



سنجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲  
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.15, No. 2, Summer 2023

۷۳-۸۶

مقاله پژوهشی

## مقایسه شدت تغییرات خطوط ساحلی و شدت فرسایش پذیری بندرهای اصلی

### سواحل دریای خزر

همایون خوشروان<sup>(\*)</sup>، پرستو کریمی<sup>۲</sup>، پیام عالمی صفاول<sup>۳</sup>، پریسا پورصفری یکرنگ<sup>۴</sup>

۱. عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تهران،

۲. کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعات آب و خاک

۳. کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۴. کارشناس آزمایشگاه گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۱۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱

### چکیده

سازه‌های دریایی، مانند بندرها، نقش بسیار مهمی در شدت فرسایش‌پذیری مناطق ساحلی دارند و تأثیر مشترک آنها، با نوسانات سطح تراز آب دریا، سبب جابه‌جایی خطوط ساحلی پیرامون بندرها می‌شود. ارزیابی و مقایسه شدت جابه‌جایی خطوط ساحلی و شدت فرسایش‌پذیری سواحل جنوبی دریای خزر در محدوده بندرهای اصلی شمال ایران (امیرآباد، فریدونکنار، نوشهر، انزلی و آستارا) هدف اصلی این پژوهش است. وضعیت مورفولوژی سواحل، به‌لحاظ ویژگی‌های فرسایشی و رسوب‌گذاری و تنوع لندفرم‌های ساحلی، از طریق تصاویر ماهواره‌ای لندست مطالعه شد. به‌منظور بررسی میزان تغییرات خطوط ساحلی در بنادر مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۰، تغییرات ایجادشده در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از نرم‌افزار آنالیز رقومی خطوط ساحلی (DSAS) محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که رفتار خطوط سواحل جنوبی دریای خزر در مقابل ساخت سازه‌های بندری و نوسانات سطح تراز آب این دریا متفاوت بوده است و بیشترین میزان جابه‌جایی خط ساحل و مقدار رسوب‌گذاری و فرسایش‌پذیری، به‌ترتیب، به ناحیه ساحلی بندر امیرآباد و آستارا تعلق دارد. سواحل مشرف به بندرهای نوشهر و انزلی رسوب‌گذاری مناسبی داشته‌اند و میزان فرسایش‌پذیری در ساحل فریدونکنار بسیار اندک بوده است. بنادر شمال کشور ایران، همراه با نوسانات سطح تراز آب دریای خزر، در مناطق ساحلی پیرامون تأثیر مستقیم می‌گذارند و مدیریت منابع رسوبی متمرکز در سواحل راهکاری مطمئن برای کاهش میزان فرسایش و استفاده از منابع ماسه‌ای در سواحل آسیب‌دیده است.

کلیدواژه‌ها: خطوط ساحلی، دریای خزر، بنادر، فرسایش‌پذیری، رسوب‌گذاری.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: مازندران، ساری، میدان خزر، کیلومتر ۸ جاده خزرآباد، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر. تلفن: ۰۰۹۱۱۱۱۴۵۶۴۰، ۰۰۱۱۳۳۶۸۷۹۶۸. دورنگار: ۰۱۱۳۳۶۸۷۹۶۸

Email: h\_khoshrovan@yahoo.com

https://orcid.org/0000-0001-5535-7689

https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102925



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

## ۱- مقدمه

اصلی شمال کشور مهم‌ترین پرسش‌های این پژوهش را تشکیل می‌دهد. بندر انزلی و بندر نوشهر قدیمی‌ترین مراکز تجاری در سواحل جنوبی دریای خزر شمرده می‌شوند و بندرهای دیگر همچون امیرآباد، فریدونکنار و آستارا طی دهه‌های ۷۰ تا ۸۰ احداث شده و توسعه یافته‌اند (Ports and Maritime Organization, 2008). بنابراین برخی از آنها تحت تأثیر فاز نوسانی افزایشی دریای خزر طی دوره زمانی ۱۹۹۵-۱۹۷۸ قرار گرفته‌اند و گروهی دیگر با کاهش سطح تراز آب دریای خزر از سال ۱۹۹۵ تا حال حاضر مقارن بوده‌اند. کاهش سطح تراز آب این دریا از سال ۱۹۳۰ آغاز شد و تا سال ۱۹۷۸، حدود سه متر آن کاهش یافت. دوره افزایش این سطح از سال ۱۹۷۸ آغاز شد و تا ۱۹۹۵، حدود ۲/۵ متر افزایش یافت. از سال ۱۹۹۵ تا کنون، بیش از ۱/۵ متر از سطح تراز آب دریای خزر کاهش یافته است (Kroonenberg, 2000; Khoshrovan & Vafai, 2016). سرعت فزاینده نوسانات سطح تراز آب دریای خزر، در فازهای نوسانی کوتاه‌مدت (۲۰۲۱-۱۹۳۰) و با دامنه نوسانی حدود سه متر، تهدیدی جدی برای زیرساخت‌های بندری محسوب می‌شود (Khoshrovan & Vafai, 2016). ضمن آنکه تأثیر سازه‌های ساحلی و بندری در فرایندهای فرسایشی و رسوبی در سواحل اطراف بندرها می‌شود (Ibid.) و رسوب‌گذاری زیاد مواد ماسه‌ای در حوضچه بندرهای اصلی شمال ایران چالشی بزرگ در مدیریت و نگهداری آنها قلمداد می‌شود (Ports and Maritime Organization, 2014). واکنش رفتاری خطوط ساحلی پیرامون بندرها با توجه به معیارهای طبیعی مهمی مانند شیب متوسط ساحل، پهنای ناحیه خاکریز، جنس و بافت رسوبات ساحلی، میزان تغییرات سطح تراز آب دریا، نوع لندفرم‌های ساحلی، شدت جریان‌های جزرومدی و انرژی امواج مشخص می‌شود (Konlechner et al., 2020). تنوع طراحی سازه‌های ساحلی و بندری تأثیر مستقیم در رفتار و ویژگی‌های فرسایشی و رسوب‌گذاری در ناحیه ساحلی دارد

مناطق ساحلی دارای اهمیت اجتماعی و اقتصادی مهمی‌اند و در برابر تأثیرات انسانی و عوامل طبیعی آسیب‌پذیرند (Khoshrovan & Rouhanizadeh, 2011). احداث و توسعه بندرها از مهم‌ترین فعالیت‌های اقتصادی است که در این مناطق انجام می‌شود و به‌موازات آن، ساخت سازه‌های ساحلی مانند موج‌شکن‌ها، اسکله‌ها، دیواره‌های ساحلی نیز صورت می‌پذیرد (Monique et al., 2021). نیاز بشر به بهره‌برداری از منابع زیستی و غیرزنده موجود در مناطق ساحلی و دریاها سبب احداث سازه‌های ساحلی در شکل‌های گوناگون و متفاوت شده است (Ibid.). سازه‌های دریایی و تغییرات سطح تراز آب دریاها در فرایندهای ساحلی اثر می‌گذارند و شرایط لازم را برای تغییرات مورفولوژی سواحل فراهم می‌کنند. سالیانه مساحت شایان توجهی از رسوبات ساحلی، تحت تأثیر این عوامل، دچار فرسایش یا رسوب‌گذاری می‌شود (Ibid.). موقعیت ژئوپلیتیکی منحصربه‌فرد دریای خزر، در جایگاه پل ارتباطی بین قاره‌های آسیا و اروپا، سبب شده است طی دو قرن گذشته کشورهای حاشیه دریای خزر، برای انتقال کالا و انرژی، بندرهای مهمی را مانند آستاراخان، اکتائو، کراسنودسک، باکو و انزلی احداث کنند و پس‌از آن نیز در سواحل جنوبی این دریا، بندرهای مهم تجاری آستارا، نوشهر، فریدونکنار و امیرآباد ساخته شد (Ports & Maritime Organization, 2008). نوسانات سطح تراز آب دریای خزر، از قرن بیستم تا کنون، سبب تغییر شکل فرایندهای ساحلی شده است و تأثیر مشترک فازهای نوسانی دریای خزر و ساخت‌وسازهای بندری شرایط را برای تغییر رژیم رسوب‌گذاری، جابه‌جایی خط ساحلی و توسعه پدیده‌های فرسایشی در سواحل فراهم کرده است (Khoshrovan, 2007; Kroonenberg et al., 2000; Alemi-Safaval et al., 2018). نحوه و میزان تغییر شکل خطوط ساحلی، میزان عقب‌نشینی و پیش‌روی آب دریای خزر در اراضی ساحلی و شدت فرسایش‌پذیری سواحل بندرهای

