

## بررسی تغییرات زمانی خط ساحلی شرق تنگه هرمز از طریق تحلیل آماری نیمرخ‌های متساوی‌البعد (ترانسکت)

مجتبی یمانی - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
مهرنوش قدیمی\* - دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران  
احمد نوحه‌گر - استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۰/۲۵      تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۳/۲۰

### چکیده

سواحل تحت تأثیر دینامیک خشکی و حرکات آب دریا، همواره در معرض تغییر و تحول قرار دارند و در کل پایدار نیستند. این عوامل همراه پدیده‌های دیگری چون ویژگی‌های زمین‌شناسی، اقلیمی و زیستی، لندفرم‌های متنوعی را در امتداد خطوط ساحلی ایجاد می‌کنند. در این پژوهش تغییرات خط ساحلی و مورفولوژی پیکان‌های ماسه‌ای در ساحل شرقی تنگه هرمز در چهار دوره؛ یعنی سال‌های ۱۹۷۷، ۱۹۸۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ اندازه‌گیری شده است. تصاویر ماهواره‌ای ETM، نقشه‌ها، نرم‌افزارها و مدل مفهومی ابزارهای اصلی پژوهش را تشکیل داده‌اند. هدف اصلی، مقایسه تغییرات خط ساحلی مورد بررسی در یک دوره بیست‌وهشت ساله از طریق تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، مدل ریاضی و سپس کنترل میدانی و در نهایت پیش‌بینی تغییرات درازمدت بوده است. موقعیت‌ها روی تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار ArcGIS تطبیق داده و ترسیم شده‌اند. پهنه ساحلی مورد مطالعه به سه بازه کلی دسته‌بندی و این سه بازه به ۶۵ ترانسکت در فواصل یکنواخت تقسیم شده‌اند. میزان تغییرات در امتداد خط ساحلی با استفاده از روش آماری Univariate یک‌متغیره، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) (۰/۹۹) برای سال ۲۰۳۰ تخمین زده شد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات در مورفولوژی پیکان‌های ماسه‌ای و در محدوده خورها و مصب رودخانه‌ها بوده است. همچنین مقایسه زمانی تغییرات نشان می‌دهد که سدهای ساحلی در بخش دلتاهای بیریزک، زنگلی، حیوی و گز، حجیم‌تر بوده و تغییرات وسعت و ابعاد آنها در درجه اول، تابع تغییر مسیر دوره‌ای رودخانه‌ها در سطح دلتا و سپس راستای امواج غالب است.

کلیدواژه‌ها: تنگه هرمز، روش ترانسکت، ژئومورفولوژی، فرسایش ساحلی.

## مقدمه

در چند دهه اخیر، بخش قابل توجهی از سواحل جهان تحت تأثیر فرسایش مداوم و پسروری ساحلی قرار گرفته‌اند (برد، ۱۹۸۵). بران (۱۹۶۲) این‌گونه بیان کرد که پسروری درازمدت سواحل ماسه‌ای، به دلیل بالا آمدن سطح دریا بوده است. کاول، هانسلو و ملوو (۱۹۹۹) مدلی را برای تأثیر نقل و انتقال ماسه و تأثیر آن در پایداری خط ساحلی طراحی کردند. این مدل تعیین می‌کند که کاهش کمتر از ۱ درصد در حمل و نقل ماسه در امتداد خط ساحلی، باعث حدود ۰/۵ متر پسروری در خط ساحلی می‌شود. مطالعات پیشین در چارچوبی برای درک تفاوت‌های مورفولوژیکی بین قسمت‌های ساحلی و تکامل آنها در مقیاس‌های زمانی زمین‌شناسی انجام گرفته است. حرکت ساحل در مقیاس‌های زمانی و مهندسی در مقیاس بزرگ حرکت ساحلی (LSCB) بسیار پیچیده است و به نوسان‌های آب‌وهوایی با فرکانس بالا وابسته است. خط ساحلی ارتباط‌دهنده دریا و خشکی تعریف شده است (بوآک و تونر، ۲۰۰۵). بیش از ۷۰ درصد سواحل جهان تحت تأثیر فرسایش ساحلی قرار داشته و میل به پسروری دارند (برد، ۱۹۹۶)، حدود ۲۵ درصد اراضی حاصلخیز و ۶۰ درصد مردم در امتداد این خطوط استقرار دارند؛ از این رو، خطر بسیار جدی‌ای برای اکثر مناطق ساحلی به‌شمار می‌رود (الطاهر و علی، ۲۰۰۴).

نتایج مطالعات نشان داده است که تغییر آب‌وهوا و بالا آمدن سطح آب دریا این مشکل را تشدید می‌کند (IPPC, 2007). راهبردهای مدیریتی قابل قبول نیاز به مقابله بیشتر با خطرات ناشی از فرسایش ساحلی دارند. در حال حاضر، علاوه بر نظارت‌های روزانه جلگه‌های ساحلی (میلر و همکاران، ۲۰۰۷)، مدیریت ساحلی متکی به اطلاعاتی در مورد موقعیت و حرکت خطوط ساحلی تاریخی و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده است. برآوردهای زمینی پویای چشم‌اندازهای زمین (به‌ویژه فرسایش) در مقیاس وسیع، اغلب مشکل و بسیار هزینه‌بر هستند (میلر و همکاران، ۲۰۰۵). به همین دلیل بسیاری از مورفولوژی خط ساحلی جهان، به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه درست نیست. سنجش از دور این امکان را فراهم آورده تا موقعیت کنونی سواحل با هزینه نسبتاً پایین برآورد شود، همچنین به ارزیابی خطوط ساحلی در آینده کمک می‌کند. در مقایسه با ۷۰ سال گذشته، علم نقشه‌برداری از خط ساحلی همگام با پیشرفت تکنولوژی و نیاز به کاهش عدم اطمینان، تغییرات قابل توجهی را به‌منزله یک روش پیشرفته به سمت رایانه‌ای شدن، تجربه کرده است (کراول، ۲۰۰۶). اگرچه این تغییرات در بهبود داده ساحلی و قابلیت‌های ذخیره رخ داده است؛ اما تغییر مکرر در تکنولوژی، مانع از پیدایش یک روش استاندارد نقشه‌برداری ساحلی شده است (مور، ۲۰۰۰)، همچنین روش‌های مختلف، هر یک قابلیت‌های منحصر به فرد و کاستی‌هایی دارند. با وجود این، مطالعات اخیر به یک روش جامع برای نظارت ساحل (میلر و همکاران، ۲۰۰۷؛ میلز، بوکلی و میشل، ۲۰۰۳؛ تیلر و دانفورت، ۱۹۹۴) اشاره می‌کنند که هیچ‌یک از آنها مستقل نبوده و برای نقشه‌برداری دقیق ساحلی نیازمند تکنیک‌های کارتوگرافی و فتوگرامتری هستند. به همین دلیل کاربرد روش‌های موجود برای مشکلات نقشه‌های خطوط ساحلی محدود است. پیش از استفاده گسترده دانشمندان ساحلی از GIS، نسبت تغییر خطوط ساحلی قابل اطمینان اغلب به علت ضعف در درک تأثیرات زمانی و مکانی بر تکامل خط ساحلی، همراه کننده بوده است (زوزک، نرن و تین، ۲۰۰۳). به همین دلیل از روش univariate یک متغیره برای پیش‌بینی تغییرات خطوط ساحلی استفاده شده است.

بدیهی است که سرعت بالا آمدن آب دریا به علت گرمای زمین<sup>۱</sup> است و انتظار می‌رود که این روند برای قرن‌ها ادامه پیدا کند؛ زیرا در آینده رکود اقتصادی بیشتر از آن چیزی که در گذشته بوده است وجود خواهد داشت (IPPC, 2007).

هنوز مدل قابل توجهی برای بالا آمدن سطح آب دریا ارائه نشده است (بری و هوک، ۱۹۹۷). اگرچه در سال‌های اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی در این زمینه انجام گرفته است (واکدان و هال، ۲۰۰۵). همه روش‌های موجود به اطلاعات صحیح و قابل قبولی از رفتار خطوط ساحلی قدیمی نیاز دارند و اطلاعات کم و کوتاه‌مدت آن را بسیار سخت و مبهم می‌کند. کرول، لترمن و بوکلی (۱۹۹۳) معتقدند که برای دریافت داده‌های قابل قبول طولانی‌مدت، باید دست‌کم اطلاعات ۶۰ تا ۸۰ سال را برای مهار وقایع طوفانی کوتاه‌مدت و تغییرات طبیعی ده‌ساله بررسی کرد. ارزیابی و پیش‌بینی تغییر خط ساحلی در مناطقی که داده خطوط ساحلی کمی وجود دارد، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، به چالش تبدیل شده است. بنابر گفته‌های برد (۱۹۸۵)، در چند دهه گذشته با استفاده از عکس‌های هوایی، بررسی‌های قابل قبولی در مورد خطوط ساحلی انجام شده است.

پترسون و همکاران (۲۰۰۱) یک مدل تحلیلی خطی برای پیشرفت و شکل پیکان‌های ماسه‌ای<sup>۲</sup> پیشنهاد دادند و بر اهمیت تکامل پیکان‌های ماسه‌ای تأکید کردند. آنها همچنین موضوع رشد پیکان‌های ماسه‌ای و امواج را از یک زاویه مشخص به بالا بررسی کردند.

طی دو دهه گذشته پژوهشگران در مطالعات مختلف مورفودینامیکی ساحل، روش سنجش از دور و GIS را به دلیل مقرون به‌صرفه‌بودن و کاهش خطا و همچنین در مواقعی که بازدید میدانی امکان‌پذیر نیست، به‌کار گرفته‌اند. برنامه‌های کاربردی سنجش از دور و GIS، در توصیف اشکال ساحلی و سطح زمین، کشف موقعیت‌های ساحلی، تخمین خط ساحلی و تغییرات اشکال سطح زمین و استخراج آب سطحی از اعماق، مفید برآورد شده است (جانسون و رایتالا، ۱۹۸۴؛ سینق، ۱۹۸۹؛ وایت و آل‌آسمار، ۱۹۹۹؛ صدیقی و مجید، ۱۹۸۹؛ لافون، لاهتیب و کاستینگ، ۲۰۰۲؛ مایتی، ۲۰۰۲؛ ریو، ون و مین، ۲۰۰۲ و مایتی و باتاچاریا، ۲۰۰۹).

