



Golestan University



Journal of the Climate Change Research

Scientific Journal of Golestan University  
Vol. 5, No. 18, Summer 2024



## Vulnerability assessment of coastal areas to sea level rise under the influence of climate change scenarios (case study: Pars Special Economic Energy)

Hana Etemadi<sup>1</sup>, Esmail Abbasi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Environment, Persian Gulf Research Institute, Persian Gulf University, Bushehr, Iran,  
Email: H.etemadi@pgu.ac.ir

<sup>2</sup> Department of Environment, Persian Gulf Research Institute, Persian Gulf University, Bushehr, Iran,  
Email: Esmail.abbasi@pgu.ac.ir

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

Article history:  
Received: 2024-2-13  
Accepted: 2024-4-15

**Keywords:**  
Risk Assessment  
Water level rise  
Persian Gulf, Sentinel  
Pars Special Economic  
Energy

### ABSTRACT

Coastal areas are the most important and sensitive areas to the effects of climate change, especially rising sea levels, which experience dangers and damage with a higher degree of confidence. The purpose of this study is to assess the vulnerability of coastal areas of Pars Energy Special Economic Zone (Asaluyeh and Kangan) located to increase the water level of the Persian Gulf. The data used in this research include tidal data of Kangan, Bushehr and Imam Hassan stations, digital elevation model, aerial photographs of the region and Sentinel 2 satellite images related to MSI sensor in the range. Visible and infrared is close to the electromagnetic spectrum to make a true color combination with a spatial resolution of 10 meters. The results showed that, the highest risk is related to petrochemical complexes with infrastructure near the coast. The southern region of Pars One, in the area of establishment of related and downstream industries and Bidkhoon mangrove forests with an expansion of more than 100 hectares, are at the highest risk even with a half meter rise in sea level. Failure to pay attention to the risk of rising sea levels could cause significant economic damage to petrochemical companies and related industries in the future, as well as to fragile and fragile coastal ecosystems. Therefore, a regional management strategy is essential to reduce this risk. One way to deal with this risk is to build ridge hills and use underwater breakwaters with T-head groin on beaches at risk of flooding.

**Cite this article:** Etemadi, H., Abbasi, E. (2024). Vulnerability assessment of coastal areas to sea level rise under the influence of climate change scenarios (case study: Pars Special Economic Energy). *Journal of the Climate Change Research*, 5 (18), 93-112.



©The author(s)

Publisher: Golestan University

Doi: 10.30488/CCR.2024.443096.1202



نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی



فصلنامه علمی دانشگاه گلستان

سال پنجم / شماره مسلسل هجدهم / تابستان ۱۴۰۳ / صفحات: ۹۳-۱۱۲



## ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق ساحلی نسبت به افزایش سطح آب دریا تحت تاثیر سناریوهای تغییر اقلیم (مطالعه موردی: منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس)

هانا اعتمادی<sup>۱</sup>، اسماعیل عباسی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> گروه محیط زیست، پژوهشکده خلیج فارس، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران، رایانامه: H.etemadi@pgu.ac.ir

<sup>۲</sup> گروه محیط زیست، پژوهشکده خلیج فارس، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران، رایانامه: Esmail.abbasi@pgu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله کامل علمی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۲۷</p> <p>واژه‌های کلیدی: ارزیابی آسیب‌پذیری افزایش سطح آب دریا خلیج فارس سنتینل منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس</p>	<p>مناطق ساحلی مهمترین و حساس‌ترین مناطق به اثرات ناشی از تغییر اقلیم بویژه افزایش سطح آب دریا می‌باشند که پیامدهای وخیم و آسیب‌های ناشی از آن را با درجه اطمینان بالاتری تجربه می‌کنند. هدف از این تحقیق ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق ساحلی واقع در محدوده منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (عسلویه و کنگان) نسبت به افزایش سطح آب خلیج فارس است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های جزر و مدی ایستگاه‌های کنگان، بوشهر و امام حسن، مدل رقومی ارتفاعی، داده‌های ارتفاعی و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ به منظور ساخت ترکیب رنگی حقیقی با اندازه تفکیک مکانی ۱۰ متر می‌باشد. نقشه آب گرفتگی منطقه مورد مطالعه در صورت افزایش نیم، یک و دو متری سطح آب دریا تهیه شد. نتایج نشان داد که بیشترین آسیب‌پذیری افزایش سطح آب دریا مرتبط با مجتمع‌های پتروشیمی نزدیک به ساحل می‌باشد. منطقه پارس جنوبی یک در نواحی رویش جنگل‌های مانگرو و صنایع پایین دستی در معرض بیشترین آسیب‌پذیری قرار دارد به طوری که حتی با نیم متر افزایش سطح آب دریا اراضی قابل توجهی به زیر آب خواهد رفت. عدم توجه به خطر بالا آمدن سطح آب دریا می‌تواند در آینده خسارت اقتصادی هنگفتی را به شرکت‌های پتروشیمی و صنایع مرتبط همچنین به اکوسیستم‌های حساس و شکننده ساحلی وارد سازد. بنابراین استراتژی مدیریتی منطقه‌ای برای کاهش این آسیب‌پذیری امری ضروری است. یکی از راه‌های مقابله با این آسیب‌پذیری، ساخت تپه‌های رگه‌ای و استفاده از موج شکن‌های معلق در زیر آب به همراه گرون‌های T شکل در سواحل تحت خطر آب گرفتگی است.</p>

**استناد:** اعتمادی، هانا؛ عباسی، اسماعیل. (۱۴۰۳). ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق ساحلی نسبت به افزایش سطح آب دریا تحت تاثیر سناریوهای تغییر اقلیم (مطالعه موردی: منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس). نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۵ (۱۸)، ۹۳-۱۱۲.

Doi: 10.30488/CCR.2024.443096.1202

ناشر: دانشگاه گلستان  
© نویسندگان.



## مقدمه

گاز دی‌اکسید کربن به دلیل حجم بالای آن در جو کره زمین به عنوان مهمترین گاز گلخانه‌ای به شمار می‌رود و امروزه به عنوان عامل اصلی گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی شناخته می‌شود. چهار اثر اصلی تغییرات آب و هوایی شامل افزایش درجه حرارت، تغییر در میزان بارش، افزایش سطح آب دریاها و تشدید سایر متغیرهای اقلیمی مانند سرعت باد می‌باشند. تغییرات آب و هوایی همچنین باعث ایجاد تغییرات آهسته در فیزیک و شیمی اقیانوس جهانی، از جمله اسیدی شدن و گرم شدن آب، از بین رفتن یخ دریا و افزایش سطح آب دریا می‌شود (IPCC, 2019). افزایش سطح آب دریا و افزایش فرکانس‌های شدید سطح آن به طور گسترده‌ای در میان بالاترین اولویت‌های اقلیمی توسط سیاست‌گذاران در نظر گرفته می‌شود. تغییرات سطح آب دریا ابتدا در نتیجه انبساط حرارتی سطح آب دریا و ذوب شدن یخ‌های قطبی رخ می‌دهد. این افزایش سطح، نیاز به سازگاری در امتداد سواحل کم ارتفاع در سراسر جهان را افزایش می‌دهد (Becker et al., 2023). مناطق ساحلی کم ارتفاع از نظر هیدرولوژیکی شامل مناطق قاره‌ای و جزیره‌ای است که یا متصل به دریا هستند یا تا ۱۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارند (Bosselle et al., 2022). از دست دادن خط ساحلی در واقع پاسخ اکوسیستم به افزایش سطح آب دریا است (Wasson et al., 2013; Fagherazzi et al., 2019). با این حال در دشت‌های ساحلی کم ارتفاع، اثرات افزایش سطح آب دریا و نفوذ آب شور محدود به پهنه‌های ساحلی نیست (White and Kaplan, Manda et al., 2014). افزایش پدیده‌های حادی جو مثل طوفان‌های حاره‌ای در نتیجه تغییرات آب و هوایی می‌تواند ورودی آب شور را به داخل ساحل افزایش دهند (Tully et al., 2019). یکی از برجسته‌ترین تغییرات ایجاد شده در سواحل در نتیجه ورود آب شور به آن، مرگ و میر سریع کل توده

درختان (جنگل‌های ارواح) است که با تراکم بالای درختان مرده و ایستاده مشخص می‌شود (Kirwan and Gedan 2019). با اینکه درختان ساحلی می‌توانند در برابر شوری دوره‌ای مقاومت کنند اما استرس اسمزی شرایط مزمن شور مانع از جوانه‌زنی می‌شود و در نهایت منجر به مرگ و میر درختان می‌شود (Munns and Tester 2008, Kirwan and Gedan 2019). تحقیقات انجام شده جهت پیش‌بینی پتانسیل از بین رفتن تالاب‌های ساحلی تقریباً به طور کامل بر افزایش سطح آب دریا متمرکز شده است، به طوری که Schuerch et al., 2018 تخمین زده‌اند که تا سال ۲۱۰۰ نزدیک به ۳۰ درصد از تالاب‌ها می‌توانند در زیر آب دریا قرار بگیرند. حتی بعضی از پژوهش‌ها نسبت بزرگتری از مقدار گفته شده را برآورد کرده‌اند (Kirwan et al., 2016; Spencer et al., 2016). افزایش در میانگین سطح آب دریا باعث افزایش خطر آب گرفتگی و سیل در مناطق ساحلی کم عمق، فرسایش سواحل ماسه‌ای و جزایر همچنین نفوذ شوری در زمین‌های مجاور آب دریا و از بین رفتن تالاب‌های ساحلی خواهد شد (Gesch. 2009). سازمان برنامه علمی تغییر اقلیم در آمریکا (CCSP) بیان داشت که چهار فاکتور اولیه و موثر در حساسیت مناطق ساحلی به افزایش تراز آبی دریا شامل ارتفاع کم، فرسایش سواحل، پویایی تالاب‌های ساحلی و ساختارهای انسانی می‌باشد (U.S. Climate Change Science Program, 2008). نواحی پست و کم ارتفاع ساحلی با دلتای عریض رودخانه‌ای، در معرض بیشترین تهدید نسبت به افزایش سطح آب دریای ناشی از تغییر اقلیم هستند. طبق پنجمین گزارش IPCC در سال ۲۰۱۳ میزان افزایش سطح متوسط آب دریا با قطعیت متوسط، در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ بر اساس مدل‌های اقلیمی برای RCP2.6، ۰/۵۴-۰/۲۶ متر، RCP4.5، ۰/۶۲-۰/۳۲ متر، RCP6.0، ۰/۶۲-۰/۳۳ متر و برای RCP8.5، ۰/۸۱-۰/۴۵ متر خواهد بود (IPCC, 2013). طی پژوهش انجام گرفته توسط Warrick و همکاران

