

بر آورد تغییرات خط ساحلی در محدوده قاعده دلتایی خزر با استفاده از سامانه تحلیل رقومی خط ساحلی (دلتاهای: هراز، بابلرود و تالار)

سیاوش شایان* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
مجتبی یمانی - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
عطالله عبداللهی کاکرودی - دانشیار گروه سنجش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
حمید عمونیا - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۱۸ تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۱۰/۰۷

چکیده

پیشروی و پسروی خط ساحلی همواره از مهمترین چالش‌ها، برای مناطق ساحلی محسوب می‌شود. با شناخت از تغییرات مکانی خط ساحلی می‌توان به درک مناسبی از پویایی مناطق ساحلی و فرایندهای مورفودینامیک در آن دست یافت که برای مدیریت تغییرات این مکان کاملاً ضروری به نظر می‌آید. دامنه نوسان سطح آب دریای خزر بسیار بالا است؛ به طوری که در فاصله زمانی ۴۸ ساله (۱۹۲۹-۱۹۷۷) حدود ۳ متر کاهش تراز را نشان می‌دهد و در یک دوره ۱۸ ساله (۱۹۷۷-۱۹۹۵) حدود ۳ متر افزایش تراز را تجربه کرده است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های تاریخی موجود نظیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های تفسیر بصری و شاخص NDVI خطوط ساحلی در نرم افزار ENVI5.3 استخراج گردید. بعد از ترسیم خطوط ساحلی بازه‌های مورد مطالعه با استفاده از سامانه تحلیل رقومی خط ساحلی که دارای افزونه‌ای با عنوان DSAS در نرم افزار ArcGIS10.5 است؛ تحلیل‌های کمی در ارتباط با میزان تغییرات خط ساحلی انجام شده است و نهایتاً بین این سه خط ساحلی ترسیم شده، مقایسه‌ای کمی نسبت به میزان تغییرات با استفاده از دو روش نرخ نقطه پایان (EPR) و روش نرخ رگرسیون خطی (LRR) صورت گرفته است. محاسبات نرخ به روش LRR به دلیل مشارکت دادن تمامی خطوط در محاسبات مناسب‌تر تشخیص داده شده‌اند. نرخ پیشروی و پسروی خط ساحلی برای بازه دلتای هراز برابر $0/17-$ متر و برای محدوده بابلرود برابر $0/05+$ متر و برای محدوده تالار برابر $0/16+$ متر بر آورد شده است. استفاده از افزونه DSAS قابلیت‌های تحلیل فضایی را نسبت به تحلیل‌های آماری صرف نشان داده است چراکه در جداول آماری تنها با خلاصه‌سازی، نهایتاً به اعداد محدود می‌رسیم اما با استفاده از افزونه DSAS تفاوت‌ها در طول خط ساحلی و با جزئیات بیشتر قابل مشاهده است. مقایسه میان سه بازه نشان از تغییرات اندک اما متغیر در طول بازه دارد و به طور کلی آب دریا در طی ۶سال در مصب‌های هراز و تالار پیشروی کرده و در مصب بابلرود پسروی داشته است.

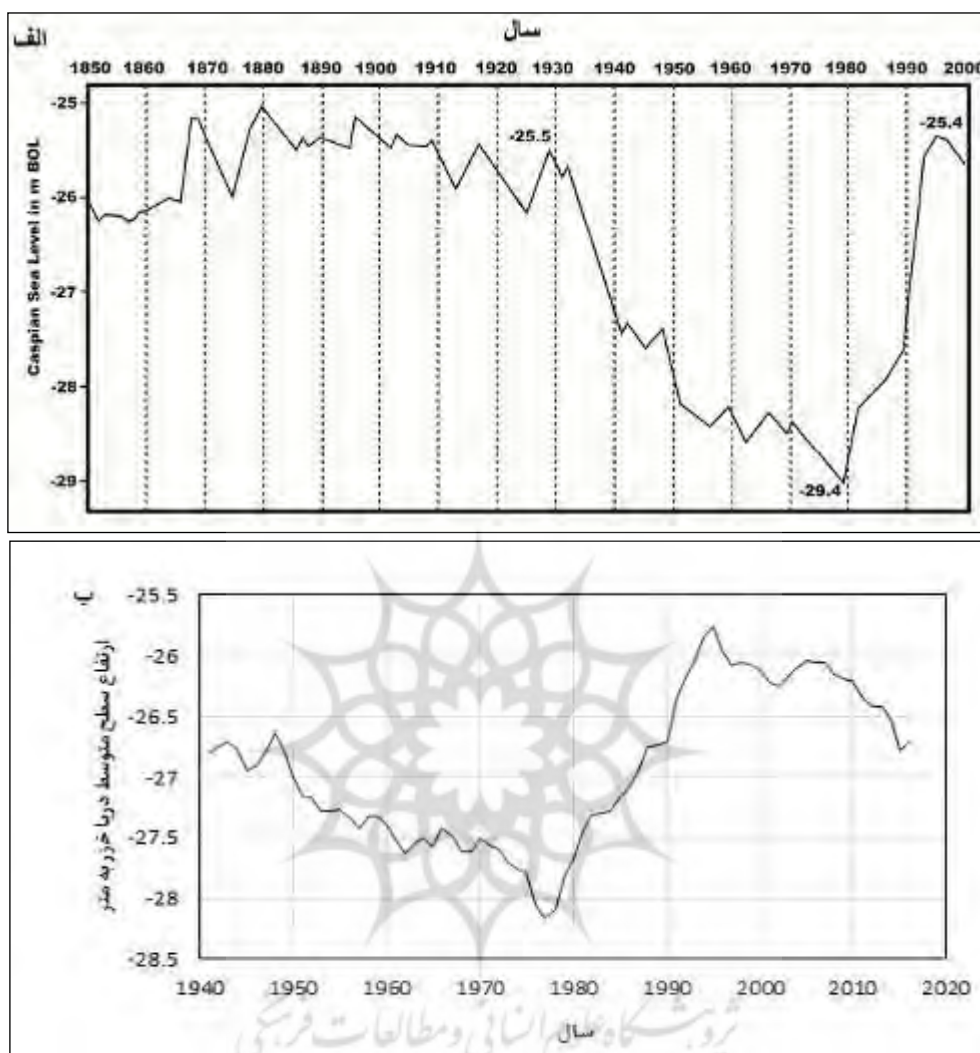
واژگان کلیدی: دریای خزر، تغییرات خط ساحلی، قاعده دلتایی، سامانه تحلیل رقومی خط ساحلی.

