

## مقایسه تغییرات زمانی خط ساحلی دلتای گرگان‌رود و دلتای سفیدرود با استفاده از سامانه تحلیل رقومی خط ساحلی (DSAS)

لیلا امینی<sup>۱</sup>، عطاءاله عبداللهی کاکرودی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، پست الکترونیکی: [l.amini@ut.ac.ir](mailto:l.amini@ut.ac.ir)

۲- استادیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، پست الکترونیکی: [a.a.kakroodi@ut.ac.ir](mailto:a.a.kakroodi@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۷/۱/۱۸

\* نویسنده مسوول

تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۲۴

### چکیده

هدف از این مقاله، اندازه‌گیری و مقایسه نرخ تغییرات خط ساحلی در دو دلتای گرگان‌رود و سفیدرود با کمک سامانه تحلیل رقومی خط ساحلی (DSAS) است. به منظور استخراج خط ساحلی، از تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ میلادی استفاده گردید و جابجایی آن در فواصل مساوی ۵۰ متر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تأثیر نوسانات سطح تراز آب دریای خزر بر جابجایی خط ساحل در دو منطقه مورد مطالعه یکسان نیست. طی این بازه زمانی ۳۰ ساله، نرخ کل جابجایی (LRR) خط ساحل در دلتای گرگان‌رود و دلتای سفیدرود به ترتیب در حدود ۱۰۴/۸۵ و ۲/۱- متر در سال برآورده شد. در واقع، دلتای گرگان‌رود پسروری قابل توجه (به سمت دریا) و دلتای سفیدرود پیشروی ناچیزی (به سمت خشکی) را نشان داد.

کلمات کلیدی: تغییرات خط ساحلی، سطح تراز آب، DSAS، دلتای سفیدرود، دلتای گرگان‌رود.

### ۱. مقدمه

مناطق ساحلی همواره مورد توجه و جاذب جمعیت بوده‌اند. تهیه نقشه خط ساحلی و تعیین تغییرات جهت ناوبری ایمن، مدیریت منابع، حفاظت محیط زیست، برنامه‌ریزی و توسعه پایدار ساحلی حائز اهمیت است (Di et al., 2003). روش‌های مختلفی برای بررسی تغییرات خط ساحلی در نظر گرفته شده است، که به طور کلی می‌توان آن را به روش‌های میدانی، آماری، سنجش از دور (تصاویر هوایی و ماهواره‌ای) و روش‌های GIS تقسیم‌بندی نمود. پایش تغییرات خط ساحلی، با ورود تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی نقش مهمی جهت کسب داده‌های فضایی از لحاظ اقتصادی ایفا می‌کنند (Alesheikh و همکاران، ۲۰۰۳). مطالعات متعددی در زمینه پایش تغییرات خط ساحلی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای انجام شده است که می‌توان به تحقیقات صورت گرفته توسط

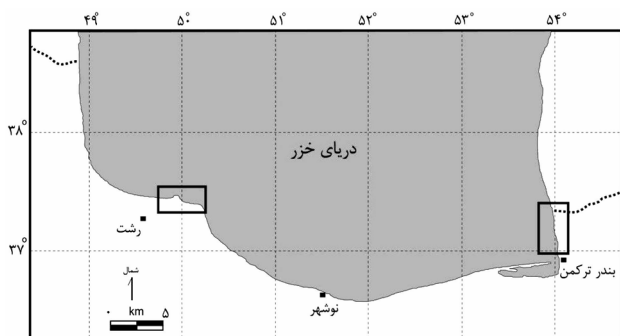
به عنوان یکی از مهم‌ترین عارضه‌های جغرافیایی، خط تلاقی ناحیه ساحلی و سطح پهنه آبی است (Kurt et al., 2010). خط ساحلی ممکن است بر اثر عوامل ریخت‌شناسی، اقلیم‌شناسی، زمین‌شناسی تغییر کند. پایش ناحیه ساحلی، امری مهم در توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست آن است؛ از این رو با مطالعه تغییرات خط ساحل، برنامه‌ریزی و مدیریت کارآمد می‌توان تأثیرات منفی وقوع مخاطرات مرتبط با نوسانات سطح آب را کاهش داد. سطح تراز دریای خزر تاکنون نوسانات متفاوتی را تجربه نموده است (Kakroodi et al., 2012). از جمله پیامدهای نوسانات سطح تراز دریا، تغییرات خط ساحلی در مناطق ساحلی است. به دلیل اهمیت زیستگاهی، تفریحی، اقتصادی و بازرگانی،

سفیدرود در بازه زمانی ۲۹ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۵) با استفاده از روش تحلیل رقومی خط ساحلی است. در این روش، برخلاف تحقیقات پیشین که بررسی تغییرات خط ساحل در فواصل مکانی نسبتاً زیاد و به صورت دستی<sup>۱</sup> صورت گرفته است، پایش تغییرات خط ساحلی در مناطق مورد مطالعه، به صورت خودکار و دقیق و در فواصل مکانی نسبتاً نزدیک (۵۰ متر) مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱ منطقه مورد مطالعه

مناطق مورد مطالعه در ساحل جنوبی دریای خزر انتخاب شدند. این پهنه آبی در عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۷ دقیقه و طول شرقی ۴۵ دقیقه و ۴۳ درجه تا ۵۴ درجه و ۵۰ دقیقه قرار دارد (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۳). محدوده جغرافیایی دلتای سفیدرود و دلتای گرگان‌رود به ترتیب در ساحل جنوب غربی دریای خزر و جنوب شرقی دریای خزر واقع هستند (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دلتای گرگان‌رود و دلتای سفیدرود.

