

بررسی تغییرات خط ساحلی چالوس تا تنکابن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱

احسان رستمی سقز^۱، محمدعلی شریفی^۲، مهدی حسنلو^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده‌گان فنی-دانشگاه تهران
^۲ دانشیار، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده‌گان فنی-دانشگاه تهران

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۸ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۸)

چکیده

خط ساحلی به عنوان مرز بین آب و خشکی تلقی می‌شود. سواحل از مهم‌ترین عوارض زیست محیطی بوده که بر زندگی انسان‌ها به طور مستقیم اثر گذار است. بالا رفتن سطح دریاها به سبب گرمایش زمین باعث شده است شهرهای ساحلی از جمله مناطقی می‌باشند که تهدید می‌شوند. بنابراین مدیریت و برنامه‌ریزی جهت جلوگیری از فرسایش سواحل از موارد مهمی است که باید به آن توجه کرد. در این تحقیق به بررسی تغییرات سواحل با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۱ در استان مازندران، ساحل بین شهرهای چالوس تا تنکابن پرداخته‌ایم. بدین منظور از دو تصویر در تاریخ ۲۰۱۹/۰۱/۱۵ و ۲۰۲۱/۰۹/۰۱ استفاده شده و تصاویر موردنظر از سامانه گوگل ارث‌انجین اخذ شده است. در مرحله پیش‌پردازش تصاویر به تصحیح خطای ارتفاعی منطقه مورد مطالعه و تعدیل نویز اسپیکل پرداختیم. سپس لبه ساحل به کمک حد آستانه اوتسو در تصاویر کشف شد. در نهایت جهت محاسبه میزان رسوب گذاری و فرسایش ساحل با تکنیک EPR از سامانه تحلیل رقمی خط ساحلی استفاده شد. در ۸۷ درصد ساحل این منطقه شاهد فرسایش ساحل بوده‌ایم. مقدار فرسایش بطور میانگین حدود ۷ متر در سال است.

کلمات کلیدی: خط ساحلی، گوگل ارث‌انجین، سنتینل-۱، حد آستانه اوتسو، سامانه تحلیل رقمی خط ساحلی، نویز اسپیکل

۱ مقدمه

Commission ساحل به عنوان یکی از ۲۷ عارضه مهم در جهان شناخته شده است. بر طبق آمار موسسه منابع جهانی (World Resource Institute) حدود ۲٫۲ میلیارد نفر یا ۳۹ درصد جمعیت جهان در صد کیلومتری سواحل زندگی می‌کنند. پیش‌بینی می‌شود تا آخر قرن ۲۱، حدود ۶۰۰۰ الی ۱۷۰۰۰ کیلومتر مربع در سطح جهانی فرسایش یابد. بنابراین نظارت مستمر بر تغییرات در مناطق ساحلی جهت توسعه ملی و حفاظت از محیط زیست امری مهم است (نقدی و رسولی، ۲۰۱۰، میترا، ۲۰۱۳، کولکی و همکاران، ۲۰۱۱). تا به امروز اکثر مطالعات انجام شده در مورد خطوط ساحلی مرتبط به تصاویر چندطیفی بوده است. مطالعات انجام شده با تصاویر چندطیفی علی‌رغم بالا بودن دقت و سادگی در استخراج بدنه آب با کمک شاخص‌های طیفی، دارای محدودیت‌هایی است. اصلی‌ترین آن وابستگی به شرایط آب

سطح متوسط دریاها در حال افزایش است به طوری‌که در فاصله زمانی بین اواخر قرن نوزده میلادی تا اوایل قرن بیست و یک حدود ۲۱۰ میلی‌متر افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌شود تا اواخر قرن بیست و یک ۴۵۰ الی ۸۲۰ میلی‌متر دوباره افزایش یابد. بالا آمدن سطح دریاها تهدید بزرگی برای مناطق کم ارتفاع، سواحل و جزایر پرجمعیت است (چرچ و وایت، ۲۰۱۱ و چرچ و همکاران، ۲۰۱۳). تغییر سطح دریاها به عنوان عامل اصلی تغییرات در شکل سواحل شناخته می‌شود. در سطح جهانی انتظار می‌رود بالا آمدن دریاها و سیلاب‌ها تا اواسط قرن حاضر به میزان قابل توجهی افزایش یابد و پیامدهای بالقوه شدیدی برای شهرهای ساحلی داشته باشد (دی و همکاران، ۲۰۰۷ و شپرد و همکاران، ۲۰۱۲). طبق تعریف کمیسیون بین المللی اطلاعات جغرافیایی (International Geo Data)

سنتینل-۱ از نوامبر سال ۲۰۱۴ تا آوریل سال ۲۰۱۵ استفاده شد. برای تعیین کیفیت سیگنال هر قطبش (VH و VV) مقادیر CV (Coefficient of Variation) و ENL (Equivalent Numbers of Looks) کلاس‌های آب و خاک محاسبه شد. به این نتیجه رسیدند که هرچه مقدار CV هر کلاس کمتر، و مقدار ENL هر کلاس بیشتر باشد، کیفیت آن قطبش مناسب‌تر است. سپس قطبش VH انتخاب شد و با اعمال حد آستانه دستی لبه ساحل را کشف کردند (بیورسیتا و همکاران، ۲۰۱۶).

