

بررسی میزان تغییرات خط ساحلی دریای خزر در مصب رودخانه‌ها.

مطالعه موردی: مصب رودخانه‌های هراز، بابلرود و تالار

قاسم لرستانی^{۱*}، رضا اسماعیلی^۲، فاطمه اعتمادی^۳

^۱استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران

^۲استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران

^۳دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۶

چکیده

مدیریت پایدار سواحل، نیازمند آگاهی از روند تغییرات خط ساحلی است و آشکارسازی تغییرات خط ساحلی می‌تواند سلامت و بقای ساحل را تضمین کند. پهنه مورد مطالعه این پژوهش، بخشی از خط ساحلی دریای خزر در محدوده مصب رودخانه‌های هراز، بابلرود و تالار می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی میزان تغییرات و شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر شدت و ضعف تغییرات خط ساحلی در مصب رودخانه‌های مذکور می‌باشد. برای دستیابی به این هدف از اطلاعات دبی و رسوب، باد و نوسان‌های تراز آب به همراه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه به عنوان ابزارها و داده‌های اصلی پژوهش استفاده شده است. در این تحقیق برای تعیین تغییرات و مشخص نمودن ماهیت، مکان و زمان وقوع تغییرات در خط ساحلی از روش نیمرخ‌های هم‌اندازه بهره گرفته شده است. تغییرات خط ساحلی در سه بازه مجزا هر کدام به طول ۵۰۰۰ متر رقومی شده و در نهایت با روی هم‌گذاری و تلفیق تصاویر، میزان تغییرات مثبت و منفی خط ساحلی در محدوده مصب رودخانه طی سال‌های مختلف مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج این تحقیق، تأثیرپذیری مستقیم تغییر در مساحت بازه‌ها نسبت به نوسان آب دریا را نشان می‌دهد. اما بررسی طول خط ساحلی در سه بازه مذکور، بیانگر دخالت متغیرهای دیگری بر تغییرات خط و پهنه ساحلی می‌باشد. افزایش مساحت واحدهای شرقی و تغییرات زیاد واحدهای شماره ۵ تا ۱۰ بازه‌های مطالعاتی نسبت به سایر واحدها از نقش آوردن رسوب رودخانه به دریا و رانش جانبی رسوب به سمت شرق در امتداد خط ساحلی حکایت دارد.

واژه‌های کلیدی: دریای خزر، هیدرودینامیک رودخانه، تغییر خط ساحلی، مصب رود.

مقدمه

این تغییرات قادر خواهیم بود برنامه‌ریزی دقیق‌تری برای مناطق مذکور داشته باشیم و از وقوع مخاطرات مرتبط با نوسانات سطح آب آگاه شده و مدیریتی کارآمد برای آینده‌ای بهتر در سواحل جنوبی دریای خزر داشته باشیم.

منطقه ساحلی، از بزرگ‌ترین دارایی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی هر کشوری است (Genz et al., 2007: 87). قدیمی‌ترین روش مورداستفاده به‌منظور تعیین نحوه و میزان تغییرات خط ساحلی توسط (McBride et al., 1989) با اندازه‌گیری فاصله نقاط ساحلی نسبت به نقاط کنترلی ثابت مورد بررسی

دریای خزر به واسطه نوسانات و تغییرات زیاد دوره‌ای سطح آب، محیطی منحصربه‌فرد با ویژگی‌های خاص به وجود آورده که نظیر آن در محیط‌های دریاچه‌ای بسته مشاهده نمی‌شود. به واسطه همین تغییر سطح آب، شاهد تغییرات زیاد خط ساحلی در مناطق ساحلی حاشیه دریای خزر هستیم. اهمیت این تغییرات، زمانی مشخص می‌شود که بدانیم بسیاری از شهرها و شهرک‌ها به همراه تأسیسات مختلف در محدوده خط ساحلی تمرکز یافته‌اند. با درک و مطالعه

*نویسنده مسئول: gh.lorestani@umz.ac.ir

به تجزیه و تحلیل پارامترهای مؤثر بر فرسایش ساحلی مبادرت نمودند. آلبو کوئرکیو و همکاران (Albuquerque et al., 2013) به ارزیابی دو روش سیستم آنالیز رقومی خط ساحلی و پلیگون تغییرات در سواحل شنی جنوب برزیل پرداختند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده مزایای روش پلیگون تغییرات نسبت به سیستم آنالیز رقومی خط ساحلی در برآورد میزان تغییرات خط ساحلی است.

در سال‌های اخیر مطالعات متعددی جهت بررسی تغییرات خط ساحلی در محیط‌های آبی ایران صورت گرفته است. خوش‌رفتار (۱۳۸۴) با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای تحولات دلتای جدید سفیدرود را در طول سده اخیر مورد بررسی قرار داده و به بیان نقش فعالیت‌های انسانی و دینامیک دریا در ایجاد تغییرات خط ساحلی پرداخته است. سردشتی و قنواتی (۱۳۸۴) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و منطق فازی، به آشکارسازی تغییرات خط ساحلی دلتای سفیدرود پرداختند. در این تحقیق مشخص گردید که حدود ۳۴ درصد از مساحت منطقه بین ۵۰-۱۰۰ درصد تغییرات داشته و این تغییرات بیشتر در مسیر رودخانه و دلتای سفیدرود ایجاد شده‌اند. باقری و همکاران (۱۳۸۵) با بررسی خط ساحلی کیشهر تا دستک در بازه زمانی ۱۳۴۶ تا ۱۳۷۲ با استفاده از GIS به تجزیه و تحلیل خط ساحلی پرداخته و سواحل فرسایشی و تراکمی در امتداد خط ساحلی را به تغییر موقعیت منطقه شکست امواج به طرف ساحل در اثر بالا آمدن تراز دریا نسبت داده‌اند. محمدی و همکاران (۱۳۸۵) به بررسی تغییرات خط ساحلی خلیج پرم در سواحل دریای عمان پرداخته و ارتباط آن را با تکتونیک، تغییرات سطح آب دریا و طغیان رودخانه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آزرما و رزمخواه (۱۳۸۹) به بررسی موقعیت خط ساحلی در خلیج چابهار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای پرداختند. در این تحقیق با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و پردازش آن‌ها از یک سو و استفاده از دانش علوم دریایی از سوی دیگر، امکان بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه

