مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره دهم، شماره ۲۹، پاییز ۱۴۰۰
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۱
تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۱۲
صفحات: ۱۸۴ - ۱۶۱

مقاله (علمی پژوهشی)

پایش تغییرات خط ساحلی کرانه‌های جنوب‌خاوری دریای خزر از ۱۳۵۶ تا ۱۳۹۶

رضا منصوری*[۱]، محمدرضا ثروتی[۲]، منیژه قهرودی‌تالی[۳]

۱*. استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
۲. استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی
۳. استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

خط ساحلی یکی از لندفرم‌های مناطق ساحلی است که از تغییرات بسیار شتابانی برخوردار است. موقعیت خط ساحلی همواره تحت‌تأثیر عوامل طبیعی و انسانی درحال تغییر است. بنابراین، اندازه‌گیری سریع و دقیق تغییرات آن برای مدیریت ساحلی، پژوهش در زمینه تغییرات تراز دریا، حفاظت از محیط ساحلی و توسعه پایدار ساحلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف اصلی این پژوهش، پایش تغییرات خط ساحلی کرانه‌های جنوب‌خاوری دریای خزر تحت‌تأثیر نوسان¬های تراز دریا طی دوره ۱۳۹۶-۱۳۵۶ خورشیدی است. دراین‌راستا، از مجموعه تصاویر ماهواره لندست سری سنجنده‌های MSS, TM, ETM+ & OLI، Google Earth، نقشه‌های توپوگرافی و بازدیدهای میدانی به‌شیوه تحلیلی- توصیفی استفاده‌شده است. پس از انجام ویرایش¬های احتمالی لازم بر روی تصاویر، ترکیب و ادغام باندها با همدیگر، مناسب‌ترین ترکیب باندی برای آشکارسازی خط ساحلی انتخاب گردید. سپس باتوجه به میزان تغییرات کرانه‌های منطقه، ۷ سلول ساحلی در منطقه تعریف شد. سپس، موقعیت خط ساحلی از طریق ردگیری موقعیت خط داغاب از طریق روش تفکیک چشمی و طیفی استخراج‌شده و به‌صورت لایه‌های رقومی در پایگاه داده وارد گردیدند. تمامی این مراحل در نرم‌افزارهای ERDAS و ArcGIS انجام‌شده است. تغییرات رخ‌داده در دو بازه زمانی، از ۱۳۷۵-۱۳۵۶ و ۱۳۹۶-۱۳۷۵ پایش شده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهند طی دوره نخست، فرسایش فرآیند غالب منطقه بوده است. کمترین میزان فرسایش حدود ۲/۴۶ کیلومترمربع در محدوده LC2 و بیشترین میزان آن حدود ۱۶۸/۸۰ کیلومترمربع در محدوده LC5 بوده و تنها حدود ۰/۰۹۱۵ کیلومترمربع رسوب‌گذاری در محدوده LC1 رخ‌داده است. اما طی دوره دوم، فرآیند غالب منطقه رسوب‌گذاری بوده است. کمترین و بیشترین میزان رسوب‌گذاری به‌ترتیب حدود ۱/۴۰ کیلومترمربع در محدوده LC2 و حدود ۷۲/۵۵ کیلومترمربع در محدوده LC5 بوده است. طی این دوره تنها حدود ۰/۶۸ کیلومترمربع فرسایش در محدوده LC1 رخ‌داده است.

واژگان کلیدی: دریای خزر، تراز دریا، خط ساحلی، پیشروی، پس‌روی.

* این مقاله مستخرج از رساله دکتری آقای رضا منصوری به راهنمایی آقای دکتر محمدرضا ثروتی و مشاوره خانم دکتر منیژه قهرودی‌تالی می‌باشد که در دانشگاه شهید بهشتی انجام‌شده است

*- رضا منصوری (نویسنده مسئول) Email: Rezamansouri@gep.usb.ac.ir

مقدمه

خط ساحلی یکی از لندفرم‌های مناطق ساحلی است که از تغییرات بسیار شتابانی برخوردار است (مجابر و چندراسکار[۱]، ۲۰۱۱؛ گاش[۲] و همکاران، ۲۰۱۵؛ چن[۳] و همکاران، ۲۰۱۸). موقعیت خط ساحلی همواره در حال تغییر و جابه‌جایی است؛ زیرا سطح تراز آب دریا تحت تأثیر شرایط طبیعی ازجمله رسوب‌گذاری در دهانه رودخانه‌ها و گرمایش جهانی و نیز متأثر از فعالیت‌های انسانی ازجمله اصلاح و آبادسازی اراضی و اقدام‌های مهندسی ساحلی در حال تغییر و نوسان است (اوما و تاتیشی[۴]، ۲۰۰۶). خط ساحلی نه تنها به‌عنوان یک منبع مهم برای ذی‌نفعان ساحلی محسوب می‌شود، بلکه به‌عنوان یک منبع اطلاعاتی جغرافیایی مهم و اساسی نیز اهمیت ویژه‌ای دارد. موقعیت خط ساحلی معمولاً پس از جریان‌های کشندی تغییر می‌کند (بربراوغلو و آکین[۵]، ۲۰۰۹). بنابراین، اندازه‌گیری سریع و دقیق تغییرات و جابه‌جایی موقعیت خط ساحلی برای مدیریت ساحلی، پژوهش در زمینه تغییرات سطح تراز آب دریا، حفاظت و پاسداری از محیط ساحلی و درنهایت توسعه پایدار ساحلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (لیو[۶] و همکاران، ۲۰۱۳).

کرانه‌های دریای خزر ازلحاظ زمانی و فضایی محیط‌های بسیار پویا، حساس و شکننده‌ای محسوب می‌شوند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هیدرولوژیکی این دریا نوسان‌های سریع سطح تراز آب آن است. برپایه شواهد مورفولوژیکی موجود در کرانه‌های جنوبی دریای خزر مشخص می‌شود که سطح تراز آب دریا، همیشه درحال نوسان و تغییر بوده و بیشتر براثر تغییرات آب‌وهوایی ایجاد شده‌اند. درواقع، دریای خزر پس از جدا شدن از آب‌های آزاد [دریای سیاه] در پلیوسن، چرخه‌های متعدد نوسان تراز آب را تجربه نموده است (واروشنکو[۷] و همکاران، ۱۹۸۷). دامنه و نرخ مربوط به نوسان‌های سطح تراز آب دریای خزر طی کواترنری و به‌ویژه هولوسن در مطالعات و ارزیابی‌های پژوهشگران متعدد، متفاوت ارزیابی و گزارش‌شده است. درواقع، گستردگی و شدت نوسان‌های سطح تراز آب دریای خزر دامنه قابل‌توجهی را پوشش می‌دهد و به باور کرونن‌برگ[۸] و همکاران، ۲۰۰۰، این تغییرات به‌مراتب سریع‌تر از تغییرات تراز آب دریاهای آزاد بوده است. برای مثال، فقط طی کواترنری تراز آب این دریا بین ۵۰+ متر در زمان آخرین دوره یخبندان تا ۱۱۳- متر در هولوسن آغازین نوسان داشته است (واروشنکو و همکاران، ۱۹۸۷؛ کرونن‌برگ و همکاران، ۱۹۹۷). همچنین، به باور کارپیچف[۹]، ۱۹۸۹ و رایچاگف[۱۰]، ۱۹۹۷، تغییرات تراز آب دریای خزر طی هولوسن به‌مراتب ناپایدارتر بوده و بارها بین ۱۸- تا ۳۲- متر جابه‌جا شده است. بنابراین، مشخص است که نوسان‌های تراز آب دریای خزر در مقایسه با نوسان‌های سطح تراز آب اقیانوس‌های جهان به‌مراتب سریع‌تر و غیرقابل‌پیش‌بینی است. بااین‌که، سطح اساس دریاهای آزاد در هر قرن تنها حدود ۲/۵ سانتیمتر افزایش می‌یابد (پتیک[۱۱]، ۱۹۹۱؛ ۱)؛ اما نوسان‌های

1 . Mujabar and Chandrasekar
2 . Ghosh
3 . Chen
4 . Ouma and Tateishi
5 . Berberoglu and Akin
6 . Liu
7 . Varushchenko
8 . Kroonenberg
9 . Karpychev
10 . Rychagov
11 . Pethick

دوره‌ای تراز دریای خزر، در سده اخیر با سه متر افت‌وخیز روبرو بوده (خوش‌رفتار، ۱۳۸۴؛ ۱۷۴) و درمجموع حدود شش متر نوسان سطح تراز آب را در قالب دو فاز پس‌روی و پیشروی گسترده متوالی تجربه نموده است.

به‌طورکلی، فرآیندهای زمین‌شناسی و آب‌وهوایی ازجمله عوامل مؤثر در تغییرات تراز آب دریای خزر محسوب می‌شوند. از این میان جنبش‌های زمین‌ساختی و فرآیندهای رسوب‌گذاری که به تغییرات حجم حوضه منجر می‌گردند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. تأثیر تغییرات آب‌وهوایی بر نوسان‌های تراز آب دریای خزر به‌ویژه در زمان هولوسن، در مطالعه رسوب‌های ژرف این دریا به اثبات رسیده است. مقایسه ویژگی‌های سری‌های پیشروی- پس‌روی دریای خزر، به‌وضوح نشان‌گر ته‌نشینی این رسوب‌ها در شرایط متفاوت محیطی و دوره‌های متوالی سردشدگی- گرم‌شدگی و نیز دوره‌های مرطوب- خشک بوده است (رایچاگف، ۱۹۹۷). همچنین، عوامل مؤثر در تغییرات حجم آب حوضه شامل ورودی آب‌های رودخانه‌ها و زیرزمینی به دریا، بارندگی، تبخیر و ورود آب به خلیج قره‌بغاز از دیگر عوامل مؤثر در تغییرات تراز آب دریای خزر می‌باشند (لاهیجانی، ۱۳۸۳). از میان عوامل یادشده، تغییر در میزان ورودی آب رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر نوسان‌های تراز آب این دریا به‌شمار می‌آید (لروی[1] و همکاران، ۲۰۰۷). در حال حاضر رودخانه ولگا با سهمی در حدود ۸۰ درصد، مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده تغییرات تراز آب دریای خزر محسوب می‌شود (کرونن‌برگ و همکاران، ۲۰۰۰)؛ به‌طوری‌که براثر احداث سدها و سازه‌های مهندسی متعدد برروی این رود جهت مصارف کشاورزی مناطق استپی جنوب روسیه طی دهه‌های گذشته منجر به پسروی عمده اواخر دهه ۱۹۷۰ گردید. اما بااین‌حال، دست‌کم پسروی دهه اخیر دریای خزر بیشتر ناشی از بحث گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی رخداده به‌ویژه در محدوده حوضه‌های آبریز منتهی به آن است. به‌عبارت‌دیگر، طی یک دهه گذشته، افزایش میزان تبخیر و تعرق برروی دریای خزر به‌همراه افزایش دمای هوای سطح زمین و نیز افزایش سایر فاکتورهای اقلیمی ازجمله رطوبت سطحی و باد باعث شده تا بیلان آبی دریای خزر با مشکل جدی روبرو شده و دچار پس‌روی گردد. این درحالی‌است‌که میزان بارش‌ها در حوضه‌های آبریز منتهی به دریا و نیز جریان دبی رودخانه‌ها نتوانسته‌اند از پس‌روی سطح تراز آب دریای خزر جلوگیری کرده و کمبود بیلان آبی آن را جبران نمایند (چن[2] و همکاران، ۲۰۱۷؛ ۸ به‌نقل از منصوری، ۱۳۹۷؛ ۱۹۵).

این نوسان‌ها باعث شده تا ویژگی‌های مورفولوژیکی کرانه‌های جنوبی دریای خزر و موقعیت مکانی خط ساحلی تحت تأثیر آن قرارگرفته و تحول و تکامل منطقه ساحلی توسط نوسان‌های یادشده کنترل شود. از سوی دیگر، فعالیت مداوم امواج، باد، جریان‌های دریایی و حتی فعالیت‌های انسانی سبب شده تا ماهیت فیزیکی، دینامیکی و مورفولوژیکی کرانه‌های جنوبی دریای خزر در دوره‌های زمانی نسبتاً کوتاه تغییر یابند. برای مثال، طی یک‌سده اخیر موضوع گرمایش جهانی کره‌زمین و تغییرات آب‌وهوایی ناشی از آن سبب شده تا پویایی و شکنندگی این مناطق با شتاب بیشتر و در گستره بزرگ‌تری نسبت به گذشته در برابر تغییرات رخداده در منطقه به‌چشم آید. زیرا تغییرات ایجادشده در محیط فیزیکی و طبیعی مناطق ساحلی، اغلب پیامدهای قابل‌توجهی را برای جمعیت انسانی و زیستگاه‌های گیاهی و جانوری موجود در نزدیکی خط ساحلی در پی داشته است. درواقع، برهمکنش‌های بین دگرگونی‌های آب‌وهوایی و نوسان‌های سطح آب دریا اثرهای قابل‌توجهی در تکامل ژئومورفولوژیکی محیط‌های

1 . Leroy
2 . Chen

ساحلی دارند. فهم بهتر رویدادهای تقویمی این دگرگونی‌ها نه‌تنها برای اطمینان از دقت و صحت‌سنجی گسترش پیش‌بینی سامانه‌های آب‌وهوایی و نوسان‌های سطح آب دریا با استفاده از اندازه‌گیری‌های ابزاری ضروری هستند، بلکه همچنین برای برنامه‌ریزی طرح‌های توسعه در محیط‌های ساحلی و مناطق نزدیک ساحل و نیز به‌منظور استفاده بهینه و اصولی‌تر هر چه بیشتر از این محیط‌ها مهم می‌باشند (پادمالال[1] و همکاران، ۲۰۱۴).

