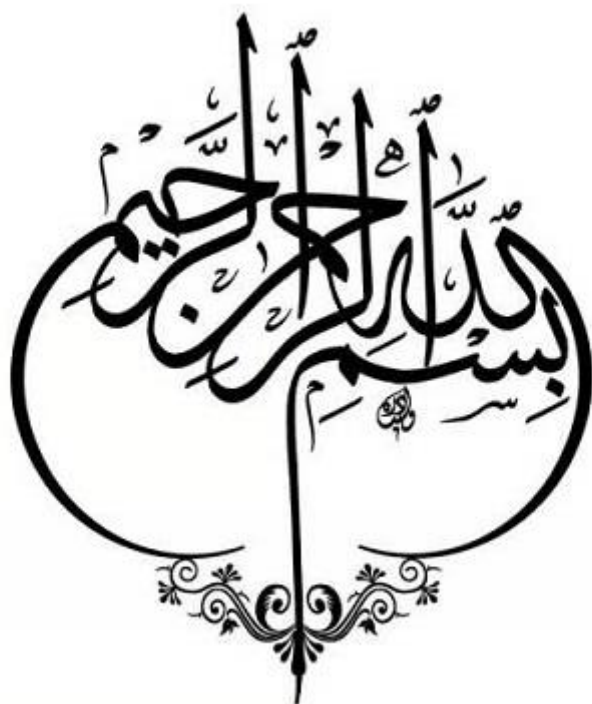






دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی

تأثیر سازه های دریایی بر خط ساحلی (منطقه مطالعاتی سواحل شرقی بندر فریدونکنار)

نگارنده : سهیل عابدی

استاد راهنما:

دکتر مهدی عجمی

دی ۱۳۹۸

شماره ۹۸/۲۰۱۴
تاریخ ۹۸/۲/۱۴

باسمه تعالی



فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سهند عابدی با شماره دانشجویی ۹۵۰۹۸۴۴ رشته عمران گرایش مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی تحت عنوان تاثیر سازه های دریایی بر خط ساحلی (منطقه مطالعاتی سواحل شرقی بندر فریدونکنار) که در تاریخ ۱۳۹۸/۱۰/۲۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☐ (ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۷ ☐
 ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۵ ☐ (د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۳ ☐
 ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
 نوع تحقیق: ☐ نظری ☐ عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر مهدی عجمی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر عماد محجوبی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر ساقی سعیدطهرانی	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر امیرعباس عابدینی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رضا نادری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که نتایج دفاع از پایان نامه در جلسه دفاع از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۲ ماه برگزار شود)

تقدیم بہ

خانوادہ عزیزم

و، ہمسر مہربانم

تشکر و قدردانی:

پروردگار را سپاسگزارم که بار دیگر به من فرصت آموختن داد. از پدر و مادر عزیز و مهربانم به خاطر زحماتی که در طول زندگی همواره برای پیروزی و شادکامی من به جان خریدند، تشکر می‌کنم. از همسر عزیزم به خاطر همراهی‌ها و دلگرمی‌هایش متشکرم.

اکنون که به یاری خداوند این دوره را به پایان رسانیده‌ام، بر خود واجب می‌دانم از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر مهدی عجمی به پاس زحمات بی‌شائبه‌شان در طی انجام این تحقیق که با راهنمایی‌های خود راهگشای اینجانب بوده‌اند سپاسگزاری نمایم و لازم می‌دانم از کمک‌های بیدریغ سرکار خانم بنی هاشمی مشاور گرامی این پایان‌نامه تشکر ویژه بنمایم. همچنین از خانم دکتر سعیدطهرانی و آقای دکتر عابدینی که زحمت داوری این پایان‌نامه را داشتند نیز تشکر می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب سهند عابدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **تأثیر سازه‌های دریایی بر خط ساحلی (منطقه مطالعاتی سواحل شرقی بندر فریدونکنار)** تحت راهنمایی دکتر مهدی عجمی متعهد می‌شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

در سال‌های اخیر، تعیین نرخ تغییرات خط ساحلی به روش روند تاریخی^۱ بسیار مورد توجه محققین بوده و به عنوان پایه‌ای برای پیش‌بینی تغییرات آینده به طور مکرر گزارش شده است. از جمله دستاوردهای برجسته این تحقیق می‌توان (با استفاده از مدلسازی‌های عددی، مطالعات میدانی و غیره جهت کاهش خطای مدل) به ارائه چارچوبی اشاره کرد که بیانگر رابطه بین تراز سطح آب و نرخ تغییرات خط ساحلی در منطقه مورد مطالعه است و از طریق آن می‌توان به پیش‌بینی تغییرات آینده خط ساحلی با لحاظ کردن شرایط عمومی منطقه و همچنین تراز سطح آب در افق زمانی مورد پیش‌بینی پرداخت. بدین منظور، حدود ۲۲ کیلومتر از خطوط ساحلی یکی از مناطق حساس و با ارزش اقتصادی بالا در استان مازندران جهت مطالعه انتخاب گردید که در مجاورت بندر تجاری فریدونکنار قرار داشته و طیف وسیعی از مداخلات انسانی در دوره‌های افزایش و کاهش تراز سطح آب را به خود دیده است. سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی یا به اختصار (DSAS)^۲ به عنوان روش روند تاریخی در این تحقیق ایفای نقش می‌نماید. بر اساس داده‌های تراز آب دریای خزر دو سناریو افزایشی و کاهش‌ی جهت مدلسازی انتخاب شد. نتایج رویکردهای نرخ نقطه نهایی و نرخ رگرسیون خطی و نرخ رگرسیون خطی وزن‌دار از مدل تحلیل رقومی خطوط ساحلی به عنوان نرخ تغییرات خط ساحلی برای هر دو سناریو به دست آمد. مشاهده شد که پیشروی و پسروی خط ساحل منطقه مورد مطالعه مستقیماً وابسته به تراز سطح آب بوده و مقایسه گرافیکی و آماری نتایج پیش‌بینی تغییرات خط ساحل حاکی از دقت مناسب برای بیشتر مناطق بود. در نهایت با استفاده از نتایج چارچوب مذکور، نسبت به پیش‌بینی خط ساحل در یک موقعیت زمانی مشخص در آینده نیز اقدامی صورت گرفت. با این هدف که نشان دهیم چگونه می‌توان از دستاوردهای مدل برای پیش‌بینی آینده خط ساحلی استفاده نمود.

کلیدواژه: سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی، روند تاریخی، دریای خزر، بندر فریدونکنار، خط ساحلی

¹ Historical trend

² Digital Shoreline Analysis System

فهرست مطالب

فصل اول.....	۱
مقدمه و کلیات.....	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ بیان مسئله	۳
۳-۱ پیشینه تحقیق.....	۵
۴-۱ اهداف و انگیزه انجام تحقیق.....	۲۵
۵-۱ جنبه‌های نوآوری تحقیق.....	۲۶
۶-۱ ساختار پایان نامه.....	۲۷
فصل دوم.....	۲۹
مبانی نظری تغییرات خط ساحلی.....	۲۹
۱-۲ مقدمه	۳۰
۲-۲ مبانی هیدرودینامیکی تغییرات خط ساحلی	۳۰
۱-۲-۲ نیمرخ ساحلی و تغییرات آن.....	۳۱
۲-۲-۲ چرخه نزدیک ساحل.....	۳۲
۳-۲-۲ واکنش خط ساحل به سازه‌های ساحلی.....	۳۵
۱-۳-۲-۲ واکنش خط ساحل به سازه‌های عمود بر ساحل	۳۵
۲-۳-۲-۲ واکنش خط ساحل به سازه‌های موازی با ساحل چسبیده به ساحل	۳۶
۳-۳-۲-۲ واکنش خط ساحل به سازه‌های موازی با ساحل جدا از ساحل	۳۶
۳-۲ مبانی سنجش از دور تغییرات خط ساحلی.....	۳۸
۱-۳-۲ پردازش تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم جداسازی آب و زمین	۳۸
۱-۱-۳-۲ بهبود وضوح.....	۳۹
۲-۱-۳-۲ آشکارسازی مکانی تصاویر یا روش فیلتری	۳۹
۲-۳-۲ انتخاب روش جداسازی آب و زمین.....	۳۹
فصل سوم.....	۴۳
معرفی مدل سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی.....	۴۳
۱-۳ مقدمه	۴۴
۲-۳ معرفی مدل تحلیل رقومی خطوط ساحلی	۴۴
۳-۳ ورودی‌های مورد نیاز مدل.....	۴۵
۱-۳-۳ پایگاه داده زمینی.....	۴۵
۲-۳-۳ خطوط ساحلی.....	۴۶
۳-۳-۳ خط مبنا.....	۴۷

۴۹	۴-۳ الگوریتم محاسبه نرخ تغییرات
۵۱	۵-۳ نتایج آماری خروجی
۵۲	۱-۵-۳ جابجایی خالص
۵۳	۲-۵-۳ دامنه تغییرات
۵۳	۳-۵-۳ نرخ تغییرات نقطه انتهایی
۵۴	۴-۵-۳ نرخ تغییرات رگرسیون خطی
۵۶	۵-۵-۳ نرخ تغییرات رگرسیون خطی وزن دار
۵۹	فصل چهارم
۵۹	مدلسازی
۶۰	۱-۴ مقدمه
۶۰	۲-۴ معرفی ویژگی‌ها و شرایط حاکم بر دریای خزر
۶۲	۳-۴ معرفی محدوده مورد مطالعه در دریای خزر
۶۳	۱-۳-۴ کلیات، تاریخچه و موقعیت بندر فریدونکنار
۶۵	۲-۳-۴ مشخصات موجشکن بندر
۶۶	۳-۳-۴ مشخصات اسکله بندر
۶۷	۴-۴ مدلسازی تغییرات خط ساحل در سیستم تحلیل رقومی
۶۸	۱-۴-۴ اکتساب داده‌های اولیه
۷۰	۲-۴-۴ زمین مرجع نمودن تصاویر
۷۱	۳-۴-۴ رقومی‌سازی خطوط ساحلی
۷۳	۴-۴-۴ محاسبه مقادیر عدم قطعیت
۷۵	۵-۴-۴ آماده‌سازی مدل و محاسبه نرخ تغییرات
۷۷	فصل پنجم
۷۷	نتایج و تحلیل
۷۸	۱-۵ مقدمه
۷۸	۲-۵ پردازش گرافیکی نتایج و تحلیل حاصل از مدلسازی سناریوی اول
۸۰	۳-۵ پردازش گرافیکی نتایج و تحلیل حاصل از مدلسازی سناریوی دوم
۸۳	۴-۵ نحوه پیش‌بینی و صحت‌سنجی مدل
۸۶	۵-۵ پیش‌بینی موقعیت خط ساحل در سال ۲۰۲۰ میلادی
۹۰	۶-۵ برآورد نرخ انتقال رسوب کرانه‌ای منطقه مطالعاتی
۹۳	فصل ششم
۹۳	جمع‌بندی و پیشنهادات
۹۷	منابع و مراجع

فهرست جداول

جدول ۱-۱	لیست محققان تغییرات خط ساحلی از دیدگاه‌های مختلف	۲۴
جدول ۲-۱	نوآوری‌های تحقیق حاضر	۲۷
جدول ۱-۳	جدول اطلاعات توصیفی مورد نیاز خطوط ساحلی در سیستم تحلیل رقومی [۶۴]	۴۷
جدول ۲-۳	جدول اطلاعات توصیفی مورد نیاز خط مبنا در سیستم تحلیل رقومی [۶۴]	۴۸
جدول ۳-۳	شرح عناوین استاندارد خلاصه شده نتایج آماری خروجی سیستم تحلیل رقومی [۶۴]	۵۲
جدول ۱-۴	اطلاعات تصاویر هوایی و ماهواره‌ای مورد استفاده جهت مدلسازی و پیش‌بینی	۶۹
جدول ۲-۴	مقادیر عدم قطعیت در برداشت هر خط ساحلی در بازه مدلسازی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳	۷۳
جدول ۳-۴	مقادیر عدم قطعیت در تراز آب هر خط ساحلی در بازه مدلسازی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳	۷۴
جدول ۱-۵	مقادیر نرخ رانه ساحلی در دوره کاهش تراز آب	۹۲

فهرست اشکال

شکل ۱-۲	نیمرخ عمومی ساحل (با اغراق در مقیاس عمودی) و اصطلاحات مربوطه [۶۰].....	۳۲
شکل ۲-۲	جریان موازی با ساحل ناشی از امواج [۶۰].....	۳۳
شکل ۳-۲	حالت کلی چرخه نزدیک ساحل ناشی از موج [۶۰].....	۳۴
شکل ۴-۲	پاسخ ساحل به قرارگیری یک سازه عمود بر آن [۶۰].....	۳۶
شکل ۵-۲	پاسخ ساحل به یک سازه موازی با ساحل دور از ساحل [۶۰].....	۳۷
شکل ۶-۲	چارچوب نظری کاربرد سنجش از دور در مطالعات تغییرات خط ساحلی [۶].....	۴۱
شکل ۱-۳	نحوه عملکرد سیستم تحلیل رقومی در محاسبه نرخ تغییرات خطوط ساحلی [۷].....	۴۵
شکل ۲-۳	نمونه‌ای از موقعیت خط مبنا در سیستم تحلیل رقومی [۶۴].....	۴۸
شکل ۳-۳	نمونه‌ای از موقعیت خط مبنا در سیستم تحلیل رقومی [۶۴].....	۴۹
شکل ۴-۳	الگوریتم سیستم تحلیل رقومی در محاسبه نرخ تغییرات خطوط ساحلی [۶۴].....	۵۰
شکل ۵-۳	نمایش جابجایی خالص خطوط ساحلی [۶۴].....	۵۳
شکل ۶-۳	نمایش دامنه تغییرات خطوط ساحلی [۶۴].....	۵۳
شکل ۷-۳	نمایش نرخ تغییر نقطه انتهایی خطوط ساحلی [۶۴].....	۵۴
شکل ۸-۳	نمایش نرخ تغییر رگرسیون خطی خطوط ساحلی [۶۴].....	۵۵
شکل ۹-۳	نمایش نرخ تغییر رگرسیون خطی وزن‌دار خطوط ساحلی [۶۴].....	۵۷
شکل ۱-۴	دریای خزر و میزان ورودی آب از رودخانه‌های اطراف به آن [۶۷].....	۶۱
شکل ۲-۴	نمودار تغییرات تراز آب دریای خزر [۷۸].....	۶۲
شکل ۳-۴	نمایش محدوده مورد مطالعه در تحقیق.....	۶۳
شکل ۴-۴	موقعیت بندر فریدونکنار نسبت به دریای خزر.....	۶۴
شکل ۵-۴	تصاویری از بندر فریدونکنار در هنگام ساخت در مجاورت بندر تفریحی دریابانی [۷۷].....	۶۵
شکل ۶-۴	تصاویری از طرح موجشکن کیسونی نیمه رها شده در کنار موج شکن توده‌سنگی در حال اجرا [۷۷].....	۶۶
شکل ۷-۴	تصاویری از اسکله بندر فریدونکنار در کنار تصویر وضعیت شمع‌ها و عرشه اسکله [۷۷].....	۶۷
شکل ۸-۴	روندنمای روش تحقیق.....	۶۸
شکل ۹-۴	تصاویر زمین مرجع شده سال ۱۳۷۳ نسبت به تصاویر سال ۱۳۶۲ (دایره‌های رنگی نقاط کنترل می‌باشند).....	۷۰
شکل ۱۰-۴	تصویر زمین مرجع شده سال ۱۳۹۱ نسبت به تصاویر سال ۱۳۸۳.....	۷۱
شکل ۱۱-۴	خطوط ساحلی رقومی‌سازی شده سال‌های ۱۳۶۲ (آبی) و ۱۳۷۳ (قرمز).....	۷۲
شکل ۱۲-۴	خطوط ساحلی رقومی‌سازی شده سال‌های ۱۳۸۳ (آبی)، ۱۳۹۱ (قرمز) و ۱۳۹۳ (سبز).....	۷۲
شکل ۱۳-۴	خط مبنا و مقاطع عرضی وارد شده به خطوط ساحلی سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳.....	۷۶
شکل ۱۴-۴	تصویری از محیط نرم افزار در حین اجرای سیستم تحلیل رقومی در بازه ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۳.....	۷۶
شکل ۱-۵	قسمت‌های رسوب‌گذاری شده (رنگ سبز) و قسمت‌های فرسایش یافته (رنگ قرمز) در بازه مدلسازی ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۳.....	۷۸

- شکل ۳-۵ قسمت‌های خشکی‌زایی شده (رنگ سبز) و قسمت‌های فرسایش یافته (رنگ قرمز) در بازه مدلسازی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ ۸۰
- شکل ۴-۵ نرخ تغییر خط ساحلی در بازه مدلسازی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ ۸۰
- شکل ۵-۵ شواهدی از وجود لکه‌های رسوبی در حوضچه بندرهای فریدونکنار و دریابانی ۸۱
- شکل ۶-۵ مقایسه گرافیکی خط ساحل پیش‌بینی شده (خط سبز) با مقدار واقعی آن (خط قرمز) در سال ۲۰۱۸ ۸۴
- شکل ۷-۵ نمودار اصلاح شده تراز سطح آب خزر ۸۶
- شکل ۸-۵ خطوط ساحلی ۱۳۸۳ (آبی رنگ) و ۱۳۹۳ (سبز رنگ) در زمینه تصویر سال ۱۳۹۵ ۸۸
- شکل ۹-۵ پیش‌بینی تراز میانگین سطح آب دریای خزر در چهار ماهه اول سال ۲۰۲۰ در مقایسه با شش ماهه سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ میلادی [۷۶] ۸۹
- شکل ۱۰-۵ موقعیت خط ساحل پیش‌بینی شده برای ماه اول سال ۲۰۲۰ میلادی در پس‌زمینه تصویر سال ۲۰۰۴ (۱۳۸۳ میلادی) ۹۰
- شکل ۱۱-۵ مقاطع عمود بر ساحل سال‌های ۹۳ و ۹۵ منطقه فریدونکنار (مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر) ۹۱

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

مدیریت پایدار سواحل، نیازمند آگاهی از روند تغییرات خط ساحلی است و آشکارسازی تغییرات خط ساحلی می‌تواند سلامت و بقای ساحل را تضمین کند. مسئله تغییرات خط ساحل، به عنوان یکی از جنبه‌های جدایی‌ناپذیر از مدیریت سواحل تاکنون با استفاده از رویکردهای مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است.

نواحی ساحلی^۱ به لحاظ فیزیکی و بوم‌شناختی^۲ پیوسته در حال تغییر بوده که این تغییرات به عوامل طبیعی و انسانی بستگی دارند. عوامل طبیعی تغییرات زمین‌ریخت‌شناختی^۳ نواحی ساحلی از طریق تغییرات کوتاه مدت، شامل تغییرات جریان^۴ های ساحلی، تغییرات بلند مدت شامل تغییرات اقلیمی، طوفان های دوره‌ای و امواج، و تغییرات اتفاقی شامل رویدادهای طبیعی ناگهانی ارزیابی می‌شوند [۱]. این تغییرات بر روی نواحی و خطوط ساحلی^۵ تأثیر گذاشته که از جمله پیامدهای آن اثرات منفی بر زندگی انسان، فعالیت‌های انسانی و ارتباطات دریایی است [۲]. همچنین عوامل انسانی نظیر ساخت و سازهای بی‌شمار در ناحیه ساحلی نیز باعث برهم زدن تعادل این ناحیه از جنبه‌های مختلف شده است.

مناطق ساحلی از دو اقلیم کاملاً متفاوت آب و خشکی تشکیل شده‌اند و به همین دلیل تغییر و تحول در آن‌ها نسبتاً سریع روی می‌دهد. خطوط ساحلی شواهد ژئومورفولوژی تغییرات دوره‌ای را ثبت می‌کنند از این رو تابعی از کل شرایط حاکم بر منطقه هستند.

برای مدیریت بهینه سواحل، اطلاع از موقعیت گذشته، حال و آینده خط ساحلی و چگونگی تغییرات آن امری ضروری است. در حال حاضر، جدیدترین و اقتصادی‌ترین روش برای این منظور، استفاده از داده‌های سنجش از دور است.

¹ Coastal Zones

² Ecologic

³ Geomorphologic

⁴ Currents

⁵ Shorelines

۱-۲ بیان مسئله

مناطق ساحلی نواحی پویا از نظر عملکرد متقابل زمین، آب و شرایط جوی هستند که در عین حال تحت تأثیر تغییرات دائم طبیعی و دستکاری انسان قرار دارند [۳]. در این نواحی فرآیندهای خشکی و دریایی در عمل متقابل با یکدیگر قرار می گیرند که به موجب این تعامل، دامنه مناطق ساحلی در دریاها به واسطه رشد دلتاها و در درون خشکی تا حداکثر مد در مناطق مختلف در تغییر است. عوامل مختلفی می توانند مناطق ساحلی را دچار تغییراتی نمایند که از آن جمله می توان به عملکرد تکتونیک منطقه، فعالیت های انسانی، تغییرات اقلیمی، عوامل هیدرودینامیکی و تغییرات تراز سطح دریا اشاره نمود. امروزه اهمیت پتانسیل عظیم سواحل و دریاها همانند حمل و نقل، تأمین انرژی، تأمین آب و غذا، توریسم و نظایر آن بر کسی پوشیده نیست. بر این اساس نوسانات شدید تراز سطح آب دریاها می تواند خسارات اقتصادی و زیست محیطی فراوانی به بار آورد [۴]. برای مثال افزایش ۲/۴ متری تراز سطح آب دریای خزر در مناطق ساحلی روسیه در فاصله سال های ۱۹۵۵ تا ۱۹۷۸ نزدیک به ۵ میلیارد دلار خسارت وارد نمود [۵].

همچنین عوارض زمین ریخت شناختی موجود در سواحل، تحت تاثیر عملکرد فرایندهای زمین شناختی^۱، آب و هوایی و هیدرودینامیکی بوده که در طول تاریخچه یک منطقه، موجب ایجاد ریخت شناسی خاص ساحلی می شود. نوسانات سطح تراز آب و نیروهای حاصل از امواج و جریان های ساحلی و فعالیت های انسانی، به عنوان مهم ترین عوامل تغییر شکل سواحل محسوب می شوند؛ زیرا این عوامل با گذشت زمان شرایط را برای فرسایش، رسوب گذاری، آشفستگی و تخریب مناطق ساحلی فراهم می کنند. نوسانات سریع آب دریا موجب تغییر شکل سواحل، تغییر قلمرو حوضه های حاشیه ای مانند تالاب ها و استخرهای طبیعی و حتی مرداب های بزرگ می گردد. اشکال زمین ریخت شناختی ساحلی به دو دسته اشکال حاصل از رسوب گذاری (دلتاها، خورها^۲، تپه های ماسه ای^۳ ساحلی و غیره) و اشکال ناشی از فرسایش (غارهای دریایی^۱، پهنه های

^۱ Geologic

^۲ Bays

^۳ Dunes

بریده شده توسط امواج و غیره) قابل تقسیم بندی هستند. فرآیندهای مؤثر در پیدایش این اشکال شامل عوامل زمین شناسی، هیدرودینامیکی، اقلیمی و بالاخره عوامل انسانی بوده که بیشتر اشکال از تعامل چند عامل نظیر عوامل بنیادین زمین شناسی، امواج و جریان های دریایی و وقوع برخی شرایط اقلیمی و دخالت انسانی در تغییر رژیم عوامل طبیعی به وجود می آیند [۶].

به منظور پایش ناحیه ساحلی، استخراج و مطالعه خط ساحلی به عنوان یکی از مهمترین اجزای دربردارنده عوارض زمین ریخت شناسی ساحلی، امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. کمیته بین المللی داده های جغرافیایی^۲، خط ساحلی را به عنوان یکی از ۲۷ پدیده مهم سطح کره زمین معرفی کرده است. تعیین، پایش، کمی سازی و پیش بینی وضعیت خطوط ساحلی به طور مستقیم فوایدی نظیر حفاظت محیط ساحلی، مدیریت منابع ساحلی، کشتیرانی، برنامه ریزی و توسعه پایدار مناطق ساحلی، کاربری اراضی و ایجاد خطوط حریم توسعه ساحلی را تحت تاثیر قرار می دهد [۷].

از طرفی رسوب گذاری در کانال های دریانوردی به صورت یک مشکل عمده برای مسئولان بندری تبدیل شده است و این مسئله منجر به تحمیل هزینه های سنگین جهت لایروبی می گردد، و هزینه های بالای لایروبی سبب شده است که مطالعات زیادی جهت بررسی فرآیندهایی که در رسوب گذاری بندر نقش دارند، انجام شده و روش ها و مدل های گوناگونی برای کمی کردن نرخ رسوب گذاری و ارائه راه حل هایی جهت کاهش آن پیشنهاد شود. مطالعات کافی شرایط هیدرودینامیکی منطقه، به منظور تعیین کارایی بندر از لحاظ اقتصادی دارای اهمیت ویژه است، که می تواند زمینه ای مناسب برای مدیریت صحیح در منطقه و کاهش یا جبران بخشی از خسارات وارده ناشی از عدم وجود آگاهی از وضعیت هیدرودینامیکی و رسوب منطقه باشد [۸].

با توجه به ساخت و سازهای انجام گرفته در سواحل منطقه بندر فریدونکنار تا بابلرود و عدم توجه به مطالعه دقیق پیش از اجرا، این امر الزامی است که در مورد عواملی نظیر تغییرات خطوط ساحلی، نرخ انتقال

¹ Sea Caves

² International Geographic Data Committee

رسوب، شناخت الگوی رسوب گذاری و فرسایش، پیش بینی موقعیت آینده خط ساحلی و شرایط حاکم بر منطقه بررسی های کامل و علمی به عمل آید.

۳-۱ پیشینه تحقیق

سیر تاریخی پژوهش های انجام شده در ارتباط با پایش تغییرات خطوط و نواحی ساحلی در ۲۰ سال اخیر را می توان این گونه تشریح نمود:

در ارتباط با تغییرات ریخت شناختی ساحلی، روزتی و کراوس [۹]، به مطالعه تغییر تدریجی ساحل در اثر موج شکن ها، اسکله ها و سایر عوارض که در خط ساحل ایجاد شده پرداختند. این پژوهش عدم تقارن در اشکال ساحلی را نتیجه گسترش ساخت و سازها و احداث سازه های ساحلی می داند، زیرا این سازه ها باعث افزایش رسوب گذاری در بالادست و فرسایش در پایین دست می شود.

در کشور ژاپن دگاچی و ساواراگی [۱۰]، مطالعاتی جهت ارزیابی اثرات سازه های ساحلی بر ریخت شناسی و توزیع رسوبات بستر انجام داده و اثر سازه های ساحلی را در انباشت و آرایش رسوب بستر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که به دلیل افزایش سرعت جریان موازی ساحل که در مقابل سازه اتفاق می افتد و اثری محلی است، متوسط قطر دانه ها در جهت جریان افزایش می یابد.

مطالعه اثرات نفوذ آب بر روی بستر در اثر امواج توسط نیلسن و همکاران [۱۱]، انجام شده است. نتایج نشان می دهد که نفوذ آب در بستر که به علت تنش برشی ایجاد شده به واسطه امواج متوسط رخ می دهد، باعث مهار رسوب در برابر حرکت در جهت عمود بر بستر برای شن و ماسه به قطر ۰/۲ میلی متر می شود. اثرات متقابل تنش برشی در خلاف جهت یکدیگر، به علت نازک شدن لایه ی مرزی^۱، افزایش می یابد و از طریق پارامتر اصلاح شده ی شیلدز^۲، درگ^۳ در جهت پایین با موفقیت تخمین زده شده است. داده های

^۱ Boundary Layer

^۲ Modified Shields Parameter

^۳ Drag

موجود حاکی از این است که اصلاحات پارامتر شیلدز با توجه به رابطه‌ها و داده‌های به‌دست آمده از آزمایشات، هر دو در انعطاف منحنی مشابه هستند.

در رابطه با نقش تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه‌های ساحلی و پژوهش‌های این حوزه، دویت و همکاران [۱۲]، بیان داشتند که جذب طول موج مادون قرمز^۱ توسط آب و قابلیت بازتاب قوی آن توسط پوشش گیاهی و خاک، این تصاویر را به ترکیب ایده‌آلی جهت تهیه نقشه توزیع فضایی زمین و آب تبدیل کرده است. این مشخصه‌های آب، پوشش گیاهی و خاک امکان استفاده از تصاویری را که حاوی باندهای مرئی و مادون قرمز بوده جهت تهیه نقشه خط ساحلی فراهم می‌سازد.

توسط لی و همکاران [۱۳]، مدل‌سازی اثرات آب زیرزمینی بر روی انتقال رسوب و تغییرات نیمرخ^۲ ساحلی انجام شد. آزمایشات نشان داد که یک سطح نسبتاً کم و پایین از آب زیرزمینی ساحلی، باعث افزایش ساحل‌سازی می‌شود. این مشاهدات به تکنیک آب‌گیری^۳ ساحل برای مقابله با فرسایش ساحل منجر شده است. در این تحقیق یک مدل عددی که حرکت تعاملی موج در ساحل، جریان آب‌های زیرزمینی، تغییرات رسوب‌گذاری و نیمرخ ساحلی را شبیه‌سازی می‌کند، ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی‌های مدل نشان می‌دهد که ساحلی با حجم آب کمتر با توجه به جدول تراز سطح آب، تاثیرات افزایشی مکرری در نیمرخ ساحل و توانایی تبدیل شدن به ابزاری برای ارزیابی و اثربخشی سیستم‌های آب‌گیری را دارد.

سیگل و همکاران [۱۴]، به‌وسیله‌ی نرم افزار عددی مایک ۲۱ به بررسی زمین‌ریخت‌شناسی ساحلی در خلیج تیگموت^۴ انگلستان پرداختند. نتیجه‌ی این کار را با تصاویر از راه دور که از طریق پنج دوربین ناحیه‌ی مورد نظر تحت پوشش قرار داشت، مقایسه کردند. با توجه به اینکه طول دماغه^۵ ی این خلیج حدود ۲ کیلومتر است، آنها شبیه‌سازی را در طول جزر و مدهای مختلف که اطلاعات آن را از اندازه‌گیری‌های پروژه سواحل اروپا گرفته بودند، انجام دادند و سپس به همبستگی معنی‌داری از شبیه‌سازی عددی با تصاویر

¹ Infra-Red

² Profile

³ Dewatering Technique

⁴ Teignmouth

⁵ Headland

موجود رسیده‌اند. همچنین آنها در این تحقیق به کمک نرم افزار مایک ۲۱ و براساس تغییرات سطح آب ناشی از جزر و مد (۱/۷ - ۴/۲ متر) به بررسی پدیده انتقال رسوب ناشی از این تغییرات پرداخته‌اند. ناحیه‌ی مورد بررسی در شبیه‌سازی، ۳/۵ کیلومتر به طرف دریا و ۴ کیلومتر در طول خط ساحلی در نظر گرفته شده است. با توجه به محدوده‌ی کم ناحیه‌ی مورد بررسی، فاصله نقاط شبکه^۱ ۱۰ متر و جمعا ۱۸۰۰۰۰ نقطه‌ی آبی در نظر گرفته شد. در این کار سعی شد از اطلاعات خروجی قسمت ان اس دابلو به عنوان اطلاعات ورودی قسمت اچ دی استفاده شود و درنهایت با رسم نمودار سرعت جریان برای حالات مختلف ارتفاع موج، تاثیر آن را در زمین‌ریخت‌شناسی ساحلی بررسی کردند.

در ادامه سیر تکوین پژوهش‌های مرتبط با پایش تغییرات خط ساحلی الشیخ و همکاران [۱۵]، به نقش ورود تصاویر ماهواره‌ای^۲ و تکنیک‌های سنجش از دور^۳ و سیستم اطلاعات جغرافیایی^۴ به این عرصه، به دقت خیلی بالا، پوشش مکانی و زمانی زیاد، خروجی‌های دقیق و قابل فهم و سایر مزیت‌های آن تاکید کرده و بیان داشتند که سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی نقش مهمی جهت کسب داده‌های فضایی^۵ از لحاظ اقتصادی بازی می‌کنند.

