

## پایش تغییرات خطوط ساحلی در واحد ژئومورفولوژیکی مکران (چابهار تا گواتر)

علیرضا صالحی پور میلانی\*: استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

مائده اسکندری: کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی و آمایش محیط، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۸

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۹)

DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.3.9.1

### چکیده

سواحل مکران اهمیت استراتژیکی زیادی دارد و طرح کلان توسعه آن به منظور بهره‌برداری از پتانسیل‌های این منطقه ساحلی در حال اجرا است؛ از این رو، ارزیابی پایداری سواحل این منطقه اهمیت زیادی دارد و می‌تواند به برنامه‌ریزان در جهت بهره‌برداری بهتر از این سواحل کمک کند. هدف این تحقیق، ارزیابی تغییرات خطوط ساحلی مکران از چابهار تا گواتر در بازه زمانی ۳۴ ساله (۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰) است. مرز پهنه آبی در سواحل، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست و بهره‌گیری از شاخص NDWI استخراج شد. تغییرات کمی خطوط ساحلی نیز با استفاده از افزونه سامانه تحلیل خطوط ساحلی (DSAS)، در سه واحد ژئومورفولوژیکی پادگانه‌های دریایی، سواحل ماسه‌ای و سدهای ساحلی برآورد شد. نتایج نشان می‌دهد که متوسط میزان جابه‌جایی (LRR) در همه سواحل، حاکی از پسروی خط ساحلی به میزان ۰.۹۶ متر در سال است، ولی این میزان جابه‌جایی در هر یک از واحدهای ژئومورفولوژیکی متفاوت است؛ به گونه‌ای که تغییرات خطوط ساحلی در سدهای ساحلی ۲.۷۵، در سواحل ماسه‌ای ۰.۱۱ و در پادگانه‌های دریایی ۰.۰۳ متر در سال است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که پایداری خط ساحلی در طول دوره مورد مطالعه، در پادگانه‌های دریایی بیش از سایر واحدها است و می‌توان گفت علت آن، مقاومت بیشتر واحدهای ماری و ماسه‌سنگی در برابر فرسایش نسبت به سایر واحدهای ژئومورفولوژی است. در کنار آن، بیشترین میزان تغییرات در سدهای ساحلی و دهانه ورودی رودخانه‌ها به دریا مشاهده می‌شود و این تغییرات شدید، تابعی از طغیان‌های فصلی رودخانه‌های باهو کلات، زبردان و شور، و ورود حجم زیادی از آب این دو رودخانه به خط ساحلی و تخریب این خط و بازسازی مجدد آن توسط امواج و جریان‌های موازی ساحل است. علاوه بر تأثیر عوامل طبیعی، تغییرات خطوط ساحلی در هر یک از واحدهای ژئومورفولوژیکی تابعی از فعالیت‌های گسترده انسانی در این منطقه است. برآوردهای تغییرات خطوط ساحلی در ده و بیست سال آتی در مجاورت برخی از سازه‌های ساحلی، نشان‌دهنده فرسایش و رسوب‌گذاری بیش از روند طبیعی است و این امر در آینده می‌تواند در بهره‌برداری از این سازه‌ها تأثیر منفی بر جای بگذارد.

واژگان کلیدی: پایش خطوط ساحلی، پایداری خطوط ساحلی، DSAS، چابهار، مکران.

## ۱- مقدمه

خطوط ساحلی به عنوان خط تماس زمین و بدنه آب تعریف می‌شود (Klein and Lichter, 2006) و از لحاظ طبیعی، اجتماعی و اقتصادی اهمیت استراتژیکی دارد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مناطق ساحلی، پویایی آن است (Winarso and Budhiman, 2001). این پویایی، پیشروی‌ها و پسروی‌هایی در خطوط ساحلی به همراه دارد و به فرسایش و رسوب‌گذاری در مناطق ساحلی منجر می‌شود. تغییرات خطوط ساحلی، تهدیدی برای سازه‌های ساحلی و از بین رفتن خاک و عناصر خاکی و سنگی به شمار می‌رود. منطقه مورد مطالعه این تحقیق در سواحل جنوب شرق مکران و حد فاصل چابهار و خلیج گواتر قرار دارد. این منطقه، امروزه اهمیت استراتژیکی بسیار خاصی دارد و وجود بندر چابهار به عنوان تنها بندر اقیانوسی و یکی از قطب‌های توسعه اقتصادی جنوب شرق ایران به همراه بنادر صیادی مهمی مانند تیس، بریس، پسابندر و گواتر، اهمیت بسیار زیاد این منطقه را نشان می‌دهد. توسعه در این منطقه، توسعه دریا پایه است؛ از این رو، استقرار حجم زیاد تأسیسات ساحلی در این منطقه، ضرورت پایش و بررسی تغییرات خطوط ساحلی را بیش از پیش نمایان می‌سازد. عوامل متعددی بر تغییر شکل خطوط ساحلی این منطقه تأثیر می‌گذارند که می‌توان به فرآیندهای ائوستاتیکی، ایزوستازی و فرایندهای مورفودینامیکی دریایی همانند جریان‌های دریایی، جزر و مد، نیروی باد و موج از طریق حمل، فرسایش و رسوب‌گذاری - اشاره کرد که می‌تواند به تحول، پیشروی و پسروی خط‌های ساحلی این منطقه منجر شود. در کنار این موارد، تأثیر رویدادهای مخرب طبیعی طوفان‌های حاره‌ای همانند گونو (Salehipour et al, 2010) و فت در سال ۱۳۸۶، همچنین بارش‌های سنگین و سیلاب‌های مخرب در این منطقه را نیز نمی‌توان نادیده گرفت.

علاوه بر فرایندهای طبیعی، افزایش فعالیت‌های انسانی در سه دهه گذشته نیز تأثیر زیادی بر پهنه ساحلی داشته‌است. احداث و اجرای طرح توسعه بندر چابهار و سایر بنادر این منطقه از جمله تیس، رمین، بریس، پسابندر و گواتر، در کنار پروژه‌های پرورش میگو در این منطقه از عوامل تأثیرگذار بر تغییرات و تحولات خطوط ساحلی در این منطقه محسوب می‌شود؛ از این رو، توسعه این منطقه زمانی امکان‌پذیر خواهد بود که از پایداری سواحل در این مناطق اطمینان حاصل شود و با بررسی اسناد و مدارک موجود از جمله تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات خطوط ساحلی بررسی شود. این امر می‌تواند نقاط آسیب‌پذیر و مناطق مناسب را برای توسعه سواحل در اختیار برنامه‌ریزان محیطی قرار دهد و زمینه توسعه پایدار را در این مناطق فراهم کند. در تغییرات خطوط ساحلی، عوامل طبیعی متعددی تأثیر دارند؛ همانند فرایندهای مورفودینامیکی دریا و خشکی و عوامل انسانی (Daru, 2014 & Valaouris et al, 2014)؛ از این رو، پایش منطقه ساحلی و بررسی پیشروی و پسروی آن، در حفاظت از محیط زیست ساحلی اهمیت زیادی دارد (Nassar et al, 2018 & Dellepiane et al, 2004 & Tiercelinc et al, 1998). این بررسی‌ها به مطالعه بلند مدت و کوتاه مدت میزان تغییرات خطوط ساحلی نیازمند است که با استفاده از اسناد موجود از جمله نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای صورت می‌گیرد (Thomas et al, 2010 & Nofal and Abboud, 2019). یکی از روش‌های بررسی و پایش تغییرات خطوط ساحلی در یک منطقه در بازه زمانی بلند مدت، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور است (Abou Samr and Ali, 2018) و مبنای این بررسی‌ها، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تجزیه و تحلیل تغییرات طیفی، مکانی و زمانی این تصاویر است (El-Asmar and Hereher, 2011). در بررسی و پایش تغییرات خطوط ساحلی، از

ابزارهای متعددی استفاده می‌شود و یکی از این ابزارها - که امروزه در سراسر جهان به صورت فراوان از آن استفاده می‌شود - افزونه سامانه تحلیل رقومی خطوط ساحلی<sup>۱</sup> یا DSAS است.

Baig و همکاران (۲۰۲۰) به کمک تصاویر ماهواره‌ای در بازه‌های زمانی ۱۹۹۱، ۲۰۰۱، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ میلادی و با استفاده از افزونه DSAS، تغییرات خطوط ساحلی را در امتداد شهرهای ساحلی آندرا پرادش<sup>۲</sup> بررسی کردند. آنها خط ساحلی فرسایش یافته را به پنج منطقه از زیاد به کم تقسیم‌بندی کردند و نتایج نشان داد که در این منطقه، حدود ۴۶.۵ کیلومتر پسروری ثبت شده است. Murali و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ابزار DSAS، تغییرات خطوط ساحلی اودیشا<sup>۳</sup> در هند را مطالعه کردند. Tsokos و همکاران (۲۰۱۸) از سه تکنیک سنجش از دور به منظور تعیین میزان جابه‌جایی خطوط ساحلی در طول بخشی از خلیج کورینس<sup>۴</sup> یونان استفاده کردند. Natesan و همکاران (۲۰۱۵) تغییرات خطوط ساحلی را در طول سواحل تامیل نادو<sup>۵</sup> هند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MSS، TM، ETM و OLI لندست و ابزار DSAS ارزیابی کردند. Vassilakis and Papadopoulou-Vrynioti (۲۰۱۴) نیز بر اساس تکنیک‌های متعدد، تغییرات خط ساحلی را در طول ساحل ایستایا<sup>۶</sup> یونان بررسی کردند. Aedla و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تغییرات خطوط ساحلی، از روش یکسان‌سازی هیستوگرام<sup>۷</sup> و تکنیک‌های آستانه‌گذاری تطبیقی<sup>۸</sup> به همراه DSAS استفاده کردند. همچنین Abou Samr and Ali (۲۰۲۰)، تغییرات خطوط ساحلی را در چهار منطقه از دلتای رود نیل ارزیابی کردند.

در زمینه بررسی تغییرات خطوط ساحلی در ایران، مطالعات متعددی انجام شده است؛ از آن جمله می‌توان به مطالعه‌ای که در جنوب شرق دریای خزر انجام شد، اشاره کرد که در آن Barghamadi (۱۳۹۹)، جنوب شرق دریای کاسپین که شامل خلیج گرگان، لاگون و گمیشان واقع در مرز شمال شرقی ایران و ترکمنستان را به کمک افزونه DSAS در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۹، ۲۰۱۱، ۱۹۹۸، ۱۹۸۷ و ۱۹۷۵، با تصویرهای ماهواره‌ای لندست بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها بیانگر آن است که در سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۱۱ میلادی، بیشترین میزان تغییرات خطوط ساحلی در سد ساحلی آشوراده و میانکاله روی داده است. Shayan و همکاران (۱۳۹۹) در حد فاصل سال‌های ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۷، به بررسی تغییرات خطوط ساحلی دلتاهای هراز، بابل‌رود و تلار با استفاده از DSAS پرداختند و میزان پسروری و پسروری خط ساحلی را در دلتای هراز برابر ۰/۱۷ - متر، محدوده بابل‌رود برابر ۰/۰۵ + متر و برای محدوده تلار برابر ۰/۱۶ + متر برآورد کردند. Hajikarimi و همکاران (۱۳۹۹)، تغییرات خطوط ساحلی را در ساحل گرگان‌رود بررسی کردند. یافته‌های پژوهش آنها نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، پسروری و پسروری بیشتر تحت تأثیر نوسان آب دریا بوده است؛ به نحوی که در بازه زمانی (۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ میلادی)، بیشترین پسروری خط ساحلی را می‌توان مشاهده کرد. Lajimi و همکاران (۱۳۹۳)، بخشی از خطوط ساحل جنوبی جزیره قشم را با استفاده از افزونه DSAS در بازه زمانی ۵۳ ساله در سال‌های (۱۹۵۶، ۱۹۸۲، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹) میلادی بررسی کردند و میزان تغییرات خطوط ساحلی به مقدار ۰.۶۸، ۰.۱۸ و ۰.۳۷ متر بر سال

<sup>1</sup> Digital Shoreline Analysis System

<sup>2</sup> Andhra Pradesh

<sup>3</sup> Odisha

<sup>4</sup> Corinth Gulf

<sup>5</sup> Tamil Nadu

<sup>6</sup> Istiaia

<sup>7</sup> histogram equalization

<sup>8</sup> Mangalore

به دست آمد. Ahmadi و همکاران (۱۳۹۳)، روند تغییرات خطوط ساحلی را در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۶ در بندر دیر بررسی کردند و بیشترین میزان تغییر خط ساحلی، در حدود ۲۸۲۹ متر بود. Yamani و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از روش تحلیل نیم‌رخ‌های متساوی‌البعده، تغییرات خطوط ساحلی را در دلتای سفید رود بررسی کردند و نتایج نشان داد که بیشتر تغییرات در دلتای سفید رود، به واسطه حمل رسوبات رودخانه سفید رود است.

