

ارزیابی تغییرات سواحل جنوبی استان خوزستان با استفاده از مدل LCM

محمدجواد بهمنی؛ کارشناس ارشد، مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

خلیل رضایی*؛ استادیار، گروه آموزشی زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران

عبدالرضا هاشمی؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، رسوب‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۱

چکیده

خطوط ساحلی از مناطقی هستند که حساسیت بالایی در برابر فرسایش و رسوب‌گذاری دارند. خطوط ساحلی همواره مورد توجه کاربری‌های انسانی قرار دارند. ولی با توجه به پتانسیل تغییرپذیری بالایی که دارند در معرض مخاطرات هستند. از مخاطرات رایج مناطق ساحلی پس‌روی و پیش‌روی خطوط ساحلی است. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به بررسی تغییرات خطوط ساحلی جنوب استان خوزستان پرداخته شد. در این پژوهش به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM، تصاویر ماهواره‌ای لندست، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ به عنوان داده‌های تحقیق استفاده شد. ابزار مورد استفاده Arc GIS، ENVI، IDRISI بود. روش کار در این تحقیق به این صورت بود که ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ تهیه و پیش‌پردازش‌های لازم بر آن‌ها انجام گرفت. پس از آن نقشه‌های پوشش زمین طی دوره‌های زمانی مورد مطالعه تهیه شد. سپس با استفاده از مدل LCM روند تغییرات خط ساحلی منطقه ارزیابی شد. بر اساس نتایج حاصله، خط ساحلی جنوب خوزستان با تغییرات زیادی مواجه شده است؛ طوری که طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ حدود ۷۰۷ کیلومتر مربع از خشکی‌های منطقه مورد مطالعه به پهنه آبی تبدیل شده که عمدتاً مربوط به فرسایش نوارهای ماسه‌ای و همچنین پیش‌روی دریا بوده است. همچنین، در این دوره حدود ۱۴/۵ کیلومتر مربع از پهنه آبی به خشکی تبدیل شده است. کلیدواژگان: تصاویر لندست، تغییرات ساحلی، ساحل خوزستان، مدل LCM.

مقدمه

مناطق ساحلی از مناطق بسیار متنوع و پویا و پیچیده جهان هستند و با توجه به تغییرپذیری بالایی که دارند نیازمند پایش‌های دقیق و نظارت‌شده‌اند (چلبی^۱ ۲۰۰۶). یکی از تغییرات مهمی که در سواحل رخ می‌دهد تغییرات خطوط ساحلی است که می‌تواند موجب تغییرات قابل توجه به عوارض زمین‌شناسی و زیرساخت‌های ساحلی شود (مارگانی^۲ ۲۰۱۳). مناطق ساحلی از نظر زیست‌محیطی نیز بسیار مهم و دارای اکوسیستم‌های حساس‌اند (کورشی‌نیا ۱۳۸۹). سواحل، به دلیل کاربری‌های متعدد انسانی، همواره به مثابه یک منطقه کشش و تضاد خودنمایی می‌کنند (هوک ۱۳۸۵)؛ طوری که حدود ۷۰ درصد از سواحل جهان تحت تأثیر فرسایش ساحلی قرار دارند و میل به پس‌روی دارند (برید^۳ ۱۹۹۶). تغییر در خط ساحلی در اثر عواملی چون امواج، جزر و مد، طوفان‌های دوره‌ای، تغییر سطح دریا، فرایندهای فرسایش ساحلی،

Khalil.rezaei@khu.ac.ir

* رایانامه نویسنده مسئول:

1. Chalabi
2. Marghany
3. Brid

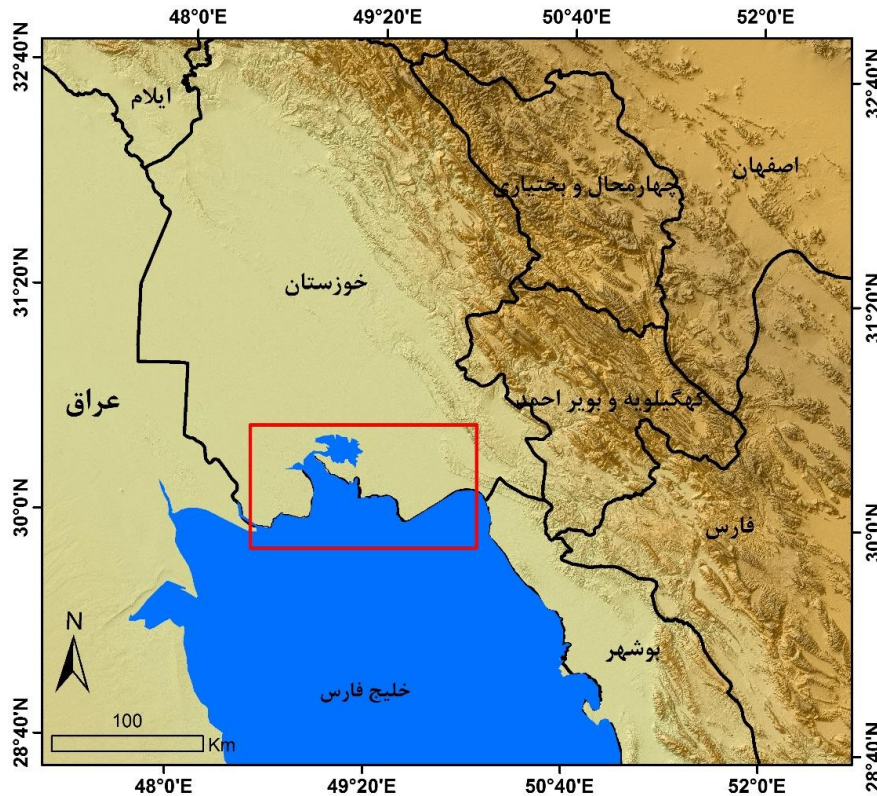
جابه‌جایی و تغییر مسیر رودخانه‌ها، رسوب‌گذاری، و فعالیت‌های انسانی است (کرون^۱ و همکاران ۲۰۰۷). اهمیت سواحل باعث شده محققان درباره تغییرات ساحلی تحقیقات مهمی انجام دهند که از آن‌ها می‌توان به ماکوتا^۲ و همکارانش (۲۰۰۴) اشاره کرد که به بررسی تغییرات خط ساحلی در خطوط ساحلی کونداجی طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۲ پرداختند. چالابی^۳ و همکارانش (۲۰۰۶) تغییرات خط ساحلی منطقه کالاترنگانو در کشور مالزی را طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۶ بررسی کردند. لی^۴ (۲۰۱۱) تغییرات خط ساحلی مناطق دلتایی رودخانه زرد در چین را مطالعه کرد. چنتامنیسلوان^۵ و همکارانش (۲۰۱۳) به بررسی تغییرات خط ساحلی کارنتاکای هند با استفاده از تکنیک‌های GIS و سنجش از دور پرداختند. یوسال^۶ و همکارانش (۲۰۱۸) تغییرات خط ساحلی شمال غرب ترکیه را طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۶ ارزیابی کردند. کالتر^۷ و ایتایا (۲۰۲۰) به بررسی تغییرات خط ساحلی اندونزی طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ پرداختند. در ایران نیز غلام‌علی‌فرد و همکارانش (۱۳۹۳) تغییرات سواحل میانی استان بوشهر را بررسی کردند. احمدی و همکارانش (۱۳۹۳) به بررسی روند تغییرات خط ساحلی در بندر دیر استان بوشهر با استفاده از سنجش از دور پرداختند. لرستانی و همکارانش (۱۳۹۴) میزان تغییرات خط ساحلی دریای خزر را در مصب رودخانه‌های هراز بررسی کردند. نگهبان و همکارانش (۱۳۹۵) تغییرات خط ساحلی چابهار تا بندر تنگ را مطالعه کردند. شایان و ولی (۱۳۹۹) به ارزیابی روند تغییرات پوشش زمین در نوار ساحلی عسلویه- شیرینو با استفاده از مدل LCM پرداختند. با توجه به متغیر بودن خط ساحلی، یکی از موضوعات مهم مدیریت سواحل دنیا حفاظت از سواحل در مقابل اثر سوء برخی پدیده‌های طبیعی و انسانی است که شدیدترین نوع این پدیده‌ها فرسایش و رسوب‌گذاری در امتداد سواحل است. یکی از سواحل که در معرض تغییر قرار دارد سواحل جنوبی استان خوزستان است. این سواحل، به دلیل مورفولوژی خاصی که دارند، طی دوره‌های کوتاه‌مدت با پس‌روی و پیش‌روی قابل توجهی همراه‌اند که سبب شده کاربری‌های انسان‌ساخت در این سواحل در معرض خطر باشد. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به بررسی تغییرات خط ساحلی جنوب استان خوزستان با استفاده از روش‌های سنجش از دور پرداخته شد. هم‌سو با تحقیقات صورت‌گرفته، هدف از تحقیق حاضر ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی سواحل جنوبی استان خوزستان بود.