مدل‌سازی انتقال رسوبات چسبنده برای منطقه‌ی جزر و مدی^۶ رمو دایب^۷ در دریای وادن^۸ اروپا توسط لامبورگ و ویندلین [۱۶]، به کمک مدل عددی مایک ۲۱ صورت گرفت. ایشان بیان داشتند که توصیف دینامیک رسوبات چسبنده از طریق آنالیز عددی کار مشکلی است، چون خواص فیزیکی این رسوبات به طور طبیعی پیچیده است. میزان غلظت‌های رسوب معلق و الگوی رسوب‌گذاری خالصی به‌دست آمده از افزونه ماد ترنسپُرت^۹ در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر گزارش شده از مطالعات دیگر روی منطقه، توافق

¹ Grid Points

² Satellite Images

³ Remote Sensing

⁴ Geographic Information System

⁵ Spatial Data

⁶ Mudflat

⁷ Rømø Dyb

⁸ Wadden Sea

⁹ Mud Transport

خوبی را نشان داد. همچنین از این مطالعه مقادیر جدید و قابل اطمینانی برای سرعت جریان‌ها در منطقه بدست آمد.

مروری بر مدل‌های انتقال رسوب و فرسایش توسط مریت و همکاران [۱۷]، انجام شد. مدل‌های بسیاری برای بررسی فرآیندها وجود دارد، با این حال، این مدل‌ها، از لحاظ پیچیدگی، ورودی و الزامات آن‌ها، فرآیندهایی که نشان می‌دهند و نحوه‌ی نمایش این فرآیندها، مقیاس و معیار استفاده و انواع اطلاعات خروجی بسیار متفاوت هستند. در مقاله مذکور، چندین مدل فرسایش و رسوب و منبع تغذیه‌ی رسوب را با توجه به این عوامل بررسی شده‌اند.

در رابطه با شیوه برداشت نقشه از خطوط ساحلی، لیل‌سند و همکاران [۱۸]، بیان داشتند که از سال ۱۸۰۷ تا ۱۹۲۷، همه نقشه‌های خط ساحلی از طریق برداشت زمینی^۱ تهیه می‌شدند. در سال ۱۹۲۷، پتانسیل واقعی عکس‌های هوایی جهت تکمیل نقشه‌های خط ساحلی مورد توجه واقع شد. طی سال‌های ۱۹۲۷ تا ۱۹۸۰، عکس‌های هوایی^۲ منبعی ویژه برای تهیه نقشه خط ساحلی به شمار می‌رفتند، اگرچه زیاد بودن تعداد عکس‌های هوایی حتی در مقیاس منطقه‌ای، هزینه زیاد و زمان‌بر بودن جمع‌آوری، تصحیح، تحلیل و انتقال اطلاعات از عکس‌ها به نقشه و هم‌چنین سیاه و سفید بودن این عکس‌ها به‌عنوان محدودیت‌های آن مطرح بودند.

در تحقیقی بابو و همکاران [۱۹]، با استفاده از مدل هیدرودینامیک مدل ریاضی مایک ۲۱، اقدام به شبیه‌سازی و بررسی جریان‌ات جزر و مدی در خلیج کاج واقع در جنوب غربی هندوستان نمودند. ایشان مدل خود را با استفاده از ضرایب واسنجی^۳ از جمله، ضریب اصطکاک باد^۴ برابر با ۰/۰۰۲۶، ضریب مانینگ^۵ ۳۸ (با واحد ریشه سوم متر بر ثانیه) و لزجت گردابی افقی^۶ ۰/۵ متر بر ثانیه واسنجی نمودند. آنها نتایج مدل

¹ Land Surveys

² Aerial Photos

³ Calibration Coefficients

⁴ Wind Friction Factor

⁵ Manning's Number

⁶ Horizontal Eddy Viscosity

خود را با استفاده از اطلاعات میدانی جریانات به دست آمده در سه زمان مختلف اعتبار سنجی نمودند. تحلیل نتایج به دست آمده از مدل با اطلاعات میدانی جریانات، توافق بسیار خوبی را نشان داد.

مدل سازی انتقال رسوب چسبنده توسط لامبورگ و پچراپ [۲۰]، برای منطقه جزر و مدی لیستر دایب^۱ در دریای وادن دانمارک مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه ماژول انتقال رسوب مایک ۲۱، انتقال خالص رسوب چسبنده را در سال ۲۰۰۲ برای منطقه، ۴۵۰۰۰۰ تن برآورد کرده است. انتقال سالانه رسوب کلی در قسمت ورودی حدود یک میلیون تن بوده است. بدین معنی که تنها ۴۵ درصد رسوبات معلق درون منطقه به طور متوسط ته نشین شده است. خروجی های مدل به کمک اطلاعات میدانی و پارامترهای واسنجی که از مدل ناشی می شوند، واسنجی شده اند. نتایج مدل در مقایسه با مطالعات دیگر عنوان شده است. همچنین در نتایج نشان داده شده است که اگر ماژول انتقال رسوب چسبنده به طور مناسب توسط اطلاعات میدانی مکانی و زمانی خاصی و اسنجی شود، یک برآورد خوب از هیدرودینامیک رسوب، شامل غلظت های رسوب معلق و تغییر تراز بستر را نتیجه می دهد.

تغییرات ساحل در جنوب غربی دریای سیاه در برابر شرایط امواج احتمالی را، آمل آری و همکاران [۲۱]، به صورت عددی مدل سازی کرده و نتایج را با استفاده از سنجش از راه دور و تصاویر ماهواره ای به صورت دوره ای مقایسه نمودند.

تأثیرات سایز دانه ها و رسوبات بر روی کانال های مملو از سیلت^۲ توسط فن مارن [۲۲]، انجام شده است. یک نرم افزار عددی سه بعدی (دلفت تری دی) برای آنالیز اثرات ناشی از تراکم رسوب و تاثیر آن روی شکل کانال های طراحی شده طبق هندسه رودخانه استفاده شده است. در نتایج، تأثیرات طبقه بندی غلظت رسوبات عمودی و مانع شدن اثرگذاری آن روی الگوهای رودخانه نشان داده شده است. در برخی از غلظت های بحرانی که شامل ترکیبات عمودی است کاملاً توسط گرادیان چگالی در لوتوکلاین^۳ (یک گرادیان

¹ Lister Dyb

² Silt

³ Lutocline

قائم قوی در غلظت رسوبات) خنثی می‌شود. این باعث افزایش گردش ثانویه در کانال رودخانه و توسعه‌ی آن می‌شود. زمانی که جریان اشباع نیست، فرآیند تشکیل کانال اصلی به کانال مجاز، از طریق مسدود کردن کانال‌های قدیمی و قطع کانال بعدی است. هنگامی که غلظت بسیار بالاست، رسوب در درجه اول به حالت تعلیق در می‌آید و رسوب‌گذاری بسیار کاهش می‌یابد و کانال‌ها بیشتر مسدود می‌شوند و بنابراین مسیر رودخانه به یک کانال محدود می‌شود.

از جمله دیگر پژوهش‌های تعیین تغییرات خط ساحلی الشیخ و همکاران [۲۳]، شیوه‌های رایج شناسایی تغییرات خط ساحلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای را مورد ارزیابی قرار دادند و براساس مزایا و موانع این روش‌ها، روش جدیدی را توسعه دادند. روش پیشنهادی آنها بر اساس پردازش تصویر و باندهای تصویر برداری است.

از جمله اقداماتی که در سال‌های اخیر بر روی رژیم تغییرات سطح آب دریای خزر یا خطوط ساحلی آن انجام گرفته، پژوهش لروی [۲۴]، است. ایشان با تهیه گمانه‌هایی با عمق بیش از ۱۰ متر از بخش‌های جنوبی دریای خزر و مصب رودخانه‌ها، درجه شوری دریای خزر را بررسی نمودند. در این پژوهش از طریق نمونه‌های برداشت شده به وسیله مقاطع گمانه‌ها و با روش‌های گرده‌شناسی^۱ و نیز تعیین سن نمونه‌ها، شرایط اقلیمی حاکم بر دریای خزر طی ۵۵۰۰ سال گذشته بررسی شده است.

تغییرات فضایی^۲ ساحل در امتداد جزیره چندلیور^۳ آمریکا توسط الیس و استون [۲۵] در طی چند دهه اخیر مورد بررسی قرار گرفته است. این تحقیق اولین توصیف کمی از سیستم انتقال در امتداد ساحل ارائه می‌دهد که باعث از بین رفتن جزایر سدی^۴ می‌شود. انتقال رسوب در امتداد ساحل همراه با مدل انکسار^۵ موج مورد بررسی قرار گرفت طوری که حجم جابه‌جایی و مسیر انتقال در امتداد ساحل^۶ تخمین زده شد.

¹ Palynology

² Spatial Evolution

³ Chandeleur Island

⁴ Barrier Islands

⁵ Refraction

⁶ Alongshore Drift Direction

داده‌های به‌دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که سیستم انتقال رسوب در امتداد جزیره چندلیور با انتقال دوطرفه مشخص شده است، انتقالی که هم به سمت شمال و هم به سمت جنوب از یک گرهی مشخص از بخش جنوب غربی جزیره است. تجزیه و تحلیل حجم پیش‌بینی شده انتقال رسوب شامل درجه‌ی انکسار موج بوده، بنابراین زاویه شکست موج در تنظیم حجم نرخ انتقال رسوب سازنده‌تر از ارتفاع شکست موج است. علاوه بر این، قسمت بزرگی از انتقال رسوب در قسمت جنوبی جزیره است که در وضعیت بدتری از شمال و قسمت مرکزی آن قرار دارد.

مدلسازی دو یا سه بعدی برای هیدرودینامیک و انتقال رسوب خور رودخانه یانگتزه^۱ در چین توسط هو و همکاران [۲۶]، انجام شده است. براساس مجموعه دلفت تری دی یک مدل دو یا سه بعدی برای محدوده‌ی خور یانگتزه در چین تنظیم شد. پس از بررسی و تایید یک سری مدل‌ها، مدلی که قادر به ارائه دادن هم‌زمان هیدرودینامیک و انتقال رسوب آن محدوده بود، برای مطالعه مسئله‌ی افزایش طوفان و تکامل زمین‌ریخت‌شناسی جیودونشا^۲ مورد استفاده قرار گرفت. سرانجام نتیجه‌گیری شد که اثرات باد و امواج دورآ^۳ باید در نظر گرفته شود تا نتایج دقیق‌تری برای طوفان‌ها به‌دست آید. برای بازتولید تغییرات زمین‌ریخت-شناختی نیاز است، انتقال رسوبات چسبنده و همچنین رسوبات غیرچسبنده در نظر گرفته شود. این مدل را می‌توان به عنوان ابزار اصلی برای مدیریت و مطالعه خور یانگتزه در نظر گرفت.

الیو [۲۷]، از طریق استفاده از تعدادی مقطع از خط ساحلی کشور آذربایجان و سپس اندازه‌گیری اندازه‌گیری‌های جی پی اس^۴ دو بسامدی، تغییرات خط ساحلی را از طریق آثار خط ساحلی را از طریق آثار خطوط ساحلی گذشته در مکان‌های یاد شده بررسی کرده و طی آن آخرین تغییرات و به ویژه تغییرات ناگهانی و سریع آن را برآورد نموده است.

¹ Yangtze Estuary

² Jiuduansha

³ Swell

⁴ Global Positioning System

با هدف بررسی اثر سازه‌های متصل به ساحل، سورش و ساندر [۲۸]، مطالعه‌ای بر روی خط ساحلی کانیاکوماری^۱ واقع در بخش جنوبی هندوستان انجام دادند. در این تحقیق مدل سازی عددی انتقال رسوب به روش تفاضل محدود^۲ انجام شده و از اندازه‌گیری فصلی تغییرات خط ساحلی در مجاورت سازه‌های ذکر شده جهت واسنجی مدل استفاده شده است. پیش‌بینی مدل مذکور بیان داشت که دامنه انتقال رسوب خالص موازی با ساحل از ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۴۰ میلیون متر مکعب در هر سال تفاوت می‌کند و جهت این انتقال به سمت غرب است.

کریستنسن و همکاران [۲۹]، به کمک بسته‌ی نرم‌افزاری مایک اقدام به مدل‌سازی موج‌شکن دور از ساحل^۳ به صورت مدل یک بعدی و مدل‌سازی موج‌شکن ساحلی به صورت شبه دو بعدی نمودند. به این ترتیب آنها در مدل یک بعدی با تغییر هندسه موج شکن، به بررسی تشکیل برجستگی ساحل پرداختند. در این تحقیق مدل شبه دو بعدی جزییات بیشتری در رابطه با تغییرات ریخت‌شناسی در پشت موج‌شکن‌های ساحلی نشان داد. به این ترتیب چگونگی تشکیل و تغییر برجستگی‌ها و تومبولوها^۴ در ساحل مورد بررسی قرار گرفت.

در تحقیقی که توسط وانیش [۳۰]، انجام گرفت، به کمک مدل عددی مایک-لیت‌پک، اقدام به مدل‌سازی ۷ گزینه متفاوت از موج‌شکن موازی ساحلی جهت ساخت و محافظت از ساحل ناکن‌سی‌تامارات^۵، تایلند نمود. درنهایت با مقایسه این ۷ مدل از نظر تغییرات خط ساحلی و هزینه ساخت بهترین گزینه انتخاب گردید.

ظریف صنایعی و ذاکر [۳۱]، به مطالعه انتقال رسوب در بندر صیادی زرآباد واقع در دریای عمان پرداختند. در این تحقیق نرخ انتقال رسوب به وسیله روابط حجمی انتقال رسوب (سی ای آر سی، کامفیوس^۶

¹ Kannyakumari

² Finite Difference

³ Detached Breakwater

⁴ Tombolo

⁵ Nakhon Si Tammarat

⁶ Kamphuis

و فن راین^۱) محاسبه و با اندازه‌گیری‌های میدانی مقایسه شدند. از طرفی تغییراتی که در ساحل به دلیل احداث بندر صورت گرفته نیز توسط مدل عددی لیت‌پک شبیه‌سازی و توسط داده‌های آبنگاری که به صورت دوره‌ای گردآوری شده بودند واسنجی شد. نتیجه تحقیق نشان داد که استفاده از روابط حجمی انتقال رسوب در منطقه مورد مطالعه تا چندین برابر نسبت به مقادیر واقعی دارای خطا بوده و خط ساحل تا ۲۰ سال آینده پس از ساخت آبشکن‌ها^۲ به قسمت فوقانی آنها نمی‌رسد.

نوجاس و همکاران [۳۲]، فرآیندهای ساحلی در بخش جنوب شرقی هندوستان را با هدف درک اثرات پهنه‌های گلی^۳ و سازه‌های ساحلی انسان ساخت مانند موج‌شکن‌ها بر تغییرات خط ساحلی را مورد مطالعه قرار دادند. آنها یکی از نقاط کانونی فرسایش یافته در ساحل را شناسایی و به وسیله مدل‌سازی عددی توسط مدل‌های لیت‌پک و مایک ۲۱-اس دیلو، اقدام به مداخله در منطقه با هدف مدیریت فرسایش آن نمودند. مدل‌ها به وسیله مشاهدات میدانی واسنجی شده و پس از ارائه و سنجش چندین گزینه، بهترین آن را به منظور مقابله با پدیده فرسایش ساحل انتخاب نمودند.

راجاسری و همکاران [۳۳]، تغییرات ساحل ادوپی^۴ در سواحل غربی هند را تحت تاثیر پدیده گرمایش زمین مورد مطالعه قرار دادند. آنها در ابتدا به کمک تصاویر ماهواره‌ای تغییرات خط ساحل در گذشته را تعیین نمودند و پس از آن به کمک مدل‌سازی عددی به بررسی تغییرات بر پایه شبیه‌سازی امواج در ۳۵ سال گذشته و همچنین ۳۵ سال آینده پرداختند. نتایج نشان داد که در آینده نرخ فرسایش افزایش یافته و همچنین انتقال رسوب سالیانه نیز بالا خواهد رفت.

خلیفه و همکاران [۳۴]، به مطالعه تغذیه مصنوعی^۵ ساحل در بخش شمالی بندر دمياط^۶ مصر که به علت برهم خوردن چرخه انتقال رسوب ناشی از اثرات سازه‌های بندری لازم به اجرا دانسته شده، پرداختند.

¹ VanRijn

² Groins

³ Mudbank

⁴ Udupi

⁵ Beach Nourishment

⁶ Damietta

آنها گزینه‌های مختلف طرح را با استفاده از مدل یک بعدی لیت‌پک مورد ارزیابی قرار داده و در آخر پیشنهاد نمودند که سالیانه ۲۰۰۰۰۰ متر مکعب تغذیه مصنوعی در ساحل از محل رسوبات لایروبی شده سالیانه بندر دمياط که تا حدود سالیانه ۱ میلیون متر مکعب گزارش شده است، صورت پذیرد.

سولیس و همکاران [۳۵]، از طریق تحلیل تجربی به بررسی پاسخ خط ساحلی به موانع طبیعی نظیر صخره‌های زیرآب^۱ و جزایر که در سرتاسر ساحل ساردینیا^۲ ی ایتالیا در معرض امواج و باد هستند، اقدام نمودند. تلاش آنها که از طریق تصویر برداری زمینی و مشاهدات میدانی صورت گرفته بود نشان داد که نسبت طول موانع به فاصله میان بخش دست نخورده ساحل تا خود مانع، اصلی‌ترین متغیر در پیش‌بینی دامنه مانع و عرض قسمت پایین آن در بستر دریا است.

شفیعی‌فر و تقی‌زاده [۳۶]، با استفاده از مدل عددی مایک ۲۱ به بررسی و تحلیل پدیده انتقال رسوب در منطقه خور و بندر گناوه پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که جهت غالب انتقال رسوب در منطقه، شمال غربی به جنوب متغیر است. این نرخ در محدوده‌ی کانال دسترسی به خور گناوه بیش از ۷۰ هزار مترمکعب در سال پیش‌بینی گردید. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده راهکارهای مقابله با مشکل رسوب‌گذاری در منطقه‌ی بندرگناوه پیشنهاد شده است.

حقیقی و افشار [۳۷]، در تحقیقی به بررسی الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در سواحل دریای عمان بر روی بندر رمین پرداختند. در این تحقیق خصوصیات انتقال رسوب در منطقه با استفاده از اطلاعات هیدرودینامیک امواج، اندازه‌گیری میدانی، استفاده از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، اجرای مدول‌های اچ دی، ان اس دابلو و اس تی، بار بسته‌ی نرم‌افزاری مایک ۲۱ و نقشه‌های آب‌نگاری^۳، مورد مطالعه قرار گرفته و با توجه به نتایج حاصل، الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در منطقه‌ی مورد مطالعه، بررسی کرد. نتایج حاصله نشان دادند که روند کلی انتقال رسوب از غرب به شرق بوده و مقدار خالص آن معادل ۱۱۶/۰۰۰ متر مکعب

¹ Submerged Reefs

² Sardinia

³ Hydrography

در سال برآورد می‌شود. نتایج به‌دست آمده از اجرای مدول‌های اچ دی و اس آی نشان می‌دهد که امواج جهت جنوب غربی با توجه به فرکانس وقوع بالا و ارتفاع موج بلندتر، بیشترین جریان‌ها را از جهت غرب به شرق خط ساحلی به‌وجود می‌آورند. سرعت این جریان‌ها، بالا بوده و تا ۱/۵ متر بر ثانیه نیز می‌رسد. به علاوه، امواج جهت جنوب غربی باعث ایجاد یک جریان قوی گردابی درون حوضچه سمت شرقی بندرگاه می‌گردند که در حالت بیشینه دارای سرعتی برابر ۱/۰ متر بر ثانیه هستند. جریان‌های مذکور سبب انتقال رسوبات از سمت غرب به شرق بندرگاه و نیز درون حوضچه شرقی بندرگاه می‌شود که با کاهش سرعت جریان، رسوبات حمل شده ته‌نشین شده و مشاهدات محلی نیز موید این مطالب است.

عبداللهی [۳۸]، دینامیک دریای خزر در دوره هولوسن و نقش آن در تغییرات خط ساحلی محدوده ساحلی شرق دریای خزر را با استفاده از نمونه برداری عملی از پادگانه‌های ساحلی^۱ و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای بررسی کرده است. وی پنج چرخه بلند مدت دریای خزر را شناسایی نموده و به این نتیجه می‌رسد که اولین تراز آب در ۸۸۰۰ سال پیش اتفاق افتاده و بین تغییرات تراز آب و گرم شدن جهانی کره زمین همبستگی وجود دارد.

حسینی نژاد [۳۹]، به بررسی وضعیت انتقال رسوب در بندر صیادی جوادالائمه پرداخته و با استفاده از روابط متداول (سی ای آر سی - اس پی ام، سی ای آر سی - دل، والتون^۲، و کامفیوس) نرخ انتقال رسوب موازی با ساحل^۳ را برآورد و نتایج را با مقایسه از مقادیر به دست آمده از نقشه‌های آب‌نگاری منطقه مابین سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۴، ارزیابی کرده است. سپس ضرایب جدیدی برای روابط ذکر شده پیشنهاد نموده و در نهایت بیان داشت که دقیق‌ترین برآورد از نرخ انتقال رسوب موازی با ساحل در محدوده مورد مطالعه، مربوط به رابطه سی ای آر سی - دل از میان روابط بررسی شده در تحقیق مذکور است.

¹ Marine Terrace

² Walton

³ Longshore Sediment Transport Rate

مسعودی فر و کتابداری [۴۰]، در مقاله‌ای پدیده انتقال رسوب و اثر ساخت بندرامیر آباد را بر شرایط منطقه با استفاده از مدل مایک ۲۱، مورد مطالعه قرار دادند. خروجی این تحقیق موید آن است که هرچند در صورت کاهش تراز آب، نرخ کلی انتقال رسوبات در منطقه نسبتاً کاهش خواهد داشت، اما نرخ رسوب عبوری از جلوی راس موج‌شکن افزایش داشته و احتمال رسوب‌گذاری را در دهانه بالا می‌برد. به عکس افزایش تراز سطح آب دریای خزر، شرایط بهتری را نسبت به وضعیت فعلی در بندر امیرآباد به دنبال خواهد داشت.

ندیمی و لشته نشانی [۴۱]، در تحقیقی به بررسی روند فرسایش و رسوب‌گذاری در حوضچه‌ی منتهی به تالاب بندر انزلی پرداخته‌اند. هدف از تحقیق ایشان، تخمین میزان فرسایش احتمالی و رسوب‌گذاری در محدوده‌ی حوضچه‌ی بندرانزلی به کمک نرم افزارهای مایک ۲۱ مایک تری دی بوده است. در این مقاله ابتدا کلیه‌ی داده‌های آماری مورد نیاز جمع آوری شده و سپس توسط مدل ریاضی، میزان تقریبی رسوبات انباشته شده در طول سال‌های اخیر تخمین زده شده و با نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی مقایسه شده است. نتیجه‌ی بررسی اطلاعات و مشاهدات موجود، مطالعه و اندازه‌گیری‌های میدانی و همچنین مدل‌سازی ریاضی رسوب در بندر انزلی نشان می‌دهد که حجم رسوب ته‌نشین شده در بندر انزلی، سالانه بین ۱۷۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ مترمکعب است. از این رسوب، رقمی معادل ۳۵۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰ مترمکعب ناشی از رسوباتی است که از سمت تالاب به داخل بندر حمل شده و بیشتر قبل از موج‌شکن فرعی و به صورت یکنواخت پخش می‌شوند. بقیه‌ی مواد رسوبی از نوع رسوب بستر هستند که حجمی بین ۱۳۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰۰ مترمکعب را به خود اختصاص داده و عمدتاً در نزدیک دهانه‌ی ورودی و همچنین مقداری نیز بعد از موج‌شکن فرعی به سمت داخل ته‌نشین می‌گردد.

نعیمی نظام آباد و همکاران [۴۲]، به پایش تغییرات خط ساحلی و اشکال زمین‌ریخت‌شناختی خلیج فارس با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ (مطالعه موردی؛ منطقه ساحلی

^۱ GIS

عسلویه) پرداخته‌اند. آنها با مقایسه بصری و نرم‌افزاری تصویر تی‌ام^۱ مربوط به سال ۱۹۹۰ میلادی و تصاویر ماهواره‌ای آی آر اس^۲ سالهای ۲۰۰۰، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶ به علاوه مشاهدات میدانی، تغییرات خط ساحلی و تغییرات اشکال زمین‌ریخت‌شناختی منطقه ساحلی عسلویه را به دست آوردند. به منظور شناسایی وضعیت تغییرات محیطی رخ داده در منطقه مطالعاتی از روش‌های شناسایی تغییرات^۳ و موقعیت پایین و بالا^۴ در محیط‌های نرم‌افزاری اِرداس^۵ و آرک-جی آی اس^۶ استفاده نمودند. بر مبنای نتایج کار آنها در منطقه مطالعاتی طی بازه زمانی ۱۶ ساله و میزان رسوب‌گذاری دو برابر نسبت به فرسایش افزایش داشته و تعادل چرخه رسوب‌گذاری و فرسایش به هم خورده است.

تجزیه‌چی و شریعتمداری [۴۳]، به کمک مدل عددی دلفت تری دی معادله تغییرات خط ساحلی با توجه به تغییر فاصله‌ی موج‌شکن مستغرق از خط ساحلی برای دوره‌ی تناوب‌های مختلف موج مورد بررسی قرار داد و در پایان رابطه‌ای برای پیش‌بینی میزان پیش‌روی خط ساحلی در حضور موج‌شکن‌های مستغرق به ازای موج با دوره‌ی تناوب‌های مختلف پیشنهاد نمودند.

کمالیان و صفری [۴۴]، در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر تغییرات تراز آب دریای خزر بر رفتار رسوب در اطراف بندر نوشهر و رسوب‌گذاری در دهانه‌ی آن پرداختند. آنها با بررسی روند تغییرات خط ساحلی اطراف بندر و آمار سالانه لایروبی و آب‌نگاری‌های سالانه، دهانه‌ی بندر را مورد مطالعه قرار دادند و روند انتقال رسوب به دهانه‌ی بندر را با استفاده از مدل‌های لحظه‌ای رسوب ساحلی و مدل‌های دو بعدی بررسی کردند. در این مطالعه همچنین، تاثیر کاهش و افزایش تراز آب دریا در چند دهه‌ی گذشته بر تغییر ظرفیت انباری طبیعی رسوب مقابل ساحل غربی و همچنین تاثیر آن بر کنارگذاری رسوب از مقابل راس موج‌شکن اصلی مطالعه شده است. نتایج مطالعه‌ی آنها نشان داد که افزایش تراز آب دریا در طی سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۷۴

¹ Thematic Mapper

² Indian Remote Sensing

³ Change Detection

⁴ Low & High Position

⁵ Erds

⁶ ArcGIS

مانع بروز مشکل رسوبی قابل توجه برای بندر بوده است. از طرف دیگر، در سال‌هایی که کنارگذری رسوب از مقابل راس موج‌شکن برقرار بوده، کاهش تراز آب باعث شدت گرفتن کنارگذری رسوب شده است.

فخرالدین و همکاران [۴۵]، اثر جریانات ناشی از امواج بر بنادر را مورد بررسی قرار دادند و با مطالعه موردی در بندر بستانو به ارائه چندین گزینه در رابطه با شیوه مناسب استقرار موج‌شکن‌های بندر پرداختند. ایشان با مدل‌سازی ریاضی، الگوی جریانات ناشی از امواج را هم در حالت بدون حضور سازه ساحلی و هم در حالت جانمایی گزینه‌های مختلف طرح، مورد بررسی قرار دادند و در نهایت بهترین گزینه را با هدف مقابله با اثرات غیر مطلوب این جریان‌ها انتخاب نمودند.

پورعلی و معینی [۴۶]، به بررسی وضعیت رسوبی و ارائه راهکار مهار رسوب در بندر زیباکنار، پرداخته‌اند. در این مطالعه سه طرح برای مقابله با اثر رسوب‌گذاری پیشنهاد شده است. با توجه به اینکه آورد رسوبی منطقه زیباکنار بسیار زیاد است از این رو حذف پدیده‌ی رسوب‌گذاری به صورت کامل اقتصادی و منطقی نیست. لذا بهترین راهی که برای مقابله با آن پیشنهاد می‌شود سازگاری با آن است. به علت مزایایی همچون کاهش رسوب‌گذاری دهانه‌ی ورودی موج‌شکن، ایجاد آرامش بیشتر در دهانه و دور نمودن جریان‌های ناشی از موج در دهانه‌ی موج‌شکن، گزینه برتر پیشنهاد شد.

تقوایی و غیائی [۴۷]، به بررسی نحوه‌ی حرکت ذرات رسوبی در بندر شهید رجایی توسط دیدگاه لاگرانژی ردیابی ذره^۱ و بررسی کارایی روشی جدید در پدیده‌ی انتقال رسوب پرداختند. برای ارضای این هدف، ابتدا تحلیل هیدرودینامیکی بندر در اثر یک جزر و مد، توسط نرم افزار سی‌گد^۲ انجام شد. سپس خروجی هیدرودینامیکی در زمان‌های مختلف و در بخش‌های مختلف از این نرم‌افزار استخراج شد. پس از آن از مدل سه بعدی ردیابی ذره برای مدل‌سازی انتقال و ته‌نشینی ذرات رسوبی رها شده در سطح توسط لایروب کلامشلی^۳ یا هاپر ساکشن^۴ با دانه‌بندی مشخصی استفاده شد. بر اساس نتایج ملاحظه شد که

^۱ Lagrangian Particle Tracking

^۲ CECAD

^۳ Clamshell Dredger

^۴ Hopper Suction

پخش ذرات رسوبی در بندر شهید رجایی بیشتر حاصل انتشار است تا انتقال، که این امر می‌تواند به دلیل کوچک بودن سرعت هیدرودینامیک باشد و در اثر آزاد شدن ذرات رسوبی در میانه‌ی ورودی بندر، دانه‌های رسوبی به درون و بیرون بندر وارد شده و در مسیر آبراهه رسوب می‌کند. همچنین روش ردیابی با دیدگاه لاگرانژی، مکان دقیق ذرات و مسیر حرکت‌شان را به‌خوبی مشخص می‌کند.

عمادالدین [۴۸] با هدف تعیین رفتار خطوط ساحلی در مقابل تغییرات سریع آب دریای خزر در طول نیم قرن اخیر و عکس‌العمل ساحل نسبت به آسیب دیدگی‌های حاصل از فعالیت‌های انسانی، نسبت به مطالعه بخش شرقی دریای خزر اقدام نمود. در این راستا از اسناد تاریخی، عکس‌هوایی سال ۱۹۷۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست و همچنین از عملیات میدانی استفاده شده نتایج پژوهش آنان نشان داده که سواحل بخش شرقی دریای خزر دچار تغییرات زیادی گردیده و از آنجاییکه محدوده مورد مطالعه جزء مناطق تراکمی محسوب می‌شود و رسوبات زیادی را دریافت می‌کند، جهت برنامه‌ریزی‌های کلان در منطقه به این فرایند مهم بایستی توجه گردد.

اردشیری لاجیمی و مرادی [۴۹]، با استفاده از سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی^۱، از مجموعه نرم افزاری آرک-جی‌آی‌اس، تغییرات خطوط ساحلی در بازه زمانی سال‌های ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۹ میلادی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی اندازه‌گیری و کمی‌سازی کردند. این تحقیق نشان داد که منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ذکر شده دچار فرسایش گردیده و میانگین نرخ تغییرات خط ساحلی ۰/۳۱۵ متر در سال بیان شده است.

جعفرزاده و همکاران [۵۰]، در تحقیقی میزان تغییرات خط ساحلی پس از احداث موج‌شکن‌های جدید بندر انزلی را از طریق تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ تعیین و با نتایج حاصل از شبیه‌سازی خط ساحل با استفاده از مدل لیت‌پک که در زمان مطالعه طرح احداث موج‌شکن‌ها انجام گرفته بود، مقایسه نمودند. ایشان بیان کردند که نتایج حاکی از اختلاف ۱۵ درصدی پیش‌بینی‌ها با میزان واقعی در محل موج-
نمودند.

¹ Digital Shoreline Analysis System

شکن‌ها بوده و با توجه به تغییرات زمانی تراز آب دریایی خزر و ساده سازی‌های انجام شده در مدل لیت‌پک، می‌تواند قابل قبول و نشان دهنده دقت مناسب مدل در پیش‌بینی خط ساحلی باشد.

محمودی و همکاران [۷]، با هدف افزایش دقت و کارایی سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی، با استفاده از کد نویسی در نرم افزار متلب^۱ موفق به ارائه افزونه محاسباتی شدند که با این سیستم ارتباط برقرار کرده و داده‌های اندازه‌گیری شده مشکوک به خطا را از طریق روش‌های آماری، از محاسبات حذف نماید.

