



ORIGINAL RESEARCH PAPER

## The evaluating coastal zone Physical vulnerability, Sefidrood River Delta

H.Khoshnavan\*

1. Associated professor of Caspian Sea national research center, Water research institute, Tehran, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received: 22 June 2021

Revised: 25 August 2021

Accepted: 22 July 2021

#### Keywords:

Caspian Sea,

Sefidrood,

Coast,

Physical vulnerability,

\*Corresponding author:

[✉h.khoshnavan@wri.ac.ir](mailto:h.khoshnavan@wri.ac.ir)

 ORCID: 0000-0001-5535-7689

doi:10.52547/joc.13.51.9

DOI:20.1001.1.15621057.1401.13.51.9.2

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Coastal physical vulnerability studies were first conducted by Gornitz in 1991 on the west coast of the Atlantic Ocean, and have since been studied extensively in other parts of the world. In this article, determining the severity of physical vulnerability of Sefidrood delta coast, identifying coastal landforms and how they deform over time are the main objectives of the research.

**Methods:** By using the results of field monitoring, interpreting the results of remote sensing studies and digital changes of coastlines in the GIS environment, and by studying the effective criteria in the physical vulnerability of coasts such as: coast slope, type of coastal sediments, type of coastal landforms, rates Coastal line changes, physical vulnerability of Sefidrood delta coast were calculated.

**Findings:** In The results show that the degree of physical vulnerability of Sefidrood delta coast varies in different regions. Areas leading to the western and eastern estuaries of Sefidrud River have the highest physical vulnerability and with increasing distance from the estuary to the west and east, the degree of physical vulnerability gradually decreases. Erosive coastal landforms in the area adjacent to the Sefidrood estuary have been formed as erosive terraces and sand spits have formed in the western and eastern extremities of the Sefidrud delta.

**Conclusion:** The Sefidrood delta is affected by the erosive forces of the Caspian Sea, and the high volume of sedimentation of sandy materials produced by the Sefidrood River under the influence of coastal currents has the ability to create sedimentary landforms such as sand spits in coastal area. Achieving a physical vulnerability map of the White River Delta provides the conditions for making the right decisions in the integrated coastal zone management, and this method can be used for other coastal areas.

©2022 JOC. All rights reserved



NUMBER OF TABLES

2



NUMBER OF FIGURES

7



NUMBER OF REFERENCES

35

## ارزیابی شدت آسیب پذیری فیزیکی ساحل دلتای رودخانه سفیدرود

همايون خوشروان\*

عضو هیأت علمی، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران

## اطلاعات مقاله

## چکیده

**پیشینه و اهداف: روش‌ها:** مطالعات آسیب پذیری فیزیکی سواحل اولین بار توسط گورنیتز در سال ۱۹۹۱ در سواحل غربی اقیانوس اطلس انجام گرفت و پس از آن مطالعات متعددی در سایر نقاط دنیا انجام یافت. در این مقاله تعیین شدت آسیب پذیری فیزیکی ساحل دلتای سفید رود، شناسایی لندفرم های ساحلی و نحوه تغییر شکل آنها با گذشت زمان اهداف اصلی تحقیق می باشد. با استفاده از نتایج بازدیدهای میدانی، تفسیر نتایج مطالعات سنجش از دور و تغییرات رقومی خطوط ساحلی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، و با مطالعه معیارهای موثر در آسیب پذیری فیزیکی سواحل مانند: شیب ساحل، جنس رسوبات ساحلی، نوع لندفرم های ساحلی، نرخ تغییرات خطوط ساحلی، میزان آسیب پذیری فیزیکی ساحل دلتای سفید رود محاسبه شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان می دهد که میزان آسیب پذیری فیزیکی ساحل دلتای سفید رود در مناطق مختلف آن متفاوت می باشد. مناطق منتهی به دهانه غربی و شرقی رودخانه سفید رود دارای بیشترین آسیب پذیری فیزیکی است و با افزایش فاصله از محل دهانه رودخانه به سمت غرب و شرق به تدریج از میزان آسیب پذیری فیزیکی کاسته می شود. لندفرم های ساحلی فرسایشی در ناحیه مجاور دهانه رودخانه سفید رود به صورت تراس های فرسایشی شکل گرفته است و زبانه های ماسه ای در بخش منتهی الیه غربی و شرقی دلتای سفید رود ایجاد شده است.

**نتیجه گیری:** دلتای سفید رود تحت تاثیر نیروهای فرساینده دریای خزر قرار دارد و حجم بالای رسوبگذاری مواد ماسه ای که حاصل آورد رودخانه سفید رود می باشد تحت تاثیر جریان های ساحلی توانایی ایجاد لندفرم های رسوبی مانند زبانه های ماسه ای را در مناطق دور دست دارد. دستیابی به نقشه آسیب پذیری فیزیکی دلتای سفید رود شرایط را برای اتخاذ تصمیمات صحیح در مدیریت جامع مناطق ساحلی فراهم می کند و این روش می تواند برای سایر مناطق ساحلی قابل استفاده باشد.

تاریخ دریافت: ۱ تیر ۱۴۰۰  
تاریخ بازبینی: ۳ شهریور ۱۴۰۰  
تاریخ پذیرش: ۳۱ تیر ۱۴۰۰

## واژگان کلیدی:

دریای خزر،  
سفیدرود،  
ساحل،  
آسیب پذیری فیزیکی،

\*نویسنده مسئول

ORCID: 0000-0001-5535-7689

doi:10.52547/joc.13.51.9

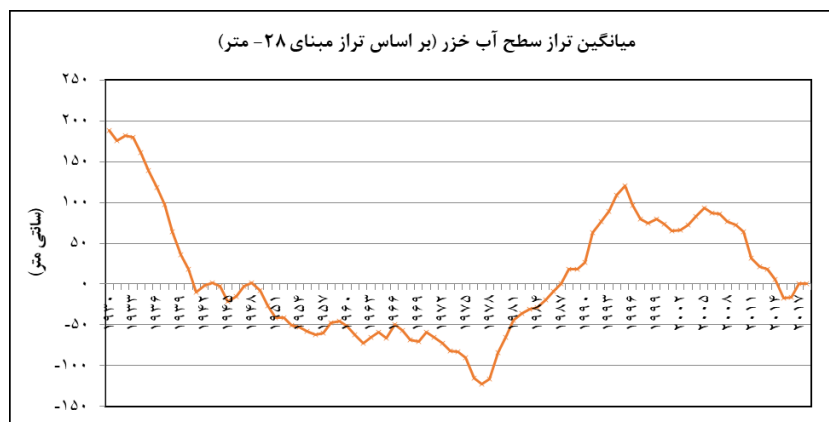
DOI:20.1001.1.15621057.1401.13.51.9.2

## مقدمه

فیزیکی مناطق ساحلی برای تحقق برنامه‌های مدیریت جامع مناطق ساحلی بسیار اهمیت دارد و اتخاذ راهکارهای مهندسی برای حفاظت از سواحل متضمن شناخت عوارض مورفولوژی ساحلی، تغییر شکل آنها تحت تأثیر نیروهای محیطیو معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری آنها است؛ بنابراین مهم‌ترین اهداف در این پژوهش شامل: شناسایی لند فرم‌های ساحلی، رسوبات ساحلی، ساختار هندسی ساحل و ارزیابی معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری فیزیکی ساحل دلتای سفیدرودمی‌باشد. در این رابطه مطالعات متعددی در سطح جهان و ایران انجام شده است. اولین بار ارزیابی معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری فیزیکی سواحل نظیر (میزان افزایش سطح تراز آب دریاها، میزان جابجایی خط ساحلی، میزان متوسط ارتفاع امواج، نوع لند فرم‌های ساحلی و میزاجز رو مد) توسط گورنیز انجام شد [۷]. سپس مطالعات مشابهی با استفاده از روش مشابه در سواحل اسپانیا [۸]، هند [۹] و بخش غربی سواحل اقیانوس اطلس [۱۰] انجام گرفت. مطالعه تغییرات مناطق ساحلی در گجرات هند نشان داده است که افزایش سطح تراز آب اقیانوس هند موجب شدت آسیب‌پذیری فرسایشی اراضی پست ساحلی شده است [۱۱]. مطالعه تغییرات خطوط ساحلی در ناحیه اریسای هند طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۰ مشخص کرد که افزایش سطح تراز آب دریا، عامل اصلی فرسایش مناطق ساحلی بوده است [۱۲]. مطالعه خیزاب حاصل از باد در سواحل آتلانتیک ایالات‌متحده آمریکا مشخص کرد که مد حاصل از طوفان همراه با افزایش سطح تراز آب اقیانوس اطلس موجب شدت آسیب‌پذیری فرسایشی در مناطق ساحلی می‌گردد [۱۱]. نتایج مطالعات بر روی ساختار طبیعی تالاب‌های ساحلی، جابجایی خط ساحل و زیستگاه‌های ساحلی دلتای سفیدرود نشان داده است که لند فرم‌های ساحلی با گذشت زمان دچار تغییرات قابل‌توجهی شده‌اند [۱۳-۱۵]. پژوهش‌های گوناگونی برای مطالعه آماری میزان تغییرات زمانی و مکانی و بازسازی الگوی رفتاری خطوط ساحلی و آسیب‌پذیری فرسایشی مناطق ساحلی با استفاده از نرم‌افزار (DSAS) انجام شده است [۱۶-۱۹].