قرار گرفته است (Thieler et al., 1995). تغییرات خط ساحلی را با سیستم آنالیز رقومی در پورتوریکو مطالعه نمودند. این محققان با تقسیم خط ساحلی به چهار بخش مجزا، مقدار تغییر متوسط هر بخش را مورد ارزیابی قرار دادند. بلودجت (Blodget, 1991) تغییرات خط ساحلی در امتداد پرتگاه روزتا در کرانه رودخانه نیل را با مشاهدات میدانی و به کمک تصاویر ماهواره‌ای ارزیابی کرد. نتایج نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای لندست با پوشش زمانی متوالی و تباین طیفی خوب از دریا و خشکی می‌تواند برای مطالعه فرایندهای نواحی ساحلی مناسب باشد. چن (Chen, 1998) در پژوهشی تغییرات خط ساحلی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و با اندازه‌گیری جزر و مد ارائه داد. ایده اصلی پژوهش با بازسازی یک مدل رقومی سطح زمین برای مناطق ساحلی تحت تسلط جزر و مد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اسپات در یک دوره زمانی کوتاه مدت می‌باشد. در این مطالعه، ارتفاع جزرومد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و مدل رقومی سطح زمین محاسبه شده است. ماکوتا و همکاران (Makota et al., 2004) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۲ و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه کونداجی تانزانیا به بررسی تغییرات خط ساحلی پرداخته و معتقدند که خط ساحلی مورد مطالعه، تغییرات قابل توجهی داشته که با استفاده از RS و GIS نظارت بر تغییرات خطوط ساحلی می‌تواند نتایج خوبی به همراه داشته باشد. ون و بینه (Van & Binh, 2008) در پژوهشی به شناسایی تغییرات خط ساحلی و مدیریت کارآمد منطقه ساحلی درخور زونین ویتنام با استفاده از RS و GIS پرداختند و با استفاده از روش نسبت بانندی که بر روی تصاویر استر و لندست اعمال شد، تغییرات خطوط ساحلی بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۴ را به صورت نقشه‌های رقومی تهیه نمودند. کوارت و همکاران (Cowart et al., 2011) با استفاده از روش نقطه‌به‌نقطه به تحلیل تغییرات ساحلی در یک مقیاس وسیع در طول مصب رودخانه نیوس در کارولینای شمالی پرداختند و علاوه بر تغییرات ساحلی

ارتفاع، دوره، طول و فراوانی موج از داده‌های باد ۵۵ ساله ایستگاه سینوپتیک بابلسر (۲۰۰۶-۱۹۵۱) با استفاده از روش آئین نامه حفاظت سواحل^۱ محاسبه شد. در این روش، طول موجگاه، عامل تنش باد، ترازهای ۱۰ متری سرعت باد، اثرات مکانی، تصحیح پایداری و سرعت باد میانگین طی مدت وزش باد به دست آمده و در نهایت پیش بینی امواج حاصل از باد برای داده‌های باد ایستگاه بابلسر محاسبه شدند (یمانی و همکاران، ۱۳۸۹). برای ترازسنجی آب دریا از داده‌های سازمان بنادر و دریانوردی در ایستگاه انزلی طی دوره آماری (۱۳۹۲-۱۳۰۸) جهت بررسی تغییرات روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه استفاده گردید. ترسیم و رقومی‌سازی نقشه‌های توپوگرافی، عکس هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام شد. پیش‌پردازش، پردازش و بازسازی تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه از محدوده مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ENVI انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری و ترسیم انواع نمودارها در نرم‌افزار Excel انجام شد و برای ترسیم گل‌باد از نرم‌افزار WRPLOT و برای ترسیم گل‌موج از نرم‌افزار MIKE21 استفاده گردید.

در این تحقیق از روش نیمرخ‌های متساوی البعد^۲ برای تعیین تغییرات خط ساحلی و مشخص نمودن ماهیت، مکان و زمان وقوع تغییرات در خط ساحلی بهره گرفته شده است. ابتدا جهت ترسیم نیمرخ‌های مذکور در قسمت پس‌کرانه ساحلی، خطی مستقیم به‌عنوان خط مبنا ترسیم شده تا تمام تصاویر و داده‌های رقومی شده را نسبت به این خط ثابت بسنجیم. پس از آن با تأکید بر مصب رودخانه‌های هراز، بابل‌رود و تالار، محدوده مورد پژوهش به سه بازه جدا از هم تقسیم و در هر بازه برش‌های عرضی به فواصل معین ۵۰۰ متری تعیین شده است. در ادامه از عکس هوایی سال ۱۳۳۵، تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۶ به همراه تصویر ۲۰۱۳ ماهواره اسپات در نرم‌افزار گوگل ارث^۳ برای شناسایی میزان تغییرات در خط ساحلی استفاده

اطلاعات دریایی در زمینه تعیین موقعیت خط ساحلی و روند تغییرات آن فراهم شده است. نعیمی نظام‌آباد و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی با مقایسه بصری و نرم‌افزاری تصاویر ماهواره‌ای سال‌های مختلف علاوه بر مشاهدات میدانی، تغییرات خط ساحلی و لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی منطقه ساحلی عسلویه را بررسی کردند. علاوه بر مطالعه تغییرات خط ساحلی، می‌توان به تحقیقات یمانی (۱۳۷۸)، یمانی و همکاران (۱۳۸۹)، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲، رنجبر و ایرانمنش (۱۳۹۰)، نوحه‌گر و حسین زاده (۱۳۹۰)، رورده و همکاران (۱۳۹۲) و لرستانی (۱۳۹۳) در مورد تأثیر هیدرودینامیک دریا و رودخانه اشاره کرد.

با وجود خطوط ساحلی بیش از ۲۶۰۰ کیلومتری در شمال و جنوب ایران (زمردیان، ۱۳۸۳: ۳۳) و افزایش فعالیت‌های عمرانی و مهندسی در نواحی ساحلی به همراه نبود داده‌های کافی، انجام تحقیقات و مطالعات در مورد خط ساحلی کشورمان امری ضروری به نظر می‌رسد که با انجام این تحقیق و تحقیقات مشابه، زمینه بررسی و پیش‌بینی میزان تغییرات خط ساحلی در آینده فراهم می‌گردد. هدف از این تحقیق، شناسایی میزان تغییرات خط ساحلی در مصب رودخانه‌های هراز، بابل‌رود و تالار و بررسی نحوه مشارکت متغیرهای موثر بر شدت و ضعف تغییرات در سه بازه مذکور بوده است که در این راستا، فرایندهای هیدرودینامیک مرتبط با مصب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

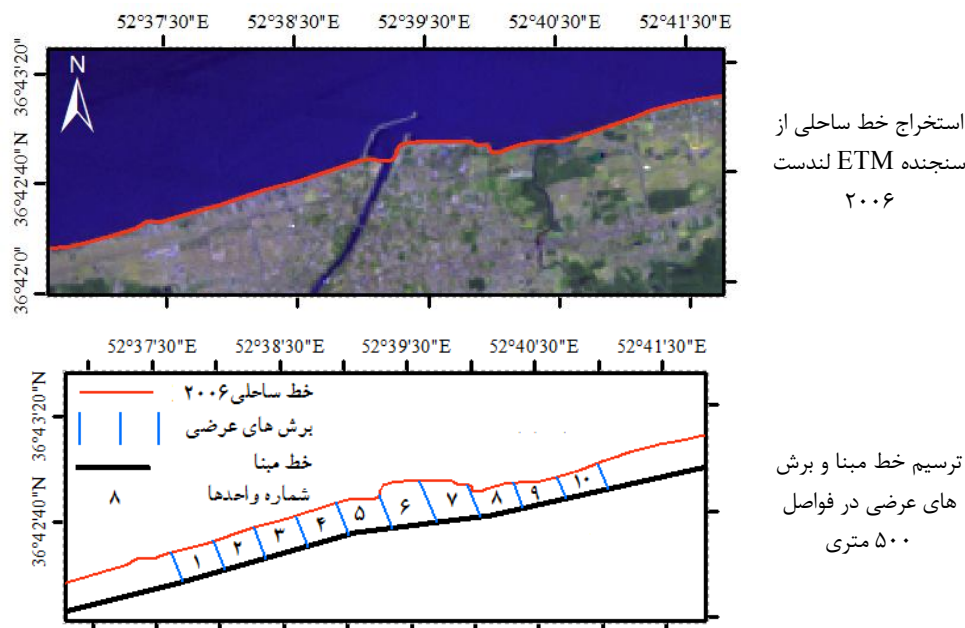
روش تحقیق

اساس این تحقیق بر روش مقایسه تحلیلی متغیرهای موثر بر تغییر دوره‌ای خط ساحلی در مصب رودخانه، استوار می‌باشد که طی آن داده‌های آماری و تصویری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای بررسی امواج از داده‌های ساعتی باد سازمان هواشناسی کشور استفاده گردید. جهت مطالعه وضعیت آینده و برآورد رسوب رودخانه‌ها، آمار دبی و رسوب (ماهانه و سالانه) رودها از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شد. مشخصات امواج، شامل

