

بررسی تغییرات دوره‌های خط ساحلی دریای عمان با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تحلیل‌های مکانی

زهرا خان‌محمدی: دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

سعید قره‌چلو*: استادیار گروه مهندسی ژئوتکنیک - راه و نقشه‌برداری، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

عماد مجوبی: استادیار گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۹۹/۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۹/۱۴)

چکیده

خط ساحلی که به عنوان رابط فیزیکی زمین و آب تعریف می‌شود، از نظر طبیعت پویاست و امنیت اقتصادی و اجتماعی را برای سکونتگاه‌های ساحلی فراهم می‌کند. دینامیک و تحول‌پذیری سواحل هر چند پدیده‌ی شناخته شده‌ای است، اما فرکانس و شدت این تغییر و تحول در زمان، الگوهای متفاوتی را معرفی می‌کند که فرآیندهای مختلفی را در پی دارد. این تحول‌پذیری، پیامدهای خاصی در ابعاد انسانی - اقتصادی و زیست محیطی برای سواحل دریای عمان پدید می‌آورد که درک و شناخت آن می‌تواند ابزاری کارآمد در مدیریت مسأله باشد. هدف این مطالعه، شناسایی تغییرات خط ساحلی در امتداد سواحل دریای عمان در ایران با استفاده از داده‌های سری زمانی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سیستم تجزیه و تحلیل دیجیتال ساحل (DSAS) است. از تصاویر ماهواره‌ی Landsat، سنجنده‌های TM و ETM در سه دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ پس از اجرای پیش‌پردازش و تصحیحات استفاده شد. همچنین برای استخراج خط ساحلی در دوره‌های زمانی، از شاخص MNDWI و برای بررسی و آشکارسازی تغییرات فیزیکی نوار ساحلی، از ماژول DSAS در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. میزان تغییرات خط ساحلی نیز به صورت الگوهای فرسایش و رسوب توسط چهار پارامتر آماری نرخ نقطه انتهایی (EPR)، حرکت خالص ساحل (NSM)، سرعت رگرسیون خطی (LRR) و حداقل میانگین مربعات (LMS) اندازه‌گیری شد. نتایج LRR مشخص می‌کند که ساحل دریای عمان با ویژگی فرسایش متوسط ۱۰ متر و رسوب ۸/۳۹ متر در سال، یک ویژگی بسیار پویا را تجربه کرده‌است. همچنین نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که طول خط ساحلی در این دوره‌ی ۲۰ ساله، افزایش قابل توجهی داشته‌است. بهبود مدیریت زمین، کنترل فرسایش، محافظت از موانع طبیعی موجود و تقویت زیرساخت‌ها بهترین گزینه‌های سازگاری برای محافظت از مناطق ساحلی است.

واژگان کلیدی: تغییرات خط ساحل، سنجش از دور، دریای عمان، DSAS، ماهواره‌ی Landsat.

۱- مقدمه

محیط‌های ساحلی از حساس‌ترین سامانه‌های محیطی به شمار می‌رود که تحت تأثیر فرآیندهای هیدرودینامیکی حاکم، تغییر و تحول در آنها نسبتاً سریع است (Yamani et al, 2012). خط تلاقی ناحیه‌ی ساحلی و سطح پهنه‌ی آبی به عنوان خطوط ساحلی، توسط IGDC¹ به عنوان مهم‌ترین عارضه‌های جغرافیایی روی سطح زمین تعریف شده‌است (Karaburun and Demirci, 2010). از نظر زیست‌محیطی نیز مناطق ساحلی به دلیل داشتن اکوسیستم‌های حساس، اهمیت و ارزش فراوانی دارد (Ebadati et al, 2018). مناطق ساحلی اکنون به تدریج به عنوان مناطقی شناخته می‌شود که با آشفتگی‌های شدید طبیعی و انسانی از جمله افزایش سطح دریا، فرسایش و رسوب ساحل و بهره‌برداری بیش از حد منابع روبرو هستند. درصد زیادی از جمعیت جهان در امتداد مناطق ساحلی متمرکز شده‌اند و تقریباً ۷۰٪ سواحل جهان فرسایش ساحلی را تجربه می‌کنند (parhizkar et al, 2019). میزان فرسایش در بسیاری از این مناطق نگران‌کننده است و خطری جدی تلقی می‌شود (Ghosh et al, 2015). مکان و ویژگی‌های خطوط ساحلی در طول زمان، ثابت و پایدار نیستند. زندگی انسان، کشت و منابع طبیعی تحت تأثیر فرایندهای فرسایش و رسوب در امتداد ساحل قرار دارد و تغییرات سریع خط ساحلی می‌تواند تأثیرات اجتماعی و اقتصادی فاجعه‌باری را در این مناطق ایجاد کند. پس درک عمیق پویایی خط ساحلی برای طراحی و استفاده‌ی مناسب از زمین امری لازم و ضروری است (Quashigah et al, 2013). فرآیندهای دریا، توسط حرکات آب دریا و فرآیندهای خشکی نیز توسط انتقال آب و رسوب رودها به دریا نقش ایفا می‌کند (Cooke et al, 1999). مسائل جدیدی مانند تغییرات دوره‌ای آب‌وهوای کره‌ی زمین و در نتیجه تغییرات سطح آب دریا، حرکات آب دریا و نقش آن در بهره‌برداری ساحلی، نقل و انتقالات رسوب در امتداد خط و پهنه‌ی ساحلی و اثرات آن به عنوان عاملی محدودکننده در اهداف سازه‌های ساحلی، پیشروی و پسروی دوره‌ای خط ساحلی تحت تأثیر فرآیندهای فرسایش و جابه‌جایی و تغییر مسیر رودخانه، همه مسائلی هستند که مطالعات گسترده‌ای را در زمینه‌ی تغییرات خطوط ساحلی توجیه می‌کنند (Bheeroo et al, 2016). تغییر در این خط بر اثر عواملی چون امواج، جزر و مد، طوفان‌های دوره‌ای، تغییر سطح دریا، فرآیندهای فرسایشی ساحلی، جابه‌جایی و تغییر مسیر رودخانه‌ها، رسوب‌گذاری و فعالیت‌های انسانی می‌باشد (Nassar et al, 2018)؛ بنابراین، این تغییرات ممکن است توسط عوامل طبیعی یا بشر ایجاد شده باشد.

طول خط ساحلی دریای عمان، تنگه‌ی هرمز و خلیج فارس از بالاترین دامنه‌ی جزر و مد برخوردار است؛ بنابراین، تأثیرات آب دریا در این بخش بیش از هر جای دیگر مشاهده می‌شود (Parhizkar et al, 2019). گسترش ساخت‌وساز در سواحل جنوبی ایران نه تنها به تخریب لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی منجر شده‌است، بلکه باعث تغییر روند فرسایش و رسوب‌گذاری در مناطق ساحلی نیز می‌باشد. فرآیند رسوب‌گذاری عمدتاً معطوف به پشت موج‌شکن بندرها و سازه‌هایی است که از سال ۱۹۹۰ میلادی تاکنون در سواحل ایران احداث شده‌است (Naeimi et al, 2010). آگاهی داشتن از رفتار خط ساحلی، به مدیریت سواحل در هنگام طراحی، احداث تأسیسات ساحلی و تعیین حاشیه‌ی این ساحل کمک فراوانی می‌کند. همچنین با اطلاع داشتن از رفتار خط ساحلی، روش مقابله با تأثیرات منفی و بهره‌گیری از

¹ International Geography Data Committee

تأثیرات مثبت قابل تخمین می‌شود. نظارت بر نواحی ساحلی برای توسعه‌ی پایدار و حفظ محیط‌زیست مهم می‌باشد (Akbarinasab et al, 2018).

راهبردهای مدیریتی قابل قبول، نیازمند مقابله‌ی بیشتر با خطرات ناشی از فرسایش ساحلی است. مدیریت ساحلی بر اطلاعاتی متکی است که در مورد موقعیت، حرکت خطوط ساحلی و تغییرات آن بیان می‌شود. برآوردهای زمینی پویایی چشم‌اندازهای زمین (به‌ویژه فرسایش) در مقیاس وسیع، اغلب مشکل و بسیار هزینه‌بر است (Parhizkar et al, 2019). امروزه روش‌های سنجش از دور در عین ارزان بودن و بهره‌مندی از دقت بالا، امکان مشاهده و مدیریت پیوسته‌ی سواحل را فراهم می‌سازد (Rahmati et al, 2018). این مزایا سبب شده بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین موقعیت خط ساحلی در دنیا، افزایش روزافزونی داشته باشد. فقدان توجه به رفتار خط ساحلی و تغییرات آن، در بعضی موارد مشکلاتی را در تأسیسات ساحلی ایجاد می‌کند؛ برای مثال، موج‌شکن بزم در استان سیستان و بلوچستان قبل از تکمیل، به صورت عملی بخش عمده‌ای از کارایی خود را از دست داد و با مشکل روبه‌رو شد. این امر به دلیل تجمع رسوبات دریایی در بخش درونی این موج‌شکن بود (Azarmsa et al, 2006). به طور مشابه، تغییرات ساحل دریای عمان نیز می‌تواند بر تأسیسات و سازه‌های زیربنایی مانند پروژه‌های عمرانی، صنعتی، اقتصادی و اجتماعی اثرات منفی بگذارد. بنابراین، آشکارسازی تغییرات محیطی در برنامه‌ریزی مناسب برای توسعه‌ی پایدار و بهره‌برداری منطقی از امکانات و پتانسیل‌های طبیعی منطقه، اهمیت زیادی دارد تا بتوان در محیطی امن و سازگار با طبیعت و هماهنگ با روند آن، در جهت این تغییرات گام برداشت و در برنامه‌ریزی‌ها از آن استفاده کرد.

