

بررسی تأثیر متقابل نوسانات سریع دریای خزر و بیلان رسوبی در تغییرات خط ساحلی محدوده مورد مطالعه (سواحل رودخانه تجن)

مریم تورانی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

مجتبی یمانی^۱ - استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

عطاله عبدالمهی کاکرودی - دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۹/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۱۱

چکیده

نوسانات سطح دریای خزر نسبت به سایر دریاها و دریاچه‌ها سریع‌تر است. دریای خزر چندین دوره نوسانات شدید را در دهه‌های اخیر تجربه کرده است و این امر منجر به جابجایی خط ساحل در هر دوره از تغییرات تراز شده است. هدف این پژوهش بررسی تغییرات خط ساحلی دریای خزر در سواحل رودخانه تجن از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۵ است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل عکس‌های هوایی و تصاویر گوگل ارث در سری‌های زمانی مختلف و همچنین آمار مربوط به دبی آب و رسوب رودخانه تجن است. برای انجام محاسبات مورد نظر از نرم‌افزار Arc GIS 10.3 و اکستنشن DSAD استفاده شد. محاسبات در ۳ بازه زمانی که تراز دریا روند افزایشی یا کاهشی داشته است انجام شد و تغییرات خط ساحل در هر بازه زمانی به صورت مجزا بررسی گردید و نهایتاً با داده‌های دبی آب و رسوب تجزیه و تحلیل صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد میزان نرخ نقطه نهایی (EPR) در بازه زمانی اول که کاهش تراز دریا رخ داده رقم ۱/۷۶ است و در بازه زمانی دوم که افزایش تراز آب وجود دارد رقم نقطه نهایی ۱۱/۹۰- است. در بازه زمانی سوم مجدداً کاهش تراز آب رخ داده و میزان نقطه نهایی ۵/۹۵ است. نتایج بیانگر آن است که در این بخش از سواحل دریای خزر وضعیت پیشروی و پس‌روی ساحل دقیقاً منطبق با تغییرات تراز آب دریا است و پس از بررسی دبی آب و رسوب در هر بازه زمانی مشخص گردید که میزان دبی آب و رسوب نیز در تطابق کامل با فرسایش و رسوب‌گذاری ساحل است و در مجموع تمام عوامل در محل قرارگیری خط ساحل مؤثر هستند و تفکیک میزان اثرگذاری هر یک از عوامل بسیار دشوار است. کلید واژگان: دریای خزر، تغییرات خط ساحلی، تغییرات تراز دریا، رودخانه تجن، بیلان رسوبی

۱- مقدمه

خط ساحلی در حقیقت بیانگر خطی است که منطبق بر محل تلاقی فیزیکی خشکی و آب است (Dolan و همکاران، 1980) که مناطق ساحلی سراسر جهان را متأثر می‌کند. در واقع، حدود ۸۰٪ از سواحل جهان، بین ۱ سانتی‌متر تا ۱۰ متر در هر سال فرسایش می‌یابند (2001, Pilkey and Hume). همچنین نیمی از جمعیت دنیا در نوار صد کیلومتری ساحل زندگی می‌کنند (Bird، ۱۳۹۲). سواحل دریای خزر از دیرباز مورد توجه جوامع انسانی بوده و فعالیت‌های متعددی در حاشیه سواحل آن صورت می‌گرفته. تغییرات در تراز آب این دریاچه همواره زندگی ساکنین حاشیه دریاچه خزر را دستخوش تغییر کرده و موجب بروز خسارت‌هایی شده و در بسیاری از موارد جابجایی سکونتگاه‌ها و تأسیسات را در پی داشته است (یمانی و همکاران، ۱۳۸۹)، از آنجایی که این تغییرات دارای روند سریعی است لذا بررسی آن به منظور شناسایی بهتر جهت مدیریت این مناطق ضروری است. تغییرات ساحلی می‌تواند ناشی از فرآیندهای طبیعی باشد، باین حال فرآیندهای ساحلی اغلب تحت فعالیت‌های انسانی، در سطح محلی یا جهانی هستند. فرآیندهای طبیعی همچنین می‌تواند توسط فعالیت‌های انسانی تقویت و یا تسریع شود (Manc، 2013). امروزه از روش‌های متعددی جهت پایش خط ساحلی در سراسر جهان استفاده می‌شود، اگرچه روش‌های سنتی بررسی سطح زمین، نسبتاً دقیق‌تر هستند، اما استفاده از آن‌ها برای منطقه ساحلی بزرگ تقریباً غیرممکن است (Mirsa و همکاران، 2015). داده‌های سنجش‌ازدور می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را با توجه به مقیاس‌های مکانی - زمانی و با دقت مناسب ارائه دهد و در بسیاری از موارد جایگزین مطالعات میدانی می‌گردد. محققان متعددی به بررسی تغییرات خط ساحلی پرداخته‌اند که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

Esmail و همکاران (2019) به ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات ساحلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، اکستشن (DSAS) و آمار چندماهه در ساحل Damietta در مصر پرداختند و نرخ نقطه نهایی (EPR) و رگرسیون خطی (LRR) را محاسبه کردند. Vivek و همکاران (2019) به پایش هیدرودینامیک تغییرات دریاچه Chilika با استفاده از داده‌های لندست ۳۰ متری پرداختند و با استفاده از اکستشن DSAS وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری را بررسی کردند. Hakkou و همکاران (2018) تغییرات خط ساحلی در یک دوره ۷۸ ساله در ساحل Kenitra در موروکو را بررسی کردند. Burningham و همکاران (2017) تغییرات ساحلی را با استفاده از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای بررسی کردند. Kermani و همکاران (2016) به بررسی و تحلیل تغییرات ساحلی در سواحل الجزایر شرقی پرداختند. آنان از چند دوره عکس هوایی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده کردند. Jonah و همکاران (2016) با استفاده از نرخ نقطه نهایی (EPR) و آمار تغییرات خالص ساحلی به تجزیه و تحلیل بخشی از سواحل غنا پرداختند و از اکستشن DSAS استفاده کردند. Natesan و همکاران (2015) به نظارت بر تغییرات درازمدت ساحلی در بخشی از سواحل هند