از میان ۶۱ رودخانه‌ایی که به دریای خزر منتهی می‌شوند تنها رسوبات دو رودخانه سفیدرود و گرگان‌رود دلتاهایی را در دریای خزر تشکیل داده‌اند (Lahijani et al., 2007). این رودخانه‌ها هر ساله حدود ۴۰ میلیون تن رسوب به خط ساحلی می‌افزایند (Voropaev et al., 1998). سهم سفیدرود از این میزان رسوب حدود ۷۰ درصد است. همچنین، مناطق جنوب شرقی دریای

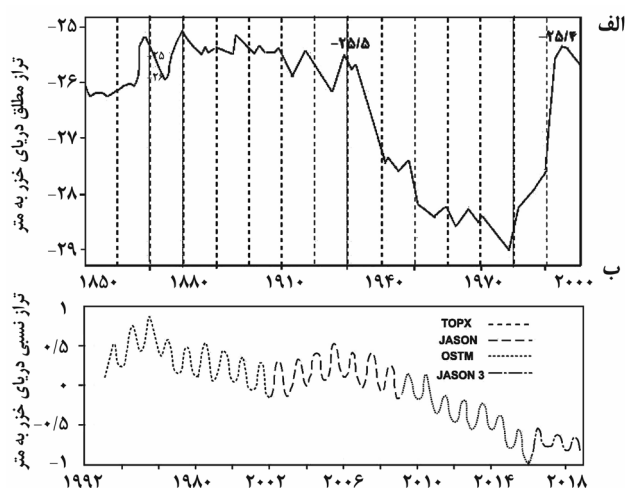
(Blodget 1991) اشاره کرد. وی تغییرات خط ساحلی را در کرانه رود نیل با مشاهدات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای ارزیابی کرد. نتایج نشان داد که تصاویر ماهواره‌ای لندست با پوشش زمانی متوالی و تباین طیفی خوب از دریا و خشکی می‌تواند برای مطالعه فرایندهای نواحی ساحلی مناسب باشد (Blodget, 1991). Ryu و همکاران (۲۰۰۲) نیز با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، خطوط ساحلی خلیج گوسمو در کره جنوبی را مورد بررسی قرار دادند. El-Asmar و White (۲۰۰۲) با استفاده از سه تصویر ماهواره لندست، جابجایی خط ساحلی را در یکی از دلتاهای رود نیل در مصر بررسی نمودند. از جمله مطالعات انجام شده در ایران نیز می‌توان به مطالعات (Alesheikh 2007)، آزرمتسا و رزمخواه (۱۳۸۹) اشاره کرد که هر یک از این محققین، موقعیت خط ساحل را از طریق داده‌های ماهواره‌ای بررسی نمودند. خلاقی (۱۳۸۵) با استفاده از داده‌های سنجنده‌های ETM+, TM و MSS ماهواره لندست، به بررسی تغییرات خط ساحلی بخشی از دریای خزر، برای یک دوره ۳۰ ساله (۲۰۰۲-۱۹۷۲) پرداخت. این محقق ضمن بررسی برخی از روش‌ها، در نهایت با استناد به روش بصری، طبقه‌بندی شی‌گرا را روشی کارآمد برای این‌کار ارزیابی نمود و با استفاده از آن نیز نقشه نهایی تغییرات خط ساحلی را استخراج نمود. در تحقیقی که توسط لرستانی (۱۳۹۴) روی بررسی تغییرات خط ساحلی در بازه زمانی ۱۹۷۵-۲۰۱۳ و در فواصل مکانی ۵۰۰ متر انجام گرفت، نشان داد که بیشترین تغییر در خط ساحلی به قسمت میانی رودخانه‌ای گرگان‌رود ارتباط دارد که دامنه تغییرات آن ۶۳/۷-۸۴/۲ متر در سال است. همچنین، بر اساس تحقیقی که توسط یمانی و همکاران (۱۳۹۱) انجام گرفت، نتایج نشان داد که حداکثر نرخ پیش‌روی و حداکثر نرخ پس‌روی دلتای سفیدرود در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۱ و در فواصل مکانی ۲۰۰ متر، به ترتیب معادل ۱۲/۱۸- و ۴/۴۵ متر است. پایش نواحی ساحلی به ویژه در نواحی مورد مطالعه (دلتاهای سفیدرود و گرگان‌رود) از جنبه‌های کاربردی و بنیادی حائز اهمیت است. به دلیل نوسانات سطح تراز آب دریای خزر، خط ساحلی این نواحی تغییرات قابل توجهی را نشان داده‌اند. نوسانات سطح آب، طی سالیان متمادی نواحی ساحلی و به ویژه خط ساحل را تحت تأثیر خود قرار داده‌اند. به دلیل اهمیت نواحی ساحلی پایش آن مورد توجه است. هدف از این پژوهش مقایسه و ارزیابی تغییرات زمانی خط ساحلی جنوب دریای خزر در محدوده دلتای گرگان‌رود و دلتای