محدوده مورد مطالعه

استان خوزستان در ناحیه غرب- جنوب غرب کشور بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این استان از سمت شمال و شمال غرب به استان‌های لرستان و ایلام، از سمت غرب به کشور عراق، از سمت شرق به استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، و از سمت جنوب به استان بوشهر و خلیج فارس محدود می‌شود (شکل ۱). استان خوزستان، با داشتن ۹۲۷

1. Kroon
2. Makota
3. Chalabi
4. Li
5. Chenthamiselvan
6. Uysal
7. Kalthar

کیلومتر مرز خاکی و ۹۷۵ کیلومتر مرز آبی، به ترتیب ۱۳۶ و ۶۳۲ درصد از کل مرزهای خاکی و آبی کشور را به خود اختصاص داده است (گزارش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ۱۳۹۵). این ارقام معادل ۶۳۵ درصد از کل مرزهای آبی و خاکی کشور است و استان خوزستان از این لحاظ در جایگاه ششم بین استان‌های مرزی کشور قرار دارد.



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر، از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM، تصاویر ماهواره‌ای لندست، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ به عنوان داده‌های تحقیق استفاده شد. ابزار مورد استفاده Arc GIS (به منظور تهیه نقشه‌های مورد نظر و خروجی گرفتن از نتایج حاصله)، ENVI (به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی)، و IDRISI (به منظور تحلیل تغییرات کاربری اراضی و همچنین اجرای مدل LCM) بود. این تحقیق در چند مرحله انجام شد که در ادامه تشریح می‌شود.

مرحله اول: تهیه تصاویر

در این تحقیق، به منظور تهیه نقشه پوشش زمین محدوده مطالعاتی طی دوره‌های زمانی مورد مطالعه، از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای لندست مورد استفاده در این تحقیق مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و

۲۰۲۰ بود. به منظور تهیه نقشه پوشش زمین در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ از تصاویر ماهواره لندست ۵، برای تهیه نقشه پوشش زمین در سال ۲۰۱۰ از تصاویر ماهواره لندست ۷، و برای تهیه نقشه پوشش زمین در سال‌ها ۲۰۲۰ از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شد (جدول ۱). گفتنی است به منظور قابل مقایسه شدن پوشش‌های زمین همه تصاویر مورد نظر مربوط به ماه ژوئن است و همچنین با توجه به اینکه خط ساحلی مورد مطالعه در دو تصویر قرار می‌گرفت برای هر دوره زمانی از دو تصویر کنار هم استفاده شد و این تصاویر موزاییک شدند.

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورد استفاده

ردیف	تاریخ	ماهواره	سنجنده
۱	۱۹۹۰/۰۶/۱۵	لندست ۵	TM
۲	۲۰۰۰/۰۶/۰۸	لندست ۵	TM
۳	۲۰۱۰/۰۶/۱۶	لندست ۷	ETM
۴	۲۰۲۰/۰۶/۲۲	لندست ۸	OLI

مرحله دوم: پیش‌پردازش تصاویر

قبل از تهیه نقشه‌های پوشش زمین، به منظور افزایش دقت کار، پیش‌پردازش‌های لازم روی تصاویر اعمال شد. مرحله پیش‌پردازش داده‌ها یکی از مهم‌ترین مراحل در پردازش تصاویر است. نوع و نحوه انجام دادن این عملیات، با توجه به عوامل مختلف، مانند نوع داده‌های مورد استفاده و هدف تحقیق، متغیر است. به طور کلی پیش‌پردازش داده‌ها شامل دو مرحله کلی تصحیحات رادیومتریک و تصحیحات هندسی است. خطاهای هندسی مربوط به موقعیت پدیده یا پیکسل‌ها در تصویر نسبت به دیگر پدیده‌ها و موقعیت مطلق آن و خطای رادیومتریک مربوط به میزان بازتاب ثبت شده در تصویر است (ناطق و همکاران ۱۳۹۶: ۷۸۲). برای بررسی وضعیت هندسی تصاویر و اطمینان از مناسب بودن هندسه تصاویر لایه‌های برداری جاده‌های منطقه مورد مطالعه استخراج و روی تصاویر ماهواره‌ای قرار داده شد. با توجه به اهمیت پیش‌پردازش‌های یادشده، این پیش‌پردازش‌ها روی تصاویر اعمال شد. گفتنی است برای تصاویر مربوط به لندست ۷، قبل از تصحیحات هندسی و رادیومتریک، ابتدا نوار راه‌راه موجود روی تصاویر با استفاده از افزونه Gap fill در نرم‌افزار ENVI 5/3 رفع شد.