تا کنون پژوهشگران در نقاط گوناگون جهان، از دیدگاه‌های مختلف به مطالعه و بررسی تغییرات سواحل پرداخته‌اند. Rasuly و همکاران (۲۰۱۰)، به بررسی تغییرات خط ساحلی دریای خزر با استفاده از تکنیک‌های شیء‌گرا پرداختند. در این راستا از تصاویر Landsat MSS، TM¹ و ETM⁺ استفاده کردند و با تکنیک چند رزولوشن تقسیم‌بندی تصویر، مناطقی را که دارای تغییرات زیاد بودند، مشخص کردند. نتایج آنها حاکی از مشاهده‌ی چندین سال نوسانات و تغییرات دوره‌ای قابل توجه بود. این امر پی‌درپی به کاهش مناطق اراضی ساحلی عمدتاً در بندر بابلس منجر شد و تغییر پوشش سطح زمین و انواع کاربری اراضی را نیز به همراه داشت. Li و همکاران (۲۰۱۰)، به بررسی تغییرات خط ساحلی رودخانه‌ی Pearl در چین پرداختند. آنها برای تجزیه و تحلیل تغییرات خطوط ساحلی، از تصاویر چند زمانه‌ی Landsat و SPOT در ترکیب با داده‌های توپوگرافی و دریایی استفاده کردند. نتایج نشان داد تغییرات بزرگی در شرق خلیج در امتداد سواحل شبه جزیره‌ی Shekou ایجاد شده که ناشی از ساخت‌وساز گسترده‌ی بندر است. همچنین مشخص شد یکی از مهم‌ترین تأثیرات تغییرات ساحلی در رودخانه‌ی Pearl، باریک شدن کانال این رودخانه است که به جاری شدن سیل بیشتر در قسمت بالایی رودخانه منجر می‌شود. Yamani و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، به بررسی تغییرات دوره‌ای خط ساحلی در شرق تنگه‌ی هرمز پرداختند. ابزارهای اصلی پژوهش آنها، تصاویر ماهواره‌ای TM-5 در یک بازه‌ی زمانی ۲۴ ساله بود. آنها از سه روش Maximum Likelihood، Distance Minimum و در نهایت Binary Encoding برای طبقه‌بندی پیکسل‌های تصویر به دو طبقه‌ی دریا و ساحل استفاده کردند. یافته‌های آنها نشان داد حداکثر پیشروی خط ساحلی در این بازه‌ی زمانی، حدود

¹ Thematic Mapper

² Enhanced Thematic Mapper

۷۷۰ متر در نزدیکی مصب رود گزر بوده‌است. بر اساس نتایج آنها، تصویر طبقه‌بندی شده‌ی حاصل از روش BEC^۱ بیشترین تطابق را با واقعیت داشته و بیشترین جابه‌جایی ساحلی نیز در ناحیه‌ی غربی تنگه‌ی هرمز بوده‌است. همچنین مشخص شد که تصاویر TM-5 هم به لحاظ توان تفکیک طیفی و هم زمینی، در ارزیابی تغییرات خط ساحلی کارایی مناسبی دارد. Zeinali و Asghari (۲۰۱۲)، به بررسی تغییرات خط ساحلی تراز آب دریاچه‌ی ارومیه و تأثیر آن بر شهرهای واقع در حوضه‌ی آن پرداختند. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای Landsat سال‌های ۱۹۷۵، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹، همچنین از نرم‌افزارهای ENVI و ERDAS برای پردازش تصاویر استفاده شد. آنها کاهش جریان ورودی به دریاچه از طریق انحراف آب رودخانه‌های تغذیه‌کننده‌ی آن برای مقاصد کشاورزی را به عنوان عامل اصلی افت سطح آب این دریاچه معرفی کردند. ChenthamilSelvan و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تکنیک‌های GIS^۲ و سنجش از دور، به ارزیابی تغییرات خط ساحلی در امتداد ساحل Karnataka در هند پرداختند. آنها از داده‌های ماهواره‌ای چند رزولوشن مانند Landsat TM، MSS Landsat و Landsat ETM+ استفاده و خطوط ساحلی را با پردازش باندهای NIR از Landsat TM با استفاده از «آستانه سطح خاکستری^۳» و توسط «تکنیک تقویت لبه^۴» شناسایی و ترسیم کردند. تجزیه و تحلیل آنها نشان داد که استفاده‌ی ترکیبی از تصاویر ماهواره‌ای و روش آماری مانند رگرسیون خطی وزنی، می‌تواند روشی قابل اعتماد برای بررسی تغییر ساحل باشد. Ahmadi و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، به بررسی روند تغییرات خط ساحلی در شهرستان بندر دیر در خلیج فارس پرداختند. بدین منظور، از تصاویر ماهواره‌ای Landsat TM و Landsat ETM+ سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۶ استفاده کردند و با روش فیلترگذاری و آستانه‌گذاری، هیستوگرام تغییرات خط ساحلی را به دست آوردند. از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰، پیشروی خط ساحل به سمت خشکی تا ۲۸۲۹ متر نیز اندازه‌گیری شده‌است. حداکثر و حداقل جابه‌جایی‌ها طی ۲۰ سال، به ترتیب ۲۷ و ۲۸۷۳ متر است. Ardeshiri-Lajimi و Moradi (۲۰۱۵)، به کمی‌سازی و تحلیل آماری تغییرات خط ساحلی در بازه‌ی زمانی ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۹ در جزیره‌ی قشم پرداختند و از ابزار DSAS استفاده کردند. این تحقیق نشان داد که طی بازه‌ی زمانی فوق، میزان تغییرات خطوط ساحل در منطقه‌ی مورد مطالعه به دلیل فرسایش پسروی داشته‌است. Negahban و همکاران (۲۰۱۶) نیز با استفاده از سنجش از دور، به پایش تغییرات خط ساحلی در محدوده‌ی ساحلی دریای عمان از چابهار تا بندر تنگ پرداختند. آنها از تصاویر ماهواره‌ای TM، ETM+ و OLI^۵ استفاده کردند. سپس با روش مقایسه‌ای به طبقه‌بندی خط ساحلی پرداختند. نتایج حاکی از بیشتر بودن پسروی‌های خط ساحلی نسبت به پیشروی‌های آن در طول دوره‌ی مورد مطالعه بود. تغییرات به صورت پسروی، بیشتر ناشی از فعالیت‌های انسانی در این منطقه بود. عامل دیگری که به بالاآمدگی ساحل این منطقه منجر شده، تکنوتیک است. Mafi-Gholami و همکاران (۲۰۱۶) نیز به بررسی وضعیت پیشروی و پسروی جنگل‌های مانگرو با استفاده از RS و GIS پرداختند. بدین منظور از تصاویر Landsat سال‌های ۱۹۸۶، ۱۹۸۸ و ۲۰۱۴ استفاده و میزان تغییر مرز مانگروها با استفاده از نرم‌افزار DSAS محاسبه شد. نتایج نشان داد مانگروهای واقع در بخش غربی، در مرزهای خود وضعیت پسروی دارند.

^۱ Binary Encoding Classification

^۲ Geographic Information System

^۳ Gray Level Thresholding

^۴ Edge Enhancement Technique

^۵ Operational Land Imager

Sharifikia و همکاران (۲۰۱۷)، تغییرات دینامیک خط ساحل بخش شرقی دریای خزر را به کمک داده‌های چند زمانه/ چند سنجنده‌ای تعیین کردند. در این پژوهش از سری داده‌ی چند زمانه سنجنش از دوری شامل عکس‌های هوایی، تصاویر سنجنده‌های TM و ETM و تصاویر سنجنده کارتوست^۱ از سکوی ماهواره‌ای P5 و IRS، همچنین تصاویر سنجنده فعال ماهواره راداری جانسن^۲ استفاده شد. تحقیق آنها روشن ساخت که از سال ۲۰۱۱ روند کاهش تراز آبی و پسروی کرانه ساحلی در اراضی کم‌عمق خلیج گرگان و سواحل گمیشان سرعت یافته‌است. Razmi و همکاران در سال (۲۰۱۷) به ارزیابی استفاده از شاخص بهینه و MNDWI^۴ در بررسی تغییرات خط ساحلی شمال خلیج فارس در منطقه دیر پرداختند. در این پژوهش از تصویر ماهواره‌ی OLI سال ۲۰۱۵ میلادی استفاده شد. آنها با الگوریتم OIF و شاخص MNDWI در نرم‌افزارهای GIS و MATLAB، به استخراج خط ساحلی پرداختند و نشان دادند که مرز استخراج شده از شاخص MNDWI با نقاط برداشت شده همخوانی بیشتری دارد. Nadizadeh Shurabeh و همکاران (۲۰۱۸)، به بررسی تأثیر تغییرات دوره‌ای خطوط ساحلی در گسترش نمک‌زارهای حاشیه‌ی دریاچه‌ی ارومیه پرداختند. آنها از تصاویر Landsat استفاده کردند. این بررسی نشان داد که قوی‌ترین و ضعیف‌ترین شاخص در استخراج خط ساحلی دریاچه‌ی ارومیه، شاخص NDWI^۵ و NDMI^۶ می‌باشد. بیشترین تغییرات مساحت خط ساحل مربوط به دوره‌ی زمانی ۲۰۱۱ است. قسمت‌های جنوب شرقی و جنوب نیز به دلیل عمق کم دارای بیشترین تغییرات هستند، اما در جهت‌های شمالی این تغییرات کمتر بوده است. Ebadati و همکاران (۲۰۱۸) نیز با استفاده از تکنیک‌های سنجنش از دور به بررسی روند تغییرات خط ساحلی بندر عسلویه تا بندر دیر پرداختند. آنها پنج تصویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۱، ۲۰۰۶، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ را انتخاب و از انجمن زمین‌شناسی آمریکا فراهم کردند. نتایج نشان داد که مساحت اراضی انسان‌ساخت و بایر طی دوره‌ی زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۱ افزایش یافت و از مساحت پوشش گیاهی، آب و مراتع در سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ کاسته شد. این شرایط با توسعه‌ی میدان نفتی پارس جنوبی همزمان بود. Imani (۲۰۱۸) به بررسی جابه‌جایی مصب رودخانه‌ی سپیدرود و تغییرات خط ساحلی جنوب غربی دریای خزر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و با به کارگیری مدل DSAS در بازه‌ی زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات خط ساحلی در دلتای سپیدرود، جابه‌جایی زیادی به همراه داشت. Rahmati و همکاران (۲۰۱۸)، عوامل مؤثر بر هیدرو دینامیک خط ساحلی قاعده‌ی دلتای اروندرود را طی بازه‌ی زمانی ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۶ بررسی کردند. بدین منظور، از تصاویر ماهواره‌ای Cartosat (IRS-p5)، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای Landsat استفاده شد. از روش DSAS^۷ نیز برای محاسبه‌ی میزان تحرک خط ساحلی استفاده شد. نتایج آنها نشان داد که عامل اصلی تغییر شکل محدب مورفولوژی خط ساحلی به سمت غرب در مقیاس محلی، نقل و انتقال جریان رسوب توسط جریان‌های دریایی و در مقیاس منطقه‌ای، جریان‌های متأثر از نیروی کوریولیس است. Parhizkar و همکاران (۲۰۱۹) نیز تغییرات زمانی خط ساحلی شمال تنگه‌ی هرمز را از طریق الحاقیه‌ی DSAS تحلیل کردند. نتایج آنها نشان داد که در این منطقه