1. Shore Protection Manual(SPM)
2. Transect
3. Google Earth

نقشه‌ها انجام شد. در نهایت با روی هم اندازی و تلفیق تصاویر و نقشه‌های رقومی شده با مدل نیمرخ‌های متساوی البعد، میزان تغییرات مثبت و منفی خط ساحلی در محدوده مصب رودخانه طی سال‌های مختلف مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل ۱).

می‌شود. به دلیل طول بیش از ۶۰ کیلومتری خط ساحلی و برای انجام هم‌پوشانی تصاویر ماهواره‌ای، موزائیک تصاویر و در ادامه پردازش و بارزسازی تصاویر در نرم‌افزار ENVI انجام پذیرفت. تصاویر باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک پس از پردازش در ENVI به محیط ArcGIS وارد شده و رقومی‌سازی تصاویر و



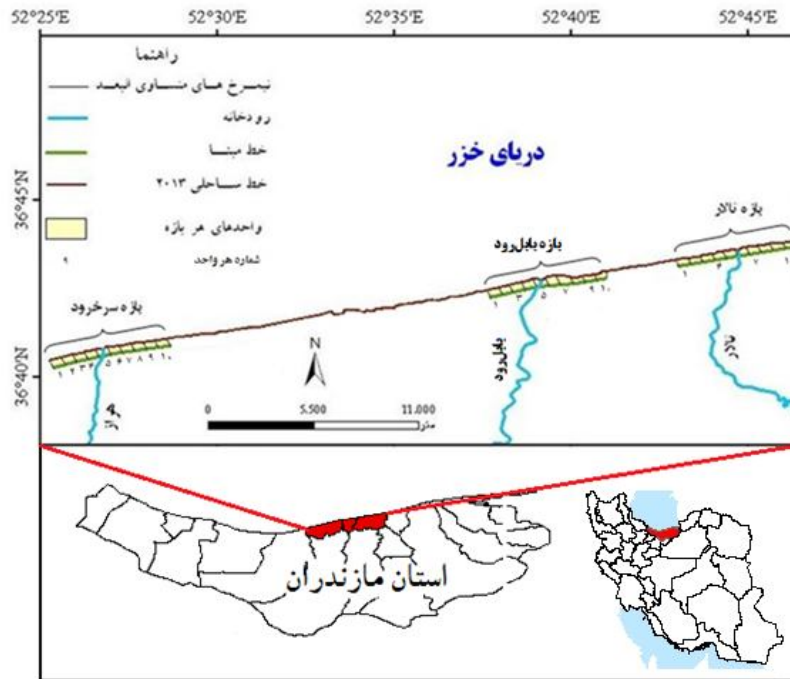
محاسبه مساحت واحدها و طول خط ساحلی در واحدهای ده گانه سال های مورد مطالعه
تحلیل میزان تغییرات مثبت و منفی خطوط ساحلی
شکل ۱: نحوه محاسبه تغییرات خط ساحلی به روش نیمرخ های متساوی البعد

محدوده پژوهش

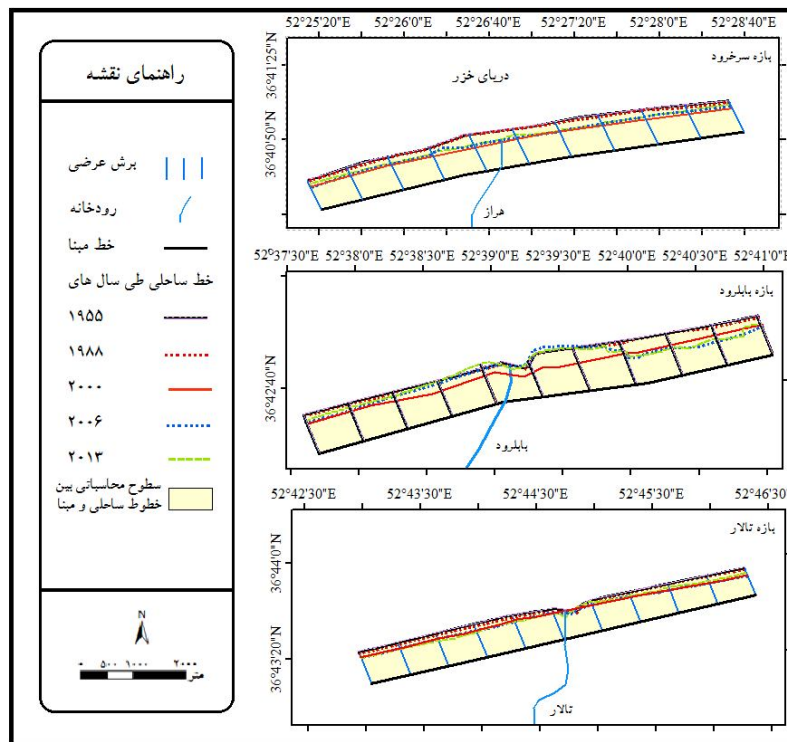
منطقه مورد مطالعه در بخش جنوبی دریای خزر، در مصب رودخانه‌های هراز، بابل‌رود و تالار به صورت نوار باریکی از فریدون‌کنار تا بهنمیر در مختصات جغرافیایی $52^{\circ}25'$ تا $52^{\circ}46'$ طول شرقی و $36^{\circ}40'$ تا $36^{\circ}43'$ عرض شمالی قرار دارد. رودخانه‌های هراز، بابل‌رود و تالار از رشته کوه البرز سرچشمه گرفته و با گذر 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).

یافته‌های تحقیق

رقومی‌سازی عکس هوایی سال ۱۹۵۵ و تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۱۳-۱۹۸۸، با استخراج خطوط ساحلی در مدل نیمرخ های متساوی البعد مابین خط ثابت مبنا و خطوط ساحلی چند زمانه، تغییرات زیادی را در هندسه خط ساحلی و مصب رودخانه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۳).



