پارامترهای فاز موج می توانند بردار عدد موج با مقدار K و زاویه θ باشند و یا در حالت دیگر پارامترهای فاز موج را می توان جهت امواج (θ) و یکی از فرکانس های زاویه ظاهری (σ) و یا اصلی (w) باشد، در مدل حاضر ترم های جهت امواج (θ) و فرکانس ظاهری امواج (σ) به عنوان پارامترهای فازی موج انتخاب شده اند چگالی عمل موج $N(\sigma, \theta)$ با تابع چگالی انرژی به وسیله رابطه زیر مرتبط است:

$$N = \frac{E}{\sigma} \quad (1-4)$$

برای انتشار امواج بر روی تغییرات آرام عمق و جریان رابطه بین فرکانس ظاهری زاویه σ و فرکانس زاویه واقعی (w) به وسیله رابطه خطی زیر مشخص می شود:

$$\sigma = \sqrt{(gk \tanh(kd))} = w - ku \quad (2-4)$$

در این رابطه g شتاب گرانش، d عمق آب و u بردار سرعت جریان است.

برای سرعت فازی (C) موج وابسته به جریان خواهیم داشت:

$$C = \frac{\sigma}{k} \quad (3-4)$$

و فرکانس طیف موج بین فرکانس حداکثر (σ_{max}) و فرکانس حداقل (σ_{min}) محدود است.

رابطه (4-4) معادله دوبعدی انتقال انرژی را نشان می دهد.

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\cos\theta}{c} \frac{\partial(E.C.C_g)}{\partial x} + \frac{c_g}{c} + \frac{\sin\theta}{c} \frac{\partial(E.C.C_g)}{\partial y} + \frac{C_g}{c} \left(\sin\theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos\theta \frac{\partial E}{\partial y} \right) \frac{\partial E}{\partial \theta} = 0 \quad (4-4)$$

در رابطه فوق x و y مختصات دکارتی در حالت دو بعدی هستند و بقیه پارامترها به صورت زیر تعریف می شوند:

T : زمان $E(t, x, y, f', \theta)$: طیف انرژی

f' : فرکانس امواج C_g : سرعت گروهی امواج

C: سرعت انتشار موج θ : زاویه انتشار امواج

S: عبارت چشمه وچاه است که به صورت رابطه زیر تعریف می شود:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} + S_{bot} + S_{surf} \quad (5-4)$$

که در آن ، S_{in} معرف انتقال انرژی از باد به سطح آب ، S_{nl} معرف انتقال انرژی توسط اندرکنش غیر خطی امواج ، S_{dis} معرف استهلاک انرژی موج در اثر پدیده سفیدک موج ، S_{bot} معرف استهلاک انرژی موج ناشی از اصطکاک کف و S_{surf} معرف استهلاک انرژی موج ناشی از شکست موج در ناحیه آب کم عمق است.

در مدل SW اثر شکست موج طبق مدل (Battjes and Janssen) به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$S_{surf}(\sigma, \theta) = - \frac{\alpha B_b \bar{\sigma} H_m}{8\pi} \frac{E(\sigma, \theta)}{E_{tot}} \quad (6-4)$$

در رابطه فوق ، α ضریب ثابت است که از کالیبراسیون معادله بدست می آید و B_b ضریب کنترل کننده نرخ انتشار ، $\bar{\sigma}$ فرکانس متوسط ، E_{tot} کل انرژی موج ، H_m ماکزیمم ارتفاع موج و d عمق آب می باشد.

مدل SW اطلاعات باد و موج را دریافت کرده و با اعمال ضرایب مناسب اثر وزش باد و تشکیل جریان های ناشی از آن را شبیه سازی می کند نتیجه این مدل محاسبه تنش تشعشی ناشی از امواج می باشد که در رابطه های (4-7) تا (4-9) آورده شده است .

$$S_{xx} = \frac{1}{2} g (f_{u2} + f_{pp}) \quad (7-4)$$

$$S_{yy} = \frac{1}{2} g (f_{n2} + f_{pp}) \quad (8-4)$$

$$S_{xy} = \frac{1}{2} g (f_{un}) \quad (9-4)$$

S_{xy} ، S_{yy} ، S_{xx} تنش های تشعشی در جهات مختلف می باشند و بقیه پارامترها عبارتند از:

$$f_{pp} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right] \sqrt{E(f', \theta)} dfd\theta \quad (10-4)$$

$$(11-4)$$

$$f_{u2} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \cos^2 \left[\frac{3\pi}{2} - \theta \right] \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right] E(f', \theta) dfd\theta$$

$$f_{un} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \cos \left[\frac{3\pi}{2} - \theta \right] \sin \left[\frac{3\pi}{2} - \theta \right] \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right] E(f', \theta) dfd\theta \quad (12-4)$$

$$f_{n2} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \sin^2 \left[\frac{3\pi}{2} - \theta \right] \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right] E(f', \theta) dfd\theta \quad (13-4)$$

θ زاویه انتشار موج ، f' فرکانس موج ، d عمق آب ، $E(f, \theta)$ طیف دو بعدی انرژی موج و k عدد موج می باشد که برابر $\frac{2\pi}{L}$ است ، L نیز طول موج می باشد .

• MIKE 21 HD (DHI. 1997 a)

یک ماژول هیدرو دینامیک می باشد که زمینه جریان را از طریق حل معادله پیوستگی و معادلات اندازه حرکت محاسبه می کند. علاوه بر باد و جزر و مد ، عوامل تاثیر گذار ممکن است شامل گرادیان هایی در زمینه تنش شعاعی ، همانطور که به وسیله ماژول موج در سامانه مدل سازی ریخت شناختی محاسبه شده است، جریان ها و سطح متوسط آب روی بستری که با یک نرخ ثابت نمو می یابد محاسبه می شوند. ماژول انتقال رسوب نیز از همین روش استفاده می کند .

ماژول انتقال رسوب براساس معادلات نایور ، استوکس به صورت زیر پایه ریزی شده است :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (14-4)$$

که در این رابطه S نرخ تغییرات منبع رسوب است و u و v و w به ترتیب سرعت جریان در جهات x و y و z می باشند .

برای جهت x می توان رابطه زیر را نوشت :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} - \frac{\partial pa}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \quad (15-4)$$

و برای جهت y رابطه (16-4) برقرار است :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wu}{\partial z} = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} - \frac{\partial pa}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \quad (16-4)$$

در کلیه روابط فوق، t زمان، η سطح آب، d عمق آب، h کل عمق آب برابر $f(\eta + d)$ پارامتر کوریولیس و برابر $(2\phi \sin F)$ که در آن ϕ پارامتر چرخش و F زاویه چرخش زمین هستند، g شتاب ثقل، ρ دانسیته آب، V_t سرعت گرداب، P_a فشار اتمسفر، ρ_0 دانسیته منبع آب و S_{xx} ، S_{xy} ، S_{yx} ، S_{yy} تنش های تشعشعی در جهات مختلف هستند.

F_u و F_v نیز از روابط زیر بدست می آیند:

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left[2A \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (17-4)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left[A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2A \frac{\partial v}{\partial y} \right] \quad (18-4)$$

که در آن A ویسکوزیته گردابی است.

• MIKE 21 ST (DHI, 1997 b)

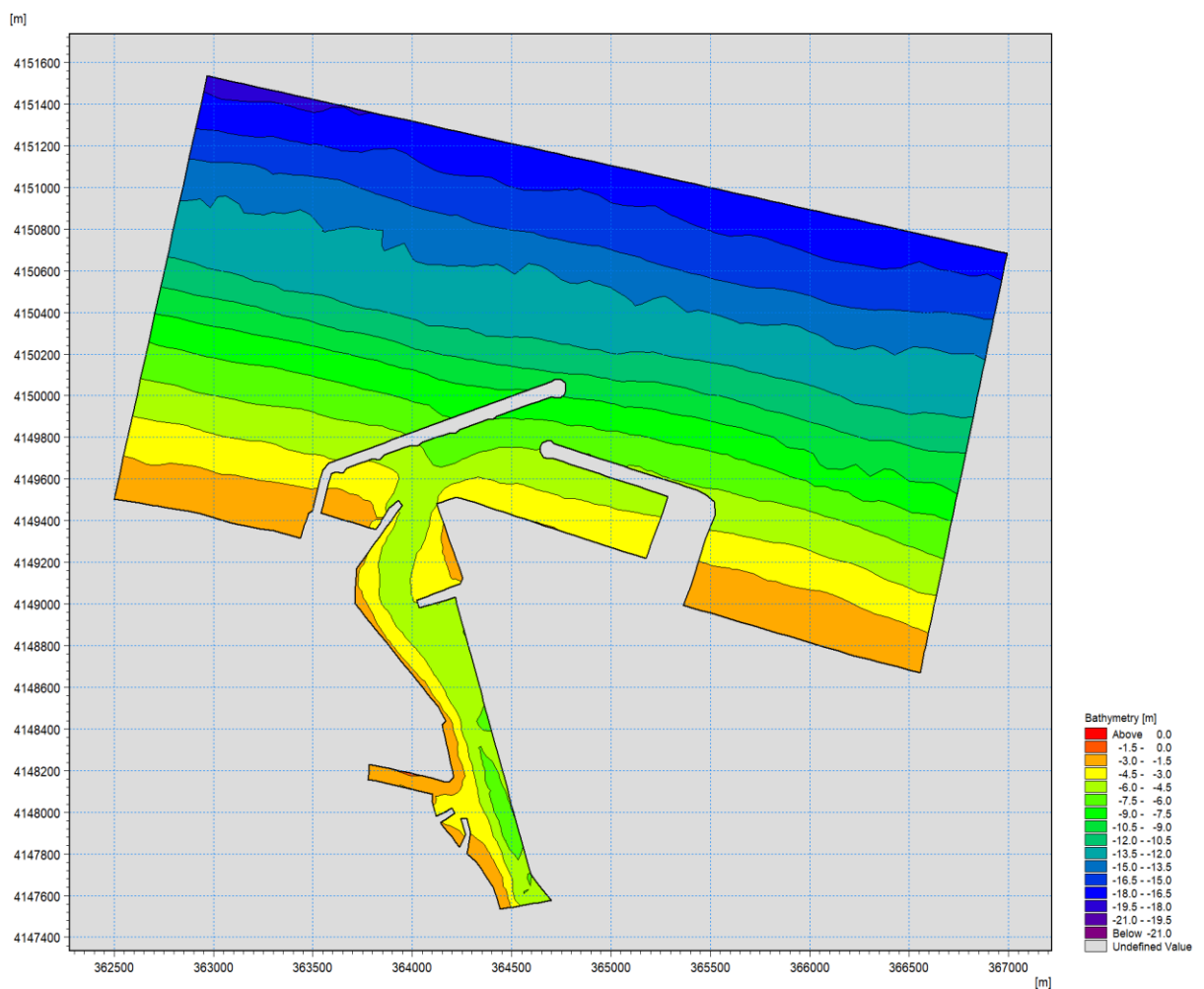
یک ماژول انتقال رسوب غیر چسبنده می باشد که برای محاسبه نرخ های انتقال رسوبات دانه بندی شده و نرخ های اولیه تغییرات سطح بستر تحت عملکرد ترکیبی موج و جریان به کار می رود. در نرم افزار موجود در مدل هایی که از شبکه بندی مثلثی استفاده می کنند به جای استفاده از عدد کورانت، از مفهوم اصلاح شده آن به عنوان عدد کورانت-فردریش-لوی که به اختصار CFL نشان داده شده برای بیان شرایط پایداری در معادلات آب های کم عمق استفاده می شود. رابطه مربوط به عدد CFL به صورت زیر بیان می شود:

$$CFL_{HD} = (\sqrt{gh} + |u|) \frac{\Delta t}{\Delta x} + (\sqrt{gh} + |v|) \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad (19-4)$$

در این رابطه h عمق آب، u و v پارامترهای سرعت در جهت های x و y ، g شتاب جاذبه، Δx مقیاس طول مشخصه برای یک المان و Δt گام زمانی است. مقیاس طول مشخصه طول کوچک ترین لبه در هر المان تقریب زده می شود. همچنین عمق آب و سرعت ها در مرکز المان محاسبه می شوند. در رابطه اخیر تا زمانی پایداری مدل به خطر نمی افتد که عدد CFL کمتر از یک باشد.

۴-۲-۴-مدلسازی بندر انزلی

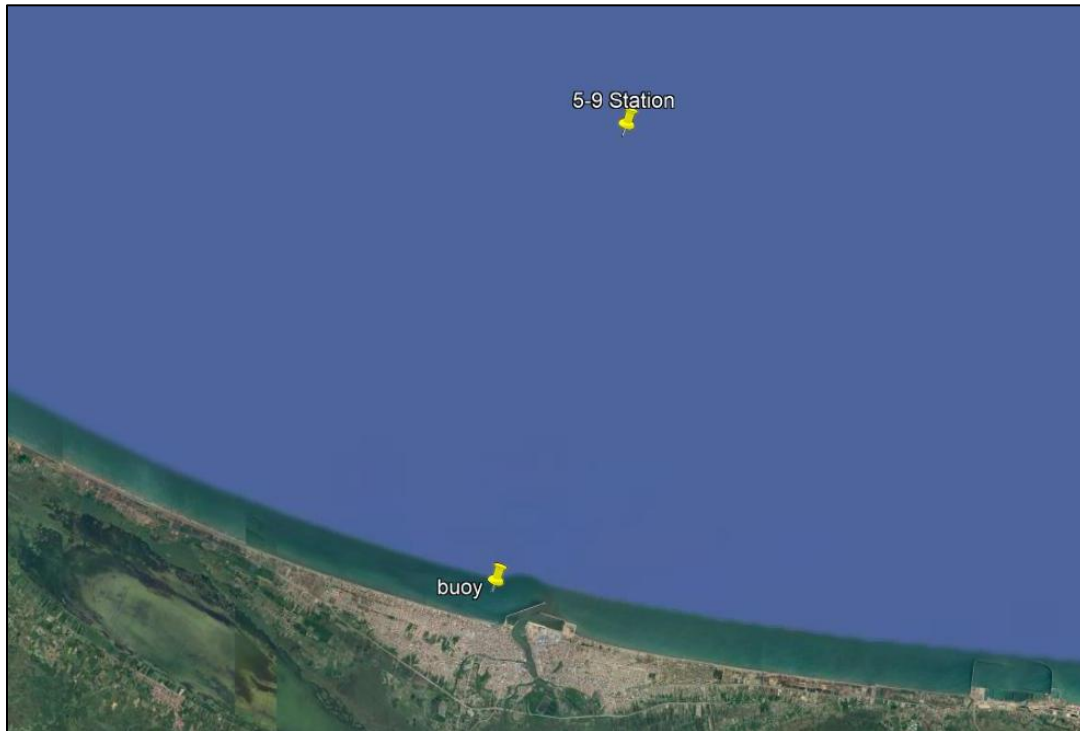
منطقه تحت مطالعه دارای مساحت ۸ کیلومتر مربع (۴ کیلومتر طول و ۲ کیلومتر عرض) می باشد. محدوده مدل از طول جغرافیایی $49,444,814^{\circ}$ و عرض جغرافیایی $37,482,216^{\circ}$ (گوشه سمت چپ و پایین) تا طول جغرافیایی $49,495,403^{\circ}$ و عرض جغرافیایی $37,493,497^{\circ}$ (گوشه سمت راست و بالا) را شامل می شود. در شکل ۴-۱۵ عمق سنجی ناحیه نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۵: تصویر عمق سنجی منطقه تحت مطالعه

داده های موج و باد از بویه مربوط به سال ۲۰۱۳ است که موقعیت مکانی آن طول جغرافیایی $49,500,000^{\circ}$ و عرض جغرافیایی $37,625,000^{\circ}$ و در فاصله ۱۵ کیلومتری از بندر و در شمال آن قرار دارد، تهیه شده است. همچنین از داده های بویه نزدیک تری به بندر که در طول جغرافیایی

۴۹,۴۵۱۴۳۴° و عرض جغرافیایی ۳۷,۴۹۰۵۳۹° واقع شده است برای صحت سنجی در مدل استفاده شده است. این بویه دارای فاصله تقریبی ۱,۵ کیلومتری از بندر می باشد و محل جانمایی آن در غرب موج شکن غربی بندر انزلی می باشد. در شکل ۴-۱۶ محل جانمایی بویه ها مشخص شده است.



شکل ۴-۱۶: جانمایی بویه های ثبت باد و موج بندر انزلی

از اطلاعات بدست آمده با همکاری سازمان بنادر و دریانوردی از این مرحله برای ساخت مدل اصلی و صحت سنجی آن استفاده شده است. اطلاعات موج و باد تهیه شده برای مدلسازی مربوط به اول آذر ۱۳۹۲ (۲۲ نوامبر ۲۰۱۳) می باشد که به مدت ۴ ماه و در بازه زمانی هر سه ساعت (۱۰۸۰۰ ثانیه) برداشت شده است در نتیجه تاریخ پایان برداشت برابر با اول فروردین ۱۳۹۳ (۲۱ مارس ۲۰۱۳) می باشد.

پیش از شروع مدلسازی ابتدا نیاز به تحلیل حساسیت مدل و ایجاد شبکه محاسباتی داریم تا از صحت کیفیت نتایج خروجی مدلسازی اطمینان حاصل کنیم.

۴-۲-۱- تحلیل حساسیت مدل

معمولاً برای صحت سنجی مدل های عددی، مدل ساخته شده با توجه به اطلاعات موجود برای یک دوره زمانی تهیه و اجرا شده و پس از تحلیل حساسیت پارامتر های مختلف آن و نزدیک شدن نتایج حاصل شده به واقعیت، مدل برای دوره زمانی دیگر اجرا و نتایج حاصل با اطلاعات میدانی موجود در آن دوره مقایسه و دقت یا عدم دقت مدل تعیین می شود. در پژوهش حاضر با توجه به کمبود اطلاعات میدانی مناسب، برای کالیبراسیون مدل ساخته شده، استفاده از کلیه داده های در دسترس در این زمینه مورد توجه بوده و در نزدیک کردن مدل ساخته شده به واقعیت، تحلیل حساسیت پارامتر های موثر در محدوده مجاز نرم افزار با سعی و خطا مد نظر قرار گرفته است. در واقع هدف اصلی در این بخش بدست آوردن پارامتر های لازم برای مدل سازی با اعتماد قابل قبول بوده است. با توجه به اینکه اندازه شبکه محاسباتی نامناسب می تواند باعث تغییرات زیادی در نتایج بدست آمده شود، لذا این پارامتر از جمله پارامتر های مهمی می باشند که نقش کلیدی جهت نزدیک شدن به نتایج واقعی را ایفا می کند.

۴-۲-۲- اندازه شبکه محاسباتی

یکی از مراحل مهم در مدل سازی های عددی یافتن شبکه های بهینه می باشد. چنانچه با تغییر اندازه شبکه، نتایج حاصل تغییر کند، مسلماً انتخاب شبکه اشتباه بوده است، زیرا نتایج باید مستقل از شبکه ای انتخابی باشند. بنابراین یک شبکه بهینه، بزرگترین شبکه ای می باشد که در شبکه ای کوچکتر از آن، نتایج حاصله تغییر نکنند. در فرایند مدل سازی این پروژه به منظور تعیین شبکه بهینه، پنج نوع شبکه بندی مختلف با استفاده از تکنیک ریچاردسون انتخاب گردید و پس از اجرای مدل ها، پارامتر ارتفاع موج به عنوان پارامتر مبنا جهت کالیبراسیون مدل در نظر گرفته شد. ویژگی های این شبکه ها به شرح زیر می باشند و نیز ارتفاع امواج با توجه به شبکه های انتخاب شده در جدول ۴-۲ نشان داده شده است:

۱- مساحت شبکه های نامنظم مثلثی در قسمت دور از ساحل ۹۶۰,۰۰۰ متر مربع و در قسمت های نزدیک به موج شکن حداکثر ۴۸۶,۰۰۰ متر مربع و در ناحیه بندر ۱۹۲,۰۰۰ مترمربع انتخاب شده است.

۲- مساحت شبکه های نامنظم مثلثی در قسمت دور از ساحل ۴۸۰,۰۰۰ متر مربع و در قسمت های نزدیک به موج شکن حداکثر ۲۴۳,۰۰۰ متر مربع و در ناحیه بندر ۹۶,۰۰۰ متر مربع انتخاب شده است.

۳- مساحت شبکه های نامنظم مثلثی در قسمت دور از ساحل ۱۲۰,۰۰۰ مترمربع و در قسمت های نزدیک به موج شکن حداکثر ۶۰,۰۰۰ متر مربع و در ناحیه بندر ۲۴,۰۰۰ متر مربع انتخاب شده است.

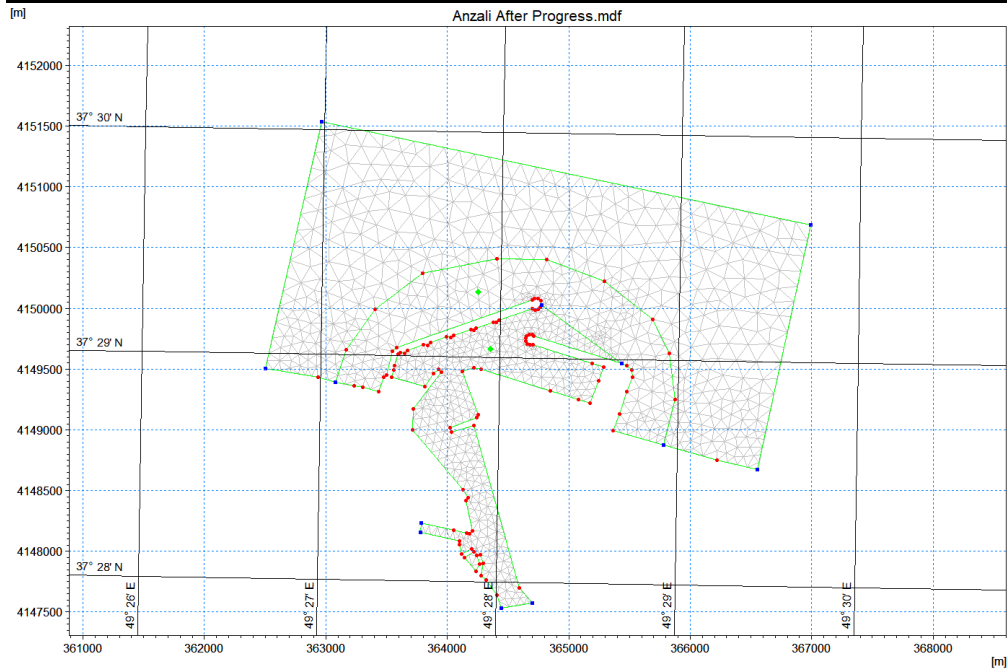
۴- مساحت شبکه های نامنظم مثلثی در قسمت دور از ساحل ۱۵,۰۰۰ متر مربع و در قسمت های نزدیک به موج شکن حداکثر ۷,۶۰۰ متر مربع و در ناحیه بندر ۳,۰۰۰ متر مربع انتخاب شده است.

۵- مساحت شبکه های نامنظم مثلثی در قسمت دور از ساحل ۹۳۰ متر مربع و در قسمت های نزدیک به موج شکن حداکثر ۴۷۰ متر مربع و در ناحیه بندر ۱۸۰ متر مربع انتخاب شده است.

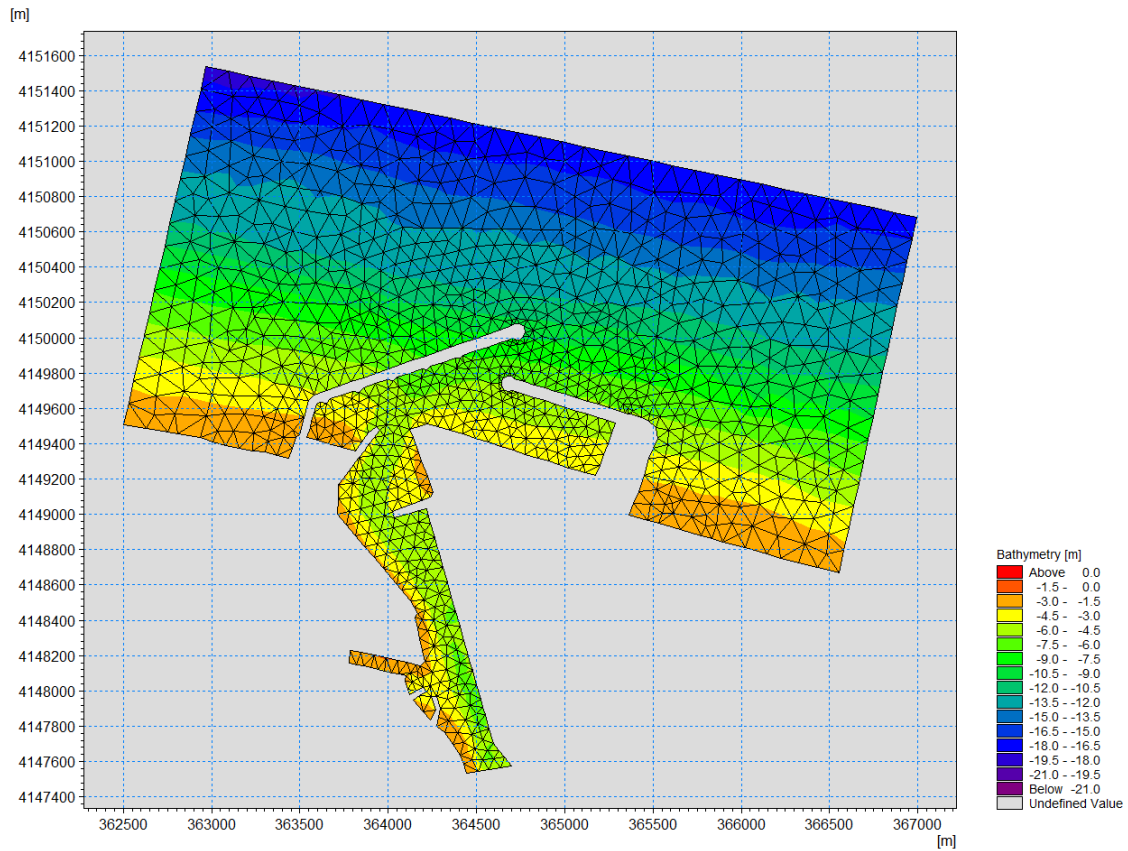
کلیه پارامترها در مرحله تعیین شبکه بهینه ثابت فرض شده اند و برای هر شبکه بندی پس از اجرای مدل، پارامتر ارتفاع موج مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت شبکه بندی شماره ۴ به عنوان شبکه بهینه با درصد خطای ۲,۶۳٪، با توجه به جدول ۲-۴ مورد انتخاب قرار گرفت. شکل ۴-۱۷ مرزبندی و ۴-۱۸ شبکه بهینه انتخاب شده در ناحیه منطقه بندر انزلی را نشان می دهد.

جدول ۴-۲: ارتفاع موج حاصل شده بر اساس شبکه بندی های مختلف

درصد خطا نسبت به شبکه بندی بعدی	ارتفاع متوسط موج (m)	مختصات جغرافیایی نقطه مورد نظر		شماره شبکه
		عرض	طول	
٪۱۵,۴۶	۰,۹۲۳۹	۳۷,۴۹۰۵۳۹	۴۹,۴۵۱۴۳۴	۱
٪۷,۴۴	۰,۷۶۹۳	۳۷,۴۹۰۵۳۹	۴۹,۴۵۱۴۳۴	۲
٪۳,۳۴	۰,۶۹۶۹	۳۷,۴۹۰۵۳۹	۴۹,۴۵۱۴۳۴	۳
٪۲,۶۳	۰,۶۶۴۵	۳۷,۴۹۰۵۳۹	۴۹,۴۵۱۴۳۴	۴
---	۰,۶۳۸۲	۳۷,۴۹۰۵۳۹	۴۹,۴۵۱۴۳۴	۵

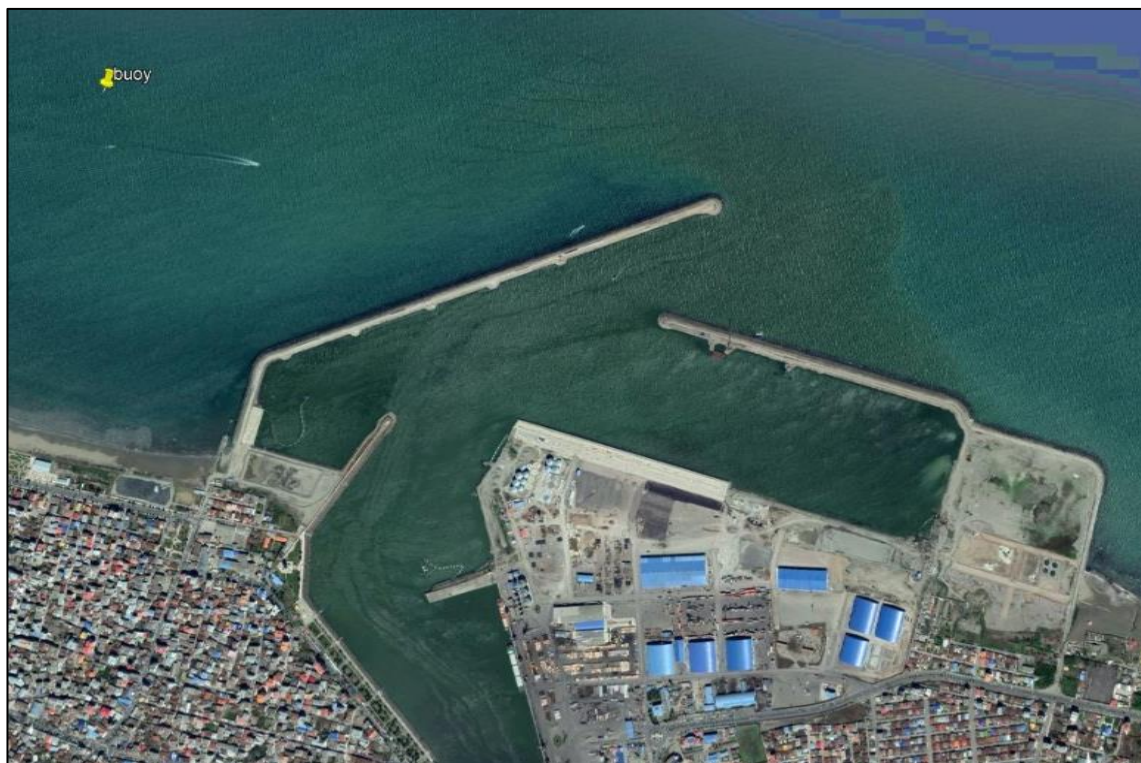


شکل ۴-۱۷: مرزبندی ایجاد شده برای انتخاب شبکه بهینه برای محل مورد مطالعه

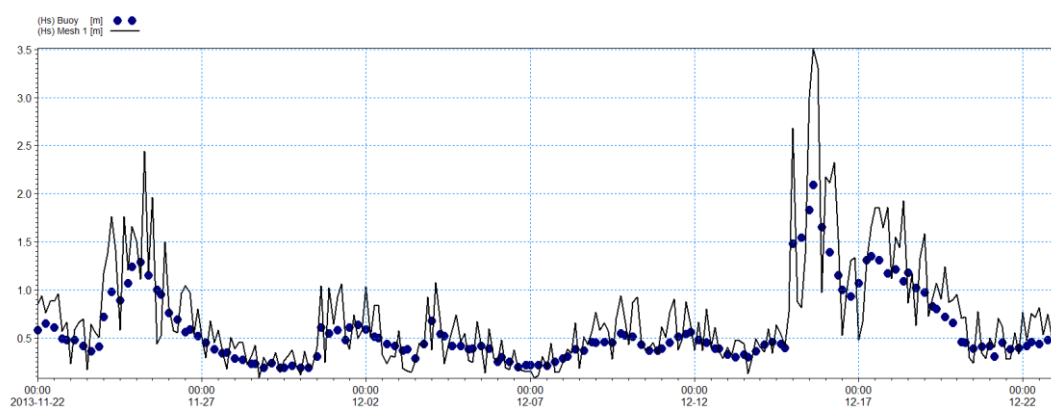


شکل ۴-۱۸۱۸: شبکه بندی بهینه ی انتخاب شده برای منطقه تحت مطالعه

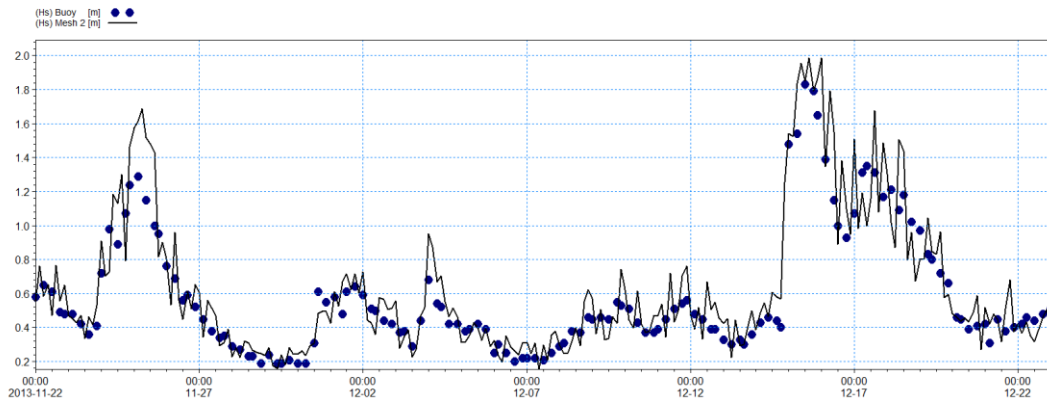
در شکل ۴-۱۹ محل برداشت ارتفاع امواج نشان داده شده و در شکل های ۴-۲۰ تا ۴-۲۳ مقایسه ارتفاع موج برداشت شده و محاسبه شده بر اساس اندازه مش ها نشان داده شده است.