در پژوهشی، عیسایی‌مقدم و حکیم‌زاده [۵۱]، به کمک مدل عددی مایک ۲۱ به بررسی مشخصات امواج در آب عمیق و نواحی نزدیک بندر رمین و همچنین الگوی جریان‌های ساحلی ناشی از امواج در سواحل بندر رمین پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان دادند که سیستم امواج حاکم بر منطقه از نوع امواج دورآی اقیانوسی بوده که در اقیانوس هند شکل گرفته‌اند و عمدتاً در زمان تابستان، سواحل منطقه را از سمت جنوب متاثر می‌سازند.

بهارلوئی و مافی‌غلامی [۵۲]، در مقاله‌ای مروری به معرفی سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی و شرح ویژگی‌های آن پرداخته‌اند و در نهایت با بیان عدم کارایی این ابزار در تعیین دینامیک حاکم بر ریخت ساحلی^۲، آن را ابزاری جهت تسهیل تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی خطوط ساحلی در طول زمان معرفی نمودند.

بهرامی و همکاران [۵۳] با مطالعه بر روی سواحل شرقی بندر فریدونکنار، حفاظت از ساحل با استفاده از آبشکن‌های گروهی را بررسی کردند. ایشان تحت عنوان نتیجه اشاره نمودند که وجود یک چاله فرسایشی نسبتاً عمیق در پای آبشکن بالادست، موردی است که در الگوی آبستگي همه آزمایش‌ها دیده شده اما با افزایش طول آبشکن‌ها، چاله فرسایشی دیگری در مجاورت چاله پای آبشکن مشاهده شده که در آبشکن‌های کوتاه‌تر به سختی قابل رویت است. همچنین به ازای یک طول ثابت، با مقایسه آبشکن‌ها با فواصل

¹ Matlab

² Morphodynamic

مختلف مشاهده می‌شود که با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها، آبشستگی چه از نظر گسترش عرضی و چه از نظر عمق کاهش پیدا می‌کند. بعلاوه، مشاهدات برای فواصل بیش از یک برابر طول آبشکن‌ها نیز انجام شده و با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها تا یک میزان خاص، شاهد کاهش عمق و گستردگی آبشستگی هستیم. یعنی بعد از آن فاصله الگوی فرسایش از نظر عمق و گستردگی تقریباً ثابت خواهد ماند.

معصومی [۵۴]، جهت برآورد پتانسیل انتقال رسوب موازی ساحل در سلول‌های رسوبی سواحل استان هرمزگان، از داده‌های امواج آب عمیق، رابطه سی ای آر سی، حجم آورد رسوب از خشکی و رسوب‌دهی ویژه زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کل، مهران و جزایر استفاده نمود. سپس مقادیر عددی پتانسیل انتقال رسوب در بازه زیر سلول‌های رسوبی، براساس رانه^۱ چپ و راست به صورت اعداد مثبت و منفی مورد محاسبه قرار داده و در نهایت با جمع جبری این اعداد، پتانسیل انتقال رسوب کل سلول را محاسبه نمود.

خوشروان و همکاران [۵۵]، با هدف تعیین شدت آسیب پذیری و ریسک مخاطرات فرسایشی در ناحیه ساحلی بندر آستارا به مطالعه و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و شناسایی اشکال مورفولوژی ساحل منطقه پرداختند. همچنین در بررسی آن‌ها در بازدیدهای میدانی وضعیت مورفودینامیک رسوبی و ساختار هندسی بخش خشک ساحل در پنج ایستگاه اندازه‌گیری مستقر در سه زون ساحلی پایش شد. نتایج کار آنان نشان داد که میزان نرخ جابجایی خط ساحلی در ناحیه شهر آستارا متفاوت بوده و شیب بسیار ملایم ساحل آستارا سبب افزایش شدت آسیب پذیری در زمان افزایش سطح تراز آب دریای خزر شده است. همچنین ریسک مخاطرات فرسایشی در نواحی جنوبی بندر آستارا به علت دخالت‌های انسانی نسبت به مناطق دیگر آن بسیار زیاد است. بعلاوه بیان داشتند که عکس العمل ساحل آستارا موجب بروز چالش‌های جدی و تهدیدات زیست محیطی مختلف خواهد شد. به طوری که با افزایش ۲ متر سطح تراز آب دریای خزر ۳۰ هکتار از اراضی ساحلی دچار آبگرفتگی می‌شوند و کاربری‌های اقتصادی متنوعی از بین خواهند رفت.

¹ Drift

صالح پور و همکاران [۵۶]، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، برنامه ریزی بیانژن و مدل شبکه تصمیم-گیری بیزین به پیش‌بینی تغییرات تراز سطح آب دریای خزر پرداختند. آن‌ها برای این کار از داده‌های ماهانه نوسانات تراز آب دریای خزر از سال ۱۳۵۹ تا سال ۱۳۹۲ استفاده نمودند. نتایج حاصل حاکی از دقت مطلوب برنامه‌ریزی بیانژن و مدل شبکه تصمیم‌گیری بیزین نسبت به شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی نوسانات سطح آب می‌باشد.

خوشروان [۵۷]، به معرفی راهکارهای مناسب برای برون رفت از شرایط موجود در راستای سازگاری با گرمایش کره زمین بعنوان هدف کار خود پرداخته است. ایشان با مطالعه مستندات علمی موجود، بازدیدهای میدانی، مطالعه رخساره‌های رسوبی و آنالیز محیط رسوب گذاری، شرایط تشکیل خلیج گرگان و تغییرات مورفودینامیکی آن را بازسازی نموده و با تفسیر تصاویر ماهواره‌ای دوره‌ای، نحوه تغییر شکل مورفولوژیکی خلیج گرگان در دوره‌های نوسانی مختلف را مشخص نمودند. در نهایت با تعیین میزان تاثیر پذیری خلیج مزبور نسبت به تغییر سطح تراز آب دریای خزر و پدیده‌های هیدرودینامیکی رایج در منطقه مورد مطالعه، بیان داشتند که مطابق اقدامات مهندسی با قابلیت‌های طبیعی خلیج گرگان بهترین راه برای ثبات هیدرولوژیکی آن است و لایروبی دهانه‌های قدیمی آن در برنامه‌های دراز مدت نمی‌تواند پاسخگوی تعادل بخشی مناسب آب شناختی خلیج مزبور واقع گردد.

منصوری و سربازی [۵۸]، با بررسی داده‌های تراز سنجی دریای خزر و تطبیق زمانی آن‌ها با تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی اقدام به مطالعه تاثیر گرمایش کره زمین و نوسانات سطح تراز آب دریا بر تغییرات محیطی خلیج گرگان و تالاب میانکاله واقع در کرانه‌های دریای خزر نموده و با بیان اینکه پسروری اخیر سبب کاهش ابعاد و ژرفای مفید کانال‌های ارتباطی چاپقلی و آشوراده واقع بین دریا و خلیج شده و کارایی هیدرولوژیکی آن‌ها به حداقل ممکن رسیده و در حال حاضر ارتباط هیدرولوژیکی دریا و خلیج از طریق کانال خوزینی هم به طور کامل مسدود گشته است، نسبت به احتمال خشک شدن و نابودی کامل تالاب میانکاله و خلیج گرگان هشدار داده‌اند.

نقش آرا و همکاران [۵۹]، نسبت به مدلسازی و معرفی بهترین مدل در پیش‌بینی نوسانات تراز آب دریای خزر با استفاده از مدل‌های هوشمند اقدام کردند. مدل‌های مورد استفاده در تحقیق آن‌ها مدل شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و هیبرید بوده که هر دو با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب می‌باشد. در هر مدل تاخیرهای زمانی ۱ ماه تا ۵ ماه مورد بررسی قرار گرفته و مدل هیبرید شبکه عصبی-کرم شب‌تاب با ریشه میانگین مربعات خطای معادل ۰/۳۸ و ضریب همبستگی معادل ۰/۹۳۵ به عنوان بهترین و دقیق‌ترین مدل انتخاب شد.

در نتیجه محققان زیادی از دیدگاه‌های مختلفی در حوزه تغییرات خط ساحل فعالیت داشتند که تحقیقات ۲۰ سال اخیر در جدول ۱-۱ به تفکیک روش‌های تحقیق هریک آورده شده است.

جدول ۱-۱ لیست محققان تغییرات خط ساحلی از دیدگاه‌های مختلف

محقق(ان) تغییرات خط ساحلی	مدلسازی عددی	سنجش از دور	میدانی و آزمایشگاهی	بررسی اثر سازه
Siegle et al. (2002), Windelin & Lumborg (2003), Merriit et al. (2003), Pejrup & Lumborg (2005), VanMaren (2007), Stone & Elis (2009), Hu et al. (2009), Khalife et al. (2017). شفیعی فر و تقی‌زاده (۱۳۸۱)، حقیقی و افشار (۱۳۸۴)، مسعودی فر و کتابداری (۱۳۸۷)، کمالیان و صفری (۱۳۹۱)، عیسایی مقدم و حکیم زاده (۱۳۹۴)، معصومی (۱۳۹۶).	✓	-	-	-
Kraus & Rosati (1997), Deguchi (1989), Suresh & Sundar (2011), Vanish (2013), Kristensen (2013), Noujas et al. (2016). تجزیه‌چی و شریعتمداری (۱۳۹۱)، فخرالدینی و همکاران (۱۳۹۱)، پورعلی و معینی (۱۳۹۲)، بهرامی و همکاران (۱۳۹۵).	✓	-	-	✓
Nielsen et al (2001), Li et al. (2002), Leroy (2007), Aliyev (2010).	-	-	✓	-
DeWitt et al. (2002), Alesheikh et al. (2003), Alesheikh et al. (2007). نعیمی نظام‌آباد و همکاران (۱۳۸۹)، اردشیری لاجیمی و مرادی (۱۳۹۳)، محمودی و همکاران (۱۳۹۴)، بهارلوئی و مافی غلامی (۱۳۹۵).	-	✓	-	-
Lillesand et al. (2004), Sulis et al. (2017). عبداللهی (۱۳۸۵)، عمادالدین (۱۳۹۲)، خوشروان و همکاران (۱۳۹۶)، منصوری و سربازی (۱۳۹۷).	-	✓	✓	-
AmlAri et al. (2006), Rajasree et al. (2016), حسینی‌نژاد (۱۳۸۹)، ندیمی و لشته‌نشائی (۱۳۸۹)، تقوایی و غیائی (۱۳۹۲).	✓	✓	-	-
Zaker & Zarifsanayei (2015).	✓	-	✓	✓
جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۳)	✓	✓	-	✓

در تحقیق حاضر مسئله تغییرات خط ساحلی در منطقه مورد مطالعه از دیدگاه سنجش از دور بررسی شد. در این تحقیق، شرایط عمومی منطقه مورد مطالعه که اثر مداخلات انسانی در آن دیده می‌شود، با به همراه لحاظ کردن اثرات نوسانات تراز سطح آب در نظر گرفته شده است. نوسانات فصلی و دوره‌ای تراز سطح آب دریای خزر دشواری زیادی را در رصد تغییرات خط ساحل به پروژه تحمیل نمود که با تفکیک بازه‌های زمانی ۱۰ ساله، به حل مسئله پرداخته شده است.

۴-۱ اهداف و انگیزه انجام تحقیق

با بررسی پیشینه تحقیق مشخص شد که مسئله انتقال رسوب و تاثیر آن بر تغییرات خط ساحلی که در درازمدت به واسطه رسوب گذاری و فرسایش اتفاق می افتد، تاکنون از جنبه های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. به علاوه، مطالعه منابع مروری نشان دادند که به طور عمده تغییرات به وجود آمده در خطوط ساحلی در سال های اخیر، از دو منشأ اصلی که یکی تغییرات اقلیمی و گرمایش کره زمین و دیگری ساخت و سازهای متعدد بشر در بخش ساحلی هستند، نشأت می گیرد.

همچنین پیش تر در بخش بیان مسئله (بخش ۱-۲)، به اهمیت و جایگاه پدیده خط ساحلی و ضرورت مدیریت آن به منظور کاهش زیان های ناشی از تغییرات وارد آمده به آن اشاره شد. مسئله تغییر در خط ساحلی به علت حساسیت و پیچیدگی خاص خود به دغدغه ای تبدیل شده است تا بشر جهت شناخت و یافتن پاسخ مناسب به این پدیده، از توانمندی متخصصان علوم مختلف در جهت حل آن بهره بگیرد. تا جایی که اکنون این مسئله هم متخصصان حوزه مهندسی سواحل و علوم اقیانوسی را به چالش کشیده و هم جایگاهی ویژه در مباحث علوم زمین شناسی و جغرافیا پیدا کرده است. این ادعا کاملاً در مرور پیشینه تحقیق و آشنایی با شیوه های برخورد محققان با این پدیده آشکار است.

محققان علم مهندسی سواحل و اقیانوس شناسی تمرکز خود را بر مطالعه عوامل هیدرودینامیکی انتقال رسوب بنیان گذاشته و با استفاده از روش هایی نظیر مدل سازی آزمایشگاهی، روش های میدانی و روش های عددی به برخورد با این پدیده پرداخته اند. از طرفی با پیشرفت قابل ملاحظه در ابزار ثبت مشاهدات کره زمین، امکاناتی نظیر سنجش از راه دور و تصاویر ماهواره ای به راحتی امکان رصد کردن تغییرات شکل گرفته در زمین را برای متخصصان حوزه جغرافیا فراهم آورده است. به طوری که در رابطه با موضوع مورد بحث این تحقیق نیز، پیش تر محققان بسیاری با استفاده از این امکانات به مطالعه تغییرات شکل گرفته در خطوط ساحلی پرداخته اند.

این مسئله سبب شد تا در این پژوهش، به مطالعه پدیده تغییر در خط ساحلی یکی از مناطق حساس و با ارزش اقتصادی بالا واقع در دریای خزر یعنی محدوده بندر فریدونکنار تا بابلرود پرداخته شود. توجه به اهمیت و جایگاه محدوده مورد مطالعه در کنار مسئله‌ی نوسانات دایمی سطح آب دریای خزر، تحقیق حاضر را از جمله مسایل چالش برانگیز در علم مهندسی سواحل نموده و به منظور شناخت نحوه اثرپذیری این منطقه از نوسانات سطح آب دریای خزر و تاثیر آن بر الگوی فرسایش و رسوبگذاری این منطقه، اقدام عملی مهمی صورت پذیرفت.

به طور کلی این تحقیق اهداف زیر را دنبال می‌نماید:

- بررسی الگوی نوسانات دریای خزر در سال‌های گذشته.
- انتخاب مقاطع زمانی جهت مدلسازی در نمودار سطح آب دریای خزر براساس موجود بودن تصاویر هوایی و ماهواره‌ای و تراز سطح آب.
- مقایسه تغییرات صورت گرفته در مورفولوژی منطقه با استفاده از مقایسه تصاویر هوایی و ماهواره‌ای.
- کمی سازی و محاسبه عددی تغییرات خط ساحلی در اثر فرسایش، رسوب گذاری و نوسانات سطح آب دریای خزر.
- ارائه چارچوب قابل استناد جهت پیش‌بینی تغییرات خط ساحل منطقه در سال‌های آتی با توجه همزمان به شرایط خاص حاکم بر منطقه و تراز سطح آب.

۱-۵ جنبه‌های نوآوری تحقیق

در سالیان اخیر فعالیت‌های زیادی به منظور شناخت الگوی تغییرات خط ساحلی در مناطق مختلف جهان شده است. این مطالعات در درجه اول شامل بازه‌های زمانی بلند مدت بوده و در درجه دوم یا به تعیین قسمت‌های فرسایش یافته و رسوب گذاری شده در طی بازه زمانی مشخص پرداخته و یا در بهترین حالت با

استفاده از ابزارهای توسعه یافته امروزی نرخ این تغییرات را در قالب جداول و صرفاً به صورت آماری ارائه داده‌اند.

در این تحقیق اما شرایط ویژه حاکم بر دریای خزر که نوسانات فصلی و دوره‌ای سطح آب دریا بر آن به شدت تاثیرگذار است، دشواری زیادی را در رصد تغییرات خط ساحلی و نهایتاً تحلیل آن به پروژه تحمیل می‌نماید. تحقیق حاضر علاوه بر آنکه اثر تغییرات تراز آب را از طریق تفکیک بازه‌های زمانی مورد مطالعه به دوره‌های افزایش سطح آب و کاهش آن در نظر گرفته است، اقدام به محاسبه نرخ این تغییرات در فواصل طولی ۱۰ متر به ۱۰ متر از یکدیگر نموده است. از جمله دستاوردهای برجسته این تحقیق می‌توان (با استفاده از مدلسازی‌های عددی، مطالعات میدانی و غیره جهت کاهش خطای مدل) به ارائه چارچوبی اشاره کرد که از طریق آن می‌توان به پیش‌بینی تغییرات آینده خط ساحلی با لحاظ کردن شرایط عمومی منطقه مورد مطالعه و همچنین تراز سطح آب در افق زمانی مورد پیش‌بینی پرداخت.

جدول ۱-۲ نوآوری های تحقیق حاضر

تحقیقات گذشته	تحقیق حاضر
شامل بازه‌های زمانی بلند مدت بوده است.	شامل بازه های میان مدت از طریق تفکیک بازه‌های زمانی مورد مطالعه به دوره‌های افزایش سطح آب و کاهش سطح آب.
مطالعه تغییرات در گذشته و تعیین بخش های ترسیب/ فرسایش یافته.	علاوه بر آن موقعیت خط ساحل در آینده را نیز پیش بینی می نماید.
ارائه نرخ تغییرات به صورت اعداد خام در مقاطع عرضی.	نمایش گرافیکی تمام طول خط ساحل بر پایه نرخ تغییرات
صحت سنجی از طریق مشاهده بصری.	صحت سنجی از طریق مقایسه آماری و بصری.
لحاظ کردن شرایط عمومی منطقه مورد مطالعه	توجه همزمان به شرایط خاص حاکم بر منطقه و ملاحظات لازم (نوسانات فصلی و دوره‌ای سطح آب)

۱-۶ ساختار پایان نامه

این پایان‌نامه در ۶ فصل تدوین شده است. در فصل ۱ (فصل حاضر)، به بیان اهمیت موضوع و تعریف مسئله پرداخته شد و پس از مرور پیشینه اقدامات، هدف از انجام تحقیق و نوآوری های ارایه شده در آن بیان شده است. در فصل ۲، مبانی نظری مسئله تغییر در خط ساحلی بیان شده و اصول حاکم بر مسئله انتقال رسوب

و تغییرات خط ساحلی منتج از آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل ۳، به معرفی مدل مورد استفاده در این تحقیق که مدل آماری سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی می‌باشد، به همراه شرح روابط حاکم و اصول جاری بر آن پرداخته شده است. در فصل ۴، ضمن معرفی محدوده مورد مطالعه، مراحل مدلسازی شرح داده شده و در فصل ۵ نتایج به دست آمده از مدل و تحلیل آن ارائه شده است. در نهایت فصل ۶، به جمع‌بندی مباحث مربوطه پرداخته و پیشنهادات جهت استفاده از نتایج این تحقیق در مدیریت سواحل و ادامه تحقیق در این راستا برای علاقه‌مندان بیان شده است.

فصل دوم

مبانی نظری تغییرات خط ساحلی

۱-۲ مقدمه

بررسی مبانی نظری پدیده تغییر خط ساحلی به منظور درک بهتر اصول حاکم بر آن، به طور مستقیم در تحلیل و تفسیر نتایج به دست آمده از مدل‌های پیش‌بینی تغییرات خط ساحلی اثر گذار خواهد بود. در این فصل با توجه به اهداف تحقیق حاضر ابتدا به بررسی این پدیده با رویکرد اصول هیدرودینامیکی حاکم بر انتقال رسوب جهت شناخت این پدیده در طبیعت پرداخته و در ادامه مبانی سنجش از راه دور و کاربرد آن در مهندسی سواحل مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲-۲ مبانی هیدرودینامیکی تغییرات خط ساحلی

ناحیه ساحلی منطقه‌ای است که شامل بخشی از ساحل تا نقطه‌ای در فراساحل^۱ است که در آن عمق کاستگی^۲ امواج باعث حرکت رسوبات می‌گردد و نیز حد ساحلی فعالیت فرآیندهای دریایی است. رسوبات ساحل و کنار دریا به طور مستمر در حال واکنش به عملکرد مستقیم موج، جریان‌های کرانه‌ای ناشی از موج، جریان‌های ناشی از باد، جزر و مد و خود باد هستند. به هر حال، عملکرد مستقیم موج و جریان کرانه‌ای ناشی از موج، معمولاً در شکل‌گیری بستر، عاملی تعیین‌کننده‌اند. پایداری بخش رسوبی خط ساحلی به تعادل بین حجم رسوب موجود و ظرفیت حمل رسوب خالص در نزدیک ساحل^۳، دور از ساحل و در طول ساحل توسط امواج، باد و جریان‌ها بستگی دارد. بنابراین، خط ساحلی می‌تواند در معرض فرسایش یا رسوب‌گذاری قرار گیرد یا در حالت تعادل باقی بماند [۶۰]. اگر تعادل برقرار باشد، معمولاً تعادل به صورت دینامیکی است که در آن خط ساحلی به طور پیوسته در واکنش نسبت به بادهای، امواج و جریان‌های تغییر می‌کند. تعادل دینامیکی، بدین معنا است که موقعیت متوسط خط ساحل در مدتی بیش از چند ماه یا چند سال نسبتاً پایدار باشد، اگرچه در برخی مواقع دارای نوسانات کوتاه مدت خواهد بود.

¹ Offshore

² Wave shoaling

³ Nearshore

عمده منشا رسوبات دریایی ذرات ریز موجود در آب رودخانه‌هایی است که به این دریاها منتهی می‌شوند و توسط امواج و جریان‌های دریایی جابه‌جا می‌گردند. طبیعتاً جهت تشخیص صحیح میزان رسوب‌گذاری داشتن اطلاعات دقیق از میزان رسوب وارد شده و اصول و مبانی مربوط به جابه‌جایی رسوب در دریا نقش تعیین‌کننده‌ای در جانمایی بهینه بنادر از نظر مشکل رسوب‌گذاری دارد.

ساخت سازه‌ها، لایروبی کانال‌ها و لنگرگاه‌ها، استحصال سواحل و دیگر پروژه‌ها در منطقه ساحلی اغلب سبب ایجاد محدودیت یا معکوس نمودن نحوه فرسایش یا رسوب‌گذاری خط ساحلی می‌شوند. این پروژه‌ها تعادل دینامیکی سواحل مجاور را به هم می‌زنند. در نتیجه، تغییرات پی‌درپی خط ساحلی رخ می‌دهد تا سرانجام ساحل به شرایط پایدار برسد که ممکن است مطلوب یا نامطلوب باشد.

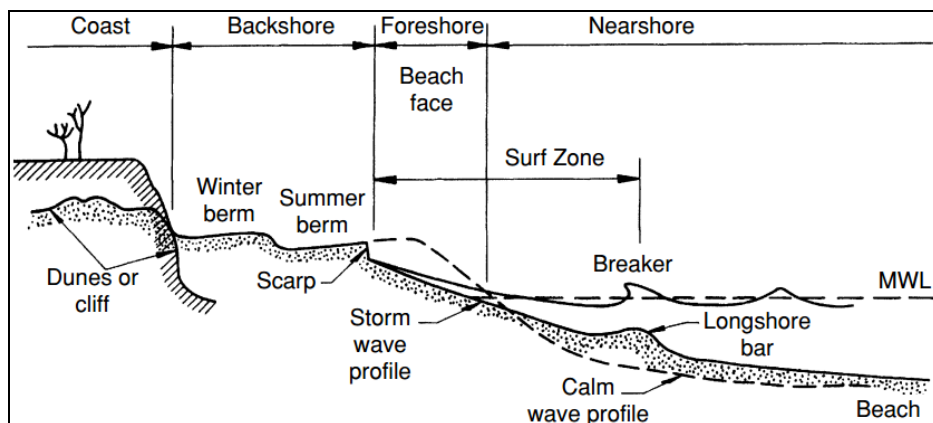
گسترش سواحل می‌تواند روی فرآیندهای ساحلی از طریق موارد زیر تاثیر بگذارد:

- تغییر در مقدار و نرخ رسوب و یا خصوصیات آن در ساحل.
- تنظیم سطح شدت جریان انرژی موج در ساحل.
- تداخل مستقیم با فرآیندهای انتقال رسوب ساحلی [۶۰].

۲-۲-۱ نیمرخ ساحلی و تغییرات آن

امواجی که به یک ساحل ماسه‌ای می‌رسند، شکسته شده و به سمت ساحل بالا می‌روند و دائماً ساحل را دچار تغییر شکل می‌کنند. این تغییر شکل‌های مداوم به این دلیل اتفاق می‌افتد که مشخصات موج (ارتفاع، پریود و یا زاویه نزدیک شدن) برای محدوده زمانی مشخصی به ندرت ثابت می‌ماند. تغییر شکل ساحل به دلیل انتقال رسوب ناشی از موج، هم در جهت عمود بر ساحل، و هم در جهت امتداد ساحل اتفاق می‌افتد. اگرچه این اثرات باهم به وجود می‌آیند، راحت‌تر این است که آنها را جدا فرض کرد [۶۰].

هندسه پشته رسوبی^۱ نزدیک ساحل و وسعت آن به طور دقیق پاسخ به عملکرد موج غالب است. با وقوع امواج بلندتر، پشته فوق به طرف دریا حرکت می کند (همان طوری که خط شکست حرکت می کند) و اندازه پشته رسوبی نیز بزرگ تر خواهد شد. با بازگشت امواج کوتاه تر ممکن است پشته در موقعیت سمت دریا تنها باقی بماند، درحالی که یک پشته کوچکتر رسوبی در نزدیک ساحل شکل بگیرد. شکل ۱-۲ نیمرخ ساحل را نمایش می دهد. در حالت امواج فوق العاده کوچکتر، پشته رسوبی تشکیل نخواهد شد. پشته های موازی ساحل در مکان های با دامنه جز و مد زیاد، کمتر معمول است. تشکیل یک نیمرخ موج آرام یا طوفانی به خصوصیات ماسه ساحل و خصوصیات موج برخوردی بستگی دارد.



شکل ۱-۲ نیمرخ عمومی ساحل (با اغراق در مقیاس عمودی) و اصطلاحات مربوطه [۶۰].

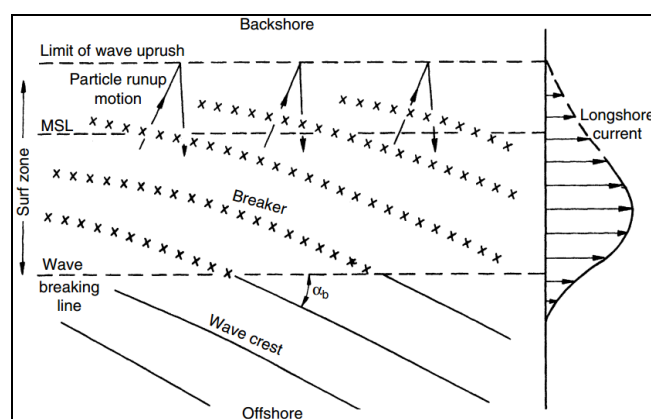
۲-۲-۲ چرخه نزدیک ساحل

جدا از اثرات فوری جریانات ناشی از جزر و مد در تنگه های ساحلی، جریان های غالب در امتداد ساحل در ناحیه شکست امواج^۲، توسط شکست امواج مورب ایجاد می شوند. این جریان های در امتداد ساحل ناشی از موج و همچنین آشفستگی ناشی از موج در ناحیه شکست امواج، عامل اصلی در اکثر انتقال رسوبات در امتداد ساحل و در ناحیه نزدیک ساحل محسوب می شوند.

^۱ Bar

^۱ Surf Zone

شکل ۲-۲ پلان بخشی از ناحیه پیش کرانه^۱ - پس کرانه^۲ همراه با امواجی که به صورت زاویه دار به خط ساحلی می‌رسند و شکسته شده و روی وجه ساحلی بالا می‌روند نشان می‌دهد. همچنین در این شکل، توزیع سرعت جریان حاصل در امتداد ساحل، نشان داده شده است که از نقطه‌ای در سمت دریا روی خط شکست، به سمت وجه ساحل امتداد می‌یابد. سرعت حداکثر جریان معمولاً در ناحیه شکست امواج درست در مجاورت خط شکست مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۲ جریان موازی با ساحل ناشی از امواج [۶۰].

سازوکار اصلی مربوط به جریان‌های موازی با ساحل ناشی از موج عبارت است از مولفه در امتداد ساحل تنش شعاعی^۳ در امواج مورب در حال شکست است. همچنین تغییر در توزیع ارتفاع امواج در حال شکست در امتداد ساحل، موجب تغییر در خیزاب موج^۴ در ناحیه شکست می‌شود و جریانی از ناحیه امواج بلند به سمت ناحیه‌ی امواج کوتاه ایجاد می‌نماید. این دو سازوکار در ایجاد جریان در امتداد ساحل می‌توانند همدیگر را تقویت کرده و یا تضعیف نمایند. در اکثر مقاطع ساحلی، سازکار اول (شکست امواج زاویه دار) غالب خواهد بود. اگر جریان موازی ساحل توسط یک دماغه یا یک سازه (نظیر اسکله عمود بر ساحل^۵ یا آبشکن) که عمود بر ساحل ساخته شده است قطع شود، به صورت یک جریان شکافنده^۶ به سمت دریا

^۲ Backshore

^۳ Foreshore

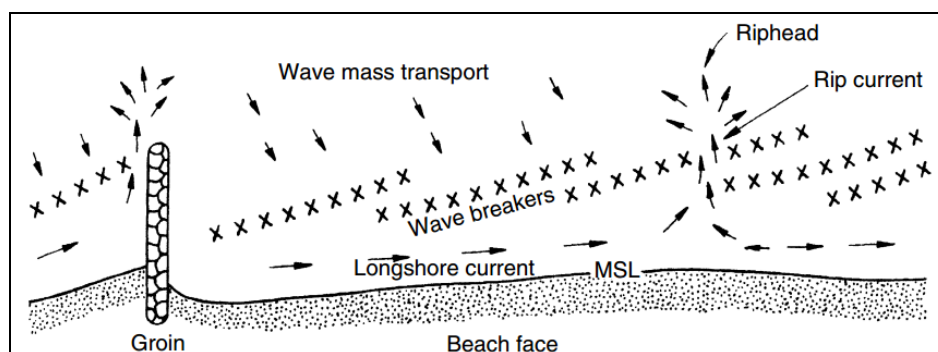
^۱ Radiation stress

^۴ Wave Setup

^۵ Jetty

^۶ Rip Current

منعکس شده و زایل می‌گردد. حتی در سواحل طولانی و نسبتاً مستقیم که خط ساحلی توسط مانعی قطع نمی‌گردد، یک جریان موازی ساحل توسط جریان شکافنده به سمت دریا که باعث آرام شدن آب در ناحیه شکست امواج می‌شود، قطع می‌گردد. این قضیه در شکل ۲-۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲-۳ حالت کلی چرخه نزدیک ساحل ناشی از موج [۶۰].

ترکیب جریان ناشی از موج در ناحیه شکست امواج، و آشفتگی ناشی از شکست موج، انتقال رسوب در امتداد سواحل را ایجاد می‌کنند. ماسه، هم به صورت معلق و هم در امتداد بستر جابه‌جا می‌شود (به ترتیب بار معلق و بار بستر). وقتی که نرخ انتقال رسوب امتداد ساحل در بلند مدت در نظر گرفته می‌شود (حجم در زمان، معمولاً در زمان یک سال)، در مهندسی سواحل، تشخیص نرخ خالص و غیرخالص در یک نقطه خاص در ساحل دارای اهمیت خواهد بود. توزیع جهت‌دار سالیانه مولفه موازی با ساحل نرخ انتقال انرژی موج^۱ و نرخ انتقال رسوب ناشی از آن، معمولاً در دو جهت بالادست و پایین‌دست تقسیم می‌گردد. جهت انتقالی غالب، جهت پایین‌دست نامیده می‌شود. نرخ انتقال رسوب ساحل معمولاً به صورت حجم رسوب انتقال یافته سالانه ارائه می‌شود، اما باید توجه کرد که مقدار نرخ انتقال در زمان طوفان، چند برابر مقدار نرخ متوسط سالانه است. علاوه بر این، نرخ انتقال سالانه‌ی یک سال نسبت به سال دیگر کاملاً متفاوت است [۶۰].