هدف تحقیق حاضر، بررسی تغییرات خطوط ساحلی از چابهار تا گواتر در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰ است. در این تحقیق با تقسیم منطقه مورد مطالعه به سه واحد ژئومورفولوژیکی پادگانه‌های دریایی، سواحل ماسه‌ای و سدهای ساحلی، میزان و روند تغییرات خطوط ساحلی در هر یک از این واحدها بررسی شد تا میزان پایداری هر یک از آنها ارزیابی و پهنه‌های مناسب برای توسعه آتی پیشنهاد شود. علاوه بر آن، روند آتی تغییرات در مناطق حساس و استراتژیک این منطقه در برخی از بنادر مهم آن، در بازه‌های ده و بیست سال آینده نیز ارزیابی شد.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حد فاصل خلیج چابهار تا خلیج گواتر، از نظر Nabavi (۱۳۵۵) در واحد مشرق و جنوب شرق ایران و در زون مکران قرار دارد (شکل ۱). ناحیه فرو رانش مکران، در قسمت شمال باختری اقیانوس هند در اثر فرو رانش صفحه اقیانوسی عمان به زیر صفحه قاره‌ای ایران تشکیل شد. پیچیدگی‌هایی که در سواحل مکران وجود دارد، جریان‌های دریایی، فرآیندهای ائوستاتیکی و فرسایش‌های ساحلی این منطقه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد.



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه در A: ایران، B: دریای عمان و C: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (خط سبز: خط ساحل)

نوسانات سطح آب دریا‌های آزاد (استاتیک)، تغییرات تکتونیکی و حرکات تعادلی گسل‌ها در این منطقه باعث شده‌است که تاریخ تکتونیکی این منطقه به خصوص در سواحل دریای عمان بسیار پیچیده باشد و نتیجه نهایی این گونه حرکت‌ها، بالا آمدن زمین‌ها و ایجاد پادگانه‌های دریایی<sup>۱</sup>، سواحل ماسه‌ای<sup>۲</sup> و سدهای ساحلی<sup>۳</sup> است که در سواحل مکران گسترش زیادی یافته‌اند. پادگانه‌های دریایی تقریباً افقی است و گاهی شیب کمی (در حدود ۱۵ درجه) دارد. پادگانه‌های مورد مطالعه در این تحقیق شامل پادگانه‌های دریایی چابهار، لیپار، بریس، پسابندر و گواتر است (شکل ۲ B و D). واحدهای مورد بحث در این منطقه از ماسه‌سنگ‌های سست، دانه ریز تا دانه درشت تشکیل شده‌است. افق‌های مارنی و سیلتستون نیز در آن مشاهده می‌شود که ضخامت آن به طور جانبی تغییر می‌کند. در منطقه پسابندر، بریس و گواتر، سنگ‌شناسی این پادگانه‌ها شامل کنگلومرای آهکی، آهک‌های صدف‌دار، گل‌سنگ و سیلت استون است (Samadian and Jafarian, 1995).

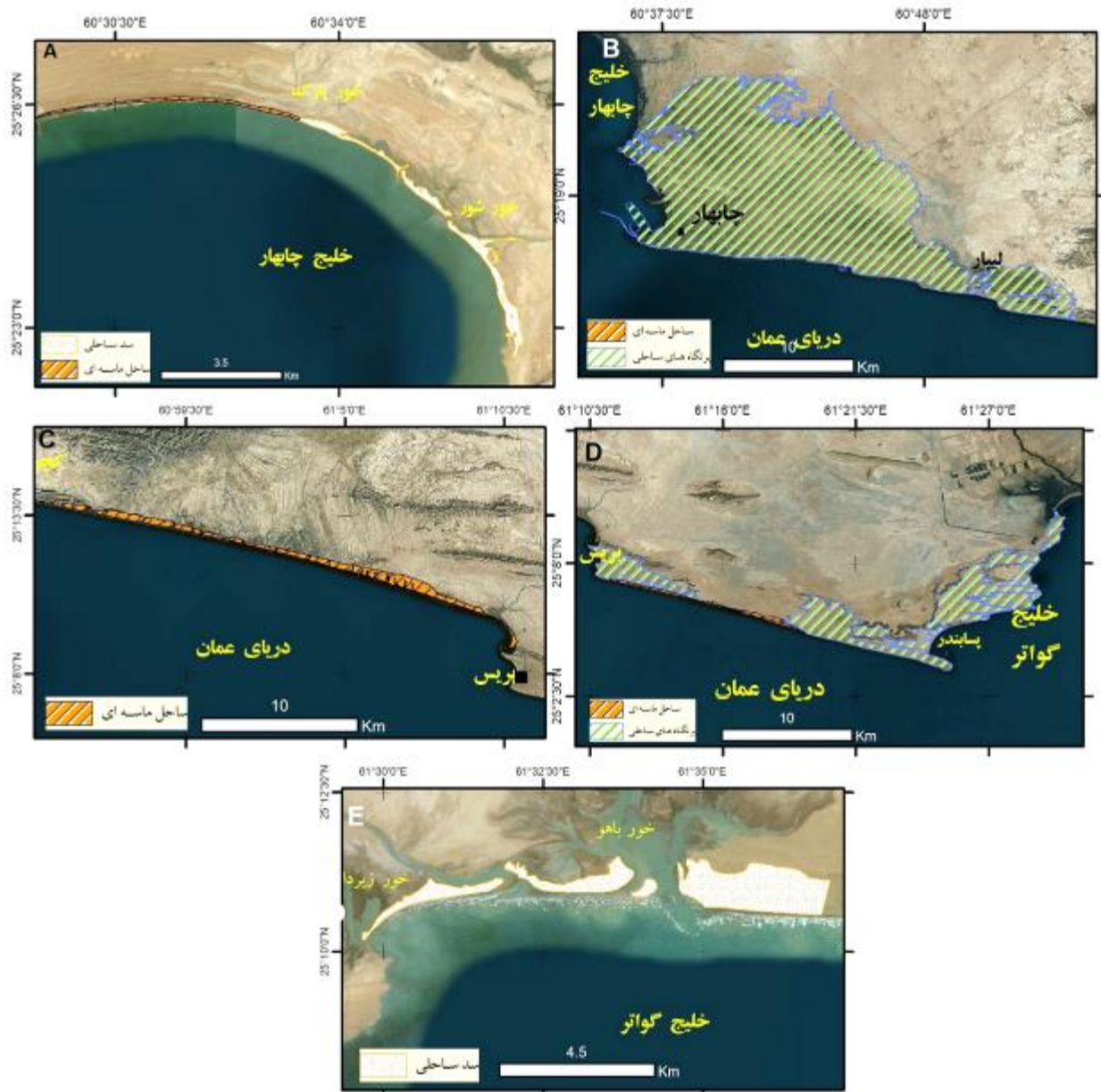
واحد ژئومورفولوژی دیگر در محدوده مورد مطالعه، سدهای ساحلی<sup>۴</sup> است. اصطلاح سد برای بیان خصوصیات یک ساحل، جزیره سدی یا اسپیت به کار گرفته می‌شود و بیانگر اشکالی است که در نتیجه رسوب‌گذاری شکل گرفته و رسوبات آنها از ماسه تا قلوه سنگ است و همیشه بالاتر از سطح مد دریا قرار می‌گیرد. سد ساحلی، جزایر سدی و اسپیت‌های سدی به موازات خط ساحلی امتداد یافته، ولی به دلیل وجود لاگون، خور یا خلیج از ساحل اصلی جدا شده‌اند. یک سد ممکن است از طریق یک دهانه ورودی به صورت رشته‌ای از سدها از یکدیگر جدا شوند. دهانه‌های ورودی اجازه می‌دهند که آب دریا در زمان جزر و مد به سمت دریا و خشکی وارد شود. جزایر سدی، یکی از لندهای ساحلی و نوعی از تپه‌های ماسه‌ای است که به وسیله فعالیت موج و جزر و مد به موازات خشکی‌ها تشکیل می‌شود. این جزایر سدی اغلب به صورت رشته‌ای (زنجیر) شکل گرفته‌اند. در مقابل، اسپیت‌ها از یک طرف به خشکی متصل است و عامل شکل‌دهنده آنها، جریان‌های موازی ساحل و رانه‌های امتداد ساحل است؛ از این رو، با جزایر سدی تفاوت دارند (Daniels, 1999). در شرق خلیج چابهار دو اسپیت ساحلی وجود دارد که یکی از آنها در دهانه رودخانه شور و دیگری در شمال بندر تیس قرار دارد و روند آنها شمالی و جنوبی است و پهنه‌های جزر و مدی پشت این سدها را از دریا جدا می‌کند. در گذشته در شمال خلیج چابهار و در مصب رودخانه پارک نیز اسپیت و خور مرتبط با آن وجود داشت که از سال ۲۰۰۰ پس از احداث بند خاکی بر روی این رودخانه - که به جلوگیری از ورود سیلاب‌های مخرب به خط ساحلی این منطقه منجر شد - به تدریج دهانه خور بسته و منطقه به یک ساحل ماسه‌ای تبدیل شد (شکل ۲A). در خلیج گواتر و در سواحل ایران، سه جزیره سدی در دهانه رودخانه‌های زیردان و باهو کلات قرار دارد که پهنه‌های جزر و مدی را از دریا جدا می‌کند (شکل ۲E). علاوه بر آن، سواحل ماسه‌ای منطقه مورد مطالعه شامل ساحل ماسه‌ای پارک، بندر چابهار، لیپار، کچو به بریس، بریس به پشات و دو منطقه در شمال پسابندر و شرق روستای گواتر است.

<sup>1</sup> Marine Terrace

<sup>2</sup> Coastal Beach

<sup>3</sup> Barrier

<sup>4</sup> Coastal Bar

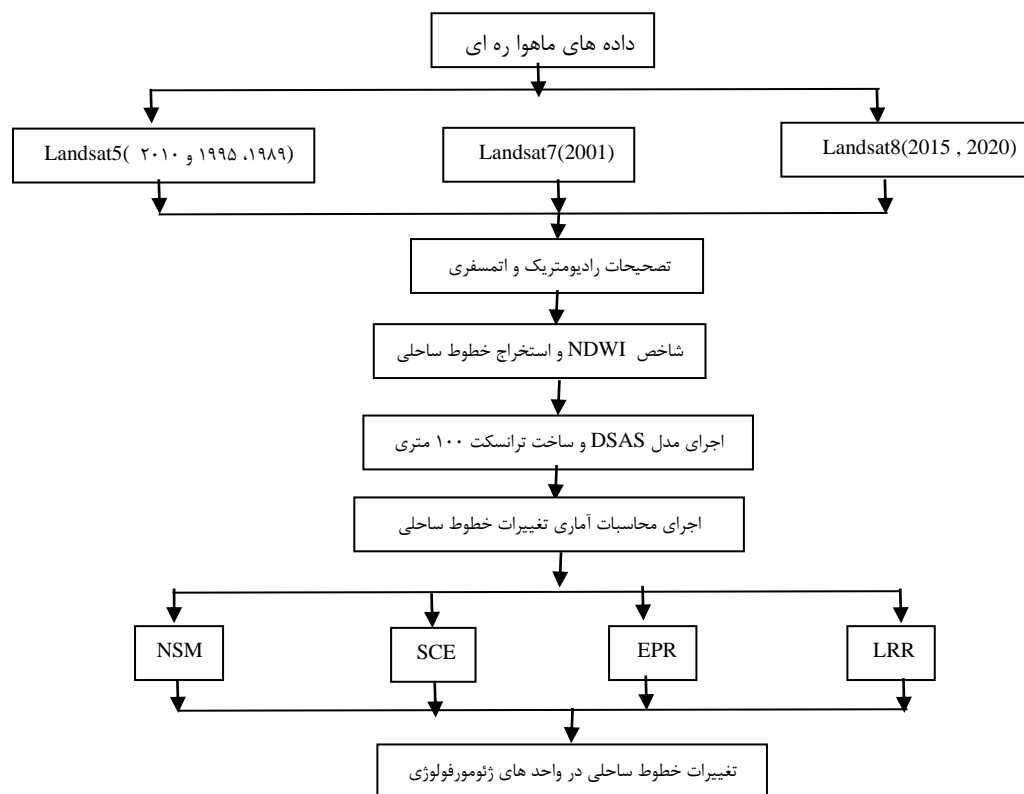


شکل ۲: واحدهای ژئومورفولوژی ساحلی در منطقه A: خلیج چابهار، B: چابهار تالیپار، C: کچو به بریس، D: بریس و پسابندر و E: شمال خلیج گواتر