پرداختند. آنان جابجایی و تخریب نواحی مختلف ساحل را از تصاویر ماهواره‌ای چند دوره‌ای با استفاده از DSAS محاسبه کردند. Kankara و همکاران (2015) تغییرات طولانی و کوتاه‌مدت در سواحل Andhra Pradesh را با استفاده از تکنیک‌های سنجنش‌ازدور و GIS بررسی کردند. Salghuna و همکاران (2015) به بررسی تغییرات ساحلی در بخش شمالی Coromandel پرداختند و از اکستنس DSAS استفاده کردند و نهایتاً میزان تغییرات به دست آمد. Naderi Beni و همکاران (2014) تغییرات سطح دریای خزر در اواخر هولوسن و تأثیر آن بر تکامل ساحل را بررسی کرد. نتایج نشان داد که مهاجرت سریع زبانه ماسه و توسعه محیط‌های شور پاسخ منطقه ساحلی به تغییرات سریع سطح دریا است. Masselink و همکاران (2013) به تأثیر تغییرات اقلیمی و افزایش سطح‌اساس دریا بر روی فرسایش ساحلی در انگلستان و ایرلند پرداختند. Kakroodi و همکاران (2012) به بررسی تغییرات شدید تراز آب دریای خزر در هولوسن در سواحل ایران پرداخته‌اند و مشخص کردند که با پایین رفتن سطح‌اساس زبانه ماسه‌ای رشد کرده و با بالا رفتن سطح آب این زبانه به صورت جزایری درآمده است. علاوه بر این محققان داخلی متعددی در زمینه تغییرات خط ساحلی مطالعه کرده‌اند که عبارتند از: نگهبان و همکاران (۱۳۹۶) به پایش تغییرات خط ساحلی دریای عمان در منطقه جاسک پرداختند. آن‌ها از تصاویر ماهواره‌ای استفاده کردند و تغییرات خط ساحلی را با استفاده از روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی حداکثر احتمال بررسی کردند. خسرویان و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی و پایش تغییرات سطح آب دریاچه پریشان با استفاده از شاخص‌های سنجنش‌ازدور پرداختند و از شاخص NDVI، NDWI و NDMI استفاده کردند. نتایج نشان داد ضریب NDMI کارایی لازم را ندارد در حالی که دو شاخص NDWI و NDVI بالاترین دقت را دارند. تقوی مقدم و همکاران (۱۳۹۶) تحلیل ژئومورفودینامیک تغییرات خط ساحلی قاعده دلتای رودخانه مند بوشهر با استفاده از سنجنش‌ازدور انجام دادند. شریفی کیا و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات دینامیک خط ساحل در بخش شرقی دریای خزر به کمک داده‌های چند زمانه/چند سنجنده‌ای تعیین کردند. لرستانی (۱۳۹۴) به بررسی تغییرات خط ساحلی دلتای سفیدرود با استفاده از روش پلی گون تغییرات در شش دهه گذشته پرداخت. کاکرودی (۱۳۹۲) نوسانات دریای خزر و تأثیر آن بر سواحل جنوب شرقی دریای خزر را با استفاده از تصاویر ماهواره، نقشه‌های تاریخی و مشاهدت میدانی در آخرین چرخه آن (۱۹۲۹-۱۹۹۵) بررسی کرد.

در این پژوهش، هدف پایش تغییرات خط ساحلی دریای خزر در محدوده سواحل رودخانه تجن از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۵ به منظور بررسی ارتباط بین جابجایی خطوط ساحلی با تغییرات سطح‌اساس دریا و بیلان رسوبی منطقه است. اکثر محققین معتقدند تغییرات تراز دریا رابطه مستقیم با فرسایش و رسوب‌گذاری در سواحل دارد و عامل اصلی در پیشروی و پس‌روی خطوط ساحلی را تغییرات تراز دریا می‌دانند که نقش اصلی و کلیدی در محل قرارگیری خطوط ساحلی دارد. باین حال در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی صورت گرفته که نشان می‌دهد عوامل متعددی در جابجایی خط ساحل نقش دارد و بالا و پایین رفتن سطح‌اساس به‌تنهایی تعیین‌کننده محل

قرارگیری سواحل نیست. در این پژوهش سعی شده خطوط ساحلی در یک بازه زمانی طولانی مدت که سطح آب سه دوره نوسانی سریع و شدید داشته، بررسی و تعیین شود و به علاوه از میزان دبی رسوب و آب به عنوان عوامل تأثیرگذار در جابجایی خطوط ساحلی استفاده شده است تا درستی یا نادرستی نظر محققین پیشین در این بخش از سواحل دریای خزر مورد آزمون قرار گیرد.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان مازندران و بخش میانی سواحل جنوبی دریای خزر واقع شده است که دارای موقعیت جغرافیایی $36^{\circ} 48' 25''$ طول شمالی و $53^{\circ} 05' 18''$ عرض شرقی در بخش غربی رودخانه تجن تا $36^{\circ} 49' 30''$ طول شمالی و $53^{\circ} 09' 50''$ عرض شرقی در بخش شرق دهانه رودخانه است. رودخانه تجن از ارتفاعات البرز سرچشمه می گیرد و دارای میانگین دبی آب سالانه $12/62$ مترمکعب بر ثانیه در یک دوره آماری ۴۴ ساله است (شرکت مدیریت منابع آب ایران). (شکل ۱)



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

۳- مواد و روش ها

جهت بررسی تغییرات خط ساحل در محدوده مورد نظر ابتدا تمام عکس های هوایی موجود در منطقه (جدول ۱) و نقشه های رقومی $1:25000$ از سازمان نقشه برداری کشور تهیه شد، این عکس ها تنها ۵ دهه را پوشش می دهند و دهه ۹۰ شمسی را شامل نمی شوند، بنابراین جهت بررسی خط ساحل در دهه ۹۰ شمسی از تصاویر Google Earth سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶ استفاده شد که دارای قدرت تفکیک مناسب است و آخرین تصاویری است که از منطقه مورد نظر در Google Earth قابل دریافت می باشد. در مجموع برای منطقه مورد نظر عکس های هوایی ۵ سال و تصویر

Google Earth ۲ سال گردآوری شد. پس از آن ابتدا عکس‌های هوایی با اسکنر مخصوص و با دقت 600 DPI اسکن شد سپس با بالاترین میزان دقت و کمترین میزان میانگین مربع خطا (RMS)^۱ در نرم‌افزار Arc GIS 10.3 ژئورفرنس گردید (جدول ۲). برای ژئورفرنس کردن عکس‌ها ابتدا نقاط قابل تشخیص نظیر تقاطع جاده‌ها، ساختمان‌ها و ... در نرم‌افزار Google Earth معین شد و مختصات آن‌ها در Arc GIS 10.3 بر روی نقطه موردنظر در عکس هوایی وارد گردید و سپس هر عکس ژئورفرنس شد. جهت برآورد دقت و تطبیق تمام عکس‌ها با یک مرجع مورداطمینان مجدداً این عکس‌ها با نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه که حاصل برداشت‌های میدانی سازمان نقشه‌برداری کشور بود منطبق گردید و در نهایت خط ساحل بر اساس روش Water line کشیده شد.