<sup>1</sup> manual

ساحلی در محدوده‌های مورد مطالعه در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۵)، از شاخص<sup>۲</sup> NDWI استفاده شد (رابطه ۱).

$$\text{NDWI} = (\text{Green} - \text{NIR}) / (\text{Green} + \text{NIR}) \quad \text{رابطه ۱}$$

باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک در تصویر TM به ترتیب معادل باندهای ۲ و ۴ و در تصویر OLI به ترتیب شامل باندهای ۳ و ۵ هستند. این شاخص بر اساس بیشینه بازتاب آب در طول موج سبز و کمینه بازتاب آب و بیشینه بازتاب گیاه و خاک در طول موج مادون قرمز نزدیک در نظر گرفته شدند. در نتیجه مقدار خروجی شاخص NDWI برای آب مقدار مثبت و برای گیاه و خاک مقدار منفی یا صفر بود (Mcfeeters, 1996; Hanqiu, 2006). پس از اعمال این شاخص روی تصاویر، جهت بهبود تباین و بارسازی تغییرات خط ساحلی، فیلتر High Pass روی هر یک از تصاویر به کار گرفته شدند. فیلتر High Pass برای تغییرات ناگهانی پدیده‌های خطی مانند مرز، جاده و رودها کاربرد دارند. پس از عمل فیلتر، خطوط ساحلی در هر یک از سال‌های مورد نظر استخراج گردیدند. برای استخراج خط ساحلی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. سیستم تحلیل رقمی خط ساحلی (DSAS<sup>۳</sup>) یکی از روش‌های مناسب جهت پیش تغییرات خط ساحلی است (Tiler et al., 2009).



شکل ۲: الف) تراز مطلق دریای خزر بر اساس ایستگاه آب‌نگاری باکو بین سال‌های ۱۸۵۰-۲۰۰۰؛ ب) تراز نسبی دریای خزر بر اساس داده‌های ماهواره‌ای بین سال‌های ۱۹۹۲-۲۰۱۸ (عبداللهی کاکرودی، ۱۳۹۲).

خزر از نظر ژئومورفولوژیکی از مناطق حساس در برابر تراز آب به شمار می‌رود و پیش‌روی آب دریا باعث پدید آمدن عریض‌ترین پهنه رسوبی در جنوب شرقی دریای خزر شده است (رودباری شهمیری و همکاران، ۱۳۹۶). در حالی که تغییرات ریخت‌شناسی ساحلی در مناطق دیگر دریای خزر چندان محسوس نبوده است.

## ۲-۲ داده‌ها

جهت پیش تغییرات خط ساحلی، تصاویر ماهواره‌ای ژئورفرنس شده لندست<sup>۱</sup> TM و OLI طی سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۱). با استفاده از عارضه‌های مشخص همانند رودخانه تطبیق و دقت ژئورفرنس، تصاویر مورد بازبینی قرار گرفتند و از صحت آن اطمینان حاصل گردید. لازم به ذکر است که خطای اندازه‌گیری هندسی در تصاویر لندست کمتر از ۱۲ متر است (سایت زمین‌شناسی آمریکا). همچنین از داده‌های ماهواره‌ای ارتفاع سنج JASON 1، TOPEX/ POSEIDON, OSTM/JASO با قدرت تفکیک زمانی معادل ۱۰ روز (<https://sealevel.jpl.nasa.gov>) برای بازه زمانی ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۵ و از داده‌های ۱۵۰ ساله سطح تراز دریای خزر که به وسیله ایستگاه آب‌نگاری باکو طی سال‌های ۱۸۵۰-۲۰۰۰ اندازه‌گیری شد استفاده گردید (عبداللهی کاکرودی، ۱۳۹۲) (شکل ۲).

جدول ۱: تصاویر مورد استفاده در مطالعه حاضر

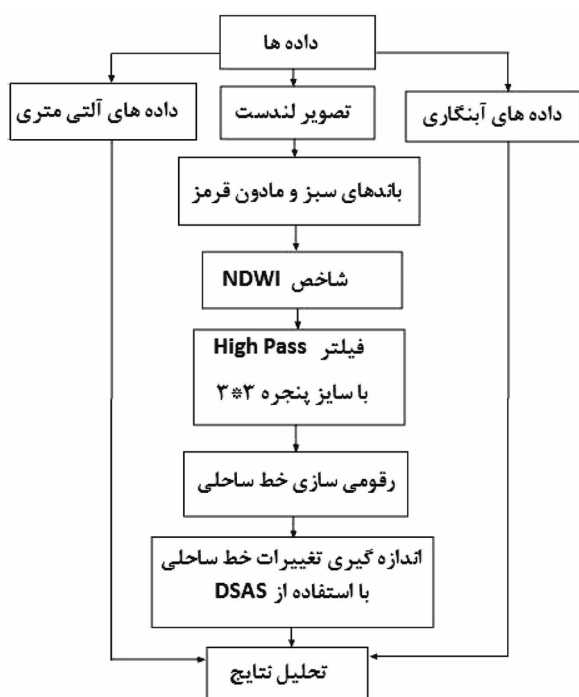
تاریخ اخذ تصویر	داده ماهواره	رزولوشن مکانی
۱۹۸۶/۵/۳۱	لندست ۷ TM	۳۰m
۲۰۰۰/۶/۱۶	لندست ۷ TM	۳۰m
۲۰۱۵/۶/۱۶	لندست ۸ OLI	۳۰m
۱۹۸۶/۲/۱۹	لندست ۷ TM	۳۰m
۲۰۰۰/۳/۲۹	لندست ۷ TM	۳۰m
۲۰۱۵/۷/۲۹	لندست ۸ OLI	۳۰m