(Azarmsa & Razmkhah, 2011) و برآورد تغییرات خط ساحلی در محدوده قاعده دلتایی خزر، با استفاده از سامانه تحلیل رقومی خط ساحلی (DSAS) دلتاهای هراز، بابل‌رود و تالار (Shayan et al., 2020) اشاره کرد. نتایج مطالعات در زمینه جابه‌جایی خط ساحل دلتای سفیدرود نشان داده است که لندفرم‌های ساحلی با گذشت زمان، تحت تأثیر نوسانات سطح تراز آب دریای خزر، دچار تغییرات درخور توجهی شده‌اند (Alemi-Safaval et al., 2018; Yamani et al., 2013; Eyvazi et al., 2005). مطالعه تغییرات خطوط ساحلی در گجرات و اریسای هند نشان داده است که افزایش سطح تراز آب اقیانوس هند موجب جابه‌جایی خط ساحلی و شدت آسیب‌پذیری فرسایشی اراضی پست ساحلی شده است (Misra & Balaji, 2015; Mukhopadhyay et al., 2011). مطالعه خیزاب حاصل از باد در سواحل آتلانتیک آمریکا مشخص کرد که مد حاصل از طوفان، همراه با افزایش سطح تراز آب اقیانوس اطلس، موجب جابه‌جایی خط ساحل و افزایش شدت آسیب‌پذیری فرسایشی در مناطق ساحلی شده است (Zhang et al., 1997). تغییرات خطوط ساحلی پیرامون بندرهای اصلی شمال کشور، از سوی سازمان بنادر و دریانوردی، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و طی سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۲ مطالعه و مشخص شد که میزان جابه‌جایی این خطوط تابع نوسانات سطح تراز آب دریای خزر و فرایندهای رسوب‌گذاری است (Ports and Maritime Organization, 2008). درباره میزان تأثیرپذیری خطوط ساحلی این بندرها از نوسانات سطح تراز آب دریای خزر طی فاز نوسانی کاهشی، از سال ۲۰۱۹-۱۹۹۵، که با کاهش ۱/۵ متری سطح تراز آب دریا همراه بوده است، مطالعات آماری جامعی انجام نشده است؛ از این‌رو هدف این پژوهش تعیین و مقایسه میزان جابه‌جایی خطوط ساحلی بندرهای اصلی سواحل

(Monique et al., 2021). نتایج مطالعات گذشته نشان می‌دهد رسوب‌گذاری فعال در حوضچه بندرهای اصلی شمال کشور موجب خسارات اقتصادی و کاهش بازدهی عملکرد بندرها، با گذشت زمان، می‌شود (Mahmoodi et al., 2015). برای نمونه، سالیانه مقداری بسیاری از مواد رسوبی در بندرهای امیرآباد و انزلی نهشته می‌شوند و عملیات لای‌روبی به‌صورت مدام در این بندرها جریان دارد (Ports and maritime Organization, 2008). همچنین مشخص شده است که میزان جابه‌جایی خط ساحل در پیرامون بندرهای اصلی سواحل جنوبی دریای خزر، مانند امیرآباد، شرایط کاملاً متفاوتی دارد (Malek et al., 2012). با توجه به جهت جریان‌های غالب ساحلی در بخش جنوبی دریای خزر، فرایند رسوب‌گذاری در بخش غربی و عوامل فرسایشی در ناحیه شرقی بندرهای آن، به‌استثنای بندر انزلی، جریان دارد (Ports and maritime Organization, 2008). میزان جابه‌جایی خط ساحل در بخش غربی بندر امیرآباد تحت تأثیر فرایند رسوب‌گذاری، طی دوره زمانی ۲۰۰۴-۱۹۶۶، معادل ۳۱۰ متر بوده و ناحیه شرقی بندر ۲۱۰ متر دچار فرسایش شده و خط ساحلی آن به‌سوی خشکی عقب‌نشینی و فرسایش داشته است (Malek et al., 2012). این شرایط، در اسکله غربی بندر کیشهر نیز، به همین صورت رخ می‌دهد و جابه‌جایی خط ساحل تحت تأثیر رسوب‌گذاری، طی دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳، معادل ۵۲۷ متر در بخش غربی و ۲۴۰ متر در ناحیه شرقی بوده است (Alemi-Safaval et al., 2018). برای محاسبه و آنالیز آماری میزان جابه‌جایی خط ساحلی دریا‌های کره زمین، استفاده از نرم‌افزار جنبی آنالیز رقومی خط ساحل (DSAS) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی رواج گسترده‌ای دارد (Jabloy et al., 2014; Hapke et al., 2013; Young et al., 2014; Del Río et al., 2013). همچنین می‌توان به مطالعات تغییرات خطوط ساحلی خلیج چابهار، با استفاده از تصاویر ماهواره ای

## 1. Digital Shoreline Analysis System

## ۲-۲- روش تحقیق

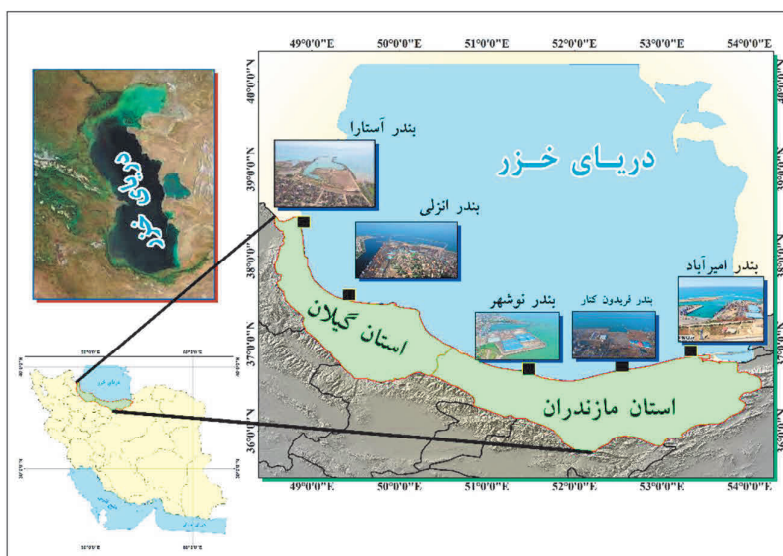
در این پژوهش، به منظور استخراج تغییرات خط ساحلی و مساحت فرسایش و رسوب گذاری در بندرهای شمال کشور و همچنین مقایسه شدت این تغییرات در بازه زمانی ۲۶ ساله، پس از اخذ تصاویر سنجنده های TM و OLI در سال های ۱۹۹۵ و ۲۰۲۱ از سایت USGS و اعمال تصحیحات هندسی و رادیومتریکی بر آنها، با استفاده از سامانه تحلیل رقومی خطوط ساحلی (DSAS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سیمای مورفولوژی خط ساحل در محدوده بندرهای اصلی حاشیه جنوبی دریای خزر استخراج و میزان تغییرات محاسبه شد. برای نیل به این مقصود، ابتدا خط ساحل از طریق معرفی باندهای ۴ سنجنده TM و ۵ سنجنده OLI تصاویر ماهواره لندست به سامانه DSAS، استخراج شد و سپس مرز بین ساحل و آب از هم تفکیک گردید. در ادامه، ترانسکت هایی با فاصله ۱۰۰ متر در طول خط ساحلی استخراج شده ترسیم شدند تا میزان پسروری و پیش روی ساحل، طی دوره زمانی مورد مطالعه، به دست آید. مساحت بخش های فرسایش یافته یا

