



Analysis of changes in the coastline of the western shore of the Caspian Sea within the framework of coastal cells (Talesh to Anzali)

Shahnaz Alizadeh¹ | Mojtaba Yamani^{2*} | Mohammadreza Sarvati³ | Manijeh Ghahroudi Tali⁴

1. Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: sh.alizadeh66@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: myamani@ut.ac.ir
3. Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: rezasarvati@yahoo.com
4. Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: M-ghahroudi@sbu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received March 18, 2022
Revised June 10, 2022
Accepted June 16, 2023
Published online 13 August 2023

Keywords:
Coastal Sustainability,
Coastal Cell,
The west bank of the Caspian Sea,
DSAS.

ABSTRACT

Neglecting coastal erosion and its changes can lead to environmental hazards, which are among the main factors affecting human communities and facilities. Paleontological research demonstrates tens of meters of fluctuation in the water level of the Caspian Sea. The shores of the Caspian Sea have variable topography and land use, including lowlands (estuaries of rivers, gulfs, and progradation) and sandy uplands. In lowlands, there is a slight slope that causes flooding of lands when the sea level rises, as well as an increased piezometric level of coastal aquifers. This study investigates changes in the coastal line from Talesh to Anzali over a period of 45 years using spatiotemporal analysis in the form of coastal cells. For this purpose, ArcGIS software was used to extract the coastal lines of 1975, 1997, and 2020. Then, using DSAS software, the amount of changes in the coastline was determined. The research results showed that changes in the coastal line in the study area were entirely influenced by the fluctuations of the Caspian Sea level, with 77% of the coastal line experiencing more than 30 meters of retreat. Human activities have somewhat prevented the instability of the coastline due to changes in the water level of the Caspian Sea.

Cite this article: Maleki, S., Firoozi, M. A. & Jafari, Y. (2023). Spatial analysis of activity accumulation and distribution patterns in the urban network of Khuzestan province. *Town and Country Planning*.15 (1), 201-220. Doi: 10.22059/jtcp.2023.359377.670394



© Shahnaz Alizadeh, Mojtaba Yamani, Mohammadreza Sarvati, Manijeh Ghahroudi Tali
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2023.359377.670394>



تحلیل تغییرات خط ساحلی کرانه غربی دریای خزر در قالب سلول‌های ساحلی (تالش تا انزلی)

شهناز علی‌زاده^۱ | مجتبی یمانی^{۲*} | محمدرضا ثروتی^۳ | منیژه قهرودی تالی^۴۱. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، رایانامه: sh.alizadeh66@gmail.com۲. نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: myamani@ut.ac.ir۳. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، رایانامه: rezasarvati@yahoo.com۴. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، رایانامه: M-ghahroudi@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۵/۲۲

کلیدواژه:

پایداری ساحلی،

سلول ساحلی،

کرانه غربی خزر،

DSAS

پژوهش‌های دیرینه‌شناسی مؤید افت‌وخیز تراز آبی دریای خزر در قالب ارقام متفاوت تا چندده متر است. سواحل دریای خزر دارای توپوگرافی و کاربری اراضی متفاوت از جمله اراضی پست مرتبط با مصب رودخانه‌ها، خورها، یا پیشرفتگی‌های آب دریا در خشکی و سواحل نسبتاً بلندتر ماسه‌ای و شنی است. عموماً شیب پس‌کرانه بسیار اندک است. این عوامل شرایط مساعدی را برای غرقاب شدن زمین‌ها در زمان افزایش سطح تراز آب دریا یا بالا آمدن سطح پیژومتری آبخوان‌های ساحلی فراهم می‌کند. در این پژوهش با استفاده از تحلیل زمانی- مکانی به بررسی تغییرات خطوط ساحلی تالش تا انزلی در طول ۴۵ سال در قالب سلول‌های ساحلی پرداخته شده است. برای این منظور با استفاده از نرم‌افزارهای Arc GIS خطوط ساحلی سال‌های ۱۹۷۵ و ۱۹۹۷ و ۲۰۲۰ و سپس با استفاده از نرم‌افزار DSAS میزان تغییرات خط ساحلی استخراج شدند. نتیجه پژوهش حاکی از آن است که تغییرات خط ساحلی در محدوده تحت بررسی کاملاً تحت تأثیر تغییرات سطح آب دریای خزر قرار داشته است؛ طوری که ۷۷ درصد از خط ساحلی دچار پس‌روی بیش از ۳۰ متر شده است. در این میان فعالیت‌های انسانی نیز تا حدودی مانع ناپایداری خط ساحلی در اثر تغییرات سطح آب دریای خزر شده است.

استناد: علی‌زاده، شهناز؛ یمانی، مجتبی؛ ثروتی، محمدرضا و قهرودی تالی، منیژه. (۱۴۰۲). تحلیل تغییرات خط ساحلی کرانه غربی دریای خزر در قالب سلول‌های ساحلی (تالش تا انزلی). *آمایش سرزمین*، ۲۲(۱) ۲۰-۲۲.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2023.359377.670394>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© شهناز علی‌زاده، مجتبی یمانی، محمدرضا ثروتی، منیژه قهرودی تالی

DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2023.359377.670394>

مقدمه و بیان مسئله

مناطق ساحلی از پویاترین محیط‌های کره زمین به شمار می‌روند که در آن فرایندهای خشکی و دریایی با هم در تالاقی هستند. سواحل ماسه‌ای زمانی فرسایش می‌یابند که مقدار مواد رسوبی از بین رفته در امتداد ساحل بیش از مقداری باشد که از کرانه دور و زمین‌های پشت ساحل^۱ وارد می‌شوند. هنگامی که حجم مواد ساحلی کاهش می‌یابد، سطح ساحل پایین می‌رود و عقب‌نشینی می‌کند و نیم‌رخ محدب سواحل دارای پیش‌روی جای خود را به نیم‌رخ مقعر می‌دهند. بخش‌های نسبتاً کمی از سواحل کره زمین به طور طبیعی در حال پیش‌روی هستند؛ در حالی که سواحل ماسه‌ای در حال پس‌روی بسیار فراوان‌اند. بین سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۸۴، کمیسیون محیط‌های ساحلی (انجمن بین‌المللی جغرافیا) شواهد تغییر سواحل در سراسر کره زمین، طی قرن جاری، را جمع‌آوری کرد و به این نتیجه رسید که فرسایش ساحلی بسیار گسترده شده است؛ بیش از ۷۰ درصد نواحی ساحلی که دارای ساحل ماسه‌ای بوده‌اند طی این دوره پس‌روی و کمتر از ۱۰ درصد سواحل پیش‌روی کرده‌اند. مابقی یا پایدار بوده‌اند یا دارای نوساناتی بدون هیچ‌گونه کسب و دفع رسوبی (یمانی و محمدنژاد، ۱۳۹۲). تهیه نقشه خطوط ساحلی و تعیین تغییرات آن‌ها جهت ناوبری ایمن، مدیریت منابع، حفاظت محیط زیست، برنامه‌ریزی، و توسعه پایدار ساحلی ضروری است (Ruijing, 2004). تغییرات سریع خطوط ساحلی مسائل مخاطره‌آمیز اجتماعی و اقتصادی را برای جوامع استقرار یافته در کنار دریا ایجاد می‌کنند. طرح‌ریزی کاربری‌های متنوع و راهبرد حفاظتی جهت کاهش از دست رفتن پتانسیل‌های منطقه ضروری است و این امر نیاز به درک پویایی‌های خط ساحلی منطقه دارد (Blodget, 1991; Chu, 2006). ژئومورفولوژی ساحلی یکی از مهم‌ترین روش‌های تحلیل فرایندهای موجود در ساحل است. زیرا این روش دارای مقیاس مکانی و زمانی وسیع‌تری نسبت به سایر روش‌هاست. از این رو استفاده از این روش یک دید وسیع و کلی‌نگری به مدیران ساحلی نسبت به فرایندهای گذشته، مسائل موجود، و روند تغییرات آتی می‌دهد (Whitehouse, 2009). فرایند فرسایش و خشکی‌زایی بر زندگی جوامع انسانی، اراضی زراعی، و منابع طبیعی واقع در منطقه ساحلی تأثیر می‌گذارد (Jayson, 2013). بی‌توجهی به فرسایش ساحلی موجب مخاطرات محیطی می‌شود که از عوامل اصلی تأثیرگذار بر جوامع انسانی و تأسیسات است. مطالعات متعددی در زمینه فرسایش و تغییرات خطوط ساحلی صورت گرفته است که در ادامه به مواردی اشاره می‌شود. بومینو و همکارانش (۲۰۲۲) به بررسی تغییر خط ساحلی و فرسایش ساحلی و نقش سدهای کنترلی در منطقه کالابریا^۲ در جنوب ایتالیا پرداختند که با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بحثی را در مورد فرصت تبدیل یا تخریب سدهای چک در نزدیک‌ترین نقطه‌های سیلابی به ساحل ترویج داد. اوی و همکارانش (۲۰۲۲) به برآورد فرسایش ساحلی با استفاده از تحلیل مدل‌های مورفولوژیکی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که احتمال مشترک با سناریوی ارتفاع موج بالا و موج کم فرسایش بیشتری نسبت به سایر سناریوها در جهت ثابت ایجاد می‌کند. کلیر و همکارانش (۲۰۲۲) به ارزیابی خطر فرسایش و سیل در مناطق ساحلی با استفاده از روش‌های چندسطحی مونت کارلو پرداختند. سید المهدی و همکارانش (۲۰۲۲) به ارزیابی خطر فرسایش ساحلی و اقدامات کاهش‌ی اعمال شده در روستای ازبت البورگ^۳ در دلتای مصر پرداختند. هدف اصلی این مطالعه یافتن راه‌حل مناسب برای حفاظت از سواحل و بررسی تأثیر آن بر خط ساحلی در سی سال آینده است. اقدام کاهش‌ی پیشنهادی فرسایش ساحلی منطقه مورد مطالعه را به شدت به حداقل رساند. کویرز و همکارانش (۲۰۲۲) با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر ماهواره جهانی به ارزیابی آسیب‌پذیری ساحلی برای مدیریت فرسایش در منطقه‌ای از شمال شرق برزیل پرداختند. برای این منظور از مجموعه داده‌های محیطی مانند عوامل بیوفیزیکی و اجتماعی استفاده شد و نتایج نشان داد بین مناطق دارای شهرنشینی بالا و پوشش گیاهی کم با میزان آسیب‌پذیری بالای سواحل در برابر فرسایش رابطه مستقیم وجود دارد. کای و همکارانش (۲۰۲۲) به بررسی گسترش آسیب‌پذیری فرسایش ساحلی در سرزمین اصلی چین به دلیل تغییرات فعالیت‌های انسانی پرداختند و میزان آسیب‌پذیری خط ساحلی در چهل سال گذشته با استفاده از مدل AHP و ۱۰ شاخص شامل عوامل طبیعی، انسانی، اجتماعی، اقتصادی، و غیره مورد ارزیابی قرار گرفت. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های انسانی می‌تواند آسیب‌پذیری سواحل را بیشتر تحت تأثیر قرار دهد و خطر