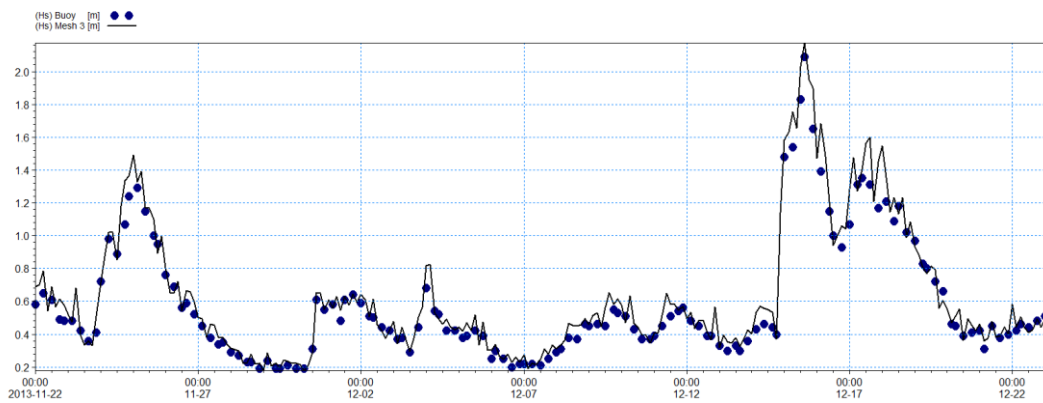
شکل ۴-۱۹: محل برداشت و مقایسه ارتفاع امواج



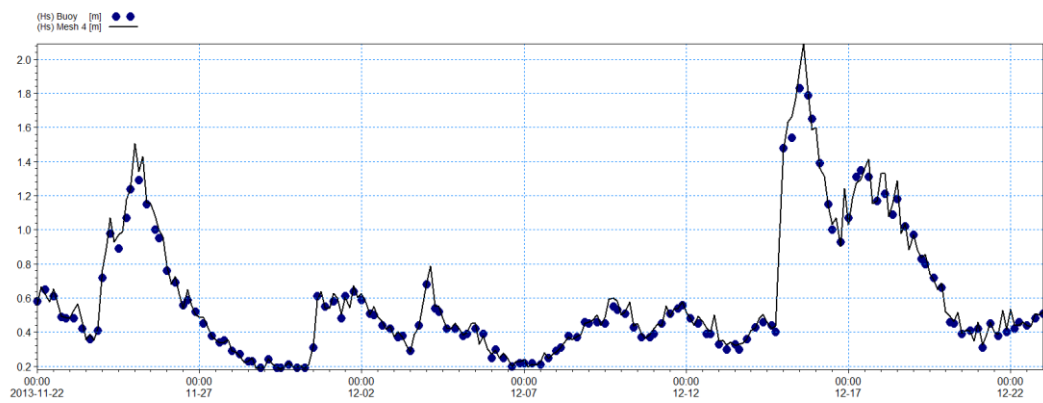
شکل ۴-۱۹: مقایسه ارتفاع موج برداشت شده و محاسبه شده بر اساس اندازه مش اول



شکل ۴-۲۰: مقایسه ارتفاع موج برداشت شده و محاسبه شده بر اساس اندازه مش دوم



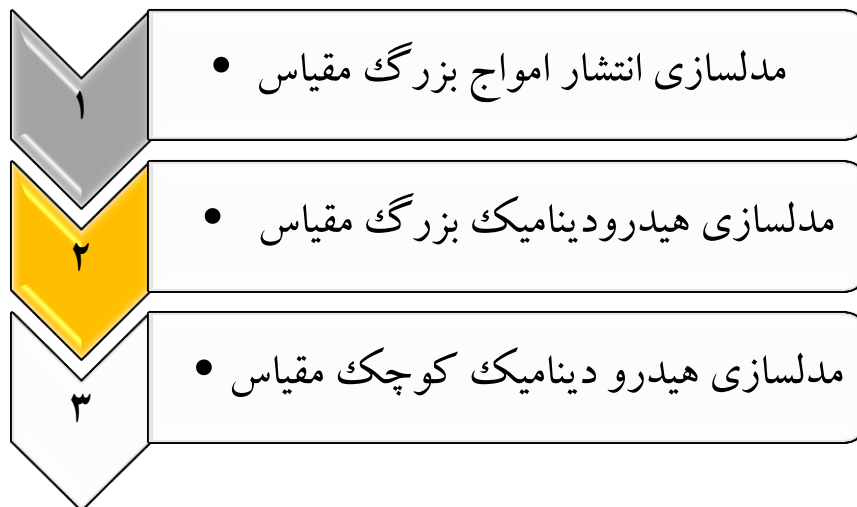
شکل ۴-۲۱: مقایسه ارتفاع موج برداشت شده و محاسبه شده بر اساس اندازه مش سوم



شکل ۴-۲۲: مقایسه ارتفاع موج برداشت شده و محاسبه شده بر اساس اندازه مش چهارم

۴-۴-۲-۳- مراحل مدل‌سازی

الگوریتم کلی مدل‌سازی در این مطالعه در شکل (۴-۲۴) نمایش داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، با استفاده از داده‌های تهیه شده در مراحل قبل مدل انتشار موج بزرگ مقیاس (Global Spectral Waves) ساخته می‌شود و نتایج حاصل از مدل انتشار موج بعنوان ورودی به مدل بزرگ مقیاس هیدرودینامیک معرفی می‌شود. پس از اجرای مدل هیدرودینامیک و تعیین مشخصات جریان، تغییرات سرعت و جهت جریان و نیز تغییرات تراز سطح آب برای مرزهای مدل کوچک مقیاس، با ترکیب خروجی‌های بدست آمده از این مرحله و مرحله قبل مدل هیدرودینامیک کوچک مقیاس برای سناریوهای مورد نظر اجرا شده و سرعت جریان آب و انتشار و حرکت رسوبات همراه با سایر ویژگی‌های موجود مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۴-۲۳: الگوریتم کلی مدل‌سازی، از نظر ترتیب اجرای ماژول‌های مختلف

لازم به ذکر است چون وجود تعداد زیاد مرز در مدل برای وجود رودخانه‌ها باعث ناپایدار کردن مدل می‌شود لذا ۴ رودخانه سوسر روگا، پیربازار روگا، راسته خاله روگا و نهنگ روگا که در نهایت در یک نقطه به یکدیگر میرسند بصورت یک مرز که دارای مشخصات مجموع تمام این رودخانه‌ها است برای مدل تعریف شده است.

۴-۲-۴- کالیبراسیون و صحت سنجی مدل

قبل از اجرای نهایی مدل هیدرودینامیکی به منظور دست یابی به همسانی هرچه بیشتر نتایج شبیه سازی با اطلاعات میدانی و یافته های منطقه‌ای، کالیبراسیون (واسنجی) مدل ضروری خواهد بود. اصولاً کالیبراسیون و صحت سنجی مدل ها بر اساس مقایسه سری زمانی تغییرات سطح آب و یا سرعت جریان بدست آمده از مدل عددی با اندازه گیری های میدانی در یک منطقه و در یک زمان مشابه، صورت می گیرد. در واقع هدف از کالیبراسیون مدل ، نزدیک شدن هرچه بیشتر نتایج تخمینی با اندازه گیری های میدانی است. پارامتری که در مدل منطقه انزلی ، برای کالیبراسیون مورد استفاده قرار گرفت، معکوس ضریب مانینگ می باشد. برای مدل MIKE21 ضریب زبری بستر که به صورت ضریب مانینگ یا ضریب شزی در مدل معرفی می شود، به عنوان عاملی جهت تعیین میزان اثر گذاری اصطکاک کف بر الگوی جریان در معادلات شبیه سازی پیش بینی شده اند. این ضرایب که در حقیقت عکس مانینگ و عدد شزی هستند، به صورت یک عدد ثابت برای تمامی سطح مدل یا به صورت یک ماتریس دو بعدی در سطح مدل قابل تعریف می باشند ، البته در شبیه سازی از یکی از این ضرایب که با رابطه (۴-۲۰) به یکدیگر مرتبط می شوند، استفاده می شود.

$$C = Mh^{1/6} \quad (4-20)$$

در رابطه بالا ، M ضریب مانینگ، C ضریب شزی و h عمق آب می باشند. مقادیر توصیه شده برای عدد مانینگ در حدود $\frac{m^{1/3}}{s} 20 \sim 40$ و عدد شزی در حدود $\frac{m^{1/3}}{s} 30 \sim 50$ است. با توجه به اینکه استفاده از عدد مانینگ در شرایطی که تغییرات عمق مدل زیاد باشد ، بیشتر کاربرد دارد ، این ضریب در مدلسازی ناحیه منطقه بندر انزلی مورد توجه بوده و مقدار آن برابر با ۳۵ بدست آمده که بیانگر قابل اعتماد بودن نتایج حاصل از مدل سازی است.

لازم به ذکر است که بازه زمانی انتخاب شده برای کل کالیبراسیون و صحت سنجی مدل، داده های یک ماهه تهیه شده از سازمان بنادر بوده است. در واقع به دلیل محدودیت وجود داده های بویه شماره

۲ نزدیک ساحل، برای مراحل کالیبراسیون و صحت سنجی با کمک داده های مربوط به بویه شماره ۱ از تاریخ ۲۰۱۳/۱۱/۲۲ تا ۲۰۱۳/۱۲/۲۲ برای کالیبراسیون استفاده شده و برای صحت سنجی از داده های همان زمان از بویه شماره ۲ استفاده شده است. یعنی داده های مربوط به بویه شماره ۱ به مدل داده شده و بر اساس مقایسه سری زمانی ارتفاع سطح آب خروجی مدل با داده های اندازه گیری شده بویه شماره ۱ پارامتر کالیبره شده که ضریب مانینگ است، به دست می آید.

همانگونه که مشاهده می شود با ضریب مقاومت بستر ۳۵ داده های مدلسازی و مشاهداتی دارای بیشترین همپوشانی و دقت در مقایسه با سایر ضرایب را دارا است. در جداول ۳-۴ و ۴-۴ ضرایب کالیبراسیون مدل های نهایی موج و جریان نشان داده شده است.

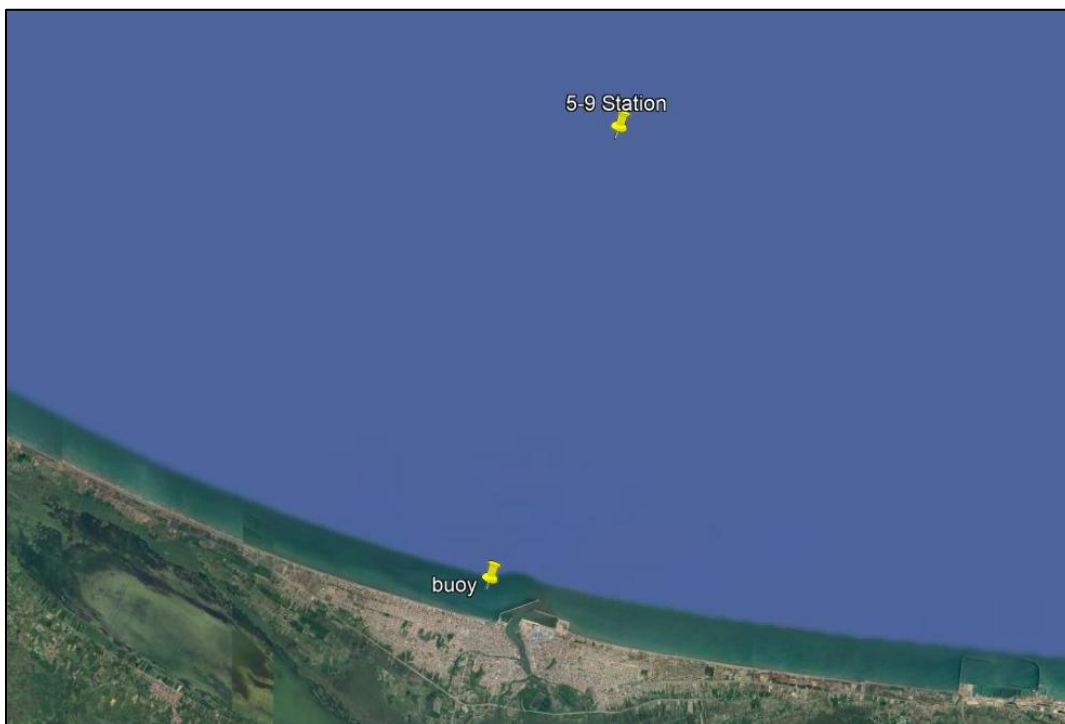
جدول ۴-۲: ضرایب کالیبراسیون مدل نهایی موج

مدل موج	پارامتر کالیبراسیون	ردیف
$K_n=0.01 \text{ m}$	ضریب زبری کف	۱
$\alpha=0.018$	ضریب اصطکاک باد	۲
$\gamma=0.78$	ضریب شکست موج	۳
$C_{dis}=4.6$	White Capping برای ارتفاع موج	۴
$\delta=0.48$	White Capping برای پرپود موج	۵

جدول ۴-۳: ضرایب کالیبراسیون مدل نهایی جریان

مدل جریان	پارامتر کالیبراسیون	ردیف
35	ضریب زبری $1/n$ ($\text{m}^{1/3}/\text{Sec}$)	۱
0.001255	ضریب اصطکاک باد	۲
0.28	ویسکوزیته گردابی افقی	۳

سپس با استفاده از داده های تاریخ ۲۰۱۳/۱۱/۲۲ تا ۲۰۱۳/۱۲/۲۲ از بویه شماره ۱ و پارامتر کالیبره شده مدل کالیبره شده اجرا شده و خروجی مدل با داده های اندازه گیری شده با همان تاریخ از بویه شماره ۲ صحت سنجی می شود تا از قابل اعتماد بودن مدل اطمینان حاصل شود. یعنی پس از رسیدن به ضریب مقاومت بستر نهایی مناسب برای مدل، مدل برای کل بازه یک ماهه ران شده که نتایج خروجی های آن در شکل (۴-۲۶) و جدول (۴-۵) گزارش شده است. جانمایی بویه های اندازه گیری باد و امواج در شکل ۴-۲۵ نشان داده شده است. بویه شماره ۱ در شمال و فاصله ۱۵ کیلومتری از ساحل بندر انزلی و بویه شماره ۲ در فاصله ۱,۵ کیلومتری و غرب موج شکن غربی بندر انزلی قرار دارد.



شکل ۴-۲۵: جانمایی بویه های اندازه گیری باد و امواج در منطقه بندر انزلی

از روش های نیمه تجربی یا همان پارامترهای آماری میزان دقت مدل مشخص شده است. از روابط زیر برای مقایسه دقت داده های مدل سازی نسبت به داده های واقعی استفاده می شود:

$$CC = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \times \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (21-4) \text{ ضریب همبستگی:}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_i - x_i)^2} \quad (22-4) \text{ جذر متوسط مربع خطاها:}$$

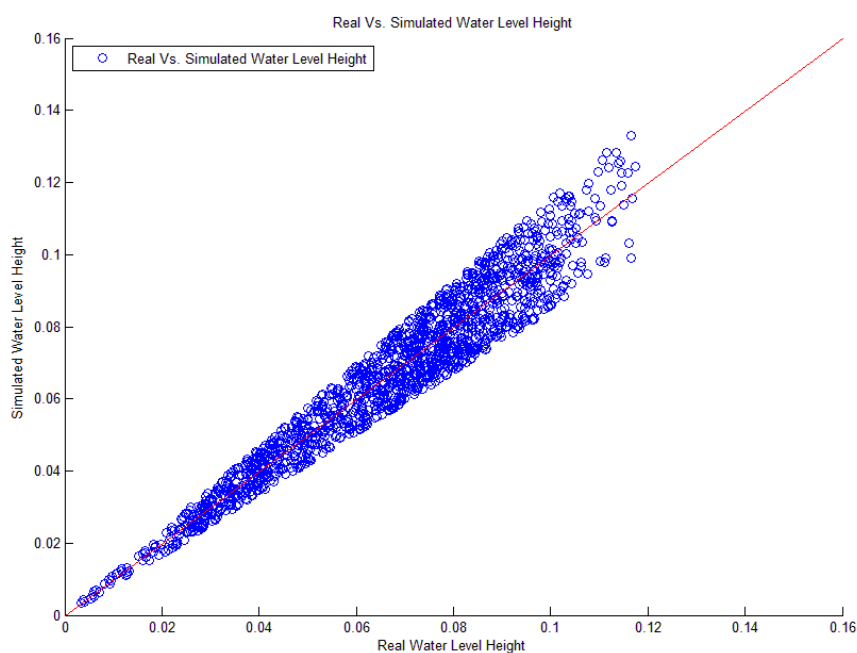
$$Error = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - x_i|}{x_i} \times 100 \quad (23-4) \text{ درصد خطا:}$$

$$Bias = \frac{1}{n} \sum (y_i - x_i) = \bar{y} - \bar{x} \quad (24-4) \text{ شاخص اریبی:}$$

در این روابط آماری، x سری آماری نتایج اندازه گیری، y سری آماری نتایج پیش بینی شده و \bar{x} و \bar{y} متوسط هر یک از این دو سری را نشان می دهد. ضریب n نیز تعداد کل داده ها در سری آماری است. بر این اساس مطابق جدول 4-5، برای داده های برداشت شده و خروجی های بدست آمده از مدل سازی خواهیم داشت:

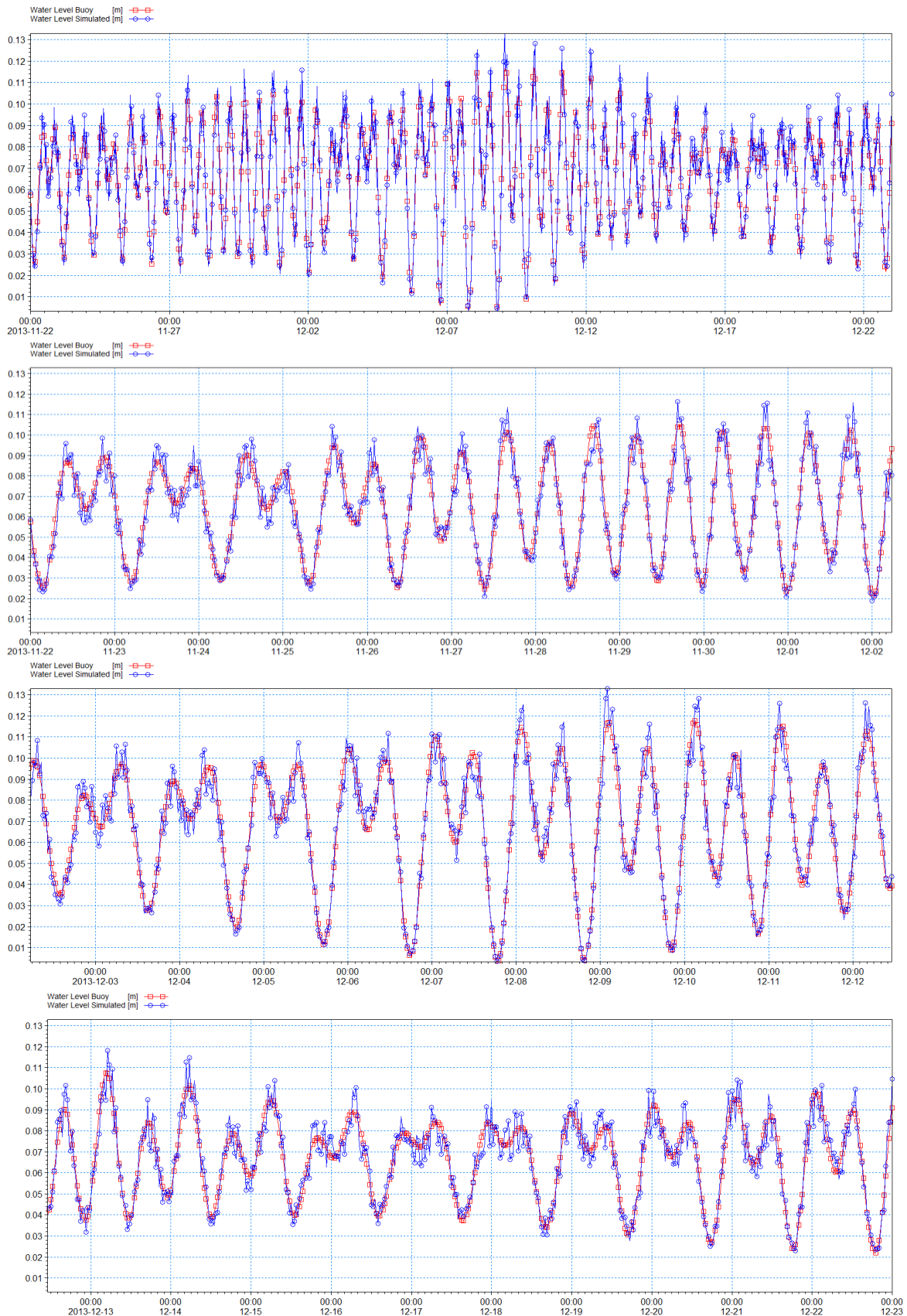
جدول 4-4: پارامترهای آماری و درصد خطا حاصل از مدل سازی

BIAS	ERROR%	RMSE(m)	CC%	ضریب زبری 1/n (m ^{1/3} /Sec)
-۱,۸۷۹	۷,۷۲۸۷	۰,۰۰۶۳	۹۶,۶۰	۳۵



شکل ۴-۲۵: مقایسه تراز آب برداشت شده و بدست آمده از مدلسازی برای منطقه بندر انزلی

همانگونه که از نتایج بدست آمده از مرحله کالیبراسیون و صحت سنجی قابل مشاهده است ، مدل تنها دارای ۷۲٫۷٪ خطا می باشد. در شکل ۴-۲۶ تراز سطح آب مدلسازی شده و تراز سطح آب داده های اندازه گیری شده در ایستگاه بندر انزلی با یکدیگر مقایسه شده اند با توجه به همپوشانی مناسب داده های مدلسازی و اندازه گیری شده این نمودار بیانگر آن است که مدل شبیه سازی شده با داده های واقعی از تطابق خوبی برخوردارند. مقایسه تغییرات سطح آب اندازه گیری شده و تغییرات سطح آب مدلسازی شده در شکل ۴-۲۷ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۶ مقایسه تراز سطح آب برداشت شده و محاسبه شده از مدل سازی در ناحیه بندر انزلی (Water Level Buoy = تراز آب برداشت شده ، Water Level Simulated = تراز آب بدست آمده از مدل سازی)

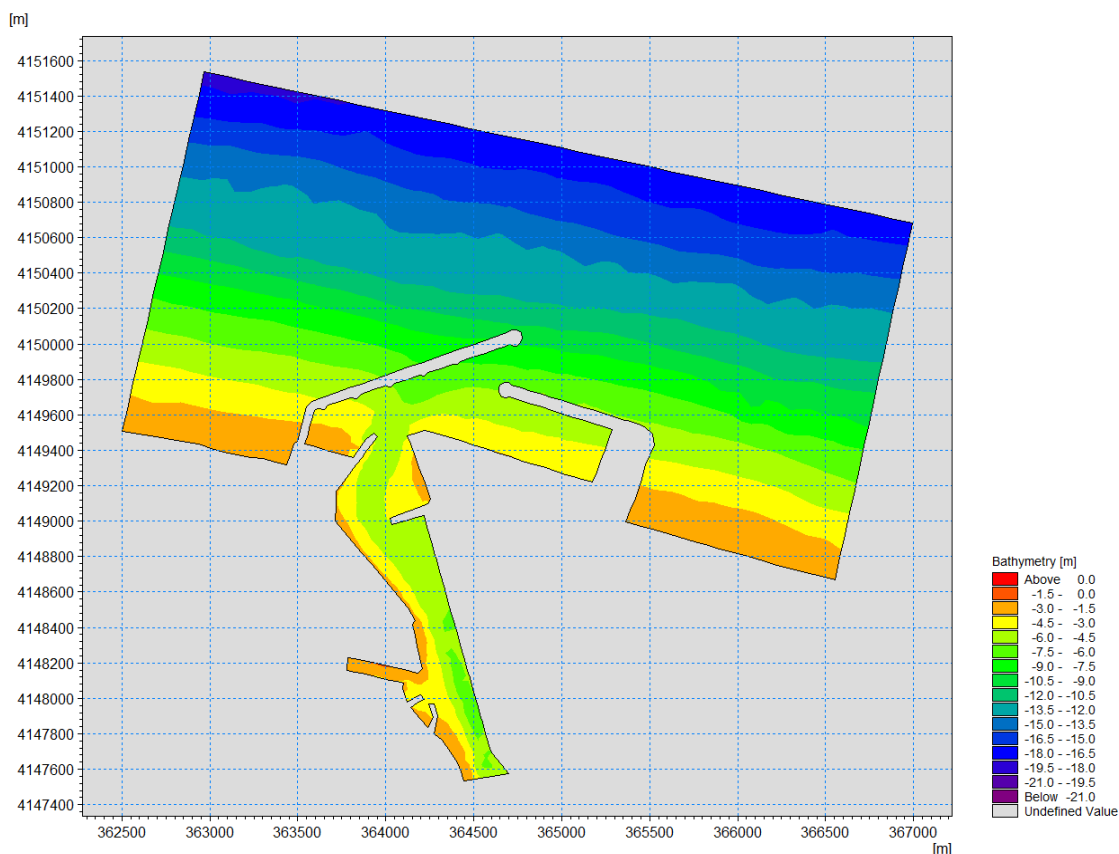
۴-۲-۵- تعیین گام زمانی حل معادلات

مدل عددی مورد استفاده ، قابلیت بسیار مناسبی در زمینه انتخاب گام زمانی محاسبات را دارد ؛ به عبارت دیگر می‌توان برای گام زمانی با تعیین مقدار حداقل و حداکثر محدوده مشخص نمود تا حداکثر گام زمانی مناسب با توجه به پارامترهای در نظر گرفته شده و ابعاد شبکه بندی در ناحیه مورد نظر اعمال گردد. این قابلیت سبب می‌شود تا زمان مدلسازی کاهش یابد برای این منظور مقدار حداقل ۰,۱ ثانیه و حداکثر ۳۰ ثانیه در هر دو مدل موج و جریان انتخاب گردید در ضمن مدل موج نیز به صورت کاملاً طیفی بوده و گسسته سازی فرکانسی به صورت لوگاریتمی ای بوده که در ۱۶ امتداد گسسته سازی جهتی انجام شده است.

۴-۳- سناریو های مدلسازی

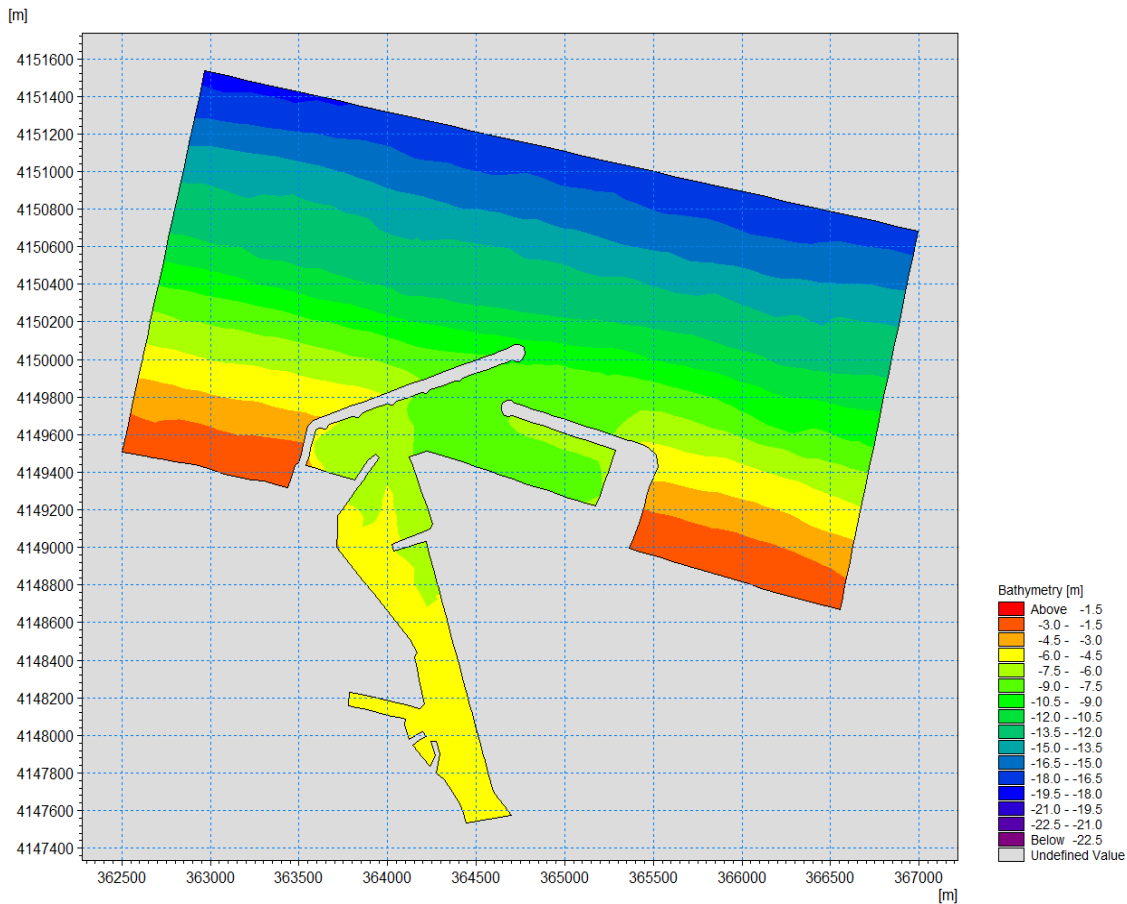
در این تحقیق در مجموع چهار سناریو مختلف مورد بررسی قرار گرفته است که در زیر به توضیح هر یک از آنها می‌پردازیم.

- سناریوی اول : برای مطالعه اولیه و درک شرایط موجود حاکم بر بندر از این سناریو استفاده شد. این سناریو بیان کننده شرایط موجود در بندر انزلی می باشد و هیچ گونه تغییری در داده های دریافتی از ناحیه بندر ایجاد نشده است. به عبارت دیگر نتایج بدست آمده از این سناریو بیان کننده اتفاقات و پدیده هایی است که در حال حاضر در ناحیه بندر انزلی در حال رخ دادن است. شکل ۴-۲۷ نشان دهنده مدل ساخته شده برای این سناریو می باشد.