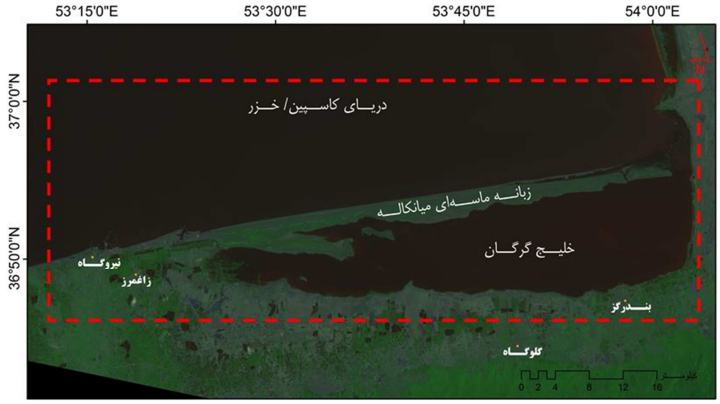
این درحالی‌است که به‌دلیل وابستگی‌های ساحل‌نشینان ذی‌نفع از منابع دریای خزر، اغلب تراکم و فشردگی جوامع انسانی و نیز توسعه و گسترش دارایی‌ها و زیرساخت‌های زیربنایی در سواحل آن به‌طور مداوم در حال افزایش است. علاوه‌براین، منابع موجود در مناطق ساحلی محدود بوده و در بسیاری از نقاط نیز در معرض خطر فروسایی و استفاده بیش‌ازحد می‌باشند. بنابراین، بسیار مهم و ضروری است تا ثبات و پایداری کلی این‌گونه مناطق آسیب‌پذیر و حساس، واکنش‌های مورفولوژیکی و تغییر و تحولات آن‌ها در ارتباط با متغیرها و عوامل طبیعی و انسانی مورد پایش و ارزیابی دقیق و منظم قرار گیرند. ازاین‌رو، هدف اصلی این پژوهش، بررسی تغییرات و جابه‌جایی‌های خط ساحلی کرانه‌های جنوب‌خاوری دریای خزر تحت‌تأثیر نوسان‌های سریع سطح تراز آب دریا طی دوره ۴۰ سال اخیر (۱۳۹۶-۱۳۵۶ خورشیدی/ ۲۰۱۷-۱۹۷۷ میلادی) است.

تاکنون افراد متعددی در رابطه با دریای خزر از جنبه‌های گوناگون به پژوهش پرداخته‌اند. در ادامه به برخی از آنها که به موضوع بررسی نوسان‌های تراز دریا و تغییرات خط ساحلی مرتبط است اشاره مختصر می‌شود. مامدوف[2] ۱۹۹۷؛ با استفاده از روش سن‌سنجی به بررسی دوره‌های پیشروی و پس‌روی دریای خزر پرداخته است. رنسین[3] و همکاران ۲۰۰۷؛ در پژوهشی به شبیه‌سازی تغییرات درازمدت سطح آب دریای خزر طی دوره هولوسن و شرایط آب‌وهوایی آینده پرداختند. لاهیجانی و همکاران ۲۰۰۹؛ به بررسی شواهدی از سطوح تراز بالای آب دریای خزر در اواخر هولوسن در بخش مرکزی گیلان و خاوری مازندران پرداختند. اونق ۲۰۱۰؛ در پژوهشی به بررسی توسعه شبکه زهکشی حوضه آبریز قره‌سو در استان گلستان در واکنش به تغییرات تراز دریای خزر در اواخر کواترنری پرداخته است. خوشروان و همکاران ۱۳۹۰؛ در پژوهشی با بررسی ۴۸ نمونه رسوبی برداشت‌شده از محدوده ساحلی در شش ایستگاه اندازه‌گیری، کارهای آزمایشگاهی و پردازش‌های لازم بر روی‌داده‌های به‌دست‌آمده در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی سواحل جنوبی دریای خزر را برپایه شواهد مورفودینامیک رسوبی به سه گروه سواحل فرسایشی، حد واسط و رسوب‌گذاری فعال ناحیه‌بندی نمودند. امینی و همکاران ۲۰۱۲؛ میزان رسوب‌های خلیج گرگان و کرانه‌های مجاور آن واقع در جنوب‌خاوری دریای خزر را موردبررسی قرار داده‌اند. کاکرودی و همکاران ۲۰۱۲؛ در پژوهشی باهدف بازسازی منحنی سطح آب دریا در هولوسن و با استفاده از تجزیه‌وتحلیل‌های رسوب‌شناختی، زیست‌چینه‌نگاری و سن‌یابی رادیوکربن/ کربن‌پرتوزا (C 14) به بررسی تغییرات سریع سطح آب دریا در هولوسن در راستای سواحل ایرانی دریای خزر پرداخته است. خوشروان و بنی‌هاشمی ۱۳۹۱؛ در پژوهشی نوسان‌های سریع دریای خزر و تغییر شکل مورفودینامیکی دهانه هشت رودخانه در سواحل ایرانی دریای خزر را موردمطالعه قرار داده و با استفاده از روش نمونه‌برداری و تجزیه‌وتحلیل نهشته‌های ساحلی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای نحوه تغییر شکل دهانه‌های رودخانه‌ها را در زمان پیشروی و پس‌روی دریای خزر را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده‌اند. نادری‌بنی و

1. Padmalal
2. Mamedov
3. Renssen

همکاران ۲۰۱۳؛ در پژوهشی به بررسی تغییرات تراز دریای خزر طی هزاره اخیر پرداخته و برای این منظور از داده‌های تاریخی و شواهد زمین‌شناختی موجود در کرانه‌های جنوبی دریا استفاده کرده‌اند. کاکرودی و همکاران ۲۰۱۴؛ در پژوهشی به بررسی تحولات کوتاه‌مدت و درازمدت زبانه ماسه‌ای میانکاله در بخش جنوب‌خاوری دریای خزر پرداخته‌اند. نادری‌بنی و همکارن ۲۰۱۴؛ اثرهای محیطی تغییرات تراز دریای خزر طی هولوسن پایانی را در تحول کرانه‌های جنوب‌خاوری آن موردبررسی و مطالعه قرار داده‌اند. کاکرودی و همکاران ۲۰۱۵؛ در پژوهشی با استفاده از یک مغزه رسوبی به‌اندازه ۲۷/۷ متری در گوشه جنوب خاوری دریای خزر در محل تالاب گمیشان، تغییرات سطح آب دریای خزر در پلیستوسن پایانی و هولوسن و نیز تحول محیط دیرینه ساحلی در راستای سواحل ایرانی این دریا را موردبازسازی قرار داده‌اند. چن و همکاران ۲۰۱۷؛ در پژوهشی تغییرات درازمدت تراز دریای خزر را موردمطالعه قرار داده و نشان دادند که افزایش نرخ تبخیر برروی این دریا نقش بسیار مهمی در کاهش تراز دریا طی ۳۷ سال گذشته داشته است.

منطقه موردمطالعه در این پژوهش، کرانه‌های بخش جنوب‌خاوری دریای خزر (مجموعه جزیره‌سدی میانکاله و خلیج گرگان) در راستای ´´۰۰ ´۴۹ °۳۶ تا ´´۲۶ ´۵۷ °۳۶ شمالی از خط استوا و ´´۳۰ ´۲۳ °۵۳ تا ´´۰۰ ´۰۲ °۵۴ خاوری از نیمروز گرینویچ را شامل می‌شود (شکل ۱). مهم‌ترین سیماهای ژئومورفولوژیکی منطقه موردمطالعه را مجموعه جزیره‌سدی یا زبانه ماسه‌ای میانکاله، تالاب میانکاله، خلیج گرگان، تپه‌های ماسه‌ای فعال و غیرفعال و کانال‌های ارتباطی هیدرولوژیکی چاپقلی، آشوراده و خوزینی واقع در حدفاصل دریای خزر و خلیج گرگان را تشکیل می‌دهند.



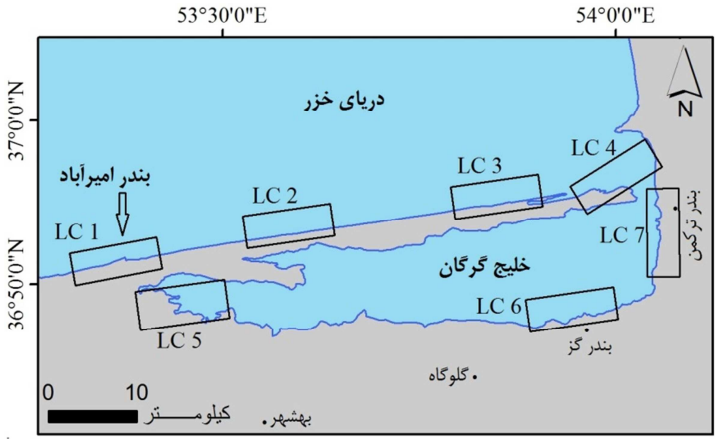
شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه.

داده و روش

این پژوهش با هدف بررسی وضعیت تغییرات و جابه‌جایی‌های خط ساحلی کرانه‌های جنوب‌خاوری دریای خزر در پی نوسان‌های سریع سطح تراز آب دریا طی دوره ۴۰ سال اخیر (۱۳۹۶-۱۳۵۶ خورشیدی/ ۲۰۱۷-۱۹۷۷ میلادی)، با استفاده از مجموعه تصاویر آرشیوی ماهواره LANDSAT سری سنجنده‌های MSS, TM, ETM^{+} & OLI، تصاویر نرم‌افزار Google Earth، نقشه‌های توپوگرافی و بازدیدهای میدانی به شیوه تحلیلی- توصیفی انجام‌شده است.

امروزه با گسترش وضوح مکانی داده‌های ماهواره‌ای این امکان فراهم آمده است که به باندهای طیفی بیشتر، پوشش تکراری و داده‌های هندسی با دقت بالاتری نسبت به عکس‌های هوایی دسترسی داشته باشیم (گرین و همکاران، ۲۰۰۰؛ ۳۵). روش‌های سنجش‌ازدور در عین ارزان‌بودن و بهره‌مندی از دقت بالا، امکان مشاهده و مدیریت پیوسته سواحل را فراهم می‌نمایند (چن و رائو ، ۱۹۹۸؛ ۳۳۸۳). این مزایا موجب افزایش روزافزون بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین موقعیت خط ساحلی و شناسایی لندفرم‌های مناطق ساحلی در دنیا شده است (آزرم‌سا و رزم‌خواه، ۱۳۸۵؛ ۸۱). ازاین‌رو، تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه با سری سنجنده‌های گوناگون و عکس‌های هوایی، یکی از مهم‌ترین منابع مورداستفاده جهت بررسی و تجزیه‌وتحلیل تغییر و تحولات ژئومورفولوژیکی منطقه ساحلی است. امروزه تصاویر ماهواره لندست در سری سنجنده‌های گوناگون خود و نیز باتوجه به دردسترس‌بودن در بازه زمانی مناسب (از ۱۹۷۲ تاکنون) و نیز به‌دلیل پوشش سراسری سطح زمین، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تصاویر و ابزارهای فیزیکی مورداستفاده جهت پایش و بررسی میزان تغییرات رخداده در نقاط گوناگون سطح کره زمین مورداستفاده قرار می‌گیرند. باتوجه به دردسترس‌بودن آرشیو کاملی از تمامی سنجنده‌های فعال ماهواره LANDSAT، در این پژوهش از تصاویر ماهواره LANDSAT سری سنجنده‌های MSS, TM, ETM+ & OLI استفاده‌شده است.

ابتدا پس از تعیین حدود منطقه مطالعاتی، تصاویر ماهواره‌ای تهیه‌شده از منطقه موردبررسی چشمی اولیه قرار گرفتند. این بررسی اولیه منجر به شناخت و آشنایی بیشتر با ویژگی‌ها و وضعیت محیط طبیعی حاکم بر منطقه شد. سپس به‌دنبال شناخت و دیدی که از منطقه مطالعاتی به‌دست آمد، مناطقی را که نسبت به تغییرات شرایط محیطی به‌ویژه نوسان‌های سریع سطح تراز آب دریای خزر حداقل طی دوره موردبررسی از حساسیت و آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار بودند، شناسایی شده، سپس آنها را در قالب ۷ سلول ساحلی[1] (LC 1-7) تقسیم نمودیم تا در مراحل بعدی کار مورد تجزیه‌وتحلیل دقیق‌تر قرار گرفته و تغییرات خط ساحلی در محدوده آنها محاسبه شوند (شکل ۲).