را تجربه خواهند کرد. Chust و همکاران در سال ۲۰۰۹ نشان دادند که درجه حرارت ۱۰۰ متر بالایی ستون آب در خلیج بیسکی تا ۲۱۰۰ به میزان ۱/۵ درجه سانتی‌گراد با سناریو A1B و تا ۲/۰۵ درجه سانتی‌گراد با سناریو A2 افزایش خواهد داشت. Vafaei et al. (2011) نقشه پهنه‌بندی آب‌گرفتگی ساحل جنوب ایران (بندرعباس) ناشی از افزایش سطح آب دریا در اثر تغییر اقلیم را ترسیم کردند. نتایج حاصل از مطالعه آنان نشان داد که نرخ آب‌گرفتگی از سناریو حال حاضر تا بدترین سناریو ۳/۵ برابر می‌باشد؛ درحالی‌که این نرخ برای کاربری مسکونی ۳۴ برابر تشخیص داده شد که مشخص می‌کند در سواحل بندرعباس، کاربری مسکونی بیشترین آسیب را نسبت به افزایش سطح آب دریا خواهد داشت. همچنین Strauss et al. (2012) نشان دادند که نیمی از سواحل شرق و غرب در ایالات متحده آمریکا در آسیب‌پذیری بالا یا آسیب‌پذیری فوق‌العاده بالا نسبت به افزایش سطح آب دریا هستند و جمعیتی حدود ۳/۷ میلیون نفر در معرض این آسیب‌پذیری قرار دارند. بر اساس تحقیق Goharnejad et al. (2013) میزان افزایش سطح آب دریا در سواحل استان بوشهر ۳۶ الی ۷۲ سانتی‌متر در بهترین (A1B) و وخیم‌ترین (A2) سناریوی های IPCC به ترتیب پیش‌بینی کردند. طبق یافته‌های Murali et al. (2015) در بررسی افزایش سطح آب دریا و آسیب‌پذیری کاربری‌های ساحلی در منطقه ساحلی کوچین<sup>۱</sup> هندوستان مشخص شد با سناریوهای افزایش سطح آب دریا در حد ۱ و ۲ متر، نواحی ساحلی با مساحتی به ترتیب برابر با ۱۶۹ و ۵۹۸ کیلومتر مربع به زیر آب خواهند رفت که برای کاربری شهری این میزان ۴۳ و ۱۸۷ کیلومتر به ترتیب با افزایش یک و دو متر سطح آب دریا پیش‌بینی شد. Benassai و همکاران در سال ۲۰۱۵ در بررسی ارزیابی آسیب‌پذیری و آسیب‌پذیری ساحلی دشت رسوبی سله (Sele) در جنوب ایتالیا نسبت به افزایش سطح آب با در نظر گرفتن دوره بازگشت سیل و حرکات عمودی ساحل به این نتیجه رسیدند که بخش

(۱۹۹۶) میزان افزایش جهانی سطح آب دریا را ۸۶-۲۰ cm و متوسط مقدار این افزایش را ۴۵ سانتیمتر تا انتهای قرن ۲۱ پیش‌بینی کرده‌اند (Warrick et al., 1996). در برخی مناطق میزان افزایش سطح آب دریا از متوسط جهانی بیشتر بوده که شرایط را برای این مناطق ساحلی در آینده از نظر خسارات مالی و وقایع فاجعه آفرین بسیار وخیم‌تر خواهد کرد (Hallegatte et al., 2011). به‌طور مثال طبق تحقیقات Bellard و همکاران (۲۰۱۳) تقریباً ۶٪ از ۴۴۴۷ جزیره مورد بررسی در سطح جهان به طور کامل تحت یک متر افزایش سطح آب دریا به زیر آب خواهند رفت. گوهرنژاد و همکاران در سال ۲۰۱۳ میزان افزایش سطح آب دریا را برای برخی ایستگاه‌های اندازه‌گیری جذر و مد در سواحل جنوب کشور ارزیابی و شبیه‌سازی کردند که طبق نتایج در سناریو خوش‌بینانه ۲۴ سانتی‌متر و در بدترین سناریو ۷۲ سانتی‌متر افزایش سطح آب در دریای عمان و خلیج فارس از سال ۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰ پیش‌بینی کردند که این اعداد در ایستگاه‌های مختلف متفاوت بود. قابل ذکر است آب‌گرفتگی ساحلی آسیب جدی به نواحی شهری ساحلی وارد خواهد کرد (Strauss et al., 2015).

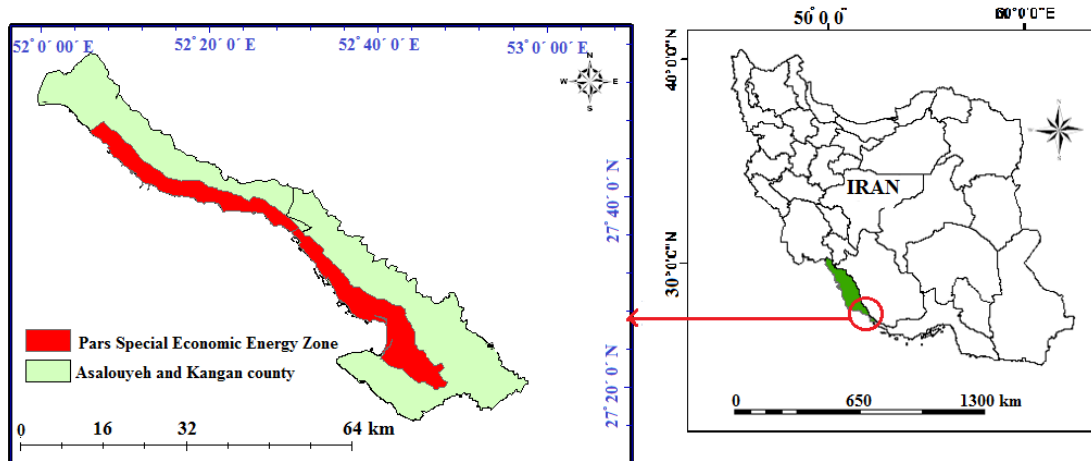
از اولین تحقیقات انجام شده در زمینه افزایش سطح آب دریا و خطرات آب‌گرفتگی ساحل می‌توان به مطالعه‌ای که توسط Bondesan et al. (1995) اشاره نمود که افزایش ۶۶ سانتی‌متری سطح آب دریا را در سواحل اطلس شمالی پیش‌بینی کردند. طی مطالعه انجام شده توسط Poulter و همکاران در سال ۲۰۰۸ از داده‌های لیدار به منظور تهیه مدل رقومی ارتفاع از منطقه ساحلی شمال کالیفرنیا جهت ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق ساحلی به افزایش سطح آب دریا استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند نرخ و میزان آب‌گرفتگی به قدرت تفکیک‌پذیری افقی بستگی دارد به‌طوری‌که طبق سناریو خوش‌بینانه ۴۰ سانتی‌متر افزایش تراز سطح آب دریا ۷۶۰ کیلومتر مربع و براساس سناریو بدبینانه ۹۰ سانتی‌متر افزایش تراز سطح آب دریا، ۱۱۴ کیلومتر مربع، خطر آب‌گرفتگی

از وضع موجود و آتی سواحل آسیب‌پذیر این منطقه در برابر این افزایش سطح آب دریا می‌باشد.