شکل ۴-۲۸: مدل سناریوی اول

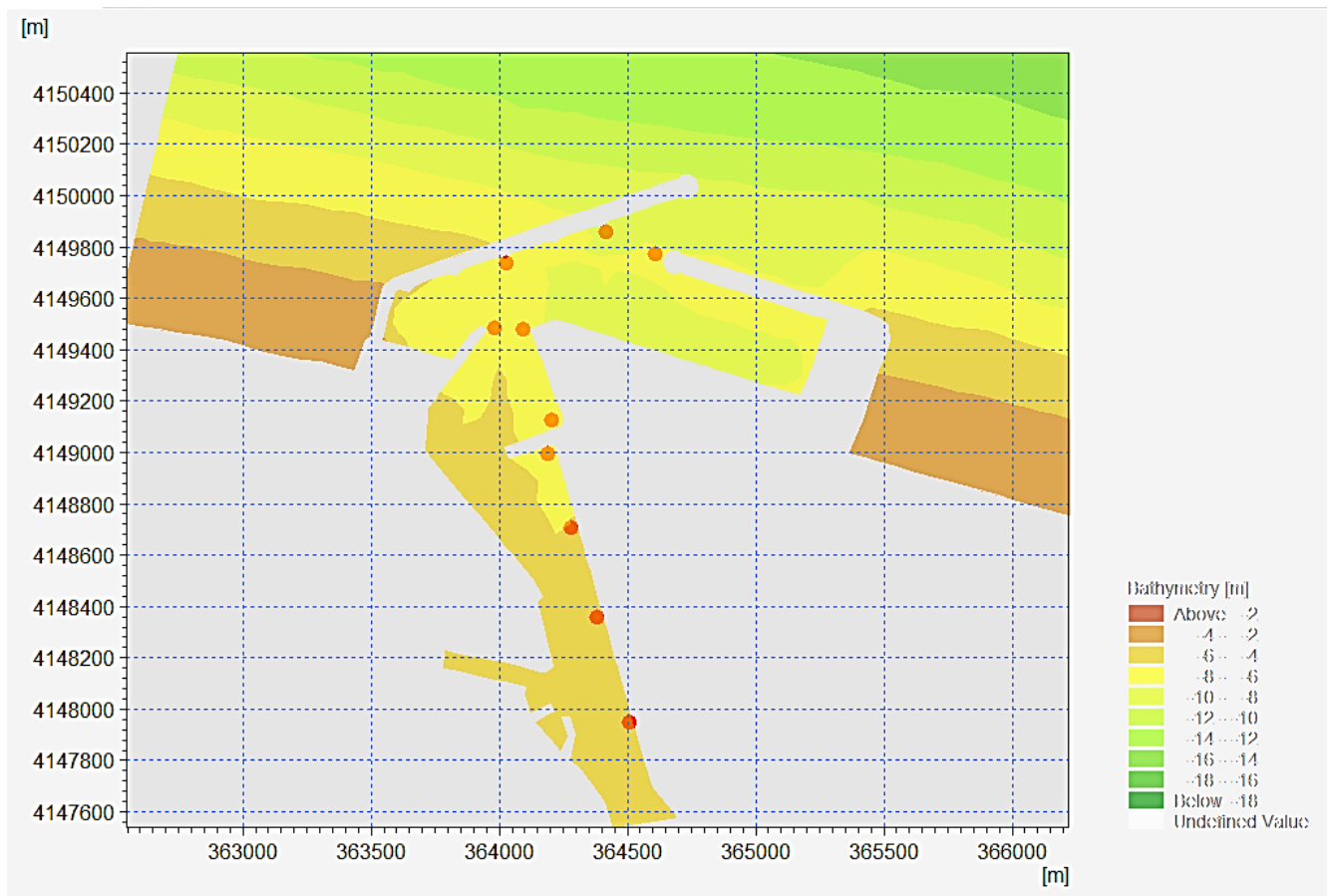
- سناریوی دوم: این سناریو بیان کننده وضعیت پس از اجرای طرح توسعه جدید در بندر انزلی است. در این طرح کف حوضچه مورد لایروبی قرار گرفته و عمق دهانه ورودی و حوضچه شرقی به منفی هشت متر کاهش می یابد. همچنین عمق حوضچه غربی و بخش هایی از ناحیه موج شکن های قدیمی بندر نیز مورد لایروبی قرار گرفته و عمق ناحیه به میانگین منفی ۷ کاهش می یابد. در شکل ۴-۲۸ نتایج ایجاد اصلاحات ذکر شده در بالا در ناحیه بندر نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۹: مدل سناریوی دوم

سناریوی سوم: در این سناریو در نقاطی که در جدول ۴-۶ و شکل ۴-۲۹ مشخص شده است جت هایی برای ایجاد جریان مصنوعی قرار داده شده است تا با افزایش سرعت جریان در ناحیه بندر مانع از نشست رسوبات در بندر شده و این رسوبات را با استفاده از این جریان به خارج از بندر هدایت کند. لازم به ذکر است که مدل پایه برای این سناریو حالت پس از اجرای طرح توسعه بندر (سناریو دوم) است. طرح این گزینه احتمالی بر اساس فرضیات بوده چراکه تکنولوژی طراحی و ساخت این جت ها هنوز در کشور بکار گرفته نشده و اطلاعات دقیقی از طراحی این جت ها موجود نیست و فقط مشخصاتی مانند قطر ورودی جت، قدرت جت، دبی خروجی جت ها و... در دسترس بوده که از این

اطلاعات برای ایجاد مدل ریاضی استفاده شده است. جدول ۴-۶ مختصات و مشخصات جت های جانمایی شده در بندر را نشان می دهد.

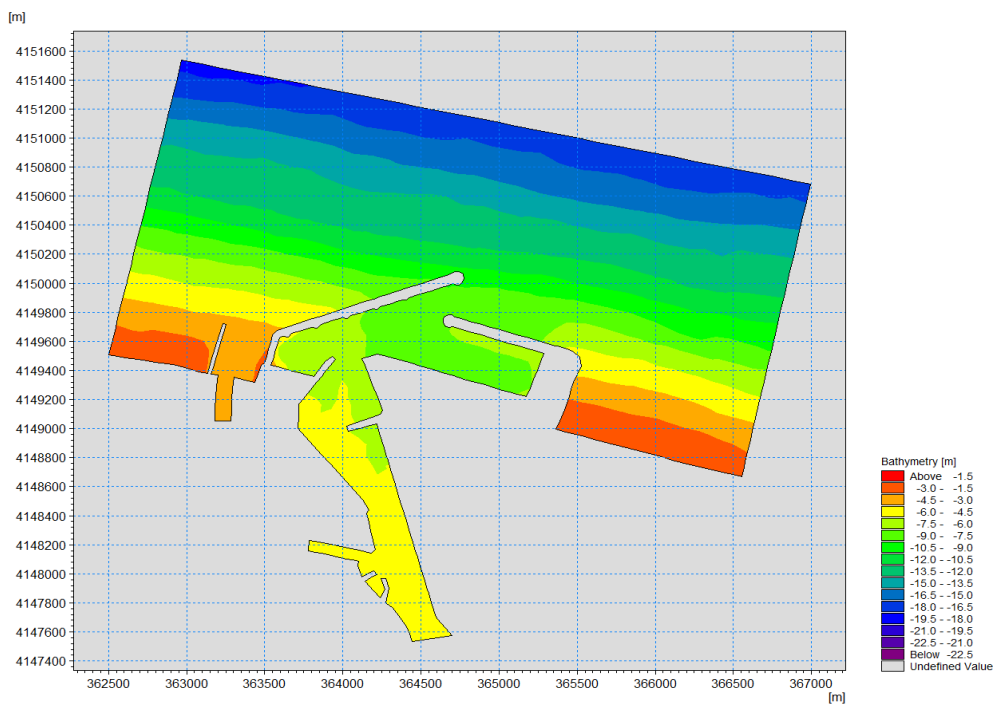


شکل ۴-۲۷: مدل سناریوی سوم

جدول ۴-۶: مختصات و مشخصات جت های جانمایی شده در بندر

Point num.	Long.	Lat.	Current sum. (m/s)	Current u (m/s)	Current v (m/s)	Discharge (m ³ /s)
1	364506.4304	4147951.148	1.5	-1.06	1.06	1.6956
2	364381.3867	4148355.748	1.5	-1.06	1.06	1.6956
3	364279.7796	4148706.118	1.5	-1.06	1.06	1.6956
4	364188.6835	4148996.924	1	-0.95	-0.31	1.1304
5	364202.6983	4149126.561	1	-0.707	0.707	1.1304
6	364090.5801	4149480.434	1.5	0	1.5	1.6956
7	364609.1269	4149771.241	1.5	1.06	1.06	1.6956
8	364416.4237	4149858.833	1.5	1.38	0.57	1.6956
9	364027.5136	4149736.204	1.5	1.38	0.57	1.6956
10	363981.9655	4149483.938	1.5	0	1.5	1.6956

- سناریوی چهارم : در این سناریو با توجه به مشکل ساز بودن رودخانه های موجود در ناحیه بندر و انتقال رسوبات از طریق این رودخانه ها به داخل بندر ، مسیر این رودخانه ها توسط کانالی تغییر داده شده و با توجه به جریان های ناحیه ساحلی در طرف چپ بندر جانمایی شده تا حداقل تاثیر را در ناحیه بندری ایجاد نمایند. در این حالت تمام دبی و رسوبات انتقالی توسط رودخانه ها به این کانال انتقال می یابد. در شکل ۴-۳۰ مدل ساخته شده برای این سناریو نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۸: مدل سناریوی چهارم

۴-۴-۴- نتایج مدل سازی بندر انزلی

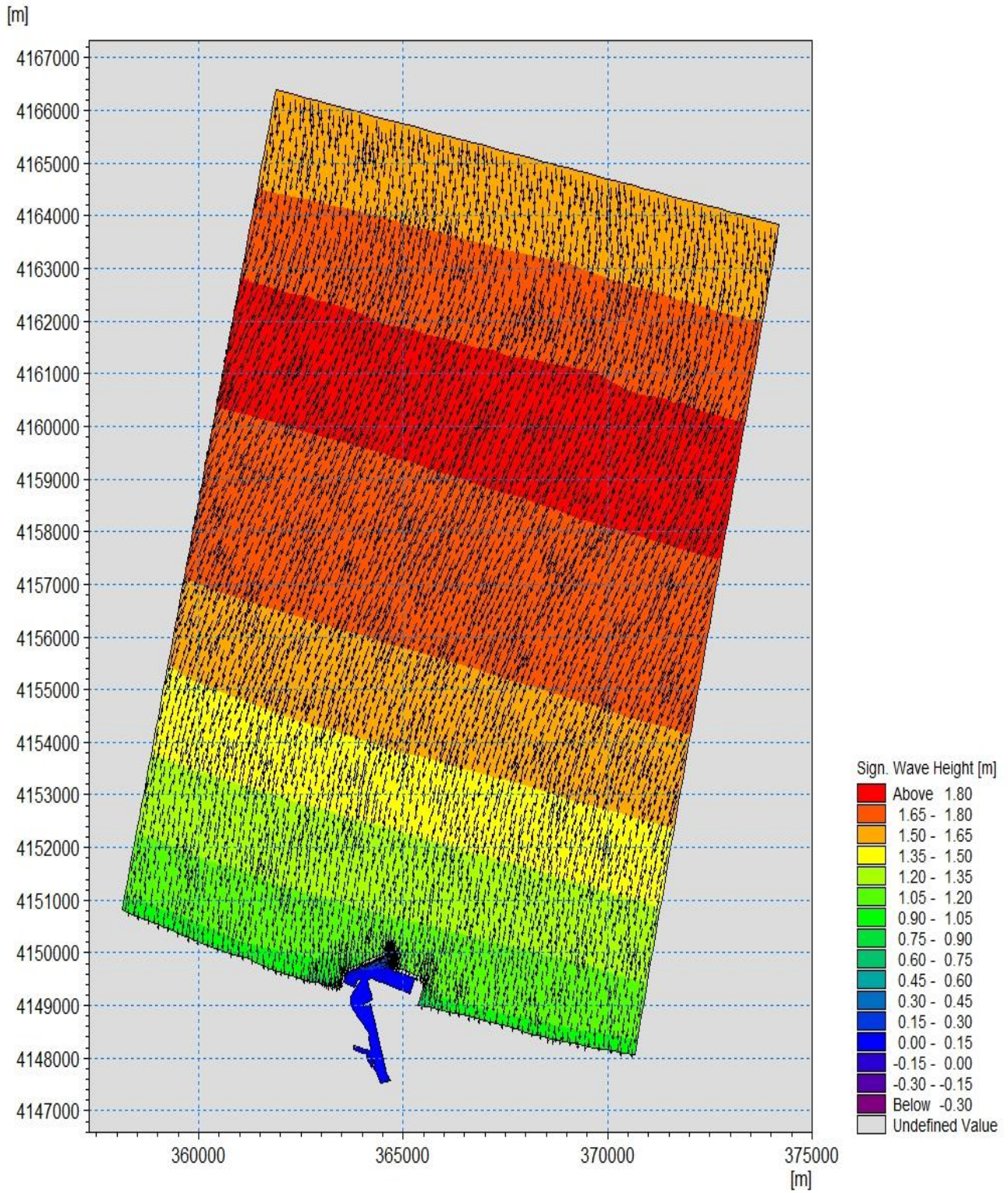
در این بخش نتایج به دست آمده از مدل سازی ها به طور خلاصه برای هر پارامتر مهم در مدل سازی نشان داده می شود. در ادامه خروجی های ماژول های طیف موج (SW)، هیدرودینامیک (HD) و انتقال رسوب (MT) برای سناریوهای مختلف نشان داده شده است. تعریف مختصری از پارامترها در همان بخش داده شده است. اطلاعات بیشتر در ضمیمه ج در دسترس خواهد بود.

۴-۴-۱- خروجی های ماژول طیف موج (Spectral Wave)

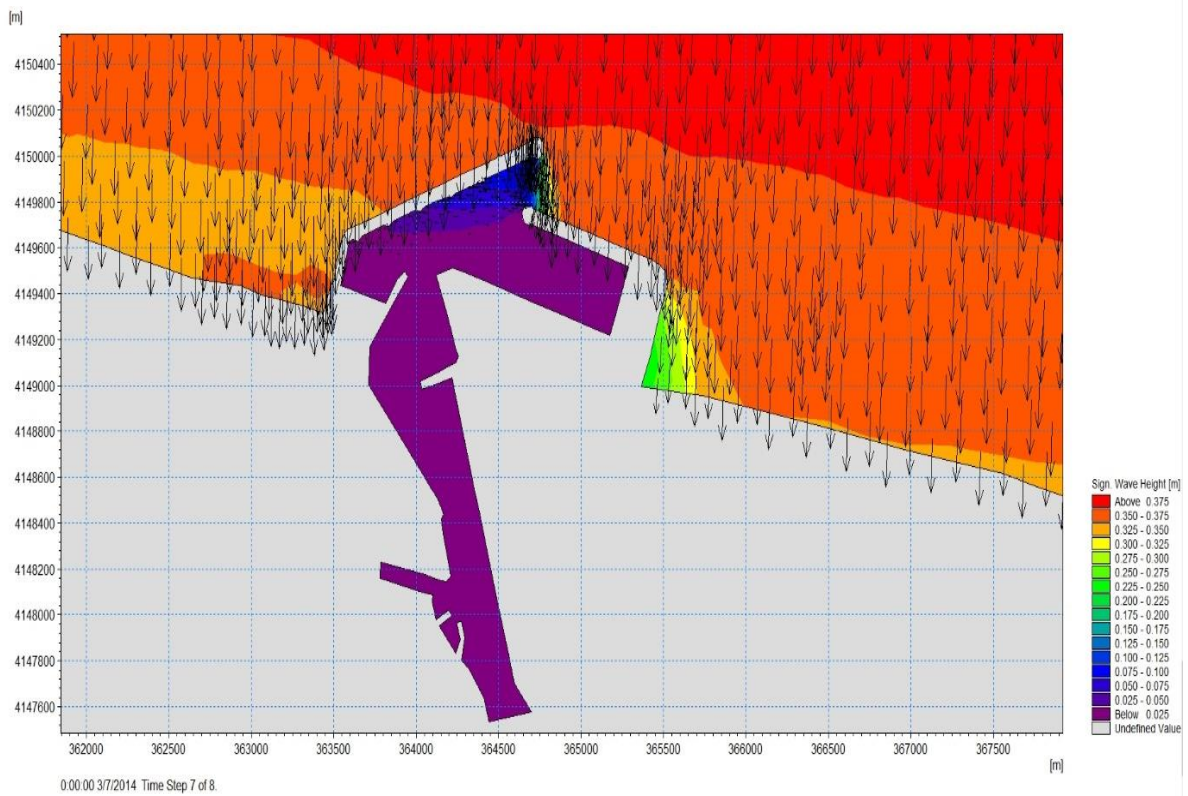
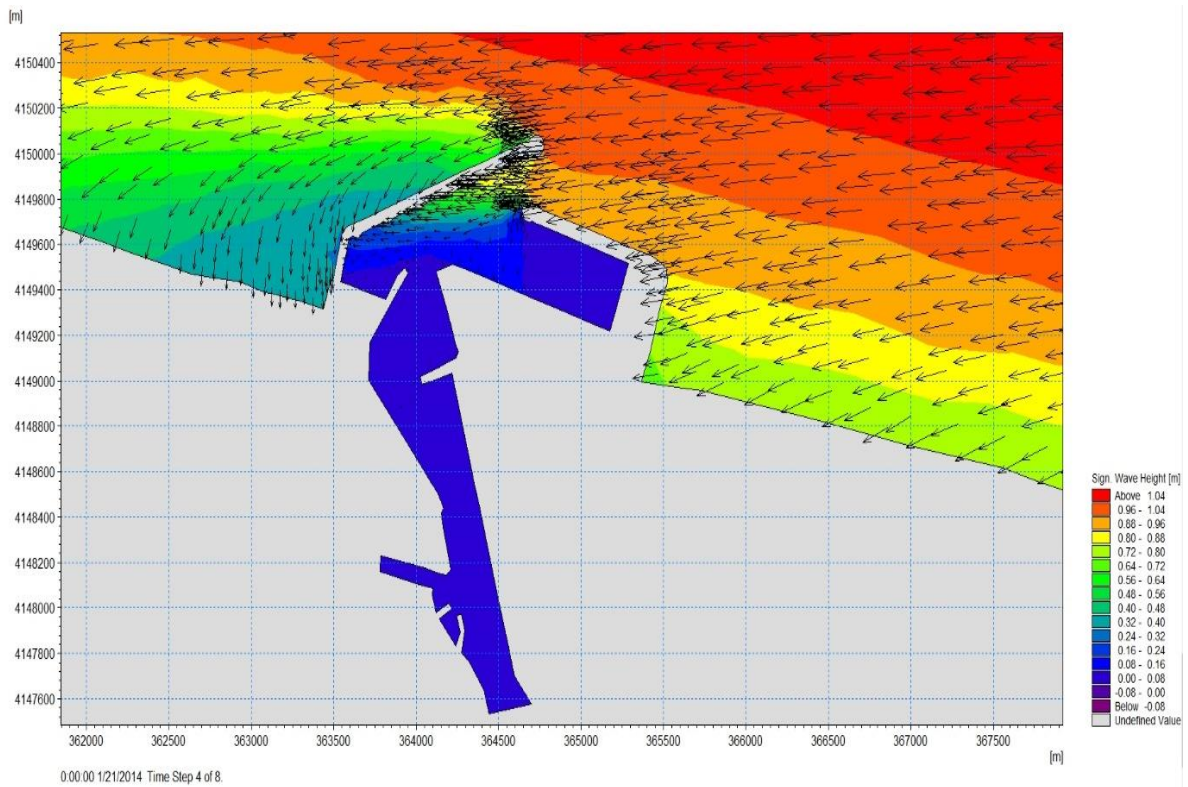
از خروجی های ماژول SW برای ساخت مدل های ماژول HD و MT استفاده می شود. در ادامه تصاویر کیفی پارامترهای مهم خروجی این ماژول مانند ارتفاع مشخصه امواج و جهت انتشار امواج که در ماژول های HD و MT استفاده می شود ارائه شده است

• ارتفاع مشخصه امواج (Significant Wave Height)

ارتفاع و جهت امواج در ناحیه بندر انزلی که برای بازه زمانی مدلسازی مورد محاسبه قرار گرفته اند را می توان در شکل ۴-۳۱ برای مدل بزرگ مقیاس و با دقت بیشتر در شکل ۴-۳۲ در مدل کوچک مقیاس مشاهده کرد. خروجی های نشان داده شده در این شکل ها برای هر ۱۵ روز می باشند که تنها در این بخش به ارائه تعدادی از آنها اکتفا شده است. اطلاعات کامل در ضمیمه د داده شده است. بردار هایی که در شکل های نام برده رسم شده اند، بیانگر جهت انتشار امواج (جهت پیشروی امواج) می باشند. در شکل های زیر به طور واضح می توان مشاهده کرد که چگونه وجود موج شکن بندر انزلی، باعث تغییر در رفتار امواج در ناحیه دهانه موج شکن شده است و باعث شده انرژی کمتری وارد منطقه سایه موج شکن بشود، در نتیجه ناحیه آرامتری را در بندر ایجاد میکند که همین موضع باعث تمایل نشست رسوبات در ناحیه بندری نیز می شود.



شکل ۴-۳۲: ارتفاع و جهت امواج در ناحیه انزلی برای مدل بزرگ مقیاس



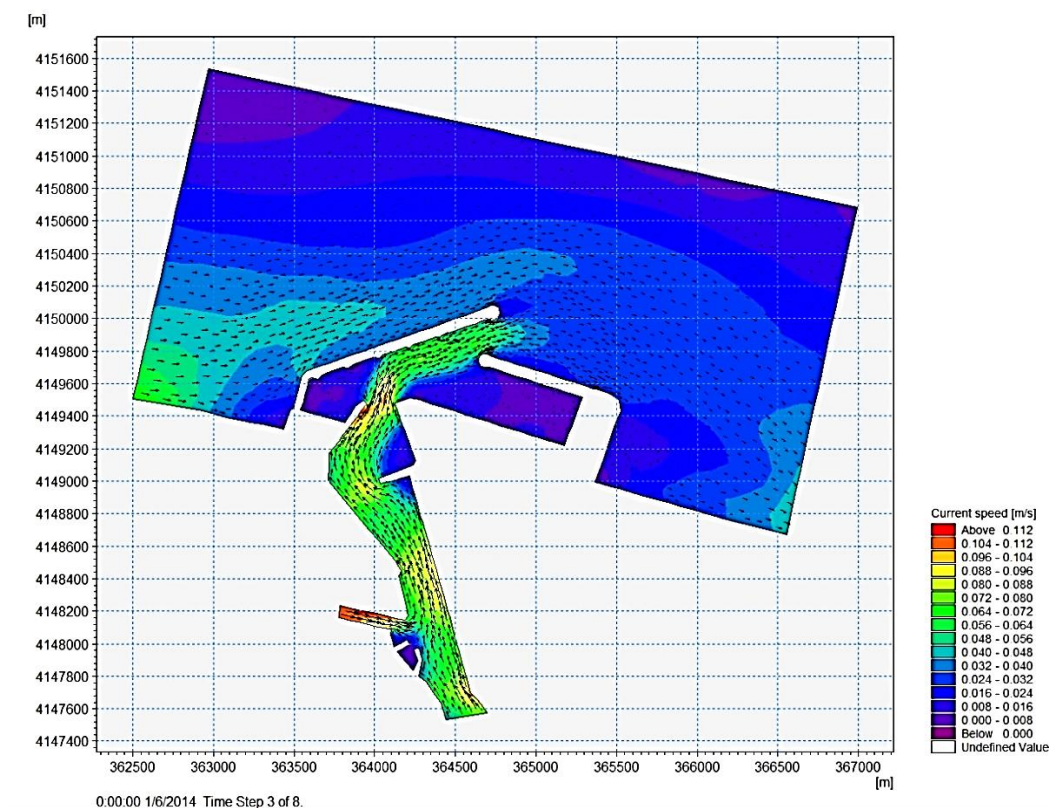
شکل ۴-۲۹: ارتفاع و جهت امواج در ناحیه انزلی برای مدل کوچک مقیاس

۴-۴-۲- خروجی های ماژول هیدرو دینامیک

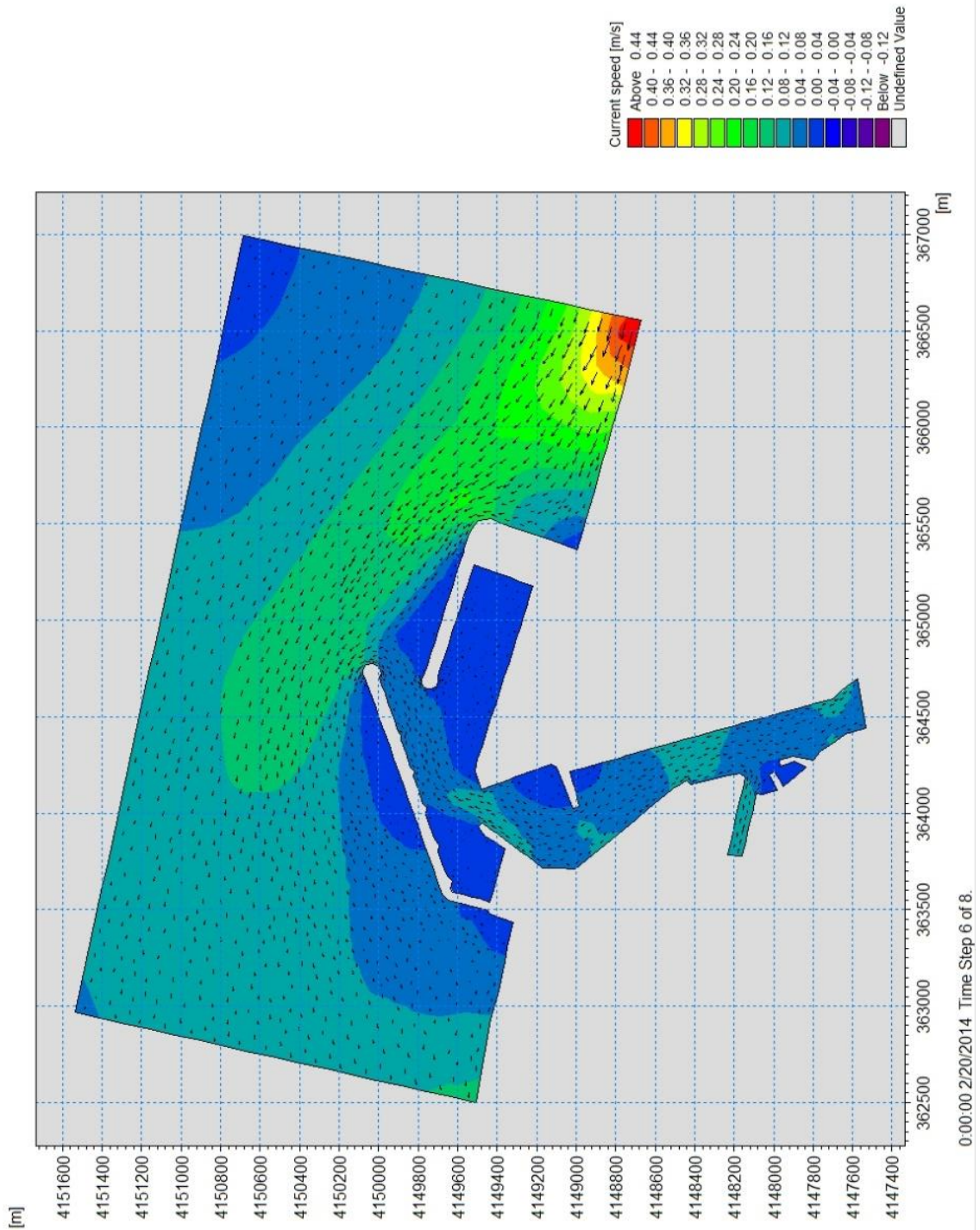
در این بخش از خروجی های ماژول SW، به عنوان پارامترهای ورودی ماژول HD استفاده شد. در ماژول HD امواج به صورت جریان نشان داده می شوند و از خروجی ماژول HD به عنوان پارامترهای ورودی ماژول MT می توان استفاده کرد.

سرعت جریان

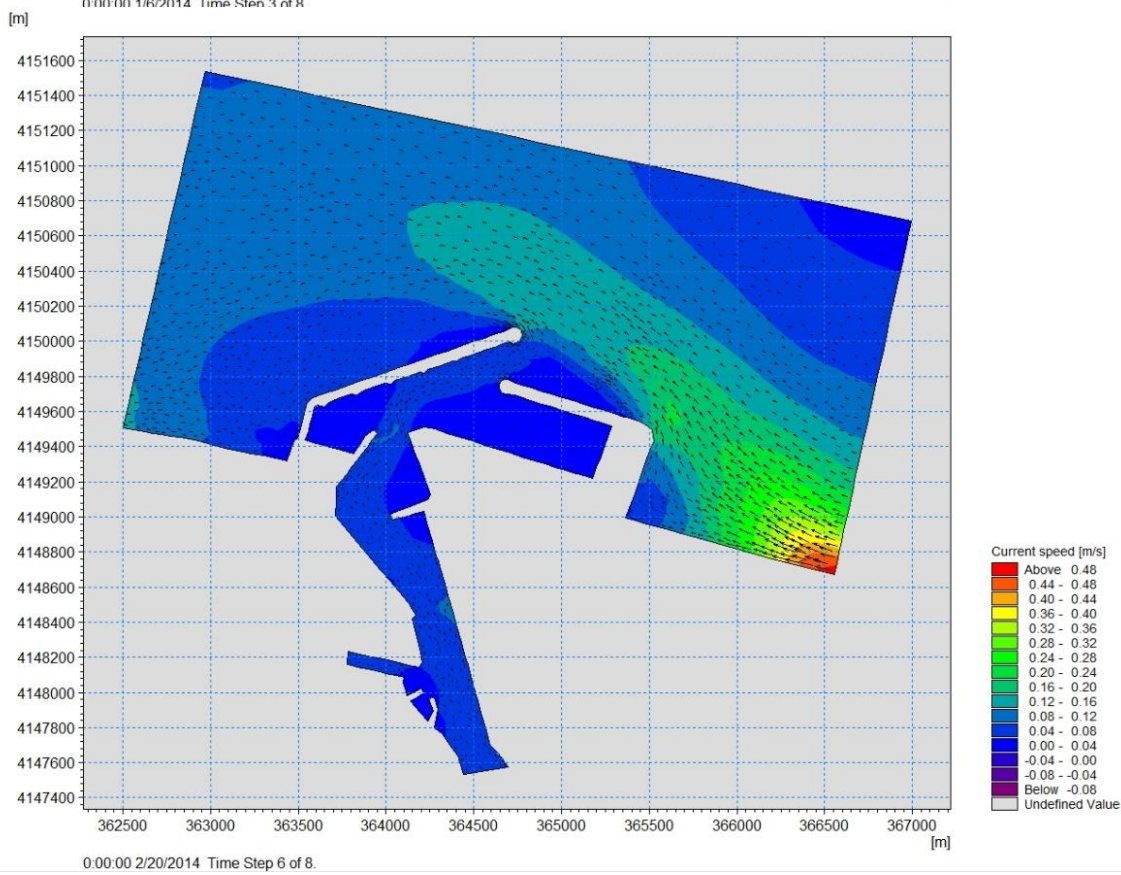
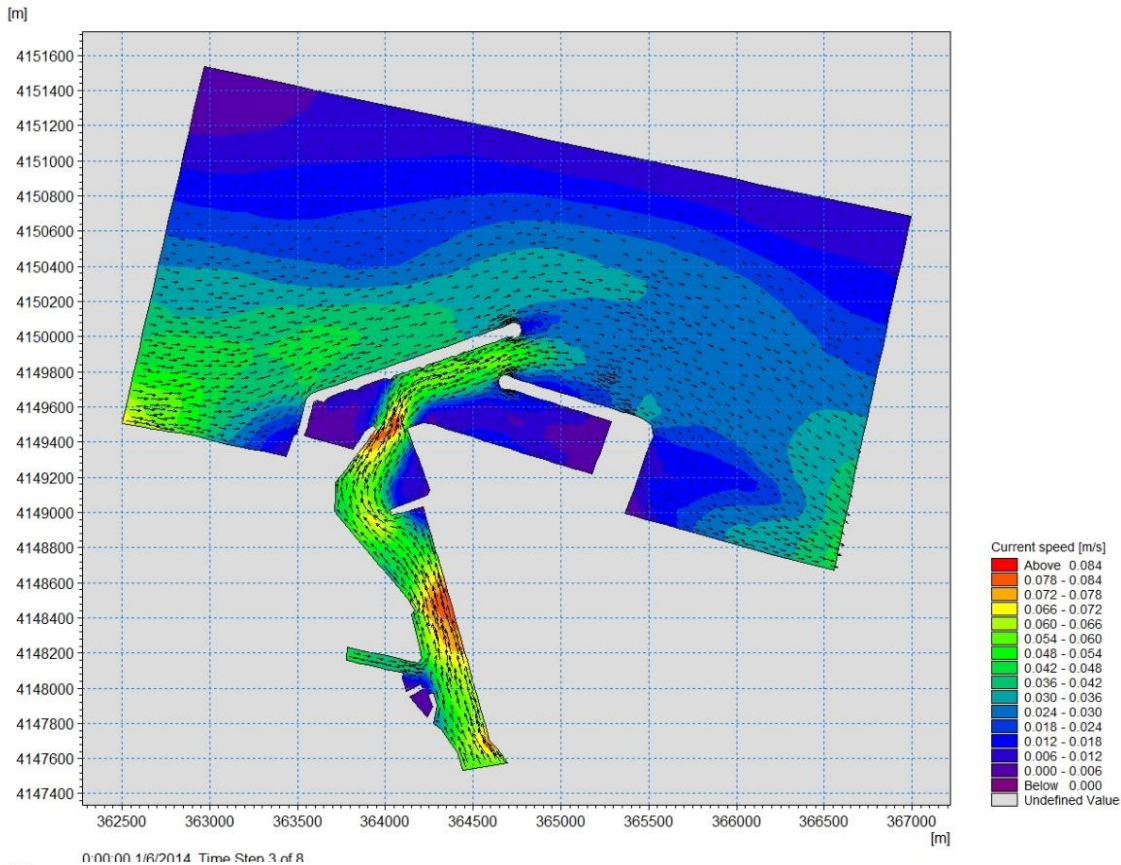
در این بخش سرعت و جهت جریان های حاکم بر منطقه بندر انزلی برای هر سناریو متفاوت در شکل های ۴-۳۳ تا ۴-۳۷ نشان داده شده است:



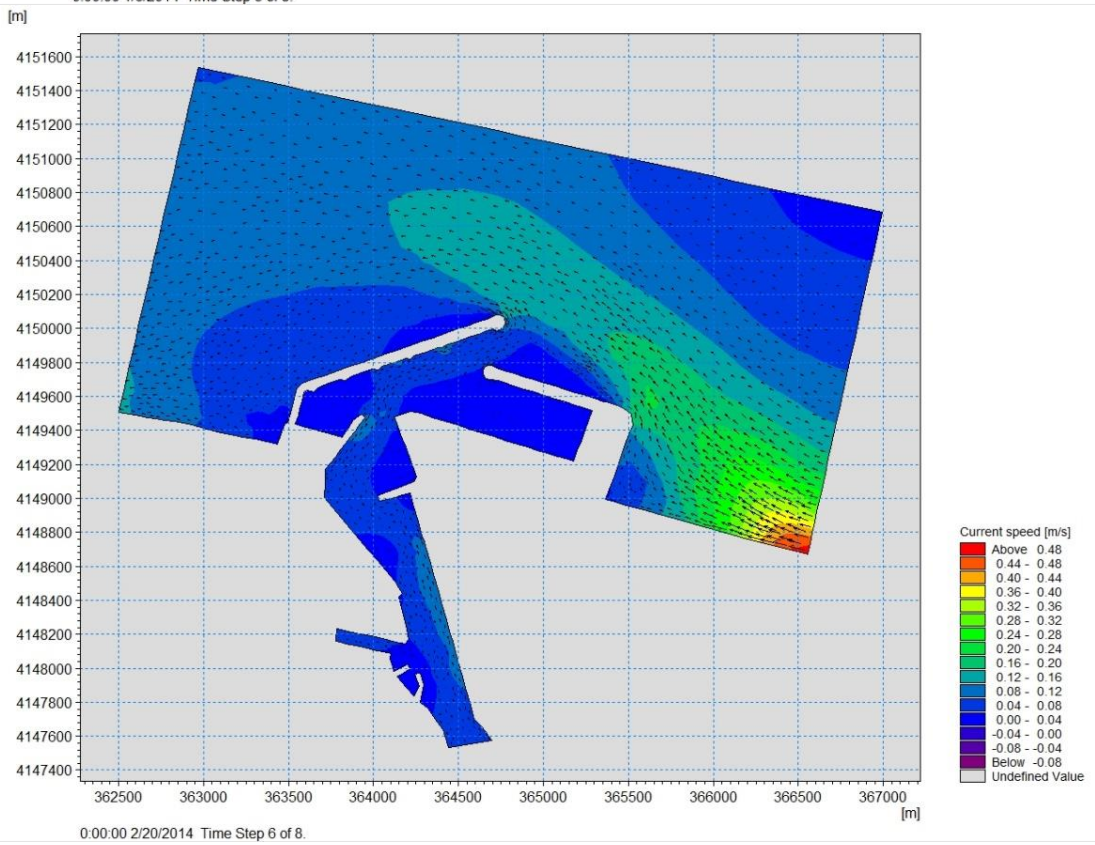
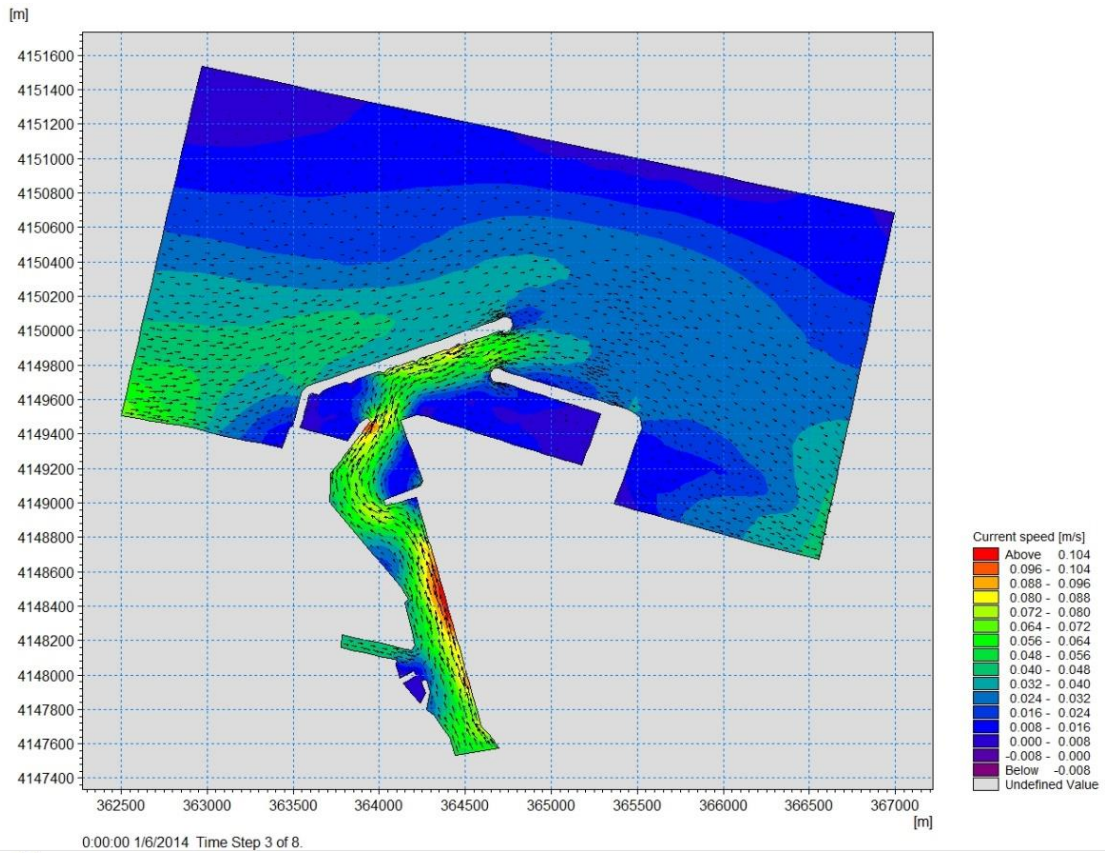
شکل ۴-۳۴: سرعت و جهت جریان آب در ناحیه انزلی برای سناریوی اول



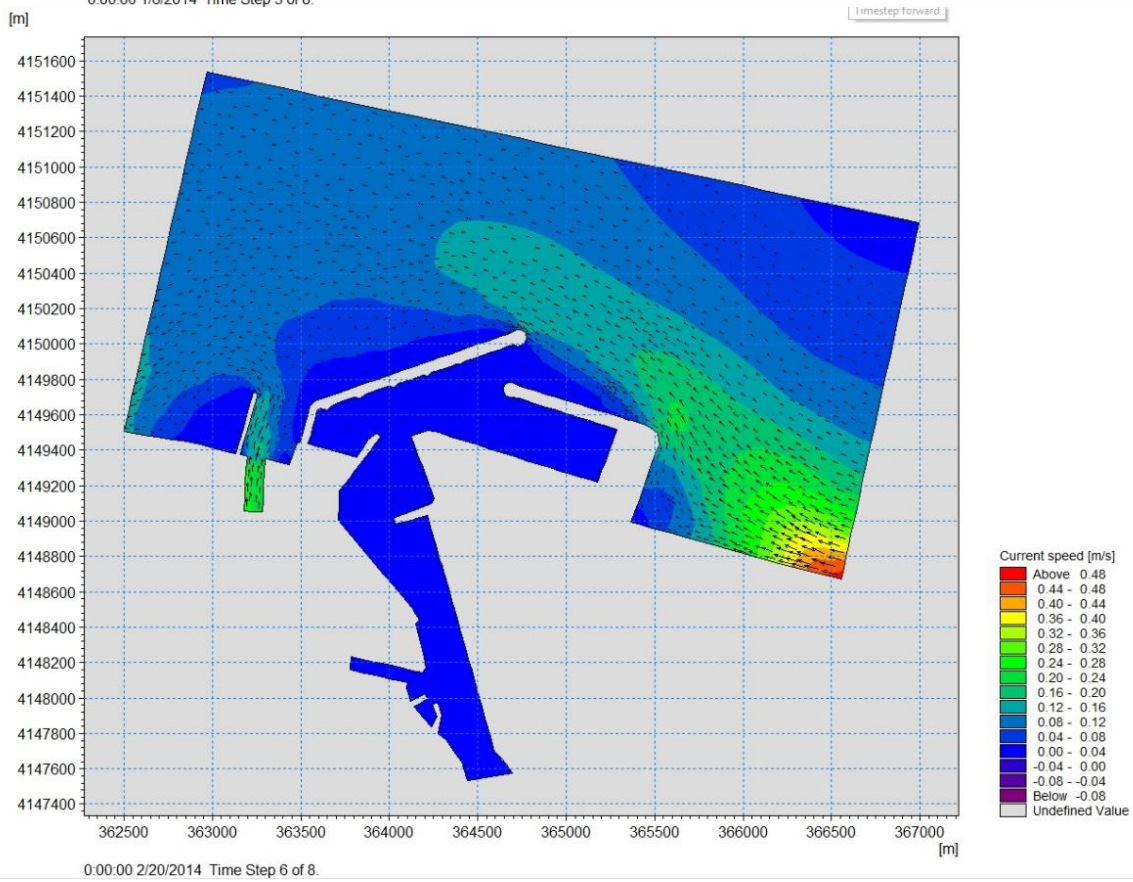
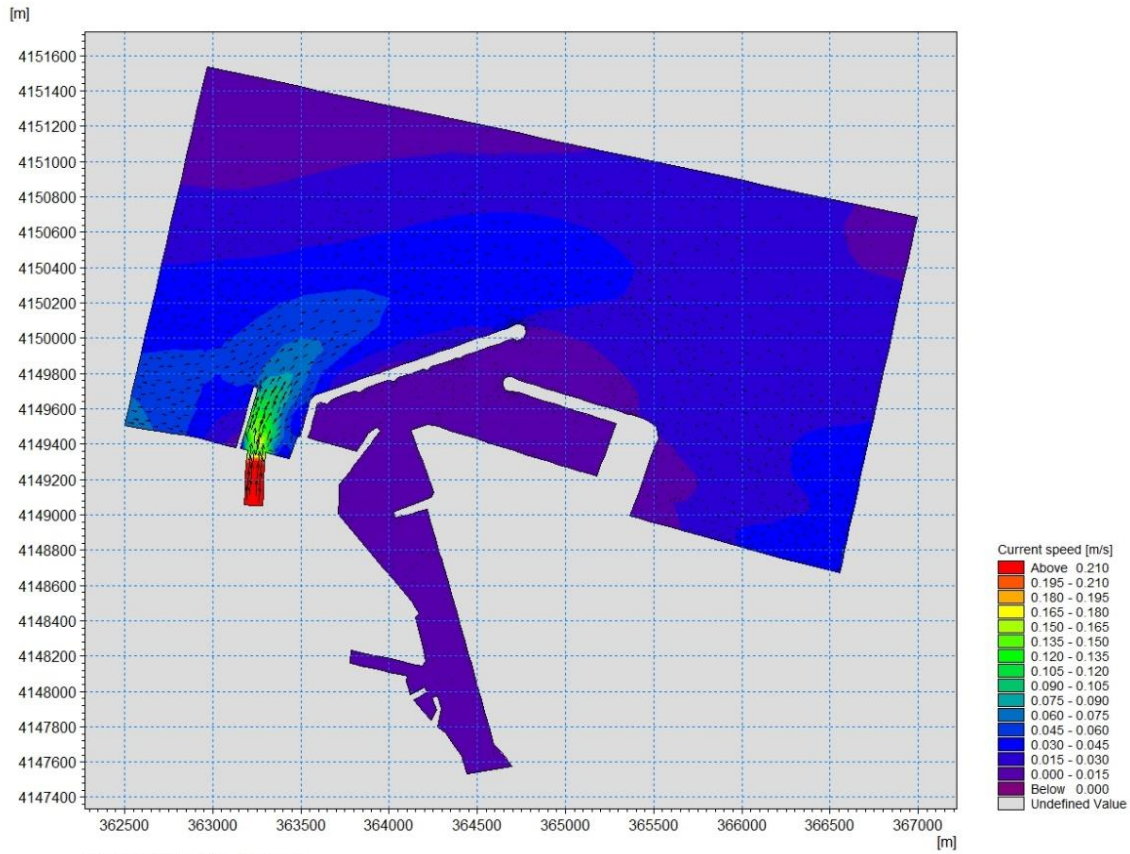
شکل ۴-۳۰: سرعت و جهت جریان آب در ناحیه انزلی برای سناریوی اول



شکل ۴-۳۶: سرعت و جهت جریان آب در ناحیه انزلی برای سناریوی دوم



شکل ۴-۳۷: سرعت و جهت جریان آب در ناحیه انزلی برای سناریوی سوم



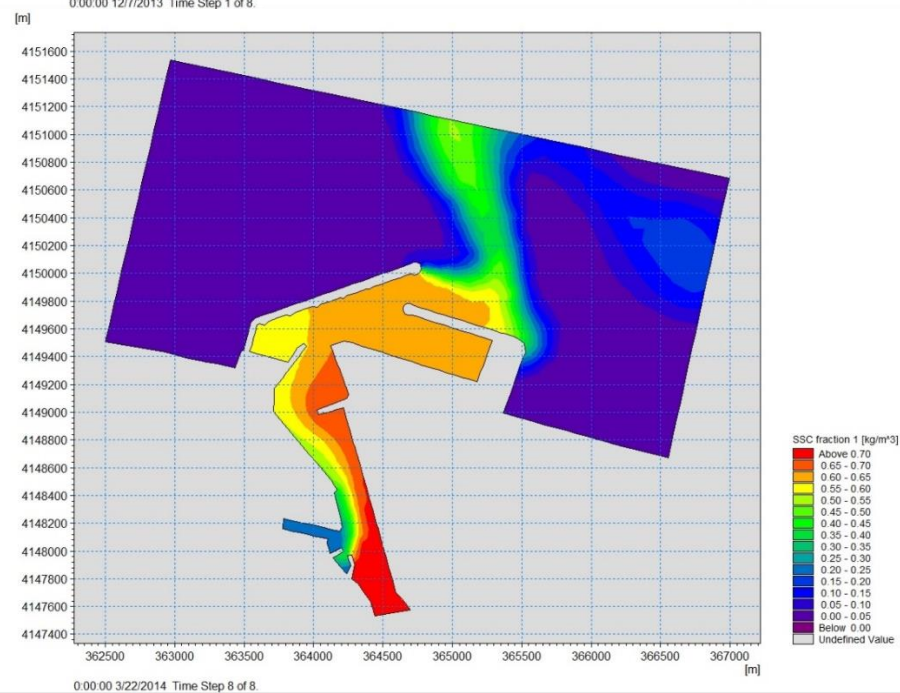
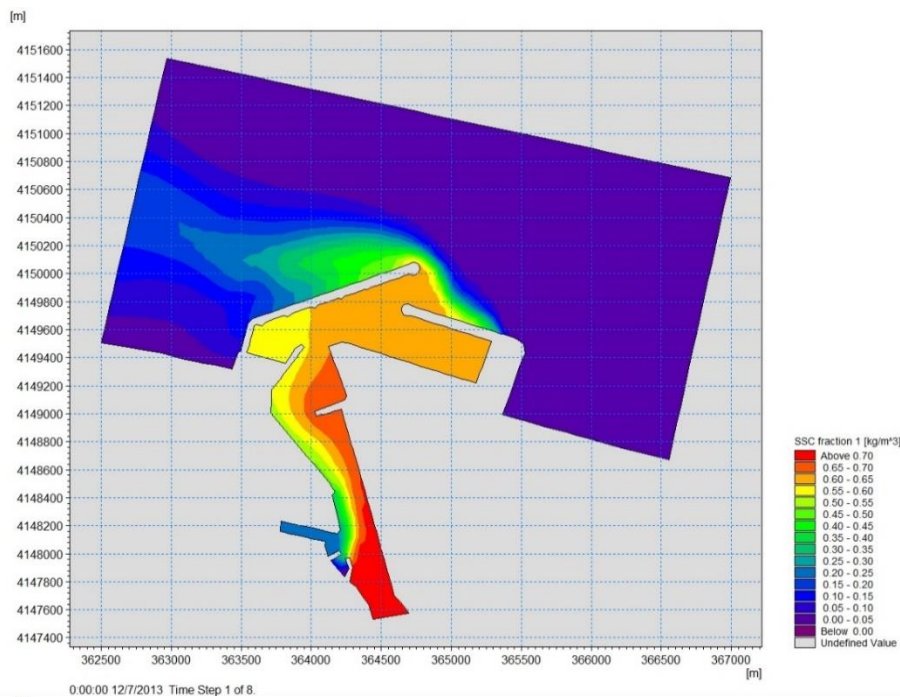
شکل ۴-۳۱: سرعت و جهت جریان آب در ناحیه انزلی برای سناریوی چهارم

۴-۴-۳- خروجی های ماژول انتقال رسوبات (Mud Transport)

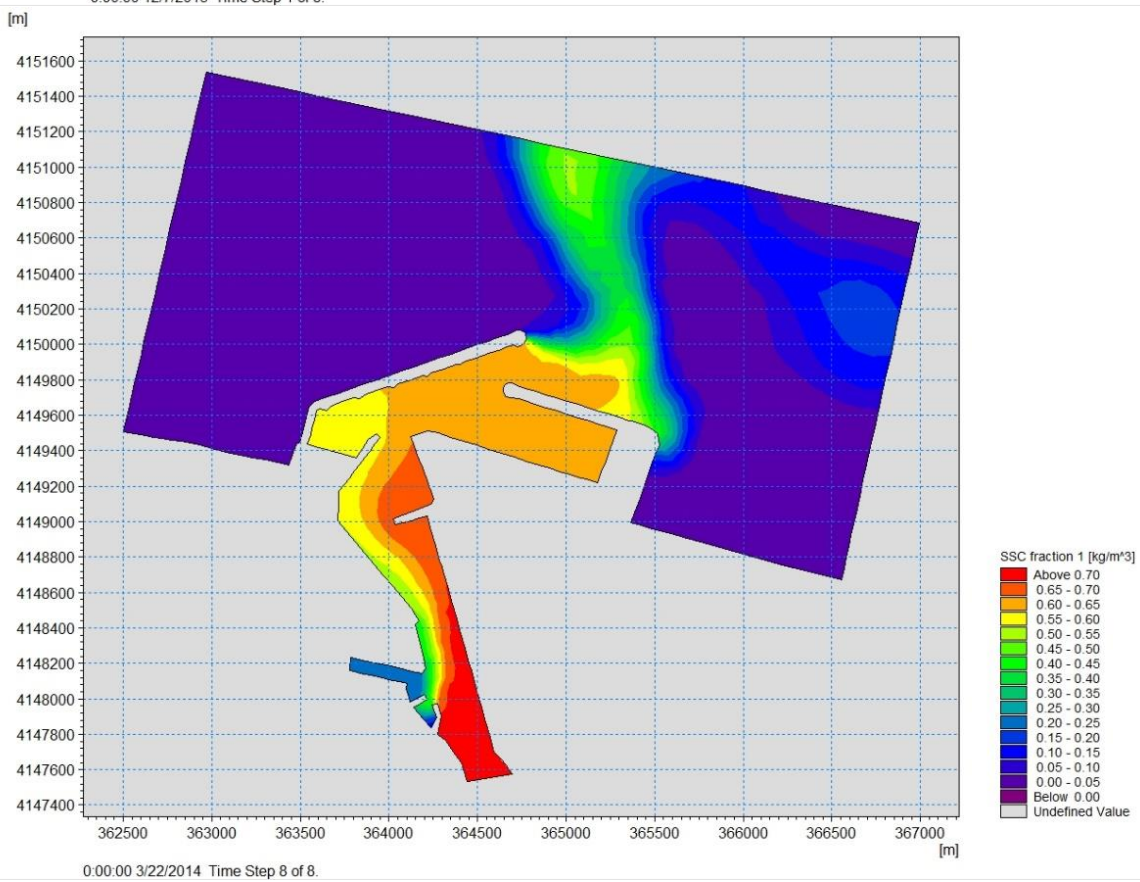
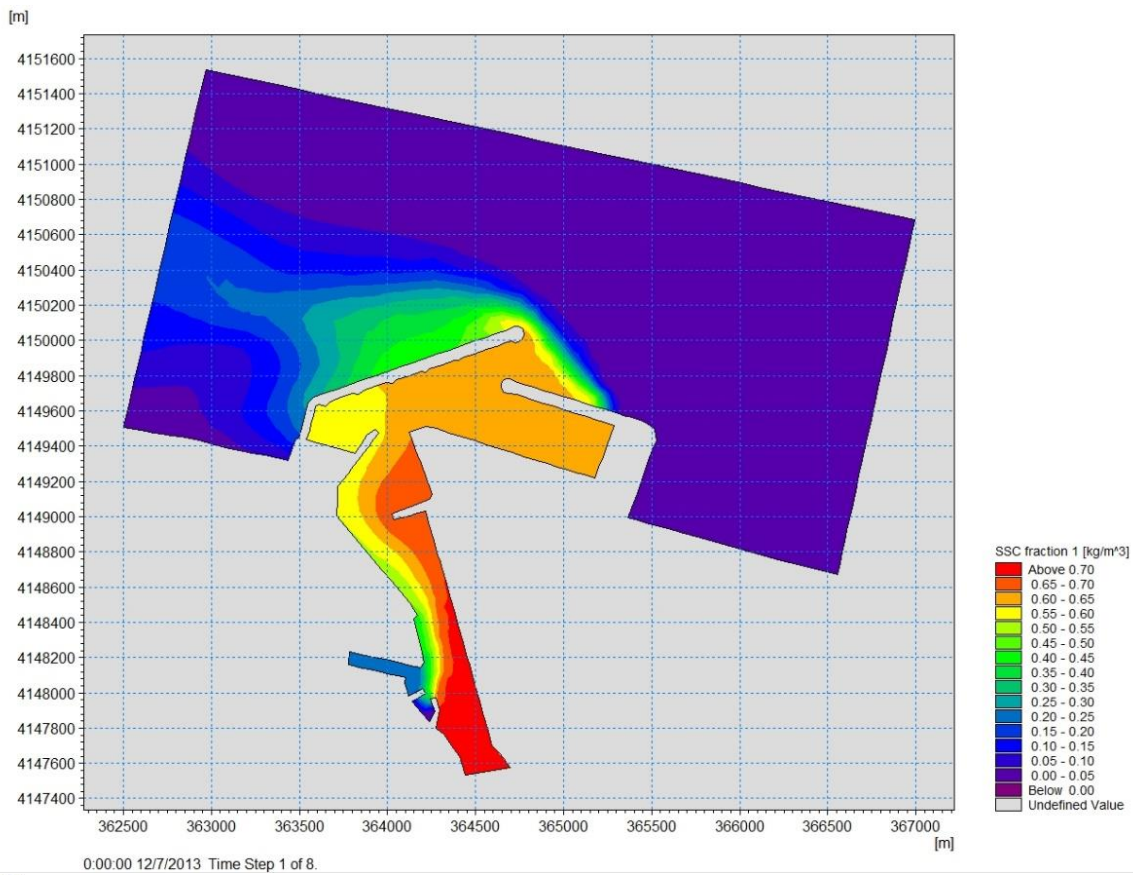
در این بخش اطلاعات خروجی از ماژول انتقال رسوبات گلی نمایش داده می شود. پارامترهای ورودی این ماژول خروجی های ماژول HD است. در ادامه پارامترهای خروجی ماژول MT ارائه شده است.

- تمرکز رسوبات معلق (Suspended sediment concentration (SSC))

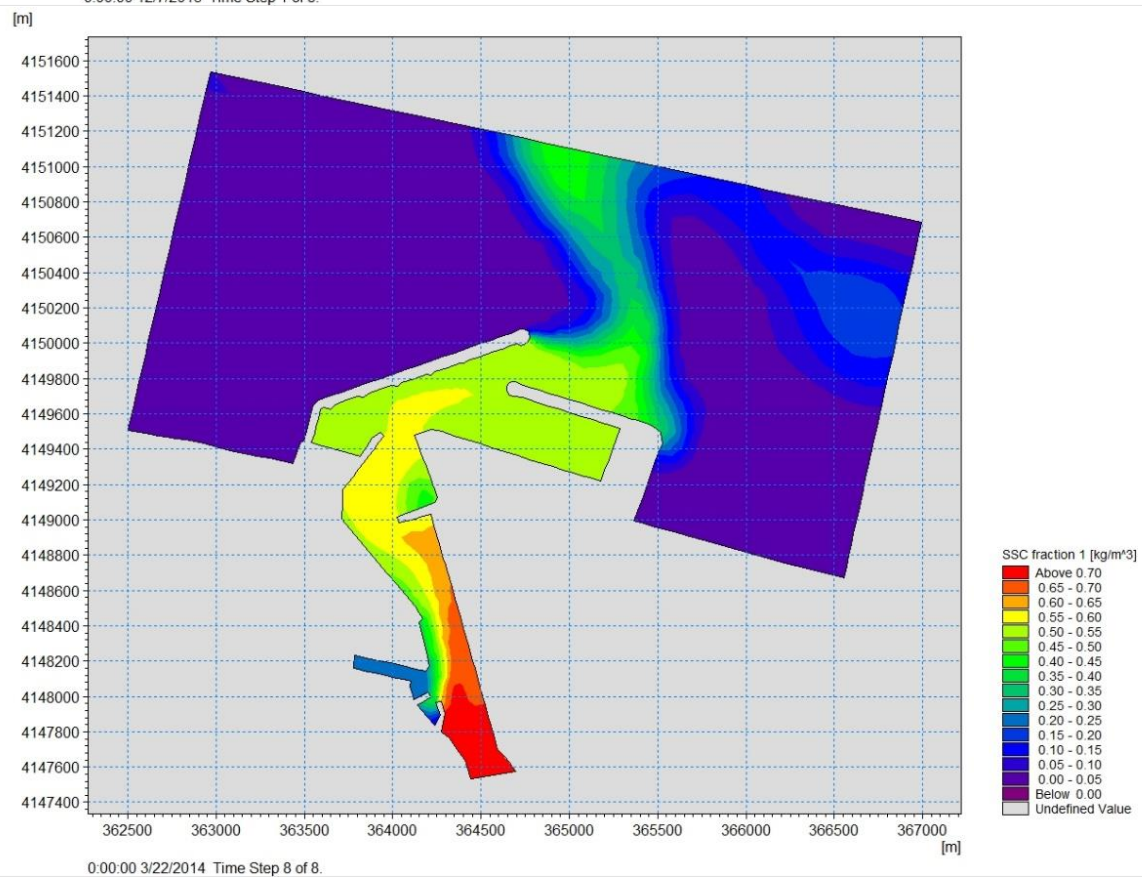
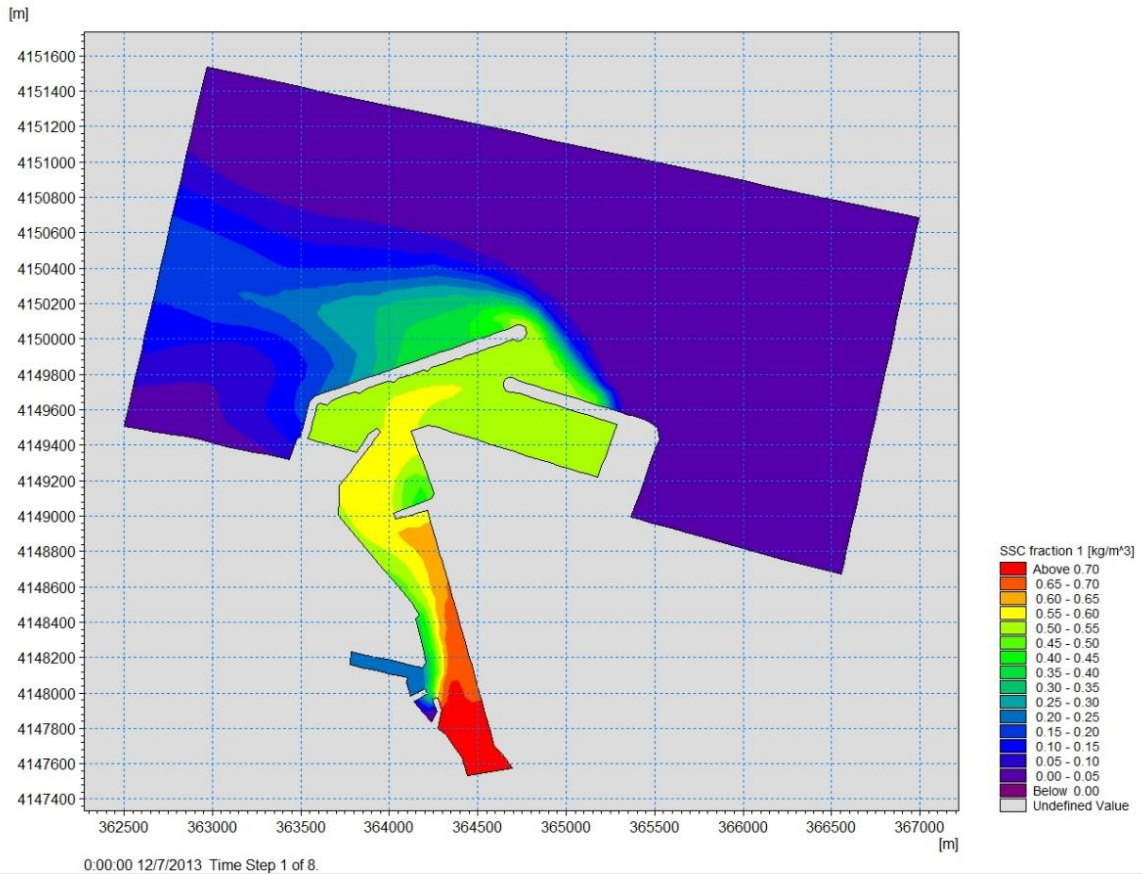
در ادامه در شکل های ۴-۳۷ تا ۴-۴۱ تمرکز رسوبات معلق در جریان های رسوبی در سناریوهای مختلف نشان داده شده است.