جنوبی دریای خزر و ارزیابی شدت فرسایش آنها بوده است. برای تعیین میزان تغییرات خطوط ساحلی و میزان سطح رسوب گذاری و فرسایش سواحل این بندرها، از تصاویر ماهواره ای چندزمانه سنجنده لندست (۲۰۱۹-۱۹۹۵) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم افزار جنی آنالیز رقومی خطوط ساحلی (DSAS) استفاده شده است.

## ۲- ابزار و روش کار

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر به بندرهای کرانه جنوبی دریای خزر، از منتهی الیه جنوب غرب (بندر آستارا) تا حد نهایی جنوب شرق (ساحل گمیشان، بندر امیرآباد)، به طول ۸۹۰ کیلومتر در ۳۸ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۲۴ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی می پردازد (شکل ۱). طول خط ساحلی در استان های مازندران، گلستان و گیلان به ترتیب ۴۸۷، ۱۳۱ و ۲۷۲ کیلومتر است (Ports and Maritime Organization, 2008).



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

سازمان زمین‌شناسی آمریکا این ابزار را به صورت افزونه‌ای روی نرم‌افزار ArcGIS منتشر کرده است. این ابزار، با ایجاد مقاطع عرضی عمود بر عارضه نوار شکل، میزان تغییرات عارضه را حول مقاطع ایجادشده، در قیاس با مبنایی مشخص، محاسبه می‌کند؛ یعنی مقدار تغییرات، با استفاده از فاصله هر نقطه اندازه‌گیری تا خط مبنا و تاریخ عارضه برداشت‌شده، به دست می‌آید (Mahmoudi et al., 2017; Thieler et al., 2009).

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- ارزیابی میزان جابه‌جایی خطوط ساحلی بندرهای اصلی شمال کشور

امروزه درحالی‌که افزایش سطح تراز آب اقیانوس‌ها موجب شدت آسیب‌پذیری فیزیکی مناطق ساحلی شده است و سازه‌های ساحلی و بندری، تحت تأثیر آن، در معرض خسارت جدی قرار گرفته‌اند، وضعیت محیطی در سواحل بزرگ‌ترین دریاچه کره زمین، یعنی دریای خزر، به گونه‌ای دیگر رقم خورده است. کاهش بیش از ۱۵۰ سانتی‌متر از سطح تراز آب این دریاچه، طی سال ۱۹۹۵ تا کنون، عقب‌نشینی آب دریا از مناطق ساحلی را در پی داشته و در صورت تداوم این فرایند طبیعی، سامانه تردد کشتی‌های تجاری در بندرها دچار مشکل خواهد شد (شکل ۲).

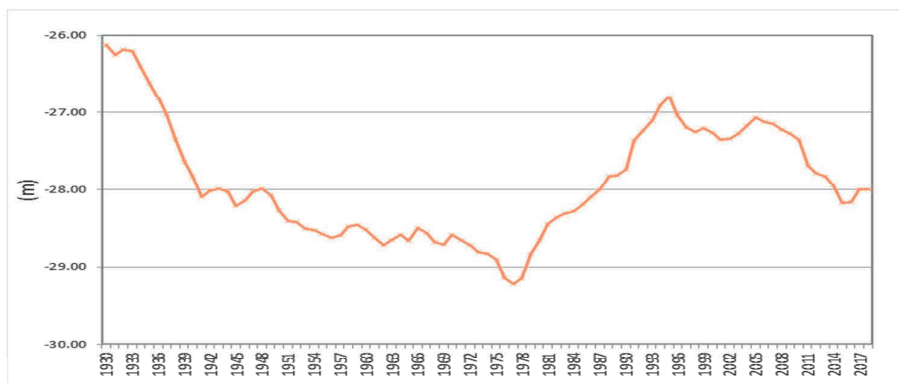
رسوب‌گذاری شده در محدوده بندرها، پس از اتصال خطوط ساحلی سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۲۱ نمایان و سطح تغییرات محاسبه شد. بدین‌منظور با اتصال خطوط ساحلی یادشده به یکدیگر و به‌کارگیری نرم‌افزار ArcMap، پلیگون پهنه‌های ساحلی مورد نظر تهیه شد. به این ترتیب، مساحت سطوحی که تحت تأثیر تغییرات سطح تراز آب دریای خزر قرار گرفتند، به صورت اراضی خشک (رسوب‌گذاری) و آب‌گرفته (فرسایشی)، مشخص شد. در آخر، داده‌های کمی مساحت هر بخش از ساحل که دچار فرسایش یا رسوب‌گذاری شده بود، به نرم‌افزار اکسل انتقال یافت و نمودارهای تغییرات تهیه شد. در جدول ۱، مشخصات و تاریخ تصاویر مورد استفاده آمده است.

#### سامانه تحلیل رقومی خطوط ساحلی (DSAS)

این سامانه افزونه‌ای است که امکان بررسی و تحلیل میزان تغییرات را از چندین ساحل، طی سری زمانی، فراهم می‌آورد و آماره‌های گوناگون از انواع تغییرات رخ داده را به صورت‌های متنوعی، همچون نقشه و جدول‌های اطلاعاتی، ایجاد می‌کند. به این منظور، با معرفی خطوط ساحلی و زمان دقیق آنها می‌توان تحلیل‌های مد نظر را انجام داد و میزان تغییرات را به متر محاسبه کرد.

جدول ۱. مشخصات و تاریخ تصاویر مورد استفاده (USGS)

محدوده جغرافیایی	مشخصات و تاریخ تصویر (میلادی)
استان گیلان	LT05_L2SP_166033_19950828_20200912_02_T1
استان گیلان	LT05_L2SP_166034_19950828_20200912_02_T1
استان گیلان	LC08_L2SP_166034_20210819_20210827_02_T1
استان مازندران	LT05_L1TP_164035_19950713_20200912_02_T1
استان مازندران	LT05_L1TP_163034_19950620_20200912_02_T1
استان مازندران	LC08_L2SP_164035_20210720_20210729_02_T1
استان مازندران	LC08_L2SP_163034_20210627_20210707_02_T1



