

تأثیر نوسانات تراز آب دریای خزر بر تغییرات مکانی خطوط ساحلی منطقه شهری نور و رویان

علیرضا شجاعی نوری^۱، غلامرضا جانباز قبادی^{۱*}، صدرالدین متولی^۱

۱- گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵، تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۳/۲۸

چکیده

پایش روند تغییرات خط ساحلی و تحلیل میزان تغییرات مکانی آن در منطقه شهری نور و رویان، براساس داده‌های آماری بلند مدت نوسانات تراز دریای خزر در ایستگاه‌های ترازسنجی بندر انزلی و نوشهر و تصاویر ماهواره‌ای متناظر انجام شده است. بررسی داده‌های ترازسنجی نشان داد که پایین‌ترین و بالاترین تراز به ترتیب در سال‌های ۱۳۵۶ (۲۸/۵- متر) و ۱۳۷۲ (۲۵/۲۴- متر) ثبت شده است. با توجه به آخرین داده‌های تراز آب، مقدار آن در آبان ماه سال ۱۳۹۸ به پایین‌ترین سطح خود طی سه ده اخیر رسیده است (۲۷/۳۱- متر). به منظور استخراج خطوط ساحلی متناظر با سه تراز فوق‌الذکر، تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های فیلترگذاری و آستانه هیستوگرام به کار برده شد. تنها منبع تصویر ماهواره‌ای برای استخراج خط ساحل سال ۱۳۵۶ به عنوان پایین‌ترین تراز، تصویر ماهواره Landsat سنجنده MSS است. تصویر سنجنده TM ماهواره Landsat برای استخراج خط ساحل تیر ماه ۱۳۷۴ و تصویر ماهواره Sentinel-2 هم برای استخراج خط ساحل آبان ۱۳۹۸ استفاده شد. الگوی جابجایی خطوط ساحلی متناظر با ترازهای تاریخی ثبت شده از نوسانات آب دریای خزر نشان داد که اثر نوسانات تراز طی سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۹۸ به خوبی در تغییر موقعیت مکانی خط ساحل منطقه مطالعاتی انعکاس یافته است. ۲۱۴ هکتار از اراضی ساحلی شهرهای نور و رویان بر اثر بالا آمدن تراز آب دریا از سال ۱۳۵۶ تا ۱۳۷۴ در طول حدود ۱۴ کیلومتر نوار ساحلی زیر آب رفته است. پس از بالا آمدگی آب دریا و فرسایش اراضی ساحلی، از سال ۱۳۷۴ تاکنون، ۶۵/۷ هکتار بر محدوده اراضی ساحلی (اراضی مستحدث) اضافه شده است.

واژه‌های کلیدی: نوسانات تراز دریا، خط ساحل، تصاویر ماهواره‌ای، شهرهای نور و رویان.

مقدمه

نواحی ساحلی به لحاظ فیزیکی و اکولوژیکی دائماً در حال تغییر بوده که به عامل‌های طبیعی و انسانی بستگی دارد. عامل‌های طبیعی تغییرات خط ساحلی به سه روش ارزیابی می‌شوند: تغییرات کوتاه مدت شامل تأثیرات بالا و پایین رفتن جریان، تغییرات بلند مدت شامل تغییرات اقلیمی، طوفان-های دوره‌ای و امواج، و تغییرات اتفاقی شامل رویدادهای طبیعی ناگهانی (Krueger et al, 2008; Tagil and Cürebal, 2005). این تغییرات اتفاق افتاده بر روی خط ساحلی و نواحی ساحلی تأثیر گذاشته و در ادامه اثر منفی بر زندگی انسانی، فعالیت‌های انسانی و ارتباطات دریایی می‌گذارد (Bayram et al, 2004; Tai-Wen et al, 2007). پایش ناحیه ساحلی، امری مهم در توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست آن می‌باشد؛ جهت پایش ناحیه ساحلی، استخراج خط ساحلی در زمان‌های مختلف کاری اساسی است (Alesheikh, et al, 2007; Jarrat and Davies, 2020; Nidhinarangkoon, 2020; Lithgow, 2019). خط ساحل یکی از مهم‌ترین عارضه‌های خطی بر روی سطح زمین بوده که طبیعت پویا را نشان می‌دهد. خطوط ساحلی توسط کمیته داده جغرافیایی بین‌المللی (IGDC)^۱ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عارضه‌های جغرافیایی بر روی سطح زمین تعریف شده و از نظر جغرافیایی خط تلاقی ناحیه ساحلی و سطح پهنه آبی می‌باشد (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۹؛ وردی‌پسندی، ۱۳۹۸؛ عابدی سماکوش و همکاران، ۱۳۹۷). بر این اساس، تهیه نقشه خط ساحلی و تعیین تغییرات جهت ناوبری ایمن، مدیریت منابع، حفاظت محیط زیست، برنامه‌ریزی و توسعه پایدار ساحلی ضروری است. ذهنی بودن تعیین شاخص خط ساحل قابل دید، جای بحث داشته و تعیین آن از طریق عکس‌های هوایی در مقایسه با تشخیص بر جا در کار میدانی دقت

کمتری دارد. متأسفانه، احتمال دارد که بسیاری از عارضه‌ها همچون HWL، از رخ داده‌های تراز مد قبلی به جای مانده باشند و موقعیت درست جدیدترین حد بالاروی حداکثر را نشان ندهند. یک HWL موردی به دیتوم جزر و مدی یا ارتفاع ثابت ارجاع ندارد، در عوض ممکن است ترکیبی از تعدادی از فاکتورها، شامل مورفولوژی ساحلی موجود، شرایط جوی (آب و هوایی) و شرایط هیدرودینامیکی غالب باشد. با وجود بینش‌های ارزشمند و قابل توجهی که در بسیاری از مکان‌های بزرگ ساحلی در سراسر جهان به دست آمده است، همواره این انتقاد وارد است که تکنیک‌های تشخیص بصری خط ساحل بیش از اندازه بر جمع‌آوری داده و تفسیر ذهنی متکی هستند. لذا می‌بایست پژوهشگران ساحلی دقت نقشه‌برداری خط ساحل را بهبود بخشند که از طریق توسعه تکنیک‌های تشخیص عینی‌تر، قوی‌تر و با قابلیت تکرار می‌توان به آن دست پیدا کرد. شناسایی خط ساحل شامل دو مرحله است. مرحله اول نیاز به انتخاب و تعریف شاخص خط ساحل دارد که محل تلاقی خشکی - آب است. تعدادی از شاخص‌های تعیین خط ساحل که توسط بررسی‌های ساحلی استفاده می‌شود (و یک دید کلی از مزایا و محدودیت‌های مرتبط با آن‌ها)، در بخش قبلی مورد بحث قرار گرفت. مرحله دوم از شناسایی خط ساحلی، شامل تعیین شاخص خط ساحل انتخابی از طریق منابع داده‌ای موجود است. هر دو تکنیک برای شناسایی موقعیت خط ساحلی (تعیین خط ساحل) و فرضیه‌های ساخته شده در مورد تعریف خط ساحلی (انتخاب شاخص خط ساحل)، پتانسیل بروز خطا را در هنگام برآورد موقعیت خط ساحل دارند. رایج‌ترین تکنیک تشخیص خط ساحل که برای عارضه‌های خط ساحل قابل تشخیص بصری به کار گرفته می‌شود، چه در بررسی میدانی و چه در عکس

و پیشروی آب دریا در محدوده مطالعاتی سبب تخریب تأسیسات ساحلی و اماکن تفریحی می‌گردد. لذا هرگونه برنامه‌ریزی در جهت تغییر کاربری اراضی و ساخت‌وساز در ساحل و تغییرات ناحیه ساحلی علاوه بر استفاده از علوم دیگر بایستی از نقطه‌نظر تغییرات مکانی خط ساحل و مهندسی سواحل نیز بررسی گردد.

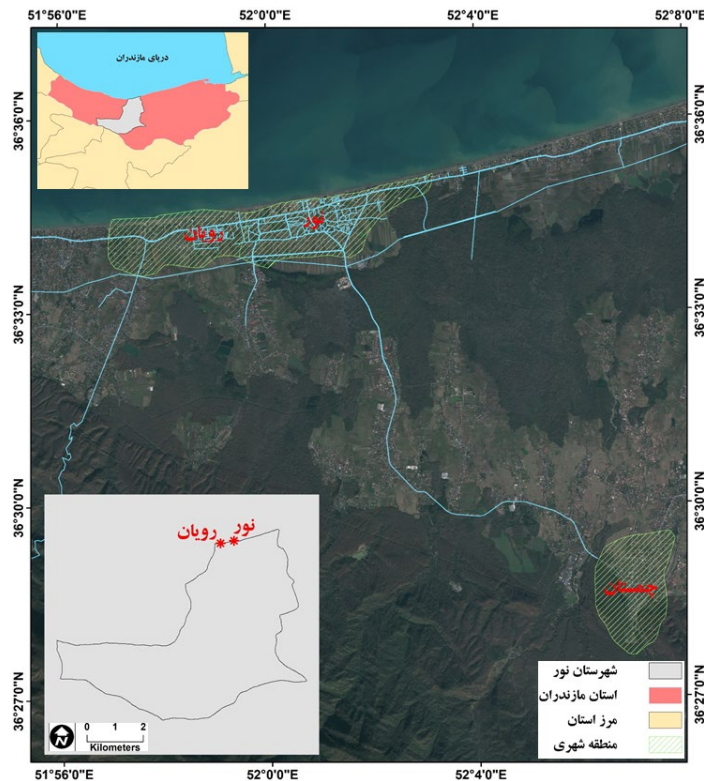
منطقه مورد مطالعه

ناحیه شهری نور و رویان از شمال به سواحل دریای خزر، از شرق به ایزدشهر و از غرب به شهرستان نوشهر محدود می‌شود. این کانون در فاصله ۱۲۰ کیلومتری مرکز استان و بین عرض $36^{\circ} 02'$ تا $36^{\circ} 36'$ شمالی و طول جغرافیایی $51^{\circ} 25'$ تا $52^{\circ} 18'$ شرقی استقرار یافته است (شکل ۱). وجود اراضی شیب‌دار ساحلی که در اثر فاصله بسیار کوتاه ارتفاعات دامنه‌های شمالی البرز تا خط کرانه ساحلی ایجاد شده است و همچنین بستر دریا با شیب نسبتاً تند در این قسمت، ویژگی‌های مورفولوژیک این ناحیه را پرجاذبه نموده است. از نظر زمین‌شناسی منطقه ساحلی شهرهای نور و رویان در شهرستان نور و استان مازندران، جزء زون البرز می‌باشد؛ از دیدگاه چینه‌شناسی و تکتونیک جزء البرز مرکزی بوده که با سایر واحدهای البرز اختصاصات یکنواختی ندارد. در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های رخنمون یافته همگی رسوبی هستند؛ این سنگ‌ها شامل ردیف‌های چینه‌شناسی از پرمین تا کواترنری به استثنای چند نبود رسوب-گذاری بوده است. شهرهای نور و رویان به دلیل قرارگیری در جلگه‌ای آبرفتی با شیب ملایم بین صفر تا ۲ درصد دارای خاکی با بافت ریز و با عمق نسبتاً زیاد می‌باشند که قابلیت گسترده‌ای را در زمینه کشاورزی دارا است. حاصلخیزی نسبتاً بالا از جمله ویژگی‌های این نوع خاک محسوب می‌شود، اما