مناطق ساحلی نسبت به تغییر سطح تراز آب دریاها و تغییرات اقلیمی بسیار آسیب‌پذیر هستند و گاهی تأثیر مشترک عوامل انسانی و طبیعی شرایط ناگوار زیست‌محیطی را در زیستگاه‌های ساحلی رقم می‌زند. افزایش سطح تراز آب دریاها تأثیر بسیار زیادی بر روی تغییر شکل مورفولوژیکی مناطق ساحلی دارد [۱]. متوسط سرعت تغییرات سطح تراز آب اقیانوس‌ها در قرن حاضر بیش از دو برابر، قرن گذشته می‌باشد [۲] و در اثر افزایش سطح تراز آب دریاها بخش وسیعی از مناطق ساحلی و زیستگاه‌های مهم مستقر در آنها تخریب و فرسایش یافته است [۳]. رفتار نوسانی دریای خزر از قرن بیستم، در مقایسه با دریاهای باز و اقیانوس‌ها به‌طور کامل متفاوت بوده است [۴،۵]. بررسی داده‌های نوسانات سطح تراز آب دریای خزر نشان می‌دهد که کاهش سریع سطح تراز آب دریای خزر از سال ۱۹۳۰ میلادی از تراز ۲۹- متر به تراز ۲۶- متر در سال ۱۹۷۸ به میزان ۳۰۰ سانتی‌متر و با سرعت متوسط ۶،۲۵ سانتی‌متر در سال اتفاق افتاد و پس از آن سطح تراز آب دریای خزر از سال ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۵ به میزان ۲۵۰ سانتی‌متر و با سرعت متوسط ۱۴،۷ سانتی‌متر در سال به تراز ۲۶،۵- متر افزایش یافت و در نهایت سطح تراز آب دریای خزر از سال ۱۹۹۵ تا سال ۲۰۱۹ میلادی با کاهشی به میزان ۱۵۰ سانتی‌متر و با سرعت میانگین سالانه ۶،۲۵ سانتی‌متر به تراز ۲۸- متر رسید (شکل ۱).

بنابراین دامنه نوسانات سطح تراز آب دریای خزر از سال ۱۹۳۰، به میزان ۳۰۰ سانتی‌متر و بین تراز ارتفاعی ۲۶- متر تا ۲۹- متر متغیر بوده است [۶] و اگر میزان کاهش سطح تراز آب دریای خزر با همین روند ادامه یابد، سطح تراز آب دریای خزر طی ۱۶ سال آینده یعنی در سال ۲۰۳۷ میلادی به ۲۹- متر خواهد رسید. این موضوع به‌خوبی نشان می‌دهد که رفتار نوسانی سطح تراز آب دریای خزر از لحاظ کیفی و کمی، بسیار متفاوت از دریاهای باز می‌باشد و گاهی سطح تراز آب دریای خزر با سرعت بیش از ۱۰۰ برابر اقیانوس‌ها و در جهت عکس آنها، دچار تغییر می‌شود. ارزیابی شدت آسیب‌پذیری



شکل ۱: منحنی نوسانات سطح تراز آب دریای خزر از سال ۱۹۳۰-۲۰۱۹ میلادی

است؛ بنابراین در این تحقیق برای تعیین میزان شدت آسیب‌پذیری فیزیکی سواحل مشرف به دلتای سفیدرود به ارزیابی معیارهای مهمی چون: (شیب ساحل، پهنای ناحیه خاک‌ریز، جنس رسوبات ساحلی، میزان جابجایی خط ساحلی، لند فرم‌های ساحلی) خواهیم پرداخت و نتایج حاصله را در سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد پردازش قرار می‌دهیم و در نهایت با تولید نقشه‌های موضوعی مرتبط به هر یک از معیارهای یاد شده و هم‌پوشانی آنها میزان شدت آسیب‌پذیری فیزیکی مناطق ساحلی مشرف به دهانه رودخانه سفیدرود را ارزیابی می‌کنیم.

## روش پژوهش

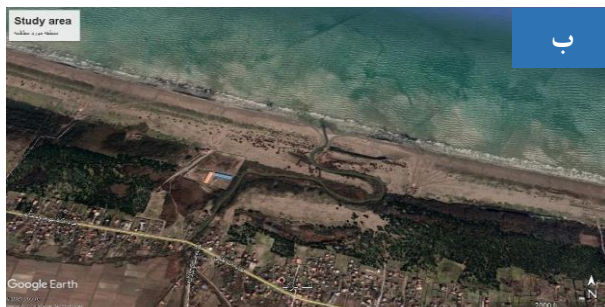
### ۱- مواد و روش‌ها

#### ۱-۱ منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخش جنوبی دریای خزر، در ناحیه شمال مرکزی استان گیلان، در پهنه مورفولوژی گیلان مرکزی، در شمال مرکزی پارک ملی بوجاق و در بین طول‌های جغرافیایی (۴۹/۵۲/۰۵ و ۵۰/۰۲/۰۷) و عرض‌های جغرافیایی (۳۷/۲۴/۳۲ و ۳۷/۲۸/۰۶) قرار دارد. ناحیه ساحلی در امتداد شرق به غرب به طول ۲۰ کیلومتر از حاشیه غربی دهانه رودخانه لسموکلايه تا بخش شرقی دهانه رودخانه اشکم امتداد دارد (شکل ۲). دهانه رودخانه سفیدرود در بخش مرکزی واقع است و کرانه‌های ماسه‌ای در راستای شمال غرب- جنوب شرق و شمال شرق- جنوب غرب در حاشیه دهانه رودخانه سفیدرود و ساحل دریای خزر امتداد یافته است. پهنای بخش خشک ساحل ماسه‌ای در بخش مشرف به دهانه رودخانه سفیدرود بسیار کم‌عرض بوده و با افزایش فاصله از دهانه رودخانه در راستای غرب به شرق به عرض آن افزوده می‌شود (شکل ۲).

مهم‌ترین لند فرم‌های ساحلی شامل: کانال رودخانه‌ای، دهانه رودخانه، دلتا، زبانه ماسه‌ای، خاک‌ریز ماسه‌ای و ماسه‌های تثبیت شده با پوشش گیاهی پساموفیت، مارش لب‌شور، جلگه آبرفتی و تالاب‌های ساحلی کباشهر و زیباکنار می‌باشد. رسوبات پوشاننده ناحیه ساحلی شامل: ماسه‌های تیره‌رنگ رودخانه سفیدرود، رسوبات دانه‌ریز تالابی و ماسه‌های ساحلی دریای خزر است و رسوبات رودخانه سفیدرود با تجمع کانی‌های سنگین و سیاه‌رنگ مگنتیت و ایلمنیت مشخص می‌شود. رسوبات ماسه‌ای ساحلی متعلق به دریای خزر به رنگ قهوه‌ای روشن بوده و از یکنواختی دانه‌بندی خوبی برخوردار است. مطالعات هیدرودینامیکی در سواحل مشرف به دهانه رودخانه سفیدرود مشخص کرده است که متوسط حداکثر ارتفاع امواج در این منطقه (۷ متر) و با زمان تناوب (۱۲ ثانیه) است و جهت غالب امواج در راستای (شمال غرب تا شمال و شمال شرق) می‌باشد.

همچنین می‌توان به مطالعات تغییرات خطوط ساحلی خلیج چابهار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای [۲۰] و برآورد تغییرات خط ساحلی در محدوده قاعده دلتایی خزر با استفاده از سامانه تحلیل رقومی خط ساحلی (DSAS) دلتاهای: هراز، بابل رود و تالار [۲۱] اشاره کرد. سؤالات اساسی در این پژوهش شامل: وضعیت ساختار هندسی ساحل (شیب و پهنای ناحیه خاک‌ریز) در ناحیه دلتای سفیدرود چگونه است؟ مهم‌ترین لند فرم‌های ساحلی چیست و تغییرات مورفولوژیکی آنها متأثر از نوسانات سطح تراز آب دریای خزر چگونه رقم خورده است؟ از چه معیارهای طبیعی مهم می‌توان برای درجه‌بندی شدت آسیب‌پذیری فیزیکی ساحل دلتای سفیدرود استفاده کرد و کدام منطقه ساحلی دارای بیشترین و کمترین درجه آسیب‌پذیری فیزیکی است؟ شدت آسیب‌پذیری فیزیکی مناطق ساحلی به معیارهای طبیعی مهمی نظیر مورفولوژی ساحل، انرژی امواج فرساینده، جنس و بافت رسوبات، فعالیت‌های ژئودینامیکی و میزان افزایش سطح تراز آب دریاها، بستگی دارد [۲۲، ۲۳، ۲۴]. افزایش سطح تراز آب دریای خزر طی سال‌های (۱۹۷۸-۱۹۹۵) سبب فرسایش بخش وسیعی از مناطق ساحلی خلیج گرگان و پارک ملی بوجاق و لند فرم‌های ساحلی مختلف مانند تالاب‌های آب شیرین، مارش‌های ساحلی، دلتاهای رودخانه‌ای گردید و مقارن با کاهش سطح تراز آب دریای خزر سطح وسیعی از مناطق ساحلی از زیر آب خارج شد و لند فرم‌های ساحلی متنوعی شکل گرفت [۴، ۲۴]. تغییر ماهیت اکوسیستم‌های آبی به خشکی، رشد زبانه‌های ماسه‌ای، توسعه مارش‌های ساحلی و کاهش سطح تالاب‌های ساحلی مهم‌ترین اتفاقات مورفولوژیکی در زمان کاهش سطح تراز آب دریای خزر در مناطق حساس زیست‌محیطی خلیج گرگان و ساحل دلتای سفیدرود بوده است [۴، ۲۴]. بخش جنوبی دریای خزر به لحاظ ساختار مورفولوژیکی به پنج ناحیه مورفولوژیکی (گلستان، مازندران مرکزی، غرب مازندران، گیلان مرکزی و شمال غرب گیلان) [۲۳] و به لحاظ مورفودینامیک ساحلی به سه گروه (فرسایشی، رسوبی و حد واسط) طبقه‌بندی شده است [۲۳]. سواحل جنوبی دریای خزر از لحاظ شدت آسیب‌پذیری فرسایشی به مناطق بسیار آسیب‌پذیر، حد واسط و با آسیب‌پذیری کم تقسیم‌بندی گردید [۲۳]. توسعه مورفولوژیکی دلتای رودخانه سفیدرود تحت تأثیر رژیم آبدهی، تغییرات ژئودینامیکی زمین، نوسانات سطح تراز آب دریای خزر و نیروهای هیدرودینامیکی بوده است [۲۶]. مصب این رودخانه با گذشت زمان طی هولوسن پایانی از ناحیه دستک امیرآباد در شرق به محل فعلی که بخش شمال مرکزی پارک ملی بوجاق می‌باشد، تغییر مکان داده است [۲۷، ۲۸] و تالاب‌های ساحلی نظیر تالاب کباشهر، زیباکنار و امیرکلايه تحت تأثیر آن، روند تکاملی مشخصی را با گذشت زمان طی کرده‌اند [۲۷، ۲۹]. تاکنون پژوهشی در رابطه با ارزیابی معیارهای فیزیکی مؤثر در آسیب‌پذیری فیزیکی سواحل مشرف به دهانه رودخانه سفیدرود در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام نیافته