¹ Wave Energy Flux

۲-۲-۳ واکنش خط ساحل به سازه‌های ساحلی

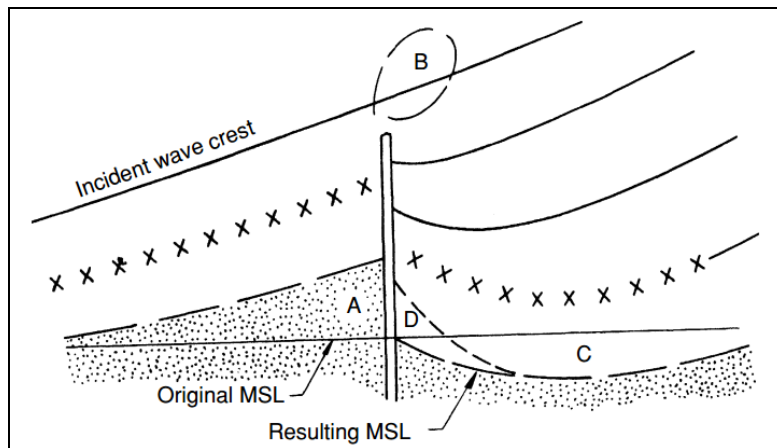
در فصل اول این پایان‌نامه از ساخت و سازه‌های ناحیه ساحلی به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل انسانی که موجب تغییر در خط ساحلی می‌شود، نام برده شد. در این بخش واکنش خط ساحل به ترتیب در برابر سازه‌های عمود بر ساحل، سازه‌های موازی با ساحل به صورت چسبیده به ساحل و یا جدا از ساحل بررسی می‌شود.

۲-۲-۳-۱ واکنش خط ساحل به سازه‌های عمود بر ساحل

گونه متداول این گروه از سازه‌ها، آبشکن‌هایی هستند که در برابر رسوب انتقال یافته تله ایجاد می‌کند. این رسوبات شامل رسوبات انتقال یافته در راستای ساحل در ناحیه شکست یا رسوبی که به طور مکانیکی در ساحل در جایی که پتانسیل انتقال رسوب امتداد ساحلی وجود دارد، می‌شود. همچنین در این گروه اسکله‌های عمود بر ساحل نیز قرار دارند که نسبت به آبشکن‌ها حجیم‌تر بوده و بیشتر به سمت دریا امتداد می‌یابند و جهت پایداری و حفاظت کانال قابل کشتیرانی در ناحیه خط ساحلی ساخته می‌شوند. شکل ۲-۴ در پلان، واکنش خط ساحلی را نسبت به یک سازه که به صورت منفرد و عمود بر ساحل در برابر امواج ورودی از جهت غالب قرار می‌گیرد، نشان می‌دهد. با توجه به عرض سازه در ناحیه شکست امواج، سازه ممکن است بخشی یا اکثر رسوب انتقالی امتداد ساحلی را مسدود کند. این امر انباشتگی رسوب در بالادست را ایجاد می‌کند (ناحیه A). همچنین جریان شکافنده در امتداد بالادست وجه سازه باعث نشست رسوب در ناحیه (B) می‌شود. پایین‌دست سازه (C) در ساحل مورد فرسایش قرار گرفته تا ظرفیت پتانسیل انتقال رسوب امواج در این ناحیه را ارضا کند. خط ساحل هم در بالادست و هم در پایین‌دست سازه، خود را طوری تنظیم خواهد کرد که با موقعیت تاج امواج^۱ انکسار یافته و تفرق^۲ یافته، موازی باشد.

^۱ Wave Crest

^۲ Diffraction



شکل ۲-۴ پاسخ ساحل به قرارگیری یک سازه عمود بر آن [۶۰].

۲-۳-۲-۲ واکنش خط ساحل به سازه‌های موازی با ساحل چسبیده به ساحل

دیوارهای دریایی^۱، پوشش سنگ‌چین^۲ و دماغه‌ها این گونه از سازه‌ها را تشکیل می‌دهند. این سازه‌ها در درجه اول جهت حفظ ساحل از سمت خشکی سازه طراحی شده و عموماً بر روی نواحی بالادست و پایین دست خود اثر کمی خواهند گذاشت. اگرچه در صورتی که به منظور حفاظت بخشی از ساحل که به سمت دریا پیشروی داشته است ساخته شود، نواحی بیرونی خط ساحل محافظت شده به صورت دماغه عمل کرده و ممکن است بخشی از رسوبات انتقال یافته موازی ساحل را به دام اندازد.

۲-۳-۲-۳ واکنش خط ساحل به سازه‌های موازی با ساحل جدا از ساحل

موج‌شکن‌های موازی ساحل دور از ساحل که برای احیای ساحل فرسایش یافته و یا ایجاد سواحل جدید ساخته می‌شوند، معمولاً با ساخت مجموعه‌ای موج‌شکن با فاصله‌ای میان خود که طولی کوچکتر از طول موج‌شکن تک دارند، ایجاد می‌گردند. بعضی از این موج‌شکن‌ها چنان ساخته می‌شوند که تراز تاج آنها در تراز میانگین پایین آب^۳ و یا زیر آن قرار می‌گیرد. این سازه‌ها هزینه کمتری داشته و دارای اثرات منفی زیست محیطی و دیداری کمتری هستند.

^۱ Wave Energy Flux

^۲ Revetment

^۳ Mean low water

شکل ۲-۵ در پلان، موج شکن موازی ساحل را نشان می دهد و الگوی انکسار-تفرق که در جان پناه سازه برای امواج مورب برخوردی تشکیل می گردد، مشاهده می شود. همچنین خط ساحل اولیه و خط ساحلی منتج از الگوی امواج اصلاحی دیده می شود. کاهش انرژی امواج در جان پناه، سازه ایجاد می کند. امواج باعث شکل گیری برجستگی به موازات خط تاج امواج غالب وارده می شوند. یک طرح موازنه رسوب در مجاورت سازه لازم است تا اینکه ماسه انباشته جهت تشکیل برجستگی از فرسایش پایین دست حاصل شود. حجم ماسه ی سد شده توسط سازه، به طول سازه، فاصله آن از فراساحل در مقایسه با عرض ناحیه شکست امواج و چگونگی انتقال انرژی از روی سازه و یا از میان آن بستگی دارد [۶۰].

کاربردهای موج شکن های موازی ساحل دور از ساحل عبارت اند از:

- بازیابی ساحل فرسایش یافته و ایجاد ساحل جدید

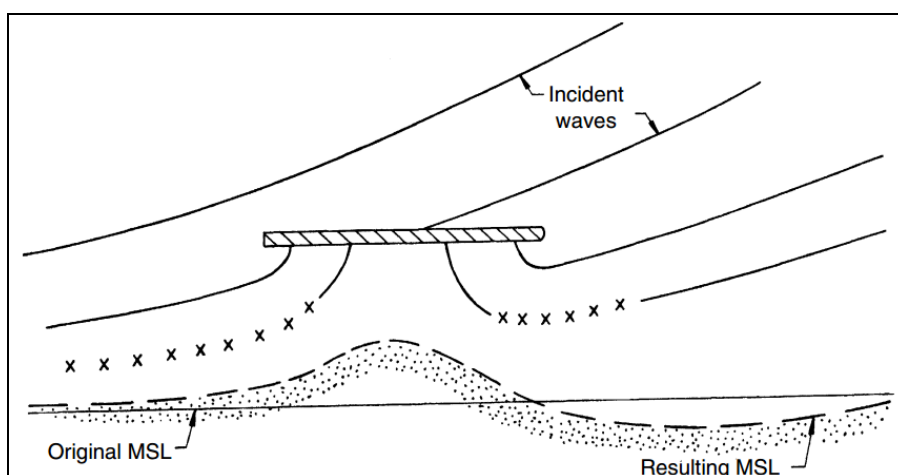
- ورزش های دریایی (نظیر ایجاد محیط امن برای موج سواری)

- پرورش آبزیان

- طرح های سالم سازی و شنا

- گردش بهتر آب و جلوگیری از آلودگی

- زیستگاه مناسب برای موجودات دریایی [۶۱].



شکل ۲-۵ پاسخ ساحل به یک سازه موازی با ساحل دور از ساحل [۶۰].

۲-۳ مبانی سنجش از دور تغییرات خط ساحلی

سنجش از دور یکی از برترین و قابل اعتمادترین روش‌ها در پایش و مدیریت محیط زیست و منابع است [۶]. روش‌های مختلفی جهت استخراج خط ساحلی از تصاویر ماهواره‌ای شکل گرفته است. از آنجا که بازتاب آب در باندهای مادون قرمز تقریباً برابر با صفر و بازتاب اکثریت مطلق پوشش‌های زمین بزرگتر از آب بوده، خط ساحل می‌تواند از یک باند تصویر نیز استخراج شود. این استخراج می‌تواند از طریق آستانه‌سازی^۱ بر روی یکی از باندهای مادون قرمز تصاویر تی ام یا ای تی ام^۲ انجام بگیرد. انتخاب تصاویر مناسب از نظر مکانی و زمانی، گامی مؤثر در بررسی هر نوع تغییر و به تبع آن تحلیل است. تصاویر ماهواره‌ای لندست^۳ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و آی آر اس با قدرت تفکیک ۲۲/۵ و ۵ متر، از مهم‌ترین و بهترین ابزارها در بررسی تغییرات خط ساحل هستند.

۲-۳-۱ پردازش تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم جداسازی آب و زمین

این بخش نقش مهمی در تحلیل‌ها داشته، دقت زیادی را نیز برای ارائه بهترین الگوریتم جهت تفکیک و تشخیص خط ساحلی در تصاویر ماهواره‌ای می‌طلبد. بهترین محدوده از امواج الکترومغناطیس برای جداسازی آب از زمین بخش مادون قرمز است. جذب تابش امواج مادون قرمز توسط آب و بازتابش زیاد آن توسط پوشش گیاهی و تا حدی خاک، تضاد^۴ خوبی بین آب و زمین ایجاد می‌کند. تصاویر ماهواره‌ای لندست به دلیل دارا بودن باندهای مجزا در محدوده‌های مرئی و مادون قرمز، امکانات خوبی برای این منظور در اختیار می‌گذارند. با بررسی نیمرخ مکانی در باندهای مختلف تی ام و ای تی ام مثبت، نتیجه می‌شود که در باندهای مربوط به طول موج مرئی (باند ۱، ۲ و ۳)، و مادون قرمز حرارتی (باند ۶)، اختلاف محسوسی بین آب و پدیده‌های دیگر وجود ندارد؛ اما باندهای ۵ و ۷ دارای بیشترین مغایرت بوده و برای ادامه مطالعات در

¹ Thresholding

² Enhanced Thematic Mapper

¹ Landsat

² Contrast

تحلیل‌های تک باندی از این باندها استفاده می‌شود. استفاده از باندهای ۵ و ۷ نیز بدین منظور توسط محققین مختلف توصیه شده است. پس از انتخاب باندهای مناسب، برای جداسازی آب و خاک از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد که در ادامه تشریح می‌شوند.

۲-۱-۳-۲ بهبود وضوح

اگر حد گام‌های خاکستری به صورتی تغییر داده شود که در تمامی محور سیاه و سفید گسترده گردد، وضعیتی پیش می‌آید که توزیع نسبی گام‌های خاکستری حفظ شده و تضاد بین نواحی تاریک و روشن افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از روش‌های مختلف نشان داد که بسط تضاد به روش خطی به دلیل وجود دامنه کامل درجه روشنایی پیکسل‌ها (۰-۲۵۵) در تصویر خام باندهای ۵ و ۷ تأثیر چندانی نداشته ولی بسط خطی اشباع شده تضاد با درجه اشباع پنج درصد برای باند ۵ بسیار کارساز بوده و مغایرت بین آب و سواحل به خوبی به وجود آمده است. هم‌چنین با استفاده از بسط تضاد به روش تعدیل هیستوگرام^۱ نیز وضوح لازم در تصاویر ایجاد نمی‌گردد.

۲-۱-۳-۲ آشکارسازی مکانی تصاویر یا روش فیلتری

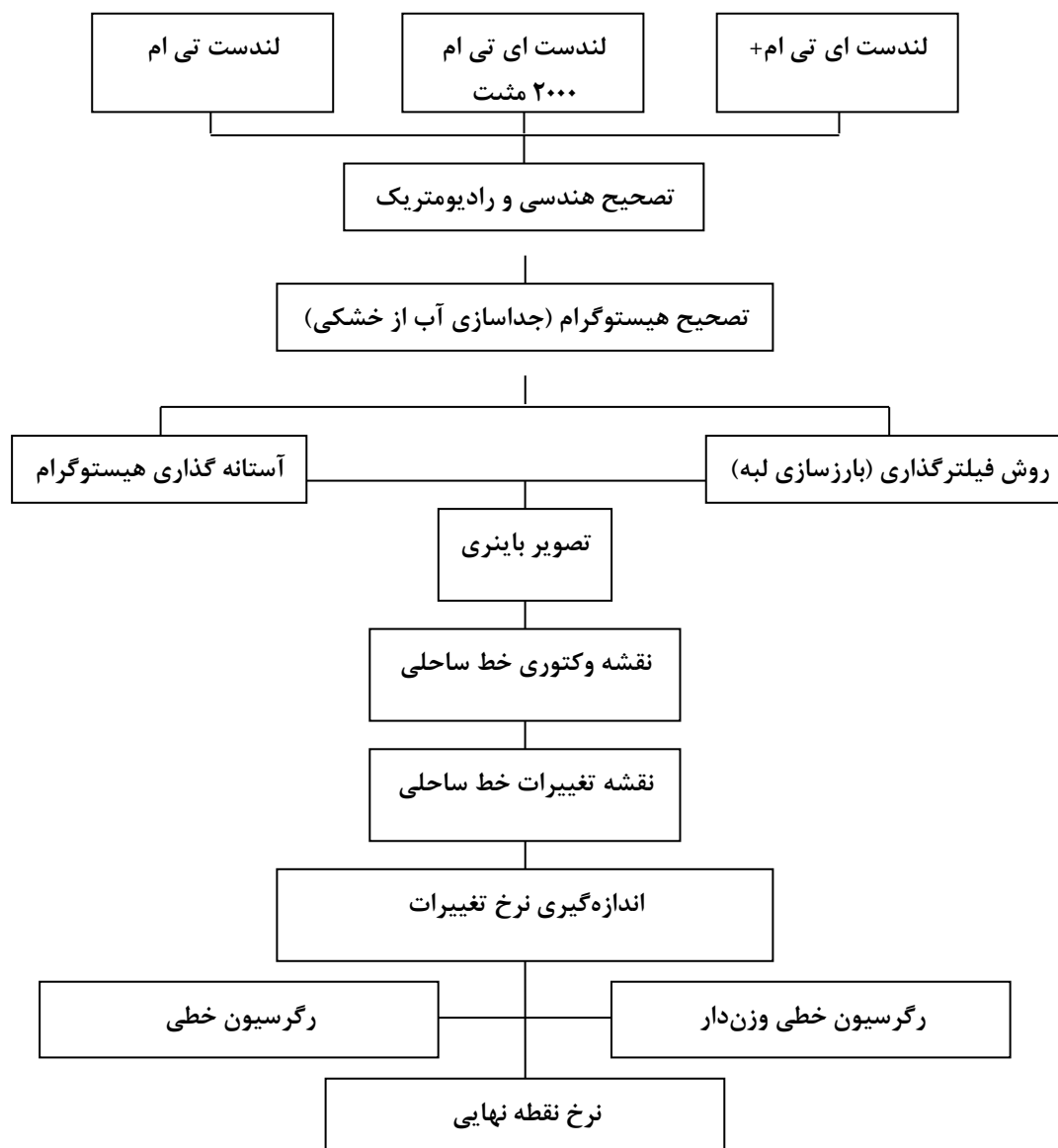
عملیات جداسازی و تفکیک برخی از مؤلفه‌های تصاویر رقومی از قسمت‌های دیگر را آشکارسازی مکانی تصویر یا فیلترگذاری می‌گویند. با اعمال فیلتر بالا گذر بر روی تصویر، اطلاعات با فرکانس زیاد به مایلین اجازه را می‌دهد که یا جزئیات محلی را جدا نموده و یا اینکه تشدید کند.

۲-۳-۲ انتخاب روش جداسازی آب و زمین

بر اساس نتایج به دست آمده از بین روش‌های واضح سازی، افزایش تضاد به روش بسط خطی اشباع شده در واضح سازی تصاویر مؤثرتر عمل می‌نمایند و هم‌چنین باند ۵ نسبت به باند ۷ به طور مطلوب‌تری در جداسازی مرزها کارایی دارند؛ اما چون این روش تنها واضح سازی طیفی را پوشش داده، لازم است تا جهت

¹ Histogram Equalization

استخراج مطلوب‌تر مرز بین آب و خاک با روش‌های دیگر، به صورت تکمیل کننده به کار رود که واضح سازی مکانی از روش‌های معمول است. بدین منظور از روش‌های فیلترگذاری متفاوتی استفاده می‌شود که فیلتر بارزساز لبه بر روی باندهای ۵ تصاویر، نتایج بهتری را نسبت به بقیه ارائه می‌دهد. همچنین به این دلیل که فیلتر مذکور پدیده‌های موجود در تصویر را به مقدار کمی تحت تأثیر قرار داده، استخراج مرز بین آب و زمین و حتی اراضی پست مرطوب و آب، به ویژه برای باند ۵ بسیار مطلوب‌تر انجام می‌شود. چارچوب نظری این بخش در شکل ۲-۶ نشان داده شده است.



شکل ۲-۶ چارچوب نظری کاربرد سنجش از دور در مطالعات تغییرات خط ساحلی [۶].

بدین ترتیب در این فصل به بررسی مبانی نظری مربوط به مسئله تغییرات خط ساحلی با بیان مبانی هیدرودینامیکی و مبانی سنجش از راه دور که پرداخته شد تا در فصل سوم مدل‌های تحقیق بررسی و معرفی شوند.

فصل سوم

معرفی مدل سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی

۳-۱ مقدمه

همان گونه که در بخش پنجم از فصل اول (ساختار پایان نامه) اشاره شد، در این فصل به معرفی مدل مورد استفاده در این تحقیق یعنی مدل آماری تحلیل رقومی خطوط ساحلی (به عنوان یک افزونه بر روی سیستم اطلاعات جغرافیایی)، جهت مطالعه تغییرات خطوط ساحلی به همراه شرح و بسط روابط حاکم و اصول جاری بر آن پرداخته شده است.

۳-۲ معرفی مدل تحلیل رقومی خطوط ساحلی

سیستم تحلیل رقومی خط ساحلی یا به اختصار DSAS^۱، ابزاری پرکاربرد و قدرتمند است که توسط پژوهشگران و متخصصان جهت اندازه گیری نرخ تغییرات خط ساحلی مورد استفاده قرار می گیرد [۷]. این ابزار توسط سازمان زمین شناسی آمریکا^۲ به صورت یک افزونه بر روی نرم افزار آرک-جی آی اس انتشار یافته و با ایجاد مقاطع عرضی عمود بر خطوط ساحلی^۳، نرخ تغییرات خط ساحلی را حول مقاطع ایجاد شده، نسبت به یک مبنای مشخص محاسبه می کند (شکل ۱-۳). با استفاده از فاصله هر نقطه اندازه گیری تا خط مبنا و تاریخ خط ساحل برداشت شده، نرخ تغییرات اندازه گیری می شود. سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی با استفاده از چندین روش آماری نظیر نقطه نهایی^۴، رگرسیون خطی^۵، رگرسیون خطی وزن دار^۶ و فاصله اطمینان نقطه نهایی^۷، نرخ تغییرات خط ساحلی مورد مطالعه را محاسبه می نماید [۷].

^۱ Digital Shoreline Analysis System

^۲ United States Geological Survey

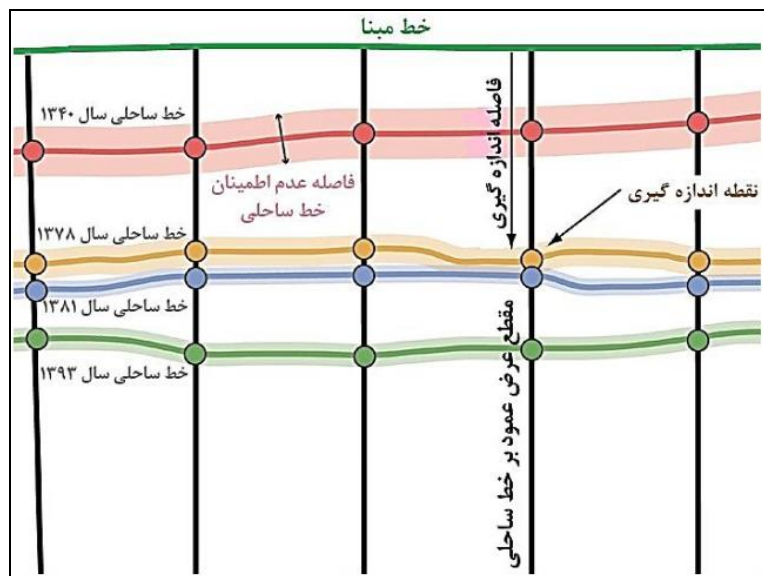
^۳ Transects

^۴ End Point Rate

^۵ Linear Regression Rate

^۶ Weighted Linear Regression Rate

^۷ Confidence of End Point Rate



شکل ۳-۱ نحوه عملکرد سیستم تحلیل رقومی در محاسبه نرخ تغییرات خطوط ساحلی [۷].

۳-۳ ورودی‌های مورد نیاز مدل

جهت محاسبه نرخ تغییرات خط ساحلی با استفاده از سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی، لازم است تا داده‌های ورودی دارای ویژگی‌های مشخصی باشند. در ادامه داده‌ها معرفی و ویژگی مورد نیاز هر یک شرح داده شده است.

۳-۳-۱ پایگاه داده زمینی

تمامی داده‌های ورودی سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی، باید به وسیله پایگاه‌داده زمینی^۱ شخصی مدیریت شوند. علاوه بر مدیریت داده‌ها، به منظور محل ذخیره مقاطع عرضی تولید شده توسط برنامه و همچنین جداول آماری خروجی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این پایگاه‌داده نه تنها محلی جهت ذخیره داده‌ها را فراهم می‌آورد بلکه ساختمان داده^۲ ای را ارائه می‌دهد که می‌تواند جهت اجرای وضعیت مکانی^۳ به معنای ایجاد روابط فضایی میان عارضه‌ها^۴ مورد استفاده قرار

^۱ Geodatabase

^۲ Data Structure

^۳ Topology

^۴ Feature Class

گیرد. داده‌های مورد استفاده در سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی باید با واحد متر در سیستم مختصات پروژه‌ای^۱ (مثل سیستم مختصات جهانی مرکاتور معکوس^۲ یا سیستم مختصات صفحه تخت) باشد [۶۴].

۳-۳-۲ خطوط ساحلی

موقعیت خط ساحل می‌تواند بر اساس چند ویژگی مختلف مثل خط رویش گیاهی، خط تراز بالای آب، خط تراز پایین آب و خط خشکی-تری^۳، برداشت شود [۶۴]. خطوط ساحلی می‌توانند از منابع مختلفی مثل تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های عمود بر سطح زمین، نقشه‌های برداشت زمینی خط ساحلی، برداشت میدانی با جی پی اس و یا استخراج از پیمایش رادار لیزری^۴، برداشت شوند [۶۴]. به شدت توصیه شده است که در مرحله جمع‌آوری داده‌ها تمامی بردارهای خط ساحل با استفاده از یک ویژگی برداشت شوند (برای مثال تراز بالای سطح آب) سپس در سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی جهت محاسبه نرخ انتقال رسوب مورد استفاده قرار گیرند [۶۴].

اطمینان از درستی نرخ محاسبه شده تغییرات خط ساحلی توسط سیستم تحلیل رقومی، تنها به دقت برداشت خطوط ساحلی بستگی دارد. جهت کمی‌سازی مناسب‌تر دقت نتایج نرخ‌های محاسبه شده، کاربر باید به خطاهای اندازه‌گیری و نمونه‌گیری در هنگام برداشت موقعیت هر خط ساحل توجه نماید [۶۲]. کاربران این امکان را دارند که برای هر خط ساحلی عددی را به عدم اطمینان برداشت^۵ اختصاص دهند. این عدد در محاسبات خطای استاندارد، ضریب همبستگی و مداخله اطمینان شرکت داده می‌شود که برای روش‌های رگرسیون خطی ساده و رگرسیون خطی وزن‌دار ارایه می‌شوند. تمامی خطوط ساحل باید در یک عارضه قرار بگیرند و دارای واحد متر در سیستم مختصات پروژه‌ای باشند. همچنین هر خط ساحل باید حاوی اطلاعات ارایه شده در جدول ۱-۳ باشد.

¹ Projected Coordinate System

² Universal Transverse Mercator

³ Wet/Dry Line

⁴ Lidar

⁵ Uncertainty Value

جدول ۳-۱ جدول اطلاعات توصیفی مورد نیاز خطوط ساحلی در سیستم تحلیل رقومی [۶۴].

نام شاخص	نوع داده	وضعیت تولید شاخص
OBJECTID	Object ID	خودکار
SHAPE	Geometry	خودکار
SHAPE_Length	Double	خودکار
DATE_	Text	توسط کاربر
UNCERTAINTY	هر ورودی عددی	توسط کاربر

۳-۳-۳ خط مبنا

سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی از یک روش اندازه‌گیری نسبت به خط مبنا^۱ استفاده کرده تا برای خطوط ساحل با زمان‌های مختلف نرخ تغییرات را محاسبه نماید [۶۳]. این خط مبنا توسط کاربر ساخته شده و به عنوان نقطه شروع مقاطع عرضی تولید شده توسط برنامه دی اس ای اس، در نظر گرفته می‌شود. مقاطع عرضی هر خط ساحل را در نقاط اندازه‌گیری قطع می‌کنند تا مبنای محاسبات نرخ تغییرات قرار بگیرد [۶۴].

خط مبنا باید در مجاورت خطوط ساحلی برداشت شده واقع شده باشد. مقاطع عرضی در فواصل تعیین شده توسط کاربر، عمود بر خط مبنا از آن خارج و خطوط ساحلی را قطع می‌کنند تا نقاط اندازه‌گیری به دست آیند. راستای مقاطع عرضی بستگی زیادی به موقعیت خط مبنا دارد. کاربر باید مقیاس مناسبی از خط مبنا را در نظر بگیرد تا با تغییرات راستای خطوط ساحلی ترکیب شده تطابق داشته باشد. موقعیت پیشنهادی برای مقاطع عرضی، عمود بر روند جاری تغییرات خطوط ساحلی باشد. به گونه‌ای که نرخ تغییرات خط ساحلی توصیف کننده ناحیه‌ای باشد که بلافاصله نسبت به خط ساحل برداشت شده، در سمت دریا واقع شده باشد [۶۴].

خط مبنا باید دارای شرایط زیر باشد:

- باید یک عارضه واقع در یک پایگاه داده زمینی باشد.

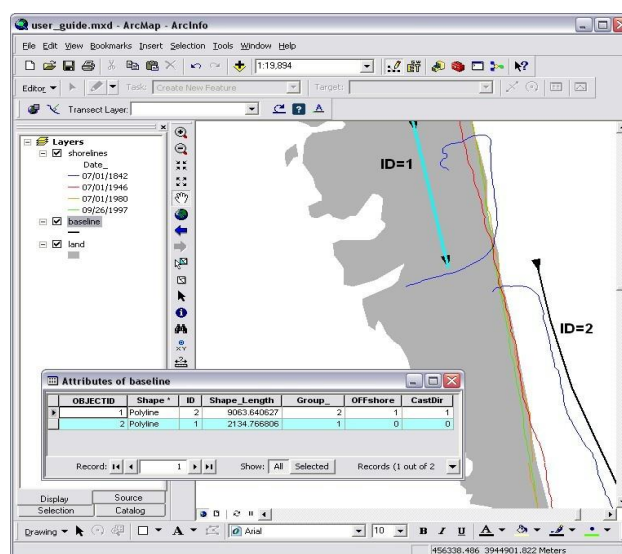
¹ Baseline

- باید در سیستم مختصات پروژه‌ای با واحد متر باشد.
- ممکن است شامل یک خط بوده و یا مجموعه‌ای از چند خط باشد.
- هر خط مبنا نسبت به خطوط ساحلی باید به طور کامل یا در قسمت خشکی واقع شده باشد یا در سمت آب.
- باید ویژگی‌های اطلاعات جدول ۲-۳ را دارا باشد.

جدول ۲-۳ جدول اطلاعات توصیفی مورد نیاز خط مبنا در سیستم تحلیل رقومی [۶۴].

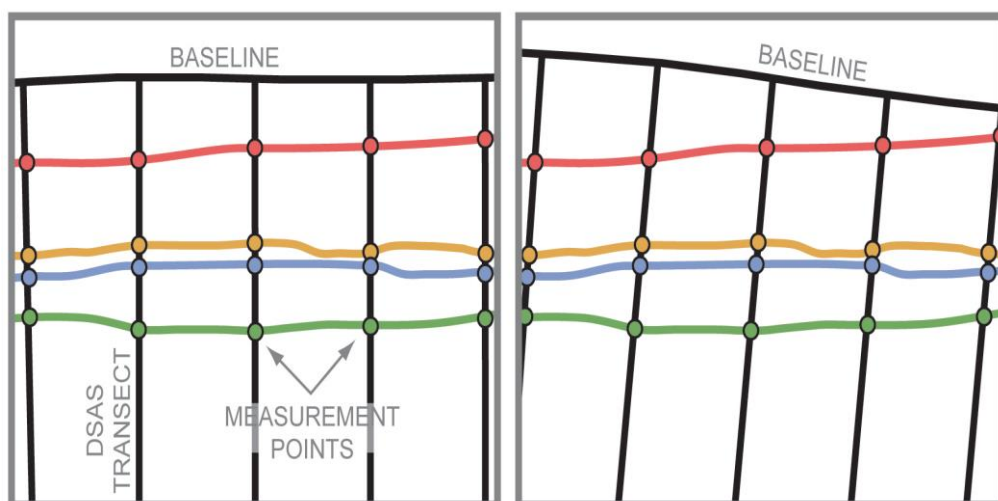
نام شاخص	نوع داده	نحوه تولید شاخص	الزامی یا اختیاری
OBJECTID	Object ID	خودکار	الزامی
SHAPE	Geometry	خودکار	الزامی
SHAPE_Length	Double	خودکار	الزامی
ID	Long Integer	توسط کاربر	الزامی
Group	Long Integer	توسط کاربر	اختیاری
OFFshore	Short Integer	توسط کاربر	اختیاری
CastDir	Short Integer	توسط کاربر	اختیاری

اگر در پروژه‌ای خط ساحلی دارای شکستگی و انحنای زیادی باشد، چندین خط مبنای مجزا در طول خط ساحل در قسمت خشکی و دریا در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال، در شکل ۲-۳ دو خط مبنا با نام‌های Baseline ID=1 و Baseline ID=2 در نظر گرفته شده است [۶۴].



شکل ۲-۳ نمونه‌ای از موقعیت خط مبنا در سیستم تحلیل رقومی [۶۴].

در تحقیق حاضر که امتداد خط ساحلی منطقه مورد مطالعه به صورت پیوسته و در یک راستای عمومی قرار دارد، از یک خط مبنا با جهت عمومی جنوب غربی به شمال شرقی که به موازات راستای عمومی ساحل منطقه مورد مطالعه است استفاده شده است. موقعیت این خط در قسمت خشکی در نظر گرفته شده است. خط مبنا باید به گونه ای باشد که ترنسکت ها، تمام خطوط ساحلی را قطع کنند و محل تقاطع^۱ باید در بهینه ترین حالت خطوط ساحلی را پوشش دهند. در مرحله اصلاح^۲ کاربر این امکان را دارد تا محل تقاطع ترنسکت ها با خطوط ساحلی را به راحتی تغییر دهد تا از روی هم افتادگی نقاط برخوردی جلوگیری کند [۶۴].



شکل ۳-۳ نمونه‌ای از موقعیت خط مبنا در سیستم تحلیل رقومی [۶۴].

