

(OPEN ACCESS)

Assessment of Coastal Vulnerability and Spatiotemporal Dynamics of Shoreline Changes in the Southeastern Caspian Sea: A Case Study of the Gorganrud River Estuary

Mohaddese Ahmadi¹, Rasoul Ghorbani^{*2}, Abdolrassoul Salmanmahiny³,
Rahman Patimar⁴, Abdolazim Fazel⁵, Fateme Abbasi⁶, Vahid Kheyraadi⁷

1. Ph.D. Student of Aquatic Production and Exploitation, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: ahmadi.m.6241@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Aquatic Production and Exploitation, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: rasulghorbani@gmail.com
3. Professor, Dept. of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: rassoulmahiny@gmail.com
4. Professor, Dept. of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: rpatimar@yahoo.com
5. Research Assistant Prof., Gorgan Inland Waters Aquatic Resources Research Center, Gorgan, Iran. E-mail: a.fazel58@gmail.com
6. Ph.D. Graduate, Dept. of Aquatic Production and Exploitation, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: f.abbasi59@yahoo.com
7. Ph.D. Graduate, Dept. of Aquatic Production and Exploitation, Natural Environment and Biodiversity, Golestan Environmental Protection Directorate, Gorgan, Iran. E-mail: kheyraadi.vahid@gmail.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 05.25.2025

Revised: 06.27.2025

Accepted: 07.20.2025

Keywords:

DSAS,
Gorganrud Delta,
Sea Level,
Shoreline Change,
Vulnerability

ABSTRACT

Background and Objectives: Assessing shoreline vulnerability and temporal variations is a key issue in the sustainable management of coastal areas. The aim of this study is to evaluate the vulnerability and analyze the spatiotemporal changes of the Gorganrud Delta shoreline in Golestan Province.

Materials and Methods: In this study, the Gorganrud Delta region was divided into three zones: northern, central, and southern. Using the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) and analyzing multi-temporal Landsat satellite images from 2013 to 2023 within the Google Earth Engine platform, shoreline fluctuations were calculated and measured.

Results: The results indicated that, based on the End Point Rate (EPR), the central part of the Gorganrud region exhibited the greatest shoreline retreat and displacement, with a total change of 4,924 meters. This area falls within the high to very high vulnerability class. According to the Linear Regression Rate (LRR), the rate of shoreline change was calculated at 121 meters per year in 2013, increasing significantly to 4,924 meters per year in 2023. The southern part of the Gorganrud region shows more stable conditions compared to the central and northern sections, with the lowest rate of shoreline retreat and is thus classified as very low vulnerability. Conversely, the central part of the Gorganrud region, especially the lower Gorganrud Delta, has undergone the most extensive shoreline retreat and falls within the very high vulnerability

class. The concentration of erosion in the central zone highlights the urgent need for targeted protective measures. Shoreline retreat varies along different segments of the Gorganrud coast. The northern part of the Gorganrud Delta demonstrates greater stability than the central areas and is categorized as having moderate to low vulnerability. It appears that both natural factors such as declining sea levels and sediment accumulation and human activities play significant roles in driving shoreline displacement and changes in the Gorganrud region. Overall, identifying sensitive areas and implementing appropriate management strategies can substantially reduce coastal vulnerability and contribute to the long-term sustainability of coastal ecosystems.

Cite this article: Ahmadi, Mohaddese, Ghorbani, Rasoul, Salmanmahiny, Abdolrassoul, Patimar, Rahman, Fazel, Abdolazim, Abbasi, Fateme, Kheyraadi, Vahid. 2026. Assessment of Coastal Vulnerability and Spatiotemporal Dynamics of Shoreline Changes in the Southeastern Caspian Sea: A Case Study of the Gorganrud River Estuary. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 15 (2), 125-141.



© The Author(s).

Doi: 10.22069/japu.2025.23692.1955

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی آسیب‌پذیری و تحلیل مکانی-زمانی تغییرات خط ساحلی جنوب شرقی دریای خزر در محدوده دلتای گرگان‌رود

محدثه احمدی^۱، رسول قربانی^{۲*}، عبدالرسول سلمان ماهینی^۳، رحمان پاتیمار^۴، عبدالعظیم فاضل^۵،
فاطمه عباسی^۶، وحید خیرآبادی^۷

۱. دانشجوی دکتری تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: ahmadi.m.6241@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: rasulghorbani@gmail.com
۳. استاد گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: rassoulmahiny@gmail.com
۴. استاد گروه شیلات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: rpatimar@yahoo.com
۵. استادیار بوم‌شناسی آبزیان، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی، مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی، گرگان، ایران. رایانامه: a.fazel58@gmail.com
۶. دانش‌آموخته دکتری شیلات، تولید و بهره‌برداری آبزیان (بوم‌شناسی آبزیان)، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: f.abbasi59@yahoo.com
۷. دانش‌آموخته دکتری شیلات، تولید و بهره‌برداری آبزیان (بوم‌شناسی آبزیان)، محیط زیست طبیعی و تنوع زیستی اداره کل حفاظت محیط زیست گلستان، گرگان، ایران. رایانامه: kheyraadi.vahid@gmail.com

چکیده	اطلاعات مقاله
سابقه و هدف: آسیب‌پذیری سواحل یکی از موضوعات اساسی در حوزه حفاظت محیط‌زیست و مدیریت پایدار منابع طبیعی به شمار می‌رود. هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی آسیب‌پذیری و تحلیل تغییرات مکانی-زمانی خط ساحلی دلتای گرگان‌رود در استان گلستان است.	نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی
مواد و روش‌ها: در این تحقیق، منطقه دلتای گرگان‌رود به سه قسمت شمالی، میانی و جنوبی طبقه‌بندی شده و با استفاده از سامانه تحلیل رقومی خط ساحلی (DSAS) و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه لندست در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ میلادی در سامانه Google Earth Engine، میزان نوسانات خط ساحلی اندازه‌گیری گردید.	تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۴ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹
نتایج و یافته‌ها: نتایج نشان داد که بر اساس نرخ رگرسیون خطی (LRR)، میزان تغییرات و جابجایی خطوط ساحلی در سال ۲۰۱۳ برابر با ۱۲۱ متر در سال و در سال ۲۰۲۳ برابر با ۴۹۲۴ متر در سال محاسبه شد. بر اساس نرخ نقطه پایانی (EPR)، دلتای گرگان‌رود در قسمت میانی،	واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، تغییرات خط ساحلی، دلتای گرگان‌رود، DSAS