هوایی، تفسیر بصری دستی است؛ تکنیک‌های جدید تشخیص خط ساحل هم مبتنی بر تفسیر دستی هستند. شناسایی دستی مبتنی بر مهارت-های فردی مفسر یا فتوگرامتر است و اغلب نیاز به یک اپراتور آشنا به محل دارد که از فاکتورهای مؤثر بر موقعیت خط ساحلی، همچون توفان‌های منطقه، آگاهی داشته باشد. سنجش از دور یکی از برترین و قابل اعتمادترین روش‌ها در پایش و مدیریت محیط زیست و منابع است (Doygun et al, 2003; Maktav and Erbek, 2005; Duran et al, 2006; Deng et al, 2008; Karaburun and Demirci, 2009). روش‌های مختلفی جهت استخراج خط ساحلی از تصاویر ماهواره‌ای شکل گرفته است. از آنجا که بازتاب آب در باندهای مادون قرمز تقریباً برابر با صفر و بازتاب اکثریت مطلق پوشش‌های زمین بزرگ‌تر از آب بوده، خط ساحل می‌تواند از یک باند تصویر نیز استخراج شود. این استخراج می‌تواند از طریق آستانه‌سازی بر روی یکی از باندهای مادون قرمز تصاویر سنجنده‌های TM، MSS، ETM، OLI، Aster، Sentinel و ... انجام بگیرد. پیشروی آب دریای خزر طی سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۷۵ که منجر به بالا آمدن تراز سطح آن به میزان بیش از ۲ متر گردید، موجب خسارات هنگفت و صدمات جدی در کاربری‌های مختلف (صنعتی، اداری، تجاری، مسکونی، کشاورزی و منابع طبیعی و ...) شد و بر روی منابع زیستی و اکوسیستم‌های موجود در کرانه ساحلی تأثیر خاصی را اعمال نموده است. با توجه به حساسیت و شکنندگی سواحل در برابر فرسایش و آلودگی‌ها، اداره ساحل نیازمند یک سیستم مدیریتی کارآمد و یکپارچه است تا در سایه آن توسعه پایدار در این گونه نواحی امکان‌پذیر باشد. منطقه ساحلی شهرستان نور به دلیل پویایی در معرض فرسایش و تغییرپذیری دائمی ناشی از فرآیندهایی همچون فرآیندهای رودخانه‌ای، بادی، تکتونیک، امواج و جزر و مد قرار گرفته و پسروی

ماه‌های مرداد و تیر با متوسط درجه حرارت $25/8$ و $24/6$ درجه سانتی‌گراد می‌باشند. میانگین بارش سالانه در محدوده شهری مورد بررسی طی دوره آماری ۲۸ ساله (۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸) از حداقل $875/6$ میلی‌متر در سال ۱۳۸۶ تا حداکثر 1632 میلی‌متر در سال ۱۳۶۶ متغیر است.

محدودیت عمده آن زهکشی ضعیف و بالا بودن سطح آب زیرزمینی و سیل‌خیزی است. میانگین دمای سالانه $16/2$ درجه سانتی‌گراد است. سردترین ماه‌های سال مربوط به ماه‌های بهمن و دی با متوسط درجه حرارت $7/2$ و $7/9$ درجه سانتی‌گراد و گرم‌ترین ماه‌های سال، مربوط به



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ناحیه شهری ساحلی نور و رویان در استان مازندران و شهرستان نور

۱۳۵۶ با عدد $28/5$ متر ثبت شده است. این در حالی است که بالاترین تراز آن با عدد $25/24$ متر و مربوط به تاریخ ۵ تیر ماه ۱۳۷۴ بوده است. بر همین مبنا، برای دو تاریخ ذکر شده که پایین‌ترین و بالاترین تراز آب دریا طی بازه زمانی ۱۸۰ ساله است، تصویر ماهواره‌ای مناسب جهت استخراج خط ساحل منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این دو تاریخ، خط ساحل سال ۱۳۹۸ (آبان ماه) به‌عنوان پایین‌ترین تراز آب ثبت شده دریا طی سه دهه اخیر جهت بررسی بهتر ارتباط نوسانات تراز آب دریا با تغییرات خطوط ساحلی در

مواد و روش‌ها

پایش روند تغییرات خط ساحلی و تحلیل میزان جابجایی‌های مکانی آن در منطقه ساحلی شهرهای نور و رویان، با توجه به هدف اصلی این پژوهش که بررسی تأثیر نوسانات تراز آب دریای خزر بر روی موقعیت خط ساحل است، باید براساس داده‌های آماری برداشت شده از نوسانات تراز این دریا در ایستگاه‌های ترازسنجی سواحل جنوبی دریا انجام شود. براساس داده‌های تاریخی ثبت شده در ایستگاه ترازسنجی بندر انزلی، طی سال‌های ۱۲۱۹ تا ۱۳۹۸، پایین‌ترین تراز آب دریای خزر در سال

زمینه استخراج و پایش خطوط ساحلی است. با توجه به زمان‌های انتخاب شده در این پژوهش برای بررسی خطوط ساحلی منطقه، تنها منبع تصویر ماهواره‌ای برای استخراج خط ساحل سال ۱۳۵۶ به‌عنوان پایین‌ترین تراز آب مورد بررسی، تصویر ماهواره Landsat سنجنده MSS است. از تصویر سنجنده TM ماهواره Landsat برای استخراج خط ساحل تیر ماه ۱۳۷۴ و از تصویر ماهواره Sentinel-2 برای استخراج خط ساحل آبان ۱۳۹۸ استفاده شده است. جدول ۱ زمان استخراج خط ساحلی در منطقه شهری نور و رویان، تراز آب دریا در زمان استخراج خط ساحل و مشخصات تصویر ماهواره‌ای را نشان می‌دهد.

محدوده شهرهای نور و رویان، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

منابع اطلاعاتی خط ساحل در این مطالعه

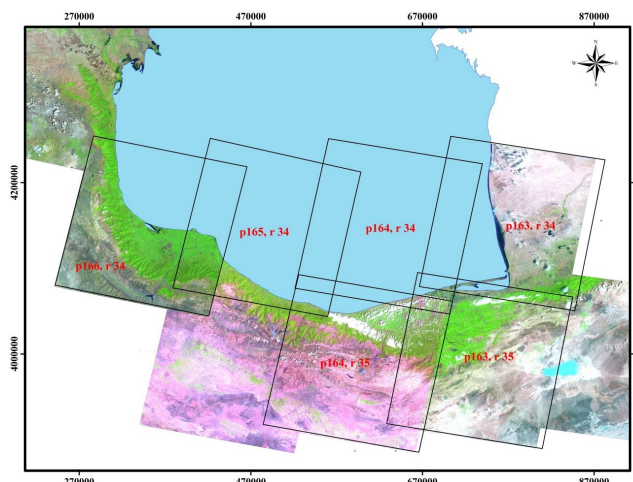
مهم‌ترین چالش مورد بحث در تعیین خطوط ساحلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، انتخاب تصاویر مناسب به لحاظ پوشش مکانی و زمانی می‌باشد. این امر، در سواحل جنوبی دریای خزر با توجه به نوسانات تراز آب دریا، پیشروی و پسروی خط ساحل و وجود پهنه‌های وسیع ناشی از آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. انتخاب تصویر ماهواره‌ای مناسب هم به لحاظ ضریب تفکیک مکانی و طیفی و هم به لحاظ پوشش زمانی و مکانی، یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در

جدول ۱: زمان استخراج خط ساحلی، تراز دریا در زمان استخراج خط ساحل و مشخصات تصویر ماهواره‌ای متناظر

نوع خط ساحل	سال استخراج خط ساحل	تراز آب دریا (متر)	تصویر ماهواره‌ای / عکس هوایی	زمان تصویربرداری
پایین‌ترین تراز آب	۱۳۵۶	-۲۸/۵	Landsat MSS	۱۳۵۶
بالترین تراز آب	۱۳۷۴	-۲۵/۲۴	Landsat TM	تیر ماه ۱۳۷۴
پایین‌ترین تراز آب طی سه دهه اخیر	۱۳۹۸	-۲۷/۳۱	Sentinel-2	آبان ماه ۱۳۹۸

می‌شوند که موقعیت مکانی آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به آن، منطقه ساحلی شهرهای نور و رویان در شماره ردیف ۳۵ و شماره گذر ۱۶۴ قرار گرفته است.

ذکر این نکته ضروری است که سواحل جنوبی دریای خزر (سواحل جمهوری اسلامی ایران)، به‌وسیله تعداد ۶ فریم از شماره ردیف‌ها^۲ و گذرهای^۳ تصاویر ماهواره‌ای Landsat پوشش داده



شکل ۲: اندکس تصاویر ماهواره‌ای Landsat براساس شماره ردیف و گذر آن‌ها در محدوده سواحل دریای خزر

پیش‌پردازش و تفسیر ماهواره‌ای

انتخاب تصویر مناسب از نظر مکانی و زمانی، گامی مؤثر در بررسی هر نوع تغییر و به تبع آن تحلیل است. تصاویر ماهواره‌ای Landsat با توان تفکیک مکانی ۳۰ و ۱۵ متر، IRS با ۲۲/۵ و ۵ متر و Sentinel-2 با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر، از مهم‌ترین و بهترین ابزارها در بررسی تغییرات منطقه و خطوط ساحلی می‌باشند. بررسی تغییرات خطوط ساحلی سواحل جنوبی دریای خزر در منطقه شهری نور و رویان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat سال‌های ۱۳۵۶ و ۱۳۷۴ و Sentinel سال ۱۳۹۸ انجام شده است. با انجام پیش‌پردازش بر روی این تصاویر، واضح‌سازی مکانی صورت گرفته و با بررسی هر باند به تنهایی و هم‌چنین ترکیب باندهای مختلف، بهترین باند یا بهترین ترکیب برای تشخیص و کنترل نقاط زمینی انتخاب گردید.