تصاویر رایگان ماهواره‌ای لندست با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از مهم‌ترین ابزارها در بررسی تغییرات خط ساحل هستند (Blodget, ۱۹۹۱). از این‌رو، به منظور استخراج تغییرات خط

<sup>۱</sup> این تصاویر از پایگاه زمین‌شناسی آمریکا (USGS) گرفته شده‌اند.

<sup>۲</sup> Normalized difference water Index

<sup>۳</sup> Digital Shoreline Analysis System



شکل ۳: چارچوب فرایند پایش تغییرات خط ساحلی

### ۳. نتایج و بحث

نوسان تراز آب دریای خزر عاملی مهم در تغییرات خط ساحلی دریای خزر است. اگر تراز آب دریا افزایش یابد ساحل به سمت خشکی جا به جا شده و توالی رسوبی پیش‌رونده تشکیل می‌گردد. چنین شرایطی به طور دوره‌ای در سواحل دریای خزر، اتفاق می‌افتند (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۳). با رقومی‌سازی تصاویر چند زمانه و استخراج خطوط ساحلی، ترانسکت‌هایی در فواصل مساوی ۵۰ متر در امتداد دلتای گرگان-رود و سفیدرود ترسیم شدند (شکل‌های ۴ و ۵). این مراحل تعیین و اندازه‌گیری تغییرات خط ساحل در هر سه دوره زمانی در محیط نرم‌افزار Arc GIS، نسخه ۱۰٫۲ به وسیله ابزار DSAD انجام گردید. با توجه به داده‌های تراز ایستگاه باکو، در سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۰۰ سطح تراز آب دریا به ترتیب برابر ۲۸- و ۲۵/۵- متر گزارش شد. بدین معنی که در سال ۲۰۰۰ در مقایسه با سال ۱۹۸۶ سطح تراز آب دریا ۲/۵ متر افزایش داشته که این افزایش سطح تراز در سال ۲۰۰۰، پیش‌روی خط ساحلی را در هر دو منطقه به دنبال داشته است، اما شدت این پیش‌روی‌ها یکسان نبوده است. در محدوده دلتای گرگان‌رود در مقایسه با دلتای سفیدرود پیش‌روی بیشتری مشاهده گردید. نوسانات ۱۵۰ ساله

این ابزار، روی نرم‌افزار ArcGIS، نسخه ۱۰٫۲ نصب شده و با ایجاد ترانسکت‌هایی عمود بر خطوط ساحلی، نرخ تغییرات خط ساحلی را حول مقاطع ایجاد شده نسبت به یک مبنای مشخص محاسبه می‌کند (محمودی و همکاران، ۱۳۹۴). با استفاده از فاصله هر نقطه اندازه‌گیری تا خط مبنا، تاریخ خط ساحلی برداشت شد و نرخ تغییرات اندازه‌گیری گردید.

در این پژوهش، طول خط ساحلی رقومی شده در ساحل دلتای گرگان‌رود و ساحل دلتای سفیدرود به ترتیب برابر ۴۲ و ۶۳ کیلومتر بود. ترانسکت‌هایی عمود بر خط مبنا در فواصل معین ۵۰ متر در نظر گرفته شدند. طول ترانسکت‌ها در هر دو منطقه مورد مطالعه، حدود ۶ کیلومتر بودند. بدیهی است که طول ترانسکت‌های محصور شده بین خطوط ساحلی بیانگر میزان تغییر خط ساحلی در بازه زمانی بین سال‌هایی است که خطوط ساحلی ثبت شده‌اند. ابزار DSAS، با استفاده از چندین روش آماری (شامل نقطه نهایی (EPR<sup>۱</sup>)، رگرسیون خطی (LRR<sup>۲</sup>)، رگرسیون خطی وزن دار (WLR<sup>۳</sup>) و فاصله اطمینان نقطه نهایی (ECI<sup>۴</sup>)) نرخ تغییرات خط ساحلی را محاسبه می‌کند (محمودی و همکاران، ۱۳۹۴). در این پژوهش، تنها از روش‌های آماری رگرسیون خطی (LRR) و مقدار نقطه پایانی (EPR) استفاده شد. رگرسیون خطی از طریق برازش حداقل مربعات خط رگرسیون به کل نقاط در سطح اطمینان ۹۵ درصد در یک ترانسکت خاص اندازه‌گیری شد. مقدار مثبت LRR بیانگر حرکت خط ساحل به سوی دریا (رسوبگذاری) و مقدار منفی نشان‌دهنده پیش‌روی خط ساحلی به سوی خشکی است (فرسایش). میزان شیب معادله رگرسیون میزان جابجایی خط ساحلی را در سال نشان می‌دهد.