1. hinterland

2. Calabria

3. Ezbet Elborg

فرسایش را به یک نگرانی قابل توجه تبدیل کند. بی‌یر و همکارانش (۲۰۲۲) در بریتانی^۱ فرانسه آسیب‌پذیری سیستماتیک مناطق ساحلی در برابر فرسایش و سیل دریایی، به عنوان یک رویکرد مفهومی و روش‌شناختی، را مورد ارزیابی قرار دادند. این رویکرد مفهومی مبتنی بر چهار مؤلفه است: مخاطرات، دارایی‌ها، مدیریت، بازنمایی‌های اجتماعی. مخاطرات و دارایی‌ها زیربنای مفهوم ریسک هستند و تمایل به افزایش آسیب‌پذیری دارند، مدیریت تمایل به کاهش آن دارد، و بازنمایی‌های اجتماعی می‌توانند با توجه به شرایط در افزایش یا کاهش آن نقش داشته باشند. آبدراو و همکارانش (۲۰۲۲) به بررسی آسیب‌پذیری بالقوه مناطق شهری ساحلی در برابر افزایش سطح دریا در حوضه جنوب شرقی لوانتین^۲ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پویایی شهری در منطقه آسیب‌پذیری بالقوه آن‌ها را تا سال ۲۰۵۰ در مقایسه با آسیب‌پذیری فعلی افزایش می‌دهد. نی‌تیوی مرچان و همکارانش (۲۰۲۱) در لیبرتادور بولیوار^۳ اکوادور به ارزیابی فرسایش ساحلی با استفاده از سنجش‌ازدور و مدل عددی محاسباتی پرداختند. نتیجه سنجش‌ازدور میانگین نرخ فرسایش 0.64 m/yr را نشان می‌دهد که به‌خوبی با خروجی‌های مدل عددی همبستگی دارد (بین 0.4 و 0.7 m/yr). انتقال خالص تحت تأثیر امواج در $470 \text{ m}^3/\text{day}$ محاسبه شد. نی‌را و همکارانش (۲۰۱۹) در ساحل شنی آویرو^۴ پرتغال با استفاده از GIS به تخمین چندمعیاره خطر فرسایش ساحلی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که آویرو دارای خط ساحلی با خطر فرسایش ساحلی است. مناطقی که در معرض خطر قرار دارند سواحل نزدیک فورادورو^۵ و واگیراً^۶ هستند. لی و همکارانش (۲۰۱۴) به برآورد احتمالی فرسایش تپه‌های ساحلی توسط شبیه‌سازی آماری حوادث طوفانی در نوردویک^۷ هلند پرداختند. در این مطالعه از داده‌های ۳۱ ساله پارامترهای آب‌وهوایی و امواج استفاده و حجم فرسایش تپه‌ها و میزان عقب‌نشینی آن‌ها شبیه‌سازی شد. شایان و همکارانش (۱۳۹۹) به تحلیل مورفودینامیک ساحلی با هدف تعیین مرزهای سلول‌های رسوبی در استان هرمزگان پرداختند که خط ساحلی مورد مطالعه را بر اساس تفاوت‌های محیطی به ۶ سلول اصلی و ۱۷ زیرسلول تفکیک کردند. شریفی‌کیا و همکارانش (۱۳۹۶) به تعیین تغییرات دینامیک خط ساحل بخش شرقی دریای خزر به کمک داده‌های چندمنظوره/ چندسنجنده‌ای پرداختند. نتایج حاکی از پرچم بودن تغییرات در بخش غربی خلیج گرگان و نوار شمالی- جنوبی سواحل شرقی است. سعید صبایی و همکارانش (۱۳۹۰) به بازبینی حریم قانونی سواحل دریای خزر به سبب تغییرات تراز آب دریا در سواحل گیلان پرداختند که در نقشه نهایی به‌دست‌آمده از ارزیابی ساحلی به چهار طبقه با شدت آسیب‌پذیری کم، متوسط، بالا، و بسیار بالا بر اساس طبقه‌بندی چارکی ارزش‌های موجود در نقشه‌ها تقسیم شده است. مطالعات فراوان دیگری نیز در ارتباط با پایداری و آسیب‌پذیری سواحل انجام شده است که به‌اختصار به چند مورد آن اشاره می‌شود. رحمان و همکارانش (۲۰۲۲) در منطقه داکشینا کانادا^۸ در هند، کووالوا و همکارانش (۲۰۲۲) در منطقه ساحلی خلیج شرقی فنلاند (دریای بالتیک)، بوفخان و همکارانش (۲۰۲۲) در آبخوان ساحلی دشت ججل^۹ در شمال الجزایر واقع در جنوب دریای مدیترانه، احمد و همکارانش (۲۰۲۲) در ساحل چنای^{۱۰} در ایالت تامیل نادو^{۱۱} در هند، تیرمورتی و همکارانش (۲۰۲۲) در دو منطقه پرجمعیت کانچی پورام^{۱۲} و تیرو والور^{۱۳}، حسین و همکارانش (۲۰۲۲) در منطقه مدینیپور^{۱۴} - بالاسور^{۱۵} هند، و حمید و همکارانش (۲۰۲۱) به بررسی فناوری ژئودتیک فضایی برای شاخص آسیب‌پذیری فیزیکی ساحلی و استراتژی‌های مدیریت پرداختند. نگهبان و همکارانش (۱۳۹۶) به بررسی و پایش تغییرات خط ساحلی دریای عمان در منطقه جاسک پرداختند. در رابطه با مطالعات صورت‌گرفته در منطقه مورد مطالعه نیز می‌توان به پژوهش افشاری‌آزاد و همکارانش (۱۳۹۱)

1. Brittany
2. Levantine
3. Libertador Bolivar
4. Aveiro
5. Furadouro
6. Vagueira
7. Noordwijk
8. Dakshina Kannada
9. Jijel
10. Chennai
11. Tamil Nadu
12. Kancheepuram
13. Tiruvallur
14. Medinipur
15. Balasore

اشاره کرد. آن‌ها به طبقه‌بندی و تحلیل پدیده‌های ژئومورفیکی سواحل غربی خزر از انزلی تا آستارا با رویکردی به نوسانات سطح آب دریا پرداختند. آن‌ها به طبقه‌بندی سواحل به روش شپارد پرداختند و رده‌های شاخصی چون دلتا، تپه‌های ماسه‌ای، تالاب، و ... را شناسایی کردند. درفشی و همکارانش (۱۳۹۵) نیز به تعیین سلول‌های ساحلی در سواحل جنوبی دریای خزر پرداختند و منطقه را به چهار سلول و هفت زیرسلول درجه ۱ و پانزده زیرسلول درجه ۲ تقسیم کردند. سواحل دریای خزر دارای توپوگرافی و کاربری اراضی متفاوت است؛ از جمله اراضی پست مرتبط با مصر رودخانه‌ها، خلیج‌ها، یا پیشرفتگی‌های آب دریا در خشکی و سواحل نسبتاً بلندتر ماسه‌ای و شنی (منوری، ۱۳۶۹). شیب بسیار کم در اراضی پشت ساحل وجود دارد. این عوامل شرایط مساعدی را برای غرقاب شدن زمین‌ها در مواقع افزایش سطح تراز آب دریا یا بالا آمدن سطح پیرومتری آبخوان‌های ساحلی فراهم می‌کند (علی‌زاده، ۱۳۸۴). از سال ۱۳۵۶ تا ۱۳۷۴ حدود ۷۷۸ کیلومتر مربع از اراضی ساحلی زیر آب رفته، که از این میزان ۳۴ درصد در استان گیلان واقع شده است (قانقرمه، ۱۳۷۸). بنابراین بررسی میزان تغییرات خط ساحلی منطقه به مدیران کمک می‌کند تا رویکردهای مدیریتی خود را برای حفاظت از سواحل با توجه به میزان تغییرات و فرسایش اتخاذ کنند. هدف اصلی این پژوهش تحلیل زمانی- مکانی تغییرات خطوط ساحلی بخش غربی خزر است. این تغییرات در طول بازه زمانی ۴۵ سال اخیر به منظور تخمین دامنه پایداری سطوح در معرض فرسایش در سواحل غربی خزر در قالب سلول‌های ساحلی انجام پذیرفته است.

محدوده مورد بررسی

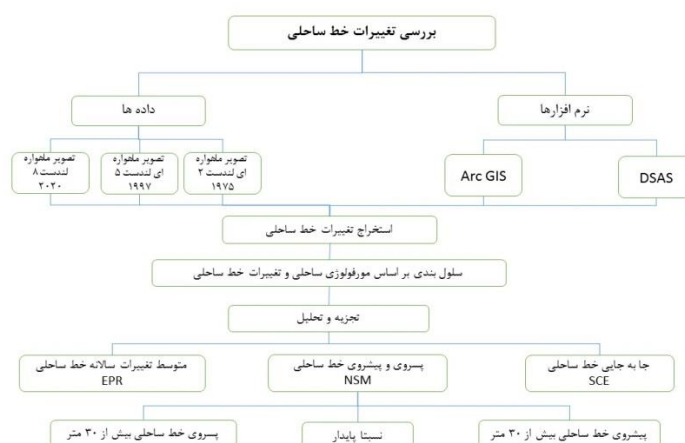
محدوده تحت بررسی خطوط ساحلی سه شهرستان تالش و رضوانشهر و انزلی از استان گیلان است (شکل ۱). این منطقه بر اساس سیستم مختصات جغرافیایی از ۴۸ درجه و ۵۴ دقیقه و ۵۱ ثانیه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۰۶ دقیقه و ۰۰ ثانیه عرض شمالی تا ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقه و ۴۱ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه و ۴۴ ثانیه عرض شمالی کشیده شده است؛ شامل حاشیه باریک جنوب غربی دریای خزر که بلافاصله بعد از دریا شروع می‌شود و امتداد آن تا پای کوه‌های شمالی البرز و شرقی تالش می‌رسد. از لحاظ مورفولوژی، این محدوده به چهار سلول تقسیم شده؛ طوری که هر سلول منطبق با مخروط‌افکنه رودخانه‌هایی است که به دریا می‌ریزند. طول منطقه مورد مطالعه ۹۳/۴ کیلومتر است و عرض آن همواره متغیر است و از غرب به شرق افزایش پیدا می‌کند؛ در حالی که در مصر رودخانه‌های بزرگ، مثل سفیدرود، عریض‌تر می‌شود و تا ۶۰ کیلومتر امتداد می‌یابد. سطح هموار و یکنواخت از ویژگی‌های آن است. شیب آن بسیار آرام و از پای کوه‌ها به سمت دریای خزر است. گاهی شیب آن قدر ملایم و کم می‌شود که آب‌های جاری با توجه به بافت ریز رسوب‌ها باتلاق‌هایی به وجود آورده‌اند. حد جنوبی منطقه در طول آن به وسیله دیوار ممتد و مرتفع البرز و تالش محصور شده و ارتباط آن با ناحیه جغرافیایی داخلی فقط از طریق دره‌های عمیق و گردنه‌های بلند امکان‌پذیر است (علایی طالقانی، ۱۳۸۶).