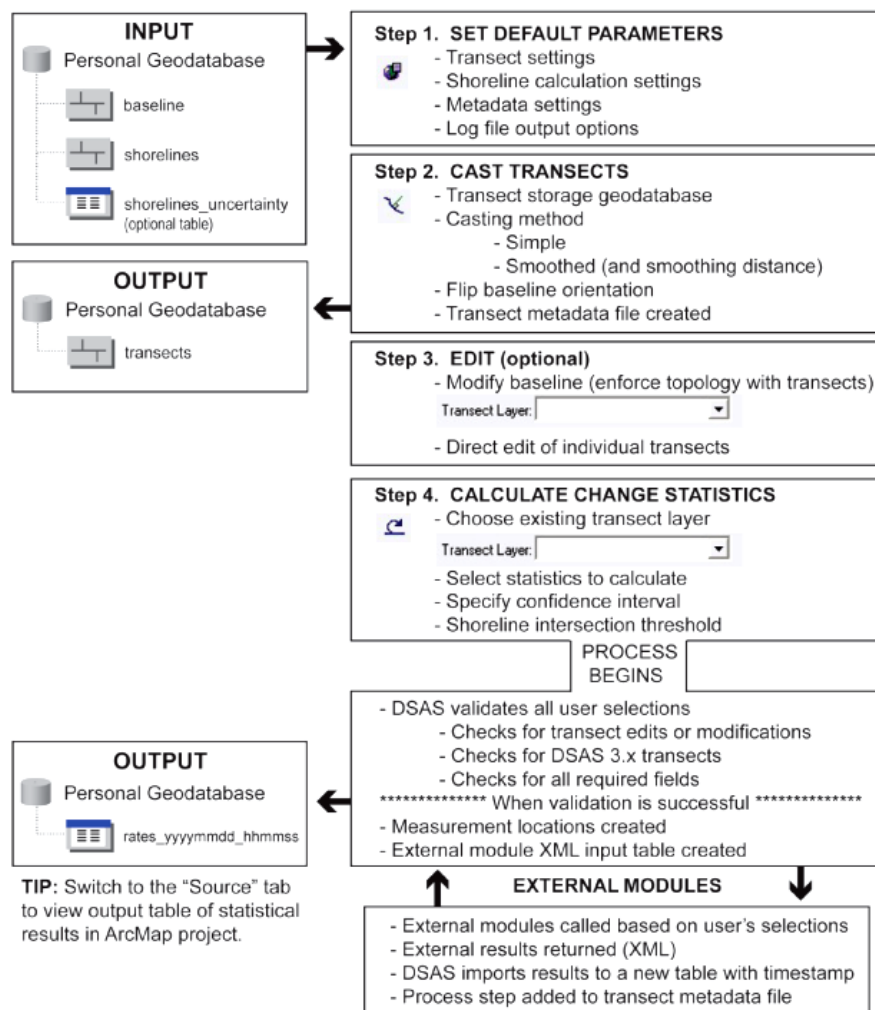
۳-۴ الگوریتم محاسبه نرخ تغییرات

هنگامی که پایگاه داده و عارضه‌های مورد نیاز تولید شده و ویژگی‌های مورد نیاز آن‌ها به درستی به هر یک اضافه گردیدند، برنامه دی اس ای اس با استفاده از نرم افزار آرک-مپ^۳ از مجموعه آرک-جی آی اس می-تواند جهت پایه‌ریزی موقعیت مقاطع عرضی و محاسبه نرخ تغییرات مورد استفاده قرار بگیرد. شکل ۳-۴ الگوریتم عمومی عملکرد سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی را نمایش می‌دهد.

^۱ Intersection

^۲ Edit (optional)

^۳ ArcMAP



شکل ۳-۴ الگوریتم سیستم تحلیل رقومی در محاسبه نرخ تغییرات خطوط ساحلی [۶۴].

در مرحله چهارم از الگوریتم سیستم تحلیل رقومی که مرحله نهایی آماده سازی مدل جهت اجرا است، از گزینه‌ی Shoreline intersection threshold جهت وارد کردن حداقل تعداد خط ساحلی که ترنسکت‌ها آن-ها را قطع کند تا وارد محاسبات نرخ تغییرات کند استفاده می‌شود [۶۴]. این مقدار برای مدل‌سازی اول (سناریو افزایش تراز آب) به مقدار ۲ و برای مدل‌سازی دوم (سناریو کاهش تراز آب) به مقدار ۳ وارد شده است. لازم به ذکر است که تعداد خط ساحلی برداشت شده برای سناریو اول و دوم به ترتیب ۲ و ۳ عدد بوده است.

بعد از اجرای مدل، همانطور که در قسمت پایین شکل ۳-۴ اشاره شده است به کاربر این امکان را می‌دهد تا از روش‌های مختلف اقدام به صحت‌سنجی مدل‌سازی کند که در تحقیق حاضر با مقایسه خط ساحلی

پیش بینی شده و موقعیت واقعی آن در سال ۲۰۱۸ خطاها به صورت آماری و کمی بررسی شد و حاکی از مقادیر قابل قبول کارایی مدل در بیشتر مناطق بود.

قسمت آخر الگوریتم سیستم تحلیل رقومی مربوط به اضافه کردن مائزول‌های مختلف است [۶۴]. به عنوان مثال طبق فعالیت محمودی و همکاران [۷]، با استفاده از کد نویسی در نرم افزار متلب^۱ موفق به ارائه افزونه محاسباتی شدند که با این سیستم ارتباط برقرار کرده و داده‌های اندازه‌گیری شده مشکوک به خطا را از طریق روش‌های آماری، از محاسبات حذف می‌نماید.

۳-۵ نتایج آماری خروجی

تمامی روش‌هایی که جهت محاسبه نرخ تغییرات خط ساحل استفاده می‌شوند بر مبنای اندازه‌گیری اختلاف مابین موقعیت خطوط ساحلی در طول زمان هستند. نرخ‌های گزارش شده با واحد متر تغییر در راستای مقاطع عرضی در هر سال هستند. هنگامی که محاسبات نرخ‌های تعیین شده، سیستم تحلیل رقومی محاسبات مدل‌های انتخاب شده را با هم ادغام نموده و خروجی آن در قالب یک جدول در محیط آرک-مپ ارائه می‌شود. نتایج آماری نرخ تغییرات ارائه شده توسط سیستم تحلیل رقومی، دارای عناوین استاندارد خلاصه شده‌ایی هستند که در جدول ۳-۳ لیست آن‌ها آمده است.

¹ Matlab

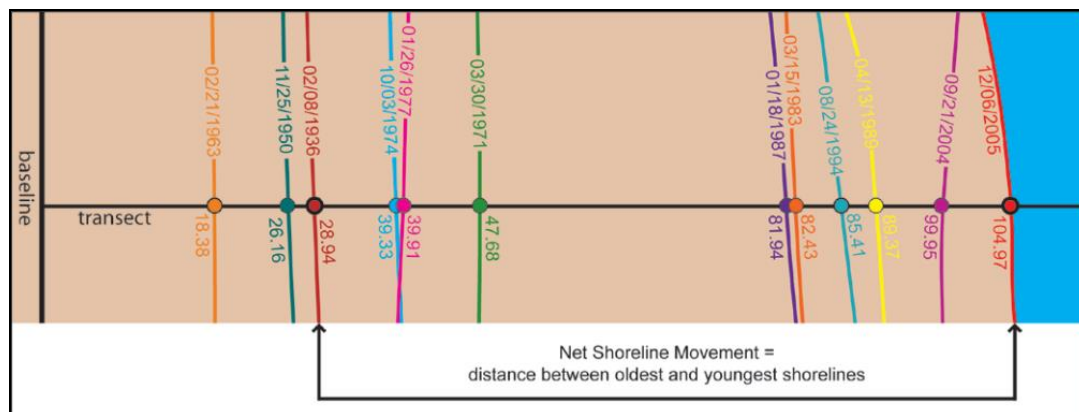
جدول ۳-۳ شرح عناوین استاندارد خلاصه شده نتایج آماری خروجی سیستم تحلیل رقومی [۶۴].

NSM	Net Shoreline Movement	جابجایی خالص
SCE	Shoreline Change Envelope	دامنه تغییرات
EPR	End Point Rate	نرخ تغییرات نقطه انتهایی
ECI	Confidence of End Point Rate	اطمینان نرخ تغییرات نقطه انتهایی
LRR	Linear Regression Rate	نرخ تغییرات رگرسیون خطی
LSE	Standard Error of Linear Regression	خطای استاندارد پیش‌بینی نرخ خطی
LCI	Confidence Interval of Linear Regression	خطای استاندارد شیب نرخ خطی
LR2	R-squared of Linear Regression	ضریب تشخیص نرخ خطی
WLR	Weighted Linear Regression Rate	نرخ تغییرات رگرسیون خطی وزن‌دار
WSE	Standard Error of Weighted Linear Regression	خطای استاندارد پیش‌بینی نرخ وزن‌دار
WCI	Confidence Interval of Weighted Linear Regression	خطای استاندارد شیب نرخ وزن‌دار
WR2	R-squared of Linear Regression	ضریب تشخیص نرخ وزن‌دار
LMS	Least Median of Squares	حداقل میانگین مربعات

در ادامه موارد پایه و اصلی از جدول ۳-۳ شرح داده شده‌اند.

۳-۵-۱ جابجایی خالص

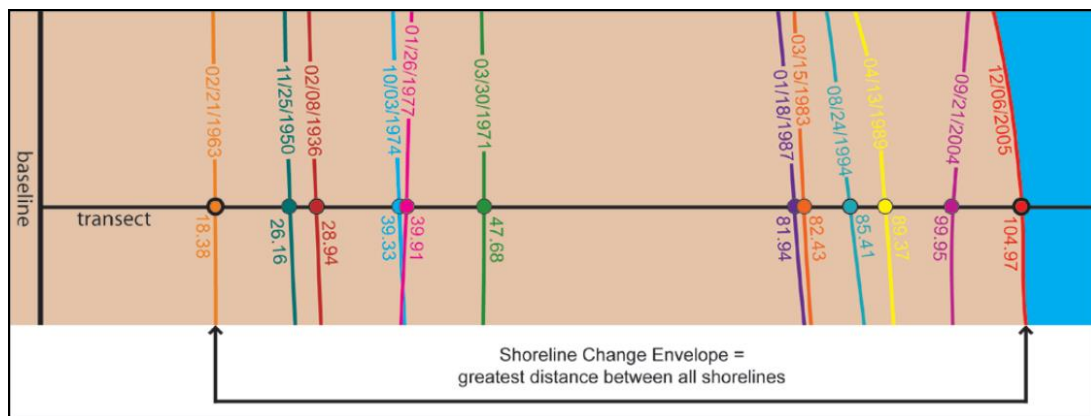
جابجایی خالص خط ساحلی، همانند دامنه تغییرات بیانگر یک فاصله است. این پارامتر تنها با تاریخ برداشت دو خط ساحلی مرتبط بوده و بیانگر فاصله بین جدیدترین و قدیمی‌ترین خط ساحلی است. اگر این پارامتر بر سال‌های مابین برداشت این دو خط ساحل تقسیم گردد، نتیجه نرخ تغییر نقطه انتهایی بوده که موضوع بخش ۳-۵-۳ خواهد بود. شکل ۳-۵ مثالی از جابجایی خالص را نشان می‌دهد که مقدار آن ۷۶/۰۳ متر بوده و مابین جدیدترین خط ساحلی برداشت شده در سال ۲۰۰۵ و قدیمی‌ترین آن در سال ۱۹۳۶ اندازه‌گیری شده است.



شکل ۳-۵ نمایش جابجایی خالص خطوط ساحلی [۶۴].

۳-۵-۲ دامنه تغییرات

دامنه تغییرات خطوط ساحلی بیانگر یک فاصله است و نه نرخ تغییرات. این فاصله برای هر مقطع عرضی برابر است با فاصله میان نزدیک‌ترین و دورترین خط ساحل نسبت به خط مبنا و ربطی به تاریخ برداشت عارضه ندارد. در شکل ۳-۶ مثالی از دامنه تغییرات خطوط ساحلی مابین سال‌های ۱۹۶۳ تا ۲۰۰۵ را نشان می‌دهد که به میزان ۸۶/۵۹ متر محاسبه شده است.

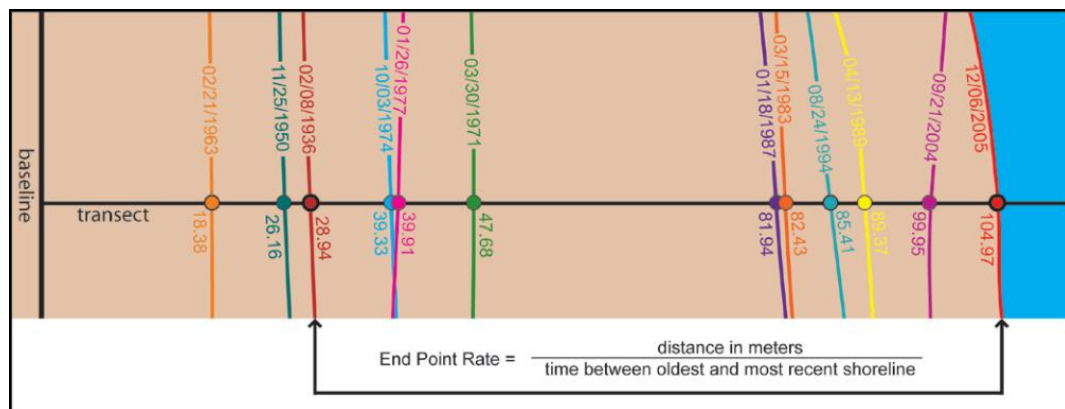


شکل ۳-۶ نمایش دامنه تغییرات خطوط ساحلی [۶۴].

۳-۵-۳ نرخ تغییرات نقطه انتهایی

این پارامتر از تقسیم پارامتر جابجایی خالص بر مدت زمان مابین برداشت قدیمی‌ترین خط ساحل و جدیدترین آن بدست می‌آید. مزیت عمده این شاخص سادگی محاسبه و کافی بودن ۲ برداشت از خطوط ساحلی جهت محاسبه آن است. مشکل عمده آن این است که در صورت وجود داده‌های بیشتر، این داده‌ها

مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. شکل ۳-۷ زیر مثالی نرخ تغییر نقطه انتهایی به میزان ۱/۰۹ متر در هر سال را نشان می‌دهد و از تقسیم فاصله بین خط ساحلی برداشت شده در سال ۲۰۰۵ و ۱۹۳۶ بر مدت زمان مابین این دو برداشت (۶۹/۸۲ سال) به دست آمده است.



شکل ۳-۷ نمایش نرخ تغییر نقطه انتهایی خطوط ساحلی [۶۴].

۳-۵-۴ نرخ تغییرات رگرسیون خطی

نرخ تغییرات رگرسیون خطی، توسط برازش^۱ خط رگرسیون حداقل مربعات^۲ از میان تمامی نقاط خطوط ساحل، به ازای هر مقطع عرضی به دست می‌آید. خط رگرسیون به گونه‌ای جانمایی می‌شود که مجموع باقیمانده مربعات^۳ (توسط مربع کردن فاصله هر داده از خط رگرسیون و جمع کردن باقیمانده مربعات با یکدیگر بدست می‌آید) حداقل باشد. نرخ رگرسیون خطی برابر با شیب آن خط است.

ویژگی‌های این روش عبارت‌اند از:

- از تمامی داده‌های برداشت شده بدون در نظر گرفتن الگوی تغییر خط ساحل در طی زمان و دقت برداشت آن‌ها، استفاده می‌شود.
- این متد محاسباتی محض است.
- محاسبات آن بر اساس دیدگاه‌های پذیرفته شده آماری است.

^۱ Fitting Line

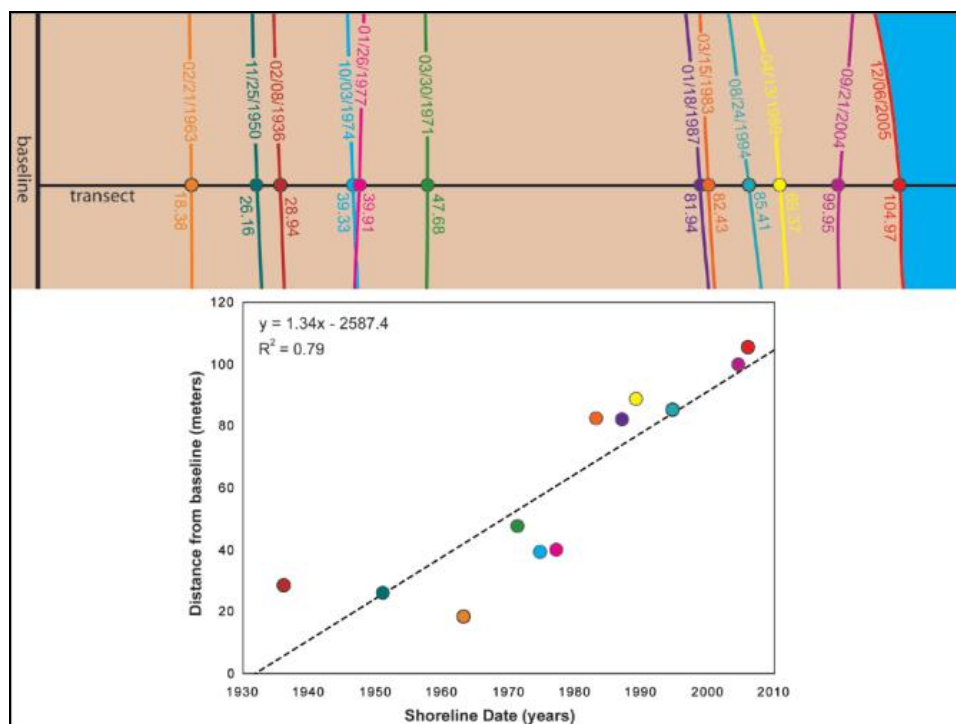
^۲ Least-Squares Regression

^۳ Squared Residuals

• استفاده از این روش ساده است [۶۵].

روش رگرسیون خطی نسبت به اثرات داده‌های خارج از محدوده^۱ حساس بوده و همچنین نسبت به سایر روش‌ها مثل روش نرخ نقطه انتهایی، نرخ تغییرات را به میزان کمتری در نظر می‌گیرد [۶۶]. به دنبال نرخ رگرسیون خطی، خطای استاندارد پیش‌بینی، خطای استاندارد شیب با ضریب اطمینان ارائه شده توسط کاربر و مقدار ضریب تشخیص نیز تولید می‌شوند.

شکل ۳-۸ مثالی را ارائه می‌دهد که در آن نرخ رگرسیون خطی، از شیب خط رگرسیون رسم شده در نموداری که محور افقی آن زمان و محور عمودی آن فاصله خط ساحلی تا خط مبنا است، بدست آمده است. نرخ تغییرات رگرسیون خطی برابر با ۱/۳۴ متر در هر سال است.



شکل ۳-۸ نمایش نرخ تغییر رگرسیون خطی خطوط ساحلی [۶۴].

⁴ Outlier Effects

۳-۵-۵ نرخ تغییرات رگرسیون خطی وزن دار

در یک رگرسیون خطی وزن دار، بر داده‌های قابل اطمینان^۱ تاکید بیشتری شده یا به عبارتی در تعیین بهترین خطی که می‌تواند از میان داده‌ها برازش شود، داده‌های قابل اطمینان دارای اهمیت یا وزن بیشتری هستند. در محاسبه نرخ تغییرات خطوط ساحلی، تاکید بیشتر بر روی داده‌هایی است که عدم قطعیت در موقعیت آن‌ها کمتر باشد. در این حالت وزن (w)، تابعی از اختلاف عدم اطمینان اندازه‌گیری‌ها (e) است [۶۶]. بنابراین:

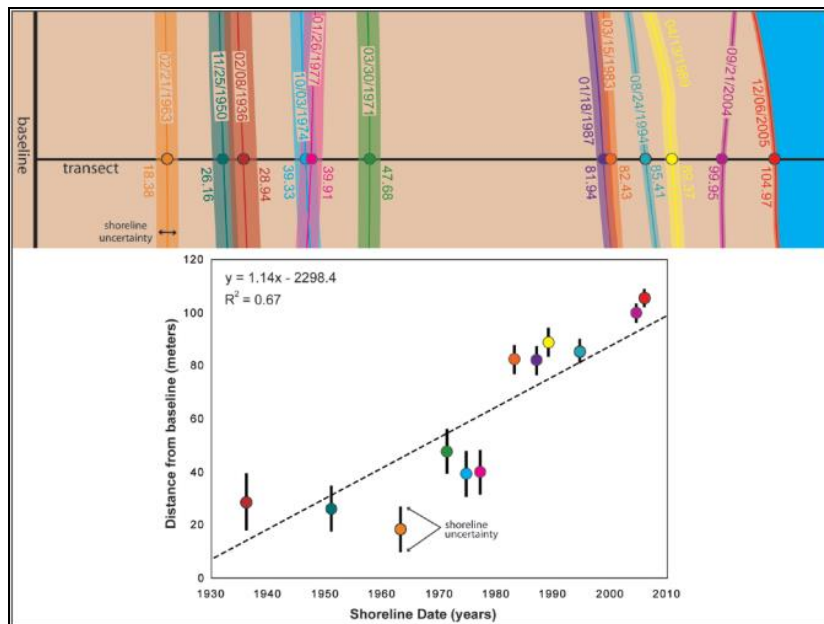
$$w = 1/(e^2) \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

که در آن (e) برابر با عدم اطمینان در خطوط ساحلی است و از ستون عدم اطمینان در عارضه خطوط ساحلی جهت محاسبه وزن استفاده شده است.

به دنبال نرخ رگرسیون خطی وزن دار، خطای استاندارد پیش‌بینی، خطای استاندارد شیب با ضریب اطمینان ارائه شده توسط کاربر و مقدار ضریب تشخیص تولید می‌شود.

شکل ۳-۹ مثالی را ارائه می‌دهد که نرخ رگرسیون خطی وزن دار، توسط رسم خط آن در نموداری که از محورهای زمان و فاصله خط ساحلی تا خط مبنا تشکیل شده، به دست آمده است. این داده‌ها عیناً همان داده‌هایی هستند که در مثال قبل (مربوط به مثال بخش رگرسیون خطی) استفاده شده‌اند. نقاط اندازه‌گیری خطوط ساحلی با عدم اطمینان کمتر در موقعیت خود، تاثیر بیشتری در محاسبات رگرسیون داشته‌اند. دلیل آن هم مولفه وزنی آن در الگوریتم محاسبه است. شیب خط رگرسیون برابر با نرخ تغییر ۱/۱۴ متر در هر سال است [۶۴].

¹ Reliable



شکل ۳-۹ نمایش نرخ تغییر رگرسیون خطی وزن دار خطوط ساحلی [۶۴].

بدین ترتیب در فصل حاضر (فصل سوم) با معرفی مدل آماری تحلیل رقومی خطوط ساحلی، مقدمات لازم جهت مدل سازی مسئله که موضوع فصل چهارم است، ارائه گردد.

فصل چهارم

مدسازی

۴-۱ مقدمه

در این فصل به منظور مدلسازی تغییرات خط ساحلی منطقه مورد مطالعه و در جهت پیشبرد اهداف تحقیق، لازم است تا قبل از شروع مدلسازی، به معرفی محدوده مورد مطالعه (حدفاصل رودخانه فریدونکنار تا رودخانه بابلرود) پرداخته شود. لیکن با توجه به شرایط خاص هیدرودینامیکی حاکم بر دریای خزر، در این فصل ابتدا شرایط ذکر شده در دریای خزر و سپس منطقه ساحلی فریدونکنار مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه به صورت گام به گام مدلسازی با استفاده از ابزار سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی (DSAS)^۱ تشریح خواهد گردید.

۴-۲ معرفی ویژگی‌ها و شرایط حاکم بر دریای خزر

دریای خزر بزرگترین دریاچه کره زمین بوده که طول آن در حدود ۱۲۰۰ تا ۱۰۳۹ و عرض آن حدودا ۴۳۵ کیلومتر می‌باشد. این دریاچه بین عرض ۳۶° و ۳۳' تا ۴۷° و ۷' و طول ۴۶° و ۴۳' تا ۵۴° و ۵۰' واقع شده است. همچنین وسعت آن ۳۷۸ تا ۳۹۰ هزار کیلومتر مربع و حجم آب آن نیز ۷۶ الی ۷۸ هزار کیلومتر مکعب که برابر ۴۴ درصد ذخیره آب دریاچه‌های جهان است، تخمین زده شده است. حداکثر عمق آن ۱۰۲۵ متر بوده و در حالت کلی بستر این حوضه بر اساس توپوگرافی به سه ناحیه کم‌عمق شمالی، ناحیه گودال مرکزی و بخش گودال جنوبی قابل تقسیم است. عمیق‌ترین نواحی این دریا نزدیک به سواحل کشور ایران است [۶۷].

اصلی‌ترین منبع ورودی آب به دریای خزر، رودخانه ولگا است که در حدود ۸۰ درصد آب‌های ورودی به دریای خزر از این رودخانه تامین می‌شود. در شکل ۴-۱، نمای کلی از دریای خزر و میزان آب ورودی از حریم چند رودخانه مهم به آن مشخص شده است.

¹ Digital Shoreline Analysis System

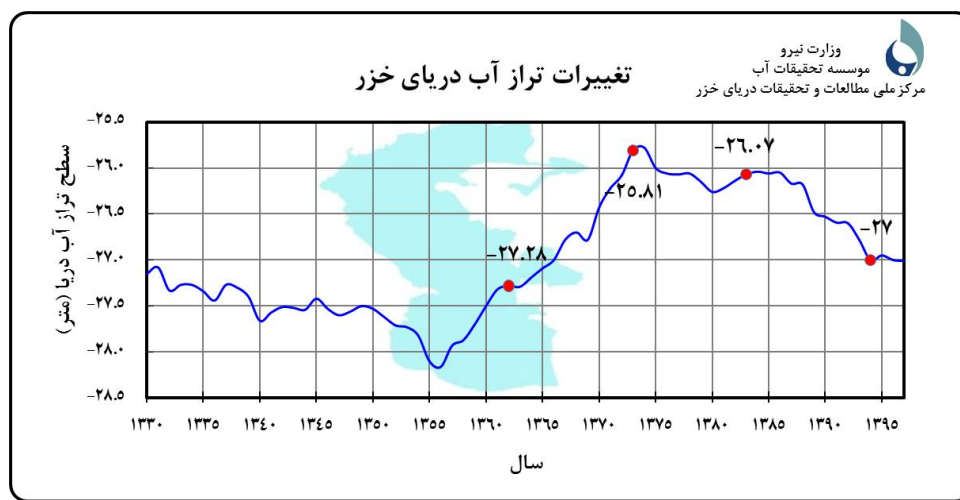


شکل ۴-۱ دریای خزر و میزان ورودی آب از رودخانه های اطراف به آن [۶۷].

تراز آب دریای خزر در حدود ۲۷ متر پایین تر از سطح اقیانوس قرار دارد. دریای خزر دارای رژیم هیدرولوژی بسیار ناپایدار است که آن را از جمله ویژگی های خاص این منطقه در مطالعات مربوط به پایش تغییرات خط ساحلی می توان برشمرد. از ویژگی های بارز دریای خزر نوسانات ادواری تراز آب می باشد. حداکثر دامنه تغییرات تراز آب در ده هزار سال گذشته تا ۲۵ متر و در ۲/۵ هزار سال گذشته تا ۱۵ متر می باشد که علت آن وجود مجموعه ای از فرایندهای اقلیمی، هیدرولوژی و زمین شناختی که در حوضه آن رخ می دهد، است [۶۸].

بر اساس مطالعات متعدد صورت گرفته تا کنون، می توان چرخه تغییرات سطح تراز آب دریای خزر را مورد بررسی قرار داد. از سال ۱۹۳۳ تا ۱۹۴۰ میلادی (۱۳۱۲ تا ۱۳۱۹ شمسی)، سطح تراز آب دریای خزر چیزی در حدود ۲ متر پایین آمد و سپس این روند تا سال ۱۹۷۷ میلادی (۱۳۵۶ شمسی) با نرخ کمتری (در حدود ۳ سانتیمتر در هر سال) ادامه پیدا کرد. از سال ۱۹۷۸ میلادی (۱۳۵۷ شمسی)، سطح تراز آب

دریای خزر با نرخ متوسط ۱۲ سانتیمتر در هر سال شروع به افزایش کرد، که این روند صعودی تا سال ۱۹۹۳ (۱۳۷۳) میلادی ادامه پیدا کرد، در واقع در طی ۱۵ سال چیزی در حدود ۱/۸ متر بالا آمده است [۶۸]. موارد شمرده شده به همراه ادامه روند تغییرات سطح آب دریای خزر تا سال ۲۰۱۸ میلادی (۱۳۹۷ شمسی) در شکل ۴-۲ ارائه شده است.



شکل ۴-۲ نمودار تغییرات تراز آب دریای خزر [۷۸]

۴-۳ معرفی محدوده مورد مطالعه در دریای خزر

همانگونه که در قسمت مقدمه از فصل حاضر به آن اشاره شد، محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، سواحل جنوبی دریای خزر حد فاصل رودخانه فریدونکنار تا رودخانه بابلسر را شامل می‌شود. خط ساحل مورد مطالعه از نقطه A در شکل ۴-۳ با مختصات ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه و ۲۵ ثانیه شمال عرض جغرافیایی و ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه و ۵۰ ثانیه شرق طول جغرافیایی شروع شده و در نقطه B با مختصات ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه و ۴۸ ثانیه شمال عرض جغرافیایی و ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه و ۱ ثانیه شرق طول جغرافیایی خاتمه می‌یابد. فاصله مستقیم مابین دو نقطه یاد شده ۱۲/۵ کیلومتر می‌باشد. این منطقه همانگونه که در شکل ۴-۳ قابل مشاهده است، طیف وسیعی از سازه‌های انسان ساخت نظیر موجشکن بندر فریدونکنار، موجشکن بندر

دریابانی و موجشکن دهانه ورودی رودخانه بابلسر و همچنین پوشش‌های سنگچین جهت محافظت از فرسایش ساحل در برابر شرایط اقلیمی و هیدرودینامیکی را در بر می‌گیرد.



شکل ۳-۴ نمایش محدوده مورد مطالعه در تحقیق

۴-۳-۱ کلیات، تاریخچه و موقعیت بندر فریدونکنار

بندر فریدونکنار در استان مازندران در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۳ دقیقه و ۲۹ ثانیه شمالی و در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه و ۴۸ ثانیه شرقی در سواحل جنوبی دریای خزر واقع شده است. این بندر در ۳ کیلومتری شرق شهر فریدونکنار قرار داشته و بندر تفریحی مارینای خزرشهر (موسوم به دریابانی) در ۵۰۰ متری شرق آن قرار دارد. فاصله بندر فریدونکنار تا مرکز استان یعنی شهر ساری ۷۰ کیلومتر می‌باشد. این بندر از طریق جاده‌های هراز و فیروزکوه به مرکز کشور مرتبط و عمده فعالیت آن با اهداف چندمنظوره به ویژه با اولویت در تخلیه و بارگیری غلات و کالاهای عمومی (جنرال کارگو) در نظر گرفته شده است. در شکل ۴-۴ موقعیت این بندر در دریای خزر نمایش داده شده است.



شکل ۴-۴ موقعیت بندر فریدونکنار نسبت به دریای خزر

ساخت بندر فریدونکنار از سال ۱۳۶۹ به عنوان بندر به تصویب مجلس شورای اسلامی رسید و پس از انجام اصلاحاتی در طرح اولیه، ساخت آن از سال ۱۳۷۳ شروع (شکل ۴-۵) و در پایان سال ۱۳۸۱ ساخت اسکله، موجشکن‌ها و حوضچه آن به اتمام رسید. کارفرمای پروژه در آن زمان معاونت ساخت و توسعه بنادر و فرودگاه‌های کشور بوده است. بندر فریدونکنار یکی از بنادر شمال کشور است که به لحاظ گسترش روز افزون مبادلات بازرگانی با کشورهای حاشیه دریای خزر، با اراضی حدود ۶۹ هکتار و با اهداف تجاری در سواحل استان مازندران با برخورداری از استعدادهای بسیار خوب و جاذبه‌های بی‌نظیر طبیعی و در ۱۰۰ کیلومتری اداره کل بنادر و دریانوردی استان مازندران واقع در بندر نوشهر تاسیس شده است.



شکل ۴-۵ تصاویری از بندر فریدونکنار در هنگام ساخت در مجاورت بندر تفریحی دریابانی [۷۷].