از لحاظ پس‌روی آب و جابجایی خطوط ساحلی، با بیش‌ترین میزان پس‌روی در طبقه آسیب‌پذیری زیاد تا بسیار زیاد قرار می‌گیرد. بخش جنوبی دلتا، وضعیت پایدارتری نسبت به بخش میانی و شمالی داشته و به دلیل تفاوت در دینامیک جریان‌های ساحلی و فرآیند رسوب‌گذاری با کم‌ترین میزان پس‌روی آب در دسته آسیب‌پذیری بسیار کم قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد عوامل طبیعی، نظیر کاهش سطح آب دریا و هم‌چنین فعالیت‌های انسانی نقش مهمی در جابجایی و تغییرات خط ساحلی در دلتای گرگان‌رود دارند. به‌طورکلی، شناسایی مناطق حساس و ارائه راهکارهای مدیریتی می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری و حفظ پایداری اکوسیستم‌های ساحلی کمک کند.

استناد: احمدی، محدثه، قربانی، رسول، سلمان ماهینی، عبدالرسول، پاتیمار، رحمان، فاضل، عبدالعظیم، عباسی، فاطمه، خیرآبادی، وحید (۱۴۰۵). ارزیابی آسیب‌پذیری و تحلیل مکانی-زمانی تغییرات خط ساحلی جنوب شرقی دریای خزر در محدوده دلتای گرگان‌رود. نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۵ (۲)، ۱۴۱-۱۲۵.
Doi: 10.22069/japu.2025.23692.1955



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

مناطق ساحلی، به‌عنوان سیستم‌هایی پویا و چندبعدی، تحت تأثیر تعاملات پیچیده میان عوامل طبیعی، محیطی و انسانی قرار دارند (۱). این مناطق، به دلیل فشارهای متعدد ناشی از فرایندهای طبیعی، فعالیت‌های انسانی و تغییرات مداوم اقلیمی، همواره در معرض چالش‌های گوناگون قرار دارند (۲). پدیده پس‌روی دریا می‌تواند زیستگاه‌های آبی را به‌طور چشمگیری دگرگون سازد و موجب اختلال در مکان‌های تخم‌ریزی ماهیان، چرخه‌های تغذیه‌ای، و کاهش بهره‌وری شیلات ساحلی شود. این تغییرات، چالش‌هایی جدی برای مدیریت پایدار منابع شیلاتی در مناطق ساحلی در حال عقب‌نشینی ایجاد می‌کنند (۳).

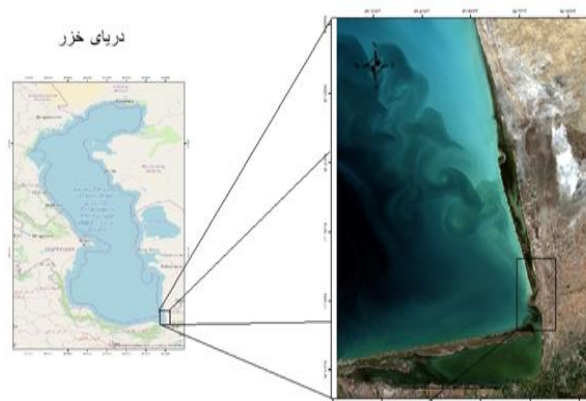
آسیب‌پذیری سواحل یکی از موضوعات اساسی در حوزه حفاظت محیط‌زیست و مدیریت پایدار منابع طبیعی به شمار می‌رود (۴). سواحل آسیب‌پذیری که دارای ارتفاع کم، رسوبات سست، انرژی جزر و مدی بالا و مواجهه‌ی بیش‌تر با طوفان‌ها هستند، احتمال بیش‌تری برای تجربه فرسایش ساحلی و تغییرات ژئومورفولوژیکی دارند (۵). فعالیت‌های انسانی مانند احیای زمین، ساخت‌وساز در امتداد سواحل و احداث سازه‌های ساحلی، مانند بندرها، تأثیرات قابل‌توجهی بر اکوسیستم‌های ساحلی می‌گذارند (۶). این عوامل به افزایش آسیب‌پذیری خط ساحلی در برابر نوسانات سطح دریا کمک می‌کنند که با تغییرات آب‌وهوایی تشدید می‌شود. بر همین اساس، پایش ناحیه ساحلی از عوامل مهم در توسعه پایدار و حفاظت از سواحل به شمار می‌رود. نوسانات سطح تراز آب دریا و اثرات آن بر خطوط ساحلی می‌تواند پیامدهای متعددی داشته باشد که شامل تأثیرات فیزیکی بر خطوط ساحلی است. این تأثیرات منجر به تغییر شکل و جابه‌جایی موقعیت خطوط ساحلی شده و

زیرساخت‌های ساحلی را در معرض تهدید جدی قرار می‌دهد (۷). برای ارزیابی تغییرات خطوط ساحلی، روش‌های مختلفی وجود دارد که شامل روش‌های میدانی، آماری و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای با بهره‌گیری از نرم‌افزار GIS است؛ به‌ویژه، به‌کارگیری روش‌های نوین مانند پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند دقت و کارایی پایش تغییرات ساحلی را به‌طور چشمگیری افزایش دهد (۸). تقوی مقدم و همکاران (۱۳۹۶) گزارش‌شده است که استفاده از روش ترکیبی سنجش‌ازدور و مورفومتری خط ساحلی، روشی مناسب و دقیق برای ارزیابی تغییرات خط ساحلی محسوب می‌شود (۹). با این حال، تحلیل‌های بلندمدت مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای، ارزیابی پایداری خط ساحلی و یکپارچه‌سازی تحلیل‌های سامانه تحلیل رقومی خط ساحلی برای شناسایی مناطق پرخطر، الزامات اساسی در مدیریت و حفاظت سواحل دلتای گرگان‌رود محسوب می‌شود. ارزیابی هم‌زمان آسیب‌پذیری و تغییرات خط ساحلی این مطالعه به ایجاد یک چارچوب تحلیلی می‌پردازد که نه تنها تغییرات زمانی خط ساحلی را بررسی می‌کند، بلکه میزان آسیب‌پذیری مناطق مختلف را نیز با در نظر گرفتن عوامل طبیعی و انسانی تعیین می‌نماید. ارائه راهکارهای مدیریتی مبتنی بر داده‌های DSAS بر اساس نتایج دقیق تحلیل‌های سامانه تحلیل رقومی خط ساحلی، استراتژی‌های مدیریت سواحل و برنامه‌های کاهش مخاطرات طراحی می‌شود تا به سیاست‌گذاری‌های محیط‌زیستی و توسعه پایدار منطقه کمک کند. این نوآوری‌ها می‌توانند دقت ارزیابی تغییرات خط ساحلی دلتای گرگان‌رود را بهبود بخشیده و اطلاعات ضروری را برای مدیریت پایدار این اکوسیستم ارزشمند فراهم کنند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این مطالعه در دهانه رودخانه گرگان‌رود، واقع در حوضه آبریز دریای خزر در استان گلستان، انجام گرفت. طول کل این رودخانه از سرچشمه تا مصب بیش از ۳۲۵ کیلومتر است و در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه و ۳۴ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۱/۶ ثانیه شرقی واقع شده است. جهت جریان رودخانه عمدتاً از شرق به غرب است. این رودخانه از جنبه‌های مختلف هیدرولوژیکی، زیست‌محیطی و اکولوژیکی حائز اهمیت بوده و مدیریت آب در حوضه آن از اهمیت بالایی برخوردار است (شکل ۱).