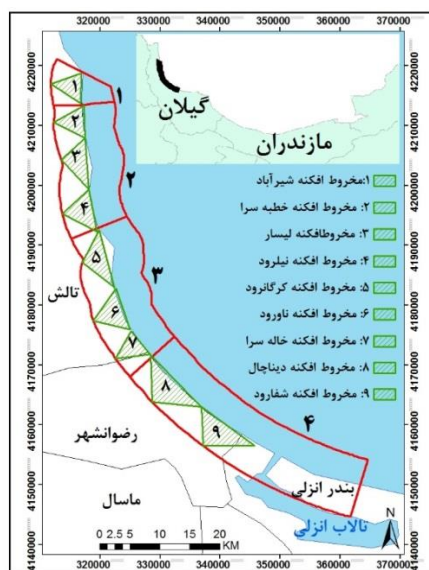
شکل ۱. بازه ساحلی مورد بررسی

روش و ابزار تحقیق

به منظور بررسی تغییرات خط ساحلی استان گیلان، تحلیل‌های زمانی- مکانی که یکی از روش‌های ارزیابی آن در نواحی ساحلی است به کار گرفته شد. در تغییرات خطوط ساحلی هم عوامل طبیعی (هیدرودینامیک دریا و خشکی) هم عوامل انسانی (تغییرات کاربری اراضی و ساخت‌وسازهای دریایی) مؤثر هستند. در این پژوهش، تغییرات خطوط ساحلی منطقه ساحلی شهرستان‌های تالش تا انزلی برای دوره زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۰ بررسی شدند. با توجه به هدف مطالعه، تغییرات خط ساحلی به سه گروه طبقه‌بندی شدند؛ شامل سواحل با پس‌روی خط ساحلی بیشتر از ۳۰ متر، سواحل با پیش‌روی خط ساحلی بیشتر از ۳۰ متر، سواحل نسبتاً پایدار که به سواحل اطلاق می‌شود که پس‌روی و پیش‌روی در آن‌ها کمتر از ۳۰ متر بوده است. تصاویر ماهواره‌ای لندست ۲ در تاریخ ۱۰ آوریل ۱۹۷۵ و تصویر لندست ۵ در تاریخ ۲۷ آوریل ۱۹۹۷ و تصویر لندست ۸ در تاریخ ۲۸ می ۲۰۲۰ منطقه مورد مطالعه و همچنین نرم‌افزار DSAS در محیط Arc GIS به عنوان ابزارهای اصلی پژوهش برای تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با توجه به شکل ۲ مراحل کار به این صورت انجام شد که ابتدا در محیط نرم‌افزار Arc GIS خطوط ساحلی سه سال ۱۹۷۵ و ۱۹۹۷ و ۲۰۲۰ از روی تصاویر ماهواره‌ای لندست استخراج شدند. در مرحله بعدی از طریق نرم‌افزار DSAS ترانسکت‌ها تا با فاصله ۵۰ متر از هم ترسیم و میزان پیش‌روی و پس‌روی خط ساحلی (NSM)، میزان جابه‌جایی خط ساحلی در طول ۴۵ سال (SCE)، و متوسط تغییرات سالیانه خط ساحلی (EPR) استخراج شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



شکل ۲. داده‌ها و روش‌ها



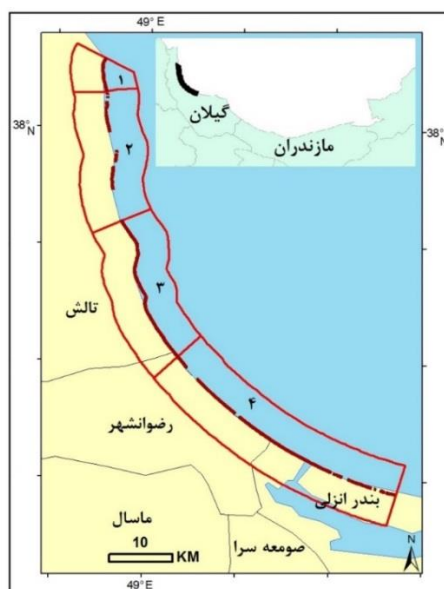
شکل ۳. سلول‌بندی بازه ساحلی مورد مطالعه

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای بررسی و تحلیل تغییرات خط ساحلی، سلول‌های ساحلی به سه گروه شامل: سواحل دارای پس‌روی، سواحل دارای پیش‌روی، و سواحل نسبتاً پایدار طبقه‌بندی شدند. محدوده ساحلی مورد بررسی از ۱۸۶۷ ترانسکت با فاصله ۵۰ متر از هم تشکیل شده است. گفتنی است در همه سلول‌ها پس‌روی اتفاق افتاده است که نشان‌دهنده تأثیر حداکثری تغییرات سطح آب دریای خزر بر تغییرات خط ساحلی است و این طبقه‌بندی بر اساس تراکم ترانسکت‌ها و مورفولوژی ساحلی در هر گروه صورت گرفته است. بر این اساس برای بررسی تغییرات خط ساحلی محدوده ساحلی مورد مطالعه به چهار سلول تقسیم شد.

سواحل دارای پس‌روی

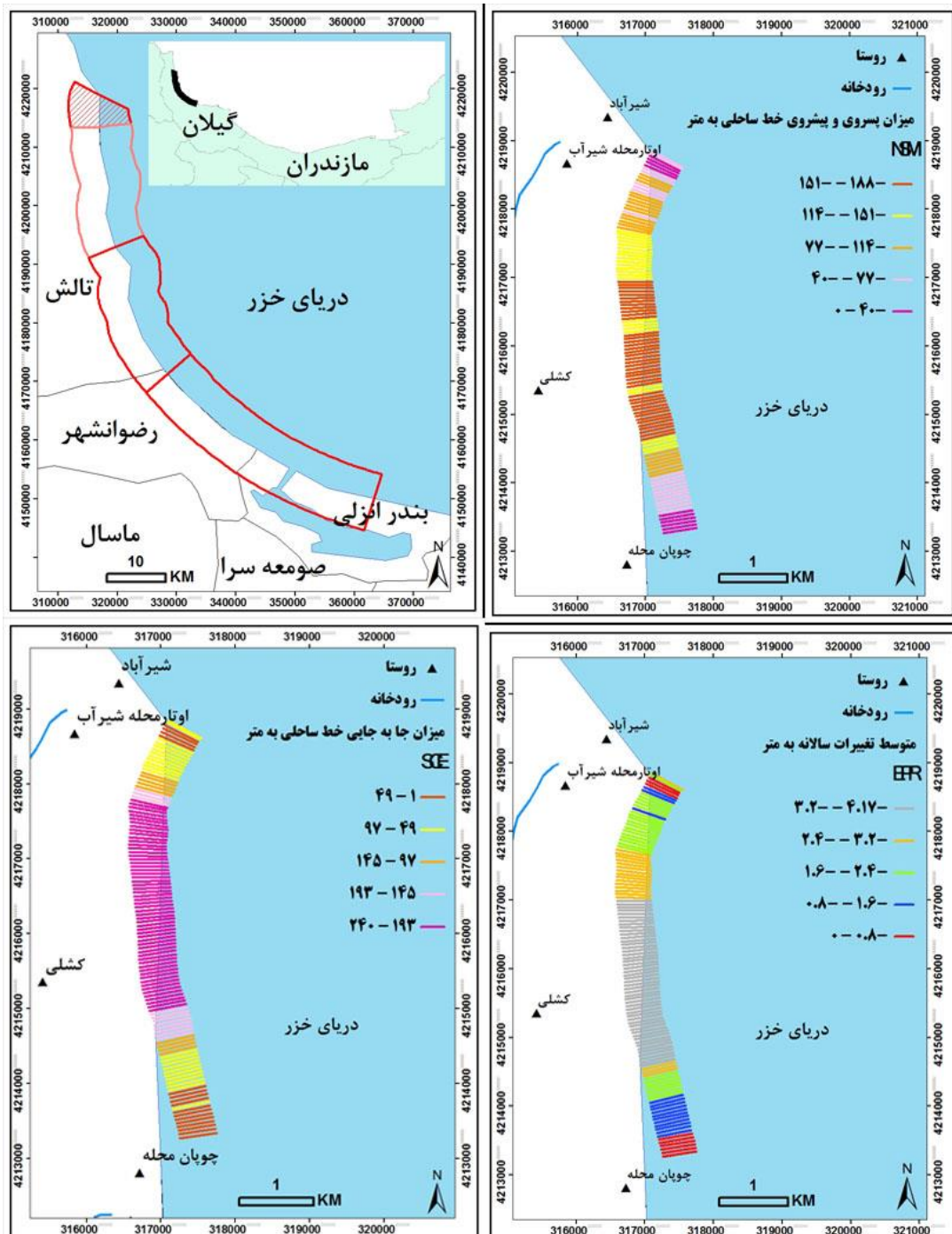
این نوع سواحل به سواحل گفته می‌شوند که پس‌روی در آن‌ها بیش از ۳۰ متر رخ داده است. ۱۳۹۹ ترانسکت از ۱۸۶۷ ترانسکت (حدود ۷۵٪) در محدوده ساحلی مورد مطالعه پس‌روی خط ساحلی بیش از ۳۰ متر را نشان می‌دهند. سلول ۱ (مخروطافکنه شیرآباد) و سلول ۳ (مخروطافکنه‌های کرگان‌رود، ناورود، خاله‌سرا) در طول ۴۵ سال کاملاً دچار پس‌روی خط ساحلی شده‌اند.