نسبت تغییرات در اشکال ساحلی و موقعیت خطوط ساحلی در پیشرفت طرح‌های عقب‌نشینی، مناطق خطرناک، جنبه‌های تشدید فرسایش، منبع رسوب و مدل‌سازی پیش‌بینی / مفهومی مورفودینامیک ساحلی مهم هستند (شرمن و بور، ۱۹۹۳؛ البکری، ۱۹۹۶؛ زوزک، ۲۰۰۳). این جوانب به‌منزله مدل‌های مفهومی مورفودینامیکی شکل می‌گیرند. این روش‌ها به علت عدم صحت تخمین خط ساحلی، تغییر موقعیت خط ساحلی نسبت به زمان، ناکافی بودن نقاط اطلاعات خطوط ساحلی، بی‌نظمی در اندازه‌گیری‌های ساحلی خطای اصلی دارند (داگلاس، کرول و لترمن ۱۹۹۸).

به‌کارگیری روش رگرسیون خطی (LR) برای برآورد نسبت موقعیت تغییرات خطوط ساحلی، به‌اثبات رسیده و نقش مهمی را در به حداقل رساندن خطای تصادفی و تنوع کوتاه‌مدت دارد (داگلاس و کرول، ۲۰۰۰؛ مایتی و باتاچاریا، ۲۰۰۹؛ آلان، کمار و پریت، ۲۰۰۳).

1. Global Warming

2. Spite

ریچارد و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی مورفودینامیکی جزایر سدی در قسمت مرکزی غرب فلوریدا، جریان‌های جزرومدی، امواج و فعالیت‌های انسانی را بسیار مؤثر دانسته‌اند. به‌طور کلی هدف از این پژوهش، بررسی فرایندهای حاکم بر محیط خشکی و هیدرودینامیک حاکم بر دریا در تعیین تغییرات خط ساحلی در یک بازه زمانی ۲۸ ساله و نیز، تعیین مهم‌ترین عامل در تغییر خطوط ساحلی در دوره‌های زمانی مشخص و دستیابی به عوامل تأثیرگذار و درنهایت ارائه فرمولی که خط ساحلی را در سال‌های آتی برآورد کند. برای این منظور، تغییرات خط ساحلی در چهار دوره (سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵) با استفاده از روش Univariate یک‌متغیره بررسی شده است که با کمک ترسیم نیمرخ‌های متساوی‌البعده (ترانسکت)<sup>۱</sup> و مستند به داده‌های تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. این پیش‌بینی، برای برنامه‌ریزی با در نظر گرفتن تغییرات آتی خط ساحلی کاربرد خواهد داشت.

### منطقه مورد مطالعه و محیط خط ساحلی

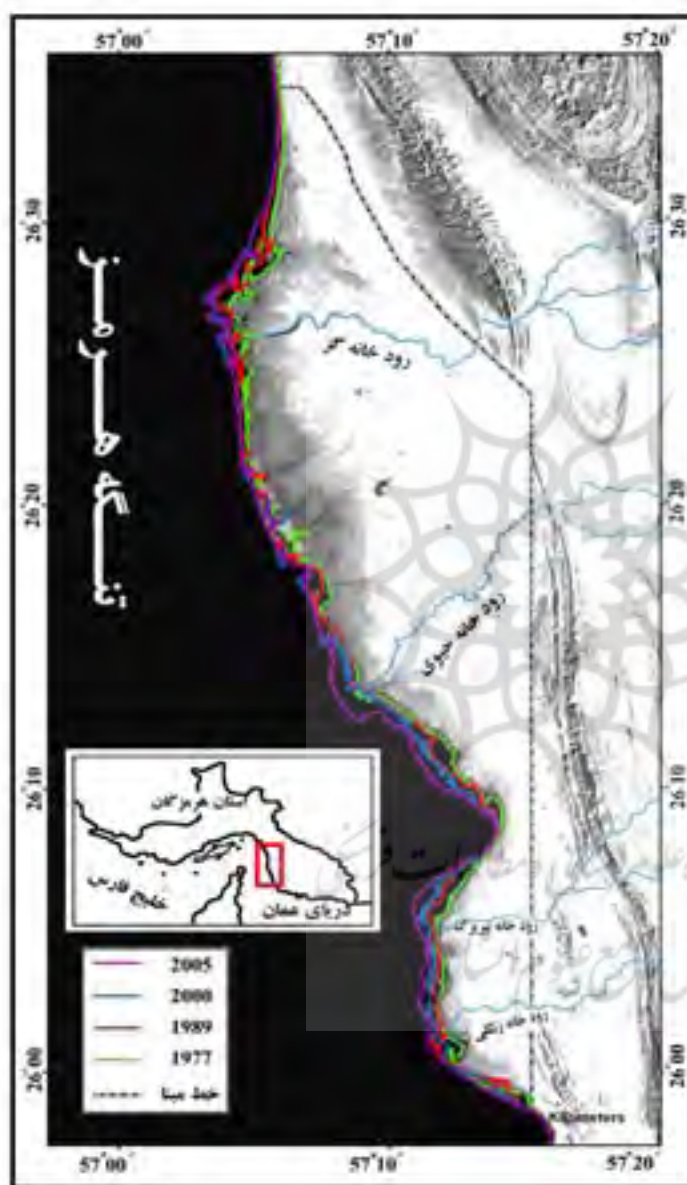
جلگه ساحلی شرق تنگه هرمز از نظر ساختمانی جزء واحد مورفوتکتونیک زاگرس به‌شمار می‌رود. اما از نظر سایر خصوصیات، به‌ویژه خصوصیات لیتولوژیک، کاملاً مشابه با واحد مکران در مشرق خود است. در طول کوتاه‌تر عوامل فرسایش به‌تدریج قسمت عظیمی از کوه‌ها را فرسوده کرده و رسوبات حاصل از آن، در کناره ساحلی انباشته شده و زمین‌های هموار جلگه ساحلی را شکل داده‌اند. شکل ۱ موقعیت خط ساحلی مورد بررسی را در ساحل شرقی تنگه هرمز نشان می‌دهد. وسعت بیشتر دلتاها، نتیجه حجم زیاد بار رسوبی ریزدانه‌هایی است که به‌وسیله شبکه زهکشی و رودهای اصلی به محدوده خط ساحلی منتقل می‌شود. بارش رگباری منطقه به‌گونه‌ای است که این رودخانه‌ها در زمان بارش، اغلب حالت سیلابی دارند. حجم رسوب معلق که همراه با رودهای جگین، گابریک، سدیج و... منتقل می‌شود، در تمام ایران بی‌همتا است (یمانی، ۱۳۷۸). گذشته از فرایندهای حاکم بر محیط خشکی، حرکات آب دریا، به‌ویژه اثر مکانیکی امواج دریا بر تحول خط ساحلی تأثیرگذارند. اثر این امواج در تابستان بیشتر از زمستان است؛ زیرا بادهای طوفانی ناشی از پرفشارهای جنب حاره‌ای در تابستان‌ها شدیدتر و مداوم‌تر است (محمودی، ۱۳۷۰).

### تالاب‌های جزرومدی و سدهای ساحلی

در محدوده مورد پژوهش، تالاب‌های جزرومدی قسمت‌های کم‌شیب دلتاهای رودخانه‌ای را تشکیل می‌دهند. از آنجا که دامنه جزرومد بین حداکثر ۳/۱۳ متر و حداقل ۰/۰۷- متر است، بنابراین در شرایطی که مد به بیشینه خود می‌رسد، سطح این تالاب‌ها را آب فرامی‌گیرد؛ به‌گونه‌ای که میزان پیشروی آب در شرایط بیشینه مد به بیش از ۴ کیلومتر می‌رسد. تالاب‌های جزرومدی منطقه را برحسب دامنه جزرومد و تداوم آب‌گرفتگی، می‌توان به دو دسته تالاب‌های جزرومدی مرتفع و پست تقسیم کرد. تالاب‌های پست عموماً تحت تأثیر جزرومد روزانه قرار می‌گیرند. بخش عمده این تالاب پوشیده از کانال‌های جزرومدی با الگوی درختی توسعه یافته است. تالاب‌های مرتفع بین متوسط سطح جزرومد تا

بالاترین سطح مد قرار گرفته‌اند، اما تالاب‌های پست بین پایین‌ترین سطح جزر و متوسط سطح جزرومد جای دارند. حاشیه کانال‌های اصلی جزرومدی، به‌ویژه خورها را پوشش متراکمی از درختان مانگرو احاطه کرده است.

### دینامیک دریا



شکل ۱. خط ساحلی مورد مطالعه در قاعده دلتاهای رودخانه‌های شرق تنگه هرمز. در این شکل خطوط ساحلی طی چهار دوره زمانی نشان داده شده است.

راستای جریان عمومی آب در امتداد خط ساحلی تحت بررسی، جنوبی - شمالی است. سرعت فصلی این جریان‌ها یکسان نیست. مشاهدات انجام گرفته نشان می‌دهد سرعت این جریان‌ها در اوایل بهار به ۱۸ تا ۵۲ متر در دقیقه افزایش می‌یابد، اما این سرعت‌ها در نزدیکی خط ساحلی به دلیل کم شدن عمق آب در پیش‌کرانه به‌طور مستقیم تأثیر چندانی در تحول خط ساحلی ندارند؛ بلکه اثر آنها بیشتر به‌طور غیر مستقیم بوده و به جابه‌جایی رسوبات معلق در آب دریا و رسوبات ریزدانه بستر دریا در زیر خط حداقل جزر محدود می‌شود (یمانی، ۱۳۷۸: ۲۲). از سویی متقابلاً جریان‌های جزرومدی<sup>۱</sup> در نزدیکی خط ساحلی، به‌ویژه در سواحل کم‌شیب منطقه و هنگام جزر و بازگشت آب حاصل از مد از روی سطوح تالابی، جریانی را ایجاد می‌کند که قادر است رسوبات ریزدانه قاعده دلتا را شست‌وشو داده و به پیش‌کرانه منتقل کند. حفر کانال‌های جزرومدی در سطح تالاب‌ها و سبخاهای ساحلی نتیجه این فرایند است.