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

(الف) تالاب کیشهر و اسکله غربی بندر کیشهر، (ب) رودخانه لسموکلايه، (ج) تالاب زیباکنار و رودخانه اشمک، (د) دهانه و کانال رودخانه سفیدرود

بخش مرکزی است. رودخانه سفیدرود دومین رودخانه بزرگ فلات ایران است که مساحت حوضه آبریز آن بیش از ۶۱۶۰۰ کیلومترمربعی باشد. حجم بالای آورد رسوبی (سالانه، ۳۲ میلیون تن) توسط این رودخانه سبب شکل‌گیریدلتای وسیعی با وسعت ۲۴۰۰ کیلومترمربع در بخش ساحلی شمال مرکزی استان گیلان شده است. متوسط پهنای رودخانه سفیدرود در ناحیه پل کیشهر به زیباکنار حدود ۱۵۰۰ متر می‌باشد و شیب بستر آن تا فاصله ۵ کیلومتری از خط ساحل دریای خزر معادل ۰،۰۸ درصد است. شیب بسیار ملایم بستر رودخانه سبب می‌شود که کانال رودخانه و زمین‌های اطراف آن، نسبت به تأثیر نیروهای هیدرولیکی رودخانه در مواقع پرابی و سیلاب و افزایش سطح تراز آب دریای خزر بسیار حساس و آسیب‌پذیر باشد [۲۶]. رسوبات موجود در منطقه مورد مطالعه به

همچنین جریان‌های موازی با ساحل از ناحیه دهانه رودخانه سفیدرود در جهات شمال غرب به جنوب شرق و شمال شرق به جنوب غرب توسعه دارند [۲۶] و تحت تأثیر رسوب‌گذاری مواد ماسه‌ای حاصل از جریان‌های مزبور، زبانه‌های ماسه‌ای گسترده‌ای در بخش منتهی‌الیه غربی و شرقی دهانه رودخانه سفیدرود شکل گرفته است [۲۶-۳۰]. تالاب‌های ساحلی مستقر در منطقه مورد مطالعه دارای ارزش حفاظت زیست‌محیطی بسیار بالایی هستند و در قالب پناهگاه حیات وحش و پارک ملی بوجاق در کنوانسیون رامسر در سال ۲۰۰۱ ثبت شده‌اند. این ناحیه ساحلی دارای زیستگاه‌های مختلف و با تنوع زیستی بسیار بالایی است و شامل دو اکوسیستم خشکی و دریایی می‌باشد. بخش خشکی آن شامل: تالاب‌های آب شیرین ساحلی زیباکنار در غرب و تالاب کیشهر در شرق و رودخانه سفیدرود در

اساس معيار ساختار مورفولوژيكي ساحلي، هشت محور اندازه‌گيري در راستاي غرب به شرق مشخص گرديد (شكل ۲). در مطالعات ميداني خصوصيات ساختار هندسي ساحل (شيب و پهنای خاکريز ساحلي) با استفاده از روش متریک و سامانه تراز سنجی مجهز به تعيين مختصات جغرافيايي جهاني (GPS) اندازه‌گيري شد. در گام بعد مهم‌ترين لند فرم‌های ساحلي از طريق مطالعه تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات مستقیم شناسایی گرديد. رسوبات ساحلي از ناحیه خاکريز ماسه‌ای و حاشیه تالاب‌های ساحلي به تعداد هشت نمونه رسوبي از طريق نمونه‌بردار دستی برداشت شد و در آزمایشگاه، وضعیت بافت رسوبات ساحلي با آزمایش دانه‌بندی (گرانومتري) به روش ونت‌فورت، بررسی شد. سپس میزان تغييرات خطوط ساحلي دريای خزر و میزان پهنای خاکريز ساحلي در طول ۲۰۰ ترانسکت با فاصله ۱۰۰ متر از یکدیگر، با استفاده از نرم‌افزار جنبي سامانه آنالیز رقومي خطوط ساحلي (DSAS) و تصاویر چند زمانه ماهواره‌ای لندست (سنجده‌های TM و LOI) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در محیط سامانه اطلاعات جغرافيايي با کمک نرم‌افزار (Arc-Map) ورژن ۱۰،۶،۱ متعلق به شرکت ESRI در سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۱۹ مورد آنالیز قرار گرفت و نتایج حاصل از آن برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری فیزیکی سواحل (CVI) استفاده شد. درجه آسیب‌پذیری سواحل (CVI) از طریق معادله: نسبت ریشه دوم حاصل ضرب معیارهای درجه‌بندی شده بر تعداد پارامترهای مورد ارزیابی محاسبه می‌شود [۷]. مهم‌ترین معیارهای طبیعی مورد بررسی در مطالعات گورنیتز برای تعیین شدت آسیب‌پذیری سواحل آتلانتیک در ایالات متحده آمریکا، شامل: شیب ساحل، مورفولوژی، جنس سنگ‌شناسی، میزان تغییرات نسبی سطح تراز آب دريای خزر، میزان جابجایی خط ساحل، متوسط تغییرات جزرومدي، متوسط ارتفاع امواج بوده است.

پس از آن مطالعات مشابهی در سواحل شرقی ایالات متحده در حاشیه اقیانوس اطلس انجام گرفت و نواحی ساحلي به لحاظ آسیب‌پذیری فیزیکی طبقه‌بندی شد [۱۰]. آسیب‌پذیری اقلیمی با ارزیابی معیارهای مؤثر در حساسیت‌های ژئوفیزیکی، زیستی، اجتماعی و اقتصادی انجام گرديد [۳۴]. شدت آسیب‌پذیری مناطق ساحلي هند با استفاده از روش‌های آنالیز سلسله‌ای انجام گرفت و سواحل را به سه گروه با شدت آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی کردند [۳۵]. در این پژوهش مهم‌ترین معیارهای طبیعی برای تعیین شدت آسیب‌پذیری فیزیکی سواحل دلتای سفیدرود شامل: (شیب ساحل، پهنای ناحیه خاکريز ماسه‌ای، نوع رسوبات، لند فرم‌های ساحلي، میزان جابجایی خط ساحلي) می‌باشد (جدول ۱).

محیط‌های رسوبي ساحلي، رودخانه‌ای، جلگه آبرفتی- سیلابی و تالابی تعلق دارد. بیشترین رسوبات ماسه‌ای توسط رودخانه سفیدرود به ناحیه ساحلي آورده می‌شود. این رودخانه سالانه ۳۲ میلیون تن رسوب وارد دريای خزر می‌کند [۳۰]. سرعت رسوب‌گذاری در محل دهانه سفیدرود معادل ۳۱ میلی‌متر در سال اندازه‌گيري شده است [۲۸]. خروج مواد رسوبي سد منجیل و افزایش سطح تراز آب دريای خزر بین سال‌های ۱۹۷۸-۱۹۹۵ سبب افزایش رسوب‌گذاری در تالاب‌های ساحلي مستقر در پارک ملی بوجاق گرديد. رودخانه‌های بخش جنوب غربی و غرب دريای خزر (سفیدرود، کورا و ترک) حدود ۷۹٪ منابع رسوبي دريای خزر را تأمین می‌کنند [۳۱]. رسوبات تحت تأثیر جریان‌های موازی با ساحل حرکت کرده و در امتداد خط ساحل نهشت می‌یابد. جهت جریان‌های غالب دريای خزر در سواحل ایران در راستای غرب به شرق می‌باشد و جریان‌های موازی با ساحل رسوبات مورد نیاز را برای شکل‌گیری زبانه ماسه‌ای حمل می‌کنند و پس از رسوب‌گذاری مواد رسوبي، سبب شکل‌گیری تالاب‌ها در ناحیه پشت ساحل می‌گردد؛ مانند تالاب‌های انزلی، زیباکنار، کياشهر و امیرکلا [۲۶، ۳۰، ۳۱]. همچنین وزش بادهای غالب و تأثیر آن بر روی ماسه‌های ساحلي سبب شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای در دلتای سفیدرود شده است [۳۰، ۳۲]. دخالت‌های انسانی با ساخت سد منجیل بر روی رودخانه سفیدرود در سال ۱۹۶۷ میلادی پس از آن، رهاسازی حجم انبوهی از مواد رسوبي نهشت یافته در سد یاد شده تا سال ۱۹۸۰ و در نهایت تعلیق رهاسازی رسوبات سد از سال ۱۹۹۸ سبب شد تا تکامل مورفولوژی دلتای سفیدرود، خطوط ساحلي دريای خزر و تالاب‌های حاشیه آن تحت تأثیر قرار گیرد [۳۲]. اقلیم حاکم در منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر سامانه‌های مدیترانه‌ای است و از نوع معتدل و مرطوب می‌باشد. متوسط میزان درجه حرارت سالانه حدود ۱۷ درجه سانتی‌گراد است و متوسط سالانه بارندگی ۱۳۵۶ میلی‌متر است. حداکثر دما در فصل تابستان در تیر ماه ۳۳ درجه سانتی‌گراد و حداقل دما در زمستان در بهمن ماه ۰،۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد [۳۳].