### ۳- مواد و روش

هدف این مطالعه، بررسی تغییرات خطوط ساحلی منطقه مورد و ارزیابی میزان تغییرات آن در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰ است؛ از این رو، تغییرات خطوط ساحلی از طریق پایش خطوط ساحلی در بازه زمانی مورد مطالعه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست - TM برای سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۵، ۲۰۱۰،  $ETM^+$  برای سال ۲۰۰۱ و OLI برای سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ انجام شد. در ابتدا تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد تا تأثیر پارامترهای اتمسفری موجود بر روی این تصاویر کاهش یابد. در ادامه، بازه مقادیر تصاویر ماهواره‌ای بین صفر تا یک نرمال شد. برای استخراج خطوط ساحلی در منطقه مورد مطالعه نیز از شاخص‌های طیفی مربوط به محیط‌هایی آبی شامل AWEI، AWEI2، MNDWI، NDWI2، NDMI و WRI استفاده و بهترین شاخص برای استخراج پهنه آبی

انتخاب شد. پس از استخراج خطوط ساحلی از تصاویر ماهواره‌ای به منظور مطالعه بهتر تغییرات این خطوط، منطقه مورد مطالعه از لحاظ ژئومورفولوژیکی به سه بخش سواحل ماسه‌ای، سدهای ساحلی و پادگانه‌های دریایی تقسیم‌بندی و مطالعات به صورت مجزا بر روی آن انجام شد. خطوط ساحلی استخراج شده در مرحله قبل، به نرم‌افزار DSAS وارد و تغییرات خطوط ساحلی در این سامانه - که افزونه‌ای در نرم‌افزار ArcGIS است - محاسبه شد. این افزونه، آمار میزان تغییرات را برای یک سری از داده‌های بردار خط ساحلی محاسبه و با استفاده از فاصله هر نقطه اندازه‌گیری شده تا خط مبنا و تاریخ خطوط ساحلی استخراج شده، میزان تغییرات خطوط ساحلی را مشخص کرد. خط مبنا، به فاصله ۵۰۰ متری از خط ساحلی تهیه شد. طول خطوط ساحلی مورد بررسی در سدهای ساحلی در حدود ۶۹/۵ کیلومتر، سواحل ماسه‌ای در حدود ۶۸/۹ کیلومتر و در پادگانه‌های دریایی در حدود ۷۷ کیلومتر است. به منظور دقت بیشتر مطالعه، فاصله ترانسکت - ها ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد. در این مطالعه از شاخص‌های میزان نقطه پایانی (ERP)، میزان رگرسیون خطی<sup>۳</sup> (LRR)، میزان جابه‌جایی خط ساحلی<sup>۴</sup> (NSM) و متوسط تغییر خطوط ساحلی<sup>۵</sup> (SCE) برای ارزیابی خطوط ساحلی استفاده و دلایل تفاوت تغییرات ارزیابی شد. علاوه بر تحلیل این تغییرات، پیش‌بینی تغییرات خطوط ساحلی در ده و بیست سال آینده در مناطقی که از لحاظ توسعه‌ای اهمیت زیادی دارند، بررسی شد.



نمودار ۱: فلوچارت روش شناسی تحقیق

<sup>1</sup> Baseline

<sup>2</sup> End Point Rate

<sup>3</sup> Linear Regression Rate

<sup>4</sup> Net Shoreline Movement

<sup>5</sup> Shoreline Change Envelope

## ۴- یافته‌ها (نتایج)

## ۴-۱- استخراج خطوط ساحلی

در ابتدا به منظور تعیین شاخص بهینه برای استخراج خطوط ساحلی، مجموعه‌ای از شاخص‌های طیفی تفکیک محدوده‌های آبی شامل AWEI، AWEI2، MNDWI، NDWI2، NDMI، NDWI و WRI در نرم‌افزار ENVI5.3 بررسی شد تا از بین آنها بهترین شاخص طیفی انتخاب شود. مقادیر ضرایب کاپا<sup>۶</sup>، صحت کلی<sup>۷</sup>، صحت کاربر<sup>۸</sup> و صحت تولیدکننده<sup>۹</sup>، برای همه شاخص‌های طیفی محاسبه شد و نتایج نشان داد که شاخص NDWI با فرمول ۱، بهترین عملکرد را در بین شاخص‌های طیفی به خود اختصاص داده‌است و از آن به عنوان شاخص طیفی برای تفکیک خطوط ساحلی استفاده شد:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

جدول ۱: خطاهای محاسبه‌شده شاخص‌های طیفی در منطقه مورد مطالعه

شاخص طیفی	ضریب کاپا	صحت کلی	صحت کاربر	صحت تولید
AWEI	۰/۲۸۲	۶۴/۱۱	۶۲/۴۷	۷۰/۸۸
AWEI2	۰/۹۶	۹۸/۴۸	۹۷/۷۶	۹۹/۲۴
MNDWI	۰/۹۷	۹۸/۶۱	۹۷/۳۱	۱۰۰
MNDWI2	۰/۹۶	۹۸/۴۴	۹۶/۹۹	۱۰۰
NDMI	۰/۴۸	۷۴/۰۹	۶۶/۲۵	۹۸/۳۴
<u>NDWI</u>	۰/۹۷	۹۸/۸۲	۹۷/۷۱	۱۰۰
WRI	۰/۹۷	۹۸/۸	۹۷/۹۷	۹۹/۷۹

از آنجایی که منطقه مورد مطالعه در دو سین اطلاعاتی قرار گرفته‌است، این شاخص طیفی NDWI در هر دو تصویر و در بازه‌های زمانی برای منطقه چابهار (شکل ۳) و منطقه پسابندر (شکل ۴) محاسبه شد. با آستانه‌گذاری تصاویر NDWI در نرم‌افزار ENVI 5.3، خطوط ساحلی برای هر سال استخراج و به فایل برداری تبدیل شد و تغییرات آنها در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰ بررسی شد (شکل ۵ و ۶).