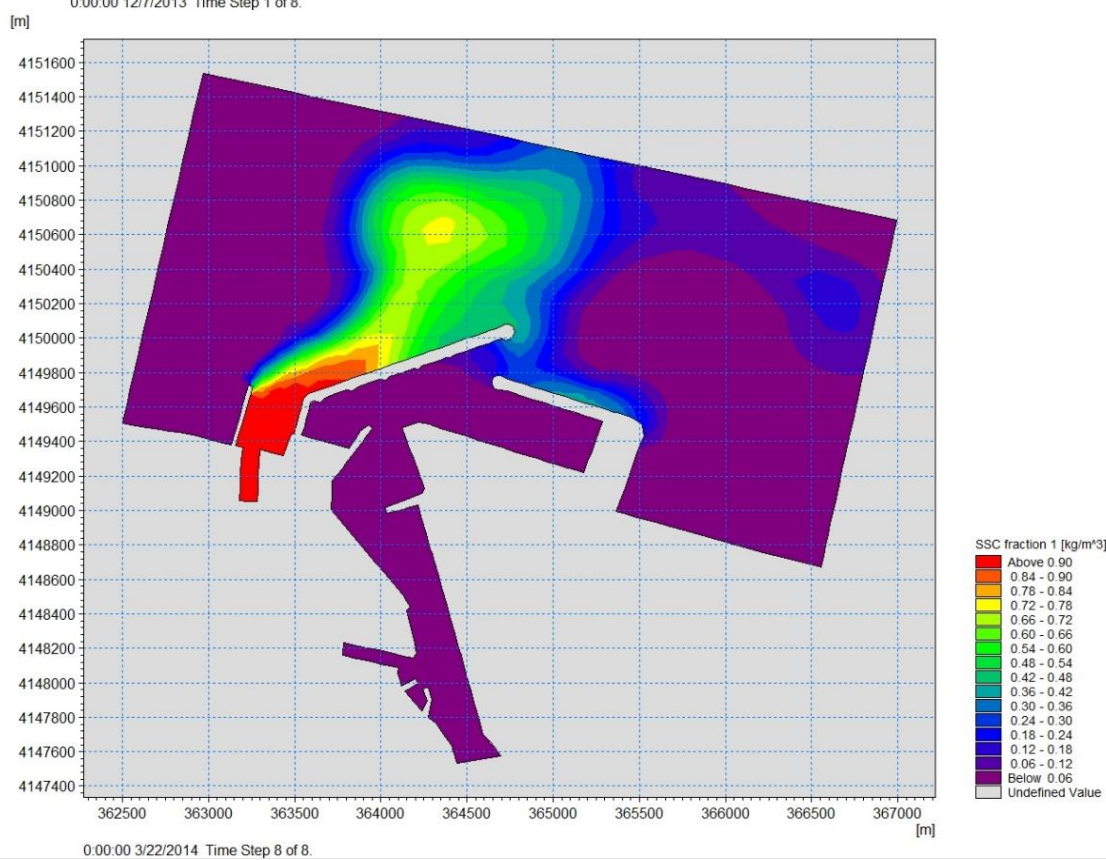
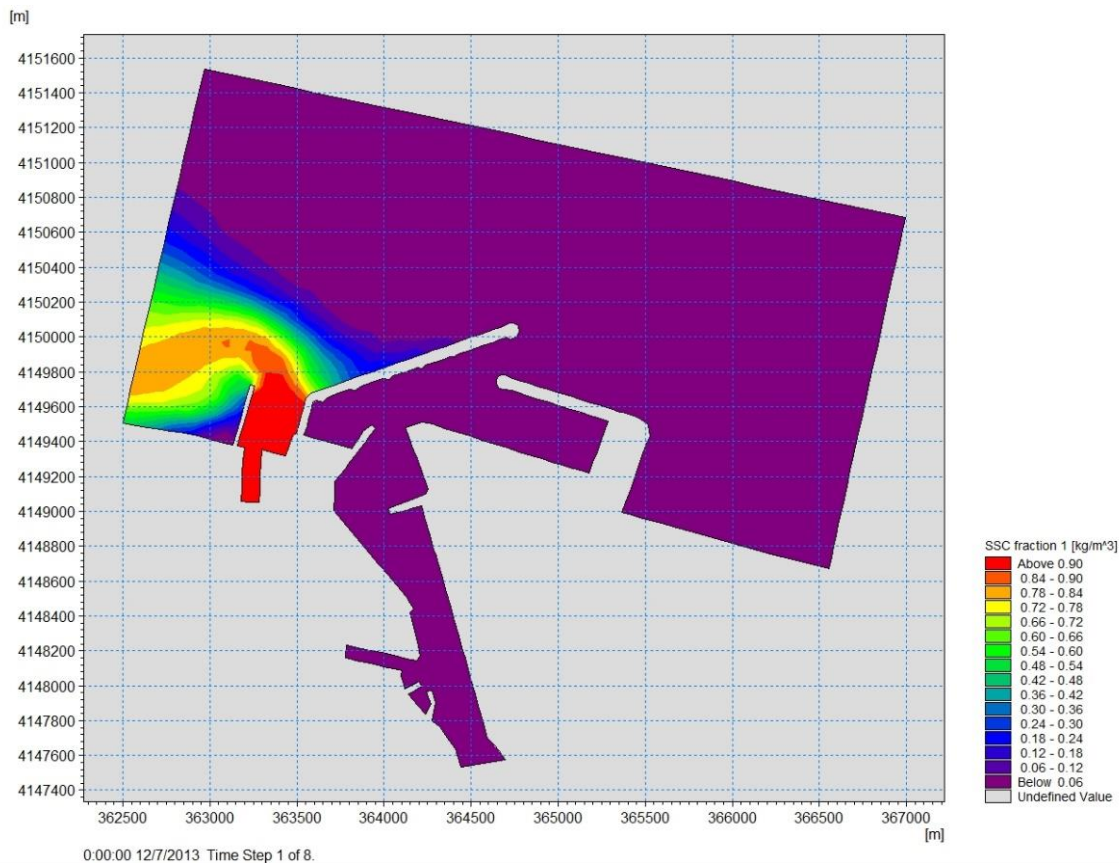
شکل ۴-۳۹: تمرکز رسوبات معلق در ناحیه انزلی برای سناریوی اول



شکل ۴-۴۰: تمرکز رسوبات معلق در ناحیه انزلی برای سناریوی دوم



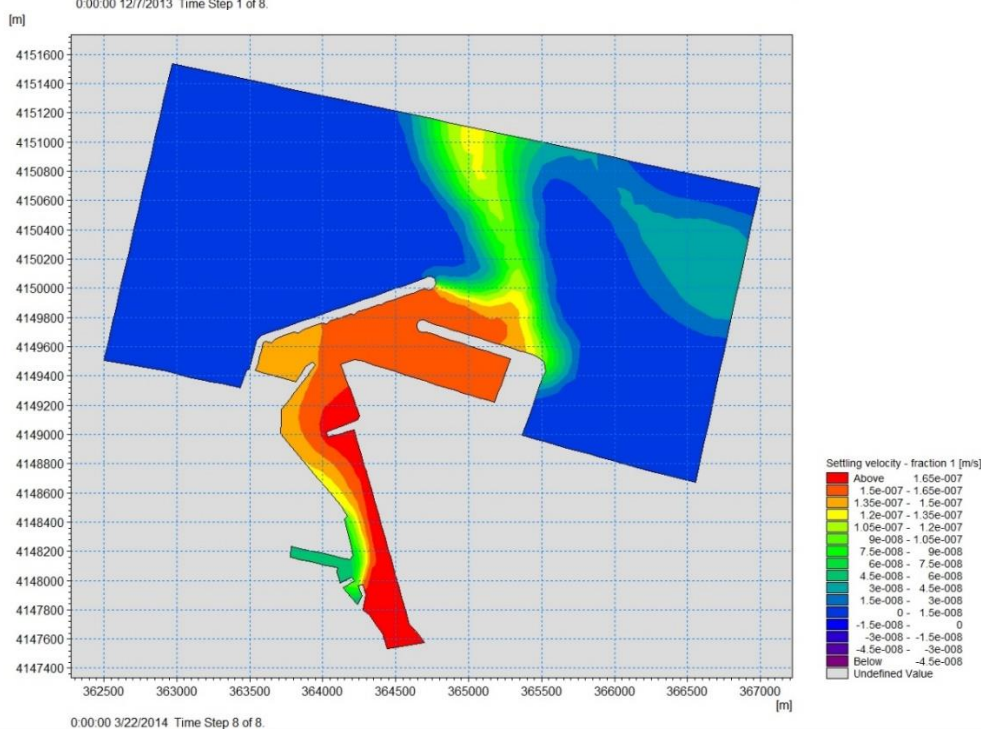
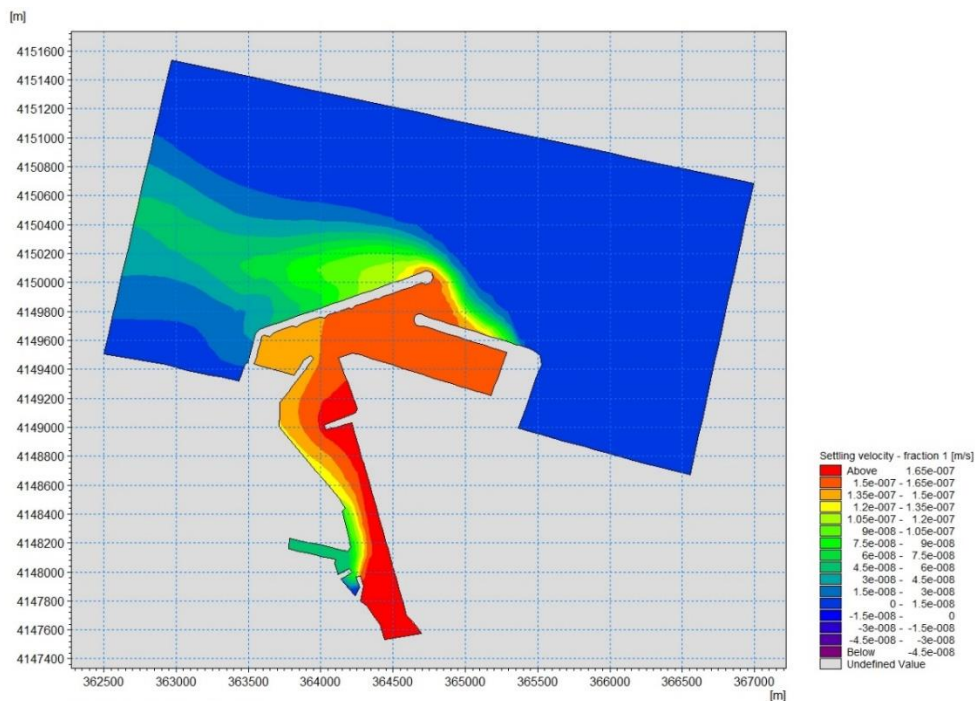
شکل ۴-۴۱: تمرکز رسوبات معلق در ناحیه انزلی برای سناریوی سوم



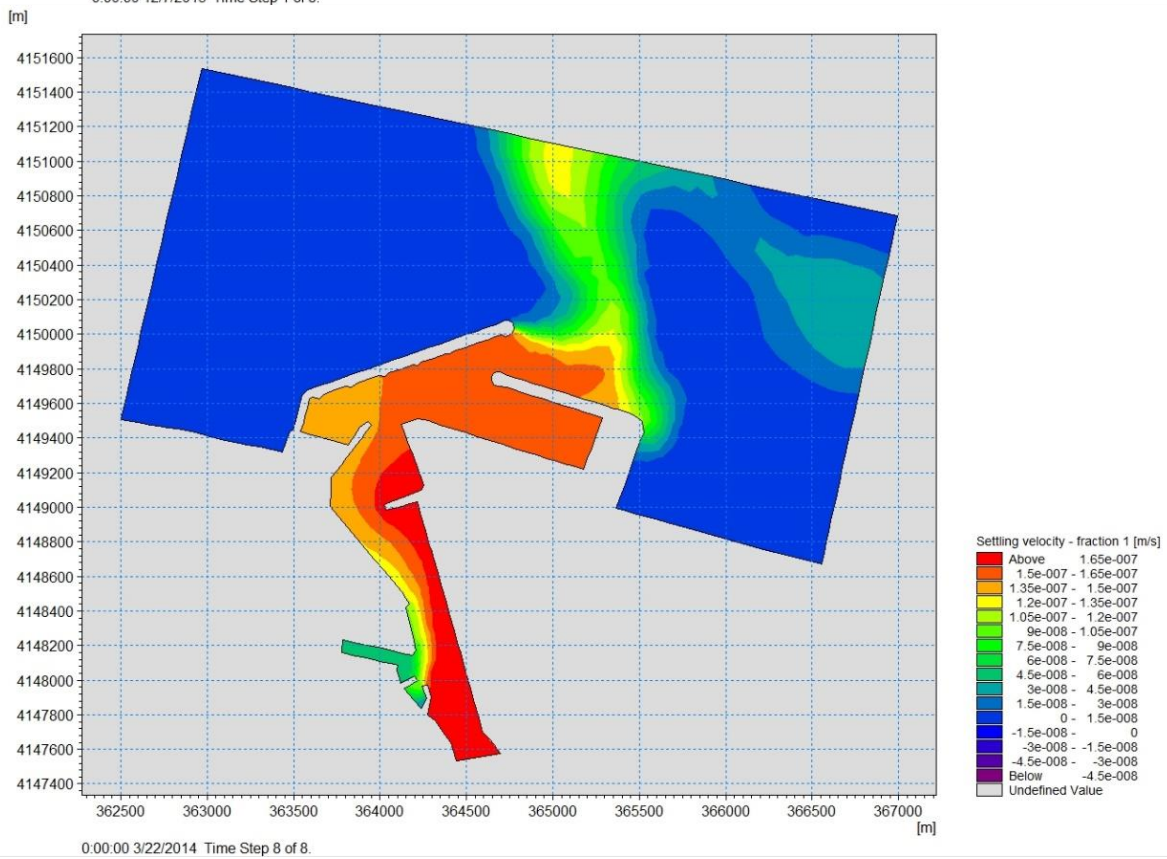
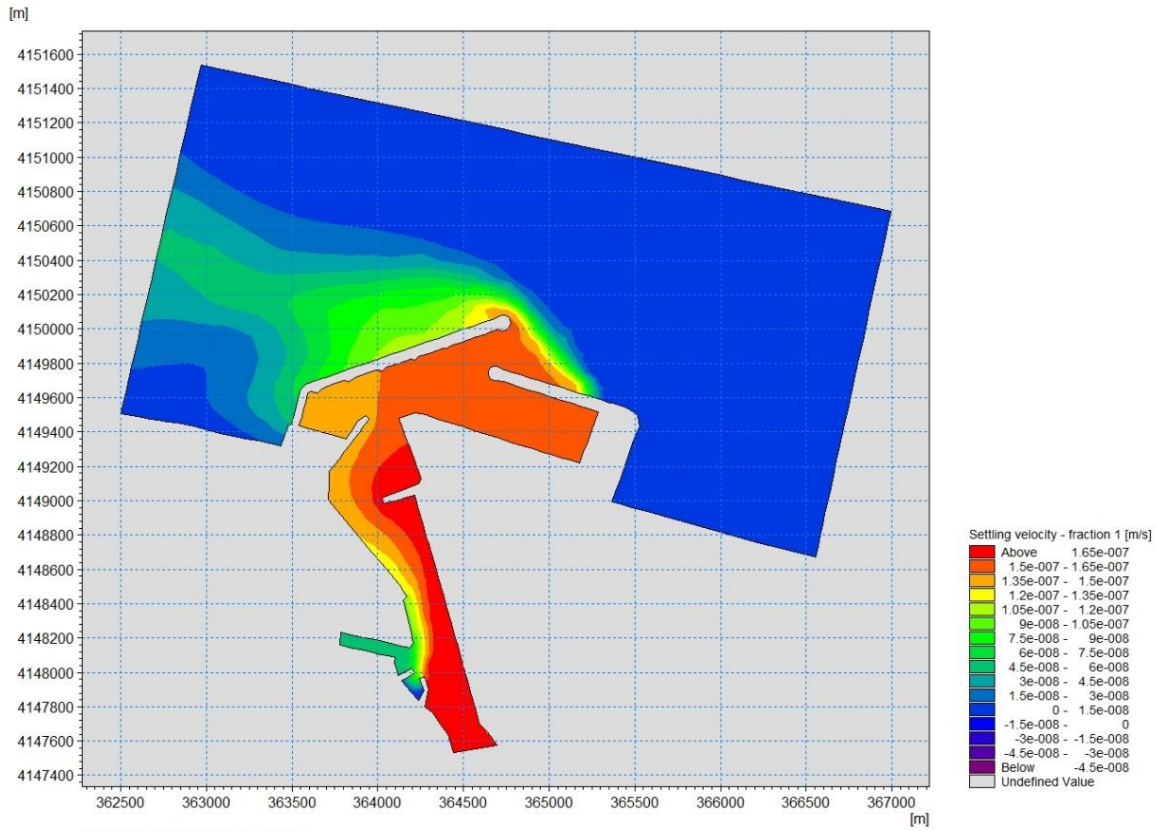
شکل ۴-۳۲: تمرکز رسوبات معلق در ناحیه انزلی برای سناریوی چهارم

• سرعت نشست ذرات (Settling Velocity)

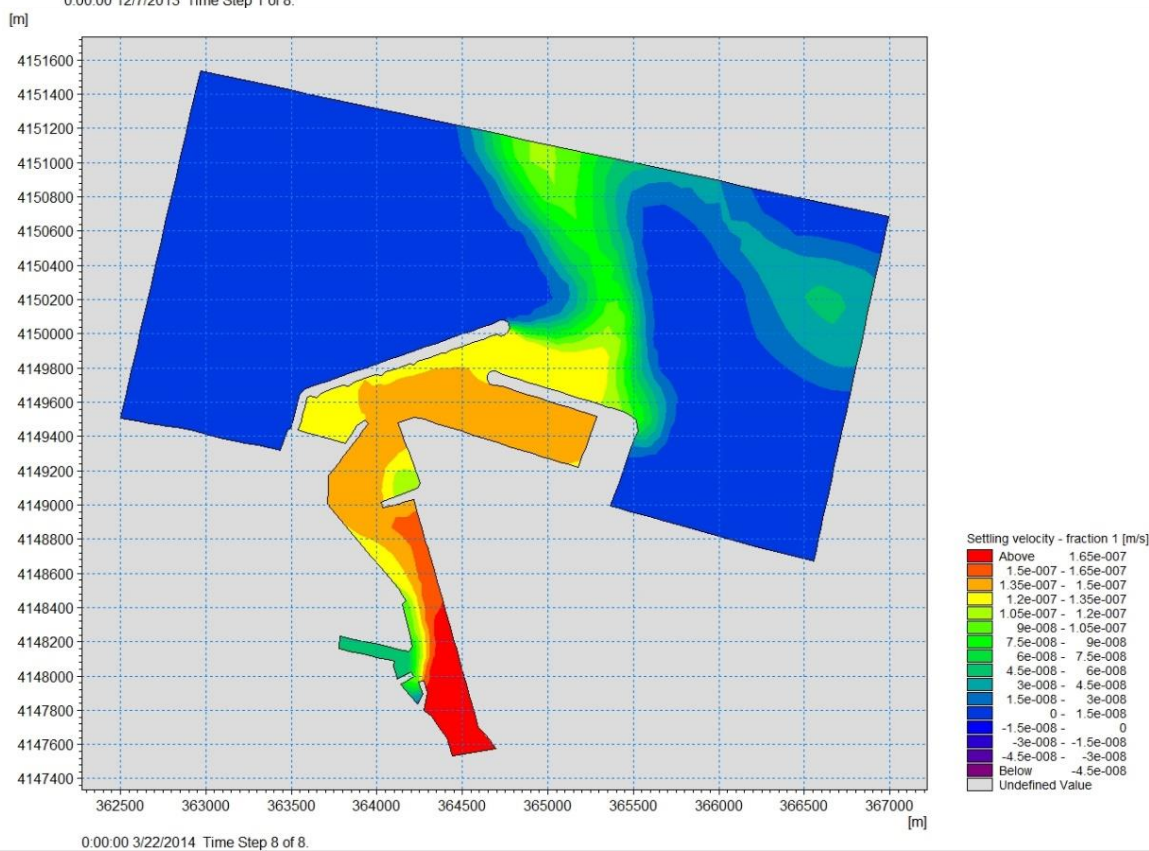
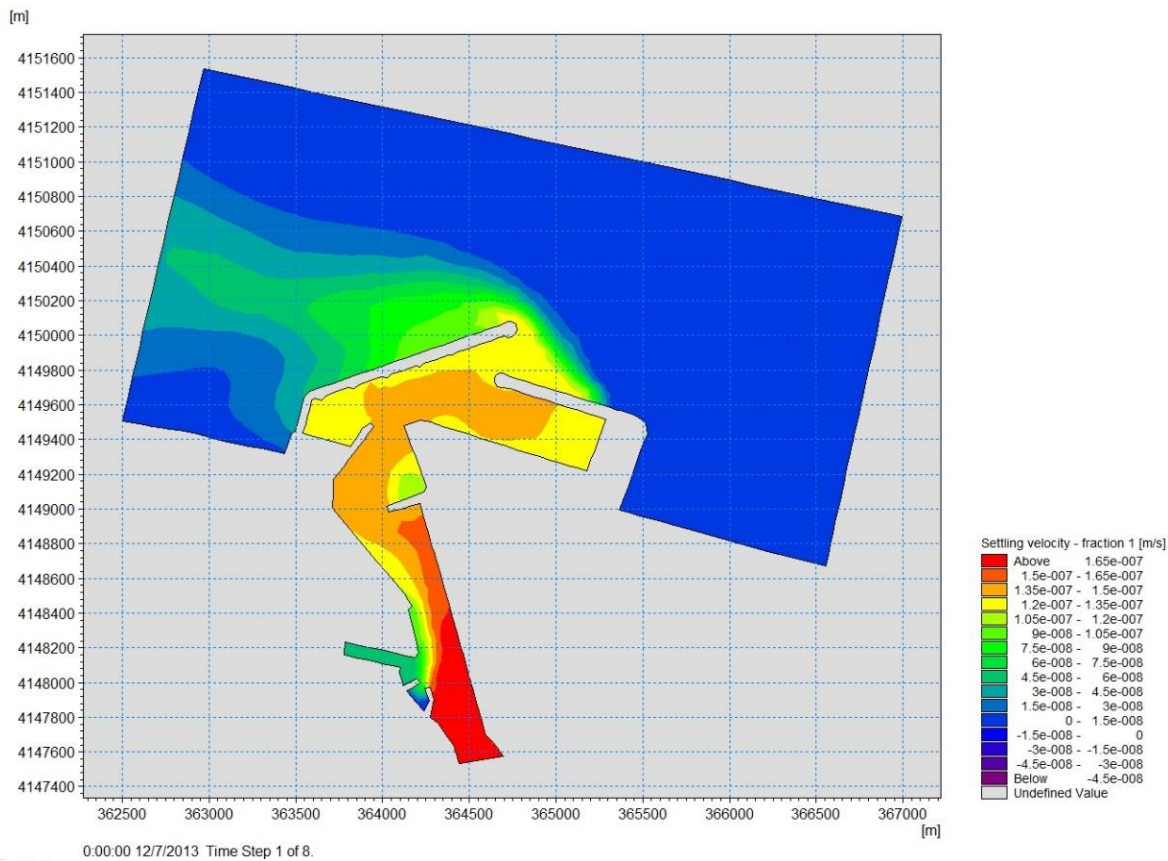
سرعت ته نشینی رسوبات در منطقه بندر انزلی در سناریوهای مختلف در شکل های ۴-۴۲ تا ۴-۴۵ نشان داده شده است.



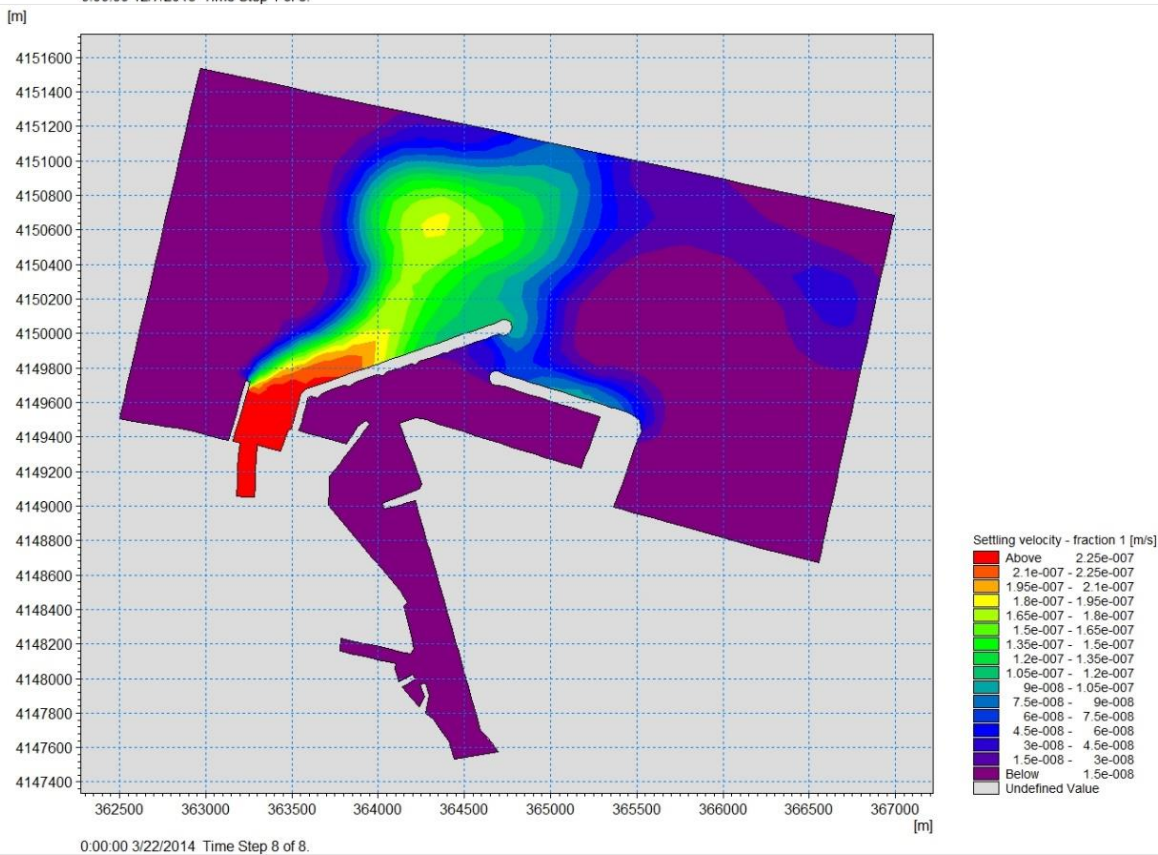
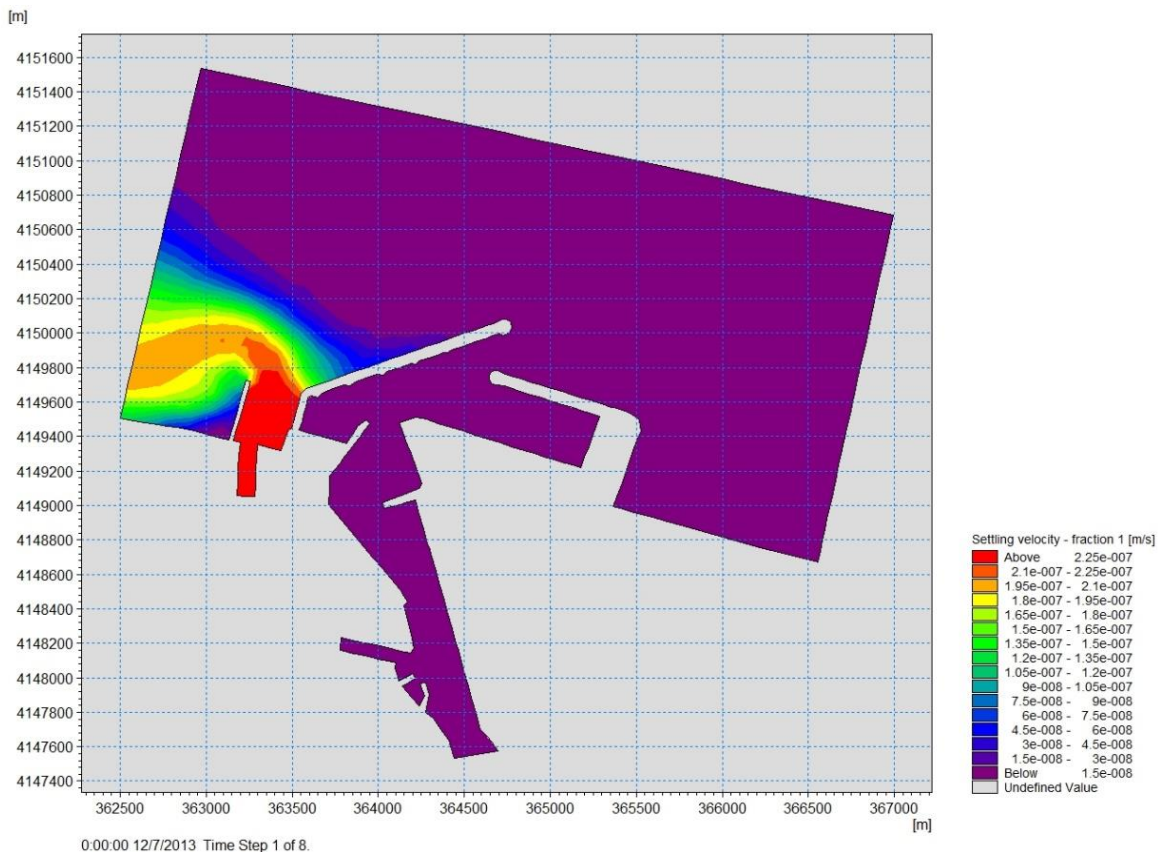
شکل ۴-۳۳: سرعت نشست ذرات در ناحیه انزلی برای سناریوی اول



شکل ۴-۳۴: سرعت نشست ذرات در ناحیه انزلی برای سناریوی دوم



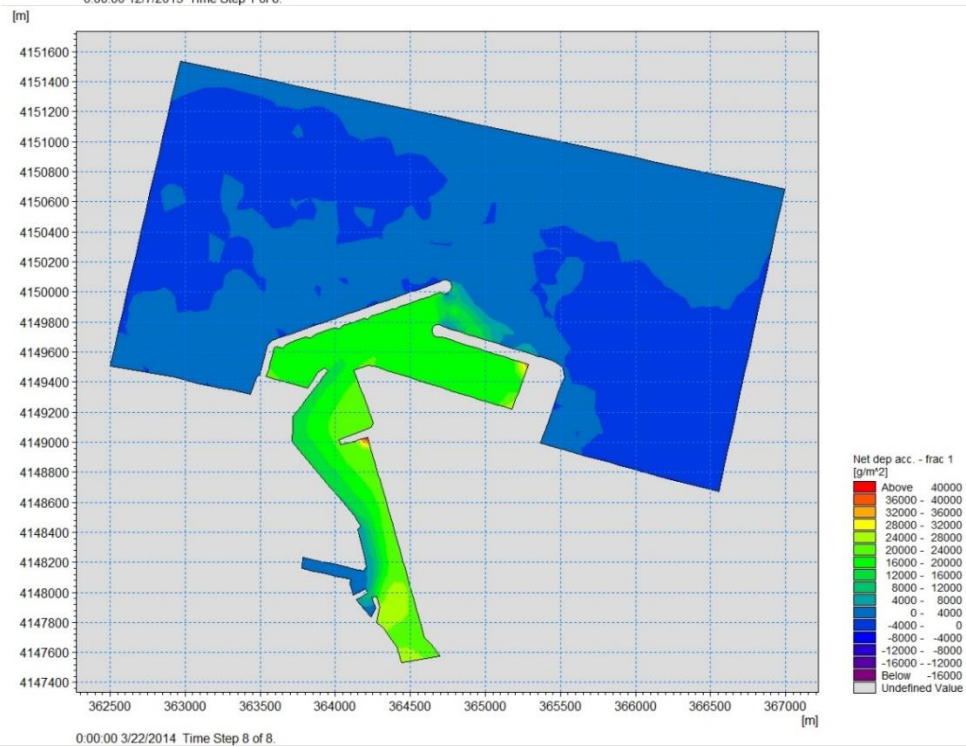
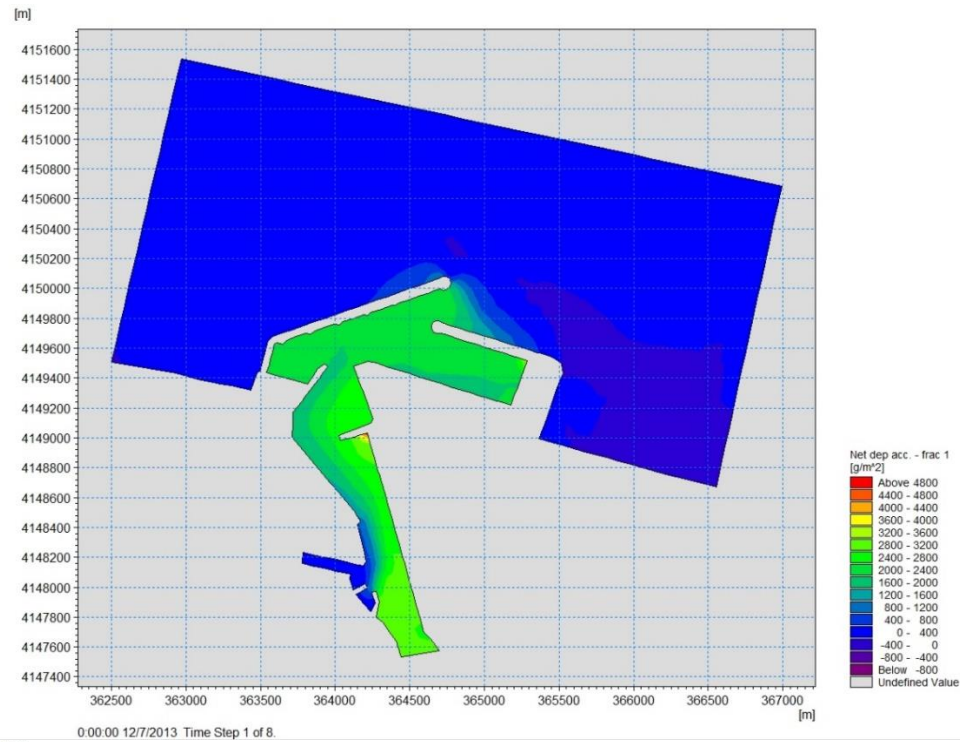
شکل ۴-۳۵: سرعت نشست ذرات در ناحیه انزلی برای سناریوی سوم



