

## Research Paper

## Monitoring Coastline Changes and Identifying Geomorphic Response Models of Barrier Islands along the Low-Lying Deltaic Coasts of Gabrik and Jagin

Rezā Mansouri<sup>1\*</sup>, Alirezā Shahriāri<sup>2</sup>

1. Assistant Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

2. Ph. D. Department of Landscape Design Engineering, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

DOI: 10.22124/gscaj.2025.29966.1348

Received: 2025/02/27

Accepted: 2025/05/05

### Abstract

Coastal barriers are ubiquitous globally and provide a vital protective role to valuable landforms, habitats and communities located to landward. Barrier islands are the first line of defense against the action of sea waves in coastal areas; therefore, assessing their sustainability is very important in integrated coastal zone planning and management. Global climate change affects this coastline through sea level rise (SLR), compounded by a decrease in sediment budgets in coastal areas. This study evaluated the spatiotemporal changes in the coastline of the barrier islands of the Gabrik and Jagin deltas during 1984-2024 and identified the geomorphic response models of these islands based on the model proposed by McBride et al., (1995). In this regard, Landsat satellite imagery from the TM, ETM+ & OLI sensor series, topographic maps, and ENVI, ERDAS IMAGINE & ArcGIS software have been used. The findings showed that all eight geomorphic response models presented by McBride et al., (1995) (i.e., lateral movement, advance, retreat, in-place narrowing, landward rollover, dynamic equilibrium, breakup, and rotational instability) have formed in the study area; and the advance, retreat, lateral movement, rotational instability, and in-place narrowing models were the most common examples of geomorphic response of barrier islands in the study area. Also, the findings showed that wherever the interaction between various forces acting on the coastline from the land and the sea is manifested, barrier islands usually exhibit more than one geomorphic response model. Barrier island systems reflected various environmental changes and are now considered as a warning indicator for examining regional and global changes; therefore, it is necessary to continue monitoring the geomorphic responses of this area of the country's coasts in order to plan and manage the coastline and coastal area optimally.

**Keywords:** Spatio-temporal Analysis, Barrier Island Evolution, Sea Hydrodynamic, Geomorphic Response, Low-lying Coasts.

### Highlight

- The findings showed that the low-lying deltaic coasts of Gabrik and Jagin are one of the best areas for monitoring and identifying various geomorphic response- type models of barrier islands in the country.
- Given the unique characteristics of the study area, it was found that all eight geomorphic response-type models of barrier islands studied and introduced by McBride et al. (1995) have formed and developed along the coastline of the Gabrik and Jagin delta fronts.

\* Corresponding Author: [Rezamansouri@gep.usb.ac.ir](mailto:Rezamansouri@gep.usb.ac.ir)

## Extended Abstract

### Introduction

In most of the world's coastlines, sediment transport occurs as a result of wave breaking. This process leads to the movement of sediments along the coast, eventually forming a geomorphic landform composed of sand known as a sand spit. These landforms primarily develop in the direction of dominant wave energy and coastal currents, extending parallel to the coastline. As these sand spits accumulate and overlap, they give rise to elongated landforms called barrier islands, which enclose parts of the sea behind them (Mansouri, 2018: 41). In fact, barrier islands are elongated accumulations of unconsolidated sediments, mainly sand, aligned parallel to the coast. Portions of these landforms are located within the tidal range and are usually separated from the mainland by bays, lagoons, or estuarine complexes (Saito, 2005: 117). Although barrier islands occur globally along many coastlines, they comprise only about 6 to 15 percent of the world's total coastlines (Zenkovich, 1967; Glaeser, 1978; Fisher, 1982; Pilkey et al., 2009; Stutz and Pilkey, 2011; Otvos, 2012: 39).

Due to the significance of barrier islands (BIs) as the first line of natural defense to protect coastal communities against storm surges and provisioning of multiple services, considerable interest surrounds their health/stability for a better regional environment (Feagin et al., 2010; Brantley et al., 2014; Powell et al., 2019; Kanwal et al., 2021). However, at the same time, these fragile and dynamic coastal features are also vulnerable to degradation from both natural processes and human interventions (McBride & Byrnes, 1997; Stutz & Pilkey, 2011; Hapke et al., 2013). In particular, SLR affects low-lying coasts and the human societies that occupy these areas. It is estimated that about 10% of the world's population live in low-lying coastal regions less than 10m above sea level (Meehl et al., 2005; Ghanavati et al., 2021). In the wake of rising sea levels due to climate change and increasing human pressures on coastal systems, it is essential to track changes in the geometry, area, and location of barrier islands, especially those bordering and on the margins of low-lying, developing deltaic coasts.

### Methodology

In this research, various physical and conceptual data and tools were used, including: topographic maps (Geographical Organization of the Armed Forces, 1970), LANDSAT images of TM, ETM+ & OLI sensors, Google Earth images, digital elevation model (12.5 m) and field visits. Analytical-descriptive method and the use of remote sensing were the main research approach. ENVI, ERDAS IMAGINE (v. 2014) & ArcGIS (v. 10.8) software were conceptual tools that were used for the purpose of processing, analyzing and cartography of the output maps.

### Results and discussion

In this study, the barrier islands located at the base of the Gabric and Jagin deltas were monitored on a spatial-temporal scale (large-long-term), and the minimum temporal and spatial scales required for their identification and determination were considered to be 40 years and a length of more than 2.5 km, respectively. Accordingly, by considering this criterion, sixteen barrier islands were identified, monitored, and modeled in three different areas. These areas, from east to west, are: the complex of barrier islands located at the base of the Gabric (Area 1) and Jagin (Eastern part - Area 2 and Western part - Area 3) deltas. As this figure showed, barrier islands number 5-1 form the barrier island complex at the base of the Gabric Delta, and barrier islands numbers 13-6 and 16-14 form the barrier island complex at the eastern and western parts of the base of the Jagin Delta, respectively.

The rate of changes in the coastline bases of the Gabric and Jagin deltas has been calculated and measured in three different areas and over the last four decades in five specific time periods.

Based on the research findings, it was revealed that all geomorphic response models presented by McBride et al., (1995) for barrier islands - lateral movement, advance, retreat, dynamic equilibrium, landward rollover, in-place narrowing, breakup, and rotational instability - were formed and identifiable along the coastlines of the studied delta bases between 1984 and 2024.

Due to the influence of various hydrodynamic and hydromorphic factors operating within tidal inlet channels (estuaries), multiple geomorphic response models can be observed simultaneously across much of the barrier island zones over different periods. For example, between 1984 and 1990, in Zone 2 of the study area, Barrier Island No. 10 exhibited counterclockwise rotational instability, along with signs of landward rollover and lateral migration on the western part of the island.

Based on the findings of Sarvati et al. (2018), the breakup model, which is actually a complementary and advanced form of the in-place narrowing model and is formed as a continuation of it, occurs at times when the sea level rise reaches its peak. In other words, as the sea level rise reaches its peak, due to erosion caused by wave intrusion and seawater intrusion in the region, the in-place narrowing model expands and the size of the barrier island decreases (Sarvati et al., 2018: 10). Therefore, following the rise in sea level and the occurrence of erosion and subsidence in the main body of the barrier island, the hydrological connection of the sea with the lagoon formed behind the islands is established through the communication channels created, and finally the

breakup model is formed and developed. During this time period, within the area of barrier Island No. 11, the clockwise rotational instability pattern occurred in response to the creation and development of the breakwater, causing forward and backward changes around it.

## Conclusion

The main aim of this study was to monitor the coastline changes and identify the types of geomorphic response models of the barrier island complex located in the low-lying deltaic coasts of the Gabrik and Jagin using the method proposed by McBride et al., (1995) over the past four decades. In fact, the main application of identifying the types of geomorphic response models was to classify the large-scale coastal changes of the barrier island coastlines. In other words, the main goal of this classification was to assess the trend and pattern of large-scale coastline changes in order to better understand the regional process-response relationships that control coastal evolution.

The findings indicated that, although over a long-term spatial-temporal scale, marine hydrodynamic conditions, particularly relative sea level, appear to be among the most significant controlling factors in the emergence of various geomorphic response models of barrier islands, the supply and delivery of sediments from terrestrial sources via rivers also play a substantial role in the formation, development, and evolution of different coastline geomorphic response models in barrier island systems (Mansouri, 2024: 15).

## Funding

There is no funding support.

## Authors' Contribution

The first author played a major role and contribution in all stages of the work, and the second author also collaborated in reviewing the final text.

## Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

## Acknowledgments

The authors thank the anonymous reviewers for their valuable contributions to improving the quality of this work.

### Citation:

Mansouri, R. Shahriāri, A. (2025). Monitoring Coastline Changes and Identifying Geomorphic Response Models of Barrier Islands along the Low-Lying Deltaic Coasts of Gabrik and Jagin. *Geographical Studies of Coastal Areas Journal*, 6 (2), pp. 103-123. DOI: 10.22124/gscaj.2025.29966.1348

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to *Geographical studies of Coastal Areas Journal*. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



## پایش تغییرات خط ساحلی و شناسایی مدل‌های واکنش ژئومورفیک جزایر سدی سواحل پست دلتایی گابریک و جگین

رضا منصورى<sup>۱\*</sup>، علیرضا شهريارى<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۲. دکتری تخصصی گروه فضای سبز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

doi DOI: 10.22124/gscaj.2025.29966.1348

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۰۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵

### چکیده

جزایر سدی ساحلی در مقیاس جهانی در همه سواحل وجود دارند و نقش حفاظتی حیاتی و مهمی را برای لندفرم‌ها و زیستگاه‌های ساحلی و نیز برای جوامع با ارزش واقع در خشکی ایفا می‌کنند. درواقع، جزایر سدی خط دفاعی مقدم در برابر کنش امواج دریا در مناطق ساحلی هستند؛ بنابراین، ارزیابی پایداری آنها در زمینه برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی بسیار مهم است. ازسوی دیگر، تغییرات جهانی آب‌وهوا از طریق افزایش تراز دریا، خطوط ساحلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و اثرات آن با کاهش آورد رسوب در منطقه ساحلی ترکیب و نمایان می‌شود. در این مطالعه به ارزیابی تغییرات فضایی-زمانی خط ساحلی جزایر سدی دلتاهای گابریک و جگین طی ۱۴۰۳-۱۳۶۳ و نیز شناسایی مدل‌های واکنش ژئومورفیک این جزایر برپایه مدل پیشنهادی McBride et al., 1995 پرداخته شده است. در این راستا، از مجموعه تصاویر ماهواره Landsat سری سنجنده‌های TM, ETM<sup>+</sup> & OLI، نقشه‌های توپوگرافی و نرم‌افزارهای ENVI, ERDAS IMAGINE & ArcGIS استفاده شده است. یافته‌های به‌دست آمده نشان می‌دهند همه هشت مدل واکنش ژئومورفیک ارائه‌شده توسط McBride et al., 1995 (حرکت جانبی، پیشروی، پسروی، باریک‌شدن درجا، غلطیدن به‌سوی خشکی، تعادل پویا، فروپاشی و ناپایداری چرخشی) در منطقه مورد مطالعه تشکیل شده‌اند؛ و مدل‌های پیشروی، پسروی، حرکت جانبی، ناپایداری چرخشی و باریک‌شدن درجا، رایج‌ترین نمونه واکنش ژئومورفیک جزایر سدی منطقه مورد مطالعه می‌باشند. همچنین، یافته‌های پژوهش نشان دادند در هر جایی که برهم‌کنش بین نیروهای گوناگون اثرگذار از سوی خشکی و دریا بر خط ساحلی نمود یافته، جزایر سدی معمولاً بیش از یک مدل واکنش ژئومورفیک از خود نشان داده‌اند. سیستم جزایر سدی، بازتابنده تغییرات محیطی گوناگون می‌باشند و امروزه به‌عنوان شاخصی هشداردهنده برای بررسی تغییرات منطقه‌ای و جهانی مورد توجه هستند؛ بنابراین، تداوم پایش واکنش‌های ژئومورفیک این ناحیه از کرانه‌های کشور در راستای برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه خط و منطقه ساحلی، لازم و ضروری می‌نماید.

**واژگان کلیدی:** تحلیل زمانی-فضایی، تحول جزایر سدی، هیدرودینامیک دریا، واکنش ژئومورفیک، سواحل پست.

### نکات برجسته:

- یافته‌های پژوهش نشان دادند که سواحل پست دلتایی گابریک و جگین یکی از بهترین مناطق برای پایش و شناسایی انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک جزایر سدی در کشور است.
- با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد منطقه مورد مطالعه، مشخص شد که همه هشت مدل واکنش ژئومورفیک جزایر سدی مطالعه و معرفی شده توسط McBride et al., 1995 در خطوط ساحلی قاعده دلتاهای گابریک و جگین تشکیل و توسعه یافته‌اند.

## ۱. مقدمه

در بیشتر سواحل جهان، به واسطه شکست امواج، پدیده انتقال رسوب رخ می‌دهد. این فرایند به جابجایی رسوبات در راستای ساحل منجر شده و سرانجام باعث تشکیل لندفرم ژئومورفیکی زبانه ماسه‌ای<sup>۱</sup> می‌شود. این لندفرم، عمدتاً در جهت امواج غالب و جریان‌های دریایی و در امتداد ساحل دریا رشد می‌کنند. از انباشته شدن این زبانه‌ها بر روی یکدیگر، جزایر درازی به نام جزایر سدی<sup>۲</sup>، شکل می‌گیرند که قسمتی از آب دریا را در پشت خود محصور می‌نمایند (منصوری، ۱۳۹۷: ۴۱). درواقع، جزایر سدی، انباشتی از رسوبات تثبیت‌نشده دراز و موازی با کرانه (عمدتاً ماسه) هستند که بخش‌هایی از آن در محدوده برکشدنی واقع شده و معمولاً توسط خلیج‌ها، مرداب‌ها یا مجموعه‌های تالابی از سرزمین اصلی جدا می‌شوند (Saito, 2005: 117). اندازه و ابعاد هندسی جزایر سدی بسیار متفاوت است و از ۱۰ تا ۱۰۰ متر پهنا، ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ متر درازا و تجمع رسوبی بالا متغیر است. جزایر سدی معمولاً بر روی سواحل کم‌شیب و با دامنه کشدنی پایین شکل می‌گیرند. جزایر سدی مجاور به وسیله ورودی‌های کشدنی<sup>۳</sup> از یکدیگر جدا می‌گردند. این ورودی‌ها، امکان مبادله آب بین تالاب و دریا را فراهم نموده و باعث تسهیل فرسایش، حمل و انباشت رسوب در اطراف جزایر سدی می‌شوند (Haslett, 2009: 44). هرچند، جزایر سدی ساحلی در مقیاس جهانی در همه سواحل وجود دارند؛ اما تقریباً بین ۶ تا ۱۵ درصد از خطوط ساحلی جهان را دربر می‌گیرند (Zenkovich, 1967; Glaeser, 1978; Fisher, 1982; Pilkey et al., 2009; Stutz and Pilkey, 2011; Otvos, 2012: 39). این گونه جزایر، نقش بسیار مهمی در حفاظت از تنوع زیستی، تالاب‌های حائل و بارزش زیست‌محیطی، سواحل سرزمین اصلی، لندفرم‌ها و زیستگاه‌های ساحلی و نیز جوامع بارزش واقع در خشکی/ پسرانه در برابر اثرات مستقیم طوفان‌ها و فرسایش ایفا می‌کنند (Brooks et al., 2016: 855). اما باوجود این، این گونه جزایر عموماً در راستای خطوط ساحلی لبه‌های انتهایی صفحات قاره‌ای و دریاها و دریاچه‌های درون‌قاره‌ای (مانند دریای کاسپین و دریای سیاه) فراوان‌تر هستند (Saito, 2005: 117).