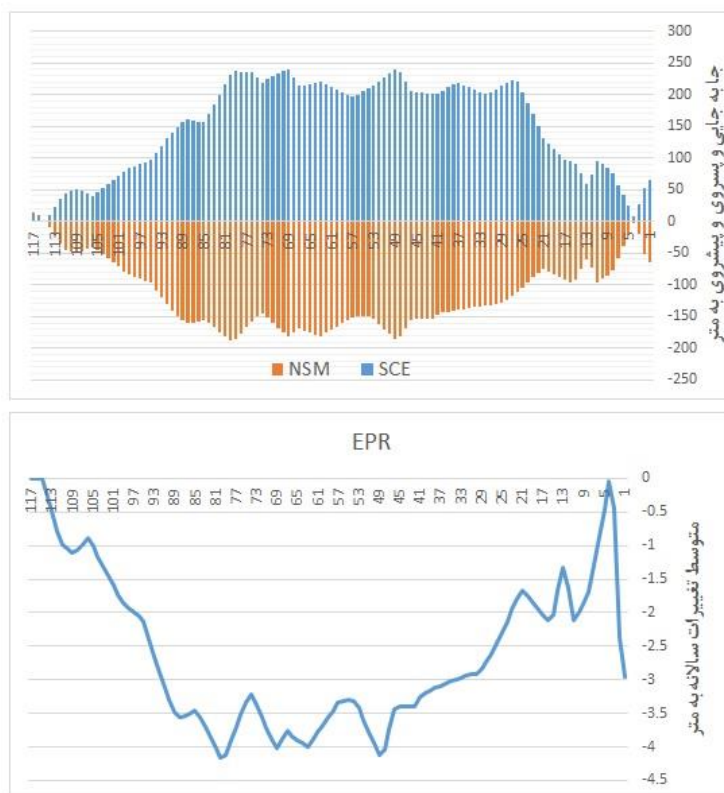
شکل ۴. سواحل با پس‌روی بیش از ۳۰ متر

سلول ۱ (مخروطافکنه شیرآباد): ساحل این زیرسلول به طول حدوداً ۵/۸ کیلومتر از حوالی روستای شیرآباد شهر تالش استان گیلان آغاز و تا حوالی روستای چوپان محله شهر تالش استان گیلان ادامه می‌یابد. خطوط ساحلی مخروطافکنه رودخانه شیرآباد شامل ۱۱۷ ترانسکت با فاصله ۵۰ متر است که میزان تغییرات خط ساحلی را در طول ۴۵ سال (۱۹۷۵ - ۲۰۲۰) نشان می‌دهد. میزان پیش‌روی و پس‌روی خط ساحلی (NSM)، میزان جابه‌جایی خط ساحلی در طول ۴۵ سال (SCE)، و متوسط تغییرات سالیانه خط ساحلی (EPR) در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به اشکال ۵ و ۶ در سرتاسر خط ساحلی سلول شیرآباد پس‌روی خط ساحلی رخ داده است. خط ساحلی بین ترانسکت‌های ۲۱ تا ۴۵ با شیب تند افزایش پس‌روی بین ۸۰ تا ۱۷۷ متر داشته است و پس از آن تغییرات به صورت یکنواخت بوده و دوباره از ترانسکت‌های ۸۷ تا ۱۱۷ با شیب تندی از ۱۶۰ متر تا صفر از مقدار پس‌روی‌ها کاسته شده است. از ترانسکت‌های ۱ تا ۱۷ فقط پس‌روی خشکی رخ داده است. اما بعد از آن، از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۷ پس‌روی و سپس پیش‌روی خشکی رخ داده است. مثلاً خشکی بین ترانسکت‌های ۲۵ تا ۸۱ از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۷ به میزان ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر پس‌روی و از آن پس به میزان ۵۰ متر پیش‌روی کرده است. بنابراین میزان پس‌روی خشکی از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۰ به میزان ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر بوده است. نمودار EPR نیز متوسط تغییرات سالیانه خط ساحلی را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۱ بیشترین مسافت ساحل به طول ۱۳۵۰ متر (۲۳٪ خط ساحلی) بین ۵۷ تا ۱۰۷ متر پس روی داشته است. همین طور بیشترین مسافت به طول ۱۳۰۰ متر از خط ساحلی (۲۲٪ خط ساحلی) در طول ۴۵ سال بین ۱۶۹ تا ۲۱۵ متر جابه جایی داشته است. متوسط تغییرات خط ساحلی در سال نیز نشان دهنده این است که بیشترین مسافت خط ساحلی به طول ۱۳۰۰ متر (۲۲٪ خط ساحلی) سالیانه بین ۳/۱ تا ۳/۶ متر پس روی داشته است.



شکل ۵. تغییرات خط ساحلی سلول ۱ (مخروطافکنه شیرآباد)



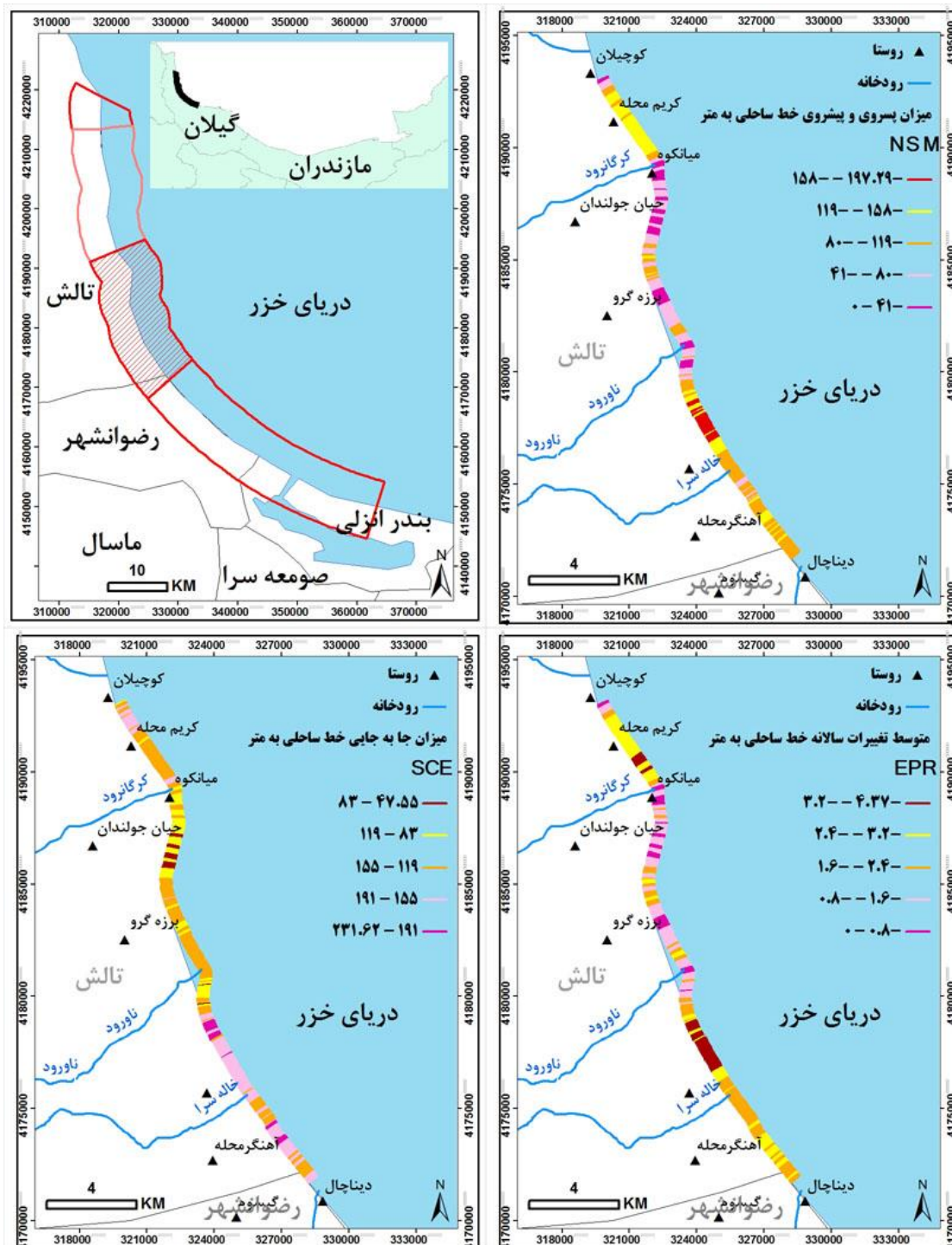
شکل ۶. نمودار تغییرات خط ساحلی سلول ۱ (مخروطافکنه شیرآباد)

جدول ۱. میزان تغییرات خط ساحلی سلول ۱ (مخروطافکنه شیرآباد)

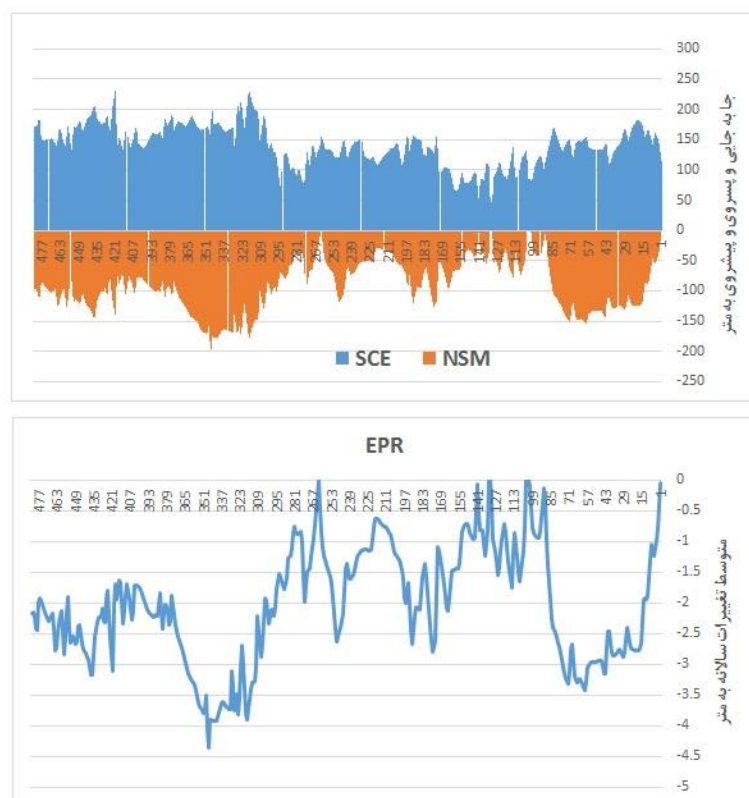
وضعیت	EPR		NSM		SCE	
	تغییر خط ساحلی (متر)	مسافت ساحل (متر)	وضعیت	تغییر خط ساحلی (متر)	مسافت ساحل (متر)	تغییر خط ساحلی (متر)
پس‌روی	-۴/۱ - -۳/۶	۱۰۵۰	پس‌روی	-۱۸۸ - -۱۶۵	۱۰۵۰	۱/۶۵ - ۵۹/۵
پس‌روی	-۳/۶ - -۳/۱	۱۳۰۰	پس‌روی	-۱۶۵ - -۱۴۲	۱۲۰۰	۵۹/۵ - ۱۱۴/۵
پس‌روی	-۳/۱ - -۲/۳	۷۵۰	پس‌روی	-۱۴۲ - -۱۰۷	۷۵۰	۱۱۴/۵ - ۱۶۹/۳
پس‌روی	-۲/۳ - -۱/۲	۱۲۵۰	پس‌روی	-۱۰۷ - -۵۷	۱۳۵۰	۱۶۹/۳ - ۲۱۵/۵
پس‌روی	-۱/۲ - ۰	۸۰۰	پس‌روی	-۵۷ - ۰	۸۵۰	۲۱۵/۵ - ۲۴۰/۲