مرحله سوم: تهیه نقشه‌های پوشش زمین

پس از پیش‌پردازش تصاویر، نقشه‌های پوشش زمین منطقه مورد مطالعه تهیه شد. از آنجا که تفکیک و شناسایی پدیده‌ها به لحاظ رنگ نتایج بهتری ارائه می‌دهد، اما نمایش داده‌های حاصل از اسکنرها در تک‌باندها با استفاده از گام‌های خاکستری است (کوهی^۱ و موریاما ۲۰۱۰)، تصویر رنگی کاذب تهیه شد. به منظور تهیه تصاویر رنگی کاذب برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ از ترکیب (3- G:2-B:1R:) و برای سال ۲۰۲۰ از ترکیب (4- G:3-B:2R:) استفاده

1. Khoi

شد. همچنین روش طبقه‌بندی نظارت‌شده برای تهیه نقشه‌های پوشش زمین به کار رفت. از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر احتمال^۱ تا کنون دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین روش شناخته شده است. در روش یادشده فرض بر این است که همه مناطق آموزشی پراکنش نرمال دارند. در حقیقت، نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند. بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره پیوسته قرار گیرد. بنابراین، شرط توزیع نرمال و تصادفی بودن نمونه‌های تعلیمی در روش بیشترین احتمال اهمیت خاصی دارد (فاطمی و رضایی ۱۳۸۴). با توجه به دقت بالای روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، از این روش برای طبقه‌بندی پوشش زمین در دوره‌های زمانی مورد مطالعه استفاده شد. اولین گام در انجام دادن یک طبقه‌بندی نظارت‌شده تعریف مناطقی است که به مثابه نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس استفاده می‌شوند (استمن^۲ ۲۰۰۶). نمونه‌های تعلیمی برای محدوده مطالعاتی در چهار کلاس مناطق انسان‌ساخت (شامل نواحی سکونتگاهی، زیرساخت‌ها، تأسیسات)، پوشش گیاهی، توده ماسه‌ای و مراتع و پهنه آبی تعریف شد. پس از تعریف نمونه‌های تعلیمی، نمونه‌های تعلیمی به شیوه رقومی کردن روی صفحه تولید و تفکیک شدند. با تعیین نمونه‌های تعلیمی با استفاده از روش حداکثر احتمال، نقشه‌های پوشش زمین محدوده مورد مطالعه برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ تهیه شد.

مرحله چهارم: آنالیز تغییرات خط ساحلی):

به منظور آنالیز و تجزیه و تحلیل تغییرات، از مدل LCM^۳ استفاده شد. این مدل به دو ورودی برای مقایسه کردن نیاز دارد. بدین منظور از نقشه‌های پوشش زمین مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ استفاده شد. پس از وارد کردن اطلاعات، میزان تغییرات پوشش زمین و همچنین تغییرات خط ساحلی محدوده مطالعاتی ارزیابی شد.

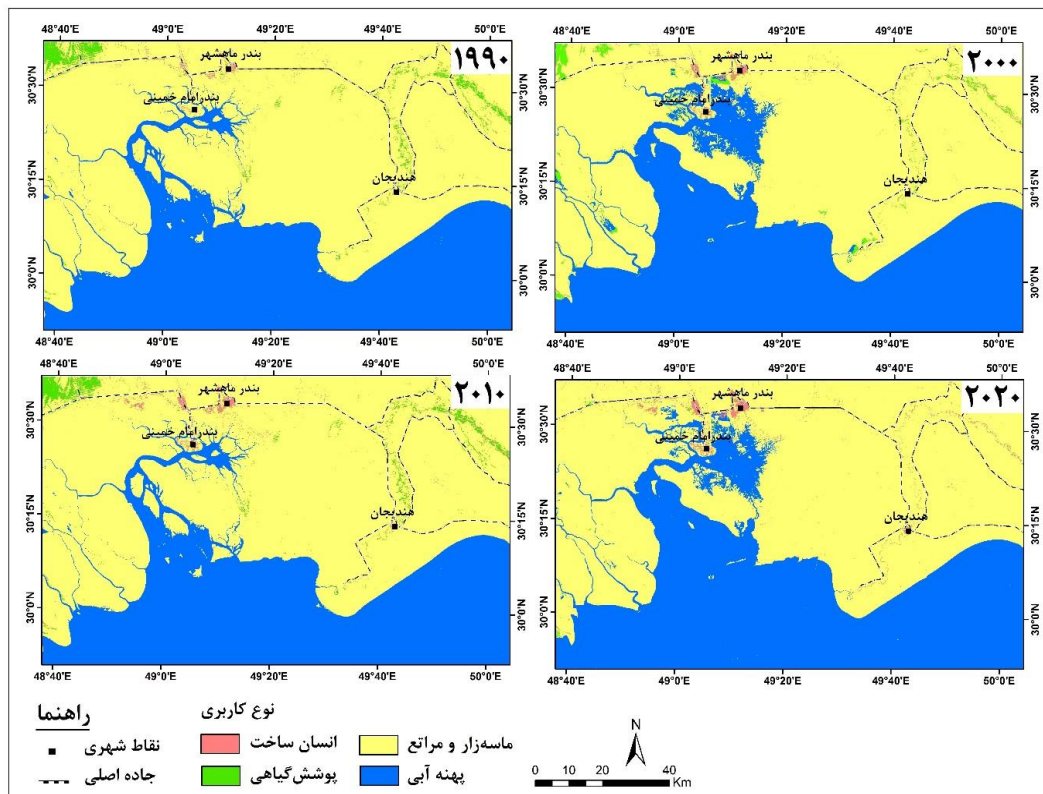
یافته‌های پژوهشی

خطوط ساحلی از مناطقی است که همواره مورد توجه برنامه‌ریزان جهت اهداف مختلف قرار می‌گیرد. بنابراین توجه به تغییرات مکانی و زمانی این خطوط بسیار حائز اهمیت است. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش، پس از تهیه نقشه‌های پوشش زمین طی دوره‌های زمانی مورد مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار IDRISI و مدل LCM، به تحلیل زمانی و مکانی تغییرات خط ساحلی در منطقه مورد مطالعه پرداخته شد.

تهیه نقشه‌های پوشش زمین

در این پژوهش، به منظور ارزیابی تغییرات خط ساحلی در منطقه مورد مطالعه، ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست نقشه‌های پوشش زمین، طی سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰، تهیه شد (شکل ۲).

1. maximum likelihood
2. Eastman
3. land change modeler



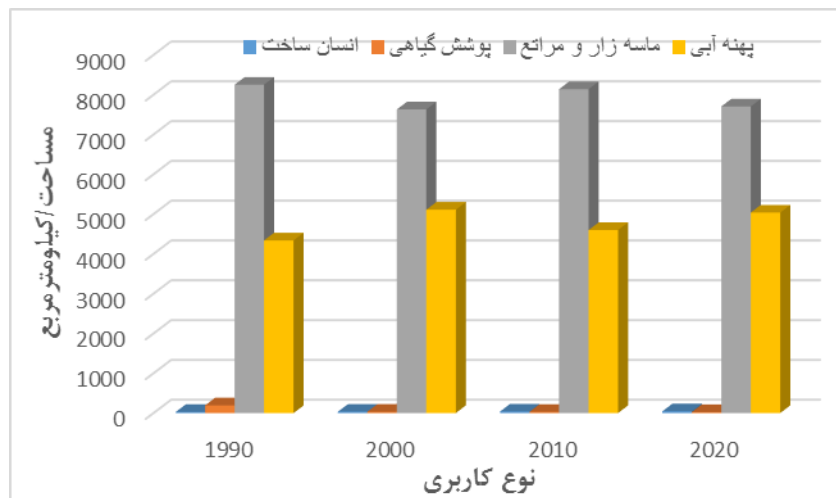
شکل ۲. نقشه‌های پوشش زمین منطقه طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰

بررسی نقشه‌های پوشش زمین در منطقه مورد مطالعه بیانگر تغییرپذیری بالای منطقه است. در واقع، بررسی‌ها بیانگر این است که پوشش زمین طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ تغییرات زیادی کرده است. بر اساس نتایج، نواحی انسان‌ساخت طی دوره زمانی مورد مطالعه روند افزایشی داشته است؛ طوری که این نواحی در سال ۱۹۹۰ حدود ۲۶/۹ کیلومتر مربع وسعت داشته و این میزان در سال ۲۰۲۰ به ۴۳/۴۶ کیلومتر مربع افزایش یافته است. این موضوع بیانگر آن است که به موازات رشد جمعیت در منطقه پوشش نواحی انسان‌ساخت نیز افزایش یافته است که بر اساس نقشه‌های تهیه‌شده بیشترین روند افزایشی این نواحی در مجاورت شهرهای بندر امام خمینی و بندر ماهشهر و همچنین هندیجان بوده است. بررسی‌ها بیانگر آن است که پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ روند کاهشی داشته است. بر اساس نتایج، در سال ۱۹۹۰ پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه ۱۹۲/۸۳ کیلومتر مربع بوده است که این میزان با کاهش زیادی مواجه شده است؛ طوری که در سال ۲۰۲۰ مساحت پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه به ۲۲/۷۹ کیلومتر مربع رسیده است. بررسی‌ها بیانگر آن است که دلیل اصلی کاهش پوشش گیاهی در منطقه عوامل اقلیمی و انسانی بوده است. ماسه‌زارها و مراتع نسبت به سایر پوشش‌های زمین بیشترین تغییر را کرده‌اند. در واقع خط ساحلی جنوب خوزستان، با توجه به وضعیت ژئومورفولوژی آن، تغییرات زیادی کرده است. ماسه‌های ساحلی، که ناشی از رسوب‌گذاری رودخانه‌های منطقه است، طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، با پس‌روی و پیش‌روی دریا مواجه شده‌اند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، ماسه‌زارها در سال ۱۹۹۰ حدود ۸۲۴۹ کیلومتر مربع وسعت داشته‌اند

که این میزان در سال ۲۰۰۰ به حدود ۷۶۳۰ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرده است. بررسی تغییرات صورت گرفته نشان می‌دهد پیش‌روی دریا بیشترین نقش را در این روند کاهشی داشته است. در سال ۲۰۱۰ وسعت ماسه‌زارها به حدود ۸۱۴۹ کیلومتر مربع افزایش یافته که پس‌روی دریا بیشترین نقش را در این روند کاهشی داشته است. همچنین در سال ۲۰۲۰ به حدود ۷۷۰۵ کیلومتر مربع کاهش یافته که در این دوره نیز پیش‌روی دریا نقش مؤثری در این روند کاهشی داشته است. با توجه به آنچه بیان شد، ماسه‌زارهای خط ساحلی جنوب خوزستان، به دلیل ارتفاع کم و وضعیت ژئومورفولوژی آن، با تغییرات زیادی مواجه شده است. پهنه آبی منطقه مورد مطالعه نیز تغییراتی کرده است. در واقع این پهنه تحت تأثیر فرسایش و رسوب‌گذاری خط ساحلی و همچنین پیش‌روی و پس‌روی دریا بوده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، پهنه آبی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۹۰ حدود ۴۳۳۹ کیلومتر مربع وسعت داشته است که این میزان در سال ۲۰۰۰ به حدود ۵۱۱۰ کیلومتر مربع افزایش یافته است. علت اصلی این افزایش پیش‌روی آب دریا بوده است. این میزان در سال ۲۰۱۰ به حدود ۴۶۰۰ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرده است که علت اصلی آن رسوب‌گذاری و پس‌روی دریا بوده است. همچنین، این پهنه در سال ۲۰۲۰ به ۵۰۳۸ کیلومتر مربع افزایش یافته است که علت اصلی آن پس‌روی دریا بوده است. بررسی تغییرات صورت‌گرفته بیانگر آن است که خط ساحلی جنوب استان خوزستان با تغییرات زیادی همراه است. در واقع تحت تأثیر عوامل مختلف فرسایش و رسوب‌گذاری و پیش‌روی و پس‌روی دریا و همچنین دخالت عوامل انسانی این خطوط در معرض تغییرات زیادی قرار دارند. در جدول ۲ و شکل ۳ مساحت پوشش‌های زمین منطقه طی دوره‌های زمانی مورد مطالعه قابل مشاهده است.

جدول ۲. مساحت پوشش‌های زمین منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ (کیلومتر مربع)

نوع کاربری	۱۹۹۰	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۰
انسان ساخت	۲۶/۸۹	۳۴/۱	۳۸/۲	۴۳/۴۶
پوشش گیاهی	۱۹۲/۸۳	۳۳/۴۲	۳۰/۵۱	۲۲/۷۹
ماسه‌زار و مراتع	۸۲۴۹/۹۳	۷۶۳۰/۹۷	۸۱۳۹/۹۶	۷۷۰۴/۸۲
پهنه آبی	۴۳۳۸/۹۶	۵۱۱۰/۴۹	۴۵۹۹/۸۴	۵۰۳۷/۵۴



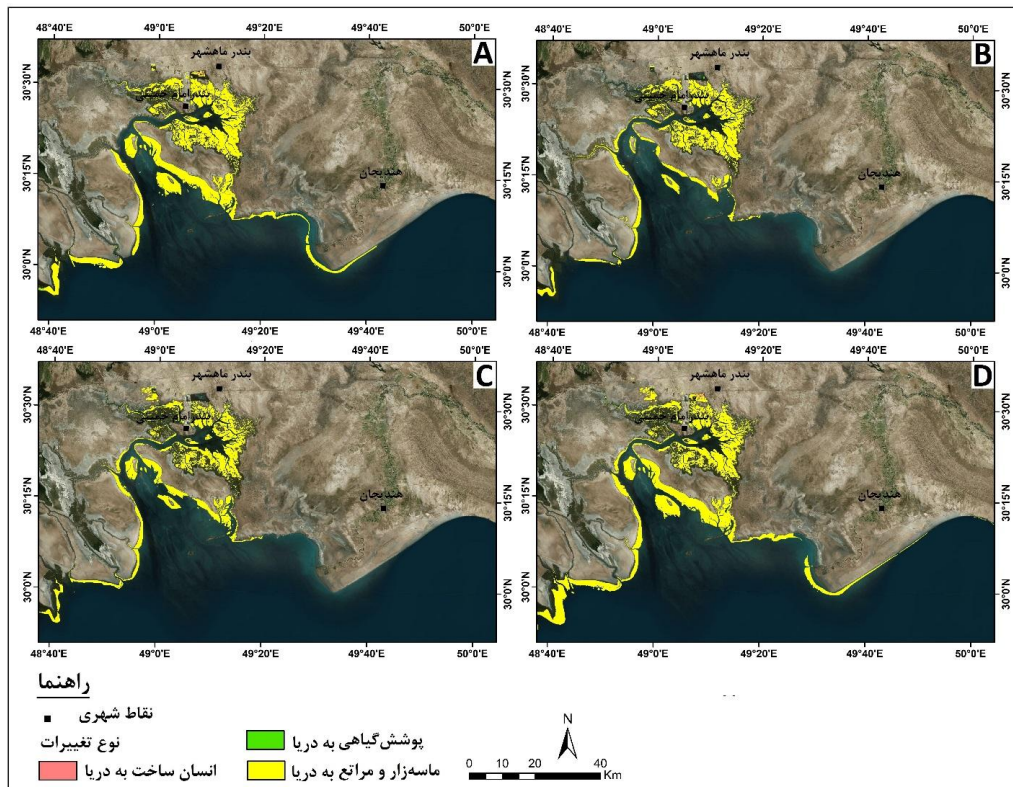
شکل ۳. نمودار مساحت پوشش زمین منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ (کیلومتر مربع)