با توجه به اهمیت جزایر سدی که به عنوان خط دفاعی مقدم طبیعی از جوامع ساحلی در برابر خیزآب‌های طوفانی محافظت کرده و نیز به واسطه ارائه خدمات گوناگون دیگر، دلایل قابل توجهی برای حفظ پایداری آنها به منظور داشتن یک محیط منطقه‌ای بهتر وجود دارد (Feagin et al., 2010; Brantley et al., 2014; Powell et al., 2019; Kanwal et al., 2021). درواقع، جزایر سدی علاوه بر ارائه خدمات اقتصادی ضروری و بسیار مهم به جوامع ذی‌نفع ساحلی (به عنوان مثال، حمایت از گردشگری)، عملکردهای محیط‌زیستی ارزشمند دیگری (برای مثال، ایجاد زیستگاه‌های طبیعی برای گونه‌های گوناگون جانوری، همچون پرندگان مهاجر) که از پایداری ساحلی منطقه حمایت می‌کنند، نیز ارائه می‌دهند. با این حال، این لندفرم ساحلی به دلیل دارا بودن ویژگی‌های شکننده و پویایی‌های خاص خود، به شدت در معرض آسیب‌پذیری و حساسیت بالا در برابر فروسایبی ناشی از فرآیندهای طبیعی و مداخلات انسانی قرار دارند (McBride & Byrnes, 1997; Stutz & Pilkey, 2011; Hapke et al., 2013). امروزه، جزایر سدی برای بشر بسیار حائز اهمیت هستند. درواقع، علاوه بر این که این جزایر به عنوان یکی از بهترین گزینه‌های مورد توجه برای توسعه و رشد جوامع انسانی- مسکونی به شمار می‌آیند (به عنوان مثال جمعیت ساکن در جزایر سدی در ایالات متحده بین سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ به ۱/۴ میلیون نفر رسید که با افزایش ۱۴ درصدی روبرو بوده است (Zhang and Leatherman, 2011)) از نظر اقتصادی نیز از صنایع مهم گردشگری (Fitzgerald et al., 2008) حمایت و پشتیبانی می‌کنند. بنابراین، با توجه به ارائه و پشتیبانی از چنین خدمات گسترده‌ای، به نظر می‌رسد مسائل اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و زیست‌محیطی مهمی پیرامون چگونگی واکنش سیستم‌های جزایر سدی نسبت به مسائل و تغییرات محیطی جهانی در آینده نزدیک بروز نماید که لزوم مطالعه و بررسی همه‌جانبه پیرامون مسائل گوناگون این گونه جزایر را با اهمیت‌تر از پیش می‌نماید.

1. Sand Spit
2. Barrier Islands
3. Tidal Inlets

## ۲. مبانی نظری

افزایش جهانی تراز دریا پیامد اصلی تغییرات آب‌وهوایی است که ناشی از انبساط حرارتی آب دریا و افزودن شدن آب ذوب ورقه‌های یخی به آب‌های دریایی است. حتی اگر گرم شدن کره زمین از دمای فعلی تجاوز نکند، سطح دریاها در طول قرن بیست و یکم به افزایش خود ادامه خواهد داد (Field et al., 2014). افزایش جهانی تراز دریا به‌طور ویژه، بر سواحل پست و کم‌ارتفاع و جوامع انسانی که این مناطق را اشغال می‌کنند، تأثیر می‌گذارد. تخمین زده می‌شود که حدود ۱۰ درصد از جمعیت جهان در مناطق پست و کم‌ارتفاع ساحلی با ارتفاع کمتر از ۱۰ متر از سطح دریا زندگی می‌کنند (Meehl et al., 2005; Ghanavati et al., 2021). در پی افزایش تراز دریاها به‌واسطه تغییرات آب‌وهوایی و نیز افزایش فشارهای انسانی بر سیستم‌های ساحلی، ردیابی تغییرات در هندسه، منطقه و موقعیت جزایر سدی، به‌ویژه آن‌هایی که هم‌مرز و درحاشیه سواحل دلتایی پست/کم‌ارتفاع و درحال توسعه هستند، بسیار ضروری است. چنین اطلاعاتی درباره تغییرات ساحلی می‌تواند به اتخاذ اقدامات مناسب در زمینه تاب‌آوری و پایداری سواحل کمک کند (Sajjad et al., 2018). بنابراین، با تشخیص دقیق موقعیت مکانی خط ساحلی، چگونگی حفاظت از جزایر سدی و دیگر لندفرم‌های ساحلی گوناگون مشخص می‌شود. تغییرات فضایی-زمانی خط ساحلی می‌تواند به‌عنوان نماینده‌ای برای پایش تغییرات محیطی ساحلی مورد استفاده قرار گیرد، زیرا ارزیابی روندهای درازمدت در تغییرات خط ساحلی برای بهبود درک درباره واکنش‌های ساحلی نسبت به افزایش تراز دریا ضروری است (Xu, 2018). همان‌طور که گفته شد، جزایر سدی به‌عنوان خط دفاعی مقدم در برابر گُشِ امواج دریا در مناطق ساحلی به‌شمار می‌آیند؛ به‌عبارت دیگر، جزایر سدی با جذب انرژی و حفاظت از خط ساحلی در برابر شرایط توفانی شدید نقش مهمی را به‌عنوان مانع برای سواحل حساس و آسیب‌پذیر ایفا می‌کنند. بنابراین، مطالعه نحوه شکل‌گیری و مورفودینامیک سیستم‌های جزایر سدی (Haslett, 2009: 44؛ منصوری، ۱۳۹۷: ۴۱) و نیز ارزیابی پایداری آن‌ها در زمینه برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی بسیار حائز اهمیت است (منصوری، ۱۳۹۹: ۱۰).

مبنای اصلی این پژوهش، بهره‌گیری از روش پیشنهادی برای پایش و بررسی انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک سیستم‌های جزایر سدی است که برای نخستین‌بار در جهان، توسط McBride et al., 1995 ارائه و معرفی شده است. درواقع، نامبردگان برپایه اطلاعات و داده‌های گردآوری‌شده از پایش منظم جزایر سدی طی سالیان متمادی انواع مختلف تغییرات مورفولوژیکی و مورفودینامیک جزایر سدی را مشخص کردند. آنان همچنین، با توجه به یافته‌های کمی حاصله و نیز برپایه تغییرات مکانی خطوط ساحلی در ارتباط با متغیرهای طبیعی و انسانی، انواع مدل‌های واکنش ژئومورفولوژیکی گوناگون برای ارزیابی کرانه‌های جزایر سدی را مشخص، معرفی و ارائه کردند. درواقع، آن‌ها از مجموع اطلاعات حاصله به‌منظور مدل‌سازی و ارزیابی واکنش‌های ژئومورفولوژیکی جزایر سدی درارتباط با تغییرات محیطی و نوسانات ایجادشده در تراز آب دریاها استفاده کردند (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳). با توجه به اهمیت موضوع مورد بحث، همچنین به دلیل عدم انجام چنین پژوهش‌هایی در منطقه مورد مطالعه؛ هدف اصلی ما در این مطالعه و بررسی، ارزیابی تغییرات فضایی-زمانی خط ساحلی و نیز پایش مدل‌های واکنش ژئومورفیک مجموعه جزایر سدی (McBride et al., 1995) واقع در سواحل پست دلتایی رودهای گابریک و جگین طی بازه زمانی ۱۴۰۳-۱۳۶۳ است.

## ۳. پیشینه پژوهش

McBride et al., 1995 برای نخستین‌بار در جهان، پراکنش فضایی انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک را ازطریق پایش درازمدت تغییرات مجموعه جزایر سدی واقع در راستای خطوط ساحلی کرانه‌های لوئیزیانا، می‌سی‌سی‌پی و جنوب جورجیا/فلوریدای شمالی، مورد مطالعه قرار دادند. تاکنون در ارتباط با مطالعه مدل‌های واکنش ژئومورفیک سیستم‌های جزایر سدی با به‌کارگیری روش پیشنهادی McBride et al., 1995، به‌جز مطالعات منصوری ۱۳۹۷ و ثروتی و همکاران ۱۳۹۷، پژوهش‌های دیگری در کشور انجام نشده است. منصوری ۱۳۹۷ در تز دکتری خویش به بررسی تحول مورفولوژیکی کرانه‌های جنوب‌خاوری دریای کاسپین پرداخت و برای نخستین‌بار در کشور از روش پیشنهادی McBride et al., 1995 به‌منظور شناخت مدل‌های واکنش‌های ژئومورفیک جزیره سدی میانکاله بین سال‌های ۱۲۱۴ تا ۱۳۹۶ خورشیدی استفاده کرد. یافته‌های وی نشان داد

که شش مدل از هشت مدل ژئومورفیک McBride et al., 1995 در کرانه‌های میانکاله تشکیل، توسعه و تحول یافته‌اند. Bui & Pham, 2022 با استفاده ترکیبی از تکنیک‌های دورکاوی و مدل‌های هیدرودینامیک دریا به بررسی و تحلیل روند فرسایش ساحلی در دماغه کا مائو<sup>۱</sup> واقع در دلتای رود مکنون<sup>۲</sup> پرداختند. Beckman et al., 2021 به بررسی عوامل مؤثر و کنترلی در فرسایش جزایر سدی و تحول آن‌ها طی رخداد توفان‌های حدی پرداختند. Ghanavati et al., 2021 در پژوهشی میزان آسیب‌پذیری خطوط ساحلی ایرانی دریای مکران نسبت به افزایش جهانی تراز دریا را مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. نامبردگان دریافتند که بخش باختری کرانه‌های ایرانی دریای مکران، همچون کرانه‌های پست و کم‌ارتفاع، جنگل‌های حرا و تالاب‌ها بیشترین میزان آسیب‌پذیری را نسبت به افزایش تراز دریا دارند. Bamunawala et al., 2021 در پژوهشی با استفاده از یک رویکرد مدل‌سازی یکپارچه و احتمالی به بررسی تحول سیستم‌های جزیره سدی طی سده بیست‌ویکم پرداختند. Caoa et al., 2020 در پژوهشی به نقشه‌برداری تغییرات رخ داده در موقعیت خطوط ساحلی و پهنه‌های کشندی مؤثر در توسعه جزایر با استفاده از سری کامل تصاویر چندزمانه ماهواره لندست پرداختند.

#### ۴. روش پژوهش

در این پژوهش، از داده و ابزارهای فیزیکی و مفهومی گوناگونی از جمله: نقشه‌های توپوگرافی (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، ۱۳۴۹)، تصاویر Landsat سری سنجنده‌های TM, ETM<sup>+</sup> & OLI، تصاویر Google Earth، مدل رقومی ارتفاعی (۱۲/۵ متر) و بازدیدهای میدانی استفاده شد (جدول ۱). همچنین، شیوه تحلیلی-توصیفی و بهره‌گیری از سنجش از دور رویکرد اصلی پژوهش بوده است. نرم‌افزارهای ENVI, ERDAS IMAGINE (v. 2014) & ArcGIS (v. 10.8) در پردازش تصاویر ماهواره Landsat از ۱۳۶۳ تا ۱۴۰۳ خورشیدی در کنار دیگر داده‌های دردسترس، یک پایگاه داده مناسبی را برای پایش تغییرات خط ساحلی و شناسایی و تعیین انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک کرانه‌های جزایر سدی واقع در قاعده دلتاهای گابریک و جگین فراهم کرده است. به عبارت دیگر، مجموعه این تصاویر به عنوان داده‌های اصلی پژوهش مورد استفاده بوده‌اند. بنابراین، نخست به منظور تعیین بازه زمانی مورد مطالعه و گزینش بهترین تصاویر ماهواره‌ای، تمامی تصاویر موجود در دردسترس مورد پایش اولیه به صورت چشمی قرار گرفتند. سپس، با تعیین دوره زمانی و گزینش تصاویر مناسب و با کیفیت لازم، پس از پایش پردازش و انواع تصحیحات احتمالی لازم بر روی تصاویر گزینش شده؛ نخست تغییرات خط ساحلی منطقه مورد مطالعه استخراج و رقومی سازی شد. در گام دوم، متناسب با وضعیت جابجایی‌های رخ داده در موقعیت مکانی خط ساحلی منطقه، انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک مجموعه جزایر سدی برپایه روش پیشنهادی McBride et al., 1995 طی دوره زمانی ۱۴۰۳-۱۳۶۳ شناسایی و تشریح شد.

در این پژوهش، با هدف استخراج و تعیین موقعیت مکانی خط ساحلی بر روی تصاویر ماهواره‌ای برای هر دوره، نخست شماری از شاخص‌هایی که به طور ویژه برای جداسازی پهنه‌های آبی-خشکی کاربرد دارند از جمله: NDWI (McFeeters, 1996), MNDWI (Xu, 2006), WRI (Shen & Li, 2010), NDMI (Wilson & Sader, 2002), NDVI (Rouse et al., 1973), AWEI<sub>sh</sub> (Feyisa et al., 2014), AWEI<sub>nsh</sub> (Feyisa et al., 2014) مورد استفاده قرار گرفتند. سپس در گام دوم با مقایسه یافته‌ها، بهترین شاخص در استخراج موقعیت مکانی خط ساحلی شناسایی و برای ادامه مراحل پژوهش انتخاب شد.