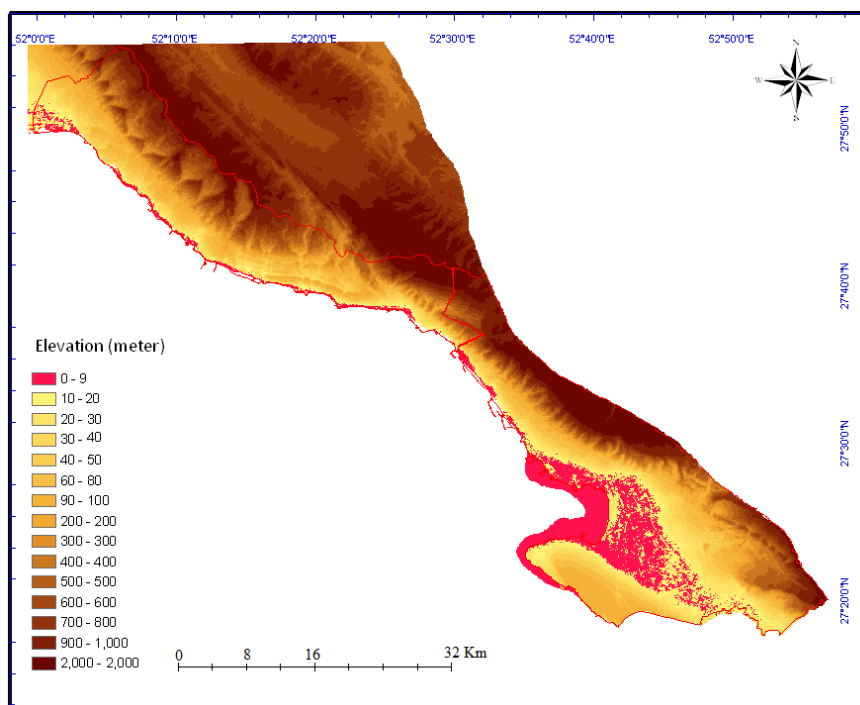
### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (عرض ۲۷ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۲۷ درجه ۳۰ دقیقه شمالی و طول ۵۲ درجه و ۷ دقیقه تا ۵۲ درجه ۵۰ دقیقه شرقی) واقع در محدوده شهرستان‌های عسلویه و کنگان می‌باشد که در شکل ۱ نشان داده شده است. منطقه پارس جنوبی با ۱۴ هزار هکتار وسعت شامل ۱۶ فاز فرآوری گاز و ۱۵ مجتمع پتروشیمی و نیز صنایع پایین دستی پتروشیمی، صنایع مختلف مرتبط و صنایع نیمه سنگین است که فازهای ۱ تا ۱۰ و ۱۵ تا ۱۸ به بهره برداری رسیده است و فازهای ۲۰ و ۲۱ نیز در این منطقه اجرا شده است. منطقه پارس کنگان به وسعت ۱۶ هزار هکتار، شامل ۸ فاز پالایشگاهی و یک طرح LNG می‌باشد. ساخت فازهای ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۹، ۲۲، ۲۳ و ۲۴ و کارخانه (IRAN LNG) در این منطقه برنامه ریزی و اجرا شده است. این منطقه با توجه به حجم بالای صنایع سنگین و سبک از مناطق مهم استراتژیکی کشور می‌باشد. از دیدگاه ژئومورفولوژیکی در محدوده مناطق نیمه مرتفع زاگرس و مناطق پست و هموار پهنا ساحلی زاگرس قرار دارد. اراضی تحت حفاظت سازمان محیط زیست در منطقه مطالعاتی پارک ملی دریایی نایبند به وسعت ۲۱۲۵۰۰ هکتار در شهرستان عسلویه می‌باشد که از مناطق منحصر به فرد زیست محیطی کشور دارای جنگل‌های مانگرو بیدخون و بساتین و طبیعتی بی نظیر می‌باشد.

شمالی منطقه مطالعاتی که جمعیت بالایی را در خود جای داده است بیشترین خطر و بخش جنوبی با داشتن سواحل عریض‌تر و تپه‌های شنی تقریباً دست نخورده کمترین آسیب‌پذیری آب گرفتگی را تجربه می‌کنند. (Aucelli Ciro et al., 2017) در ارزیابی خطر آب گرفتگی دشت آبرفتی ساحلی ولترنو در جنوب ایتالیا ناشی از افزایش سطح آب دریا به این نتیجه رسیدند که با افزایش سطح آب دریا به میزان ۳۰ سانتی‌متر در سال ۲۰۶۵، حدود ۵۰ درصد (برابر ۸/۲ کیلومتر مربع) اراضی مورد مطالعه به زیر آب خواهد رفت. به دلیل اثرات مخرب افزایش سطح آب دریا بر مناطق ساحلی و پیامدهای وخیم حاصل از آن بر جمعیت‌های انسانی و سیستم طبیعی در حال حاضر و آینده نزدیک و افزایش رشد جمعیتی در این مناطق، مطالعه آسیب‌پذیری و تعیین خطر آب گرفتگی ساحل و برآورد میزان خسارات وارده به سیستم‌های طبیعی و تاسیسات موجود به عنوان مبنای مطالعات آینده به‌خصوص در مناطق ساحلی تحت حفاظت محیط زیست امری ضروری و اجتناب ناپذیر می‌باشد (Meehl et al., 2007). با توجه به تاسیسات زیربنایی فراوان و وجود تعداد بالای شرکت‌های گاز و پتروشیمی در منطقه ویژه اقتصادی پارس که آن را به بزرگترین میدان گازی جهان تبدیل کرده، مطالعه اثرات تغییرات سطح آب دریا بر آینده شرکت‌های پتروشیمی عسلویه امری ضروری و اجتناب ناپذیر می‌باشد. در این راستا اتخاذ راهکارهای مناسب علمی و اجرایی توسعه پایدار و با ملاحظات ویژه زیست‌محیطی بیش از پیش احساس می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات افزایش سطح آب دریا (خلیج فارس) در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس و همچنین ارائه تصویری شفاف



شکل ۱- جانمایی منطقه مورد مطالعه (محدوده پارس یک منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس)



شکل ۲- نقشه رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه

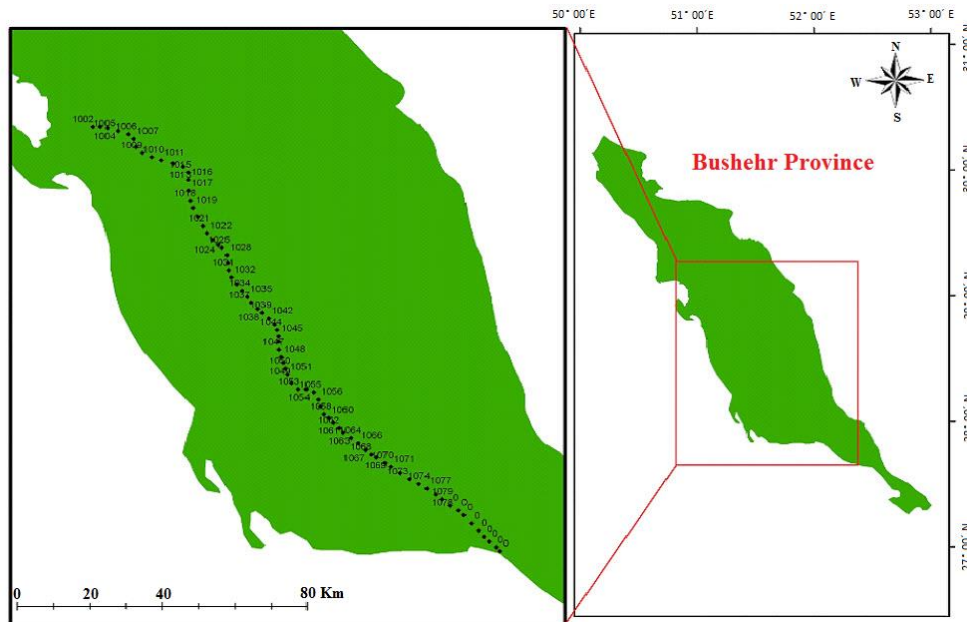
### داده‌ها و روش‌ها

**تغییرات ارتفاعی:** شبکه‌های ترازیبی سراسری کشور توسط سازمان نقشه‌برداری به منظور ایجاد نقاط مبنایی برای شبکه کنترل میکروژئودزی همچنین به منظور ایجاد سیستم ارتفاعی یکسان برای تهیه نقشه‌های پوششی کشور راه اندازی شد. مشاهدات انجام شده با تجهیزات دیجیتالی (ترازیاب دیجیتالی Dini12 زایس، سه پایه یک پارچه غیر تاشو مخصوص ترازیبی، شاخص بارکد برای ترازیب رقومی

Dini12 زایس با میله‌های نگهدارنده ثابت و مجهز به تراز کروی مخصوص، و دستگاه ترمومتر تفاضلی که فشار هوا را با دقت ۱ میلی‌متر جیوه و دمای هوا را در ارتفاع‌های ۰/۵ متر، ۱/۵ متر و ۲/۵ متری شاخص با دقت ۰/۱ درجه سانتیگراد و دمای روی نوار را با دقت ۰/۵ درجه سانتیگراد به طور هم‌زمان اندازه‌گیری می‌کند) سنجیده می‌شود. شکل ۳ جانمایی ایستگاه‌های ترازیبی موجود در استان بوشهر طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۷ را نشان می‌دهد(سازمان نقشه برداری کشور،

ارتفاعی در استان بوشهر می‌باشد. قابل ذکر است که نقاط GPS دائم در منطقه عسلویه و کنگان توسط سازمان نقشه برداری راه اندازی نشده است.

سایر نقاط ساحلی نزدیک به منطقه عسلویه و کنگان طی راه‌اندازی تاسیسات گازی همچنین صنایع نفتی و پتروشیمی عسلویه از بین رفته بودند و این سری نقاط تنها شاخص‌های موجود تعیین تغییرات



شکل ۳- جانمایی ایستگاه‌های تراز یابی موجود در استان بوشهر طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۷

پراکندگی مناسب آنها در کرانه ساحلی استان بوشهر می‌باشد. به منظور تعیین تغییرات تراز نسبی دریا ابتدا میانگین ماهانه تراز دریا از طریق بررسی داده‌های جزرومدی ایستگاه بوشهر طی یک دوره آماری ۱۴ ساله و همچنین داده‌های ایستگاه جزرومدی خارک طی یک دوره آماری ۱۹ سال بدست آمد؛ سپس با منطبق کردن رگرسیون خطی، روند تغییرات تراز نسبی دریا در هر دو منطقه تعیین و سپس با برون‌یابی این خط روند، مقدار تراز نسبی دریا تا پایان قرن ۲۱ تعیین گردید.

آنالیز داده‌های جزرومدی به منظور تعیین میزان افزایش سطح آب دریا در منطقه مطالعاتی: نوسان‌ها تراز دریا از جمله پارامترهای مهم دریایی است که امروزه از اولویت‌ها فیزیکی دریا به شمار می‌رود. در این مطالعه از داده‌های ایستگاه جزرومدی بندر امام حسن، واقع در بخش شمالی استان بوشهر، ایستگاه جزرومدی بوشهر، واقع در بخش میانی و ایستگاه کنگان، واقع در جنوب استان استفاده گردید. مختصات و دیگر مشخصات ایستگاه‌ها در جدول شماره ۱ آورده شده است. انتخاب این ایستگاه‌ها به دلیل

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های جزرومدی مورد مطالعه

ایستگاه‌های جزرومدی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	سال تاسیس	میانگین (میلیمتر)	انحراف معیار
بوشهر	28.49	50.48	1994	2351	52
کنگان	27.83	52.55	1989	2160	96
امام حسن	29.83	50.25	1990	1862	159

مفهوم به تاخیر انداختن یا جلو انداختن موجک و بیان کننده موقعیت موجک روی محور زمان است. تبدیل گسسته موجکی جهت پیش پردازش و تحلیل سری‌های زمانی مناسب‌تر از تبدیل پیوسته موجکی می‌باشد، زیرا داده‌ها اجزای اضافی نداشته و بنابراین تبدیل معکوس موجک را می‌توان برای هر دسته از داده‌های زمان بسامد بکار برد. فرآیند تجزیه سیگنال شامل یک یا چند مرحله است که در تجزیه چند مرحله‌ای، موج پس از اولین مرحله تفکیک با تجزیه مجدد قسمت تقریبی، تجزیه موج ادامه می‌یابد. در این مطالعه برخی از موجک‌های مادر مثل Haar, Db2, Coif1 و Doibechies (از مرتبه ۲) مورد استفاده قرار گرفتند (Goharnejad., 2013).