شکل ۲: منطقه مورد مطالعه و برش‌های متساوی البعد



شکل ۳: نقشه تغییرات خط ساحلی طی سال‌های ۱۹۵۵-۲۰۱۳

۴۵۷۱ متر محاسبه شده است. بالاترین مساحت کل بازه سرخ‌رود به سال ۱۹۵۵ به میزان ۲/۵ کیلومترمربع و کمترین میزان آن به سال ۲۰۰۰

بیشترین طول خط ساحلی بازه سرخ‌رود در سال‌های ۱۹۵۵ و ۱۹۸۸ معادل ۵۰۷۷ متر و کمترین مقدار طول خط ساحلی در سال ۲۰۰۶ به میزان

معادل ۱/۶ کیلومتر مربع بر می‌گردد که نشان‌دهنده تغییر بسیار زیاد خط و پهنه ساحلی در بازه سرخ‌رود است. اما در بازه بابل‌رود، بیشترین طول خط ساحلی به سال ۲۰۰۶ معادل ۵۳۰۲ متر و کمترین میزان طول خط ساحلی به سال ۲۰۰۰ معادل ۵۰۴۹ متر بر می‌گردد. بیشترین مساحت کل بازه بابل‌رود در سال ۱۹۵۵ به میزان ۲/۳ کیلومترمربع و کمترین مقدار آن به سال ۲۰۰۰ به میزان ۱/۸ کیلومترمربع تعلق دارد. در شرقی‌ترین بازه مورد پژوهش (بازه تالار)، بیشینه طول خط ساحلی در سال ۱۹۸۸ به میزان ۵۱۲۶ متر و کمینه در سال ۲۰۰۶ آن معادل ۵۰۳۴ متر می‌باشد. حداکثر مساحت بازه تالار در سال ۲۰۰۶ به

میزان ۲/۲ کیلومتر مربع و حداقل مساحت بازه مذکور در سال ۲۰۰۰ معادل ۱/۸ کیلومترمربع بوده است. نکته قابل ذکر در محاسبه مساحت و طول خط ساحلی سال‌های مورد بررسی آن است که اختلاف بین حداقل و حداکثر مساحت کل در هر سه بازه تالار، بابل‌رود و هراز بسیار کم بوده و به‌طور میانگین ۰/۶ کیلومترمربع می‌باشد. اما تفاوت بیشینه و کمینه طول خط ساحلی بسیار زیاد می‌باشد. به نحوی که دامنه تغییرات در بازه تالار ۹۲ متر، در بازه بابل‌رود ۱۴۱ متر و در بازه سرخ‌رود ۵۰۶ متر را نشان می‌دهد (جدول ۱).

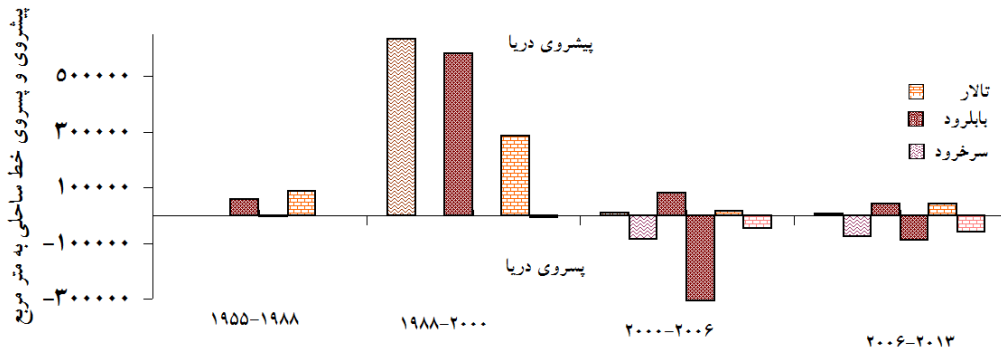
جدول ۱: مساحت و طول خط ساحلی سه بازه مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۱۳-۱۹۵۵

سال	بازه سرخ‌رود		بازه بابل‌رود		بازه تالار	
	طول خط ساحلی	مساحت کل	طول خط ساحلی	مساحت کل	طول خط ساحلی	مساحت کل *
۱۹۵۵	۵۰۷۷	۲۵۷۸۰۳۱	۵۱۶۰	۲۳۱۰۲۲۶	۵۱۱۵	۲۱۲۵۶۸۱
۱۹۸۸	۵۰۷۷	۲۵۱۳۰۰۹	۵۱۹۰	۲۲۵۶۳۴۰	۵۱۲۶	۲۰۳۷۶۳۲
۲۰۰۰	۵۰۶۰	۱۶۷۲۷۳۴	۵۰۴۹	۱۸۴۲۳۲۲	۵۰۵۶	۱۸۳۰۷۵۵
۲۰۰۶	۴۵۷۱	۱۹۲۸۸۱۲	۵۳۰۲	۱۹۲۵۱۳۵	۵۰۳۴	۲۲۰۹۴۱۶
۲۰۱۳	۴۶۱۸	۲۰۲۴۰۱۸	۵۱۵۹	۱۹۶۵۷۸۴	۵۱۰۳	۱۹۸۲۳۳۴

* مبنای محاسبه، سطح زیر منحنی بین خط ساحلی و خط مبنا می‌باشد و واحد آن مترمربع است.

پسروی بازه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین پیشروی دریا به سمت خشکی در بازه سرخ‌رود مربوط به دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۸ به میزان ۶۳۴۸۷۸ مترمربع و بیشترین مساحت پسروی دریا در همین بازه مربوط به دوره ۲۰۰۶-۲۰۰۰ به میزان ۸۶۸۵۷ مترمربع بوده است. در بازه بابل‌رود بیشترین پیشروی دریا به دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۸ معادل ۵۸۱۵۸۵ مترمربع و بیشترین پسروی به دوره ۲۰۰۶-۲۰۰۰ معادل ۳۰۷۳۰۶ مترمربع اختصاص دارد. در بازه تالار نیز بیشترین پیشروی مربوط به دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۸ به میزان ۵۸۱۵۸۵ و بالاترین پسروی مربوط به دوره ۲۰۱۳-۲۰۰۶ به میزان ۵۹۹۰۵ مترمربع می‌باشد (شکل ۴).

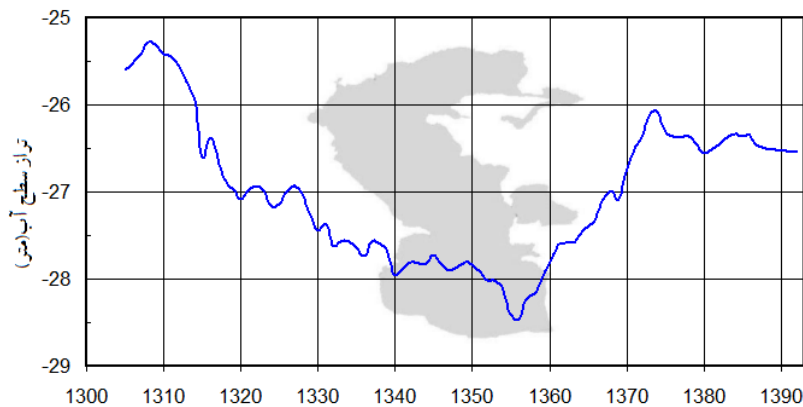
با اندازه‌گیری میدانی، محاسبه شیب متوسط پهنه ساحلی در واحد یک بازه سرخ‌رود به سمت واحد ده بازه تالار (۰/۱۵ درصد تا ۰/۱ درصد)، نشان‌دهنده کاهش تدریجی شیب متوسط بازه‌های مطالعاتی در جهت غرب به شرق است. کاهش شیب منطقه از سرخ‌رود به سمت تالار نیز عاملی تأثیرگذار در افزایش مساحت پیشروی و پسروی‌های محدوده مورد مطالعه به سمت شرق می‌باشد. علاوه بر میزان شیب بازه‌ها، به دلیل تغییرات کاربری صورت گرفته در داخل و خارج از حریم ۶۰ متری دریای خزر، از سال ۱۹۵۵ تاکنون، روند افزایش مقادیر پیشروی و پسروی به سمت شرق از الگوی خطی مستقیم تبعیت نکرده است. بررسی میزان پیشروی و