## ۲- روش پژوهش

این پژوهش با روش مطالعات اسنادی، میدانی و تجزیه و تحلیل نرم‌افزاری انجام گرفته است. در ابتدا با مطالعه و ارزیابی مستندات علمی شامل: (گزارش‌های تخصصی، مقالات پژوهشی، نقشه‌های موضوعی) آشنایی لازم با خصوصیات جغرافيايي طبیعی و هیدرومورفولوژی منطقه مورد مطالعه انجام گرفت. سپس با پردازش اولیه تصاویر ماهواره‌ای موجود از طریق نرم‌افزار گوگل ارث، مهم‌ترین عوارض مورفولوژی ساحلي شناسایی شد و بر

جدول ۱: معیارهای درجه‌بندی شدت آسیب‌پذیری فیزیکی مناطق ساحلی دلتای سفیدرود

درجه‌بندی شدت آسیب‌پذیری فیزیکی سواحل					معیارها
خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	
بیشتر از صفر	کمتر از ۰.۱ درجه	بین ۰.۲ تا ۰.۱ درجه	بین ۰.۲ تا ۰.۱ درجه	بیشتر از ۱ درجه	لند فرم‌ها
تالاب‌ها و خوره‌های ساحلی	مارش‌های ساحلی حاشیه تالاب	تپه‌های ماسه‌ای - زبانه‌های ماسه‌ای	صخره‌ای کوتاه- گراولی (حد واسط)	سواحل صخره‌ای	پهنای خاکریز
۰	۱ - ۱۰ متر	۱۱-۱۰۰ متر	۱۰۱ - ۲۰۰ متر	بیش از ۲۰۰ متر	رسوبات
سیلت و رس	ماسه‌های ریزدانه	ریگ و شن	گراول‌های قله‌سنگی	گراول‌های تخته‌سنگی	میزان جابجایی‌خط ساحل
بیش از ۳۰- متر	۲۹- تا ۲۰- متر	۱۹- تا ۱۰- متر	۹- تا ۰ متر	بیشتر از صفر	

### ۱-۲- شیب متوسط ساحل

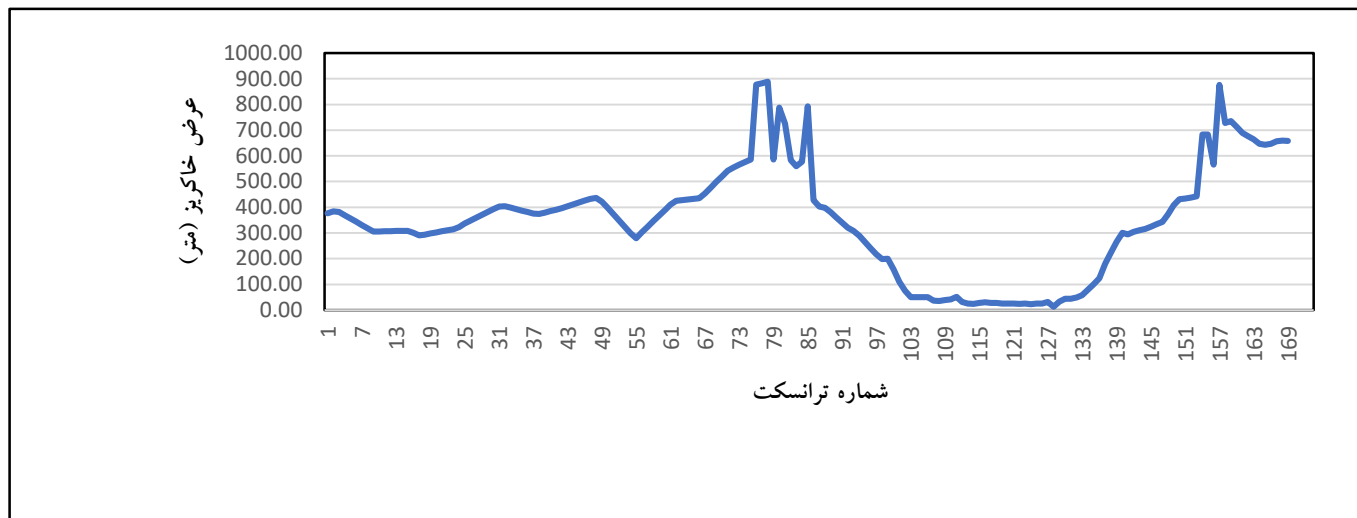
شیب متوسط ساحل در طول هشت محور اندازه‌گیری در راستای غرب به شرق (شکل ۲) از مقادیر متفاوتی برخوردار است (جدول ۲). کمترین میزان شیب در ترانسکت شماره (۳) به میزان (۰,۰۹) در ناحیه غربی دهانه رودخانه سفیدرود مشرف به بخش شمالی تالاب بوجاق اندازه‌گیری شده است (جدول ۲). بیشترین میزان شیب در ترانسکت شماره (۸) به میزان (۰,۴۴) به ناحیه ساحلی مشرف به دهانه رودخانه لسموکلايه تا بخش شمال شرقی تالاب کياشهر تعلق دارد (جدول ۲). شیب بخش خشک ساحل، در ترانسکت شماره (۵)، در ناحیه شرقی دهانه رودخانه سفیدرود معادل (۰,۱) می‌باشد (جدول ۲). شیب ساحل در ترانسکت شماره (۴)، در ناحیه مشرف به دهانه غربی رودخانه سفیدرود معادل (۰,۲۱) است (جدول ۲). شیب متوسط ساحل در ترانسکت (۲) در ناحیه شمال تالاب زیباکنار معادل (۰,۱۴) و در ناحیه ساحلی مشرف به رودخانه اشک در ترانسکت (۱) معادل (۰,۳۲) می‌باشد (جدول ۲). مقایسه میزان تغییرات شیب بخش خشک ساحل در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که مناطق منتهی‌الیه غربی و شرقی دلتای سفیدرود از شیب بیشتری نسبت به سایر مناطق دیگر برخوردارند (شکل ۴) و میزان شیب متوسط ساحل در حاشیه تالاب بوجاق به حداقل می‌رسد. شیب ساحل در ناحیه مشرف به دهانه شرقی و غربی رودخانه سفیدرود در حالت حد واسط قرار دارد و شیب ساحل در بخش غربی اسکله بندر کياشهر کمتر از بخش شرقی آن می‌باشد (شکل ۴)؛ بنابراین ناحیه ساحلی به لحاظ شیب بخش خشک ساحلی به سه گروه طبقه‌بندی می‌گردد. رده اول دارای شیبی کمتر از (۰,۱) می‌باشند (ساحل شمالی تالاب بوجاق). دسته دوم دارای شیبی بین (۰,۱) تا (۰,۳) هستند (دهانه شرقی و غربی رودخانه سفیدرود، ساحل بخش شمالی تالاب زیباکنار، ساحل بخش شرقی و غربی اسکله بندر کياشهر) و گروه آخر دارای شیبی بیش از (۰,۳) می‌باشد (ساحل بخش شمال شرقی تالاب کياشهر و شرق دهانه رودخانه اشک).

با توجه به نامحسوس بودن تغییرات جزرومدی و یکسان بودن میزان تغییرات سطح تراز آب دریای خزر و میزان ثابت متوسط حداکثر ارتفاع امواج برای کل ناحیه ساحلی مورد مطالعه که دارای طول محدودی می‌باشد (۲۰ کیلومتر)، از ورود اطلاعات مرتبط با آنها در سامانه هم‌پوشانی معیارهای آسیب‌پذیری فیزیکی صرف‌نظر شده است.

## نتایج و بحث

### ۱-۱- خاکریز ساحل

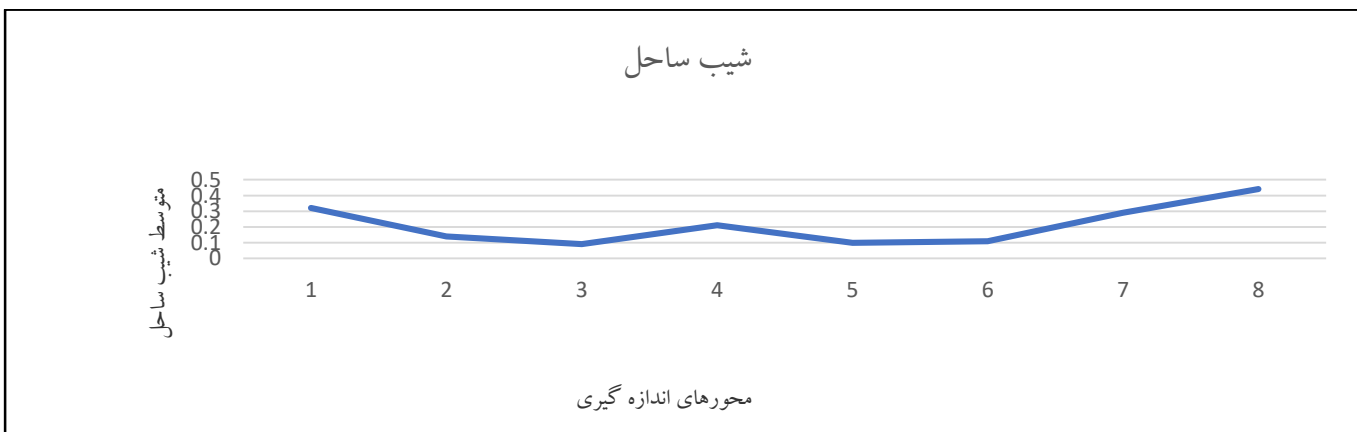
نتایج حاصل از مدل ارزیابی پهنای خاکریز ساحلی دلتای سفیدرود در امتداد ۲۰۰ ترانسکت به فاصله ۱۰۰ متر در محیط نرم‌افزار جنبی (DSAS) در سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان می‌دهد که حداکثر پهنای خاکریز ساحلی (۸۸۰ متر)، حداقل (۱۳ متر) و متوسط آن (۳۴۶ متر) است (شکل ۳). پهنای ناحیه خاکریز ساحلی در امتداد شرق به غرب از دهانه رودخانه لسموکلايه تا کانال ارتباطی تالاب کياشهر به دریای خزر به‌طور تقریبی ثابت بوده و بین (۳۰۰ - ۴۰۰ متر) متغیر می‌باشد (شکل ۳). عرض ناحیه خاکریز ساحلی در ناحیه غربی اسکله بندر کياشهر به‌شدت افزایش چشم‌گیری دارد و به ۸۸۰ متر می‌رسد (شکل ۳). پهنای ناحیه خاکریز ساحلی از فاصله ۲ کیلومتری اسکله غربی بندر کياشهر تا نزدیکی دهانه شرقی رودخانه سفیدرود به‌شدت کاهش می‌یابد و به (۱۳ متر) می‌رسد (شکل ۳). روند کاهش پهنای خاکریز ساحلی تا فاصله ۳ کیلومتری غرب دهانه رودخانه سفیدرود نیز تداوم دارد (شکل ۳) و عرض ناحیه خاکریز ساحلی تا بخش غربی دهانه رودخانه اشک افزایش شدیدی می‌یابد (شکل ۳)؛ بنابراین منطقه مورد مطالعه بر اساس پهنای خاکریز ماسه‌ای به سه گروه (پهنای زیاد، متوسط و کم) طبقه‌بندی می‌شود. صحت نتایج حاصل از مدل ارزیابی پهنای خاکریز ساحلی با نتایج اندازه‌گیری میدانی کنترل شد و مورد تأیید قرار گرفت (جدول ۲).