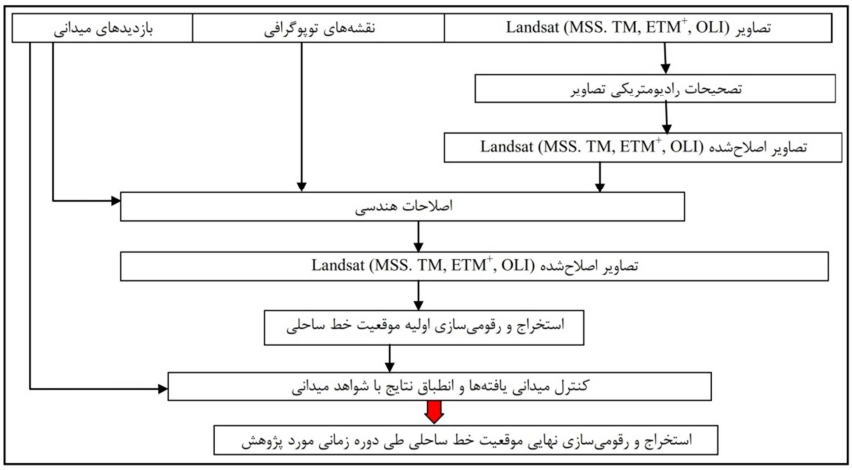


شکل ۲: موقعیت مکانی سلول‌های ساحلی هفت‌گانه در منطقه موردمطالعه.

در مرحله بعد، پیش‌پردازش و ویرایش‌های رادیومتریکی بر روی تصاویر ماهواره‌ای مورداستفاده انجام شد. پس‌ازآن، تصاویر اصلاح‌شده به‌کمک نقشه‌های پایه توپوگرافی و بازدیدهای میدانی دوباره اصلاح هندسی گردیده تا خطاهای احتمالی تصاویر برطرف شوند. سپس، در گام بعدی به‌منظور افزایش دقت و بهبود کیفیت تصاویر ماهواره‌ای موجود،

[1]. Littoral Cell (LC)

باند Pan تصاویر با سایر باندها ترکیب و ادغام گردید تا تصویری به‌مراتب بهتر و با رزولوشن مکانی ۱۵ متر به‌دست آید. پس از انجام ترکیب و ادغام باندها با همدیگر، مناسب‌ترین ترکیب باندی در نمایش و آشکارسازی خط ساحلی انتخاب گردید. پس از این مرحله، موقعیت مکانی خط ساحلی منطقه موردپژوهش از طریق ردگیری موقعیت خط داغاب بااستفاده از دو روش تفکیک چشمی و طیفی بر روی تصاویر بهبودیافته و اصلاح‌شده استخراج شده و به‌صورت لایه‌های رقومی در پایگاه داده وارد گردیدند. در گام بعد، به‌منظور صحت‌سنجی خطوط ساحلی استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای بااستفاده از نقاط کنترلی انتخابی متعددی بر روی نقشه‌های توپوگرافیِ زمین‌مرجع‌شده، تصاویر Google Earth و بازدیدهای میدانی از منطقه و بررسی شواهد مورفولوژیکی، موقعیت و جابه‌جایی‌های رخداده در خط ساحلی منطقه کنترل شد. در پایان، تغییر و تحولات رخداده در موقعیت مکانی خط ساحلی و لندفرم‌های ساحلی و به‌ویژه وضعیت تغییرات (پیشروی و پس‌روی) خط ساحلی منطقه موردپژوهش طی دوره زمانی موردبررسی در محیط نرم‌افزارهای ERDAS و ArcGIS در محدوده سلول‌های ساحلی هفت‌گانه تحلیل شد. مراحل‌کاری انجام این بخش از پژوهش در شکل ۳ نشان داده‌شده است.

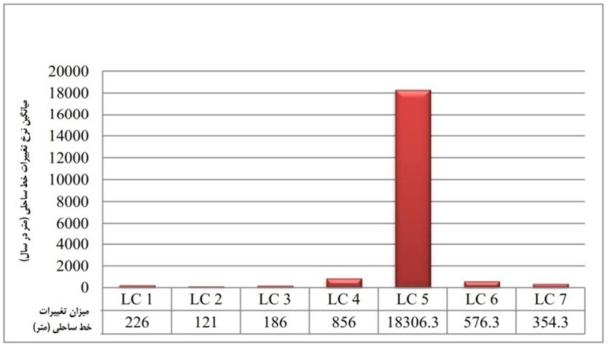


شکل ۳: فلوچارت انجام پژوهش.

نتایج و بحث

تغییرات کلی خط ساحلی از ۱۳۵۶ تا ۱۳۹۶ خورشیدی (۲۰۱۷-۱۹۷۷ میلادی)

موقعیت مکانی LC 1-7 در شکل ۲ و نتایج حاصل از استخراج و رقومی‌سازی میزان تغییرات و جابه‌جایی‌های خط ساحلی در محدوده آنها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، میزان تغییرات و جابه‌جایی‌های کلی رخداده در موقعیت مکانی خط ساحلی کرانه‌های منطقه، طی بازه زمانی ۱۳۹۶-۱۳۵۶ خورشیدی (۲۰۱۷-۱۹۷۷ میلادی) در محدوده LC 1-7 در شکل ۴ نشان داده شده است. لازم به‌گفتن‌است که در دوره زمانی موردبررسی، تغییرات و جابه-جایی مکانی در موقعیت خط ساحلی کرانه‌های منطقه موردمطالعه به دو شکل پیشروی به‌سوی دریا و پیشروی به‌سوی خشکی انجام‌شده است. همچنین، گفتنی است که LC 4 باتوجه به ویژگی‌های محیطی و تغییرات رخداده در این بخش تنها دو ترانسکت داشته، ولی سایر LCها شامل سه ترانسکت بوده‌اند.

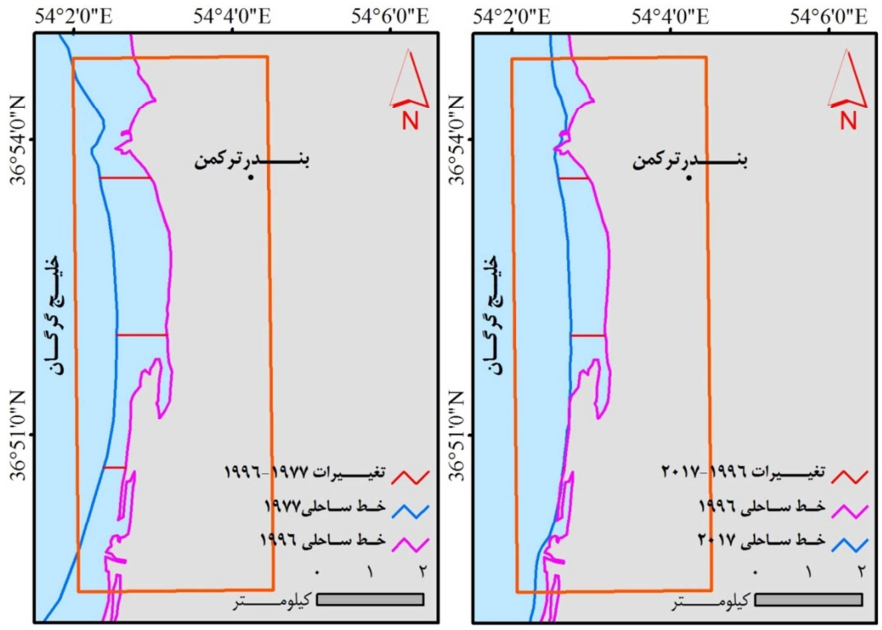


شکل ۴: میانگین نرخ تغییرات و جابه‌جایی‌های رخ‌داده در موقعیت مکانی خط ساحلی در کرانه‌های جنوب‌خاوری دریای خزر طی دوره‌های نوسانی سطح تراز آب دریای بین سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۵۶ خورشیدی (۲۰۱۷-۱۹۷۷ میلادی) در محدوده LC 1-7. برای آگاهی از موقعیت هر یک از LCها به شکل ۲ مراجعه شود.

جدول ۱: تغییرات خط ساحلی کرانه‌های جنوب‌خاوری دریای خزر بین سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۵۶ خورشیدی (۲۰۱۷-۱۹۷۷ میلادی).

تغییرات و جابه‌جایی خط ساحلی کرانه‌های جنوب‌خاوری دریای خزر (متر در سال)				
منطقه	شماره ترانسکت	۱۳۷۵-۱۳۵۶	۱۳۹۶-۱۳۷۵	مجموع تغییرات (۱۳۹۶-۱۳۵۶)
	۱	۳۰۹	-۹۵	۲۱۴
LC 1	۲	۱۵۶	-۳۹۴	-۲۳۸
	۳	۳۵۸	-۱۲۰	۲۳۸
میانگین				**۲۲۶**
	۱	۲۶۶	-۱۳۱	۱۳۵
LC 2	۲	۲۴۰	-۱۴۳	۹۷
	۳	۲۵۱	-۱۲۰	۱۳۱
میانگین				**۱۲۱**
	۱	۶۷۴	-۶۰۹	۶۵
LC 3	۲	۸۷۴	-۶۲۹	۲۴۵
	۳	۱۰۷۶	-۸۲۸	۲۴۸
میانگین				**۱۸۶**
	۱	۲۲۷۹	-۱۶۷۳	۶۰۶
LC 4	۲	۳۱۵۵	-۲۰۴۹	۱۱۰۶
	۳	-	-	-
میانگین				**۸۵۶**
	۱	۲۵۰۱۰	-۴۳۲۱	۲۰۶۸۹
LC 5	۲	۲۳۱۲۶	-۴۷۴۲	۱۸۳۸۴
	۳	۱۸۹۴۴	-۳۰۹۸	۱۵۸۴۶
میانگین				**۱۸۳۰۶/۳**
	۱	۹۸۱	-۴۹۹	۴۸۲
LC 6	۲	۱۲۱۹	-۷۳۳	۴۸۶
	۳	۹۵۰	-۱۸۹	۷۶۱
میانگین				**۵۷۶/۳**
	۱	۴۱۹	-۲۲	۳۹۷
LC 7	۲	۹۴۵	-۶۵۳	۲۹۲
	۳	۹۵۱	-۵۷۷	۳۷۴
میانگین				**۳۵۴/۳**

اطلاعات این جدول، علاوه بر اینکه تغییرات سریع خط ساحلی براثر نوسان‌های شتابان سطح تراز آب دریای خزر بین سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۵۶ را نشان می‌دهد، مجموع سلول‌های ساحلی را نیز ارائه می‌نماید. مقادیر منفی در این جدول نشانگر جابه‌جایی و پیشروی خط ساحلی به‌سوی دریا براثر کاهش و پس‌روی سطح تراز آب دریای خزر (یعنی: رسوب‌گذاری در ساحل) است. اما، مقادیر مثبت گویای جابه‌جایی و پس‌روی خط ساحلی به‌سوی خشکی براثر افزایش و بالاآمدن سطح تراز آب دریا (یعنی: فرسایش ساحل) است. در شکل ۵، نمونه‌ای از تغییرات و جابه‌جایی‌های خط ساحلی رخداده در منطقه مطالعاتی آورده شده است. این شکل تغییرات خط ساحلی رخداده در سلول ساحلی شماره ۷ را نشان می‌دهد.



شکل ۵: نمونه‌ای از تغییرات و جابه‌جایی خط ساحلی در محدوده LC 7 در کرانه‌های جنوب‌خاوری دریای خزر (LANDSAT, OLI Sensor, 2017).

تغییرات خط ساحلی طی دوره ۱۳۷۵-۱۳۵۶ خورشیدی (۱۹۹۶-۱۹۷۷ میلادی)

به‌طورکلی بایستی بیان داشت که، طی دوره افزایش و بالاآمدن سریع سطح تراز آب دریای خزر که بین سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۵۶ خورشیدی (۱۹۹۶-۱۹۷۷ میلادی) رخداده، تغییرات خط ساحلی به‌صورت جابه‌جایی پس‌رونده به‌سوی خشکی بوده است. در ادامه نتایج تغییرات و جابه‌جایی‌های رخداده در موقعیت خط ساحلی منطقه موردمطالعه طی بازه نخست موردبررسی در قالب LCهای هفت‌گانه تشریح شده است.