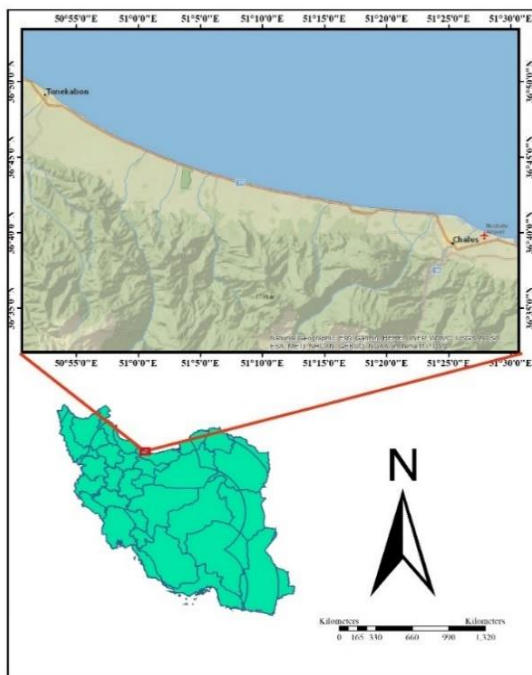
آکار و همکاران در سال ۲۰۱۲ از دو تصویر راداری متعلق به سنجنده Alos-Palsar در سال‌های ۲۰۰۷ (با قطبش HH) و ۲۰۱۰ میلادی (با قطبش VH) برای کشف لبه ساحل استفاده کردند. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق ساحل دریای سیاه در شمال شرق کشور ترکیه است که شامل ساحل شهرهای Barin و Zonguldak است. تصاویر موجود ۳۲ بیتی بوده و هیستوگرام آنها دوقله‌ای هستند. برای جدا کردن نویز و افزایش سرعت پردازش رزولوشن رادیومتریک آن‌ها به حالت ۸ بیتی تبدیل شدند. سپس برای آشکارتر کردن اختلاف رادیومتریک دریا و خشکی، عملیات یکسان‌سازی هیستوگرام (Histogram Equalization) انجام شد. جهت تشخیص اینکه تصویر دارای نویز زیاد یا کم است، یک پنجره جستجوی 100×100 بر روی کل تصویر اعمال شد تا اینکه کل بخش آب و کل بخش خشکی از هم جدا شدند. در این پروسه مقدار ۱۲۸ را بعنوان حد آستانه برای پنجره 10000 پیکسلی تعیین شد. اگر تعداد پیکسل‌های با مقدار صفر (سیاه)، ۲۰٪ بیشتر از پیکسل با مقدار یک (سفید) باشد، آن گروه از پیکسل متعلق به کلاس آب هستند. پس از حذف پیکسل‌های نویزی در تصاویر، با استفاده از مورفولوژی ریاضی، سایر نویزهای تصادفی را در تصویر حذف کردند. سرانجام با الگوریتم Fit-coast تصویر باینری تولید کردند (آکار و همکاران، ۲۰۱۲). دونگک یانگ-آنو و همکاران در سال ۲۰۱۷ با استفاده از سری زمانی تصاویر SAR سنتینل-۱ به تغییرات رودخانه دانوب در کشور رومانی پرداختند. رودخانه دانوب از جنگل سیاه در آلمان شروع می‌شود و در

و هوایی، نور خورشید، وجود ابر و سایه گیاهان است که مانع استخراج صحیح لبه سواحل می‌شوند. بنابراین برای مناطقی که در بیشتر طول سال ابری هستند، تصاویر راداری گزینه مناسبی برای پایش و آشکارسازی سواحل هستند. تصاویر راداری به دلیل طول موج بلند آن (۱ میلی‌متر تا ۱ متر) توانایی تصویربرداری در طول شب و روز و در هر شرایط آب و هوایی را دارا است. یکی از چالش‌های مهم در تصاویر راداری، وجود نویز اسپکل است. اثر تداخل امواج و توپوگرافی سطح زمین، یک اثر نامطلوب در تصاویر بجامی-گذار که به نویز اسپکل معروف است. تفسیر تصاویر راداری نسبت به تصاویر چندطیفی بدلیل وجود نویز اسپکل و همچنین غیریکنواخت بودن مشخصه سیگنال‌های بازگشتی از سطح دریا مشکل است. در صورتی که منطقه مورد مطالعه دارای بافت غیرهمسان باشد، این نویز می‌تواند باعث بروز ابهامات زیادی در تصاویر شود. این نویز در تصاویر بصورت لکه لکه ظاهر می‌شود و لبه تصاویر را حفظ نمی‌کند (لی و پوتی یر ۲۰۱۷، هندرسون و لوئیس، ۱۹۹۸). بطور کلی روش‌های استخراج خط ساحل در تصاویر راداری را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد: ۱) مبتنی بر کشف لبه (Edge Detection) که بر اساس شدت ناپوستگی میان پیکسل‌های همسایه در تصویر است. ۲) مبتنی بر حد آستانه که بر اساس انتخاب حد آستانه بصورت دستی یا اتوماتیک است. این روش کاربرد وسیعی در کشف لبه تصاویر راداری دارد زیرا دارای دقت بالا و همچنین روشی آسان است. ۳) مبتنی بر روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده (Supervised Classification)، طبقه‌بندی نظارت نشده (Unsupervised Classification)، طبقه‌بندی نرم (Soft Classification)، که در این روش تصویر مورد نظر به دو کلاس آب و غیر آب طبقه‌بندی می‌شود و لبه ساحل آشکار می‌شود. ۴) مبتنی روش تلفیقی، که شامل تلفیق دو یا چند داده مانند، تصاویر چندطیفی راداری و لیدار (Light Detection and Ranging) جهت تشخیص لبه ساحل می‌باشد (مداوا و اکبرزاده، ۲۰۱۷). فیلسا بیورسیتا و همکاران در سال ۲۰۱۶ میلادی، در یک پژوهش تغییرات خط ساحلی سوراپا در استان جاوه شرقی اندونزی پرداختند. ۶ تصویر ماهواره