جدول ۱- مشخصات عکس‌های مورد استفاده در این پژوهش

مقیاس	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ساعت برداشت	نوع داده
۱:۵۵۰۰۰	اگوست ۱۹۵۵	۱۳۳۴	۱۵:۲۰	عکس هوایی
۱:۲۰۰۰۰	جولای ۱۹۶۶	۱۳۴۵	-	عکس هوایی
۱:۱۰۰۰۰	نوامبر ۱۹۸۱	۱۳۶۰	۷:۴۷	عکس هوایی
۱:۲۰۰۰۰	اکتبر ۱۹۹۴	۱۳۷۳	۹:۵۰	عکس هوایی
۱:۴۰۰۰۰	سپتامبر ۲۰۰۶	۱۳۸۵	۱۰:۱۱	عکس هوایی

جدول ۲- میزان RMS در عکس‌های هوایی

زمان اخذ عکس هوایی	۱۳۳۴	۱۳۴۵	۱۳۶۰	۱۳۷۳	۱۳۸۵
RMS میزان	۰,۰۰۰۲۳۴	۰,۰۰۰۲۷۹	۰,۰۰۰۱۷۶	۰,۰۰۰۱۶۷	۰,۰۰۰۱۰۴

در مرحله بعد تصاویر Google Earth با استفاده از نرم‌افزار Elshayel Smart به صورت ژئورفرنس شده اخذ شد و جهت برآورد دقت آن‌ها، مجدداً با بالاترین دقت با نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه منطبق گردید و سپس خط ساحل در نرم‌افزار Arc GIS 10.3 ترسیم گردید.

جهت تعیین میزان تغییرات در خط ساحلی از اکستنشن DSAS در نرم‌افزار Arc GIS 10.3 استفاده شد و پارامترهای آماری که نشانگر وضعیت تغییرات خط ساحل هستند استخراج گردید. برای این منظور در سرتاسر سواحل ترانسکت‌هایی به صورت عمود بر خط ساحل با فواصل ۱۰۰ متر زده شد و سپس پارامترهای آماری موردنظر استخراج گردید. نهایتاً آمار مربوط به دبی آب و رسوب از شرکت مدیریت منابع آب ایران دریافت شد و میانگین دبی آب و رسوب در هر بازه زمانی به صورت مجزا محاسبه گردید و با وضعیت و موقعیت قرارگیری خط

¹ Root Mean Square Error

ساحل تطبیق داده شد. لازم به ذکر است نزدیک‌ترین ایستگاه به مصب رودخانه تجن ایستگاه کردخیل است ولی آمار دبی آب این ایستگاه از سال ۱۳۴۸ و آمار دبی رسوب آن از سال ۱۳۶۲ به بعد موجود است، بنابراین بازه زمانی اول که از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۵۶ است را به‌طور کامل پوشش نمی‌دهد.

۴- نتایج و بحث

پس از انجام محاسبات آماری شاخص‌های موردنیاز جهت تحلیل تغییرات خط ساحل در تمام سال‌ها به‌صورت کلی به دست آمد (جدول ۳).

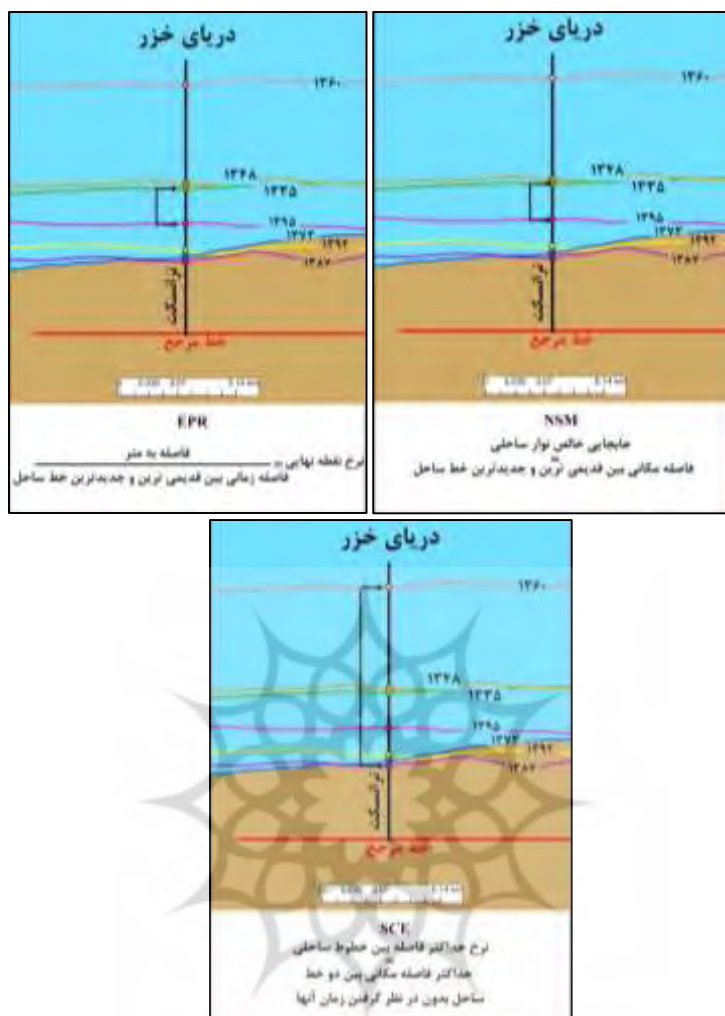
جدول ۳- شاخص‌های آماری به‌دست‌آمده از اکستنشن DSAS

	NSM	SCE	EPR
حداکثر	۰/۹۵	۲۵۳/۴۶	۵۸/۳۳
حداقل	-۱/۸۷	۶۲/۸۶	-۱۰۸/۵۹
میانگین	-۰/۳۰	۱۵۵/۰۷	-۱/۸۴

EPR (End Point Rate) این شاخص از تقسیم شدن فاصله مکانی قدیمی‌ترین و جدیدترین خطوط ساحلی بر روی فاصله زمانی بین قدیمی‌ترین و جدیدترین خطوط ساحل به دست می‌آید و بیانگر نرخ پیشروی یا پس‌روی خط ساحل از قدیمی‌ترین زمان تا جدیدترین زمان است. میانگین این شاخص در سواحل رودخانه تجن ۰/۳۰ - است و نشان‌دهنده فرسایش ساحلی از سال ۱۳۳۴ تاکنون است.

SCE (Shoreline Change Envelope) این شاخص بیانگر تغییر خط ساحلی است و بیشترین فاصله بین دو خط ساحل بدون در نظر گرفتن زمان آن‌ها در هر ترانسکت را نشان می‌دهد. در مجموع میانگین این شاخص ۱۵۵/۰۷ است که نشان‌دهنده میزان جابجایی خط ساحل طی ۶۰ سال اخیر است.