مقدمه

تغییر در خط ساحل به عنوان مرز بین دریا و خشکی، وابسته به ژئومورفولوژی، زمین شناسی، اقلیم و تاثیرات مستقیم و غیر مستقیم انسان است. موقعیت خط ساحلی به فعل و انفعالات میان امواج، جذرومد، رودخانه ها، طوفان ها، ساختارهای زمین شناسی و فرایندهای فیزیکی بستگی دارد (تمیتوپ^۱، ۲۰۱۴). در این بین مدیریت پایدار سواحل نیازمند آگاهی از روند تغییرات خط ساحلی و آشکار سازی تغییرات خط ساحلی است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۲). بر همین اساس هرگونه برنامه ریزی برای استقرار فعالیت های انسانی و بهره برداری از ظرفیت های ساحلی مستلزم شناخت ویژگی های مناطق ساحلی و پایداری آنهاست (لرستانی، ۱۳۹۴). پیشروی و پسروی خط ساحلی همواره از مهمترین چالش ها، برای مناطق ساحلی محسوب می شود. با شناخت از تغییرات مکانی خط ساحلی می توان به درک مناسبی از پویایی مناطق ساحلی و فرایندهای مورفودینامیک در آن دست یافت که برای مدیریت تغییرات خط ساحلی کاملاً ضروری به نظر می آید.

دریای خزر به واسطه نوسانات و تغییرات زیاد دوره ای، محیطی منحصر به فرد با ویژگی های خاص به وجود آورده است که نظیر آن در محیط های دریاچه ای بسته کمتر مشاهده می گردد. به واسطه همین تغییر سطح اساس آب، شاهد تغییرات زیاد خط ساحلی در مناطق ساحلی حاشیه دریای خزر هستیم (لرستانی و همکاران، ۱۳۹۴). این دریا در فاصله زمانی ۴۸ ساله (۱۹۷۷-۱۹۲۹) حدود ۳ متر کاهش تراز را نشان می دهد و در یک دوره ۱۸ ساله (۱۹۷۷-۱۹۹۵) حدود ۳ متر افزایش تراز را تجربه کرده است (کاکرودی، ۱۳۹۲). از شروع قرن بیستم تا سال ۱۹۲۹، تراز دریای خزر نزدیک به عدد ۲۵/۵- متر بوده است و بعد از آن به سرعت شروع به پسروی کرده است و در سال ۱۹۵۶ سطح آب تقریباً ۲ متر پایین رفت. این تغییرات به احتمال زیاد با رخداد خشک سالی شدید در حوضه رودخانه ولگا که تامین کننده اصلی منابع آبی دریای خزر است همراه بوده است. در فاصله زمانی ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ تقریباً تراز دریا بدون تغییر مانده است و بعد از آن تا سال ۱۹۷۷ به تراز ۲۹/۴- متر رسیده است. این کاهش تراز را نمی توان بی ارتباط با تاثیرات دخالت های انسانی در سد سازی بر روی رودخانه ولگا دانست. از حدود سال ۱۹۷۷ سطح دریا رو به افزایش گذاشته است به طوری که در سال ۱۹۹۵ به تراز ۲۵/۷- نزدیک شده است. در طی سال ها ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۷ روند تغییرات سیر کاهشی داشته است (شکل ۱). با توجه به آگاهی از تغییرات تراز دریای خزر شکل خطوط ساحلی مانند اعداد ارتفاعی در جداول پیشروی و پسروی را نشان نمی دهد و در هر مکان با توجه به ژئومورفولوژی خط ساحلی، شاهد واکنش های متفاوتی به تغییرات تراز هستیم. در این بین نیاز به روشی است که این تغییرات را در زمان و مکان برای ما آشکارا نشان دهد. با توجه به مطالعه پیشینه پژوهش و آگاهی از هدف مطالعه کنونی، از روش DSAS^۲ که یک روش کمی و مبتنی بر استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی است؛ برای رسیدن به هدف پژوهش حاضر استفاده شده است. DSAS یک سامانه نرم افزاری است که یک ابزار الحاقی به سیستم اطلاعات جغرافیایی برای آن تهیه شده است. این سامانه به منظور بررسی وضعیت حال و گذشته موقعیت و هندسه خط ساحلی استفاده می شود. یکی از مزایای مهم استفاده از DSAS در تجزیه و تحلیل تغییرات خط ساحلی، توانایی آن در محاسبه نرخ تغییرات برای یک دوره زمانی از موقعیت خط ساحلی است. مقادیر آماری امکان ارزیابی ماهیت پویای خط ساحلی و روند تغییرات آن را فراهم می کنند. DSAS برای استفاده در موسسه تحقیقات زیست محیطی (ESRI) توسعه پیدا کرده است (هیملستوس^۳، ۲۰۰۹). این سیستم بروز رسانی شده و نسخه های متعددی از آن وجود دارد که در نرم افزارهای Arc view و Arc gis استفاده می شود (USGS، ۲۰۱۳).

^۱ Temitope^۲ Digital Shoreline Analysis System^۳ Himmelstoss



شکل ۱: الف- تراز دریای خزر بر اساس ایستگاه آبنگاری باکو بین سال‌های 1850 تا 2000 (کاگردی، ۱۳۹۲) ب- نمودار تراز دریای خزر بر اساس ایستگاه انزلی طی سالهای 1941 تا 2016 (منبع: <http://www.caspc.com>)

نمونه‌های زیادی از کاربرد DSAS به منظور مطالعه خط ساحلی و تغییرات این خطوط موجود است. جدول ۱ چند نمونه از این مطالعات را نشان می‌دهد. به طور کلی DSAS برای نقشه‌سازی موقعیت خطوط ساحلی در طول دوره زمانی که داده‌های آن در دسترس باشد، ارزیابی روندها و تغییرات گذشته خطوط ساحلی، تجزیه و تحلیل خط ساحلی شامل میزان شیب دار بودن و جهت و همچنین پیش‌بینی الگوهای رفتاری خط ساحلی با استفاده از نرخ تغییرات گذشته به عنوان شاخصی برای آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد (تمیتوپ، ۲۰۱۴).