پردازش های مورد نیاز (تصحیحات زمینی و تعدیل نویز اسپکل) بر روی تصاویر، خط ساحل را با روش آستانه گذاری اوتسو پیدا کردیم. آنگاه برای بررسی فرسایش و رسوب گذاری آن از سامانه رقمی تحلیل خط ساحلی (DSAS) و محاسبه نرخ نقطه نهایی (EPR) استفاده شد.

۲ منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، ساحل مابین شهرهای چالوس و تنکابن در استان مازندران است. فاصله مابین این دو شهر حدود ۵۶ کیلومتر بوده، که هر دو از سمت شمال به دریای خزر وصل می شوند. ساحل منطقه مورد مطالعه از نوع سواحل شنسی است. کناره های کم عرض ساحلی واقع در حد فاصل کوهستان البرز و دریای خزر، اصولاً دارای آب و هوای معتدل و مرطوب است. دمای هوای این منطقه در تابستان مابین ۲۵ الی ۳۶ درجه سانتی گراد و در زمستان ۵ الی ۱۲ درجه سانتی گراد، و ارتفاع این منطقه از سطح دریا حدود ۲۹ متر است. مختصات منطقه مورد مطالعه از نظر طول جغرافیایی مابین ۵۰ درجه ۴۹ دقیقه تا ۵۱ درجه ۲۷ دقیقه و از نظر عرض جغرافیایی مابین ۳۶ درجه ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه ۵۱ دقیقه است (شکل ۱).



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

شرق رومانی به دریای سیاه می ریزد. برای کشف لبه رودخانه ابتدا قطبش های VV و VH را جهت تمایز بیشتر آب و خاک، در هم ضرب کردند. سپس در نقشه ی بدست آمده، یک حد آستانه نیز مشخص شد تا به یک نقشه باینری تبدیل گردد. و نهایتاً به وسیله الگوریتم کشف لبه Canny توانستند خط ساحلی را استخراج کنند (دونگک یانگ_ آئو و همکاران، ۲۰۱۷). در سال ۲۰۲۰ میلادی، نی-هویین بن به آشکار سازی سواحل شهرهای فان-تیئت و هان توان-بائه، در استان بینه توان در جنوب شرقی کشور ویتنام پرداختند. در این تحقیق ۴ تصویر سنتینل-۱ از تاریخ سال ۲۰۱۶ تا سال ۲۰۱۷ مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا با فیلتر لی (Refined Lee) بهبود یافته نویز اسپکل را کاهش دادند. در مرحله بعدی به کمک استفاده از خوشه بندی فازی میانگین تصویر SAR را به مقدار صفر و یک منتقل کردند. زیرا انحراف معیار و میانگین کلاس آب و خاک دارای تفاوت زیادی هستند. به این ترتیب کلاس های آب و خاک از هم تفکیک شدند در مرحله بعدی حد آستانه بهینه برای هیستوگرام تصویر تعیین کردند. که مقدار ۰٫۵۰۲ برای آن انتخاب شد و بدین ترتیب یک تصویر باینری بوجود آمد (نی-هون-بن و همکاران، ۲۰۲۰). همایون خوشروان و همکاران در سال ۲۰۱۱ به بررسی رسوب گذاری و فرسایش ساحل جنوبی دریای خزر پرداختند، در این تحقیق با اجرای عملیات میدانی مشخصات ساختار هندسی، عوارض مورفودینامیکی و ساختارهای رسوبی بستر دریا مورد پایش قرار گرفت، با بررسی ۴۸ نمونه رسوبی برداشت شده از محدوده ساحلی در شش ایستگاه اندازه گیری (میانکاله، سرخورد، نشتارود، انزلی، تالش و آستارا) و انجام عملیات آزمایشگاهی و پردازش های لازم بر روی داده های بدست آمده در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، به این نتیجه رسیدند که در ایستگاه نشتارود (مابین شهرستان چالوس و تنکابن) شاهد فرسایش ساحل بوده ایم (همایون خوشروان و همکاران، ۲۰۱۱). در این تحقیق از دو تصویر سنتینل-۱ در سال های ۲۰۱۹/۰۱/۱۵ و ۲۰۲۱/۰۹/۰۱ برای بررسی تغییرات خط ساحل بین شهرستان چالوس و تنکابن در استان مازندران استفاده شد. پس از اعمال پیش