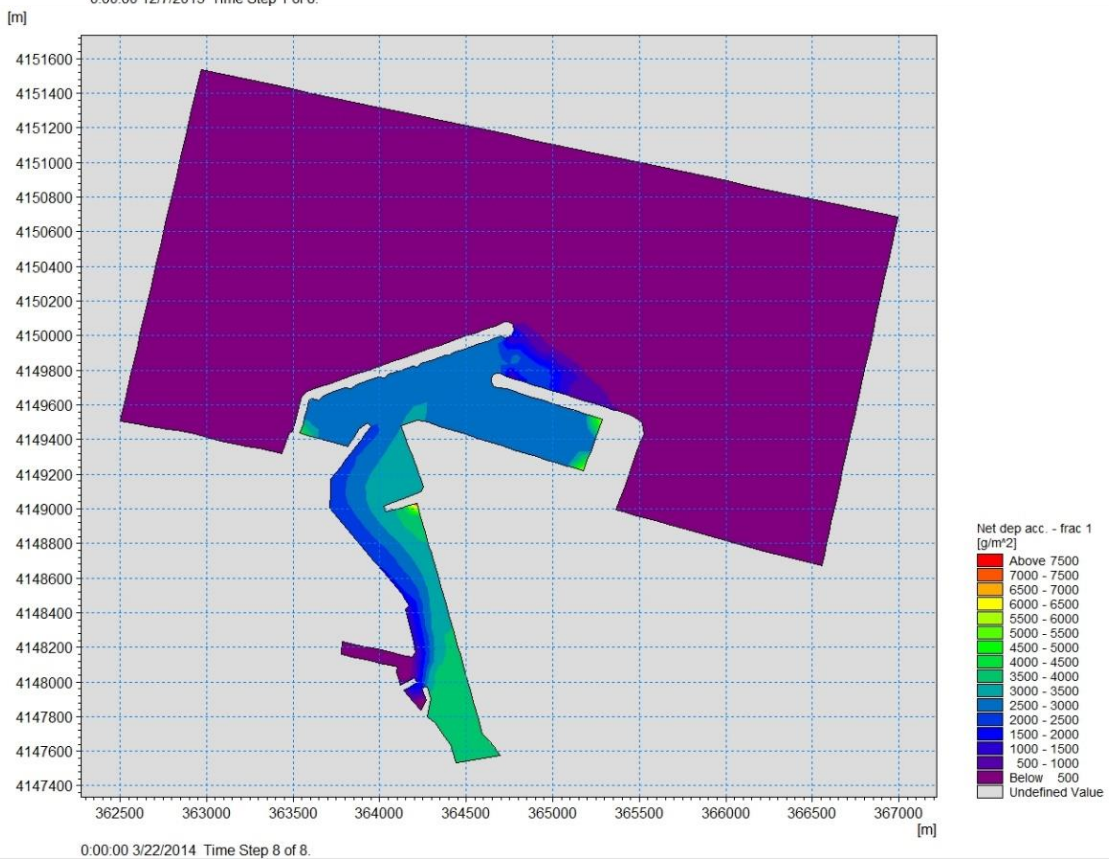
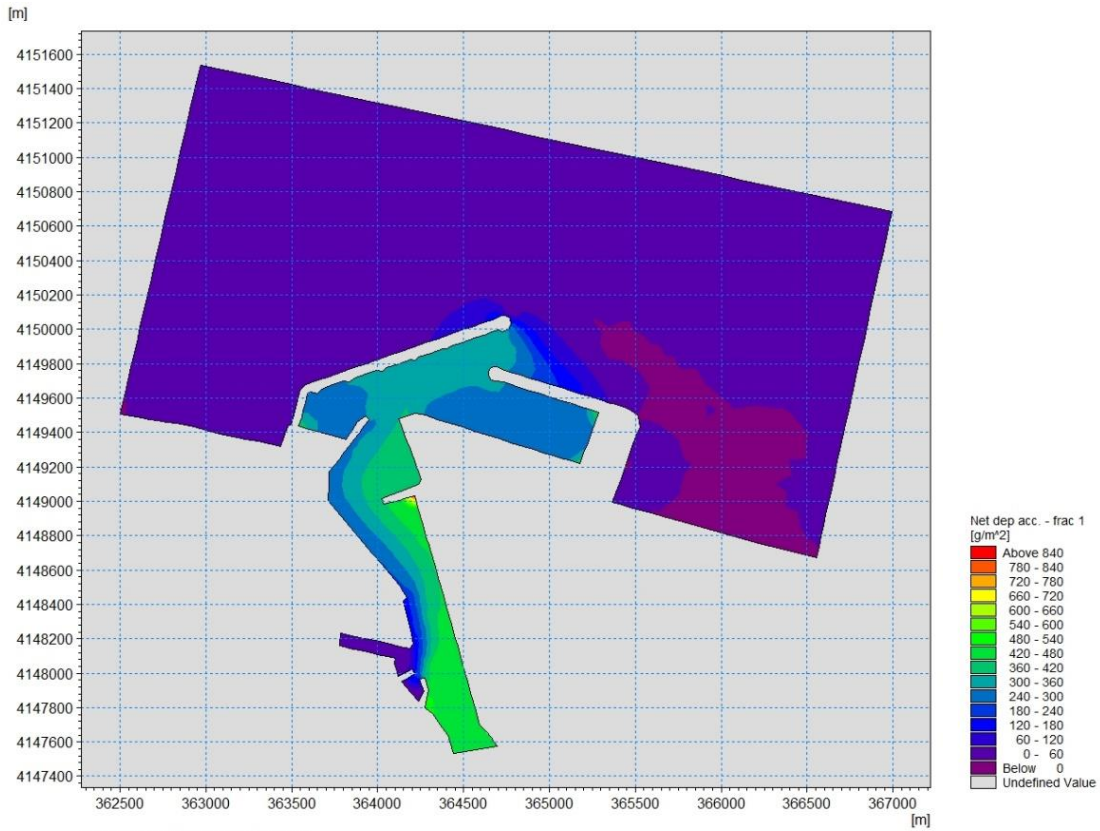
شکل ۴-۳۶: سرعت نشست ذرات در ناحیه انزلی برای سناریوی چهارم

• مجموع خالص رسوبات نشسته (net deposition accumulate)

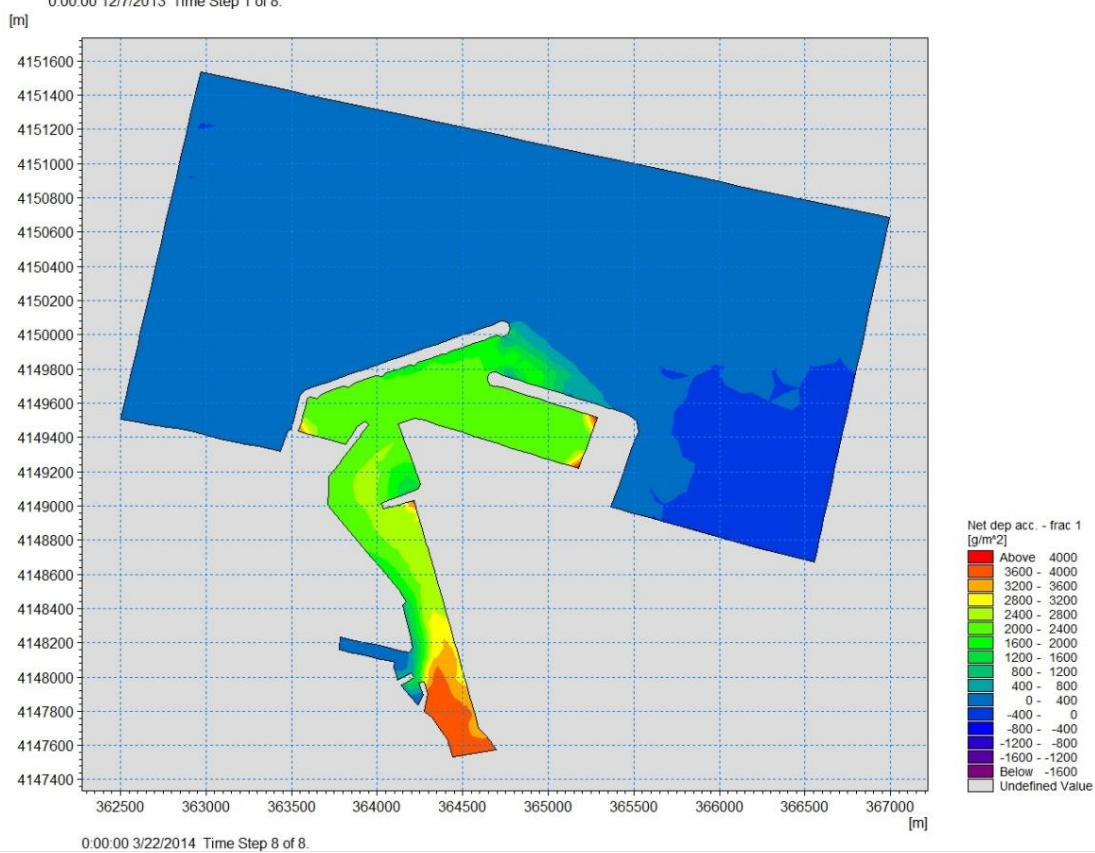
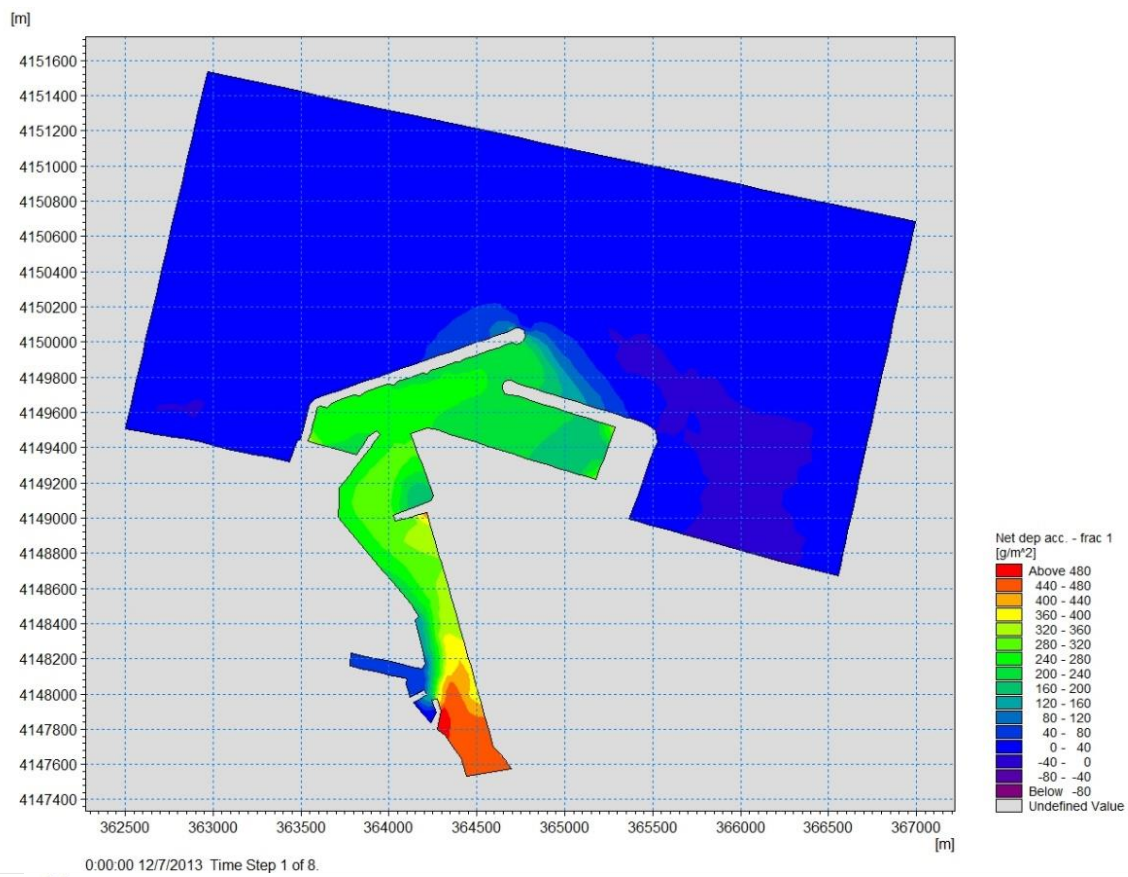
در این قسمت مقدار رسوبات نشسته در هر متر مربع برای سناریوهای مختلف در شکل های ۴-۴۶ تا ۴-۴۹ نشان داده شده است.



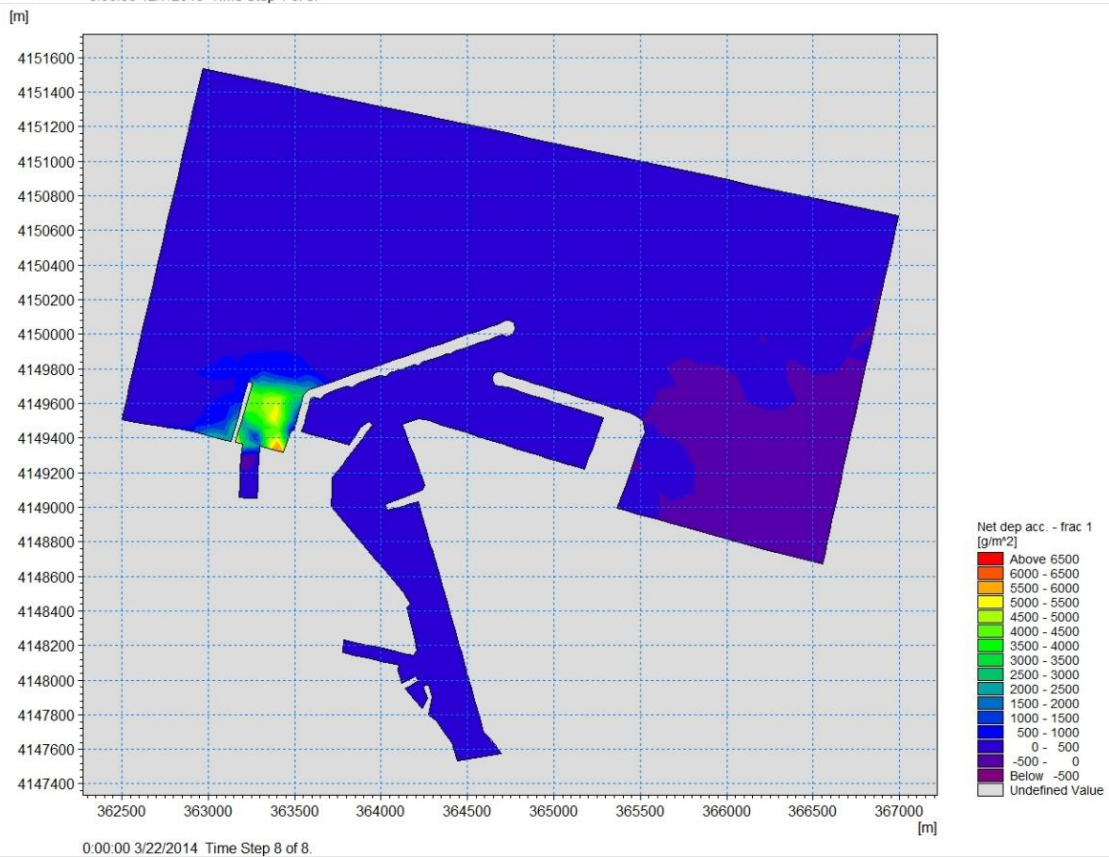
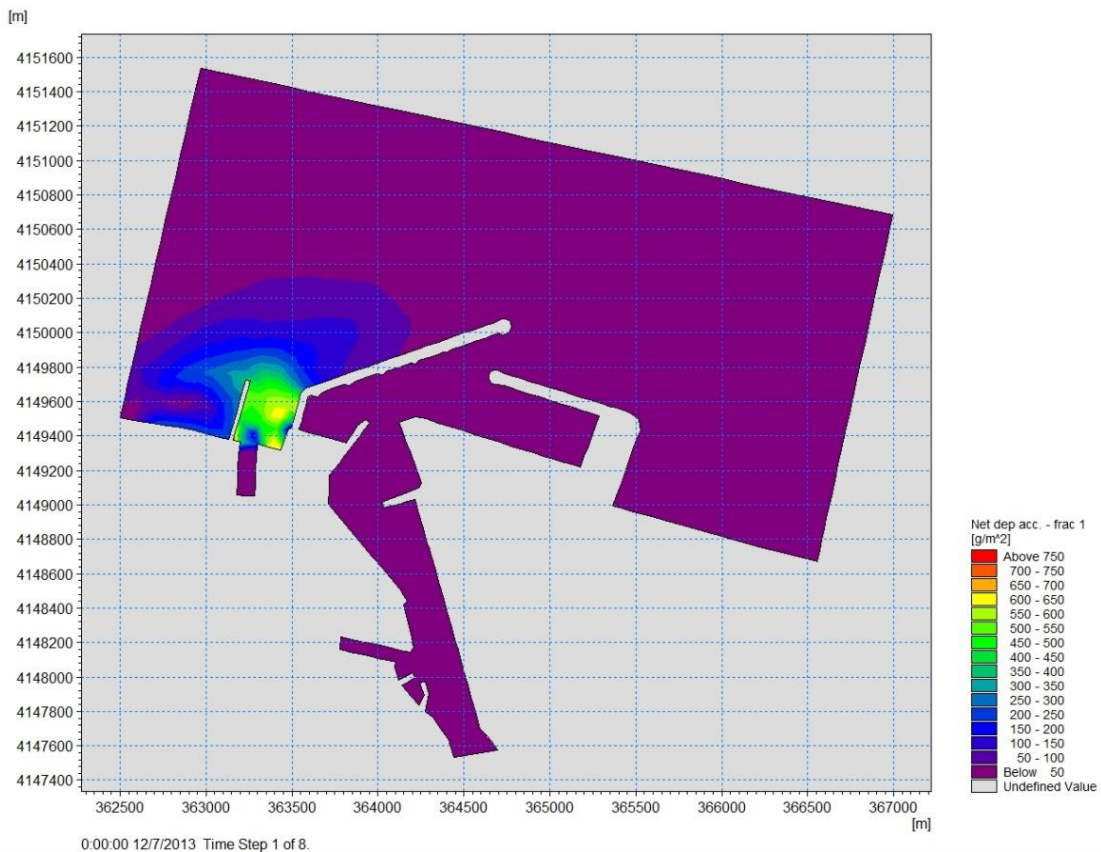
شکل ۴-۴۷: مجموع خالص رسوبات نشسته در ناحیه انزلی برای سناریوی اول



شکل ۴-۴۸: مجموع خالص رسوبات نشسته در ناحیه انزلی برای سناریوی دوم



شکل ۴-۳۷: مجموع خالص رسوبات نشسته در ناحیه انزلی برای سناریوی سوم



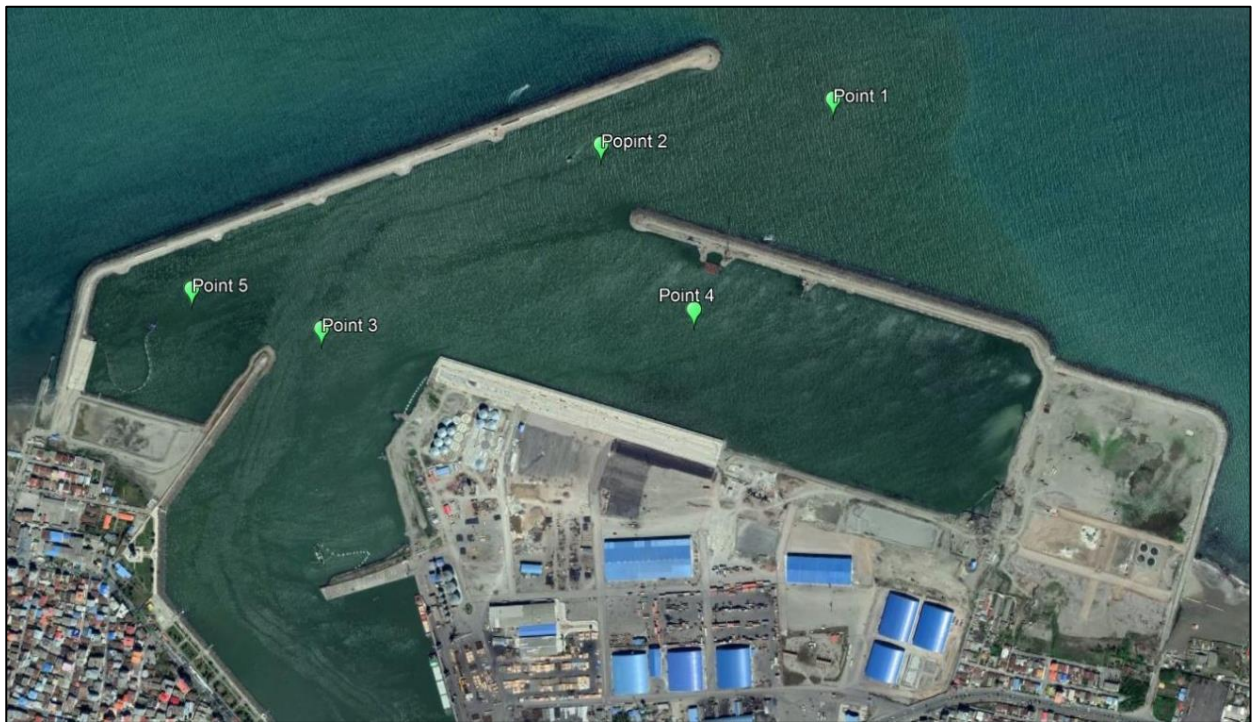
شکل ۴-۳۸: مجموع خالص رسوبات نشست در ناحیه انزلی برای سناریوی چهارم

۴-۴-۵- بررسی نتایج کمی بدست آمده از مدلسازی

نتایج کیفی حاصل از مدلسازی در بخش بالا بیان شد، حال در این بخش بصورت کمی و عددی نتایج حاصل شده از مدلسازی ها برای سناریو های مختلف را بیان می کنیم. برای این کار پنج نقطه اصلی که بررسی نتایج حاصل شده از آنها برای ما اهمیت بیشتری دارند در شکل ۴-۵۰ و جدول ۴-۷ نشان داده شده اند.

جدول ۴-۷: مختصات نقاط مشخص شده برای مقایسه مدل ها

ردیف	نام نقطه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	توصیف موقعیت
۱	Point 1	۳۶۵۰۷۵,۲۸۲۷	۴۱۴۹۹۳۰,۷۶۳	بیرون دهانه بندر
۲	Point 2	۳۶۴۶۰۶,۱۲۵۷	۴۱۴۹۸۴۷,۳۵۷	بین دهانه بندر
۳	Point 3	۳۶۴۰۳۷,۹۲۴۵	۴۱۴۹۴۸۷,۶۷	داخل بندر و مابین موج شکن های قدیمی
۴	Point 4	۳۶۴۷۸۸,۵۷۵۷	۴۱۴۹۵۱۳,۷۳۴	وسط حوضچه شرقی
۵	Point 5	۳۶۳۷۷۷,۲۸۱۸	۴۱۴۹۵۷۱,۰۷۶	وسط حوضچه غربی



شکل ۴-۵۱: موقعیت نقاط مشخص شده برای مقایسه مدلها در نقشه

نتایج بدست آمده از مدلسازی ها برای مقایسه سرعت جریان، SSC، سرعت نشست رسوبات و مجموع خالص رسوبات نشسته برای سناریو های مختلف در ۵ نقطه ذکر شده به شرح جداول ۴-۸ تا ۴-۱۱ است.

جدول ۴-۸: مقایسه سرعت متوسط جریان در نقاط مشخص شده با سناریوهای مختلف

ردیف	نام نقطه	سرعت متوسط جریان در سناریو اول (m/s)	سرعت متوسط جریان در سناریو دوم (m/s)	سرعت متوسط جریان در سناریو سوم (m/s)	سرعت متوسط جریان در سناریو چهارم (m/s)
۱	Point 1	۰,۰۸۳	۰,۰۵۵	۰,۰۷۸	۰,۰۸۹
۲	Point 2	۰,۰۶۵	۰,۰۵۶	۰,۰۶۴	۰,۰۱۴
۳	Point 3	۰,۱۰۱۲	۰,۰۸۰۰	۰,۰۷۹	۰,۰۰۵
۴	Point 4	۰,۰۰۸۹	۰,۰۰۰۸	۰,۰۰۸۳	۰,۰۰۴
۵	Point 5	۰,۰۰۹۴	۰,۰۰۶۱	۰,۰۱۱	۰,۰۰۵

جدول ۴-۹: مقایسه SSC در نقاط مشخص شده با سناریوهای مختلف

ردیف	نام نقطه	SSC سناریو اول (Kg/m ³)	SSC سناریو دوم (Kg/m ³)	SSC سناریو سوم (Kg/m ³)	SSC سناریو چهارم (Kg/m ³)
۱	Point 1	۰,۱۸۰	۰,۱۹۸	۰,۱۸۷	۰,۰۶۴
۲	Point 2	۰,۶۱۶	۰,۶۱۴	۰,۵۲۶	۰,۰۴۷
۳	Point 3	۰,۶۱۷	۰,۶۱۵	۰,۵۶۱	۰,۰۲۶
۴	Point 4	۰,۶۱۶	۰,۶۰۹	۰,۵۳۲	۰,۳۰
۵	Point 5	۰,۵۸۹	۰,۵۸۷	۰,۸۳۳	۰,۰۳

جدول ۴-۱۰: مقایسه سرعت متوسط نشست رسوبات در نقاط مشخص شده با سناریوهای مختلف

ردیف	نام نقطه	سرعت متوسط نشست در سناریو اول (m/s)	سرعت متوسط نشست در سناریو دوم (m/s)	سرعت متوسط نشست در سناریو سوم (m/s)	سرعت متوسط نشست در سناریو چهارم (m/s)
۱	Point 1	۴,۵۳*۱۰ ^{-۸}	۴,۹۹*۱۰ ^{-۸}	۴,۷*۱۰ ^{-۷}	۱,۷۹*۱۰ ^{-۸}
۲	Point 2	۱,۵۳*۱۰ ^{-۷}	۱,۵۳*۱۰ ^{-۷}	۱,۳۱*۱۰ ^{-۷}	۱,۲۴*۱۰ ^{-۸}
۳	Point 3	۱,۵۳*۱۰ ^{-۷}	۱,۵۳*۱۰ ^{-۷}	۱,۳۹*۱۰ ^{-۷}	۷,۲۷*۱۰ ^{-۹}
۴	Point 4	۱,۵۳*۱۰ ^{-۷}	۱,۵۱*۱۰ ^{-۷}	۱,۳۲*۱۰ ^{-۷}	۸,۱۶*۱۰ ^{-۹}
۵	Point 5	۱,۴۶*۱۰ ^{-۷}	۱,۴۶*۱۰ ^{-۷}	۱,۳۳*۱۰ ^{-۷}	۸,۳۳*۱۰ ^{-۹}

جدول ۴-۱۱: مقایسه مجموع خالص رسوبات نشست رسوبات در نقاط مشخص شده با سناریوهای مختلف

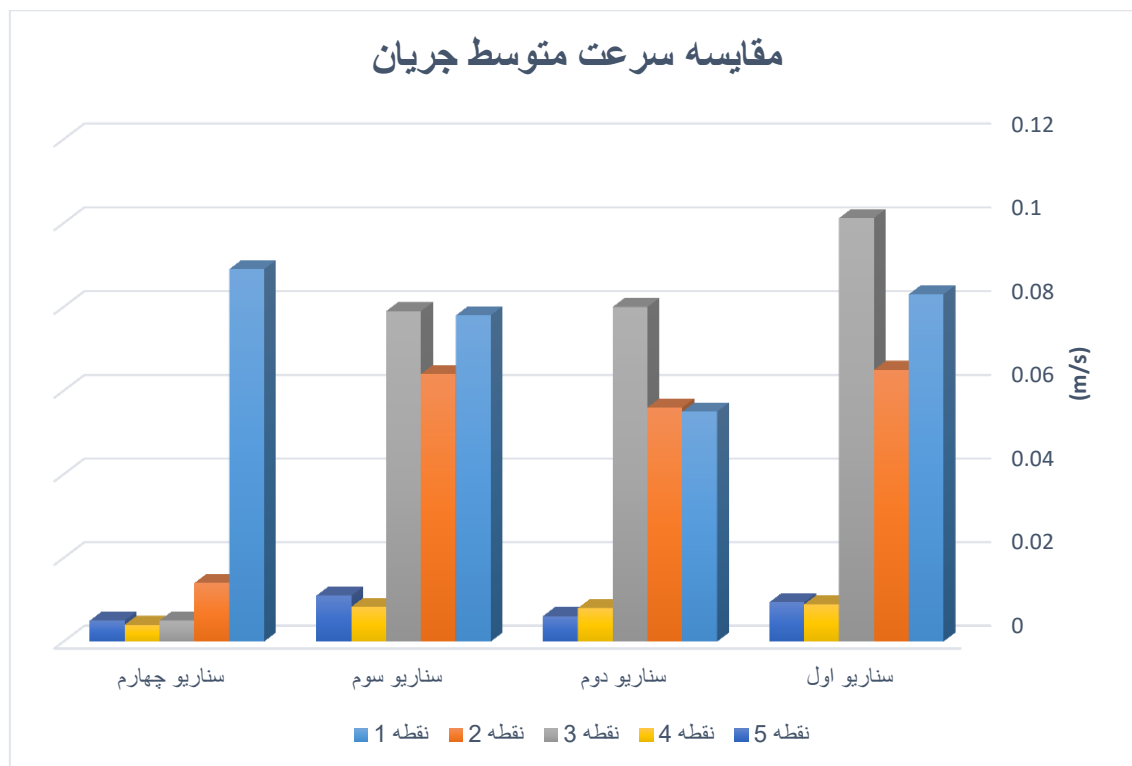
ردیف	نام نقطه	Net. Dep. ACC سناریو اول (g/m ²)	Net. Dep. ACC سناریو دوم (g/m ²)	Net. Dep. ACC سناریو سوم (g/m ²)	Net. Dep. ACC سناریو چهارم (g/m ²)
۱	Point 1	۶۱۶,۵۲۵	۱۶۲,۷۹	۱۳۳,۰۲	۳۱,۵۹
۲	Point 2	۹۱۰۹,۳۳	۱۳۸۶,۱۸	۹۹۸,۱۱	۲۴,۵۵
۳	Point 3	۷۹۴۱,۸۴	۱۳۰۱,۹۹	۱۰۸۵,۷۳	۲,۹۵
۴	Point 4	۹۷۹۳,۶۴	۱۴۱۸,۰۹	۱۰۸۴,۸۱	۳,۲۰
۵	Point 5	۸۹۹۶,۰۰	۱۳۳۳,۶۰	۱۱۰۳,۶۶	۴,۴۸

۴-۵- نتایج بحث

در این بخش نتایج اجرای مدلسازی ها و بررسی کمی و کیفی آنها مورد بحث قرار گرفته است. طرح نهایی با استفاده از نتایج این بخش انتخاب می شود.

نتایج مقایسه مدلسازی در سناریوهای مختلف نشان می دهد که سرعت در سناریوی یک حالت موجود بندر بیشتر بوده که این به دلیل کم عمق بودن بستر بندر است و رسوبات قبل از رسیدن به دهانه بندر و انتقال به بیرون حوضچه فرصت ته نشین شدن پیدا می کنند. در سناریوی دوم سرعت جریان به شدت کاهش می یابد و این موضوع به دلیل لایروبی و افزایش عمق بستر بندر است که شرایط مناسب برای گردش رسوبات در محوطه بندر و ته نشینی رسوبات را ایجاد می کند. در سناریوی سوم با افزایش نسبی سرعت جریان افقی و هدایت رسوبات به سمت دهانه بندر از ته نشینی درصد قابل توجهی از رسوبات در حوضچه بندر جلوگیری شده و این مقدار رسوبات در حال حرکت باقی ماندند تا از بندر خارج شوند. به طور نسبی از ته نشینی حدود ۲۱ درصد رسوبات جلوگیری شده است. اما در سناریوی چهارم سرعت جریان درون حوضچه بندر بسیار پایین است و حوضچه در آرامش کامل قرار دارد. میزان رسوبات ورودی ته نشین شده به حوضچه بندر مقدار بسیار پایینی دارد به دلیل اینکه حجم آبی که درون بندر قرار گرفته مانند سدی عمل می کند که از ورود امواج و رسوبات به درون حوضچه جلوگیری می کند و این به دلیل عدم وجود جریان رودخانه است. در این

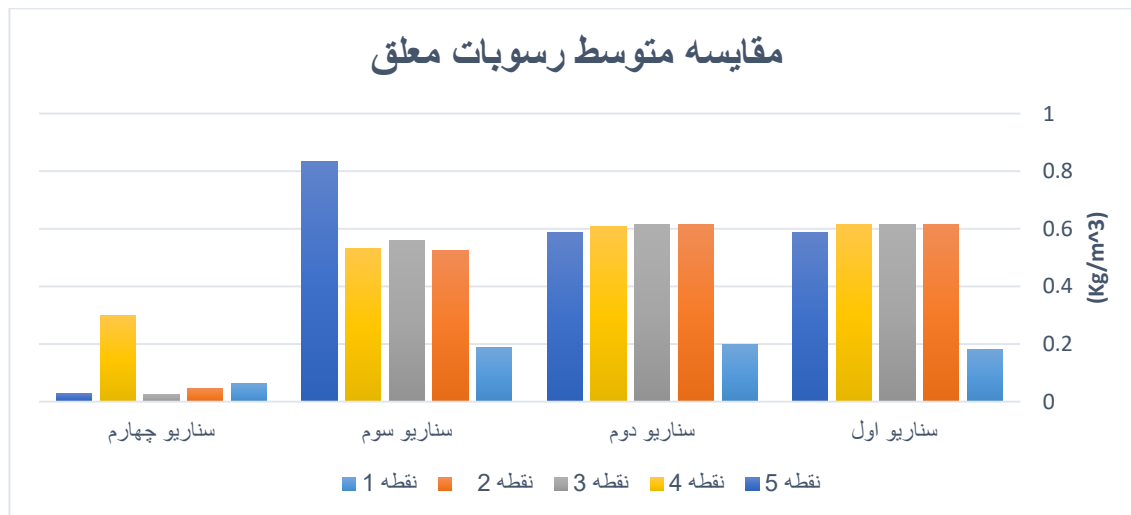
سناریو مشکل ته نشینی رسوبات و لایروبی بندر تا بیش از ۹۸ درصد نسبت به طرح سازمان بنادر کاهش یافته است. نمودارهای مقایسه داده های کمی به دست آمده از مدل سازی سناریوهای مختلف در شکل های (۴-۵۱) تا (۴-۵۴) قابل مشاهده است.