جدول ۱: مطالعات انجام شده با استفاده از DSAS

نوع کاربرد	پژوهشگران
ثبت تاریخ تغییرات خط ساحلی	(کاراسکو ^۱ و همکاران، ۲۰۱۲): (مونترویل و بولارد ^۲ ، ۲۰۱۲): (گونزالز ^۳ و همکاران، ۲۰۱۳): (جابلوی ^۴ و همکاران، ۲۰۱۴)
تنوع خط ساحلی و فرسایش ساحلی و تغییرات کوتاه مدت ساحل	(هوسر ^۵ و همکاران، ۲۰۰۸): (بروکس ^۶ و همکاران، ۲۰۱۲): (هوسر و متیو ^۷ ، ۲۰۱۱): (رستروپ ^۸ ، ۲۰۱۲): (هاپک ^۹ و همکاران، ۲۰۱۳): (بتهم و کنج ^{۱۰} ، ۲۰۱۴): (دلریو ^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۳)
رسوب گذاری و فرسایش ساحلی	(لینلد و داربی ^{۱۲} ، ۲۰۰۸): (دروت ^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۱)
فرسایش و پسروری دریاها	(دلریو و گارسیا، ۲۰۰۹): (بروکس و همکاران، ۲۰۱۲): (کاتز و موشکین ^{۱۴} ، ۲۰۱۳): (یانگ ^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۴)
مدل سازی و اندازه گیری خط ساحلی و دریاها	(هاچنی ^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۳): (دیبادیو ^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۳)

در ایران مطالعاتی زیادی جهت بررسی تغییرات خط ساحلی صورت گرفته است. جداری عیوضی و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای تغییرات دلتای سفیدرود را طی سده اخیر بررسی کرده است و نقش فعالیت‌های انسانی و هیدرو دینامیک دریا را در ایجاد تغییرات خط ساحلی موثر دانسته است. آزرمن سا و رزمخواه (۱۳۸۹) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به بررسی موقعیت خط ساحلی در خلیج چابهار پرداخته‌اند، در این پژوهش سعی شده است که از تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و دانش دریایی روشی مناسب برای شناخت تغییرات خط ساحلی حاصل گردد. یمانی و همکاران (۱۳۹۲) تغییرات سریع خط ساحلی قاعده دلتای سفیدرود به روش تحلیل نیمرخ‌های متساوی‌العرض را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش با استخراج خطوط ساحلی از طریق نقشه‌ها و تصاویر

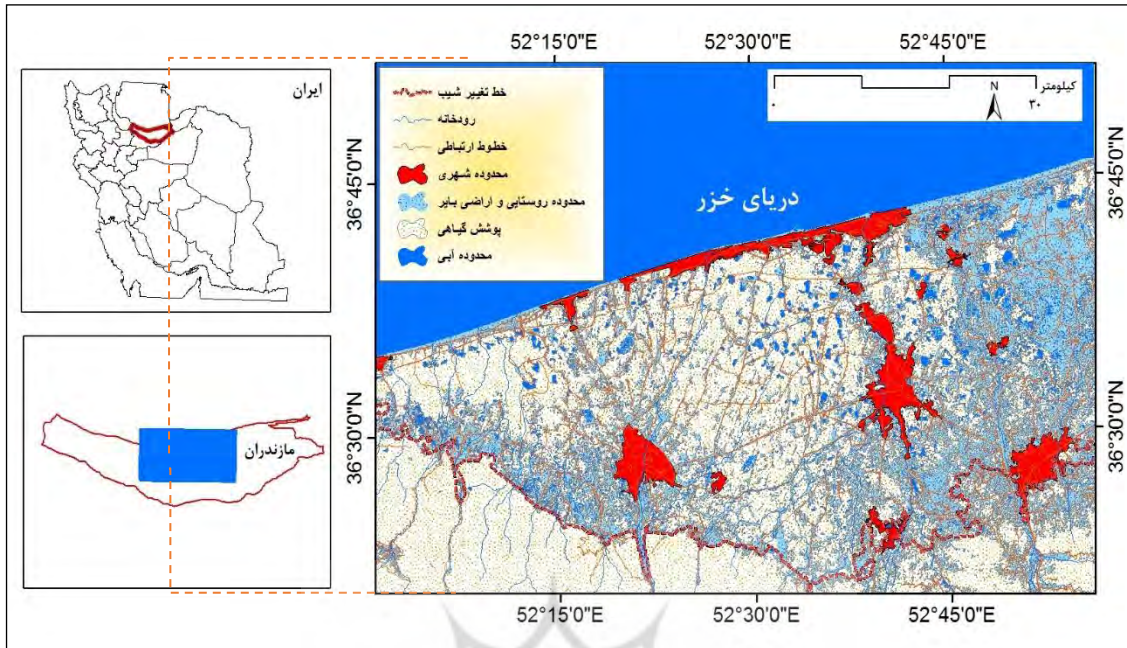
^۱ Carrasco^۲ Montreuil and Bullard^۳ González^۴ Jabaloy^۵ Houser^۶ Brooks^۷ Houser and Mathew^۸ Restrepo^۹ Hapke^{۱۰} Beetham and Kench^{۱۱} Del Río^{۱۲} Leyland and Darby^{۱۳} Draut^{۱۴} Katz and Mushkin^{۱۵} Young^{۱۶} Hackney^{۱۷} Thébaudeau

موجود عوامل موثر در تغییرات خط ساحلی طی دوره سالهای 1981 تا 2001 مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین عامل تغییرات در قاعده دلتای سفید رود مربوط به دبی رسوب حمل شده از رودخانه به خصوص در زمان شاس است. احمدی و همکاران (۱۳۹۳) روند تغییرات خط ساحلی را با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در سواحل شهرستان بندر دیر مطالعه نمودند. در این پژوهش از تصاویر ماهواره لندست طی سالهای 1987، 2000 و 2006 استفاده شده است. آنها از ۵۰ نقطه با فاصله یکسان جهت بررسی و تعیین تغییرات مکانی خط ساحلی استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داد که کمترین و بیشترین میزان جا بجایی خط ساحلی از سال 1987 تا سال 2000 به ترتیب ۱۷ و ۲۸۲۹ متر بوده و این مقدار طی سالهای 2000 تا 2006 به ترتیب به ۸۰۰ و ۲ متر رسیده است. میانگین این تغییرات در دوره اول بررسی ۵۰۲ و طی دوره دوم ۱۳۸ متر به دست آمده است. لرستانی (۱۳۹۴) در پژوهشی مقدار تغییرات سالانه خط ساحلی دریای خزر را در محدوده دلتای رودخانه ای گرگان رود را با استفاده از تصاویر ماهواره ای و تصاویر موجود در نرم افزار گوگل ارث طی سالهای 1975 تا 2013 مورد پیش بینی قرار داده است. در این پژوهش از دو روش آماری AOR و EPR برای بررسی تغییرات استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد مقدار متوسط تغییرات سالانه در محدوده بررسی شده با روش AOR و EPR به ترتیب معادل ۴۰/۲ و ۶۱/۱ متر در سال است. رزمی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی تغییرات خط ساحلی شهرستان دیر با استفاده از داده‌های ماهواره ای لندست در طی سالهای ۱۹۹۱ و ۲۰۱۴ پرداختند. در این پژوهش با استفاده از تلفیق روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی ابتدا خطوط ساحلی استخراج شده است و بعد از آن با مساحت گیری و تفریق تغییرات خط ساحلی، میزان تغییرات نشان داده شده است. شریفی کیا و همکاران (۱۳۹۶) به کمک داده‌های چند زمانه و چند سنجنده ای تغییرات خط ساحل بخش شرقی دریای خزر را تعیین نمودند. در این پژوهش اضافه نمودن سنجنده فعال ماهواره راداری جانسن ۲ در ترسیم خطوط ساحلی، جز نو آوری‌های پژوهش است که کمتر در مطالعات سنجش از دوری مخصوصا در مطالعات داخلی مشاهده می‌گردد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که میزان پیشروی و پسروی آب دریا در تمام مناطق ساحلی به یک اندازه نبوده است بلکه به گونه ایست که سواحل کم شیب میزان پیش روی آب بسیاری داشته است.