^۱ Cartosat

^۲ Indian Remote Sensing

^۳ Jansoen

^۴ Modified Normalised Difference Water Index

^۵ Normalized Difference Water Index

^۶ Normalized Difference Moisture Index

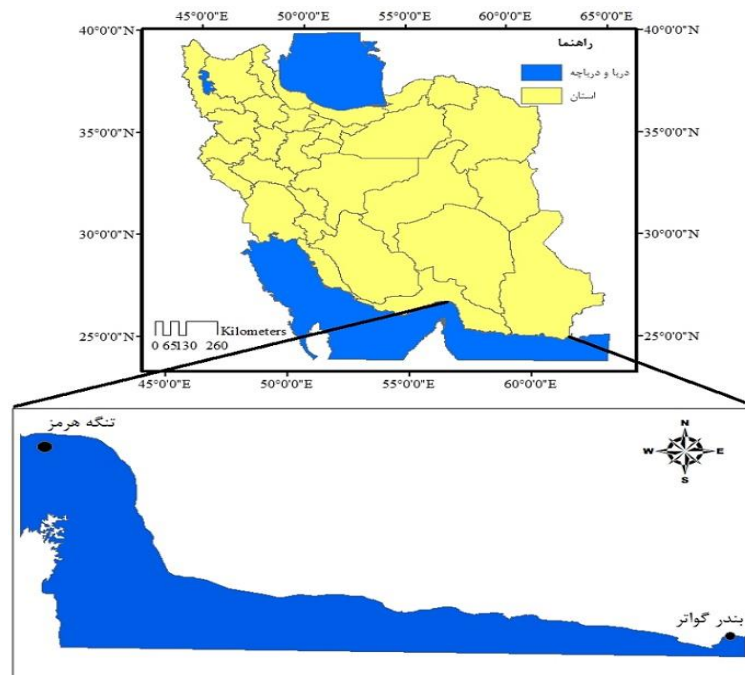
^۷ Digital Shoreline Analysis System

رسوب‌گذاری بیش از فرسایش بوده‌است. شاخص EPR و LRR در این منطقه به ترتیب ۱۰ و ۱۱/۰۴ متر بر سال به دست آمد. خطوط ساحلی پیش‌بینی شده برای ۱۰ تا ۲۰ سال آینده نیز بیانگر پیشروی خط ساحل به سمت دریا و امتداد همین روند رسوب‌گذاری است. Vivek و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی پویایی دهانه دریاچه‌ی Chilika پرداختند. آنها با به کارگیری تصاویر Landsat و الحاقیه‌ی DSAS در یک دوره‌ی ۳۰ ساله، به محاسبه‌ی میزان تغییر خط ساحلی پرداختند. نتایج نشان داد که این منطقه هم فرسایش ۱۳/۶ متر بر سال و هم رسوب‌گذاری ۱۳/۵ متر بر سال را تجربه کرده‌است.

مرور پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد بررسی‌هایی که بر روی خط ساحلی دریای عمان انجام شده، به شکل محلی و به صورت بخشی از ساحل یک منطقه بوده و تاکنون کل خط ساحلی از تنگه‌ی هرمز تا بندرگواتر بررسی نشده است. بنابراین هدف این پژوهش، بررسی و ارزیابی وضعیت تغییرات خط کامل ساحلی دریای عمان در بازه‌ی زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای ArcGIS و ماژول DSAS می‌باشد.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

دریای عمان از پیشروی آب اقیانوس هند به داخل خشکی در جنوب غربی آسیا شکل گرفته‌است و کشورهای ایران و پاکستان در شمال آن و کشورهای عمان و امارات در جنوب آن قرار دارد. دریای عمان از سمت غرب توسط تنگه‌ی هرمز به خلیج فارس و از سمت شرق و جنوب شرقی به دریای عرب و اقیانوس هند وصل می‌شود. سواحل جنوبی ایران از تنگه‌ی هرمز تا بندر گواتر مجاور آن است و این مسافت نیمی از سواحل جنوبی ایران را تشکیل می‌دهد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

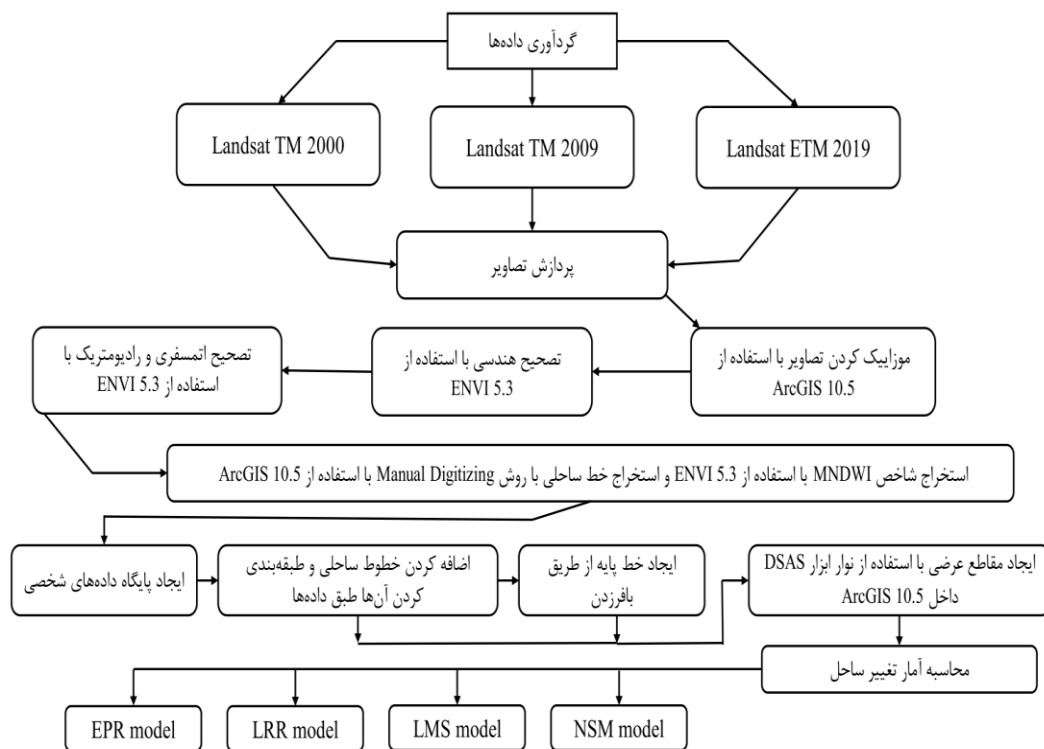
۳- مواد و روش

امروزه تصاویر ماهواره‌ای متنوع‌تری نسبت به گذشته و به صورت رایگان در دسترس پژوهشگران و علاقه‌مندان قرار گرفته‌است تا از طریق آن به تفسیر و استخراج اطلاعات محیط زیست بپردازند. به علاوه، جذب طول‌موج مادون قرمز توسط آب و قابلیت بازتاب قوی آن توسط پوشش گیاهی و خاک، این تصاویر را به ترکیب ایده‌آلی تبدیل کرده‌است که از آن برای تهیه نقشه‌ی توزیع فضایی زمین و آب استفاده می‌شود. این مشخصه‌های آب، پوشش گیاهی و خاک، امکان تهیه نقشه‌ی خط ساحلی از این تصاویر را - که حاوی باندهای مرئی و مادون قرمز می‌باشد - فراهم می‌سازد (DeWitt et al, 2002). بدین منظور و برای بررسی تغییرات خط ساحلی دریای عمان در محدوده‌ی بندر گوآتر تا تنگه‌ی هرمز، سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ به عنوان مبنا انتخاب شد. مبنای برداشت تصاویر برای هر سه دوره، ماه اردیبهشت است. با توجه به طول بازه‌ی زمانی، تصاویر دو ماهواره‌ی لندست ۵ و ۸ انتخاب شد. در مرحله اول، تصاویر دارای ابرناکی حذف شد و تصاویری که پوشش ابری کمی (ده درصد) داشت، مشخص شد (جدول ۱).

جدول ۱: خصوصیات تصاویر به کار گرفته شده در بررسی تغییرات

شماره ردیف	نوع ماهواره	نوع سنجنده	قدرت تفکیک مکانی	تاریخ اخذ تصویر	قدرت تفکیک رادیومتری	تعداد تصاویر موزاییک شده
۱	لندست ۵	TM	۲۸/۵ متر	۲۰۰۰/۰۵/۰۸	۸ بیت	۱۵
۲	لندست ۵	TM	۲۸/۵ متر	۲۰۰۹/۰۵/۰۸	۸ بیت	۱۵
۳	لندست ۸	ETM	۳۰ متر	۲۰۱۹/۰۵/۰۷	۱۲ بیت	۱۵

شکل ۲، فرآیند اجرای تحقیق را نشان می‌دهد. بر این اساس پس از دانلود و آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای از سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)، برای از بین رفتن اثرات و شرایط اتمسفری، نحوه‌ی تصویربرداری شامل جابه‌جایی، اعوجاج و چرخش و ...، تصحیحات رادیومتری (تبدیل DN های تصویر به تصاویر بازتاب) و اتمسفری انجام شد. بعد از این مرحله چون منطقه‌ی مورد مطالعه در داخل یک فریم تصویر لندست قرار نگرفته‌است، تصاویر مربوط به هر سال برای پوشش منطقه‌ی مورد مطالعه، موزاییک شد. تعداد ۱۵ تصویر ماهواره لندست برای پوشش منطقه‌ی مورد مطالعه در هر دوره‌ی زمانی موزاییک شد.