جریان امواج غالب نیز تحت تأثیر باد

غالب نیمه جنوبی، راستای جنوب غربی و غربی دارند. امواج نسبت به سایر حرکات آب دریا از تداوم و نیروی بیشتری

برخوردارند، به همین دلیل نسبت به سایر عوامل بر خط ساحلی تأثیرگذارترند. بر این اساس می‌توان گفت عامل غالب تحول خط ساحلی در محدوده مورد مطالعه، امواج هستند.

## مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، روش‌های آماری جدیدتر و پیشرفته‌تری برای محاسبه میزان تغییر خط ساحلی به کار گرفته شده است. به کمک این روش‌ها، میزان صحت یافته‌ها از طریق محاسبه خطای مجذور میانگین مربعات (RMSE) به دست می‌آید و موقعیت خطوط ساحلی با توجه به داده‌های موجود تخمین زده می‌شود. در پژوهش پیش رو از روش آماری ویژه‌ای در قالب نرم‌افزار GIS برای محاسبه این تغییرات استفاده شده است. این روش را محققانی چون آلن، کمار و پریت (۲۰۰۳) و مایتی و باتاچاریا (۲۰۰۹) پیشنهاد کرده‌اند. علاوه بر آن، مورفولوژی و گسترده‌ی پیکان‌های ماسه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفته و ضریب تعیین آماری روی آنها تجزیه و تحلیل شده است. همچنین تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی و نقشه‌های توپوگرافی برای مشخص کردن موقعیت خطوط ساحلی و پیکان‌های ماسه‌ای سال‌های گذشته به کار گرفته شده‌اند. ضریب رگرسیون و RMSE برای ارزیابی خطا در نسبت تغییرات خطوط ساحلی و برای میزان صحت خطوط ساحلی سال‌های گذشته و تعیین موقعیت خطوط ساحلی استفاده شده است.

بر اساس نقاط مشخص شده زمین، مانند رودخانه‌ها، ورودی‌های مصب رودخانه، بنادر مهم قدیمی و جدید و موج‌شکن‌ها، طول منطقه مورد مطالعه از لحاظ عرضی به سه قسمت ساحلی تقسیم شد. هر کدام از این قسمت‌ها شرایط مشابه فرسایشی، هیدرودینامیکی و رسوب‌گذاری یکسانی دارند. هنگام کار، معمولاً جریان‌های ساحلی و الگوهای رانش ساحلی مرزها که به علت جزرومد، امواج و زهکشی‌های رودخانه به وجود آمده‌اند، اصلاح می‌شوند.

برای تجزیه و تحلیل دقیق، هر قسمت ساحلی در نیمرخ‌های متساوی‌البعدها و با فاصله عرضی ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شده است؛ یک خط ثابت که تغییرات خط ساحلی نسبت به آن اندازه‌گیری شده است. مرز مشخص شده فقط محدوده خط ساحلی را در برمی‌گیرد و منطبق با پهنه ساحلی است. در خط ثابت انتخاب شده کوهستان در نظر گرفته نشد و از خط کنیک به بعد مد نظر قرار گرفته است؛ چون در کوهستان تغییرات خط ساحلی وجود ندارد. خط ساحلی نهایی در محیط Arc view با استفاده از نقشه برجسته که تمامی عوارض خطوط ساحلی را در بر گرفته بود، انتخاب شد. سپس بعد از تعیین خط ساحلی، خط ثابت (که در چهار دوره تصاویر ماهواره‌ای یکسان بوده) و ترانسکت‌هایی با فاصله ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شده است. سپس در محیط Arc view بعد از تعیین ترانسکت‌ها و محور اصلی و خط ساحلی، پلی‌گون‌هایی ایجاد شده و مساحت هر پلی‌گون نسبت به دوره‌های مختلف با هم مقایسه شده است. در نهایت از طریق تطبیق اختلافات موجود، تغییرات خط ساحلی تعیین شد و بر اساس یافته‌های مدل، تغییرات آتی نیز پیش‌بینی شده است.

## یافته‌های پژوهش

خطوط ساحلی ماسه‌ای و کم‌شیب، معمولاً دینامیک پویایی دارند و در دوره‌های کوتاه‌مدت تغییرپذیرتر هستند. این

تغییرات را می‌توان به‌صورت زمانی و مکانی بررسی کرد. منابع رسوبات، سیستم‌های جریانی ورودی از خشکی، رانش ساحلی، دینامیک دریا و تغییرات وابسته به سطح دریا، از مهم‌ترین عواملی هستند که بر تغییرات خط ساحلی و تشکیل و پیشرفت پیکان‌های ماسه‌ای تأثیرگذارند. شکل خط ساحلی تحت تأثیر جابه‌جایی رسوبات در امتداد ساحل تغییر می‌کند. از سویی، فرسایش و موقعیت رسوبات ساحلی بستگی به شکل خطوط ساحلی، منابع و محل انباشت رسوبات و همچنین هیدرودینامیک مناطق نزدیک به خطوط ساحلی دارد. شدت بادهای موسمی، از عوامل تأثیرگذار روی جهت نقل و انتقال رسوبات و سازوکار فرسایش و انباشت رسوبات است. تأثیر فعالیت‌های انسانی، مانند ساخت سازه‌های ساحلی (بنادر، موج‌شکن‌ها، سدهای دریایی و بادی در سراسر رودخانه)، استخراج معادن شن و ماسه، شهرنشینی و صنعتی‌شدن، به‌منزله ارزیابی دخالت انسان در خط ساحلی و تغییرات مورفولوژیکی ساحلی در نظر گرفته شده است. اگرچه جهت کلی حمل و نقل رسوبات و سازوکار آنها، مناطق فرسایش ساحلی و انباشت را تعیین می‌کند؛ اما دانستن منابع مختلف رسوبات که توسط فرایندهای هیدرودینامیک دوباره توزیع می‌شوند و دوباره کار می‌کنند، از اهمیت خاصی برخوردار است.

### نقش RMSE

از نتایج RMSE برای پی بردن به نقش و وسعت فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی بر تغییرات خط ساحلی استفاده می‌شود. ترانسکت‌ها عمدتاً تحت تأثیر فرایندهای طبیعی (رانش ساحلی، رسوبات صفحه‌ای یکپارچه، رشد پیکان‌های ماسه‌ای، حرکات دهانه رودخانه‌ها) میزان RMSE کمتری را نشان می‌دهند؛ در حالی که ترانسکت‌هایی که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی (احیا زمین‌ها، حفر رس و شن، ساخت دیواره‌های ساحلی، حفاظت در مقابل طغیان سد خاکی) قرار دارند، میزان RMSE بیشتری دارند.

### موقعیت خط ساحلی در گذشته

موقعیت خط ساحلی در تغییرات دوره‌ای بین سال‌های ۱۹۸۹-۱۹۷۷، ۲۰۰۰-۱۹۸۹، ۲۰۰۵-۲۰۰۰، نشان می‌دهد که خط ساحلی در اغلب نقاط پیشروی داشته است. با وجود این تغییرات خط ساحلی در بعضی از ترانسکت‌ها نشان می‌دهد که بیشترین پیشروی خطوط ساحلی در مناطقی مانند نزدیک دهانه رودخانه گز، حیوی، بیریزک و زنگلی، از سال ۱۹۷۷ به بعد رخ داده است (جدول ۱). در تعداد زیادی از ترانسکت‌ها تغییرات خطوط ساحلی بسیار ناچیز و قابل اغماض است. شدت بادهای موسمی تأثیر زیادی بر تغییرات خط ساحلی نشان داده است. همچنین بارش‌های موسمی که حامل رسوب‌ها به خط ساحلی هستند نیز، بر دینامیک رودها تأثیر زیادی داشته‌اند. این رودها از عوامل مهم کنترل‌کننده فرایندهای ساحلی و تعیین زهکشی (تخلیه) آب‌های شیرین از طریق سیستم‌های رودخانه‌ای در امتداد ساحلی هستند. در قلمرو مورد بررسی، چهار رود اصلی قرار گرفته‌اند که در تغییرات خط ساحلی قاعده دلتاهای مورد بحث نقش دارند. رسوبات منتقل‌شده به خط ساحلی در اختیار دینامیک آب دریا قرار گرفته و در طول خط ساحلی توزیع شده و سدهای ساحلی و پیکان‌های ماسه‌ای را شکل داده‌اند. چندین پیکان ماسه‌ای بزرگ در طول ساحل شرقی هرمز وجود دارد که امتداد آنها در راستای جریان‌های ساحلی و عموماً از جنوب به شمال است. به یقین این روند در راستای عملکرد امواج، تمایل آنها و نیز جریان‌های ساحلی غالب با همین راستا است (یمانی، ۱۳۸۵). توزیع اشکال مذکور بی‌نظم و پراکنده

است؛ به طوری که تعدادی از آنها در فاصله دورتری از خط ساحلی تشکیل شده‌اند (پهنه‌ای با عرض حداکثر ۴ کیلومتر نسبت به خط ساحلی). پیش‌کرانه عمیق نیز بر اساس منحنی‌های هم‌عمق، در ساحل شمالی عمان کم‌عرض و یکنواخت‌تر است؛ در صورتی که در ساحل شرقی تنگه هرمز این‌گونه نیست. به نظر می‌رسد علت این اختلاف، عدم وجود امواج دوراً و نیز کوتاه‌بودن طول بادگیر در این محدوده است.