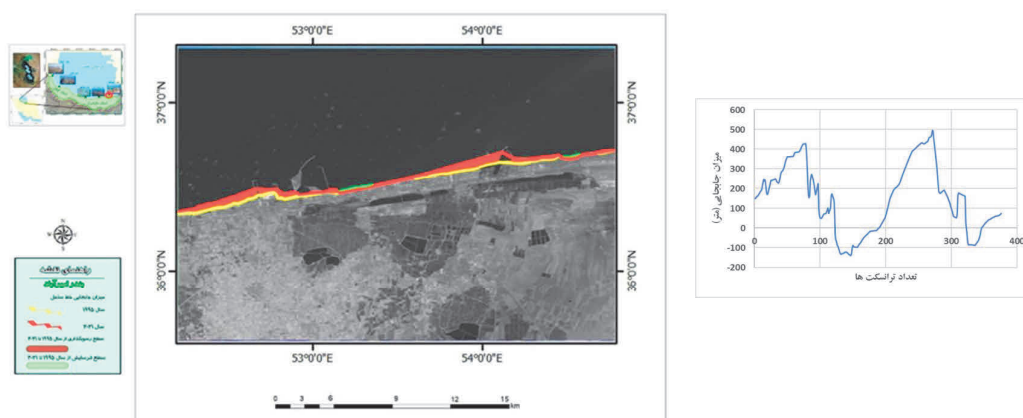
شکل ۲. منحنی نوسانات سطح تراز آب دریای خزر از سال ۱۹۳۰ تا ۲۰۱۹

فاصل بخش غربی این بندر و بخش شرقی بندر صدرا تعیین شد. میانگین جابه‌جایی خط ساحلی ۱۷۱ متر است و متوسط جابه‌جایی سالیانه خط ساحل، در بندر امیرآباد، ۸ متر برآورد شده است. درعین حال حداکثر متوسط سالیانه ۲۳ متر، در بندر صدرا و حداقل آن ۶- متر، در غرب امیرآباد تعیین شد؛ سطح رسوب‌گذاری ۳۶۰ هکتار و سطح فرسایش ۳۰ هکتار به‌دست آمد. نواحی رسوب‌گذاری در بخش غربی بندر امیرآباد و غرب نیروگاه نکا و مناطق فرسایشی نیز در بخش بین ناحیه غربی بندر امیرآباد و بخش شرقی بندر صدرا قرار دارد (شکل ۳).

به این دلیل، مطالعه رفتار ساحل، به‌ویژه در اطراف سازه‌های دریایی زیربنایی مانند بندرها، اهمیت بسیار دارد. بر همین مینا و با بهره‌گیری از داده‌های دریافتی از تصاویر ماهواره‌ای، این بندرها بررسی شدند.

#### الف) بندر امیرآباد

بیشترین مقدار نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، در تعیین تغییرات خط ساحلی بندر امیرآباد، حاکی از جابه‌جایی خط ساحل طی دوره زمانی مورد مطالعه تا ۴۳۲ متر، در ناحیه غربی بندر نام‌برده و کمترین میزان جابه‌جایی ۱۳۹- متر، در حد



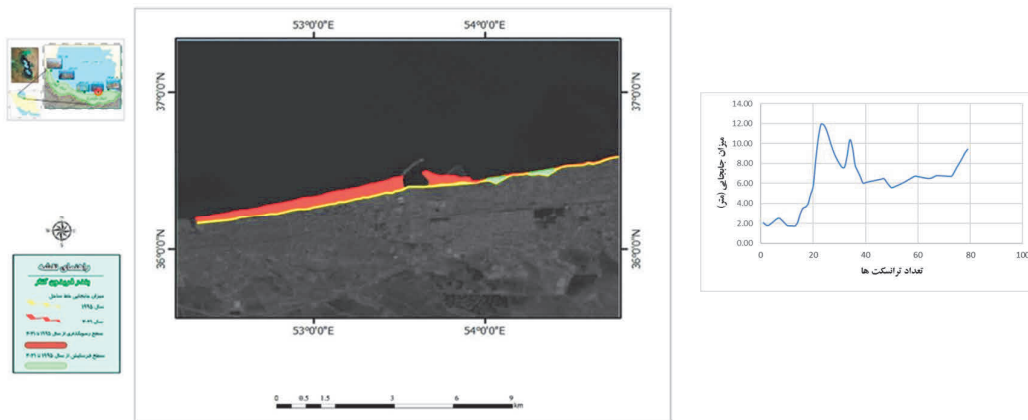
شکل ۳. جابه‌جایی خط ساحل در محدوده بندر امیرآباد

(ب) بندر فریدونکنار

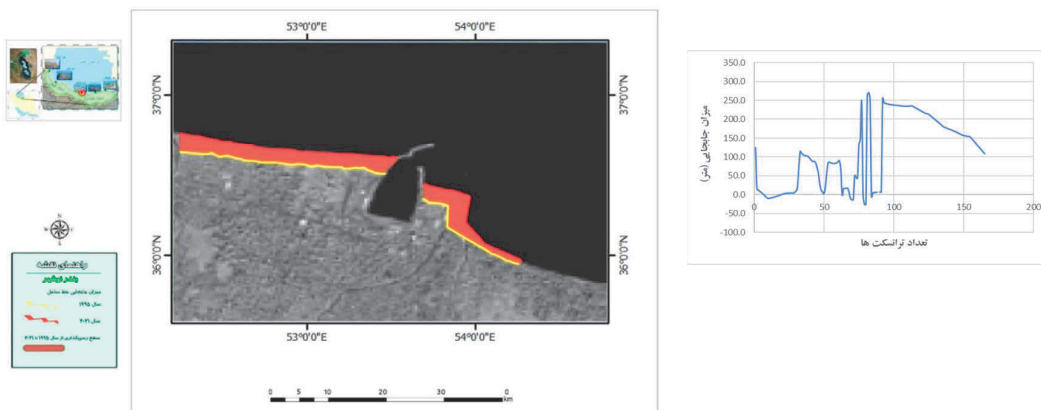
درمورد این بندر، حداکثر میزان جابه‌جایی ۲۷۰ متر و در ناحیه غربی آن و حداقل میزان جابه‌جایی ۲۵- متر و در ناحیه شرقی آن است. میانگین میزان جابه‌جایی خط ساحلی، طی دوره زمانی مورد مطالعه، ۵۰ متر و متوسط جابه‌جایی سالیانه خط ساحل ۴ متر در سال بوده است. حداکثر و حداقل متوسط سالیانه، به ترتیب، ۷ متر و ۳- متر و در شرق فریدونکنار بوده است. سطح رسوب‌گذاری ۸۲ هکتار و سطح فرسایش ۴/۹ هکتار تعیین شد. بیشترین مقدار رسوب‌گذاری در بخش غربی بندر فریدونکنار است و مناطق فرسایشی در بخش شرقی بندر قرار دارد (شکل ۴).

(ج) بندر نوشهر

بندر نوشهر شاهد جابه‌جایی خط ساحلی تا حداکثر ۳۰۴ متر و حداقل ۴۴ متر در ناحیه شرقی بوده است. میانگین ۲۶ ساله جابه‌جایی خط ساحلی ۱۵۵ متر و متوسط جابه‌جایی سالیانه خط ساحل ۶ متر تعیین شده است. حداکثر متوسط سالیانه ۱۲ متر و حداقل آن ۲ متر است. سرعت تغییرات خط ساحلی، در بخش شرقی بندر نوشهر، بسیار بیشتر از ناحیه غربی آن است و سطح رسوب‌گذاری به ۶۰ هکتار می‌رسد؛ این در حالی است که فرسایش درخور ملاحظه‌ای در ساحل این بندر مشاهده نمی‌شود (شکل ۵).