پردازش تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های جداسازی آب و زمین

این بخش نقش مهمی در تحلیل‌ها داشته، دقت زیادی را نیز برای ارائه بهترین الگوریتم جهت تفکیک و تشخیص خطوط ساحلی در تصاویر ماهواره‌ای می‌طلبد. بهترین محدوده از امواج الکترومغناطیس برای جداسازی آب از زمین بخش مادون قرمز است. تصاویر ماهواره‌ای Landsat و Sentinel به دلیل دارا بودن باندهای مجزا در محدوده‌های مرئی و مادون قرمز، امکانات خوبی برای این منظور در اختیار می‌گذارند. با بررسی پروفیل مکانی در باندهای مختلف TM و ETM⁺، می‌توان نتیجه گرفت که در باندهای مربوط به طول موج مرئی (باند ۱، ۲ و ۳) و مادون قرمز حرارتی (باند ۶) اختلاف محسوسی بین آب و پدیده‌های دیگر وجود ندارد؛ اما باندهای ۵ و ۷ دارای بیش‌ترین مغایرت بوده و برای ادامه مطالعات در تحلیل‌های تک باندهای مناسب می‌باشند. در خصوص

تصاویر MSS هم باندهای ۶ و ۷ با توجه به قرار گرفتن در طول موج بخش مادون قرمز، جهت تشخیص خط ساحل و تفکیک اراضی خشکی از اراضی آبی مناسب هستند. پس از انتخاب باندهای مناسب، برای جداسازی آب و خاک از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد که در ادامه تشریح می‌شوند.

بهبود کنتراست

اگر حد گام‌های خاکستری به صورتی تغییر داده شود که در تمامی محور سیاه و سفید گسترده گردد، وضعیتی پیش می‌آید که توزیع نسبی گام‌های خاکستری حفظ شده و کنتراست بین نواحی تاریک و روشن افزایش می‌یابد (نجفی دیسفانی، ۱۳۷۷). نتایج حاصل از روش‌های مختلف نشان می‌دهد که بسط کنتراست به روش خطی به دلیل وجود دامنه کامل درجه روشنایی پیکسل‌ها (۰-۲۵۵) در تصویر خام باندهای ۵ و ۷ تأثیر چندانی نداشته ولی بسط خطی اشباع شده کنتراست با درجه اشباع پنج درصد برای باند ۵ بسیار کارساز بوده و مغایرت بین آب و خاک به‌خوبی به وجود آمده است.

آشکارسازی مکانی تصاویر یا روش فیلتری

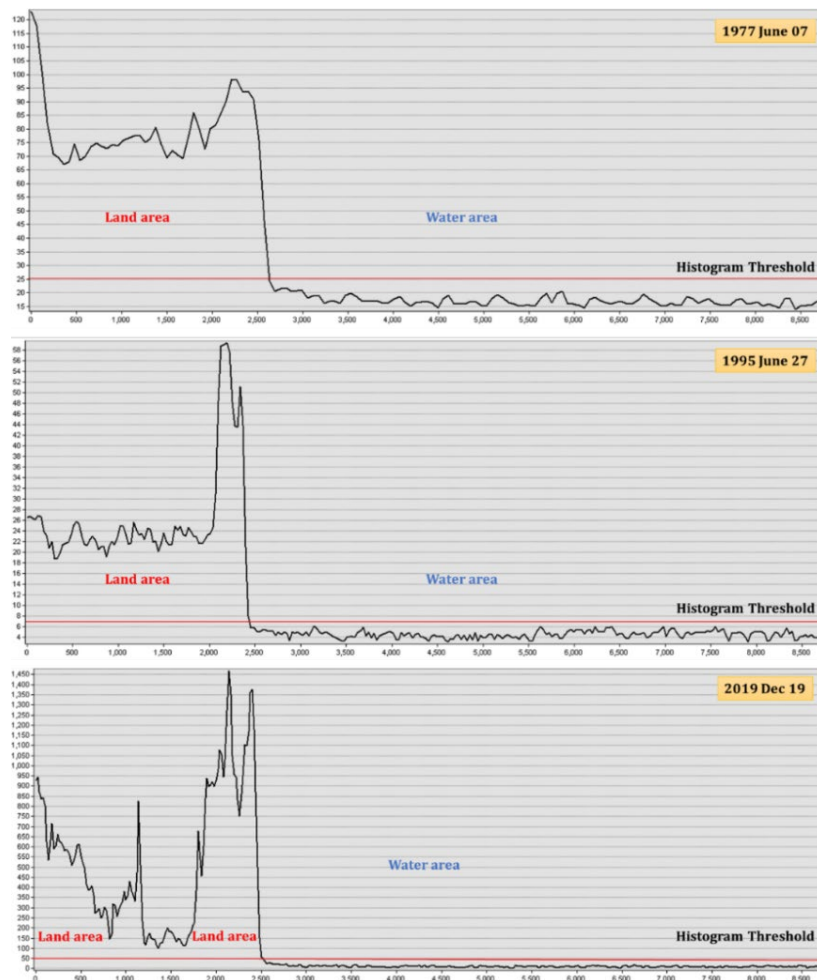
عملیات جداسازی و تفکیک برخی از مؤلفه‌های تصاویر رقومی از قسمت‌های دیگر را آشکارسازی مکانی تصویر یا فیلترگذاری گویند. با اعمال فیلتر بالاگذر بر روی تصویر، اطلاعات با فرکانس زیاد این اجازه را می‌دهد که یا جزئیات محلی را ایزوله نموده و یا اینکه تشدید کنیم (Richards and Jia, 1998). از مجموع فیلترهای بالاگذر در نرم‌افزار ENVI، فیلترهایی چون بالاگذر^۴ و بارزسازی لبه^۵ با پنجره ۳×۳ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

انتخاب روش جداسازی آب و زمین

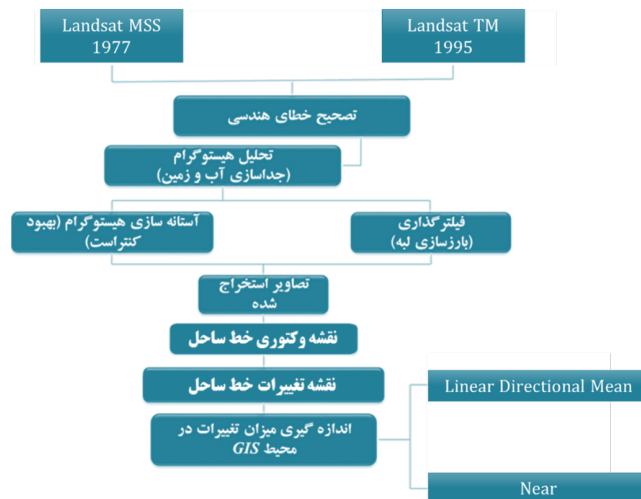
براساس نتایج به دست آمده از بین روش‌های واضح‌سازی، افزایش کنتراست به روش بهبود کنتراست در واضح‌سازی تصاویر مؤثرتر عمل می‌نمایند و

بقیه ارائه خواهد داد (شکل ۳). همچنین به این دلیل که فیلتر مذکور پدیده‌های موجود در تصویر را به مقدار کمی تحت تأثیر قرار داده، استخراج مرز بین آب و زمین و حتی اراضی پست مرطوب و آب، به‌ویژه برای باندهای پنج و هفت تصاویر بسیار مطلوب‌تر انجام خواهد شد. نمودار روش‌شناسی استخراج خط ساحل با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای Landsat و همچنین بررسی تغییرات مکانی آن در شکل ۴ آورده شده است.

همچنین باند پنج نسبت به باند هفت به‌طور مطلوب‌تری در جداسازی مرزها کارایی دارند؛ اما چون این روش تنها واضح‌سازی طیفی را پوشش داده، لازم است تا جهت استخراج مطلوب‌تر مرز بین آب و خاک با روش‌های دیگر به‌صورت تکمیل کننده به کار رود که واضح‌سازی مکانی از روش‌های معمول است. بدین منظور از روش‌های فیلترگذاری متفاوتی استفاده خواهد شد که فیلتر بارزساز لبه بر روی باندهای پنج تصویر Landsat TM، باند ۷ تصویر Landsat MSS نتایج بهتری را نسبت به



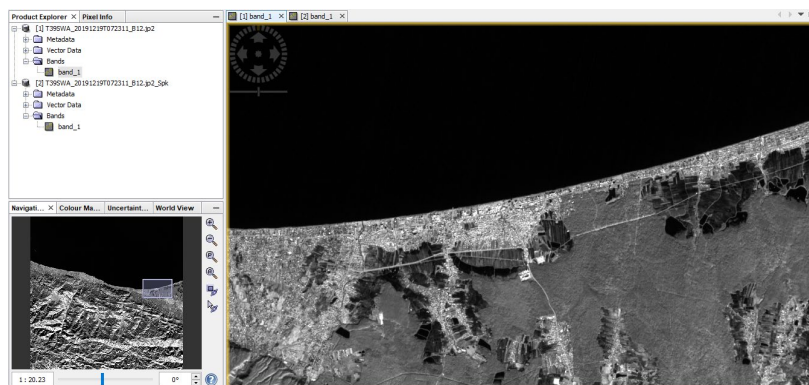
شکل ۳: تعریف آستانه هیستوگرام برای تشخیص مرز محیط آبی از خشکی بر روی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در این پژوهش (این آستانه با توجه به نوع تصویر ماهواره‌ای و سنجنده آن، باند مورد استفاده و توان تفکیک مکانی آن متفاوت است).



شکل ۴: چارت روش‌شناسی استخراج خطوط ساحلی از تصاویر Landsat و بررسی تغییرات مکانی آن

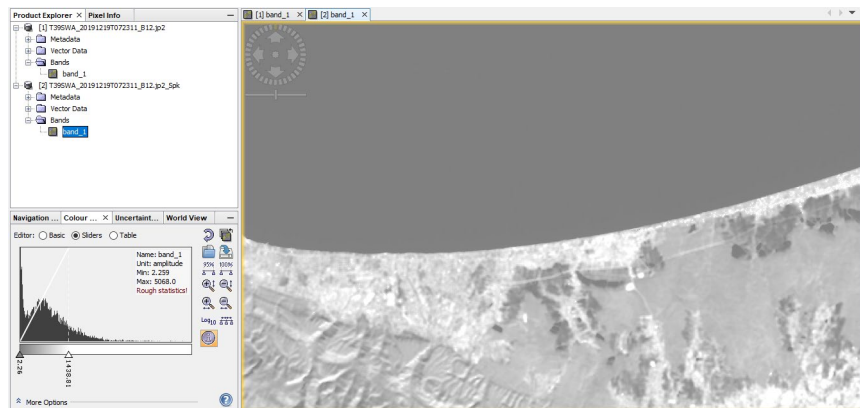
این مرحله از داده‌های Sentinel-2 سطح یک در منطقه مطالعاتی استفاده می‌شود که برخی از پیش پردازش‌های اولیه بر روی آن‌ها انجام شده است. در مرحله پیش‌پردازش یا کالیبره نمودن، یک تصویر جدید با استفاده از مقادیر کالیبره شده از ضریب شاخص پراکندگی تولید می‌شود. در مرحله بعد، فیلترگذاری اسپیکل شامل فیلتر LEE با اندازه 7×7 به کار گرفته می‌شود. با توجه به تنوع روشنایی موجود در تصویر اصلی SAR، برای به حداقل رساندن این تنوع از فیلترگذاری اسپیکل بدون کاهش توان تفکیک مکانی تصویر استفاده خواهد شد. نویز اسپیکل فرآیند افزایش یافته‌ای است که باعث ایجاد منبع اصلی انحراف در روش‌های تصویر برداری منسجم از جمله SAR می‌شود.