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش

| مشخصات                                   |           | نوع داده                       |
|------------------------------------------|-----------|--------------------------------|
| شماره برگ                                | مقیاس     |                                |
| NG 40-11, NG 40-12                       | ۱:۲۵۰,۰۰۰ | نقشه توپوگرافی گابریک و پی‌بشک |
| LC09_L2SP_158042_20240507_20240508_02_T1 |           | تصویر LANDSAT                  |
| LC08_L1TP_158042_20200605_20200608_01_T1 |           |                                |
| LT05_L1TP_158042_20090607_20161025_01_T1 |           |                                |
| LE07_L1TP_158042_20000505_20170212_01_T1 |           |                                |
| LT05_L1TP_158042_19900603_20170129_01_T1 |           |                                |
| LT05_L2SP_158042_19840618_20200918_02_T1 |           | تصویر Google Earth             |
| -                                        | -         |                                |
| -                                        | -         | مدل رقومی ارتفاع ۱۲/۵ متر      |

#### ۱.۴. انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک جزایر سدی

برپایه نقشه‌برداری‌هایی که از جزایر سدی در راستای سواحل خلیج مکزیک (لوئیزیانا و می‌سی‌سی‌پی) در بیش از یک قرن انجام شده، انواع تغییرات ژئومورفولوژیکی و مورفودینامیک رخ داده برای این دسته از لندفرم‌های ساحلی مشخص گردیده‌است. به عبارت دیگر، برپایه مستندات کمی موجود و در دسترس از تغییرات تاریخی در موقعیت خطوط ساحلی در ارتباط با متغیرهای طبیعی و انسانی، هشت مدل واکنش ژئومورفیک (۱) حرکت جانبی (۲) پیشروی (۳) تعادل پویا (۴) پسروی (۵) باریک‌شدن درجا (۶) غلطیدن به‌سوی خشکی (۷) فروپاشی (۸) ناپایداری چرخشی<sup>۱</sup> (McBride et al., 1995: 147) برای طبقه‌بندی کرانه‌های جزایر سدی تعیین و مشخص گردیده‌است (شکل ۱). انواع مدل‌های هشت‌گانه واکنش ژئومورفولوژیکی مذکور به شرح زیر تعیین و تعریف شده‌اند (Haslett, 2009: 46؛ منصور، ۱۳۹۷: ۴۳؛ ثروتی و همکاران، ۱۳۹۷: ۵).

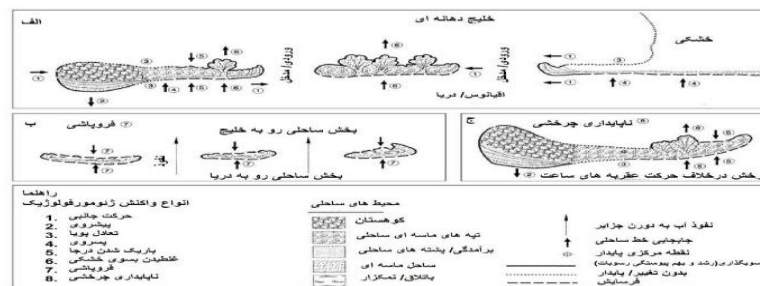
۱. حرکت جانبی؛ به حرکت مواد رسوبی در راستای روبه‌سوی دریا در کرانه‌های جزایر سدی اشاره دارد به‌طوری‌که اغلب با فرسایش در یک بخش و رسوب‌گذاری در بخش دیگر جزیره سدی مشخص می‌شود. بنابراین، باتوجه به این مدل استنباط می‌گردد که جزیره سدی به‌طور جانبی در راستای ساحل در حال حرکت و گسترش است. ۲. باریک‌شدن درجا؛ درجایی رخ می‌دهد که کرانه‌های روبه‌سوی دریا و خشکی یک جزیره سدی و خلیج ایجادشده در پشت آن، مورد فرسایش قرا می‌گیرند و باعث باریک‌شدن جزیره سدی می‌شوند؛ اما، هسته جزیره سدی ثابت باقی می‌ماند. ۳. غلطیدن به‌سوی خشکی؛ اغلب به‌دنبال باریک‌شدگی درجا رخ می‌دهد؛ یعنی درجایی که جزیره سدی برای عبور امواج طوفانی از بالای جزیره به‌اندازه کافی باریک‌شده باشد. در نتیجه، این امواج طوفانی باعث فرسایش از سمت روبه‌سوی دریا و نهشته‌گذاری در سمت روبه‌سوی خشکی می‌شود. بنابراین، پیامد آن، غلطیدن رسوب‌ها در جزایر سدی به‌شکل حرکت به‌سوی خشکی ظاهر خواهد شد. ۴. پسروی؛ برای خطوط ساحلی به‌کاربرده می‌شود که رخسار روبه‌سوی دریای آن براثر فرسایش و انتقال رسوب یا افزایش تراز دریا به‌سوی خشکی پسروی پیدا می‌کنند. ۵. پیشروی به‌رخداد شرایطی اشاره دارد که خط ساحلی در آن منطقه بر اثر افزایش میزان ذخیره رسوبی انباشته‌شده در آن یا کاهش و پسروی تراز دریا دچار پیشروی می‌شود. ۶. تعادل پویا؛ به خط ساحلی اشاره دارد که طی یک دوره زمانی درازمدت، خواه به‌دلیل فرسایش یا نهشته‌گذاری قابل توجه، به‌نظر ثابت باقی‌مانده است. ۷. فروپاشی؛ نیز اغلب به‌دنبال باریک‌شدگی درجا رخ می‌دهد، یعنی درجایی که باریک‌شدگی باعث می‌شود جزیره سدی در معرض نفوذ امواج دریا قرار گرفته و ورودی‌های جدیدی در آن شکل بگیرد. ممکن است ورودی‌های ایجادشده در جزایر سدی به‌سرعت پهن‌شده و

1. Lateral Movement
2. Advance
3. Dynamic Equilibrium
4. Retreat
5. In-Place Narrowing
6. Landward Rollover
7. Breakup
8. Rotational Instability



گسترش یابند. بنابراین، سن متوسط یا پایداری متوسط جزیره‌سای کوچک و آسیب‌پذیر خواهد بود، به‌طوری‌که حتی ممکن است باعث نابودی کامل آن شود. ۸. ناپایداری چرخشی؛ به شرایطی گفته می‌شود که در آن جزیره‌سای در جهت حرکت عقربه‌های ساعت یا در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت و در واکنش به پیشروی در یک‌طرف و پسروی در طرف دیگر جزیره، دچار چرخش می‌شود (McBride et al., 1995: 147-149؛ Haslett, 2009: 46-48؛ منصوری، ۱۳۹۷: ۴۵-۴۳).

با توجه به ویژگی‌های منحصربفرد کرانه‌های کشور در خلیج عمان و به‌ویژه منطقه دلتایی رودهای گابریک و جگین، همه مدل‌های واکنش ژئومورفیک پیشنهادی برای جزایر سدی، در این منطقه تشکیل شده‌اند. این موضوع روشن می‌کند که کرانه‌های این منطقه پتانسیل بسیار بالا و مناسبی برای پایش تغییرات خطوط ساحلی، ارزیابی و مدل‌سازی مدل‌های واکنش ژئومورفیک دارد. بنابراین، از این طریق می‌توان در راستای برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه این مناطق گام برداشت.

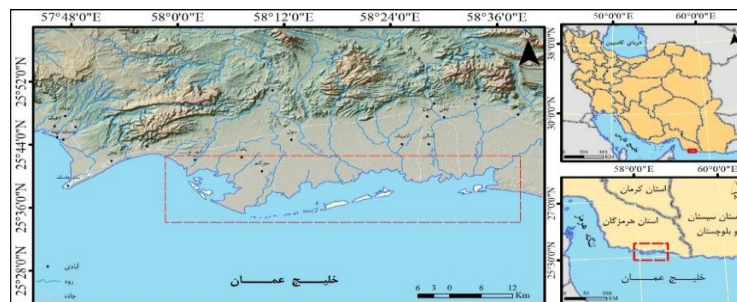


شکل ۱: نمایش شماتیک واکنش‌های ژئومورفیک جزایر سدی نسبت به تغییرات رخ داده در شرایط محیطی حاکم. (الف) مدل عمومی واکنش ژئومورفیک. (ب) نشان‌دهنده تکامل از نوع باریک‌شدن درجا و فروپاشی. (ج) نشان‌دهنده ناپایداری چرخشی (McBride et al., 1995: 148)

#### ۲.۴. منطقه مورد مطالعه

گستره جغرافیایی منطقه مورد مطالعه این پژوهش در پهنای جغرافیایی  $25^{\circ} 32' 00''$  تا  $25^{\circ} 42' 00''$  شمالی از نیمگان زمین و درازای جغرافیایی  $57^{\circ} 58' 00''$  تا  $58^{\circ} 36' 00''$  خاوری از نیمروز گرینویچ قرار گرفته و به‌طور کلی، خط ساحلی قاعده دلتاهای گابریک و جگین را دربرمی‌گیرد (شکل ۲). بررسی تکامل زمین‌ساختی سواحل مکران طی کوتاه‌ترین بیانگر تأثیر توپوگرافی اولیه، فعالیت‌های تکتونیکی و نوسانات تراز دریا در شکل‌گیری و تکامل لندفرم‌های سواحل مکران است (معتمد و غریب رضا، ۱۳۸۷). به‌طور کلی، زمین‌های ساحلی پست و هموار جلگه مکران (خلیج عمان)، در پی فرسایش واحد ساختمانی مکران طی کوتاه‌تری ایجاد شده است. وجود ناهمواری‌های محلی به‌صورت تپه‌های شاهد فرسایشی در برخی نقاط بر سطح جلگه، گویای این موضوع است. با توجه به اهمیت میزان مقاومت ساختمان سنگ‌شناسی واحدهای چینه‌شناختی واحد مکران در برابر فرسایش، گونه‌های گوناگون ساحل را در سطح این جلگه شاهد هستیم. درواقع، از لحاظ ژئومورفولوژیکی در راستای کرانه‌های ایرانی خلیج مکران تقریباً سه نوع ساحل شاخص (ماسه‌ای، دلتایی و بالآمده یا دریاباری) را می‌توان به‌خوبی تشخیص داد که در این بین، گونه غالب رشته‌های ماسه‌ای طولی هستند (علایی طالقانی، ۱۳۸۶: ۳۶۲). اجزاء اصلی این رشته‌های ماسه‌ای را دانه‌های ماسه سائیده و روشن تشکیل می‌دهند که همین ویژگی، تعلق آن‌ها را به دریای عمان به اثبات می‌رساند (فریفته، ۱۳۶۷). از این‌رو، همان‌طور که علایی طالقانی ۱۳۸۶ یادآور شده است می‌توان گفت بخش باختری جلگه عمان (از حدود بندرعباس تا حوالی جاسک) از گونه دلتایی است؛ به‌طوری‌که گسترده‌ترین و پهن‌ترین بخش این پهنه با سطح دلتاهای بزرگ انطباق دارد (یمانی، ۱۳۷۷: ۳۷). درواقع، در پی حجم بالای رسوب‌گذاری پیوسته در این منطقه از جلگه مکران، خط ساحلی قاعده دلتاها به‌طور پیوسته با یک قوس کوژ بسیار مشخص به‌سوی دریا در حال پیشروی است. به‌عبارت دیگر، به‌دلیل فرسایش‌پذیر بودن و حساسیت بالای سازند فلیش - مولاس واحد مکران (با تناوبی از شیل، مارن و ماسه‌سنگ)، میزان آورد رسوبی رودهای منتهی به ساحل منطقه مورد مطالعه بسیار بالا است؛ به‌طوری‌که طبق بررسی‌های انجام‌شده، حجم آورد رسوبی رودهای جلگه ساحلی مکران واقع در بخش خاوری تنگه هرمز از جمله: سدیح، گابریک، جگین، زرانی، گز و گرو، سالانه حدود ۱۳,۷۰۸,۵۰۰ تن رسوب به خط ساحلی انتقال می‌یابد (یمانی، ۱۳۷۷: ۳۶). در نتیجه این امر مهم و در پی برهم‌کنش

مابین فرایندهای رودخانه‌ای و ساحلی- دریایی در این منطقه، مجموعه جزایر سدی متعددی در قاعده این دلتاها تشکیل و توسعه پیدا کرده است.



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کرانه‌های جنوب‌خاوری کشور.

ازجمله مهم‌ترین عوامل مؤثر در تشکیل و توسعه جزایر سدی می‌توان در محدوده خشکی به مواردی همچون: حجم بالای آورد رسوب توسط رودهای منتهی به خط ساحلی، توانایی حمل و نقل بار رسوبی بسیار بالا به واسطه اقلیم خاص منطقه و در نتیجه سیلابی و دوره‌ای بودن جریان رود، تغییر مسیر دوره‌ای و انشعاب رودها به‌ویژه در مصب و شیب ناچیز به‌ویژه در پسرکانه و خط ساحلی- قاعده دلتاها؛ و در محدوده ساحل- دریا عملکرد امواج، کشند، جریان‌های دریایی و وزش بادهای فصلی- دریایی (مونسون)، اشاره کرد. به‌طور کلی، سواحل منطقه مورد مطالعه از لحاظ تقسیم‌بندی واحدهای ژئومورفولوژیکی جزء جزایر سدی قرار می‌گیرند. مجموعه این جزایر سدی، در قاعده دلتای رودهای گابریک و جگین تشکیل شده‌اند. مهم‌ترین محیط‌های این بخش شامل سیستم جزیره سدی، زبانه ماسه‌ای و مرداب (تالاب) است. مجموعه جزایر سدی این منطقه- که به‌عنوان سیستم حائل مابین آب‌های خلیج عمان (مکران) و مرداب یا تالاب واقع در پشت آن‌ها به‌شمار می‌آید؛ در راستای باختر به خاور، تقریباً هم‌سو با ساحل رشد کرده و تنها از نهشته‌های کشندی- رسوب‌های ماسه‌ای و گلی تشکیل شده‌اند. کرانه‌های این منطقه از لحاظ مورفولوژیکی دارای واحدهای متفاوت ساحل، مرداب (تالاب) و جزایر است (منصوری، ۱۴۰۳: ۱۰۸). برخورد مایل امواج با خط ساحلی قاعده دلتاها [های منطقه مورد مطالعه]، جریانی را در امتداد خط ساحلی ایجاد می‌کنند که راستای عمومی آن از مشرق به مغرب بوده و سبب انتقال جانبی رسوبات در راستای خط ساحلی در همین جهت می‌شود (یمانی، ۱۳۷۷: ۴۲).

## ۵. یافته‌های پژوهش و بحث

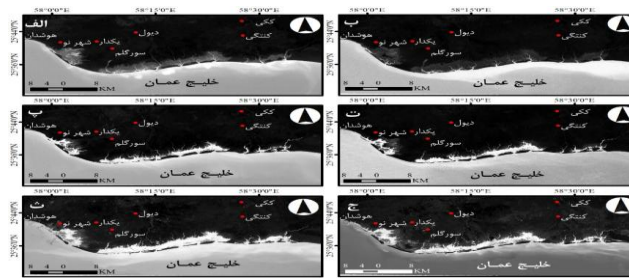
### ۵.۱. استخراج خط ساحلی منطقه مورد مطالعه و تغییرات آن

همان‌طور که در بخش مواد و روش اشاره شد، پس از تست یافته‌های شاخص‌های گوناگون در زمینه جداسازی آب از خشکی، آشکار شد که نتایج شاخص MNDWI بهترین و دقیق‌ترین شاخص در استخراج خط ساحلی منطقه مورد مطالعه است. این شاخص از طریق معادله ۱ محاسبه می‌شود (Xu, 2006).