**سیستم استنتاج عصبی فازی انطباقی (ANFIS):** سیستم‌های استنتاج فازی، یک چهارچوب محاسباتی پرترفدار بر مبنای مفهوم مجموعه‌های فازی، قواعد if-then و استدلال فازی هستند. ساختار پایه‌ای سیستم‌های استنتاج فازی از سه بخش مفهومی تشکیل می‌شود. بخش اول، قواعدی هستند که شامل گزینشی از قواعد فازی می‌باشند. بخش دوم، پایگاه داده است که توابع عضویت مورد استفاده در قواعد فازی، در قالب آن تعریف می‌شود و در نهایت بخش سوم، سازوکار استنتاج است که روال استنتاج توسط آن و به کمک قواعد و حقایق موجود، برای رسیدن به یک خروجی معقول انجام می‌پذیرد (Goharnejad, 2013).

ساختار ANFIS، دو مجموعه داده آموزش پذیر دارد: پارامترهای تابع عضویت اولیه (مقدم) و پارامترهای چندجمله‌ای (نتیجه)، ساختار ANFIS، از یک الگوریتم گرادیان نزولی، برای بهینه‌سازی پارامترهای اولیه و از یک الگوریتم حداقل مربعات برای حل پارامترهای نتیجه استفاده می‌کند. هر قانون در ساختار ANFIS به شکل رابطه زیر است:

رابطه (۴)

IF  $x_1$  is  $A_1$ ,  $j$  AND  $x_2$  is  $A_2$ ,  $j$  AND AND  $x_n$  is  $A_n$ ,  $j$   
THEN  $y = c_0 + c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$

در رابطه بالا  $A_i$ ,  $j$  آزمون عبارت زبان شناختی آزمون متغیر ورودی  $x_i$  است.  $n$  تعداد ورودی‌ها و  $y$

**تئوری موجک:** موجک‌ها توابع ریاضی هستند که شکل مقیاس - زمان از سری‌های زمانی و روابط آنها جهت تحلیل سری‌های زمانی که شامل متغیرها و استفاده از فاصله غیرثابت‌ها می‌باشد را ارائه می‌دهد. تحلیل موجکی قادر به نمایش جنبه‌های مختلف داده‌های متفاوت، نقاط شکست و ناپیوستگی‌ها می‌باشد که ممکن است دیگر روش‌های تحلیل سیگنال آنها را نشان ندهند (طوفانی و همکاران، ۱۳۹۰). موجک دارای سه مشخصه تعداد نوسان محدود، بازگشت سریع به صفر در هر دو جهت مثبت و منفی در دامنه خود و میانگین صفر است که شرط مقبولیت نامیده می‌شود.

$$\int \varphi(t) dt = 0 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $\varphi(t)$  تابع موجکی می‌باشد. در مباحث مربوط به موجک دو نوع تبدیل موجکی وجود دارد: ۱- تبدیل موجکی پیوسته (CWT) ۲- تبدیل موجکی گسسته. تبدیل موجکی پیوسته با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$CWT_s^\varphi(s, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int S(t) \varphi_{s,\tau}^*(t) dt \quad \text{رابطه (۲)}$$

رابطه فوق تابعی از دو متغیر  $s$  و  $\tau$  است که  $\tau$  نشان دهنده انتقال،  $s$  بیانگر مقیاس (عکس بسامد) و علامت \* نشان دهنده مزدوج مختلط است.  $S(t)$  نیز تابع موجک مادر می‌باشد. پارامترهای  $s$  و  $\tau$  اعداد حقیقی هستند و  $s$  همیشه مثبت است که ممکن است مقادیر پیوسته یا گسسته به خود بگیرد.  $s$  و  $\tau$  در تبدیل موجکی پیوسته دارای مقادیر پیوسته و در تبدیل گسسته دارای مقادیر گسسته هستند.  $\varphi(t)$  تابع موجک مادر نامیده می‌شود. به عبارت دیگر موجک مادر، موجک اصلی برای تولید توابع پنجره دیگر است. کلیه توابع پنجره  $\varphi_{s,\tau}^*(t)$  که از تابع مادر ساخته می‌شوند از رابطه زیر بدست می‌آیند (ضریب مقیاس با یکی از حروف  $a$  یا  $s$  نشان داده می‌شود (Goharnejad, 2013).

$$\varphi_{s,\tau}(t) = \varphi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

مقیاس به طور ساده به معنای کشیده شدن یا فشرده شدن موجک می‌باشد و میزان کشش یا مدت زمان موجک را بیان می‌کند. انتقال موجک به طور ساده به

اجرای محاسبه می‌کند. لایه ی چهارم (لایه انطباقی) هر گره در این لایه، یک تابع خطی است و ضرایب این تابع از طریق ترکیبی از تقریب حداقل مربعات و پس انتشار، تعدیل می‌شود.

$$w_i f_i = w_i (C_0 + C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_n X_n) \quad \text{رابطه (۸)}$$

لایه پنجم (لایه خروجی): نتایج این لایه به عنوان مجموعی از خروجی‌های گره‌های لایه‌های قبلی، به دست آمده است:

$$\sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum w_i f_i}{\sum w_i} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$\bar{w}_i f_i$  خروجی گره  $i$ ام در لایه قبلی است (Guan et al., 2008). در ادامه مطالعات و با توجه به پارامترهای انتخابی تحت دو سناریو اقلیمی CGCM3، به نام‌های A1b و A2 تغییرات سطح آب در ایستگاه‌های بوشهر، کنگان و امام حسن که در خط ساحلی استان بوشهر قرار دارد مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از مدل مورد اشاره شبیه‌سازی انجام شد.

**صحت‌سنجی خروجی‌های مدل:** میزان قابلیت اعتماد و اعتبار داده‌های اقلیمی کوچک مقیاس توسط پنج شاخص متفاوت آماری سنجیده می‌شود. این شاخص‌ها شامل  $R^2$ ، RMSE می‌باشد که معادلات آن به شرح ذیل می‌باشد:

$$R^2 = \left[ \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})(O_i - \bar{O})}{\sigma_s \times \sigma_o} \right]^2 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2 \right]^{1/2} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$O_i$  برابر مقادیر مشاهداتی،  $S_i$  مقادیر شبیه‌سازی شده و  $N$  نشان دهنده تعداد داده‌های مشاهداتی در طول دوره مشاهداتی،  $\sigma$  واریانس،  $\bar{O}$  و  $\bar{S}$  میانگین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره زمانی مشاهداتی می‌باشند. دامنه معادله مربع  $R$  بین صفر و یک می‌باشد مقادیر بالاتر نزدیک به یک نشان دهنده اشتباه واریانس کمتر و همبستگی بالاتر مقادیر مشاهداتی و

خروجی مدل و  $C_i$  پارامترهای نتیجه، که در فرایند آموزش تعیین شده‌اند هستند. از آنجایی که هر قانون یک خروجی قطعی دارد، خروجی کلی از طریق میانگین وزنی، به دست می‌آید. در ساختار ANFIS لایه‌های متوالی برای وظایف مختلفی همانند ایجاد یک فرآیند تصفیه‌ای تدریجی مدل، اختصاص می‌یابد.

در خلال فرآیند جلوگذر، پارامترهای اولیه (مقدم)، ثابت‌اند و پارامترهای نتیجه، با استفاده از الگوریتم حداقل مربعات، بهینه‌سازی می‌شوند. فرآیند عقب‌گذر، برای تعدیل پارامترهای اولیه توابع عضویت برای متغیرهای ورودی، از الگوریتم گرادینان نزولی استفاده می‌کند. خروجی به عنوان یک میانگین وزنی پارامترهای نتیجه محاسبه می‌شود. هر خطای خروجی برای تعدیل پارامترهای مقدم، از الگوریتم پس انتشار استفاده می‌کند. لایه ی اول (لایه ی ورودی و خروجی توابع عضویت) در این لایه ی خروجی هر گره عبارت است از:

رابطه (۵)

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y) \text{ for } i=3,4 \quad O_{1,i} = \mu_{A_i}(X) \text{ for } i=1,2$$

رابطه بالا  $O_{1,i}(x)$  ضرورتاً درجه عضویتی برای  $x$  و  $y$  است.

لایه دوم (لایه‌ی قوانین) همه گره‌ها در این لایه ثابت‌اند. این لایه، قدرت هر قاعده را با استفاده از ضرب جبری، همانند رابطه زیر، ارائه می‌کند:

$$w_i \prod \mu_{A_j}(x_j), i=1,2 \quad j=1, \dots, n \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این لایه، هر گره از حاصل ضرب مقادیر ورودی در لایه قبلی، به دست می‌آید ارزش به دست آمده، نشان دهنده قدرت اجرایی  $w_i$  لایه قاعده، جایی که متغیر  $X_j$  ارزش زبان شناختی  $A_i$  را دارد می‌باشد. لایه سوم (لایه نرمال‌سازی): در این لایه، قدرت قاعده (قانون)، همانند رابطه ی زیر نرمال سازی می‌شود.

$$W = \frac{w_i}{\sum w_i} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در رابطه بالا  $w_i$  قدرت اجرایی  $w_i$  لایه قاعده می‌باشد. تعداد گره‌های این لایه همانند لایه‌های قبلی است. این لایه قدرت اجرایی قاعده را برای مجموع قواعد قدرت

مناطق با ارتفاع بین یک تا ۴ متر برداشت شد. بطوری که مربع میانگین خطای تولید شده به حد نصف یک پیکسل برسد. پس از تهیه DEM به ۱۲ کلاس بین صفر متر تا بیش از ۲۰۰ متر طبقه بندی شد، به طوری که کلاس‌های یک تا ۴ به دلیل اهمیت آن در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری افزایش سطح آب دریا به صورت یک متر، یک متر طبقه‌بندی شد.