موقعیت مکانی LC 1 تقریباً از محل شروع مجموعه جزیره‌سدی میانکاله و منطبق بر کرانه‌های بندر چندمنظوره امیرآباد درنظر گرفته‌شده است. به‌طورکلی بایستی گفت میزان تغییرات در راستای کرانه‌های این جزیره‌سدی درمجموع از باختر به‌سوی خاور افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. محاسبات مربوط به بررسی میزان تغییرات و جابه‌جایی خط ساحلی این بخش در این دوره، نشان‌دهنده پس‌روی خط ساحلی با نرخ متوسط در حدود ۱۴/۴ متر در سال بوده است. همچنین، کمترین میزان پس‌روی خط ساحلی در این بخش حدود ۱۵۰ متر بوده است (جدول

۱). از سوی دیگر، یافته‌های به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که کرانه‌های این بخش بین سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۵۶ درمجموع حدود ۰/۰۹۱۵ و ۲/۸۴ کیلومترمربع به‌ترتیب دچار نهشته‌گذاری و فرسایش شده‌اند (جدول ۲).

جدول ۲: میزان رسوب‌گذاری و فرسایش رخ‌داده در کرانه‌های منطقه موردمطالعه براثر نوسان‌های سریع سطح تراز آب دریای خزر بین سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۵۶ خورشیدی (۲۰۱۷-۱۹۷۷ میلادی).

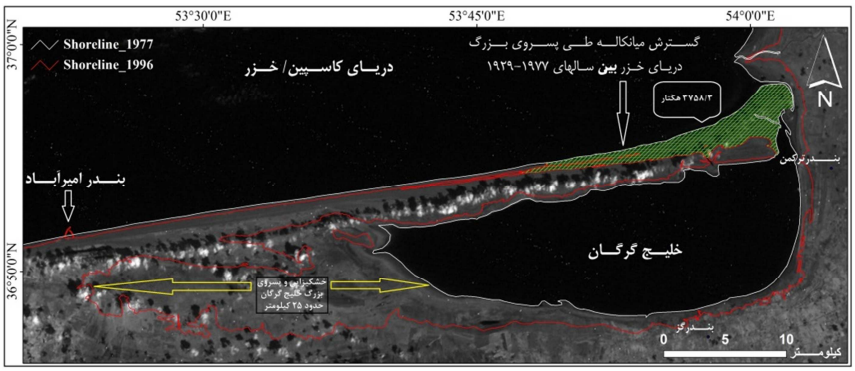
محدوده	۱۳۷۵-۱۳۵۶ خ (۱۹۹۶-۱۹۷۷ م)		۱۳۹۶-۱۳۷۵ خ (۲۰۱۷-۱۹۹۶ م)	
	رسوب‌گذاری (km^2)	فرسایش (km^2)	رسوب‌گذاری (km^2)	فرسایش (km^2)
LC 1	۰/۰۹۱۵	۲/۸۴	۱/۴۸	۰/۶۸۰
LC 2	-	۲/۴۶	۱/۴۰	-
LC 3	-	۸/۰۴	۵/۵۰	-
LC 4	-	۲۸/۲۴	۱۵/۸۱	-
LC 5	-	۱۶۸/۸۰	۷۲/۵۵	-
LC 6	-	۹/۸۸	۳/۲۵	-
LC 7	-	۷/۸۸	۳/۸۹	-

میزان تغییرات و جابه‌جایی خط ساحلی طی بازه زمانی موردبررسی در محدوده LC 2 به‌طور متوسط در حدود ۱۳/۲ متر در سال برآورد گردید. این میزان کمترین نرخ تغییرات خط ساحلی رخ‌داده در بین سلول‌های ساحلی منطقه است. شاید بتوان ازجمله دلایل پایین‌بودن نرخ تغییرات و جابه‌جایی خط ساحلی در این منطقه به موقعیت بکر LC 2 و نیز دخالت ناچیز یا عدم دخالت انسان در این منطقه اشاره کرد. زیرا این منطقه در کرانه‌های بخش میانی مجموعه جزیره‌سدی میانکاله که به‌عنوان منطقه حفاظت‌شده زیست‌محیطی تحت حفاظت سازمان محیط‌زیست قرار دارد، واقع شده است. برپایه اندازه‌گیری‌های انجام‌شده مشخص شد که حدفاصل سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۵۶ خورشیدی درمجموع حدود ۲/۴۶ کیلومتر مربع نهشته‌گذاری در این منطقه انجام‌شده است (جدول ۲).

موقعیت LC 3 در بخش خاوری مجموعه جزیره‌سدی میانکاله قرار دارد. این محدوده سرآغاز منطقه‌ای در کرانه‌های بخش خاوری این جزیره‌سدی است که باتوجه به ویژگی شیب کم خود هم در بخش خشکی و هم در دریا، پیشروی‌های گسترده‌تری نسبت به کرانه‌های بخش باختری آن دیده می‌شود. به‌طوری‌که به واسطه پیشروی و فرسایش ناشی از آن در این بخش، پهنای جزیره‌سدی میانکاله تقریباً به نصف بخش باختری آن کاهش می‌یابد. نرخ متوسط پیشروی آب دریا در محدوده LC 3 در حدود ۴۶ متر در سال محاسبه گردید. همچنین، حداکثر میزان پیشروی آب دریا در این بخش، بیش از ۱۰۷۰ متر اندازه‌گیری شده است. از سوی دیگر، به‌واسطه پیشروی و بالاآمدن سطح تراز آب دریای خزر، کرانه‌های این بخش طی دوره زمانی ۱۹ ساله (۱۳۷۵-۱۳۵۶ خورشیدی) درمجموع حدود ۸/۰۴ کیلومترمربع دچار فرسایش شده‌اند (جدول ۲).

در بازه زمانی ۱۳۷۵-۱۳۵۶ خورشیدی که هم‌زمان با افزایش و بالاآمدن حدود ۲/۵ متری سطح تراز آب دریای خزر است، روند افزایش در میزان تغییرات و جابه‌جایی پس‌رونده خط ساحلی به‌سوی خشکی در قالب فرسایش و به زیرآب رفتن کرانه‌های منطقه به دو شکل متفاوت در سواحل بخش شمالی و جنوبی مجموعه جزیره‌سدی میانکاله مشاهده می‌شود. نخست در سواحل بخش شمالی مجموعه جزیره‌سدی میانکاله منطبق بر LC 4، میزان تغییرات و جابه‌جایی پس‌رونده خط ساحلی در جهت باختری- خاوری افزایش می‌یابد؛ درحالی‌که در سواحل بخش جنوبی مجموعه جزیره‌سدی در محدوده کرانه‌های باختری خلیج گرگان منطبق بر LC 5، میزان تغییرات خط ساحلی در

جهت باختری- خاوری کاهش می‌یابد. حداکثر مقدار پیشروی و نفوذ آب دریا در بخش شمالی، در منطقه سرزمین آشوراده به مقدار ۳۱۵۵ متر ولی در بخش جنوبی آن که در منتهی‌الیه باختری خلیج گرگان و منطبق بر تالاب میانکاله است، حدود ۲۵۰۱۰ متر است (جدول ۱). این مقادیر بیشترین نرخ جابه‌جایی و پیشروی آب دریا در خشکی در کل منطقه و در تمامی سلول‌های ساحلی است. متوسط نرخ پیشروی آب دریا در این مناطق به‌ترتیب در حدود ۱۴۳ و ۱۱۷۷ متر در سال برآورد گردید. همچنین، با محاسبات انجام‌شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای موردبررسی مشخص‌شده است که طی این دوره در LC 4 و LC 5 به‌ترتیب حدود ۲۸/۲۴ کیلومترمربع و ۱۶۸/۸۰ کیلومترمربع از زمین‌های ساحلی دچار فرسایش شده و به زیر آب فرورفته‌اند (جدول ۲). علاوه‌برآن، از سال ۱۳۵۶ تا ۱۳۷۵ خورشیدی که سطح تراز آب دریای خزر به بالاترین حد خود در این دوره رسید، بخش خاوری مجموعه جزیره‌سدی میانکاله تقریباً حدود ۳۷/۵۸ کیلومترمربع (۳۷۵۸/۳ هکتار) از مساحت خود را براثر فرسایش ناشی از پیشروی سطح تراز آب دریا از دست داد (شکل ۶). از پیامدهای پیشروی این دوره سطح تراز آب دریا در منطقه موردمطالعه، می‌توان به‌زیرآب رفتن و نابودی و تخیله تعدادی از روستاها ازجمله روستای چاپقلی اشاره کرد (شکل ۷). همچنین، تعدادی از درختان و ساختمان‌های مسکونی نیز طی این دوره دچار آب‌گرفتگی، خسارت و آسیب‌دیدگی شدند (شکل ۸).



شکل ۶: تأثیر افزایش و پیشروی ناگهانی سطح تراز آب دریای خزر در فرسایش و نفوذ آب دریا در کرانه‌های جنوب‌خاوری دریای خزر (LANDSAT, MSS Sensor, 1977).



شکل ۷: بقایای روستای تخریب‌شده چاپقلی براثر پیشروی و بالاآمدن ناگهانی سطح تراز آب دریای خزر بین سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۵۷ خورشیدی (۱۹۹۶-۱۹۷۸ میلادی) که به تخریب و متروک‌شدن کامل آن انجامید (تصویر از عمادالدین، ۱۳۹۱: ۱۳۲).



شکل ۸: تخریب درختان جنگلی در مناطق ساحلی دریای خزر تحت تأثیر پیشروی سطح تراز آب دریای خزر بین سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۵۶ خورشیدی (۱۹۹۶-۱۹۷۷ میلادی) (تصویر از خوشروان، ۱۳۹۶؛ مکاتبات شخصی).

محدوده مکانی LC 6 منطبق بر کرانه‌های بندر گز در جنوب خلیج گرگان است. تغییرات و جابه‌جایی خط ساحلی در محدوده کرانه‌های خلیج گرگان و ازجمله بندر گز LC 6 و بندر ترکمن LC 7 به‌شدت به نوسان‌های سطح تراز آب خلیج گرگان به پیروی از نوسان‌های سطح تراز آب دریای خزر وابسته است. محاسبات انجام‌شده در محدوده بندر گز LC 6 نرخ متوسط تغییرات خط ساحلی را در حدود ۵۵/۳ متر در سال نشان می‌دهد. همچنین، این محاسبات نشان می‌دهند که حداکثر میزان پیشروی و نفوذ آب دریا در خشکی طی دوره افزایش سطح تراز آب دریای خزر بین سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۵۶ خورشیدی در این محدوده در حدود ۱/۴ کیلومتر بوده که در بخش باختری بندر رخ‌داده است. همچنین، طی این مرحله حدود ۹/۸۸ کیلومترمربع از زمین‌های ساحلی اطراف بندر گز با فرسایش روبرو شده‌اند (جدول ۲).

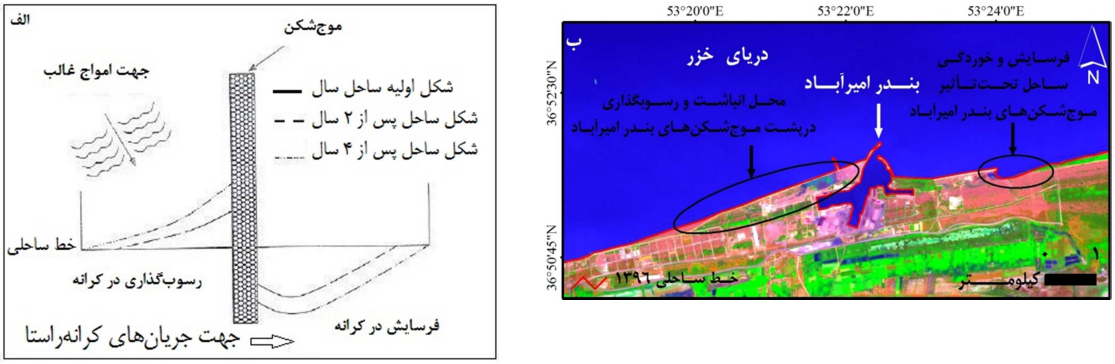
کرانه‌های حدفاصل بین دهانه رودخانه قره‌سو و بندر ترکمن محدوده LC 7 می‌باشد. نرخ متوسط پیشروی آب دریا در این بخش از منطقه تقریباً بیش از ۴۰ متر در سال برآورد شد. همچنین، حداکثر میزان پیشروی آب دریا در ساحل این بخش از منطقه در حدود ۱/۲ کیلومتر در بخش خاوری این بندر محاسبه گردید. به‌علاوه، سواحل این منطقه از سال ۱۳۵۶ تا ۱۳۷۵ خورشیدی به‌میزان ۷/۸۸ کیلومترمربع دچار فرسایش شده است (جدول ۲).

تغییرات خط ساحلی طی دوره ۱۳۹۶-۱۳۷۵ خورشیدی (۲۰۱۷-۱۹۹۶ میلادی)

به‌طورکلی بایستی بیان داشت طی دوره کاهش و پس‌روی سریع سطح تراز آب دریای خزر که بین سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۷۵ خورشیدی (۲۰۱۷-۱۹۹۶ میلادی) رخ‌داده، تغییرات خط ساحلی به‌صورت جابه‌جایی پیش‌رونده خط ساحلی به‌سوی دریا بوده است. در ادامه نتایج تغییرات و جابه‌جایی‌های رخ‌داده در موقعیت خط ساحلی منطقه موردمطالعه طی بازه زمانی دوم موردبررسی در قالب LCهای هفت‌گانه تشریح شده است.