روش نیمه اتوماتیک استخراج خط ساحل با استفاده از تصاویر SAR در این بخش از پژوهش به بررسی استخراج خط ساحلی منطقه ساحلی شهرهای نور و رویان از روی داده‌های SAR Sentinel-2 برای سال ۱۳۹۸ پرداخته می‌شود (شکل ۵). استخراج خط ساحل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ذکر شده طی پنج مرحله شامل آماده‌سازی داده‌ها، پیش‌پردازش (کالیبره کردن)، پیش‌پردازش (فیلتر اسپیکل)، فرآیند تبدیل تصویر پیکسلی به تصویر زوجی^۷ و پس از پردازش (تصحیح هندسی) در محیط نرم‌افزاری SNAP^۸ انجام می‌گیرد. در مرحله اول یا همان مرحله آماده‌سازی داده‌ها، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 SAR از ESA^۹ جمع‌آوری می‌شوند؛ در



شکل ۵: داده Sentinel-2 SAR در محدوده شهرهای نور و رویان در سواحل جنوبی دریای خزر

آب از خشکی انتخاب نمود. بدین‌منظور، هیستوگرام ضریب پراکندگی فیلتر شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. براساس این هیستوگرام، مقادیر پایین دامنه با کلاس آب و مقادیر بالا با کلاس غیر آب ارتباط دارند. شکل ۶ هیستوگرام ضریب پراکندگی فیلتر شده برای تصویر Sentinel-2 محدوده ساحلی نور و رویان را نشان داده که عدد ۲۰۰ به‌عنوان آستانه انتخاب شده است.



شکل ۶: هیستوگرام مقادیر ضریب پراکندگی داده SAR Sentinel-2 در محدوده نوار ساحلی شهرهای نور و رویان پس اعمال فیلتر اسپکل بر روی باند ۱۲ تصویر Sentinel

انتخاب شده است. در نهایت، خطوط ساحلی محدوده مطالعاتی از روی تصویر تصحیح شده به صورت رقمی ترسیم خواهد شد که نمونه‌ای از آن برای نوار ساحلی شهرهای نور و رویان در شکل ۸ آورده شده است.

اندازه‌گیری تغییرات مکانی خط ساحل

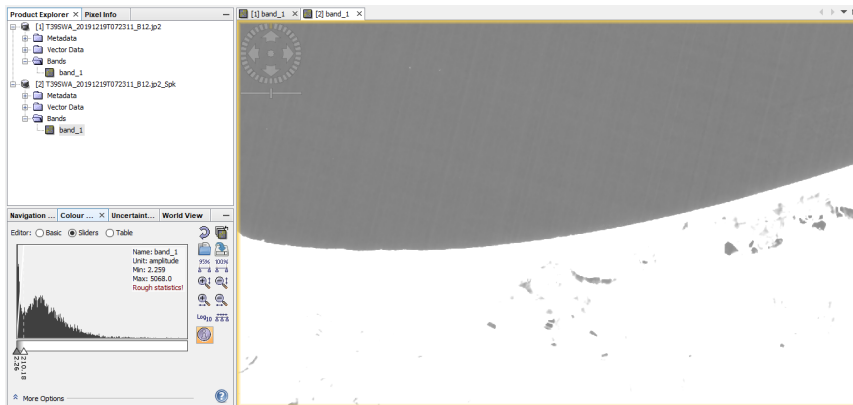
در این مرحله، با استفاده از دو تابع میانگین جهت خط^{۱۱} (LDM) و همجواری^{۱۲} در محیط ArcMap، میزان جابجایی‌های مکانی خطوط ساحلی طی دوره‌های پایین‌ترین و بالاترین تراز آب دریای خزر اندازه‌گیری خواهد شد. تابع LDM بر مبنای زوایه هر خط با جهت شمال عمل نموده و میانگین جهت، طول و مرکز جغرافیایی مجموعه‌ای از خطوط را مشخص می‌نماید. تابع همجواری نیز، نزدیک‌ترین فاصله هر عارضه را نسبت به عارضه‌ای دیگر (با در

بنابراین، کاهش نویز در تصویر با هدف کم کردن نویز تصادفی در سطح دریا و از طریق متوسط تصویر و به‌کارگیری فیلتر Lee (۷×۷) انجام می‌شود؛ به‌ویژه جایی که نویز بالا بوده و به خط ساحل نزدیک باشد. کاربرد مضاعف فیلترگذاری، به حداقل رساندن اسپکل‌ها و روشنایی برگشتی از آب و دیگر مواد در بخش‌های عمدتاً تاریک تصویر است. در گام چهارم، می‌توان یک آستانه با هدف تمایز

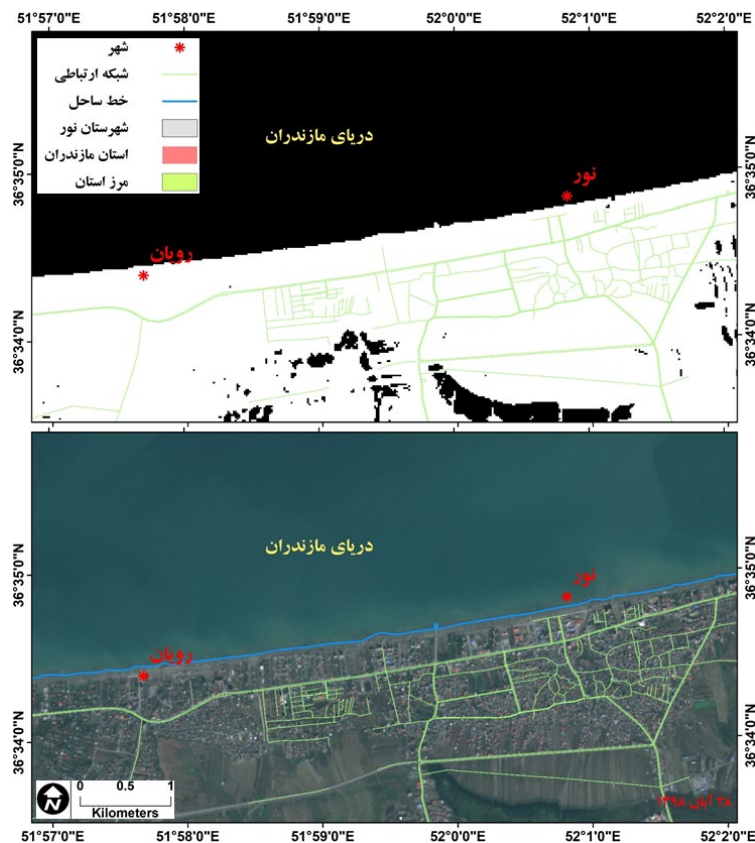
تصویر تفکیک آب از خشکی براساس آستانه انتخاب شده نیز در شکل ۷ ارائه شده است. در آخرین گام، تصاویر SAR مورد استفاده برای استخراج خط ساحلی محدوده مطالعاتی در شهرهای ساحلی نور و رویان تصحیح ژئومتریک می‌شوند. در این بخش، نیاز به تعیین موقعیت جغرافیایی تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده وجود دارد؛ بدین‌منظور از مدل رقمی ارتفاع SRTM3Sec در محدوده‌ای که تصاویر SAR را پوشش می‌دهند، استفاده می‌شود. روش ایجاد نمونه تصویر، نزدیک‌ترین همسایه^{۱۰} با فاصله پیکسل ۱۰ متر (که به نوع و دقت سنجنده بستگی دارد) و سیستم مختصات آن می‌تواند بسته به موقعیت جغرافیایی WGS، UTM، Lambert و ... باشد که در این پژوهش با توجه به موقعیت محدوده مطالعاتی، سیستم مختصات UTM_Zone_39N

ساحل و مقادیر آن در بخش‌های مختلف منطقه طی بازه‌های زمانی مورد بررسی دست پیدا کرد. شکل ۹ نحوه محاسبه تابع‌های میانگین جهتی خط و همجواری را نشان می‌دهد.

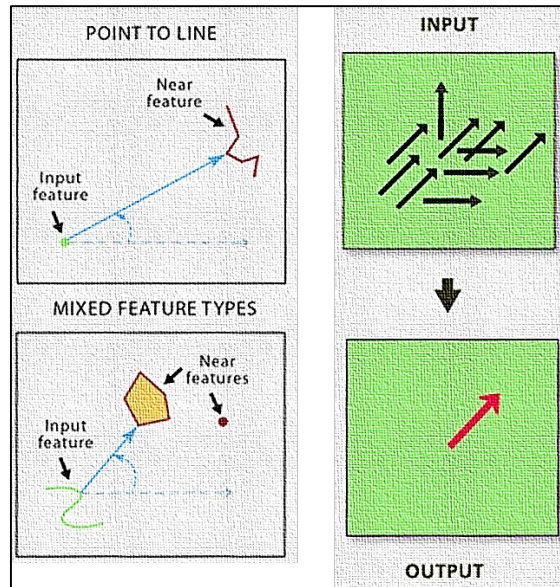
نظر گرفتن شعاع جستجو) تعیین می‌نماید. این تابع جهت محاسبه میانگین، حداقل و حداکثر تغییرات مکانی خطوط ساحلی در دوره‌های بالآآمدگی و پایین افتادگی تراز آب دریا مناسب بوده و می‌توان از طریق آن به دیدی آماری از نحوه تغییرات خط



شکل ۷: تصویر تفکیک آب از خشکی براساس آستانه هیستوگرام عدد ۲۰۰ در محدوده نوار ساحلی نور و رویان



شکل ۸: استخراج خط ساحل از روی تصویر SAR (الف): تفکیک کلاس آب از خشکی در محدوده نوار ساحلی شهرهای نور و رویان؛ ب: خط ساحل رقومی شده در محدوده نوار ساحلی شهرهای نور و رویان)



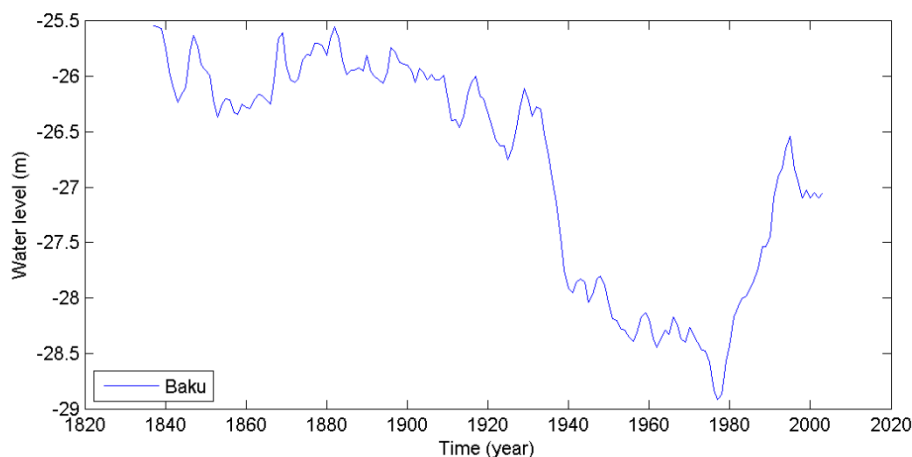
شکل ۹: محاسبه تابع میانگین جهتی خط (سمت راست) و تابع همجواری (سمت چپ) (ArcGIS Desktop Help)