جدول ۱. مورفومتری دلتاهای محدوده مورد بررسی

ویژگی‌ها نام دلتا	وسعت دلتا کیلومتر مربع	طول دلتا کیلومتر	پهنای دلتا کیلومتر مربع	طول آبراهه کیلومتر	متوسط شیب درصد
دلتای گز	۲۰۱	۱۸	۲۷	۲۶/۵	۰/۶
دلتای حیوی	۱۵۳	۱۸	۱۵	۲۸/۵	۰/۱
دلتای بیریزک	۳۷/۵	۸	۹	۱۱	۰/۱
دلتای زنگلی	۲۶/۲	۴	۷	۶	۰/۲

### دینامیک نقل و انتقال رسوب در سطوح دلتاها

از آنجا که نقل و انتقال مواد رسوبی توسط فرآیندهای جریان باد و رودخانه‌ها، به‌طور مستقیم و غیر مستقیم در تغییرات خط ساحلی نقش اساسی دارند، از این رو بررسی آنها ضروری است.

نمونه‌برداری انجام شده از سطح پادگانه‌های رودخانه‌ای در سطح جلگه ساحلی نشان می‌دهد که منشأ بافت رسوباتی که به‌همراه رودخانه‌ها حمل شده است، سازند فلیش مکران بسیار ریزدانه است؛ به طوری که تنها رسوب‌های رسی، ماری، سیلتی و ماسه‌ای که ریزترین بافت را بین رسوبات آبرفتی دارند، به خط ساحلی رسیده و در امتداد آن توزیع می‌شوند. ریزدانه‌گی و سستی این رسوبات دلتایی، موجب افزایش فرسایش جانبی و کناری آبراهه شده و تکامل پیچان رودها را شتاب می‌دهند. این موضوع، یکی از دلایل اصلی ناپایداری بستر رودها و تغییر مسیرهای مکرر آنها در منطقه است (یمانی، ۱۳۹۰: ۸). همچنین اختلاف شیب و گستردگی سطوح دلتاها موجب می‌شود که تغییر مسیر رودخانه‌های ساحل شرقی تنگه هرمز (رودهای زرانی، گز، حیوی، بیریزک و زنگلی)، عموماً در نزدیکی مصب و حاشیه تالاب‌های جزرومدی و در دوره‌های نسبتاً کوتاه روی دهند. در این میان هرچه وسعت دلتا بیشتر و نیز شیب کمتر بوده، تغییر مسیر در دوره‌های کوتاه‌تری روی داده است.

حجم دبی رودخانه‌های منطقه و حجم رسوب‌های حمل شده، همبستگی کاملی را نشان می‌دهند، با این تفاوت که بیش از ۹۰ درصد بار رسوبی رودها را ذرات ریزتر از ماسه تشکیل می‌دهد. ضرایب دبی، وسعت حوضه و حجم رسوب برای بزرگترین حوضه‌های رودخانه‌ای منطقه، یعنی زرانی، گز، حیوی، بیریزک و زنگلی، با تغییر مسیر شبکه در سطوح دلتایی آنها همخوانی دارد. علت اصلی تغییر مسیر در زمان رویداد بارش‌های سیلابی، پرشدن مجاری زهکشی و سرریز کردن آنها و همچنین فراوانی پدیده پیچان‌رودها در مسیر شبکه زهکشی است. تکامل پیچان‌رودها نیز به دلیل سستی



بافت رسوبات منطقه، به سرعت و در زمان‌های کوتاهی اتفاق می‌افتد. بنابراین اکثر تغییرات آبراهه‌ای رابطه مستقیمی با شرایط سیلابی، دبی رودخانه‌ها و بافت رسوب سطح دلتاها دارد. با توجه به ریزدانه‌بودن بافت رسوب سطح دلتاها، علاوه بر نقل و انتقال مواد رسوبی توسط جریان‌ها، رفت و روب بادی در سطح جلگه نیز بسیار غلبه دارد. منشأ ماسه‌های بادی غالباً بسترهای متروک رودخانه‌ها و زهکش‌های سطحی و نیز محدوده خط ساحلی و ماسه‌های ساحلی است. وجود رشته‌های ماسه‌ای وسیع در امتداد خط ساحلی، نشان از گستردگی رفت و روب بادی در دوره خشک سال و زمان فعالیت باد است (یمانی، ۱۳۸۵).

### تأثیر نوزمین ساخت در تغییرات ساحلی

علاوه بر نقل و انتقال رسوبات به خط ساحلی، تأثیرات مورفوتکتونیکی و نوزمین‌ساخت نیز در تحولات خط ساحل بی‌تأثیر نیست. مطالعات انجام‌گرفته (ویتا و فینزی، ۱۹۷۹) و داده‌های ژئودینامیکی موجود نشان می‌دهند که وجود یک فرورانش قوی در دریای عمان، منجر به بالا آمدگی سواحل مکران می‌شود. میزان بالا آمدگی سواحل مکران از غرب به شرق افزایش پیدا می‌کند؛ به گونه‌ای که در بندرعباس سالانه ۱/۵ میلی‌متر و در امتداد ساحل مورد مطالعه تا بندرجاسک حدود ۳/۵ میلی‌متر بالا آمدگی اندازه‌گیری شده است. وجود پادگانه‌ها دریایی در شرق هرمز و نتایج سن‌یابی آنها و نیز ایستگاه‌های ژئودینامیک موجود، این موضوع را اثبات می‌کند.

### نیمرخ‌های متساوی‌البعده

بر اساس مشخصه‌های زمین‌شناختی و طبیعی، مانند مدخل خور یا دهانه رودخانه، بندرهای مهم و موج‌شکن‌های طول خط ساحلی منطقه مورد مطالعه به سه قسمت ساحلی تقسیم شده است. در این قسمت‌ها شرایط رسوب‌شناسی فرسایشی و هیدرودینامیکی یکسانی نشان داده شده است و جریان‌های ساحلی و طرح رانش ساحلی در محدوده مرزی، به دلیل جزرومد، امواج و زهکشی رودخانه‌ها، اصلاح شده است. بر اساس تصاویر ماهواره‌ای موجود در چهار دوره مورد بررسی (۱۹۹۷، ۱۹۸۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵) برای هر دوره، تصویر ماهواره‌ای ۶۵ نیمرخ متساوی‌البعده زده شد و تغییرات مساحت هر پلیگون با تصویر ماهواره‌ای سال ۱۹۹۷ مقایسه شد. برای کاهش نتایج خطای موقعیت خط ساحلی، نقشه‌های کوچک‌مقیاس با بهترین قدرت تفکیک برای زمین‌مرجع کردن مد نظر قرار گرفت و انجام کار تصاویر ماهواره‌ای، به صورت یکنواخت و متناسب با شرایط دریا و عرض ساحلی، به طور عادی شبکه‌بندی شدند. این روش‌ها را گولاری (۱۹۹۶) و هنگل (۲۰۰۶) بررسی کرده‌اند. تجزیه و تحلیل عرض ساحل در کاهش اثرات جزرومدی و مطالعه تعیین تغییرات خطوط ساحلی، برای به‌دست‌آوردن یک شبکه و قسمت‌های مناسب نقش مهمی دارد (هنگل، ۲۰۰۶). این روش همچنین برای برآورد خطا در موقعیت ساحلی، خطای تجمعی، مانند قدرت تفکیک طیفی و مقیاس تصویر/ نقشه (زمین‌مرجع کردن نقشه به تصویر یا تصویر به تصویر) و روش‌های تعیین خط ساحلی را شامل می‌شود. همه این خطاها هنگام برآورد، خطای تفسیر خط ساحلی را در برمی‌گیرند. به علاوه خطای یکنواخت، به کمک روش نیمه‌خودکار تعیین خط ساحلی در مقیاس نقشه‌برداری توپوگرافی گرفته شده است (هنگل، ۲۰۰۶).

جدول ۲. محاسبه میزان تغییر خط ساحلی (متر/سال)، ضریب تعیین‌کننده مقادیر (R<sup>2</sup>)، خطای اعتبار سنجی متقابل RMSE، موقعیت و ویژگی‌های ژئومورفولوژی ساحلی هر یک از قسمت‌های ساحلی و پروفیل‌ها