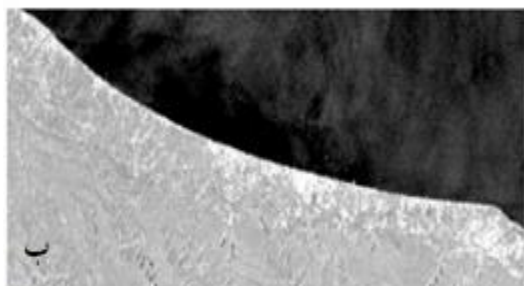
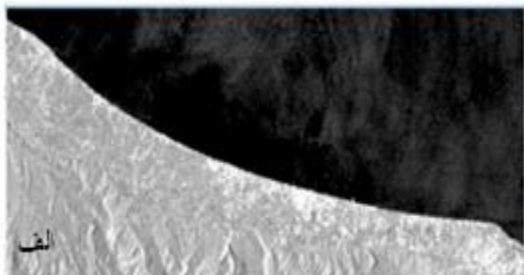
نوع داده	جهت مسیر	قطبش	رزولوشن	باند	تاریخ
GRD	Descending	VH	10m	C	۱۵ مارس ۲۰۱۹
GRD	Descending	VH	10m	C	۰۱ سپتامبر ۲۰۱۹

جدول ۱. داده های مورد استفاده

۳ مواد و روش ها

۳-۱- مواد

در این تحقیق از تصاویر دارای دو قطبش (Polarization) سنتینل-۱ باند C از نوع GRD با قطبش VH استفاده شده است. دلیل انتخاب این قطبش، تمایز بیشتر کلاس های آب و خاک در تصاویر نسبت به قطبش VV بودند. تصاویر مورد نظر از سامانه گوگل ارث انجین اخذ شده است. در این سامانه پیش پردازش هایی همچون تصحیح رادیومتریکی و اصلاح مدار ماهواره (Orbit File) بصورت پیش فرض انجام شده است (جدول ۱).



شکل ۳. تصویر سنتینل-۱ در تاریخ ۲۰۱۹/۰۱/۱۵، الف (تصحیح زمینی نشده)، ب (تصحیح زمینی شده)

۳-۲ پیاده سازی روش پیشنهادی

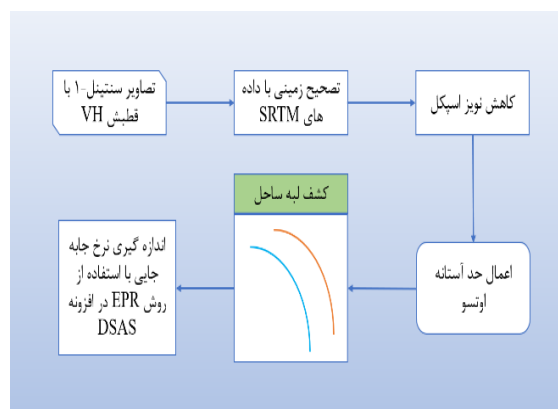
تحقیق شامل سه مرحله اصلی است که به ترتیب زیر است (شکل ۲):

- الف) پیش پردازش تصاویر
- ب) آستانه گذاری اوتسو
- ج) محاسبه نرخ جابجایی

۳-۲-۱ پیش پردازش تصاویر

۳-۲-۱-۱ تصحیح زمینی

مدل رقومی زمین نقش عمده ای در کاربردهایی همچون هیدرولوژی، منابع آب، زمین شناسی، پروژه های مهندسی عمران و غیره ایفا می کند. دقت مدل رقومی زمین نکته ای کلیدی در این کاربردها است. ماهواره ی ماموریتی توپوگرافی رادار شاتل (SRTM) با قدرت تفکیک ۳۰ متر گزینه ای مناسب جهت تقریب توپوگرافی زمین است. اثر ارتفاعی سطح زمین نقش مهمی در تجزیه و تحلیل تصاویر راداری دارد (اولافلین و همکاران، سال ۲۰۱۶). با حذف این مورد خطاهای ارتفاعی بر روی تصاویر راداری از بین می رود. در شکل شماره ۳ قسمت الف، اثر توپوگرافی زمین و مشخصا رشته کوه های



شکل ۲. فلوچارت پژوهش

۳-۲-۲ آستانه گذاری اوتسو

مرحله دوم اعمال آستانه گذاری بر روی تصاویر است. روش اتسو یکی از معروفترین روش های آستانه گذاری سراسری تصویر است. اتسو با کمک هیستوگرام تصویر یک حد آستانه بهینه پیدا می کند. روش اتسو در تصاویری خوب عمل می کند که هیستوگرام آنها شامل دو قله باشد همچنین باعث می شود دو قله هیستوگرام به طور کامل از هم تفکیک شوند. به عبارتی اتسو حد آستانه ای انتخاب می کند که دارای بیشترین واریانس بین کلاسی است (اتسو و همکاران، ۱۹۷۹). لبه سواحل منطقه مورد مطالعه در هر دو تصویر یا کمک حد آستانه اتسو یافت شد که آن را در شکل های ۶ و ۷ نشان داده ایم. در تصاویر راداری الگوریتم های یادگیری ماشین (Machine Learning) جهت طبقه بندی تصاویر گزینه مناسبی برای استخراج عوارض نیستند، زیرا نویز اسپکل یک فرایند ضربی است که کیفیت تصاویر رادار را کاهش داده و در نتیجه طبقه بندی تصاویر را با مشکل مواجه می کند و لبه حفظ نمی شود.