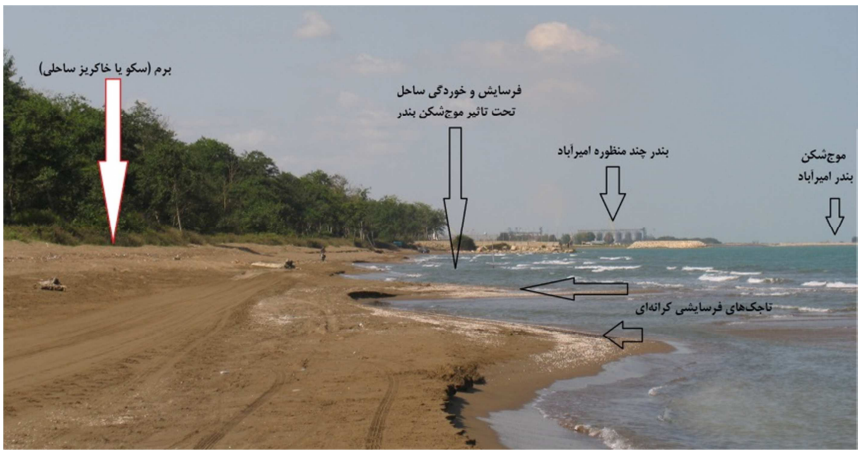
کرانه‌های محدوده بندر چندمنظوره امیرآباد جزء بخش آغازین مجموعه جزیره‌سدی میانکاله در بخش باختری آن محسوب می‌شود (LC 1). سواحل این محدوده دست‌کم طی دو دهه گذشته، به‌شدت تحت‌تأثیر فعالیت‌های توسعه انسانی و اجرای طرح‌های صنعتی قرارگرفته است. با احداث و بهره‌برداری از بندر چندمنظوره امیرآباد در بخش باختری و آغازین منطقه حفاظت‌شده میانکاله، جهت حفاظت از کانال دسترسی و حوضچه آرامش این بندر اقدام به

ساخت و توسعه موج‌شکن‌ها و دستک‌هایی در محدوده بندر نام‌برده شده است. احداث و مطول نمودن چنین سازه‌های مهندسی معمولاً در کرانه‌های دو سوی آن‌ها اثرهای متضاد و متفاوتی را به‌دنبال دارد. به‌طورکلی، احداث سازه‌های مهندسی از قبیل موج‌شکن، آب‌شکن، دستک یا بازو، جتی و غیره در سواحل سبب می‌شوند تا کرانه‌های یک سمت این سازه‌ها با پدیده رسوب‌گذاری و کرانه‌های مقابل آن با فرسایش روبرو گردد (شکل ۹).



شکل ۹: الف) نمایی شماتیک از چگونگی تأثیر احداث و توسعه سازه‌های مهندسی (موج‌شکن) در تغییر وضعیت سواحل؛ ب) تأثیر احداث موج‌شکن و توسعه دستک‌های بندر امیرآباد در تغییر وضعیت کرانه‌های خاوری و باختری آن (LANDSAT, OLI Sensor, 2017).

کرانه‌های محدوده بندر چندمنظوره امیرآباد که بر LC 1 منطبق است، علاوه بر تأثیرپذیری از روند کاهش و پس‌روی دو دهه اخیر سطح تراز آب دریای خزر، درنتیجه افزایش فعالیت‌های انسانی نیز دچار رسوب‌گذاری شدید و فرسایش شده است. به‌عبارت‌دیگر، کرانه‌های باختری و خاوری این منطقه رفتارهای واکنشی متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. به‌طوری‌که هم‌زمان با کاهش و پس‌روی سطح تراز آب دریای خزر، فرآیند غالب در کرانه‌های بخش باختری منطقه طی ۲۱ سال اخیر درمجموع رسوب‌گذاری شدید بوده است. اما این درحالی‌است که کرانه‌های بخش خاوری منطقه در اثر احداث و مطول ساختن بازوها و دستک‌های موج‌شکن این بندر به‌طور غالب تحت‌تأثیر فرسایش قرار داشته‌اند (شکل ۱۰). هرچند طی دهه اخیر به‌منظور حفاظت از تأسیسات پس‌کرانه بندر امیرآباد، در پشت ضلع خاوری موج‌شکن آن به‌طور مصنوعی اقدام به رسوب‌گذاری نیز شده است. به‌طورکلی، بایستی گفت فرآیند رسوب‌گذاری همسو با جریان‌های کرانه‌راستای انتقال رسوب، به‌ویژه در جهت عمود بر موانع ساحلی احداث‌شده در بندر رخ داده است؛ درحالی‌که در کرانه‌های ضلع مقابل آن‌ها بیشتر فرسایش شدید، پدیده غالب بوده است (شکل ۹).



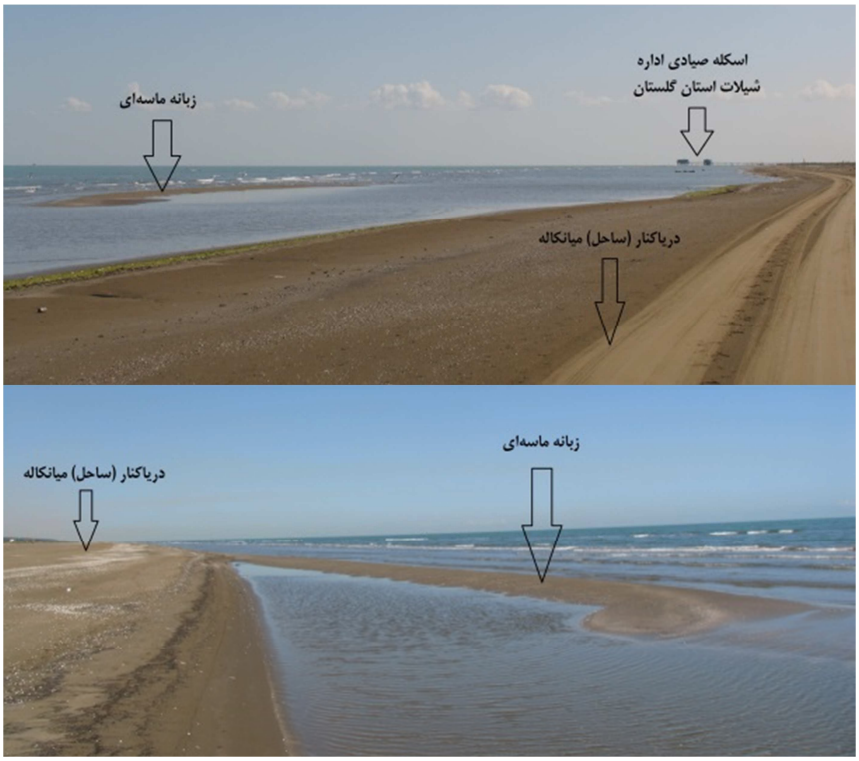
شکل ۱۰: نمایی از اثرهای توسعه و مطول‌ساختن موج‌شکن بندر چندمنظوره امیرآباد در تغییرات فرسایشی و خوردگی سواحل بخش خاوری آن که پیش از احداث این‌گونه سازه‌های مهندسی از نوع سواحل رسوب‌گذاری بوده است. منبع: پژوهشگر، شهریورماه ۱۳۹۶.

برپایه محاسبات انجام‌شده مشخص شد که نرخ متوسط پیشروی خط ساحلی به‌سوی دریا طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۷۵ خورشیدی در محدوده LC 1 حدود ۹/۷ متر در سال بوده است. همچنین، طی این دوره زمانی درمجموع تقریباً حدود ۱/۵ و ۰/۶۸۰ کیلومترمربع به‌ترتیب رسوب‌گذاری و فرسایش در این محدوده رخداده است (جدول ۲). این مقدار رسوب‌گذاری در کرانه باختری بندر چندمنظوره امیرآباد منشاء طبیعی ندارد و بیشتر در اثر فعالیت‌های انسانی ازجمله احداث و مطول‌ساختن موج‌شکن و بازوهایی است که به‌منظور جلوگیری از رسوب‌گذاری مواد در دهانه حوضچه آرامش بندر در راستای برنامه‌های توسعه در این بندر اجرا شده است (شکل ۹ ب).

همان‌طورکه پیش‌تر نیز گفته شد، محدوده LC 2 در کرانه‌های بخش میانی مجموعه جزیره‌سدی میانکاله قرار دارد. عدم دخالت قابل‌توجه انسان در کرانه‌های بکر و دست‌نخورده این منطقه سبب شده است تا نرخ تغییرات و جابه‌جایی خط ساحلی در زمان‌های پیشروی و پس‌روی سطح تراز آب دریای خزر در این بخش، گویای شرایط نرمال و طبیعی آن باشد. نرخ متوسط به‌دست‌آمده برای پیشروی و جابه‌جایی خط ساحلی در این محدوده تقریباً حدود ۶/۳ متر در سال محاسبه شد. همچنین، طی این دوره زمانی در این منطقه اثری از فرسایش یا پیشروی آب دریا در خشکی مشهود نبوده و درمجموع حدود ۱/۴ کیلومترمربع رسوب‌گذاری در منطقه انجام‌شده است (جدول ۲).

محدوده LC 3 در بخشی از کرانه‌های جزیره‌سدی انتخاب شد که محل زایش، گسترش و نابودی سدها و زبانه‌های ماسه‌ای طی دوره‌های پیشروی و پس‌روی سطح تراز آب دریا است. معمولاً هم‌زمان با رخداد دوره‌های پیشروی و پس‌روی سطح تراز آب دریای خزر، تعدادی سد و زبانه ماسه‌ای (که گاهی به‌شکل جزایر سدی نیز در منطقه پدیدار می‌شوند) در راستای کرانه‌های این بخش از منطقه شکل می‌گیرند و از بین می‌روند (شکل ۱۱). در مرحله پیشروی و بالاآمدن سطح تراز آب دریای خزر بین سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۵۶ خورشیدی تعدادی از این اشکال در این منطقه تشکیل‌شده بودند. اما این اشکال مورفولوژیکی، طی دوره پس‌روی و کاهش سطح تراز آب دریای خزر بین سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۷۵ خورشیدی به‌مرور از بین رفته و بر گستره خشکی منطقه افزوده‌شده است. به‌عبارت‌دیگر، طی این مدت تقریباً حدود ۵/۵ کیلومترمربع بر وسعت زمین‌های ساحلی این منطقه افزوده‌شده است. علاوه‌برآن، متوسط نرخ پیشروی و جابه‌جایی خط ساحلی به‌سوی دریا در این بخش از منطقه حدود ۳۷/۵ متر در سال به‌دست آمد. ازجمله

دلایل افزایش میزان رسوب‌گذاری و نرخ پیشروی خط ساحلی به‌سوی دریا در این بخش می‌توان به ملایم‌بودن شیب منطقه و کاهش اندازه ذرات رسوبی نهشته‌گذاری‌شده در منطقه اشاره کرد.



شکل ۱۱: نمونه‌ای از زبانه‌های ماسه‌ای ایجادشده در کرانه‌های منطقه موردمطالعه. منبع: پژوهشگر، شهریورماه ۱۳۹۶.

وضعیت تغییرات و جابه‌جایی خط ساحلی در محدوده LC 4 به‌طور چشمگیری از کرانه‌های نیمه باختری مجموعه جزیره‌سدی میانکاله متفاوت‌تر است. باتوجه به شیب بسیار ملایم کرانه‌های این محدوده هم در بخش دریایی و هم در بخش خشکی و نیز به‌دلیل کاهش قطر ذرات رسیده و نهشته‌گذاری‌شده در این بخش، نرخ متوسط پیشروی خط ساحلی به‌سوی دریا حدود ۸۸/۶ متر در سال اندازه‌گیری شد. همچنین، محاسبات انجام‌شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای موردبررسی طی این دوره نشان می‌دهند که درمجموع حدود ۱۵/۸۱ کیلومترمربع در این بخش از منطقه رسوب‌گذاری انجام‌شده است. به‌طوری‌که باعث شده تا جزیره آشوراده که طی دوره پیشروی قبلی در این بخش نمایان شده بود به‌مرور زمان و براثر جریان‌های کرانه‌راستای انتقال رسوب در همراهی با پس‌روی سطح تراز آب دریا، بار دیگر به سرزمین اصلی میانکاله متصل گردد. این اتصال، سبب مسدودشدن دوباره کانال ارتباطی غیردائمی خوزینی از سوی دریا شد. به‌طوری‌که درحال‌حاضر در این کانال تنها از طرف خلیج گرگان جریانی از آب وجود دارد که در رأس آن به‌صورت انشعابی دوشاخه‌ای نمایان است (شکل ۱۲). همین مقدار آب نیز در اثر تداوم پس‌روی سطح تراز آب دریای خزر طی سال‌های گذشته در حال کاهش و پس‌روی است (شکل ۱۳).