شکل ۳: منحنی تغییرات پهنای ناحیه خاکریز ساحلی دلتای سفیدرود حاصل از مدل آنالیز رقومی (DASA) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی

جدول ۲: تغییرات ساختار هندسی و رسوبات ساحل دلتای سفیدرود (متوسط شیب ساحل، متوسط قطر دانه‌های رسوبی، پهنای خاکریز ماسه‌ای در طول هشت نیمرخ ساحلی)

سیستم مختصات UTM زون ۳۹		متوسط قطر دانه‌های رسوبی (میلی‌متر)	متوسط شیب ساحل	پهنای ناحیه خاکریز ماسه‌ای (متر)	محورهای اندازه‌گیری	ناحیه ساحلی
طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی					
۴۱۴۵۸۳۱	۴۰۰۳۲۵	۰٫۲۱	۰٫۳۲	۵۰۰	۱	غرب دهانه رودخانه اشمک
۴۱۴۶۹۲۴	۴۰۲۲۷۲	۰٫۲	۰٫۱۴	۳۵۰	۲	شمال تالاب زیباکنار
۴۱۴۷۶۳۷	۴۰۴۰۰۲	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰	۳	شمال تالاب بوجاق
۴۱۴۷۵۰۹	۴۰۵۸۹۳	۰٫۱۹	۰٫۲۱	۲۰	۴	دهانه غربی سفیدرود
۴۱۴۶۴۷۹	۴۰۷۰۵۱	۰٫۱۹	۰٫۱	۱۵	۵	دهانه شرقی سفیدرود
۴۱۴۵۰۵۸	۴۰۸۱۴۲	۰٫۲	۰٫۱۱	۸۸۹	۶	غرب اسکله بندر کباشهر
۴۱۴۳۵۸۴	۴۰۹۳۲۰	۰٫۲	۰٫۲۹	۵۰۰	۷	شرق اسکله بندر کباشهر
۴۱۴۲۱۲۱	۴۱۱۶۴۶	۰٫۲۱	۰٫۴۴	۴۰۰	۸	غرب دهانه رودخانه لسموکلاپه



شکل ۴: منحنی تغییرات شیب متوسط نیمرخ‌های ساحلی در منطقه مورد مطالعه



## ۳-۱ ماهیت فیزیکی رسوبات ساحلی

گسترش یافته است و بیشترین حجم انباشت مواد ماسه‌ای در ناحیه غربی اسکله بندر کیشهر اتفاق افتاده است (شکل ۷)؛ بنابراین توسعه فرایندهای فرسایشی در ساحل غربی دهانه رودخانه سفیدرود بسیار بیشتر از ساحل شرقی بوده و عوارض مورفولوژی رسوبی مانند زبانه‌های ماسه‌ای در ساحل شرقی دهانه رودخانه سفیدرود توسعه یافته است. کانال‌های فرسایشی حاصل از تخلیه آب‌های سطحی موجود در تالاب‌های ساحلی به درون دریای خزر از دیگر لند فرم‌های فرسایشی مهم در بخش غربی دهانه رودخانه سفیدرود می‌باشد.

## ۵-۱ میزان تغییرات خطوط ساحلی

بیشترین جابجایی مثبت خط ساحل به سوی دریا در ناحیه غربی اسکله بندر کیشهر به میزان (۷۳۷ متر) صورت گرفته است (شکل ۶) و حداکثر جابجایی منفی خط ساحل به سوی خشکی (۴۴۰- متر) در ساحل غربی دهانه رودخانه سفیدرود مشرف به بخش شمالی تالاب بوجاق اتفاق افتاده است. خط ساحلی بخش شرقی اسکله بندر کیشهر و ناحیه ساحلی بین دهانه شرقی رودخانه سفیدرود تا اسکله غربی بندر کیشهر بین (۳۵۵- ۵۲۲ متر) جابجایی داشته است (شکل ۶). میزان جابجایی خط ساحل در ناحیه منتهی‌الیه شرقی کیشهر تا دهانه رودخانه لسموکلايه بین ۲۴۰ تا ۳۵۵ متر است (شکل ۶) و خط ساحلی بخش منتهی‌الیه غربی مشرف به ناحیه شمال غربی تالاب زیباکنار تا دهانه رودخانه اشمک بین ۱۳۰ تا ۲۴۰ متر جابجا شده است (شکل ۶). مقایسه میزان تغییرات خط ساحل بخش شرقی و غربی دهانه رودخانه سفیدرود نشان می‌دهد که میانگین میزان جابجایی خط ساحل طی ۲۴ سال در ساحل شرقی (۳۵۲ متر) به‌طور تقریبی معادل سه برابر ساحل غربی (۱۳۲ متر) می‌باشد (شکل ۶). حداکثر میزان تغییرات متوسط سالانه خط ساحلی (۳۲ متر در سال) و حداقل آن (۱۹- متر در سال) می‌باشد. میزان متوسط تغییرات سالانه خط ساحلی دریای خزر در ساحل شرقی دهانه رودخانه سفیدرود سه برابر ساحل غربی است. حداکثر میزان جابجایی مثبت سالانه خط ساحلی در بخش شرقی (۳۲ متر) و در بخش غربی (۲۲ متر) است. حداقل میزان جابجایی سالانه خط ساحلی در بخش شرقی (۱۴- متر) و در بخش غربی (۱۹- متر) می‌باشد.

## ۶-۱ شدت آسیب‌پذیری فیزیکی سواحل

نتایج حاصل از هم‌پوشانی درجه آسیب‌پذیری فیزیکی معیارهای طبیعی مورد مطالعه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان می‌دهد که بخش غربی دهانه رودخانه سفیدرود از شدت آسیب‌پذیری فیزیکی بیشتری نسبت به بخش شرقی برخوردار است و بیشترین درجه آسیب‌پذیری به ناحیه ساحلی مشرف به حاشیه دهانه رودخانه سفیدرود و بخش شمالی تالاب بوجاق در غرب دلتای سفیدرود تعلق دارد. مناطق ساحلی منتهی‌الیه غربی و شرقی دلتای سفیدرود از پایداری مناسبی در مقابل عوامل فرساینده برخوردار است (شکل ۷).

نتایج حاصل از مطالعه رسوب‌شناسی بر روی جنس و بافت رسوبات ساحلی، نشان می‌دهد که بیشتر رسوبات از جنس ماسه‌های دانه‌ریز با جورشدگی خوب با قطر (۰,۲ میلی‌متر) می‌باشد (جدول ۲). منشأ رسوبات ماسه‌ای، به ساحل دریای خزر و رودخانه سفیدرود تعلق دارد (شکل ۵). رسوبات ماسه‌ای ساحلی دریای خزر به رنگ قهوه‌ای روشن و رسوبات رودخانه سفیدرود شامل ماسه‌هایی به رنگ تیره و حاوی پلاسرهای کانی‌های مگنتیت و ایلمنیت می‌باشد (شکل ۵). همچنین رسوبات بسیار ریزدانه شامل: رس سیلتی، سیلت ماسه‌ای و لوم در حاشیه تالاب‌های ساحلی مشرف به خط ساحلی دریای خزر در ناحیه غربی دهانه رودخانه سفیدرود مشاهده می‌شود (شکل ۵). دانه‌بندی رسوبات در بخش شرقی دهانه رودخانه سفیدرود درشت‌دانه‌تر از بخش غربی آن می‌باشد. عدم بارگذاری مواد ماسه‌ای تحت تأثیر جریان‌های ساحلی، در ساحل غربی مشرف به دهانه رودخانه سبب شده تا رسوبات فرسایشی بسیار ریزدانه متعلق به محیط‌های تالاب ساحلی به‌صورت گراول‌های فرسایشی در خط ساحل رسوب‌گذاری شود (شکل ۵). رسوبات ساحلی در منطقه مورد مطالعه به محیط‌های رسوبی رودخانه‌ای، ساحلی و تالابی تعلق دارد. سواحل منتهی‌الیه بخش شرقی و غربی مشرف به دهانه رودخانه‌های لسمو کلايه و اشمک از رسوبات ساحلی ماسه‌ای پوشیده شده است. رسوب‌گذاری فعالی در بخش غربی اسکله بندر کیشهر از مواد ماسه‌ای مشاهده می‌شود و بار رسوبات ماسه‌ای فعال در دهانه بندر کیشهر سبب انسداد کانال ارتباطی تالاب با دریای خزر شده است. رسوبات ماسه‌ای با منشأ دریایی به شکل لند فرم زبانه ماسه‌ای در ناحیه منتهی‌الیه غربی و شرقی دلتای سفیدرود ایجاد شده است.