دلتای گرگان‌رود تحت تأثیر فرایندهای هیدرودینامیکی ناشی از جریان‌های دریایی و رودخانه‌ای قرار دارد که بر میزان و الگوی رسوب‌گذاری آن تأثیرگذار بوده و منجر به تغییرات مورفولوژیکی در نواحی ساحلی می‌شود. تغییرات سطح آب دریای خزر، امواج دریا به‌ویژه امواج شمال‌غربی و غربی و جریان‌های رودخانه‌ای گرگان‌رود همگی بر میزان رسوب‌گذاری آن تأثیر می‌گذارند و مقادیر زیادی رسوب را به سمت دلتا منتقل می‌کنند. از طرفی، تغییرات سطح آب دریای خزر تحت تأثیر عوامل طبیعی هم‌چون نوسانات اقلیمی و هیدرولوژیکی قرار دارد و بر پویایی خط ساحلی اثر می‌گذارد (۱۰).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دلتای گرگان‌رود.

Figure 1. Geographical location of the Gorgan-rud Delta.

لندست ۸ شامل دو سنجنده اصلی OLI^۲ و TIRS^۳ است (۱۱)؛ و هم‌چنین این تصاویر شامل باندهای طیفی مختلفی از جمله باندهای مرئی، مادون‌قرمز و مادون‌قرمز کوتاه است (۱۲) و دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باندهای اصلی می‌باشند (۱۳). هم‌چنین شاخص طیفی NDWI^۴ به‌منظور تمایز مرز بین آب و خشکی از روی تصاویر مربوطه لندست استخراج گردید.

- 2- Operational Land imager
- 3- Thermal infrared Sensor
- 4- Normalized difference water index

مواد و روش‌ها

این مطالعه در ۳ گام اصلی انجام شد: گام نخست تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (۲۰۱۳-۲۰۲۳) در فاصله زمانی ۱۱ سال، از سنجنده OLI و تصاویر Collection2, Level2, Tier1 از سامانه GEE دانلود شدند. این تصاویر از سامانه گوگل ارث انجین^۱ (GEE) به‌صورت تصحیح اتمسفری شده و با cloud cover کم‌تر از ۱۰ درصد در فصل تابستان استخراج شد. تصاویر

- 1- Google earth engine

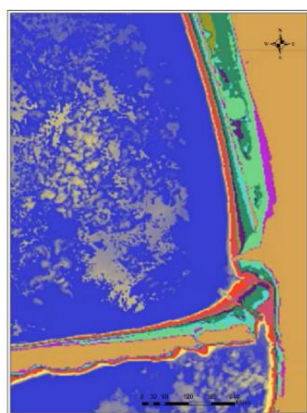
رطوبت‌های موجود در منطقه گرفته نشود، حد آستانه ۰/۲ از هر باند استخراج و پیکسل‌های بزرگ‌تر از ۰/۲ در نظر گرفته شد. سپس خطوط ساحلی برای هر سال از روی تصاویر NDWI استخراج شد و برای هر تصویر به منظور جداسازی خطوط خشکی و پیکره آبی پیکسل‌های کوچک‌تر از صفر ماسک شدند و خطوط ساحلی از رابطه زیر به دست آمد:

$var\ Coastline = ndwi.gte(0.0).selfMask$

هم‌چنین شاخص NDWI به منظور استخراج خطوط ساحلی از رابطه زیر به دست آمد:

$$Landsat8 = (BAND3 - BAND5) / (BAND3 + BAND5)$$

این شاخص در بازه عددی مثبت یک تا منفی است هرچه به مثبت یک نزدیک‌تر باشد به معنی وجود آب و رطوبت بیشتر است. برای اطمینان از این‌که فقط پیکره آبی در نظر گرفته شود و



شکل ۲- خطوط ساحلی استخراج شده در گوگل ارث انجین.

Figure 2. Extracted shorelines in Google Earth Engine.

خطوط ساحلی و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری طبقه‌بندی شد (شکل ۳).

در گام دوم، دلتای گرگان‌رود به طول ۱۲ کیلومتر به ۳ قسمت شمالی، میانی و جنوبی جهت ارزیابی



شکل ۳- ناحیه‌بندی منطقه گرگان‌رود.

Figure 3. Zoning of the Gorganrud region.

بخش شمالی در امتداد خط ساحلی دلتای گرگان‌رود، بین مختصات عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۰ دقیقه و ۱۶ ثانیه شمالی تا ۳۷ درجه و ۵ دقیقه و ۵۶/۵ ثانیه شمالی، و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱ دقیقه و ۲/۰۵ ثانیه شرقی تا ۵۳ درجه و ۵۹ دقیقه و ۳۳/۱۵ ثانیه شرقی؛

بخش میانی در نزدیکی خروجی دلتای رودخانه گرگان‌رود، بین مختصات عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه و ۲۸/۴۱ ثانیه شمالی تا ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۰/۱۲ ثانیه شمالی، و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲ دقیقه و ۳۸/۴۰ ثانیه شرقی تا ۵۴ درجه و ۰ دقیقه و ۴۶/۸۴ ثانیه شرقی؛

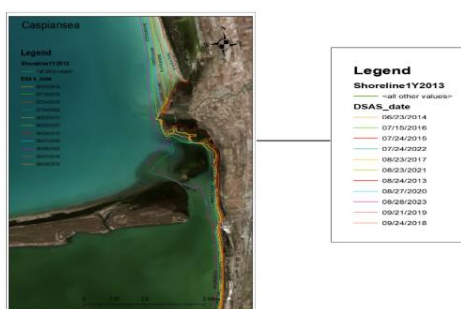
بخش جنوبی در امتداد بخش‌های پایین‌دست دلتای رودخانه گرگان‌رود، بین مختصات عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه و ۳۳/۸۸ ثانیه شمالی تا ۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه و ۵۹/۷۷ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲ دقیقه و ۲۳/۴۱ ثانیه شرقی تا ۵۴ درجه و ۲ دقیقه و ۲۷/۸۸ ثانیه شرقی.