شکل ۴. جابه‌جایی خط ساحل در محدوده بندر فریدونکنار



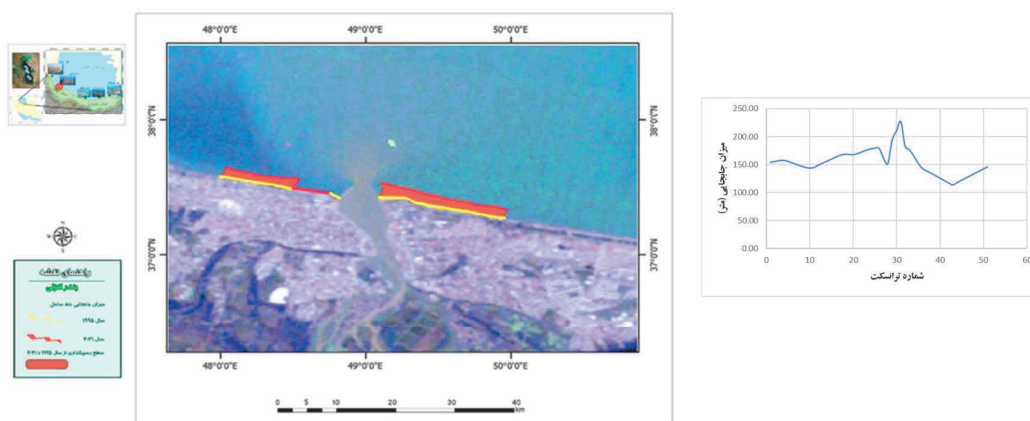
شکل ۵. جابه‌جایی خط ساحل در محدوده بندر نوشهر

(د) بندر انزلی

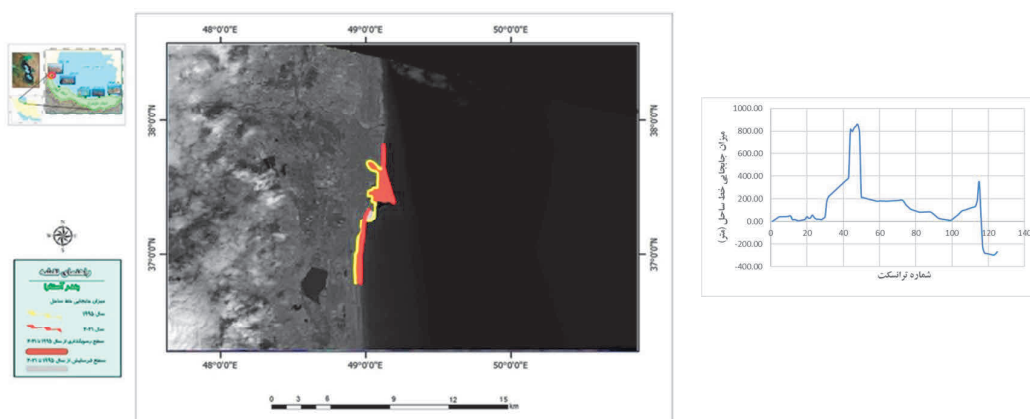
بیشترین مقدار جابه‌جایی خط ساحلی در بندر انزلی به ۲۲۶ متر، در ناحیه شرقی و کمترین مقدار به ۱۱۳ متر، در ناحیه غربی می‌رسد. میانگین جابه‌جایی خط ساحلی، طی زمان مورد نظر، ۱۵۰ متر است. متوسط جابه‌جایی سالیانه خط ساحلی ۶ متر است؛ حداکثر متوسط تغییرات سالیانه ۴ متر، در بخش شرقی و حداقل آن ۲ متر، در ناحیه غربی بندر است. به سبب جهت جریان غالب دریا که از شمال غرب به جنوب شرق در گردش است، رشد بار ماسه‌ای ساحل در بخش شرقی بیشتر از ناحیه غربی است؛ سطح رسوب‌گذاری نیز ۴۱ هکتار تعیین شده و فرسایشی شایان توجهی مشاهده نمی‌شود (شکل ۶).

(و) بندر آستارا

بیشترین میزان جابه‌جایی خط ساحلی در بندر آستارا ۸۵۸ متر، در ناحیه شمالی و کمترین جابه‌جایی ۳۵۰- متر، در ناحیه جنوبی آن رخ داده است. میانگین جابه‌جایی خط ساحلی، طی بازه زمانی ۴۳ ساله، حدود ۱۵۰ متر برآورد شد. متوسط جابه‌جایی سالیانه خط ساحلی ۳ متر، حداکثر متوسط سالیانه ۸ متر، در بخش شمالی و حداقل آن ۳- متر در ناحیه غربی این بندر بوده است. فرایند رسوب‌گذاری فعال در بخش شمالی و فرسایش در ناحیه جنوبی بندر آستارا توسعه دارد که در این میان، آورد رسوبات رودخانه‌های شمال بندر، مانند رود ارس، نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌کند. سطح رسوب‌گذاری ۱۲۸ هکتار و وسعت ساحل فرسایش‌یافته ۱۴ هکتار تعیین شده است (شکل ۷).



شکل ۶. جابه‌جایی خط ساحل در محدوده بندر انزلی



شکل ۷. جابه‌جایی خط ساحل در محدوده بندر آستارا

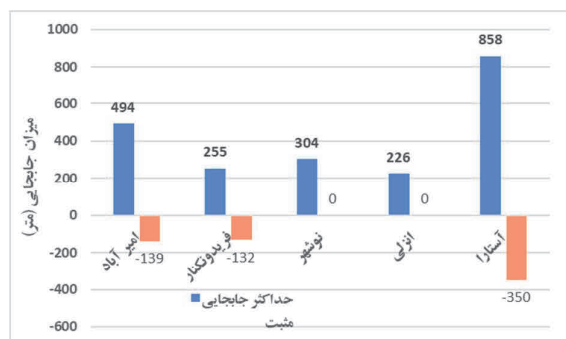


### ۳-۲- مقایسه میزان جابه جایی خطوط ساحلی بندرهای اصلی شمال کشور

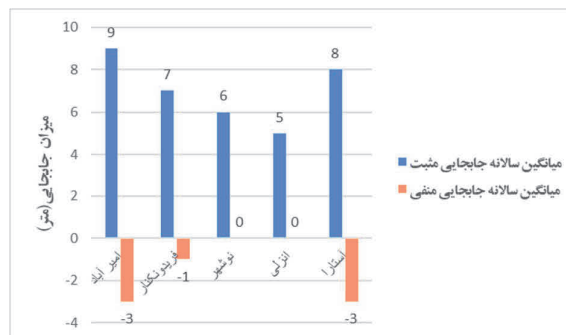
نتایج مقایسه میزان جابه جایی خط ساحل، در محدوده بندرهای اصلی شمال کشور، نشان می دهد که بیشترین میزان جابه جایی خط ساحلی، به ترتیب، در بخش شمالی بندر آستارا با ۸۵۸ متر و ناحیه غربی بندر امیرآباد با ۴۹۴ متر اتفاق افتاده است. بیشترین میزان پسروی ساحل نیز، به ترتیب، به بخش جنوبی بندر آستارا با ۳۵۰- متر و بخش غربی بندر امیرآباد، نزدیک به بندر صدرا، با ۱۳۹- متر و پس از آنها بخش شرقی بندر فریدونکنار، با ۱۳۲- متر، تعلق دارد (شکل ۸). متوسط جابه جایی مثبت سالانه خط ساحل در بندر امیرآباد ۹ متر، در بندر فریدونکنار ۷ متر، در بندر نوشهر ۶ متر، در بندر انزلی ۵ متر و در بندر آستارا ۸ متر است. متوسط جابه جایی منفی خط ساحلی نیز در بندر امیرآباد ۳- متر، بندر فریدونکنار ۱- متر و در بندر آستارا ۳- متر است. این در حالی است که خط ساحلی، در محدوده بندرهای نوشهر و انزلی، دارای جابه جایی منفی نیست (شکل ۹).