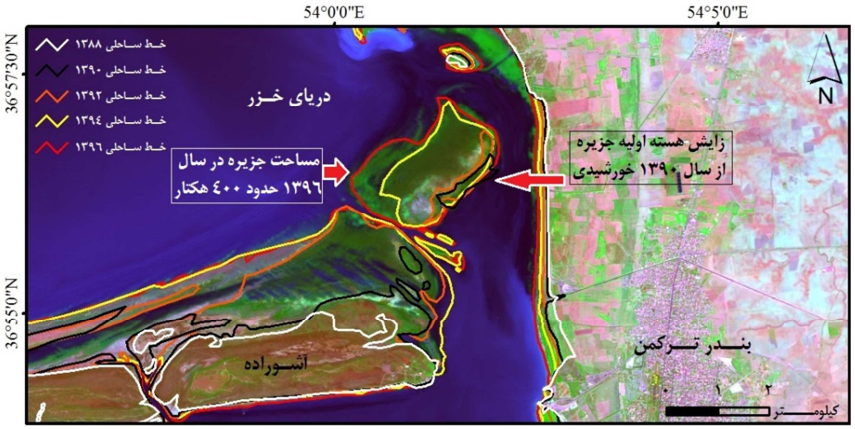


شکل ۱۲: نمایی از انشعاب دوشاخه‌ای در رأس کانال خوزینی (Google Earth, 2018).

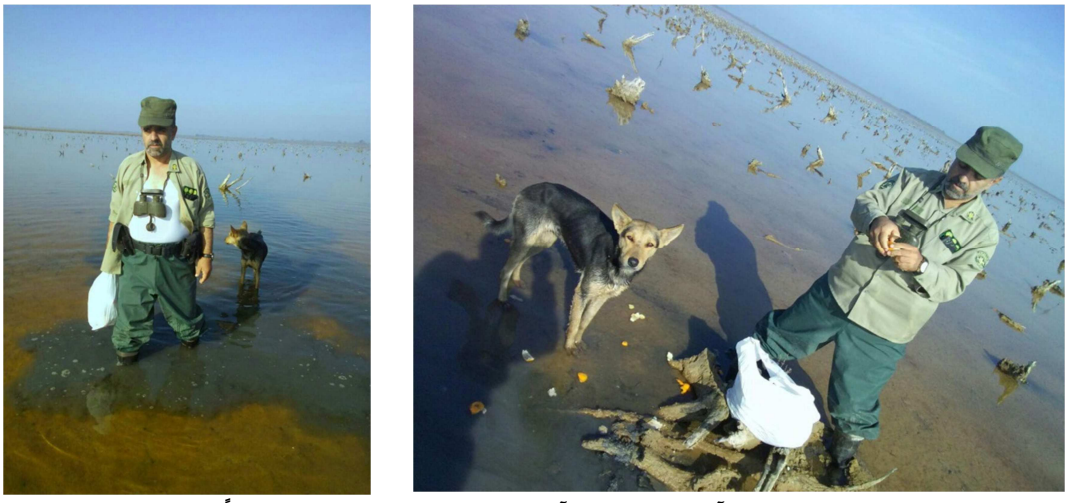


شکل ۱۳: نمایی از پس‌روی اخیر سطح آب از کانال خوزینی. میزان پس‌روی با خط‌چین مشخص‌شده است (نگاه به‌سمت باختر). منبع: پژوهشگر، شهریورماه ۱۳۹۶.

از سوی دیگر تداوم‌یافتن روند پس‌روی و کاهش سطح تراز آب دریای خزر طی سال‌های گذشته باعث کاهش شدید ژرفای مفید کانال‌های ارتباطی چاپقلی و آشوراده و نمایان‌شدن تعدادی جزیره بزرگ و کوچک در دهانه کانال ارتباطی اصلی و دائمی چاپقلی شده است، به‌طوری‌که بزرگ‌ترین آن‌ها به‌عنوان مانعی اصلی در مسیر این کانال محسوب می‌شوند. مساحت این جزیره بر روی تصویر سنجنده OLI ماهواره LANDSAT متعلق به سال ۲۰۱۷، حدود ۴ کیلومترمربع (۴۰۰ هکتار) محاسبه گردید (شکل ۱۴). پایش تصاویر ماهواره‌ای سال‌های اخیر نشان می‌دهد پیدایش و گسترش هسته اولیه این جزیره که از سال ۱۳۹۰ خورشیدی (۲۰۱۱ میلادی) در منطقه نمایان‌شده و تاکنون به رشد خود ادامه داده، گویای به صدا درآمدن زنگ خطر خشکی‌زایی دوباره در منطقه است. با شواهد میدانی انجام‌شده از منطقه و مصاحبه شخصی و میدانی با افراد بومی (حافظان محیط‌زیست منطقه حفاظت‌شده میانکاله، صیادان، دامداران و کشاورزان محلی) مشخص شد که ژرفای مفید کانال‌های ارتباطی بین خلیج گرگان و دریای خزر به‌ویژه کانال‌های اصلی و دائمی چاپقلی و آشوراده به شدت کاهش یافته است (شکل ۱۵).



شکل ۱۴: روند زایشی و تکاملی جزیره ایجادشده در دهانه ورودی کانال چاپقلی. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است در سال ۱۳۸۸ اثری از جزیره یادشده در منطقه نیست؛ اما هسته اولیه آن از سال ۱۳۹۰ خورشیدی در منطقه شکل‌گرفته و تا به امروز به مساحت آن افزوده‌شده است (LANDSAT, OLI Sensor, 2017).



شکل ۱۵: نمایی از کاهش شدید ژرفای کانال آشوراده که ژرفای آن درنهایت تا زانوی یک فرد بالغ (تقریباً حدود ۵۰ سانتی‌متر) می‌رسد. منبع: پژوهشگر، شهریورماه ۱۳۹۶.

بیشترین میزان تغییرات و جابه‌جایی خط ساحلی طی دوره کاهش و پس‌روی اخیر سطح تراز آب دریای خزر در منطقه موردمطالعه در محدوده LC 5 رخداده است. این منطقه که در محدوده کم‌ژرفای منتهی‌الیه بخش باختری خلیج گرگان قرار دارد، همواره در پی نوسان‌های سریع سطح تراز آب دریای خزر مستعد تغییرات و جابه‌جایی‌های گسترده‌ای است. به‌طوری‌که، طی مرحله پس‌روی سطح تراز آب دریای خزر بین سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۷۵ خورشیدی، حداکثر مقدار پس‌روی آب از منطقه در حدود بیش از ۴۷۰۰ متر بوده است. همچنین، نرخ متوسط تغییرات و جابه-جایی خط ساحلی در این بخش حدود ۱۹۳ متر در سال محاسبه شد. علاوه‌برآن، درمجموع حدود ۷۲/۵۵ کیلومترمربع از زمین‌های این بخش از زیر آب دریای خزر بیرون آمده و دچار خشکی‌زایی گسترده‌ای شده است.

درواقع، زمین‌های خارج‌شده از زیر آب در این ناحیه، بخشی از بستر تالاب بین‌المللی میانکاله بوده‌اند که امروزه در سطح نمایان گشته‌اند (شکل ۱۶).



شکل ۱۶: نماهایی از خشکی‌زایی گسترده و تغییرات محیطی ایجادشده در بخش باختری خلیج گرگان در محدوده تالاب بین‌المللی میانکاله براثر پس‌روی سطح تراز آب دریای خزر. منبع: پژوهشگر، شهریورماه ۱۳۹۶.

کرانه‌های بندر گز نیز همانند سایر کرانه‌های منطقه از تغییرات و جابه‌جایی‌های خط ساحلی در امان نبوده است. محدوده LC 6 منطبق بر کرانه‌های این بخش است. به‌دنبال تداوم روند کاهش سطح تراز آب دریای خزر بین سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۵۷ خورشیدی، خط ساحلی کرانه‌های محدوده بندر گز در بیشترین حد خود به‌میزان بیش از ۷۰۰ متر به‌سوی دریا پیشروی کرده و جابه‌جا شده است. نرخ متوسط جابه‌جای خط ساحلی در این بخش در حدود ۲۲/۵ متر در سال برآورد گردید. همچنین، درمجموع حدود ۳/۲۵ کیلومترمربع رسوب‌گذاری در کرانه‌های این بخش انجام‌شده است. کاهش سطح تراز آب دریای خزر منجر به پس‌روی قابل‌توجه خط ساحلی و رسوب‌گذاری چشمگیر در کرانه‌های بندر گز شده و باعث‌شده تا فعالیت‌های بندری در این بخش دچار اختلال گردد. به‌عبارت‌دیگر، برپایه مشاهده‌های میدانی از کرانه‌های منطقه موردمطالعه و نیز با استناد به مصاحبه شخصی با بومیان محلی و ذی‌نفعان ساحل‌نشین منطقه و نیز گزارش‌های ملموس آن‌ها از روند پس‌روی اخیر، در حال حاضر ژرفای آب خلیج گرگان در اطراف پایه‌های چوبی اسکله بندر گز به کمتر از ۲۰ سانتی‌متر کاهش‌یافته است. به‌گونه‌ای‌که رفت‌وآمد مردمان بومی با قایق‌های موتوری کوچک نیز در این بندر با مشکلات جدی روبرو گردیده و امورات بندری و دریانوردی آن‌ها با سختی انجام می‌شود (شکل ۱۷).



شکل ۱۷: تأثیر کاهش سطح تراز آب دریای خزر بر وقوع پدیده خشکی‌زایی، پس‌روی خط ساحلی و کاهش شدید ژرفای آب در کرانه‌های بندر گز. الف) پس‌روی و خشکی‌زایی گسترده که منجر به ازکارافتادن بسیاری از اسکله‌ها در بندر گز گردیده است؛ ب) پس‌روی خط ساحلی و کاهش شدید ژرفای آب در کرانه‌های بندر گز. (تصاویر از خوشروان، ۱۳۹۶؛ مکاتبات شخصی).

کرانه‌های اطراف بندر ترکمن به‌عنوان محدوده LC 7 در نظر گرفته‌شده است. سواحل بندر ترکمن نیز متأسفانه در پی پس‌روی سطح تراز آب دریای خزر دچار خشکی‌زایی و پیشروی خط ساحلی به‌سوی دریا شده است. همان‌طور که در شکل ۱۸ نیز مشخص است کرانه‌های سنگی انسان‌ساز بندر ترکمن که با اهداف توسعه گردشگری در منطقه ایجادشده‌اند، همچنان پس از گذشت چندین سال در انتظار بازگشت آب دریای خزر و رونق‌بخشی دوباره به این منطقه است. محاسبات و اندازه‌گیری‌های انجام‌شده نشان می‌دهند که وسعت خشکی‌زایی در کرانه‌های این بخش درمجموع حدود ۳/۸۹ کیلومترمربع است. به‌طوری‌که حداکثر مقدار پس‌روی آب دریای خزر از کرانه‌های بندر ترکمن بیش از ۷۵۰ متر است. همچنین، نرخ متوسط پس‌روی آب دریا از کرانه‌های این بندر در حدود ۱۹/۹ متر در سال محاسبه و اندازه‌گیری شد. مسائل و مشکلاتی که به‌واسطه پایین‌رفتن سطح تراز آب دریای خزر در بندر گز به وجود آمده و موردبحث قرار گرفتند، در کرانه‌های بندر ترکمن نیز مشهودند.



شکل ۱۸: نمایی از ساحل بندر ترکمن در سال ۱۳۸۹ خورشیدی زمانی‌که سطح تراز آب دریای خزر حدود ۵۰ سانتی‌متر بالاتر از تراز امروزی بود. نشانه‌های خشکی‌زائی در حاشیه بندر کاملاً مشهود است. (تصویر از خوشروان، ۱۳۹۶؛ مکاتبات شخصی).