۲۰۰۵ ۱۹۷۷	۲۰۰۰ ۱۹۷۷	۱۹۸۹ ۱۹۷۷	R <sup>2</sup>	ترانسکت	۲۰۰۵ ۱۹۷۷	۲۰۰۰ ۱۹۷۷	۱۹۷۷ تا ۱۹۸۹	R <sup>2</sup>	ترانسکت
۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۱	۰/۹۹	۳۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۱
۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۲	۰/۹۹	۳۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۲
۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۰	۰/۹۹	۳۶	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۳
۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۱	۰/۹۹	۳۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۴
۱/۰۶	۱/۰۴	۱/۰۳	۰/۹۹	۳۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۵
۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۰۲	۰/۹۹	۳۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۶
۱/۱۱	۱/۰۹	۱/۰۶	۰/۹۹	۴۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۷
۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۰۶	۰/۹۹	۴۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۸
۱/۲۵	۱/۲۳	۱/۲۱	۰/۹۹	۴۲	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۹
۱/۰۸	۱/۰۸	۱/۰۳	۰/۹۹	۴۳	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۱۰
۱/۰۶	۱/۰۵	۱/۰۳	۰/۹۹	۴۴	۱/۰۱	۱/۰۰	۱/۰۱	۰/۹۹	۱۱
۱/۳۵	۱/۳۳	۱/۰۶	۰/۹۹	۴۵	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۱	۰/۹۹	۱۲
۱/۲۸	۱/۲۶	۱/۱۲	۰/۹۹	۴۶	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۰	۰/۹۹	۱۳
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۴۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۱۴
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۴۸	۱/۰۲	۱/۰۰	۱/۰۲	۰/۹۹	۱۵
۱/۳۴	۱/۲۹	۱/۰۸	۰/۹۹	۴۹	۱/۰۸	۱/۰۲	۱/۰۳	۰/۹۹	۱۶
۱/۷۱	۱/۵۸	۱/۲۹	۰/۹۹	۵۰	۱/۰۲	۱/۰۵	۱/۰۲	۰/۹۹	۱۷
۱/۳۹	۱/۳۳	۱/۱۳	۰/۹۹	۵۱	۱/۰۵	۱/۰۲	۱/۰۳	۰/۹۹	۱۸
۱/۳۵	۱/۲۶	۱/۱۷	۰/۹۹	۵۲	۱/۰۸	۱/۰۸	۱/۰۳	۰/۹۹	۱۹
۱/۱۶	۱/۱۱	۱/۰۵	۰/۹۹	۵۳	۱/۰۰	۱/۰۷	۱/۰۰	۰/۹۹	۲۰
۱/۲۲	۱/۱۸	۱/۰۳	۰/۹۹	۵۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۲۱
۱/۲۳	۱/۱۸	۱/۱۱	۰/۹۹	۵۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۲۲
۱/۱۰	۱/۰۵	۱/۰۲	۰/۹۹	۵۶	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۲۳
۱/۱۸	۱/۱۷	۱/۱۱	۰/۹۹	۵۷	۱/۰۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۲۴
۱/۱۰	۱/۰۹	۱/۰۶	۰/۹۹	۵۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۲۵
۱/۱۶	۱/۱۳	۱/۰۸	۰/۹۹	۵۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۲۶
۱/۲۰	۱/۱۸	۱/۰۸	۰/۹۹	۶۰	۱/۰۱	۱/۰۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۲۷
۱/۱۱	۱/۰۸	۱/۰۲	۰/۹۹	۶۱	۱/۰۲	۱/۰۱	۰/۹۸	۰/۹۹	۲۸
۱/۱۸	۱/۱۴	۱/۰۷	۰/۹۹	۶۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	۲۹
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۶۳	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۳۰
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۶۴	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۰	۰/۹۹	۳۱
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۶۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۴	۰/۹۹	۳۲
					۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۱	۰/۹۹	۳۳

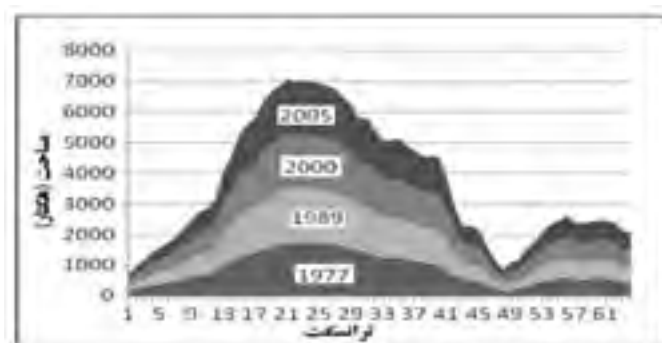
جدول ۳. مساحت خط ساحلی بر حسب هکتار در سالهای ۱۹۸۹، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۲۰

مساحت ۲۰۲۰	مساحت ۲۰۰۵	مساحت ۲۰۰۰	مساحت ۱۹۸۹	مساحت ۱۹۷۷	ترانسکت	مساحت ۲۰۲۰	مساحت ۲۰۰۵	مساحت ۲۰۰۰	مساحت ۱۹۸۹	مساحت ۱۹۷۷	ترانسکت
۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۷۵	۱۳۳۸/۷۵	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۵۵/۵	۳۳	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱
۱۳۳۸/۳۲	۱۳۳۸/۷۵	۱۳۳۸/۷۵	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۸۰/۸۵	۳۵	۱۳۳۸/۳۲	۱۳۳۸/۳۲	۱۳۳۸/۳۲	۱۳۳۸/۳۲	۱۳۳۸/۳۲	۲
۱۳۳۸/۸۱	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۷۵	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۸۱/۸۵	۳۶	۱۳۳۸/۸۱	۱۳۳۸/۸۱	۱۳۳۸/۸۱	۱۳۳۸/۸۱	۱۳۳۸/۸۱	۳
۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۷۵	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۸۱/۸۵	۳۷	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۴
۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۵۵/۲۲	۳۸	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۵
۱۳۳۸/۲۰	۱۳۳۸/۸۱	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۷۵	۱۳۸۱/۸۱	۳۹	۱۳۳۸/۲۰	۱۳۳۸/۲۰	۱۳۳۸/۲۰	۱۳۳۸/۲۰	۱۳۳۸/۲۰	۶
۱۳۳۸/۰۱	۱۳۳۸/۲۶	۱۳۳۸/۰۵	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۸۱/۲۲	۴۰	۱۳۳۸/۰۱	۱۳۳۸/۰۱	۱۳۳۸/۰۱	۱۳۳۸/۰۱	۱۳۳۸/۰۱	۷
۱۳۳۸/۵۷	۱۳۳۸/۰۶	۱۳۳۸/۰۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۸۱/۲۲	۴۱	۱۳۳۸/۵۷	۱۳۳۸/۵۷	۱۳۳۸/۵۷	۱۳۳۸/۵۷	۱۳۳۸/۵۷	۸
۱۳۳۸/۲۳	۱۳۳۸/۸۱	۱۳۳۸/۵۷	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۸۱/۵۵	۴۲	۱۳۳۸/۲۳	۱۳۳۸/۲۳	۱۳۳۸/۲۳	۱۳۳۸/۲۳	۱۳۳۸/۲۳	۹
۱۳۳۸/۳۱	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۸۱/۲۲	۴۳	۱۳۳۸/۳۱	۱۳۳۸/۳۱	۱۳۳۸/۳۱	۱۳۳۸/۳۱	۱۳۳۸/۳۱	۱۰
۱۳۳۸/۸۵	۱۳۳۸/۸۱	۱۳۳۸/۰۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۸۱/۲۲	۴۴	۱۳۳۸/۸۵	۱۳۳۸/۸۵	۱۳۳۸/۸۵	۱۳۳۸/۸۵	۱۳۳۸/۸۵	۱۱
۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۰۹	۱۳۳۸/۰۹	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۸۱/۲۲	۴۵	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۲
۱۳۳۸/۸۸	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۸۱/۲۲	۴۶	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۳۸/۸۸	۱۳
۱۳۳۸/۸۸	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۸۱/۸۸	۴۷	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۳۸/۸۸	۱۳۳۸/۸۸	۱۴
۱۳۳۸/۵۸	۱۳۳۸/۵۸	۱۳۳۸/۵۸	۱۳۳۸/۵۸	۱۳۸۱/۵۸	۴۸	۱۳۳۸/۵۸	۱۳۳۸/۵۸	۱۳۳۸/۵۸	۱۳۳۸/۵۸	۱۳۳۸/۵۸	۱۵
۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۸۱/۲۲	۴۹	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۳۳۸/۲۲	۱۶

جدول ۳- مساحت غلظت ساحلی بر حسب هکتار در سالهای ۱۹۷۷، ۱۹۸۹، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵

مساحت ۲۰۰۵	مساحت ۲۰۰۰	مساحت ۱۹۸۹	مساحت ۱۹۷۷	نرسکت	مساحت ۲۰۰۵	مساحت ۲۰۰۰	مساحت ۱۹۸۹	مساحت ۱۹۷۷	نرسکت	
۲۸۵/۰۸	۲۸۶/۸۲	۲۸۷/۵۷	۲۵۸/۲۴	۵۰	۱۷۸۶/۹۳	۱۷۶۲/۶۶	۱۶۶۸/۹۹	۱۶۵۸/۶۸	۱۶۳۸/۲۷	۱۷
۲۸۸/۸۶	۲۹۰/۵۴	۲۹۱/۲۴	۲۶۷/۳۲	۵۱	۱۷۶۵/۵۶	۱۶۰۷/۲۸	۱۶۵۸/۱۱	۱۵۸۷/۲۴	۱۵۴۰/۵۶	۱۸
۲۹۵/۵۷	۲۹۷/۳۶	۲۹۹/۸۴	۲۸۷/۰۸	۵۲	۱۷۶۶/۳۲	۱۷۱۲/۱۷	۱۷۱۰/۲۱	۱۶۲۸/۲۴	۱۵۸۰/۹	۱۹
۲۹۸/۲۹	۲۹۹/۲۵	۲۵۷/۲۶	۲۲۷/۳۲	۵۳	۱۷۱۵/۲۶	۱۷۱۵/۲۶	۱۷۱۵/۲۶	۱۷۱۵/۲۶	۱۷۱۵/۲۶	۲۰
۲۰۲/۳۰	۲۵۶/۳۱	۲۵۶/۹	۲۹۷/۲۱	۵۴	۱۷۶۵/۱	۱۷۶۶/۱۶	۱۷۶۶/۱۷	۱۷۶۶/۱۷	۱۷۶۶/۱۶	۲۱
۲۵۴/۲۷	۲۵۵/۲۷	۲۵۷/۲۴	۲۵۸/۲۴	۵۵	۱۷۵۲/۲۳	۱۷۵۲/۲۳	۱۷۵۲/۲۳	۱۷۵۲/۲۳	۱۷۵۲/۲۳	۲۲
۲۶۳/۰۸	۲۶۰/۲۷	۲۶۳/۷۵	۲۵۶/۳	۵۶	۱۷۵۵/۲۴	۱۷۵۵/۱۷	۱۷۵۵/۱۸	۱۷۵۵/۱۷	۱۷۵۵/۱۷	۲۳
۲۷۰/۳۵	۲۸۷/۰۲	۲۸۶/۰۰۳	۲۵۲/۲۶	۵۷	۱۷۵۰/۵۶	۱۷۵۰/۸۷	۱۷۵۰/۵۶	۱۷۵۰/۵۶	۱۷۵۰/۵۶	۲۴
۲۶۶/۰۲	۲۶۶/۲۴	۲۶۷/۲۲	۲۵۳/۵۸	۵۸	۱۷۳۲/۱۱	۱۷۳۲/۰۵	۱۷۳۲/۱۵	۱۷۳۲/۱۵	۱۷۳۲/۱۱	۲۵
۲۶۷/۵۶	۲۶۶/۰۰۷	۲۶۷/۲۷	۲۵۳/۸۲	۵۹	۱۷۰۹/۲۷	۱۷۳۲/۹	۱۷۳۲/۰۸	۱۶۹۸/۴	۱۷۰۴/۰۴	۲۶
۲۶۸/۲۳	۲۶۵/۲۷	۲۶۸/۲۲	۲۵۳/۲۶	۶۰	۱۶۹۲/۲۳	۱۷۵۵/۵۶	۱۶۹۷/۲۴	۱۶۶۷/۸۷	۱۶۶۷/۷	۲۷
۲۶۶/۸۴	۲۶۷/۲۴	۲۶۳/۲۶	۲۵۸/۷۱	۶۱	۱۶۰۷/۱۹	۱۶۶۲/۲۳	۱۶۷۱/۵۸	۱۵۸۸/۷۵	۱۶۳۲/۲۹	۲۸
۲۶۷/۰۷	۲۶۷/۲۳	۲۶۴/۱۸	۲۰۰/۲۶	۶۲	۱۵۷۶/۲۳	۱۵۳۷/۲۴	۱۵۳۷/۱۷	۱۵۳۷/۲۷	۱۵۸۰/۰۵	۲۹
۲۵۳/۲۴	۲۵۳/۲۴	۲۵۳/۲۴	۲۵۳/۲۴	۶۳	۱۷۳۹/۲۷	۱۷۵۲/۲۷	۱۷۵۲/۲۷	۱۷۳۲/۲۶	۱۷۵۰/۵۶	۳۰
۲۴۰/۱۲	۲۴۰/۱۲	۲۴۰/۱۲	۲۴۰/۱۲	۶۴	۱۷۴۹/۶۸	۱۷۵۵/۲۴	۱۷۵۸/۱۷	۱۷۴۹/۰۴	۱۷۵۴/۲۴	۳۱
۲۶۶/۲۹	۲۶۶/۲۹	۲۶۶/۲۹	۲۶۶/۲۹	۶۵	۱۷۳۲/۰	۱۷۶۲/۵۶	۱۷۶۲/۰۳	۱۷۶۲/۲۶	۱۷۱۵/۲۴	۳۲
					۱۷۶۶/۲۵	۱۷۶۶/۲۳	۱۷۶۸/۵۲	۱۶۶۷/۲۵	۱۷۵۴/۲۳	۳۳