شکل ۲: فلوچارت مراحل اجرای تحقیق

در ادامه برای تفکیک مرز آب و خشکی، از محاسبه‌ی شاخص تفکیک مرز آب و خشکی (MNDWI) در نرم‌افزار ENVI 5.3 استفاده شد. این شاخص از ترکیب باندهای سبز (Green) و مادون قرمز میانی (Mid-Infrared) ایجاد شده‌است. باند سبز به تفاوت کدورت آب و رسوب و توده‌ی آلودگی حساس است؛ چرا که اوج بازتاب سبز از سطح برگ را پوشش می‌دهد و می‌تواند برای تشخیص طبقات گسترده‌ای از پوشش گیاهی مفید باشد. باند مادون قرمز میانی، مغایرت قوی بین ویژگی‌های زمین و آب با توجه به درجه‌ی بالایی از جذب توسط آب و بازتاب قوی توسط زمین را در این محدوده نشان می‌دهد؛ بنابراین الگوریتم MNDWI - که ترکیبی از باندهای سبز و مادون قرمز میانی است - برای تبعیض بین زمین و آب ایده‌آل می‌باشد (Razmi et al, 2017) و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$MNDWI = \frac{(Green - Mir)}{(Green + Mir)} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

باند Green در لندست ۵ و ۸، باند شماره‌ی ۳ و باند Mir در لندست ۸، باند شماره‌ی ۶ و در لندست ۵، باند شماره‌ی ۵ می‌باشد. بعد از اعمال شاخص تفکیک مرز آب و خشکی، رقومی کردن خطوط ساحلی در نرم‌افزار ESRI به صورت دستی و با استفاده از تکنیک‌های بزرگ‌نمایی و ترکیب‌های بلندی با دقت بالا انجام شد.

پس از استخراج خط ساحل از تصاویر ماهواره‌ای، از روش DSAS برای محاسبه‌ی میزان تحرک خط ساحلی و تغییرات آن بر تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. DSAS v4.3 نسخه‌ای الحاقی از نرم‌افزار ESRI ArcGIS 10.5 است که سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آن را توسعه داده و میزان آماری جابه‌جایی موقعیت ساحل را از گذشته تا حال محاسبه می‌کند. افزونه DSAS در محیط ArcGIS، امکان محاسبه‌ی مقیاس و میزان تغییر آمار را از چندین موقعیت و

منابع ساحلی تاریخی فراهم می‌سازد. با این حال، این روش تنها برای پرداختن به ویژگی‌هایی مفید است که می‌توانند به صورت خطی در یک زمان خاص نشان داده شوند؛ البته دقت نتایج نیز به صحت داده‌های ورودی بستگی دارد.

روش محاسبه‌ی میزان تغییر ساحل، عمدتاً با ایجاد پایگاه داده شخصی در ArcCatalog 10.5 برای موقعیت‌های ساحلی استخراج شده آغاز می‌شود. هر خط ساحلی ویژگی‌هایی دارد که شامل تاریخ، طول، شناسه، شکل و فقدان اطمینان است. تاریخ برداشت هر تصویر در ستون تاریخ وارد شده است، در حالی که طول، شناسه و شکل به طور خودکار تولید می‌شود. سپس سه موقعیت خط ساحلی به صورت یک شیپ‌فایل به مدل معرفی می‌شود. از نظر بعد، یک پایه‌ی فرضی از خط ساحل ایجاد می‌شود. سه روش برای مشخص کردن خط پایه وجود دارد: ۱. ایجاد یک پایه از فاصله‌ی خاص خط ساحلی؛ ۲. با استفاده از یک مبنای پیشین؛ ۳. روش بافر. روش سوم، مطمئن‌ترین و دقیق‌ترین روش برای مشخص کردن خط پایه است؛ زیرا همان شکل سینوسی نزدیک‌ترین خط ساحلی را به خود اختصاص می‌دهد (Nandi et al, 2016). از این رو، از روش بافر برای ایجاد خط پایه ساحلی استفاده شد. برخی از فیلدهای توصیفی (به عنوان مثال OBJECTID, SHAPE, SHAPE Length, ID, Group, OFFshore, CastDir) برای اجرای محاسبه‌ی خط پایه در نرم‌افزار DSAS ضروری هستند. این ویژگی‌ها اطلاعات لازم را در مورد ترتیب مقاطع عرضی و موقعیت خط پایه در زمینه‌ی خط ساحلی به DSAS می‌دهد. فاصله‌ی مقاطع عرضی به میزان ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد و در نهایت پس از ایجاد کلاس ویژگی هر مقطع، درصد تغییر خط ساحل با استفاده از مدل‌های آماری مختلف شامل EPR^۱، LRR^۲، LMS^۳ و NSM^۴ به صورت خودکار محاسبه شد. در ادامه، تجزیه و تحلیل کیفی برای تعیین مقاطع فرسایش / رسوب نیز با استفاده از مدل NSM انجام شد.

EPR (درصد تغییرات)، روشی مرسوم در محاسبات میزان حرکت خطوط ساحلی است که بر اساس معادله‌ی ۲ محاسبه می‌شود (Hwang et al, 2014 & Ayadi et al, 2016).

$$EPR = \frac{l_1 - l_2}{t_1 - t_2} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

که در آن l_1 و l_2 ، فاصله‌ی خط ساحلی از خط پایه و t_1 و t_2 ، تاریخ دو موقعیت خط ساحلی است. روش دوم که از آن برای محاسبه‌ی میزان تغییر استفاده می‌شود، از طریق LRR (میزان رگرسیون خطی) است. این روش شامل قرار دادن حداقل خط رگرسیون مربعات در چندین نقطه‌ی موقعیت ساحلی برای یک مقطع خاص است. درصد تغییر خط ساحل در امتداد هر مقطع برای همه‌ی دوره‌ها با محاسبه‌ی معادله‌ی رگرسیون خطی $L = b + mx$ محاسبه و ارزیابی می‌شود. L فاصله از خط پایه (متر)، b رهگیری y ، x فاصله‌ی زمانی خط ساحل (سال) و m شیب خط یا همان سرعت تغییر خط ساحلی (LRR) بر حسب متر بر سال را نشان می‌دهد. در روش رگرسیون خطی، از داده‌های نمونه برای محاسبه‌ی میانگین انحراف استفاده می‌شود و معادله برای خط با به حداقل رساندن این مقدار تعیین می‌شود تا نقاط ورودی تا حد ممکن نزدیک به خط رگرسیون قرار گیرد. در حالی که در روش LMS (حداقل میانه

¹ End Point Rate

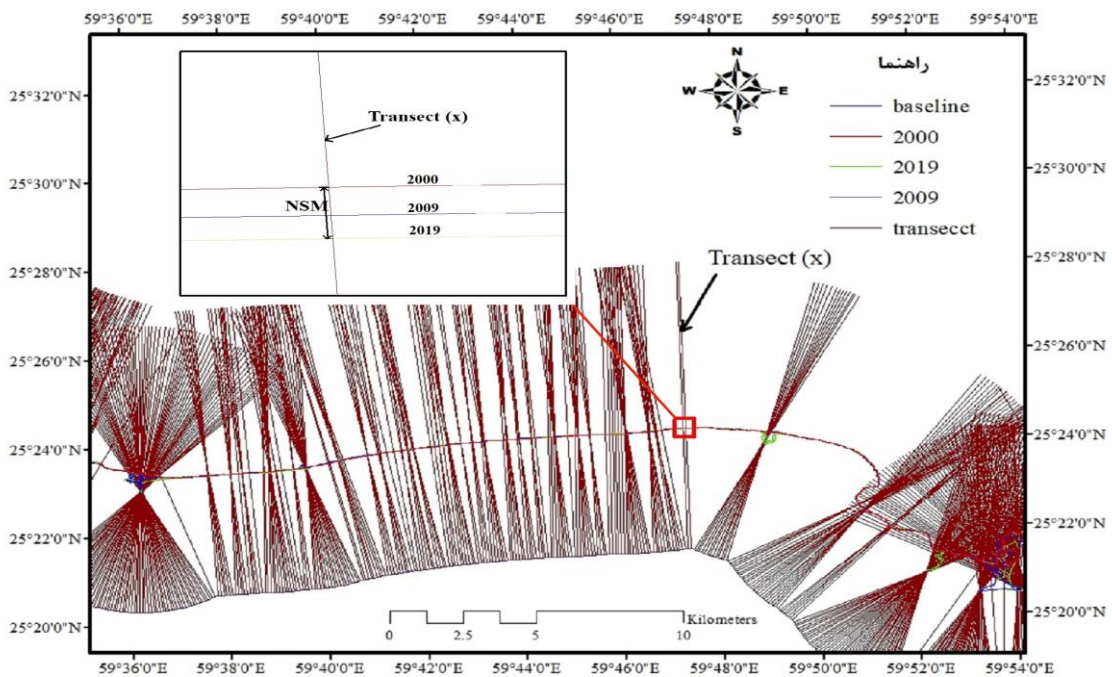
² Linear Regression Rate

³ Least Median of Squares

⁴ Net Shoreline Movement

مربعات)، از مقدار متوسط باقی‌مانده‌های مربع به جای میانگین برای تعیین مناسب‌ترین خط معادله استفاده می‌شود. NSM (حرکت خالص خط ساحلی)، فاصله‌ی خالص بین موقعیت ساحلی قدیمی و جدید برای هر مقطع است. مقدار منفی EPR، LRR، NSM و پسروری خط ساحلی را نشان می‌دهد؛ در حالی که یک مقدار مثبت، بیانگر پیشروی خط ساحلی می‌باشد (Nassar et al, 2018).

در شکل ۳، جزئیات موقعیت خطوط ساحلی در سال‌های مختلف در یک مقطع عرضی مشخص آمده‌است. جدول ۲ نیز طبقه‌بندی ساحل از نظر درصد فرسایش/رسوب را براساس میزان تغییرات ساحلی نشان می‌دهد (Natesan et al, 2015).