مقدار نقطه پایانی نیز قدیمی‌ترین و جدیدترین خط ساحلی در نظر گرفته می‌شود. اختلاف مکانی (فاصله) آن‌ها بر اختلاف زمانی‌شان تقسیم می‌شود و یک نرخ رشد خط ساحلی به دست می‌آید (Himmelstoss, 2009). چارچوب فرایند پایش تغییرات خط ساحلی در شکل ۳ نشان داده شده است.

<sup>1</sup> End Point Rate

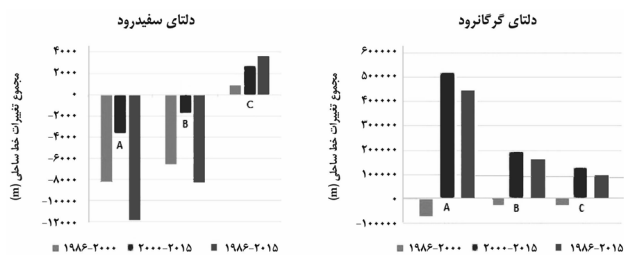
<sup>2</sup> Linear Regression Rate

<sup>3</sup> Weighted Linear Regression Rate

<sup>4</sup> Confidence of End Point Rate

خطی، نرخ جابجایی را برحسب متر در سال، در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان می‌دهد. برای محدوده دلتای سفیدرود، میزان جابجایی برای هر سه قسمت A، B و C به صورت جداگانه محاسبه شد. میزان جابجایی برای هر بخش به ترتیب برابر با ۱۱۱/۵۶، ۹۷/۹ و ۸۹/۹۹ متر در سال برآورد گردید. به عبارتی دیگر نرخ کل جابجایی در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای محدوده A،  $111/56 \pm 5$  برای محدوده B،  $97/9 \pm 5$  و برای محدوده C برابر با  $89/99 \pm 5$  متغیر است. مقدار مثبت شیب معادله رگرسیون، در هر سه محدوده A، B و C حاکی از پس‌روی خط ساحل به سوی دریا است.

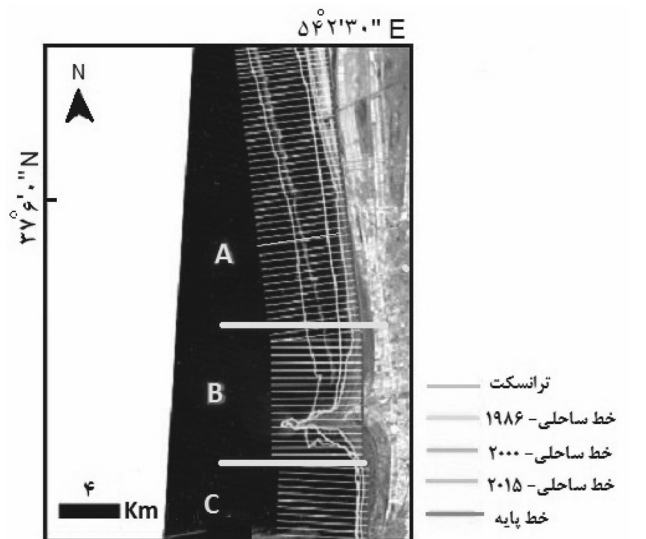
نرخ جابجایی خط ساحل در دلتای گرگان‌رود در محدوده-های A، B و C به ترتیب  $-6/04$ ،  $-9/8$  و  $2/29$  متر در سال برآورد شد (شیب معادله رگرسیون). در سطح اطمینان ۹۵ درصد، نرخ جابجایی در هر سه محدوده از  $5 \pm -6/04$ ،  $5 \pm -9/8$  و  $5 \pm 2/29$  متغیر بود. مقدار منفی شیب رگرسیون، در محدوده‌های A و B نشان‌دهنده حرکت خط ساحلی به سمت خشکی و شیب مثبت در محدوده C نشانگر پیش‌روی خط ساحل به سمت دریا است. نتایج سایر شاخص‌های آماری در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. همچنین تغییرات خط ساحلی در هر سه بازه زمانی در هر دو دلتا در شکل ۶ نمایش داده شده است.