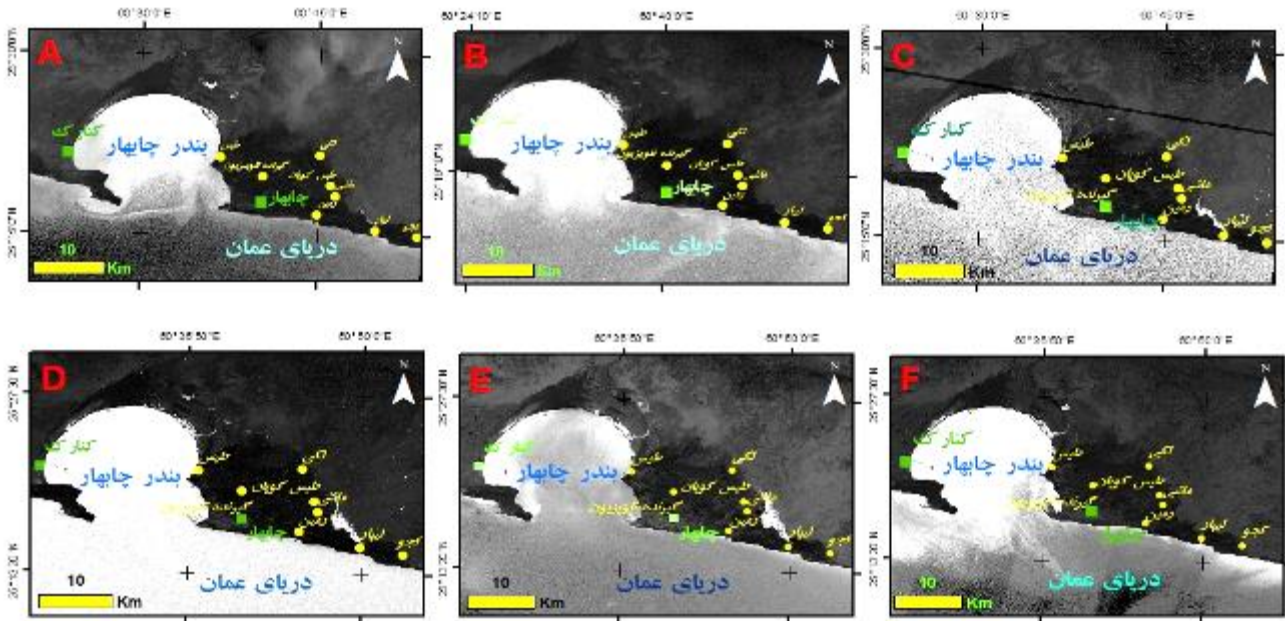
<sup>6</sup> Kappa Coefficient

<sup>7</sup> Overall Accuracy

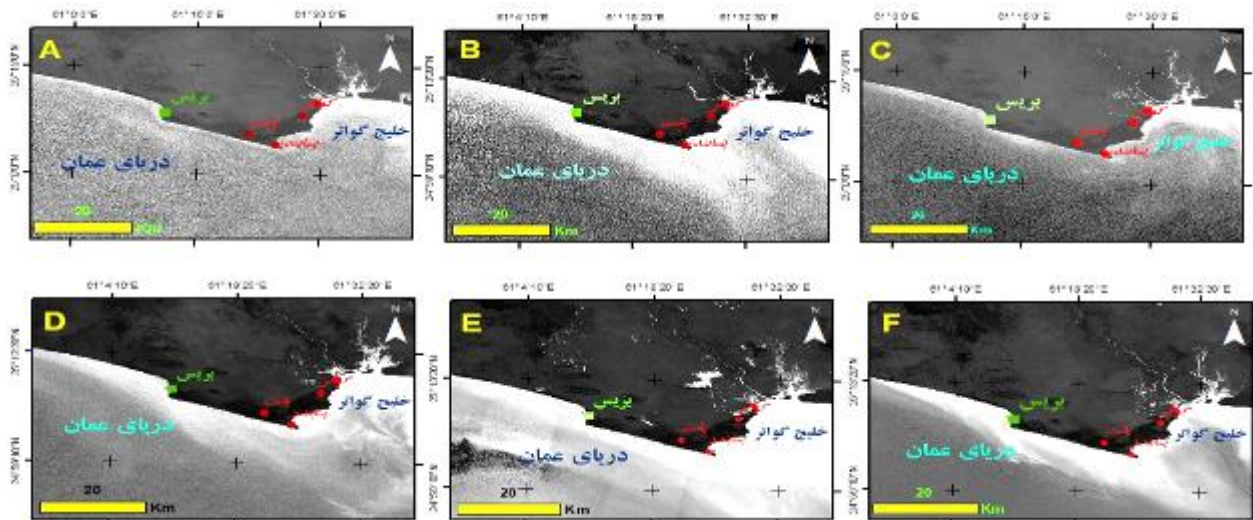
<sup>8</sup> User Accuracy

<sup>9</sup> product Accuracy

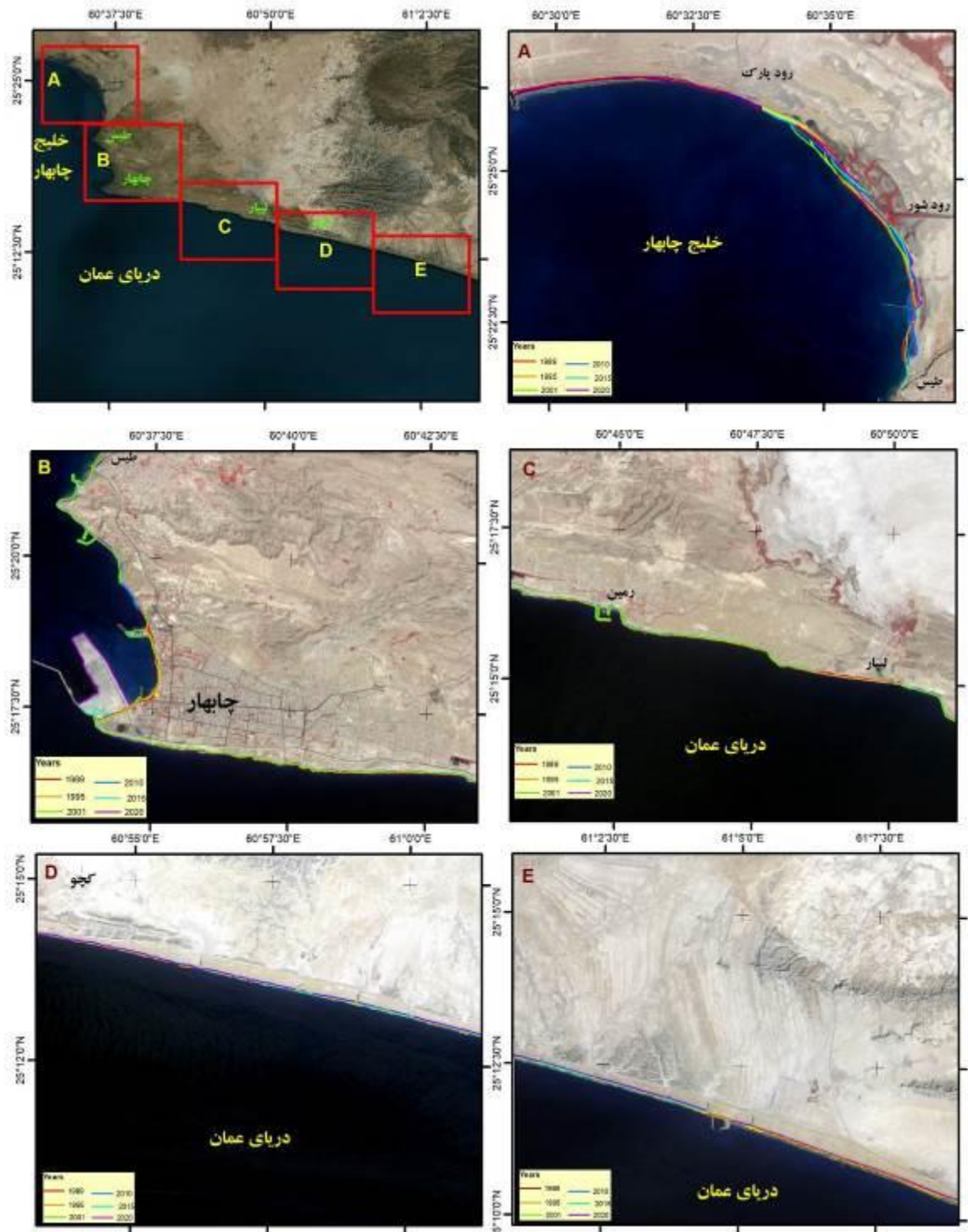




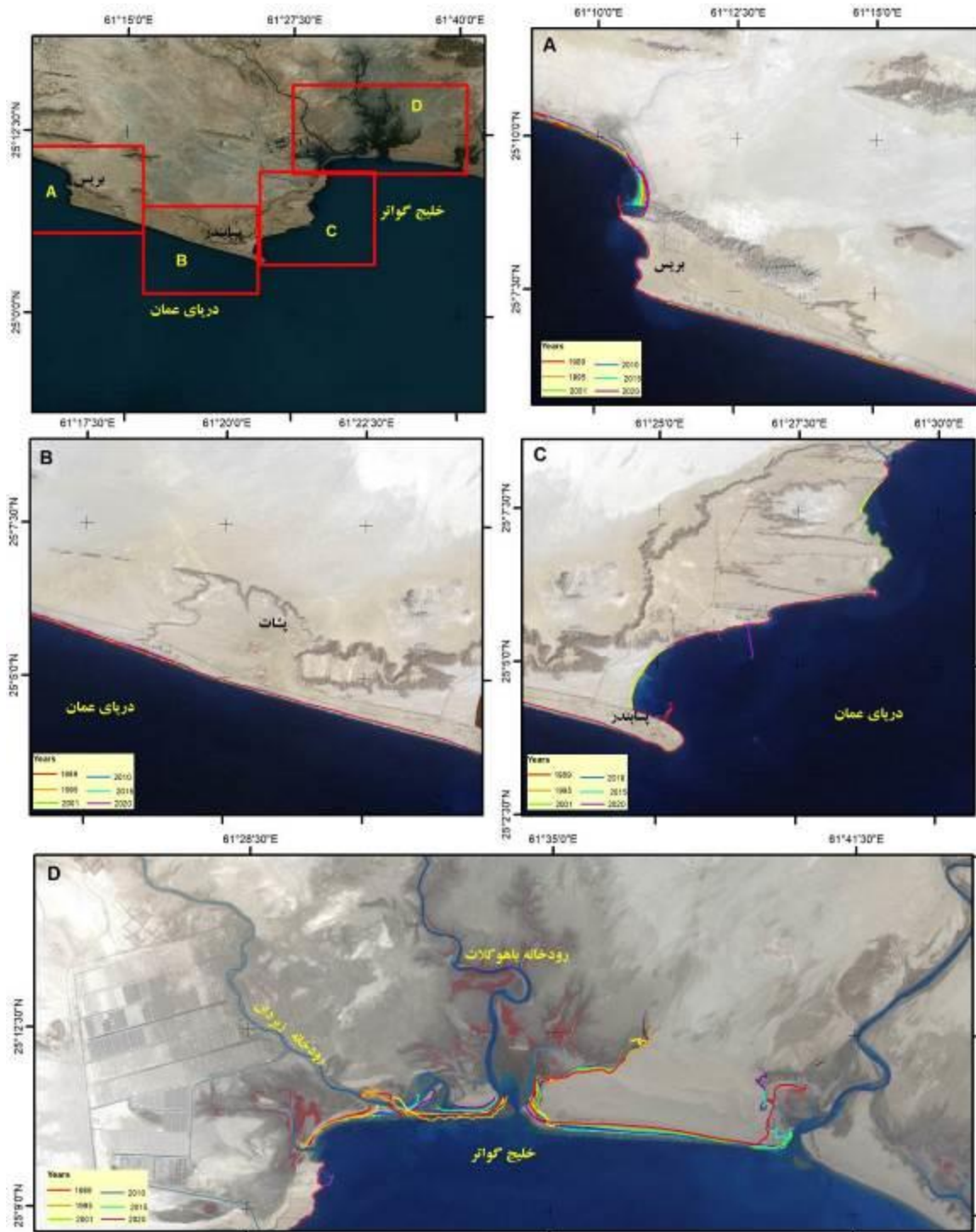
شکل ۳: شاخص طیفی NDWI در منطقه حد فاصل چابهار تا بندر بريس در سال‌های A: ۱۹۸۹، B: ۱۹۹۵، C: ۲۰۰۱، D: ۲۰۰۹، E: ۲۰۱۵ و F: ۲۰۲۰



شکل ۴: شاخص طیفی NDWI در منطقه حد فاصل بندر بريس تا گواتر در سال‌های A: ۱۹۸۹، B: ۱۹۹۵، C: ۲۰۰۱، D: ۲۰۱۰، E: ۲۰۱۵ و F: ۲۰۲۰



شکل ۵: تغییرات خطوط ساحلی در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰؛ A: خلیج چابهار، B: بندر چابهار، C: حد فاصل رمین تا لیپار، D: حد فاصل کچو تا بریس و E: حد فاصل کچو تا بریس



شکل ۶: تغییرات خطوط ساحلی در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰؛ A: بندر بریس B: بریس تا پشات، C: پسابندر و D: شمال خلیج گواتر

#### ۲-۴- جابه‌جایی خط ساحلی در سواحل ماسه‌ای (۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰)

در ساحل شمال چابهار در حد فاصل آب شیرین کن این شهر تا خور شور پهنه، ساحل ماسه‌ای به طول حدود ۷۷۰۰ متر وجود دارد. در گذشته در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰، در بخش شرقی این منطقه یک سد ساحلی ماسه‌ای فعال وجود داشت که هر ساله به وسیله سیلاب‌های ناشی از رودخانه پارک، تغییراتی را در این منطقه به وجود می‌آورد و دهانه این خور عمدتاً در تعامل با آب دریا قرار داشت. از سال ۲۰۰۰ به بعد برای کنترل سیلاب این رودخانه، بر روی

آن بند خاکی در شمال جاده چابهار به کنارک احداث شد. از این زمان به بعد به دلیل کاهش ورودی آب رودخانه و تأثیر کمتر این رودخانه بر دهانه خور پارک، به تدریج دهانه این خور بسته شد و خط ساحلی آن به یک ساحل ماسه-ای پایدار تبدیل شد. مقادیر LRR، نشان‌دهنده پیشروی خط ساحلی در این منطقه به میزان ۱/۲۴ متر در سال است. هر چند در بخشی از منطقه مورد مطالعه پسردهایی مشاهده می‌شود، ولی روند غالب، پیشروی خط ساحلی است. می‌توان احداث آب شیرین کن و موج شکن را در این منطقه، یکی از عوامل تأثیرگذار بر این پیشروی دانست که زمینه تشدید رسوب گذاری را در آن فراهم کرده است (شکل ۷A).

در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰، به دلیل گسترش بندر شهید رجایی چابهار تغییر عمده‌ای در خطوط ساحلی ایجاد شد و نتیجه آن، پیشروی خطوط ساحلی در این منطقه است که در بیشترین قسمت خود، این تغییرات به صورت پیشروی خط ساحلی به میزان ۲۷۱۴ متر به واسطه توسعه بندر شهید بهشتی مشاهده می‌شود، ولی در برخی از مناطق به خصوص در حد فاصل اسکله شهید بهشتی تا اسکله صیادی چابهار که تحت تأثیر ساخت و سازهای خط ساحلی نیستند، پسردهی این خط ساحلی دیده می‌شود. به منظور بررسی بهتر تغییرات خطوط ساحلی بندر چابهار که تحت تأثیر ساخت ساز قرار نگرفته‌اند، میزان پیشروی ناشی از توسعه این دو بندر حذف شد و نتیجه نشان داد که در این بخش از خط ساحل ماسه‌ای، فرسایش روی داده است و میزان حداکثر این پسردهی با توجه به NSM آن در حدود ۳۱/۳۶ متر است که می‌تواند تحت تأثیر کاهش قدرت جریان‌های موازی ساحل و کاهش آورد رسوب در منطقه باشد که روند فرسایش خط ساحلی را در این بخش از ساحل تشدید کرده است (شکل ۷B).

در شرق خلیج چابهار و در منطقه لیپار نیز بررسی‌ها بیانگر روند غالب پیشروی خط ساحلی در دوره مورد مطالعه است. هر چند میزان پیشروی در این منطقه نسبت به سایر مناطق کم است، ولی حداکثر پیشروی با توجه به NSM آن در حدود ۳۷/۱ متر است. میانگین میزان پیشروی در طول دوره مورد مطالعه با توجه به LRR، ۰/۳۶ متر در سال است که این میزان جابه‌جایی، عدد کمی به نظر می‌رسد و تقریباً نشانه پایداری این منطقه است. می‌توان گفت یکی از دلایل این پایداری و تشدید رسوب گذاری در این منطقه، ایجاد بند خاکی بر روی رودخانه لیپار است. در گذشته رودخانه لیپار پس از گذر از دشت لیپار، سیلاب‌های خود را از محل کنونی ساحل ماسه‌ای این رودخانه به دریا تخلیه می‌کرد، ولی احداث این بند سبب شد تخریب و فرسایش خط ساحلی به واسطه کنترل سیلاب‌های منطقه مورد مطالعه کاهش یابد و روند رسوب گذاری تشدید شود (شکل ۷B).

منطقه ساحلی بریس، ساحلی ماسه‌ای است که در حد فاصل کچو تا بندر بریس قرار دارد و طول آن به ۳۵/۵ کیلومتر می‌رسد. مقادیر LRR نشان می‌دهد که میانگین میزان جابه‌جایی و پیشروی در این منطقه، در حدود ۰/۴۶ متر در سال است که عدد بسیار کمی را نشان می‌دهد و از پایداری خط ساحلی در این منطقه حکایت دارد، ولی نکته‌ای را که باید در این منطقه مد نظر قرار داد، تأثیر احداث بندر بریس و تجمع رسوبات در بخش شمالی این بندر است. همان‌طور که شاخص SCE نشان می‌دهد، تجمع رسوب در این منطقه به پیشروی خط ساحلی به میزان حداکثر ۳۹۳ متر در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰ منجر شده است. از آنجایی که بخش کوچکی از منطقه تحت تأثیر این رسوب گذاری شدید قرار گرفته است، برای بررسی بهتر روند طبیعی تغییرات در منطقه مورد مطالعه، مجدداً بدون در نظر گرفتن رسوب گذاری بندر بریس، سایر بخش‌های خط ساحلی نیز بررسی شد. نتایج به دست آمده مجدداً نشانه پایداری منطقه

مورد مطالعه است؛ زیرا شاخص LRR پیشروی در حدود ۰/۱۴ در سال است و این امر پایداری خط ساحلی و تغییرات بسیار جزئی با روند پیشروی در خط ساحلی را نشان می‌دهد (شکل ۸A).

سواحل ماسه‌ای حد فاصل بین بندر بريس تا پادگانۀ پسابندر در غرب روستای پشتات، به طول تقریبی ۱۳/۵ کیلومتر است. برآوردهای صورت گرفته با توجه به شاخص LRR، نشان‌دهندۀ پس‌روی خط ساحلی به میزان حدود ۰/۱۱ متر در سال است و پایداری نسبی خط ساحلی را در منطقۀ مورد مطالعه نشان می‌دهد. هر چند با توجه به شاخص NSM، پیشروی محدودی - حداکثر ۳۲/۵ متر - در برخی مناطق مشاهده می‌شود، ولی روند غالب این منطقه پس‌روی تدریجی و کم در کل منطقه است و در برخی نقاط نیز شاهد فرسایشی در حدود ۳۳ متر در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰ است. در این منطقه، شواهدی از فعالیت‌های انسانی مشاهده نمی‌شود و می‌توان گفت یکی از دلایل پایداری نسبی این منطقه، عدم بهره‌برداری از آن و عدم ورود رودخانه به این بخش از خط ساحلی است (شکل ۸B).