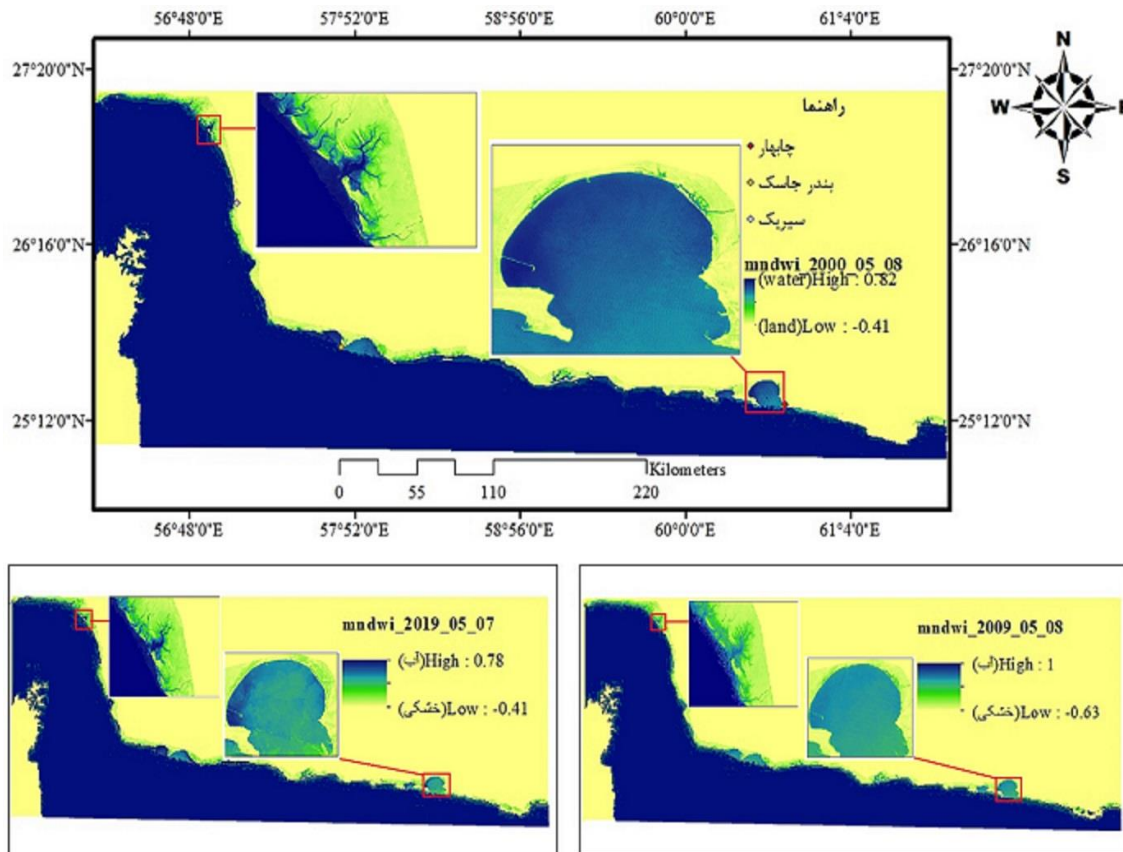
شکل ۳: جزئیات موقعیت خطوط ساحلی در ترانسکت (X) و NSM

جدول ۲: طبقه‌بندی ساحل براساس میزان تغییرات ساحلی

شماره ردیف	میزان تغییرات ساحلی (متر بر سال)	طبقه‌بندی ساحل
۱	> -2	فرسایش خیلی زیاد
۲	> -1 تا < -2	فرسایش زیاد
۳	> 0 تا < -1	فرسایش متوسط
۴	۰	پایدار
۵	> 0 تا $< +1$	رسوب‌گذاری متوسط
۶	$> +1$ تا $< +2$	رسوب‌گذاری زیاد
۷	$> +2$	رسوب‌گذاری خیلی زیاد

۴- یافته‌ها (نتایج)

پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز ماهواره‌ای، برای تفکیک مرز آب و خشکی از شاخص MNDWI در نرم‌افزار ENVI 5.3 استفاده شد. شکل شماره ۴، شاخص MNDWI استخراجی از محدوده‌ی مورد مطالعه در سال ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد.

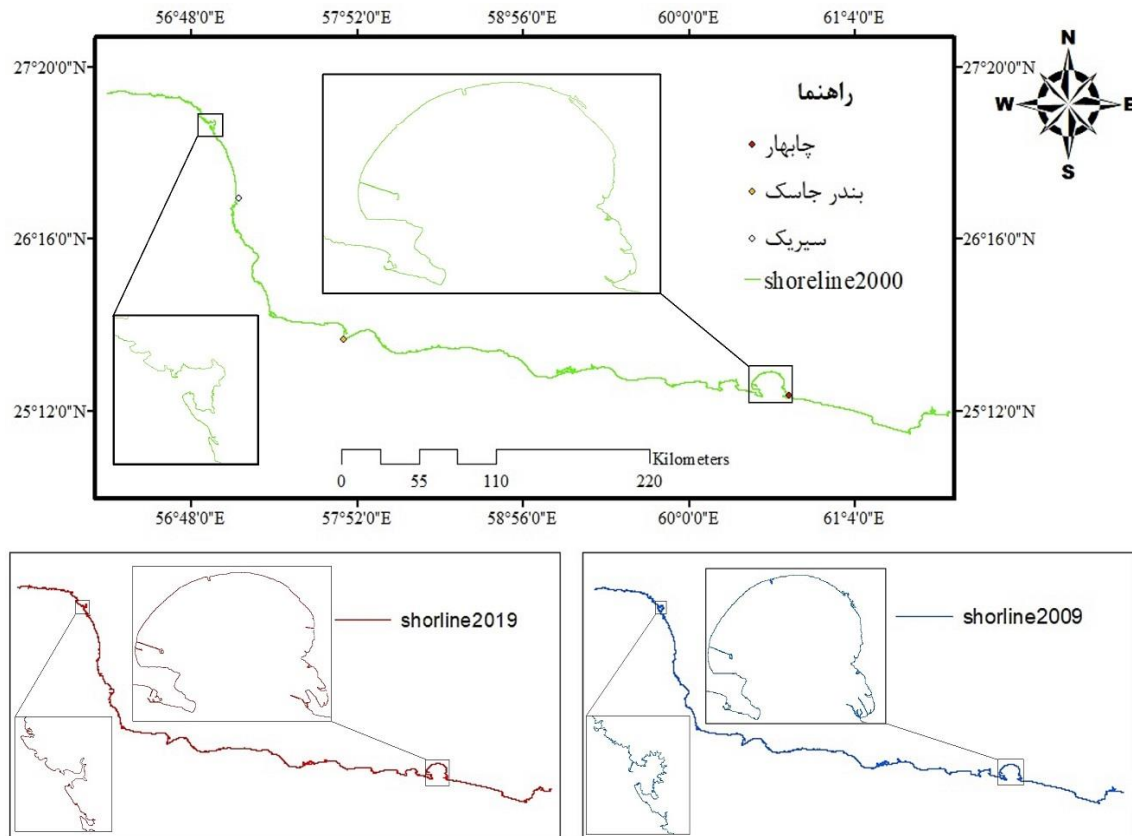


شکل ۴: استخراج شاخص MNDWI از تصاویر لندست سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹

بعد از استخراج شاخص تفکیک MNDWI، رقومی کردن خطوط ساحلی در نرم‌افزار ESRI به صورت دستی و با دقت بالا انجام شد. شکل شماره ۵، خط ساحلی دریای عمان را در سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. در شکل شماره ۶ نیز سه خط ساحلی مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ در یک تصویر نشان داده شده‌است. ضمناً قسمت‌های a تا c مناطقی هستند که تغییرات خطوط ساحلی در آنها ملموس بوده‌است.

جدول ۳، نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش DSAS را بر اساس مدل‌های آماری مختلف نشان می‌دهد. مقادیر مثبت و منفی EPR، LRR و LMS در این جدول، به ترتیب بیانگر تجمع رسوب و فرسایش است. براین اساس، در منطقه‌ی مورد مطالعه تعداد ۷۷۶۲ مقطع عرضی زده شد و براساس پارامترهای آماری NSM، EPR، LRR و LMS، درصد کل مقاطع پیشروی به ترتیب برابر با ۴۸/۹٪، ۴۸/۷۹٪، ۵۴/۳٪ و ۴۸/۷٪ و درصد کل مقاطع پسروی، معادل ۳۶ درصد به دست آمد. میانگین و حداکثر پیشروی طول خط ساحلی به ترتیب برابر با ۱۸۱/۷ و ۵۵۱۳/۲۴ متر و میانگین و حداکثر پسروی طول این خط به ترتیب برابر با ۲۱۳/۴- و ۳۳۸۳/۹۵- متر حاصل شد.

بررسی پارامترهای EPR، LRR و LMS حاکی از همبستگی بسیار خوب EPR و LRR و مقدار R2 برابر با ۰/۹۷، همبستگی قابل قبول EPR و LMS با مقدار R2 برابر با ۰/۸۸ و LRR و LMS با مقدار R2 برابر ۰/۸۷ می‌باشد (شکل ۷).



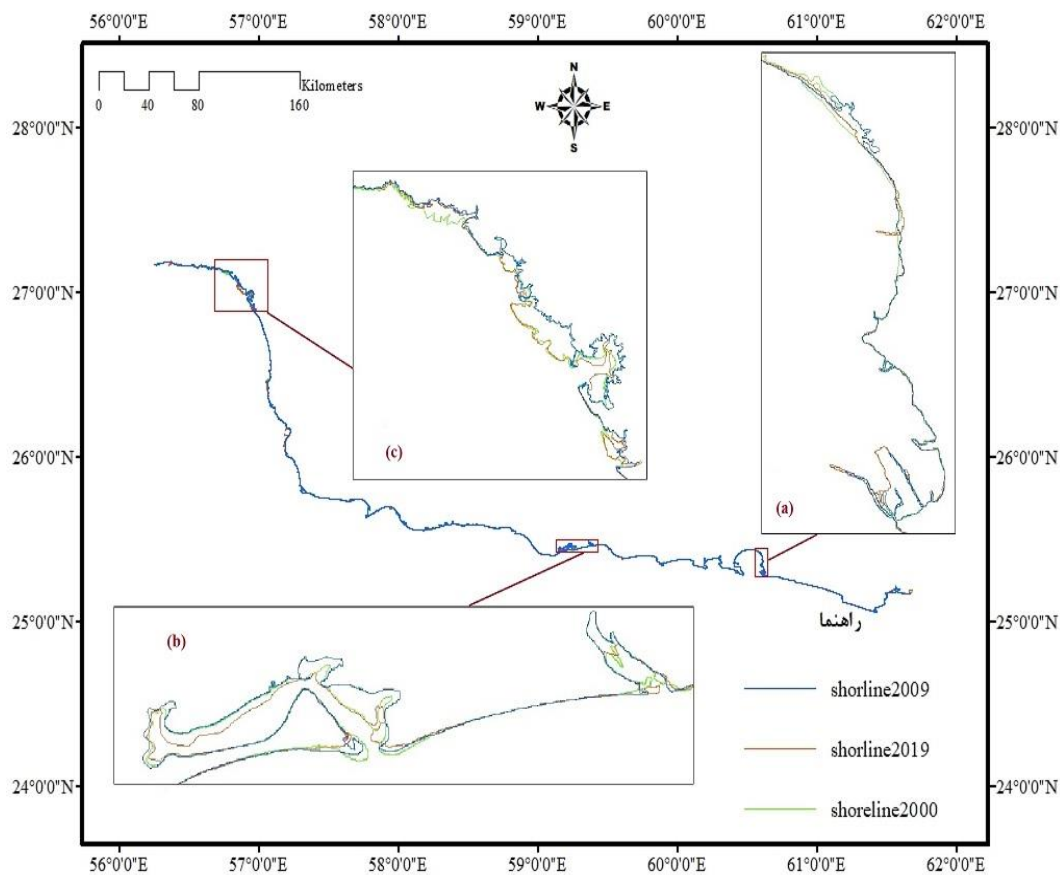
شکل ۵: خط ساحلی استخراج شده با پردازش داده‌های لندست در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹

جدول ۳: نتایج آماری DSAS از منطقه‌ی مورد مطالعه در دوره‌ی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹

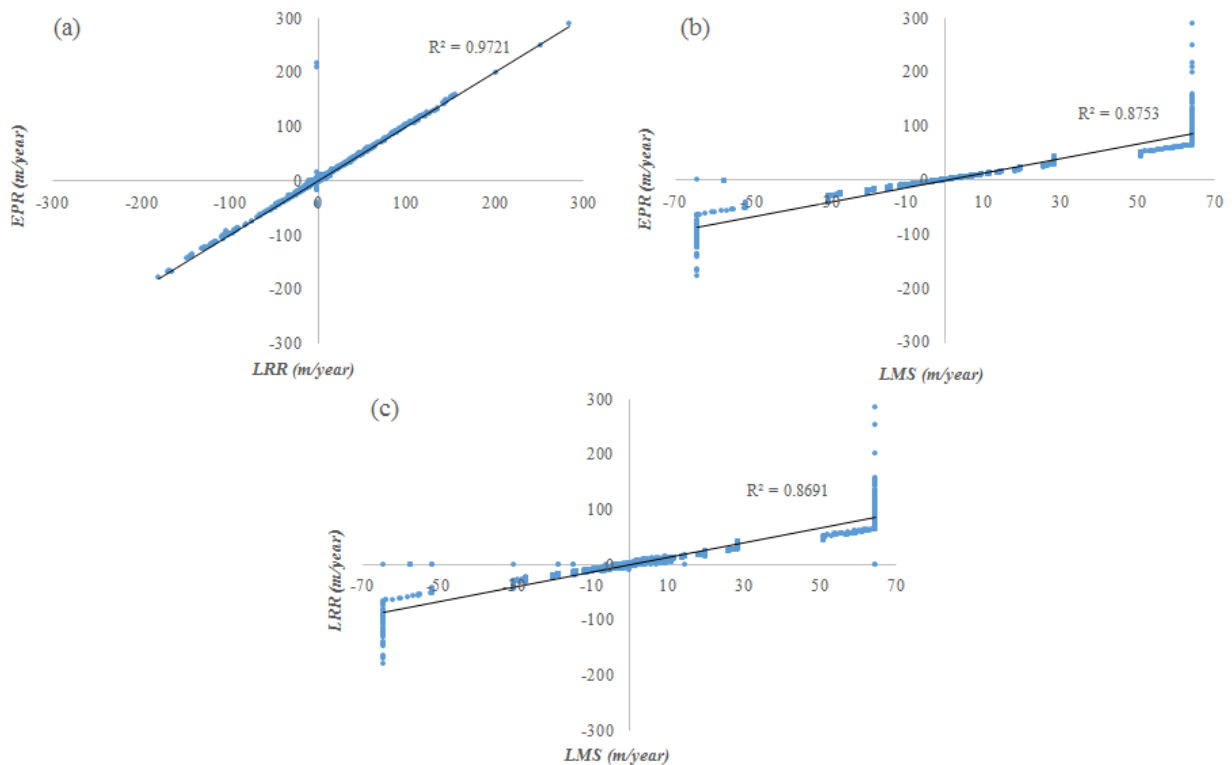
شاخص آماری	سرعت پیشروی خط ساحلی (m/year)		سرعت پسروی خط ساحلی (m/year)	
	میانگین	حداکثر	میانگین	حداکثر
EPR	۹/۷۴	۲۹۰/۲۵	-۱۱/۲۸	-۱۷۸/۱۵
LRR	۸/۳۹	۲۸۴/۹۷	-۱۰	-۱۸۰/۸۴
LMS	۷/۷۸	۶۴/۳۷	-۸/۹۹	-۶۴/۴۵

بیشترین پیشروی خطوط ساحلی به سمت خشکی، در خور یکبنی محدوده‌ی غربی جاسک کهنه می‌باشد؛ به طوری که میزان رسوب‌گذاری در این منطقه به ۲۹۰/۲۵ متر بر سال رسیده‌است. عوامل جزر و مدی و بالا آمدن آب دریا، شهرنشینی و صنعتی شدن، انباشت رسوبات ساحلی و حمل آن از ارتفاعات اطراف به سمت خور یکبنی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر میزان رسوب‌گذاری بالا در این منطقه می‌باشد. علاوه بر این، میزان رسوب‌گذاری محدوده‌ی خور چاخاء، گوردیم، بندر گواتر و خور باهو نیز بیش از ۱۰۰ متر بر سال است. همچنین در محدوده‌ی بین بربیس تا پسابندر و

ناحیه‌ی فوقانی خور گشمی و کرتان، رسوب‌گذاری بیشتر بوده‌است. علت این امر می‌تواند اسکله‌سازی و حجم زیاد رسوب‌گذاری در مصب رودخانه‌های این محدوده‌ها باشد. به طور کلی، میانگین میزان رسوب در محدوده‌ی بندر گواتر تا تنگه‌ی هرمز به میزان ۹/۷۴ متر بر سال به دست آمد. از سوی دیگر، درصد مقاطع فرسایشی نیز قابل توجه است؛ به طوری که بیشترین مقدار درصد فرسایش در دماغه‌ی بندر جاسک برابر با ۱۷۸/۱۵ متر بر سال بوده‌است. زمین‌ساخت‌های سنگی این منطقه، علت تشدید فرسایش آن می‌باشد.



شکل ۶: استخراج خطوط ساحلی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹، (a) بندر چابهار (b) خور کرتی (c) بندر کلاهی



شکل ۷: مقایسه‌ی میزان ساحل (متر در سال) به دست آمده با روش‌های آماری مختلف، (a) EPR در مقابل LRR، (b) EPR در مقابل LMS و (c) LRR در مقابل LMS

میزان فرسایش در ساحل جاسک کهنه، کرتی، ونک، گروک، شمال بندر گواتر و کنارک نیز قابل توجه می‌باشد. بخشی از سواحل دریای عمان، جزو سواحل بیابانی است و در معرض فرسایش‌های شدید بادی و حرکت تپه‌های ماسه‌ای قرار دارد. همچنین استخراج شن و ماسه از سواحل، از عوامل دیگر فرسایش در این مناطق است. بخش عمده‌ای از سواحل دریای عمان سواحل صخره‌ای هستند؛ از این رو، برخورد امواج با این سواحل و خالی شدن پای دیواره‌های آن به علت فرسایش به جدا شدن و فرو افتادن قطعات بزرگی از این صخره‌ها منجر می‌شود. بنابراین فرسایش و ریزش این صخره‌های سنگی در اثر برخورد امواج، یکی از مخاطرات مهم برای ساکنان و گردشگران در سواحل این دریا محسوب می‌شود و می‌تواند تهدیدی برای تأسیسات ساحلی در این نواحی باشد. بنابراین لازم است در مقابل این فرسایش شدید، اقدامات حفاظت ساحلی صورت گیرد. میانگین میزان فرسایش در دوره‌ی بیست ساله در کل محدوده‌ی مورد مطالعه، برابر با ۱۱/۲۸ متر بر سال بوده‌است.

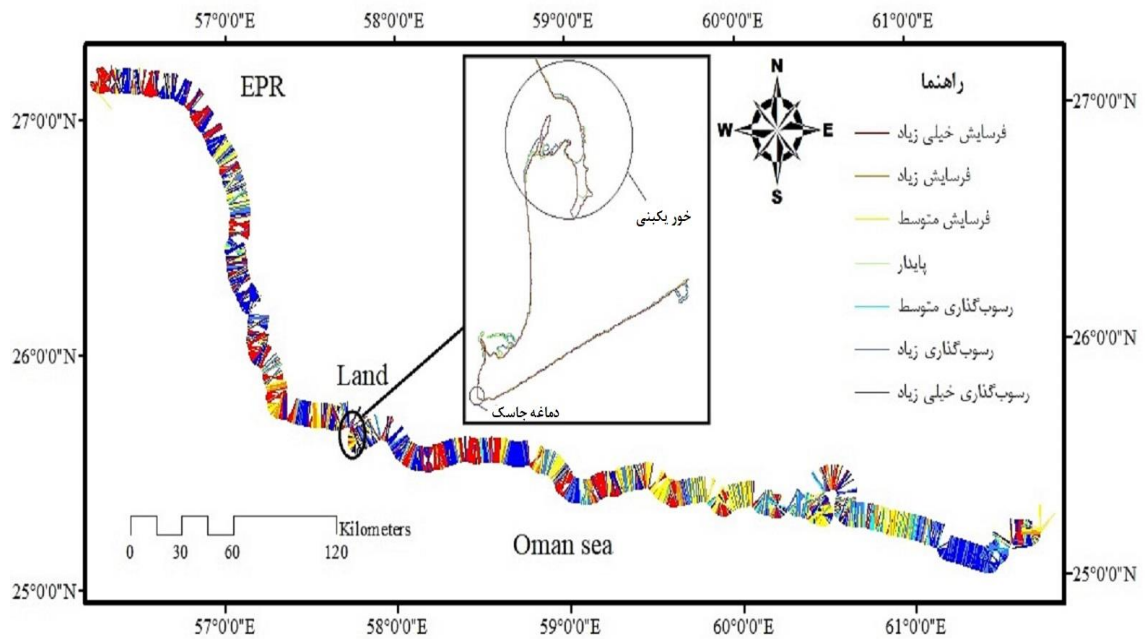
در تعدادی از مقاطع، جابه‌جایی خط ساحلی بسیار ناچیز و قابل اغماض است. میانگین کل میزان تغییرات در محدوده‌ی بندر گواتر تا تنگه‌ی هرمز، ۰/۶۷ متر بر سال می‌باشد. شکل‌های ۸ و ۹، میزان فرسایش و رسوب را در امتداد ساحل دریای عمان براساس شاخص‌های EPR و LRR نشان می‌دهد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