با توجه به مطالعات پیشین و ضرورت آگاهی درست از تغییرات زمانی و مکانی خط ساحلی به مطالعه روشی پرداخته شده است که بتواند این تغییرات را به بهترین نحو ممکن نشان دهد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات ۶۰ ساله خطوط ساحلی، با استفاده داده‌های سنجش از دور در محدوده دلتایی خزر است. همانطور که در پیشینه مطالعات مشاهده می‌شود در اکثر پژوهش‌ها از تصاویر ماهواره ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است اما استفاده از DSAS با توجه به مطالعات صورت گرفته در پیشینه مطالعات داخلی جز در موارد معدود، پژوهش زیادی صورت نگرفته است و در همین موارد اندک نیز بیشتر به شناساندن روش و معرفی کاربردها آن محدود شده است و این خود ضرورت مطالعه جدی یک منطقه خاص را با استفاده از این روش نشان می‌دهد.

منطقه مورد مطالعه

عموما مناطق دلتایی و مصب‌های رودخانه‌ها به دلیل تداخل فیزیکی رودخانه با دریا بیشترین تغییرات را در خط ساحلی نشان می‌دهد. مکان پژوهش حاضر محدوده دلتایی مشخص شده در خط‌های ساحلی دلتاهای هراز، بابلرود و تالار است. این محدوده دلتای از قاعده دلتایی نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استخراج شده است. برای درک مناسب منطقه مورد مطالعه بازه ای از محدوده بر روی نقشه پوشش اراضی ترسیم شده است. موقعیت این محدوده در مختصات جغرافیایی ۵۲°۴۶' تا ۵۲°۲۳' طول شرقی و ۳۶°۴۰' تا ۳۶°۴۳' عرض شمالی قرار دارد (شکل ۲). رودخانه‌های هراز، بابل رود و تالار از دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز سرچشمه می‌گیرند و با عبور از مسیرهای پر پیچ و خم کوهستانی به ترتیب وارد مخروط افکنه‌های آمل، بابل و قائمشهر شده و در نهایت به دریای خزر می‌ریزند.



شکل ۲- موقعیت جغرافیای منطقه مورد مطالعه

مواد و روش ها

روش تحقیق در این پژوهش توصیفی-تحلیلی بر مبنای داده های سنجش از دور و عکس های هوایی موجود و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی بوده است. جهت ترسیم خطوط ساحلی از عکس هوایی و تصاویر ماهواره ای موجود در سایت USGS^۱ استفاده شده است. عکس هوایی مربوط به سال ۱۹۵۶ میلادی و تصاویر ماهواره ای از سنجنده های TM, MSS, OLI و ماهواره لندست به ترتیب از سال های ۱۹۷۶, ۱۹۹۴, ۲۰۱۷ میلادی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته اند (جدول ۲). از آنجا که عکس هوایی ذاتاً با تصاویر ماهواره ای در پردازش تفاوت دارد قبل از استخراج خط ساحلی سال مربوطه ابتدا به زمین مرجع سازی با کمترین خطا در نرم افزار ArcGIS 10.5 پرداخته شده است. بعد از انجام زمین مرجع سازی عکس هوایی، خط ساحلی از طریق ابزار ویرایشی^۲ در نرم افزار ترسیم شده است. برای سال های بعدی از پردازش تصاویر ماهواره ای جهت ترسیم خطوط ساحلی استفاده شده است. در این مرحله جهت استخراج خطوط ساحلی از تصاویر، ابتدا پیش پردازش و بعد پردازش بر روی آن ها اعمال شده است. در پیش پردازش به فرایندهای ابتدایی نظیر کالیبراسیون^۳ رادیومتریک و اتمسفری تصاویر در نرم افزار Envi 5.3 پرداخته شده است. در قسمت پردازش، بازسازی تصویر جهت تفکیک سطح دریا از خشکی از شاخص طیفی نرمال شده پوشش گیاهی^۴ استفاده شده است. علت به کارگیری این شاخص استفاده حداکثری محققین از این شاخص ها در کارهای تحقیقاتی بوده است. نهایتاً از طریق ابزار ROI^۵ خطوط ساحلی استخراج شده اند. از قسمت پس پردازش در این

^۱ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

^۲ Editing

^۳ Calibration

^۴ NDVI

^۵ Region of Interest

پژوهش به دلیل عدم دسترسی به داده‌های واقعی در زمان گذشته استفاده نشده است و به جای آن سعی شده است در قسمت پیش پردازش با انتخاب مشابهت‌های تصویری به تصاویر زمین مرجع دقیقتر دست یابیم.

جدول ۲: تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی مورد استفاده

تاریخ اخذ (سال/روز/ماه)	نوع داده‌ها	منبع
09/14/1956	عکس‌های هوایی (در مقیاس ۴۰ هزارم)	سایت USGS
03/08/1976	تصویر ماهواره لندست سنجنده MSS (۶۰ متر)	سایت USGS
08/11/1994	تصویر ماهواره لندست سنجنده TM (۲۸,۵ متر)	سایت USGS
06/07/2017	تصویر ماهواره لندست سنجنده OLI (۲۸,۵ متر)	سایت USGS