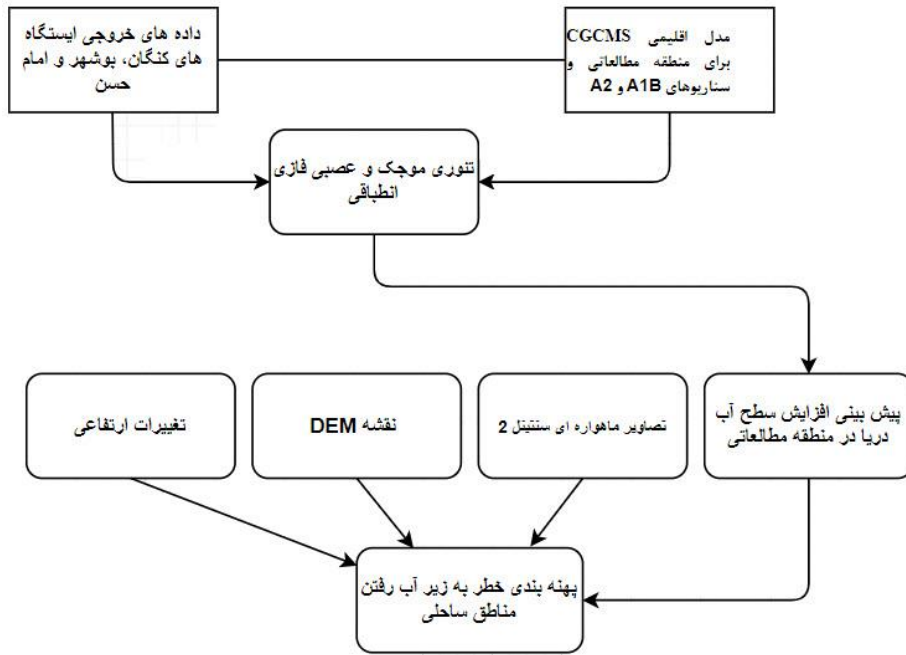
#### پهنه‌بندی خطر به زیر آب رفتن مناطق ساحلی:

داده‌های مورد استفاده جهت پهنه‌بندی خطر به زیر آب رفتن مناطق ساحلی در این مطالعه شامل تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ مربوط به سنجنده MSI<sup>۳</sup> از سایت سازمان فضایی اروپا (ESA) به تاریخ ۲۶ ژوئن ۲۰۱۶ در سطح تصحیحات L1C با توان تفکیک ۱۰ متر در باندهای مرئی از زون ۳۹ می‌باشد. تصویر مذکور دارای عرض برداشت ۲۹۰ کیلومتر و توان تفکیک زمانی ۵ روز در استوا می‌باشد همچنین دارای ۱۳ باند بوده که از باندهای محدوده‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک استفاده شد. تصاویر مذکور از سازمان فضایی اروپا تهیه گردید. ابتدا تصحیحات هندسی انجام شد سپس تصحیحات اتمسفری با SEN2COR انجام گرفت. کلیه پردازش‌ها و پیش پردازش‌های این تصاویر در محیط نرم‌افزار ENVI5.3 و ARCGIS10.1 انجام شد. برای تهیه نقشه آبرفتگی سواحل منطقه مورد مطالعه نقشه سه بعدی و نقشه DEM کلاس‌بندی شده در نرم افزار GIS فراخوانی شد سپس با دستورات روی هم‌گذاری لایه‌ها و تغییرات در سیمبولوژی و خصوصیات بصری تصاویر نقشه آب گرفتگی در افزایش نیمه، یک و دو متری افزایش سطح آب دریا در منطقه مورد مطالعه تهیه شد. فلوچارت روش کلی کار در شکل شماره ۴ قابل مشاهده است.

شبیه‌سازی شده می‌باشد (Van Liew et al., 2003). معادله RMSE از مقدار بهینه صفر تا یک مقدار بزرگ مثبت متغیر می‌باشد که مقدار صفر بیان کننده ارتباط قوی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد.

#### پهنه‌بندی مناطق آسیب پذیر ساحلی منطقه مورد مطالعه

**مدل رقومی ارتفاعی:** برای تهیه نقاط ارتفاعی ابتدا نقاط دارای مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) برای منطقه مطالعاتی به صورت ۱۰ فایل جداگانه نقاط و به تعداد حدود ۳۰۰ هزار نقطه برداشت شد. به منظور تعیین ارتفاع نقاط برداشت شد سپس کلیه نقاط به برنامه (Gps Visulaizzer) وارد شد و خروجی فایل متنی که حاوی x و y و z بود به صورت جداگانه وارد محیط نرم‌افزار (GIS) شد. مدل رقومی ارتفاعی<sup>۱</sup> یک لایه رستری است که حاوی اطلاعات مختصات و رقوم ارتفاعی (X,Y,Z) برای هر مکان با یک اندازه سلولی مشخص می‌باشد. مدل رقومی ارتفاع دارای خصوصیات لایه TIN<sup>۲</sup> است که از لایه وکتوری منحنی‌های تراز تهیه می‌شوند. اندازه شبکه سلولی داده رستری DEM که یک لایه رستری است به مقیاس نقشه‌ها مربوط می‌شود. برای تهیه DEM از نقاط هر ۱۰ فایل نقطه‌ای ابتدا فایل TIN و سپس خطوط کنتور ساخته شد. در نهایت با در دست داشتن این سه فایل، فایل رستری DEM از هر ۱۰ فایل بدست آمده ساخته شد. با موزایک کردن ۱۰ فایل DEM منطقه مطالعاتی یک فایل یک پارچه DEM از منطقه مورد مطالعه بدست آمد. به منظور صحت سنجی نقشه تولید شده از داده‌های کنترل زمینی استفاده شد (Linsay, 2006). تعداد ۲۰۰ نقطه از

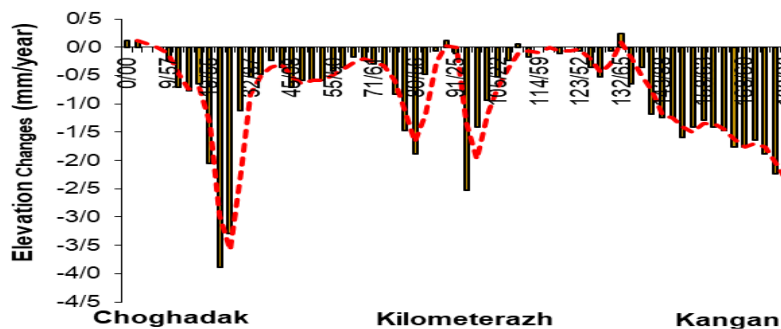


شکل ۴- فلوجارت روش کار

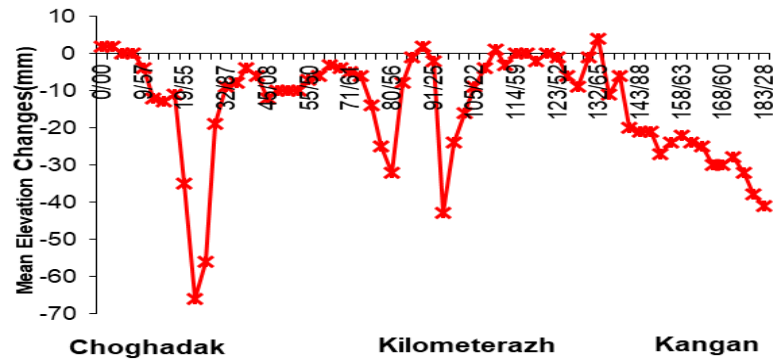
### نتایج و بحث

**تغییرات ارتفاعی:** شکل ۵ و ۶ به ترتیب میانگین تغییرات ارتفاعی سالیانه و نمودار تغییرات ارتفاعی ایستگاه‌های تراز یابی استان بوشهر از چغادک تا کنگان را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده طی ۱۸ سال نشان داد که بیشترین نشست مربوط به اهرم و مناطق حومه با بیش از ۴ میلی‌متر در سال می‌باشد و همچنین آبدان و بندر کنگان نشست‌ی به میزان حدود ۲/۵ میلی‌متر بر سال را تجربه کرده است. قابل ذکر

است که به دلیل فقدان یا تخریب شدن ایستگاه‌های تراز یابی در منطقه کنگان تا انتهای عسلویه، داده‌های تغییرات ارتفاعی این مناطق در دسترس نیست؛ ولی آنچه مسلم است نشست اراضی مورد نمونه‌برداری از چغادک تا کنگان می‌باشد؛ بنابراین با توجه به روند داده‌های موجود در این منطقه جهت شبیه‌سازی‌های آینده و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سواحل، میزان متوسط ۱/۵ میلی‌متر در سال نشست برای منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد.