سلول ۳ (مخروطافکنه‌های کرگان‌رود، ناورود، خاله‌سرا): ساحل این زیرسلول به طول ۲۴ کیلومتر از حوالی روستای کوچیلان شهر تالش استان گیلان آغاز و تا حوالی روستای دینچال رضوانشهر استان گیلان ادامه می‌یابد. خطوط ساحلی مخروطافکنه رودخانه‌های کرگان‌رود، ناورود، و خاله‌سرا شامل ۴۸۳ ترانسکت با فاصله ۵۰ متر است که میزان تغییرات خط ساحلی را در طول ۴۵ سال (۱۹۷۵ - ۲۰۲۰) نشان می‌دهد. میزان پیش‌روی و پس‌روی خط ساحلی (NSM)، میزان جابه‌جایی خط ساحلی در طول ۴۵ سال (SCE)، و متوسط تغییرات سالیانه خط ساحلی (EPR) در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به اشکال ۷ و ۸ در سرتاسر خط ساحلی سلول ۳ پس‌روی خط ساحلی رخ داده است. خط ساحلی بین ترانسکت ۳۱۴ تا ۳۵۷ بیشترین پس‌روی خط ساحلی را داشته است که بیشتر از ۱۵۰ متر است. همان‌طور که در شکل ۸ مشهود است، بیشترین پس‌روی خط ساحلی بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۷ رخ داده است و پس از آن بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۰ مقداری پیش‌روی خط ساحلی اتفاق افتاده است. به ترانسکت‌های ۳۷۹ تا ۴۲۱ توجه کنید. بین این ترانسکت‌ها جابه‌جایی (SCE) بیش از ۱۵۰ متر بوده است. اما میزان پس‌روی (NSM) حدود ۱۰۰ متر است. به عبارتی خط ساحلی بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۷ به میزان ۱۵۰ متر پس‌روی داشته و از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۰ به میزان ۵۰ متر پیش‌روی داشته است. نمودار EPR نیز متوسط تغییرات سالیانه خط ساحلی را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ بیشترین مسافت ساحل به طول ۶۴۰۰ متر (۲۶٪ خط ساحلی) بین ۸۰ تا ۱۱۹

متر پس روی داشته است. همین طور بیشترین مسافت به طول ۹۵۰۰ متر از خط ساحلی (۳۹٪ خط ساحلی) در طول ۴۵ سال بین ۱۱۹ تا ۱۵۵ متر جابه جایی داشته است. متوسط تغییرات خط ساحلی در سال نیز نشان دهنده این است که بیشترین مسافت خط ساحلی به طول ۵۸۵۰ متر (۲۴٪ خط ساحلی) سالیانه بین ۱/۶ تا ۲/۴ متر پس روی داشته است.



شکل ۷. تغییرات خط ساحلی سلول ۳ (مخروطافکنه های کرگان رود، ناورود، خاله سرا)



شکل ۸. نمودار تغییرات خط ساحلی سلول ۳ (مخروط‌افکنه‌های کرگان‌رود، ناورود، خاله‌سرا)

جدول ۲. میزان تغییرات خط ساحلی سلول ۳ (مخروط‌افکنه‌های کرگان‌رود، ناورود، خاله‌سرا)

وضعیت	EPR		NSM		SCE	
	تغییر خط ساحلی (متر)	مسافت ساحل (متر)	تغییر خط ساحلی (متر)	مسافت ساحل (متر)	تغییر خط ساحلی (متر)	مسافت ساحل (متر)
پس‌روی	-۴/۳ - -۳/۲	۲۶۵۰	-۱۹۷ - -۱۵۸	۱۴۰۰	۴۷ - ۸۳	۷۵۰
پس‌روی	-۳/۲ - -۲/۴	۵۲۰۰	-۱۵۸ - -۱۱۹	۴۷۵۰	۸۳ - ۱۱۹	۲۵۵۰
پس‌روی	-۲/۴ - -۱/۶	۵۸۵۰	-۱۱۹ - -۸۰	۶۴۰۰	۱۱۹ - ۱۵۵	۹۵۰۰
پس‌روی	-۱/۶ - -۰/۸	۵۲۵۰	-۸۰ - -۴۱	۵۴۰۰	۱۵۵ - ۱۹۱	۶۳۰۰
پس‌روی	-۰/۸ - ۰	۱۷۵۰	-۴۱ - ۰	۲۷۰۰	۱۹۱ - ۲۳۱	۹۵۰

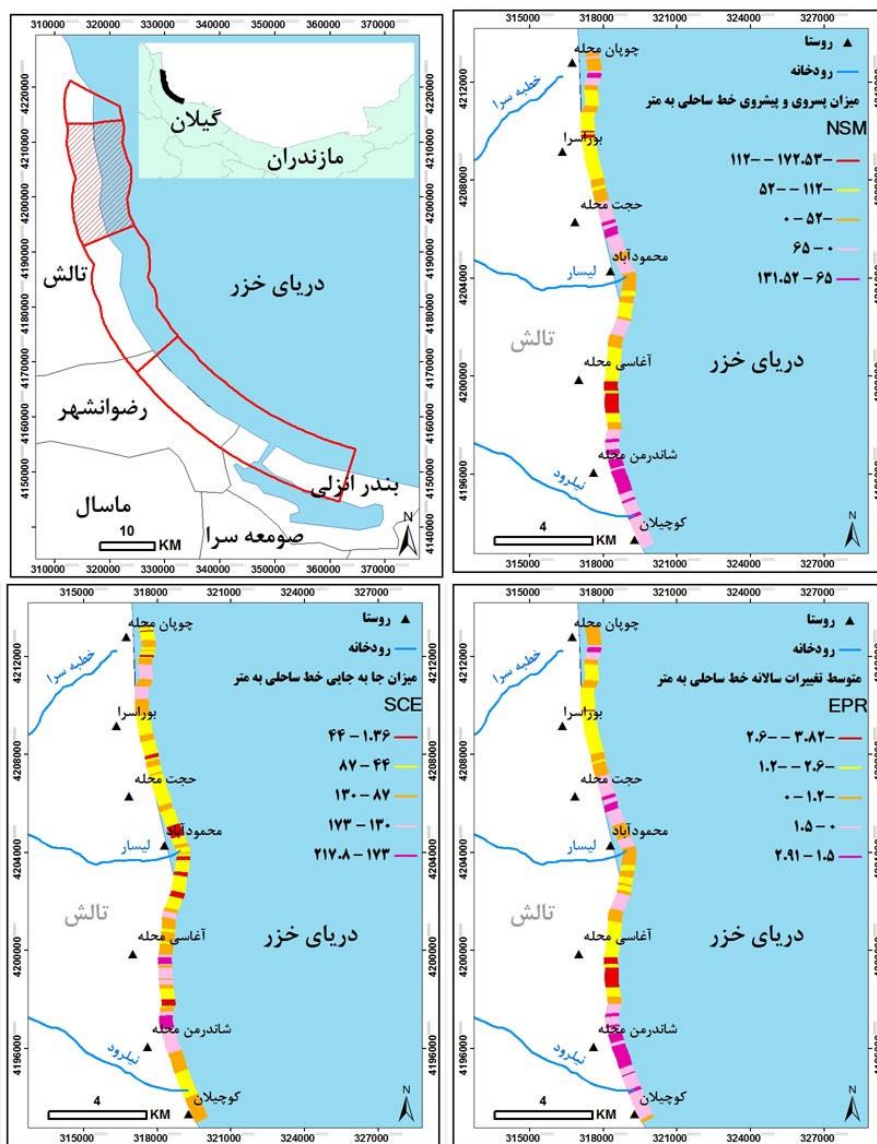
سواحل دارای پیش‌روی

این نوع سواحل به سواحل گفته می‌شود که پیش‌روی در آن‌ها بیش از ۳۰ متر رخ داده است. ۱۹۰ ترانسکت از ۱۸۶۷ ترانسکت (حدود ۱۰٪) در محدوده ساحلی مورد مطالعه پیش‌روی خط ساحلی بیش از ۳۰ متر را نشان می‌دهد. در محدوده مورد بررسی در سلول ۲ (مخروط‌افکنه‌های خطبه‌سرا، لیسار، نیل‌رود) و در بخش‌های اندکی از سلول ۴ (مخروط‌افکنه‌های دیناچال، شفارود، انزلی) پیش‌روی خط ساحلی رخ داده است.

سلول ۲ (مخروط‌افکنه‌های خطبه‌سرا، لیسار، نیل‌رود): ساحل این سلول به طول حدوداً ۲۰/۹ کیلومتر از حوالی روستای چوپان محله شهر تالش استان گیلان آغاز و تا حوالی روستای کوچیلان شهر تالش استان گیلان ادامه می‌یابد. خطوط ساحلی مخروط‌افکنه رودخانه‌های خطبه‌سرا و لیسار و نیل‌رود شامل ۴۲۲ ترانسکت با فاصله ۵۰ متر است که میزان تغییرات خط ساحلی را در طول ۴۵ سال (۱۹۷۵ - ۲۰۲۰) نشان می‌دهد. میزان پیش‌روی و پس‌روی خط ساحلی (NSM)، میزان جابه‌جایی خط ساحلی در طول ۴۵ سال (SCE)، و متوسط تغییرات سالیانه خط ساحلی (EPR) در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

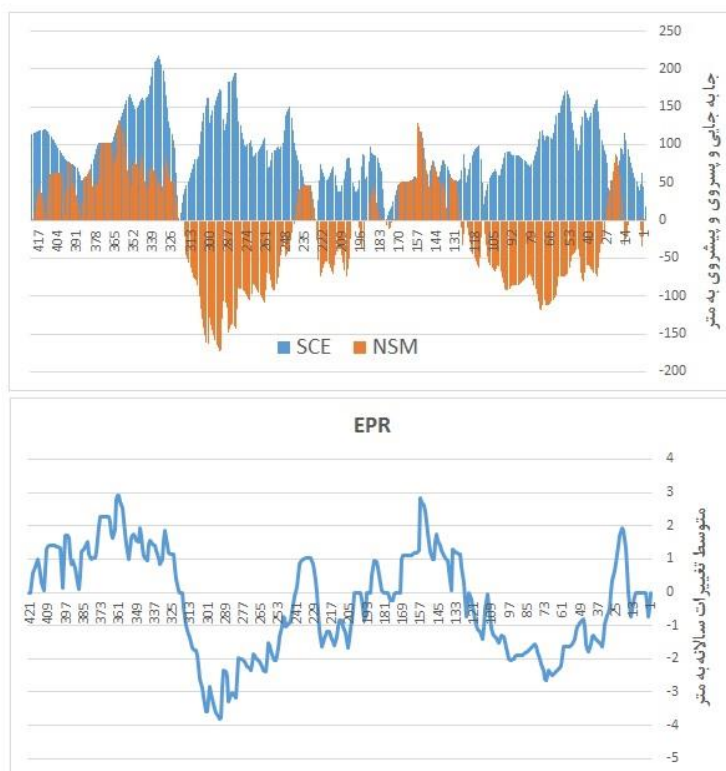


شکل ۹. سواحل با پیش‌روی بیش از ۳۰ متر



شکل ۱۰. تغییرات خط ساحلی سلول ۲ (مخروط‌افکنه‌های خطبه‌سرا، لیسار، نیل‌رود)

با توجه به اشکال ۱۰ و ۱۱ حدود ۵۶ درصد از خط ساحلی سلول ۲ پس‌روی و ۴۴ درصد پیش‌روی داشته است. تغییرات در نواحی‌ای که پیش‌روی رخ داده است کمی متفاوت است. در بعضی از نقاط خط ساحلی از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۷ دچار پس‌روی شده و سپس تا سال ۲۰۲۰ تا حداکثر میزان پیش‌روی کرده است. این شرایط در اواخر سلول ۲ رخ داده است (ترانسکت ۳۲۶ به بعد). اما در بعضی نواحی دیگر نیز این تغییرات به گونه‌ای دیگر بوده است؛ بدین صورت که خط ساحلی در بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۷ تا حداکثر میزان پیش‌روی کرده و سپس تا سال ۲۰۲۰ برگشت اتفاق افتاده است که این حالت بیشتر در اواسط سلول رخ داده است (مثلاً ترانسکت ۱۳۱ تا ۱۷۰). نمودار EPR نیز متوسط تغییرات سالیانه خط ساحلی را نشان می‌دهد.