در گام سوم، ارزیابی تغییرات خط ساحلی از سال ۲۰۱۳-۲۰۲۳ در محیط نرم‌افزار Arcmap به‌وسیله افزونه DSAS انجام گردید. افزونه^۱ DSAS، امکان تحلیل‌های فضایی دقیق‌تری را نسبت به روش‌های آماری موجود فراهم می‌آورد (۱۴). این افزونه با ایجاد ترانسکت‌های عمود بر خطوط ساحلی در فواصل معین میزان تغییرات و جابجایی خطوط ساحلی را در سال‌های مختلف ارزیابی می‌کند. روش‌های آماری اندازه‌گیری تغییرات خط ساحلی در افزونه DSAS متفاوت است. روش^۲ NSM (حرکت خط ساحلی خالص): فاصله بین قدیمی‌ترین و جوان‌ترین خط ساحلی؛^۳ EPR (نرخ خط پایانی): از تقسیم فاصله

حرکت خط ساحلی به میزان تغییر مکان خط ساحلی بین قدیمی‌ترین و جوان‌ترین خطوط ساحلی به دست می‌آید. خطوط ساحلی از روی تصاویر لندست ترسیم شدند؛ و سپس در اطراف خطوط ساحلی جهت ایجاد یک خط مبدأ (Baseline) بافر ۱۰۰ متری ایجاد شد که خط مبدأ از اولین خط ساحلی ۱۰۰ متر فاصله داشت و پس‌از آن ترانسکت‌ها به تعداد ۳۲۱ عدد و به‌صورت عمود بر خط ساحلی بافاصله ۵۰ متر از یکدیگر از خط Baseline ایجاد شدند و تا آخرین خط ساحلی ادامه پیدا کردند و نرخ‌های آماری، نرخ نقطه پایانی (EPR) و نرخ رگرسیون خطی (LRR) برای ارزیابی هر ترانسکت ارائه شد. شاخص EPR از طریق نسبت فاصله جابه‌جایی خط ساحلی به بازه زمانی بین قدیمی‌ترین و جدیدترین موقعیت ثبت‌شده خط ساحلی محاسبه می‌شود. مزایای گسترده EPR حداقل نیاز به تنها دو تاریخ خط ساحلی است (۱۵). این نتایج به اولویت‌بندی مناطق جهت انجام اقدامات حفاظتی و پیش‌بینی روندهای آینده تغییرات ساحلی کمک می‌کند (۱۶) (شکل ۴).

در این مطالعه ارزیابی آسیب‌پذیری و تغییرات زمانی خط ساحلی دلتای گرگان‌رود با استفاده از سامانه تحلیل رقومی خط ساحلی (DSAS) و داده‌های آماری به‌دست آمد و نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری و میزان جابجایی خطوط ساحلی در منطقه گرگان‌رود به‌وسیله تصاویر چند زمانه لندست در طی ۱۱ سال از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفت و خطوط ساحلی در منطقه گرگان‌رود به‌وسیله نقشه ارائه‌شده توسط افزونه DSAS، تجزیه تحلیل ترانسکت‌های حاصل از سیستم تحلیل خط ساحلی دیجیتال مورد ارزیابی قرار گرفتند.

1- Digital Shoreline Analyses System
2- Net shoreline movement
3- End pointe rate

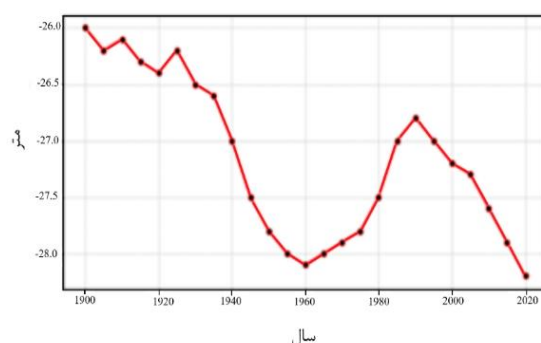


شکل ۴- خطوط ساحلی ترسیم شده در GIS از سال ۲۰۱۳-۲۰۲۳.
Figure 4. Shorelines delineated in GIS from 2013 to 2023.

پیشین سطح تراز آب دریا کاهش یافته و طی آن پس‌روی آب را به دنبال داشته است (شکل ۵).

نتایج

بر اساس تراز آب دریا در سال‌های ۲۰۱۳ برابر ۲۷/۲- و در سال ۲۰۲۳ برابر با ۲۸/۴- بوده است. بدین معنی که در سال ۲۰۲۳ نسبت به سال‌های

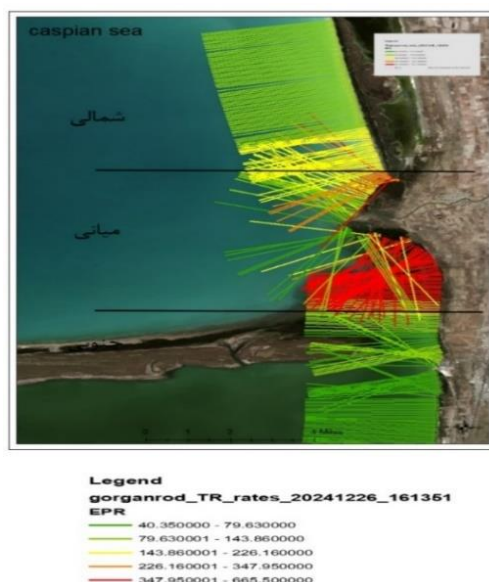


شکل ۵- تغییرات تراز آب دریای خزر از سال ۱۹۰۰-۲۰۲۲ (۱۷).
Figure 5. Caspian Sea water level changes from 1900 to 2022.