حداکثر خطا در موقعیت خط ساحلی  $\pm$  بر اساس عوامل ذکر شده در سال‌های ۱۹۷۷، ۱۹۸۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ گرفته شده و نسبت تغییرات خط ساحلی در هر ترانسکت مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل ۲ تغییرات خطوط ساحلی طی سال‌های ۱۹۷۷، ۱۹۸۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ مقایسه شده است.



شکل ۲. تغییرات خطوط ساحلی طی سال‌های ۱۹۷۷، ۱۹۸۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵

جدول ۴. نتایج تجزیه و تحلیل آماری

Sig.	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	Source
.000	۵۰۳/۶۹۹	۱۰۸۴۹۳۸/۴۹۲	۶۵	۷۰۵۲۱۰۰۱/۹۹۸ <sup>a</sup>	مدل تصحیح شده
.000	۱۵۷/۲۰۱	۳۳۸۴۲۰/۰۴۸	۱	۳۳۸۴۲۰/۰۴۸	بینابین
.000	۵۰۸/۶۹۵	۱۰۹۵۱۱۱/۵۳۰	۶۴	۷۰۰۸۷۱۳۷/۹۰۷	ترانسکت
.000	۲۰۱/۵۳۶	۴۳۳۸۶۴/۰۹۰	۱	۴۳۳۸۶۴/۰۹۰	سال
		۲۱۵۲/۷۸۷	۱۹۴	۴۱۷۶۴۰/۶۷۷	خطا
			۲۶۰	۲/۷۳۲ E ۸	کل
			۲۵۹	۷۰۹۳۸۶۴۲/۶۷۵	مدل تصحیح شده

a. R Squared = .۰۹۹۴

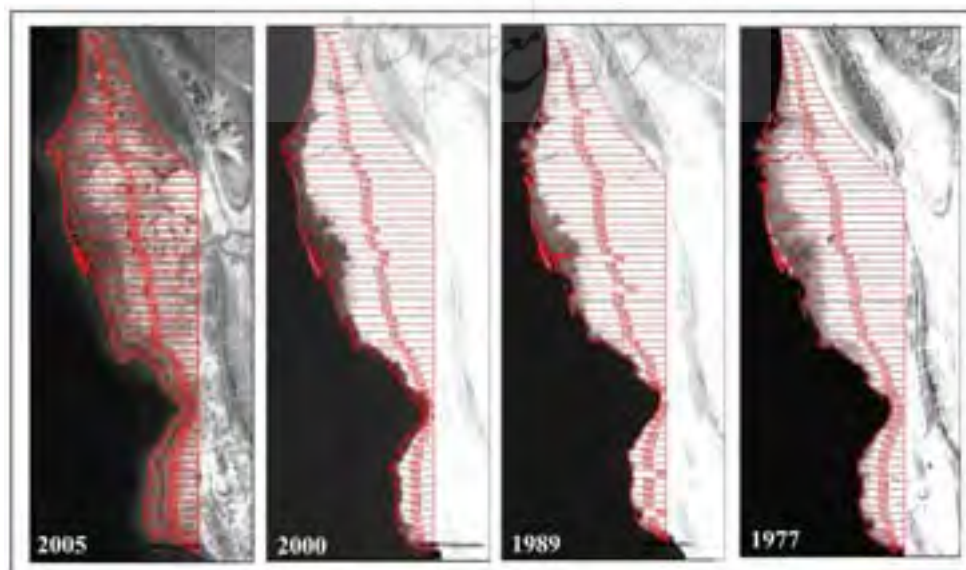
Adjusted R Squared = .۰۹۹۲

در رگرسیون خطی، میزان انطباق طرح پلات به کمک باقی‌ماندهٔ مجموع مربعات و ضریب رگرسیون اندازه‌گیری می‌شود، اگر تمام معیارها به‌طور دقیق منطبق بر مسیر برآورد شود، مقدار  $R^2$  برابر یک و برای داده‌های بدون همبستگی برابر صفر خواهد بود. در مطالعهٔ حاضر، مقدار  $R^2$  بیشتر از صفر ( $R^2 > 0$ ) مرز دقیقی برای محاسبهٔ تغییر خط ساحلی (آلن، کمار و پریت، ۲۰۰۳) مد نظر قرار گرفته است. هرچند به‌دلیل تعداد کم نقاط نمونه‌برداری، این فرضیهٔ آماری اندازه‌گیری شده برای آستانهٔ دقیق  $R^2$  مناسب نیست، از این رو در مطالعهٔ حاضر روش آماری دیگری به نام ریشهٔ میانگین خطا (RMSE) برای اعتبارسنجی متقابل تخمین موقعیت‌های خط ساحلی استفاده شده است. اعتبارسنجی متقابل برای تخمین موقعیت خط ساحلی در سال‌های گذشته، در تعریف کیفیت قابل پیش‌بینی و کیفیت مدل، تخمین‌زده شده است. محاسبهٔ ریشه میانگین مربع (RMSE) نشان می‌دهد که داده‌های قبلی محاسبه شده نزدیک به واقعیت است. این خطا با استفاده از رابطهٔ ۱ به‌دست آمده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}} \quad \text{رابطهٔ (۱)}$$

در این رابطه؛  $\hat{y}$ : نشان‌دهنده خط ساحلی محاسبه شده؛  $y$ : نشان‌دهنده خط ساحلی واقعی و  $n$ : برابر است با تعداد ترانسکت‌ها. پس از جایگذاری در فرمول محاسبه و موقعیت خط ساحلی قبلی در ترانسکت  $t$  برای کل تعداد ترانسکت‌ها، چون اعتبارسنجی متقابل توسط تعدادی از نقاط داده‌ها تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد، قابل قبول‌تر از روش ضریب رگرسیون است؛ هرچند برای جلوگیری از احتمال ساده‌سازی تخمین اعتبارسنجی متقابل، باید بررسی‌های انتخابی ژئومورفولوژیکی انجام شود (داگلاس و کرول و لترمن، ۱۹۹۸). هرگونه کاهش در مقدار رسوب و تغییر در مدیریت حفاظت یا طوفان‌ها، در نتایج اعتبارسنجی متقابل تأثیرگذار است.

تجزیه و تحلیل تغییرات خط ساحلی برای مدیریت مناطق ساحلی اهمیت ویژه‌ای دارد. درصد ترانسکت‌هایی با ارزش RMSE پایین‌تر و دوره زمانی کوتاه‌تر، به توافق بهتر تخمین و موقعیت خط ساحلی ماهواره‌ای اشاره می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که قسمت‌هایی که تحت تأثیر عوامل طبیعی قرار گرفته‌اند، مقدار RMSE پایین‌تری دارند. در بررسی‌های منطقه‌ای، تفاوت زیادی در مقادیر RMSE برای دو دوره وجود ندارد و شواهد ژئومورفولوژی این نتایج را تأیید می‌کنند. پژوهش حاضر نشان می‌دهد که ترکیب استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های آماری، می‌تواند یک روش قابل اعتماد برای مطالعات مربوط به خط ساحلی باشد. از میان ویژگی‌های مختلفی که داگلاس و همکارانش (۱۹۹۸) بیان کرده‌اند و نیز ویژگی‌های ژئومورفولوژی (پیکان‌های ماسه‌ای، تپه‌های ماسه‌ای، کانال‌های جزرومدی)، فرسایش و الگوی افزایش در مجموعه داده‌ها به ثبت رسیده است. این ویژگی‌ها در پایداری خط ساحلی اهمیت بسزایی دارند، هرگونه کاهش در مقدار رسوب و شدت طوفان یا تغییر در استراتژی حفاظت، به‌طور معناداری بر ویژگی‌های خط ساحلی تأثیر می‌گذارد. تغییرات و میزان نسبت کلی در طول، مساحت و  $R^2$  زبانه‌های ماسه‌ای برای سال‌های ۱۹۷۷، ۱۹۸۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ به‌طور جداگانه و با این هدف محاسبه شده که مشخص شود آیا روند معناداری در تغییر طول و مساحت پیکان‌های ماسه‌ای در چهار دوره مشاهده شده وجود دارد؟ نتایج نشان داد که روند خطی تغییر یافته و این تغییرات با استفاده از روش حداقل مربعات برآورد شده است.