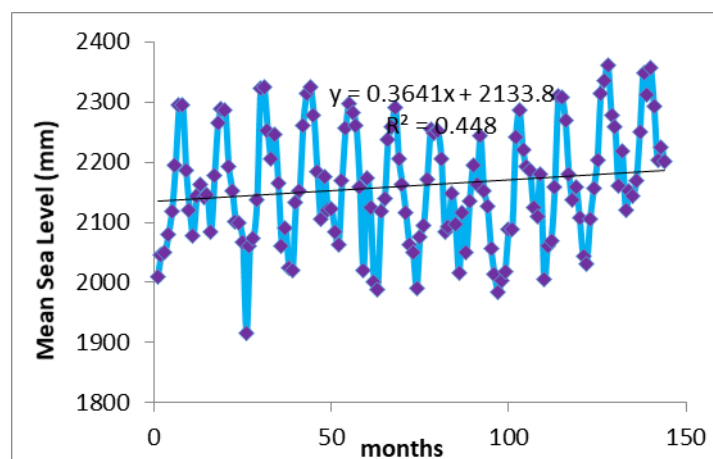
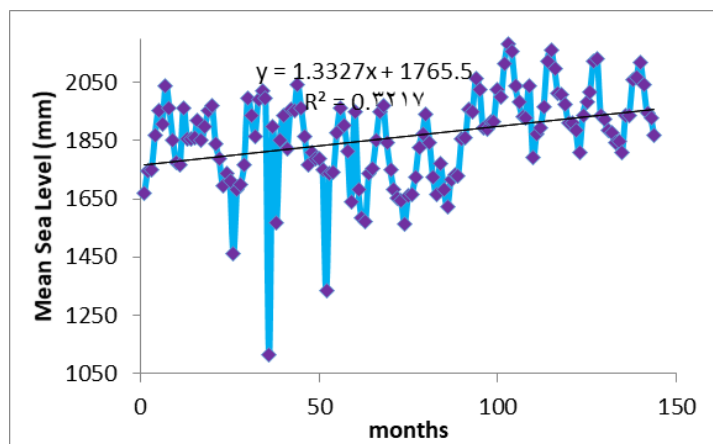
شکل ۵- نمودار میانگین تغییرات ارتفاعی سالیانه ایستگاه‌های تراز یابی موجود در استان بوشهر طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۷



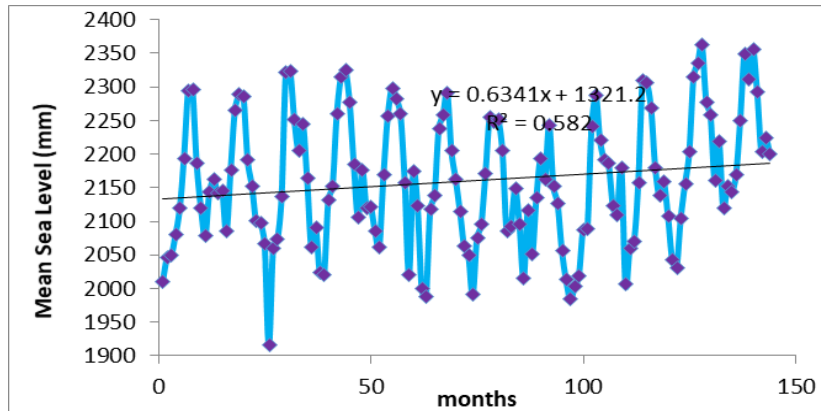
شکل ۶- نمودار تغییرات ارتفاعی ایستگاه‌های تراز یابی موجود در استان بوشهر طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۷

تراز آب دریا در ایستگاه‌های جزرومدی کنگان و امام حسن و بوشهر با استفاده از رگرسیون خطی در شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب آورده شده است.

تغییرات سطح آب دریا: تراز دریا در خلیج فارس بطور عمده تحت تاثیر تبادل آب در تنگه هرمز و شرایط جو در منطقه است. نتایج تعیین روند تغییرات



شکل ۷- نمودار تغییرات سطح تراز آب دریا موجود در ایستگاه کنگان (سمت چپ) و ایستگاه امام حسن (سمت راست) طی دوره ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴



شکل ۸- نمودار تغییرات سطح تراز آب دریا موجود در ایستگاه بوشهر طی دوره ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴

تغییرات اقلیمی انتخاب شد.

صحت‌سنجی خروجی‌های مدل: برطبق این مدل، عملکرد مدل‌های شبکه عصبی-مصنوعی-موجک که از Haar, Db2, Coif1 استفاده می‌کنند مدل Coif1 براساس شاخص‌های صحت‌سنجی عملکرد بهتری داشت (جدول ۲). بنابراین مدل Coif1 به عنوان بهترین مدل شبکه عصبی-مصنوعی-موجک برای شبیه‌سازی بالا آمدن سطح دریا در آینده تحت تأثیر

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های صحت‌سنجی

مقادیر شاخص‌های صحت‌سنجی		تابع موجک
R	RMSE	
۰/۶۵	۰/۱۳۱۷	Haar
۰/۷۳	۰/۱۲۱۹	Db2
۰/۶۶	۰/۱۲۱۳	Coif1

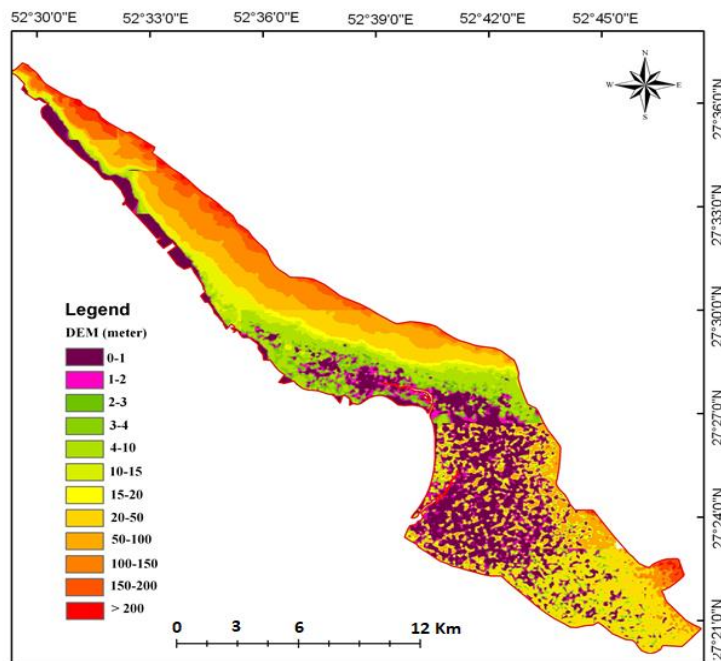
جدول ۳- مقادیر پیش‌بینی شده افزایش سطح آب دریای خلیج فارس

ایستگاه‌های جزرومدی	سناریوی تغییر اقلیم	مدل شبیه‌سازی	تابع موجک	افزایش سطح آب تا سال ۲۱۰۰ (سانتی‌متر)
امام حسن	CGCM3A1B	Anfis (Sub-Clustering)	HAAR	۴۸
			Bb2	۳۶
			Coif1	۳۶
	CGCM3A2	Anfis (Sub-Clustering)	HAAR	۷۲
			Bb2	۷۲
			Coif1	۷۲
کنگان	CGCM3A1B	Anfis (Sub-Clustering)	HAAR	۳۶
			Bb2	۲۵
			Coif1	۶۱
	CGCM3A2	Anfis (Sub-Clustering)	HAAR	۶۰
			Bb2	۷۲
			Coif1	۷۷
بوشهر	CGCM3A1B	Anfis (Sub-Clustering)	HAAR	۴۴
			Bb2	۳۶
			Coif1	۳۴
	CGCM3A2	Anfis (Sub-Clustering)	HAAR	۶۸
			Bb2	۷۰
			Coif1	۶۹

### پهنه بندی مناطق آسیب پذیر ساحلی منطقه اقتصادی پارس یک

مدل رقومی ارتفاعی: شکل ۹ نقشه مدل رقومی ارتفاعی DEM تهیه شده از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مطابق شکل مناطق با ارتفاع صفر برابر با سطح آب دریا تا بیش از ۲۰۰ متر با فواصل متناسب با کار ارزیابی آسیب پذیری آبگرفتگی طبقه بندی شده است. به طوری که تا ۴ متر اول با فواصل یک متر طبقه بندی شد. این نقشه به نوعی نمای کلی از مناطق با آب گرفتگی یک متر و دو متر را نمایان می‌سازد. همچنین نقشه ارتفاعی به عنوان عنصر اصلی استفاده شده در تولید نقشه های آبگرفتگی به شمار می‌رود.

پیش بینی: نتایج شبیه سازی و پیش بینی افزایش سطح آب دریا تا سال ۲۱۰۰ در ایستگاه‌های جزرومدی بوشهر، کنگان و امام حسن برای هر سه روش معرفی شده در جدول ۳ ارائه شده است. جدول بالا نشان می‌دهد تحت وخیم ترین سناریو تا سال ۲۱۰۰ در مناطق کنگان، بوشهر و امام حسن به ترتیب ۷۷، ۷۰ و ۷۲ سانتی متر افزایش سطح آب دریا رخ خواهد داد و در سناریوی خوش بینانه به ترتیب ۳۶، ۴۴ و ۴۸ سانتی متر افزایش سطح آب دریا اتفاق خواهد افتاد. بنابراین براساس این پیش یابی‌ها مقادیر افزایش سطح آب دریا در استان بوشهر بین ۴۴-۷۰ سانتی متر تا سال ۲۱۰۰ خواهد بود.