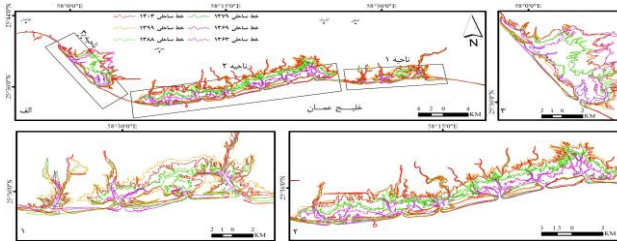
$$MNDWI = (Green - SWIR) / ((Green + SWIR))$$

معادله ۱

پس از تعیین و انتخاب بهترین روش استخراج، موقعیت مکانی خط ساحلی منطقه مورد مطالعه برای سال‌های منتخب طی دوره مطالعاتی به‌دست آمد (شکل ۳)، سپس یافته‌های رستری به لایه وکتوری از نوع برداری تبدیل شد. در ادامه، با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در قاعده دلتای دو رود مهم گابریک و جگین واقع شده؛ به‌منظور بررسی دقیق‌تر تغییرات و شناسایی مدل‌های واکنش ژئومورفیک، این منطقه به سه ناحیه متفاوت (ناحیه ۱: قاعده دلتای گابریک، ناحیه ۲: قاعده دلتای جگین- بخش خاوری، ناحیه ۳: قاعده دلتای جگین- بخش خاوری) تفکیک شد؛ و سرانجام میزان تغییرات و جابجایی‌های رخ داده برای بازه زمانی ۱۴۰۳-۱۳۶۳ خورشیدی در این نواحی مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۴).



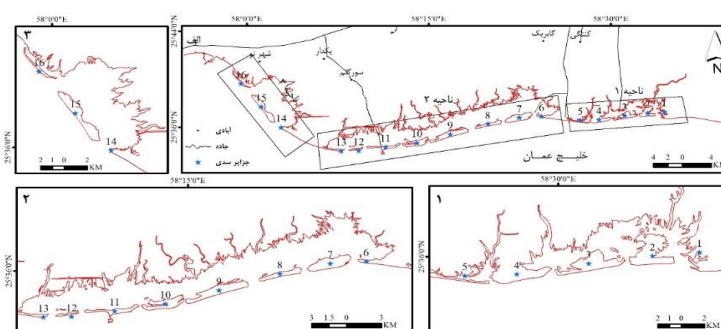
شکل ۳. موقعیت خط ساحلی منطقه مورد مطالعه مستخرج از شاخص MNDWI برای سال‌های الف) ۱۳۶۳ ب) ۱۳۶۹ پ) ۱۳۷۹ ت) ۱۳۸۸ ث) ۱۳۹۹ و ج) ۱۴۰۳ خورشیدی.



شکل ۴. تغییرات خط ساحلی منطقه مورد مطالعه بین سال‌های ۱۴۰۳-۱۳۶۳ خورشیدی، ناحیه ۱) قاعده دلتای گابریک، ناحیه ۲) قاعده دلتای جگین (بخش خاوری) و ناحیه ۳) قاعده دلتای جگین (بخش باختری).

## ۵. ۲. جزایر سدی منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، جزایر سدی واقع در قاعده دلتای رودهای گابریک و جگین در یک مقیاس فضایی- زمانی (بزرگ- دارزمدت) مورد پایش قرار گرفته و حداقل مقیاس زمانی و فضایی لازم برای شناسایی و تعیین آنها، به ترتیب ۴۰ سال و دارای بیش از ۲/۵ کیلومتر در نظر گرفته شد. بدین ترتیب با لحاظ کردن این معیار، شانزده جزیره سدی در سه ناحیه متفاوت شناسایی و مورد پایش و مدل‌سازی قرار گرفتند (شکل ۵). این نواحی به ترتیب از خاور به باختر عبارتند از: مجموعه جزایر سدی واقع در قاعده دلتای گابریک (ناحیه ۱) و جگین (بخش خاوری- ناحیه ۲ و بخش باختری- ناحیه ۳). همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، جزایر سدی شماره ۵-۱ مجموعه جزایر سدی قاعده دلتای گابریک و جزایر سدی شماره ۱۳-۶ و ۱۶-۱۴ به ترتیب مجموعه جزایر سدی بخش خاوری و باختری قاعده دلتای جگین را تشکیل می‌دهند.



شکل ۵. موقعیت جزایر سدی شانزده گانه تشکیل شده در خط ساحلی دلتای گابریک و جگین.

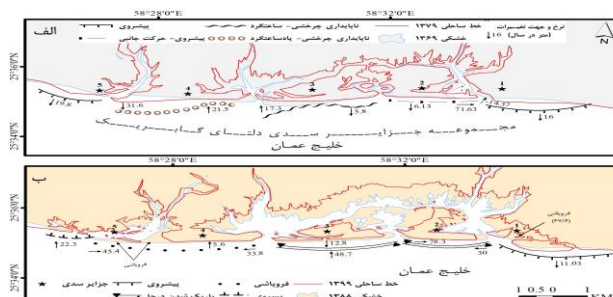
## ۵. ۳. تغییرات خط ساحلی و انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک جزایر سدی منطقه مورد مطالعه

اطلاعات مربوط به میزان تغییرات خطوط ساحلی منطقه مورد مطالعه در جدول ۲، جدول ۳ و جدول ۴ ارائه شده‌اند. همان‌طور که این جداول نشان می‌دهند، میزان تغییرات خطوط ساحلی قاعده دلتاهای گابریک و جگین در

سه ناحیه متفاوت و طی چهار دهه اخیر در پنج بازه زمانی مشخص، محاسبه و اندازه‌گیری شده است. در این بخش از پژوهش، برپایه تغییرات رخ داده در موقعیت مکانی خط ساحلی منطقه مورد مطالعه (شکل ۴)، انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک مجموعه جزایر سدی به تفکیک نواحی سه‌گانه در پنج بازه زمانی متفاوت (۱۳۶۹-۱۳۷۹، ۱۳۷۹-۱۳۸۸، ۱۳۸۸-۱۳۹۹، ۱۳۹۹-۱۴۰۳، ۱۴۰۳-۱۳۶۹)، ۱۳۶۹-۱۳۶۳ و طی چهار دهه اخیر تشریح و ارائه شده است.

### ۱.۳.۵. مجموعه جزایر سدی قاعده دلتای گابریک

جزایر سدی واقع در قاعده دلتای گابریک، ناحیه ۱ منطقه را دربر می‌گیرد؛ از این رو، با عنوان مجموعه جزایر سدی گابریک معرفی و مطالعه شده‌اند. در این ناحیه، جزایر سدی شماره‌های ۱ تا ۵ تشکیل شده‌اند (شکل ۵). به‌طور کلی، طی بازه زمانی ۱۳۶۳-۱۳۶۹، تغییرات خط ساحلی به‌صورت پیشروی در منطقه رخ داده است. طی این مدت، مجموعاً شش مدل - حرکت جانبی، پیشروی، پسروی، باریک‌شدن درجا، فروپاشی و ناپایداری چرخشی از هشت مدل معرفی شده توسط McBride et al., 1995 در منطقه تشکیل شده‌اند. همچنین، مدل واکنش ژئومورفیک پیشروی، مدل غالب در منطقه بوده است. علاوه بر آن، مدل‌های ناپایداری چرخشی و باریک‌شدن درجا دیگر مدل‌های غالب بوده‌اند. در بازه زمانی مذکور، کم‌ترین و بیشترین میزان تغییرات رخ داده در موقعیت خط ساحلی مربوط به جزیره سدی شماره ۴ و ۲ به‌ترتیب به میزان ۶۵ و ۷۴۱ متر بوده است (جدول ۲). نرخ تغییرات این جزایر نیز به‌ترتیب حدود ۲۱/۵ و ۸۵/۷ متر در سال بوده؛ به‌طوری‌که جزیره سدی شماره ۲ بیشترین نرخ سالانه تغییرات را ثبت نموده است. مدل واکنش ژئومورفیک هر پنج جزیره سدی موجود، به‌صورت پیشروی بوده است. اما در بازه زمانی ۱۳۶۹-۱۳۷۹، تغییرات خط ساحلی به‌صورت پیشروی و پسروی‌های محلی به‌وقوع پیوسته است؛ که با ایجاد مدل‌های واکنش ژئومورفیک از جمله باریک‌شدن درجا و ناپایداری چرخشی گویا به‌گونه‌ای در جهت ایجاد نوعی تعادل در خط ساحلی پیش‌رفته است. طی این ده سال، مجموعاً پنج مدل حرکت جانبی، پیشروی، پسروی، باریک‌شدن درجا و ناپایداری چرخشی (ساعت‌گرد- جزیره سدی شماره ۳ و پادساعت‌گرد- جزیره سدی شماره ۴) تشکیل و توسعه یافته‌اند. در این بازه زمانی، به‌جز جزیره سدی شماره ۵، به دلیل عملکرد عوامل گوناگون مؤثر- هیدرودینامیک و هیدرومورفیک در کانال‌های ورودی‌های کشندی (دهانه خورها)، چندین مدل واکنش ژئومورفیک با هم در محدوده جزایر سدی مشاهده می‌شود (شکل ۶). بیشترین و کم‌ترین میزان تغییرات رخ داده در محدوده جزیره سدی شماره ۲ و ۴ به‌ترتیب به میزان ۱۰۲۹ و ۴۰ متر بوده است. نرخ تغییرات سالانه برای جزیره سدی شماره ۲ در حدود ۶۳/۷۵ و برای جزیره سدی شماره ۴ بین ۳۱/۶ و ۲۱/۵ متر بوده است. بیشینه و کمینه نرخ سالانه تغییرات نیز به‌ترتیب مربوط به جزیره سدی شماره ۲ با ۷۱/۶۳ متر در سال به‌صورت مدل حرکت جانبی و جزیره سدی شماره ۳ با ۵/۸ متر در سال و به‌صورت مدل ناپایداری چرخشی- ساعت‌گرد تعلق دارد.



شکل ۶. تغییرات خط ساحلی و نمونه‌هایی از مدل‌های واکنش ژئومورفیک مجموعه جزایر سدی قاعده دلتای گابریک طی بازه زمانی الف) ۱۳۶۹-۱۳۷۹، ب) ۱۳۸۸-۱۳۹۹. پراکنش فضایی مدل‌های واکنش ژئومورفیک وسیله نمادهای متفاوت در راستای جزایر سدی نشان داده شده است. پیکان‌های مشکی، نشان‌دهنده نرخ و جهت تغییرات (متر در سال) می‌باشند. برای اطلاعات بیشتر به متن مراجعه شود.

بین سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۸ هرچند پیشروی خط ساحلی به میزان جزیی بوده اما به‌صورت محلی نیز پسروی‌هایی رخ داده است. واکنش مورفولوژیکی جزایر سدی طی این مدت، در چهار مدل واکنش ژئومورفیک پیشروی، پسروی، حرکت جانبی و

ناپایداری چرخشی نمود یافته است. درواقع، در محدوده جزایر سدی شماره ۱ و ۲ مدل پیشروی، شماره ۳ و ۵ پسروی و شماره ۴ ناپایداری چرخشی و حرکت جانبی رخ داده است. در بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۳۸۸ در جزیره سدی شماره ۲ علاوه بر مدل پیشروی آن هم به صورت محدود که در کرانه رو به سوی دریا رخ داده، در دیگر بخش های جزیره مدل تعادل پایدار (بدون تغییر محسوس) مشهود است. همچنین، توسعه مدل حرکت جانبی در منتهی الیه سمت چپ جزیره سدی شماره ۴ ناشی از حجم آورد رسوبی رودها و برهم کنش با جریان های کرانه راستا و دیگر عوامل هیدرودینامیک دریا می باشد که باعث توزیع، رشد و گسترش رسوبات در امتداد آن ها شده است. بالاترین و پایین ترین میزان تغییرات رخ داده در این مدت به ترتیب مربوط به جزیره سدی شماره ۴ و ۲ به میزان ۹۵۶ و ۱۸ متر است. بیشینه نرخ تغییرات سالانه نیز در حدود ۹۲/۶ متر در سال و در پی رخداد مدل حرکت جانبی در محدوده جزیره سدی شماره ۴ محاسبه شد. با چشم پوشی از میزان پیشروی جزیری در محدوده جزیره سدی شماره ۱، تغییرات کلی خط ساحلی به صورت پسروی فرایند غالب برای بازه زمانی ۱۳۸۸-۱۳۹۹ بوده است. در این بازه زمانی نیز چهار مدل ژئومورفیک پیشروی، پسروی، فروپاشی و باریک شدن درجا واکنش جزایر سدی به تغییرات رخ داده بوده است. سه مدل اخیر معمولاً در پی افزایش تراز دریا و هجوم آب دریا به درون خشکی تشکیل و توسعه می یابند. در اینجا نیز به دنبال پسروی خط ساحلی به سوی خشکی که ناشی از افزایش تراز دریا می باشد شاهد توسعه دو مدل باریک شدن درجا و فروپاشی جزایر سدی هستیم. درواقع، در محدوده جزیره سدی شماره ۱ مدل فروپاشی (با نرخ متوسط ۶۷/۶ متر در سال) و در محدوده جزایر سدی شماره ۲، ۳ و ۴ مدل باریک شدن درجا رخ داده اند (شکل ۶). کمینه و بیشینه میزان تغییرات رخ داده نیز به ترتیب به میزان ۱۵ و ۱۹۵۰ متر در محدوده جزیره سدی شماره ۲ و ۴ اندازه گیری شده است. کمترین نرخ تغییرات سالانه حدود ۵/۶ به صورت مدل پسروی در محدوده جزیره سدی شماره ۴ و بیشترین میزان آن در حدود ۷۸/۳ متر در سال و در محدوده جزیره سدی شماره ۲ در قالب مدل باریک شدن درجا انجام شده است. مدل های پیشروی، پسروی، حرکت جانبی و ناپایداری چرخشی واکنش های ژئومورفیک جزایر سدی طی بازه زمانی کوتاه چهار ساله بین سال های ۱۴۰۳-۱۳۹۹ بوده است. تغییرات خط ساحلی در این بازه کوتاه بیشتر به صورت محلی و در محدوده هر جزیره به گونه ای متفاوت در جریان بوده و منجر به توسعه مدل های مذکور شده است. برای مثال در محدوده جزیره سدی شماره ۲ و ۳ مدل های پیشروی در کرانه روبه سوی مرداب و پسروی روبه سوی دریا رخ داده اند و به گونه ای می توان گفتن که مدل واکنش ژئومورفیک غلطیدن به سوی خشکی نیز در اینجا توسعه یافته است. میزان و نرخ تغییرات در این مدت تفاوت چندانی نشان نمی دهد و ارقام نزدیک به هم می باشند؛ به گونه ای که تنها تفاوت محسوس عددی در بیشترین مقدار خود در حدود ۲۴۵۵ متر و در پی توسعه مدل حرکت جانبی در محدوده جزیره سدی شماره ۵ دیده می شود. کمترین میزان تغییر نیز در محدوده جزیره سدی شماره ۱ و در حدود ۱۸ متر به دست آمد. با این حال، کمینه و بیشینه نرخ تغییرات سالانه نیز به ترتیب برای جزیره سدی شماره ۳ به میزان ۱۱/۸ متر در سال و به صورت مدل پسروی و برای جزیره سدی شماره ۵ به مقدار ۶۱۲/۴ متر در سال به صورت مدل حرکت جانبی ثبت گردید (جدول ۲).