شکل ۳. ترانسکت‌های تطبیق داده شده بر چهار دوره زمانی تصاویر ماهواره‌ای

جدول ۵. RMSE محاسبه شده برحسب هکتار برای سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۷۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵

RMSE ۲۰۰۵	RMSE ۲۰۰۰	RMSE ۱۹۸۹	RMSE ۱۹۷۷	ترانسکت	RMSE ۲۰۰۵	RMSE ۲۰۰۰	RMSE ۱۹۸۹	RMSE ۱۹۷۷	ترانسکت
۳/۳۸	۱/۵۰	۱/۰۹	۵/۶۲	۳۴	۳۳/۹۲	۱۸/۲۲	۴/۲۵	۴۵/۸۹	۱
۴/۶۶	۱/۶۳	۵/۰۵	۰/۹۰	۳۵	۲۷/۳۵	۱۶/۶۱	۷/۳۸	۳۵/۱۶	۲
۰/۲۳	۳/۳۴	۵/۱۱	۱/۲۰	۳۶	۲۲/۰۲	۱۲/۷۱	۵/۱۸	۲۸/۳۸	۳
۱/۷۵	۵/۲۱	۱/۷۱	۴/۸۴	۳۷	۱۸/۷۶	۱۰/۵۳	۴/۲۲	۲۴/۰۷	۴
۵/۴۸	۵/۲۱	۳/۱۳	۲/۵۴	۳۸	۱۶/۲۶	۱۰/۱۳	۳/۶۶	۲۱/۸۳	۵
۷/۶۸	۶/۳۸	۲/۸۵	۱/۲۳	۳۹	۱۱/۹۶	۱۰/۳۷	۲/۴۳	۱۹/۰۸	۶
۲۸/۵۸	۱۳/۵۳	۷/۵۷	۷/۸۰	۴۰	۱۳/۸۶	۸/۹۴	۳/۳۴	۱۸/۶۹	۷
۲۷/۶۷	۱۳/۷۶	۹/۰۵	۵/۱۷	۴۱	۱۱/۱۱	۸/۲۷	۲/۷۵	۱۵/۹۲	۸
۶/۸۲	۱/۷۹	۴/۴۶	۰/۸۸	۴۲	۷/۹۵	۴/۱۹	۱/۶۷	۱۳/۱۴	۹
۴/۸۰	۰/۷۱	۴/۶۷	۰/۲۷	۴۳	۱/۴۸	۳/۲۳	۷/۷۴	۲/۳۹	۱۰
۳/۶۰	۴/۸۴	۱/۷۳	۲/۶۸	۴۴	۱/۹۹	۱/۴۴	۰/۷۸	۳/۲۴	۱۱
۷/۳۴	۵/۲۷	۳/۶۱	۱/۲۵	۴۵	۱/۹۲	۵/۸۷	۵/۶۴	۲/۷۲	۱۲
۱۱/۶۰	۰/۵۷	۷/۳۸	۵/۰۸	۴۶	۰/۹۰	۲/۵۰	۴/۱۳	۱/۹۷	۱۳
۸/۴۸	۰/۳۹	۶/۹۱	۱/۴۷	۴۷	۲/۲۴	۱/۷۸	۲/۳۶	۲/۱۹	۱۴
۵/۳۶	۱/۵۱	۴/۶۶	۰/۵۲	۴۸	۲/۸۴	۳/۶۷	۲/۳۲	۴/۶۹	۱۵
۶/۴۵	۰/۴۳	۵/۸۱	۰/۴۹	۴۹	۲/۹۴	۰/۵۹	۲/۵۲	۰/۵۱	۱۶
۶/۸۹	۱/۶۹	۵/۶۰	۰/۱۱	۵۰	۶/۹۲	۴/۹۹	۷/۹۶	۴/۴۴	۱۷
۳/۵۳	۱/۱۲	۵/۵۲	۰/۵۹	۵۱	۷/۰۰	۰/۶۷	۷/۶۶	۰/۴۷	۱۸
۲/۵۳	۰/۳۲	۵/۰۷	۱/۹۴	۵۲	۱/۰۳	۳/۲۹	۰/۰۸	۳/۷۷	۱۹
۶/۴۷	۴/۱۱	۴/۲۲	۱/۵۹	۵۳	۱/۵۹	۶/۰۹	۱/۱۴	۶/۰۹	۲۰
۵/۶۵	۳/۵۹	۳/۴۲	۱/۰۸	۵۴	۷/۹۷	۵/۲۴	۲/۷۹	۹/۹۷	۲۱
۷/۵۷	۵/۶۶	۴/۰۱	۱/۸۳	۵۵	۸/۳۰	۵/۳۱	۲/۶۶	۱۰/۵۲	۲۲
۹/۲۴	۵/۷۶	۴/۵۸	۰/۸۴	۵۶	۷/۳۴	۴/۵۶	۲/۰۶	۹/۴۲	۲۳
۱۲/۰۵	۶/۰۵	۵/۹۰	۰/۳۶	۵۷	۸/۳۷	۴/۶۷	۲/۸۱	۹/۸۲	۲۴
۱۲/۵۰	۷/۰۲	۵/۵۴	۰/۲۱	۵۸	۶/۷۴	۳/۵۹	۱/۱۱	۸/۸۱	۲۵
۱۲/۶۹	۷/۶۱	۵/۹۲	۰/۵۸	۵۹	۴/۶۵	۳/۹۲	۰/۰۵	۸/۱۲	۲۶
۱۴/۰۶	۷/۱۳	۶/۱۶	۱/۰۲	۶۰	۷/۲۰	۴/۵۸	۱/۵۹	۹/۷۹	۲۷
۱۶/۱۱	۶/۶۸	۶/۷۶	۲/۹۲	۶۱	۵/۹۴	۵/۴۰	۱/۲۸	۹/۶۸	۲۸
۲۱/۳۶	۳/۰۷	۹/۷۷	۸/۷۸	۶۲	۴/۳۹	۳/۰۹	۱/۲۰	۵/۹۱	۲۹
۱۹/۰۷	۷/۷۸	۳/۱۳	۳/۹۸	۶۳	۴/۸۸	۲/۵۹	۱/۷۳	۵/۳۷	۳۰
۸/۱۶	۶/۴۱	۳/۵۵	۰/۹۳	۶۴	۰/۶۶	۱/۰۷	۳/۲۶	۴/۶۳	۳۱
۸/۲۹	۵/۹۷	۰/۷۷	۰/۴۴	۶۵	۴/۳۴	۴/۳۶	۳/۵۶	۳/۱۸	۳۲
					۳/۴۰	۵/۸۸	۸/۲۹	۱/۳۴	۳۳

## بحث و نتیجه‌گیری

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، امتداد بخشی از خط ساحلی شرق تنگه هرمز به طول ۱۴۲ کیلومتر است. این قسمت قاعده دو دلتای مرکب را در جلگه ساحلی شرقی تنگه هرمز پوشش می‌دهد. این جلگه از نتیجه تراکم رسوباتی به وجود آمده است که از سازندهای فلیش مکران و زاگرس در این بخش، به همراه رودخانه‌ها به سطح این جلگه منتقل شده و طی دوره کواترنری آن را وسعت بخشیده‌اند. به همین دلیل کم‌عرض‌ترین قسمت جلگه ساحلی منطبق با نقاطی است که در آن رودخانه عمده‌ای وجود ندارد و برعکس وسیع‌ترین بخش جلگه ساحلی، منطبق با دلتاهای مورد بررسی است. در این بخش حجم رسوب فراوانی را که چهار رودخانه موجود در سطح این دلتاها به خط ساحلی منتقل می‌کنند، موجب پیشروی تدریجی قاعده این دلتاها شده است. تحذب موجود در خط ساحلی مورد مطالعه، نتیجه این فرایند است (شکل ۱). علاوه بر دینامیک رودها و انتقال رسوب به خط ساحلی، باد و حرکات آب دریا و امواج، نقش بسیار مؤثری در توزیع رسوبات منتقل شده توسط رودخانه‌ها ایفا کرده‌اند. تشکیل خورها، پیکان‌ها، سدهای ماسه‌ای و لاگون‌ها، اغلب نتیجه عملکرد این فرایندهاست. هدف این پژوهش بررسی و اندازه‌گیری تغییرات روی داده در خط ساحلی شرق تنگه هرمز، تحت تأثیر عوامل مذکور و تعیین دامنه این تغییرات است. میزان تغییرات رخ داده از روش ترسیم پروفیل‌های متساوی‌البعده (ترانسکت) و عمود بر خط ساحلی، طی چهار دوره زمانی و سپس مقایسه و تحلیل آماری داده‌ها و سرانجام محاسبه RMSE بر مبنای تصاویر سال ۱۹۷۷ نشان داد که در ترانسکت‌های T<sub>۱</sub> تا T<sub>۹</sub> و نیز T<sub>۲۲</sub>، میزان RMSE بالاتر بوده و کمتر تحت تأثیر پارامترهای تغییردهنده خط ساحلی قرار گرفته‌اند. ترانسکت‌های ترسیم شده روی تصاویر سال ۱۹۸۹، میزان RMSE را کمتر از ۱۰ نشان داد. این دامنه نشان می‌دهد که خط ساحلی در این دوره از متغیرهای مذکور تأثیر بیشتری پذیرفته است. یافته‌های پژوهش و پایین بودن میزان RMSE، به کمتر بودن اختلاف بین خط ساحلی پیش‌بینی شده و خط ساحلی واقعی اشاره می‌کنند. در ترانسکت‌های T<sub>۱</sub> تا T<sub>۶</sub> و نیز T<sub>۴۰</sub> و T<sub>۴۱</sub> که روی تصاویر سال ۲۰۰۰ ترسیم شده است، میزان RMSE بیش از ۱۰ بوده است و گویای اختلاف زیاد بین خط ساحلی واقعی و پیش‌بینی شده است و به نقش کمتر پارامترهای تأثیرگذار اشاره می‌کند. در تصویر سال ۲۰۰۵ نیز ترانسکت‌های شماره T<sub>۱</sub> تا T<sub>۸</sub> و همچنین T<sub>۵۷</sub> تا T<sub>۶۳</sub> و نیز T<sub>۴۰</sub>، T<sub>۴۱</sub> و سرانجام T<sub>۴۶</sub>، میزان RMSE بالاتر از ۱۰ بوده است و به کمتر بودن تأثیر این پارامترها و اختلاف زیاد بین خط ساحلی واقعی و پیش‌بینی شده اشاره می‌کند. یادآوری این نکته ضروری است که در این پژوهش دامنه جزرومد که به دلیل کم‌شیب بودن قاعده دلتاها سطح وسیعی را پوشش می‌دهد، در تغییرات خط ساحلی وارد محاسبه نشده است. علاوه بر جزرومد، قدرت تفکیک تصاویر، ضخامت خطوط ترسیم شده و مشکل تفکیک خط پایدار ساحلی، جزء خطاهای موجود در نتایج این پژوهش به‌شمار می‌روند.