بحث و نتایج

نوسانات تراز آب دریای خزر

سواحل دریای خزر دائماً متحمل تغییرات فصلی و دوره‌ای تراز آب دریا هستند (Firoozfar et al, 2012; Kroonenberg et al, 2008) که تغییرات حاصله در بازه زمانی ۳۸ ساله بیانگر نوسانات دوره-ای و سالانه تغییرات فصلی بوده است (شکل ۱۰). تغییرات خطوط ساحلی به ثبت رسیده عمدتاً به عهده بالا آمدن تراز آب دریای خزر بوده که از سال

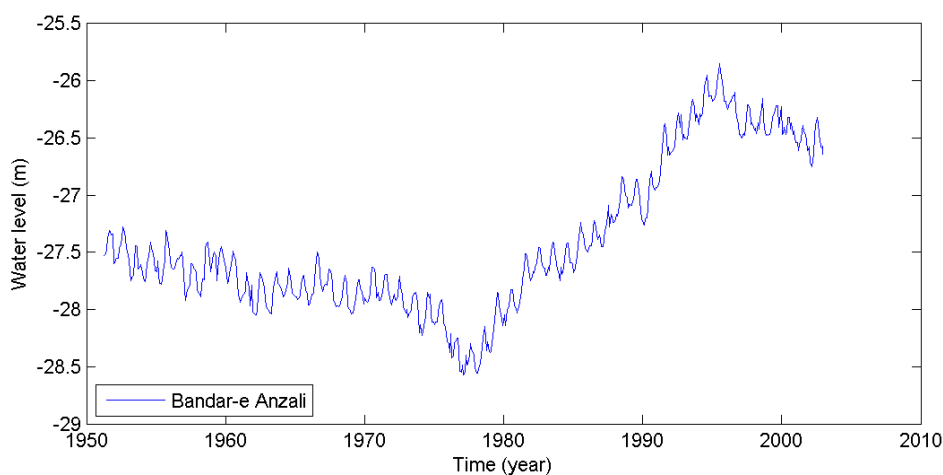
۱۳۵۶ شروع شده است. تراز آب دریا در سال ۱۳۵۶ در کم‌ترین حد خود یعنی ۲۸/۵- بوده است. در سال ۱۳۵۶ (۱۹۷۷ میلادی) دبی رودخانه ولگا به علت احداث ۱۱ سد بزرگ بر روی آن به شدت کاسته شده که با احداث این سدها ۸۰ میلیارد متر مکعب آب ورودی به دریای خزر را ذخیره نموده‌اند. طی سال‌های ۱۳۲۳ تا ۱۳۵۶ که کار احداث سدهای یاد شده به اتمام رسید، تراز آب دریای خزر ۳ متر کاسته شده است (رنجبر، ۱۳۸۸).



شکل ۱۰: نوسانات سطح آب ثبت شده در باکو (داده‌های سالیانه: از سال ۱۲۱۹ تا ۱۳۸۰: داده‌های سری زمانی تراز آب دریای خزر در ایستگاه باکو)

پیدا کرد. با افزایش مجدد تراز آب، به تدریج دریا حریم خود را بازیافت و این امر منجر به تخریب صدها ابنیه و مزارع به خصوص فرسایش نیمرخ ساحل گردید. همچنان که در شکل ۱۱ و براساس داده‌های ماهیانه تراز آب ثبت شده در ایستگاه‌های ترازسنجی بندر انزلی مشاهده می‌شود، این بالآمدگی تا سال ۱۳۷۵ ادامه داشته و از این سال به بعد، تراز آب دریای خزر سیر پسروری خود را شروع کرده است. با توجه به آخرین تراز آب برداشت شده از سطح دریای خزر، مقدار آن در آبان ماه سال ۱۳۹۸ به پایین‌ترین سطح خود طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۸ رسیده است که برابر با ۲۷/۳۱- متر می‌باشد.

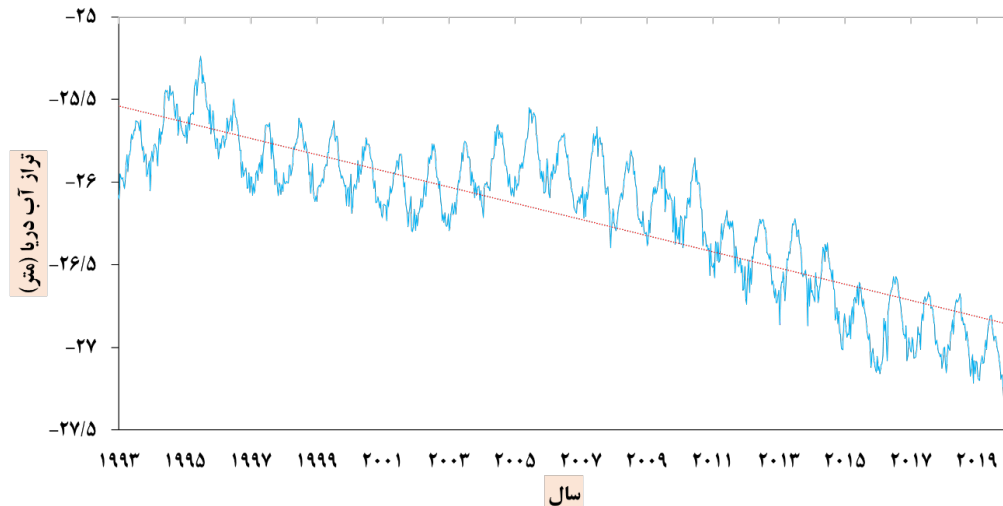
این میزان، پایین‌ترین سطح تراز آب طی ۴۰۰ سال اخیر بوده که به ۲۹- متر رسیده است که بر اثر آن زمین‌های زیادی از سیطره آب خارج شده و زمینه برای پیشروی و توسعه بیش‌تر فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی و استحداث اراضی در جهت رو به دریای مناطق ساحلی فراهم می‌شود. با اعتراض‌های جهانی و با افزایش دبی رودخانه ولگا به تدریج بر تراز آب دریای خزر اضافه و بالاخره در سال ۱۳۷۲ حدود ۲/۵ متر بر تراز آن افزوده شد و به مقدار حداکثر خود طی ۳۰ سال گذشته (تا سال ۱۳۷۲) رسید (آزموده اردلان و جعفری، ۱۳۸۶). طی سال- های کاهش تراز دریا تعرض به حریم دریا به اوج خود رسید و کاربری اراضی منطقه ساحلی تغییر



شکل ۱۱: نوسانات سطح آب ثبت شده در بندر انزلی (داده‌های ماهیانه: از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۲)

تغییرپذیری بالا و سریعی در تراز، اثرات عظیم اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی بر کشورهای اطراف آن دارد. لذا به منظور کنترل آثار تخریبی نوسانات تراز دریا و توسعه پایدار ساحلی ضرورت دارد که ضمن بررسی و پایش تغییرات تراز آب، پیش‌بینی و تخمینی مناسب نسبت به آینده تحولات آن وجود داشته باشد. ضمن آن که مدل‌سازی رفتار نوسانات سطح تراز دریا در طرح‌ریزی‌های مهندسی نظیر طراحی سازه‌های هیدرولیکی در امتداد سواحل دریا ضرورت دارد.

بررسی تغییرات بلندمدت نوسانات تراز آب دریای خزر از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۸ نشان می‌دهد که تراز دریا با نرخ ۱۲/۵ سانتی‌متر در سال افت داشته که از تراز ۲۵/۸۷- متر در مهر ۱۳۷۱ به ۲۷/۳۱- متر در آبان ۱۳۹۸ رسیده که افت ۱/۴۴ متری را طی این سال‌ها نشان می‌دهد (شکل ۱۲). در مجموع تغییرات تراز آب دریای خزر در طول قرون گذشته گویای آن است که نوسانات سطح تراز آن در بازه زمانی خیلی کوتاه‌تری (۱۰۰ بار سریع‌تر) نسبت به اقیانوس‌های دنیا اتفاق می‌افتد و چنین

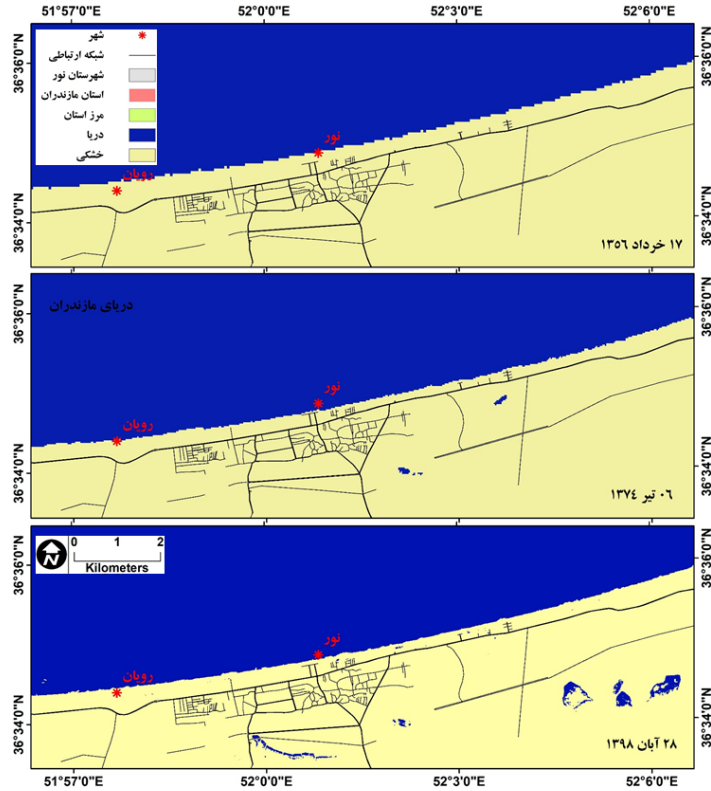


شکل ۱۲: نوسانات تراز آب دریای خزر طی سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۸