### ۳-۳- محاسبه میزان آب گرفتگی و خشک زایی مناطق ساحلی پیرامون بندرهای اصلی شمال کشور

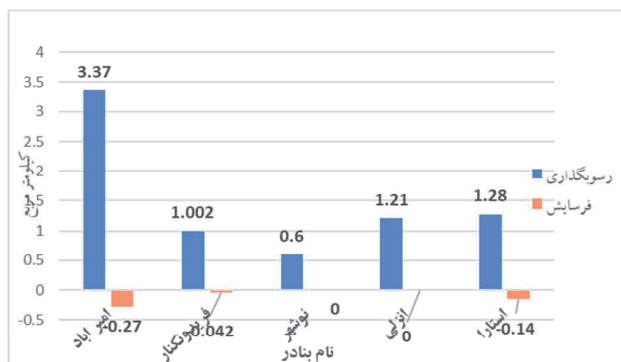
میزان سطح خشک زایی حاصل از پسروی و آب گرفتگی ناشی از پیشروی آب دریای خزر نشان می دهد بیشترین مساحت عقب نشینی ساحل ۳۳۷ هکتار و بیشترین سطح آب گرفتگی ۲۷ هکتار بوده که در بندر امیرآباد اتفاق افتاده است. کمترین سطح خشک زایی، با ۶۰ هکتار، در بندر نوشهر و کمترین سطح آب گرفتگی در بندرهای انزلی و نوشهر رخ داده است. بنابراین بندرهای مورد مطالعه، براساس میزان سطح آب گرفتگی و خشک زایی، در دسته های متفاوتی قرار می گیرند: دارای خشک زایی بالا و آب گرفتگی (مانند امیرآباد)، دارای خشک زایی متوسط و آب گرفتگی (مثل آستارا و فریدونکنار) و دارای خشک زایی اندک و بدون آب گرفتگی (همانند نوشهر و بندر انزلی) (شکل ۱۰).



شکل ۸. مقایسه حداکثر جابه جایی (مثبت و منفی) خط ساحلی بندرهای اصلی شمال کشور



شکل ۹. مقایسه میانگین سالانه جابه جایی (مثبت و منفی) خط ساحلی بندرهای اصلی شمال کشور



شکل ۱۰. مقایسه میزان رسوب‌گذاری و فرسایش متأثر از نوسانات سطح تراز آب دریای خزر، در محدوده بندرهای اصلی کشور

سطح تراز آب دریای خزر، از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۱، ارزیابی شود. مطابق نتایج کمی این تحقیق، میزان جابه‌جایی خط ساحلی در محدوده بندرهای مورد اشاره روند یکنواخت و مشابهی ندارد. خطوط ساحلی بخش منتهی‌الیه جنوب‌غرب در محدوده بندر آستارا و منتهی‌الیه جنوب‌شرق در ناحیه ساحلی مشرف به بندر امیرآباد بیشترین میزان تغییرات را داشته‌اند و فرایندهای عقب‌نشینی و پیش‌روی آب دریا، پیرامون آنها، جریان گسترده‌ای داشته است. گاه تأثیر مشترک دو یا چند سازه بندری سبب افزایش جابه‌جایی خط ساحل و گسترش فرایندهای فرسایشی و رسوبی می‌شود. این نکته، در نتایج آنالیز درباره خط ساحلی پیرامون بندر امیرآباد، به خوبی مشاهده می‌شود و در واقع، تأثیر اسکله بندری صدرا در ساحل منتهی‌الیه غربی بندر امیرآباد سبب شده است خط ساحل، در این ناحیه، به سوی خشکی پیش‌روی داشته باشد و سطح وسیعی از ساحل فرسایش یابد. فرایندهای فرسایشی بیشتر در محدوده شرقی بندرهای اصلی بخش جنوبی دریای خزر دیده می‌شوند زیرا جهت جریان‌های غالب ساحلی، در دریای خزر، در راستای غرب به شرق است و تحت تأثیر این فرایند، رسوب‌گذاری زیاد در ناحیه غربی و فرسایش ساحل در نواحی شرقی رخ می‌دهد. البته استثنای مشخصی در این زمینه، در ناحیه ساحلی مشرف به بندر انزلی، مشاهده می‌شود. در این ناحیه،

یکی از نگرانی‌های بسیار مهم، درمورد بندرهای اصلی شمال کشور، مشکل رسوب‌گذاری است. هر ساله حجم وسیعی از رسوب و بار معلق در محل دهانه‌های ورودی و حوضچه‌های بندری، ترسیب می‌شود و شدت آسیب‌دیدگی شهرهای بندری تحت تأثیر این فرایند، در پهنه‌های مورفولوژیکی کم‌شیب با رسوب‌گذاری فعال (مانند شرق مازندران مرکزی یا شمال‌غرب گیلان) بسیار زیاد است (Ports and Maritime Organization, 2008). ارزیابی میزان تغییر خطوط ساحلی در محدوده بندرها، در برنامه‌های مدیریت جامع مناطق ساحلی، بسیار اهمیت دارد. محاسبه شدت آسیب‌پذیری فیزیکی خطوط ساحلی بندرها، با کمک داده‌های آماری درازمدت، انجام‌پذیر است و نتایج، در تعیین مناطق حساس و مستعد فرسایش و نواحی فعال رسوبی، کاربرد مدیریتی دارد. در روند مطالعات گذشته، برای تعیین میزان جابه‌جایی خط ساحلی از نتایج مقایسه تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، به شیوه مرسوم، در نرم‌افزارهای سنجش از دور یا سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شد و تا کنون از روش آماری مبتنی بر محاسبات ریاضی در مدل رقومی آنالیز خطوط ساحلی، درمورد بندرهای اصلی شمال کشور، استفاده نشده است. در این تحقیق، اولین بار سعی شد این خطوط ساحلی در بازه زمانی منطبق با فاز کاهش

خزر، طی دوره زمانی مورد مطالعه (۲۰۲۱-۱۹۹۵)، حدود ۱۵۰ سانتی‌متر و با سرعت متوسط تقریباً ۶ سانتی‌متر در سال کاهش یافت. واکنش رفتاری خطوط ساحلی بندرها در قبال کاهش سطح تراز آب دریای خزر به گونه‌ای بوده است که، به‌طور متوسط، سالیانه خط ساحلی بندرهای امیرآباد (۹ متر)، فریدونکنار (۷ متر)، نوشهر (۶ متر)، انزلی (۵ متر) و آستارا (۸ متر) به سمت دریا جابه‌جا و به وسعت بخش خشک ساحلی افزوده شود. از طرفی، بخش دیگر اسکله این بندرها با متوسط تغییرات سالیانه خط ساحلی در جهت خشکی، با نفوذ آب دریای خزر، تغییر یافته است و میزان آن، در امیرآباد ۳ متر، فریدونکنار ۱ متر و آستارا ۸ متر است. جالب توجه است که دریای خزر، در محدوده بندرهای نوشهر و انزلی، طی زمان یادشده، به بخش خشک ساحلی نفوذ نکرده و صرفاً جابه‌جایی مثبت بخش خشک ساحلی به سوی دریا مشاهده می‌شود. رودخانه ماشالک در بخش شرقی بندر نوشهر شرایط را برای ورود مواد رسوبی به ساحل فراهم کرده و ساخت تأسیسات و بناهای ساحلی موجب پایداری خط ساحلی در این ناحیه و جابه‌جانشدن آن شده است. موقعیت مکانی بندر انزلی و توسعه جریان‌های موازی با ساحل، در راستای شرق به غرب، تحت تأثیر امواج غالب و با جهت شمال‌شرق، سبب رسوب‌گذاری فعال مواد ماسه‌ای در بخش شرقی این بندر شده است و به همین دلیل، رفتار فرسایشی در این ناحیه مشاهده نمی‌شود. ضمن آنکه سالیانه رسوبات بسیاری از طریق تالاب انزلی وارد دریای خزر می‌شود و توزیع مواد رسوبی، در امتداد خط ساحلی، سبب رشد سطح رسوب‌گذاری در اطراف بندر می‌شود. در نتیجه‌گیری نهایی، خطوط ساحلی بندرهای اصلی شمال کشور، براساس سرعت جابه‌جایی در دسته‌های متفاوتی قرار می‌گیرد: با جابه‌جایی سریع پیش‌رونده و پس‌رونده (مانند امیرآباد و آستارا)، با جابه‌جایی متوسط پس‌رونده و کم‌پیش‌رونده (نظیر فریدونکنار) و بالاخره با جابه‌جایی متوسط پس‌رونده و بدون جابه‌جایی پیش‌رونده (مانند بندر نوشهر و انزلی).