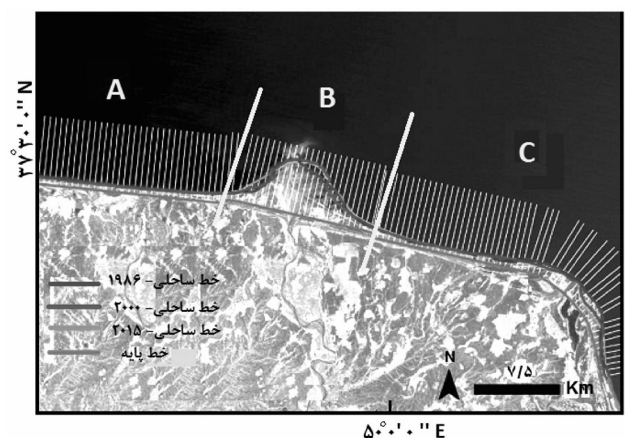
شکل ۶: تغییرات خط ساحلی (متر) دلتای گرگان‌رود و دلتای سفیدرود

با توجه به شکل ۶، در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۰۰، به دلیل افزایش سطح تراز آب، در تمام بخش‌های A، B و C دلتای گرگان‌رود و در قسمت‌های A و B دلتای سفیدرود پیش‌روی داشته و تنها در بخش C دلتای سفیدرود پس‌روی نشان داده است. در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۰ با کاهش افت تراز آب دریا، در تمام بخش‌های دلتای گرگان‌رود پس‌روی و در دلتای سفیدرود مشابه بازه زمانی پیشین، در قسمت‌های A و B پیش‌روی و در بخش C پس‌روی مشاهده گردید. در مجموع، در

سطح آب دریای خزر در ایستگاه آب‌نگاری باکو نشان داد که دریای خزر در سال ۱۹۸۰ شدیدترین افت سطح تراز را تجربه کرده است (حدود ۲۹- متر) و از آن سال به بعد، سطح تراز آب با افزایش نسبی مواجه شده است و تراز آب در سال ۱۹۹۵ افزایشی در حدود ۳ متر را نشان داده است. از سال ۲۰۰۰ به بعد، طبق نمودار داده‌های ماهواره‌های ارتفاع سنج، سطح تراز آب کاهش تدریجی داشته به طوری که در سال ۲۰۱۵ سطح تراز به کمتر از ۲۷/۵- متر رسیده است.



شکل ۴: ترانسکت‌های عمود بر خط مبنا و خطوط ساحلی در دلتای گرگان‌رود، باند ۴ تصویر TM در سال ۱۹۸۶.



شکل ۵: ترانسکت‌های عمود بر خط مبنا و خطوط ساحلی در دلتای سفیدرود، باند ۴ تصویر TM در سال ۱۹۸۶.

رگرسیون خطی (LRR) از برازش موقعیت خط ساحل در مقابل زمان خط ساحلی حاصل می‌شود. شیب معادله رگرسیون

معادل  $1067/66-182/78$  متر بود. کمترین میزان پس روی در دلتای گرگان رود در بخش های A، B و C به ترتیب برابر با  $2999/29$ ،  $2597/39$  و  $2487/72$  متر و در بخش C دلتای سفیدرود  $47/70-$  متر به دست آمد. کمترین میزان پیش روی در قسمت های A و B دلتای سفیدرود به ترتیب معادل  $166/17-$  و  $400/58-$  متر محاسبه گردید.

طی بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۶)، تغییرات خط ساحلی در کل دلتای گرگان رود و بخش C دلتای سفیدرود پس روی را نشان داد. بیشترین میزان پس روی در دلتای گرگان رود در بخش های A، B و C به ترتیب برابر با  $3600/83$ ،  $2997/88$  و  $2626/35$  متر و در بخش C دلتای سفیدرود  $243/95$  متر بود. همچنین بیشترین میزان پیش روی در قسمت های A و B دلتای سفیدرود به ترتیب

جدول ۲: شاخص های آماری مربوط به تغییرات خط ساحلی در محدوده های مورد مطالعه.