نتایج LRR نشان می‌دهد که میانگین جابه‌جایی خط ساحلی در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰ در شمال پسابندر، به صورت پس‌روی خط ساحلی و به میزان ۰/۸۳ متر در سال است. حداکثر پس‌روی ثبت شده در این بخش از خط ساحلی با توجه به نتایج SCE، در حدود ۱۱۴ متر است. یکی از دلایل پس‌روی خط ساحلی در این منطقه، احداث موج‌شکن در این منطقه است که مانع از جابه‌جایی رسوب از بخش شمالی به جنوبی می‌شود و زمینه را برای فرسایش بیشتر بخش جنوبی اسکله توسط امواج به وجود آورده است. در شرق روستای گواتر نیز بخشی از خط ساحلی به صورت ساحل ماسه‌ای به طول ۱۱۵ متر وجود دارد. بررسی‌های انجام شده بیانگر این است که خط ساحلی در این منطقه به طور غالب در حال پس‌روی است، ولی مقدار آن در حدود ۰/۵۵ متر در سال برآورد می‌شود. حداکثر میزان پس‌روی در این منطقه، در حدود ۵۴ متر محاسبه شده است (شکل ۸B).

جدول ۲: تغییرات سواحل ماسه‌ای منطقه مورد مطالعه (اعداد منفی در میانگین معادل پسروی)

شاخص تغییرات	پارک	چابهار	چابهار لیپار	بریس بدون بندر	بریس	پشتات - بریس	پسابندر	گواتر			
LRR متر بر سال	پیشروی	۳/۹۳	۵۲/۳۵	۱/۶	۰/۹۵	۰/۷۸	۱۳/۴۴	۱/۱۱	۱/۱۹	-	
	حداکثر	-	۱/۷۴	۱/۴۷	۰/۶۶	۲/۲۹	۲/۲۹	۱/۲۷	۳/۳	۰/۰۹	
	پسروی	۱/۲۴	۸/۲۴	-۰/۰۵	۰/۳۶	۰/۱۴	۰/۴۶	-۰/۱۱	-۰/۸۳	-۰/۵۵	
EPR متر بر سال	پیشروی	۳/۹۵	۷۷/۰۷	۲/۱۴	۱/۲۹	۲/۶	۱۱/۵۱	۱/۱۶	۰/۶۲	۰/۰۱	
	حداکثر	-	۰/۹	۰/۹	۰/۶۶	۳/۴۱	۳/۴۱	۱/۲۱	۲/۸۵	۰/۸۵	
	پسروی	۱/۲۰	۱۱/۵۷	۰/۱۶	۰/۵۱	۰/۱۵	۰/۴۳	-۰/۰۶	-۰/۸۵	-۰/۵	
NSM (متر در طول ۳۱ سال)	پیشروی	۲۱/۸	۲۶۷۰/۳۵	۷۴/۲	۳۷/۱	۷۰/۱	۳۹۲/۶۵	۳۲/۵	۲۱/۱۴	۰/۲۹	
	حداکثر	-	۳۱/۳۶	۳۱/۳۶	۱۳/۵۷	۱۱۶/۳۲	۱۱۶/۳۲	۱۱۶/۳۲	۳۳/۹۶	۹۷/۷۹	۲۳/۸۱
	پسروی	۳۷/۳۳	۴۶/۴۴	۲۱۶/۳۴	۱۷/۴۵	۵/۳۳	68/14	-۱/۷۳	-۲۹/۴۲	-۱۴/۳	
SCE (متر در طول ۳۱ سال)	پیشروی	۲۶/۸۸	۵۳/۲	۱۳/۱۷	۱۵/۱	۱۳/۸۲	۱۳/۸۲	۱/۳۵	۶/۶۱	۱۴/۸۳	
	حداکثر	-	۶۰۹/۷	۱۷۴/۳	۵۳/۰۳	۱۵۸/۱۸	۱۵۸/۱۸	۳۹۳/۱۸	۱۱۴/۲	۵۴/۴	
	پسروی	۱۲۱/۸	-۴۴۷/۶	-۵۲/۴۱	-۲۹/۰۹	-۵۶/۷۲	-۶۴/۵۳	-۲۷/۹۳	-۳۹/۳۳	۲۸/۸۸	
میانگین	-۵۴/۳	-۴۴۷/۶	-۵۲/۴۱	-۲۹/۰۹	-۵۶/۷۲	-۶۴/۵۳	-۲۷/۹۳	-۳۹/۳۳	۲۸/۸۸	-	

## ۳-۴- جابه‌جایی خط ساحلی در سدهای ساحلی (۱۳۸۶ تا ۲۰۲۰)

در منطقه مورد مطالعه و در شرق خلیج چابهار، دو اسپیت وجود دارد که یکی از آنها در دهانه رودخانه شور و دیگری در شمال بندر تیس قرار دارد و روند آنها شمالی و جنوبی است. سدهای ساحلی اغلب در سواحل کم عمق شکل می‌گیرند، در اثر حرکت ماسه و رسوب در دهانه ورودی رودخانه به دریا یا دریاچه ساخته می‌شوند و پهنه‌های آبی همانند تالاب، لاگون یا جزر و مدی را از دریا جدا می‌کنند. سدهای ساحلی در منطقه مورد مطالعه در دهانه رودخانه شور، زيردان و باهوكلات قرار گرفته‌اند و پهنه‌های جزر و مدی واقع در پشت این سدها را از دریا جدا می‌کنند. در سد ساحلی رودخانه شور در شرق خلیج چابهار، بررسی‌ها نشان می‌دهد که روند غالب در منطقه مورد مطالعه با توجه به مقادیر LRR، پسروی خط ساحلی به میزان ۲/۱۷ متر در سال است. حداکثر پسروی در این بخش از ساحل با توجه به شاخص SEC، به میزان ۳۴۶ متر مشاهده می‌شود. این تغییرات بیشتر در دهانه‌های ورودی سدهای ساحلی دیده

می‌شود که به دلیل ورود سیلاب‌های رودخانه به خورها و پس از آن تخلیه آنها به داخل دریا، به فرسایش، تخریب و جابه‌جایی دهانه خورها منجر می‌شود. هر چند پس از تأثیر سیلاب‌ها بر خط ساحلی، جریان‌های موازی ساحل، این خط را مجدداً بازسازی می‌کنند، ولی این امر به تغییر شکل سدهای ساحلی منجر می‌شود و می‌تواند پیشروی و پسروی‌های گسترده‌ای را در این منطقه به همراه داشته باشد. در دوره مورد مطالعه، روند غالب تغییرات خطوط ساحلی در سد ساحلی کوچکی که در شمال بندر تیس در غرب خلیج چابهار قرار دارد، فرسایش و پسروی خط ساحلی است و میزان آن با توجه به مقادیر LRR، در حدود ۴/۶۷ متر در سال ثبت شده‌است؛ از این رو، این بخش از خطوط ساحلی ناپایدارترین خط ساحلی در منطقه مورد مطالعه به شمار می‌رود؛ به گونه‌ای که در دوره مورد مطالعه با توجه به مقادیر NSM، حداکثر ۱۰۰/۵ متر پیشروی خط ساحلی و در بخش دیگر آن در حدود ۴۱۵ متر پسروی مشاهده می‌شود (شکل ۷A).

بخش دیگری از سدهای ساحلی در منطقه مورد مطالعه، در شمال خلیج گواتر و در دهانه رودخانه‌های باهو کلات و زیردان شکل گرفته‌اند. این سدها متشکل از سه جزیره سدی است که یک سد در دهانه رودخانه زیردان، یکی در دهانه رودخانه باهو کلات و دیگری در مرز این دو رودخانه قرار گرفته‌است.

سد رودخانه زیردان و سدهای ساحلی حد فاصل رودخانه باهو کلات و زیردان، به طول حدود ۱۴۶۰۰ متر در شمال اسکله صیادی گواتر قرار گرفته‌است. سیلاب‌های بسیار قدرتمند این دو رودخانه، هر ساله این منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همان‌طور که در شکل (۶D) مشاهده می‌شود، جابه‌جایی بسیار زیادی در خطوط ساحلی هم در قالب پیشروی و پسروی و علاوه بر آن، جابه‌جایی طولی روی داده‌است. هر چند نتایج LRR، بیانگر جابه‌جایی و پیشروی حدود ۱/۲۲ متر در سال است که می‌تواند به گونه‌ای پایداری نسبی کلی این منطقه را نشان دهد، ولی میزان جابه‌جایی خالص NSM نشان می‌دهد که در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۹ تا سال ۲۰۲۰، تغییرات بسیار زیادی در این منطقه روی داده‌است؛ به گونه‌ای که حداکثر میزان پیشروی در بخش‌هایی از این سد ساحلی، در حدود ۷۰۶ متر و در بخش‌های دیگری از این سد، در حدود ۹۵۷ متر پسروی ثبت شده‌است. این تغییرات شدید، تابعی از طغیان‌های فصلی هر دو رودخانه باهو کلات و زیردان، ورود حجم زیادی از آب این دو رودخانه به خط ساحلی و تخریب این خط، همچنین بازسازی مجدد آن توسط امواج و جریان‌های موازی ساحل است (شکل ۸C).

سرانجام تغییرات خطوط ساحلی در سد ساحلی - که در شرق رودخانه باهو کلات قرار گرفته‌است - مقادیری در حدود ۲/۶ متر در سال و با روند غالب پسروی را نشان می‌دهد؛ با این وجود، بررسی NSM نشان می‌دهد که این منطقه با وجود میزان جابه‌جایی LRR کم، تغییرات زیادی را از سر گذرانده است و در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰، در بخش‌هایی از این خطوط ساحلی در حدود ۶۹۶ متر پسروی و در بخش‌هایی نیز ۸۸۶/۵ متر پیشروی داشته که این اعداد، بیانگر ناپایداری کلی این منطقه از خط ساحلی است (شکل ۸C).

جدول 3: تغییرات سدهای ساحلی منطقه مورد مطالعه (اعداد منفی در میانگین معادل پسروی)

شاخص	دامنه تغییرات	باهو کلات	زیردان	خور شور	خور تیس
LRR متر بر سال	پیشروی حداکثر	-	۲۴/۶۷	۲/۴۷	۲/۲۷
	پسروی حداکثر	۱۲/۸۱	۳۱/۸۶	۱۰/۲۴	۱۴/۰۴
	میانگین	-۲/۶۳	-۱/۲۲	-۲/۱۷	-۴/۶۷
EPR متر بر سال	پیشروی حداکثر	۲۰/۵	۳۲/۴	۳/۰۴	۲/۹
	پسروی حداکثر	۲۶/۰۷	۲۸/۱۷	۱۱/۰۴	۱۲
	میانگین	۱/۶	-۰/۸۴	-۲	-۴/۸۱
NSM (متر در طول سال)	پیشروی حداکثر	۶۹۶/۴۵	۷۰۶	۹۵/۴۲	۱۰۰/۵
	پسروی حداکثر	۸۸۶/۴۶	۹۵۷/۸۷	۳۴۶/۰۵	۴۱۵/۲۳
	میانگین	-۵۳/۸۲	-۲۷/۴۶	-۵۹/۷	-۱۶۷/۶۳
SCE (متر در طول سال)	پیشروی حداکثر	۱۳/۲۸	۲۰/۱۳	۸۰/۷۵	۱۹/۸۴
	پسروی حداکثر	۹۷۵/۴	۱۱۱۰/۶	۳۴۶/۰۵	۴۷۰/۷۵
	میانگین	-۲۰۶	-۳۸۰/۶۸	-۲۰۲/۳۶	-۱۱۸

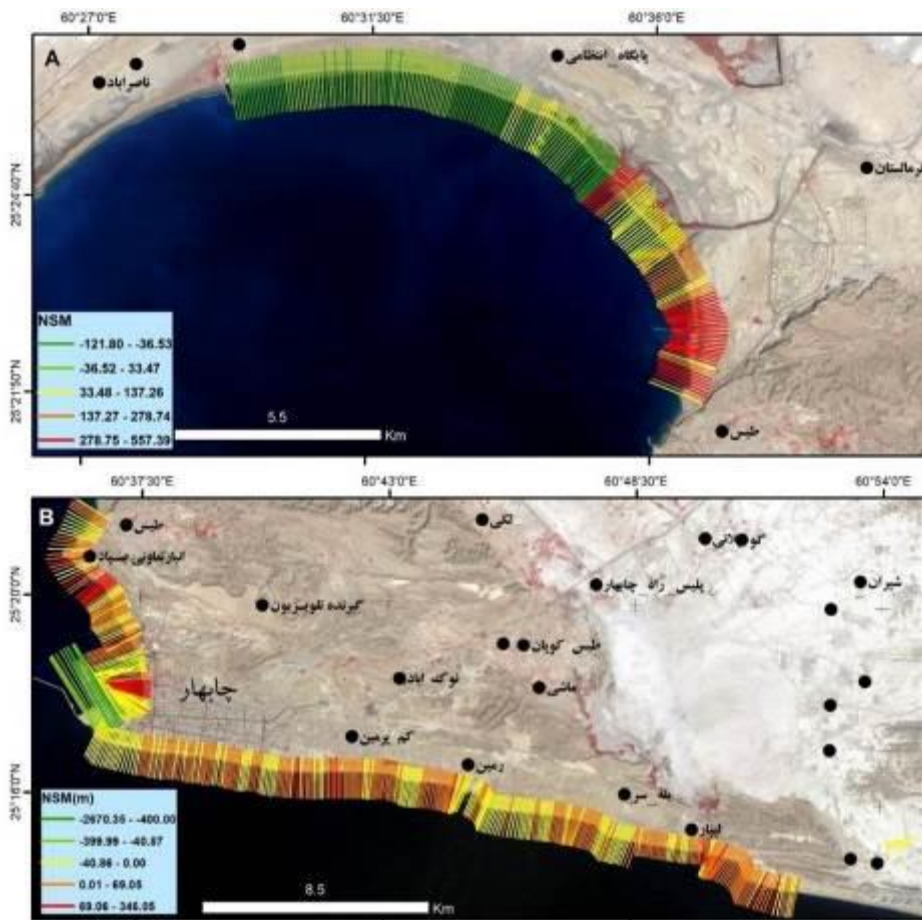
## ۴-۴- جابه‌جایی خط ساحلی در پادگانه‌های دریایی (۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰)