وسعت رسوب‌گذاری در بخش شرقی بندر بیشتر از ناحیه غربی آن است. همچنین، در ساحل بندر آستارا که امتداد شمالی-جنوبی دارد، رسوب‌گذاری فعال در شمال و فرسایش در ناحیه جنوبی آن رخ می‌دهد. بنابراین مناطق ساحلی بندرهای اصلی شمال کشور، براساس شرایط رسوب‌گذاری و فرسایشی، بدین صورت طبقه‌بندی می‌شوند: بندرهای با رسوب‌گذاری بالا و فرسایش شدید (مانند امیرآباد)، دارای رسوب‌گذاری متوسط و فرسایش شدید (مانند آستارا)، دارای رسوب‌گذاری و فرسایش متوسط (مانند بندر فریدونکنار) و رسوب‌گذاری اندک و بدون فرسایش (همچون نوشهر و انزلی) (شکل ۱۰). نتایج مقایسه میانگین جابه‌جایی سالیانه خط ساحلی، در محدوده بندرها، نشان می‌دهد روند تغییرات خط ساحلی، در راستای شرق به غرب از بندر امیرآباد تا بندر انزلی، دارای دامنه‌ای کاهشی است (شکل‌های ۸ و ۹). علت این موضوع به شرایط مورفولوژیکی و ساختار هندسی ساحل (شیب متوسط ساحل) بازمی‌گردد. با افزایش شیب بستر دریای خزر در مناطق ساحلی، میزان جابه‌جایی خط ساحلی کاهش می‌یابد؛ بنابراین دو معیار بسیار مهم، برای کنترل میزان جابه‌جایی خط ساحلی، جهت جریان‌های موازی با ساحل (از عوامل مهم رسوب‌گذاری) و ساختار مورفولوژی و هندسی ساحل است. قراردادن بندر امیرآباد در پهنه مورفولوژی شرق مازندران مرکزی، با شیب بسیار ملایم در ناحیه کم‌رزی دریایی و شیب ملایم در بخش خشک ساحلی، سبب شده است رژیم رسوب‌گذاری فعال ساحلی سالیانه مواد رسوبی بسیار زیادی را در این منطقه نهشت دهد؛ زبانه ماسه‌ای در بخش غربی اسکله امیرآباد تحت تأثیر این فرایند طبیعی رشد کرده است. ساحل مشرف به بندر آستارا هم تقریباً دارای ساختار مورفولوژیکی مشابه با بندر امیرآباد است؛ میزان رسوب‌گذاری در این ناحیه بندری بسیار زیاد است و فرایندهای فرسایشی، هجوم گسترده‌ای به بخش جنوبی بندر آستارا داشته است. سطح تراز آب دریای

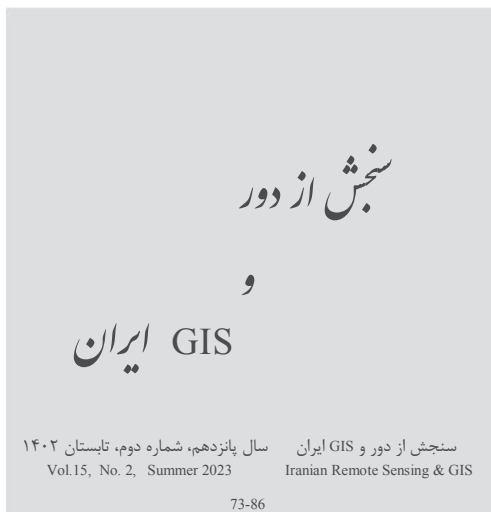
#### ۴- نتیجه‌گیری

مطالعه میزان جابه‌جایی خطوط ساحلی و ارزیابی فرایندهای رسوبی و فرسایشی در محدوده بندرهای تجاری بزرگ، در راستای تحقق برنامه‌های مدیریت جامع مناطق ساحلی برای حفاظت از مناطق ساحلی با هدف توسعه پایدار، بسیار اهمیت دارد. نوسانات سطح تراز آب دریای خزر تهدیدی جدی برای سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌های اقتصادی متمرکز در مناطق ساحلی محسوب می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که رفتار خطوط ساحلی بندرهای مورد نظر، در برابر تغییرات سطح تراز آب دریای خزر، تنوع و تفاوت‌های کمی و کیفی بسیاری دارد. موقعیت مکانی سازه‌های دریایی در امتداد خطوط ساحلی، نحوه قرارگیری منابع تأمین‌کننده رسوبات که مهم‌ترین آنها رودخانه‌هاست و همچنین وضعیت مورفولوژیکی سواحل از مهم‌ترین معیارهایی‌اند که به واکنش‌های رفتاری خطوط ساحلی در بندرها منجر می‌شوند و بی‌تردید همواره متأثر از میزان و شدت نوسانات سطح تراز آب دریای خزرند. بندرهای مورد مطالعه، به لحاظ میزان جابه‌جایی خطوط ساحلی، در سه گروه مهم قرار می‌گیرند (جابه‌جایی مثبت و منفی شدید، جابه‌جایی مثبت و منفی متوسط، بدون جابه‌جایی منفی). وسعت سطوح فرسایشی و رسوبی نیز ممکن است زیاد، متوسط و اندک باشد (طبقه‌بندی آنها بر این مبنا). نتایج این پژوهش برای مطالعات آتی و چگونگی استفاده از مواد رسوبی متمرکز در مناطق دارای رسوب‌گذاری فعال بسیار مهم است زیرا می‌توان از آنها در سامان‌دهی نواحی آسیب‌دیده فرسایشی و برای ایجاد زیستگاه‌های ماسه‌ای حفاظت‌شده استفاده کرد. در نهایت، مدیریت منابع رسوبی رودخانه‌ها و تالاب‌های ساحلی و تأثیرگذاری آنها در تغییرات خطوط ساحلی بندرهای اصلی شمال کشور دارای ضرورت اجرایی مشخص است.