ارزیابی تغییرات خط ساحلی طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰

آنالیز زمانی و مکانی تغییرات طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ بیانگر آن بود که خطوط ساحلی منطقه مورد مطالعه تغییرات بسیاری را پشت سر گذاشته است (جدول ۳). بررسی‌ها نشان داد در این دوره سی‌ساله، با توجه به اینکه خطوط ساحلی منطقه مورد مطالعه عمدتاً از نوارهای ماسه‌ای تشکیل شده است این خطوط با نوسانات و تغییرات زیادی مواجه بوده است. بر اساس نتایج، طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ میزان ۷۷۸ کیلومتر مربع از خشکی‌ها به پهنه آبی تبدیل شده است. بررسی‌ها بیانگر آن است که از این میزان ۷۷۵/۵ کیلومتر مربع مربوط به تبدیل ماسه‌زارها به دریا بوده است. در واقع، تحت تأثیر پیش‌روی دریا، ماسه‌زارهای خط ساحلی منطقه مورد مطالعه زیر آب رفته و در نتیجه مساحت پهنه آبی در این دوره به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده ۲/۴ کیلومتر از پوشش گیاهی و ۰/۲ کیلومتر از کاربری انسان ساخت منطقه به پهنه آبی تبدیل شده است. در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، در مجموع ۱۲۵/۷ کیلومتر مربع از خشکی به پهنه آبی تبدیل شده است که ۱۲۰/۴ کیلومتر مربع از آن مربوط به تبدیل ماسه‌زار به دریا بوده است. در واقع پیش‌روی دریا به سمت ماسه‌زار عامل اصلی آن بوده است. در این دوره ۵/۱ کیلومتر مربع از پوشش گیاهی و ۰/۲ کیلومتر مربع از مناطق انسان ساخت به پهنه آبی تبدیل شده است که عامل اصلی آن فرسایش نواحی ساحلی و همچنین پیش‌روی دریا به سمت خشکی بوده است. طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ در مجموع ۵۵۹/۵ کیلومتر مربع از خشکی به دریا تبدیل شده است که از این میزان ۵۵۹/۳ کیلومتر مربع مربوط به تبدیل ماسه‌زار به دریا بوده است. عامل اصلی این تغییر فرسایش خط ساحلی و پیش‌روی دریا بوده است. در این دوره حدود ۰/۱ کیلومتر مربع از پوشش گیاهی و ۰/۱ کیلومتر مربع از نواحی انسان ساخت نیز به پهنه آبی تبدیل شده است. همچنین طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ حدود ۷۰۷ کیلومتر مربع از خشکی‌های منطقه مورد مطالعه به پهنه آبی تبدیل شده است که عمدتاً مربوط به فرسایش نوارهای ماسه‌ای و همچنین پیش‌روی دریا بوده است. در این دوره ۱/۶ کیلومتر مربع از پوشش گیاهی و ۱/۱ کیلومتر مربع از نواحی انسان ساخت به پهنه آبی تبدیل شده است (شکل ۴).

جدول ۳. مساحت تغییرات پوشش زمین به دریا طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ بر حسب کیلومتر مربع

نوع تغییر	۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰	۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰	۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰	۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰
ماسه‌زار به دریا	۷۷۵/۵	۱۲۰/۴	۵۵۹/۳	۷۰۷/۱
پوشش گیاهی به دریا	۲/۴	۵/۱	۰/۱	۱/۶
انسان ساخت	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱/۱
مجموع	۷۷۸	۱۲۵/۶	۵۵۹/۵	۷۰۹/۸



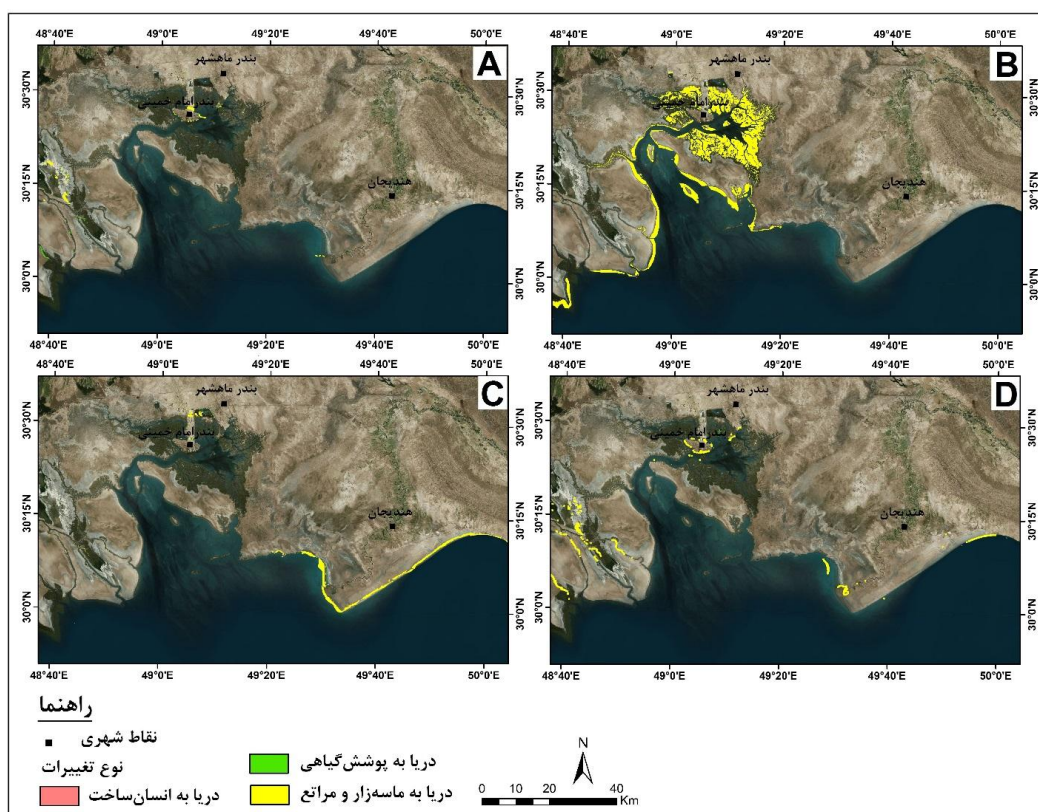
شکل ۴. تغییرات سایر پوشش‌های زمین به پهنه آبی: (A: ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰؛ B: ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰؛ C: ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰؛ D) ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰

نتایج ارزیابی تغییرات پهنه آبی به پوشش زمین بیانگر این است که طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ حدود ۹/۵ کیلومتر مربع از پهنه آبی به خشکی تبدیل شده است. بر اساس نتایج حاصله از میزان حدود ۸/۶ کیلومتر مربع پهنه آبی به پهنه ماسه‌ای تبدیل شده است که علت اصلی آن رسوب‌گذاری و حرکت توده‌های ماسه‌ای به سمت پهنه آبی بوده است. در این دوره حدود ۰/۸ کیلومتر مربع از پهنه آبی به پوشش گیاهی و حدود ۰/۱ کیلومتر مربع به کاربری انسان‌ساخت تبدیل شده است. طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ حدود ۶۳۷/۴ کیلومتر مربع از پهنه آبی به خشکی تبدیل شده است. بر اساس نتایج حاصله از میزان حدود ۶۳۷/۱ کیلومتر مربع از پهنه آبی به پهنه ماسه‌ای تبدیل شده است که علت اصلی آن رسوب‌گذاری و حرکت توده‌های ماسه‌ای به سمت پهنه آبی بوده است. در این دوره حدود ۰/۱ کیلومتر مربع از پهنه آبی به پوشش گیاهی و حدود ۰/۲ کیلومتر مربع به کاربری انسان‌ساخت تبدیل شده است. در این دوره حدود ۱۳۰/۵ کیلومتر مربع از پهنه آبی به خشکی تبدیل شده است. بر اساس نتایج حاصله از میزان حدود ۱۲۹/۴ کیلومتر مربع پهنه آبی به پهنه ماسه‌ای تبدیل شده است که علت اصلی آن رسوب‌گذاری و حرکت توده‌های ماسه‌ای به سمت پهنه آبی بوده است. در این دوره حدود ۱ کیلومتر مربع از پهنه آبی به پوشش گیاهی و حدود ۰/۱ کیلومتر مربع به کاربری انسان‌ساخت تبدیل شده است. همچنین طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ حدود ۱۴/۵ کیلومتر مربع از پهنه آبی به خشکی تبدیل شده است. بر اساس نتایج حاصله از میزان حدود ۱۲/۳ کیلومتر پهنه آبی به پهنه ماسه‌ای تبدیل شده است که علت اصلی آن

رسوب‌گذاری و حرکت توده‌های ماسه‌ای به سمت په‌نه‌ آبی بوده است. در این دوره حدود ۱/۲ کیلومتر مربع از په‌نه‌ آبی به پوشش گیاهی و حدود ۱ کیلومتر مربع به کاربری انسان‌ساخت تبدیل شده است (جدول ۴ و شکل ۵).

جدول ۴. مساحت تغییرات دریا به پوشش زمین طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ بر حسب کیلومتر مربع

نوع تغییر	۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰	۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰	۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰
دریا به ماسه‌زار	۸/۶	۱۲۹/۴	۱۲/۳
دریا به پوشش گیاهی	۰/۸	۱	۱/۲
دریا به انسان‌ساخت	۰/۱	۰/۱	۱
مجموع	۹/۵	۱۳۰/۵	۱۴/۵

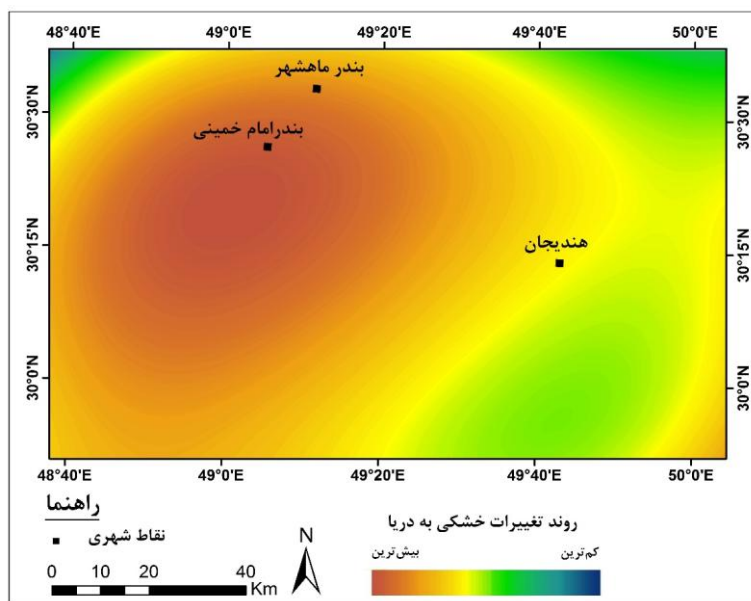


شکل ۵. تغییرات په‌نه‌ آبی به سایر پوشش‌های زمین: (A: ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰؛ B: ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰؛ C: ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰؛ D) ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰

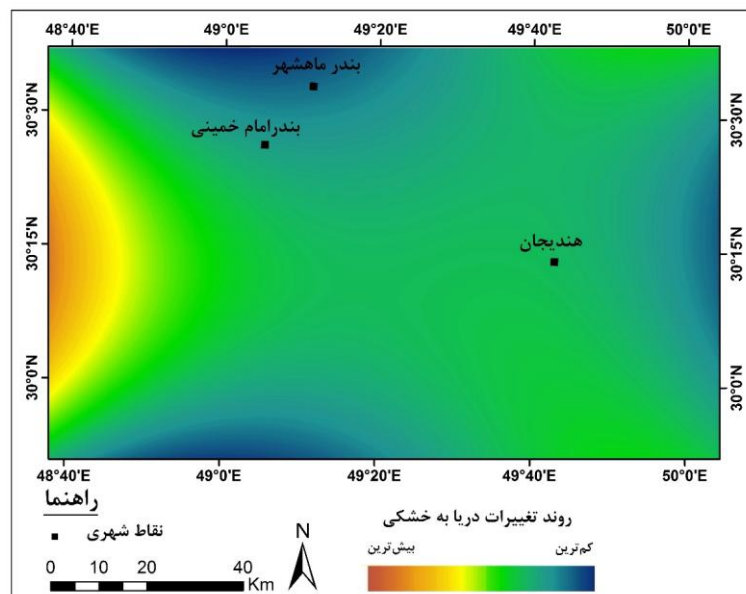
آنالیز روند تغییرات خط ساحلی منطقه مورد مطالعه