جابه‌جایی خطوط ساحلی پادگانه‌های دریایی، در چهار منطقه چابهار (شامل تیس، جنوب چابهار و لیپار)، بریس، پسابندر و گواتر مطالعه شد. در منطقه چابهار، بیشترین میزان تغییرات خطوط ساحلی در بخش جنوبی و در جنوب اسکله شهید بهشتی این منطقه مشاهده می‌شود و شامل پیشروی خط ساحلی است که مقدار آن با توجه به NSM، به میزان ۶۱ متر و دلیل آن، اجرای طرح گسترش بندر چابهار در این بخش از پادگانه ساحلی است. ولی در کل، میزان جابه‌جایی در پادگانه ساحلی منطقه چابهار بسیار کم است و با وجود تأثیر ساخت این بخش از پروژه بندری در این منطقه، میانگین میزان جابه‌جایی به مقدار ۰/۵۰ متر در سال و به صورت پیشروی خط ساحلی است (شکل ۷B). در بندر بریس نیز میزان جابه‌جایی بسیار اندک و به صورت پیشروی و به میزان ۰/۳۹ متر در سال در طول دوره مورد مطالعه است و تنها در بخش محدودی از این ساحل - با توجه به شاخص NSM به میزان ۳۹ متر - مشاهده شده است که این امر می‌تواند به دلیل ریزش پرتگاه ساحلی در بخش جنوبی این پادگانه باشد (۸A). در پادگانه‌های پسابندر و گواتر نیز ثبات نسبی در خط ساحلی دیده می‌شود و میانگین میزان جابه‌جایی در پادگانه پسابندر با توجه به شاخص LRR، به میزان پسروی ۰/۱۷ متر در سال و در پادگانه گواتر به صورت پیشروی ۰/۱۰ متر است (شکل ۸A).

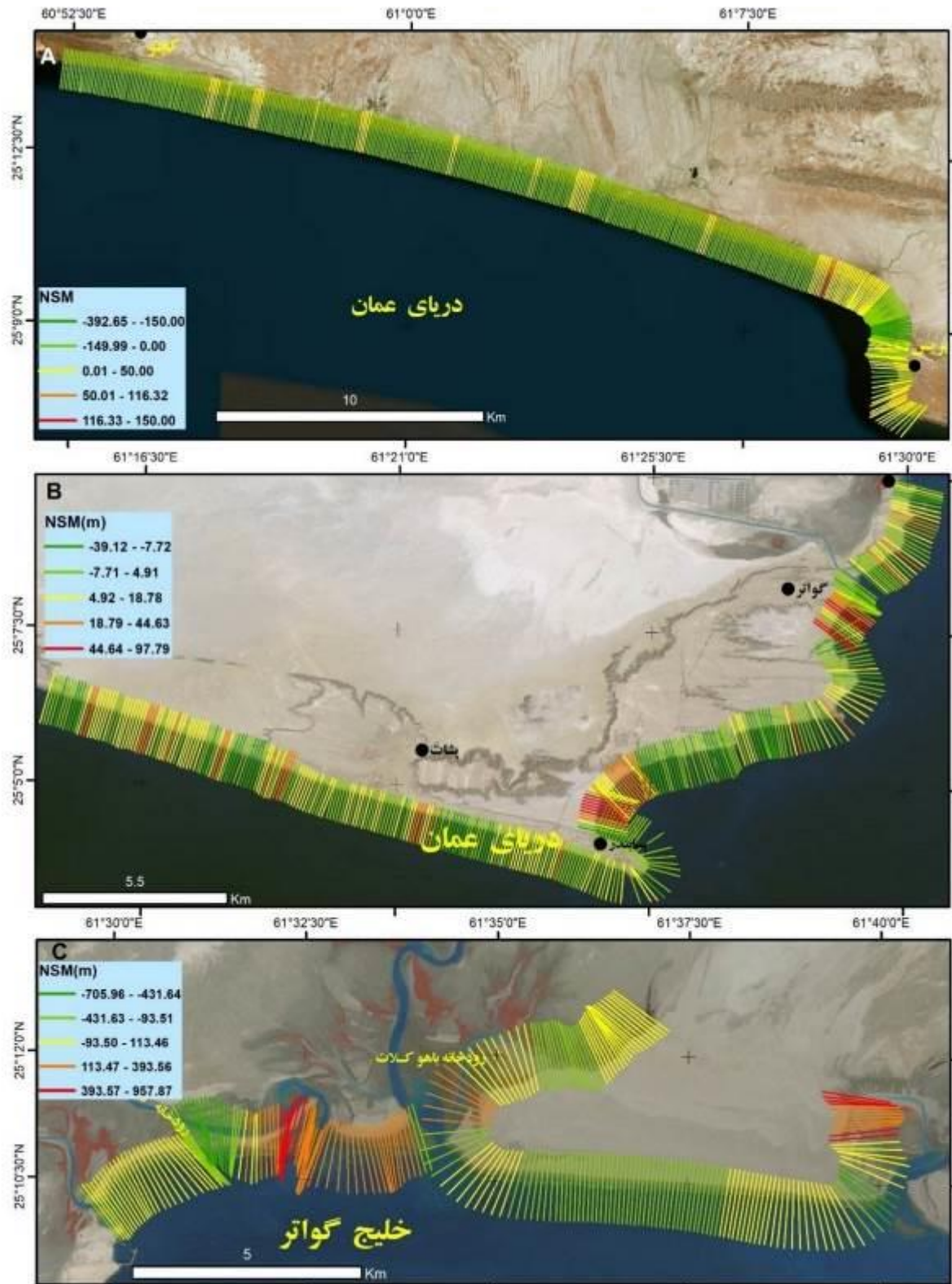


جدول ۴: تغییرات بادگانه‌های دریایی منطقه مورد مطالعه (اعداد منفی در میانگین معادل پسروی)

شاخص	دامنه تغییرات	گواتر	پسانددر	بریس	چابهار
متر بر سال <b>LRR</b>	پیشروی حداکثر	۲/۸۷	۱/۶۵	۱/۸	۵/۱۷
	پسروی حداکثر	۳/۶	۱/۸۳	۲/۲۶	۴/۵
	میانگین	۰/۰۱	-۰/۱۷	۰/۳۹	۰/۰۵
متر بر سال <b>EPR</b>	پیشروی حداکثر	۵/۸	۱/۸	۱/۴	۴/۴
	پسروی حداکثر	۳/۱۳	۱/۸۶	۲/۸	۴
	میانگین	۰/۱۰	-۰/۱۸	۰/۵۲	۰/۰۲
متر در طول <b>NSM</b> (سال ۳۱)	پیشروی حداکثر	۳۹/۱۲	۲۵/۳۴	۳۹/۲۸	۶۱/۵۷
	پسروی حداکثر	۴۳/۷۶	۲۶/۰۲	۱۹/۰۵	۵۵/۹
	میانگین	۱/۱	-۲/۵۵	-۶/۹۲	-۰/۰۷
متر در طول <b>SCE</b> (سال ۳۱)	پیشروی حداکثر	۲/۲	۱/۵۵	۲/۶۷	۰
	پسروی حداکثر	۴۹/۹۴	۳۰/۸	۳۹/۴۸	۶۴/۰۹
	میانگین	-۱۵	-۱۰/۴	-۱۵/۶۵	-۱۹/۰۸



شکل ۱: تغییرات خطوط ساحلی بر مبنای ترانسکت شاخص NSM در A: شمال خلیج چابهار و B: چابهار تا لیبار



شکل ۱: تغییرات خطوط ساحلی بر مبنای ترانسکت شاخص NSM در A: کچو تا بریس و B: پسانبدر و C: شمال خلیج گواتر

## ۵- بحث

## ۵-۱- ارزیابی تغییرات خطوط ساحلی در واحدهای ژئومورفولوژی

یکی از اهداف بررسی تغییرات خطوط ساحلی، بررسی پایداری خط ساحلی به منظور برنامه‌ریزی برای توسعه سواحل است. شناسایی مناطق پایدار و ناپایدار در خطوط ساحلی، این امکان را در اختیار برنامه‌ریزان قرار می‌دهد تا مناطقی را که از جهت استقرار سازه‌های ساحلی دارای پتانسیل توسعه هستند، شناسایی کنند و ریسک خسارت‌های طبیعی آتی بر این سازه‌ها را به حداقل برسانند؛ از این رو، بررسی تغییرات خطوط ساحلی یکی از پارامترهای مهم در این برنامه‌ها است.

در این تحقیق به منظور تحلیل بهتر تغییرات خطوط ساحلی، هر یک از واحدهای ژئومورفولوژیکی به طور مجزا بررسی شد. جمع‌بندی این تغییرات در جدول ۵ ذکر شده است. در این جدول، میانگین تغییرات با توجه به مقادیر LRR، EPR و NSM در هر یک از واحدها تهیه شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان تغییرات خطوط ساحلی در سدهای ساحلی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود که روند غالب آن پسروری خطوط ساحلی است. میانگین میزان تغییرات در سدهای ساحلی در شاخص LRR، ۲/۷۵ متر در سال است که نسبت به سواحل ماسه‌ای (۰/۰۳ متر در سال) و پادگانه‌های دریایی (۰/۱۱ متر در سال) میزان بسیار بالایی را نشان می‌دهد و روند همگی آنها پسروری است. علاوه بر آن با توجه به شاخص NSM، میانگین بیشترین پیشروی (۳۹۹/۵۵ متر) و بیشترین پسروری (۶۵۱/۴ متر) در واحد ژئومورفولوژیکی سدهای ساحلی دیده می‌شود؛ این در حالی است که مقادیر میانگین NSM در ساحل ماسه‌ای برای پیشروی خط ساحلی ۱۰۳/۷ متر و بیشترین میزان پسروری در حدود ۴۹/۵ متر در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰ است. علاوه بر آن بر مبنای شاخص NSM، مقادیر برای پادگانه‌های دریایی به ترتیب معادل ۳۶ متر پیشروی و ۴۱ متر پسروری است که این امر تنها در چند نقطه محدود روی داده است (جدول ۵).

همان‌طور که در این بررسی مشخص شد، پادگانه‌های دریایی و خط ساحلی آن منطقه نسبت به واحدهای ژئومورفولوژیکی دیگر پایداری بیشتری دارد که می‌توان گفت علت آن، مقاومت بیشتر واحدهای مارنی و ماسه‌سنگی در برابر فرسایش است.