شکل ۴: پیشروی و پسروی خط ساحلی در بازه‌های سه گانه (۱۹۵۵-۲۰۱۳)

افزایش نشان می‌دهد (مرکز مطالعات و تحقیقات منابع آب دریای خزر، ۱۳۷۹). با توجه به محاسبات انجام‌شده در مدل نیم‌رخ‌های متساوی البعد، بیش‌ترین پیشروی دریا و آب‌گرفتگی سواحل در سال‌های ۱۹۸۸-۲۰۰۰ با روند افزایش تراز آب دریا به ثبت رسیده است. از سال ۱۹۹۵ (۱۳۷۴) با کاهش تراز آب دریا، روند نزولی و پسروی دریا آغاز می‌شود که این روند نزولی تاکنون نیز ادامه دارد و با کاهش ارتفاع متوسط ۵ سانتی‌متری، در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ به ترتیب معادل ۲۶/۴۷- و ۲۶/۵۶- متر رسیده است (شکل ۵).

پیشروی و پسروی خط ساحلی با روند صعودی و نزولی سطح آب دریای خزر ارتباط نزدیکی نشان می‌دهد. با تداوم روند نزولی بین سال‌های ۱۹۲۹ تا ۱۹۷۷ (۱۳۵۶-۱۳۰۸) سطح تراز آب دریا از ۲۵/۳۰- به ۲۸/۶۴- در سال ۱۳۵۶ رسیده است (خوش‌رفتار، ۱۳۸۴). پسروی دریا و افزایش مساحت خشکی در سال ۱۹۵۵ نیز به دلیل همین روند نزولی آب دریا بوده است (شکل ۲). از سال ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۵ (۱۳۵۷ تا ۱۳۷۴) روند صعودی و افزایش سطح آب نمایان می‌شود به نحوی که تراز آب دریا از ۲۸/۶۴- در سال ۱۳۵۶ به ۲۶/۰۸- در سال ۱۳۷۴ افزایش می‌یابد و طی این ۱۸ سال ۲/۳۰ متر ارتفاع سطح آب دریا،



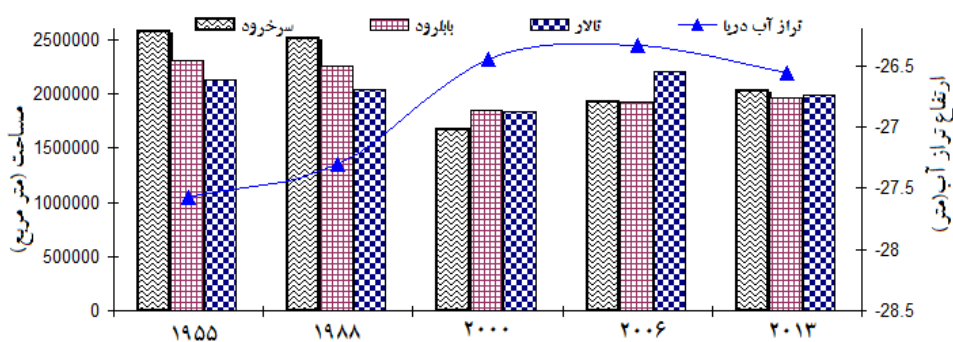
شکل ۵: نوسان سطح آب دریای خزر در ایستگاه ترازسنجی انزلی، طی سال‌های ۱۳۰۸-۱۳۹۲.

تصویری بر اساس پیشروی و پسروی آب دریا می‌تواند بسیاری از تغییرات خطوط ساحلی گذشته را توجیه نماید. نگاهی به آمار نوسان سالانه تراز آب دریای خزر نشان می‌دهد که در بازه‌های مورد مطالعه، پیشروی و

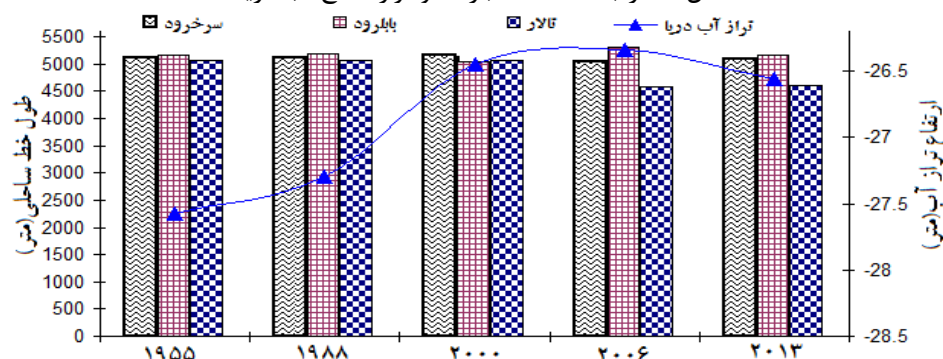
مساحت سطوح بین خطوط ساحلی نشان می‌دهد که بیشترین پسروی دریا و افزایش مساحت منطقه ساحلی در دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۶ با ادامه روند نزولی تراز آب دریا به ثبت رسیده است. تجزیه و تحلیل داده‌های

(شکل ۶). اما بررسی بیشترین و کمترین میزان طول خط ساحلی در سه بازه مذکور، توزیع سالانه مشابهی را نشان نمی‌دهد. این مورد بیانگر دخالت متغیرهای متنوع بر تغییرات خط و پهنه ساحلی می‌باشد. به عبارتی مساحت بازه‌ها به طور مستقیم وابسته به نوسان آب دریا است اما تغییرات طول خط ساحلی در سه بازه مذکور بر دخالت متغیرهای تعیین‌کننده دیگری دلالت دارد (شکل ۷).