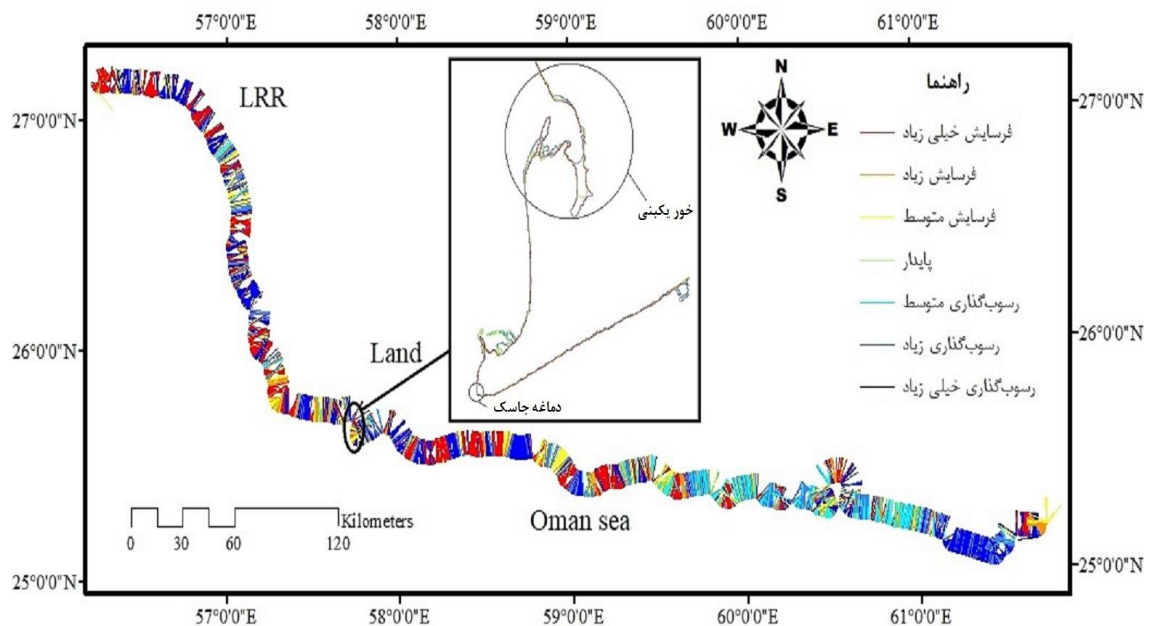
ماهیت خطوط ساحلی، دینامیک است و مدیریت چنین محیط‌های بوم‌شناختی حساس، نیازمند کسب اطلاعات دقیق در فاصله‌های زمانی مختلف می‌باشد. تکامل تاریخی موقعیت خط ساحلی، در ارزیابی پویایی مکانی رفتار سیستم ساحلی

اهمیت قابل توجهی دارد. بنابراین داده‌های ماهواره‌ای، بهترین و کارآمدترین منبع اطلاعاتی برای آشکارسازی تغییرات خطوط ساحلی است.

در این تحقیق برای آشکارسازی تغییرات خطوط ساحلی دریای عمان حدفاصل بندر گواتر تا تنگه‌ی هرمز، از تصاویر ماهواره‌ی Landsat سنجنده‌های TM و ETM در سه دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ استفاده شد. بر این اساس، تغییرات طول ساحل دریای عمان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹، ۱۶۹ کیلومتر و از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹، ۳/۴۷ کیلومتر بوده است. حداکثر میزان رسوب و فرسایش به ترتیب در منطقه‌ی خور یکبنی محدوده‌ی غربی جاسک کهنه و دماغه بندر جاسک برابر با ۲۹۰/۲۵ و ۱۷۸/۱۵ متر در سال مشاهده شد. همان طور که نتایج نشان داد، ساحل دریای عمان در برخی مناطق دچار فرسایش شده و در برخی مناطق دیگر فرآیند رسوب‌گذاری در آن بیشتر بوده است. در طول ۲۰ سال به طور میانگین، مناطق دچار فرسایش به میزان ۱۱/۲۸ متر بر سال پسروی داشته‌اند. از علل آن می‌توان به صخره‌ای بودن سواحل دریای عمان اشاره کرد که برخورد امواج بدان به فروریختن این صخره‌ها منجر می‌شود. از سوی دیگر، بیابانی بودن قسمتی از این سواحل سبب می‌شود این مناطق در معرض فرسایش‌های شدید بادی و حرکت تپه‌های ماسه‌ای قرار گیرد. همچنین فعالیت‌های انسانی - به عنوان مثال استخراج شن و ماسه از سواحل، کشاورزی در تپه‌های شنی و فعالیت‌های ماهیگیری در تالاب‌ها - که مسیر رودخانه‌ها را متوقف می‌کنند یا جریان آنها را تغییر می‌دهند نیز از عوامل مهم فرسایش در این مناطق می‌باشد. استخراج شن و ماسه از تپه‌های شنی می‌تواند بر پایداری منطقه ساحلی تأثیر جدی داشته باشد و فرآیند باد نیز به فرسایش بیشتر منطقه منجر شود. مناطقی از ساحل که رسوب‌گذاری در آنها بیشتر بوده، به طور میانگین ۹/۷۴ متر در سال پیشروی داشته‌است. فعالیت‌های انسانی مانند ساخت و ساز، اسکله‌سازی و حجم زیاد رسوب‌گذاری در مصب رودخانه‌ها سبب شده‌است بخشی از ساحل به سمت دریا پیشروی داشته باشد. به طور کلی ۳۶٪ منطقه‌ی مورد مطالعه، دچار فرسایش شده و در ۴۹٪ آن نیز رسوب‌گذاری بیشتر بوده‌است. در برخی از مناطق نیز جابه‌جایی خط ساحلی بسیار ناچیز و قابل اغماض می‌باشد. مقادیر شاخص EPR و LRR در محدوده‌ی شمال تنگه‌ی هرمز به ترتیب ۱۲ متر بر سال و ۱۴ متر بر سال به دست آمده‌است که با نتایج Parhizkar و همکاران (۲۰۱۹) کمابیش همخوانی دارد. حداکثر پیشروی خط ساحلی در این بازه‌ی زمانی در نزدیکی مصب رود گز، ۱۲۰۰ متر بوده‌است که در مقایسه با یافته‌های Yamani و همکاران (۲۰۱۲) این نتیجه حاصل می‌شود که حجم رسوب‌گذاری در این مصب شدت یافته‌است. در محدوده‌ی ساحلی بندر چابهار تا بندر تنگ، هم ترانسکت‌های فرسایش و هم ترانسکت‌های رسوبی دیده می‌شود. تعداد ترانسکت‌های رسوبی بیش از فرسایشی است که حجم زیاد رسوب‌گذاری در این محدوده را نشان می‌دهد. این نتیجه با یافته‌های Negahban و همکاران (۲۰۱۶) مشابه می‌باشد.



شکل ۸: میزان فرسایش و رسوب در امتداد ساحل دریای عمان بر اساس شاخص EPR



شکل ۹: میزان فرسایش و رسوب در امتداد ساحل دریای عمان بر اساس شاخص LRR

فعالیت‌های انسانی، بالاترین اولویت در جهت کاهش اثرات فرسایش است. بهبود مدیریت زمین، کنترل فرسایش، تثبیت عوارض طبیعی و تقویت زیرساخت‌ها، بهترین گزینه‌های سازگاری برای محافظت از مناطق ساحلی است. گزینه‌های مهندسی مانند ساخت seawall و سد نیز می‌تواند اثر فرسایش را در مناطق حساس به حداقل برساند. نتایج این پژوهش نشان داد که تکنیک‌های سنجش از دور و زمین‌شناسی همراه با DSAS، برای نظارت بر تغییر طولانی مدت ساحل مفید خواهد بود و نمایی جامع را از الگوهای فرسایش و رسوب مناطق ساحلی ارائه خواهد داد. نظارت مستمر بر خط ساحلی به منظور مشاهده‌ی تغییرات در آینده ضروری است و از نظر اقتصادی حائز اهمیت می‌باشد.

پیاده‌سازی رویکرد مورد استفاده در این مطالعه و بهره‌گیری از نتایج حاصل شده، می‌تواند نقشه‌ی راه مناسبی را برای اجرای برنامه‌های ساحلی متناسب با آمایش سرزمین برای تصمیم‌گیرندگان، مدیران و مهندسان ساحلی فراهم آورد.

منابع

1. Ahmadi, M.; Ramesht, M. H.; & Kh. Derafshi, 2014. Detection of shoreline changes using remote sensing and GIS techniques, case study: Coast port city Dayer, Persian Gulf, *Geography and environmental planning*, 25(3), 63-74. (in Persian)
2. Akbarinasab, M.; Safarrad, T.; & M. Akbarzadeh, 2018. Detection of Coastline Using Satellite Image-Processing Technique, *Environmental Erosion Research Journal*, 7(4), 58-81. (in Persian)
3. Ardeshiri-Lajimi, M., & A. Moradi., (2015). Quantification and statistical analysis of coastline changes in Qeshm Island using DSAS tool in Arc GIS software. *The first national conference on sea-based sustainable development*. (in Persian)
4. Ayadi, K.; Boutiba, M.; Sabatier, F.; & M. S. Guettouche, 2016. Detection and analysis of historical variations in the shoreline, using digital aerial photos, satellite images, and topographic surveys DGPS: case of the Bejaia bay (East Algeria), *Arabian Journal of Geosciences*, 9(1), 26.
5. Azarmsa, S. A., & F. Razmkhah., (2006). Study of coastline Position in Chabahar Bay using satellite data. *Earth Sciences*. 60, 25-32. (in Persian)
6. Bheeroo, R. A.; Chandrasekar, N.; Kaliraj, S.; & N. S. Magesh, 2016. Shoreline change rate and erosion risk assessment along the Trou Aux Biches–Mont Choisy beach on the northwest coast of Mauritius using GIS-DSAS technique, *Environmental Earth Sciences*, 75(5), 444.
7. ChenthamilSelvan, S.; Kankara, R. S.; & B. Rajan, 2014 .Assessment of shoreline changes along Karnataka coast, India using GIS & Remote sensing techniques, *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 43 (7), 1286-1291.
8. DeWitt, H., & J. R. Weiwen Feng, (2002). 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.
9. Ebadati, N.; Razavian, F.; & B. Khoshmanesh, 2018. Investigating the trend of coastline changes in the port of Asalouyeh to Bandar Deir using RS and GIS techniques, *Echo Hydrology*, 5(2), 653-662. (in Persian)
10. Ghosh, M. K.; Kumar, L.; & C. Roy, 2015. Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 101, 137-144.
11. Gudarzinejad, S., 1999. Geomorphology and environment management, Cooke, R. U., & Doornkamp, J. C. 2st edition, Tehran, Samt publications, 363 p. (in Persian)
12. Hwang, C. S.; Choi, C. U.; & J. S. Choi, 2014. Shoreline changes interpreted from multi-temporal aerial photographs and high resolution satellite images, A case study in Jinha beach, *Korean Journal of Remote Sensing*, 30(5), 607-616.
13. Imani, R., 2018. Investigation of Sepidrood estuary displacement and changes in the southwestern shoreline of the Caspian Sea using remote sensing technique, The Second National Conference on Science and Technology of Agricultural Sciences, *Natural Resources and Environment of Iran*. (in Persian)
14. Jayson-Quashigah, P. N.; Addo, K. A.; & K. S. Kodzo, 2013. Medium resolution satellite imagery as a tool for monitoring shoreline change, Case study of the Eastern coast of Ghana, *Journal of coastal Research*, 65, 511-516.
15. Karaburun, A., & A. Demirci., (2010). Coastline changes in Istanbul between 1987 and 2007. *Scientific Research and Essays*. 5(19), 3009-3017.