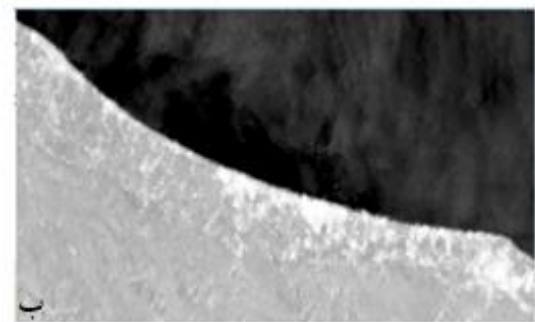
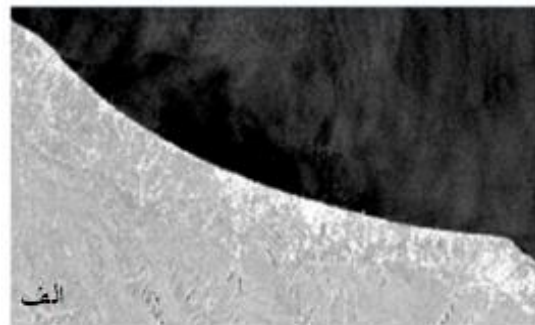
۳-۲-۳ محاسبه نرخ جابه جایی

برای محاسبه جابه جایی خط ساحل از افزونه سامانه تحلیل رقومی خط ساحلی (DSAS) استفاده کردیم. این افزونه بر روی ArcMap 10.4.1 نصب می شود. ابتدا خط ساحل هر دو تصویر را به صورت دستی رسم کرده (شکل شماره ۸) و سپس یک خط مبنا مطابق شکل شماره ۹ به فاصله ای نسبتاً دور و به موازات خطوط ساحلی ترسیم می کنیم. آنگاه برش های عمودی (Transect) بر خط پایه عمود شده و خطوط ساحلی را قطع می کند. فاصله بین برش های عمودی در این تحقیق ۵۰ متر بوده و اندازه هر کدام در بیشترین حالت به ۵۲۵ متر می رسد (شکل ۹). پس از این مرحله به کمک روش نرخ نقطه نهایی (EPR) جابه جایی ساحل را محاسبه می کنیم (وانگ و همکاران، ۲۰۱۷، شیائو و همکاران، ۲۰۱۸). نرخ نقطه نهایی عبارتست از فاصله بین اولین خط ساحل با آخرین خط ساحل روی هر برش عمودی، تقسیم بر اختلاف زمان دو خط ساحل، که واحد آن متر در سال است فرمول (۱).

البرز در آن مشهود است. در قسمت ب، پس از اعمال تصحیح زمینی روی تصاویر، توپوگرافی منطقه از میان رفته است.

۳-۲-۱-۲ تعدیل نویز اسپکل

گام بعدی پس از تصحیح زمینی، تعدیل نویز اسپکل است. اثر تداخل امواج و همچنین توپوگرافی سطح زمین می تواند اثر نامطلوبی روی تصاویر ایجاد کند که به نویز اسپکل معروف است. این نویز به دلیل نوسانات فاز سیگنال های بازگشتی امواج الکترومغناطیسی است که به صورت لکه لکه روی تصویر ظاهر می شود (راسین و همکاران، ۱۹۹۹). برای تعدیل این اثر از فیلتر لی بهبود یافته استفاده شده است. در این فیلتر تصویر به سه کلاس تقسیم می شود که کلاس اول مربوط به مناطق همگن بوده و با یک فیلتر پایین گذر کاهش می یابد.



شکل ۴. تصویر سنتینل-۱ در تاریخ ۲۰۱۹/۰۱/۱۵، تصویر الف (تصحیح زمینی شده)، تصویر ب (تصویر با تعدیل نویز اسپکل)

کلاس دوم نیز مربوط به مناطق ناهمگن بوده که اسپکل حین حفظ بافت تصویر، باید کاهش یابد و سومین کلاس مربوط به اهداف نقطه ای منفرد است که در این مورد فیلتر می بایست مقدار مشاهداتی را حفظ کند (سلحشوری و همکاران، ۲۰۱۶، یامی و همکاران، ۲۰۱۵)، (شکل ۴). در این تحقیق از برای کاهش نویز اسپکل از پنجره های کرنل ۷×۷ استفاده شد.

$$EPR = \frac{\Delta r}{t}$$

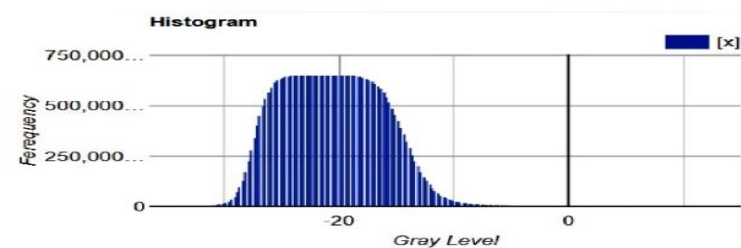
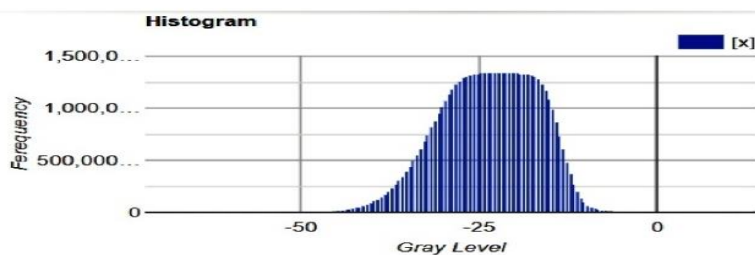
Δr = Distance between the first and last shoreline for each transect