دلتای سفیدرود			دلتای گرگان رود			
C	B	A	C	B	A	
	۶۳۰۰۰			۴۲۰۰۰		مجموع طول خط ساحل رقومی سازی شده (متر)
	۵۶۱۳۵/۳۷			۳۵۱۰۵/۲۸		طول خط مبنا (متر)
۵۲۹	۲۶۷	۳۳۳	۱۱۰	۱۷۰	۴۲۰	تعداد ترانسکت ها
۹۱۸/۴۷	-۶۵۴۳/۳۳	-۸۱۶۵/۳۱	-۲۸۰۰۷/۷۴	-۲۸۹۶۲/۳۵	-۶۹۷۶۴/۶۲	تغییرات خط ساحلی (متر) ۲۰۰۰-۱۹۸۶
۳۷۱۰/۳۸	-۱۷۳۴	-۳۶۴۱/۴۹	۱۳۲۸۷۸/۱۷	۱۸۸۳۷۱/۳۱	۵۱۶۱۶۳/۲۴	تغییرات خط ساحلی (متر) ۲۰۱۵-۲۰۰۰
۳۶۲۸/۸۵	-۸۲۶۷/۲۴	-۱۱۸۰۶/۸	۹۴۸۷۰/۴۳	۱۵۹۴۰۸/۹۶	۴۴۶۳۹۸/۶۱	تغییرات خط ساحلی (متر) ۲۰۱۵-۱۹۸۶
۱۵/۸۳	-۲۲۵/۶۲	-۱۳۳/۷۱	-۷۵۶/۹۷	-۵۰۸/۱۱	-۴۹۸/۳۲	متوسط تغییرات خط ساحلی (متر) ۲۰۰۰-۱۹۸۶
۴۶/۷۴	-۵۹/۴۴	-۵۵/۱۷	۳۳۲۱/۰۳	۳۳۰۴/۷۵	۳۶۸۶/۸۸	متوسط تغییرات خط ساحلی (متر) ۲۰۱۵-۲۰۰۰
۶۲/۵۶	-۲۸۵/۰۶	-۱۷۸/۸۹	۲۵۶۴/۰۷	۲۷۹۶/۶۵	۳۱۸۸/۵۶	متوسط تغییرات خط ساحلی (متر) ۲۰۱۵-۱۹۸۶
۱۹۹/۵۳	-۷۵/۱۳	۲۴۴/۳۶	-۶۲۷/۳۷	-۴۰۱/۷۷	-۳۲۷/۳	بیشترین میزان جابجایی (متر) ۲۰۰۰-۱۹۸۶
۹۴/۰۴	۱۹۰/۴۵	۱۰۶۷/۶۶	۳۳۶۸/۶۰	۳۴۱/۰۳۳	۴۱۸۱/۸۳	بیشترین میزان جابجایی (متر) ۲۰۱۵-۲۰۰۰
۲۴۳/۹۵	-۱۱۶/۲۶	۱۸۲/۷۸	۲۶۲۶/۳۵	۲۹۹۷/۸۹	۳۶۰۰/۸۳	بیشترین میزان جابجایی (متر) ۲۰۱۵-۱۹۸۶
-۹۲/۱۲	-۳۵۷/۳۳	-۱۴۸۲/۳۳	-۸۸۰/۸۹	-۶۲۵/۳۳	-۸۱۷/۳۱	کمترین میزان جابجایی (متر) ۲۰۰۰-۱۹۸۶
-۱۹/۸۴	-۱۲۶/۲۶	-۱۶۶/۱۸	۳۳۴۸/۲۹	۳۱۵۱/۸۲	۳۳۴۴/۹۳	کمترین میزان جابجایی (متر) ۲۰۱۵-۲۰۰۰
-۴۷/۷۰	-۴۰۰/۵۸	-۴۱۴/۵۷	۳۴۸۷/۷۲	۲۵۹۷/۳۹	۲۹۹۹/۲۹	کمترین میزان جابجایی (متر) ۲۰۱۵-۱۹۸۶
۲/۲۹	-۹/۸	-۶/۰۴	۸۹/۹۹	۹۷/۹	۱۱۱/۵۶	نرخ متوسط جابجایی خط ساحل (متر/سال)
	-۲/۱			۱۰۴/۸۵		نرخ متوسط کل جابجایی (متر/سال)
۲/۰۸	-۹/۵	-۵/۹۶	۸۵/۴۶	۹۳/۲۲	۱۰۶/۲۸	متوسط مقدار نقطه پایانی (EPR)

#### ۴. نتیجه گیری

مقدار LRR (شیب رگرسیون) در هر سه بخش از دلتای گرگان-رود پس روی خط ساحلی مشاهده شد در حالی که در دلتای سفیدرود پیش روی خط ساحل به سمت خشکی (A و B در شکل ۶ ب) و هم پس روی خط ساحل به سمت دریا (C در شکل ۶ ب) مشاهده شد. لازم به ذکر است تغییرات خط ساحلی علاوه بر نوسانات سطح تراز آب دریا از تغییرات ریخت شناسی مانند فرسایش و رسوب گذاری که ناشی از امواج و جریانات دریایی است تأثیر می پذیرد. سواحل دلتای سفیدرود با شیب نسبتاً زیاد به خط ساحلی منتهی می شوند. در حالی که سواحل بخش شمال شرقی (دلتای گرگان رود) با شیب ملایم در هر دو بخش خشکی و دریا به خط ساحلی می رسند. همچنین، به هنگام افزایش سطح تراز آب دریا حجم بالای بار رسوبات سفیدرود به عنوان مانع جدی در برابر پیش روی خط ساحلی محسوب می شود. بر اساس نتایج به دست آمده، تغییرات مکانی خط ساحلی در دو محدوده مورد مطالعه، رفتار یکسان و مشابهی در برابر

در این پژوهش، با استفاده از داده های سطح تراز ایستگاه آب-نگاری باکو و داده های آلتی متری تأثیر نوسانات سطح تراز آب دریای خزر بر جابجایی خط ساحلی در دو محدوده مذکور طی بازه زمانی ۳۰ ساله مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفت. در سال ۲۰۰۰ در مقایسه با سال ۱۹۸۶ سطح تراز آب دریا  $2/5$  متر افزایش داشته است که این افزایش سطح تراز در سال ۲۰۰۰، پیش روی خط ساحلی را در هر دو منطقه به دنبال داشته است اما شدت این پیش روی ها یکسان نبود. تأثیر افت سطح تراز آب از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ موجب پس روی خط ساحل به سوی دریا شده است. مشابه با بازه زمانی پیشین، شدت جابجایی (پس روی) در ناحیه گرگان رود بسیار بیشتر از دلتای سفیدرود بود. نرخ کل جابجایی در دو دلتای گرگان رود و سفیدرود به ترتیب حدود  $104/85$  و  $2/1-$  متر در سال برآورد شد. با توجه به مثبت بودن