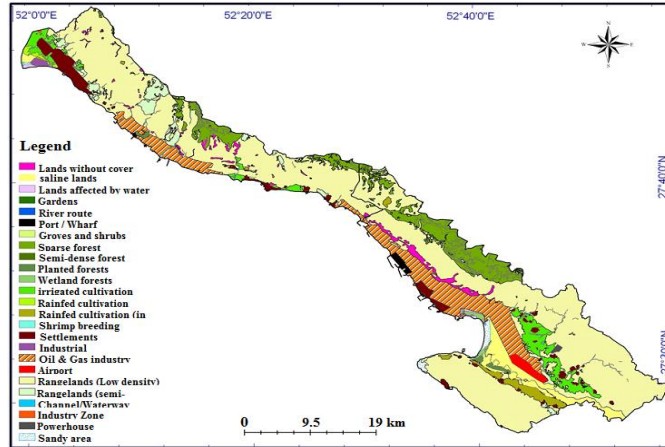
شکل ۹- نقشه مدل رقومی ارتفاعی تهیه شده از داده‌های ارتفاعی

ساحل شمالی و جنوبی منطقه ویژه اقتصادی پارس یک در صورت افزایش نیم متری سطح آب دریا نشان را می‌دهد. براساس نقشه آب گرفتگی ساحل شمالی واحدهای پتروشیمی نزدیک به ساحل واقع در مجتمع پتروشیمی تحت آسیب پذیری بالای آب گرفتگی می‌باشند. طبق نقشه آب گرفتگی جنوبی منطقه بخش قابل توجهی از جنگل‌های مانگرو و سایت‌های مربوط به صنایع مختلط، صنایع پایین دستی و صنایع نیمه

پهنه بندی آسیب پذیری آب گرفتگی بر اساس مقادیر پیش بینی شده سطح آب دریا: نقشه‌های آماده شده در این بخش یک ارزیابی سریع مناطق آب گرفته از افزایش سطح آب دریا در سه سناریو مختلف نیم، یک و دو متری افزایش سطح آب دریا می‌باشد. شکل ۱۰ نقشه کاربری منطقه ویژه اقتصادی با جانمایی فازهای پالایشگاهی، مناطق مسکونی و غیره را نشان می‌دهد. شکل ۱۱، نقشه آب گرفتگی مناطق

۲۳۲۵ هکتار) در صورت افزایش نیم متر سطح آب دریا خواهد بود.

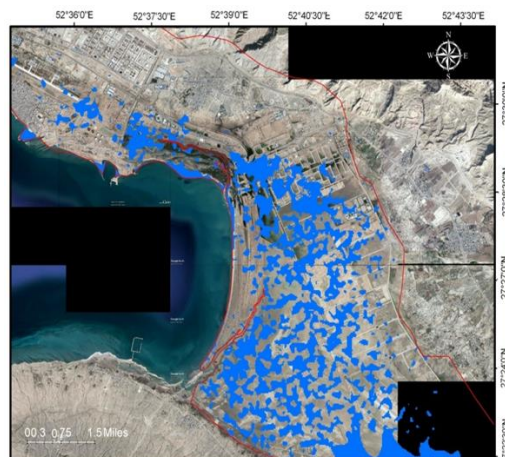
سنگین را در معرض آسیب‌پذیری بالای افزایش نیم متری سطح آب دریا نشان می‌دهد که این میزان ۱۵/۵ درصد از کل مساحت منطقه مورد مطالعه (حدود



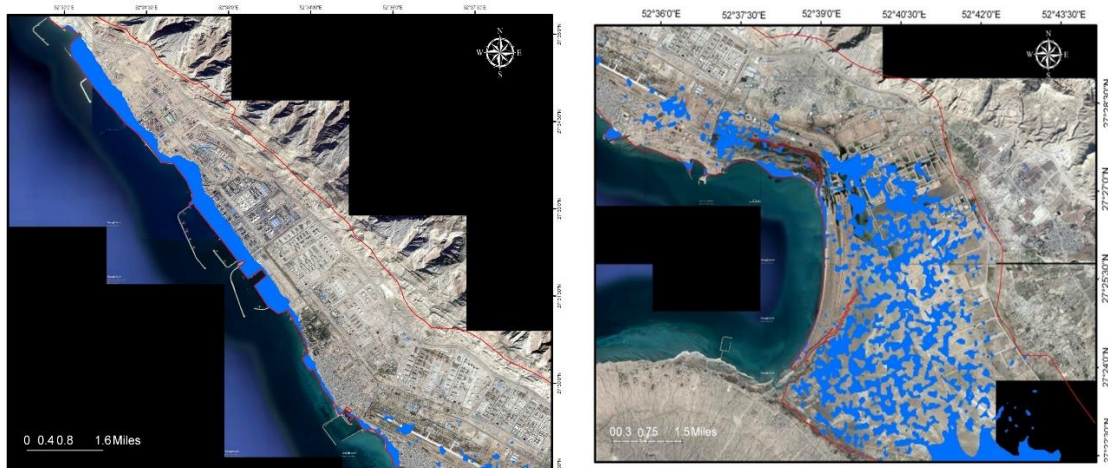
شکل ۱۰- نقشه کاربری اراضی منطقه ویژه انرژی اقتصادی پارس

متر سطح آب دریا خواهد بود. شکل ۱۳ نقشه آب گرفتگی مناطق قسمت شمال و جنوب منطقه ویژه اقتصادی در صورت افزایش دو متری سطح آب دریا نشان می‌دهد. همان طور که در نقشه مشخص است شهر های نخل تقی و عسلویه در معرض آسیب‌پذیری پایین آب گرفتگی حتی در دو متر افزایش سطح آب دریا می‌باشند. این میزان ۲۵/۴ درصد از کل مساحت منطقه ویژه (حدود ۳۸۷۵ هکتار) در صورت افزایش دو متر سطح آب دریا خواهد بود.

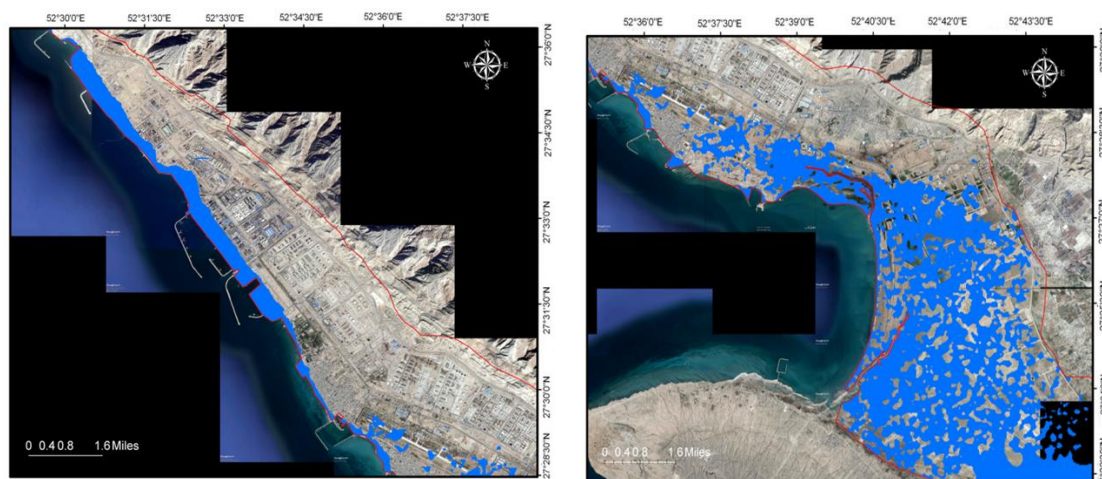
شکل ۱۲ نقشه آب گرفتگی مناطق قسمت شمال و جنوب منطقه ویژه اقتصادی پارس ۱ در صورت افزایش یک متری سطح آب دریا نشان می‌دهد. مناطق با آسیب‌پذیری بالای آب گرفتگی در افزایش یک متری سطح آب دریا مشابه مکان‌های اشاره شده در افزایش نیم متری سطح آب دریا بود ولی مساحت به زیر آب رفته در واقع عقب نشینی خط ساحلی بیشتر بود که این میزان ۲۰٫۱ درصد از کل مساحت منطقه مورد مطالعه به میزان ۳۱۱۵ هکتار در صورت افزایش یک



شکل ۱۱- نقشه آب گرفتگی ساحل شمالی (بالا) و جنوبی (پایین) منطقه ویژه اقتصادی در صورت افزایش نیم متری سطح آب دریا



شکل ۱۲- نقشه آب گرفتگی ساحل شمالی (بالا) و جنوبی (پایین) منطقه ویژه اقتصادی در صورت افزایش یک متری سطح آب دریا



شکل ۱۳- نقشه آب گرفتگی ساحل شمالی (بالا) و جنوبی (پایین) منطقه ویژه اقتصادی در صورت افزایش دو متری سطح آب دریا

مجتمع‌های پتروشیمی با زیرساخت‌های نزدیک به ساحل می‌باشد. منطقه جنوبی پارس یک در منطقه استقرار صنایع مرتبط و پایین دستی و جنگل‌های مانگرو بیدخون با بیش از ۱۰۰ هکتار گسترش در معرض بیشترین آسیب‌پذیری به افزایش سطح آب دریا حتی با نیم متر افزایش دارند. که در نظر نگرفتن این آسیب‌پذیری می‌تواند در آینده خسارت اقتصادی هنگفتی را به شرکت‌های پتروشیمی و صنایع مرتبط همچنین به اکوسیستم‌های حساس و شکننده ساحلی وارد سازد.