پسروی صرفاً تحت تأثیر نوسان آب دریا بوده است به نحوی که دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۰ بیشترین پیشروی و دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۶ بیشترین پسروی خط ساحلی را شاهد بوده‌ایم. در هر سه بازه مورد مطالعه بیشترین مساحت بازه‌ها مربوط به سال ۱۹۵۵ (دوره نزولی سطح آب) و کمترین آن به سال ۲۰۰۰ (روند افزایشی تراز آب دریا) است که دخالت عامل تراز آب دریا را بر تغییر مساحت سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد



شکل ۶: ارتباط مساحت بازه‌ها و تراز سطح آب دریا

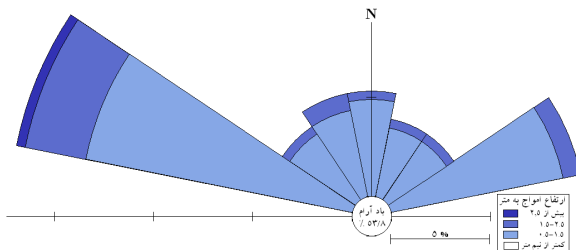


شکل ۷: ارتباط طول خط ساحلی و تراز سطح آب دریا

سرعت ۶/۳ نات از این سمت می‌وزد. جهت باد غالب در ماههای اردیبهشت و خرداد، شمال غربی بوده که با میانگین سرعت ۵/۶ نات می‌وزد. تنها در بهمن‌ماه جهت باد غالب، شمال شرقی است که با سرعتی حدود ۵/۷ نات گزارش شده است (شکل ۸). با توجه به داده‌های باد و تصحیح داده‌های آن با استفاده از ضرایب آئین نامه حفاظت سواحل (SPM)، پیش‌بینی امواج ناشی از باد صورت گرفته و در نهایت گل موج‌های امواج ناشی از باد در ایستگاه بابلسر ترسیم شده‌اند. وقوع امواج ناشی از باد در آب‌های کم‌عمق با

با توجه به فاصله ۶۰ کیلومتری طول خط ساحلی از بازه سرخرو تا تالار و یکسان بودن راستای امواج در هر سه بازه، تمایز میزان ارتباط تغییرات خط ساحلی در سه بازه به‌طور جداگانه با دینامیک امواج محرز نمی‌باشد. از طرفی نمی‌توان نقش نوسان آب دریا و دینامیک امواج را در میزان تغییرات زیاد خط ساحلی طی سال‌های ۱۹۵۵-۲۰۱۳ نادیده گرفت. لذا برای مطالعه امواج ناشی از باد، آمار باد ۵۵ ساله ایستگاه سینوپتیک بابلسر (۱۹۵۱-۲۰۰۶) مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس داده‌های مذکور باد غالب منطقه غربی است که طی مدت ۸ ماه از سال با میانگین

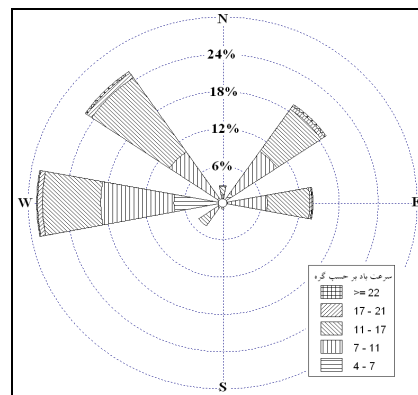
ارتفاع امواج از این راستا به ۲/۵ متر می‌رسد و فراوانی امواج ثبت‌شده از جهت شمال شرق به میزان ۹/۶ درصد می‌باشد (شکل ۹). بررسی نیمرخ‌های متساوی البعد ترسیم‌شده در واحدهای ده گانه بازه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد که نوسان تغییرات در طول خط ساحلی و همچنین مساحت واحدها عمدتاً در قسمت‌های میانی بازه‌ها و به سمت شرق بیشتر از غرب مصب رودخانه‌ای بوده است که با راستای غالب امواج از جهت شمال غرب و رانش جانبی رسوب به سمت شرق همخوانی دارد.



شکل ۹: گل‌موج‌های سالانه بابلسر براساس ارتفاع و جهت امواج باد (۱۹۵۱ تا ۲۰۰۶)

رسوب سالانه در کل سه بازه را نشان می‌دهد. متوسط دبی ماهانه در ایستگاه کیاکلا از رودخانه تالار با آبدهی ۹/۱ مترمکعب بر ثانیه و میانگین رسوب‌دهی سالانه، ۳۵۲۳۶۸ هزار تن در سال و میانگین رسوب اندازه‌گیری شده در سه مقطع عرضی معادل ۱۶۹۸ میلی‌گرم در لیتر، از نظر میزان دبی و رسوب ورودی به دریا در رتبه دوم اهمیت قرار دارد. کمترین میزان دبی و رسوب، به بازه سرخ‌رود رودخانه هراز با متوسط دبی ماهانه ۶/۷ مترمکعب بر ثانیه و میانگین رسوب‌دهی سالانه ۴۳۶۴۲ هزار تن در سال و میانگین رسوب در سه مقطع عرضی اندازه‌گیری شده به میزان ۵۲۲ میلی‌گرم در لیتر اختصاص دارد.

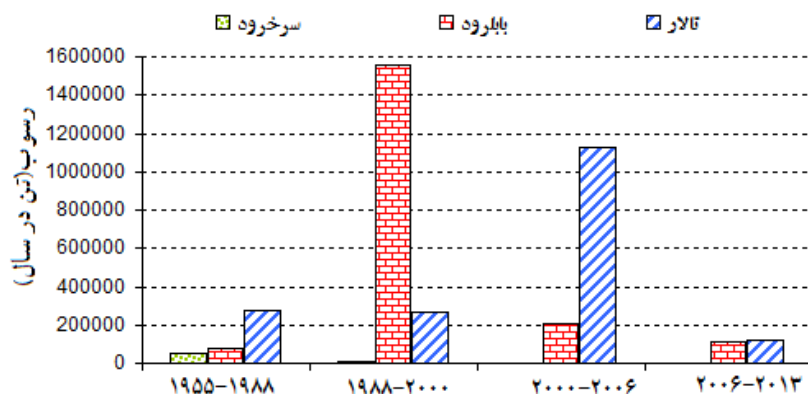
ارتفاع ۰ تا بیش از ۲/۵ متر، فراوانی وقوع ۴۶/۲ درصدی را نشان می‌دهد. در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۵۱، میزان وقوع امواج آرام ۵۳/۸ درصد می‌باشد. بیشترین فراوانی امواج در آب‌های کم‌عمق به ترتیب اهمیت، از راستای شمال غرب و شمال شرق می‌باشد. جهت غالب امواج ناشی از باد از ربع شمال غرب ۱۷/۲ درصد فراوانی امواج را به عهده دارد و تنها در این راستا، ارتفاع امواج به بیش از ۲/۵ متر می‌رسد. پس از این راستا، بیش‌ترین امواج از قطاع شمال شرق به سمت خطوط ساحلی گزارش شده است. حداکثر