- Technology, 4(1): 61-66.
- Alesheikh, A.A.; Sadeghi Najafi, F.; Talebzade, A., 2003. Improving classification accuracy using external knowledge. *GIM International*, 17(8): 12-15.
- Blodget, H.W.; Taylor, P.T.; Roark, J.H., 1991. Shoreline changes along the Rosetta-Nile promontory: monitoring with satellite observations. *Marine Geology*, 99(1): 67-77.
- Di, K.; Wang, J.; Ma, R.; Li, R., 2003. Automatic shoreline extraction from high resolution IKONOS satellite imagery. In *Proceedings of the 2003 annual national conference on Digital government research*, Boston, MA, 130: 1-4.
- El-Asmar, H.M.; White, K., 2002. Changes in coastal sediment transport processes due to construction of New Damietta Harbour, Nile Delta. *Egypt Coastal Engineering*, 46: 127-138.
- Hanqiu, X., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14): 3025-3033.
- Himmelstoss, E.A.; Zichichi, J.L.; and Ergul, Ayhan., 2009 *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278*.
- Kakroodi, A.A.; Kroonenberg, S.B.; Hoogendoorn, R.M.; Mohammadkhani, H.; Yamani, M.; Ghassemi, M.R.; Lahijani, H.A.K., 2012. Rapid Holocene Sea-level Changes along the Iranian Caspian Coast, *Quaternary International*, 263: 93-103.
- Kurt, S.; Karaburun, A.; Demirci, A., 2010. Coastline changes in Istanbul between 1987 and 2007. *Scientific Research and Essays*, 5(19): 3009-3017.
- Lahijani, H.; Tavakoli, V.; Amini, A., 2007. South Caspian river mouth configuration under human impact and sea level fluctuations. *Environmental Science*, 5(2): 21-28.
- نوسانات دریای خزر نشان ندادند که می‌تواند ناشی از ریخت-شناسی ناهمگون مناطق ساحلی و حجم بار رسوبی رودخانه‌های گرگان‌رود و به ویژه سفیدرود باشد که موجب شده تأثیر نوسانات دریای خزر در خطوط ساحلی ایران یکسان نباشند.
- ### منابع
- آزرم سا، ع؛ رزمخواه، ف.، ۱۳۸۹. پیش‌بینی موقعیت و نحوه تغییرات خط ساحلی در خلیج پزم، مجله فیزیک و زمین و فضا، دوره ۳۶، شماره ۴، صفحات ۹۸-۸۹.
- رودباری شهیمیری، س؛ عجمی، م؛ خوشروان، ه.، ۱۳۹۶. پیش‌بینی عملکرد و پایداری ریخت‌شناسی دهانه خلیج گرگان، نشریه اقیانوس‌شناسی، سال هشتم، شماره ۳۱، صفحات ۶۵-۵۳.
- زمین‌شناسی مناطق ساحلی دریای خزر (برگرفته از مطالعات طرح مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی ایران (ICZM))، ۱۳۹۳. تهران: سازمان بنادر و دریانوردی، صفحات ۷۶ و ۱۴۹.
- عبداللهی کاکرودی، ع.، ۱۳۹۲. نوسانات دریای خزر و تأثیر آن بر سواحل جنوب شرقی دریای خزر، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳، صفحات ۴۴-۳۳.
- لرستانی، ق.، ۱۳۹۴. پیش‌بینی مقدار تغییرات سالانه خط ساحلی دریای خزر (محدوده دلتای رودخانه‌ای گرگان‌رود)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۲، صفحات ۲۵۴-۲۴۱.
- خلاق، س.، ۱۳۸۵. پایش تغییرات خط ساحل دریای خزر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تبریز، ۱۲۳ صفحه.
- محمودی، ک؛ سایانی، م؛ مرادی، ع.، ۱۳۹۴. ارائه یک ماژول محاسباتی جدید برای سیستم تحلیل دیجیتالی خط ساحلی، جهت شناسایی داده‌های مشکوک به خطا در داده‌های تغییرات خط ساحلی، نشریه مهندسی دریا، سال یازدهم، شماره ۲۱، صفحات ۸۳-۹۴.
- یمانی، م؛ مقیمی، ا؛ معتمد، ا؛ بیگلو، م؛ لرستانی، ق.، ۱۳۹۱. بررسی تغییرات سریع خط ساحلی قاعده‌ی دلتای سفیدرود به روش تحلیل نیمرخ‌های متساوی‌البعده، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۵، شماره ۲، صفحات ۲۰-۱.
- Alesheikh, A.A.; Ghorbanali, A.; Nouri, N., 2007. Coastline change detection using remote sensing: *International journal of Environmental Science and*

- Ryu, J. H.; Won, J.S.; Min, K.D., 2002. Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat A case study in Gomso Bay, Korea. *Remote Sensing of Environment*, 83: 442-456.
- Thieler, E.R.; Rodriguez, R.W.; Carlo, M., 1995. Beach erosion and coastal development at Rinco'n, Puerto Rico, *Shore and Beach*, 63(4): 18-28.
- 65-86.
- Mcfeters, S.K., 1996. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7): 1425-1432.
- Voropaev, G.V.; Krasnozhan, G.F.; Lahijani, H., 1998. Caspian river deltas. *Caspia Bulletin*, 1: 23-27.