جدول ۲. تغییرات خط ساحلی و مدل های واکنش ژئومورفیک جزایر سدی دلتای گابریک بین سال های ۱۴۰۳-۱۳۶۳.

| بازه زمانی | طول دوره (سال) | جزایر سدی | میزان تغییرات (متر) |               | نرخ تغییرات (متر در سال) | مدل واکنش ژئومورفیک |
|------------|----------------|-----------|---------------------|---------------|--------------------------|---------------------|
|            |                |           | کمترین میزان        | بیشترین میزان |                          |                     |
| ۱۳۶۳-۱۳۶۹  | ۶              | ۱         | ۷۲                  | ۲۴۴           | ۲۹/۸                     | پیشروی              |
|            |                | ۲         | ۲۸۴                 | ۷۴۱           | ۸۵/۷                     | پیشروی              |
|            |                | ۳         | ۱۸۵                 | ۴۵۶           | ۵۳/۵                     | پیشروی              |
|            |                | ۴         | ۶۵                  | ۱۹۹           | ۲۱/۵                     | پیشروی              |
|            |                | ۵         | ۹۳                  | ۲۷۸           | ۲۷/۵                     | پیشروی              |
| ۱۳۶۹-۱۳۷۹  |                | ۱         | ۷۳                  | ۲۱۲           | ۱۶                       | پیشروی              |
|            |                |           | -۴۱ <sup>۱</sup>    | -۲۰۹          | -۱۴/۳                    | پسروی               |
|            |                |           | ۵۶                  | ۶۴            | ۶/۱۳                     | پیشروی              |
|            |                | ۲         | -۱۱۰                | -۱۰۲۹         | -۶۳/۷۵                   | پسروی               |

۱. که در تمامی جداول این مقاله: اعداد منفی و مثبت به ترتیب نشانگر تغییرات به صورت پسروی (فرسایش) و پیشروی (رسوب گذاری) است.

| بازه زمانی | طول دوره (سال) | جزایر سدی | میزان تغییرات (متر) |               | نرخ تغییرات (متر در سال) | مدل واکنش ژئومورفیک |
|------------|----------------|-----------|---------------------|---------------|--------------------------|---------------------|
|            |                |           | کمترین میزان        | بیشترین میزان |                          |                     |
| ۱۳۷۹-۱۳۸۸  | ۱۰             | ۳         | ۶۳۴                 | ۸۲۰           | ۷۱/۶۳                    | حرکت جانبی          |
|            |                |           | ۳۶                  | -۲۸۸          | ۵/۸ <sup>۱</sup> و -۱۷/۳ | ناپایداری چرخشی     |
|            |                | ۴         | ۳۱۹                 | ۸۴۳           | ۱۷/۳ <sup>۲</sup> و ۴۶/۶ | باریک شدن درجا      |
|            |                |           | -۴۰                 | ۵۳۲           | ۳۱/۶ و -۲۱/۵             | ناپایداری چرخشی     |
|            |                |           | ۹۸                  | ۸۰۵           | ۲۹/۷ و ۲۴/۷              | باریک شدن درجا      |
|            | ۹              | ۵         | ۹۳                  | ۲۷۸           | ۱۹/۸                     | پیشروی              |
|            |                | ۱         | ۹۴                  | ۲۴۵           | ۱۶/۸                     | پیشروی              |
|            |                | ۲         | ۱۸                  | ۴۰            | ۳/۴                      | پیشروی              |
|            |                | ۳         | -۵۰                 | -۹۳           | -۸                       | پسروی               |
|            |                | ۴         | -۲۶                 | ۸۶            | ۶/۳ و -۴/۳               | ناپایداری چرخشی     |
| ۱۳۸۸-۱۳۹۹  | ۱۱             | ۵         | ۶۷۰                 | ۹۵۶           | ۹۲/۶                     | حرکت جانبی          |
|            |                |           | -۱۴۷                | -۲۴۱          | -۲۲/۶                    | پسروی               |
|            |                | ۱         | ۶۱                  | ۱۸۳           | ۱۱                       | پیشروی              |
|            |                |           | ۴۹۹                 | ۸۴۲           | ۶۷/۶                     | فروپاشی             |
|            |                |           | -۱۵                 | -۳۴۶          | -۸/۹                     | پسروی               |
|            | ۴              | ۲         | ۱۰۲                 | ۱۴۹۱          | ۳۰ و ۷۸/۳                | باریک شدن درجا      |
|            |                | ۳         | ۵۸                  | ۱۴۶۱          | ۴۸/۷ و ۱۲/۸              | باریک شدن درجا      |
|            |                | ۴         | -۴۲                 | -۸۳           | -۵/۶                     | پسروی               |
|            |                |           | ۶۴                  | ۱۹۵۰          | ۳۳/۸ و ۴۵/۴              | باریک شدن درجا      |
|            |                |           | -۲۰                 | -۵۹۷          | -۲۲/۳                    | پسروی               |
| ۱۳۹۹-۱۴۰۳  | ۴              | ۱         | ۱۸                  | ۲۷۴           | ۲۲/۲۵                    | پیشروی              |
|            |                | ۲         | -۲۲                 | -۱۴۱          | -۱۶/۳                    | پسروی               |
|            |                |           | ۷۹                  | ۷۲۷           | ۸۹                       | پیشروی              |
|            |                | ۳         | -۲۳                 | -۹۲           | -۱۱/۸                    | پسروی               |
|            |                |           | ۲۶                  | ۳۱۳           | ۲۹                       | پیشروی              |
|            |                |           | ۳۶                  | ۱۹۷           | ۲۷/۲ و -۲۵/۴             | ناپایداری چرخشی     |
|            |                | ۵         | ۲۴۴۴                | ۲۴۵۵          | ۶۱۲/۴                    | حرکت جانبی          |

### ۵.۳.۲. مجموعه جزایر سدی قاعده دلتای جگین

ناحیه ۲ و ۳ که تقریباً دو سوم گستره منطقه مورد مطالعه را دربر می گیرد به عنوان خط ساحلی قاعده دلتای جگین شناخته می شود. بنابراین، جزایر سدی موجود در این نواحی، با عنوان مجموعه جزایر سدی جگین در نظر گرفته شده اند؛ با توجه به کمان کوژ بسیار مشخص قاعده این دلتا به سوی دریا، مجموعه جزایر سدی تشکیل شده در راستای خط ساحلی آن به دو بخش خاوری-ناحیه ۲ (جزایر سدی شماره ۶ تا ۱۳) و بخش باختری-ناحیه ۳ (جزایر سدی ۱۴ تا ۱۶) تقسیم شده است (شکل ۵). به طور کلی، در بخش خاوری قاعده دلتای جگین-ناحیه ۲ طی ۱۳۶۹-۱۳۶۳، موقعیت خط ساحلی دچار پیشروی شده است. در این بازه، مجموعاً چهار مدل-حرکت جانبی، پیشروی، غلطیدن به سوی خشکی و ناپایداری چرخشی از هشت مدل معرفی شده

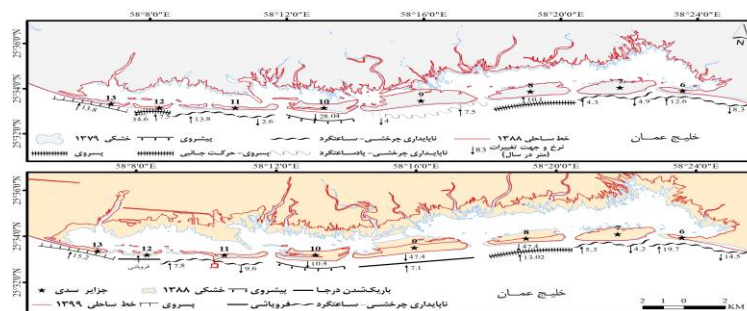
۱. در ناپایداری چرخشی عدد سمت راست برای پیشروی و عدد سمت چپ برای پسروی است.

۲. در باریک شدن درجا عدد سمت راست برای بخش رو به دریا و عدد سمت چپ برای بخش رو به خشکی است.

توسط McBride et al., 1995 در منطقه تشکیل و توسعه یافته‌اند. واکنش ژئومورفیک جزایر سدی شماره ۶، ۷، ۹ و ۱۳ به‌صورت مدل پیشروی؛ جزایر سدی شماره ۸ و ۱۲ به‌صورت مدل حرکت جانبی؛ جزیره سدی شماره ۱۱ به‌صورت ناپایداری چرخشی - ساعت گرد بوده است. این درحالی است که جزایر سدی شماره ۶، ۹ و ۱۰ بیش از یک مدل ژئومورفیک واکنش نشان داده‌اند (جدول ۳، شکل ۷). به‌عبارت‌دیگر، در محدوده جزیره سدی شماره ۸ حالتی از پایداری نسبی در خط ساحلی بخش مرکزی جزیره سدی دیده می‌شود که درواقع گویای واکنش ژئومورفیک تعادل پایدار است؛ اما این درحالی است که در دو سوی این جزیره، مدل حرکت جانبی رخ داده است. در همین دوره، در جزیره سدی شماره ۱۰ ضمن ناپایداری چرخشی از نوع پادساعت‌گرد، مدل‌های غلطیدن به‌سوی خشکی و حرکت جانبی در بخش باختری جزیره سدی نیز دیده می‌شوند. در این بین، کم‌ترین و بیشترین میزان تغییرات رخ داده در این ناحیه، در محدوده جزیره سدی شماره ۱۱ به‌ترتیب حدود ۱۷ و ۱۰۴۲ متر محاسبه شده است. علاوه‌برآن، نرخ تغییرات سالانه در حالت کمینه و بیشینه به‌ترتیب در محدوده جزایر سدی شماره ۱۱ و ۱۰ به میزان ۵/۲ و ۶۵۶/۸ متر در سال بوده است. درواقع، نرخ تغییرات کمینه و بیشینه در مدل ناپایداری چرخشی و غلطیدن به‌سوی خشکی رخ داده است. از ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۹ در ناحیه ۲ منطقه مورد مطالعه، چهار مدل ژئومورفیک حرکت جانبی، پیشروی، پسروی و ناپایداری چرخشی رخ داده است. به‌طورکلی، طی این بازه زمانی روند تغییر در موقعیت خط ساحلی به‌صورت کند و آرام مشهود بوده؛ ازاین‌رو، پسروی مدل واکنش ژئومورفیک غالب در این ناحیه است. واکنش ژئومورفیک جزایر سدی شماره ۶ و ۸ به‌صورت مدل پسروی، جزایر سدی شماره ۷، ۹، ۱۱ و ۱۳ به‌صورت ناپایداری چرخشی و در جزیره سدی شماره ۱۲ پسروی همراه با حرکت جانبی بوده است. بیشترین و کم‌ترین میزان تغییرات روی داده در این ناحیه به‌ترتیب در محدوده جزایر سدی شماره ۱۱ و ۱۳ در حدود ۳۷۷ و ۲۰ متر اندازه‌گیری شده است. همچنین، بیشترین و کم‌ترین نرخ تغییرات محاسبه‌شده برای جزیره سدی شماره ۱۱ به میزان ۲۳/۷ و جزیره سدی شماره ۱۳ به میزان ۲/۶ متر در سال بوده است. این مقادیر به‌صورت پیشروی خط ساحلی در مدل واکنش ژئومورفیک ناپایداری چرخشی رخ داده‌اند. در بازه زمانی ۱۳۸۸-۱۳۷۹ نیز چهار مدل ژئومورفیک حرکت جانبی، پیشروی، پسروی و ناپایداری چرخشی به‌وقوع پیوسته است. دو مدل اخیر، مهم‌ترین واکنش ژئومورفیک جزایر سدی در این مدت بوده‌اند. به‌طورکلی، وضعیت تغییرات در این بازه همچون دوره پیش جزئی بوده و مقادیر تغییرات روندی کند و آرام را نشان می‌دهند. برای مثال مدل ناپایداری چرخشی از نوع ساعت‌گرد در دو ناحیه به‌صورت جزئی در محدوده جزیره سدی شماره ۷؛ در جزیره سدی شماره ۱۱ مدل‌های فروپاشی، غلطیدن به‌سوی خشکی، ناپایداری چرخشی از نوع ساعت‌گرد، پسروی و تعادل پویا و در جزیره سدی شماره ۱۳ مدل‌های غلطیدن به‌سوی خشکی و پسروی رخ داده‌اند. به‌گونه‌ای که کم‌ترین و بیشترین میزان آن مربوط به جزایر سدی شماره ۷ و ۱۲ می‌باشد و مقادیر آن‌ها به‌ترتیب برابر با ۱۱ و ۶۴۱ متر بوده است. این درحالی است که بیشینه نرخ تغییرات با ۳۴/۶ متر در سال برای جزیره سدی شماره ۱۲ و کمینه آن به میزان ۲/۶ متر در سال برای جزیره سدی شماره ۱۱ به ثبت رسیده است. این مقادیر به‌ترتیب در مدل‌های واکنش ژئومورفیک حرکت جانبی و ناپایداری چرخشی - ساعت گرد رخ داده‌اند. پنج مدل واکنش ژئومورفیک پیشروی، پسروی، ناپایداری چرخشی، باریک‌شدن درجا و فروپاشی اصلی‌ترین مدل‌های تشکیل شده طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۹ در این ناحیه هستند. در این مدت نیز تغییرات بطئی و آرامی در محدوده جزایر سدی به‌وقوع پیوسته است. به‌طوری‌که بالاترین و پایین‌ترین میزان تغییرات به‌ترتیب حدود ۷۲۳ و ۲۱ متر بوده که مربوط به جزیره سدی شماره ۹ می‌باشند. پایین‌ترین نرخ تغییرات سالانه در پی توسعه مدل ناپایداری چرخشی در جزیره سدی شماره ۷ به مقدار ۴/۲ متر در سال - به‌صورت پیشروی و بالاترین میزان آن نیز به‌دنبال تشکیل و توسعه مدل ژئومورفیک باریک‌شدن درجا در محدوده جزایر سدی شماره ۸ و ۹ به میزان ۴۷/۴ متر در سال ایجاد شده است. طی این مدت جزیره سدی شماره ۱۲ بر اثر توسعه مدل واکنش ژئومورفیک فروپاشی دچار نابودی کامل شده است. با استناد به یافته‌های ثروتی و همکاران ۱۳۹۷، مدل فروپاشی که درواقع شکل تکمیلی و پیشرفته‌ای از مدل باریک‌شدن درجا بوده و در ادامه آن شکل می‌گیرد، در زمان‌هایی که افزایش تراز دریا به اوج خود می‌رسد، رخ می‌دهد (شکل ۶ و شکل ۷). به‌عبارت‌دیگر، با به اوج رسیدن افزایش تراز دریا، به‌واسطه فرسایش ناشی از هجوم امواج و نفوذ آب دریا در منطقه، مدل باریک‌شدن درجا گسترش می‌یابد و از وسعت جزیره سدی کاسته می‌شود (ثروتی و همکاران ۱۳۹۷: ۱۰). بنابراین، در پی افزایش تراز دریا و رخداد فرسایش و فروسایي در بدنه اصلی جزیره سدی، ارتباط هیدرولوژیکی دریا با مرداب‌های تشکیل‌شده در پشت جزایر از طریق کانال‌های ارتباطی ایجاد شده برقرار شده و سرانجام مدل فروپاشی تشکیل و توسعه می‌یابد. در این بازه زمانی در محدوده جزیره سدی شماره ۱۱، مدل ناپایداری چرخشی -



ساعت گرد در واکنش به ایجاد و توسعه اسکله صیادی رخ داده و باعث شده تا تغییرات به صورت پیشروی و پسروی در پیرامون آن انجام شود.