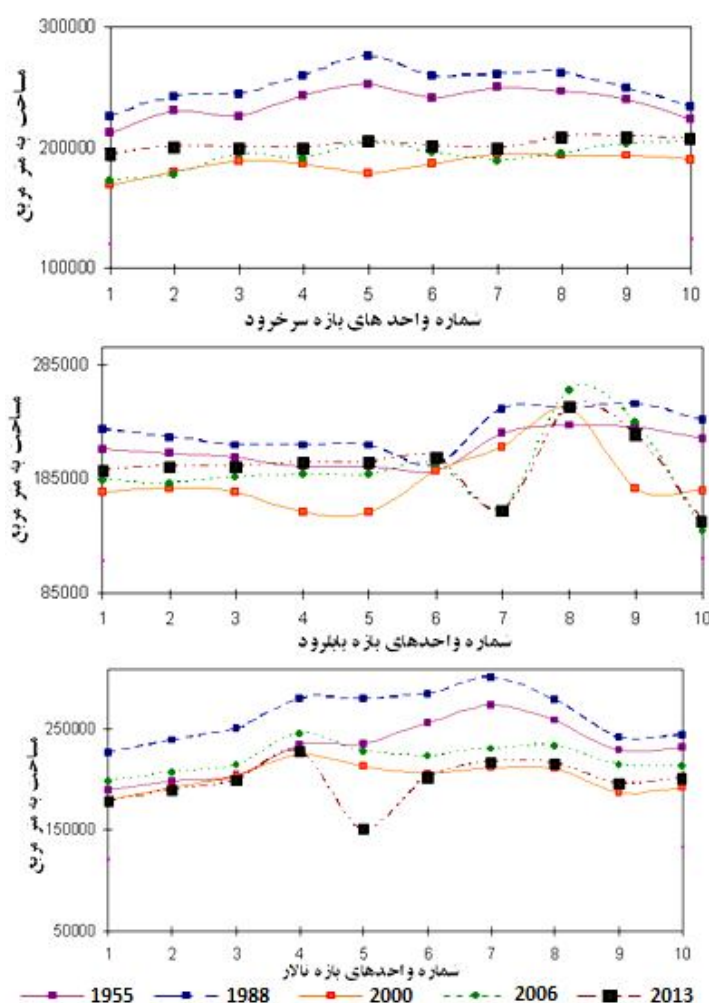
شکل ۸: گل‌باد سالانه ایستگاه سینوپتیک بابلسر بر حسب نات (سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۶)

علاوه بر متغیرهای مذکور که از جانب دریا، در تغییر خط ساحلی مشارکت دارند، بررسی دبی و آورد رسوب ایستگاههای سرخ‌رود، میاندشت و کیاکلا که نزدیک‌ترین ایستگاه به مصب رودخانه‌های هراز، بابل‌رود و تالار هستند، می‌تواند نقش رودخانه‌ها را در میزان تغییرات خط ساحلی تبیین نماید. در بین بازه‌های مطالعاتی، بیش‌ترین دبی و رسوب خروجی ثبت‌شده به ترتیب به بازه بابل‌رود و تالار تعلق دارد. متوسط دبی ماهانه در ایستگاه میاندشت بابل‌رود ۱۴/۸ مترمکعب بر ثانیه با رسوب‌دهی سالانه ۴۹۳۳۱۲ هزار تن در سال و میانگین رسوب اندازه‌گیری شده در سه مقطع عرضی (CM) ^۱ به میزان ۱۲۷۳ میلی‌گرم در لیتر، بیش‌ترین دبی و

۱- CM = غلظت متوسط در مقطع اندازه‌گیری (بر حسب میلی‌گرم در لیتر)



شکل ۱۰: نمودار میزان رسوب ایستگاه‌های رسوب سنجی طی سال‌های ۱۹۵۵-۲۰۱۳



شکل ۱۱: تغییرات مساحت در واحدهای ده‌گانه بازه‌های رودخانه‌ای سرخ‌رود، بابل‌رود و تالار

دوره‌های مذکور عامل اصلی خشکی‌زایی و افزایش مساحت واحدها بوده است؛ اما نکته قابل توجه، ارتباط بین نوسان تراز آب دریا و درصد تغییرات سطح خشکی می‌باشد که طی دوره‌های کاهش تراز آب دریا

بررسی واحدهای ده‌گانه بازه‌های مطالعاتی در نیمرخ‌های هم‌اندازه ترسیمی، از افزایش سطح خشکی در بین دوره‌های ۲۰۰۰-۲۰۰۶ و ۲۰۱۳-۲۰۰۷ حکایت دارد. کاهش سطح آب دریا طی

افزایش مساحت واحدهای شرق مصب نسبت به همتای غربی آن را به دنبال دارد.

نتیجه‌گیری

نوسان تراز آب دریای خزر عاملی مهم در تغییرات خط ساحلی دریای خزر می‌باشد که در کنار آن نباید از نقش رودخانه و تدارک رسوب خروجی به دریا غافل ماند. در هر سه بازه مورد مطالعه بیش‌ترین مساحت به سال ۱۹۵۵ همزمان با روند نزولی تراز سطح آب دریای خزر و کمترین مساحت آن به سال ۲۰۰۰ با روند صعودی تراز آب دریا اختصاص دارد که حاکی از دخالت عامل تراز آب دریا بر تغییر مساحت بازه‌های مطالعاتی می‌باشد (شکل ۶). تجزیه و تحلیل نیمرخ‌های ترسیمی بر تغییرات ناهمگون در طول بازه‌ها به ویژه در واحدهای میانی بازه‌ها، در مصب رودخانه و اطراف آن دلالت دارد. وجود حداکثر تغییر در محدوده اطراف مصب رودخانه‌های تالار، بابل‌رود و هراز در کنار نقش کلیدی نوسان آب دریا، بر ایفای نقش مؤثر آورد رسوب خروجی رودخانه‌ها به دریای خزر تاکید دارد. همان گونه که در شکل ۱۲ مشخص است تغییرات مصب رودخانه هراز، به گونه‌ای است که زیانه ماسه‌ای ایجاد شده در کرانه چپ مصب رودخانه مذکور (تصویر سال ۱۳۸۹) به دلیل نوسان تراز آب دریا، تغییرات آورد رسوب رودخانه و فرسایش توسط امواج با تصویر سال ۱۳۹۲، تفاوت زیادی را نشان می‌دهد؛ به نحوی که قسمت اعظم زیانه ماسه‌ای مذکور در سال ۱۳۹۲، از بین رفته است.

به شکل مشابهی منجر به افزایش مساحت بازه‌ها نشده است. به عبارت دیگر، علاوه بر نوسان آب دریا، می‌توان نقشی برای تدارک رسوب رودخانه به دریا در روند افزایش مساحت بازه‌ها در نظر گرفت. آهنگ ناموزون در درصد تغییرات مساحت بازه‌ها طی دوره‌های مختلف، علاوه بر قائل بودن نقش اصلی برای نوسان سطح آب دریا در ایجاد تغییرات مثبت و منفی، گویای تأثیر عامل رسوب خروجی رودخانه‌ها به دریا می‌باشد. بررسی نیمرخ‌های متساوی البعد چندزمانه نشان می‌دهد که حداکثر این تغییرات در واحدهای میانی است. همچنین در واحدهای شرق کرانه مصب رودخانه نسبت به قرینه غربی شاهد تغییرات بیشتری هستیم. این تغییرات عمدتاً به صورت افزایش مساحت واحدهای شرق کرانه مصب رودخانه‌ها در واحدهای ۶ تا ۱۰ بازه‌های سرخ‌رود، بابل‌رود و تالار بروز می‌کند که با راستای غالب امواج از جهت شمال غرب و رانش جانبی رسوب به سمت شرق در امتداد خط ساحلی همخوانی دارد (شکل ۱۱). امواج برآمده از باد به همراه امواج بلند دوراً در مناطق کم عمق نزدیک به خط ساحلی با راستای شمال غرب و شمال شرق به رانش جانبی رسوب غرب به شرق و بالعکس منجر می‌شوند که به دلیل ارتفاع و فراوانی بیشتر امواج از جانب شمال غرب (شکل ۹)، با ایجاد جریان کرانه راستای غرب به شرق در نهایت به رانش عمومی رسوب به سمت شرق منجر شده و همین مورد



شکل ۱۲: تغییرات مصب رودخانه هراز در فریدون‌کنار بر اساس مشاهدات میدانی سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۲