۴-۳-۲ مشخصات موجشکن بندر

بندر فریدونکنار دارای دو شاخه موجشکن سنگی می‌باشد. طول شاخه غربی ۸۸۷ متر، طول بازوی شرقی ۳۴۷ متر، عرض خالص دهانه ورودی بندر ۱۵۵ متر و قطر دایره چرخش آن حدود ۲۸۵ متر می‌باشد. عمق حوضچه ۵/۵ متر، عمق کانال دسترسی ۶ متر و زاویه آن ۴۵ درجه در جهت عقربه‌های ساعت نسبت به شمال می‌باشد. همانگونه که گفته شد عملیات اجرایی موجشکن بندر در سال ۱۳۷۳ آغاز شده است اما لازم به توضیح است که پیش از اجرای موجشکن سنگی طرح استفاده از مدول‌های فلزی - بتنی جهت ساخت موجشکن کیسونی مطرح گردیده بود که به دلیل مشکلات اجرایی، این طرح نیمه‌تمام رها شد (شکل ۴-۶).



شکل ۴-۶ تصاویری از طرح موجشکن کیسونی نیمه‌رها شده در کنار موجشکن توده سنگی در حال اجرا [۷۷].

۴-۳-۳ مشخصات اسکله بندر

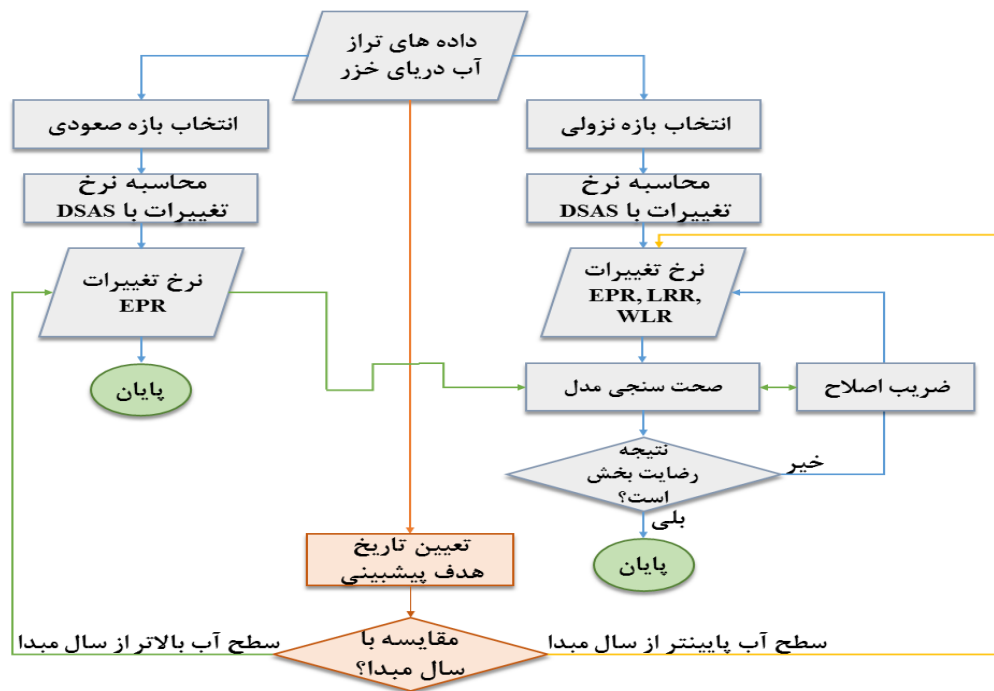
اسکله فعلی بندر فریدونکنار دارای طول ۳۸۰ متر و عرض ۳۵ متر بوده و عمق پای آن ۵/۵ متر است. سیستم سازه‌ای اسکله سولجر پایل بتنی بوده و نحوه اجرای آن‌ها به اینگونه می‌باشد که شمع‌های درجای بتنی در کنار یکدیگر و به صورت متصل به هم اجرا شده و یک دیواره بتنی تشکیل شده است. ضربه‌گیرهای اسکله از نوع استوانه لاستیکی می‌باشد. شکل ۴-۷ تصاویری از اسکله، وضعیت شمع‌ها و عرشه اسکله این بندر را نشان می‌دهند.



شکل ۴-۷ تصاویری از اسکله بندر فریدونکنار در کنار تصویر وضعیت شمع‌ها و عرشه اسکله [۷۷].

۴-۴ مدل‌سازی تغییرات خط ساحل در سیستم تحلیل رقومی

در این پژوهش مطالعه تغییرات خط ساحل با رویکرد الگوی برداری از روند گذشته تغییرات جهت پیش‌بینی موقعیت آینده آن، به وسیله سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی یا به اختصار دی اس ای اس صورت گرفته است. در ادامه این بخش با توجه به معرفی جامع صورت گرفته از مدل در فصل سوم، مراحل مدل‌سازی ارائه شده‌اند. پیش از آن روندنمای مدل‌سازی در این پروژه در قالب شکل ۴-۸ ارائه شده است.



شکل ۴-۸ روندنمای روش تحقیق

۴-۴-۱ اکتساب داده های اولیه

در سالیان اخیر سیستم های متنوعی جهت تولید داده به منظور تحلیل تغییرات خطوط ساحلی گسترش داده شده اند. عکس های هوایی، نقشه های ساحلی، نقشه برداری زمینی، سیستم موقعیت یاب جهانی (جی پی اس)، پیمایش با رادار لیزری (لیدار^۱)، سنجش از دور ماهواره ای، تصاویر ویدئویی، تصویر برداری بر پایه دوربین مادون قرمز، پهپادها، رادار دهانه ترکیبی (سار^۲) و رادار جهت یاب دریایی از جمله این سیستم ها هستند [۶۴، ۶۹، ۷۰].

در میان سیستم های نامبرده شده، استفاده از سنجش از راه دور ماهواره ای برای کسب داده در پروژه های ساحلی که با بودجه کم انجام می شوند مفید است. به طور کلی انتخاب سیستم مناسب جهت کسب داده های

^۱ Airborne Light Detection and Ranging

^۲ Synthetic Aperture Radar

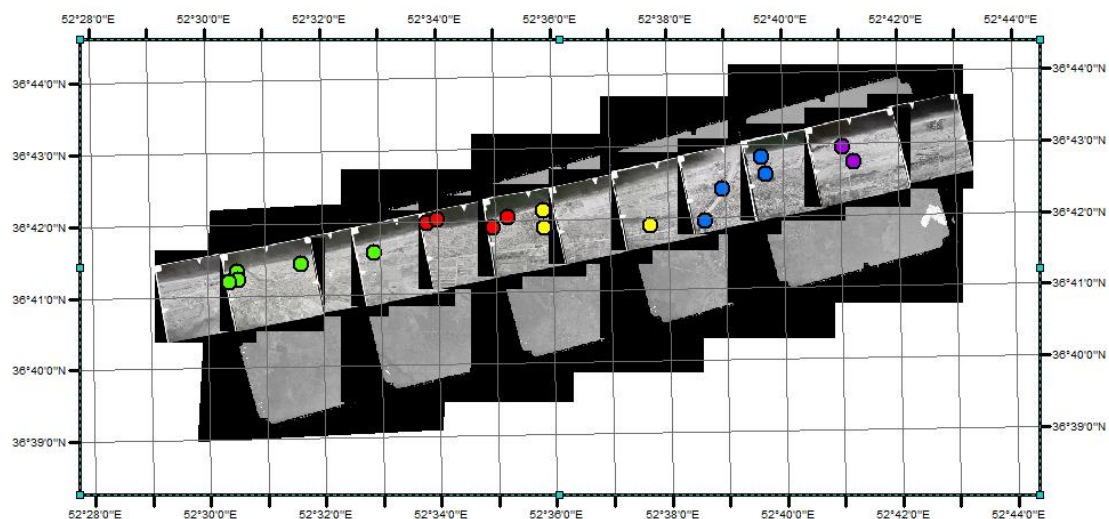
خط ساحلی بر اساس معیارهای زمانی، پوشش سطح، اولویت‌های اقتصادی و موجود بودن تصاویر ماهواره‌ای تعیین می‌شود [۶۹، ۷۱]. به منظور پایش تغییرات خط ساحلی در منطقه مورد مطالعه، تصمیم‌گیری در ارتباط با انتخاب بازه‌های زمانی مناسب جهت مطالعه بر اساس نمودار تغییرات سطح آب خزر (شکل ۴-۲) صورت گرفت. بدین ترتیب که با توجه به وضعیت موجود بودن تصاویر هوایی و ماهواره‌ای دو سناریو جهت مدلسازی انتخاب گردید. سناریو اول که تغییرات خط ساحل در حالت افزایش تراز آب را در نظر دارد، مدلسازی مابین سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۳ را هدف قرار داده است. در سناریو دوم نیز تغییرات شکل گرفته در خط ساحلی در حالت کاهش تراز آب مد نظر بوده و برای اینکار مدلسازی مابین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ انتخاب گردیده‌اند. بازه‌های زمانی مذکور در شکل ۴-۲ با دایره توپر قرمز رنگ نمایش داده شده و اطلاعات مربوط به هر تصویر در جدول ۴-۱ به طور خلاصه ارائه شده است.

جدول ۴-۱ اطلاعات تصاویر هوایی و ماهواره‌ای مورد استفاده جهت مدلسازی و پیشبینی

شماره	تاریخ برداشت میلادی (سال/روز/ماه)	تاریخ برداشت شمسی (روز/ماه/سال)	نوع تصویر	منبع دریافت	مورد استفاده در پروژه
۱	۰۹/۰۶/۱۹۸۳	۱۳۶۲/۰۶/۱۵	هوایی	مرکز ملی مطالعات خزر	محاسبه روند افزایش
۲	۱۱/۰۶/۱۹۹۴	۱۳۷۳/۰۸/۱۶	هوایی	سازمان نقشه- برداری کشور	محاسبه روند افزایش
۳	۰۵/۱۵/۲۰۰۴	۱۳۸۳/۰۲/۲۶	ماهواره‌ای	مرکز ملی مطالعات خزر	محاسبه روند کاهش
۴	۰۱/۲۵/۲۰۱۳	۱۳۹۱/۱۱/۰۶	ماهواره‌ای	گوگل ارث	محاسبه روند کاهش
۵	۱۲/۲۴/۲۰۱۴	۱۳۹۳/۱۰/۰۳	ماهواره‌ای	گوگل ارث	محاسبه روند کاهش
۶	۱۲/۲۰/۲۰۱۶	۱۳۹۵/۰۹/۳۰	ماهواره‌ای	گوگل ارث	صحت سنجی پیشبینی
۷	۱۲/۰۳/۲۰۱۸	۱۳۹۷/۰۹/۱۲	ماهواره‌ای	گوگل ارث	صحت سنجی پیشبینی

۴-۴-۲ زمین مرجع نمودن تصاویر

قبل از استخراج خطوط ساحلی از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای لازم است تا ابتدا نسبت به زمین مرجع^۱ کردن تصاویر اقدام نمود. برای این منظور از ابزار مربوط به زمین مرجع کردن نرم افزار آرک-مپ از مجموعه آرک-جی‌آی‌آس استفاده شد. لازم به ذکر است که خطای جزر میانگین مربعات^۲ (RMSE) در تمامی مراحل زمین مرجع سازی کمتر از عدد یک بوده است. شکل ۴-۹ تصاویر هوایی موزاییک شده و زمین مرجع شده‌ی مربوط به سال ۱۳۷۳ (۱۹۹۴ میلادی در جدول ۴-۱) را بر روی تصویر سال ۱۳۶۲ (۱۹۸۳ میلادی در جدول ۴-۱) نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است که مبنای زمین مرجع سازی تصاویر، تصاویر مربوط به سال ۱۳۶۲ بوده که علاوه بر اینکه پایه مدلسازی و سال شروع بازه مدلسازی با سناریوی افزایش تراز دریایی خزر بوده است، در هنگام دریافت آن از مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، قبلاً توسط آن مرکز با استفاده از نقاط کنترل زمینی زمین مرجع شده‌اند.

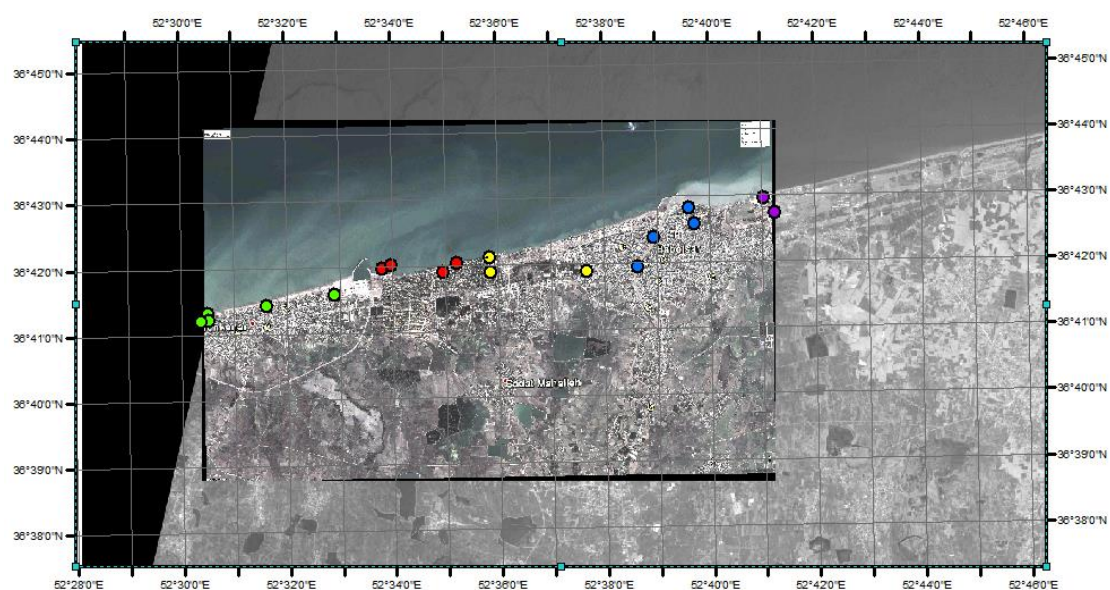


شکل ۴-۹ تصاویر زمین مرجع شده سال ۱۳۷۳ نسبت به تصاویر سال ۱۳۶۲ (دایره‌های رنگی نقاط کنترل می-باشند).

^۱ Georeference

^۲ Root Mean Square Error

بدین ترتیب و با همین رویه سایر تصاویری که جهت مدلسازی سناریوی کاهش تراز آب دریای خزر، صحت سنجی و پیش‌بینی (که در جدول ۴-۱ شرح آن آمده است) مورد استفاده قرار گرفته‌اند، زمین مرجع گردیدند. به عنوان نمونه، شکل ۴-۱۰ تصویر ماهواره‌ای مربوط به سال ۱۳۹۱ (۲۰۱۲ میلادی در جدول ۴-۱) را بر روی تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۸۳ (۲۰۰۴ میلادی در جدول ۴-۱) نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰ تصویر زمین مرجع شده سال ۱۳۹۱ نسبت به تصاویر سال ۱۳۸۳.

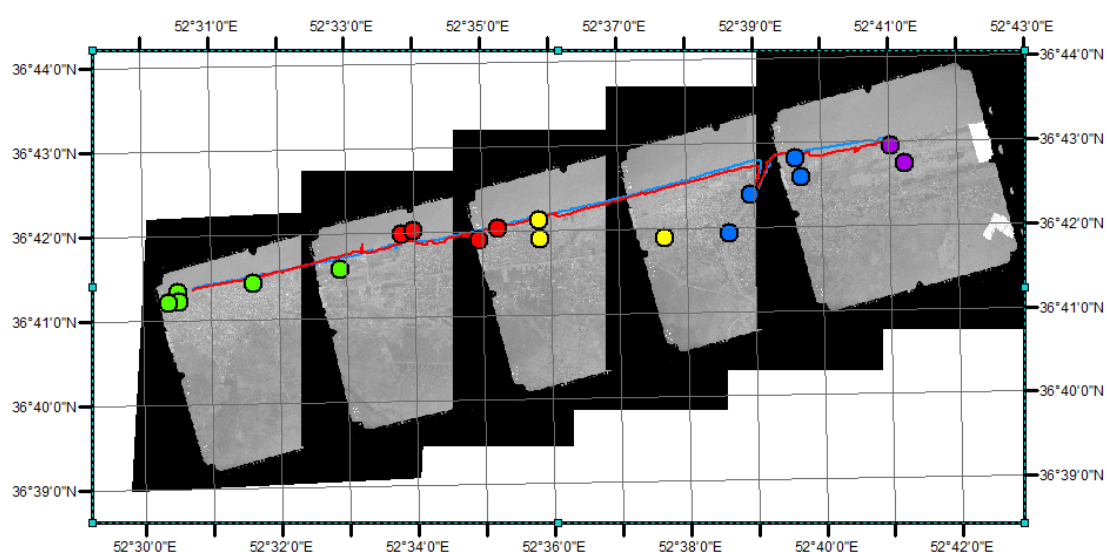
۴-۴-۳ رقومی‌سازی خطوط ساحلی

برای رقومی‌سازی^۱ و برداشت خطوط ساحلی، چندین شاخص مثل خط رویش گیاهی، خط مد، خط جزر و نهایتاً خط تری/خشکی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند [۶۴]. در صورتی که خط ساحلی با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر هوایی رقومی‌سازی شوند، رصد کردن ناحیه پاشش^۲ (ناحیه‌ی اثر موج بر روی ساحل) دشوار است درحالی‌که خط آب، خط رویش گیاهی و خط خشکی/تری به سادگی می‌توانند از طریق تفسیر تصاویر هوایی و ماهواره‌ای تعیین گردند [۶۹]. از آنجایی‌که خط رویش گیاهی در سرتاسر طول ساحل مورد مطالعه وجود نداشته و برداشت خط لحظه‌ای آب نیز عدم قطعیت‌های بزرگی را در محاسبات

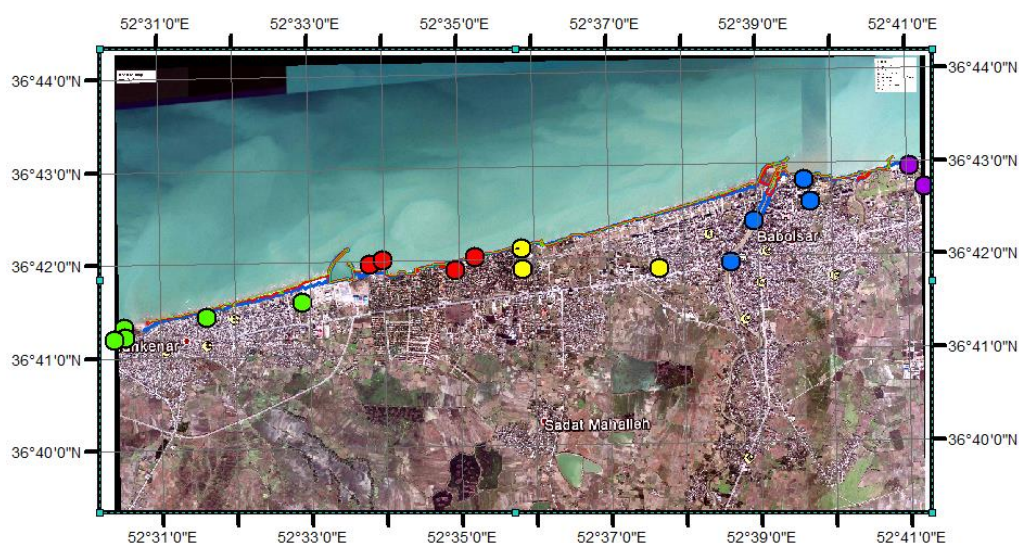
^۱ Digitizing

^۲ Swash zone

وارد می‌سازد، از شاخص خط تری/خشکی برای برداشت خطوط ساحلی استفاده گردید. تصاویر ۴-۱۱ و ۴-۱۲ به ترتیب نشانگر خطوط ساحلی پروژه در سناریوی افزایش سطح آب (۱۳۶۲ تا ۱۳۷۳) و کاهش سطح آب (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳) می‌باشند. طول خط ساحل برداشت شده برای سال ۱۳۶۲ برابر با ۲۲/۱۰۸ کیلومتر و برای سال ۱۳۷۳ برابر با ۲۱/۳۳۹ کیلومتر بوده است. همچنین در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ این مقدار به ترتیب ۲۶/۰۱۲، ۲۶/۲۳ و ۲۶/۴۰۶ کیلومتر می‌باشد.



شکل ۴-۱۱ خطوط ساحلی رقومی‌سازی شده سال‌های ۱۳۶۲ (آبی) و ۱۳۷۳ (قرمز)



شکل ۴-۱۲ خطوط ساحلی رقومی‌سازی شده سال‌های ۱۳۸۳ (آبی)، ۱۳۹۱ (قرمز) و ۱۳۹۳ (سبز)

۴-۴-۴ محاسبه مقادیر عدم قطعیت

عدم قطعیت در برداشت خط ساحلی یکی از ورودی‌های اصلی سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی بوده و مقدار آن به شدت در به دست آمدن نتایج قابل اطمینان از مدلسازی به وسیله این مدل دارای اهمیت خواهد بود [۶۴]. این کمیت بر اساس خطاهای نمونه‌گیری، اندازه‌گیری و آماری در برداشت هر خط ساحلی، محاسبه شده و اثرات آن‌ها به وسیله این پارامتر در محاسبات مدل به منظور تحویل نتایج قابل اعتماد لحاظ می‌گردد [۶۴، ۷۲]. بر اساس فعالیت‌های هاپک^۱ و همکاران [۷۳] و همچنین جوناه و همکاران^۲ [۷۲]، برای هر یک از خطوط ساحلی مقادیر عدم قطعیت به شرح جدول ۴-۲ در این پروژه لحاظ گردیده‌اند.

جدول ۴-۲ مقادیر عدم قطعیت در برداشت هر خط ساحلی در بازه مدلسازی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳

شماره (شماره در جدول ۱-۴)	تاریخ برداشت میلادی (سال/روز/ماه) شمسی (روز/ماه/سال)	عدم قطعیت زمین مرجع سازی (U_g) (متر)	عدم قطعیت رقومی سازی (U_d) (متر)	عدم قطعیت تراز سطح آب (U_{pd}) (متر)
۱ (۳)	۰۵/۱۵/۲۰۰۴ ۱۳۸۳/۰۲/۲۶	۰	۱	۵/۸۲
۲ (۴)	۰۱/۲۵/۲۰۱۳ ۱۳۹۱/۱۱/۰۶	۰/۹۱	۱	۴/۶۶
۳ (۵)	۱۲/۲۴/۲۰۱۴ ۱۳۹۳/۱۰/۰۳	۰/۸۴	۱	۵/۱۶

عدم قطعیت زمین مرجع سازی است به استناد به هاپک و همکاران [۷۳] برابر با مقدار خطای جزر میانگین مربعات در هنگام زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی در نظر گرفته شده که در این پروژه در هنگام انجام عملیات مربوط به بخش ۴-۴-۲ مقادیر ذکر شده یادداشت گردیدند. مجدداً با استناد به هاپک و همکاران [۷۳] عدم قطعیت رقومی سازی نیز با توجه به مطالعات بسیاری که در این زمینه انجام گرفته شده است به میزان یک متر انتخاب گردید. در آخر عدم قطعیت تراز سطح آب که از اصلاح رابطه

^۱ Hapke et al.

^۲ Jonah et al.

بالاروی موج بر روی سطح شیبدار ساحل تعریف می‌شود، بنا به اقدامات استکدون و همکاران^۱ [۷۴] و مجدداً هاپک و همکاران [۷۳] از طریق رابطه ۴-۱ تعریف می‌شود.

$$U_{pd} = \frac{Z_1 + 1.1(0.35 \tan \beta (H_0 L_0)^{1/2} + \frac{[H_0 L_0 (0.563 \tan \beta^2 + 0.004)]^{1/2}}{2}) - Z_2}{\tan \beta} \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

که در آن Z_1 تراز لحظه‌ای آب، β شیب ساحل، H_0 ارتفاع موج مشخصه آب عمیق، L_0 طول موج آب عمیق و Z_2 تراز آب میانگین سالیانه می‌باشد. بنا بر اطلاعات به دست آمده از مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر در رابطه با خصوصیات امواج منطقه و همچنین جداول اندازه‌گیری تراز سطح آب ماهیانه، مقادیر لازم جهت کاربرد در رابطه ۴-۱ و مقادیر محاسبه شده برای آن‌ها در جدول ۴-۳ آورده شده‌اند.

جدول ۴-۳ مقادیر عدم قطعیت در تراز آب هر خط ساحلی در بازه مدلسازی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳

شماره (شماره در جدول ۴-۱)	تاریخ برداشت میلادی (سال/روز/ماه) شمسی (روز/ماه/سال)	L_0 (متر)	H_0 (متر)	β (درصد)	Z_1 (متر)	Z_2 (متر)	عدم قطعیت تراز آب (U_{pd}) (متر)
۱ (۳)	۰۵/۱۵/۲۰۰۴ ۱۳۸۳/۰۲/۲۶	۹۵/۰۳	۲/۳	۰/۱۸	-۲۶/۰۳	-۲۶/۱	۵/۸۲
۲ (۴)	۰۱/۲۵/۲۰۱۳ ۱۳۹۱/۱۱/۰۶	۹۵/۰۳	۲/۳	۰/۱۸	-۲۶/۷۴	-۲۶/۶	۴/۶۶
۳ (۵)	۱۲/۲۴/۲۰۱۴ ۱۳۹۳/۱۰/۰۳	۹۵/۰۳	۲/۳	۰/۱۸	-۲۶/۷۶	-۲۶/۷۱	۵/۱۶

در نهایت با ترکیب مقادیر عدم قطعیت‌های شمرده شده در جدول ۴-۲، از طریق رابطه ۴-۲ مقدار نهایی عدم قطعیت برای هر خط ساحلی به صورت جداگانه محاسبه می‌شود [۷۳].

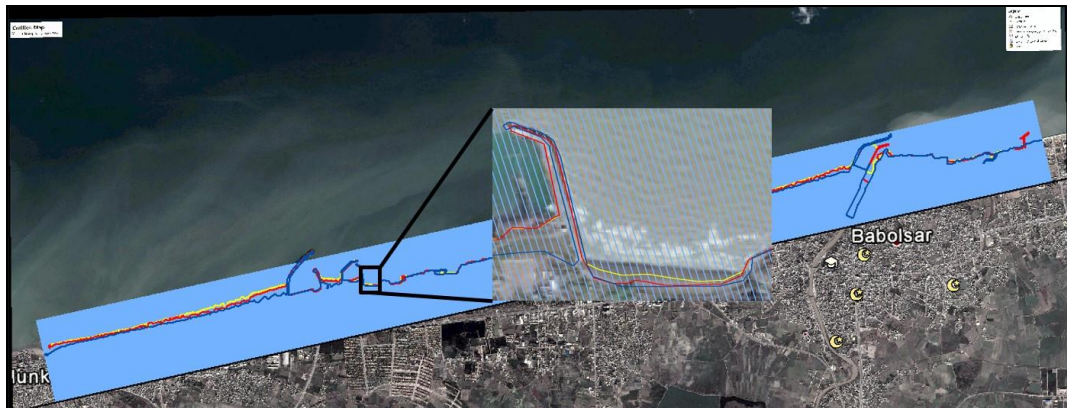
$$U_p = \sqrt{U_g^2 + U_d^2 + U_{pd}^2} \quad \text{رابطه (۴-۲)}$$

¹ Stockdon et al.

بدین ترتیب مقادیر نهایی به دست آمده از طریق رابطه ۴-۲ برای خطوط ساحلی سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ به ترتیب برابر با ۵/۹ متر، ۴/۸۵ متر و ۵/۳۲ متر محاسبه گردیدند. این مقادیر برای هر خط ساحلی در سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی ثبت شده و مطابق با بخش ۳-۵-۵ و شکل ۳-۹ از فصل سوم، اثر خود را در نرخ تغییرات رگرسیون خطی وزن دار نشان خواهد داد. نکته قابل توجه این است که در بازه مدلسازی مابین ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۳ (سناریوی افزایش تراز آب)، بدلیل فقدان تصاویر ماهواره‌ای یا عکس‌های هوایی و حتی برداشت میدانی خط ساحل در سال‌های میانی، با توجه به بخش ۳-۵ از فصل سوم عملاً رگرسیون گیری از داده‌ها صورت نگرفته و محاسبه عدم قطعیت عملاً بی‌فایده خواهد بود. بنابراین از محاسبه آن برای این سناریو صرف نظر گردید.

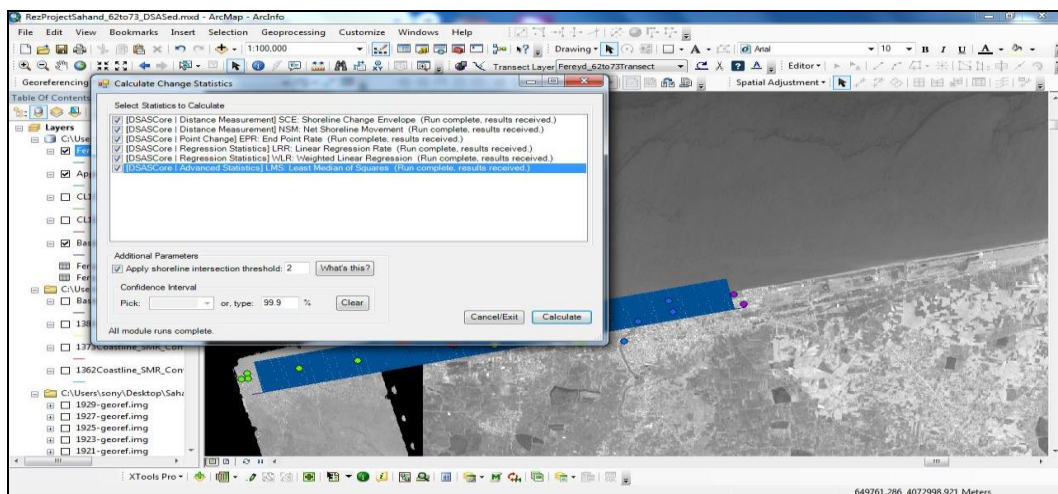
۴-۴-۵ آماده سازی مدل و محاسبه نرخ تغییرات

به منظور انجام محاسبات نرخ تغییرات خط ساحل توسط سیستم تحلیل رقومی، علاوه بر خطوط ساحلی بایستی خط مبنا و تنظیمات اولیه در مدل نیز تعیین گردند. در همین راستا خط مبنایی با پیروی از امتداد عمومی ساحل (آزیموت ۷۷ درجه) در قسمت خشکی و با راستای جنوب غربی به شمال شرقی، در نظر گرفته شد. در گام بعد مقاطع عرضی با فواصل ۱۰ متر از هم و با طول ۱۳۰۰ متر به صورت عمود از خط مبنا ترسیم شده تا بردارهای خطوط ساحلی را قطع نماید. در این پروژه جهت بالاتر رفتن دقت محاسبات تنها مقاطعی که تمام خطوط ساحلی را قطع نمایند (در سناریوی اول ۲ خط ساحلی و سناریوی دوم ۳ خط ساحلی) وارد محاسبات شده‌اند که تعداد آن‌ها به ترتیب ۱۵۴۹ و ۱۵۱۹ مقطع عرضی است. شماره‌گذاری مقاطع عرضی از شماره ۱ در غربی‌ترین قسمت خط ساحل شروع شده و به شرقی‌ترین مقطع ختم می‌شود. به عنوان نمونه، خط مبنا و مقاطع عرضی وارد شده به خطوط ساحلی در سناریوی دوم در شکل ۴-۱۳ به نمایش درآمده‌اند.



شکل ۴-۱۳ خط مبنا و مقاطع عرضی وارد شده به خطوط ساحلی سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳

هنگامیکه نقاط محاسبه از تقاطع مقاطع عرضی با خطوط ساحلی به دست آمدند، محاسبات آماری شاخص-های دامنه تغییرات، جابجایی خالص، نرخ تغییرات نقطه نهایی و نرخ تغییرات رگرسیون خطی از طریق اجرای مدل برای هر دو سناریو صورت گرفت. همچنین به علت مقدار عدم قطعیت بحث شده در بخش ۴-۴، نرخ تغییرات رگرسیون خطی وزن‌دار برای سناریوی دوم بر خلاف سناریوی اول قابل محاسبه بوده که محاسبات آن نیز انجام پذیرفته است. نتیجه اجرای مدل، به تفکیک هر یک از شاخص‌ها و در امتداد هر یک از مقاطع عرضی، به صورت خودکار در پایگاه داده مدل تحت عنوان جدول نرخ تغییرات ذخیره خواهد شد. شکل ۴-۱۴ تصویری از محیط نرم افزار در حین اجرای سیستم تحلیل رقومی را برای بازه مدل‌سازی اول نمایش می‌دهد.