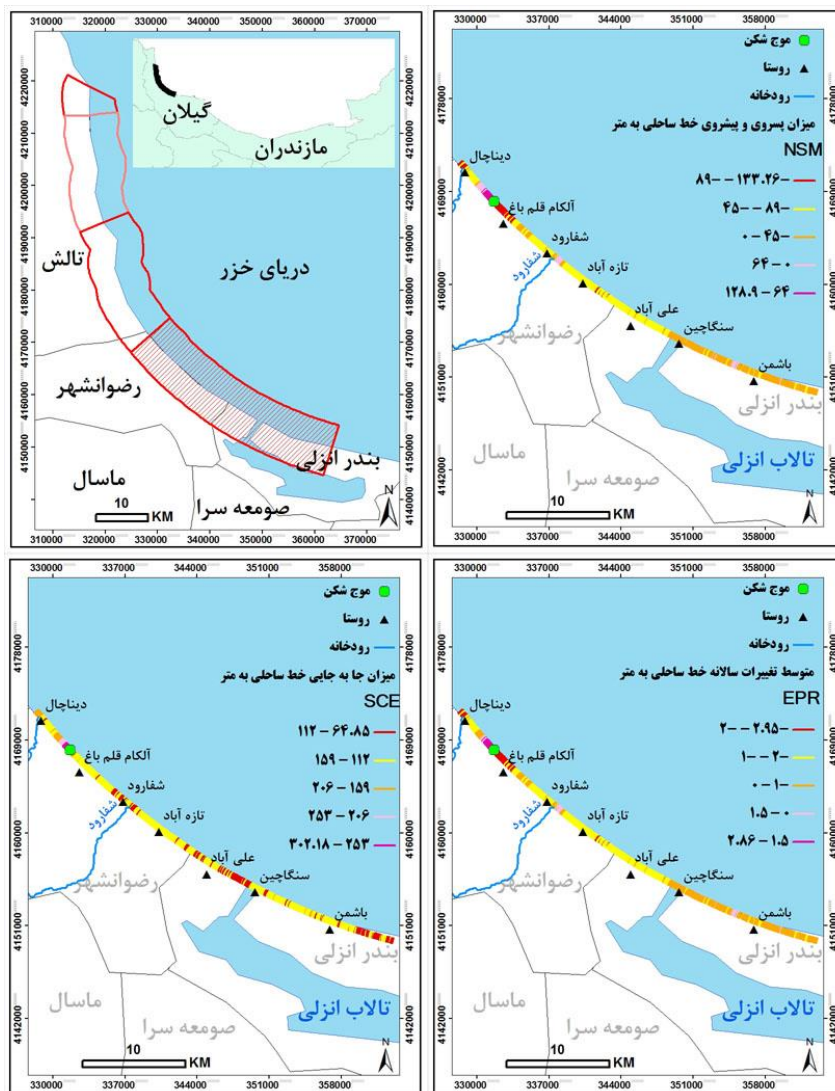
شکل ۱۱. نمودار تغییرات خط ساحلی سلول ۲ (مخروط‌افکنه‌های خطبه‌سرا، لیسار، نیل‌رود)

با توجه به جدول ۳ بیشترین مسافت ساحل به طول ۵۹۵۰ متر (۲۸٪ خط ساحلی) تا ۶۵ متر پیش‌روی داشته است. همین‌طور بیشترین مسافت به طول ۷۶۵۰ متر از خط ساحلی (۳۶٪ خط ساحلی) در طول ۴۵ سال بین ۴۴ تا ۸۷ متر جابه‌جایی داشته است. متوسط تغییرات خط ساحلی در سال نیز نشان‌دهنده این است که بیشترین مسافت خط ساحلی به طول ۵۷۰۰ متر (۲۷٪ خط ساحلی) سالیانه بین ۱/۲ تا ۲/۶ متر پس‌روی و به همین مقدار نیز بین ۰ تا ۱/۵ متر پیش‌روی داشته است.

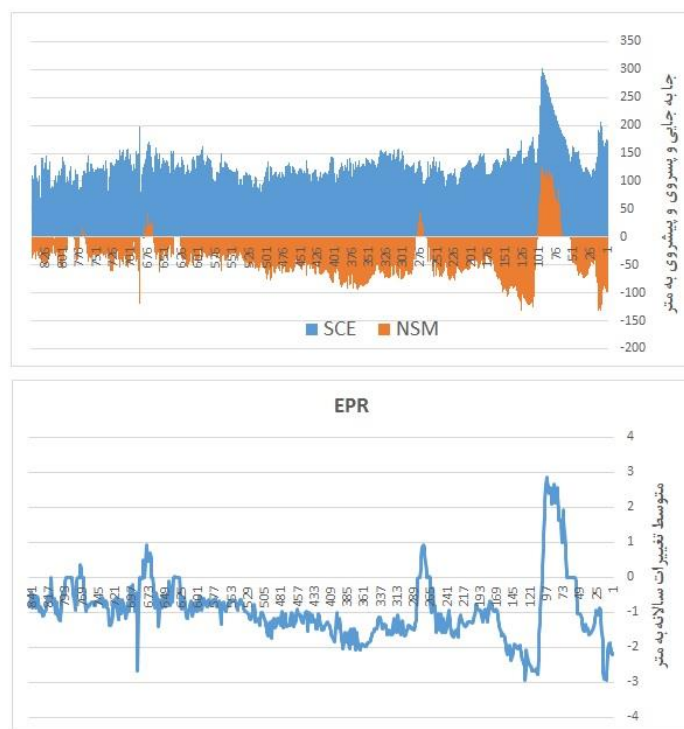
جدول ۳. میزان تغییرات خط ساحلی سلول ۲ (مخروط‌افکنه‌های خطبه‌سرا، لیسار، نیل‌رود)

وضعیت	EPR		NSM		SCE	
	تغییر خط ساحلی (متر)	مسافت ساحل (متر)	وضعیت	تغییر خط ساحلی (متر)	مسافت ساحل (متر)	تغییر خط ساحلی (متر)
پس‌روی	-۳/۸ - -۲/۶	۱۰۵۰	پس‌روی	-۱۷۳ - -۱۱۲	۱۲۰۰	۱ - ۴۴
پس‌روی	-۲/۶ - -۱/۲	۵۷۰۰	پس‌روی	-۱۱۲ - -۵۲	۵۷۰۰	۴۴ - ۸۷
پس‌روی	-۱/۲ - ۰	۴۲۵۰	پس‌روی	-۵۲ - ۰	۳۵۰۰	۸۷ - ۱۳۰
پیش‌روی	۰ - ۱/۵	۵۷۰۰	پیش‌روی	۰ - ۶۵	۵۹۵۰	۱۳۰ - ۱۷۳
پیش‌روی	۱/۵ - ۲/۹	۲۰۵۰	پیش‌روی	۶۵ - ۱۳۱	۲۲۵۰	۱۷۳ - ۲۱۷

سلول ۴ (مخروطافکنه‌های دیناچال، شفارود، تالاب انزلی): ساحل این سلول به طول ۴۲/۲ کیلومتر از حوالی روستای دیناچال شهر رضوانشهر استان گیلان آغاز می‌شود و تا حوالی بندرگاه انزلی استان گیلان ادامه می‌یابد. خطوط ساحلی مخروطافکنه رودخانه‌های دیناچال، شفارود، و تالاب انزلی شامل ۸۴۵ ترانسکت با فاصله ۵۰ متر است که میزان تغییرات خط ساحلی را در طول ۴۵ سال (۱۹۷۵ - ۲۰۲۰) نشان می‌دهد. میزان پیش‌روی و پس‌روی خط ساحلی (NSM)، میزان جابه‌جایی خط ساحلی در طول ۴۵ سال (SCE)، و متوسط تغییرات سالیانه خط ساحلی (EPR) در شکل ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به اشکال ۱۲ و ۱۳ حدود ۹۱ درصد در خط ساحلی سلول ۴ پس‌روی و ۹ درصد پیش‌روی رخ داده است. با توجه به شکل ۱۳ در بعضی از نقاط خط ساحلی از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۷ دچار پس‌روی شده و سپس تا سال ۲۰۲۰ تا حداکثر میزان پیش‌روی کرده است. این شرایط در اوایل سلول ۴ رخ داده است (ترانسکت ۷۶ تا ۱۰۱). اما در پیش‌روی‌های اندکی که در اواسط و اواخر سلول اتفاق افتاده خط ساحلی بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۷ تا حداکثر میزان پیش‌روی کرده و سپس تا سال ۲۰۲۰ برگشت افتاده است. نمودار EPR نیز متوسط تغییرات سالیانه خط ساحلی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در تغییرات خط ساحلی در اطراف موج‌شکن پره‌سر مشهود است تغییرات خط ساحلی در دو طرف موج‌شکن به صورت کاملاً متناقض بوده است؛ طوری که در بخش شرقی خط ساحلی به‌شدت پس‌روی اما در بخش غربی آن به‌شدت پیش‌روی رخ داده است که می‌توان نتیجه گرفت وجود موج‌شکن موجب شده جریان‌ات دریایی رسوبات را از بخش شرقی به بخش غربی آن منتقل کند.



شکل ۱۲. تغییرات خط ساحلی سلول ۴ (مخروطافکنه‌های دیناچال، شفارود، تالاب انزلی)



شکل ۱۳. نمودار تغییرات خط ساحلی سلول ۴ (مخروط‌افکنه‌های دیناچال، شفارود، تالاب انزلی)

با توجه به جدول ۴ بیشترین مسافت ساحل به طول ۱۷۷۵۰ متر (۴۲٪ خط ساحلی) بین ۴۵ تا ۸۹ متر پس‌روی داشته است. همین‌طور بیشترین مسافت به طول ۲۷۳۵۰ متر از خط ساحلی (۶۴٪ خط ساحلی) در طول ۴۵ سال بین ۱۱۲ تا ۱۵۹ متر جاب‌جایی داشته است. متوسط تغییرات خط ساحلی در سال نیز نشان‌دهنده این است که بیشترین مسافت خط ساحلی به طول ۱۷۸۰۰ متر (۴۲٪ خط ساحلی) سالیانه بین ۱ تا ۲ متر پس‌روی داشته است.