منابع

۱. آزر م، ساء، سیدعلی و فرهاد رزمخواه. ۱۳۸۹. پیش‌بینی موقعیت و نحوه تغییرات خط ساحلی در خلیج پزم، مجله فیزیک و زمین و فضا، دوره ۳۶، ۱۳۸۹، شماره ۴، صص ۸۹-۹۸.
۲. باقری، حسین. سعید خدابخش. محمدرضا غریب‌رضا و حسن محسنی. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات خطوط ساحلی ناحیه کیاشهر-دستک (جنوب غربی دریای خزر) در بازه زمانی ۱۳۴۶ تا ۱۳۷۲ با استفاده از GIS. دومین همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیط زیست. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر. ۷ خرداد ۱۳۸۵.
۳. خوش‌رفتار، رضا. ۱۳۸۴. تکامل ژئومورفولوژیکی دلتای سفیدرود، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
۴. رنجبر، محسن و فاضل ایرانمنش. ۱۳۹۰. مورفودینامیک ساحلی و تغییرات دوره‌ای شمال دریای عمان (تالاب‌های جزر و مدی سواحل شرقی تنگه هرمز). مجله جغرافیا، فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال نهم، شماره ۳۱، صفحات ۲۵۴-۲۳۵.
۵. رورده، همت اله. قاسم لریستانی. فاطمه اعتمادی و ساره ولیخانی. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی دینامیک امواج و انتقال ماسه در سواحل دریای خزر (محدوده خلیج گرگان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۲. صفحات ۱۸-۱.
۶. زمردیان، محمد جعفر. ۱۳۸۳. ژئومورفولوژی ایران فرایندهای ساختمانی و دینامیک‌های بیرونی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، جلد اول، چاپ دوم، تابستان ۱۳۸۳. ۲۸۱ صفحه.
۷. سردشتی، ماهرخ و عزت اله قنوازی. ۱۳۸۴. آشکارسازی تغییرات دلتای سفیدرود با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و منطق فازی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور RS&GIS. ششمین همایش علوم و فنون دریایی. تهران- مرکز علوم جوی و اقیانوسی. اسفند ماه ۱۳۸۴.
۸. لریستانی، قاسم. ۱۳۹۳. تأثیر هیدرودینامیک دریای خزر بر سازه‌های دریایی (مطالعه‌موردی: اسکله صیادی کیاشهر)، اولین همایش علوم جغرافیایی ایران ۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۳.
۹. محمدی، علی. کرامت‌نژاد افضلی و شیده شیدینیا. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات خط ساحلی خلیج پزم در نتیجه مهاجرت خورهای پزم و گیتو، هفتمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، ۸-۶ آذرماه ۱۳۸۵، سازمان بنادر و کشتیرانی، تهران.
۱۰. مرکز مطالعات و تحقیقات منابع آب دریای خزر. ۱۳۷۹. منطقه خزر در قرن بیستم، گزیده مقالات مجله وستینگ، چاپ مسکو.
۱۱. نعیمی نظام‌آباد، علی. منیژه قهرودی تالی و محمدرضا ثروتی. ۱۳۸۹. پایش تغییرات خط ساحلی و لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی خلیج فارس با استفاده از تکنیک سنجش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه ساحلی عسلویه)، فضای جغرافیایی، تابستان ۱۳۸۹، دوره ۱۰، شماره ۳۰. صفحات ۶۱-۴۵.
۱۲. نوحه‌گر، احمد و محمدمهدی حسین‌زاده. ۱۳۹۰. دینامیک دریا و عوامل موثر بر نوسانات تراز دریا در تحول قاعده دلتاهای شمال تنگه هرمز، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، پائیز ۱۳۹۰. شماره پیاپی ۴۳، شماره ۳، صفحات ۱۴۲-۱۲۵.
۱۳. یمانی، مجتبی. ۱۳۷۸. اثر حرکات آب دریای عمان در تشکیل و تکامل تالاب‌های جزر و مدی، پژوهش‌های جغرافیایی، تهران موسسه جغرافیا. اسفند ۱۳۷۸، سال ۳۱، شماره ۳۷، صفحات ۳۴-۱۹.
۱۴. یمانی، مجتبی. قاسم لریستانی و سمیه عمادالدین. ۱۳۸۹. ارتباط دینامیک امواج و جهات توزیع ماسه در کرانه دریای خزر (محدوده رودخانه‌های بابل‌رود و هراز)، پژوهش‌های دانش زمین، زمستان ۱۳۸۹، ۱(۴): صفحات ۸۲-۶۵.
۱۵. یمانی، مجتبی. سمیه عمادالدین و قاسم لریستانی. ۱۳۹۱. فرایندهای مورفودینامیک ساحلی و نقش آن در تحول سدهای ساحلی دلتای رود جگین، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال اول شماره ۱ تابستان ۱۳۹۱. صفحات ۶۹-۸۱.
۱۶. یمانی، مجتبی. ابراهیم مقیمی. احمد معتمد. منصور جعفربیگلو و قاسم لریستانی. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات سریع خط ساحلی به روش تحلیل نیمرخ‌های متساوی البعد، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۵، شماره ۲، صفحات ۲۰-۱.

22. Makota, V., Sallema, R., and Mahika, Ch., 2004. Monitoring Shoreline Change using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Kunduchi Area, Tanzania. *Western Indian Ocean Journal. Mar. Sci.* 3(1):. 1-10.
23. McBride, Randolph A., Penland, Shea, Hiland, Matteson W., Williams, S., Jeffress, Westphal, Karen A., Jaffe, Bruce E., Sallenger, Jr., and Asbury, H. 1853. Analysis of barrier shoreline change in Louisiana from 1853 to 1989. *Atlas of shoreline changes in Louisiana from*, 36-97.
24. Thi Van, T., and Thi Binh, T. 2008, Shoreline change detection to serve sustainable management of coastal zone in CUU long estuary. *International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences.*
25. Thieler, E.R.; Rodriguez, R.W., and Carlo, M. 1995. Beach erosion and coastal development at Rinco'n, Puerto Rico. *Shore and Beach*, 63(4): 18-28.
26. US Army Corps of Engineers. 1984. *Shore Protection Manual (SPM). Coastal Engineering Research Center, Waterway Experiment Station,*
17. Albuquerque, M., Espinoza, J., Teixeira, P., Oliveira, A., Corrêa, I. and Calliari, L. 2013. Erosion or Coastal Variability: An Evaluation of the DSAS and the Change Polygon Methods for the Determination of Erosive Processes on Sandy Beaches. *Journal of Coastal Research, Special Issue.* 65.
18. Blodget, H.W. Taylor, P.T. and Roark, J.H. 1991. Shoreline changes along the Rosetta-Nile promontory: monitoring with satellite observations. *Marine Geology*, 99(1): 67-77.
19. Chen, L.C. 1998. Detection of shoreline changes for tideland areas using multi-temporal satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 19(17): 3383-3397.
20. Cowart, L., Corbett, D.R., and Walsh, J.P. 2011. Shoreline change along, *Remote Sensing*, 3(7): 1516-1534.
21. Genz, A.S., Fletcher, C., Dunn, Robert A., Frazer, L.N., and Rooney, J. 2007. The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, 87-105.