شکل ۴-۱۴ تصویری از محیط نرم افزار در حین اجرای سیستم تحلیل رقومی در بازه ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۳.

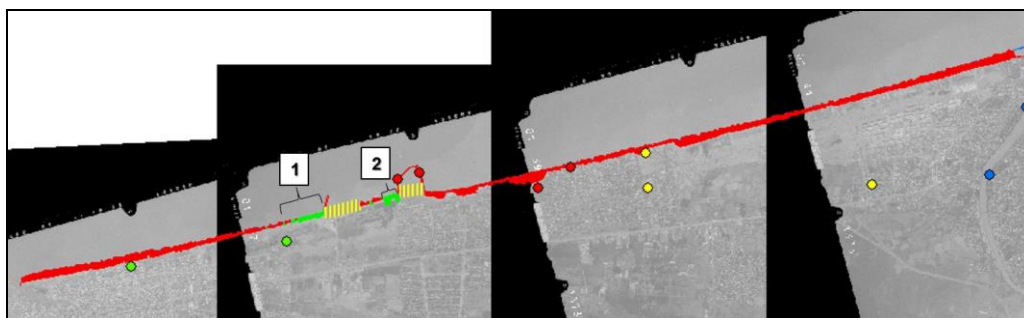
فصل پنجم نتیج و تحلیس

۱-۵ مقدمه

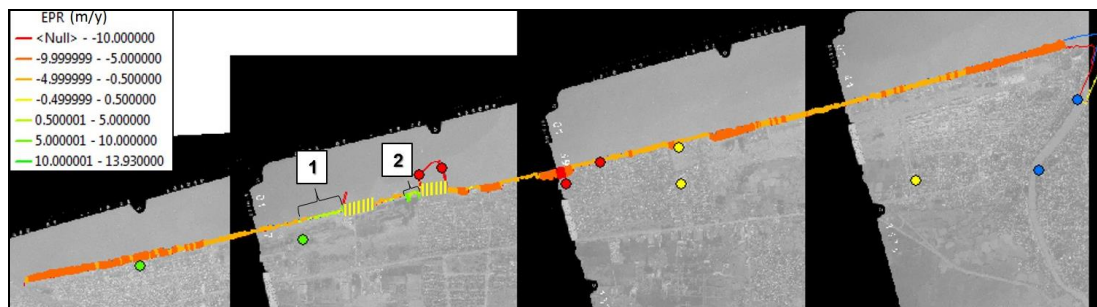
در فصل چهارم نحوه مدلسازی جهت مطالعه بر روی تغییرات خط ساحلی با استفاده از ابزار سیستم تحلیل رقومی خطوط ساحلی تشریح گردید. نتایج به دست آمده از اجرای نرم افزار در قالب جداول خام و پردازش نشده بوده و در ازای هر مقطع عرضی محاسبات آماری مربوط به آن ثبت گردیده است. بدیهی است که به علت حجم بالای داده‌های مذکور، صرفاً با مشاهده جداول یاد شده، درک جامع و صحیحی از وضعیت منطقه به دست نخواهد آمد. بنابراین پردازش داده‌ها به صورت گرافیکی و سپس تحلیل کمی نتایج از جمله ضروریات پروژه‌های اینچنینی بوده که در این فصل به آن پرداخته شده و در انتها نتایج مورد تحلیل قرار خواهند گرفت.

۲-۵ پردازش گرافیکی نتایج و تحلیل حاصل از مدلسازی سناریوی اول

با توجه به روندنمای حل مساله در فصل چهارم (شکل ۴-۸)، با هدف رصد کردن واکنش خط ساحل مورد مطالعه در شرایط افزایش تراز سطح آب، مدلسازی در بازه سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۳ صورت پذیرفت. نتایج این مدلسازی در قالب جداول آماری در اختیار بوده که پس از پردازش، در قالب اشکال ۱-۵ و ۲-۵ ارائه شده‌اند. قسمت‌های هاشور زرد و خاکستری رنگ محل سازه‌های انسان ساخت می‌باشند.



شکل ۱-۵ قسمت‌های رسوب‌گذاری شده (رنگ سبز) و قسمت‌های فرسایش یافته (رنگ قرمز) در بازه مدلسازی ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۳.

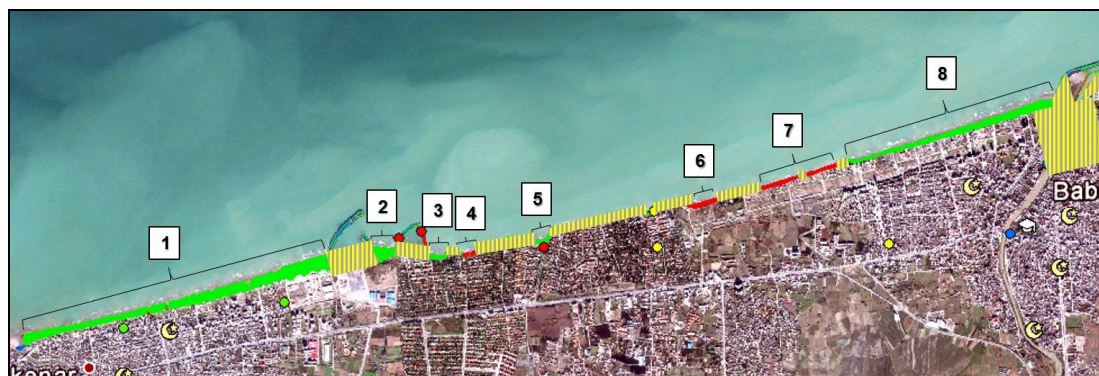


شکل ۵-۲ نرخ تغییر خط ساحلی در بازه مدلسازی ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۳.

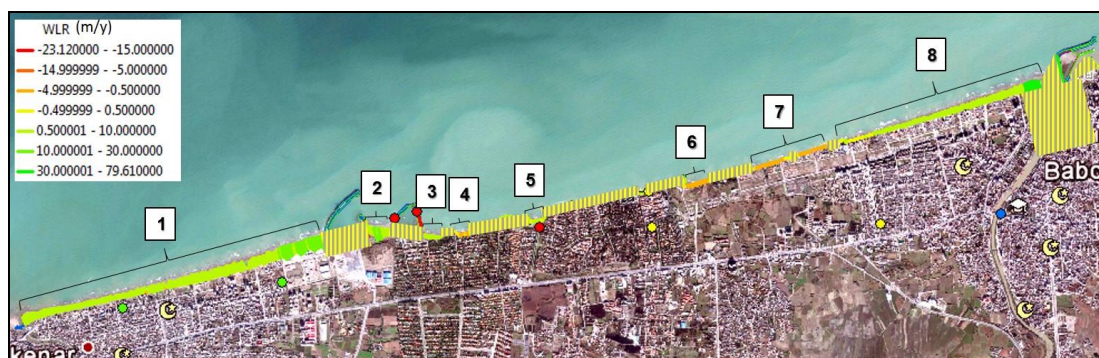
با استناد به شکل ۵-۱، در بازه سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۳ که تراز سطح آب دایما با افزایش روبرو است، با توجه به شیب کم ساحل مطابق با انتظار فرسایش زیادی در طول خط ساحل رخ داده است. چرا که به عنوان یک قاعده کلی در سواحل با شیب عمومی کم، حتی مقادیر جزئی در افزایش و یا کاهش تراز سطح آب می‌تواند به ترتیب باعث فرسایش و خشکی‌زایی در آن شود. اما نکته جالب توجه در این تحلیل مناطق شماره ۱ و ۲ در شکل ۵-۱ بوده که علیرغم افزایش تراز سطح آب تا حدود ۱/۵ متر (با توجه به شکل ۴-۲ از فصل چهارم) در بازه زمانی ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۳، در اثر پدیده به دام افتادن رسوبات کرانه‌ای در پشت بازوی موجشکن‌های عمود بر ساحل، رسوب‌گذاری اتفاق افتاده است. وسعت خشکی‌زایی شده در منطقه شماره ۱ در حدود ۴۷۶۰ متر مربع و در منطقه شماره ۲ حدوداً ۶۸۵۰ متر مربع می‌باشد. از بررسی این دو عامل در کنار هم اینگونه استنباط می‌شود که حجم رسوبات کرانه‌ای به دام افتاده در پشت بازوهای موجشکن به گونه‌ای بوده است که افزایش تراز ۱/۵ متری آب قادر به مغروق کردن آن نواحی نبوده است. ضمن آنکه با توجه به پیشینه ارائه شده در رابطه با فرآیند ساخت بندر در فصل چهارم (بخش‌های ۴-۳-۱ و ۴-۳-۲) بازوی موجشکن ساخته شده در جوار منطقه شماره ۱، در سال آخر بازه مدلسازی یعنی سال ۱۳۷۳ شروع به ساخت خود را آغاز نموده است. این مسئله خود به تنهایی بیانگر این است که در سال‌های آینده انتظار می‌رود که رفته رفته از سطح رسوب‌گذاری شده در ناحیه ۲ کاسته شده و به سطح رسوب‌گذاری در ناحیه ۱ اضافه گردد.

۳-۵ پردازش گرافیکی نتایج و تحلیل حاصل از مدلسازی سناریوی دوم

به منظور پایش خط ساحل در شرایط کاهش سطح آب نیز همانگونه که در فصل چهارم شرح آن داده شد، مدلسازی در بازه زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ انجام شده و نتایج پردازش شده آن در شکل ۳-۵ و ۴-۵ ارائه شده-اند. قسمت‌های هاشور خورده زرد و خاکستری رنگ محل سازه‌های انسان ساخت می‌باشند.



شکل ۳-۵ قسمت‌های خشکی‌زایی شده (رنگ سبز) و قسمت‌های فرسایش یافته (رنگ قرمز) در بازه مدلسازی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳.



شکل ۴-۵ نرخ تغییر خط ساحلی در بازه مدلسازی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳.

در بازه دوم مدلسازی، ساحل مورد مطالعه به تبعیت از سایر نواحی دریایی خزر با کاهش تراز سطح آب روبرو بوده است. بنا به همان قاعده کلی ذکر شده قبلی، در پی کاهش تراز آب در نواحی ساحلی با شیب کم خشکی‌زایی پدیده غالب خواهد بود. این مسئله در پشت بازوهای موجشکن تاسیسات دریایی به علت به دام افتادن رسوبات کرانه‌ای دچار تشدید خواهد شد که در مناطق شماره ۱ و ۸ از شکل ۳-۵ این مساله به خوبی قابل مشاهده است. چرا که با دقت در شکل ۴-۵ که نرخ تغییرات خط ساحل را در واحد متر بر سال نشان

داده است، در نزدیکی چسبیده به این سازه‌ها شدت رنگ سبز بیشتر شده که نشان دهنده مقادیر بزرگتر تغییرات خشکی‌زایی در هر سال و نمایشگر جهت عمومی انتقال رسوبات کرانه‌ای از سمت غرب به شرق است. تحلیل خشکی‌زایی در مناطق شماره ۲ و ۳ نیازمند بررسی دقیق‌تر این ناحیه می‌باشد. شکل ۵-۵ نمای نزدیک این دو ناحیه را نمایش داده است.



شکل ۵-۵ شواهدی از وجود لکه‌های رسوبی در حوضچه بندرهای فریدونکنار و دریابانی.

شکل ۵-۵ که مربوط به سال ۲۰۱۸ میلادی می‌باشد، با توجه به پردازش مناسبی که بر روی بازتاب طیف موج برگشتی صورت پذیرفته است، وجود لکه‌های رسوبی در دهانه موجشکن‌ها و حوضچه بندر را تایید می‌کند. هرچند که بررسی عملکرد بازوهای موجشکن بندر در برابر وضعیت رسوبی از اهداف این تحقیق نبوده اما مشاهده لکه‌های رسوبی ذکر شده در کنار خشکی‌زایی افتاده در مناطق شماره ۲ و ۳ شکل ۵-۳، این فرضیه را مطرح می‌سازد که ممکن است در اثر جانمایی غیر بهینه دهانه بندر و یا عدم طراحی هندسی مناسب بازوهای موجشکن، مساله کنارگذری رسوب افتاده باشد. هرچند بایستی توجه نمود که کاهش تراز آب در بازه زمانی مدلسازی نیز خود به تنهایی می‌تواند عامل قدرتمندی در خشکی‌زایی این دو منطقه باشد که بحث در این رابطه پس از تحلیل مناطق ۴، ۵، ۶ و ۷ و استفاده از نتایج آن ادامه داده خواهد شد. وجود لکه‌های رسوبی در اثر انتقال رسوب عمود بر ساحل نیز می‌توانست یکی دیگر از دلایل وجود لکه‌های

رسوبی در حوضچه‌ها باشد که با توجه به فرسایش اتفاق افتاده در مناطق ۴، ۶ و ۷ چندان محتمل به نظر نمی‌رسد.

در مناطق شماره ۴، ۶ و ۷ در شکل ۵-۳ پدیده فرسایش مشاهده شده و در منطقه ۵ تقریباً خط ساحل بدون تغییر باقی مانده است. با توجه به بودجه منفی رسوبات در پایین دست سازه‌های عمود بر ساحل (بنا به بخش ۲-۲-۳-۱ از فصل دوم) این پدیده توجیه‌پذیر خواهد بود اما بایستی کاهش تراز سطح آب که عمدتاً خشکی‌زایی را به همراه خواهد داشت را نیز در نظر داشت که توجه توأمان به این دو مسئله از غلبه اثر فقدان بودجه رسوبی بر مساله خشکی‌زایی ناشی از کاهش تراز آب حکایت دارد. حال، این امکان وجود دارد که مجدداً به بررسی و تحلیل رسوب‌گذاری (یا خشکی‌زایی) در مناطق ۲ و ۳ پرداخته شود. چنانچه که مشخص شد در مناطق ۴، ۶ و ۷ اثر فقدان بودجه رسوبی در محدوده مورد مطالعه بر مساله خشکی‌زایی ناشی از کاهش تراز آب ارجحیت دارد، بنابراین پیشرفت خط ساحل در مناطق ۲ و ۳، با مساله کنارگذری رسوب توجیه مناسب‌تری نسبت به خشکی‌زایی ناشی از افت تراز آب می‌باشد. زیرا اگر کنارگذری رسوب حادث نمی‌شد، بودجه رسوبی در این دو منطقه نیز همانند مناطق ۴، ۶ و ۷ با توجه به پایین بودن آن‌ها نسبت به موجشکن‌ها منفی بوده و بایستی فرسایش اتفاق می‌افتاد. در نهایت برای قسمت‌های ۲ و ۳ با توجه به ریشه‌یابی که صورت گرفت، گزینش واژه‌ی رسوب‌گذاری نسبت به خشکی‌زایی پیشنهاد می‌گردد. ضمناً با توجه به محاسبات انجام شده، سطح رسوب‌گذاری در منطقه شماره ۱، در حدود ۲۶۸۲۶۴ متر مربع و در منطقه شماره ۸، در حدود ۸۴۶۰۴ متر مربع می‌باشد.

۵-۴ نحوه پیش‌بینی و صحت سنجی مدل

با توجه به آنکه نرخ تغییرات خط ساحلی در هر دو سناریوی افزایش تراز سطح آب و کاهش آن به دست آمده است، امکان پیش‌بینی تغییرات خط ساحل در آینده وجود دارد. بدین صورت که نرخ تغییرات که در واحد متر بر سال بوده و به ازای هر مقطع عرضی از خط ساحل موجود می‌باشد، کافی است تا در بازه زمانی مورد نظر در واحد سال ضرب گردیده تا موقعیت جدید خط ساحل به ازای هر مقطع عرضی تحت عنوان پیش‌بینی تعیین گردید.

به منظور صحت سنجی و اطمینان از صحت عملکرد مدل پیشنهاد شده، اقدام به پیش‌بینی یک خط ساحل و مقایسه آن با مقدار واقعی آن شد. مجدداً یادآوری می‌گردد که مدلسازی سناریوی دوم سال ۱۳۸۳ (۲۰۰۴ میلادی) تا سال ۱۳۹۳ (۲۰۱۴ میلادی) را پوشش داده است. از تصاویر ماهواره‌ای موجود و با کیفیت لازم در تاریخ بعد از ۲۰۱۴ میلادی جهت صحت سنجی مدل استفاده شد. شکل ۵-۶ مقایسه گرافیکی بین خط ساحل پیش‌بینی شده با مقدار واقعی آن که مربوط به تاریخ ۳ دسامبر ۲۰۱۸ می‌باشد را نمایش می‌دهد.



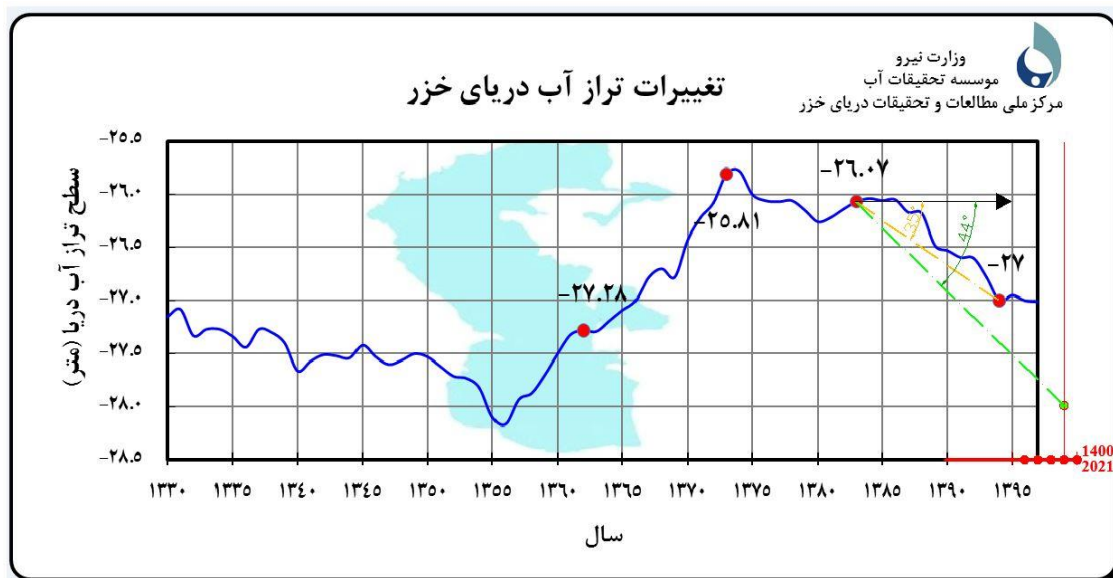
شکل ۵-۶ مقایسه گرافیکی خط ساحل پیش‌بینی شده (خط سبز) با مقدار واقعی آن (خط قرمز) در سال ۲۰۱۸.

در ادامه علاوه بر مقایسه گرافیکی، به صورت آماری نیز دقت این پیش‌بینی مورد ارزیابی قرار گرفت.

در مناطق نشان داده شده ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ در شکل ۵-۶، میانگین خطای پیش‌بینی به ترتیب ۵/۵، ۱۷/۳۸، ۹/۱۹، ۷/۸۶، ۱/۹۳، ۸/۷، ۱۳/۷۳ و ۴/۳۶ بوده است. همچنین مقادیر RMSE (خطای جذر میانگین مربعات) پیش‌بینی برای مناطق مذکور به ترتیب ۶/۵۲، ۴/۱۶، ۲/۱۴، ۲/۱۹، ۱/۱۳، ۳/۵۳، ۲/۶۱، ۰/۴۸ بدست آمد. این درحالی است که خطوط ساحلی برداشت شده در بازه مدلسازی بنا بر بخش ۴-۴-۴ از فصل چهارم هر کدام در حدود ۵ متر عدم قطعیت در برداشت را دارا بوده‌اند که این مساله از دقت مناسب پیش‌بینی مذکور در بیشتر مناطق آن اشاره دارد. نکته دیگری که بایستی به آن توجه داشت این است که مدل تحلیل رقومی ساحلی همواره در مناطقی که تحت تاثیر چرخه طبیعی فرسایش/رسوبگذاری عمل می‌نمایند، همواره عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهند [۷۵]. در این تحقیق نیز مناطق شماره ۱ و ۸ به علت طولانی بودن خط ساحلی مورد مطالعه و سپری شدن مدت زمان نسبتاً مناسب (به نحوی که سواحل این مناطق توانسته‌اند واکنش طبیعی خود را نسبت به سازه پایین دست خود پیدا کنند) نتایج قابل اعتمادتری را ارائه می‌دهند. همانگونه که رضایی و همکاران [۷۵] در نتیجه بررسی عملکرد سیستم تحلیل رقومی ساحلی در مقایسه با مدلسازی عددی، با تاکید بر دقت مناسب‌تر این مدل نسبت به مدل‌های عددی در سواحل بدون مداخله انسانی، برای پیش‌بینی خط ساحل در مناطق تحت مداخله انسانی (مثل مناطق ۲ تا ۷ در تحقیق حاضر)، مدل‌های عددی را پیشنهاد می‌نمایند.

۵-۵ پیش‌بینی موقعیت خط ساحل در سال ۲۰۲۰ میلادی

با توجه به آنکه در بخش ۵-۳، پیش‌بینی و مقایسه‌ی به عمل آمده برای وضعیت معلوم سال ۲۰۱۸ مورد رضایت واقع شد، نسبت به پیش‌بینی خط ساحل در یک موقعیت زمانی مشخص در آینده نیز اقدامی صورت گرفت. قبل از تشریح این بخش لازم است تا بار دیگر به نمودار تراز سطح دریای خزر (شکل ۴-۲ از فصل چهارم) دقت شود. شکل ۵-۷ نمودار اصلاح یافته‌ای را ارائه می‌دهد که در ادامه توضیحات لازم پیرامون آن ارائه شده است.



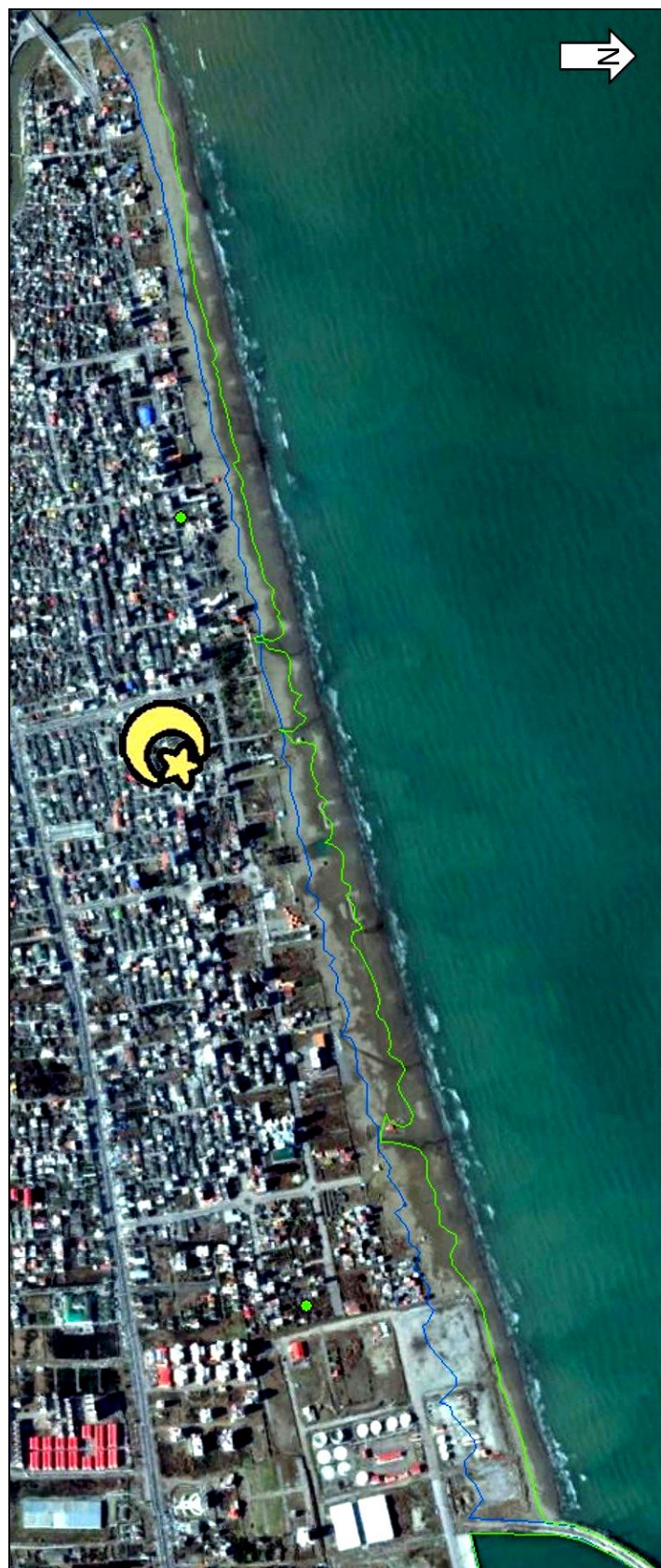
شکل ۵-۷ نمودار اصلاح شده تراز سطح آب خزر

در شکل ۵-۷ و همین‌طور شکل ۴-۲ مشاهده می‌گردد که در سال ۱۳۹۵ (۲۰۱۶ میلادی)، نسبت به آخرین سال در بازه مدلسازی (۱۳۹۳) افزایش تراز سطح آب رخ داده است. موقعیت خطوط ساحلی سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳ بر روی تصویر ماهواره‌ای مربوط به سال ۱۳۹۵ در شکل ۵-۸ نشان داده شده است. از آنجاییکه سطح آب خزر در سال ۱۳۹۵، با استناد به تصویر ۵-۷ یا ۴-۲ از لحاظ ارتفاعی مابین ارتفاع آب در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳ واقع شده است، در تصویر ۵-۸ نیز مشاهده می‌شود که خط تری/خشکی مربوط به سال ۱۳۹۵ (شاخص برداشت خط ساحلی در مدلسازی‌های این تحقیق خط تری/خشکی بوده است)، مابین

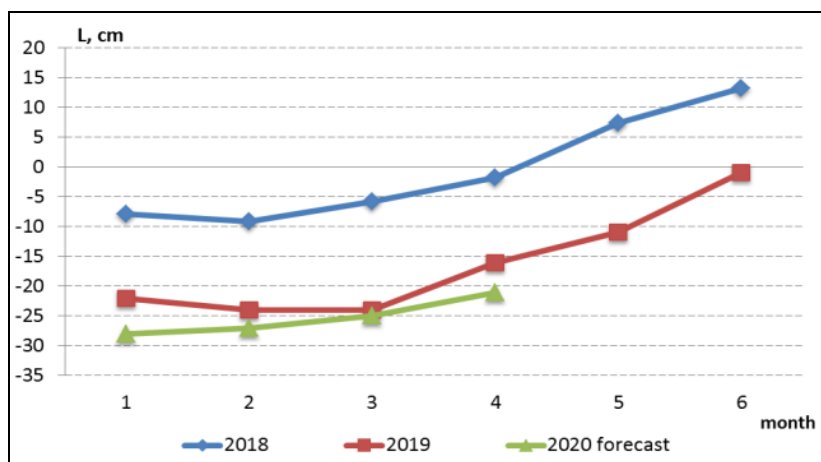
خطوط ساحل‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳ قرار گرفته است. این مساله در کنار صحت سنجی انجام شده در بخش قبل، نشان دهنده تاثیر پذیری بالای سواحل مورد مطالعه قرار گرفته در این تحقیق، از تراز سطح آب می-باشد. در نتیجه پیش‌بینی تغییرات آینده در این منطقه بدون لحاظ کردن اثر سطح آب میسر نیست. بنابراین برای پیش‌بینی موقعیت خط ساحل در آینده، در گام نخست بایستی پیش‌بینی مناسبی از تراز سطح آب دریای خزر در افق زمانی مورد پیش‌بینی در نظر گرفت.

در گزارشی که کمیته اندازه‌گیری هیدرومتریک دریای خزر^۱ در تاریخ ۳۰ سپتامبر ۲۰۱۹ منتشر کرده است [۷۶]، پیش‌بینی چهارماهه اول سال ۲۰۲۰ میلادی در رابطه با تراز آب دریای خزر ارائه شده که به تناسب از میزان خود در چهار ماهه اول سال ۲۰۱۹ نیز پایین‌تر بوده است (شکل ۵-۹).

¹ Coordination Committee on Hyrometerology of the Caspian Sea (CASPCOM)



شکل ۵-۸ خطوط ساحلی ۱۳۸۳ (آبی رنگ) و ۱۳۹۳ (سبز رنگ) در زمینه تصویر سال ۱۳۹۵.

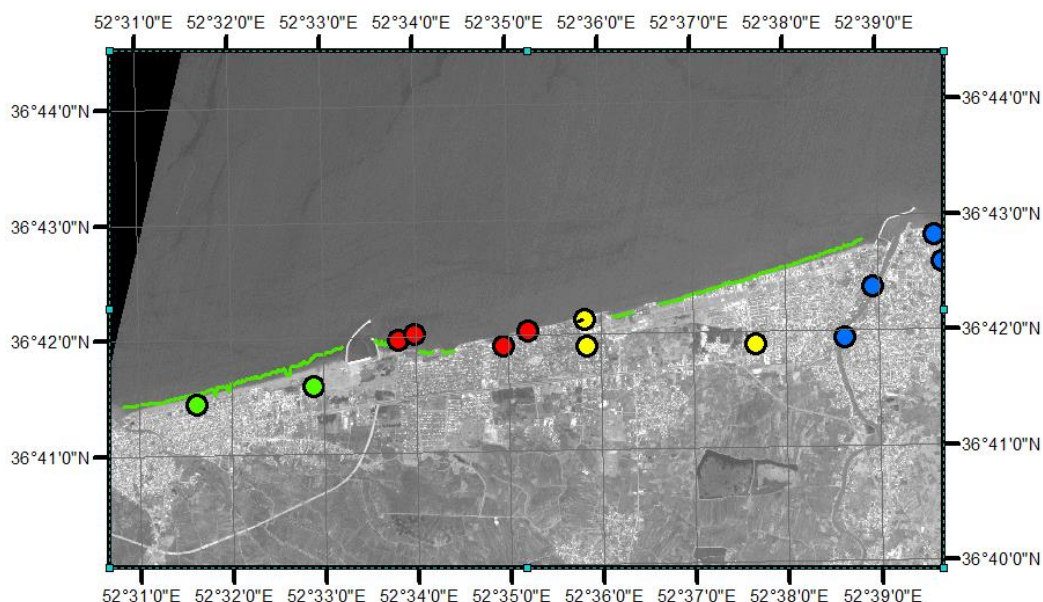


شکل ۵-۹ پیش‌بینی تراز میانگین سطح آب دریای خزر در چهار ماهه اول سال ۲۰۲۰ در مقایسه با شش ماهه سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ میلادی [۷۶].

با توجه به شکل ۵-۹ و با داشتن تراز میانگین سطح آب در چهارماهه نخست سال ۲۰۲۰، نسبت به پیش‌بینی موقعیت خط ساحل در ماه اول این سال که سطح آب در پایین‌ترین حالت قرار دارد اقدام صورت گرفت. بدیهی است که پیش‌بینی خط ساحل برای این تاریخ صرفاً جهت ارائه نمونه بوده و در بستر این چارچوب می‌توان به شرط داشتن تخمین مناسبی از تراز سطح آب در تاریخ مورد نظر، به پیش‌بینی موقعیت خط ساحل در آن زمان پرداخت. چرا که در مدلسازی صورت گرفته در این تحقیق تحت عنوان سناریو اول و سناریو دوم، نرخ تغییرات خط ساحل محدوده رودخانه فریدونکنار تا بابلسر چه در حالت افزایش تراز آب و چه در حالت کاهش آن محاسبه شده است. به علاوه نحوه تخمین موقعیت خط ساحل در آینده و ترسیم گرافیکی آن نیز در بخش ۵-۴ ارائه شده است.