نتیجه‌گیری

کرانه‌های دریای خزر به‌دلیل وقوع فرآیندهای دوره‌ای کوتاه‌مدت و درازمدت هیدرودینامیکی و آب‌وهوایی به‌شدت تحت‌تأثیر عوامل ویران‌گر برروی منابع طبیعی آب‌وخاک قرار دارند. سازگاری با این شرایط و جلوگیری از نابودی منابع محیط‌طبیعی مستلزم به‌کارگیری روش‌های مناسب حفاظت از سواحل است، به‌طوری‌که به‌واسطه استفاده از آن‌ها علاوه بر تثبیت خط ساحلی بر گستره زمین‌های ساحلی نیز افزوده شود. پیش‌نیاز این مهم، شناخت وضعیت کنونی حفاظت از سواحل در کرانه‌های دریای خزر در برابر نیروهای فرساینده است. نوسان‌های سطح تراز آب دریای خزر طی دهه‌های اخیر بر اهمیت موضوع افزوده است؛ زیرا، پیشروی‌ها و پس‌روی‌های متعدد سطح تراز آب دریا مسائل و مشکلات گوناگونی را برای فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی منطقه ساحلی به‌بار آورده است. رخداد نوسان-های سطح تراز آب دریای خزر چه در قالب فاز پیشروی و بالاآمدن و چه در قالب فاز پس‌روی و کاهش سطح تراز، به یکی از مهم‌ترین مسائل و چالش‌های جدی در کرانه‌های شمالی کشور تبدیل‌شده است. ازجمله مهم‌ترین مسائل و مشکلاتی که در سواحل منطقه موردمطالعه وجود دارد، می‌توان به موضوع‌هایی همچون: نوسان‌های سریع سطح تراز آب دریای خزر و اثرهای آن بر کرانه‌های ساحلی ، تجاوز به حریم دریا و کاربری‌های نادرست از زمین‌های ساحلی توسط بومیان و ذی‌نفعان محلی، رسوب‌گذاری قابل‌توجه در بنادر، فرسایش سواحل و از بین‌رفتن زمین‌های ساحلی، مسائل زیست‌محیطی متعدد و غیره در منطقه اشاره کرد. نتایج به‌دست‌آمده از پایش تغییرات و جابه‌جایی‌های خط ساحلی کرانه‌های جنوب‌خاوری دریای خزر طی بازه زمانی ۱۳۹۶-۱۳۵۶ خورشیدی طی دو دوره زمانی (بازه نخست: ۱۳۷۵-۱۳۵۶ خورشیدی و بازه دوم: ۱۳۹۶-۱۳۷۵ خورشیدی) انجام گردید. برپایه پایش مستمر تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد که طی این دوره فرآیند غالب در منطقه، فرسایش و به زیر آب‌رفتن کرانه‌های منطقه بوده و رسوب‌گذاری در این مدت بسیار ناچیز بوده است. به‌عبارت دیگر، طی این دوره کمترین میزان فرسایش حدود ۲/۴۶ کیلومترمربع در محدود LC 2 بوده است. همچنین، بیشترین میزان فرسایش در حدود ۱۶۸/۸۰ کیلومترمربع در محدوده LC 5 بوده است. طی این دوره فقط حدود ۰/۰۹۱۵ کیلومترمربع رسوب‌گذاری در محدود LC 1 انجام شده است (جدول ۲). به‌طورکلی، طی این دوره در محدوده LC 1 نرخ متوسط پس‌روی خط ساحلی ۱۴/۴ متر در سال برآورد گردید. همچنین، کمترین و بیشترین میزان پس‌روی خط ساحلی در این بخش حدود ۱۵۰ و ۳۵۸ متر بوده است. میزان جابه‌جایی خط ساحلی در محدوده LC 2 کمترین نرخ تغییرات خط ساحلی بوده و به‌طور متوسط ۱۳/۲ متر در سال برآورد گردید. در محدوده LC 3 سرعت پیشروی آب دریا ۴۶ متر در سال محاسبه و حداکثر و حداقل میزان پیشروی آب دریا در این بخش به‌ترتیب، ۱۰۷۶ متر و ۶۷۴ متر اندازه‌گیری شد (جدول ۱). حداکثر مقدار پیشروی آب دریا در محدوده LC 4 حدود ۳۱۵۵ متر و در محدوده LC 5 حدود ۲۵۰۱۰ متر به‌دست آمد. این مقادیر بیشترین نرخ جابه‌جایی و پیشروی آب دریا در خشکی طی دوره ۱۳۷۵-۱۳۵۶ در کل منطقه و در تمامی سلول‌های ساحلی است. علاوه‌برآن، متوسط نرخ پیشروی آب دریا در این مناطق به‌ترتیب در حدود ۱۴۳ و ۱۱۷۷ متر در سال برآورد گردید. نرخ متوسط تغییرات خط ساحلی در محدوده LC 6 حدود ۵۵/۳ متر در سال بوده و حداکثر میزان پیشروی آب دریا طی این دوره حدود ۱/۴ کیلومتر محاسبه شد. نرخ متوسط پیشروی آب دریا در محدوده LC 7 حدود ۴۰ متر در سال برآورد شد. همچنین، حداکثر میزان پیشروی آب دریا حدود ۱/۲ کیلومتر محاسبه گردید. همچنین، یافته‌های به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که طی بازه زمانی دوم موردمطالعه، بر اثر کاهش و

پسروی سطح تراز آب دریای خزر، رسوب‌گذاری و خشکی‌زایی در منطقه فرآیند غالب بوده است. برپایه نتایج، مشخص شد که کمترین و بیشترین میزان رسوب‌گذاری به‌ترتیب حدود ۱/۴۰ کیلومترمربع در محدوده LC 2 و حدود ۷۲/۵۵ کیلومترمربع در محدوده LC 5 انجام شده است. همچنین طی این دوره، تنها حدود ۰/۶۸ کیلومترمربع از کرانه‌های منطقه در محدوده LC 1 دچار فرسایش شده است (جدول ۲). محاسبات حاصل از تغییرات و جابه‌جایی خط ساحلی کرانه‌های منطقه موردمطالعه طی دوره زمانی دوم موردمطالعه بین سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۷۵ خورشیدی نشان می‌دهند که نرخ پیشروی خط ساحلی به‌سوی دریا در محدوده LC 1 به طور متوسط حدود ۹/۷ متر در سال بوده است. همچنین، کمترین و بیشترین میزان جابه‌جایی خط ساحلی در این بخش حدود ۹۵ و ۳۹۴ متر بوده است. اما، نرخ متوسط جابه‌جایی خط ساحلی در محدوده LC 2 حدود ۶/۳ متر در سال محاسبه شد و بیشترین میزان جابه‌جایی خط ساحلی حدود ۱۴۳ متر اندازه‌گیری شد. حداکثر جابه‌جایی خط ساحلی در محدوده LC 3 حدود ۸۲۸ متر و نرخ متوسط پیشروی خط ساحلی به‌سوی دریا حدود ۳۷/۵ متر در سال به‌دست آمد. در محدوده LC 4 نرخ متوسط پیشروی خط ساحلی به‌سوی دریا حدود ۸۸/۶ متر در سال و حداکثر پیشروی خط ساحلی حدود ۲۰۴۹ متر اندازه‌گیری شد. اما، نرخ متوسط تغییرات و جابه‌جایی خط ساحلی در محدوده LC 5 حدود ۱۹۳ متر در سال، در محدوده LC 6 در حدود ۲۲/۵ متر در سال و در محدوده LC 7 حدود ۱۹/۹ متر در سال محاسبه و اندازه‌گیری شد.

منابع

آزرم‌سا، سید علی، رزم‌خواه، فرهاد (۱۳۸۵)؛ بررسی موقعیت خط ساحلی در خلیج چابهار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مجله علوم‌زمین، سال پانزدهم، شماره ۶۰، صص: ۸۷-۸۰. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=107947 .

خوش‌رفتار، رضا (۱۳۸۴)؛ تکامل ژئومورفولوژی دلتای رود سپیدرود در کواترنر، رساله دکتری تخصصی (Ph.D)، رشته جغرافیای طبیعی/ ژئومورفولوژی، استاد راهنما: جمشید جداری عیوضی، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه آموزشی ژئومورفولوژی.

خوشروان، همایون، بنی‌هاشمی، سیده معصومه (۱۳۹۱)؛ نوسانات سریع دریای خزر و تغییر شکل مورفودینامیکی مصب رودخانه‌ها، دهمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، تهران، صص: ۱۷۶-۱۷۰. https://civilica.com/doc/184223/

خوشروان، همایون، روحانی‌زاده، سمیه، ملک، جواد، نژادقلی، قاسم (۱۳۹۰)؛ ناحیه‌بندی سواحل جنوبی دریای خزر براساس شواهد مورفودینامیک رسوبی، تهران، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۷، شماره ۳، صص: ۱۵-۱. https://jesphys.ut.ac.ir/article_23598.html

عمادالدین، سمیه (۱۳۹۱)؛ شواهد ژئومورفولوژیک تغییر سطح اساس رودخانه‌های منتهی به جنوب‌شرقی دریای خزر در کواترنری پسین (رودخانه‌های نکاء و گرگان‌رود)، رساله دکتری تخصصی (Ph.D)، رشته جغرافیای طبیعی/ ژئومورفولوژی، استاد راهنما: منصور جعفر بیگلو، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه آموزشی ژئومورفولوژی.

لاهیجانی، حمید (۱۳۸۳)؛ مقدمه‌ای بر ویژگی‌های دریای خزر، انتشارات نوربخش، چاپ نخست.

منصوری، رضا (۱۳۹۷)؛ تغییرات مورفولوژی ساحلی جنوب‌خاوری دریای خزر در راستای مدیریت یکپارچه منطقه ساحلی (ICZM)، رساله دکتری تخصصی (Ph.D)، رشته ژئومورفولوژی/ مدیریت‌محیطی، استاد راهنما: محمدرضا ثروتی، تهران، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم‌زمین، گروه آموزشی ژئومورفولوژی.

A. Naderi Beni, H. Lahijani, R. Mousavi Harami, K. Arpe, S. A. G. Leroy, N. Marriner V. Andrieu-Ponel, M. Djamali, A. Mahboubi, and P. J. Reimer, M. Berberian. (2013); Caspian sea-level changes during the last millennium: historical and geological evidence from the south Caspian Sea, Clim. Past, 9, 1645–1665. https://doi.org/10.5194/cp-9-1645-2013

Amini, A., Moussavi, R., Lahijani, H., Mohboubi, A., (2012); Holocene Sedimentation Rate in Gorgan Bay and Adjacent Coasts in Southeast of Caspian sea, Basic and Applied Scientific Research2, (1), pp: 289-297. 10.22124/cjes.2019.3664

Berberoglu, S., Akin, A., (2009); Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 11(1), 46-53. https://doi.org/10.1016/j.jag.2008.06.002

Chen, C., Fu, J., Zhang, S., Zhao, X., Coastline information extraction based on the tasseled cap transformation of Landsat-8 OLI images, Estuarine, Coastal and Shelf Science (2018), https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.10.021

Chen, J. L., Pekker, T., Wilson, C. R., Tapley, B. D., Kostianoy, A. G., Cretaux, J. F., & Safarov, E., S., (2017); Long-term Caspian Sea level change. Geophysical Research Letters, 44 (13), 6993-7001. https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/2017GL073958

Chen, L. C., and Rau, J. Y., (1998); Detection of shoreline change for tideland area using multi-temporal satellite images. International Journal of Remote Sensing, Vol. 19, No. 17, 3383-3397. https://doi.org/10.1080/014311698214055

Ghosh, M. K., Kumar, L., Roy, C., (2015). Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 101, 137-144. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.12.009

Green, E. P., Mumby, P.J., Edwards, A. J., Clark, C. D., (Ed. A. J. Edwards), (2000); Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management. Coastal Management Sourcebooks 3, UNESCO, Paris. x + 316 pp.

Kakroodi, A., A., Kroonenberg, S., B., Hoogendoorn, R., M., Mohammadkhani, H., Yamani, M., Ghasssemi, M., R., Lahijani, H., A., K., (2012); Rapid Holocene sea-level changes along the Iranian Caspian coast, Quaternary International, 263, 93–103. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.12.007

Kakroodi, A., A., Kroonenberg, S., B., Naderi Beni, A., Noehgar, N., (2014); Short- and longterm development of the Miankaleh Spit, Southeast Caspian Sea, Iran. Journal of Coastal Research 30 (6), 1236–1242. https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00174.1

Kakroodi, A., A., Leroy, S., A., G., Kroonenberg, S., B., Lahijani, H., A., K., Alimohammadian, H., Boomer, I., Goorabi, A., (2015); Late Pleistocene and Holocene sea-level change and coastal paleoenvironment evolution along the Iranian Caspian shore, Marine Geology, 361, PP: 111-125. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.12.007

Karpychev, Yu.A., (1989); Changes in the Caspian sea-level in the Holocene according to radiocarbon date. Water Resourses, 1: 5-20.

Kroonenberg, S.B., Badyukova, E.N., Storms, J.E.A., Ignatov, E.I., & Kasimov N.S., (2000); A full sea-level cycle in 65 years: barrier dynamics along Caspian shores, Sedimentary Geology, 134, 257-274. https://doi.org/10.1016/S0037-0738(00)00048-8

Kroonenberg, S.B.; Rusakov, G.V., and Svitoch, A.A., (1997); The wandering of the Volga delta: a response to rapid Caspian sea-level changes, Sedimentary Geology, 107, 189-209. https://doi.org/10.1016/S0037-0738(96)00028-0

Lahijani, H., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V., Hosseindoost, M., 2009; Evidence for late Holocene Highstand in Central Guilan-East Mazandaran, South Caspian Coast, Quaternary International, (197), pp: 55-71. 10.1016/j.quaint.2007.10.005

Leroy, S.A.G.; Marret, F.; Gibert, E.; Chali´e, F.; Reyss, J.-L., and Arpe, K., (2007); River inflow and salinity changes in the Caspian Sea during the last 5500 years. Quaternary Science Reviews, 26, 3359–3383. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.09.012

Liu, Y., Huang, H., Qiu, Z., Fan, J., (2013). Detecting coastline change from satellite images based on beach slope estimation in a tidal flat. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation. 23, 165-176. https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.12.005

Mamedov, A., V., (1997); The late Pleistocene-Holocene history of the Caspian sea, quaternary international, (41/42), pp: 161-166. https://doi.org/10.1016/S1040-6182(96)00048-1

Mujabar, S., Chandrasekar., (2011). A shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin, India, using digital shoreline analysis system. Geo-Spatial Information Science. 14(4), 282-293.10.1007/s11806-011-0551-7

Naderi beni, Abdolmajid; Alizadeh-Lahijani, Hamid; Pourkerman, Majid; Jokar, Rahman; Djamali, Mortza; Marriner, Nick; Andrieu-Ponel, Valerie; Mousavi Harami, Reza; (2014); Late Holocene Caspian Sea Level Changes and its Impacts on Low Lying Coastal Evolution: a Multidisciplinary Case Study from South Southeastern Flank of the Caspian Sea, Journal of the Persian Gulf (Marine Science)/Vol l. 5/No. 16, PP: 27-48. http://jpg.inio.ac.ir/article-1-274-en.html

Ouma, Y.O., Tateishi, R., (2006). A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: an empirical analysis using Landsat TM and ETM+ data. International Journal of Remote Sensing. 27(15), 3153-3181. https://doi.org/10.1080/01431160500309934

Ownegh, M., (2010); Cyclic development of the Qare-Su river drainage network in response to Caspian sea level fluactuations in late Quaternary, Environmental Consequnces of the climate change, international conference, Moscow, Abstract Volume pp: 1-961.