در این بخش به منظور بررسی روند مکانی تغییرات صورت‌گرفته از مدل LCM استفاده شد و روند مکانی تغییرات خشکی به دریا و دریا به خشکی طی دوره‌های زمانی مورد مطالعه ارزیابی شد. ارزیابی روند تغییرات خط ساحلی منطقه مورد مطالعه بیانگر آن است که بیشترین میزان تغییرات صورت‌گرفته در سواحل جنوبی بندر امام‌خیمینی بوده است. در واقع در

این مناطق به دلیل وجود نوارهای ماسه‌ای با ارتفاع خیلی کم و پیش‌روی و پس‌روی دریا تغییرات زیادی صورت گرفته است. در شکل ۶ و ۷، به ترتیب، نقشه روند تغییرات خشکی به دریا و دریا به خشکی طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، بیشترین میزان تبدیل خشکی به دریا در مناطق جنوبی بندر امام خمینی بوده است و به سمت اطراف از میزان تغییرات کاسته شده است. همچنین بیشترین میزان تبدیل دریا به خشکی نیز در بخش‌های جنوب غربی ساحل خوزستان و نزدیک مرز عراق صورت گرفته است که عامل اصلی آن رسوب‌گذاری بوده است.



شکل ۶. نقشه روند مکانی تغییرات خشکی به دریا طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰



شکل ۷. نقشه روند مکانی تغییرات دریا به خشکی طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰

بحث

یکی از مناطق ناپایدار از نظر ژئومورفولوژی خطوط ساحلی است. خطوط ساحلی تحت تأثیر عوامل مختلف همواره در حال تغییر است. تغییرپذیری خطوط ساحلی می‌تواند متأثر از عوامل مختلف طبیعی و انسانی باشد. در بسیاری از سواحل، تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی، خطوط ساحلی به سمت دریا پیش‌روی می‌کند؛ مناطق زیادی از جمله خط ساحلی چابهار تا تنگ (نگهبان و همکاران ۱۳۹۵)، خط ساحلی عسلویه تا شیرینو (شایان و ولی ۱۳۹۵)، خط ساحلی شمال غربی ترکیه (یوسال و همکاران ۲۰۱۸)، خط ساحلی جنوب اندونزی (کالتر و ایتایا ۲۰۲۰) تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی با تغییرات زیادی مواجه شده است. اما، برخلاف این مناطق، تغییرات خط ساحلی خوزستان بیشتر به دلیل شرایط طبیعی بوده است. در واقع، خط ساحلی جنوب خوزستان به دلیل وضعیت مورفولوژی و تغییرات اقلیمی و تغییرات دبی رودخانه‌ها همواره در معرض پس‌روی و پیش‌روی قرار دارد و میزان تغییرپذیری آن بیش از سایر مناطق است. خط ساحلی استان خوزستان به صورت نوارهای ماسه‌ای است و به دلیل ارتفاع کم تأثیر زیادی از تغییرات اقلیمی و تغییرات تراز دریا می‌پذیرد. بنابراین، همانند سواحل دریای خزر، که تغییرات تراز دریا نقش مهمی در پس‌روی و پیش‌روی خطوط ساحلی آن داشته است (کاپلین^۱ و سیلوانوف^۲؛ ۱۹۹۵؛ کرونینبرگ^۳ و همکاران ۲۰۰۰؛ ثروتی و همکاران ۱۳۹۷)، تغییرات تراز دریا و جزر و مد در سواحل جنوبی استان خوزستان نیز از عوامل اصلی پس‌روی و پیش‌روی خط ساحلی بوده است. همانند ساحل جنوبی استان خوزستان در بسیاری از سواحل، مورفولوژی خط ساحلی نقش اصلی را در فرسایش ساحلی و پس‌روی و پیش‌روی خط ساحلی دارد. در واقع، نبود سواحل دریاکاری و وجود ماسه‌های ساحلی سبب شده سواحل جنوبی استان خوزستان همانند بسیاری از مناطق، از جمله خطوط ساحلی آتلانتیک کانادا (کاتو^۳ ۲۰۲۰) و خطوط ساحلی منتهی به رودخانه زرد چین (پنگ^۴ و همکاران ۲۰۱۳)، با تغییرپذیری زیادی همراه باشد. تغییرپذیری بالای خط ساحلی استان خوزستان را می‌توان محدودیتی جدی جهت توسعه زیرساخت‌های انسانی به شمار آورد. در واقع، پس‌روی و پیش‌روی خطوط ساحلی باعث می‌شود زیرساخت‌ها و همچنین نواحی سکونتگاهی منطقه در معرض مخاطرات ساحلی باشند. بنابراین بررسی و پایش مداوم خط ساحلی منطقه و ارزیابی ارتباط آن با عوامل مختلف طبیعی و انسانی و همچنین شناسایی مناطق دارای پتانسیل بالای تغییرپذیری بسیار حائز اهمیت است. بر اساس نتایج حاصله از این تحقیق مناطق جنوبی بندر امام خمینی، همانند خط ساحلی عسلویه (شایان و ولی ۱۳۹۹) و خط ساحلی چابهار (نگهبان و همکاران ۱۳۹۵)، دارای پتانسیل تغییرپذیری بالایی هستند و لازم است در برنامه‌ریزی‌های آتی مورد توجه قرار گیرند.

نتیجه

بررسی وضعیت خط ساحلی منطقه مورد مطالعه بیانگر تغییرپذیری بالای آن است. با توجه به اینکه بسیاری از صنایع و تأسیسات مهم در سواحل قرار دارند، کاربری‌های انسان‌ساخت منطقه مورد مطالعه در معرض مخاطرات ناشی از پس‌روی

1. Kaplin
2. Kroonenberg
3. Catto
4. Peng

خط ساحلی است. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به بررسی تغییرات خط ساحلی منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ پرداخته شد. نتایج ارزیابی تغییرات خط ساحلی طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ بیانگر آن بود که در این دوره سی‌ساله، با توجه به اینکه خطوط ساحلی منطقه مورد مطالعه عمدتاً از نوارهای ماسه‌ای تشکیل شده است، با نوسانات و تغییرات زیادی مواجه بوده است. بر اساس نتایج، طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ حدود ۷۰۷ کیلومتر مربع از خشکی‌های منطقه مورد مطالعه به پهنه آبی تبدیل شده است که عمدتاً مربوط به فرسایش نوارهای ماسه‌ای و همچنین پیش‌روی دریا بوده است. به علاوه، در این دوره ۱/۶ کیلومتر مربع از پوشش گیاهی و ۱/۱ کیلومتر مربع از نواحی انسان‌ساخت به پهنه آبی تبدیل شده است. همچنین، نتایج ارزیابی تغییرات پوشش زمین طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ بیانگر این است که در این دوره حدود ۱۴/۵ کیلومتر مربع از پهنه آبی به خشکی تبدیل شده است. بر اساس نتایج حاصله، میزان حدود ۱۲/۳ کیلومتر مربع پهنه آبی به پهنه ماسه‌ای تبدیل گردیده است که علت اصلی آن رسوب‌گذاری و حرکت توده‌های ماسه‌ای به سمت پهنه آبی بوده است. همچنین، در این دوره حدود ۱/۲ کیلومتر مربع از پهنه آبی به پوشش گیاهی و حدود ۱ کیلومتر مربع به کاربری انسان‌ساخت تبدیل شده است. مجموع نتایج حاصله از ارزیابی تغییرات خطوط ساحلی منطقه مورد مطالعه بیانگر آن است که این سواحل، برخلاف سواحل شرقی خلیج فارس، با تغییرات زیادی همراه است. در واقع، نداشتن سواحل دریاباری و وجود نوارهای ماسه‌ای با ارتفاع و شیب کم باعث رسوب‌گذاری و فرسایش زیاد در این سواحل شده که در نتیجه آن میزان تغییرپذیری در این سواحل نسبت به سایر خطوط ساحلی دریای جنوب بیشتر شده است. با توجه به تغییرپذیری بالای سواحل جنوب استان خوزستان، احداث تأسیسات و زیرساخت‌ها در این مناطق می‌تواند با خسارات و آسیب جدی به آن‌ها همراه باشد.