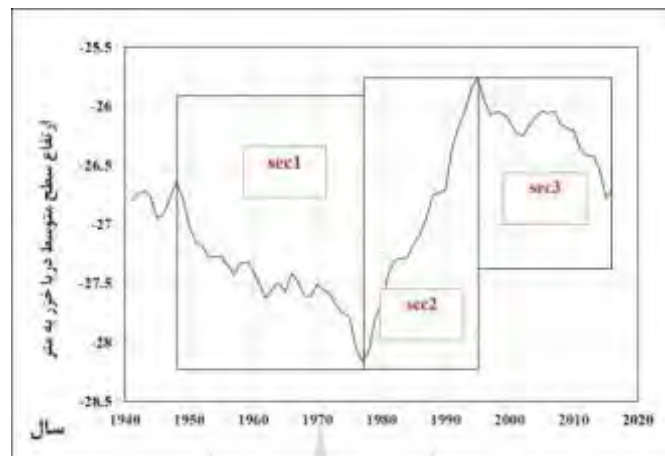
NSM (Net Shoreline Movement) جابجایی خالص تغییر خط ساحل است که در حقیقت میزان فاصله را بیان می‌کند و نه نرخ تغییرات را و در ارتباط با دو خط ساحل که قدیمی‌ترین و جدیدترین خطوط ساحلی به لحاظ زمانی هستند بیان می‌شود. این نرخ در محدوده موردنظر ۱/۸۴- است که منفی بودن آن بیانگر فرسایش ساحلی می‌باشد. شکل ۲ توضیح گرافیکی شاخص‌های موردنظر را نشان می‌دهد.



شکل ۲- توضیح گرافیکی نحوه محاسبه میزان SCE (سمت چپ) EPR (شکل وسط) و NSM (شکل سمت راست) (راست)

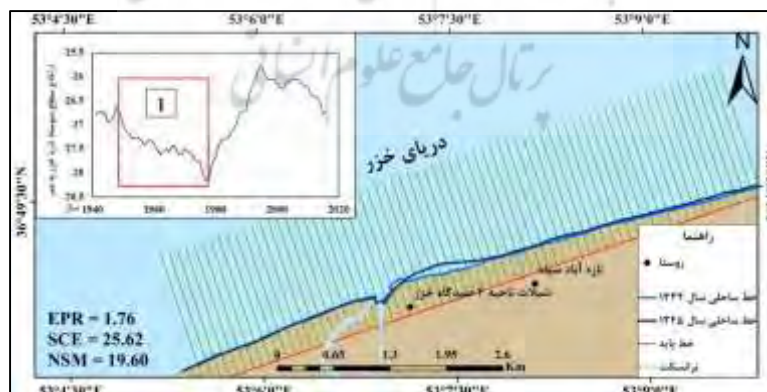
ارقام به دست آمده و ارائه شده در جدول ۳ تغییرات خط ساحلی از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۵ را به صورت کلی نشان می دهد. با توجه به اینکه سطح اساس دریای خزر از سال ۱۳۳۴ (۱۹۵۵ میلادی) تاکنون نوسانات شدیدی داشته است، جهت بررسی بهتر نمودار تغییرات سطح تراز دریای خزر تهیه شد (شکل ۳) و تغییرات خطوط ساحلی مجدداً بر اساس سیکل های افزایشی و کاهش تراز دریا محاسبه گردید. همان طور که ملاحظه می شود از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۵۶ (۱۹۵۵ تا ۱۹۷۷ میلادی) کاهش سطح اساس مشهود است. Chen و همکاران (2017) میانگین این نوسانات را از سال ۱۳۱۹ تا ۱۳۵۶ به میزان ۳/۳۰- سانتی متر در سال ذکر کرده اند. از سال ۱۳۵۶ تا ۱۳۷۴ افزایش چشمگیری در

تراز آب رخ داده که میانگین این نوسانات $۱۳/۰۹$ سانتی متر در سال ذکر شده است. از سال ۱۳۷۴ تاکنون نوساناتی در سطح تراز رخ داده که میانگین آن به صورت کلی $۶/۷۲$ - ذکر شده است.



شکل ۳- نمودار تغییرات تراز دریای خزر از ۱۹۴۰ تاکنون

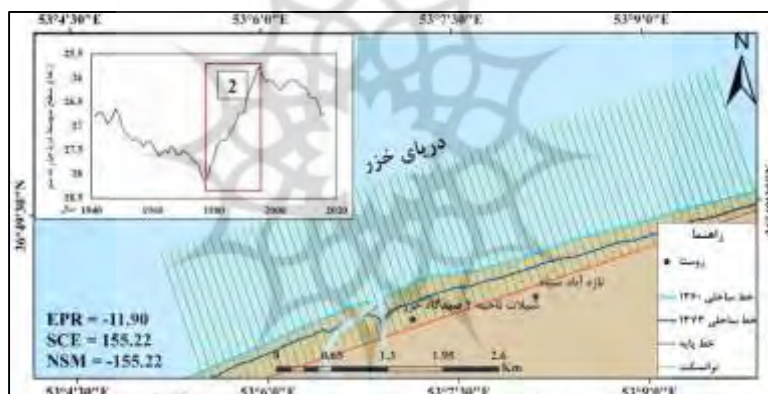
یافته‌های پژوهش نشان داد که به‌طور کلی، محدوده ساحلی رود تجن از سال ۱۳۳۴ تاکنون پایدار نبوده است. برای دستیابی به مقدار تغییرات در هر دوره از جابجایی سطح اساس دریا، پارامترهای آماری برای دوره اول یعنی از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۵۶ مجدداً بر روی خطوط ساحلی که در این سری زمانی قرار دارد، مورد آزمون قرار گرفت. در این دوره زمانی کاهش سطح اساس دریا وجود دارد و میزان EPR برابر $۱/۷۶۵$ و میزان SCE برابر $۲۵/۶۲$ و مقدار NSM مساوی با $۱۹/۶۰$ بود. تمام مقادیر ذکر شده در این بازه زمانی مثبت است که نشان‌دهنده پیشروی ساحل به‌طرف دریا است (شکل ۴).



شکل ۴- میزان جابجایی خط ساحلی در بخش اول تغییرات تراز دریا

نهایتاً جهت بررسی بهتر از آمار دبی آب و رسوب رودخانه تجن نیز استفاده شد. بر روی رودخانه تجن چندین ایستگاه قرار دارد که نزدیک‌ترین آن‌ها به مصب رودخانه ایستگاه کردخیل است، آمار دبی آب این ایستگاه از سال ۱۳۴۸ به بعد و آمار دبی رسوب از سال ۱۳۶۱ به بعد موجود است و محدوده زمانی اول را به‌طور کامل پوشش نمی‌دهد، همچنین ایستگاه بالادست این رودخانه در فاصله زیادی از مصب رود قرار دارد که استفاده از آمار این ایستگاه برای سواحل رودخانه صحیح نیست و به دلیل نقص زیاد آمار در این سال‌ها روش‌های بازسازی آماری نتایج مطلوبی در برنداشت لذا برای بازه زمانی اول در نظر گرفته نشد.