#### ۵- منابع

- Alemi Safaval, P., Kheirkhah Zarkesh, M., Neshaei, S.A. & Ejlali, F., 2018, **Morphological Changes in the Southern Coasts of the Caspian Sea Using Remote Sensing and GIS**, Caspian Journal of Environmental Sciences, 16(98), PP. 271-285.
- Azarmasa, A. & Razmkhah, F., 2011, **Determination of Shoreline Position in Pozm Bay Using Landsat Satellite Data**, Earth and Space Physics, 200: PP. 89-98.
- Del Río, L., Gracia, F.J. & Benavente, J., 2013, **Shoreline Change Patterns in Sandy Coasts. A Case Study in SW Spain**, Geomorphology, 196, PP. 252-266.
- Hapke, C.J., Kratzmann, M.G. & Himmelstoss, E.A., 2013, **Geomorphologic and Human Influence on Large-Scale Coastal Change**, Geomorphology, 199, PP. 160-170.
- Jabaloy-Sánchez, A., Lobo, F.J., Azor, A., Martín-Rosales, W., Pérez-Peña, J.V., Bárcenas, P. & Vázquez-Vilchez, M., 2014, **Six Thousand Years of Coastline Evolution in the Guadalquivir Deltaic System (Southern Iberian Peninsula)**, Geomorphology, 206, PP. 374-391.
- Jedari Eyvazi, J., Yamani, M. & Khoushraftar, R., 2005, **Geomorphological Evolution Of Sefidrud River Delta In The Quaternary Period**, Geographical Research Quarterly, 53, PP. 99-120.
- Kaplin, P.A. & Selivanov, A.O., 1995, **Recent Coastal Evolution of the Caspian SEA as a Natural Model for Coastal Response to the Possible Acceleration of Global Sea-Level Rise**, Marine Geology, 124, PP. 161-175.
- Khoshrovan, H., 2007, **Beach Sediments, Morphodynamics and Risk Assessment Caspian Sea Coast, Iran**, Quaternary International Journal, 167-168, PP. 35-39.
- Khoshrovan, H. & Rouhanizadeh, S., 2011, **The Impact of Coastal Modification and Caspian Rapid Sea Level Change on the Amirabad Coastal Zone**, International Journal of Natural Resources and Marine Sciences, 1(2), PP. 81-91.

- Khoshravan, H. & Vafai, B., 2016, **Caspian Sea Level Fluctuations (Past, Recent and Future)**, the 18<sup>th</sup> International Marine Industries Conference, Kish Island, Persian Gulf, Iran.
- Konlechner, T., Kennedy, D. & M'Grady, J., 2020, **Mapping Spatial Variability in Shoreline Change Hotspots from Satellite Data; A Case Study in Southeast Australia**, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 246.
- Kostianoy, A.G. & Kosarev, A.N., 2014, **The Caspian Sea Environment**, 278, 18- 48, Geographic Department, Lomonosov Moscow State University, Vorobievsky Gory, 119992 Moscow, Russia.
- Kroonenberg, S.B., Badyukova, E.N., Storms, J.E.A., Ignatov, E.I. & Kasimov, N.S., 2000, **A Full Sea Level Cycle in 65 Years: Barrier Dynamics along Caspian Shores**, Sedimentary Geology, 134(3-4), PP. 257-274.
- Mahmoodi, K., Sayehbani, M. & Moradi, A., 2015, **Introduce a New Computational Module for the Shoreline Digital Analysis System to Identify Suspicious Data in Shoreline Change Data**, Mohandesi Darya Journal, 21, PP. 83-94.
- Mahmoudi, A., Nashai, M., Mansouri, A. & Shafaei Bejastan, M., 2017, **Numerical Modeling of Flow and Sedimentation around Nowshahr Port**, Darya Fonon Scientific Quarterly, 5(3), PP. 105-116.
- Malek, J., Bani Hashemi, M. & Gholamnejad, K., 2012, **Investigation of Changes in the Coastline of the Caspian Sea in the Area of Amirabad Port**, 10th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures.
- Malliouri, D.I., Memos, C.D., Takvor, H., Soukissian, T.H. & Tsoukala, V.K., 2021, **Assessing Failure Probability of Coastal Structures Based on Probabilistic Representation of Sea Conditions at the Structures' Location**, Applied Mathematical Modelling, 89 (Part 1), PP. 710-730.
- Misra, A. & Balaji, R., 2015, **A Study on the Shoreline Changes and LAND-use/ Land-Cover along the South Gujarat Coastline**, Procedia Engineering, 116, PP. 381-389.
- Monique, O., Franzen, M., Fernandez, E. & Siegle, E., 2021, **Impacts of Coastal Structures on Hydro-Morphodynamic Patterns and Guidelines towards Sustainable Coastal Development: A Case Studies Review**, Regional Studies in Marine Science, 44, P. 101800.
- Mukhopadhyay, A., Mukherjee, S., Hazra, S. & Mitra, D., 2011, **Sea Level Rise and Shoreline Changes: A Geoinformatic Appraisal of Chandipur Coast, Orissa**, International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences, ISSN: 2277-2081. <http://www.cibtech.org/jgee.htm> 2011 Vol. 1 (1) September-December, pp.9-17/ Mukhopadhyay et al. Research Article 9.
- Peeters, F., Kipfer, R., Achermann, D., Hofer, M., Aeschbach-Hertig, W., Beyerle, U., Imboden, D.M., Rozanski, K. & Fröhlich, K., 2000, **Analysis of Deep-Water Exchange in the Caspian Sea Based on Environmental Tracers**. Deep-Sea Research Part I: Oceanography research papers, 47(4), PP. 621-654.
- Port & Maritime Organization 2008, **Integrated coastal zone management of Iran Seas (national ICZM)**, 354 pp. (in persian).
- Port & Maritime Organization, 2014, **Hydro-dynamic Study on Gorgan Bay**, 240 P.
- Shayan, S., Yamani, M., Abdolahi Kakroodi, A. & Amounia, H., 2020, **Estimation of Coastline Variation in the Caspian Delta Basin Using Digital Shoreline Analysis System (Deltas: Haraz, Babolrood, Talar)**, Journal Statistical Information, 8(4), PP. 34-46.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L. & Ergul, A., 2009, **The Digital Shoreline Analysis System (DSAS)**, Version 4.0, An ArcGIS extension for calculating shoreline change. U.S. Geological Survey.



## Comparison of the Intensity of Coastline Changes and Erosion of the Main Ports on the Caspian Sea Coast

Khoshnavan H.<sup>1\*</sup>, Karimi P.<sup>2</sup>, Alemi Safaval P.<sup>3</sup>, Poursafari Yekrang P.<sup>4</sup>

1. prof Associat institute inresearch of Water, Ministry of Energy, Tehran
2. M.Sc. Remote Sensing and GIS, Research Water and Soil
3. M.Sc. Remote Sensing and GIS, Geological Survey & Mineral Exploration of Iran
4. Water Engineering Dep., Guilan University, Rasht

### Abstract

This study aims to evaluate and compare coastline displacement and erosion intensity on the Caspian Sea's southern shores in the largest ports of Northern Iran, including Amirabad, Fereydunkenar, Nowshahr, Anzali, and Astara. Landsat satellite images were used to estimate the morphological status of the coasts in terms of erosion, sedimentation characteristics, diversity of existing coastal landforms, and changes in the GIS environment were used by digital coastline analysis software (DSAS) over the years 1995 to 2021. It has been indicated that the southern shores of the Caspian Sea differed in how they responded to the construction of port structures and Caspian Sea level (CSL) changes, and the areas of Amirabad and Astara ports had the highest displacements as well as accurate measurements of sedimentation and erosion rates, respectively. Given this situation, the beaches overlooking the ports of Nowshahr and Anzali have had significant changes in sedimentation, while the coast of Fereydunkenar had a very slow erosion rate. The northern ports of Iran, as well as changes in the Caspian Sea level (CSL), have direct physical impacts on the adjacent coasts. The management of concentrated sediment resources on the coast is a reliable solution to reducing erosion rate very effectively and the use of sand resources to mitigate coast erosion.

**Keywords:** Coastal lines, Caspian Sea, Ports, Erodibility, Sedimentation.

\* Correspondence Address: Caspian Sea National Research and Study Center, 8<sup>th</sup> Km. Khezerabad way, Khazar Square, Sari, Mazandaran. el: +98 911 1145640, +98 11 33687976, Fax: +98 11 33687968

Email: h\_khoshnavan@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0001-5535-7689>

<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102925>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).