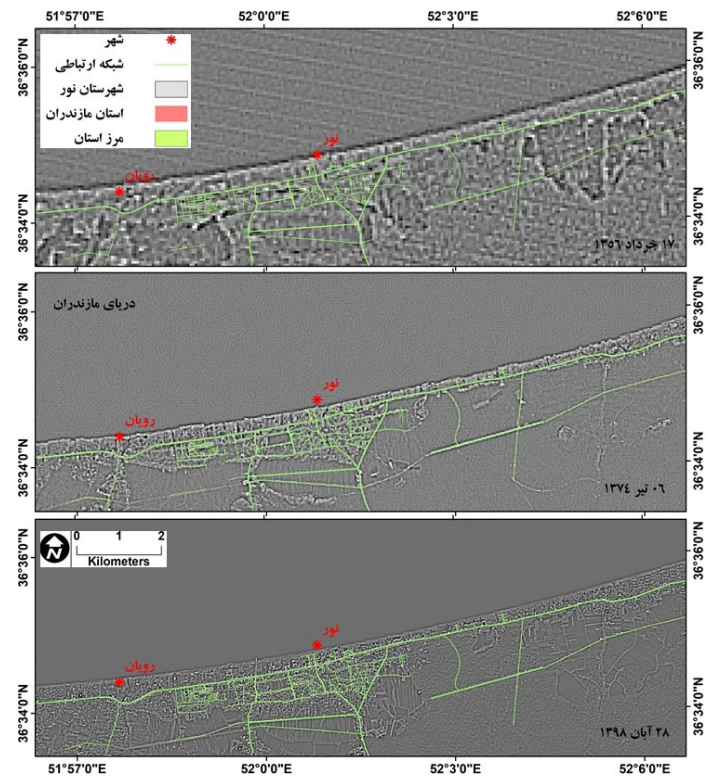
الگوی تغییرات مکانی خط ساحل

شکل ۱۳، نتایج حاصل از بارزسازی مکانی تصاویر ماهواره‌ای با روش بهبود کنتراست و شکل ۱۴ یافته‌های حاصل از فیلتر بارزسازی لبه را در بررسی تغییرات خط ساحلی محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد. الگوی جابه‌جایی خط ساحلی استخراج شده متناظر با ترازهای تاریخی ثبت شده از نوسانات آب دریای خزر (پایین‌ترین تراز برابر با $-۲۸/۵$ متر؛ خط ساحل سال ۱۳۵۶، بالاترین تراز برابر با $-۲۵/۲۴$ متر؛ خط ساحل سال ۱۳۷۴ و پایین‌ترین تراز سه دهه اخیر برابر با $-۲۷/۳۱$ متر؛ خط ساحل سال ۱۳۹۸) نیز در شکل ۱۵ آورده شده است. با توجه به این شکل، مشاهده می‌شود که اثر نوسانات تراز آب دریای خزر طی سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۹۸ به خوبی در تغییر موقعیت مکانی خط ساحل در نوار ساحلی شهرهای نور و رویان انعکاس یافته است. خط ساحل سال ۱۳۵۶ متناظر با پایین‌ترین تراز آب ثبت شده، در موقعیت پسروی نسبت به خط ساحل دوره‌های بعدی و شرایط حال حاضر قرار دارد. پس از این سال و با بالا آمدن تراز آب دریا، موقعیت خط ساحل به سمت خشکی پیشروی داشته که در سال ۱۳۷۴ به بیش‌ترین حد پیشروی

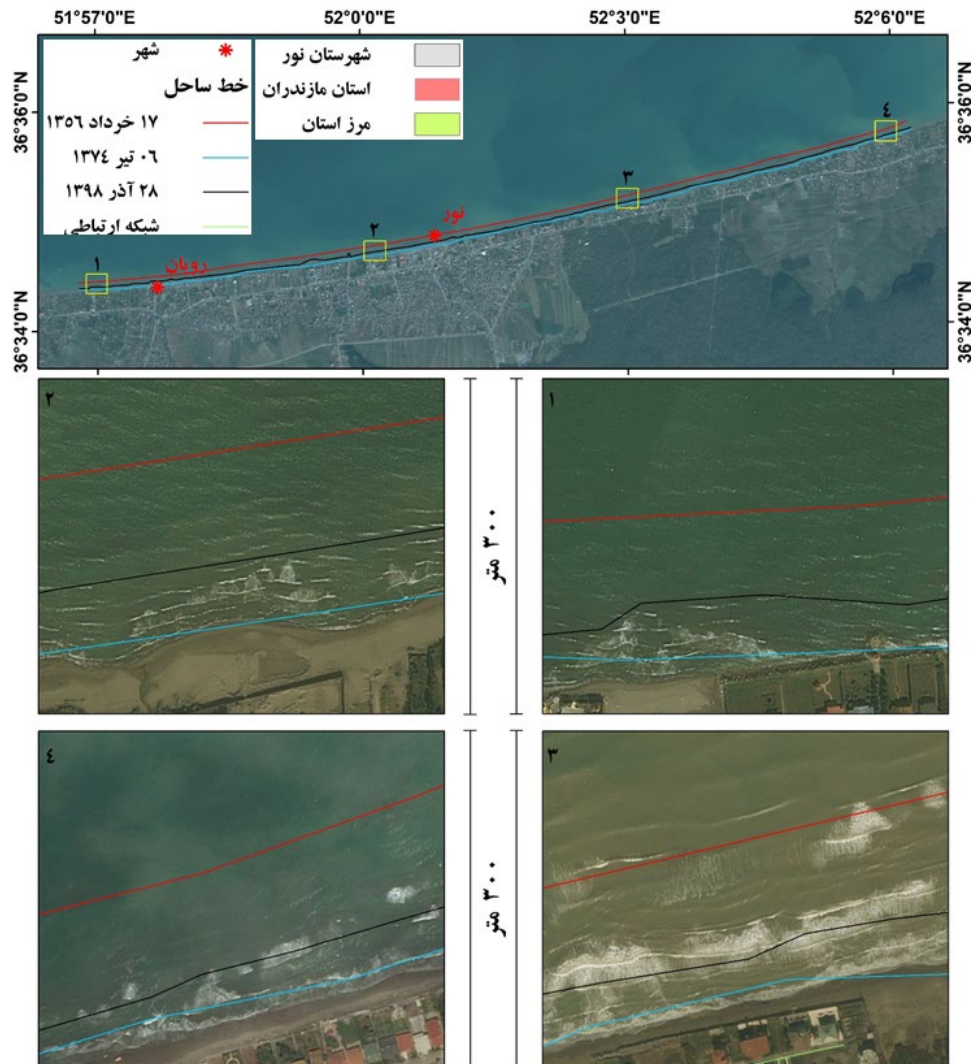
خود رسیده است. بررسی مقدار اراضی ساحلی زیر آب رفته بر اثر بالا آمدن تراز آب دریای خزر در طول حدود ۱۴ کیلومتر از نوار ساحلی شهرهای نور و رویان حاکی از آن است که ۲۱۴ هکتار از این اراضی زیر آب رفته است. این نتایج با یافته‌های یوسفی روشن و کردوانی (۱۳۹۲) مطابق دارد؛ این پژوهشگران نیز در بررسی خود به این نتیجه رسیده‌اند که بر اثر بالا آمدگی تراز آب دریا طی سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۷۴، ۳۰۲ کیلومتر مربع از اراضی ساحلی استان مازندران و $۱/۴$ کیلومتر مربع از سواحل شهرستان بابلسر به زیر آب رفته است. اما پس از این بالا آمدگی و فرسایش اراضی ساحلی، از سال ۱۳۷۴ تاکنون (به غیر از مقطع زمانی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵) تراز آب دریای خزر با روند نزولی مواجه شده و در حال پایین رفتن است. این پایین رفتن تراز در موقعیت مکانی خط ساحل سال ۱۳۹۸ (به‌عنوان شاخص پایین‌ترین تراز دریا طی سه دهه اخیر) اثرگذار بوده و سبب پسروی آن از سمت خشکی شده است. در نتیجه این پسروی خط ساحل، در همان نوار ۱۴ کیلومتری شهرهای ساحلی نور و رویان، $۶۵/۷$ هکتار بر محدوده اراضی ساحلی (اراضی مستحدث) اضافه شده است.



شکل ۱۳: تفکیک آب و خشکی با بهبود کنتراست بر روی باند ۵ تصویر ماهواره‌ای Landsat و باند ۱۲ تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2



شکل ۱۴: تفکیک آب و خشکی با فیلتر بارزسازی لبه بر روی باند ۵ تصویر ماهواره‌ای Landsat و باند ۱۲ تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2



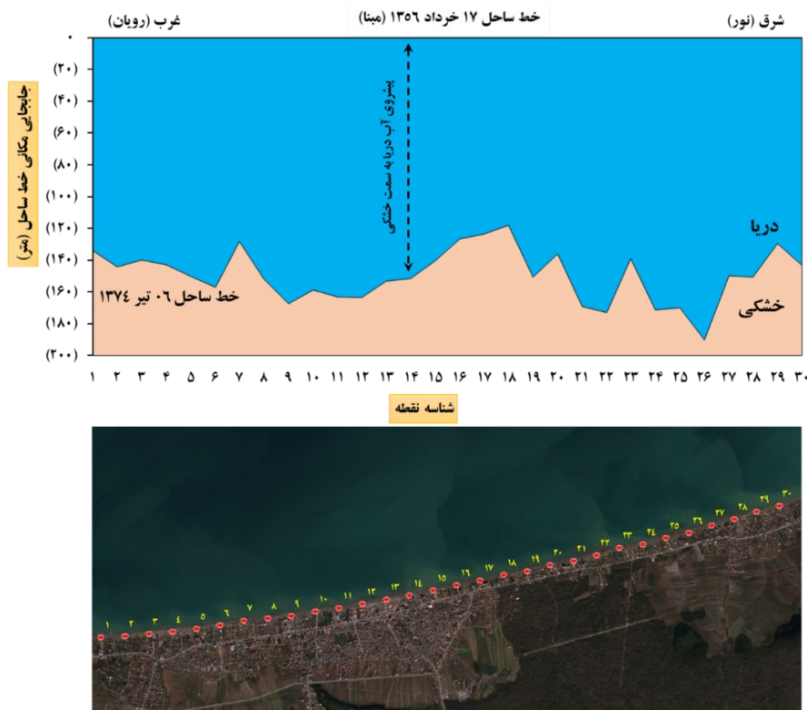
شکل ۱۵: نقشه تغییرات مکانی خطوط ساحلی متناظر با نوسانات تراز آب دریای خزر طی سالهای ۱۳۵۶، ۱۳۷۴ و ۱۳۹۸ در منطقه ساحلی شهرهای نور و رویان

جدول ۵ نتایج اندازه‌گیری جابه‌جایی‌های مکانی خط ساحل را طی سال‌های مورد بررسی در ۳۰ نقطه با فواصل مساوی ۵۰۰ متر نشان می‌دهد (طول خط ساحلی استخراج شده در محدوده نوار ساحلی شهرهای نور و رویان حدود ۱۴ کیلومتر است). تغییرات مکانی خط ساحلی در این ۳۰ نقطه به گونه‌ایست که محدوده مطالعاتی از سال ۱۳۵۶ (پایین‌ترین تراز آب دریا) تا سال ۱۳۷۴ (بالا‌ترین تراز آب دریا) شاهد پیشروی آب دریا به سمت خشکی و کاهش اراضی محدوده ساحلی در تمام طول نوار ساحلی مورد بررسی بوده و کاهش

مساحت خشکی ناحیه ساحلی اتفاق افتاده است. طی این دوره از نوسانات تراز آب دریای خزر و تغییرات مکانی خط ساحل، حداقل جابه‌جایی خط ساحل به سمت خشکی (پیشروی) ۱۱۸ متر و حداکثر مقدار آن نیز ۱۹۰ متر اندازه‌گیری شده است؛ این در حالی است که میانگین جابه‌جایی خط ساحل طی این ۱۸ سال ۱۵۰ متر می‌باشد. به منظور درک بهتر الگوی جابه‌جایی خط ساحل ناشی از نوسانات تراز آب دریای خزر در سال ۱۳۷۴ نسبت به سال ۱۳۵۶ شکل ۱۶ ارائه شده است.