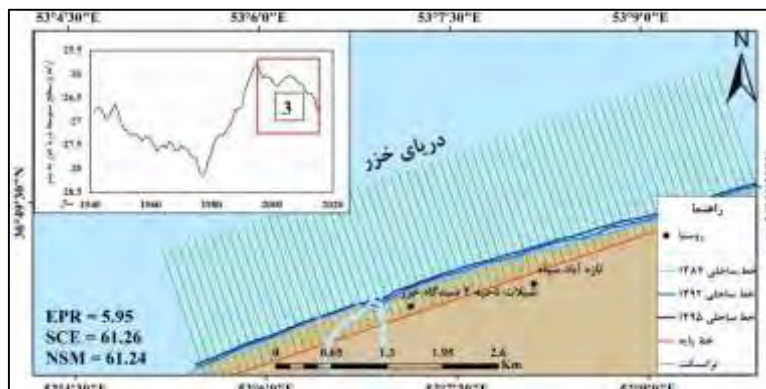
بازه زمانی دوم یعنی بین سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۷۴ است که تراز دریا افزایش چشمگیری دارد و دو سری از خطوط ساحلی در سال‌های ۱۳۶۰ و ۱۳۷۳ در این بازه زمانی قرار گرفته است. در این بخش میزان EPR برابر ۱۱/۹۰- و میزان SCE برابر ۱۵۵/۲۲ و مقدار NSM مساوی با ۱۵۵/۲۲- بود. وضعیت این بخش از ساحل با توجه به مقادیر به دست آمد در این بازه زمانی فرسایشی است (شکل ۵).



شکل ۵- میزان جابجایی خط ساحلی در بخش دوم تغییرات تراز دریا

در بازه زمانی دوم میزان دبی آب در ایستگاه کردخیل ۱۴/۳۶ مترمکعب بر ثانیه و میزان دبی رسوب در ایستگاه کردخیل ۱۴/۸۰۲ کیلوگرم در روز است.

در بازه زمانی سوم تغییرات تراز دریا نوساناتی دارد ولی به‌صورت کلی تراز دریا کاهشی است. از سال ۱۳۷۴ تاکنون سه سری از خطوط ساحلی موردبررسی در این بازه قرار می‌گیرد که شامل سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۲ و ۱۳۹۵ است. در این بخش میزان EPR برابر ۵/۹۵ و میزان SCE برابر ۶۱/۲۶ و مقدار NSM مساوی با ۶۱/۲۴- بود. وضعیت این بخش از ساحل با توجه به مقادیر به دست آمد در این بازه زمانی رسوب‌گذاری و پیشروی ساحل به‌سوی دریا است (شکل ۶).



شکل ۶- میزان جابجایی خط ساحلی در بخش سوم تغییرات تراز دریا

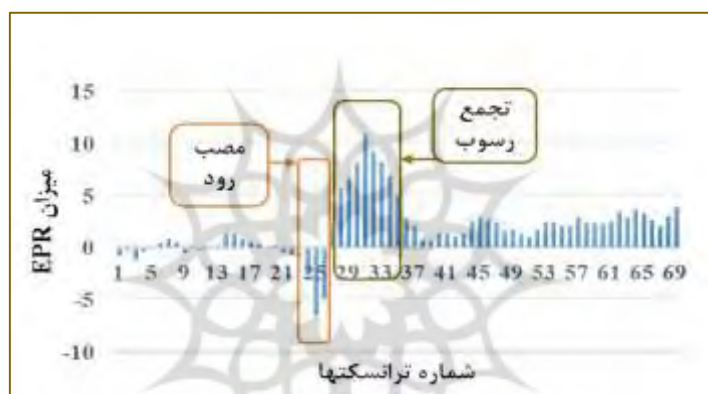
در بازه سوم در ایستگاه کردخیل میزان دبی آب $9/96$ مترمکعب بر ثانیه است و دبی رسوب $42/406$ کیلوگرم در روز است (جدول ۴).

جدول ۴- میانگین دبی آب و رسوب در رودخانه تجن

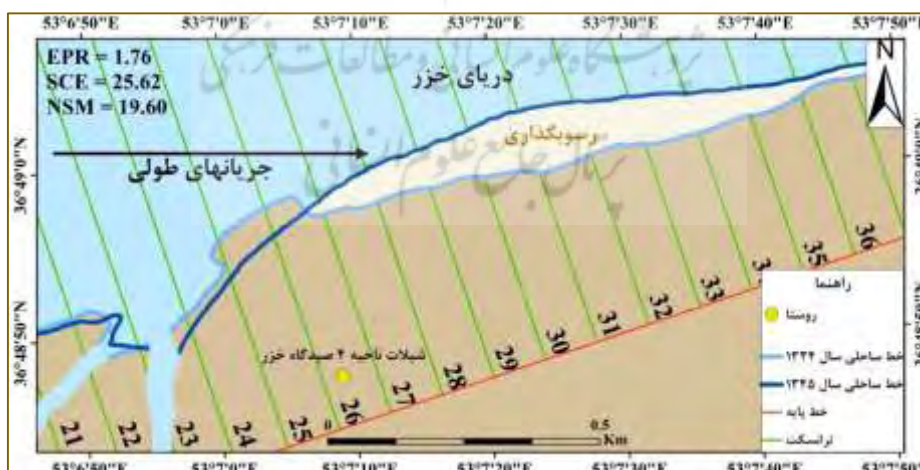
سال	میانگین دبی آب (مترمکعب/ ثانیه)	میانگین دبی رسوب (کیلوگرم/ روز)	ملاحظات	وضعیت ساحل
۱۳۵۶-۱۳۳۴	۱۳/۶۸	—	آمار دبی آب فقط از سال ۱۳۴۸ به بعد موجود است و کل این بازه را شامل نمی‌شود	رسوب‌گذاری
۱۳۷۴-۱۳۵۷	۱۳/۹۵	۱۴/۸۰۲	آمار ایستگاه کردخیل	فرسایشی
۱۳۹۵-۱۳۷۵	۱۰/۵۲	۴۲/۴۰۶	آمار ایستگاه کردخیل	رسوب‌گذاری

بالا آمدن سطح دریا باعث فرسایش ساحل می‌شود زیرا بالا آمدن سطح آب باعث عمیق‌تر شدن آب‌های کرانه نزدیک می‌گردد و در نهایت باعث می‌شود امواج بزرگ‌تر و قوی‌تری به ساحل برسد و شن و ماسه به دریا منتقل شود. همچنین پایین رفتن سطح اساس باعث رسوب‌گذاری و توسعه سواحل به سمت دریا می‌شود. بررسی صورت گرفته در سواحل رودخانه تجن این مسئله را به‌خوبی نشان می‌دهد، طوری که در بازه زمانی اول که تراز دریای خزر کاهش محسوسی داشته است، دو خط ساحلی در سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۴۵ بررسی شدند و نرخ نقطه‌نهایی (EPR) در این دو خط محاسبه گردید و رقم $1/76$ را نشان داد که بیانگر پیشروی خشکی ساحلی به سمت دریا (Accretion) است. در حقیقت کاهش تراز دریا ضمن اینکه فضای کافی جهت گسترش ساحل و رسوب‌گذاری رودخانه فراهم می‌کند، محل تأثیر امواج را دورتر می‌کند و بنابراین فرصت کافی جهت رشد سواحل ایجاد می‌شود. نمودار مربوط به میزان نرخ نقطه‌نهایی (EPR) در این دوره زمانی ترسیم گردید (شکل ۷). همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان EPR در هر ترانسکت رقم متفاوتی را نشان می‌دهد. مصب رودخانه در محدوده ترانسکت‌های ۲۰ تا