t = Time difference between two shoreline

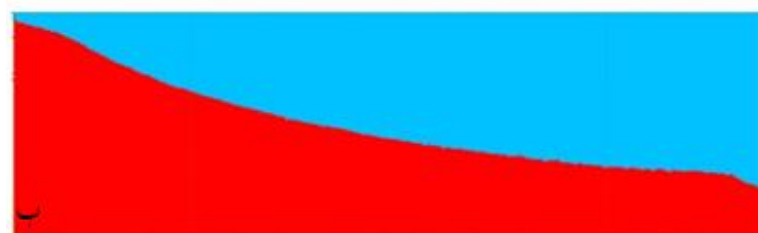
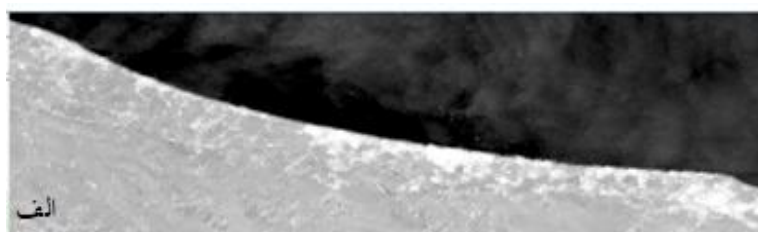
(۱)

جدول ۲. حد آستانه اوتسو در تصاویر اخذ شده

تاریخ تصاویر	مقدار حد آستانه اوتسو
۲۰۱۹/۰۱/۱۵	-۲۲/۷۶۳۴۹
۲۰۲۱/۰۹/۰۱	-۲۰/۸۷۱۹۳



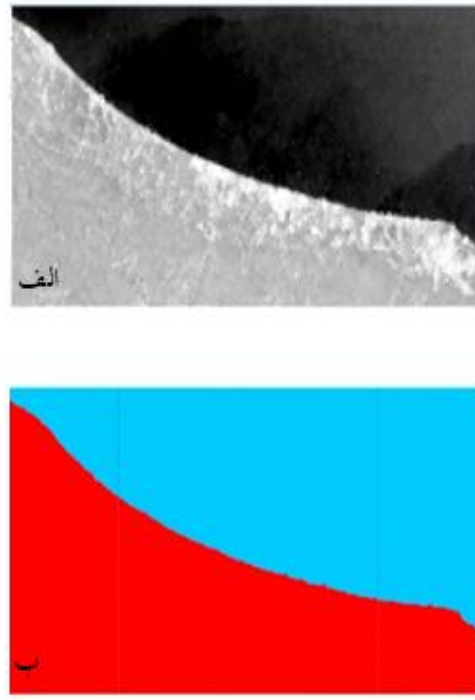
شکل ۵. تصویر الف (هیستوگرام تصویر در تاریخ ۲۰۱۹/۰۱/۱۵) تصویر ب (هیستوگرام تصویر در تاریخ ۲۰۲۱/۰۹/۰۱)



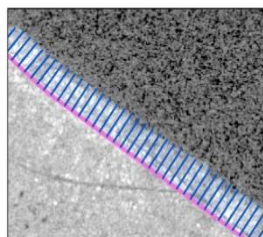
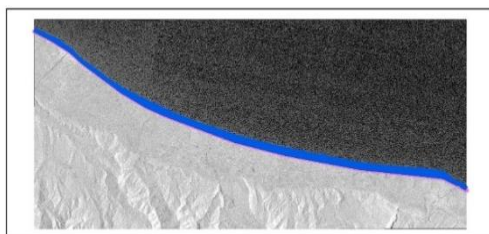
شکل ۶. تصویر سنتینل-۱ در تاریخ ۲۰۱۹/۰۱/۱۵، تصویر الف (تصویر با تعدیل نوز اسپکل)، تصویر ب (تصویر با اعمال حد آستانه)

۴ نتایج

در این تحقیق تعداد ۱۲۵۶ برش عمودی بر خط پایه اعمال شد که مقادیر منفی نشان‌دهنده فرسایش ساحل و مقادیر مثبت نشان‌دهنده رسوب‌گذاری ساحل در این بازه زمانی می‌باشد. در ۱۰ درصد برش‌های عمودی، رسوب‌گذاری ساحل داشته‌ایم و در ۸۷ درصد، شاهد فرسایش ساحل و پسروری به سمت خشکی بوده‌ایم (شکل ۱۰). بیشترین مقدار فرسایش در حدود ۶۱ متر در سال بوده است و کمترین آن حدود ۳ متر در سال است که مطابق شکل ۱۱ ترانسکت‌های رنگ قرمز به معنای فرسایش ساحل بوده و ترانسکت‌های آبی رنگ رسوب‌گذاری ساحل را نشان می‌دهد. شدت رنگ میزان شدت تغییرات را نشان می‌دهد. مقدار این فرسایش در ۲۷ درصد ساحل منطقه بیش از ۱۰ متر در سال است و بیشترین مقدار رسوب‌گذاری حدود ۲۷ متر در سال بوده است. بطور میانگین میزان تغییرات محاسبه شده ساحل این منطقه حدود ۷ متر در سال و بصورت فرسایش بوده است.