شکل ۴-۵۲: نمودار مقایسه سرعت متوسط جریان در سناریوهای مختلف

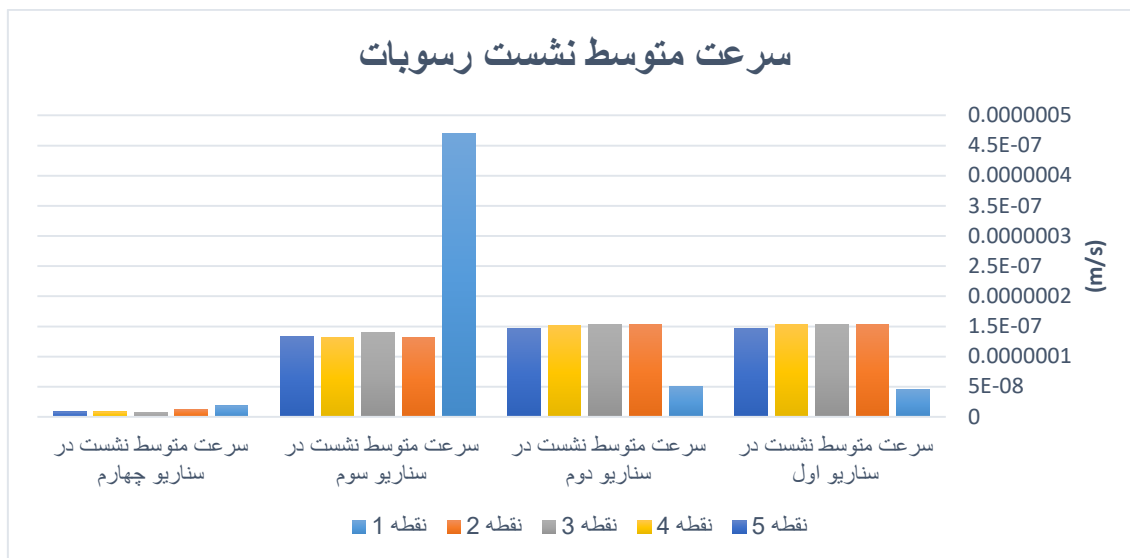
با مقایسه سرعت متوسط جریان ها در ۵ نقطه در سناریوهای مختلف نتیجه می شود که به طور کل در نقطه ۱ که در محل خارج از دهانه بندر قرار دارد به دلیل وجود جریان های موازی ساحل حاصل از امواج، مقدار سرعت متوسط بیشتر است. در سناریوی اول مقدار متوسط سرعت جریان به دلیل کم عمق بودن بستر بندر بیشتر از متوسط سرعت در سناریوی دوم است که بستر بندر لایروبی شده و عمق آبخور بیشتر است. این مقدار در سناریوی سوم که جریان های مصنوعی برای افزایش سرعت جریان در بندر نظر گرفته شده، نسبت به سناریوی دوم که عمق مشابهی دارند بیشتر است. در نهایت در سناریوی چهارم که جریان رودخانه ها وارد محوطه بندر نمی شوند سرعت متوسط مقدار بسیار

پایین تری دارد. مقدار کم جریان در این سناریو به دلیل نفوذ اندک امواج به محوطه بندر در شرایط خاص است.



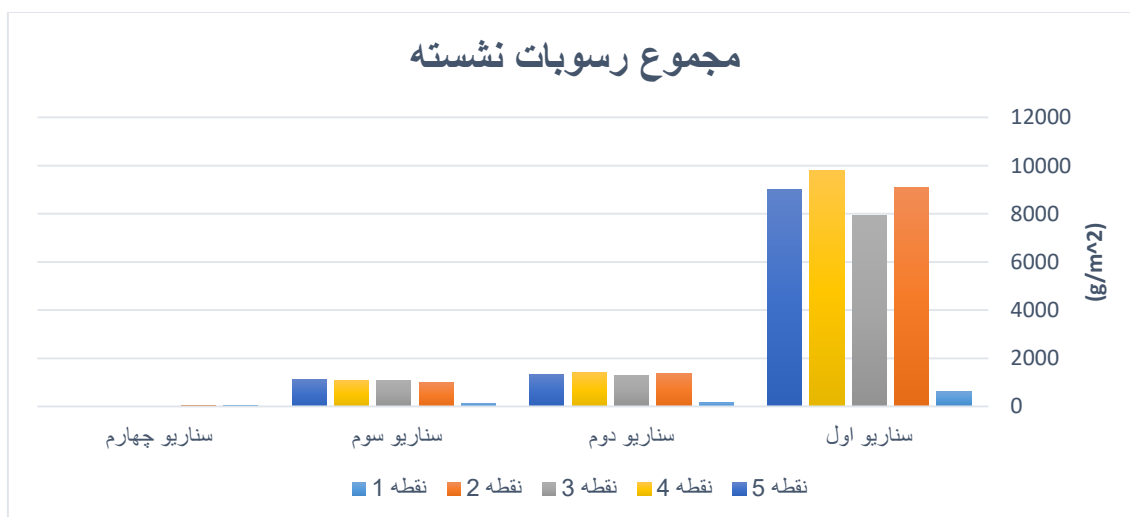
شکل ۴-۵۳: نمودار مقایسه متوسط رسوبات معلق در سناریوهای مختلف

با مقایسه نمودار متوسط رسوبات معلق در سناریوها نتیجه می شود که به دلیل وجود جریانات رودخانه از محل تالاب به محوطه بندر، آورد رسوب رودخانه ها در سناریوهای اول تا سوم تغییر زیادی نداشته است. در سناریو سوم در نقطه ۵ این مقدار افزایش یافته است که این به دلیل وجود جریانات مصنوعی در بندر است که منجر به تمرکز رسوب در آن نقطه شده است. در نهایت در سناریوی چهارم این مقدار کاهش چشمگیری را نشان می دهد. در این سناریو نقطه چهارم نقطه حساس تری در نظر گرفته می شود چون مقدار رسوبات ناشی از جریان امواج در این نقطه آرام، معلق می مانند.



شکل ۴-۵۴: نمودار مقایسه سرعت متوسط نشست رسوبات در سناریوهای مختلف

با مقایسه سرعت متوسط نشست رسوبات در ۵ نقطه از سناریوهای مختلف این نتیجه به دست می آید که در دو سناریوی اول سرعت متوسط نشست رسوبات تغییر نکرده چون عاملی برای تغییر سرعت وجود نداشته است. اما در سناریوی سوم در نقطه ۱ سرعت نشست افزایش داشته است که این به دلیل انتقال رسوبات از طریق جریانات مصنوعی بوده و در این نقطه با برخورد امواج با حجم رسوبات سرعت عمودی رسوبات افزایش می یابد. به طور کل به دلیل ایجاد جریان افقی به صورت مصنوعی در این سناریو سرعت عمودی نشست رسوبات درون محوطه حوضچه بندر به مقدار نسبتاً کمی کاهش می یابد.



شکل ۴-۵۵: نمودار مقایسه مجموع رسوبات ته نشین شده در سناریوهای مختلف

در نهایت از مهم ترین نمودار که مقایسه مجموع رسوبات ته نشین شده در منطقه بندر انزلی را نشان می دهد می توان نتیجه گرفت که به دلیل عمق کم در سناریوی اول و با سرعت تقریباً ثابت نسبت به سناریوی دوم حجم رسوبات ته نشین شده در یک بازه زمانی مقدار زیادی است. این مورد اهمیت لایروبی هرچه سریعتر در محوطه را نشان می دهد چرا که میزان مواد لایروبی بیشتر شده و فرآیند لایروبی مشکل تر خواهد شد. در سناریوی دوم به دلیل عمق آبخور بیشتر این رسوبات فرصت کمتری برای ته نشین شدن پیدا کرده و قبل از رسیدن به بستر به خارج از محوطه بندر هدایت می شوند. در سناریوی سوم به دلیل وجود جریان افقی مصنوعی و افزایش نسبی سرعت جریان در محوطه بندر مجموع رسوبات ته نشین شده در این سناریو به مقدار نسبتاً کمی کاهش یافته است. در نهایت در سناریوی چهارم به دلیل عدم وجود جریان های رسوبی رودخانه ای در محوطه بندر این مقدار بسیار کاهش یافته است و تنها مقدار اندکی از رسوبات ریزدانه توسط امواج دریا به محوطه بندر وارد می شود.

لذا از مقایسه نمودارها این نتیجه حاصل می شود که با بکارگیری روش جدید بندر انزلی نیاز به لایروبی مکرر پیدا نمی کند و با رفع مشکل رسوبگذاری بندر در سناریوی چهارم پایداری قابل قبولی به دست می آید. در نتیجه ظرفیت فعالیت های بندر به حداکثر رسیده و هزینه های لایروبی مانند قبل صورت نمی گیرد. اکوسیستم درون بندر انزلی ثبات و بهبودی خود را به دست می آورد و از این فرصت برای بهبودی اکوسیستم مناطق حومه بندر انزلی می توان استفاده کرد.

۴-۶- طرح نهایی

آنالیز و بررسی سناریوهای مختلف مدلسازی شده نشان می دهد که سناریوی چهارم یعنی ایجاد یک کانال انحرافی در غرب بندر و انتقال رودخانه ها به این کانال راه حل نهایی و بلند مدت پایدار برای بندر است که مشکلات متعدد رسوبگذاری را برای همیشه رفع می کند و بندر را از صرف هزینه های بسیار زیاد لایروبی، آسیب های زیست محیطی ناشی از لایروبی و دفع مواد لایروبی، اختلال در فعالیت های بندری به خاطر لایروبی های مکرر، نگرانی برای عمق آبخور مورد نیاز کشتی ها و

آلودگی های رودخانه نجات می دهد. شکل ۴-۵۵ طرح منتخب نهایی و پایدار (طرح مبتنی بر اکوسیستم) برای بندر انزلی را نشان می دهد. نتیجه گیری ها و پیشنهادات برای مطالعات آینده در فصل ۵ ارائه شده است.



شکل ۴-۳۹: طرح پایدار برای بندر انزلی

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

در این فصل نتیجه گیری ها و پیشنهادات این پژوهش ارائه شده است. نتیجه گیری ها شامل نتایج این تحقیق است، که با ارائه نتایج بکارگیری روش های پایدار بر مورد مطالعه آغاز می شود. در نهایت این پژوهش با ارائه پیشنهادات برای مطالعات آینده پایان یافته است.

۵-۱- نتیجه گیری

این بخش نتایج به دست آمده در این پژوهش را نشان می دهد. نخست هدف پژوهش یادآوری می شود و گام های پژوهش ارزیابی می شود. نتایج حاصل از بکارگیری روش ها بر مورد مطالعه با روش پیشنهادی سازمان بنادر مقایسه می شود.

۵-۱-۱- هدف پژوهش

برای رسیدن به نتیجه گیری این تحقیق، هدف این پژوهش تکرار می شود:

«ارائه یک روش طراحی مبتنی بر اکوسیستم برای توسعه پایدار بنادر بمنظور رفع مشکل رسوبگذاری و بکارگیری این روش در مورد مطالعه مشخص برای آزمایش و ارزیابی مزیت های آن.»

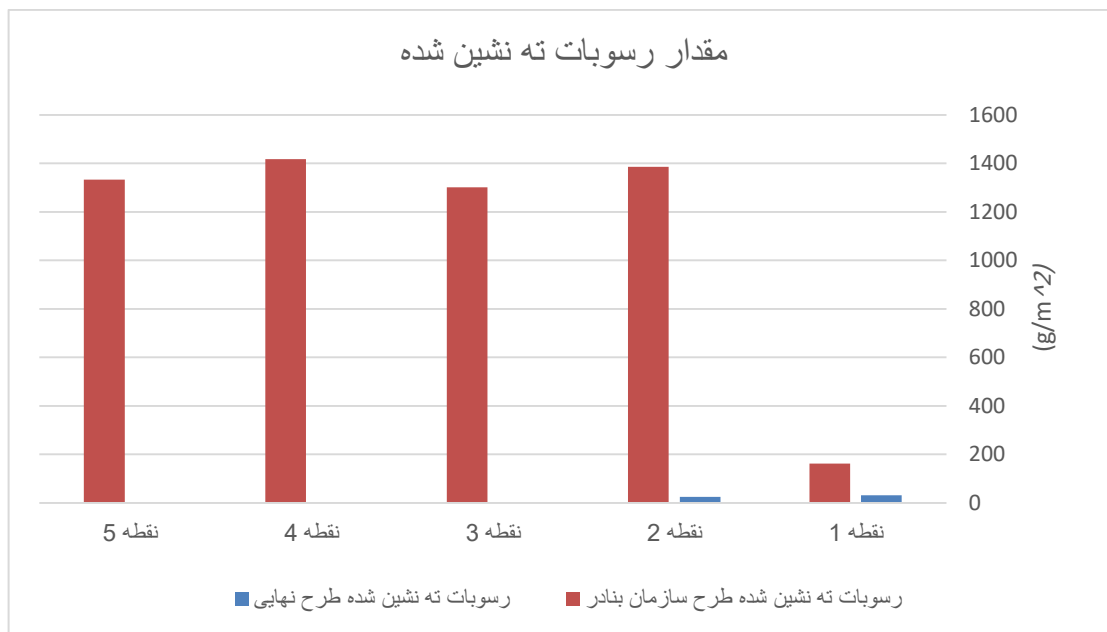
در این پژوهش فلسفه ها و تعاریف مربوط به رویکرد طراحی بندر مبتنی بر اکوسیستم و روش های کاهش رسوبگذاری در بنادر در فصل ۲ شرح داده شده است. روند انتخاب یک مورد مطالعه مناسب برای بکارگیری این روش در فصل ۳ شرح داده شد. در ادامه، روند بکارگیری رویکرد بر مورد مطالعه و نتایج بدست آمده، در فصل ۴ ارائه شده است. در نهایت، هدف اصلی بواسطه این پژوهش به طور موفقیت آمیز به دست آمد.

۵-۱-۲- نتایج به دست آمده

امروزه استفاده از روش های پایدار در توسعه بنادر امری ضروری قلمداد می شود. بدلیل گستردگی و وقت گیر بودن بررسی مسائل پایداری، هدف این پژوهش با تمرکز بر کاهش روند رسوبگذاری در بنادر

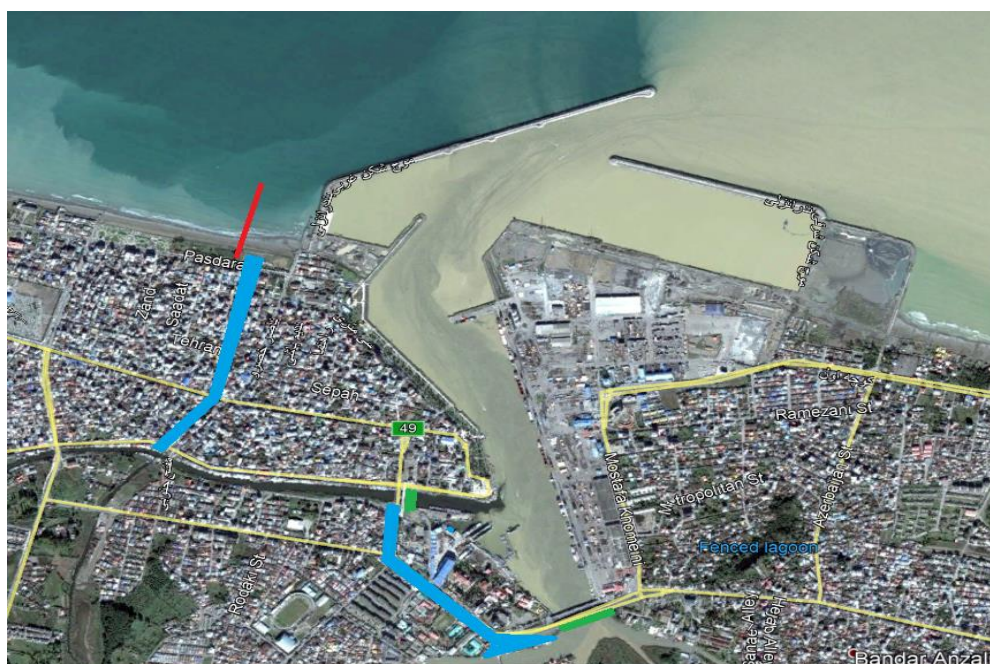
تعیین شد. روش طراحی بندر مبتنی بر اکوسیستم در ادغام با روش های پایدار کاهش رسوبگذاری در بنادر به عنوان روش این پژوهش انتخاب شدند. برای استفاده از این روش ها و اعمال آن برای بررسی فازهای مختلف توسعه بنادر، مورد مطالعه مناسب در فصل ۳ انتخاب شد.

در فصل ۴، روش پژوهش بر طرح توسعه بندر انزلی اعمال شد. نخست شرایط فعلی بندر شبیه سازی شد تا درک درست تری از فرآیندهای طبیعی منطقه به دست آید. با بررسی شرایط فعلی و روند رسوبگذاری در بندر ۲ راه کار ارائه شد و همچنین شرایط پیشنهادی سازمان بنادر برای بندر شبیه سازی شد. روش های پایدار احتمالی شبیه سازی و بررسی شدند و در نهایت یک گزینه به عنوان موفقیت آمیزترین راه حل انتخاب شد. آنالیز و بررسی سناریوهای مختلف مدلسازی شده نشان می دهد که سناریوی ایجاد یک کانال انحرافی در غرب بندر و انتقال رودخانه ها به این کانال راه حل نهایی و بلند مدت برای بندر است که مشکلات متعدد رسوبگذاری را برای همیشه رفع می کند و بندر را از صرف هزینه های بسیار زیاد لایروبی، آسیب های زیست محیطی ناشی از لایروبی و دفع مواد لایروبی، اختلال در فعالیت های بندری به خاطر لایروبی های مکرر، نگرانی برای عمق آبخور مورد نیاز کشتی ها و آلودگی های رودخانه مصون می کند. بررسی های انجام شده با مقایسه طرح نهایی و طرح سازمان بنادر پیشرفت بسیار زیادی در حل این مشکل بندر نشان می دهد و شرایط به مراتب پایدارتری را ایجاد می کند. با انحراف جریان رودخانه رسوبات وارد بندر نمی شوند. از این رو افزایش طول عمر عمق آبخور، افزایش ظرفیت فعالیت های بندری و همچنین افزایش کیفیت محیط زیست تالاب و احیای اکوسیستم و تنوع زیستی بدیهی است. اطلاعات لازم برای مقایسه طرح نهایی و طرح سازمان بنادر در شکل ۵-۱ نشان داده شده است.



شکل ۵- ۱: مقایسه طرح نهایی با طرح سازمان بنادر

در نهایت می توان نتیجه گرفت، پروژه منجر به یک طرح پایدارتر برای بندر انزلی می شود. اگرچه قابلیت اجرای طرح وجود دارد اما هزینه اولیه بسیار بالایی خواهد داشت. اما باید در نظر داشت که با دید بلند مدت این طرح کم ترین اثر منفی بر محیط زیست پیرامون و بیشترین تاثیر در کاهش هزینه نگهداری و افزایش ظرفیت بالقوه بندر خواهد داشت. طرح نهایی در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- ۲: طرح نهایی برای بندر انزلی

۵-۲-پیشنهادات

در پایان این پژوهش با توجه به نتایج به دست آمده و در راستای مطالعات و ارزیابی های روش این پژوهش، پیشنهادات زیر توصیه می شود:

۱. از روش های کاهش رسوب گذاری بنادر KSO، KSM و KSN می توان برای کنترل و رفع مشکلات ناشی از رسوبگذاری در حوضچه بنادر استفاده کرد. پیشنهاد می شود در پژوهش های آینده از این روش ها در کاهش رسوبگذاری در بنادر مختلف استفاده شود. روش های مختلف با آنالیز ابتدایی بنادر و شبیه سازی محتمل ترین روش ها برای رسیدن به شرایط پایدارتر در بنادر می تواند بررسی و تحقیق شود.
۲. در این پژوهش بندر انزلی در فاز ساختمان توسعه بندر قرار داشت. برای پژوهش های آینده از روش های این پژوهش می توان در بنادر ساخته نشده و بنادر عملیاتی استفاده کرد.
۳. در این پژوهش از بسته نرم افزاری MIKE21 برای مدلسازی شرایط رسوبگذاری استفاده شده است. در پژوهش های آینده پیشنهاد می شود از نرم افزارهای مختلف موجود مانند Delft3D و PMODynamics برای مقایسه شرایط مشابه استفاده شود.
۴. پیشنهاد می شود از گام های روش EBDA در پروژه های مختلف بندری با هدف توسعه پایدار بنادر استفاده شود.

مراجع

مراجع فارسی:

۱. احمدیان، ر. ، شامی، م. ، (۱۳۹۵) "بررسی راهبردهای مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی بندر انزلی براساس تحلیل *SWOT*" نشریه صنعت حمل و نقل دریایی ۱۳۹۵.
۲. آل احمد، ا. ، (۱۳۷۵) "بررسی بیشینه باد و امواج دریای خزر"، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، فصلنامه علمی تحقیقات خزر، جلد سوم. ۱۳۷۵ ص ۶۶-۷۰.
۳. بابائی، م. ، ترابی آزاد، م. : "تحلیل داده های میدانی موج و جریان در سواحل بندرانزلی" نشریه فناوریهی نوین در توسعه آبی پروری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آزادشهر سال یازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۶ صفحات: ۷۱-۸۲.
۴. برایی، ا. (۱۳۹۰) "چالش های زیست محیطی دریای خزر و ارائه راهکارها". همایش و مانور مشترک جستجو و نجات و مقابله با آلودگی نفتی با روسیه، بندر انزلی ۱۳۹۰
۵. برایی، ا. (۱۳۹۰) "راه حل ها و استراتژی های موفق برای تبدیل بندر خرمشهر به بندر سبز" نشریه صنعت حمل و نقل دریایی، شماره ۱۹، دوره ۲، صفحه ۳۶-۴۲.
۶. بهلولی، الف. و بدیعی، پ. و ذاکر، ه. "مدل سازی دوبعدی و سه بعدی رسوب گذاری در بندر انزلی". ششمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، ۱۳۸۳.
۷. حاجتی مدارایی، ع. ، لشته نشائی، م. ، اولیائی، م. (۱۳۹۰): "بررسی هیدرودینامیک ، تفرق و انتقال امواج به داخل حوضچه بندر انزلی". اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، زیباکنار، ایران، اسفند ۱۳۹۰.

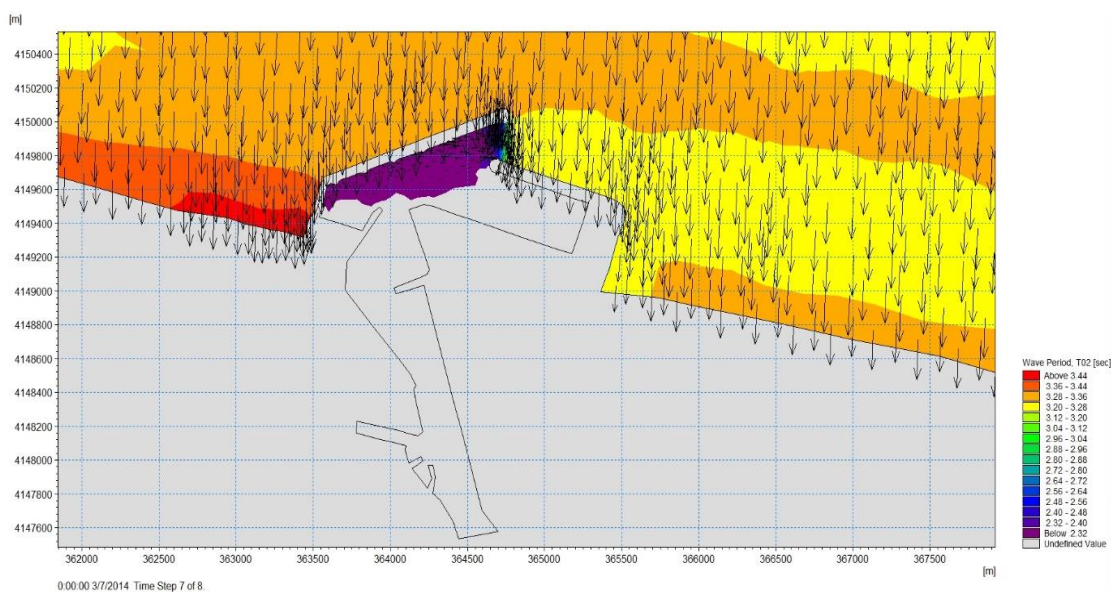
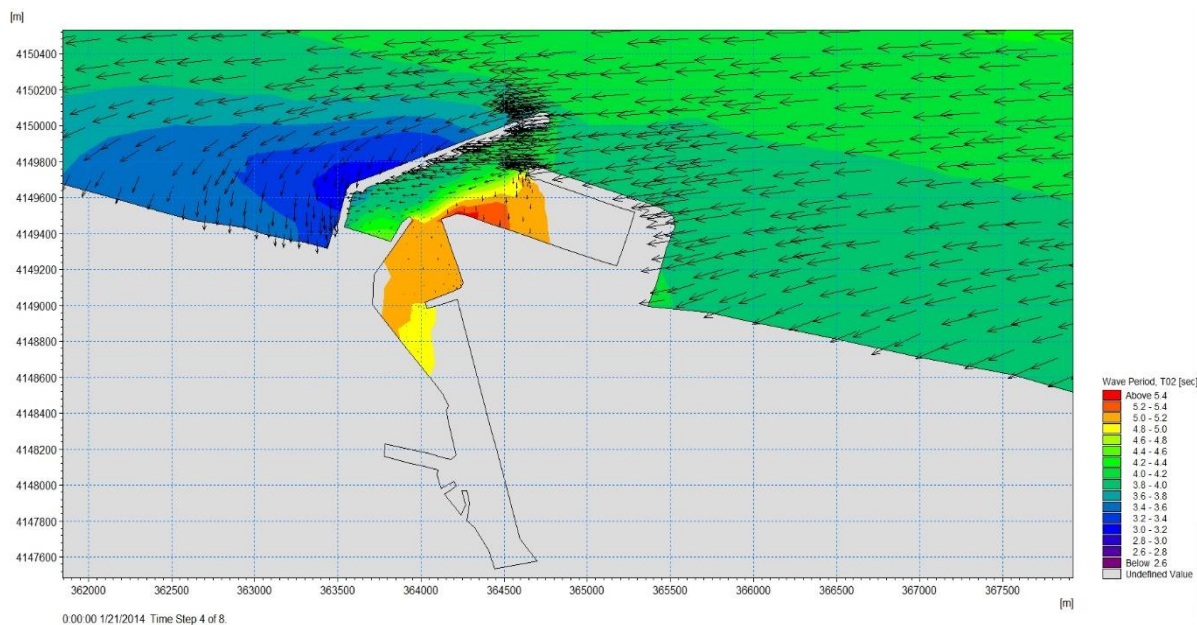
۸. حمیدی، ح. ۱۳۷۸. "اصول طراحی و توسعه بنادر" جلد اول، چاپ اول، انتشارات سازمان بنادر، تهران، ص ۱۱-۲۹.
۹. حمیدی، ح. ۱۳۸۴. "ملاحظات در تدوین نظام برنامه ریزی توسعه پایدار بنادر ایران" جلد اول، چاپ اول، انتشارات سازمان بنادر ایران، تهران. ص ۱۱-۴۶.
۱۰. خوشروان، ه. ، روحانیزاده، س. ، ملک، ج. ، قاسم نژاد، قلی(۱۳۸۸): "ناحیه بندی سواحل جنوبی دریای خزر براساس شواهد مورفودینامیک رسوبی". مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۷، شماره ۳، ۱۳۹۰، صفحه ۱-۱۵.
۱۱. سازمان بنادر و دریانوردی، "مدل سازی امواج دریاهاى ایران پیش یابی امواج سال های ۲۰۰۳-۱۹۹۲". جلد ۱: دریای خزر، فصل ۵، ۱۳۸۷
۱۲. سازمان مدیریت منابع آب ایران، "مطالعه گردش و اختلاط آب در تالاب انزلی با استفاده از نتایج اندازه گیری های محلی و شبیه سازی ریاضی"، ۱۳۸۰.
۱۳. سنگاچین، ف.؛ صالحی، ا.؛ مثنوی، م.؛ (۱۳۸۹) "مقایسه تطبیقی-تحلیلی روش های سنجش توسعه پایدار" نشریه پژوهش های محیط زیست، سال ۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، ص ۶۷-۸۲.
۱۴. غلامرضا، ع. ، یگانه محلاتی، س. ، ۱۳۹۳، "شناسایی و ارزیابی شاخص های توسعه پایدار و وضعیت اعمال آنها در طرح توسعه بنادر ایران(مورد کاوی بندر شهید بهشتی چابهار"، اولین همایش ملی توسعه پایدار دریا محور، خرمشهر، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

۱۵. کنارسری، آ.: ندیمی، ص.: لشته نشایی، م. (۱۳۸۹) "بررسی اثرات زیست محیطی ناشی از اندر کنش تالاب و دریا بر حوضچه بندر انزلی". پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۹، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
۱۶. محمد نژاد مریان، ح.، حکیم زاده، ح.: "بررسی عددی رسوبگذاری ناشی از موج و جریان در بندر انزلی با در نظر گرفتن توسعه بازوهای موجشکن" نشریه صنعت حمل و نقل دریایی، (۱۳۹۵)
۱۷. مهیر کجوری، م. (۱۳۹۵). "ارزیابی و مقایسه عملکرد بنادر و ارائه مدلی به منظور رتبه‌بندی آنان مطالعه موردی، سه بندر شمالی کشور" نشریه صنعت حمل و نقل دریایی، (۱۳۹۵)
۱۸. مهیر کجوری، م. (۱۳۹۵). "طبقه بندی علل توقف عملیات تخلیه و بارگیری شناورها به روش ABC مطالعه موردی: سه بندر شمالی کشور"، نشریه صنعت حمل و نقل دریایی ۱۳۹۵
۱۹. والیزاده، د.، کلاهدوزان، م. (۱۳۸۹). "استفاده از دیوار انحراف جریان جهت کنترل رسوبگذاری در بنادر رودخانه ای" نشریه مهندسی دریا سال ششم / شماره ۱۲ پاییز و زمستان ۱۳۸۹
۲۰. الهویرنلو، م. (۱۳۹۵) "کاربرد روشهای تصمیمگیری چندمعیاره در انتخاب بهترین گزینه جانمایی موجشکن بندر انزلی"
۲۱. صنعت. حمل و نقل. دریایی. / سال. اول. / شماره. ۳. / زمستان. ۱۳۹۵.