۲۵ قرار دارد و بیشترین تغییرات در محدوده مصب تا بخش شرقی آن، یعنی تا ترانسکت شماره ۳۷ دیده می‌شود که در حقیقت بیانگر نقش مؤثر آورد رسوب در محدوده مصب رود است. در این بازه زمانی آمار دبی رسوب موجود نیست اما بیشترین میزان پیشروی خط ساحل در بخش شرقی دهانه رودخانه تجن به چشم می‌خورد که نشان‌دهنده بارگذاری رسوبات در این بخش و به دنبال آن پیشروی ساحل به سمت دریا است. علاوه بر آن جابجایی رسوبات از طریق امواج در سواحل جنوبی دریای خزر بسیار حائز اهمیت است، زیرا این امواج همواره رسوبات رودخانه‌ها را به سمت شرق جابجا می‌کنند. همان‌طور که در نمودار تغییرات میزان EPR دیده می‌شود بیشترین تغییرات در بازه زمانی اول در بخش مصب رودخانه و شرق آن قرار گرفته است که اهمیت بار رسوبی رود و وجود امواج را نشان می‌دهد (شکل ۸).

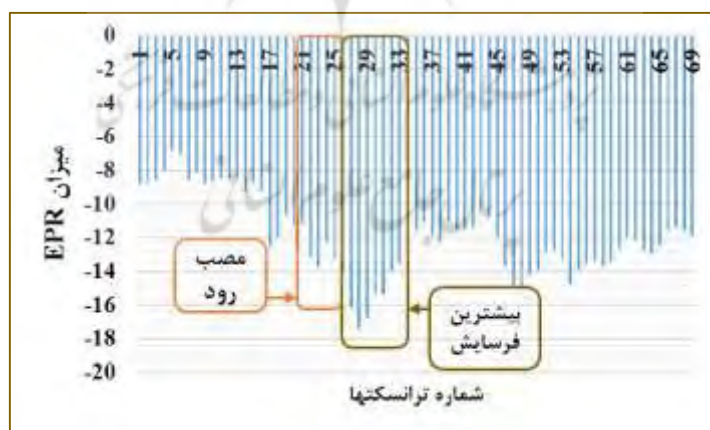


شکل ۷- میزان تغییرات نرخ نقطه نهایی (EPR) در هر ترانسکت در بازه زمانی اول

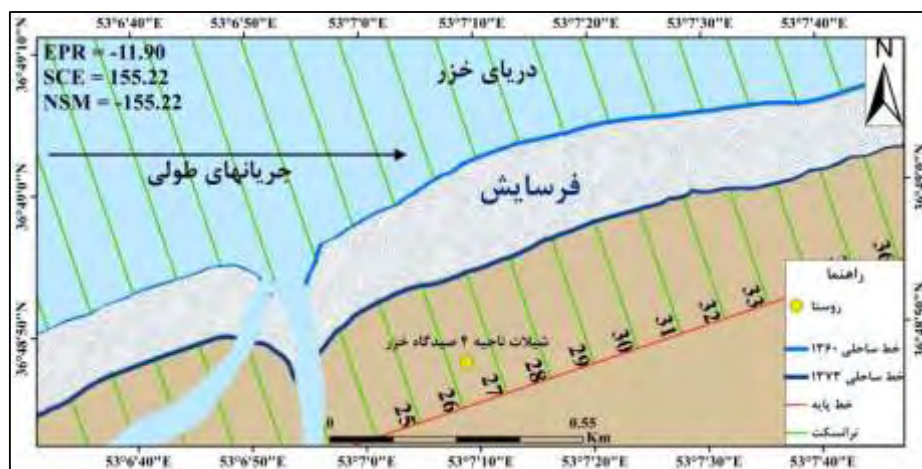


شکل ۸- میزان تغییرات و محدوده بیشترین رسوبگذاری در بازه زمانی اول

در بازه زمانی دوم یعنی از سال ۱۳۵۶ تا ۱۳۷۴ تراز دریای خزر به سرعت افزایش می‌یابد. در این محدوده زمانی دو خط ساحلی در سال‌های ۱۳۶۰ و ۱۳۷۳ قرار داشتند و نرخ نقطه نهایی (EPR) آن‌ها رقم ۱۱/۹۰- را نشان می‌دهد که بیانگر فرسایش شدید ساحل است. Bruun (1962) اظهار می‌دارد که بالا آمدن سطح دریا در سواحل که به نیمرخ تعادلی خود دست‌یافته‌اند، موجب فرسایش در بخش بالادست آن خواهد شد و شن و ماسه از ساحل به بستر دریا انتقال خواهد یافت. این فرآیند باعث می‌شود که نیمرخ ساحلی خود را با سطح فعلی دریا هماهنگ سازد، بنابراین نیمرخ ساحل به سمت بالادست و خشکی مهاجرت می‌کند. بالا آمدن تراز آب باعث کاهش اختلاف ارتفاع بین مبدأ رودخانه و سطح‌اساس می‌شود و در نتیجه میزان قدرت فرساینده رودخانه کاهش می‌یابد و به دنبال آن دبی رسوبی کمتری تولید می‌شود. در این بازه زمانی میزان دبی آب ۱۳/۹۵ مترمکعب در ثانیه و میزان دبی رسوب ۱۴/۸۰۲ کیلوگرم در روز می‌باشد. بالا آمدن تراز آب مانع از پیشروی ساحل به سمت دریا گردیده است و در تمام بخش‌های ساحل فرسایش به چشم می‌خورد. بیشترین میزان فرسایش در این دوره در ترانسکت شماره ۲۸ صورت گرفته که در بخش شرقی مصب رود قرار دارد. در حقیقت کاهش تأمین رسوب از یکسو و بالا آمدن تراز دریای خزر از سوی دیگر مانع از گسترش ساحل شده و علاوه بر آن در بخش شرقی رود که رسوبات زیادی در دوره قبل تجمع یافته بودند به وسیله جریان‌ها و امواج جابجا شده‌اند و بیشترین میزان پس‌روی سواحل در بخش شرق مصب رود قرار گرفته است. در مجموع در این محدوده زمانی سه عامل افزایش چشمگیر سطح‌اساس، افزایش دبی آب و کاهش دبی رسوب به صورت مستقیم در محل قرارگیری خط ساحل دخیل هستند و باعث فرسایش خط ساحلی گردیده‌اند (شکل‌های ۹ و ۱۰).