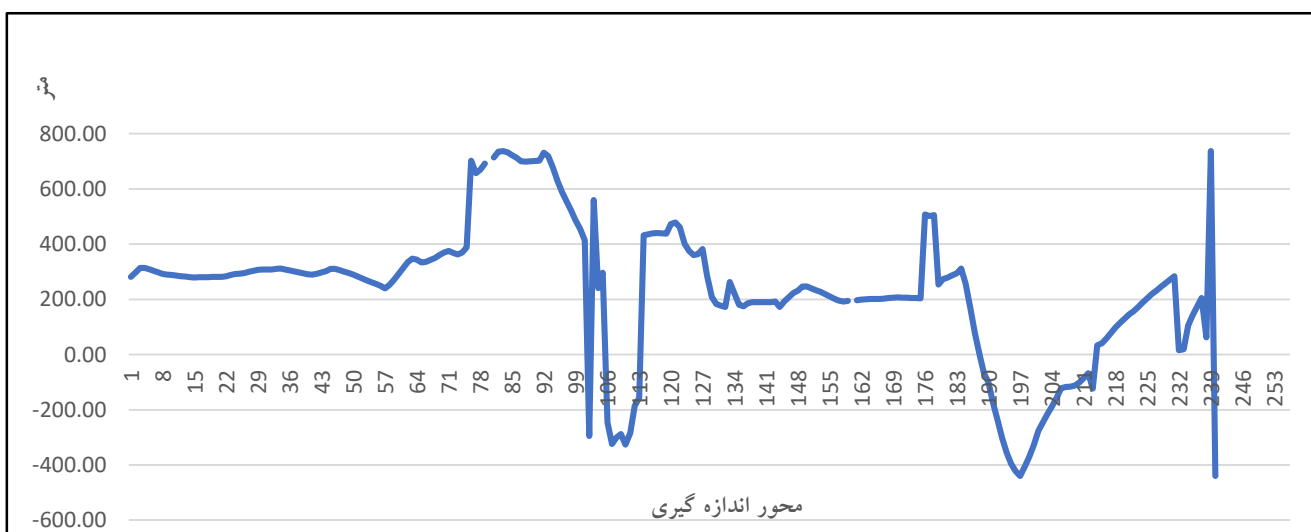
## ۴-۱ لند فرم‌های ساحلی

مهم‌ترین لند فرم‌های ساحلی در منطقه مورد مطالعه شامل: زبانه‌های ماسه‌ای، تالاب‌های ساحلی، جلگه آبرفتی، کانال و دهانه رودخانه‌ای، خطوط ساحلی رسوبی و فرسایشی می‌باشد و سازه‌های ساحلی مانند اسکله بندری نیز به‌عنوان لند فرم‌های ساحلی با منشأ انسانی است. توسعه فرایندهای ساحلی و رودخانه‌ای سبب شده است که لند فرم‌های فرسایشی و رسوبی متنوعی در منطقه مورد مطالعه ایجاد شود. تراس‌های فرسایشی حاصل عملکرد نیروهای هیدرودینامیکی دریا (امواج و جریان‌های ساحلی) در بخش شرقی و غربی دهانه رودخانه سفیدرود مشاهده می‌شوند (شکل ۵). ارتفاع تراس‌های فرسایشی در بخش غربی دهانه رودخانه سفیدرود بیشتر از ناحیه شرقی آن می‌باشد. همچنین خطوط ساحلی فرسایشی در بخش غربی دهانه رودخانه سفیدرود مشرف به ناحیه شمالی تالاب بوجاق با حضور گراول‌های قلوه‌سنگی مکعبی شکل فرسایشی مشخص است (شکل ۵). این نوع ساحل فرسایشی در بخش شرقی مشاهده نمی‌شود. زبانه‌های ماسه‌ای در بخش منتهی‌الیه شرقی دهانه رودخانه سفیدرود



شکل ۵: الف) نهشت رسوبات ماسه‌ای با منشأ ساحلی به رنگ قهوه‌ای روشن و رودخانه‌ای به رنگ تیره در بخش غربی دهانه رودخانه سفیدرود،  
 ب) رسوبات بسیار ریزدانه‌س ماسه‌ای و لوم متعلق به محیط تالابی در بخش غربی دهانه رودخانه سفیدرود،  
 ج) گراول‌های فرسایشی قلوه‌سنگی مکعبی در ساحل شمال تالاب ساحلی بوجاق، د) رسوب‌گذاری مواد ماسه‌ای در دهانه کانال ارتباطی بندر کیشهر

شکل ۶: منحنی میزان جابجایی خط ساحلی دریای خزر در منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۱۹ میلادی



## ۲. بحث:

خطوط ساحلی (۳۲ متر در سال) و حداقل آن (۱۹- متر در سال) می‌باشد (شکل ۶). مقایسه میزان تغییرات خط ساحل بخش شرقی و غربی دهانه رودخانه سفیدرود نشان می‌دهد که میانگین میزان جابجایی خط ساحل طی ۲۴ سال در ساحل شرقیبه‌طور تقریبی معادل سه برابر ساحل غربی می‌باشد (شکل ۶). این موضوع با حضور اسکله غربی بندر کیشهر و به دام انداختن رسوبات ماسه‌ای که تحت تأثیر جریان‌های موازی با ساحل در راستای غرب به شرق در حرکت هستند انطباق دارد. در عوض میزان رسوب‌گذاریماسه‌ای در ساحل غربی دهانه رودخانه سفیدرود بسیار ضعیف بوده و فرایندهای فرسایشی در این ناحیه توسعه دارند و تأثیر نیروهای هیدرودینامیک دریا (امواج و جریان‌های ساحلی) موجب فرسایش خط ساحل و جابجایی منفی آن شده است. پهنای ناحیه خاک‌ریز ساحلی در منطقه مورد مطالعه از میزان کمی متفاوتی برخوردار است و نتایج نشان می‌دهد که در امتداد ناحیه غربی و شرقی دهانه رودخانه سفیدرود با افزایش فاصله از دهانه رودخانه، عرض ناحیه خاک‌ریزماسه‌ای افزایش می‌یابد. پهنای ناحیه خاک‌ریز ساحلی در بخش شرقی رودخانه سفیدرود بسیار بیشتر از بخش غربی آن می‌باشد و این موضوع نقش فرایندهای رسوبی را در ناحیه شرقی دهانه رودخانه و توسعه فرایندهای فرسایشی در ناحیه غربی دهانه رودخانه تأیید می‌کند. وسعت خاک‌ریزماسه‌ای تحت تأثیر کاهش سطح تراز آب دریای خزر طی دوره زمانی ۲۴ ساله (۲۰۱۹-۱۹۹۵) به‌طور تقریبی چهار برابر افزایش پیدا کرد. میزان افزایش خاک‌ریزماسه‌ای در بخش شرقی دهانه رودخانه سفیدرود به‌طور تقریبی دو برابر بخش غربی می‌باشد و این موضوع رژیم رسوب‌گذاری فعال مواد ماسه‌ای در ناحیه شرقی نسبت به بخش غربی دهانه رودخانه سفیدرود را تأیید می‌کند. کاهش سطح تراز آب دریای خزر موجب شد تا مساحت تالاب‌های ساحلی از (۳۳۰ هکتار) در سال ۱۹۹۵ میلادی به (۱۷۶ هکتار) در سال ۲۰۱۹ رسد و وسعت تالاب‌های ساحلی طی ۲۴ سال حدود ۵۳ درصد کاهش یابد. این موضوع به‌خوبیتأثیر کاهش سطح تراز آب دریای خزر بر محیط‌زیستتالاب‌های ساحلی را نشان می‌دهد. مشاهدات میدانی نشان داده است که اختلاف ارتفاعی حدود ۲۰۰ سانتی‌متر بین سطح تراز آب تالاب‌های پارک ملی بوجاق و خط ساحلی دریای خزر موجب خروج آب تالاب‌ها به‌سوی دریای خزر شده و تحت تأثیر آن لند فرم‌های کانال فرسایشی در منطقه ساحلی شکل گرفته است. رسوبات ساحلی از تنوع بافتی متفاوتی برخوردار هستند و از منشأرودخانه‌ای، ساحلی و تالابی برخوردار می‌باشند. بیشترین حجم رسوبات مواد ماسه‌ای با قطر متوسط (۲،۰ میلی‌متر) است و در مناطق شمالی تالاب‌های ساحلی بوجاق رسوبات ریزدانه از جنس رس‌هایماسه‌ای و سیلنتی وجود دارد. بخش شرقی دهانه رودخانه سفیدرود از رسوبات درشت‌دانه تری نسبت به بخش غربی برخوردار است. نتایج حاصل از مدل درجه‌بندی شدت آسیب‌پذیری فیزیکی ناحیه دلتای سفیدرود نشان می‌دهد که میزان آسیب‌پذیری فیزیکی بخش غربی دهانه رودخانه سفیدرود بسیار بیشتر از بخش شرقی آن می‌باشد (شکل ۷). بیشترین درجه آسیب‌پذیری فیزیکی به ناحیه ساحلی مشرف به حاشیه دهانه رودخانه و بخش شمال تالاب بوجاق در ناحیه غربی دهانه رودخانه سفیدرود تعلق دارد (شکل ۷). نواحی