منابع

- احمدی، محمود؛ محمدحسین رامشت؛ خبات درفشی (۱۳۹۳). «بررسی روند تغییرات خط ساحلی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: ساحل شهرستان بندر دیر، خلیج فارس)»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۵ (۳)، صص ۶۳ - ۷۴.
- ثروتی، محمدرضا؛ رضا منصوری؛ منیژه قهرودی تالی (۱۳۹۷). «تأثیر نوسانات سریع سطح تراز آب دریای خزر بر سواحل جزیره‌سدی میان‌کاله»، *جغرافیای طبیعی*، د ۱۱، ش ۴۰، صص ۱ - ۱۶.
- شایان، سیاوش؛ مایسا ولی (۱۳۹۹). «ارزیابی روند تغییرات پوشش زمین در نوار ساحلی عسلویه- شیرینو با استفاده از مدل LCM»، د ۱۰، ش ۲، صص ۷۳ - ۸۸.
- غلام‌علی‌فرد، مهدی؛ محسن میرزایی؛ شریف جورابیان شوشتری (۱۳۹۳). «مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: سواحل میانی استان بوشهر)»، *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۵ (۱)، صص ۶۱ - ۷۴.
- فاطمی، سید باقر؛ یوسف رضایی (۱۳۸۴). *مبانی سنجش از دور*، تهران، آزاده.
- کورشی‌نیا، علی (۱۳۸۹). «پایش تغییرات خط ساحلی با استفاده از GIS و RS: بندر و دریا، ش ۱۷.

لرستانی، قاسم؛ رضا اسماعیلی؛ فاطمه اعتمادی (۱۳۹۴). «بررسی میزان تغییرات خط ساحلی دریای خزر در مصب رودخانه‌ها (مطالعه موردی: مصب رودخانه‌های هراز، بابل‌رود، و تالار)»، *جغرافیا و آمایش فضا*، ۵ (۱۸)، صص ۱۲۳ - ۱۳۶.

ناطق، سعیده؛ احمد نوحه‌گر؛ امیرھوشنگ احسانی؛ ام‌البنین بذرافشان (۱۳۹۶). «بررسی تغییرات پوشش گیاهی بر اساس شاخص‌های گیاهی با استفاده از سنجش از دور»، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، د ۲۴، ش ۴، صص ۷۷۸ - ۷۹۰.

نگهبان، سعید؛ دانا رستمی؛ حمید گنجاییان (۱۳۹۵). «پایش تغییرات خط ساحلی با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: محدوده ساحلی دریای عمان از چابهار تا بندر تنگ)»، *پژوهش‌های کمی*، ۵ (۱)، صص ۲۷ - ۴۲.

هوک، ج. ام. (۱۳۸۵). *ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی*، مترجم: محمدجعفر زمردیان، ج ۲، تهران، سمت.

Bird, E.C.F. (1996). *Beach Management (Coastal Morphology and Research)*, John Wiley and Sons Ltd, Chichester.

Catto, N. (2020). "Atlantic Canada's Tidal Coastlines: Geomorphology and Multiple Resources", *Landscapes and Landforms of Eastern Canada*, pp. 401-430.

Chalabi, A. (2006). "Monitoring shoreline change using Ikonos image and aerial photographs: a case study of Kuala Terengganu area, Malaysia ISPRS Commission VII Mid-term Symposium 'Remote Sensing: From Pixels to Processes'", *Enschede, the Netherlands*, pp. 8-11.

Eastman, J. R. (2006). *IDRISI Andes, Guide to GIS and Image Processing*, Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.

Kalther, J. & Itaya, A. (2020). "Coastline changes and their effects on land use and cover in Subang, Indonesia", *Journal of Coastal Conservation*, 24 (16).

Kaplin, P. A. & Selivanov, A. O. (1995). "Recent coastal evolution of the Caspian Sea as a natural model for coastal response to the possible acceleration of global sea-level rise", *Marine Geology*, 124, pp. 161-175.

Khoi, D. D. & Murayama, Y. (2010). "Forecasting Areas Vulnerable to Forest Conversion in the Tam Dao National Park Region", *Vietnam. Remote Sensing*, 2 (5), pp. 1249-1272.

Kroon, A., Davidson, M. A., Aarninkhof, S. G. J., Archetti, R., Armaroli, C., Gonzalez, M., Medri, S., Osorio, A., Aagaard, T., Holman, R.A., & Spanhoff, R. (2007). "Application of Remote sensing Video Systems to Coastline management problems", *Coastal Engineering*, No. 54, pp. 493-505.

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, pp. 257-274.

Li Cui, B. & Xiao-Yan, L. (2011). "Coastline Change of the Yellow River Estuary and its Response to the Sediment and Runoff (1976-2005)", *Geomorphology*, No. 127, pp. 32-40.

Makota, V. (2004). "Monitoring shoreline change using remote sensing and GIS: a case study of Kunduchi area", *Tansania, western Indian ocean J.Mar. sci.* Vol. 3, No. 1, pp. 1-10.

Marghany, M. (2013). "Simulation of three-dimesional of coastal erosion using differential interferometry synthetic aperture radar", *Global NEST Journal*, Vol. 16, No 1, pp. 80-86.

Peng, J., Ma, S., Hongquan, C., & Li, Z. (2013). "Temporal and spatial evolution of coastline and subaqueous geomorphology in muddy coast of the Yellow River Delta", *Journal of*

- Geographical Sciences*, Vol. 23, pp. 490–502.
- Ramsey, E., Nelson, G., & Sapkota, S. (2001b). “Coastal Change Analysis Program Implemented in Louisiana”, *Journal of Coastal Research*, 17 (1), pp. 55–71.
- Schenthamilselvan, S., Kakara, R. S., & Rajan, B. (2013). “Assessment of shoreline change along karantaka coast, india using GIS, RS”, *Indian journal of marine sciences*, Vol. 43 (7).
- Uysal, M., Mehmet, P., & Dereli, A. (2018). “Coastline Change of the Aksehir Lake (Southwestern Turkey) Between 1984 and 2016”, *Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions*, pp. 1757-1758.