شکل ۷. تصویر سنتینل-۱ در تاریخ ۲۰۲۱/۰۱/۰۹ تصویر الف (تصویر با تعدیل نویز اسپکل)، تصویر ب (تصویر با اعمال حد آستانه)

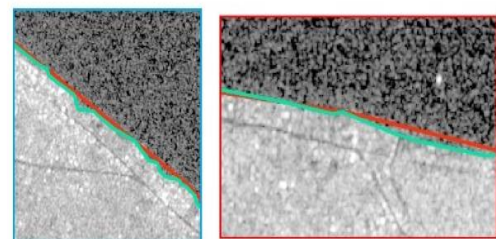
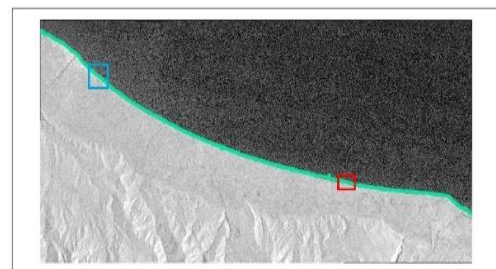


Legend

- transect
- baseline



شکل ۹. برش‌های عمود بر خط پایه

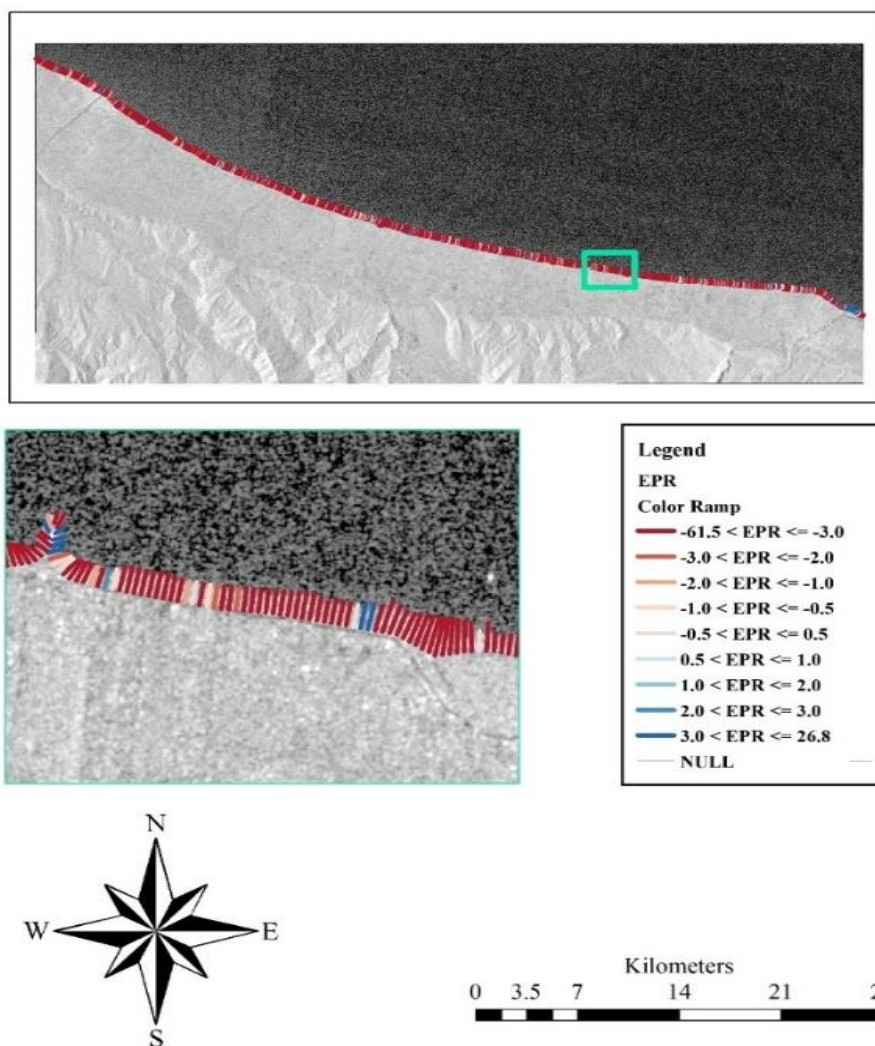


Legend

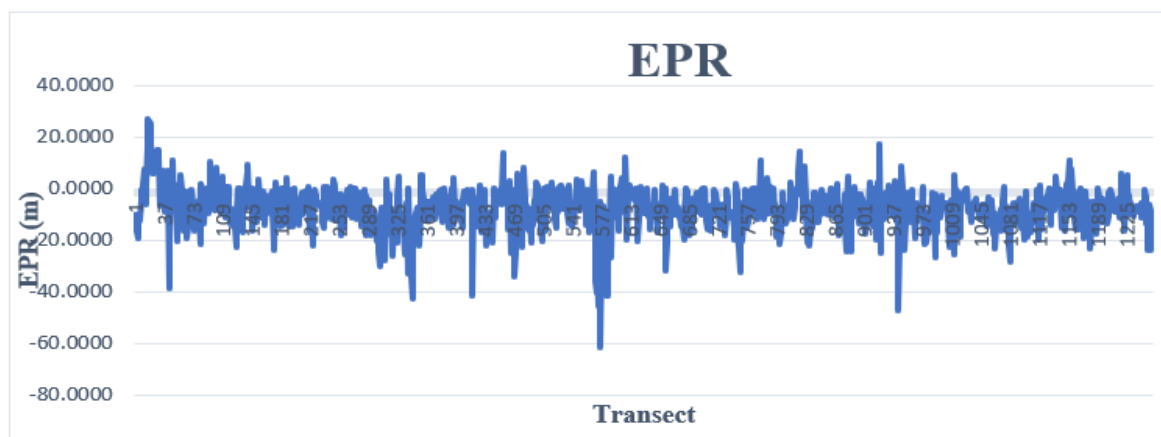
- shoreline
- <all other values>
- DSAS_date
- 2019/01/15
- 2021/09/01



شکل ۸. خطوط ساحلی استخراج شده



شکل ۱۰. میزان نرخ نقطه‌نهایی بر روی برش‌های عمودی



شکل ۱۱. میزان رسوب‌گذاری و فرسایش ساحل با استفاده از روش EPR

- Yen, N.H. and T.L.T. Kim, Coastline changes detection from Sentinel-1 satellite imagery using spatial fuzzy clustering and interactive thresholding method in Phan Thiet, Binh Thuan.
- Modava, M. and G. Akbarizadeh. A level set based method for coastline detection of SAR images. in 2017 3rd International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis (IPRIA). 2017. IEEE.
- Bioresita, F. and N. Hayati, Coastline changes detection using sentinel-1 satellite imagery in surabaya, east java, Indonesia. *Geoid*, 2016. 11(2): p. 190-198.
- Acar, U., et al., An algorithm for coastline detection using SAR images. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012. 39: p. 457-460.
- Ao, D., et al. Coastline detection with time series of SAR images. in *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2017*. 2017. International Society for Optics and Photonics.
- O'Loughlin, F.E., et al., A multi-sensor approach towards a global vegetation corrected SRTM DEM product. *Remote Sensing of Environment*, 2016. 182: p. 49-59.
- Racine, R., et al., Speckle noise and the detection of faint companions. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 1999. 111(759): p. 587.
- Yommy, A.S., R. Liu, and S. Wu. SAR image despeckling using refined Lee filter. in 2015 7th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics. 2015. IEEE.
- Otsu, N., A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 1979. 9(1): p. 62-66.
- Qiao, G., et al., 55-year (1960–2015) spatiotemporal shoreline change analysis using historical DISP and Landsat time series data in Shanghai. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 2018. 68: p. 238-251.