Padmalal, D., Kumaran, K., P., N., Limaye, Ruta B., Baburaj, B., Maya, K., Mohan, S. Vishnu, (2014); Effect of Holocene climate and sea level changes on landform evolution and human habitation: Central Kerala, India, Quaternary International, 325, PP: 162-178. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.12.032

Pethick, J., 1991; An introduction to coastal geomorphology. Routledge. Chapman and Hall. Inc. Fifth impression.

Renssen, H., Lougheed, B., C., Aerts, J., C., J., H., Moel, H., de, Ward, P., J., Kwadijk, J.C.J., (2007); Simulating long-term Caspian Sea level changes: The impact of Holocene and future climate conditions, Earth and Planetary Science Letters, 261, pp: 685-693. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.07.037

Rychagov, G.I., (1997); Holocene Oscilliations of the Caspian Sea and forecasts based on paleogeographical reconstructions, Quaternary International, 41/42: 167-172. 10.1016/S1040-6182(96)00049-3
Varushchenko, S.I., Varushchenko, A.N., & Klige, R.K.,(1987); Changes in the regime of the Caspian Sea and closed basins in time. Moscow, Nauka, 240 p.

Research Article

Monitoring Coastline Changes of the SE Caspian Sea Coasts, 1977 to 2017

Reza Mansouri[1*], Mohammad Reza Sarvati[2], Manijeh Ghohroudi Tali[3]

1*. Assistant Professor of Geomorphology, University of Sistan and Baluchestan.
2. Professor of Geomorphology, Shahid Beheshti University
3. Professor of Geomorphology, Shahid Beheshti University

Received: 10-05-2020 Final Revised: 22-10-2020 Accepted: 02-11-2020

Abstract

The coastline is one of the most rapidly changing landforms of coastal areas. It changes constantly because of the rising sea level due to natural conditions and the influence of human activities. The position of coastline usually changes following the tides. Therefore, quick and accurate measurements of dynamic coastline changes are of great significance to coastal management, sea level change research, environmental protection, and sustainable coastal development. The main purpose of this study is monitoring Caspian Sea coastline changes under the influence of sea level fluctuations during the period 1977-2017. In this regard, the Landsat satellite imageries collection, Google Earth, topographic maps and fieldworks has been used in an analytical-descriptive manner. Then, making the necessary corrections on images, combining and merging the bands with each other, the best and most appropriate band composition was selected to extraction the coastline. Then, according to the rate of changes in the region's shores, 7 littoral cells were defined in the region. In the next step, the coastline position was extracted by tracking the location of the high watermark through visual and spectral separation methods and entered the database as digital layers. The coastline changes are monitored in two time periods, from 1977-1996 and 1996-2017. The results show that during the first period, erosion was the dominant process in the region. The lowest erosion rate was about 2.46 km2 in the LC2 and the highest was about 168.80 km2 in the LC5 and only about 0.0159 km2 sedimentation occurred in the LC1. But during the second period, the predominant process in the region was sedimentation. The minimum and maximum sedimentation rates were about 1.40 km2 in the LC2 and about 72.55 km2 in the LC5, respectively. During this period, only about 0.68 square kilometers of erosion occurred in the LC1.

Keywords: Caspian Sea, Sea Level, Coastline, Progradation, Retrogradation.

* Corresponding Author Email: Rezamansouri@gep.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Azarmsa, S., A., Razmkhah, F., (2006); Study of Coastline Position in Chabahar Bay Using Satellite Data, Earth Science, 15 (1), 80-87. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=107947 [In Persian]
Emadodin, Somayeh (2012); Geomorphological Evidence of base level Change in the Rivers of Southeast Caspian in the late Quaternary (Neka and Gorgan Rivers), Ph.D thesis, University of Tehran. [In Persian]
Khoshraftar, Reza (2005); The geomorphological evolution of the Sepidrood Delta in Quaternary, Ph.D thesis, University of Tehran. [In Persian]
Khoshravan, Homaun, Rohanizadeh, Somayeh, Malek, Javad, Nejadgholi, Ghasem (2011); Caspian Sea southern coasts zoning on the basis of sedimentary morphodynamic indicators, journal of earth and space physics, 37 (3), pp: 1-15. https://jesphys.ut.ac.ir/article_23598_0.html [In Persian]
Khoshravan, Homayon, Banyhashemi, Seyyedeh Masoumeh (2012); Rapid fluctuations in the Caspian Sea and morphodynamic deformation of river estuaries, 10th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures, pp: 170-176. https://civilica.com/doc/184223/ [In Persian]
Lahijani, Hamid (2004); An Introduction to Caspian Sea Characteristics, Norbakhsh Publishing. [In Persian]
Mansouri, Reza (2018); The Coastal Morphology changes in the Southeast of Caspian Sea to Integrated Coastal Zone Management (ICZM), Ph.D thesis, Shahid Beheshti University. [In Persian]

References (in English)

A. Naderi Beni, H. Lahijani, R. Mousavi Harami, K. Arpe, S. A. G. Leroy, N. Marriner V. Andrieu-Ponel, M. Djamali, A. Mahboubi, and P. J. Reimer, M. Berberian. (2013); Caspian sea-level changes during the last millennium: historical and geological evidence from the south Caspian Sea, Clim. Past, 9, 1645–1665. https://doi.org/10.5194/cp-9-1645-2013
Amini, A., Moussavi, R., Lahijani, H., Mohboubi, A., (2012); Holocene Sedimentation Rate in Gorgan Bay and Adjacent Coasts in Southeast of Caspian sea, Basic and Applied Scientific Research2, (1), pp: 289-297. 10.22124/cjes.2019.3664
Berberoglu, S., Akin, A., (2009); Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 11(1), 46-53. https://doi.org/10.1016/j.jag.2008.06.002
Chen, C., Fu, J., Zhang, S., Zhao, X., Coastline information extraction based on the tasseled cap transformation of Landsat-8 OLI images, Estuarine, Coastal and Shelf Science (2018), https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.10.021
Chen, J. L., Pekker, T., Wilson, C. R., Tapley, B. D., Kostianoy, A. G., Cretaux, J. F., & Safarov, E., S., (2017); Long-term Caspian Sea level change. Geophysical Research Letters, 44 (13), 6993-7001. https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/2017GL073958
Chen, L. C., and Rau, J. Y., (1998); Detection of shoreline change for tideland area using multi-temporal satellite images. International Journal of Remote Sensing, Vol. 19, No. 17, 3383-3397. https://doi.org/10.1080/014311698214055
Ghosh, M. K., Kumar, L., Roy, C., (2015). Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 101, 137-144. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.12.009
Green, E. P., Mumby, P.J., Edwards, A. J., Clark, C. D., (Ed. A. J. Edwards), (2000); Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management. Coastal Management Sourcebooks 3, UNESCO, Paris. x + 316 pp.
Kakroodi, A., A., Kroonenberg, S., B., Hoogendoorn, R., M., Mohammadkhani, H., Yamani, M., Ghasssemi, M., R., Lahijani, H., A., K., (2012); Rapid Holocene sea-level changes along the Iranian Caspian coast, Quaternary International, 263, 93–103. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.12.007
Kakroodi, A., A., Kroonenberg, S., B., Naderi Beni, A., Noehgar, N., (2014); Short- and longterm development of the Miankaleh Spit, Southeast Caspian Sea, Iran. Journal of Coastal Research 30 (6), 1236–1242. https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00174.1
Kakroodi, A., A., Leroy, S., A., G., Kroonenberg, S., B., Lahijani, H., A., K., Alimohammadian, H., Boomer, I., Goorabi, A., (2015); Late Pleistocene and Holocene sea-level change and coastal paleoenvironment evolution along the Iranian Caspian shore, Marine Geology, 361, PP: 111-125. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.12.007
Karpychev, Yu.A., (1989); Changes in the Caspian sea-level in the Holocene according to radiocarbon date. Water Resourses, 1: 5-20.
Kroonenberg, S.B., Badyukova, E.N., Storms, J.E.A., Ignatov, E.I., & Kasimov N.S., (2000); A full sea-level cycle in 65 years: barrier dynamics along Caspian shores, Sedimentary Geology, 134, 257-274. https://doi.org/10.1016/S0037-0738(00)00048-8
Kroonenberg, S.B.; Rusakov, G.V., and Svitoch, A.A., (1997); The wandering of the Volga delta: a response to rapid Caspian sea-level changes, Sedimentary Geology, 107, 189-209. https://doi.org/10.1016/S0037-0738(96)00028-0
Lahijani, H., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V., Hosseindoost, M., 2009; Evidence for late Holocene Highstand in Central Guilan-East Mazandaran, South Caspian Coast, Quaternary International, (197), pp: 55-71. 10.1016/j.quaint.2007.10.005
Leroy, S.A.G.; Marret, F.; Gibert, E.; Chali´e, F.; Reyss, J.-L., and Arpe, K., (2007); River inflow and salinity changes in the Caspian Sea during the last 5500 years. Quaternary Science Reviews, 26, 3359–3383. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.09.012

Liu, Y., Huang, H., Qiu, Z., Fan, J., (2013). Detecting coastline change from satellite images based on beach slope estimation in a tidal flat. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation. 23, 165-176. https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.12.005

Mamedov, A., V., (1997); The late Pleistocene-Holocene history of the Caspian sea, quaternary international, (41/42), pp: 161-166. https://doi.org/10.1016/S1040-6182(96)00048-1

Mujabar, S., Chandrasekar., (2011). A shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin, India, using digital shoreline analysis system. Geo-Spatial Information Science. 14(4), 282-293.10.1007/s11806-011-0551-7

Naderi beni, Abdolmajid; Alizadeh-Lahijani, Hamid; Pourkerman, Majid; Jokar, Rahman; Djamali, Mortza; Marriner, Nick; Andrieu-Ponel, Valerie; Mousavi Harami, Reza; (2014); Late Holocene Caspian Sea Level Changes and its Impacts on Low Lying Coastal Evolution: a Multidisciplinary Case Study from South Southeastern Flank of the Caspian Sea, Journal of the Persian Gulf (Marine Science)/Vol l. 5/No. 16, PP: 27-48. http://jpg.inio.ac.ir/article-1-274-en.html

Ouma, Y.O., Tateishi, R., (2006). A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: an empirical analysis using Landsat TM and ETM+ data. International Journal of Remote Sensing. 27(15), 3153-3181. https://doi.org/10.1080/01431160500309934

Ownegh, M., (2010); Cyclic development of the Qare-Su river drainage network in response to Caspian sea level fluactuations in late Quaternary, Environmental Consequnces of the climate change, international conference, Moscow, Abstract Volume pp: 1-961.

Padmalal, D., Kumaran, K., P., N., Limaye, Ruta B., Baburaj, B., Maya, K., Mohan, S. Vishnu, (2014); Effect of Holocene climate and sea level changes on landform evolution and human habitation: Central Kerala, India, Quaternary International, 325, PP: 162-178. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.12.032

Pethick, J., 1991; An introduction to coastal geomorphology. Routledge. Chapman and Hall. Inc. Fifth impression.

Renssen, H., Lougheed, B., C., Aerts, J., C., J., H., Moel, H., de, Ward, P., J., Kwadijk, J.C.J., (2007); Simulating long-term Caspian Sea level changes: The impact of Holocene and future climate conditions, Earth and Planetary Science Letters, 261, pp: 685-693. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.07.037

Rychagov, G.I., (1997); Holocene Oscilliations of the Caspian Sea and forecasts based on paleogeographical reconstructions, Quaternary International, 41/42: 167-172. 10.1016/S1040-6182(96)00049-3

Varushchenko, S.I., Varushchenko, A.N., & Klige, R.K.,(1987); Changes in the regime of the Caspian Sea and closed basins in time. Moscow, Nauka, 240 p.