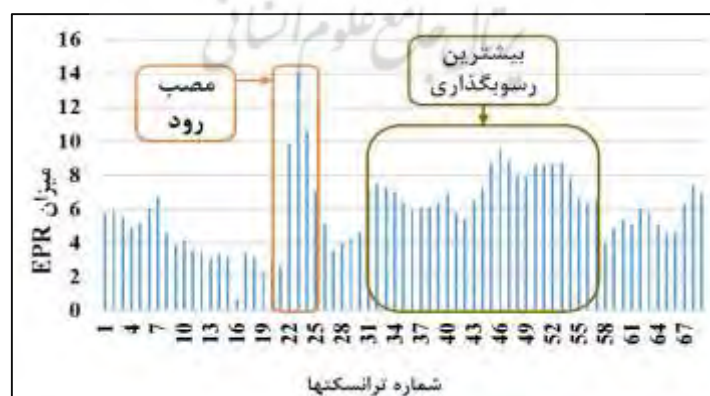


شکل ۹- میزان تغییرات نرخ نقطه نهایی (EPR) در هر ترانسکت در بازه زمانی دوم

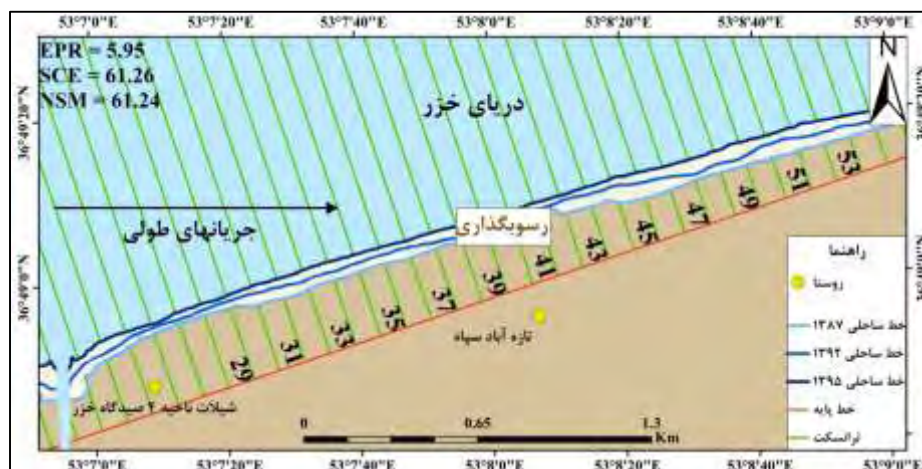


شکل ۱۰- میزان تغییرات و محدوده فرسایش در بازه زمانی سوم

در بازه زمانی سوم نوساناتی در بالا و پایین رفتن تراز آب دریا وجود دارد، ولی در حالت کلی کاهش تراز آب مشهود است. در این محدوده زمانی ۳ خط ساحلی در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۲، ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت که میزان نرخ نقطه نهایی (EPR) آن‌ها ۵/۹۵ است. در این بازه زمانی نیز میزان نرخ نقطه نهایی (EPR) در هر ترانسکت رقم متفاوتی دارد (شکل ۱۱). بیشترین میزان رسوب‌گذاری در محدوده مصب رودخانه قرار دارد و به سمت شرق یعنی از ترانسکت شماره ۳۱ تا ترانسکت ۵۸ بالاترین ارقام در نرخ نقطه نهایی (EPR) ملاحظه می‌شود (شکل ۱۲). میزان دبی آب در این بازه زمانی ۱۰،۵۲ مترمکعب بر ثانیه و میزان دبی رسوب ۴۲/۴۰۶ کیلوگرم در روز است. میزان دبی آب در این بازه زمانی نسبت به دوره قبل کاهش و میزان دبی رسوب افزایش چشمگیری داشته است. تأمین رسوبات زیاد به وسیله رودخانه تجن، کاهش دبی آب رودخانه، کاهش تراز دریا و به دنبال آن گسترش عرصه جهت رشد سواحل باعث پیشروی سواحل به سمت دریا شده است و وجود جریان‌ها و امواج این رسوبات را به سمت شرق حرکت داده‌اند.



شکل ۱۱- میزان تغییرات نرخ نقطه نهایی (EPR) در هر ترانسکت در بازه زمانی سوم



شکل ۱۲- میزان تغییرات و محدوده بیشترین رسوب گذاری در بازه زمانی سوم

۵- نتیجه گیری

در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده باید گفت:

- میزان جابجایی خط ساحل در محدوده رودخانه تجن با قواعد کلی که محققان در زمینه تغییر سطح اساس و جابجایی خط ساحل گفته اند تطابق کامل دارد و در واقع با کاهش سطح اساس، خطوط ساحلی به سمت دریا پیشروی می کند (Accretion) و با افزایش سطح اساس خطوط ساحلی به سمت خشکی عقب نشینی دارند (Erosion). در این بخش تغییر تراز آب دریا و به دنبال آن میزان دبی آب و دبی رسوب تعیین کننده محل قرارگیری خط ساحل است و تفکیک میزان اثرگذاری هر یک از این عوامل و اولویت بندی آنها بسیار دشوار است. همچنین لازم به ذکر است در مرحله اول که پارامترهای مورد نظر بدون در نظر گرفتن تغییرات سطح اساس دریا و به صورت کلی در تمام سالها محاسبه گردید میزان نرخ نقطه نهایی (EPR) رقم میانگین $0.30/0$ - را نشان داد که بیانگر فرسایش ساحل است، در صورتی که پس از تقسیم بندی در قالب بازه های زمانی مختلف این شاخص تغییر اساسی کرد و این امر نشان دهنده نقش تعیین کننده تغییرات تراز آب در تعیین موقعیت سواحل در محدوده مورد نظر است.
- در سواحل رودخانه تجن مصب رودخانه عامل بسیار مهمی در جابجایی خط ساحل است و بیشترین تغییرات در همین بخش رخ می دهد، در بخش غربی مصب رود تغییرات به کمترین میزان خود می رسد زیرا در سواحل دریای خزر از غرب به شرق جریاناتی به موازات خط ساحل وجود دارد که رسوبات حاصل از رودخانه را به سمت شرق جابجا می کند. از دهانه رود تجن به سمت شرق به تدریج بر میزان رسوب گذاری افزوده می شود.
- آورد رسوبی رودخانه و شیب بسیار کم و هم تراز سطح دریا در دهانه رودخانه تجن عامل بسیار مهمی در جابجایی خط ساحل در این بخش است و به دلیل هم تراز بودن مصب بیشترین جابجایی خطوط ساحلی در زمان

تغییرات سطح اساس در این بخش رخ می‌دهد و هر چه از دهانه رودخانه دورتر می‌شویم وضعیت پایدارتری در هنگام تغییرات سطح اساس وجود دارد. این مسئله نشانگر حساسیت بالا مصب رودها به تغییرات سطح اساس است.