درحالی‌که سطح تراز آب دریاها و اقیانوس‌های کره زمین تحت تأثیر گرم شدن هوا رو به افزایش است [۳] و سطح وسیعی از مناطق ساحلی کم شیب جهان در ریسک آسیب‌پذیری حاصل از مخاطرات فرسایشی قرار گرفته‌اند، رفتار نوسانی دریای خزر در مقایسه با آنها بسیار متفاوت بوده و طی قرن بیستم سطح تراز آب آن حدود ۳۰۰ سانتی‌متر (۲۶- تا ۲۹- متر) نوسان داشته است [۵] و از سال ۱۹۹۵ - تاکنون با کاهش معادل ۱۵۰ سانتی‌متر سطح وسیعی از مناطق ساحلی آن، از آب خارج شده و سطح مناطق خشک ساحلی افزایش یافته است [۲۴]. ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی سواحل دریای خزر در زمان کاهش سطح تراز آب، از ماهیت فیزیکی جالب‌توجهی برخوردار است؛ زیرا با کاهش سطح تراز آب دریای خزر از سال ۱۹۹۵ میلادی تاکنون، بخش وسیعی از مناطق کم‌ترزای دریایی از آب خارج شده است و متناسب با آن ریسک آسیب‌پذیری فیزیکی سواحل کاهش یافته است [۲۴]. نتایج مطالعات گذشته نشان داده‌اند که روند تکاملی دلتای سفیدرود طی هولوسن پایانی از سرعت بسیار بالا و دینامیک فعالی برخوردار بوده است [۲۶، ۳۰، ۳۱]. جابجایی لندفرم کانال و دهانه رودخانه از ناحیه دستک امیرآباد یا سفیدرود کهنه به‌سوی مکان فعلی دهانه سفیدرود در ناحیه شمالی پارک ملی بوجاق حکایت از فعال بودن نیروهای ژئودینامیکی زمین، فرایندهای رودخانه‌ای و ساحلی پویا دارد [۲۶]. تالاب‌های ساحلی مستقر در دلتای سفیدرود روند شکل‌گیری و تکامل مورفولوژیکی خودشان را مرهون تغییرات زمین‌شناختی دلتای سفیدرود می‌باشند [۲۷، ۲۸]. میزان جابجایی خط ساحل در دلتای سفیدرود در دوره‌های زمانی متفاوت بسیار بالا بوده است و حجم وسیعی از رسوبات ماسه‌ای در ناحیه اسکله غربی بندر کیشهر رسوب‌گذاری شده است [۱۵]. رسوب‌گذاری فعال در ناحیه دلتای سفیدرود تحت تأثیر جریان رودخانه‌ای با سرعت ۳۰ میلی‌متر در سال شرایط نامناسبی را برای بستر تالاب‌های ساحلی ایجاد کرده است و چنین پیش‌بینی شده است که تا ۵۰ سال دیگر تالاب‌های پارک ملی بوجاق از رسوبات رودخانه سفیدرود پر خواهند شد [۲۸]. نتایج حاصل پژوهش حاضر نشان داده‌اند که میزان تغییرات خط ساحلی طی سال‌های مورد مطالعه در مدل رقومی (DSAS) در طول ۲۰ کیلومتر خط ساحلی بین دهانه رودخانه لسموکلایه در شرق تا دهانه رودخانه اشک در غرب دلتای سفیدرود بسیار متفاوت است (شکل ۶). جابجایی خط ساحل به سمت بخش خشک ساحلی و به‌سوی دریا انجام شده است (شکل ۶)؛ یعنی طی زمان کاهش سطح تراز آب دریای خزر خط ساحلی دلتای سفیدرود رفتار مورفولوژیکی به‌طور کامل متفاوتی داشته است. بیشترین جابجایی خط ساحلی با روند مثبت و به‌سوی دریا به میزان (۷۳۷ متر) در ناحیه غربی اسکله بندر کیشهر اتفاق افتاده است و بیشترین جابجایی خط ساحلی با روند منفی و به‌سوی خشکی در ساحل غربی دهانه رودخانه سفیدرود و بخش شمالی تالاب بوجاق به میزان (۴۴۰- متر) روی داده است (شکل ۶)؛ بنابراین مقارن با کاهش سطح تراز آب دریای خزر با سرعت متوسط ۶،۲۵ سانتی‌متر در سال، خطوط ساحلی رسوبی و فرسایشی در دو سوی شرقی و غربی توسعه یافته است. حداکثر میزان تغییرات سالانه مثبت

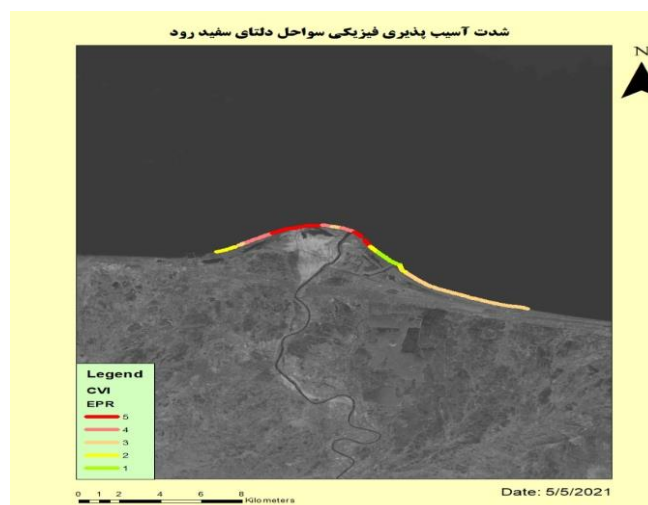
## تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

## منابع

- [1] Zhang, K., Douglas, B. C., and Leatherman, S. P., East coast storm surges provide unique climate record. 1997. *Eos*, 78(37): 389ff.
- [2] <https://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3ACLIM.0000024690.32682.48>
- [3] Lindsey, R, Climate change– Global sea level, NOAA, climate Government, 4/22/2021.
- [4] <https://www.climate.gov/author/rebecca-lindsey>
- [5] Davidson, NC, Fluet-Chouinard, E & Finlayson, CM, Global extent and distribution of wetlands: trends and issues, *Marine and Freshwater Research*, 2018, 69: 620
- [6] <http://www.publish.csiro.au/mf>
- [7] Khoshrovan, H., Naqinezhad, A., Alinejad-Tabrizi, T., Yanina, T., Gorgan Bay environmental consequences due to the Caspian Sea rapid water level change, *Caspian J. Environ. Sci.* 2019, Vol. 17 No. 3 pp. 213~226.
- [8] [https://cjes.guilan.ac.ir/article\\_3664](https://cjes.guilan.ac.ir/article_3664)
- [9] Kroonenberg, SB, Badyukova, EN, Storms, JEA, Ignatov, EI & Kasimov, NS, A full sea level cycle in 65 years: barrier dynamics along Caspian shores, *Sedimentary Geology*, 2000, 134: 257-274.
- [10] <https://journals.openedition.org/mediterranee/7226?lang=en>
- [11] Khoshrovan, H. and Vafai, B., Caspian Sea level fluctuations (past, recent and future), the 18th international marine industries conference, Kish Island, Persian Gulf, Iran, 2016. (In Persian).
- [12] <https://civilica.com/doc/564778/>
- [13] Gornitz, V.: Global coastal hazards from future sea level rise, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1991, 379–398,
- [14] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S031018291901730>

منتهی‌الیه غربی و شرقی دهانه رودخانه سفیدرود مناطق ساحلی پایدار و بدون عوارض فرسایشی می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷: نقشه شدت آسیب‌پذیری فیزیکی کل در سواحل دلتای سفیدرود طی سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۱۹

## نتیجه‌گیری

از نتایج حاصل از مدل تعیین درجه آسیب‌پذیری فیزیکی ساحل دلتای سفیدرود چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که معیارهای طبیعی مهمی نظیر ساختار مورفولوژی ساحل، شیب متوسط ساحل، پهنای ناحیه خاک‌ریزماسه‌ای و نوع رسوبات ساحلی عامل بسیار تعیین‌کننده‌ای برای حساسیت در مقابل نیروهای فرساینده دریایی است و علی‌رغم سرعت فزاینده کاهش سطح تراز آب دریای خزر طی سال‌های مورد مطالعه، بخش وسیعی از ناحیه ساحلی غربی دهانه رودخانه سفیدرود دچار آب‌گرفتگی و فرسایش شده است. وجود جریان‌های موازی با خط ساحل در راستای غرب به شرق سبب رسوب‌گذاری فعال مواد ماسه‌ای رودخانه‌ای و ساحلی در امتداد ساحل شرقی دلتای سفیدرود می‌گردد و این موضوع سبب شده تا میزان رسوب‌گذاری در مناطق غربی دهانه رودخانه کمتر باشد و امواج طوفانی توانایی لازم را برای فرسایش این منطقه داشته باشند. این موضوع به‌خوبیتأثیر رفتار هیدرولوژیکی متفاوت دریای خزر با روند افزایشی سطح تراز آب‌قیاوس‌ها را بر روی مناطق ساحلی نشان می‌دهد. نکته قابل‌توجه در این پژوهش به‌عنوان نتیجه‌گیری مهم، حساسیت فرسایشی بالا و آسیب‌پذیری فیزیکی شدید ساحل بخش غربی دهانه رودخانه سفیدرود در دوره زمانی کاهش سطح تراز آب دریای خزر می‌باشد.