جدول ۴. میزان تغییرات خط ساحلی سلول ۴ (مخروط‌افکنه‌های دیناچال، شفارود، انزلی)

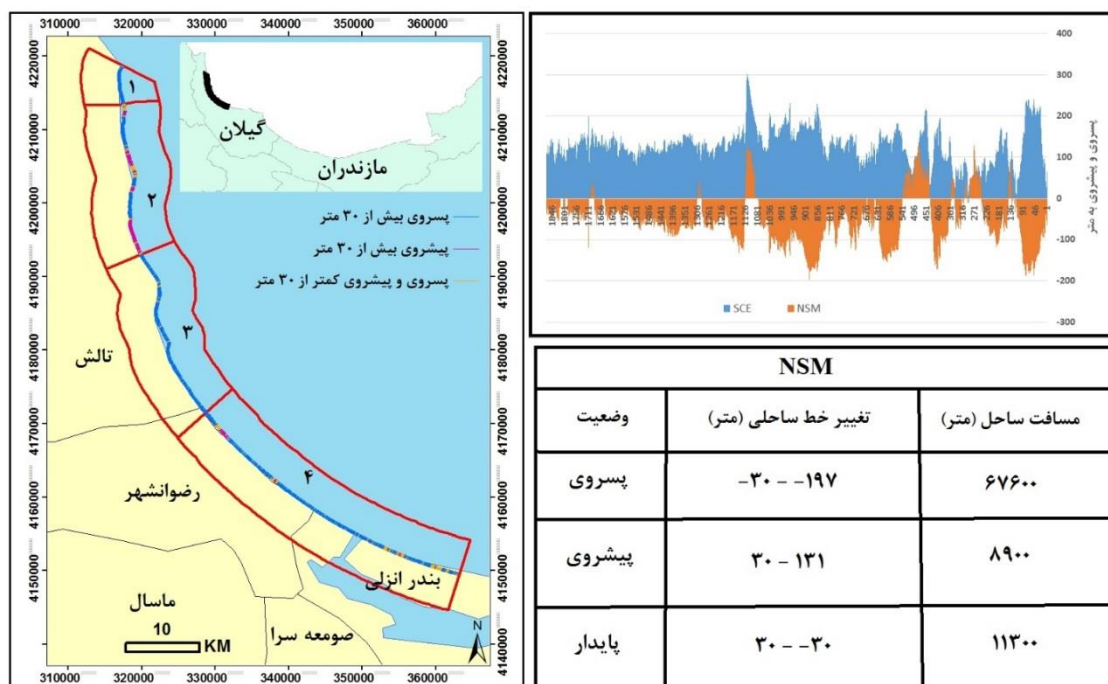
وضعیت	EPR		NSM		SCE	
	تغییر خط ساحلی (متر)	مسافت ساحل (متر)	تغییر خط ساحلی (متر)	مسافت ساحل (متر)	تغییر خط ساحلی (متر)	مسافت ساحل (متر)
پس‌روی	-۲ - -۲/۹۵	۲۵۵۰	-۸۹ - -۱۳۳	۲۶۰۰	۱۱۲ - ۶۴	۷۳۵۰
پس‌روی	-۱ - -۲	۱۷۸۰۰	-۴۵ - -۸۹	۱۷۷۵۰	۱۱۲ - ۱۵۹	۲۷۳۵۰
پس‌روی	۰ - -۱	۱۵۵۵۰	-۰ - -۴۵	۱۴۸۵۰	۲۰۶ - ۱۵۹	۲۱۰۰
پیشروی	۱/۵ - ۰	۱۴۰۰	۰ - ۶۴	۲۱۰۰	۲۵۳ - ۲۰۶	۵۵۰
پیشروی	۲/۸۶ - ۱/۵	۱۲۰۰	۶۴ - ۱۲۸	۱۲۵۰	۳۰۲ - ۲۵۳	۶۵۰

سواحل نسبتاً پایدار

این نوع سواحل به سواحل گفته می‌شوند که پیش‌روی و پس‌روی خط ساحلی در آن‌ها کمتر از ۳۰ متر رخ داده است. ۲۷۸ ترانسکت از ۱۸۶۷ ترانسکت (حدود ۱۵٪) در محدوده ساحلی مورد مطالعه پیش‌روی و پس‌روی خط ساحلی کمتر از ۳۰ متر را نشان می‌دهند. در محدوده مورد بررسی بیشترین سواحل پایدار مربوط به سلول ۴ (مخروط‌افکنه‌های دیناچال، شفارود، تالاب انزلی) به‌خصوص سواحل انزلی است. میزان تغییرات خط ساحلی هر یک از این سواحل در بخش‌های قبلی آورده شد.



شکل ۱۴. سواحل با پس‌روی و پیش‌روی کمتر از ۳۰ متر



شکل ۱۵. میزان پیش‌روی و پس‌روی خط ساحلی منطقه مورد مطالعه

نتیجه

مناطق ساحلی گستره تقابل و تعامل مجموعه نیروهای محیط دریایی و خشکی با یک‌دیگر هستند. این امر موجب تغییرات کوتاه‌مدت و درازمدت در مورفولوژی و مشخصات مناطق ساحلی می‌شود. در تعیین طرح کاربری اراضی ساحلی، یکی از موارد کاملاً مؤثر و دخیل شناخت وضعیت و شرایط منطقه ساحلی از دیدگاه آب‌گرفتنی، طغیان‌های دریایی، فرسایش، رسوب‌گذاری، و سایر عوامل طبیعی و انسانی است. مطالعه و شناخت این عوامل به نحو مؤثری می‌تواند تصمیمات اتخاذشده در طرح کاربری مناطق ساحلی را تغییر دهد یا اصلاح کند و توصیه‌های مفید و کاربردی برای طراحی و اجرای مناسب‌تر ساخت‌وسازهای ساحلی

را ارائه دهد (حسین‌زاده، ۱۳۹۵). این پژوهش تغییرات خط ساحلی کرانه غربی دریای خزر را طی یک دوره ۴۵ ساله در قالب ۴ سلول ساحلی از تالش تا انزلی مورد بررسی قرار داده است. یافته‌ها محدوده خطوط ساحلی مورد بررسی را به سه گروه پس‌رونده، خطوط ساحلی دارای پیش‌روی، و خطوط ساحلی نسبتاً پایدار تقسیم‌بندی کرده است. با توجه به شکل ۱۵ حدود ۶۷/۶ کیلومتر از امتداد بازه ساحلی مورد مطالعه سواحل را در بر گرفته‌اند که طی دوره مورد مطالعه پس‌روی بیش از ۳۰ متر را تجربه کرده‌اند. حدود ۸/۹ کیلومتر از امتداد نوار ساحلی نیز با دامنه بیش از ۳۰ متر به سوی دریا پیش‌روی داشته‌اند. این بازه‌ها اغلب در قلمرو مصب رودخانه‌های بزرگ و در اطراف موج‌شکن‌ها و سازه‌های انسانی قرار گرفته‌اند. حدود ۱۱/۳ کیلومتر از امتداد نوار ساحلی نیز نسبتاً پایدار بوده‌اند. تغییرات در امتداد خطوط ساحلی پایدار و نسبتاً پایدار کمتر از ۳۰ متر بوده است. تراکم بازه پایدار اغلب محدوده شهر و بندر انزلی را پوشش می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، تغییرات خط ساحلی در محدوده تحت بررسی به طور غالب تحت تأثیر تغییرات تراز دوره‌ای دریای خزر بوده است؛ طوری که ۷۷ درصد از خط ساحلی پس‌روی بیش از ۳۰ متر داشته است. یعنی جز بخش‌هایی از سلول ۲ (مخروط‌افکنه‌های خطبه‌سرا، لیسار، نیل‌رود) و سلول ۴ (مخروط‌افکنه‌های دیناچال، سفارود، تالاب انزلی) که پایدار یا دارای پیش‌روی بوده‌اند در سایر نقاط محدوده مورد بررسی خط ساحلی پس‌رونده بوده است. در این میان مناطق تالابی اغلب مناطق حساسی نسبت به تغییرات خط ساحلی هستند. تالاب انزلی نیز روی پس‌کرانه دلتای سفیدرود قرار گرفته است. انتظار می‌رود بار رسوبی نسبتاً بالای سفیدرود موجب تغییرات زیادی در خط ساحلی این بخش شود. اما تغییرات حاصل تراز آب و نهشته‌گذاری رسوبی از یک رابطه خطی پیروی نمی‌کنند؛ بلکه تغییرات خط ساحلی حاصل برآیند میزان ورود بار رسوبی و تغییرات تراز آب است. مقایسه تغییرات ساحلی با داده‌های سنجش‌ازدور بین سال‌های ۱۹۷۷ و ۲۰۰۱ نشان می‌دهد، به‌رغم افزایش تقریباً یک‌ونیم متری تراز آب، خط ساحلی طی این مدت تغییرات چندانی مشهودی نداشته است؛ طوری که در بخش‌های فعال این بازه به دلیل ورود بار رسوبی زیاد پایداری نسبی تسلط داشته است. زیرا فضای رسوبی ایجادشده توسط افزایش تراز دریا با نهشته‌گذاری بار رسوبی رودها جبران شده است (کاکرودی، ۲۰۱۴). علاوه بر این، بندرگاه و موج‌شکن انزلی در بخش شرقی بازه تحت بررسی نیز در این نقل‌وانتقالات رسوبی تأثیرگذار بوده‌اند. از طرفی انتقال رسوبات رودخانه‌ای به پیش‌کرانه توسط جریان‌های ساحلی با راستای غربی- شرقی توزیع شده و پایداری خط ساحلی را در این بخش به دنبال داشته است. زیرا پس‌روی این بخش از امتداد ساحل دلتایی توسط نهشته‌گذاری این رسوبات جبران شده است. به نظر می‌رسد فعالیت‌های انسانی نیز تا حدودی مانع از پس‌روی خط ساحلی در اثر تغییرات سطح آب دریای خزر شده‌اند. بدیهی است شناخت تحولات زمانی و مکانی خطوط ساحلی به مدیران کمک می‌کند تا رویکرد مدیریتی مناسبی را برای حفاظت و پایدارسازی خطوط ساحلی اتخاذ کنند.