قرمز را مشخص می‌کند. در قسمت میانی منطقه مورد مطالعه، در نزدیکی خروجی رودخانه گرگان‌رود، غلظتی از ترانسکت‌های قرمز و نارنجی مشاهده می‌شود، مناطق قرمز رنگ با میانگین تغییرات ۳۴۷/۹۵-۶۶۵/۵ متر در سال و مناطق نارنجی رنگ با میانگین تغییرات ۲۲۶/۱۶-۳۴۷/۹۵ متر در سال است که به ترتیب نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بسیار بالا و آسیب‌پذیری بالا است؛ و در این مناطق فرسایش فعال است که تحت تأثیر دینامیک رسوب، دبی رودخانه و اثرات امواج است. در قسمت میانی گاهی در بعضی

نقشه ارائه شده (شکل ۶)، شامل خطوط ترانسکت با کدهای رنگی بر اساس آسیب‌پذیری یا نرخ تغییر خط ساحلی است. ترانسکت‌های سبز کم‌ترین میزان پس‌روی آب نشان می‌دهد و نشان‌دهنده مناطق نسبتاً پایداری است که حرکت خط ساحلی در آن‌ها حداقل است. ترانسکت‌های زرد مناطقی را با آسیب‌پذیری متوسط برجسته می‌کند؛ ترانسکت‌های قرمز مناطقی با فرسایش قابل توجه با آسیب‌پذیری بالا؛ ترانسکت‌های نارنجی مناطقی با آسیب‌پذیری بالاتر از حد متوسط اما نه به شدت ترانسکت‌های

نقاط به‌طور پراکنده ترانسکت‌های سبزرنگ هم دیده می‌شود. مناطق پرخطر قرمز و نارنجی، نیازمند توجه بیش‌تر و اقدامات مدیریتی هستند که بر این مناطق اعمال شود. این اقدامات نظیر کنترل فرسایش، مدیریت رسوب یا ایجاد منطقه حائل برای محافظت در برابر خطرات ساحلی است.



شکل ۶- ترانسکت‌های عمود بر خط ساحلی دلتای گرگان‌رود.

Figure 6. Transects perpendicular to the Gorganrud shoreline.

ترانسکت‌های سبز: مناطقی با نرخ‌های کم تغییر خط ساحلی و کم‌ترین میزان پس‌روی آب
ترانسکت‌های زرد: مناطقی با آسیب‌پذیری متوسط؛ ترانسکت‌های قرمز: مناطقی با فرسایش قابل‌توجه با آسیب‌پذیری بالا
ترانسکت‌های نارنجی: مناطقی با آسیب‌پذیری بالاتر از حد متوسط اما نه به‌شدت ترانسکت‌های قرمز

اما باید به‌طور دوره‌ای برای شناسایی هرگونه روند تغییرات نوظهور در پویایی خط ساحلی نظارت شوند؛ و در امتداد جنوبی خطوط ساحلی منطقه گرگان‌رود ترانسکت‌های سبزرنگ، سبز روشن با آسیب‌پذیری کم و سبز تیره با آسیب‌پذیری بسیار کم دیده می‌شود که نشان‌دهنده میزان پایداری در این مناطق است (شکل ۶؛ جدول ۱).

با حرکت به سمت شمال در امتداد خط ساحلی گرگان‌رود ترانسکت‌های سبز روشن با آسیب‌پذیری کم زردرنگ با آسیب‌پذیری متوسط غالب هستند. ترانسکت‌های سبز روشن با میانگین تغییرات ۱۴۳/۸۶-۷۹/۶۳ متر در سال و ترانسکت‌های زرد با میزان تغییرات ۲۲۶/۲۶-۱۴۳/۸۶ متر در سال که نشان‌دهنده ثبات بیش‌تر و نرخ کم‌تر تغییرات خط ساحلی را نشان می‌دهد. این مناطق نسبتاً پایدار هستند

جدول ۱- طبقه‌بندی آسیب‌پذیری بر اساس رنگ ترانسکت و تغییرات و جابجایی خطوط ساحلی (متر).

Table 1. Vulnerability classification based on shoreline change and displacement (meters).

میانگین تغییرات خطوط ساحلی (متر) Average shoreline change (meters)		رنگ و امتیاز Color and score
79630000	40350000	آسیب‌پذیری بسیار کم Very low vulnerability
143860000	79630001	آسیب‌پذیری کم low vulnerability
226160000	143860001	آسیب‌پذیری متوسط Moderate vulnerability
347950000	226160001	آسیب‌پذیری زیاد High vulnerability
665500000	347950001	آسیب‌پذیری بسیار زیاد Very high vulnerability

در بررسی نرخ رگرسیون خطی (LLR)، گرگان‌رود در سال ۲۰۲۱ آغاز شد؛ و در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ به حداکثر خود رسید.

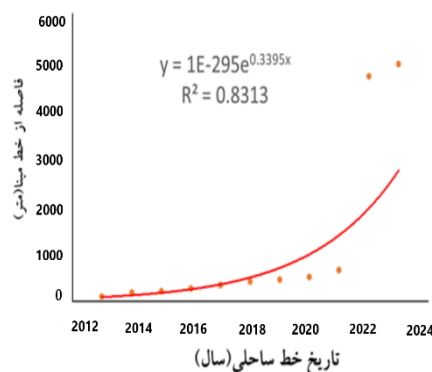
جدول ۲- نرخ تغییرات و جابجایی خطوط ساحلی (متر در سال) در منطقه گرگان‌رود.

Table 2. Rate of shoreline change and displacement (meters per year) in the Gorganrud region.

فاصله و نرخ تغییرات خطوط ساحلی در هر سال (متر در سال) Distance and rate of shoreline change per year (meters per year)	فاصله و نرخ تغییرات خطوط ساحلی از خط مبدأ (متر در سال) Distance and rate of shoreline change from the baseline (meters per year)	تاریخ خطوط ساحلی Shoreline dates
100	100	2013
114	352	2014
23	258	2015
34	292	2016
72	643	2017
134	984	2018
45	435	2019
10	553	2020
119	672	2021
3219	3891	2022
1033	4924	2023

می‌دهد که ۰/۸۳ درصد از واریانس در فاصله از خط مبنا توسط مدل رگرسیونی توضیح داده شده است. خط ساحلی به‌طور فزاینده‌ای در طول زمان از خط مبنا دور می‌شود، به این معنی که خط ساحلی در حال عقب‌نشینی یا فرسایش است. نرخ پس‌روی در ابتدا کند است، اما با گذشت زمان سریع‌تر می‌شود (شکل ۷).