قدردانی

این پژوهش برگرفته از بخشی از رساله دکتری است که به‌عنوان طرح پژوهشی برای سازمان بنادر و دریانوردی انجام شده است. همچنین، عکس‌های هوایی از سازمان نقشه‌برداری کشور و آمار دبی و رسوب نیز از شرکت مدیریت منابع آب دریافت شده است. بدین‌وسیله از حمایت‌ها و همکاری‌های بی‌دریغ ایشان قدردانی می‌نماید.

کتابنامه

- برد، اریک؛ چارلز، فردریک؛ (۱۳۹۲) ژئومورفولوژی ساحلی (ترجمه مجتبی یمانی، وحید محمد نژاد)، انتشارات دانشگاه تهران.
- تقوی مقدم، ابراهیم؛ فنواتی، عزت‌الله؛ اکبری، الهه؛ حسینی، هاشم؛ (۱۳۹۶) تحلیل ژئومورفودینامیک تغییرات خط ساحلی قاعده دلتای رودخانه مند بوشهر با استفاده از سنجش‌ازدور. فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال هفدهم، شماره ۶۰، ۱۹۰-۱۶۹
- خسروی، مریم؛ انتظاری، علیرضا؛ رحمانی، ابوالفضل؛ باعقیده، محمد؛ (۱۳۹۶) پایش تغییرات سطح آب دریاچه پریشان با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور. مجله هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۳، ۱۲۰-۹۹
- شریفی کیا، محمد؛ شایان، سیاوش؛ ولی، مایسا؛ تعیین تغییرات دینامیک خط ساحل بخش شرقی دریای خزر به کمک داده‌های چند زمانه/چند سنجده‌ای. (۱۳۹۶) برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره بیست و یکم، شماره ۴
- عبداله‌ی کاکرودی، عطاله؛ (۱۳۹۲) نوسانات دریای خزر و تأثیر آن بر سواحل جنوب شرقی دریای خزر. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳، ۴۴-۳۳
- لرستانی، قاسم؛ (۱۳۹۴). بررسی تغییرات خط ساحلی با استفاده از روش پلی گون تغییرات، محدوده مورد مطالعه: قاعده دلتای سفیدرود. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۳، ۱۸۰-۱۶۸
- نگهبان، سعید؛ باقری، کیوان؛ حیدری، سوسن؛ گروسی، لیل؛ (۱۳۹۶) بررسی و پایش تغییرات خط ساحلی دریای عمان در منطقه جاسک. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۱، ۱۳۶-۱۱۹

- Bruun P. 1962. Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion. American Society of Civil Engineers Journal of the Waterways and Harbours Division. 88: 117-130
- Burningham Helene. French Jon. 2017. Understanding coastal change using shoreline trend analysis supported by cluster-based segmentation. Geomorphology 282:131-149
- Chen J. L. Pekker T. Wilson C. R. Tapley B. D. Kostianoy A. G. Cretaux J.F. and Safarov E. S. 2017. Long-term Caspian Sea level change. Geophysical Research Letters. 21 JUN 2017
- Dolan R. Hayden B.P. May P and May S.K. 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. Shore and Beach, 48(4): 22-29.

- Esmail, Mohammed. Elham Mahmud Wael. Fath Hassan.2019.Assessment and prediction of shoreline change using multi-temporal satellite images and statistics: Case study of Damietta coast, Egypt. *Applied Ocean Research* 82: 274–282
- Hakko Mounir. Hakko Mehdi. Hakko Tarik. El khalidi Khalid. El Ouai Driss. Benmohammadi Aïcha. 2018. Multi-decadal assessment of shoreline changes using geospatial tools and automatic computation in Kenitra coast, Morocco. *Ocean and Coastal Management* 163: 232–239
- Jonah F.E. Jonah I. Osman A. Shimba M.J. Mensah E.A. Adu-Boahen K. Chuku E.O. Effah E.2016. Shoreline change analysis using end point rate and net shoreline movement statistics: An application to Elmina, Cape Coast and Moree section of Ghana's coast. *Regional Studies in Marine Science* 7: 19–31
- Kakroodi A.A. Kroonenberg S.B. Hoogendoorn R.M. Mohammmd Khani H. Yamani M. Ghassemi M.R. Lahijani H.A.K. 2012. Rapid Holocene sea-level changes along the Iranian Caspian coast, *Quaternary International* 263:93e103
- Kankara R. S. Chenthamil Selvan S. Markose Vipin J. Rajan B. Arockiaraj S.2015 Estimation of long and short term shoreline changes along Andhra Pradesh coast using Remote Sensing and GIS techniques. *Procedia Engineering* 116: 855 – 862
- Kermani Saci. Boutiba Makhlof. Guendouz Mostefa. Guettouche Mohamed.Said. Khelfani Dalila 2016. Detection and analysis of shoreline changes using geospatial tools and automatic computation: Case of jijlian sandy coast (East Algeria). *Ocean & Coastal Management* 132: 46e58
- Manc E. Pascucci V. Deluca M. Cossu A. Andreucci S. 2013. Shoreline evolution related to coastal development of a managed beach in Alghero, Sardinia, Italy. *Ocean. Coast. Manag.* 85: 65e76.
- Masselink G. and Russell P. 2013 Impacts of climate change on coastal erosion, *MCCIP Science Review*, 71-86, doi:10.14465/2013.arc09.071-086
- Misra A. Balaji R. A.2015. study on the shoreline changes and Land-use/ land-cover along the South Gujarat coastlineA study on the shoreline changes and Land-use/ land-cover along the South Gujarat coastline. *Procedia Engineering* 116: 381 – 389
- Naderi beni Abdolmajid. Alizadeh-Lahijani Hamid. Pourkerman Majid. Jokar Rahman. Djamali Mortza. Marriner Nick. Andrieu-Ponel Valerie. Mousavi Harami Reza.2014. Late Holocene Caspian Sea Level Changes and its Impacts on Low Lying Coastal Evolution: a Multidisciplinary Case Study from South Southeastern Flank of the Caspian Sea. *Journal of the Persian Gulf (Marine Science)/Vol. 5/No. 16/June 2014/22/27-48*
- Natesan Usha. Parthasarathy Anitha. Vishnunath R. Edwin Jeba Kumar Vincent G. Ferrer A .2015. Monitoring longterm shoreline changes along Tamil Nadu, India using geospatial techniques. *Aquatic Procedia* 4: 325 – 332
- Pilkey O.H. Hume T. 2001. The shoreline erosion problem: lessons from the past. *Water Atmos.* 9 (2), 22e23.
- Salghuna N.N.Aravind Bharathvaj S.2015. Shoreline Change Analysis For Northern Part Of The Coromandel Coast. *Aquatic Procedia* 4: 317 – 324
- Vivek G. Goswami Santonu. Samal R.N. Choudhury S.B.2019. Monitoring of Chilika Lake mouth dynamics and quantifying rate of shoreline change using 30m multi-temporal Landsat data. *Data in Brief* 22: 595–600