جدول ۵: مقایسه تغییرات خطوط ساحلی در واحدهای ژئومورفولوژیکی (اعداد منفی در میانگین معادل پسروری)

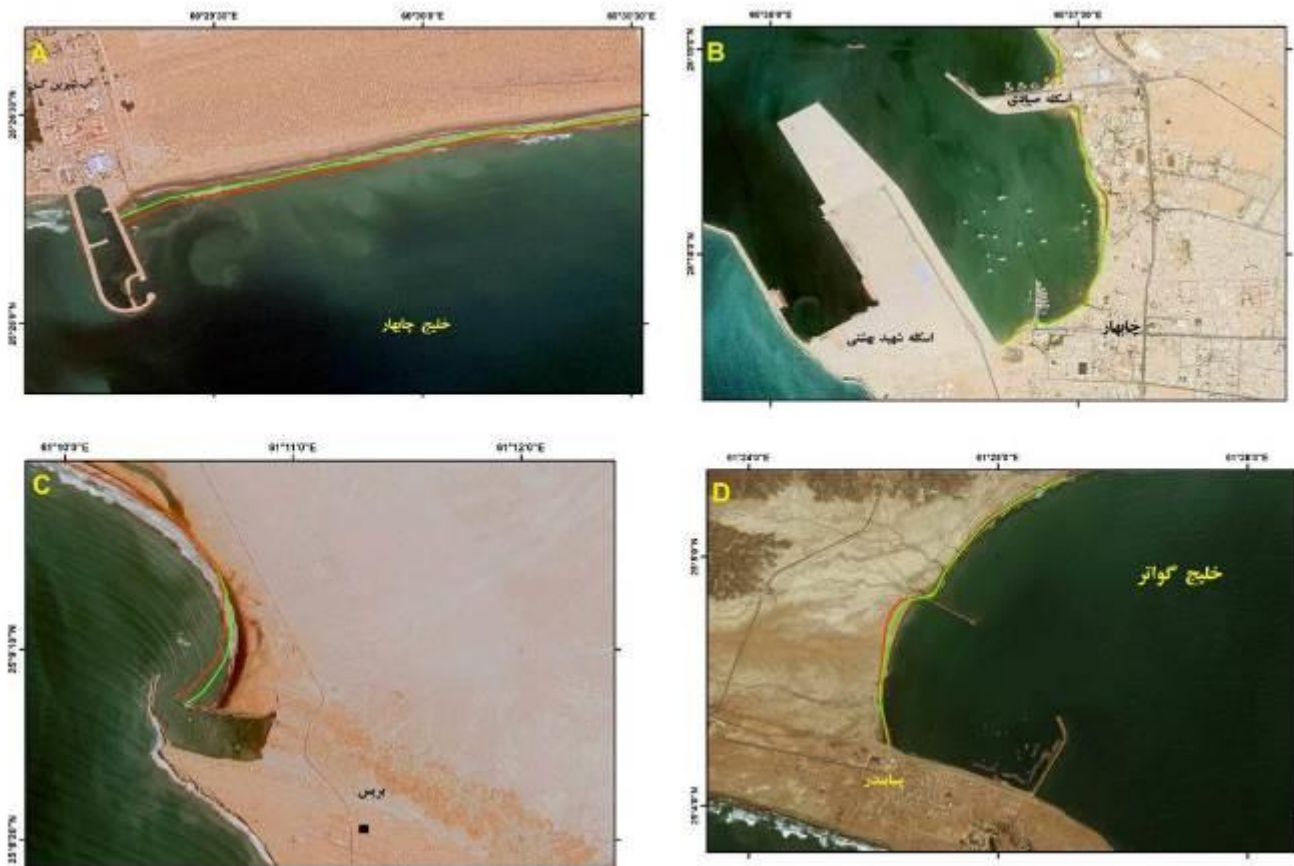
شاخص	دامنه تغییرات	سواحل ماسه‌ای		پادگانه‌های دریایی	سدهای ساحلی	میانگین کل
		پیشروی حداکثر	پسروری حداکثر			
LRR متر بر سال	پیشروی حداکثر	۳/۱۲	۲/۷۸	۲/۷۸	۲/۴	۲/۸
	پسروری حداکثر	۱/۶۴	۳/۰۴	۳/۰۴	۱۷/۲۴	۷/۳۱
	میانگین	-۰/۱۱	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۲/۷۵	-۰/۹۶
EPR متر بر سال	پیشروی حداکثر	۳/۴۸	۳/۳۵	۳/۳۵	۱۴/۷	۷/۱۸
	پسروری حداکثر	۱/۷۳	۲/۹۴	۲/۹۴	۱۹/۳۲	۸
	میانگین	۰/۱۴	-۰/۱۴	-۰/۱۴	-۱/۵۲	-۰/۵۱
NSM (متر در طول ۴۱ سال)	پیشروی حداکثر	۱۰۳/۷	۳۶/۲۷	۳۶/۲۷	۳۹۹/۵۸	۱۷۹/۸۵
	پسروری حداکثر	۴۹/۵	۴۱/۲۳	۴۱/۲۳	۶۵۱/۴	۲۴۷/۳۸
	میانگین	۱۶/۱۵	-۱/۹۴	-۱/۹۴	-۷۷/۱۵	-۲۰/۹۸

## ۲-۵- برآورد تغییرات آتی خطوط ساحلی

مدل DSAS این امکان را در اختیار محققان قرار می‌دهد که با توجه به محل خطوط ساحلی کنونی و میزان جابه‌جایی که با بررسی تغییرات خطوط ساحلی در گذشته به دست آمده‌است، روند تغییرات خطوط ساحلی را در ده و بیست سال آینده برآورد کنند. همان‌طور که در مبحث قبل اشاره شد، سواحل ماسه‌ای بعد از سدهای ساحلی بیشترین میزان تغییرات را در خطوط ساحلی به همراه دارد. هر چند میزان این جابه‌جایی در سواحل ماسه‌ای کم است، ولی در مناطقی که سازه‌های ساحلی در آن قرار دارد، میزان این تغییرات نسبت به مناطق مشابه خود بیشتر است و در آینده نیز می‌تواند بر روی کارکرد سازه‌های ساحلی تأثیر بگذارد. همان‌طور که برآوردهای تغییرات خطوط ساحلی نشان داد، سواحل ماسه‌ای پارک در شمال خلیج چابهار، به میزان ۱/۲۴ متر در سال پیشروی دارد. نتیجه این پیشروی در بازه زمانی ده و بیست سال آینده در شکل A9 بازسازی شده‌است و به تدریج، رسوب‌گذاری در شرق سازه آب شیرین کن و پیشروی خط ساحلی را در این منطقه به همراه خواهد داشت. این سازه، به صورت مانعی در مسیر جریان‌های موازی ساحل عمل می‌کند و رسوباتی را که به وسیله این جریان‌ها جابه‌جا می‌شود، در پشت این اسکله به دام می‌اندازد؛ با این وجود، این جابه‌جایی در طول بیست سال آینده، مشکلی در مسیر عملکرد حوضچه آب شیرین ایجاد نخواهد کرد. اما این روند در اسکله چابهار به خصوص در بخش ساحل ماسه‌ای آن - که در حد فاصل اسکله شهید بهشتی و اسکله صیادی وجود دارد - متفاوت است. با توجه به برآوردهای انجام شده، روند تغییرات خطوط ساحلی در این منطقه فرسایشی و همراه با پسروی است. این روند تغییرات در شکل ۹B مشاهده می‌شود و با توجه به برآوردهای انجام شده در طی بیست سال آینده، در برخی از بخش‌های این منطقه در حدود ۵۰ متر پسروی دیده می‌شود. برآورد این مقدار پسروی در این منطقه، با توجه به روند دراز مدت (۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰) تعریف شده‌است و این در حالی است که با گسترش اسکله شهید بهشتی و محدود شدن تغذیه رسوب مناسب در این منطقه از خط ساحلی، به دلیل کاهش جریان‌های موازی ساحل احتمال می‌رود روند فرسایشی نسبت به برآوردها شدت یابد.

خط ساحلی در حد فاصل کچو تا بندر بریس در دوره مورد مطالعه پیشروی داشته و میانگین پیشروی در حدود ۰/۴۶ برآورد شده‌است، ولی میزان جابه‌جایی و پیشروی خطوط ساحلی در شمال بندر بریس با توجه به شاخص LRR، به حدود ۶/۰۱ متر در سال می‌رسد. دلیل این پیشروی شدید در این منطقه، به دام افتادن رسوبات در شمال موج‌شکن اسکله بریس است. همان‌طور که برآوردها نشان می‌دهد، روند رسوب‌گذاری در طول ده سال آینده به گونه‌ای خواهد بود که بخش شمالی موج‌شکن اسکله بریس از رسوب کاملاً پر می‌شود و ادامه این روند در بیست سال آینده می‌تواند به افزایش رسوب‌گذاری در دهانه خروجی و حتی خود اسکله بریس منجر شود و روند بهره‌برداری از این اسکله را با مشکل مواجه سازد (شکل ۹C).

و در انتها، در ساحل ماسه‌ای غرب اسکله بریس و در موج‌شکن غربی این اسکله، دو روند پیشروی و پسروی خط ساحلی مشاهده می‌شود. در بخش شمالی این موج‌شکن نیز روند به صورت رسوب‌گذاری و در بخش جنوبی آن به صورت فرسایشی است؛ علت این امر همانند موارد اشاره شده در بالا، به دام افتادن رسوبات در شمال موج‌شکن و فقدان تغذیه رسوب در بخش جنوبی این موج‌شکن است. برآوردهای ده و بیست سال در شکل ۹D نشان می‌دهد که بیشترین پسروی خط ساحلی در بخش جنوب موج‌شکن، در طول بیست سال آینده به حدود ۱۰۰ متر خواهد رسید.



شکل ۹: پیش‌بینی تغییرات آتی خطوط ساحلی در ۱۰ (رنگ سبز) و ۲۰ (رنگ قرمز) سال آینده در A: آب شیرین کن چابهار، B: بندر چابهار، C: بندر بریس و D: غرب پسابندر

## ۵- نتیجه گیری

تغییرات و ناپایداری خطوط ساحلی، یکی از چالش‌های مهمی است که برنامه‌ریزان در زمینه توسعه سواحل با آن روبرو هستند و بی‌توجهی به این تغییرات و روند آن در آینده می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به پروژه‌های عمرانی وارد کند. تحقیق حاضر، به منظور بررسی پایداری خطوط ساحلی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای دوره‌ای در منطقه‌ی بسیار با اهمیت چابهار تا گواتر صورت گرفت و به وسیله ابزار DSAS اجرا شد. نتایج نشان داد که شاخص NDWI، بهتر از شاخص‌های دیگر توانست پهنه آبی را از خشکی جدا کند. نتایج نشان داد که دو منطقه پادگانه‌های دریایی و سواحل ماسه‌ای، پایداری نسبی دارند و بیشترین تغییرات در سدهای ماسه روی داده‌است که می‌توان گفت دلیل این تغییرات زیاد، نقش تأثیر همزمان عوامل مورفودینامیکی خشکی و دریا در تحول مورفولوژیکی این منطقه است؛ از این رو در توسعه آتی سواحل و استقرار سازه‌های ساحلی، در درجه اول پادگانه‌های دریایی همچنین سواحل ماسه‌ای می‌توانند در اولویت‌های بهره‌برداری برنامه‌ریزان ساحلی برای توسعه این سازه‌ها در این منطقه قرار گیرد. علاوه بر آن، سازه‌های احداث شده در پهنه ساحلی، در تغییر و تشدید فرآیندهای فرسایش و رسوب‌گذاری تأثیر زیادی داشت و نمونه آن را به خوبی می‌توان در بندر چابهار و بریس مشاهده کرد که ادامه این روند در آینده مشکلاتی را در زمینه بهره‌برداری از این بنادر به وجود خواهد آورد. هر چند سدهای ساحلی بیشترین میزان جابه‌جایی را در بین واحدهای ژئومورفولوژیکی منطقه داشته‌اند، ولی پیش‌بینی تغییرات آنها در بازه‌های ده و بیست سال در نرم‌افزار