منابع

- افشاری آزاد، محمدرضا و پورکی، هاله (۱۳۹۱). طبقه‌بندی و تحلیل پدیده‌های ژئومورفیکی سواحل غربی خزر با رویکردی به نوسانات سطح آب دریا. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، شماره ۱۹، ۱۷۷ - ۱۹۴.
- برد، اریک (۱۳۸۱)، ترجمه: یمانی، مجتبی و محمدنژاد، وحید (۱۳۹۲). ژئومورفولوژی ساحلی. مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، ج ۲.
- حسین‌زاده، محمدمهدی؛ متولی، صدرالدین؛ درفشی، خهبات و خاک‌پور، ایمان (۱۳۹۵). پهنه‌بندی پایدار منطقه ساحلی محمودآباد از طریق شاخص آسیب‌پذیری سواحل (CVI). *مخاطرات محیط طبیعی*، سال ۵، شماره ۹، صص ۳۸-۲۱.
- درفشی، خهبات؛ نظرعلی، مصطفی و جندقی‌علایی، مجید (۱۳۹۵). تعیین سلول‌های رسوبی ساحلی در سواحل جنوبی دریای خزر. *چهارمین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی*. دانشکده جغرافیا. دانشگاه تهران.
- سعید صبایی، مریم؛ دانه‌کار، افشین و درویش‌صفت، علی‌اصغر (۱۳۹۰). بازبینی حريم قانونی سواحل دریای خزر به سبب تغییرات تراز آب دریا (منطقه نمونه: گیلان). *آمایش سرزمین*، سال ۳، شماره ۴، ۱۳۶ - ۱۱۵.
- شایان، سیاوش؛ داداش‌زاده، زهرا؛ لک، راضیه و شریفی‌کیا، محمد (۱۳۹۹). تحلیل مورفودینامیک ساحلی با هدف تعیین مرز سلول‌های رسوبی (مطالعه موردی: استان هرمزگان). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، سال ۹، شماره ۲، ۲۰-۱.
- شریفی‌کیا، محمد؛ شایان، سیاوش و ولی، مایسا (۱۳۹۶). تعیین تغییرات دینامیک خط ساحل بخش شرقی دریای خزر به کمک داده‌های چندمنظوره/ چندسنجنده. *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره ۲۱، شماره ۴، ۱۳۷-۱۲۲.
- علایی طالقانی، محمود (۱۳۸۶). *ژئومورفولوژی ایران*، نشر قومس. ج ۴.
- قانقرمه، عبدالعظیم (۱۳۷۸). *آب‌گرفتنی سواحل جنوبی دریای خزر*. مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر.
- علی‌زاده، حامد (۱۳۸۴). مقدمه ای بر ویژگی‌های دریای خزر، گیسوم، ج ۱.
- منوری، مسعود (۱۳۶۹). *بررسی اکولوژیک تالاب انزلی*. گیلکان. ج ۱.
- نگهبان، سعید؛ باقری، کیوان؛ حیدری، سوسن و گروسی، لیلا (۱۳۹۶). بررسی و پایش تغییرات خط ساحلی دریای عمان در منطقه جاسک. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، سال ۶، شماره ۱، ۱۳۶ - ۱۱۹.
- Abdrabo, M.A., Abdelwahab, R.G., & Hassaan, M.A. (2022). Urban dynamics and potential vulnerability of coastal urban areas to sea level rise in the southeastern Levantine Basin, *Urban Climate*, Vol. 44, 101212
- Afshariyad, M. & Pouraki, H. (2012). Classification and analysis of geomorphic phenomena of the western shores of the Caspian Sea with an approach to sea level fluctuations, *Journal of geography and regional development*, No. 19, 177-194. (in Persian)
- Ahmed, M.A., Sridharan, B., Saha, N., Sannasiraj, S.A., & Kuiry, S.N. (2022). Assessment of coastal vulnerability for extreme events, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 82, 103341.
- Alaee Taleghani, M. (2007). *Geomorphology of Iran*. fourth edition. Ghoomes Publishing company Ltd. (in Persian)
- Alizadeh, Hamed (2005). An introduction to the characteristics of the Caspian Sea, Gisum, ch.1. (in Persian)
- Berre, I.L., Meur-Ferec, C., Cuq, V., Guillou, E., Lami, T., Dantec, N.L., Letortu, P., Lummert, C., Philippe, M., Rouan, M., Nous, C., & Henaff, A. (2022). Systemic vulnerability of coastal territories to erosion and marine flooding: A conceptual and methodological approach applied to Brittany (France), *international journal of disaster risk reduction*, Vol. 78, 103122.
- Bird, E. (2002), Yamani, M. & Mohammadnegad, V. (2013). *Coastal Geomorphology*. 2nd edition. Tehran University Publications. (in Persian)
- Blodget, H.W., Taylor, P.T., & Roark, J.H. (1991). Shoreline Changes along the Rosetta-Nile Promontory: Monitoring with Satellite Observations, *Marine Geology*, v. 99, 67-77.
- Bombino, G., Barbaro, G., D'Agostino, D., Denisi, P., Foti, G., Labate, A., & Zimbone, S.M. (2022). Shoreline change and coastal erosion: The role of check dams. *First indications from a case study in Calabria*. southern Italy. CATENA. Vol. 217. 106494.
- Boufekane, A., Maizi, D., Madene, E., Busico, G., & Zghibi. A. (2022). Hybridization of GALDIT method to assess actual and future coastal vulnerability to seawater intrusion, *Journal of Environmental Management*, Vol. 318, 115580.
- Cai, F., Cao, C., Qi, H., Su, X., Lei, G., Liu, J., Zhao, S., Liu, G., & Zhu, K. (2022). Rapid migration of mainland China's coastal erosion vulnerability due to anthropogenic changes, *Journal of Environmental Management*, Vol. 319, 115632.
- Chu, Z.X., Sun, X.G., Zhai, S.K., & Xu, K.H. (2006). Changing Patter of Accretion/ Erosion of the Modern Yellow River (Huanghe) sub aerial delta, China: Based on Remote Sensing Images, *International Journal of Marine Geology, Geochemistry and Geophysics*, v. 227, 13-30.

- Clare, M.C.A., Piggott, M.D., & Cotter, C.J. (2022). Assessing erosion and flood risk in the coastal zone through the application of multilevel Monte Carlo methods, *Coastal Engineering*, Vol. 174, 104118.
- Derafshi, Kh., Nazarali, M., & Jandaghialaei, M. (2016). Determining coastal sedimentary cells in the southern shores of the Caspian Sea. *The fourth national conference of the Iranian Association of Geomorphology*. Faculty of Geography. University of Tehran. (in Persian)
- Di, K., Ruijing, M., Jue, W., & Ron, L. (2004). Coastal mapping and change diction using high resolution IKONOS satellite imagery. <http://shoreline.eng.ohio-state.edu/research/diggov/DigiGov.html>
- El-Sayed El-Mahdy, M., Saber, A., Moursy, F.E., Sharaky, A., & Saleh, N. (2022). Coastal erosion risk assessment and applied mitigation measures at Ezbet Elborg village, Egyptian delta, *Ain Shams Engineering Journal*, Vol. 13, Issue 3, 101621.
- Ghanghorme, A. (1999). *Flooding of the southern shores of the Caspian Sea*. National Center for Caspian Sea Studies and Research. (in Persian)
- Hamid, A.I.A., Din, A.H.M., Abdullah, N.M., Yusof, N., Hamid, M.R.A., & Shah, A.M. (2021). Exploring space geodetic technology for physical coastal vulnerability index and management strategies: A review, *Ocean & Coastal Management*, Vol. 214, 105916.
- Hoseinzadeh, M.M., Motevalli, S., Derafshi, K., & Khakpoor, I. (2016). Zoning of Lands Stability and Instability in Coastal Area using Coastal Vulnerability Index (CVI), Case Study: Mahmoudabad Province, *Journal of Natural Environmental Hazards*, Vol. 5, Issue 9, 21-38. (in Persian)
- Hossain, S.A., Mondal, I., Thakur, S., & Al-Quraishi, M.F. (2022). Coastal vulnerability assessment of India's Purba Medinipur-Balasore coastal stretch: A comparative study using empirical models, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 77, 103065.
- Jayson-Quashigah, P.N., Appeaning Addo, K., & Sosthenes Kodzo, K. (2013). Medium resolution satellite imagery as a tool for monitoring shoreline change, Case study of the eastern coast of Ghana, *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, 511-516.
- Kakroodi, A.A., Kroonenberg, S.B., Goorabi, A., & Yamani, M. (2014). Shoreline response to rapid 20th century sea-level change along the Iranian Caspian coast, *Journal of Coastal Research*, 30(6), 1243-1250.
- Kovaleva, O., Sergeev, A., & Ryabchuk, D. (2022). Coastal vulnerability index as a tool for current state assessment and anthropogenic activity planning for the Eastern Gulf of Finland coastal zone (the Baltic Sea), *Applied Geography*, Vol. 143, 102710.
- Li, F., van Gelder, P.H.A.J.M., Vrijling, J.K., Callaghan, D.P., Jongejan, R.B., & Ranasinghe, R. (2014). Probabilistic estimation of coastal dune erosion and recession by statistical simulation of storm events, *Applied Ocean Research*, Vol. 47, 53-62.
- Monavari, M. (1990). *Ecological investigation of Anzali lagoon*. Gilakan publication. (in Persian)
- Narra, P., Coelho, C., & Sancho, F. (2019). Multicriteria GIS-based estimation of coastal erosion risk: Implementation to Aveiro sandy coast, Portugal, *Ocean & Coastal Management*, Vol. 178, 104845.
- Nativí-Merchán, S., Caiza-Quinga, R., Saltos-Andrade, I., Martillo-Bustamante, C., Andrade-García, G., Quiñonez, M., Cervantes, E., & Cedeño, J. (2021). Coastal erosion assessment using remote sensing and computational numerical model. Case of study: Libertador Bolivar, Ecuador, *Ocean & Coastal Management*, Vol. 214, 105894.
- Negahban, S., Bagheri, K., Heydari, S., & Garrousi, L. (2017). Investigating and monitoring the changes of the coastline of Oman Sea in Jask region, *researches of Quantitative geomorphology*, No. 1, 119-136. (in Persian)
- Oo, Y.H., Silva, G.V.D., Zhang, H., Strauss, D., & Tomlinson, R. (2022). Estimation of beach erosion using Joint Probability analysis with a morphological model, *Ocean Engineering*, Vol. 264, 112560.
- Queiroz, H.A.D.A., Gonçalves, R.M., & Mishra, M. (2022). Characterizing global satellite-based indicators for coastal vulnerability to erosion management as exemplified by a regional level analysis from Northeast Brazil, *Science of The Total Environment*, Vol. 817, 152849.
- Rehman, S., Jahangir, S., & Azhoni, A. (2022). GIS based coastal vulnerability assessment and adaptation barriers to coastal regulations in Dakshina Kannada district, India, *Regional Studies in Marine Science*, Vol. 55, 102509.
- Saeidsabaei, M., Danekar, A., & Darvishsefat, A. (2011). Reviewing the legal boundaries of the Caspian Sea coast due to sea level changes Sample area: Gilan, *Land preparation magazine*, No. 4, 115-136. (in Persian)
- Sharifikia, M., Shayan, S., & Vali, M. (2018). Determining the dynamic changes of the coastline of the eastern part of the Caspian Sea using multipurpose/multimeter data, *The Journal of Spatial Planning*, No. 4, 122-137. (in Persian)
- Shayan, S., Dadashzadeh, Z., Lak, R., & Sharifikia, M. (2020). Analysis of coastal morphodynamics with the aim of determining the boundary of sedimentary cells (case study: Hormozgan province), *researches of Quantitative geomorphology*, No. 2.1-20. (in Persian)

- Thirumurthy, S., Jayanthi, M., Samynathan, M., Duraisamy, M., Kabiraj, S., & Anbazhahan, N. (2022). Multi-criteria coastal environmental vulnerability assessment using analytic hierarchy process based uncertainty analysis integrated into GIS, *Journal of Environmental Management*, Vol. 313, 114941.
- Whitehouse, R., Balson, P., Beech, N., Brampton, A., Blott, S., Burningham, H., Cooper, N., French, J., Guthrie, G., Hanson, S., Nicholls, R., Pearson, S., Pye, K., Rossington, K., Sutherland, J., & Walkden, M. (2009). Characterization and prediction of larg-scale, long-term change of coastal geomorphologic behaviors: Final science report. R&D Project Record, BS32 4UD, Joint Defra/Environment Agency Flood and Coastal Erosion Risk Management R&D Programme.