## منابع

- نوحه‌گر، ا.؛ یمانی، م. (۱۳۸۵). ژئومورفولوژی ساحل شرقی تنگه هرمز. دانشگاه هرمزگان، انتشارات دانشگاه هرمزگان.  
 محمودی، ف. (۱۳۷۰). ژئومورفولوژی (جلد دوم: ژئومورفولوژی اقلیمی). تألیف رژه کتابخانه. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.



- یمانی، م. (۱۳۷۸). اثر حرکات آب دریای عمان در تشکیل و تکامل تالاب‌های جزرومدی، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۷، صص. ۱-۱۰.
- یمانی، م.؛ علمی‌زاده، ه. (۱۳۹۰). بررسی علل ناپایداری آبراهه‌ها در سطح دلتای رود کُل، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره زمستان، شماره ۷۸، صص ۱-۱۵.
- Al Bakri, D., 1996, **Natural Hazards of Shoreline Bluff Erosion: A Case Study of Horizon View, Lake Huron**, *Geomorphology*, Vol. 48, No. 3, 17, PP. 323–337.
- Allan, J.C., Komar, P.D., Priest, G.R., 2003, **Shoreline Variability on the High-Energy Oregon Coast and its Usefulness in Erosion-Hazard Assessments**, *Journal of Coastal Research*, No. 38, PP. 83–105.
- Al-Tahir, R. and Ali, A., 2004, **Assessing Land Cover Changes in the Coastal Zone Using Aerial Photography, Surveying and Land Information Science**, Vol. 64, No. 2, PP. 107–112.
- Bird, E.C.F. (1985). **Coastline Changes: a Global Review**, Wiley, Chichester. UK.
- Bird, E.C.F, 1996, **Beach Management (Coastal Morphology and Research)**, John Wiley and Sons Ltd, Chichester.
- Boak, E.H. and Turner, I.L., 2005, **Shoreline Definition and Detection: A Review**, *Journal of Coastal Research*, Vol. 21, No. 4, PP. 688–703.
- Bray, M. J. and Hooke, J.M. 1997, **Prediction of Soft-cliff Retreat with Accelerating Sea-level Rise**, *Journal of Coastal Research*, Vol. 13, No. 2, PP. 453-467.
- Bruun, P., 1962, **Sea-level Rise as a Cause of Shore Erosion**, *J. Waterw. Harb. Div. (ASCE)*, Vol. 88, No. 2, PP. 117–130.
- Cowell, P.J, Hanslow, D.J. and Meloe, J., 1999, **The Shoreface**, In: A.D. Short, Editor, *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*, John Wiley and Sons, Chichester, England.
- Cowell, P.J, Stive, M.J.F., Roy, P.S., Kaminsky, G.M., Buijsman, M.C., Thom, B.G. and Wright, L.D., 2001, **Shoreface Sand Supply to Beaches**, *Proceedings 27th International Conference on Coastal Engineering*, American Society of Engineers, PP. 2495–2508.
- Crowell, M., Leatherman, S.P. and Buckley, M.K., 1993, **Erosion Rate Analysis: Long Term Versus Short Term Data**, *Shore and Beach*, Vol. 61, No. 1, PP. 13–20.
- Crowell, M., 2006, **Historical Shoreline Mapping and Analysis: An Historical Overview**. In: Abstract submitted to shoreline Change Conference II: A Workshop on Managing shoreline Change. Charleston, USA. [http://www.csc.noaa.gov/shoreconf/shoreline\\_change\\_conf\\_proceedings.pdf](http://www.csc.noaa.gov/shoreconf/shoreline_change_conf_proceedings.pdf) (accessed 20.01.2007.).
- Douglas, B.C., M. Crowell and S.P. Leatherman, 1998, **Considerations for Shoreline Position Prediction**, *Journal of Coastal Research*, Vol. 14, No. 2, PP. 1025–1033.
- Douglas, B.C. and Crowell, M., 2000, **Long-term Shoreline Position Prediction and Error Propagation**, *Journal of Coastal Research*, Vol. 16, No. 3, PP. 145–152.
- Gourlay, M.R, 1996, **Wave Set-up on Coral Reefs. 2. Set-up on Reefs with Various Profiles**, *Coastal Engineering*, Vol. 28, No. 1, PP. 17–55.
- Hengl, T., 2006, **Finding the Right Pixel Size**, *Computers & Geosciences*, Vol. 32, No. 2, PP. 1283–1298.
- Jantunen, H. and Raitala, J., 1984, **Locating Shoreline Changes in the Porttipahta (Finland) Water Reservoir by Using Multitemporal Landsat Data**, *Photogrammetria*, Vol. 39, No. 2, PP. 1–12.

- IPCC Climate Change, 2007, **the Fourth Assessment Report**, (AR4) of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Lafon, V, Froidefonda, J.M., Lahetb, F. and Castaing, P., 2002, **SPOT Shallow Water Bathymetry of a Moderately Turbid Tidal Inlet Based on Field Measurements**, Remote Sensing of Environment, Vol. 81, No, 3, PP. 136–138.
- Maiti, S. and Bhattacharya, A.K., 2009, **Shoreline Change Analysis and Its Application to Prediction: a Remote Sensing and Statistics Based Approach**, Marine Geology, Vol. 257, No. 2, PP. 11–23.
- Miller, P., Mills, J., Edwards, S., Bryan, P., Marsh, S., Hobbs, P. and Mitchell, H., 2007, **Integrated Remote Monitoring of Coastal Geohazards**, Marine Geodesy, Vol. 30, No. 1, PP. 109–123.
- Mills, J.P., Buckley, S.J. and Mitchell, H.L., 2003, **Synergistic Fusion of GPS and Photogrammetrically Generated Elevation Models**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 69, No. 4, PP. 341–349.
- Mills, J.P., Buckley, S.J., Mitchell, H.L., Clarke, P.J. and Edwards, S.J., 2005, **A Geomatics Data Integration Technique for Coastal Change Monitoring**, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 30, No. 6, PP. 651–664.
- Moore, L.J, 2000, **Shoreline Mapping Techniques**, Journal of Coastal Research, Vol. 16, No.1, PP. 111–124.
- Petersen, D., Deigaard, R. and Fredsoe, J., 2001, **Shape and Size of Sandy Spits**, Proceedings of the Fourth Conference on Coastal Dynamics, ASCE, Lund, Sweden, PP. 732–740.
- Ryu, J.H., Won, J.S. and Min, K.D., 2002, **Waterline Extraction from Landsat TM Data in a Tidal Flat: a Case Study in Gosmo Bay, Korea**, Remote Sensing of Environment, Vol. 83, No.1, PP. 442–456.
- Sherman, D. and Bauer, B.O., 1993, **Coastal Geomorphology through the Looking Glass**, Geomorphology, Vol.7, No. 2, PP. 225–249.
- Siddiqui, M.N. and Maajid, S., 2004, **Monitoring of Geomorphological Changes for Planning Reclamation Work in Coastal Area of Karachi, Pakistan**, Advanced Space Research, Vol. 33, No.2, PP. 1200–1205.
- Singh, A, 1989, **Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 10, No.1, PP. 989–1003.
- Thieler, E.R. and Danforth, W.W., 1994, **Historical shoreline mapping (I): Improving Techniques and Reducing Positioning Errors**, Journal of Coastal Research, Vol.10, No.3, PP. 549–563.
- Vita- Finzi, C., 1979, **Contribution to the Quaternary Geology of South Iran**, Geol surv. Iran, report No.47.
- White, K. and El Asmar, H.M., 1999, **Monitoring Changing Position of Coastlines Using Thematic Mapper Imagery, an Example from the Nile Delta**, Geomorphology, Vol. 29, PP. 93–105.
- Zuzek, P.J., Nairn, R.B. and Thieme, S.J., 2003, **Spatial and Temporal Consideration for Calculating Shoreline Change Rates in the Great Lakes Basin**, Journal of Coastal Research, Vol.38, No.2, PP. 125–146.