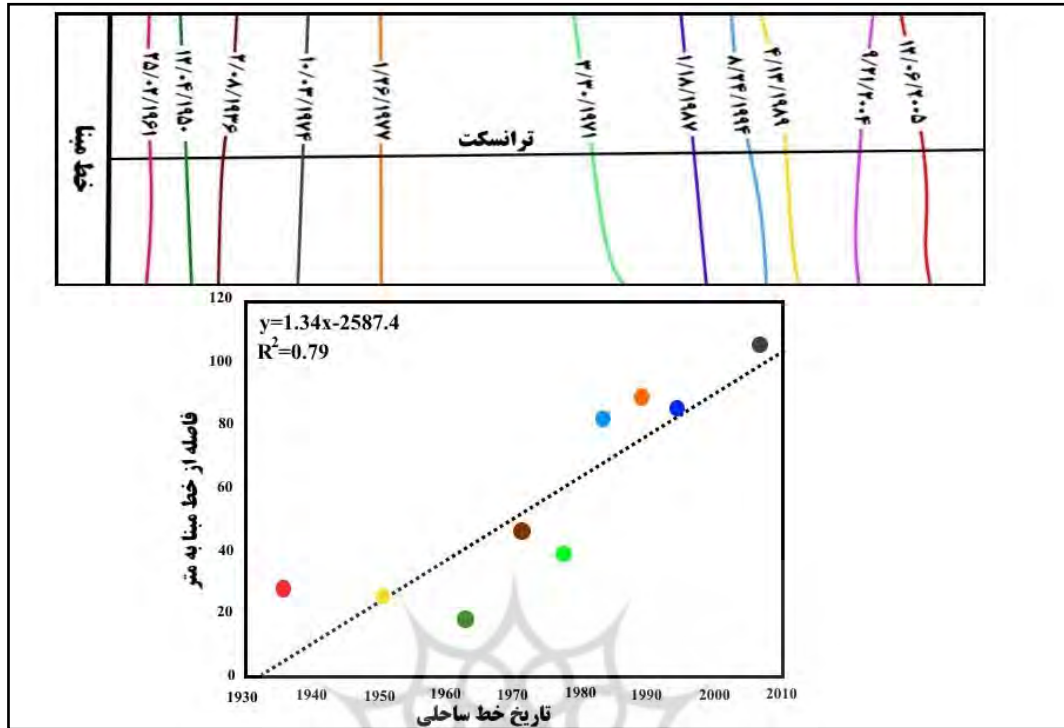
در قسمت دوم پژوهش برای بررسی تغییرات از افزونه DSAS استفاده شده است. این افزونه بر روی نرم افزار ArcGIS 10.5 نصب شده است و محاسبات آماری نرخ تغییرات خطوط ساحلی در طی ۶۰ سال در آن انجام گرفته است. در افزونه مورد نظر با ترسیم ترانسکت‌هایی عمود بر خطوط مینا، برای سه‌بازه مورد نظر میزان پیشروی و پسروی این خطوط در طی دوره مورد مطالعه بر روی نقشه به نمایش درآمده است.

روش‌های آماری که در این پژوهش جهت تعیین میزان تغییرات خط ساحلی در افزونه DSAS مورد استفاده قرار گرفته است؛ روش نرخ نقطه پایان (EPR) و روش نرخ رگرسیون خطی (LRR) است. روش EPR از تقسیم فاصله حرکت خط ساحلی به میزان تغییر مکان خط ساحلی میان جدیدترین و قدیمی‌ترین خطوط بدست می‌آید. مزیت این روش این است که با داشتن حداقل دو خط ساحلی می‌توان میزان تغییرات را محاسبه کرد. در این روش زیبایی نیز وجود دارد و آن اینکه در زمانهای بین زمان اولیه و انتهای داده‌ها ترسیم شده (خطوط ساحلی) در محاسبات گنجانده نمی‌شوند و این موجب از دست رفتن شدت و تغییرات دوره‌ای در محاسبات تغییرات خط ساحلی در منطقه می‌شود (شکل ۳).



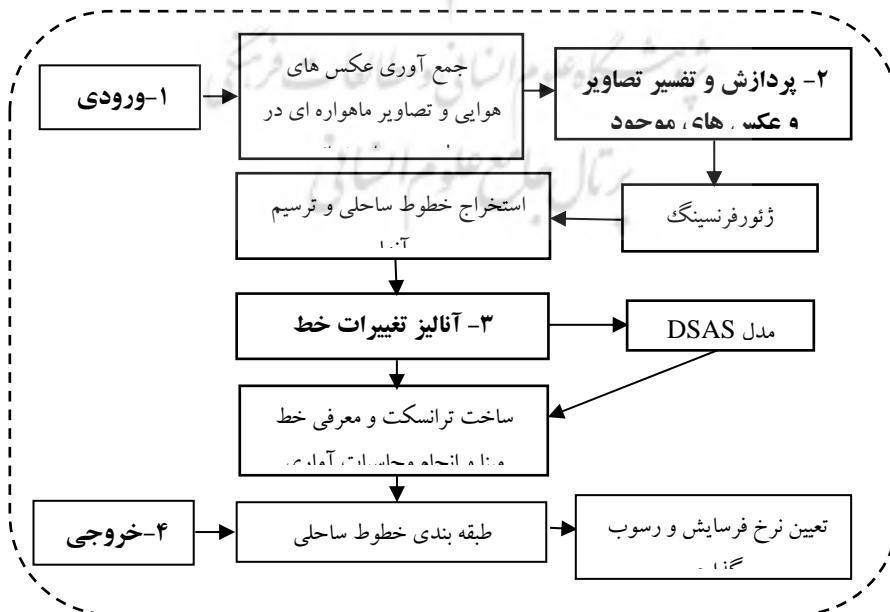
شکل ۳: نرخ نقطه پایانی ۱/۰۹ متر در سال بین سال‌های ۲۰۰۵ و ۱۹۳۶ است و سایر داده‌های ساحلی در این محاسبات نادیده گرفته می‌شوند (هیملستوس، ۲۰۰۹)

روش LRR تعیین نرخ آماری از نرخ تغییر توسط اتصالات حداقل رگرسیون مربع مربوط به تمام سواحل در ترانسکت خاص است (تیمتوپ، ۲۰۱۴). در شکل ۴ روش محاسبه نشان داده شده است.



شکل ۴: نحوه محاسبه خط رگرسیون در روش LRR که در این روش تمامی سالها و زمان آنها در محاسبات آورده می شوند (هیملستوس، ۲۰۰۹)

روشهای آماری دیگری نیز از طریق این افزونه محاسبه می شود که می توان برای تحلیل از آنها استفاده کرد اما با مراجعه به پژوهش های پیشین این روش های آماری مناسب ترین تحلیل را نسبت به داده های مورد استفاده در پژوهش حاضر ارائه می دهد.