در مدل رگرسیونی، شیب مثبت خط رگرسیونی نشان‌دهنده آن است که در این مدل باگذشت زمان، فاصله از خط مبدأ به‌صورت خطی در حال افزایش است. معادله رگرسیونی در این مدل برابر با $y = 1E - 295e^{0.3395x}$ است که یک رابطه نمایی بین تاریخ خط ساحلی و فاصله از خط مبنا را نشان می‌دهد؛ و ضریب تعیین معادل ۰/۸۳ درصد است که نشان‌دهنده تناسب خوب مدل با داده است و نشان

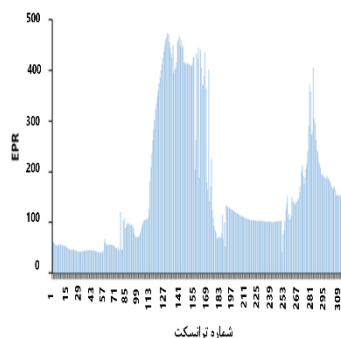


شکل ۷- نرخ خط رگرسیونی.

Figure 7. Regression line rate.

می‌آید. در این مطالعه بیش‌ترین میزان آسیب‌پذیری در قسمت میانی منطقه گرگان‌رود در بر طبق محاسبات EPR در ترانسکت‌های شماره ۱۲۴ تا ۱۴۱ مشاهده شد (شکل ۸).

EPR، نرخ نقطه پایان یکی از شاخص‌های مهم تحلیل تغییرات خط ساحلی است که از تقسیم فاصله حرکت خط ساحلی به میزان تغییر مکان خط ساحلی بین قدیمی‌ترین و جوان‌ترین خطوط ساحلی به دست

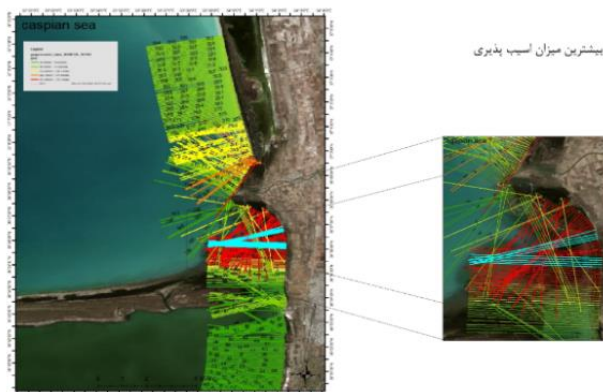


شکل ۸- بیش‌ترین میزان آسیب‌پذیری بر طبق محاسبه EPR.

Figure 8. Highest vulnerability according to EPR calculation.

میان منطقه گرگان‌رود مشاهده شد که در شکل زیر با رنگ آبی مشخص شده است (شکل ۹).

ترانسکت‌های با بیش‌ترین میزان نرخ تغییرات خط ساحلی با مقدار ۴۹۲۴ متر در سال در قسمت



شکل ۹- نقاط دارای بیش‌ترین مقدار آسیب‌پذیری.

Figure 9. Points with the highest vulnerability values.

رودخانه گرگان‌رود نقش مهمی در تحول و تکامل خلیج گرگان ایفا می‌کند. خلیج گرگان عمدتاً تحت‌تأثیر فرایندهای درون‌حوزه‌ای ناشی از جریان‌های ورودی، به‌ویژه گرگان‌رود و رودخانه قره‌سو، قرار دارد. در این میان، گرگان‌رود، به دلیل دبی جریان و میزان حمل رسوب، به‌ویژه در نزدیکی دهانه خلیج گرگان، تأثیرگذاری بیش‌تری دارد (۱۸). میزان تغییرات و جابجایی در دلتای گرگان‌رود در طی سال ۲۰۱۳ تا سال ۲۰۲۳ بیانگر تغییر الگوی خط ساحلی بوده و فرسایش زیادی در طی این سال‌ها رخ داده است ازجمله مهم‌ترین این عوامل می‌توان به نوسانات سطح آب دریای خزر، رسوب‌گذاری و دخالت‌های انسانی اشاره کرد (۱۹، ۲۰).

مطالعات پیشین درباره تغییرات خط ساحلی، الگوهای مشابهی نیز نشان می‌دهد. نروس و همکاران (۲۰۲۴) مطالعه تغییرات خط ساحلی در نیوواشینگتن، آکلان، فیلیپین را با تمرکز بر فرسایش از سال ۱۹۸۵ بررسی کردند. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سنجش‌ازدور و GIS، تنوع مکانی-زمانی این تغییرات تحلیل شده است. به کمک سیستم تحلیل رقومی خط

بحث

دلتای گرگان‌رود، به‌عنوان بخشی از نواحی ساحلی جنوبی دریای خزر، با چالش‌های پیچیده‌ای در زمینه‌های محیط‌زیستی و هیدرولوژیکی روبه‌رو است. پس‌روی آب دریا در منطقه دلتای گرگان‌رود تحت‌تأثیر عوامل متعددی رخ می‌دهد. تغییرات اقلیمی و کاهش سطح آب دریای خزر از دهه ۱۳۷۰ تاکنون، منجر به پس‌روی دریا و افزایش گستره ساحلی در این منطقه شده است. این پدیده، علاوه بر تأثیرات مخرب بر اکوسیستم‌های ساحلی، به‌عنوان یک چالش اساسی در مسیر تحقق توسعه پایدار مطرح می‌شود. فرسایش ساحلی در دلتای گرگان‌رود تحت‌تأثیر عوامل متعددی، ازجمله الگوی امواج، جریان رسوبات رودخانه گرگان‌رود و جریانات عمومی دریای خزر، قرار دارد. افزایش میزان رسوبات ورودی به دریا و تغییر در الگوی جریانات دریایی ازجمله عوامل تشدیدکننده این پدیده محسوب می‌شوند. فرسایش ساحلی نه‌تنها موجب تخریب سواحل، بلکه باعث آسیب‌رسانی به زیرساخت‌های ساحلی نیز می‌شود (۹).