- Wang, X., et al., Spatio-temporal change detection of Ningbo coastline using Landsat time-series images during 1976–2015. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2017. 6(3): p. 68.
- همایون، خ.، et al.، ناحیه بندی سواحل جنوبی دریای خزر براساس شواهد مورفودینامیک رسوبی. *فیزیک زمین و فضا*. ۱۳۹۰. سال سی و هفتم (۳): 1-p.
- سلحشوری، ف. and س. المدرسی، بررسی تغییرات خط ساحلی با استفاده از تصاویر رادار (محدوده مطالعاتی: جزیره قشم)، in *دومین همایش ملی کاربرد مدل های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمایش سرزمین*. ۱۳۹۵، undefined.
- Church, J.A. and N.J. White, Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surveys in geophysics*, 2011. 32(4): p. 585-602.
- Church, J.A., et al., *Sea level change*. 2013, PM Cambridge University Press.
- Day Jr, J.W., et al., Restoration of the Mississippi Delta: lessons from hurricanes Katrina and Rita. *science*, 2007. 315(5819): p. 1679-1684.
- Arkema, K.K., et al., Coastal habitats shield people and property from sea-level rise and storms. *Nature climate change*, 2013. 3(10): p. 913-918.
- Shepard, C.C., et al., Assessing future risk: quantifying the effects of sea level rise on storm surge risk for the southern shores of Long Island, New York. *Natural hazards*, 2012. 60(2): p. 727-745.
- Mitra, A., Sensitivity of mangrove ecosystem to changing climate. Vol. 62. 2013: Springer.
- Hagenaars, G., et al., Long term coastline monitoring derived from satellite imagery. *Proc. Coastal Dynamics (12–16 June 2017)*, 2017: p. 1551-62.
- Rasuly, A., R. Naghdifar, and M. Rasoli, Monitoring of Caspian Sea coastline changes using object-oriented techniques. *Procedia Environmental Sciences*, 2010. 2: p. 416-426.
- Kuleli, T., et al., Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey. *Ocean Engineering*, 2011. 38(10): p. 1141-1149.
- Lee, J.-S. and E. Pottier, *Polarimetric radar imaging: from basics to applications*. 2017: CRC press.
- Henderson, F.M. and A.J. Lewis, *Principles and applications of imaging radar. Manual of remote sensing: Volume 2*. 1998.