16. Li, X., & M. C. Damen., (2010). Coastline change detection with satellite remote sensing for environmental management of the Pearl River Estuary, China. *Journal of Marine systems*, 82, S54-S61.
17. Mafi-Gholami, D.; Feghhi, j.; Danehkar, A.; & N. Yarali, 2016. Check the status of advance and retreat of Mangero forests using GIS and RS (Case Study: Mangero forest habitat dough Hormozgan province), *Third International Conference on Persian Gulf Oceanography*. (in Persian)
18. Nadizadeh Shurabeh, S.; Abdollahi kakerudi, A.; Neisani Samani, N.; & F. Moradipur, 2018. Analysis of the impact of periodic changes of Coastlines in expanding the salty marsh of the margin of Uremia Lake Using the Landsat Satellite Images, *Quantitative geomorphological research*, 7(1), 13-29. (in Persian)
19. Naeimi, N. A.; Ghahroudi, T. M.; & M. Sarvati, 2010. Monitoring of costal line and costal landform changes in Persian Gulf with Remote Sensing and Geographic Information System Techniques (Case Study: Asaluyeh Costal Region), *Geographic Space*, 10(30), 45-61. (in Persian)
20. Nandi, S.; Ghosh, M.; Kundu, A.; Dutta, D.; & M. Baksi, 2016. Shoreline shifting and its prediction using remote sensing and GIS techniques: a case study of Sagar Island, West Bengal (India), *Journal of coastal conservation*, 20(1), 61-80.
21. Nassar, K.; Mahmood, W. E.; Fath, H.; Masria, A.; Nadaoka, K.; & A. Negm, 2018. Shoreline change detection using DSAS technique: Case of North Sinai coast, Egypt, *Marine Georesources & Geotechnology*, 37(1), 81-95.
22. Natesan, U.; Parthasarathy, A.; Vishnunath, R.; Kumar, G. E. J.; & V. A. Ferrer, 2015. Monitoring longterm shoreline changes along Tamil Nadu, India using geospatial techniques, *Aquatic Procedia*, 4, 325-332.
23. Negahban, S.; Rostami, D.; & H. Ganjaeian, 2016. Monitor shoreline changes using remote sensing in coastal areas of Oman from the Chabahar to port Tang, *Quantitative geomorphological research*, 5(1), 27-42. (in Persian)
24. Parhizkar, F.; Rajabi, M.; Yamani, M.; & D. Mokhtari, 2019. Time variations analysis of the Hormoz strait northern shoreline by using Digital Shoreline Analysis System (DSAS), *Environmental Erosion Research Journal*, 9 (2),1-18. (in Persian)
25. Rahmati, M.; Yamani, M.; Lak, R.; Shayan, S.; & M. Farajzadeh, 2018. Factors affecting hydrodynamics of arvandrud delta coastline during 1955-2016, *Physical Geography Research Quarterly*, 50(2), 339-352. (in Persian)
26. Rasuly, A.; Naghdifar, R.; & M. Rasoli, 2010. Monitoring of Caspian Sea coastline changes using object-oriented techniques, *Procedia Environmental Sciences*, 2, 416-426.
27. Razmi, M.; Mohammad Asgari, H.; Dadollahi Sohrab, A.; Nazemosadat, S. M. J.; & S. H. Khazaei, 2017. Evaluation of the optimum index and MNDWI in examining coastline changes in the northern Persian Gulf (Case study: Dayyer), *The Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(1), 52-65. (in Persian)
28. Sharifikia, M.; Shayan, S.; & M. Vali, 2017. Analysis of the dynamics of the eastern part of the Caspian Sea coastline series based on remote sensing data, *The Journal of Spatial Planning*, 21(4), 122-139. (in Persian)
29. USGS .1897. Available from <https://earthexplorer.usgs.gov>.
30. Vivek, G.; Goswami, S.; Samal, R. N.; & S. B. Choudhury, 2019. Monitoring of Chilika Lake mouth dynamics and quantifying rate of shoreline change using 30 m multi-temporal Landsat data, *Data in brief*, 22, 595-600.
31. Yamani, M.; Rahimi, S.; & M. S. Godarzi, 2012. The periodic changes of East Strait of Hormuz shore line by using of Remote Sensing, *E.E.R*, 1(4), 7-21. (in Persian)

32. Zeinali, B., & S. Sayyad Asghari- Saraskanrod., (2012). The investigation of coastline changes in Urmia Lake water level and its impact on the urban of its basin. *Journal of Urban Ecology Researches*. 3(6), 103-116. (in Persian)

Investigation of periodic changes of the Oman Sea coastline using remote sensing data and spatial analysis

Zahra Khanmohammadi: *MS.c in Engineering and Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology*

Saeid Gharechelou¹: *Assistant Professor, Department of Geotechnical-Transport and Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology*

Emad Mahjoobi: *Assistant Professor, Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology*

Article History (Received: 2020/10/14 Accepted: 2020/12/4)

Extended abstract

1- Introduction

Coastal environments are one of the most sensitive environmental systems under the influence of dominant hydrodynamic processes. Coastal changes and evolution are occurring very fast. Coastal areas are now gradually becoming known as severe natural and man-made disturbances, including sea levels rising, coastal erosion and sedimentation, and over-exploitation of resources. A deep understanding of the region's coastline dynamics (erosion and sedimentation) is essential for the proper planning, land use, and conservation strategies to reduce potential losses. Development of the southern coast of Iran has not only destroying the geomorphological landforms but also led to a change in the process of erosion and sedimentation in coastal areas. Understanding the behavior of the coastline would assist the management and planning of coastal facilities construction and determining the margins of the coast. Today, remote sensing methods, while being economical and promoting high accuracy, make it possible to continuously observe and manage beaches. These benefits have led to the increasing use of satellite imagery to determine the accurate position of the coastline in the world. The goal of this research is the investigation of periodic change of the Oman sea coastline from 2000 to 2109 using the Landsat time-series dataset.

2- Methodology

The study area in this article is related to the coastal line between Gwatr port and the Strait of Hormuz. The years of 2000, 2009, and 2019 were selected for the periodical coastal changes analysis in the last two decades. According to the time interval, the images of two Landsat 5 and 8 sensors were selected. The numbers of images that were mosaiced in each period are 15 scenes. Then, to discrete the water and land border, the modified normalized difference water index (MNDWI) in ENVI 5.3 software was used. This indicator is a combination of Green and Mid-Infrared bands. After applying the water and land boundary discrimination index, shoreline digitization in ArcGIS software has been done manually and with high accuracy. Thus shoreline from satellite images extracts by the Digital Shoreline Analysis System (DSAS). This method calculates the shoreline mobility and its changes based on satellite imagery. DSAS v4.3 is an extension developed by the US Geological Survey, which is adding to the ESRI ArcGIS 10.3 software. It is calculated the number of shoreline shifts from the past to the present. In this study, shoreline shifts are calculated using four data analysis methods (e.g., EPR, LRR, LMS, and NSM).

3- Results

Identification of erosion and sedimentation transects indicates that the shoreline has been progressing ahead in most areas of coastline. During the last twenty years, 172.47 km of coastline length increased which is indicated by coastline sedimentation. These changes are apparent in most

¹ Corresponding Author: sgharachelo@Shahroodut.ac.ir

transects; 49% of transects were sediment, and 36% were erosive transects. The highest progress of coastlines observed in the Yekboni estuary (river mouth) area, western Jask Kohneh area which the sedimentation rate has reached 295.25 m/y. The sedimentation rate in the area of Chakha estuary, Gurdim, Gwadar port, and Bahu estuary has been above 100 meters per year. Also, the area between Brys to Pasabander and the upper area of Gashmi and Kartan estuaries has been high. The reasons for this can be attributed to the dock construction and the large volume of sediment in the estuaries by rivers. The highest amount of erosion rate in the nose of Jask port was 178.15 meters per year. The construction of stone walls in this area is the main cause of severe erosion. The length of the coastline in the year 2000, 2009, and 2019 were 1228.54, 1397.56 and 1394.08 km, respectively. The change of beach length is observed from 2000 to 2009; 169 km, from 2009 to 2019; 3.47 km, and from 2000 to 2019; 172.47 km.

4- Discussion & Conclusions

The nature of coastlines is dynamic; therefore, the management of such sensitive ecological environments requires accurate time-series data. In this research, Landsat satellite imagery of TM and ETM sensors in the three periods of 2000, 2009, and 2019 have been used to detect shoreline changes. Coastal changes and spatial analysis are extracted by using the DSAS Extension in ArcGIS software. The length of the coastline in the year 2000, 2009, and 2019 were 1228.54, 1397.56, and 1394.08 km, respectively. Maximum sediment/erosion rates have been observed 290.25 and -178.15 m per year in the Yekboni estuary area and the cape of Jask port respectively along the coast of the Oman Sea. During twenty years, the eroded areas have experienced a recession, an average of 11.28 meters per year. The reasons are the rocky shores of the Oman Sea, desert landforms of some beaches and their exposure to severe wind erosion, dunes movement, and human activities. The areas of the coast where sedimentation was higher had an average of 9.74 meters per year. Human activities such as port construction and large volumes of sediment at the mouth of rivers have caused part of the coast to move toward the sea. In general, 36% of the study area has been eroded, and 49% has been more sedimented. Remote sensing and geological techniques with DSAS will be useful methods for monitoring long-term coastal changes and provide a comprehensive view of coastal erosion and sedimentation patterns. Continuing the coastline monitoring is necessary to observe future changes and is economically significant.

Keywords: Shoreline changes, Remote Sensing, Oman sea, Landsat satellite, DSAS.