## مشارکت نویسندگان

کلیه مراحل نگارش مقاله توسط نویسنده مسؤل انجام یافته است

- the Quaternary, *Geographical Research*, 2005, No. 53, pp. 99-120. (Persian).
- [26] <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=37577>
- [27] Yamani, M; Moghimi, I; Motamed, A; Jafar Begloo, M; Lorestani, Gh, Rapid changes in the shoreline of the Sefidrood delta base by the method of analysis of isosceles profiles, *Natural Geography Research*, 2013, Year Forty-Five, No. 2 Pages: 1-20. (Persian)
- [28] <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=37577>
- [29] Alemi Safaval, P, Kheirkhah Zarkesh, M, Neshaei, SA & Ejlali, F, Morphological changes in the southern coasts of the Caspian Sea using remote sensing and GIS. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 2018, 16: 271-85.
- [30] [https://cjes.guilan.ac.ir/article\\_3067](https://cjes.guilan.ac.ir/article_3067)
- [31] Jabaloy-Sánchez, A., Lobo, F. J., Azor, A., Martín-Rosales, W., Pérez-Peña, J. V., Bárcenas, P., ... Vázquez-Vílchez, M. Six thousand years of coastline evolution in the Guadalfeodeltaic system (southern Iberian Peninsula). *Geomorphology*, 2014. 206, 374–391.
- [32] <https://journals.tdl.org/icce/index.php/icce/article/view/8132>
- [33] Del Río, L., Gracia, F. J., & Benavente, J. Shoreline change patterns in sandy coasts. A case study in SW Spain. *Geomorphology*, 2013. 196, 252–266.
- [34] [https://www.researchgate.net/publication/259228463\\_Shoreline\\_change\\_patterns\\_in\\_sandy\\_coasts\\_A\\_case\\_study\\_in\\_SW\\_Spain](https://www.researchgate.net/publication/259228463_Shoreline_change_patterns_in_sandy_coasts_A_case_study_in_SW_Spain)
- [35] Hapke, C. J., Kratzmann, M. G., & Himmelstoss, E. A. Geomorphic and human influence on large-scale coastal change. *Geomorphology*, 2013. 199, 160–170.
- [36] <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70176642>
- [37] Young, A. P., Flick, R. E., O'Reilly, W. C., Chadwick, D. B., Crampton, W. C., & Helly, J. J. Estimating cliff retreat in southern California considering sea level rise using a sand balance approach. *Marine Geology*, 2014, 348, 15–26.
- [15] Gracia, J., Benavente, J., Rio, L. R., Shoreline change patterns in sandy coasts. A case study in SW Spain, *Geomorphology*, 2013, Volume 196, 15 August 2013, Pages 252-266.
- [16] [https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/15735/Geom2013\\_miversion.pdf;jsessionid=C77E2DA64403BD937AFDBC4AAABB3D33?sequence=1](https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/15735/Geom2013_miversion.pdf;jsessionid=C77E2DA64403BD937AFDBC4AAABB3D33?sequence=1)
- [17] ManiMurali, R., Shrivastava, D., and Vethamony, P.: Monitoringshoreline environment of Paradip, east coast of India using remotesensing, *Curr. Sci.*, 97, 79–84, 2009.
- [18] <http://drs.nio.org/drs/handle/2264/3370>
- [19] Thieler, E. R. and Hammer-Klose, E. S.: National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the US Pacific Coast, Woods Hole, Massachusetts, United States Geological Survey (USGS), Reston, VA, Open File Report, 00-178, 1, 2000.
- [20] <https://pubs.usgs.gov/of/1999/of99-593/>
- [21] Misra, A., Balaji, R, 2015, A Study on the Shoreline Changes and LAND-use/ Land-cover along the South Gujarat Coastline, *Procedia Engineering*, 2015, Volume 116, Pages 381-389.
- [22] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815019669>
- [23] Mukhopadhyay, A., Mukherjee, S, Hazra, S., and Mitra, D., SEA LEVEL RISE AND SHORELINE CHANGES: A GEOINFORMATIC APPRAISAL OF CHANDIPUR COAST, ORISSA, *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences* ISSN: 2277-2081 (Online), An Online International Journal Available at <http://www.cibtech.org/jgee.htm> 2011 Vol. 1 (1) September-December, pp.9-17/ Mukhopadhyay et al. Research Article 9 .
- [24] <https://www.ijert.org/research/assessment-of-shoreline-changes-due-to-anthropogenic-activities-using-remote-sensing-gis-IJERTCONV4IS20003.pdf>
- [25] Jedari Eyvazi, J; Yamani, M; KHoshaftar, R, Evolution of the geomorphology of the Rudspeed River Delta in

- [49] Khoshnavan, H. Caspian Sea morphodynamic classification. *Journal of Earth and Space physics*, Institute of Geophysics-University of Tehran, 2011, 37: 1-15 (In Persian).
- [50] <https://jesphys.ut.ac.ir/?lang=en>
- [51] Kazancı, N & Gulbabazadeh, T, Sefidrud Delta and Quaternary evolution of the southern Caspian lowland, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 2013, 44: 120-39.
- [52] [https://www.researchgate.net/publication/275296608\\_Sefidrud\\_delta\\_and\\_Quaternary\\_evolution\\_of\\_the\\_southern\\_Caspian\\_lowland\\_Iran](https://www.researchgate.net/publication/275296608_Sefidrud_delta_and_Quaternary_evolution_of_the_southern_Caspian_lowland_Iran)
- [53] Naderi Beni, A, Lahijani, H, Mousavi Harami, R, Arpe, K, Leroy, S, Marriner, N, Berberian, M, Andrieu-Ponel, V, Djamali, M, Mahboubi, A & Reimer, PJ, Caspian Sea-level changes during the last millennium: Historical and geological evidence from the South Caspian Sea, *Climate of the Past*, 2013, 9: 1645-1665.
- [54] <https://cp.copernicus.org/articles/9/1645/2013/>
- [55] Haghani, S & Leroy, S, Differential impact of longshore currents on coastal geomorphology development in the context of rapid sea level changing: The case of the old Sefidrud River (the Caspian Sea), *Quaternary International Journal*, 2016, 408: 78-92.
- [56] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618215013919>
- [57] Khoshraftar, R, Geomorphological evolution of Kiashahr lagoon using aerial photographs and satellite images and GPS. *Proceedings of the 9th International Conference on Environmental Science and Technology*, 1-3 September 2005, Rhodes Island, Greece, Extended abstract: 381-387.
- [58] [https://www.researchgate.net/publication/280216336\\_GEOMORPHOLOGICAL\\_EVOLUTION\\_KIASHAH\\_R\\_LAGOON\\_USING\\_AERIAL\\_PHOTOGRAPHS\\_AND\\_SATELLITE\\_IMAGES\\_AND\\_GPS](https://www.researchgate.net/publication/280216336_GEOMORPHOLOGICAL_EVOLUTION_KIASHAH_R_LAGOON_USING_AERIAL_PHOTOGRAPHS_AND_SATELLITE_IMAGES_AND_GPS)
- [59] Lahijani, H., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V. & Hosseindoost, M. Evidence for late Holocene highstands in Central Guilan–East Mazandaran, South
- [38] [https://www.researchgate.net/profile/Adam-Young-7/publication/259092542\\_Estimating\\_cliff\\_retreat\\_in\\_southern\\_California\\_considering\\_sea\\_level\\_rise\\_using\\_a\\_sand\\_balance\\_approach/links/5a1f1b30aca272cbfc2d291/Estimating-cliff-retreat-in-southern-California-considering-sea-level-rise-using-a-sand-balance-approach.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Adam-Young-7/publication/259092542_Estimating_cliff_retreat_in_southern_California_considering_sea_level_rise_using_a_sand_balance_approach/links/5a1f1b30aca272cbfc2d291/Estimating-cliff-retreat-in-southern-California-considering-sea-level-rise-using-a-sand-balance-approach.pdf)
- [39] Arazmsa, A., Razhmkhah, F., Predicting the Position and Changes of the Coastline in the Gulf of Pazm by 2010, *Journal of Earth and Space Physics*, 2010. Year 36, Issue 4, Pages 89-98. (Persian).
- [40] <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=197335>
- [41] Shayan, S; Yamani, M; Abdullahi Kakroudi, A; Amunia, H, Estimation of shoreline changes in the Caspian delta basin using digital shoreline digital analysis system (deltas: Haraz, Babolrood and Talar Quantitative Geomorphological Research), 2020, Year 8, No. 4, pp. 34-46. (Persian).
- [42] <https://www.sid.ir/fa/JOURNAL/ViewPaper.aspx?id=528248>
- [43] Saunders, M, Leon, J, Phinn, S, Callaghan, D, O'Brien, K.R, Roelfsema, Ch, Lovelock, C, Lyons M & Mumby, P. Coastal retreat and improved water quality mitigate losses of seagrass from sea level rise, *Global Change Biology*, 2013, 19: 2569-2583.
- [44] [https://www.researchgate.net/publication/236129338\\_Coastal\\_retreat\\_and\\_improved\\_water\\_quality\\_mitigate\\_losses\\_of\\_seagrass\\_from\\_sea\\_level\\_rise](https://www.researchgate.net/publication/236129338_Coastal_retreat_and_improved_water_quality_mitigate_losses_of_seagrass_from_sea_level_rise)
- [45] Khoshnavan, H. Beach sediments, Morphodynamics and risk assessment Caspian Sea coast, Iran, *Quaternary international journal*, 2007. 167-168, 35-39.
- [46] <https://www.sid.ir/FileServer/SE/595E20141178>
- [47] Khoshnavan, H., Naqinezhad, A., Alinejad-Tabrizi, T., Yanina, T., Effects of the Caspian Sea water level change on Boujagh National Park, southwest the Caspian Sea, *Caspian J. Environ. Sci*, 2021. Article in press.
- [48] [https://cjes.guilan.ac.ir/article\\_4503](https://cjes.guilan.ac.ir/article_4503)

- Caspian coast, Iran, Quaternary International, 2009, 197, 55–71.
- [60] [https://www.researchgate.net/publication/229385482\\_Evidence\\_for\\_late\\_Holocene\\_highstands\\_in\\_Central\\_Guilan-East\\_Mazanderan\\_South\\_Caspian\\_coast\\_Iran](https://www.researchgate.net/publication/229385482_Evidence_for_late_Holocene_highstands_in_Central_Guilan-East_Mazanderan_South_Caspian_coast_Iran)
- [61] Kousari, S 1986, Evolution of Sefidroud Delta, Development in Geological Education, 1: 51-62.
- [62] Kazancı N, Gulbabazadeh T, Leroy SA & Ileri Ö, Sedimentary and environmental characteristics of the Guilan-Mazandaran plain, Northern Iran, influence of long and short term Caspian water level fluctuations on geomorphology, Journal of Marine System, 2004, 46: 145- 148.
- [63] Ghahreman, A, Naqinezhad, AR & Atar, F, Habitats and flora of the Chamkhaleh-Jirbagh coastline and Amirkelayeh Wetland. Journal of Environmental Studies, 2004, 33: 46-67.
- [64] <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=5153>
- [65] Füssel, H. M. and Klein, R. J. T.: Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking, Climatic Change, 2006, 75, 301–329.
- [66] <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-006-0329-3>
- [67] ManiMurali, R., Ankita, M., Amrita, S., & Vethamony, P., Coastal vulnerability assessment of Puducherry coast, India, using the analytical hierarchical process. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2013, 13(12), 3291-3311.
- [68] <https://nhess.copernicus.org/articles/13/3291/2013/>
- [69] Port and Maritime organization (PMO), Caspian Sea coastal zone monitoring, internal report, 2015, pages: 375.

## AUTHOR(S) BIOSKETCHES

**Khoshravan, H.**, Associated professor of Caspian Sea national research & study center, Water research institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran

✉ Email: [h\\_khoshravan@yahoo.com](mailto:h_khoshravan@yahoo.com)

 [0000-0001-5535-7689](https://orcid.org/0000-0001-5535-7689)

این قسمت توسط نشریه تکمیل می‌گردد:



## HOW TO CITE THIS ARTICLE

DOR: 20.1001.1.15621057.1401.13.51.9.2

 <http://doi.org/10.52547/joc.13.51.9>

 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1673-fa.html>

 <https://orcid.org/0000-0001-5535-7689>



## COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.