1. A.H. Zakri and R. Watson. (2005) *"Ecosystems and human well-being"* A Report of the Millennium Ecosystem Assessment, Island Press, Washington, DC, Year 2005.
2. De Vriend, H.J. and Van Koningsveld, M. (2012) *"Building with Nature: Thinking, acting and interacting differently"*. EcoShape, Building with Nature, Dordrecht, the Netherlands. 2012, pp 37-42.
3. E.F.M. Broesterhuizen¹, T. Vellinga, L. Docters van Leeuwen, P. Taneja, J.W. Zwakhals, M.H. Nijdam, *'Sustainability as a procurement criterion for port investments'* Third International Engineering Systems Symposium CESUN 2012, Delft University of Technology, 18-20 June 2012.
4. Eslië-Fleur Vrolijk, (2015). MSc thesis *"Ecosystem-based port design: An approach for sustainable port development"*. Delft University of Technology.
5. European Sea Ports Organisation. (2012) *"Green guide – towards excellence in port environmental management and sustainability"*, Green Energy Ports Conference, Vigo, 11-12 June 2012
6. H. Ligteringen. 2012 *"Ports and Terminals"*. Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering and Geosciences. pp 22-27.
7. Louis Van Schell, (2011) *"Pianc Yearbook 2011"*, Vol. 1, Pianc HQ, Brussels Belgium. 1, pp 27-34.
8. Martí Puig a, Chris Wooldridge b, Rosa Mari Darbra (2014). *"Identification and selection of Environmental Performance Indicators for sustainable port development"* Marine Pollution Bulletin 81 (2014) 124-130
9. Norpadzlihatun Manap, Nikolaos Voulvoulis (2015) *"Environmental management for dredging sediments: The requirement of developing nations"* Journal of Environmental Management 147 (2015). pp 338e348
10. P. Taneja and H. Ligteringen (2012). *"Flexibility in Port Planning and Design"* EJTIR 12(1), 2012, pp. 66-87
11. P. Taneja, T. Vellinga, R. Ros (2012) *"Role of Flexibility in Sustainable Port Development"*. Third International Engineering Systems Symposium, CESUN 2012, Delft University of Technology, 18-20 June 2012

12. Pavlic, B., (2014) *"Sustainable Port Infrastructure"* Practical Implementation of the Thermal science. Year 2014, Vol. 18, No. 3, pp. 935-948
13. PIANC working group 43: John Headland, Santiago Alfageme 2011 *"minimizing harbor siltation"*, Volume 61, Issue 2-3, March 2011, pp 233-244
14. Supachai Panitchpakdi, UNCTAD (2012). *"Review of maritime Transport"*. Geneva: United Nation Environment.
15. T. Vellinga, K. De Creane, and D. Rijks. (2014) "Wg150: 'sustainable ports': A guide for port authorities," PIANC report 2014, pp11-28.
16. Tiedo Vellinga. (2013). *"Sustainable Ports"*. PIANC Workshop Sydney Australia Sept 9 - 10 2013
17. Todd S. bridges, Jeff Lillycrop, Tom fredette, burton Suedel, Cynthia banks, Edmond russo, Joe Wilson, 2014. *"ENGINEERING WITH NATURE FOR SUSTAINABLE WATER RESOURCES INFRASTRUCTURE"*. PIANC's AGA and the 33rd PIANC World Congress 2014. Mississippi, United States pp. 132-137
18. United Nations, Department of Economic & Social Affairs Population Division. *"World Population Prospects: The 2012 Revision"*, Volume I: Comprehensive Tables ST/ESA/SER.A/336., 2013

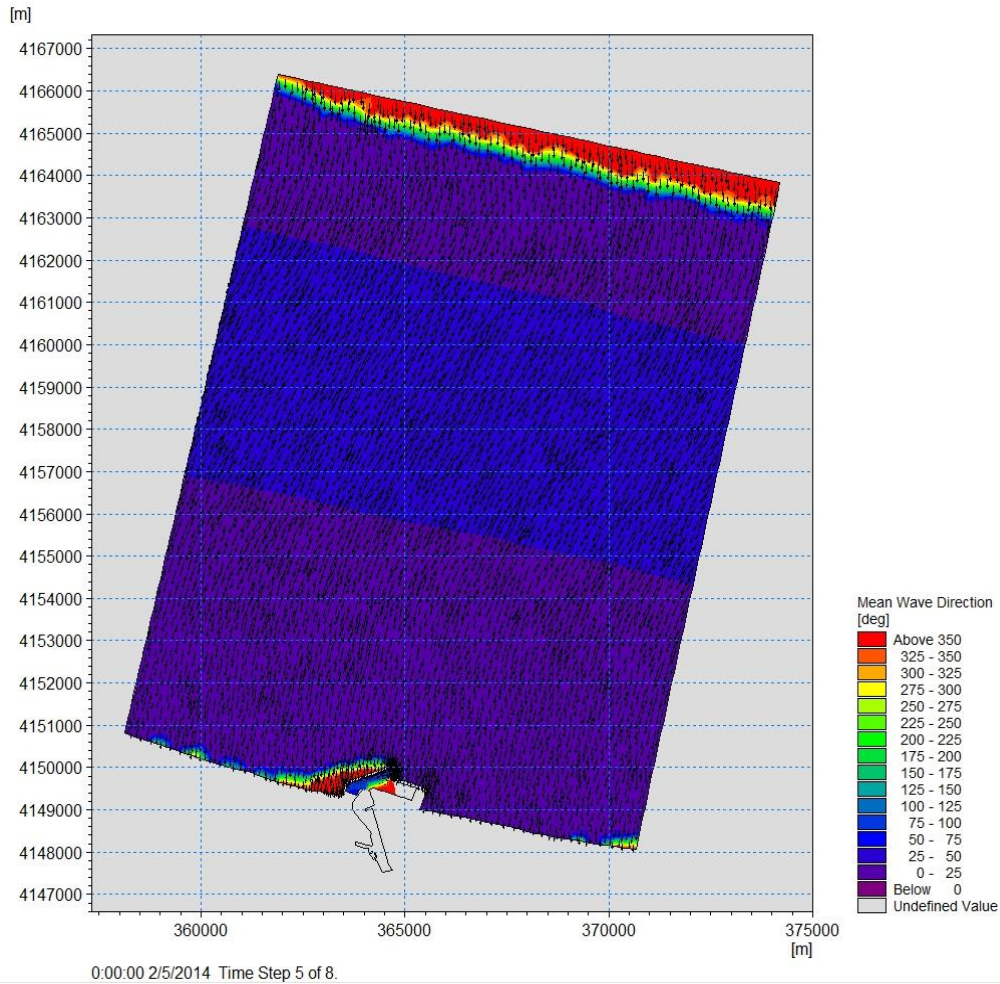
• پریود امواج منتشر شده



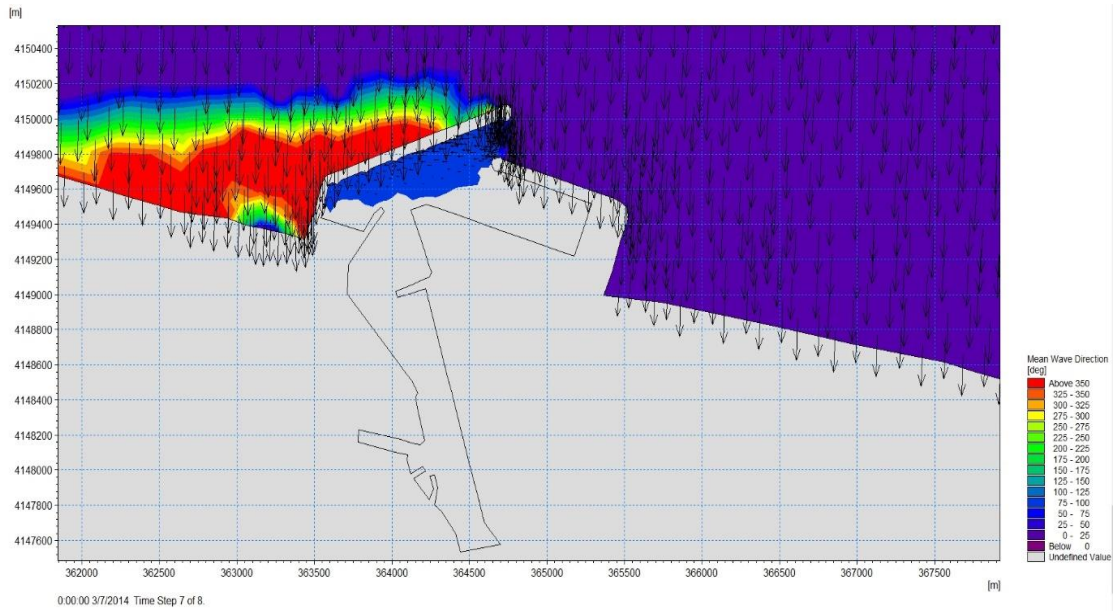
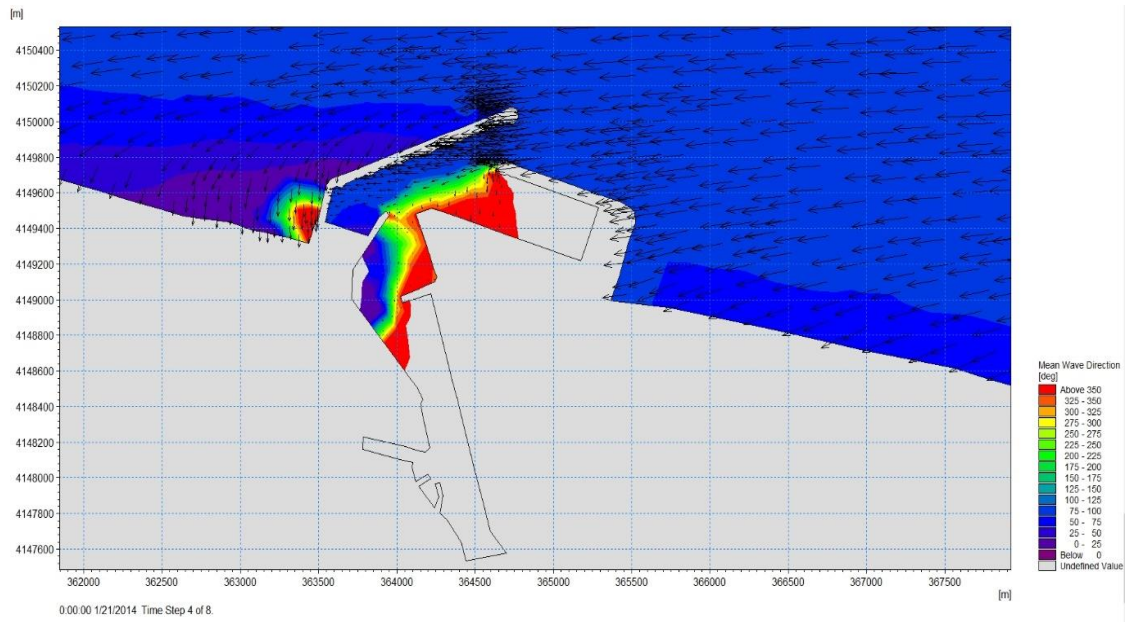
شکل ۱: پریود امواج منتشر شده در ناحیه انزلی برای مدل کوچک مقیاس

• جهت متوسط انتشار امواج (Mean Wave Direction)

جهت متوسط انتشار امواج در منطقه انزلی در شکل های ۴-۳۸ مدل بزرگ مقیاس و ۴-۳۹ مدل کوچک مقیاس به صورت زیر به دست آمده است:

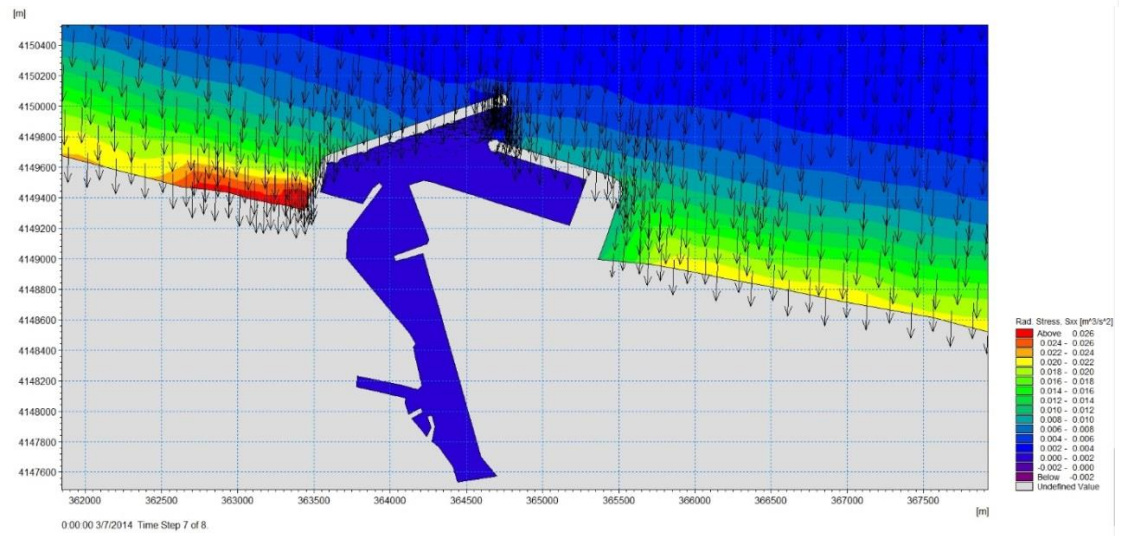
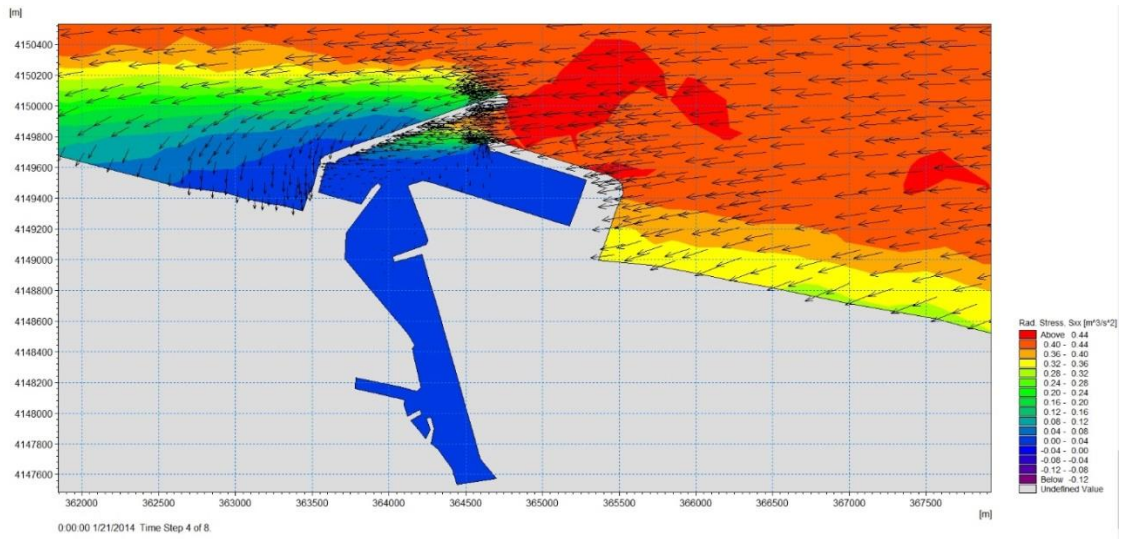


شکل ۲: جهت امواج منتشر شده بر حسب درجه در ناحیه انزلی برای مدل بزرگ مقیاس



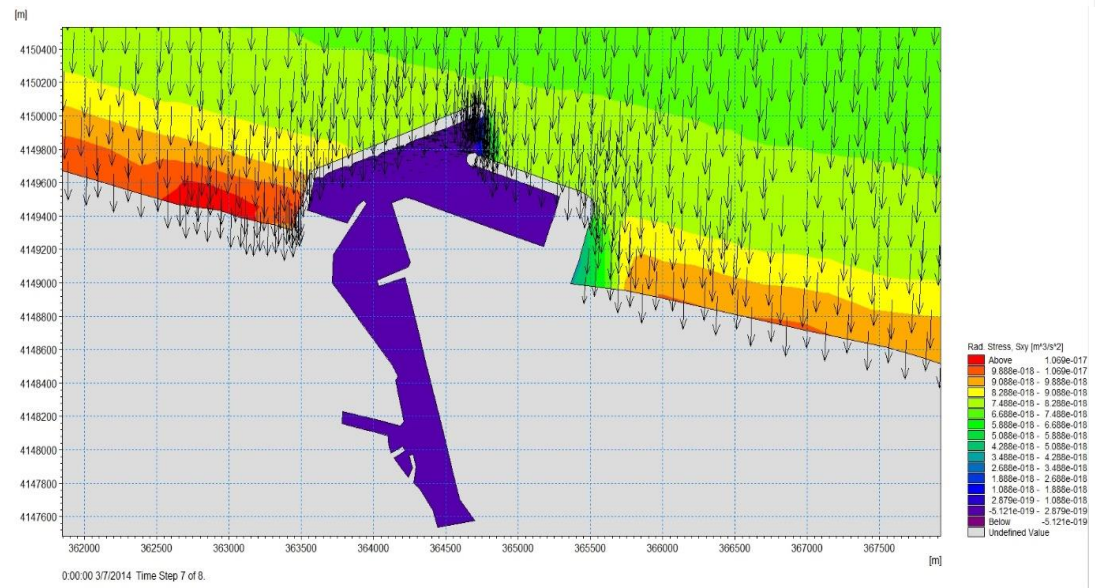
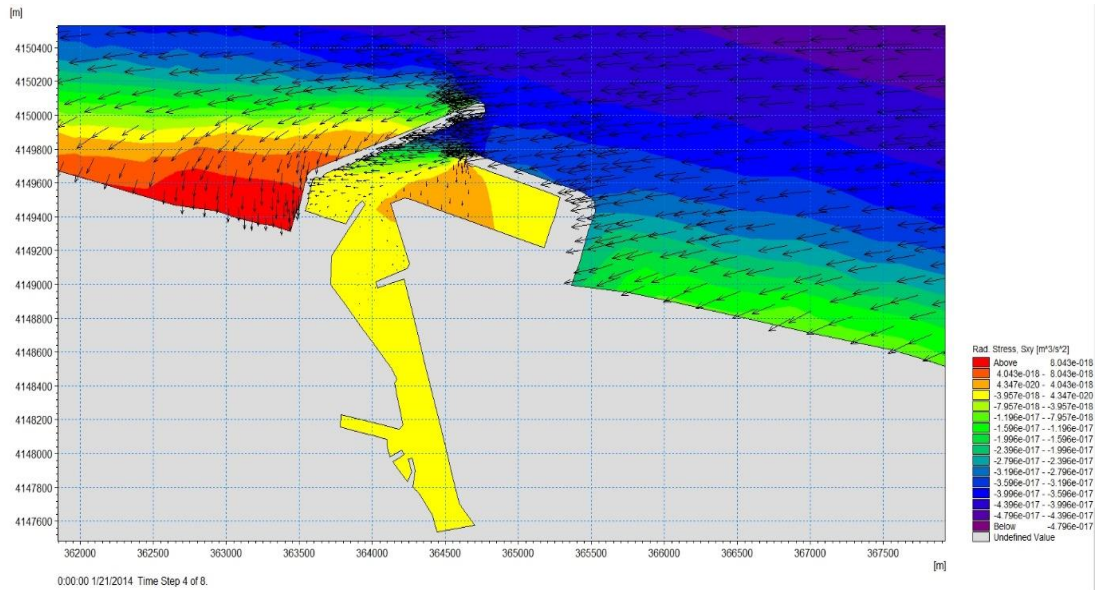
شکل ۳: جهت امواج منتشر شده بر حسب درجه در ناحیه انزلی مدل کوچک مقیاس

• تنش تابشی در جهت امواج (S_{xx})



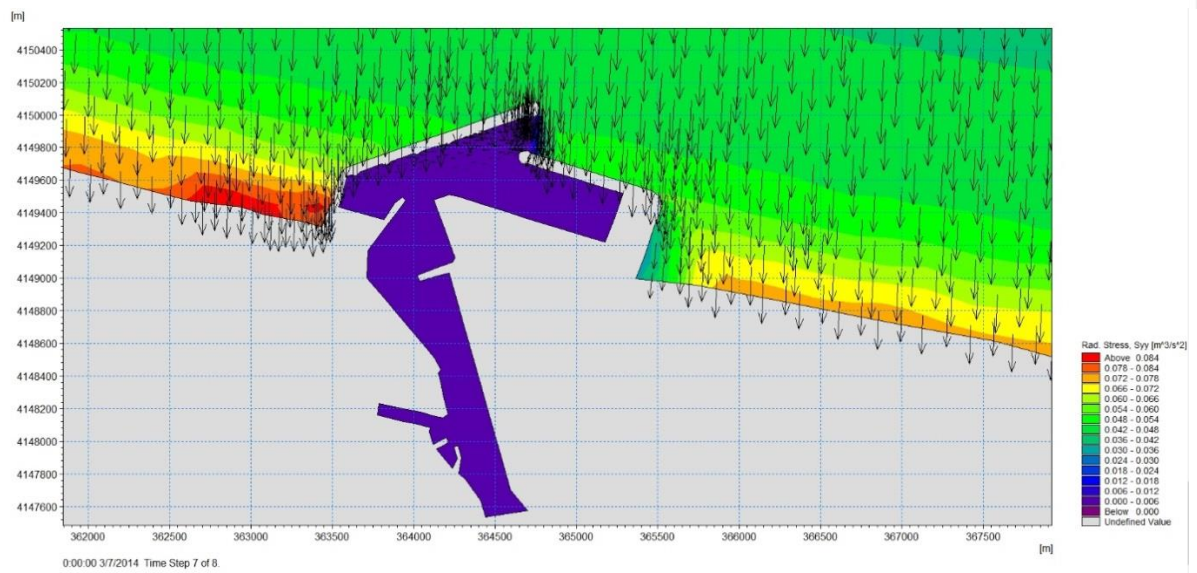
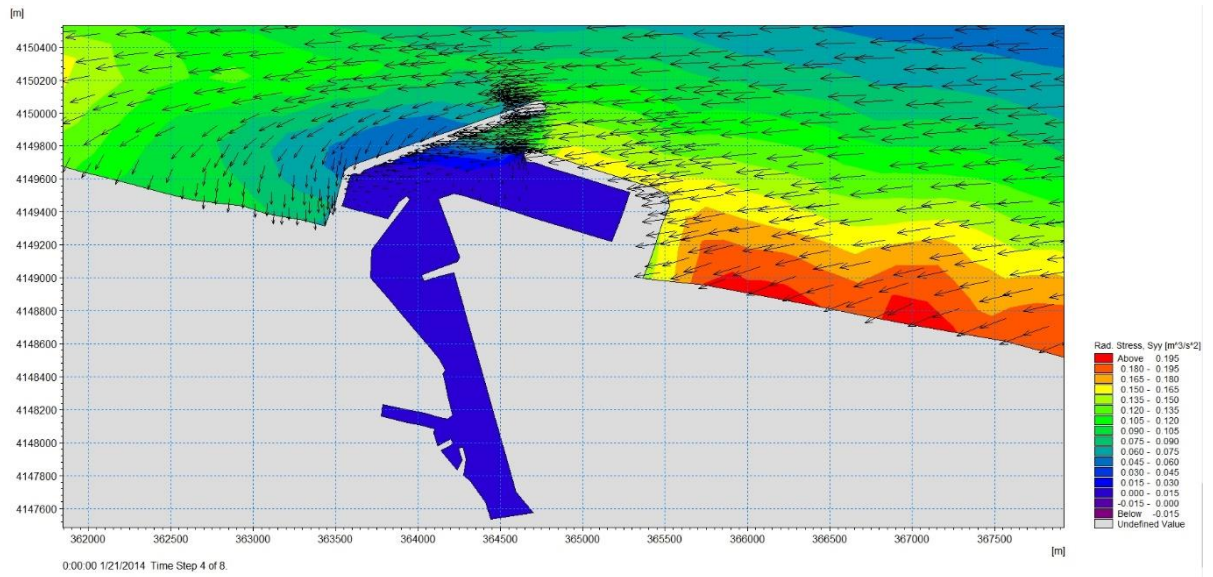
شکل ۴: تنش تشعشی S_{xx} امواج منتشر شده در ناحیه انزلی برای مدل کوچک مقیاس

• تنش تابشی مولفه S_{xy} در جهت X



شکل ۵: تنش تشعشعی S_{xy} امواج منتشر شده در ناحیه انزلی برای مدل کوچک مقیاس

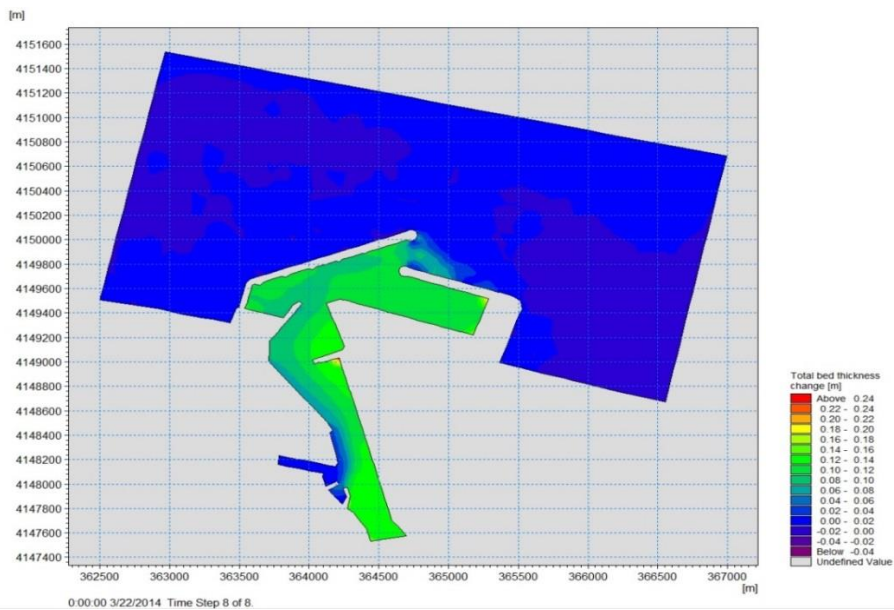
• تنش تابشی در جهت عمود بر امواج (S_{yy})



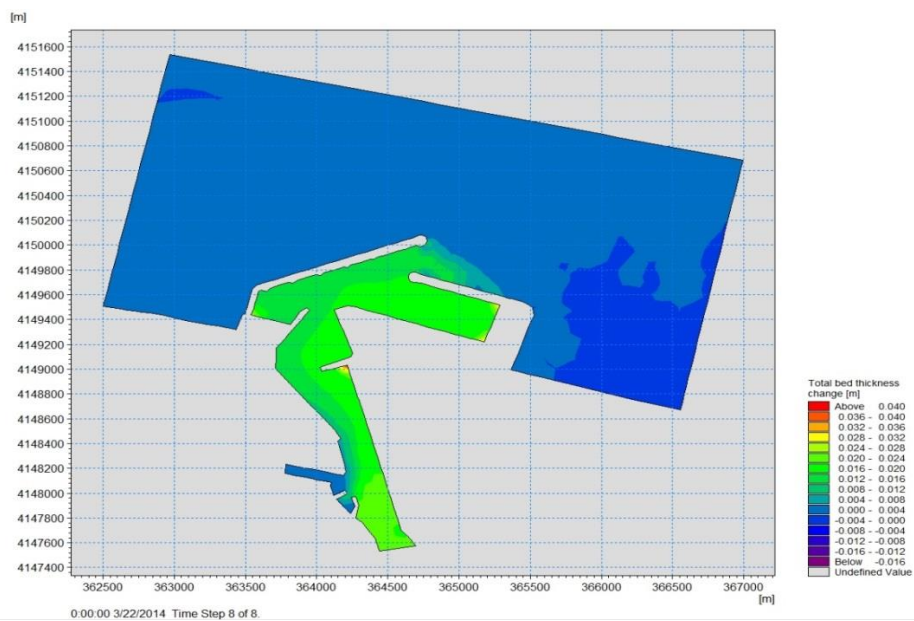
شکل ۶: تنش تشعشعی S_{yy} امواج منتشر شده در ناحیه انزلی برای مدل کوچک مقیاس

• مجموع تغییرات ضخامت بستر (Total bed thickness change)

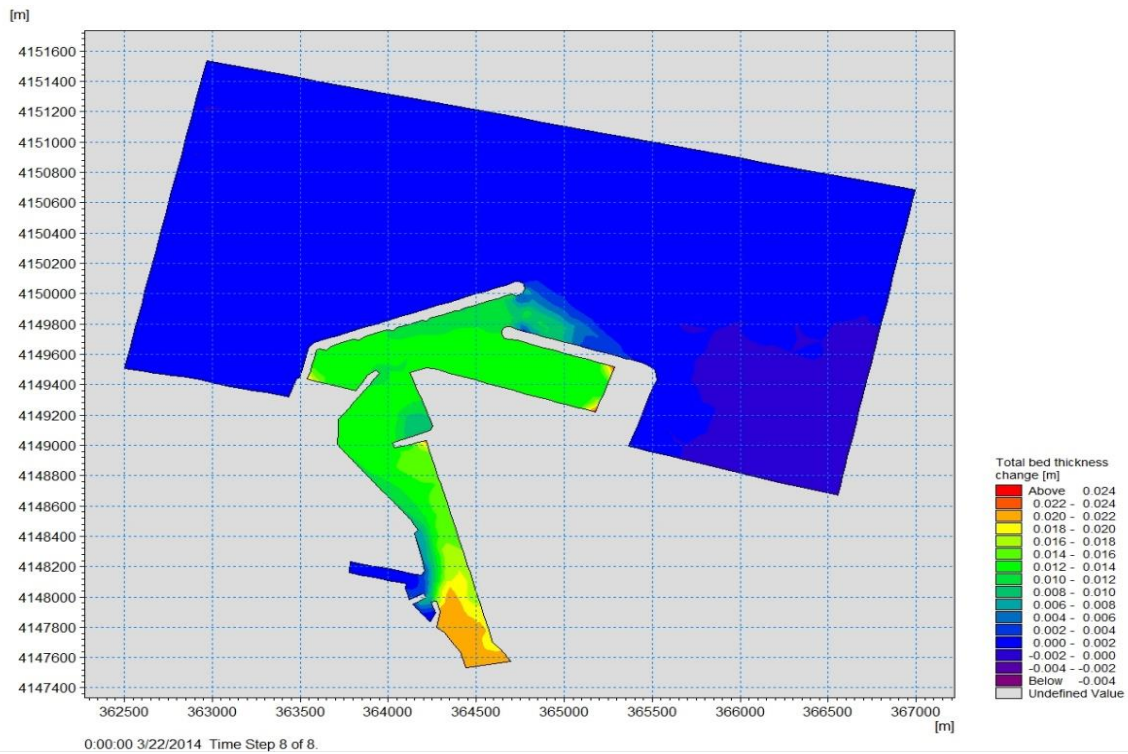
پس از ته نشینی ذرات رسوبی ضخامت بستر تغییر می کند. شکل های ۴-۵۳ تا ۴-۵۶ میزان تغییرات ضخامت بستر و مکان نشست رسوبات را نشان می دهد.



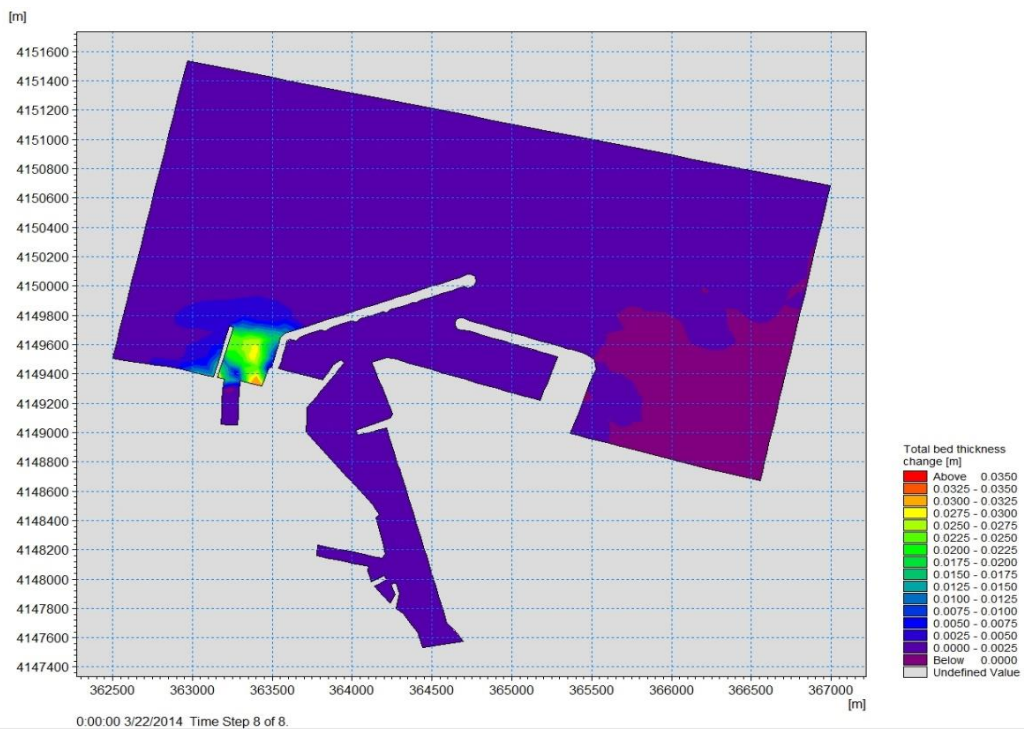
شکل ۷: مجموع تغییرات ضخامت بستر در ناحیه انزلی برای سناریوی اول



شکل ۸: مجموع تغییرات ضخامت بستر در ناحیه انزلی برای سناریوی دوم



شکل ۹: مجموع تغییرات ضخامت بستر در ناحیه انزلی برای سناریوی سوم



شکل ۱۰: مجموع تغییرات ضخامت بستر در ناحیه انزلی برای سناریوی چهارم

Abstract

The world population is growing. Together with the population, the need for resources is growing, as is the need for the transportation of these resources. International transportation and port industry is responsible for 90% of the goods transported in the world. Increasing need for transportation resulted in increase on ship size and number directly relating to the increasing need for port development. All over the world, a shift increasingly occurs towards applying sustainable measures. The combination of these events, results in the context of this research: sustainable port development.

An 'ecosystem based port design approach' is a new way in the development of ports that consists of understanding the system at first and at big scales. This approach is applied working top down, with a division on three levels; system, construction and material level. The focus of this research is set on the implementation of sustainability in the construction-phase of a port development, targeting sustainable measures at the system level in order to minimize harbor siltation.

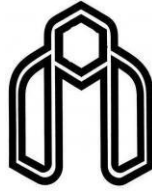
The ecosystem based design approach (EBDA) is based on philosophies (e.g. Building with Nature) and adopts theories from a PIANC-report on Sustainable Ports. Ecosystem services are used for the evaluation of the approach. The approach consists of five steps: (1) Understanding the system, (2) Designing alternatives, (3) Modelling alternatives, (4) Evaluating alternatives and (5) Final design. Also siltation minimization methods in ports are used to reach the aim of this research.

In order to develop and evaluate the approach, a case study is selected. The port development project of Anzali, Iran is selected as most suitable to serve as a case for the application of the approach. Steps one through five are applied to the case and this thesis shows the difficulties, challenges, strengths and opportunities that are encountered along the way. Two measures are investigated by means of analytical studies and a hydrodynamic model (MIKE21). The focus is set on one measure: solving siltation issues in ports. Two alternatives were designed by means of KSO and KSM to solve siltation issues. KSM considers using jets to increase the current speed in harbor basin to prevent settling of sediments and KSO uses a bypass channel to separate rivers from harbor basin in order to stop siltation issues.

The final design for port of Anzali is selected from comparing the two alternatives. Separating with bypass channel considered to be the final design and was introduced as the ecosystem based design.

In the evaluation, the final design is compared to the traditional design. The application of the EBDA at Anzali, Iran results in a more sustainable port. Concluding this research, the ecosystem-based design approach is considered to be an effective approach to reach a more sustainable design in the construction phase of port development. For future applications, great potential is expected in the development of sustainable ports. Further development can be achieved by structurally applying the approach to different phases of port development, in different areas over the world, for varying functionality of ports and for different users.

Key words: Sustainable port, Sustainable development, Port of Anzali, Ecosystem, Siltation



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

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

**An ecosystem based design approach for sustainable development of ports to solve
siltation issues; case study: port of Anzali**

Mohammad Javad Koozad

Supervisor:

Dr. Mahdi Adjami

Advisor:

Eng. Milad Shirin Zaban

September 2018