جدول ۵: جابجایی مکانی خط ساحل نوار ساحلی شهرهای نور و رویان طی سال‌های ۱۳۵۶ و ۱۳۷۴ (شروع اندازه‌گیری تغییرات از سمت غرب ساحل، شهر رویان: شناسه نقطه ۱، به سمت شرق ساحل، شهر نور: شناسه نقطه ۳۰)

شناسه نقطه	فاصله از مبدأ (متر)	جابجایی مکانی (متر)	شناسه نقطه	فاصله از مبدأ (متر)	جابجایی مکانی (متر)	شناسه نقطه	فاصله از مبدأ (متر)	جابجایی مکانی (متر)
۱	۰	۱۳۴	۱۱	۵۰۰۰	۱۶۳	۲۱	۱۰۰۰۰	۱۶۹
۲	۵۰۰	۱۴۴	۱۲	۵۵۰۰	۱۶۴	۲۲	۱۰۵۰۰	۱۷۳
۳	۱۰۰۰	۱۴۰	۱۳	۶۰۰۰	۱۵۳	۲۳	۱۱۰۰۰	۱۳۹
۴	۱۵۰۰	۱۴۳	۱۴	۶۵۰۰	۱۵۱	۲۴	۱۱۵۰۰	۱۷۱
۵	۲۰۰۰	۱۵۰	۱۵	۷۰۰۰	۱۴۰	۲۵	۱۲۰۰۰	۱۷۰
۶	۲۵۰۰	۱۵۷	۱۶	۷۵۰۰	۱۲۷	۲۶	۱۲۵۰۰	۱۹۰
۷	۳۰۰۰	۱۲۸	۱۷	۸۰۰۰	۱۲۴	۲۷	۱۳۰۰۰	۱۵۰
۸	۳۵۰۰	۱۵۲	۱۸	۸۵۰۰	۱۱۸	۲۸	۱۳۵۰۰	۱۵۱
۹	۴۰۰۰	۱۶۷	۱۹	۹۰۰۰	۱۵۱	۲۹	۱۴۰۰۰	۱۳۰
۱۰	۴۵۰۰	۱۵۹	۲۰	۹۵۰۰	۱۳۶	۳۰	۱۴۵۰۰	۱۴۳



شکل ۱۶: الگوی تغییرات مکانی خط ساحل محدوده شهرهای نور و رویان در سال ۱۳۷۴ نسبت به سال ۱۳۵۶؛ موقعیت اندازه‌گیری تغییرات با شناسه نقاط مشخص شده است که متناظر با آن را می‌توان بر روی نقاط نمایش داده شده بر روی تصویر ماهواره‌ای می‌توان مشاهده نمود.

است). تغییرات مکانی خط ساحلی در این ۳۰ نقطه به‌گونه‌ایست که محدوده مطالعاتی از سال ۱۳۷۴ (پایین‌ترین) تا سال ۱۳۹۸ (پایین‌ترین) تراز آب دریا طی سه دهه اخیر) شاهد پسروی آب دریا از سمت خشکی و افزایش اراضی محدوده

جدول ۶ نتایج اندازه‌گیری جابجایی‌های مکانی خط ساحل را طی سال‌های مورد بررسی در ۳۰ نقطه با فواصل مساوی ۵۰۰ متر نشان می‌دهد (طول خط ساحلی استخراج شده در محدوده نوار ساحلی شهرهای نور و رویان حدود ۱۴ کیلومتر

پژوهش خود به این نتیجه رسیده‌اند با تسریع روند کاهشی تراز آبی دریا طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳، خط ساحل حوضه تالاب گمیشان به میزان ۲/۷ کیلومتر به سمت دریا جابه‌جایی داشته و عرصه‌ای معادل ۲۰ کیلومتر مربع از سیطره آب دریا آزاد و به مساحت ساحل اضافه شده است. به منظور درک بهتر الگوی جابه‌جایی خط ساحل ناشی از نوسانات تراز آب دریای خزر در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۷۴ شکل ۱۷ ارائه شده است.

ساحلی در تمام طول نوار ساحلی مورد بررسی بوده و افزایش مساحت خشکی اتفاق افتاده است. طی این دوره از نوسانات تراز آب دریای خزر و تغییرات مکانی خط ساحل، حداقل جابه‌جایی خط ساحل از خشکی به سمت دریا (پسروی) ۱۹ متر و حداکثر مقدار آن نیز ۷۳ متر اندازه‌گیری شده است؛ این در حالی است که میانگین جابه‌جایی خط ساحل طی این ۲۴ سال ۴۴ متر می‌باشد. این نتایج با یافته‌های شریفی‌کیا و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد که در

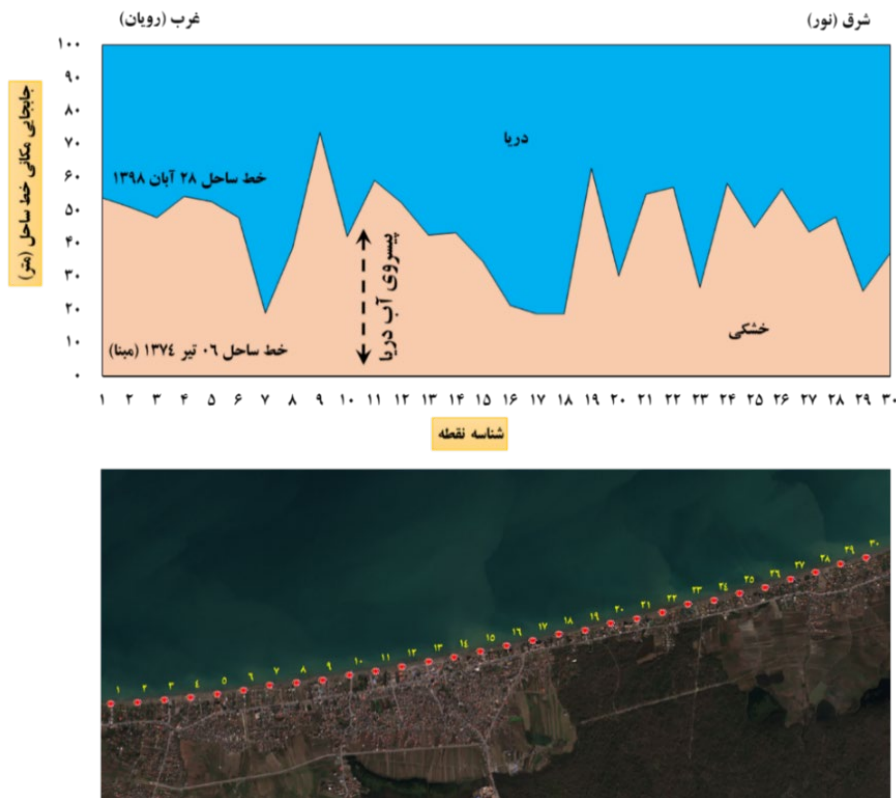
جدول ۶: جابه‌جایی مکانی خط ساحل نوار ساحلی شهرهای نور و رویان طی سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۹۸ (شروع اندازه‌گیری تغییرات از سمت غرب ساحل، شهر رویان: شناسه نقطه ۱، به سمت شرق ساحل، شهر نور: شناسه نقطه ۳۰)

شناسه نقطه	فاصله از مبدأ (متر)	جابه‌جایی (متر)	شناسه نقطه	فاصله از مبدأ (متر)	جابه‌جایی (متر)	شناسه نقطه	فاصله از مبدأ (متر)	جابه‌جایی (متر)
۱	۰	۵۴	۱۱	۵۰۰	۵۹	۲۱	۱۰۰۰	۵۵
۲	۵۰۰	۵۱	۱۲	۵۵۰	۵۲	۲۲	۱۰۵۰	۵۷
۳	۱۰۰۰	۴۸	۱۳	۶۰۰	۴۳	۲۳	۱۱۰۰	۲۷
۴	۱۵۰۰	۵۴	۱۴	۶۵۰	۴۳	۲۴	۱۱۵۰	۵۸
۵	۲۰۰۰	۵۳	۱۵	۷۰۰	۳۵	۲۵	۱۲۰۰	۴۵
۶	۲۵۰۰	۴۸	۱۶	۷۵۰	۲۱	۲۶	۱۲۵۰	۵۷
۷	۳۰۰۰	۱۹	۱۷	۸۰۰	۱۹	۲۷	۱۳۰۰	۴۴
۸	۳۵۰۰	۳۹	۱۸	۸۵۰	۱۹	۲۸	۱۳۵۰	۴۸
۹	۴۰۰۰	۷۳	۱۹	۹۰۰	۶۳	۲۹	۱۴۰۰	۲۶
۱۰	۴۵۰۰	۴۲	۲۰	۹۵۰	۳۰	۳۰	۱۴۵۰	۳۷

نتیجه‌گیری

به دریای خزر را ذخیره نموده‌اند. با افزایش دبی رودخانه ولگا به تدریج بر تراز آب دریای خزر اضافه و بالاخره در سال ۱۳۷۲ حدود ۲/۵ متر بر تراز آن افزوده شد و به مقدار حداکثر خود طی ۳۰ سال گذشته (تا سال ۱۳۷۲) رسید. براساس داده‌های ماهیانه تراز آب ثبت شده در ایستگاه‌های ترازسنجی بندر انزلی و بندر نوشهر مشاهده شد که این بالآمدگی تا سال ۱۳۷۵ ادامه داشته و از این سال به بعد، تراز آب دریای خزر سیر پسروی خود را شروع کرده است.