در گام بعد کافی است تا مشابه با آنچه که در شکل ۵-۷ انجام شده است، تراز سطح آب در سال مورد نظر بر روی نمودار تعیین گردد؛ که در اینجا با استناد به شکل ۵-۹ مقدار ۲۸- متر برای ماه اول میلادی سال ۲۰۲۰ در نظر گرفته شده است. در ادامه روند این نمودار مشاهده می‌شود که همچنان سیر تغییرات سطح آب دریای خزر نزولی است. بنابراین بایستی از مقادیر نرخ تغییرات در بازه مدلسازی سناریوی دوم یعنی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ استفاده گردد. در گام آخر با توجه به آنکه پیشتر رابطه‌ی تاثیر پذیری موقعیت خط ساحل مورد مطالعه از تراز سطح آب دریای خزر مشخص شده بود (شکل ۵-۸)، به منظور

افزایش دقت پیش‌بینی با استفاده از زوایای خطوط منقطع سبز و نارنجی رنگ شکل ۵-۷ که سال مبدأ مدلسازی را به سال انتهای پیش‌بینی وصل می‌کند، ضریب اصلاحی برای نرخ تغییرات خط ساحل محاسبه شده در مدلسازی سناریوی دوم پیشنهاد گردید. بدین گونه که از تقسیم زاویه خط سبز رنگ (پیش‌بینی جدید) بر زاویه خط نارنجی رنگ (مدلسازی سناریوی دوم)، این ضریب به دست آمده که نرخ تغییرات خط ساحلی از سال ۱۳۸۳ به ۱۳۹۳ را به نرخ تغییرات آن از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۹ (۲۰۲۰) میلادی تبدیل می‌کند. خط ساحل پیش‌بینی شده برای ماه اول سال ۲۰۲۰ میلادی در پس‌زمینه تصویر سال ۱۳۸۳، در شکل ۵-۱۰ نمایش داده شده است.



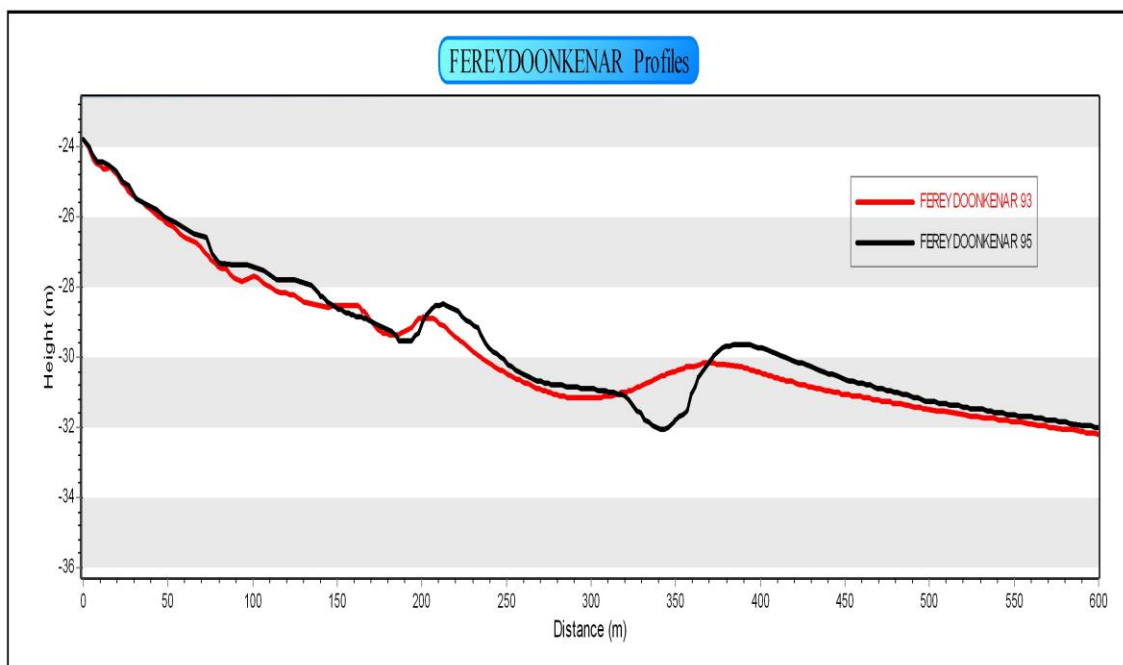
شکل ۵-۱۰ موقعیت خط ساحل پیش‌بینی شده برای ماه اول سال ۲۰۲۰ میلادی در پس‌زمینه تصویر سال ۲۰۰۴ (۱۳۸۳ میلادی).

۵-۶ برآورد نرخ انتقال رسوب کرانه ای منطقه مطالعاتی

با توجه به خطوط ساحلی سال‌های ۸۳ و ۹۳ که سال‌های شروع و پایان بازه مدلسازی برای سناریو کاهشی تراز آب بود، سطح خشکی‌زایی شده پشت بازوهای موجشکن بندر فریدونکنار و موجشکن بابلرود محاسبه شد. طبق شکل ۵-۱۱ که پروفیل عمود بر ساحل منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد، عمق فعال رسوبی برای منطقه ۴.۵ متر منطقی به نظر می‌رسد. از طرفی طبق بررسی‌های پایش مطالعات سواحل شمال کشور

عدد ۴.۵ متر برای عمق فعال رسوبی منطقه گزارش شده است. لذا با ضرب کردن مساحت‌های خشکی‌زایی شده در عمق فعال رسوبی منطقه تخمینی از حجم رسوبات به دام افتاده پشت بازوهای موجشکن‌ها به دست آمد.

در نهایت، با توجه به طول هریک از خطوط ساحلی سال‌های ۸۳ و ۹۳ و فاصله زمانی مابین این دو سال، برآوردی از نرخ انتقال رسوب کرانه‌ای منطقه بدست آمد. لازم به ذکر است که نرخ انتقال رسوب کرانه‌ای پشت بازوی موجشکن بابلرود به خاطر به دام افتادن رسوبات در بالادست با بودجه رسوبی کمتری مواجه شده و به همین علت مقدار آن از منطقه فریدونکنار کمتر است. مقادیر به دست آمده برای نرخ رانه‌ی ساحلی در جدول ۵-۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است که این نرخ انتقال رسوب کرانه‌ای در سناریو کاهش تراز آب بدست آمده است. لذا همه‌ی این موارد با هم‌افزایی اثر کاهش حدود ۱ متری تراز آب همراه بوده است.



شکل ۵-۱۱ مقاطع عمود بر ساحل سال‌های ۹۳ و ۹۵ منطقه فریدونکنار (مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر)

جدول ۵-۱ مقادیر نرخ رانه ساحلی در دوره کاهش تراز آب

شماره منطقه	سطح پدیدار خشکی زایی (مترمربع)	عمق فعال رسوبی (متر)	طول خط ساحل (متر)	حجم رسوب به دام افتاده (متر مکعب)	نرخ انتقال رسوب کرانه ای (مترمکعب بر سال)
منطقه ۱	۲۶۸۲۶۳/۸۳۵۲	۴/۵	۳۶۷۵/۸۹۶۵	۱۲۰۷۱۸۷/۲۵۸	۱۱۳۷۱۳/۹۴۶۷
منطقه ۸	۸۴۶۰۳/۹۷۲۴	۴/۵	۲۴۱۲/۲۸۰۷	۳۸۰۷۱۷/۸۷۵۸	۳۵۸۶۲/۶۴۸۴۴

فصل ششم

جمع‌بندی و پیشهادات

در تحقیق حاضر، الگوی نوسانات دریای خزر در سال‌های گذشته بررسی شد و دو سناریو افزایشی و کاهش‌ی برای تحلیل روند گذشته با توجه به موجود بودن تصاویر هوایی و ماهواره‌ای در نظر گرفته شد. در این تحقیق خطوط ساحلی اطراف بندر فریدونکنار شامل سواحل ماسه‌ای و سازه‌های انسان‌ساخت مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات مورفولوژی منطقه با مقایسه تصاویر هوایی و ماهواره‌ای موجود بررسی شد. با استفاده از مدلسازی DSAS نرخ تغییرات خط ساحل بر پایه تغییرات آن در گذشته در دو سناریو افزایش تراز آب و کاهش تراز آب کمی‌سازی و رقومی‌سازی شد و شناخت جامعی از الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری منطقه به دست آمد. نتایج مدلسازی که به صورت جداول با اعداد خام بود به کمک ابزارهای نرم‌افزار Arc Map پردازش شد تا تحلیل دقیق‌تری صورت گیرد.

کارایی مدل DSAS از طریق مقایسه با نتایج واقعی (بصری) سنجیده شد. به این صورت که برای سال ۲۰۱۸ که تصویر ماهواره‌ای آن موجود است، پیش‌بینی موقعیت خط ساحلی انجام شد. سپس خط ساحلی پیش‌بینی شده با موقعیت واقعی آن مقایسه شد که در مقادیر قابل قبولی بود.

سپس در تکمیل صحت سنجی مدل DSAS با مقایسه خط ساحلی در سال ۲۰۱۶ که تراز آب سطح خزر افزایشی نسبت به سال ۲۰۱۴ (آخرین سال بازه مدلسازی سناریو دوم) داشته است با خطوط ساحلی سال‌های قبل و بعد ثابت شد که منطقه مورد مطالعه به مانند عموم مناطق دیگر دریای خزر مستقیماً متأثر از تراز سطح آب بوده و به صورت کمی و رقومی به ازای هر ترنسکت در فواصل ۱۰ متر از هم تأثیر آن قابل محاسبه است. از این رو، تراز سطح آب باید به عنوان یک پارامتر در نرخ تغییرات به دست آمده از DSAS لحاظ شود تا موقعیت آینده خط ساحل، دقیق‌تر پیش‌بینی شود و در نهایت چارچوب قابل استناد جهت پیش‌بینی تغییرات خط ساحل منطقه در سال‌های آتی با توجه همزمان به شرایط خاص حاکم بر منطقه و تراز سطح آب ارائه شد. پیش‌بینی موقعیت خط ساحل با استفاده از مدل DSAS در نواحی بدون مداخلات انسانی نسبت به نواحی تحت مداخلات انسانی دقیق‌تر بود.

همچنین با مقایسه خطوط ساحلی سال‌های ۸۳ و ۹۳ یک تحلیل کلی با استفاده از DSAS انجام شد. به این صورت که بر اساس پروفیل عمود بر ساحل و پیشروی خط ساحل (در سال‌های ۸۳ تا ۹۳) حجم رسوبات به دام افتاده پشت بازوهای موجشکن بندر فریدونکنار و موجشکن دهانه بابلرود محاسبه شد و تخمینی از دبی رسوب یا نرخ انتقال رسوب کرانه‌ای واقعی منطقه به دست آمد.

در راستای پیشنهادات برای مطالعات بیشتر و ادامه کار، منعطف بودن مدل تحقیق حاضر در منطقه مورد مطالعه نسبت به هر پارامتری که در سطح تراز آب خزر در آینده تغییر ایجاد کند هم بسیار قابل توجه است چرا که می‌توان آن پارامتر را با قضاوت مهندسی اتخاذ کرد و ضرایب اصلاح بیشتری به نرخ تغییرات به دست آمده اعمال کرد.

همچنین استفاده از روابط تجربی مربوط به نرخ انتقال رسوب و مقایسه آن با نتایج مدل DSAS برای بومی‌سازی و اصلاح روابط پیشنهاد می‌گردد.

مطالعه تغییرات خط ساحل با روش‌های بهره‌مند از مبانی نظری متفاوت، به منظور پوشش ضعف‌های احتمالی این مدل پیشنهاد می‌گردد.

طرح حفاظت از سواحل به صورت نرم، سخت و کنارگذری رسوب برای منطقه مطالعاتی به عنوان مطالعه بیشتر پیشنهاد می‌گردد.

منابع و مراجع

- [1] Tağil, S.; and Cürebal, I.; "Remote Sensing and GIS Monitoring of Coastline Change in Altinova Coast", *Firat University Social Sci. J*, v 15 (2), p. p. 51-68, 2005.
- [2] Tai-Wen, H.; Tsung-Yi, L.; and I-Fan, T.; "Human Impact on Coastal Erosion in Taiwan", *J. Coastal Res*, West Palm Beach - Florida, v 4 (23), p. p. 961-973, 2007.
- [3] Kay, R.; and Alder, J.; *Coastal planning and management*, Spon press, USA, p. 375, 2000.
- [۴] طلوعی، الف؛ گزارش طرح حفاظت دریای خزر در منطقه دشتک، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور - بخش حفاظت از سواحل، ۱۳۶۴.
- [۵] فرولف؛ خلیج قره بغاز تنظیم کننده آب دریای خزر؛ ترجمه علی شمسی فولادی، نشریه وستینگ کاسپیا، شماره ۳، ۱۹۹۹.
- [۶] متولی، ص؛ و شیخی پور، ف. (۱۳۹۵)، "نقش لندفرم‌های ژئومورفیک در توسعه فضایی شهرهای ساحلی (مطالعه موردی: نور تا رویان)"، پنجمین همایش ملی فضای جغرافیایی رویکرد آمایشی مدیریت محیط، ص ۲، اسلامشهر.
- [۷] محمودی، ک؛ سایبانی، م؛ و مرادی، ع؛ "ارایه یک ماژول محاسباتی جدید برای سیستم تحلیل دیجیتالی خط ساحلی جهت شناسایی داده‌های مشکوک به خطا در داده‌های تغییرات خط ساحلی"، نشریه مهندسی دریا، سال یازدهم، شماره ۲۱، ص ۸۴، ۱۳۹۴.
- [8] Chanson, H.; *The Hydraulics of Open Channel Flow* (part10), Published by Arnold, 338 Euston Road-London-UK, p. 512, 1999.
- [9] Rosati, J.D.; and Kraus, N.C.; "Advances in coastal sediment budget methodology (with emphasis on inlets)", *Shore and Beach J*, v 67 (2&3), p. p. 56-65, 1997.
- [10] Deguchi, I.; and Sawaragi, T.; "Effects of structure on deposition of discharged sediment around rivermouth", *Coastal Engineering*, p. p. 1573-1587, 1989.
- [11] Nielsen, P.; Sebastian, R.; Bettina, Møller-Christiansen.; and Peggy, Oliva; "Infiltration Effects on Sediment Mobility under Waves", *Coastal Engineering*, 42, no. 2, p. p. 105-14, 2001.
- [12] DeWitt, H.; Weiwen, F.; and Feng, J.R.; *Semi-Automated construction of the Louisiana coastline digital land-water Boundary using Landsat TM imagery*, Louisiana's Oil Spill Research and Development Program, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, 2002.
- [13] Li, L.; Barry, D.A.; Pattiaratchi, C.B.; and Masselink, B.; "Beachwin: Modelling Groundwater Effects on Swash Sediment Transport and Beach Profile Changes", *Environmental Modelling & Software*, 17, no. 3, p. p. 313-20, 2002.
- [14] Siegle, E.; Huntley, D.A.; and Davidson, M.A.; "Modelling water surface topography at a complex inlet System-Teignmouth, UK", *J. Coast. Res (ICS 2002 Proceedings)*, p. p. 675-685, 2002.
- [15] Alesheikh, A.A.; Sadeghi Najafi, F.; and Talebzade, A.; "Improving classification accuracy using external knowledge", *GIM International*, v 17 (8), p. p. 12-15, 2003.

- [16] Lumborg, U.; and Windelin, A.; "Hydrography and Cohesive Sediment Modelling (Application to the Rømø Dyb Tidal Area)", *Journal of Marine Systems*, 38, no. 3, p. p. 287-303, 2003.
- [17] Merritt, W.; Letcher, S.R.A.; and Jakeman, A.j.; "A Review of Erosion and Sediment Transport Models." *Environmental Modelling & Software*, 18, no. 8, p. p. 761-99, 2003.
- [18] Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W.; and Jonathan W., C.; *Remote Sensing and image interpretation*, New York, John Wiley and Sons Publications, 2004.
- [19] Babu, M.T.; Vethamony, P.; and Desa, E.; "Modelling Tide-Driven Currents and Residual Eddies in the Gulf of Kachchh and Their Seasonal Variability (A Marine Environmental Planning Perspective)", *Ecological Modelling*, 184, no. 2, p. p. 299-312, 2005.
- [20] Lumborg, U.; and Pejrup, M.; "Modelling of Cohesive Sediment Transport in a Tidal Lagoon (an Annual Budget)", *Marine Geology*, 218, no. 1, p.p. 1-16, 2005.
- [21] AmlAri, H.; "Determination and control of longshore sediment transport", *Journal of OceanEngineering*, 2006.
- [22] Van Maren, D.S.; "Grain Size and Sediment Concentration Effects on Channel Patterns of Silt-Laden Rivers", *Sedimentary Geology*, 202, no. 1, p. p. 297-316, 2007.
- [23] Alesheikh, A.A.; Ghorbanali, A.; and Nouri, N.; "Coastline change detection using remote sensing", *Int. J. Science Technology*, v 4 (1), p.p. 61-66; 2007.
- [24] Leroy, S.A.G.; Marret, F.; Gibert, E.; Chalié, F.; Reyss, J.L.; and Arpe, K.; "River inflow and salinity changes in the Caspian Sea during the last 5500 years", *Quaternary Science Reviews*, v 26, p. p. 3359-3383, 2007.
- [25] Ellis, J.; and Stone, G.W.; "Numerical Simulation of Net Longshore Sediment Transport and Granulometry of Surficial Sediments Along Chandeleur Island, Louisiana, USA." *Marine Geology*, 232, no. 3, p. p. 115-29, 2006.
- [26] Hu, Kelin; Ding, P.; Wang, Z.; and Yang, S.; "A 2d/3d Hydrodynamic and Sediment Transport Model for the Yangtze Estuary, China", *Journal of Marine Systems*, 77, no. 1, p. p. 114-36, 2009.
- [27] Allyev, A.S.; "The Last sharp rise of the level of the Caspian Sea and its consequence in the coastal zone of Azerbaijan the Caspian Region (Environmental, Consequences of the climate change)", *Proceedings of the International Conference*, University of Moscow, p. p. 146-148, 2010.
- [28] Suresh, P. K.; and Sundar, V.; "Comparison between measured and simulated shoreline changes near the tip of Indian peninsula", *Journal of Hydro-Environment Research*, 5.3, p. p. 157-167, 2011.
- [29] Kristensen, S.E.; Drønen, N.; Deigaard, R.; and Fredsoe, F.; "Hybrid Morphological Modelling of Shoreline Response to a Detached Breakwater." *Coastal Engineering*, 71, p. p. 13-27, 2013.
- [30] Saengsupavanich, C.; "Detached Breakwaters (Communities Preferences for Sustainable Coastal Protection)", *Journal of environmental management*, 115, p. p. 106-13, 2013.
- [31] Zarifsanayei, A.R.; and Zaker, N.H.; "Coastal Sediment Transport (Engineering Practice, A case study in The Sea of Oman, Iran)", *10th International Congress on Civil Engineering*, University of Tabriz, Tabriz, Iran, 2015.
- [32] Noujas, V.; Thomas, K.V.; and Badarees, K.O.; "Shoreline management plan for a mudbank dominated coast", *Ocean Engineering*, 112, p. p. 47-65, 2016.

- [33] Rajasree, B.R.; Deo, M.C.; and Sheela Nair, L.; "Effect of climate change on shoreline shifts at a straight and continuous coast." *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 183, p. p. 221-234, 2016.
- [34] Khalifa, A.M.; Soliman, M.R.; and Yassin, A.A.; "Assessment of a combination between hard structures and sand nourishment eastern of Damietta harbor using numerical modeling", *Alexandria Engineering Journal*, 56.4, p. p. 545-555, 2017.
- [35] Sulis, A.; Balzano, A.; Cabaras, C.; and Atzeni, A.; "On the applicability of empirical formulas for natural salients to Sardinia (Italy) beaches." *Geomorphology*, 286, p. p. 1-13, 2017.
- [۳۶] شفیعی فر، م؛ و تقی زاده، م؛ "نگرشی بر مدل سازی عددی انتقال رسوب و مطالعات ساماندهی خور و بندر گناوه"، پنجمین همایش بین المللی سواحل بنادر و سازه های دریایی، سازمان بنادر و کشتی رانی، رامسر، ۱۳۸۱.
- [۳۷] حقیقی، س؛ و افشار، الف؛ "بررسی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در سواحل دریای عمان مطالعه موردی بندر رمین"، پنجمین کنفرانس هیدرولیک / ایران، دانشگاه باهنر کرمان، کرمان، ۱۳۸۴.
- [۳۸] عبدالهی، ع؛ دینامیک دریای خزر طی دوره هولسن و نقش آن در تغییرات خط ساحلی محدوده ساحلی شرق دریای خزر، سازمان بنادر و کشتیرانی، معاونت فنی و مهندسی اداره کل مهندسی سواحل و بنادر، ۱۳۸۵.
- [۳۹] حسینی نژاد، س؛ "بررسی وضعیت انتقال رسوب در بندر صیادی جواد الائمه (ع)"، خلاصه مقالات هفتمین همایش بین المللی مهندسی سواحل بنادر و سازه های دریایی، سازمان بنادر و کشتیرانی، تهران، ۱۳۸۵.
- [۴۰] مسعودی فر، ب؛ و کتابداری، م؛ "بررسی اثر احداث بندر امیر آباد بر انتقال رسوبات و وضعیت خط ساحلی در منطقه"، هشتمین همایش بین المللی سواحل بنادر و سازه های دریایی، سازمان بنادر و کشتیرانی، تهران، ۱۳۸۷.
- [۴۱] ندیمی، ص؛ و لشته نشائی، م؛ "بررسی روند فرسایش و رسوب گذاری در حوضچه منتهی به تالاب بندر انزلی به کمک مدل ریاضی"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ۱۳۸۹.
- [۴۲] نعیمی نظام آباد، ع؛ قهرودی تالی، م؛ و ثروتی، م؛ "پایش تغییرات خط ساحلی و لندفرم های ژئومورفولوژیکی خلیج فارس با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه ساحلی عسلویه)"، *فضای جغرافیایی*، ۱۰ (۳۰)، ص ۴۵-۶۱، ۱۳۸۹.
- [۴۳] تجزیه چی، م؛ و شریعتمداری، د؛ "معادله خط ساحلی با توجه به تغییر فاصله موج شکن مستغرق نفوذ ناپذیر از ساحل"، دهمین همایش بین المللی سواحل بنادر و سازه های دریایی، سازمان بنادر و دریانوردی، تهران، ۱۳۹۱.
- [۴۴] کمالیان، ر؛ و صفری، ح؛ "تاثیر تغییرات تراز آب دریای خزر بر رسوبگذاری در بندر نوشهر"، دهمین همایش بین المللی سواحل بنادر و سازه های دریایی، سازمان بنادر و دریانوردی، تهران، ۱۳۹۱.

- [۴۵] فخرالدین، ع؛ بدیعی، س؛ حسین زاده، ه؛ و اطمیابی، س؛ "تاثیر جریان‌های ناشی از امواج بر بنادر احداث شده در محدوده سواحل خلیجی کوچک مطالعه موردی بندر بستانو"، دهمین همایش بین المللی سواحل بنادر و سازه‌های دریایی، سازمان بنادر و دریانوردی، تهران، ۱۳۹۱.
- [۴۶] پورعلی، م؛ و معینی، م؛ "بررسی وضعیت رسوبی و ارائه راهکار مهار رسوب در بندر زیبا کنار"، پانزدهمین همایش صنایع دریایی، جزیره کیش، ۱۳۹۲.
- [۴۷] تقوایی، پ؛ غیائی، ر؛ "بررسی نحوه حرکت ذرات رسوبی در بندر شهید رجایی توسط دیدگاه لاگرانژی ردیابی ذره"، پانزدهمین همایش صنایع دریایی، انجمن مهندسی دریایی ایران، جزیره کیش، ۱۳۹۲.
- [۴۸] عمادالدین، سمیه، ۱۳۹۲، ارزیابی روند نوسانات سطح آب دریا و فعالیت های انسانی در تغییر شکل سواحل بخش شرقی دریای خزر در طول نیم قرن اخیر، دومین کنفرانس بین المللی مخاطرات محیطی، تهران، دانشگاه خوارزمی،
- [۴۹] اردشیری لاجیمی، م؛ و مرادی، ع؛ "کمی سازی و تحلیل آماری تغییرات خط ساحلی در جزیره قشم با استفاده از ابزار DSAS در نرم افزار ArcGIS"، اولین همایش ملی توسعه پایدار دریا محور، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ۱۳۹۳.
- [۵۰] جعفرزاده، الف؛ ایوب زاده، س؛ منتظری نمین، م؛ و بهلولی، الف؛ "کاربرد مدل ریاضی LITPACK در شبیه سازی تغییرات خط ساحل بندر انزلی پس از احداث موج شکن های جدید و ارزیابی آن با استفاده از تصاویر ماهواره ای و GIS"، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ۱۳۹۳.
- [۵۱] عیسانی مقدم، الف؛ و حکیم زاده، ح؛ "شبیه سازی عددی امواج و جریان های ساحلی در بندر رمین"، هفدهمین همایش صنایع دریایی، انجمن مهندسی دریایی ایران، جزیره کیش، ۱۳۹۴.
- [۵۲] بهارلوئی، م؛ و مافی غلامی، د؛ "هندسه خط ساحلی (DSAS به عنوان یک ابزار برای تجزیه و تحلیل روند تاریخی)"، اولین همایش ملی منابع طبیعی و توسعه پایدار در زاگرس مرکزی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ۱۳۹۵.
- [۵۳] بهرامی، حسین؛ سیدسعید موسوی تبار و مهدی کریمی، ۱۳۹۵، بررسی طرح حفاظت از ساحل با استفاده از آبشکن های گروهی (مطالعه موردی: سواحل شرقی بندر فریدونکنار)، اولین کنفرانس بین المللی مخاطرات طبیعی و بحران های زیست محیطی ایران، راهکارها و چالش ها، اردبیل، شرکت کیان طرح دانش، مرکز تحقیقات منابع آب دانشگاه شهرکرد،
- [۵۴] معصومی، ح؛ "برآورد پتانسیل انتقال رسوب موازی ساحل در سواحل استان هرمزگان"، اولین همایش ملی پژوهش های کاربردی نوین در علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس، بندرعباس، ۱۳۹۶.

[۵۵] خوشروان، همایون؛ سورنا قاسمی نژاد و فایضه سلامی، ۱۳۹۶، تعیین آسیب پذیری و ریسک مخاطرات فرسایشی بندر آستارا، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر) ۲۶ (۱۰۴).

[۵۶] صالح پور، جابر؛ محمدرضا خالدیان و افشین اشرف زاده، ۱۳۹۶، شبیه سازی نوسانات تراز آب دریای خزر با استفاده از برنامه ریزی بیانژن، شبکه تصمیم گیری بیزین و شبکه عصبی مصنوعی، دومین کنفرانس ملی محاسبات نرم، گیلان -رودسر، دانشگاه گیلان،

[۵۷] خوشروان، همایون، ۱۳۹۶، نوسانات سطح تراز آب دریای خزر و راهکارهای نجات خلیج گرگان، چهارمین کنفرانس بین المللی اقیانوس شناسی خلیج فارس، تهران، وزارت راه و شهرسازی - سازمان هواشناسی کشور،

[۵۸] منصوری، رضا و زهرا سربازی، ۱۳۹۷، تاثیر گرمایش کره زمین و نوسانات سطح تراز آب دریا بر تغییرات محیطی کرانه های جنوب خاوری دریای خزر، همایش ملی تغییر اقلیم و اکوسیستم های آبی، بندرعباس، پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان.

[۵۹] نقش آرا، شبنم؛ اسماعیل اسدی و محمدعلی قربانی، ۱۳۹۸، مدلسازی تراز آب دریای خزر با استفاده از مدل های هوشمند، سومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، تبریز، دانشگاه تبریز

[60] Sorensen, R.M.; *Basic Coastal Engineering*, 3rd Eddition, Springer science & business media, p. p. 252-271, 2005.

[61] Lamberti, A., Archetti, R., Kramer, M., Paphitis, D., Mosso, C., and Di Risio, M.; "European experience of low crested structures for coastal management", *Coastal Engineering*, No. 10, pp. 841-866, 2005.

[62] Anders, F.J., and Byrnes, M.R.; "Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs", *Shore and Beach*, v. 59, pp. 17 26, 1991.

[63] Leatherman, S.P. and Clow, J.B.; "UMD shoreline mapping project", *IEE Geoscience and Remote Sensing Society Newsletter*, v. 22, pp.5-8, 1983.

[64] Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., Ergul, A.; *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0-An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change*. U.S. Geological Survey, Open-File Report 2008-1278, 2009.

[65] Dolan, R., Fenster, M.S., and Holme, S.J.; "Temporal analysis of shoreline recession and accretion", *Journal of Coastal Research*, v. 7, pp. 723-744, 1991.

[66] Genz, A.S., Fletcher, C.H., Dunn, R.A., Frazer, L.N., and Rooney, J.J.; "The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii", *Journal of Coastal Research*, v. 23, n. 1, pp. 87-105, 2007.

[67] Herschy, R.W., 2012. World Lake Database: International Lake Environment Committee Foundation (ILEC). *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*, pp.920-921.

[۶۸] اقتصادی، شهیر، زاهدی، رفیع. (۱۳۹۱). مطالعه عوامل تاثیرگذار بر نوسانات تراز آب خزر جنوبی، ۱۰ (۳)، صص ۱۳-۴.

[69] Ozturk, D. and Sesli, F.A.; "Shoreline change analysis of the Kizilirmak Lagoon Series", *Ocean and Coastal Management*, 118, pp.290-308, 2015.

[70] Gopikrishna, B. and Deo, M.C.; "Changes in the shoreline at Paradip Port, India in response to climate change", *Geomorphology*, 303, pp.243-255, 2018.

- [71] Guariglia, A., Buonomassa, A., Losurdo, A., Saladino, R., Trivigno, M.L., Zaccagnino, A. and Colangelo, A.; "A multisource approach for coastline mapping and identification of shoreline changes", *Ann. Geophys. -Italy*, 49(1), 2006.
 - [72] Jonah, F., et al., (2016), *Shoreline change analysis using end point rate and net shoreline movement statistics: An application to Elmina, Cape Coast and Moree section of Ghana's coast*. Regional studies in marine science, Vol.7, p.19-31.
 - [73] Hapke, C.J., et al., (2010), *National assessment of shoreline change: Historical shoreline change along the New England and Mid-Atlantic coasts*, US Geological Survey
 - [74] Stockdon, Hilary F., Rob A. Holman, Peter A. Howd, and Asbury H. Sallenger Jr., (2006), "Empirical parameterization of setup, swash, and runup." *Coastal engineering* 53, no. 7: p 573-588.
 - [75] Rezaee, M., Golshani, A., & Mousavizadegan, H., (2019), "A New Methodology to Analysis and Predict Shoreline Changes Due to Human Interventions (Case Study: Javad Al-Aemmeh port, Iran) ". *International Journal of Maritime Technology*, p. 9-23.
 - [76] Coordination Committee on Hydrometeorology of the Caspian Sea (CASPCOM), *Information bulletin on the state of the Caspian Sea level No.18*, (2019).
- [۷۷] شرکت مهندسين مشاور پويا طرح پارس، گزارش مطالعات پايه بندر فریدونکنار، (۱۳۹۳).
- [۷۸] "گزارش نوسانات تراز آب دریای خزر،" مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، ۱۳۹۷.

Abstract

In recent years, determining the rate of shoreline changes by the historical trend method has been of great interest to researchers and has been repeatedly reported as a basis for predicting future changes. Among the outstanding achievements of this research (using numerical modelings, field studies, etc. to reduce model errors) to provide a framework that expresses the relationship between water level and the rate of shoreline changes in the study area and through it can predict future changes in the shoreline, taking into account the general conditions of the region as well as the water level at the projected time horizon.

For this purpose, about 22 km of shorelines of one of the sensitive areas with high economic value areas in Mazandaran province was selected for the study, which is adjacent to the commercial port of Fereydoonkenar and has seen a wide range of human interventions during periods of increasing and decreasing water level. The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) plays a role in this research as a historical trend method.

Based on the Caspian Sea water level data, two incremental and decremental scenarios were selected for modeling. The results of the endpoint rate and the linear regression rates and the weighted linear regression rates approaches of the digital shoreline analysis model were obtained as the shoreline change rate for both scenarios.

It was observed that the progress and reversal of the shoreline of the study area were directly dependent on the water level, and the graphical and statistical comparisons of the results of the prediction of the shoreline changes indicated the appropriate accuracy for most areas.

Finally, using the results of this framework, the action was taken to predict the shoreline in a specific time position in the future. With this in mind, let us show how the model's achievements can be used to predict the future of the shoreline.

Keywords: Shoreline Digital Analysis System, Historical Trend, Caspian Sea, Fereydoonkenar Port, Shoreline.



Shahrood University of
Technology

Faculty of Civil Engineering

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

Impact of structures on coastline (case study the right side of fereydoon کنار port)

By: Sahand Abedi

Supervisor:
Dr. M. Adjami

January 2020