DSAS و تعمیم آن به این بخش از خط ساحلی، نمی‌تواند دقت لازم را داشته باشد؛ زیرا همان‌طور که در شکل 6D مشاهده می‌شود، این سواحل علاوه بر پیشروی و پسروی عرضی در خط ساحلی، به دلیل ورود جریان‌های سیلابی رودخانه‌ها به آنها در بازه‌های زمانی متفاوت به خصوص در زمان سیلاب‌های شدید و ناگهانی همانند طوفان حاره‌ای گونو و تأثیر جریان‌های موازی ساحل، دهانه ورودی آنها به شدت تأثیر پذیرفته و با جابه‌جایی و فرسایش شدید سدهای ماسه‌ای همراه خواهد بود؛ از این رو، نمی‌توان برای آنها روندی ثابت پیش‌بینی کرد. علاوه بر آن، مدل پیش‌بینی طراحی شده برای DSAS در زمینه پیش‌بینی تغییرات آتی خطوط ساحلی، برای مناطقی طراحی شده‌است که فرم اصلی خط ساحلی در آن ثابت است و روند در آنجا صرفاً پیش‌رونده یا پس‌رونده است، و این مدل برای سدهای ساحلی که علاوه بر پیشروی و پسروی خط ساحلی، در راستای طولی این خط هم جابه‌جایی دارند، کارایی لازم را ندارد. علاوه بر آن، در سال ۱۳۹۸ بر روی رودخانه زبردان - که به خلیج گواتر وارد می‌شود - سد زده شد و از این رو در دراز مدت، تأثیر سیلاب‌ها همچنین حجم رسوب ورودی به این منطقه کاهش خواهد یافت و نقش آن بر تکامل سدهای ساحلی به خصوص در دهانه رودخانه زبردان کمتر خواهد شد. تا کنون مطالعاتی که در مورد تغییرات خطوط ساحلی در کشور انجام شده بود، کل خط ساحلی را به عنوان یک واحد در نظر گرفته بودند و تغییرات کل خطوط ساحلی را به طور یکسان و بدون تفکیک واحدهای ژئومورفولوژی ارزیابی کردند (Zeinali et al, 2020 & Rajabi et al, 2019)؛ این در حالی است که تغییرات خطوط ساحلی در مناطق مختلف این خط با توجه به ماهیت ژئومورفولوژی هر منطقه می‌تواند متفاوت باشد. این روند به خصوص در سواحل جنوبی کشور که پارامترهای هیدرودینامیک متنوعی (موج، جزر و مد، جریان‌های دریایی و سیلاب‌های رودخانه‌ای) دارند، بر شکل‌زایی خطوط ساحلی تأثیر می‌گذارند و از ساختمان زمین‌شناسی متفاوت تری برخوردار هستند، اهمیت زیادتری دارد؛ از این رو، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تفسیر و تحلیل تغییرات خطوط ساحلی و عوامل مؤثر بر آن، زمانی می‌تواند از دقت بالاتری برخوردار باشد که واحدهای ژئومورفولوژی در منطقه ساحلی تفکیک و هر یک از واحدها به طور مجزا بررسی شود. در مطالعه‌ای که Negahban و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به بررسی تغییرات خطوط ساحلی خلیج چابهار تا بندر تنگ پرداخته بودند، سد ساحلی رودخانه شور و بندر چابهار را به عنوان منطقه حساس به تغییرات خطوط ساحلی برشمردند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد، ولی در این تحقیق به دلیل استفاده از سامانه DSAS و برآورد دقیق‌تر (ترانسکت‌های ۱۰۰ متری)، تحلیل تغییرات خطوط ساحلی نسبت به سایر مطالعات گذشته با دقت بیشتری انجام شد و در اختیار برنامه‌ریزان سرزمین در این منطقه قرار گرفت. با وجود اینکه پایداری خطوط ساحلی تابعی از فرایندهای مورفودینامیکی غالب در منطقه ساحلی است، ولی فعالیت‌های انسانی و احداث سازه‌های ساحلی، در برخی موارد می‌تواند بر پایداری این خطوط تأثیر منفی داشته باشد؛ از این رو، اجرای مدل-سازی فرایندهای مورفودینامیکی دریایی با در نظر گرفتن شرایط مورفودینامیکی پارامترهای دریایی بعد از احداث سازه-های ساحلی با نرم‌افزارهایی همانند MIKE 21، می‌تواند تغییرات فرایندهای هیدرودینامیکی خط ساحلی و تأثیر آن را بر خطوط ساحلی در آینده برآورد کند و از این طریق، اقدامات لازم برای کاهش اثرات منفی بر خطوط و سازه‌های ساحلی پیش‌بینی شود.

## منابع

1. Abou Samra, R. M., & Ali, R. R., (2020). Applying DSAS tool to detect coastal changes along Nile Delta, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*.
2. Aedla, R.; Dwarakish, G. S.; & D. V. Reddy, 2015. Automatic shoreline detection and change detection analysis of netravati-gurpurrivermouth using histogram equalization and adaptive thresholding techniques, *Aquatic Procedia*, 4, 563-570.
3. Ahmadi, M.; Ramesht, M. H.; & K. 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).
4. Baig, M. R. I.; Ahmad, I. A.; Shahfahad, Tayyab, M., & Rahman, A. 2020. Analysis of shoreline changes in Vishakhapatnam coastal tract of Andhra Pradesh, India: an application of digital shoreline analysis system (DSAS). *Annals of GIS*, 26(4), 361-376.
5. Barghamadi, M., The effect of hydrodynamic processes on the formation of southeastern Caspian coastlines, M.Sc. Thesis, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University. 220 p. (in Persian)
6. Daniels., R. C., 1999. Barrier beaches and Barrier islands, In: *Environmental Geology. Encyclopedia of Earth Science*, Springer, Dordrecht.
7. Dellepiane, S.; De Laurentiis, R.; & F. Giordano, 2004. Coastline extraction from SAR images and a method for the evaluation of coastline precision, *Pattern Recognition Letter*, 25, 1461- 1470.
8. Duru, U., 2017. Shoreline change assessment using multi-temporal satellite images: a case study of Lake Sapanca, NW Turkey, *Environmental monitoring and assessment*, 189(8), 1-14.
9. Esteves, L. S.; Toldo, Jr. EE.; & S. R. Dillenburg, 2002. Long and shortterm coastal erosion in southern Brazil, *J Coast Res*, 35, 273-282.
10. El-Asmar, H. M., & M. E. Hereher., (2011). Change detection of the coastal zone east of the Nile Delta using remote sensing. *Environmental Earth Sciences*. 62(4), 769-777.
11. Hajikarimi, Z.; Mohamadi, H.; Shayan, S.; Yamani, M.; & R. Khoshraftar, 2020. The analyze of Effective Morphodynamic Processes in Caspian Sea shoreline changes (case study: Karkanrod delta river) West of Gilan, *Geographical Planning of Space*, 10(36), 249-266.
- 12-Samadian, M.R; Jafarian, M.B, 1995. Geological Map of Chabahar. *Geological Survey of Iran*.
13. Klein, M., & Lichter, M., (2006). Monitoring changes in shoreline position adjacent to the Hadera power station, Israel. *Applied Geography*. 26 (3), 210-226.
14. Lajimi ,A., & M. Moradi., (2014). Quantification and statistical analysis of coastline change in Qeshm Island using DSAS tool in Arc GIS software. *The first national conference on sea-based sustainable development* (in Persian).
15. Murali, R. M.; Dhiman, R.; Choudhary, R.; Seelam, J. K.; Ilangovan, D.; & P. Vethamony 2015. Decadal shoreline assessment using remote sensing along the central Odisha coast, India, *Environmental Earth Sciences*, 74(10), 7201-7213.
16. Nabavi, M. H., 1976. An introduction to the Iranian geology, *Geological Survey of Iran, Tehran*, 110.
17. 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.
18. Nassar, K.; Mahmud, W. E.; Fath, H.; Masria, A.; Nadaoka, K.; & A. Negm, 2019. Shoreline change detection using DSAS technique: Case of North Sinai coast, Egypt, *Marine Georesources & Geotechnology*, 37(1), 81-95.
19. 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 Geomorphology Research*, 17(5),24-42.

20. Nofal, R. A. E., & I. A. Abboud., (2019). Sea level changes of Sharm Yanbu and its expected impacts on development processes using GIS and remote sensing, *Journal of Taibah University for Science*, 13(1), 547-558.
21. 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.
22. Salehipour Milani, A. R.; Nezhadafzali, K.; & F. Bayatani, 2012. Investigation of Guno Storm and their Effects on Coastlines Geomorphology of Makran Sea use of Remot Sensing, *Journal of Geoscience*, 21(83), 23-32.
23. Shayan, S.; Yamani, M.; Abdolahi Kakroodi, A.; & H. Amounia, 2020. Estimation of coastline variation in the Caspian Delta basin using Digital Shoreline Analysis System (Deltas: haraz, babolrood, talar), *Quantitative Geomorphological Research*, 8(4), 34-46.
24. Thomas, T.; Phillips, M. R.; & A. T. Williams, 2010. Mesoscale evolution of a headland bay: Beach rotation processes, *Geomorphology*, 123(1-2), 129-141.
25. Tiercelinc, J. J.; Mondeguer, A.; Thouveny, NN.; Vincens, A.; & D. Williamson, 1988. 25000 ans d'histoire hydrologique et sédimentaire du lac Tanganyika, Rift Est-africain, *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre*, 307(11), 1375-1382.
26. Tsokos, A.; Kotsi, E.; Petrakis, S.; & E. Vassilakis, 2018. Combining series of multi-source high spatial resolution remote sensing datasets for the detection of shoreline displacement rates and the effectiveness of coastal zone protection measures, *Journal of Coastal Conservation*, 22(2), 431-441.
27. Vassilakis, E., & K. Papadopoulou-Vrynioti., (2014). Quantification of deltaic coastal zone change based on multi-temporal high resolution earth observation techniques. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3(1), 18-28.
28. Valaouris, A.; Poulos, S.; Petrakis, S.; Alexandrakis, G.; Vassilakis, E.; & G. Ghionis, 2014. Processes affecting recent and future morphological evolution of the Xylokastro beach zone (Gulf of Corinth, Greece), *Global NEST Journal*, 16(4), 773-786.
29. Winarso, G., & S. Budhiman., (2001). The potential application of remote sensing data for coastal study. In *Proc 2nd. Asian Conference on Remote Sensing, Singapore* (pp. 1-5).
30. Yamani, M.; Moghimi, E.; Motamed, A.; Jafarbeglo, M.; & G. Lorestani, 2013. Fast shoreline changes in Sefidrud Delta using transects analyses method, *Physical Geography Research Quarterly*, 45(2), 1-20(in Persian).
31. Zeinali, S.; Talebbeydokhti, N.; & M. Dehghani, 2020. Spatiotemporal shoreline changes in Boushehr Province coasts, Iran, *Journal of Oceanology and Limnology*, 1-15.



## Monitoring and assessment of shorelines change in of Makran geomorphological unit (Chabahar to Quatre)

Alireza Salehipour Milan<sup>1</sup>: Assistant Professor, Physical Geography Department, Shahid Beheshti University, Tehran

Maedeh Eskandari: MS.c in Geomorphology and Environmental Planning, Physical Geography Department, Shahid Beheshti University, Tehran

Article History (Received: 2021.05.19

Accepted: 2021.07.30)

### Extended abstract

#### 1- Introduction

Coastlines are defined as the contact line between land and water body and have strategic natural, social and economic importance. One of the most important features of coastal areas is their dynamics. These dynamics lead to advances and regressions along the coastline and lead to erosion and sedimentation in the coastal regions. Coastline changes are one of the significant threats to coastlines. The study area of this research is on the southeastern coast of Makran and between Chabahar and Quatre Bay. This region is of special strategic importance today. The study area is divided into three geomorphological units of marine terraces, sandy beaches, and coastal barriers. The rate and trend of shoreline changes in each of these units were investigated to determine the stability of each geomorphological unit and evaluate and suggest suitable areas for future development. In addition, the future trend of changes in this region's sensitive and strategic areas in some important parts of this region in the next 10 and 20 years will be evaluated.

#### 2- Methodology

The purpose of this study is to investigate the changes in coastlines of the study area. Hence, shoreline changes through shoreline monitored between 1989 and 2020 using Landsat (TM) satellite data (1989, 1995 and 2010, ETM for 2001 and OLI 2015). The extracted shorelines were entered into DSAS software, and shoreline changes were evaluated in this system in ArcGIS software. In this study, endpoint rate (ERP), linear regression rate (LRR), shoreline displacement rate (NSM), and shoreline average change (SCE) indices were evaluated. In addition, the prediction of shoreline changes was examined in the next 10 and 20 years in areas of great importance for development.

#### 3- Results

One of the purposes of studying coastline changes is to study the sustainability of the coastline to plan for coastal development. Identifying stable and unstable areas along the coastline allows planners to identify areas that have the potential for development in terms of establishing coastal structures and minimizing the risk of future natural damage to coastal structures. Therefore, the study of coastline changes is one of the important parameters in these programs. This study was examined separately to analyze better the shoreline changes in each of the geomorphological units. The average changes were prepared according to LRR, EPR, NSM, and SCE values in each unit. The results show that the highest amount of shoreline changes is observed in the coastal barriers of the study area. The average rate of change in coastal barriers in the LRR index in coastal barriers is 2.75 meters per year, which shows the ratio of sandy beaches (0.03 meters per year) and high beaches (0.11 meters per year) is very high. In addition, according to the NSM index, maximum advance (399.55 m) and the highest regression (725 m) can be seen in the geomorphological unit of coastal barriers, while the average values of NSM on the sandy beach for shoreline are 103.7. the maximum regression rate is about 49.5 meters between 1989 and 2020. In addition, the NSM index values for the terraces beaches are 36 meters forward and 41 meters backward, respectively.

<sup>1</sup> Corresponding Author: [Ar\\_Salehipour@sbu.ac.ir](mailto:Ar_Salehipour@sbu.ac.ir)

#### 4- Discussion & Conclusions

Changes and instability of coastlines are some of the major challenges that planners face in developing coastal structures, and not paying attention to these changes in the past and its future trend can impose irreparable damage to development projects. The present study was conducted in a very important area of Chabahar to Goater to evaluate the stability of coastlines using periodic satellite data and DSAS tools. The results showed that the NDWI index separates the water area from the land better than other indicators. This study showed that the analysis of shoreline changes in the coastal region could be more accurate when geomorphological units in the coastal zone are separated and shoreline changes in these areas are evaluated. The results show that the two coastal areas and sandy beaches are relatively stable. These changes have occurred in sand dams, which can be attributed to the simultaneous effect of morphodynamic factors of land and sea in this area. Therefore, in the development of beaches and the establishment of coastal structures, coasts have risen, and also sandy beaches can be among the priorities of coastal planners in these areas. In addition, the structures constructed in the coastal zone have greatly impacted changing and intensifying the processes of erosion and sedimentation. Its example can be seen well in the port of Chabahar and Beris, which can cause problems in the future in the field of exploitation. It created ports.

**Key Words:** Chabahar, Digital Shoreline Analysis System, Makran, Shoreline Change Monitor