شکل ۷. تغییرات خط ساحلی و نمونه‌هایی از مدل‌های واکنش ژئومورفیک مجموعه جزایر سدی قاعده دلتای جگین - خاوری طی بازه زمانی الف) ۱۳۸۸-۱۳۷۹، ب) ۱۳۸۸-۱۳۹۹.

طی بازه زمانی ۱۴۰۳-۱۳۹۹ هشت مدل واکنش ژئومورفیک ناپایداری چرخشی، پیشروی، باریک شدن درجا، پسروی، تعادل پویا، حرکت جانبی و غلطیدن به‌سوی خشکی در محدوده جزایر سدی واقع در بخش خاوری قاعده دلتای جگین - ناحیه ۲ تشکیل و توسعه یافته‌اند. طی این مدت روند تغییرات به‌صورت متفاوت، ناچیز و آرام بوده؛ به‌گونه‌ای که شیب تغییرات در محدوده همه جزایر ملایم و نزدیک به هم بوده است. برای مثال علاوه بر اینکه کرانه روبه‌سوی دریا در محدوده جزیره سدی شماره ۹ مدل تعادل پویا را نشان می‌دهد؛ کرانه روبه‌سوی مرداب آن دچار واکنش ژئومورفیک غلطیدن به‌سوی خشکی شده است. همچنین، در بخش خاوری اسکله در خط ساحلی جزیره سدی شماره ۱۱ مدل ناپایداری چرخشی از نوع پادساعت گرد و در بخش باختری آن نیز به‌صورت جزئی تر رخ داده است؛ اما در کرانه‌های روبه‌سوی مرداب پشتی آن، مدل پیشروی همراه با غلطیدن به‌سوی خشکی توسعه یافته است. کم‌ترین و بیشترین میزان تغییرات رخ داده به‌ترتیب برای جزایر سدی شماره ۱۱ و ۱۲ به میزان ۸ متر در قالب پسروی و ۶۸۵ متر در قالب پیشروی و رشد جانبی ثبت شده است. ناپایداری چرخشی واکنش ژئومورفیک مشهود در جزایر سدی شماره ۷، ۱۱ و ۱۳ می‌باشد. ناپایداری چرخشی - پادساعت گرد توسعه یافته در محدوده جزیره سدی شماره ۱۱ در پی ساخت اسکله صیادی روی داده است. کمینه و بیشینه نرخ تغییرات سالانه نیز به‌ترتیب در محدوده جزایر سدی شماره ۱۱ و ۱۲ تقریباً حدود ۳/۹ و ۲۶۲ متر در سال به ثبت رسیده است (جدول ۳). علاوه بر آن، طی این مدت در محدوده جزیره سدی شماره ۹ نیز مدل واکنش ژئومورفیک تعادل پویا نیز مشهود بوده است (شکل ۷).

جدول ۳. تغییرات خط ساحلی و مدل‌های واکنش ژئومورفیک جزایر سدی دلتای جگین - خاوری بین سال‌های ۱۴۰۳-۱۳۶۳.

| بازه زمانی | طول دوره (سال) | جزایر سدی | میزان تغییرات (متر) |               | نرخ تغییرات (متر در سال) | مدل واکنش ژئومورفیک |
|------------|----------------|-----------|---------------------|---------------|--------------------------|---------------------|
|            |                |           | کم‌ترین میزان       | بیشترین میزان |                          |                     |
| ۱۳۶۳-۱۳۶۹  | ۶              | ۶         | ۴۰                  | ۶۵            | ۹/۸                      | پیشروی              |
|            |                |           | ۱۰۵                 | ۲۱۱           | ۲۳/۳                     | حرکت جانبی          |
|            |                | ۷         | ۶۳                  | ۱۴۸           | ۲۲                       | پیشروی              |
|            |                | ۸         | ۲۶                  | ۱۹۱           | ۱۴/۹                     | حرکت جانبی          |
|            | ۹              |           | ۹۶                  | ۱۹۶           | ۲۳/۹                     | پیشروی              |
|            |                |           | ۲۴۲                 | ۱۰۰۲          | ۱۰۴/۵                    | حرکت جانبی          |
|            |                |           | -۹۶                 | ۲۶۲           | ۳۰/۱ و -۱۶/۸             | ناپایداری چرخشی     |
|            | ۱۰             |           | ۴۶۱                 | ۶۲۸           | ۵۷۲/۲۵                   | حرکت جانبی          |
|            |                |           | ۵۴۸                 | ۷۳۷           | ۶۵۶/۸                    | غلطیدن به‌سوی خشکی  |
|            |                | ۱۱        | ۱۷                  | ۱۰۴۲          | ۵/۲ و ۱۰۰/۳              | ناپایداری چرخشی     |
| ۱۳۶۹-۱۳۷۵  | ۶              | ۱۲        | ۵۵۲                 | ۷۶۹           | ۱۱۲/۳                    | حرکت جانبی          |

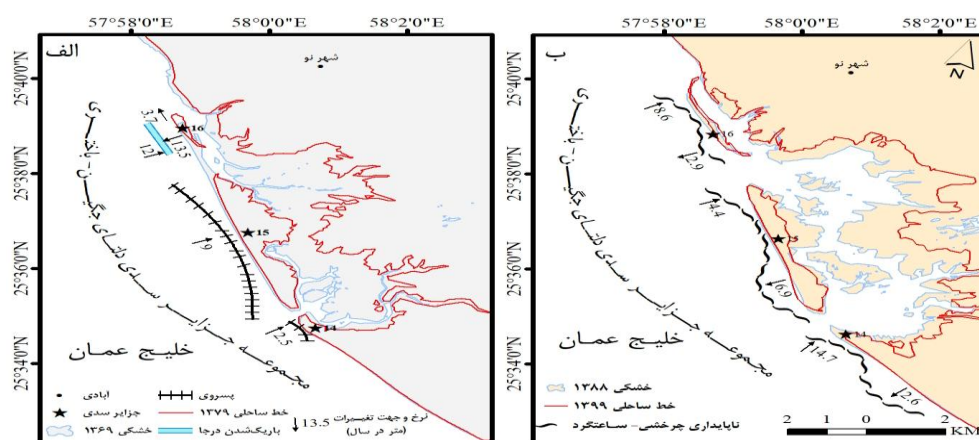


| بازه زمانی | طول دوره (سال) | جزایر سدی | میزان تغییرات (متر) |               | نرخ تغییرات (متر در سال) | مدل واکنش ژئومورفیک      |
|------------|----------------|-----------|---------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|
|            |                |           | کمترین میزان        | بیشترین میزان |                          |                          |
| ۱۳۶۹-۱۳۷۹  | ۱۰             | ۱۳        | ۵۴                  | ۱۱۴           | ۱۳/۷                     | پیشروی                   |
|            |                | ۶         | ۳۲                  | ۲۲۴           | ۸/۸                      | پسروی                    |
|            |                | ۷         | ۳۸                  | -۹۴           | ۶ و ۸/۳-                 | ناپایداری چرخشی          |
|            |                | ۸         | -۵۸                 | -۱۲۸          | -۹/۵                     | پسروی                    |
|            |                | ۹         | -۲۱                 | ۱۲۳           | ۹/۳ و ۵/۲-               | ناپایداری چرخشی          |
|            |                | ۱۰        | ۲۶                  | ۳۷۴           | ۱۷/۴                     | پیشروی                   |
|            |                | ۱۱        | -۶۳                 | ۳۷۷           | ۲۳/۷ و ۱۱/۴-             | ناپایداری چرخشی          |
|            |                | ۱۲        | ۷۷                  | ۲۰۵           | ۱۴/۵                     | حرکت جانبی               |
|            |                | ۱۲        | -۴۶                 | -۱۹۱          | -۱۱/۵                    | پسروی                    |
|            |                | ۱۳        | ۲۰                  | -۲۳۱          | ۲/۶ و ۱۲/۳-              | ناپایداری چرخشی          |
|            |                | ۶         | -۳۰                 | ۲۳۱           | ۸/۳ و ۱۲/۶-              | ناپایداری چرخشی          |
|            |                | ۷         | ۱۱                  | ۱۲۷           | ۴/۹ و ۴/۳-               | ناپایداری چرخشی          |
| ۱۳۷۹-۱۳۸۸  | ۹              | ۸         | -۴۱                 | -۱۹۷          | -۱۰/۱                    | پسروی                    |
|            |                | ۹         | -۲۰                 | ۱۱۰           | ۷/۵ و ۴-                 | ناپایداری چرخشی          |
|            |                | ۱۰        | -۱۰۹                | -۴۸۹          | -۲۸/۰۴                   | پیشروی                   |
|            |                | ۱۱        | ۱۶                  | -۱۷۰          | ۲/۶ و ۱۳/۸-              | ناپایداری چرخشی          |
|            |                | ۱۲        | ۴۵                  | ۶۴۱           | ۳۴/۶                     | حرکت جانبی               |
|            |                | ۱۲        | -۴۹                 | -۱۰۰          | -۷/۵                     | پسروی                    |
|            |                | ۱۳        | -۱۲                 | -۵۰۰          | -۱۳/۸                    | پسروی                    |
|            |                | ۶         | -۴۱                 | -۴۵۹          | ۱۴/۵ و ۱۹/۷-             | ناپایداری چرخشی          |
|            |                | ۷         | ۲۲                  | -۸۸           | ۴/۲ و ۵/۳-               | ناپایداری چرخشی          |
|            |                | ۸         | ۶۰                  | ۶۸۳           | ۱۳/۰۲ و ۴۷/۴             | باریک شدن درجا           |
|            |                | ۹         | ۲۱                  | ۷۲۳           | ۷/۱ و ۴۷/۴               | باریک شدن درجا           |
|            |                | ۱۰        | ۳۳                  | ۱۸۸           | ۱۰/۴                     | پیشروی                   |
| ۱۳۸۸-۱۳۹۹  | ۱۱             | ۱۱        | -۳۸                 | ۲۲۹           | ۹/۶ و ۷/۸-               | ناپایداری چرخشی          |
|            |                | ۱۲        | -                   | -             | -                        | فروپاشی                  |
|            |                | ۱۳        | -۴۳                 | -۵۲۷          | -۱۵/۲                    | پسروی                    |
|            |                | ۶         | ۲۲                  | ۷۰            | ۱۰/۱                     | پیشروی                   |
|            |                | ۷         | -۱۰                 | ۱۲۵           | ۲۳/۱ و ۷/۲-              | ناپایداری چرخشی          |
|            |                | ۸         | ۱۵                  | ۱۶۸           | ۷/۳ و ۳۱/۶               | باریک شدن درجا           |
|            |                | ۹         | ۴۴                  | ۲۸۲           | ۲۸/۷                     | غلطیدن به سوی خشکی       |
|            |                | ۱۰        | ۳۲                  | ۸۹            | ۱۴                       | پیشروی                   |
|            |                | ۱۰        | -۲۷                 | -۷۰           | -۱۱/۳                    | پسروی                    |
|            |                | ۱۱        | -۲۰                 | ۱۱۵           | ۲۱/۴ و ۱۷/۷-             | ناپایداری چرخشی (خاوری)  |
|            |                | ۱۱        | -۸                  | -۳۱           | ۳/۹ و ۴/۶-               | ناپایداری چرخشی (باختری) |
|            |                | ۱۲        | ۳۶۳                 | ۶۸۵           | ۲۶۲                      | حرکت جانبی               |
| ۱۳۹۹-۱۴۰۳  | ۴              | ۱۳        | ۱۴                  | -۱۶۱          | ۵/۳ و ۱۶/۶-              | ناپایداری چرخشی          |

تغییر موقعیت خط ساحلی در محدوده جزایر سدی واقع در بخش باختری قاعده دلتای جگین- ناحیه ۳ طی بازه زمانی ۱۳۶۳

تا ۱۳۶۹، در قالب پیشروی انجام شده؛ و در مجموع مدل‌های واکنش ژئومورفیک حرکت جانبی و پیشروی در منطقه تشکیل و توسعه یافته‌اند. کم‌ترین و بیشترین میزان تغییرات به ترتیب در محدوده جزیره سدی شماره ۱۵ و ۱۶ به میزان ۲۵ و ۲۸۱ متر رخ داده است. همچنین، کم‌ترین و بیشترین نرخ تغییرات سالانه در حدود ۶/۶ و ۳۷/۸ متر در سال به ترتیب برای این دو جزیره ثبت شده است.)