شکل ۵: روش شناسی تحقیق

یافته های پژوهش

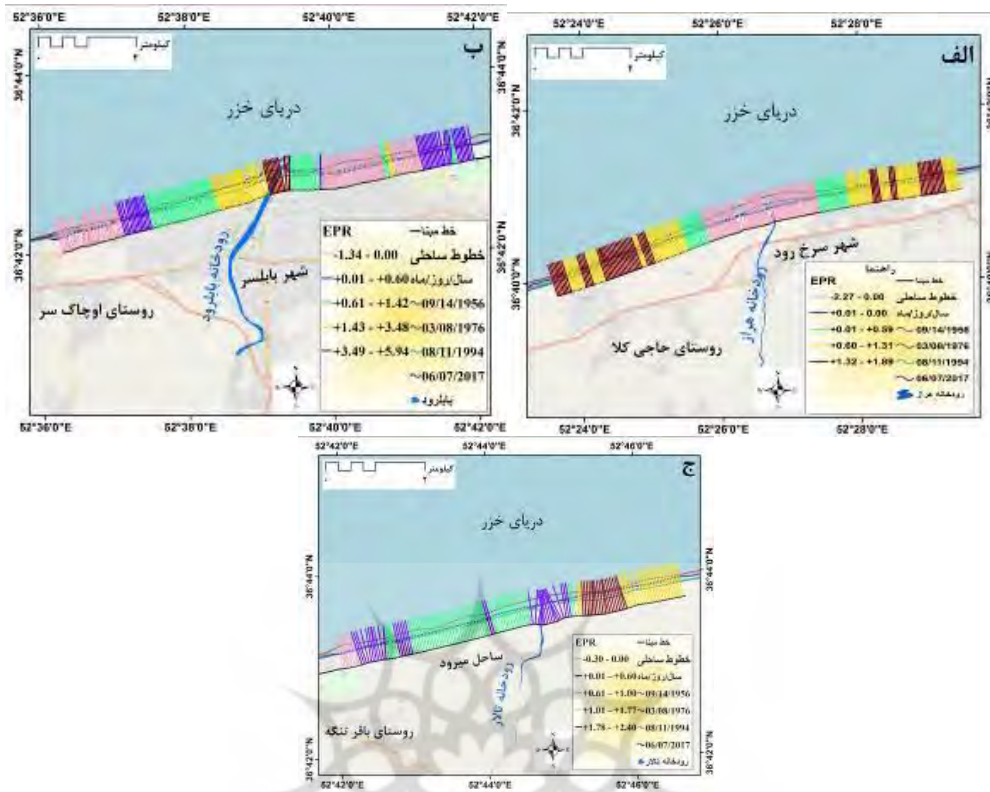
در این پژوهش با توجه به ترسیم خطوط ساحلی و محاسبات صورت گرفته در افزونه DSAS نقشه ها و نمودار ها مورد نیاز برای تحلیل استخراج شده اند. از این اشکال می تواند چگونگی روند تغییرات ۶۰ ساله را در منطقه مورد مطالعه مورد ارزیابی و تحلیل قرار داد.

در محدوده مورد مطالعه با استفاده از ترسیم خط مبنا و ترانسکت هایی به فاصله ۵۰ متر، بیشترین، کمترین و میانگین تغییرات در طی دوره زمانی محاسبه شده است (جدول ۳). در این جدولی که ارائه شده است؛ اعداد با علامت مثبت نشان دهنده پسروری دریا به سمت ساحل یا به نوعی رسوبگذاری ساحلی و اعداد با علامت منفی نشان دهنده پیشروی دریا یا فرسایش در خط ساحلی است. در پیشکرانه دلتای هراز، میانگین نرخ تغییر خط ساحلی از روش EPR که از بین ۱۸۳ ترانسکت ترسیم شده محاسبه شده است؛ عدد ۰/۵۶+ را نشان می دهد. همانطور که در مواد و روش ها توضیح داده شد. مقدار EPR نرخ تغییرات را بین قدیمی ترین خط و جدیدترین خط نشان می دهد و خطوط ترسیم شده در بین این دو سال را مد نظر قرار نمی دهد. بنابراین این کمیتی که نشان می دهد بیانگر میانگین میزان جابجایی در دو تاریخ ۱۹۵۶ و ۲۰۱۷ در کل طول ترسیم شده خط مبنا است. به نظر می رسد این روش برای زمان های کوتاه تر مناسب تر است؛ چون با توجه به تغییرات متعددی که در خطوط ساحلی نظیر آنچه در دریای خزر رخ می دهد تنها استفاده از دو خط برای زمان طولانی نمی تواند نشان دهند میانگین تغییرات در محدوده مورد مطالعه باشد و برای مدیریت خط ساحلی کمی گمراه کننده خواهد بود. کمیتی که با روش LRR برای میانگین نرخ تغییرات محاسبه شده برابر ۰/۱۷- است. همانطور که مشاهده می شود با وارد شدن خطوط ساحلی زمان های میانی ترسیم شده نتیجه کمی تفاوت کرده است و دریا در حالت میانگین پیشروی را نشان می دهد و ساحل در حالت فرسایش قرار دارد. این کمیت ها برای قاعده دلتا های بابلرود و تالار نیز محاسبه شده است. همانطور که مشاهده می شود در هر دو محدوده بابلرود و تالار، در تمام طول خط مبنا، به طور میانگین پسروری خط ساحلی مشاهده می شود. ایرادی که در محاسبات آماری وجود دارد این است که نمی توان تاثیر تغییرات را بر روی مکان های خاص رخداد تغییرات مشاهده نمود اما سیستم اطلاعات جغرافیایی این مشکل را حل کرده است؛ به گونه ای که برای هر یک از دلتا ها نقشه ی تغییرات به هر دو روش استخراج شده است که شناخت دقیقتری از میزان تغییرات در منطقه مورد مطالعه ارائه میدهد (شکل ۷ و ۸).

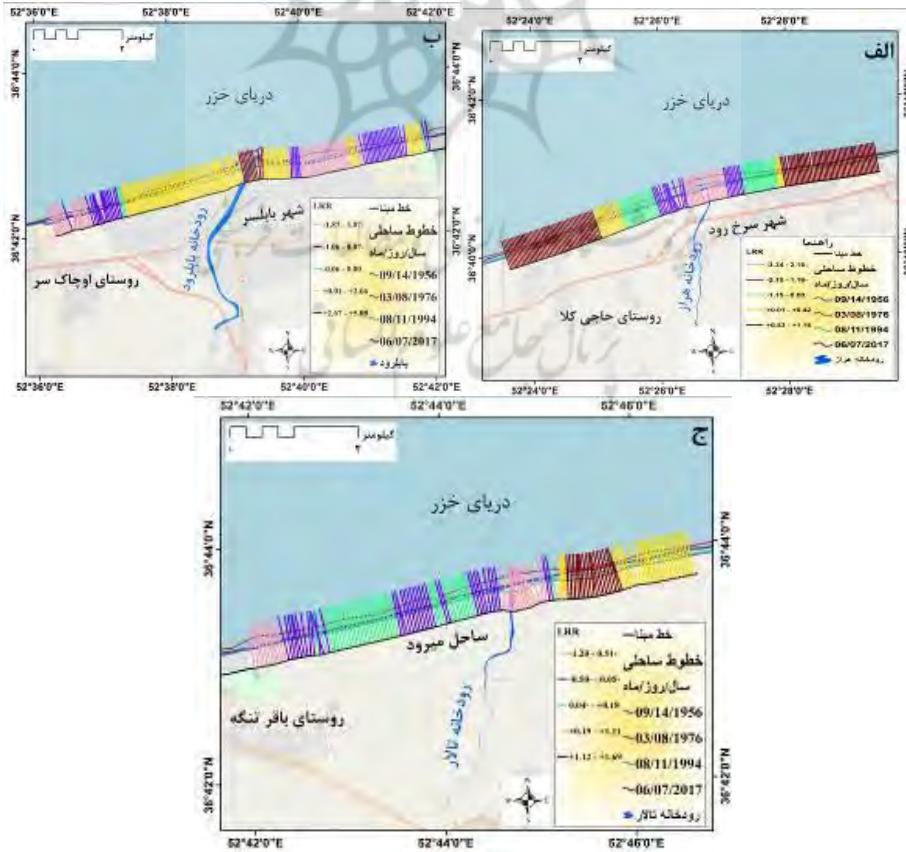
جدول ۳: پارامتر های آماری استخراج شده به روش های EPR و LRR