ساحلی (DSAS) و چهار معیار اصلی آن EPR، LRR، SCE و NMS، نرخ تغییر خط ساحلی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تغییرات در منطقه پارک بخوان، به دلیل موقعیت آن در دلتای رودخانه آکلان، رخ داده است. هم‌چنین، اکثر نواحی نیو واشینگتن دچار فرسایش شده‌اند، به‌طوری‌که در برخی مناطق، فرسایش تا ۱/۴۶ متر در سال و از بین رفتن ۴۰ متر از رسوبات در ۳۰ سال ثبت شده است. بیش‌ترین انحراف خط ساحلی در نزدیکی دهانه خلیج باتان، با ۱۵۳ متر تغییر از سال ۱۹۸۵، مشاهده شد (۲۱).

ماشکانانفولا و همکاران (۲۰۲۰) به تغییرات خط ساحلی منطقه ساحلی سایونگ در شمال استان جاوه مرکزی، اندونزی را طی دوره‌ای ۲۴ ساله (۱۹۹۴ تا ۲۰۱۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat و Sentinel و تحلیل آن‌ها در محیط GIS و محاسبه نرخ فرسایش و برافزایش خط ساحلی از طریق سامانه تحلیل رقومی خط ساحلی (DSAS) نشان دادند که سواحل سایونگ به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر فرسایش شدید و سیل‌های جزر و مدی قرارگرفته است. میانگین نرخ فرسایش (EPR) در دوره مطالعه ۲۵- متر در سال و جابه‌جایی خالص خط ساحلی (NSM) - ۵۹۲ متر ثبت شد (۲۲).

لیو و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعاتی با استفاده از داده‌های چند منبعی، یک سیستم ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه ساحلی را بر اساس دو عامل آسیب‌پذیری اکولوژیکی، یعنی افزایش سطح دریا و تغییرات اقلیمی، طراحی کرده و تأثیر این عوامل بر اکوسیستم‌های ساحلی نشان دادند که مناطق با آسیب‌پذیری کم و بسیار کم در منطقه ساحلی جیانگسو نسبتاً گسترده هستند و به ترتیب ۳۴/۰۶ و ۳۰/۴۳ درصد از کل منطقه ارزیابی‌شده را تشکیل می‌دهند. پس‌از آن، مناطق با آسیب‌پذیری متوسط و بالا

به ترتیب ۲۱/۱۱ و ۱۱/۱۷ درصد از کل مساحت را شامل می‌شوند. درنهایت، مناطق با آسیب‌پذیری بسیار شدید کم‌ترین سهم را داشته و تنها ۳/۲۳ درصد از کل منطقه را دربرمی‌گیرند (۲۳).

خوشروان و همکاران در سال (۱۳۹۶)، در ارزیابی آسیب‌پذیری و ریسک مخاطرات فرسایشی در سواحل بندر آستارا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، بررسی‌های میدانی، نقشه‌برداری و تحلیل‌های GIS، تغییرات خط ساحلی دریای خزر نشان دادند که شیب ملایم ساحل آستارا، آسیب‌پذیری آن را در برابر افزایش سطح آب تشدید کرده و مداخلات انسانی در جنوب بندر، ریسک فرسایش را افزایش داده است. در سناریوهای نوسانی، افزایش ۲ متری سطح آب می‌تواند ۳۰ هکتار از اراضی ساحلی را به زیر آب برده و به کاربری‌های اقتصادی آسیب برساند (۲۴). کریمی و همکاران (۱۳۹۷) در ارزیابی رودخانه سفیدرود با استفاده از داده‌های سنجش از دور بیان داشتند که پیشروی خط ساحلی غربی و شرقی دلتا به‌سمت ساحل و پس‌روی ساحل شمالی به‌سمت خشکی تحت‌تأثیر توأم کاهش تراز سطح آب دریا و انتقال رسوب است را نشان داد (۲۵).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحلیل‌های کمی و کیفی حاکی از آن است که خط ساحلی دلتای گرگان‌رود در معرض تغییرات قابل‌توجهی قرار دارد که این تغییرات به عوامل متعددی ازجمله تغییرات سطح تراز آب دریای خزر، نوسانات جریان‌های رودخانه‌ای، مداخلات انسانی وابسته بود و نشان می‌دهد این منطقه به‌شدت تحت‌تأثیر فرایندهای فرسایشی و رسوب‌گذاری است.

بخش میانی گرگان‌رود و در قسمت پایین دلتای گرگان‌رود بیش‌ترین میزان تغییرات و پس‌روی آب را

داده‌ها و اطلاعات

این پژوهش بر اساس داده‌های رساله دکتری نویسنده اول نگارش شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: آنالیز داده‌ها، تحلیل داده‌ها و نگارش پیش‌نویس مقاله
نویسنده دوم و سوم: نگارش، پژوهش، اصلاح و بازبینی نهایی مقاله
نویسنده چهارم تا هفتم: مشارکت در آنالیز داده‌ها

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه نویسندگان است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در قالب گرنت اختصاص یافته به رساله دکتری است.

به دنبال داشته است و در دسته آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرار می‌گیرد. تمرکز فرسایش در ناحیه میانی بوده و نیاز به اقدامات حفاظتی بیش‌تری دارد. میزان پس‌روی‌ها در نقاط مختلف دلتای گرگان‌رود یکسان نبوده و در بخش شمالی دلتای گرگان‌رود دارای پایداری بیش‌تری نسبت به مناطق میانی بوده و در دسته آسیب‌پذیری متوسط تا آسیب‌پذیری کم قرار می‌گیرد. بخش جنوبی دلتای گرگان‌رود وضعیت پایداری نسبت به بخش میانی و بخش شمالی دارد و دارای کم‌ترین میزان پس‌روی آب بوده و در دسته آسیب‌پذیری بسیار کم قرار می‌گیرد که می‌تواند به دلیل تفاوت در دینامیک جریان‌های ساحلی رسوب‌گذاری باشد. به‌طورکلی، مدیریت پایدار و نظارت مستمر بر تغییرات خط ساحلی با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور و مدل‌سازی می‌تواند در کاهش آسیب‌پذیری محیط زیستی و جلوگیری از تغییرات نامطلوب اکوسیستم‌های ساحلی نقش به‌سزایی داشته باشد. این اطلاعات می‌تواند نقش به‌سزایی در تدوین راهبردهای مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های محیط‌زیستی ایفا کند، زیرا شناسایی مناطق بحرانی امکان اتخاذ تدابیر حفاظتی هدفمندتر و مؤثرتری را برای کاهش اثرات مخرب فرسایش و ناپایداری ساحلی فراهم می‌آورد.