مکانیسم تغییرات خطوط ساحلی دریای خزر روند بسیار پیچیده‌ای دارد. این سواحل دائماً متحمل تغییرات فصلی و دوره‌ای تراز آب دریا هستند. تغییرات خطوط ساحلی به ثبت رسیده عمدتاً به عهده بالا آمدن تراز آب دریای خزر بوده که از سال ۱۳۵۶ شروع شده است. تراز آب دریا در سال ۱۳۵۶ در کم‌ترین حد خود یعنی ۲۸/۵- بوده است. در سال ۱۳۵۶ دبی رودخانه ولگا به علت احداث ۱۱ سد بزرگ بر روی آن به شدت کاسته شده که با احداث این سدها ۸۰ میلیارد متر مکعب آب ورودی



شکل ۱۷: الگوی تغییرات مکانی خط ساحل محدوده شهرهای نور و رویان در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۷۴

تاریخی ثبت شده از نوسانات آب دریای خزر (پایین‌ترین تراز برابر با ۲۸/۵- متر: خط ساحل سال ۱۳۵۶، بالاترین تراز برابر با ۲۵/۲۴- متر: خط ساحل سال ۱۳۷۴ و پایین‌ترین تراز سه دهه اخیر برابر با ۲۷/۳۱- متر: خط ساحل سال ۱۳۹۸) نشان داد که اثر نوسانات تراز آب دریای خزر طی سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۹۸ به خوبی در تغییر موقعیت مکانی خط ساحل در نوار ساحلی شهرهای نور و رویان انعکاس یافته است. خط ساحل سال ۱۳۵۶ متناظر با پایین‌ترین تراز آب ثبت شده، در موقعیت پیشروی نسبت به خط ساحل دوره‌های بعدی و شرایط حال حاضر قرار دارد. پس از این سال و با بالا آمدن تراز آب دریا، موقعیت خط ساحل به سمت خشکی پیشروی داشته که در سال ۱۳۷۴ به بیش‌ترین حد پیشروی خود رسیده است. پس از این بالا آمدگی و فرسایش اراضی ساحلی، از سال ۱۳۷۴ تاکنون (به غیر از مقطع زمانی سال‌های

با توجه به آخرین تراز آب برداشت شده از سطح دریای خزر، مقدار آن در آبان ماه سال ۱۳۹۸ به پایین‌ترین سطح خود طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۸ رسیده که برابر با ۲۷/۳۱- متر است. بررسی تغییرات بلندمدت نوسانات تراز آب دریای خزر از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۸ نشان داد که تراز این دریا با نرخ ۱۲/۵ سانتی‌متر در سال افت داشته که از تراز ۲۵/۸۷- متر در مهر ۱۳۷۱ به ۲۷/۳۱- متر در آبان ۱۳۹۸ رسیده که افت ۱/۴۴ متری را طی این سال‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که به‌طور کلی تغییرات سطح آب دریای خزر بسیار سریع اتفاق می‌افتد که با یافته‌های پژوهش‌های دیگری از جمله کاکرودی و همکاران (۲۰۱۲)، ریچاکوف و همکاران (۱۹۸۴)، بریزگونوف و همکاران (۱۹۸۷) و کوسارف و توزیلکین (۱۹۹۷) انطباق دارد. الگوی جابه‌جایی خط ساحلی استخراج شده متناظر با ترازهای

خسارت‌ها را تشدید می‌کند. در دوره زمانی کنونی، قوانین موجود برای حریم دریای خزر (قانون اراضی مستحدث و ساحلی) عملاً کارایی خود را به دلیل بالا آمدگی آب سطح آب دریا طی دهه‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۰ از دست داده و در عین حال بعضی از ارگان‌ها همانند شورای عالی شهرسازی با توجه به اهداف کاری خود ترازهایی از ساحل را به‌عنوان مبنای کار خود قرار داده‌اند (قانقرمه، ۱۳۸۹).

۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵) تراز آب دریای خزر با روند نزولی مواجه شده و در حال پایین رفتن است. این پایین رفتن تراز در موقعیت مکانی خط ساحل سال ۱۳۹۸ (به‌عنوان شاخص پایین‌ترین تراز دریا طی سه دهه اخیر) اثرگذار بوده و سبب پسروی آن از سمت خشکی شده است. با توجه به مطالب فوق‌الذکر، خسارت‌های ناشی از نوسانات تراز آب دریا بسیار محتمل بوده و عمل انسان در عدم انتخاب بهینه مکان‌یابی برای کاربری‌ها، این

پانوش

1-International Geography Data Committee
2-Raw
3-Path
4-High Pass
5-Edge Detection
6-Speckle

7-Binary Image
8-Sentinel Application Platform
9-European Space Agency
10-Nearest Neighbor
11-Linear Directional Mean
12-Near

منابع

بازدارنده در توسعه گردشگری ساحلی (مطالعه موردی: گردشگران ورزشی فعال سفر کننده به مناطق ساحلی دریای خزر)، آموزش علوم دریایی، شماره ۱۳، ص ۹۶-۱۰۸.

-عابدینی، ا.، ساکت حسنلویی، م. و اظهاری، ع.، ۱۳۹۹. توسعه گردشگری طبیعی (ساحلی) با رهیافت تقویت پایداری منظر طبیعی مطالعه موردی: محدوده سد حسنلو نقده، برنامه‌ریزی و توسعه گردشگری، شماره ۹(۱)، ص ۱۰۷-۱۲۲.

-قانقرمه، ع.، ۱۳۸۹. نوسانات آب دریای خزر (سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۸) و عوامل محیطی مؤثر بر آن، گزارش طرح تحقیقاتی، مرکز ملی مطالعات دریای خزر، ۹۶ ص.

-نجفی دیسفانی، م.، ۱۳۷۷. پردازش کامپیوتری تصاویر سنجش از دور (ترجمه)، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، تهران، ۴۴۵ ص.

-آزموده اردلان، ع. و جعفری، ع.، ۱۳۸۶. بررسی روند سیزده ساله تغییرات سطح آب دریای خزر از راه ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای، فیزیک زمین و فضا، شماره ۳۳(۱)، ص ۲۱-۳۰.

-رنجبر، م.، ۱۳۸۸. نوسان سطح آب دریای خزر و تأثیر آن در شکل‌گیری لندفرم‌های ناشی از دینامیک دریا و رودخانه‌ها (مطالعه موردی شهرستان تالش)، فصل‌نامه جغرافیایی سرزمین، شماره ۶(۳)، ص ۱۱۹-۱۳۴.

-شریفی کیا، م.، شایان، س. و ولی، م.، ۱۳۹۶. تعیین تغییرات دینامیک خط ساحل بخش شرقی دریای خزر به کمک داده‌های چند زمانه/ چند سنجده‌ای، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، شماره ۲۱، ص ۱۲۲-۱۳۹.

-عابدی سماکوش، م.، فرزانه، ف.، دوستی، م. و هنرور، ا.، ۱۳۹۷. شناسایی عوامل جذب کننده و

-یوسفی روشن، م.ر. و کردوانی، پ.، ۱۳۹۲. نوسان سطح آب و کارایی حریم دریای خزر (خط ساحلی محدوده شهرستان بابلسر)، پژوهش‌های دانش زمین، شماره پیاپی ۱۴، ص ۱-۱۶.

-وردی‌پسندی، ز.، ۱۳۹۸. فرصت‌ها و چالش‌ها در گردشگری ساحلی (مطالعه موردی: غرب مازندران)، پژوهش‌های گردشگری و توسعه پایدار، شماره ۲(۲)، ص ۱۷-۲۲.

-Alesheikh, A.A., Ghorbanali, A. and Nouri, N., 2007. Coastline change detection using remote sensing. *Int. J. Science Technology*, v. 4(1), p. 61-66.

-Jarratt, D. and Davies, N.J., 2020. Planning for climate change impacts: coastal tourism destination resilience policies. *Tourism Planning and Development*, v. 17(4), p. 423-4440.

-Bayram, B., Bayraktar, H., Helvaci, C. and Acar, U., 2004. Coastline change detection using CORONA, SPOT and IRS 1D images. *XXth Congress Int. Soc. Photogram. Remote Sens., Commission VII, WG VII/3*, p. 437-441.

-Kakroodi, A.A., Krooneberg, S.B., Hoogendoorn, R.M., Mohaammad khani, H., Yamani, M. and Ghassemi, R., 2012. Rapid holocen sea level changes along the Iranian Caspian coast. *Journal of Quaternary International*, v. 263, p. 93-103.

-Brezgunov, V.S., Nechaev, V.V. and Yakimova, T.V., 1987. Studying Water Exchange in the Northern Caspian Sea Based on the Distribution of the Oxygen Isotopic Composition of Water, *Vodn. Resur.*, v. 1, p. 155-161.

-Karaburun, A. and Demirci, A., 2009. The Changing Risks of Agricultural Activities on Water Resources in Rapidly Urbanized Areas: Agricultural Land Cover Change in Istanbul between 1987 and 2007. *Fresenius Environmental Bull*, v. 18(11a), p. 2181-2191.

-Deng, J.S., Wang, K., Deng, Y.H. and Qi, G.J., 2008. PCA based land-use change detection and analysis using multi temporal and multi sensor satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 29(16), p. 4823-4838.

-Kosarev, A.N. and Tuzhilkin V.S., 1997. Climatic annual cycle of the Caspian Sea thermohaline structure variability. *Water Resources*, v. 2, p. 104-112.

-Doygun, H., Berberolu, S. and Alphan, H., 2003. The Determination of Land Use Changes by Using Remote Sensing in Burnaz Coastal Dunes, *Hatay. Ekoloji*, v. 12(48), p. 4-9.

-Kroonenberg, S.B., Kasimov, N.S. and Lychagin, M., 2008. The Caspian Sea, a natural laboratory for sea-level change. *Geography*, v. 12, p. 22-37.

-Duran, Z., Musaoglu, N. and Seker, Z.D., 2006. Evaluating urban land use change in historical peninsula, Istanbul, by using GIS and Remote Sensing. *Fresenius Environ. Bull*, v. 15(8a), p. 806-810.

-Krueger, P.C., Goncalves, R., Krueger, T. and Leonardo Xavier, E., 2008. Mapping and detection of changes for shoreline using a spatiotemporal CGIS (Coastal Geographic Information System), Alumni Experten seminar "Naturkatastrophen – Katastrophenmanagement und – prävention" Santiago de Chile, 30.03.2008 - 02.04.2008.

-Firoozfar, A., Bromhead, E.D., Dykes, A.P. and Lashteh Neshaei, M.A., 2012. Southern Caspian Sea coasts, morphology, sediment characteristics, and sea level change. *Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy*, v. 17, p. 123-150.

-Lithgowac, D., Martínezb, M.L., Gallego-Fernández, J.B., Silva, R. and Ramírez-Vargasc, D.L., 2019. Exploring

- the co-occurrence between coastal squeeze and coastal tourism in a changing climate and its consequences. *Tourism Management*, v. 74, p. 43-54.
- Maktav, D. and Erbek, F.S., 2005. Analysis of urban growth using multi-temporal satellite data in Istanbul, Turkey'. *International Journal of Remote Sensing*, v. 26(4), p. 797-810.
- Nidhinarangkoon, P., Ritphring, S. and Udo, K., 2020. Impact of sea level rise on tourism carrying capacity in Thailand. *Marine Science and Engineering*, v. 104(8), p. 1-10.
- Richards, J. and Jia, X., 1998. Remote sensing digital image analysis. Berlin, Third edition. Pub. Springer, 331 p.
- Rychagov, G.I., Leont'ev, O.K., Nikiforov, L.G., Lukashov, A.A., Ignatov, E.I. and Bolysov, S.I., 1984. *Special Geomorphological Training Practical in Dagestan*. Moscow University Ed., 132 p.
- Tağil, S. and Cürebal, I., 2005. Remote Sensing and GIS Monitoring of Coastline Change in Altınova Coast. *Firat University Social Science Journal*, v. 15(2), p. 51-68.
- Tai-Wen, H., Tsung-Yi, L. and I-Fan, T., 2007. Human Impact on Coastal Erosion in Taiwan, Florida. *Journal of Coastal Researches*, West Palm Beach, v. 4(23), p. 961-973.