دلتای تالار		دلتای بابلرود		دلتای هراز		
L	E	L	E	L	E	
+۱/۶۹	+۲/۴	+۵/۰۹	+۵/۹۴	+۱/۱۸	+۱/۸۹	بیشترین نرخ تغییر در طی سال های ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۷
-۱/۲	-۰/۳	-۱/۸۷	-۱/۳۴	-۳/۳۴	-۲/۲۷	کمترین نرخ تغییر در طی سال های ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۷
+۰/۱۶	+۰/۵	+۰/۵	+۰/۶۲	-۰/۱۷	+۰/۵۶	میانگین نرخ تغییر در طی سال های ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۷

در شکل های ۷ و ۸ نقشه تغییرات خط ساحلی بر مبنای دو روش EPR و LRR ترسیم شده اند. از لحاظ تغییرات مکانی تفاوت زیادی در نتایج حاصل از دور روش مشاهده نمی شود. در روش EPR همانطور که مشاهده می شود در دلتای هراز در اطراف مصب رودخانه فرسایش رخ داده است و هرچه از مصب رودخانه به دو طرف شرقی و غربی مراجعه شود؛ شاهد جابجایی رسوبگذاری به جای فرسایش هستیم. در دلتای بابلرود تقریباً شرایط عکس دلتای هراز است اما در دلتای رودخانه تالار شرایط کمی مشابه هراز است با این تفاوت که در دلتای هراز کاملاً به صورت تپیک می توان تغییرات را در دو طرف مصب مشاهده کرد. در نقشه خروجی LRR نتایج مشابه روش EPR است با این تفاوت که شدت فرسایش در مصب رودخانه تالار مقداری کمتر اما در تالار بیشتر است. از آنجا که در روش LRR از تمامی خطوط ساحلی ترسیم شده جهت محاسبات استفاده می شود نتیجه این نقشه می تواند دقیق تر باشد.



شکل ۶: نقشه های نرخ تغییرات خط ساحلی به روش EPR در محدوده های الف-هراز، ب-بابلرود، ج-تالار



شکل ۷: نقشه های نرخ تغییرات خط ساحلی به روش LRR در محدوده های الف-هراز، ب-بابلرود، ج-تالار

نتیجه گیری

در این پژوهش از طریق تفسیر بصری عکس هوایی و پردازش تصاویر ماهواره ای خطوط ساحلی با دقت بالایی استخراج شده است. با به کار گیری روش تراژسکت مشخصات آماری تغییرات خط ساحلی طی دوره ۶۰ ساله مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به خروجی اشکال ۶ و ۷ روند کلی فرسایشی در منطقه مورد مطالعه به سمت فرسایش در خط ساحلی است. در جدول ۳ نرخ تغییرات خط ساحلی در سه دلتا قابل مشاهده و ارزیابی است. با توجه به مبنا قرار دادن روش میزان LRR بیشترین تغییرات در دلتای رودخانه بابلرود با ۵/۰۹ متر مشاهده می شود در صورتی که در دو دلتای مجاور این کمیت به ۲ متر هم نمی رسد. این تفاوت نشان دهند پسروری قابل توجه دریا در دلتای بابلرود است که می توان عامل انسانی را بخصوص در سالهای اخیر از جمله مهمترین دلایل آن دانست. در این بازه با ساحل سازی و احداث اسکله ها و موج شکن ها شاهد پسروری دریا هستیم. در دو بازه دیگر به نظر می رسد به دلیل دخالت های کمتر انسان، شرایط پیشروی و پسروری طبیعی تر است و به میانگین تراز سطح دریا که حدود ۳ متر است مطابقت بیشتری دارد. در دو دلتای هراز و تالار تا حدود زیادی می توان شرایط مورفودینامیک نظیر توپوگرافی منطقه ساحلی، بار رسوبی رودخانه ها و سایر پارامترهای طبیعی را در موقعیت گزینی خط ساحلی موثرتر دانست. به هر حال میانگین ۶۰ ساله میان سه دلتا تفاوت زیادی را از لحاظ آماری نشان نمی دهد. اما مقایسه نتایج میان حداکثر و حداقل تغییرات مطابق آنچه در جدول ۳ مشاهده می شود نشان از دامنه تغییرات بالا در این سه دلتا دارد. نتیجه استفاده از نقشه های خروجی DSAS یک مهم را نشان می دهد و آن اینکه در تحلیل های مکانی استفاده از چنین ابزار های تک بعدی نگری را به چند بعدی نگری تبدیل خواهد کرد و در این پژوهش شاهد آن بودیم که در طول یک بازه خط ساحلی، تغییرات ۶۰ ساله می تواند کاملا عکس هم باشد (شکل ۶ و ۷). در طی ۶۰ سال در بازه های تالار و هراز در مصب ها شاهد پیشروی دریا هستیم اما در دو طرف همین مصب ها پسروری وجود دارد اما در بازه بابلرود این شرایط کاملا عکس هم اتفاق افتاده است. در این مطالعه تاثیر فعالیت های انسانی در تغییرات خط ساحلی به طور کاملا واضح مشخص است چراکه در سه بازه از قسمت های پیشکرانه دلتایی که اکثر شرایط طبیعی آن ها مشابه یکدیگر است؛ تفاوت بیشتر در بازه ای مشاهده شده است که انسان دخالت بیشتر داشته است.