منابع

- 1.Neethling, T. (2009). Securing the regional maritime landscape Maritime security in Southern African waters, Thean Potgieter & Reiner Pommerin (Eds.). *Koers: Bulletin for Christian Scholarship= Koers: Bulletin vir Christelike Wetenskap*, 74(1_2), 320-323.
- 2.Tsaimou, C. N., Papadimitriou, A., Chalastani, V. I., Sartampakos, P., Chondros, M., & Tsoukala, V. K. (2023). Impact of spatial segmentation on the assessment of coastal vulnerability—insights and practical recommendations. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(9), 1675.
- 3.Fisheries, F. (2007). The state of world fisheries and aquaculture. 2006.
- 4.Turner, B., & Zhou, B. B. (2023). Reflections on a vulnerability framework for sustainability science. *Jambá-Journal of Disaster Risk Studies*, 15(1), 13-35.
- 5.Guillard-Gonçalves, C., & Zêzere, J. L. (2018). Combining social vulnerability and physical vulnerability to analyse

- landslide risk at the municipal scale. *Geosciences*, 8(8), 294.
6. Gao, W., Du, J., Gao, S., Xu, Y., Li, B., Wei, X., . . . Li, P. (2023). Shoreline change due to global climate change and human activity at the Shandong Peninsula from 2007 to 2020. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1123067.
 7. Li, Y., Yang, E., Pan, Y., & Gao, Y. (2022). Numerical modeling of the impact of sea level rise on tidal asymmetry in Hangzhou Bay. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(10), 1445.
 8. Assaf, Y., Marino, S., Valentini, N., Damiani, L., & Saponieri, A. (2023). *Enhancing Coastal Resilience: Innovative Remote Techniques for Shoreline Detection, and Citizen-Enhancing Coastal Resilience: Innovative Remote Based Monitoring in the Apulian Region (Italy)*. Paper presented at the 2023 IEEE International Workshop on Metrology for the Sea; Learning to Measure Sea Health Parameters (MetroSea).
 9. Ebrahim Taghavi, M., Elahe, A., & Hashem, H. (2018). Assessment of coastline changes in river delta mound bushehr using by statistical analysis spatial information and remote sensing techniques. *Geographic Space*, 17(60), 169-190. Retrieved from <https://www.magiran.com/paper/1801368>.
 10. Nazemi, E. (2005). *Erosion and sedimentation on the eastern coast of Golestan Province and the formation of Gomishan Wetland (1967–1991)*. Paper presented at the Proceedings of the 3rd National Conference on Erosion and Sedimentation. <https://civilica.com/doc/8300/>.
 11. Dibs, H., Ali, A. H., Al-Ansari, N., & Abed, S. A. (2023). Fusion Landsat-8 thermal TIRS and OLI datasets for superior monitoring and change detection using remote sensing. *Emerging Science Journal*, 7(2), 428-444.
 12. Skakun, S., Kalecinski, N. I., Brown, M. G., Johnson, D. M., Vermote, E. F., Roger, J. C., & Franch, B. (2021). Assessing within-field corn and soybean yield variability from WorldView-3, Planet, Sentinel-2, and Landsat 8 satellite imagery. *Remote Sensing*, 13(5), 872.
 13. Khosravi, V., Gholizadeh, A., & Saberioon, M. (2022). Soil toxic elements determination using integration of Sentinel-2 and Landsat-8 images: Effect of fusion techniques on model performance. *Environmental Pollution*, 310, 119828.
 14. Shayan, S., Yamani, M., Abdolahi Kakroodi, A., & Amounia, H. (2020). *Estimation of coastline variation in the Caspian Delta basin using Digital Shoreline Analysis System (Deltas: haraz, babolrood, talar)*. *Quantitative geomorphological researches*, 8(4), **SID**. <https://sid.ir/paper/3/75133/en>.
 15. Isha, I., & Adib, M. (2020). *Application of geospatial information system (GIS) using digital shoreline analysis system (DSAS) in determining shoreline changes*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
 16. Baig, M. R. I., Ahmad, I. A., Shahfahad, Tayyab, M., & Rahman, A. (2020). Analysis of shoreline changes in Vishakhapatnam coastal tract of Andhra Pradesh, India: an application of digital shoreline analysis system (DSAS). *Annals of GIS*, 26(4), 361-376.
 17. Lahijani, H., Leroy, S., Arpe, K., & Cretaux, J. F. (2023). Caspian Sea level changes during instrumental period, its impact and forecast: A review. *Earth-Science Reviews*, 241, 104428.
 18. Alizadeh Ketek Lahijani, H., Tavakoli, Vahid, & Amini, A. H. (2007). South Caspian River Mouth Configuration Under Human Impact and Sea level Fluctuations. *Environmental Sciences*, 5(2), Retrieved from https://envs.sbu.ac.ir/article_95636_ebf61d5a545af8eb0f66d860eacda79b.pdf.
 19. Hoseini, S., & Ashournejad, Q. (2018). Detection of shifts in the southeastern coastline of the Caspian Sea with Landsat MSS, TM and ETM+ images in

- 1977, 1987 and 2001. *Journal of Coastal Zone Management*, 21(2), 1-6.
20. Khoshravan, H., Ghaseminejad, S., & Salami, F. (2018). Erosion vulnerability and risk assessment in Astara port. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 26(104), 45-55. doi:10.22131/sepehr.2018.30517.
21. Nerves, A., Rivera, F. D., Blanco, A., Tirol, Y., & Nadaoka, K. (2024). Shoreline Change Analysis in New Washington, Aklan using Digital Shoreline Analysis System (DSAS). *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 10, 111-117.
22. Muskananfolo, M. R., & Febrianto, S. (2020). Spatio-temporal analysis of shoreline change along the coast of Sayung Demak, Indonesia using Digital Shoreline Analysis System. *Regional Studies in Marine Science*, 34, 101060.
23. Liu, Y., & Zhang, Y. (2023). Assessment of Coastal Zone Vulnerability in the Context of Sea Level Rise and Climate Change.
24. Khoshravan, H., Ghaseminejad, S., & Salami, F. (2018). Assessment of vulnerability and risk of erosional hazards in Astara Port. *Geographic Information. Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 26(104), 45-55. doi:10.22131/sepehr.2018.30517.
25. Karimi, M., Vali Samani, J. M., & Mazaheri, M. (2018). Evaluating the Hydrodynamic and Morphology of Sefidroud River Delta Using 2D Simulation and Remote Sensing Data. *Journal of Oceanography*, 9(33), 1-12. doi:10.29252/joc.9.33.1.