جدول ۴). طی بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۳۶۹ سه مدل ژئومورفیک پسروری، حرکت جانبی و باریک‌شدن درجا واکنش اصلی جزایر سدی نسبت به تغییرات بوده است. روند کلی تغییرات در این مدت به صورت پسروری خط ساحلی کاملاً مشهود است. در این بازه، در محدوده جزیره سدی شماره ۱۵ به دنبال توسعه مدل پسروری و باریک‌شدن درجا، سرانجام بخش شمالی جزیره دچار فروپاشی شده و با بازشدن کانال و ورودی جدیدی در این بخش از جزیره شرایط برای تشکیل و توسعه جزیره سدی شماره ۱۶ به صورت مجزا فراهم شده است. کمینه و بیشینه تغییرات این دوره به ترتیب ۱۶ و ۳۹۶ متر در جزایر سدی شماره ۱۴ و ۱۶ و به صورت توسعه مدل پسروری و حرکت جانبی به وقوع پیوسته است. نرخ تغییرات سالانه در حالت کمینه به میزان ۲/۵ متر در سال در قالب مدل پسروری و در حالت بیشینه به میزان ۱۳/۵ متر در سال به صورت مدل باریک‌شدن درجا رخ داده است. از ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۸ نیز همچنان روند تغییرات به صورت پسروری خط ساحلی با شیبی ملایم و کند ادامه یافته و مدل‌های ژئومورفیک پسروری، ناپایداری چرخشی و حرکت جانبی واکنش جزایر سدی به این تغییرات بوده است. لازم به گفتن است که ناپایداری چرخشی از نوع ساعت‌گرد و به صورت جزئی در محدوده جزیره سدی شماره ۱۴ و ۱۵ انجام شده؛ درحالی‌که در محدوده جزیره سدی شماره ۱۶ مدل‌های غلطیدن به سوی خشکی، پسروری و حرکت جانبی رخ داده‌اند. مدل حرکت جانبی در اینجا منجر به رشد چشم‌گیر این جزیره شده و بیشینه مقدار آن حدود ۱۱۹۹ متر محاسبه گردید. کم‌ترین و بیشترین میزان تغییرات طی این بازه حدود ۱۰ و ۱۱۹۹ متر برای جزیره سدی شماره ۱۴ و ۱۶ در قالب مدل ناپایداری چرخشی و حرکت جانبی ثبت شده است. روند کلی تغییرات طی بازه زمانی ۱۳۸۸-۱۳۹۹ همچنان به صورت پسروری خط ساحلی بوده است. طی این مدت، واکنش اصلی جزایر سدی این ناحیه، به صورت مدل ناپایداری چرخشی- ساعت‌گرد نمایان شده است. کمینه و بیشینه تغییرات این دوره به ترتیب در محدوده جزیره سدی شماره ۱۶ و ۱۴ به میزان ۱۷ و ۴۷۵ متر بوده است. همچنین، نرخ تغییرات در کم‌ترین و بیشترین میزان خود به ترتیب در حدود ۲/۶ و ۱۴/۷ متر در سال در محدوده جزیره سدی شماره ۱۴ به وقوع پیوسته است. از ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۳ مدل‌های واکنش ژئومورفیک پیشروی، پسروری، حرکت جانبی و غلطیدن به سوی خشکی در محدوده جزایر سدی توسعه پیدا کرده است. طی این مدت، مدل پیشروی هرچند به صورت جزئی، واکنش ژئومورفیک غالب در این منطقه بوده؛ اما واکنش اصلی جزیره سدی شماره ۱۴ به صورت حرکت جانبی و جزیره سدی شماره ۱۵ و ۱۶ به صورت غلطیدن به سوی خشکی در جریان بوده است. کمینه و بیشینه تغییرات در این دوره به ترتیب حدود ۸ و ۳۴۰ متر؛ و نرخ تغییرات نیز به ترتیب در حدود ۴/۸ و ۴۶/۵ متر در سال در محدوده جزیره سدی شماره ۱۵ رخ داده است.



جدول ۴. تغییرات خط ساحلی و مدل‌های واکنش ژئومورفیک جزایر سدی دلتای جگین-باختری بین سال‌های ۱۴۰۳-۱۳۶۳.

| بازه زمانی | طول دوره (سال) | جزایر سدی | میزان تغییرات (متر) |               | نرخ تغییرات (متر در سال) | مدل واکنش ژئومورفیک |
|------------|----------------|-----------|---------------------|---------------|--------------------------|---------------------|
|            |                |           | کم‌ترین میزان       | بیشترین میزان |                          |                     |
| ۱۳۶۳-۱۳۶۹  | ۶              | ۱۴        | ۴۶                  | ۷۰            | ۹/۳                      | پیشروی              |
|            |                | ۱۵        | ۲۵                  | ۵۵            | ۶/۶                      | پیشروی              |
|            |                | ۱۶        | ۹۲                  | ۲۸۱           | ۳۷/۸                     | حرکت جانبی          |
|            |                | ۱۴        | -۱۶                 | -۳۴           | -۲/۵                     | پسروی               |
| ۱۳۶۹-۱۳۷۹  | ۱۰             | ۱۵        | -۴۹                 | -۲۱۲          | -۹                       | پسروی               |
|            |                | ۱۶        | ۳۳۸                 | ۳۹۶           | ۳/۷                      | حرکت جانبی          |
|            |                |           | ۷۲                  | ۱۷۱           | ۱۲ و ۱۳/۵                | باریک‌شدن درجا      |
|            |                | ۱۴        | -۱۰                 | -۴۷           | ۲/۳ و ۲/۸                | ناپایداری چرخشی     |
| ۱۳۷۹-۱۳۸۸  | ۹              | ۱۵        | -۲۰                 | ۱۲۸           | ۹/۴ و ۲/۵                | ناپایداری چرخشی     |
|            |                | ۱۶        | -۵۷                 | -۱۱۴          | -۸/۷                     | پسروی               |
|            |                |           | ۱۱۵۲                | ۱۱۹۹          | ۱۳۰/۷                    | حرکت جانبی          |
|            |                | ۱۴        | -۲۳                 | -۴۷۵          | ۲/۶ و ۱۴/۷               | ناپایداری چرخشی     |
| ۱۳۸۸-۱۳۹۹  | ۱۱             | ۱۵        | -۳۸                 | ۱۰۸           | ۶/۹ و ۴/۴                | ناپایداری چرخشی     |
|            |                | ۱۶        | ۱۷                  | -۱۲۸          | ۲/۹ و ۸/۶                | ناپایداری چرخشی     |
|            |                | ۱۴        | ۱۶                  | ۳۶            | ۶/۴                      | پیشروی              |
|            |                | ۱۴        | ۱۰۷                 | ۱۵۹           | ۳۴/۸                     | حرکت جانبی          |
| ۱۳۹۹-۱۴۰۳  | ۴              | ۱۵        | ۴۸                  | ۳۴۰           | ۴۶/۵                     | غلطیدن به‌سوی خشکی  |
|            |                |           | ۳۴                  | ۵۰            | ۱۰/۴                     | پیشروی              |
|            |                | ۱۶        | -۲۱                 | -۸۵           | -۱۳                      | پسروی               |
|            |                |           | ۲۴                  | ۱۲۶           | ۱۴/۷                     | غلطیدن به‌سوی خشکی  |

## ۶. نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش پایش تغییرات خط ساحلی و شناسایی انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک مجموعه جزایر سدی واقع در سواحل پست دلتایی رودهای گابریک و جگین با استفاده از روش پیشنهادی مک‌براید و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۹۵) طی چهار دهه گذشته بوده است. درواقع، کاربرد اصلی شناسایی انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک، به‌نوعی طبقه‌بندی تغییرات ساحلی بزرگ‌مقیاس خطوط ساحلی جزایر سدی است. به‌عبارت دیگر می‌توان گفت، هدف اصلی از این طبقه‌بندی، ارزیابی روند و الگوی تغییرات خط ساحلی در مقیاس بزرگ به‌منظور درک بهتر روابط مابین فرایند-پاسخ منطقه‌ای است که تکامل ساحلی را کنترل می‌کنند. همان‌طور که منصوری ۱۴۰۳ اشاره نموده است، مجموعه جزایر سدی تشکیل‌شده در خط ساحلی قاعده دلتاهای گابریک و جگین، تحت تاثیر شرایط هیدرودینامیکی خاص حاکم بر منطقه-کشندها، امواج، جریان‌های کرانه‌راستا و افزایش نسبی تراز دریا، به‌عنوان یکی از الگویی‌ترین و مناسب‌ترین نمونه‌های موجود در کرانه‌های کشور به‌شمار می‌آیند که می‌توان ایجاد، توسعه و تکامل انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک خطوط ساحلی را در آن پایش و مدل‌سازی کرد. ازاین‌رو، با توجه به اهمیت موضوع و نظر به اینکه تاکنون مطالعات جامعی در کرانه‌های منطقه انجام نشده بود، مورد توجه و بررسی قرار گرفت.

برپایه یافته‌های پژوهش آشکار شد که همه مدل‌های واکنش ژئومورفیک ارائه‌شده توسط مک‌براید و همکاران (۱۹۹۵) برای جزایر سدی-حرکت جانبی، پیشروی، پسروی، تعادل پویا، غلطیدن به‌سوی خشکی، باریک‌شدن درجا، فروپاشی و ناپایداری چرخشی، بین سال‌های ۱۴۰۳-۱۳۶۳ در راستای خطوط ساحلی قاعده دلتاهای مورد مطالعه تشکیل‌شده و قابل

شناسایی هستند. شکل ۶، شکل ۷ و شکل ۸ نمونه‌هایی از مدل‌های واکنش ژئومورفیک تشکیل شده در منطقه مورد مطالعه را طی بازه‌های زمانی گوناگون نشان می‌دهند. مدل‌های پیشروی، پسروی، حرکت جانبی، ناپایداری چرخشی و باریک شدن درجا، رایج‌ترین نمونه واکنش ژئومورفیک جزایر سدی مورد مطالعه بوده‌اند. خط ساحلی جزایر سدی قاعده دلتای گابریک تحت سلطه مدل ناپایداری چرخشی بوده، درحالی‌که در مجموعه جزایر سدی دلتای جگین، باریک شدن درجا همراه با حرکت جانبی مدل واکنش ژئومورفیک اولیه و رایج است. به‌طور کلی، ناپایداری چرخشی غالب‌ترین و پرتکرارترین مدل در منطقه بوده است. این نوع مدل واکنش، به دلیل ایجاد تعادل بین نیروهای هیدرودینامیک دریا و خشکی که در پی واکنش به آورد رسوبی و کنش امواج و کشندها انجام شده، سرانجام به بازسازی و تحول جزایر سدی منجر شده است. علاوه بر این، پایش تغییرات خط ساحلی طی بازه‌های زمانی کوتاه و گوناگون و نیز در نواحی سه‌گانه، نشان می‌دهد که رخداد انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک در گام نخست با نرخ افزایش نسبی تراز دریا و سپس میزان آورد رسوب رودهای گابریک و جگین در ارتباط مستقیم است. با استناد به یافته‌های به‌دست آمده مشخص شد در هر جایی که برهم‌کنش بین نیروهای گوناگون اثرگذار از سوی خشکی و دریا بر خط ساحلی نمود یافته، جزایر سدی معمولاً بیش از یک مدل واکنش ژئومورفیک از خود نشان داده‌اند. برای مثال در بازه زمانی ۱۳۶۹-۱۳۷۹ در ناحیه ۱ به جز جزیره سدی شماره ۵ که تنها یک الگوی واکنش ژئومورفیک تجربه نموده؛ اما در دیگر جزایر سدی به دلیل برهم‌کنش و عملکرد عوامل مؤثر هیدرودینامیک گوناگون در خط ساحلی منطقه با تیپ مورفولوژیکی از نوع کانال یا ورودی‌های کشندی (دهانه خورها)، انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک گوناگون تشکیل و توسعه یافته‌اند. به‌عنوان نمونه، طی این مدت جزیره سدی شماره ۲ و ۳؛ طی بازه زمانی ۱۳۶۹-۱۳۶۳ جزیره سدی شماره ۱۰ و طی ۱۴۰۳-۱۳۹۹ جزیره سدی شماره ۱۶ بیش از یک مدل واکنش ژئومورفیک از خود نشان داده‌اند.

در این پژوهش مشخص شد، جهت و مقدار تغییرات رخ داده در راستای خطوط ساحلی جزایر سدی، گویای برهم‌کنش‌های متفاوت زمانی و فضایی بین فرایندهای اثرگذار از سوی خشکی و دریا بوده است. درواقع، آورد رسوبات ماسه‌ای از بالادست بر پایداری جزایر سدی اثرگذار بوده است. از سوی دیگر، افزایش تراز دریا به‌دنبال تغییر اقلیم، به‌شدت خط ساحلی منطقه مورد مطالعه را متأثر ساخته است. این تغییرات می‌تواند در آینده بر واحدهای ژئومورفولوژی ساحلی منطقه تأثیر مستقیم گذاشته و روند و الگوی فضایی انواع مدل‌های واکنش ژئومورفیک را در سیستم دلتایی رودهای گابریک و جگین دچار تغییر نماید. بنابراین، لازم است تا تغییرات و واکنش‌های ژئومورفیک این ناحیه از کرانه‌های کشور در راستای برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه خط و منطقه ساحلی، مورد پایش مداوم قرار گیرد.

## ۷. حامیان پژوهش

این پژوهش حامی مالی و معنوی نداشته است.

## ۸. مشارکت نویسندگان

نویسنده نخست در تمام مراحل کار، نقش و سهم اصلی را داشته و نویسنده دوم نیز در بررسی متن پایانی همکاری داشته است.

## ۹. تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافی ندارند.

## ۱۰. تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از داوران ناشناسی که تقبل زحمت بررسی پژوهش حاضر را نموده و با ارائه نقطه‌نظرات ارزشمند خویش در ارتقاء کیفیت و غنای این کار اثرگذار بوده‌اند، سپاسگزاری نمایند.