منابع

- احمدی، محمود؛ رامشت، محمد حسین؛ درفشی، خه بات، ۱۳۹۳، بررسی روند تغییرات خط ساحلی با استفاده از تکنیک های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ مطالعه موردی: ساحل شهرستان بندر دیر، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال بیست و پنج، شماره ۳، صص ۷۴-۶۳
- آرم ساء، سید علی؛ رزمخواه، فرهاد، ۱۳۸۹، پیش بینی موقعیت و نحوه تغییرات خط ساحلی در خلیج پزم تا سال ۲۰۱۰، مجله فیزیک زمین و فضا، سال سی و شش، شماره ۴، صص ۹۸-۸۹
- جداری عیوضی، جمشید؛ یمانی، مجتبی؛ خوش رفتار، رضا، ۱۳۸۴، تکامل ژئومورفولوژی دلتای رود سپیدرود در کوتاه تر، پژوهش های جغرافیایی شماره ۵۳، صص ۹۹-۱۲۰
- رزمی، مریم؛ محمد سگری، حسین؛ علی دادالهی، سهراب؛ ناظم السادات، سید محمد جعفر؛ خزاعی، سید حسین، ۱۳۹۶، بررسی تغییرات خط ساحلی شهرستان دیر با استفاده از داده های ماهواره لند ست، سنجنده TM وOLI سالهای ۱۹۹۱ و ۲۰۱۴، مجله علوم و فنون دریایی، دوره ۱۶، شماره ۴، صص ۱۲-۱۱
- شریفی کیا، محمد؛ شایان، سیاوش؛ ولی، مایسا، ۱۳۹۶، تعیین تغییرات دینامیک خط ساحل بخش شرقی دریا خزر به کمک داده های چند زمانه/چند سنجنده ای، مجله برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره بیست و یکم، شماره ۴، صص ۱۳۹-۱۲۲
- عبدالهی کارودی، عطا اله، ۱۳۹۲، نو سانات دریای خزر و تاثیر آن بر سواحل جنوب شرقی آن، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳، صص ۴۴-۳۳

- لرستانی، قاسم؛ اسماعیلی، رضا؛ اعتمادی، فاطمه، ۱۳۹۴، بررسی میزان تغییرات خط ساحلی دریای خزر در مصب رودخانه ها، مطالعه موردی: مصب رودخانه های هراز، بابل رود و تالار، مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال پنجم، شماره مسلسل ۱۸، صص ۱۳۶-۱۲۳
- لرستانی، قاسم، ۱۳۹۴، پیش بینی مقدار تغییرات سالانه خط ساحلی دریای خزر (محدوده دلتای رودخانه گرگان رود)، پژوهش های جغرافیای طبیعی، سال چهل و هفت، شماره ۲، صص ۲۵۴-۲۴۱
- یمانی، مجتبی؛ مقیمی، ابراهیم؛ معتمد، احمد؛ جعفر بیگلر، منصور؛ لرستانی، قاسم، ۱۳۹۲، بررسی تغییرات سریع خط ساحلی قاعده دلتای سفید رود به روش تحلیل نیمرخ های متساوی البعد، پژوهش های جغرافیای طبیعی، سال چهل و پنج، شماره ۲، صص ۲۰-۱
- Beetham, E. P., & Kench, P. S. (2014). Wave energy gradients and shoreline change on Vabbinfaru platform, Maldives. *Geomorphology*, 209, 98–110.
- Brooks, S. M., Spencer, T., & Boreham, S. (2012). Deriving mechanisms and thresholds for cliff retreat in soft-rock cliffs under changing climates: Rapidly retreating cliffs of the Suffolk coast, UK. *Geomorphology*, 153–154, 48–60.
- Carrasco, A. R., Ferreira, Ó., Matias, A., & Freire, P. (2012). Natural and human-induced coastal dynamics at a back-barrier beach. *Geomorphology*, 159–160(Complete), 30–36.
- Del Río, L., & Gracia, F. J. (2009). Erosion risk assessment of active coastal cliffs in temperate environments. *Geomorphology*, 112(1–2), 82–95.
- Del Río, L., Gracia, F. J., & Benavente, J. (2013). Shoreline change patterns in sandy coasts. A case study in SW Spain. *Geomorphology*, 196, 252–266.
- Draut, A. E., Logan, J. B., & Mastin, M. C. (2011). Channel evolution on the dammed Elwha River, Washington, USA. *Geomorphology*, 127(1–2), 71–87.
- González-Villanueva, R., Costas, S., Pérez-Arlucea, M., Jerez, S., & Trigo, R. M. (2013). Impact of atmospheric circulation patterns on coastal dune dynamics, NW Spain. *Geomorphology*, 185, 96–109.
- Hackney, C., Darby, S. E., & Leyland, J. (2013). Modelling the response of soft cliffs to climate change: A statistical, process-response model using accumulated excess energy. *Geomorphology*, 187, 108–121.
- Hapke, C. J., Kratzmann, M. G., & Himmelstoss, E. A. (2013). Geomorphic and human influence on large-scale coastal change. *Geomorphology*, 199, 160–170.
- Himmelstoss, E. . (2009). DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278 (Vol. 3). Retrieved from
- Houser, C., & Mathew, S. (2011). Alongshore variation in foredune height in response to transport potential and sediment supply: South Padre Island, Texas. *Geomorphology*, 125(1), 62–72.
- Houser, C., Hapke, C., & Hamilton, S. (2008). Controls on coastal dune morphology, shoreline erosion and barrier island response to extreme storms. *Geomorphology*, 100(3–4), 223–240.
- Jabaloy-Sánchez, A., Lobo, F. J., Azor, A., Martín-Rosales, W., Pérez-Peña, J. V., Bárcenas, P., ... Vázquez-Vílchez, M. (2014). Six thousand years of coastline evolution in the Guadalfeo deltaic system (southern Iberian Peninsula). *Geomorphology*, 206, 374–391.
- Katz, O., & Mushkin, A. (2013). Characteristics of sea-cliff erosion induced by a strong winter storm in the eastern Mediterranean. *Quaternary Research (United States)*, 80(1), 20–32.
- Leyland, J., & Darby, S. E. (2008). An empirical-conceptual gully evolution model for channelled sea cliffs. *Geomorphology*, 102(3–4), 419–434.
- Montreuil, A. L., & Bullard, J. E. (2012). A 150-year record of coastline dynamics within a sediment cell: Eastern England. *Geomorphology*, 179, 168–185.

- Oyedotun, T. D. T. (2014). *Shoreline Geometry: DSAS as a Tool for Historical Trend Analysis. Geomorphological Techniques (Online Edition)*, 2(JANUARY 2014), 1–12.
- Razmi, M., Mohammad Asgari, H., Dadollahi Sohrab, A., Nazemosadat, S. M. J., & Khazaei, S. H. (2017). *Evaluation of the optimum index and MNDWI in examining coastline changes in the northern Persian Gulf (Case study: Dayyer). Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(1), 52–65.
- Restrepo A, J. D. (2012). *Assessing the effect of sea-level change and human activities on a major delta on the Pacific coast of northern South America: The Patía River. Geomorphology*, 151–152, 207–223
- Thébaudeau, B., Trenhaile, A. S., & Edwards, R. J. (2013). *Modelling the development of rocky shoreline profiles along the northern coast of Ireland. Geomorphology*, 203, 66–78.
- Young, A. P., Flick, R. E., O'Reilly, W. C., Chadwick, D. B., Crampton, W. C., & Helly, J. J. (2014). *Estimating cliff retreat in southern California considering sea level rise using a sand balance approach. Marine Geology*, 348, 15–26.