## منابع

- ثروتی، محمد رضا، منصوری، رضا، قهرودی تالی، منیژه (۱۳۹۷). تاثیر نوسانات سریع سطح تراز آب دریای خزر بر سواحل جزیره سدی میانکاله، *جغرافیای طبیعی*، ۱۱ (۴۰)، ۱-۱۶.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (۱۳۴۹). نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰,۰۰۰ جاسک، برگ شماره NG 40-11.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (۱۳۴۹). نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰,۰۰۰ پی بشک، برگ شماره NG 40-12.
- علایی طالقانی، محمود (۱۳۸۶). *ژئومورفولوژی ایران*، تهران، انتشارات قومس.
- فریفته، جمشید (۱۳۶۷). تحولات ژئومورفولوژی در جلگه دشتیاری بلوچستان. *مرکز اطلاعات علمی (مجازی)*، ۱۱ (۱)، صص. ۰-۰.
- گودرزی نژاد، شاپور (۱۴۰۳). مناطق جغرافیایی ایران (منطقه ساحلی مکران)، جزوه درسی، تهران: گروه آموزشی جغرافیای دانشگاه تهران.
- معتمد، احمد، غریب رضا، محمدرضا (۱۳۸۷). تکامل مکران ساحلی، طی کواترنر پسین، *پژوهش های جغرافیایی*، ۶۲ (۴۰)، ۷۷-۸۷.
- منصوری، رضا (۱۴۰۳). بررسی انواع مدل های واکنش ژئومورفیک مجموعه جزایر سدی واقع در کرانه های منطقه حفاظت شده گابریک و جاسک. *علوم و فنون آبخاکی*، ۵ (۴)، ۱۱۸-۱۰۲.
- منصوری، رضا (۱۳۹۹). تأثیر نوسانات تراز دریا بر جابجایی خط ساحلی کرانه های جنوبی دریای خزر در دوره ۱۳۵۴ تا ۱۳۹۶. *علوم و فنون آبخاکی*، ۱۱ (۱)، ۶۹-۴۶.
- منصوری، رضا (۱۳۹۷). تغییرات مورفولوژی ساحلی جنوب خاوری دریای خزر در راستای مدیریت یکپارچه منطقه ساحلی (ICZM)، رساله دکتری تخصصی (Ph.D)، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه ژئومورفولوژی.
- یمانی، مجتبی (۱۳۷۷). علل تغییر مسیر دوره های رودخانه ها در روی دلتاهای غرب جلگه ساحلی مکران، *پژوهش های جغرافیایی*، ۳۵ (۲)، صص. ۳۴-۵۶.
- Bamunawala, J., van der Spek, A., Dastgheib, A., Murray, A. B., & Ranasinghe, R. (2021). An integrated, probabilistic modeling approach to assess the evolution of barrier-island systems over the twenty-first century. *Frontiers in Marine Science*, 8, 755699. doi: 10.3389/fmars.2021.755699
- Beckman, J. N., Long, J. W., Hawkes, A. D., Leonard, L. A., & Ghoneim, E. (2021). Investigating Controls on Barrier Island Overwash and Evolution during Extreme Storms. *Water*, 13(20), 2829.
- Brantley, S. T., Bissett, S. N., Young, D. R., Wolner, C. W., & Moore, L. J. (2014). Barrier island morphology and sediment characteristics affect the recovery of dune building grasses following storm-induced overwash. *PLoS One*, 9(8), e104747.
- Brooks, S. M., Spencer, T., McIvor, A., & Möller, I. (2016). Reconstructing and understanding the impacts of storms and surges, southern North Sea. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(6), 855-864.
- Bui, L. T., & Pham, H. T. (2022). Coastal erosion trend analysis using a combination of remote sensing and hydrodynamic models: Case study of Ca Mau Cape, Mekong Delta. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26, 100734.
- Cao, W., Zhou, Y., Li, R., & Li, X. (2020). Mapping changes in coastlines and tidal flats in developing islands using the full time series of Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, 239, 111665.
- Feagin, R. A., Smith, W. K., Psuty, N. P., Young, D. R., Martínez, M. L., Carter, G. A., ... & Koske, R. E. (2010). Barrier islands: coupling anthropogenic stability with ecological sustainability. *Journal of Coastal Research*, 26(6), 987-992.
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote sensing of environment*, 140, 23-35.
- Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C. (2014). Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change, Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press: Cambridge, UK, New York, NY, USA, 1132.
- Fisher, J.J. (1982). Barrier islands. In: Schwartz, M.L. (Ed.), *The Encyclopedia of Beaches and Coastal Environments*. Hutchinson Ross Publishers, Stroudsburg, PA, pp. 124-133.
- FitzGerald, D. M., Fenster, M. S., Argow, B. A., & Buynevich, I. V. (2008). Coastal impacts due to sea-level rise. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 36(1), 601-647.
- Ghanavati, E., Shah-Hosseini, M., & Marriner, N. (2021). Analysis of the makran coastline of Iran's vulnerability to global sea-level rise. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8), 891. <https://doi.org/10.3390/jmse9080891>
- Glaeser, J. D. (1978). Global distribution of barrier islands in terms of tectonic setting. *The Journal of Geology*, 86(3), 283-297.

- Hapke, C. J., Kratzmann, M. G., & Himmelstoss, E. A. (2013). Geomorphic and human influence on large-scale coastal change. *Geomorphology*, 199, 160-170.
- Haslett, S. K. (2009). *Coastal Systems*, Routledge (Routledge Introductions to Environment Series), Second Edition.
- Kanwal, S., Ding, X., Sajjad, M., Nazeer, M., & Zia, I. (2021). Remote Sensing of Narrowing Barrier Islands along the Coast of Pakistan over Past 30 Years. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(3), 295. <https://doi.org/10.3390/jmse9030295>
- McBride, R. A., & Byrnes, M. R. (1997). Regional variations in shore response along barrier island systems of the Mississippi River delta plain: historical change and future prediction. *Journal of Coastal Research*, 628-655.
- McBride, R. A., Byrnes, M. R., and Hiland, M. W. (1995). Geomorphic response-type model for barrier coastlines: a regional perspective. *Marine Geology*, 126, 143-159.
- McFeeters, S. K. (2013). Using the normalized difference water index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: a practical approach. *Remote Sensing*, 5(7), 3544-3561.
- Meehl, G. A., Washington, W. M., Collins, W. D., Arblaster, J. M., Hu, A., Buja, L. E., ... & Teng, H. (2005). How much more global warming and sea level rise?. *science*, 307(5716), 1769-1772.
- Otvos, E.G. (2012). Coastal barriers—Nomenclature, processes, and classification issues. *Geomorphology*, 139-140, 39-52.
- Pilkey, O. H., Cooper, J. A. G., & Lewis, D. A. (2009). Global distribution and geomorphology of fetch-limited barrier islands. *Journal of Coastal Research*, 25(4), 819-837.
- Powell, E. J., Tyrrell, M. C., Milliken, A., Tirpak, J. M., & Staudinger, M. D. (2019). A review of coastal management approaches to support the integration of ecological and human community planning for climate change. *Journal of coastal conservation*, 23(1), 1-18.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). In *Proceedings of the 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium* (pp. 309-317).
- Saito, Y. (2005). Beach Stratigraphy. In: Schwartz, M.L. (eds) *Encyclopedia of Coastal Science. Encyclopedia of Earth Science Series*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3880-1\\_42](https://doi.org/10.1007/1-4020-3880-1_42)
- Sajjad, M., Li, Y., Tang, Z., Cao, L., & Liu, X. (2018). Assessing hazard vulnerability, habitat conservation, and restoration for the enhancement of mainland China's coastal resilience. *Earth's Future*, 6(3), 326-338.
- Shen, L., & Li, C. (2010). Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm. In *2010 18th International Conference on Geoinformatics* (pp. 1-4). IEEE.
- Stutz, M. L., & Pilkey, O. H. (2011). Open-ocean barrier islands: global influence of climatic, oceanographic, and depositional settings. *Journal of Coastal Research*, 27(2), 207-222.
- Wilson, E. H., & Sader, S. A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80(3), 385-396.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Xu, N. (2018). Detecting coastline change with all available landsat data over 1986-2015: A case study for the state of Texas, USA. *Atmosphere*, 9(3), 107.
- Zenkovich, V.P. (1967). *Processes of Coastal Development*. Wiley-Interscience, N.Y. 738 pp.
- Zhang, K., & Leatherman, S. (2011). Barrier island population along the US Atlantic and Gulf Coasts. *Journal of Coastal Research*, 27(2), 356-363. DOI:10.2112/JCOASTRES-D-10-00126.1.

## References:

- Alaei-Taleghani, M. (2007). *Geomorphology of Iran*, Tehran, Ghomes Publishing. [In Persian].
- Bamunawala, J., van der Spek, A., Dastgheib, A., Murray, A. B., & Ranasinghe, R. (2021). An integrated, probabilistic modeling approach to assess the evolution of barrier-island systems over the twenty-first century. *Frontiers in Marine Science*, 8, 755699. doi: 10.3389/fmars.2021.755699
- Beckman, J. N., Long, J. W., Hawkes, A. D., Leonard, L. A., & Ghoneim, E. (2021). Investigating Controls on Barrier Island Overwash and Evolution during Extreme Storms. *Water*, 13(20), 2829.
- Brantley, S. T., Bissett, S. N., Young, D. R., Wolner, C. W., & Moore, L. J. (2014). Barrier island morphology and sediment characteristics affect the recovery of dune building grasses following storm-induced overwash. *PLoS One*, 9(8), e104747.
- Brooks, S. M., Spencer, T., McIvor, A., & Möller, I. (2016). Reconstructing and understanding the impacts of storms and surges, southern North Sea. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(6), 855-864.

- Bui, L. T., & Pham, H. T. (2022). Coastal erosion trend analysis using a combination of remote sensing and hydrodynamic models: Case study of Ca Mau Cape, Mekong Delta. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26, 100734.
- Cao, W., Zhou, Y., Li, R., & Li, X. (2020). Mapping changes in coastlines and tidal flats in developing islands using the full time series of Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, 239, 111665.
- Farifte, Jamshid. (1988). Geomorphological developments in the Dashtiyari Plain of Balochistan. Scientific Information Center (Virtual), 1(1), pp. 0-0. [In Persian].
- Feagin, R. A., Smith, W. K., Psuty, N. P., Young, D. R., Martínez, M. L., Carter, G. A., ... & Koske, R. E. (2010). Barrier islands: coupling anthropogenic stability with ecological sustainability. *Journal of Coastal Research*, 26(6), 987-992.
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote sensing of environment*, 140, 23-35.
- Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C. (2014). Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change, Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press: Cambridge, UK, New York, NY, USA, 1132.
- Fisher, J.J. (1982). Barrier islands. In: Schwartz, M.L. (Ed.), *The Encyclopedia of Beaches and Coastal Environments*. Hutchinson Ross Publishers, Stroudsburg, PA, pp. 124-133.
- FitzGerald, D. M., Fenster, M. S., Argow, B. A., & Buynevich, I. V. (2008). Coastal impacts due to sea-level rise. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 36(1), 601-647.
- Ghanavati, E., Shah-Hosseini, M., & Marriner, N. (2021). Analysis of the makran coastline of Iran's vulnerability to global sea-level rise. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8), 891. <https://doi.org/10.3390/jmse9080891>
- Glaeser, J. D. (1978). Global distribution of barrier islands in terms of tectonic setting. *The Journal of Geology*, 86(3), 283-297.
- Goodarzinezhad, Shapour (2023). Geographical regions of Iran (Makran coastal region), textbook, Department of Geography, tehran: University of Tehran. [In Persian].
- Hapke, C. J., Kratzmann, M. G., & Himmelstoss, E. A. (2013). Geomorphic and human influence on large-scale coastal change. *Geomorphology*, 199, 160-170.
- Haslett, S. K. (2009). *Coastal Systems*, Routledge (Routledge Introductions to Environment Series), Second Edition.
- Kanwal, S., Ding, X., Sajjad, M., Nazeer, M., & Zia, I. (2021). Remote Sensing of Narrowing Barrier Islands along the Coast of Pakistan over Past 30 Years. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(3), 295. <https://doi.org/10.3390/jmse9030295>
- Mansouri, R. (2018). The Coastal Morphology Changes in the Southeast of Caspian Sea to Integrated Coastal Zone Management (ICZM), Ph.D Thesis in Geomorphology/ Environmental Management, Supervisor: Prof. Dr. Mohammad Reza Sarvati, Tehran, Shahid Beheshti University. [In Persian].
- Mansouri, R. (2022). The effect sea-level fluctuations on the shoreline changes in the southern coasts of the Caspian Sea (1975-2017). *Amphibious Science and Technology*, 1(1), 46-69. [In Persian].
- Mansouri, R. (2025). Assessment of geomorphic-type models for barrier Islands complex located on the Gabric and Jask protected area shorelines. *Amphibious Science and Technology*, 5(4), 102-118. [In Persian].
- McBride, R. A., & Byrnes, M. R. (1997). Regional variations in shore response along barrier island systems of the Mississippi River delta plain: historical change and future prediction. *Journal of Coastal Research*, 628-655.
- McBride, R. A., Byrnes, M. R., and Hiland, M. W. (1995). Geomorphic response-type model for barrier coastlines: a regional perspective. *Marine Geology*, 126, 143-159.
- McFeeters, S. K. (2013). Using the normalized difference water index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: a practical approach. *Remote Sensing*, 5(7), 3544-3561.
- Meehl, G. A., Washington, W. M., Collins, W. D., Arblaster, J. M., Hu, A., Buja, L. E., ... & Teng, H. (2005). How much more global warming and sea level rise?. *science*, 307(5716), 1769-1772.
- Motamed, A., Gharibreza, M.R. (2008). Evolution of Coastal Makran Zone During Late Quaternary. *Physical Geography Research*, 62(40), 77-87. [In Persian].
- National Geographical Organization (1970). Topographic Map of Jask, with 1: 250,000 Scale, NG 40-11. [In Persian].
- National Geographical Organization (1970). Topographic Map of Pebeshk, with 1: 250,000 Scale, NG 40-12. [In Persian].
- Otvos, E.G. (2012). Coastal barriers—Nomenclature, processes, and classification issues. *Geomorphology*, 139-140, 39-52.

- Pilkey, O. H., Cooper, J. A. G., & Lewis, D. A. (2009). Global distribution and geomorphology of fetch-limited barrier islands. *Journal of Coastal Research*, 25(4), 819-837.
- Powell, E. J., Tyrrell, M. C., Milliken, A., Tirpak, J. M., & Staudinger, M. D. (2019). A review of coastal management approaches to support the integration of ecological and human community planning for climate change. *Journal of coastal conservation*, 23(1), 1-18.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). In *Proceedings of the 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium* (pp. 309-317).
- Saito, Y. (2005). Beach Stratigraphy. In: Schwartz, M.L. (eds) *Encyclopedia of Coastal Science. Encyclopedia of Earth Science Series*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3880-1\\_42](https://doi.org/10.1007/1-4020-3880-1_42)
- Sajjad, M., Li, Y., Tang, Z., Cao, L., & Liu, X. (2018). Assessing hazard vulnerability, habitat conservation, and restoration for the enhancement of mainland China's coastal resilience. *Earth's Future*, 6(3), 326-338.
- Sarvati, M.R., Mansouri, R., Ghohroudi-Tali, M. (2018). The Effects of Rapid Caspian Sea-Level Fluctuations on the Miankaleh Barrier Coasts. *Physical Geography*, 11(40), 1-16. [In Persian].
- Shen, L., & Li, C. (2010). Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm. In *2010 18th International Conference on Geoinformatics* (pp. 1-4). IEEE.
- Stutz, M. L., & Pilkey, O. H. (2011). Open-ocean barrier islands: global influence of climatic, oceanographic, and depositional settings. *Journal of Coastal Research*, 27(2), 207-222.
- Wilson, E. H., & Sader, S. A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80(3), 385-396.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Xu, N. (2018). Detecting coastline change with all available landsat data over 1986-2015: A case study for the state of Texas, USA. *Atmosphere*, 9(3), 107.
- Yamani, M. (1998). The Comparison of Change Direction of River on Deltas of East Makran Coastal Plain Surface, *Geographical Researches*, 35(2), 34-56. [In Persian].
- Zenkovich, V.P. (1967). *Processes of Coastal Development*. Wiley-Interscience, N.Y. 738 pp.
- Zhang, K., & Leatherman, S. (2011). Barrier island population along the US Atlantic and Gulf Coasts. *Journal of Coastal Research*, 27(2), 356-363. DOI:10.2112/JCOASTRES-D-10-00126.1.

## نحوه استناد به این مقاله:

منصوری، رضا؛ شهریاری، علیرضا (۱۴۰۴). پایش تغییرات خط ساحلی و شناسایی مدل‌های واکنش ژئومورفیک جزایر سدی سواحل پست دلتایی گابریک و جگین.

DOI: 10.22124/gscj.2025.29966.1348

مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی، ۶ (۲)، ۱۰۳-۱۲۳.

## Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to *Geographical studies of Coastal Areas Journal*. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