تحقیقاتی زیادی در دنیا به انجام رسیده است که آسیب‌پذیری آب‌گرفتگی ساحلی در نتیجه افزایش

آسیب‌پذیری آب گرفتگی مناطق ساحلی منطقه ویژه اقتصادی پارس ۱: بر طبق افزایش سطح آب دریای شبیه‌سازی در منطقه مورد مطالعه و نقشه‌های ترسیم شده آب گرفتگی مناطق ساحلی نشان داد که بسیاری از زیرساخت‌های انسان ساخت همچنین ساحل و پوشش گیاهی طبیعی مانگروها که دارای ارزش بیولوژیکی و محیط زیستی بالایی هستند از این میزان افزایش سطح آب دریا تاثیر خواهند پذیرفت. در سناریوهای نیم، یک و دو متر مساحت‌های بیشتری از ساحل به ترتیب با افزایش ۵ درصدی آب گرفتگی و عقب نشینی ساحل به زیر آب خواهند رفت. طبق نتایج بیشترین میزان آسیب‌پذیری مرتبط با

نیم متر افزایش سطح آب دریا هستند. با توجه به آنالیزهای انجام شده و نتایج بدست آمده اهمیت استراتژی مدیریتی منطقه‌ای برای کاهش این آسیب‌پذیری به خوبی نمایان است. یکی از راه‌های مقابله با این آسیب‌پذیری، ساخت تپه‌های رگه‌ای است که می‌تواند به‌عنوان یک مانع حفاظتی طبیعی در مقابل آب گرفتگی‌های ناشی از افزایش سطح آب دریا به کار رود (Rosenzweig, 2011). ولی باید به اقداماتی جهت کاهش فرسایش و از هم پاشیدن تپه‌ها مثل کاشت درختچه‌ها بر روی آنها توجه شود. یکی دیگر از راه‌های مقابله با افزایش سطح آب دریا استفاده از موج شکن‌های معلق در زیر آب به همراه گرون‌های T شکل در سواحل تحت آسیب‌پذیری آب گرفتگی است. ساخت دیوارها و استحکامات آبی از روش‌های گران قیمت می‌باشد که اثرات زیست محیطی بدی را نیز بر موجودات زیست کننده در منطقه آبی ساحلی برجای خواهد گذاشت. ولی در مناطق صنعتی که در معرض آسیب‌پذیری مستقیم و بالایی قرار دارند می‌تواند مورد استفاده به‌عنوان گزینه‌های حفاظتی قرار گیرد. مطالعات بیشتری در آینده در زمینه افزایش سطح آب دریا و افزایش ارتفاع سطح آب در نتیجه افزایش طوفان‌های دریایی با دوره‌های بازگشت متفاوت در این منطقه مورد نیاز می‌باشد چرا که افزایش سطح دریا می‌تواند ارتفاع حداکثر موج را در طوفان تا یک متر بالاتر از حد معمول افزایش دهد همچنین افزایش بیش از یک متر سطح آب دریا خواهد توانست شدت طوفان را تا ۲۰ درصد افزایش دهد. مطالعاتی از این دست خواهد توانست تخمین درستی در محاسبه میزان آب گرفتگی در هنگام طوفان‌ها و وقایع حدی را محاسبه کند. اطلاعات دقیق با جزئیات برای محاسبه کل دامنه آسیب‌پذیری و دارایی‌های مورد تعرض با افزایش سطح آب دریا در منطقه مورد نیاز است که پروژه‌های سنگین مهندسی ساحل به منظور حفاظت از تاسیسات ساحلی و جمعیت موجود را توجیه‌پذیر سازد.

سطح آب دریا را یک آسیب‌پذیری بالا برای کاربری‌های مختلف ساحلی معرفی کرده‌اند. مطالعه انجام شده توسط Poulter و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد با تهیه مدل رقومی ارتفاع از منطقه ساحلی شمال کالفرنیا و ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق ساحلی به افزایش سطح آب دریا نتیجه گرفتند در پیش‌بینی خوش بینانه ۴۰ سانتی متر افزایش تراز سطح آب دریا ۷۶۰ کیلومتر مربع و در پیش‌بینی بد بینانه ۹۰ سانتی متر افزایش تراز سطح آب دریا، ۱۱۴ کیلومتر مربع آسیب‌پذیری آب گرفتگی را تجربه خواهند کرد. همچنین Snoussi و همکاران (۲۰۰۸) ارزیابی آسیب‌پذیری سواحل مراکش در شرق دریای مدیترانه را نسبت به افزایش سطح آب دریا با حد بالا و پایین ۲۰ و ۸۶ سانتی متر مورد مطالعه قرار دادند نتایج تحقیق نشان داد که ۲۴٪ و ۵۹٪ از نواحی ساحلی با فرض حد پایینی و بالایی افزایش سطح آب دریا به زیر آب خواهند رفت و کاربری‌های مسکونی، تفریحی، کشاورزی و طبیعی از بین سایر کاربری‌ها در این نواحی ساحلی به ترتیب بیشترین آسیب‌پذیری را خواهند داشت. با افزایش سطح آب دریا همچنین انتظار می‌رود که اندازه و شکل فلت‌های جزرومدی و بدنه آبی ساحلی نیز تغییر کند. دشت‌های ساحلی ممکن است به صورت دائم به زیر آب روند همچنین جریان رسوب به دهانه خلیج با تغییر در بتی متری بدنه آبی به شدت تغییر خواهد کرد. الگوی رسوبگذاری و متعاقباً تغییرات فصلی در پروفایل ساحلی مسلماً تغییر خواهد کرد (Strauss et al., 2015).

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد بیشترین میزان آسیب‌پذیری مرتبط با مجتمع‌های پتروشیمی به زیرساخت‌های نزدیک به ساحل می‌باشد. منطقه جنوبی پارس یک در منطقه استقرار صنایع مرتبط و پایین دستی و جنگل‌های مانگرو بیدخون با بیش از ۱۰۰ هکتار گسترش، در معرض بیشترین آسیب‌پذیری حتی با

## منابع

10. Fagherazzi, S., S. C. Anisfeld, L. K. Blum, E. V. Long, R. A. Feagin, A. Fernandes, W. S. Kearney, and K. Williams. 2019. Sea level rise and the dynamics of the marsh-upland boundary. *Frontiers in Environmental Science* 7:1–18.
11. Gesch, D. B. (2009). Analysis of lidar elevation data for improved identification and delineation of lands vulnerable to sea-level rise. *Journal of Coastal Research*, (10053), 49-58.
12. Goharnejad, H., Shamsai, A., & Hosseini, S. A. (2013). Vulnerability assessment of southern coastal areas of Iran to sea level rise: evaluation of climate change impact. *Oceanologia*, 55(3), 611-637.
13. Guan, Jian., Zurada, Jozef and S. Levitan. Alan (2008), An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Based Approach to Real Estate Property Assessment, *Journal of Real Estate Research*, 30, 395-422.
14. Gupta, H. V. S., Sorooshian, P. O., Yapo., 1999. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(2), 135-143.
15. Hallegatte S, Ranger N, Mestre O, Dumas P, Corfee-Morlot J, Herweijer C, Wood R.M. (2011). Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: a case study on Copenhagen. *Climate Change*. 104(1):113–137.
16. IPCC ,(2013). The physical Science Basis. Summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, p. 18.
17. IPCC Summary for policymakers. In IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (eds Pörtner, H.-O. et al.,) 3–35 (World Meteorological Organization, 2019).
18. Kirwan, M. L., and K. B. Gedan. 2019. Sea-level driven land conversion and the formation of ghost forests. *Nature Climate Change* 9:450–457.
19. Kirwan, M. L., S. Temmerman, E. E. Skeehan, G. R. Guntenspergen, and S. Fagherazzi. 2016. Overestimation of marsh vulnerability to sea level rise. *Nature Climate Change* 6:253–260.
20. Lindsay, J. B. (2006). Sensitivity of channel mapping techniques to uncertainty in digital elevation data. *International Journal of*
1. طوفانی، پریوش، مساعدی، ابوالفضل، و فاخری‌فرد، احمد. (۱۳۹۰). پیش‌بینی بارندگی با استفاده مستقیم از نظریه موجک (مطالعه موردی: ایستگاه باران سنجی زرینگل استان گلستان). آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۵)، ۱۲۱۷-۱۲۲۶.
2. Aucelli, P. P. C., Di Paola, G., Incontri, P., Rizzo, A., Vilaro, G., Benassai, G., ... & Pappone, G. (2017). Coastal inundation risk assessment due to subsidence and sea level rise in a Mediterranean alluvial plain (Volturno coastal plain–southern Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 198, 597-609.
3. Becker, M., Karpytchev, M., & Hu, A. (2023). Increased exposure of coastal cities to sea-level rise due to internal climate variability. *Nature Climate Change*, 13(4), 367-374.
4. Bellard C, Lederc C, Courchamp F (2013) Impact of sea level rise on the 10 insular biodiversity hotspots. *GlobEcol Biogeogr* 23:203–212.
5. Benassai, G., Di Paola, G., Ciro Aucelli, P.P. (2015). Coastal risk assessment of a micro-tidal littoral plain in response to sea level rise. *Ocean & Coastal Management* 104 (2015) 22-35.
6. Bhattachan, A., R. E. Emanuel, M. Ardon, E. S. Bernhardt, S. M. Anderson, M. G. Stillwagon, E. A. Ury, T. K. BenDor, and J. P. Wright. 2018. Evaluating the effects of land-use change and future climate change on vulnerability of coastal landscapes to saltwater intrusion. *Elementa: Science of the Anthropocene* 6:62.
7. Bondesanf, M., Castiglioni, G. B., Elmis, C., Gabbianellis, G., Marocco, R., Pirazzolift, P. A., & Tomasin, A. (1995). Coastal areas at risk from storm surges and sea-level rise in northeastern Italy. *Journal of Coastal Research*, 1354-1379.
8. Bosserelle, A. L., Morgan, L. K., & Hughes, M. W. (2022). Groundwater rise and associated flooding in coastal settlements due to sea-level rise: a review of processes and methods. *Earth's Future*, 10(7), e2021EF002580.
9. Chust, G., Caballero, A., Marcos, M., Liria, P., Hernández, C., & Borja, Á. (2010). Regional scenarios of sea level rise and impacts on Basque (Bay of Biscay) coastal habitats, throughout the 21st century. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87(1), 113–124.

- committed to futures below sea level. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(44), 13508-13513.
30. Strauss, B. H., Ziemiński, R., Weiss, J. L., & Overpeck, J. T. (2012). Tidally adjusted estimates of topographic vulnerability to sea level rise and flooding for the contiguous United States. *Environmental Research Letters*, 7(1), 014033.
  31. Tully, K., et al., 2019. The invisible flood: the chemistry, ecology, and social implications of coastal saltwater intrusion. *Bioscience* 69:368–378.
  32. U.S. Climate Change Science Program, (2008). Synthesis and assessment product 4.1 Coastal sensitivity to sea-level rise: a focus on the mid- Atlantic region [draft]. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, [www.climatechange.gov/Library/sap/sap4-1](http://www.climatechange.gov/Library/sap/sap4-1).
  33. Vafaei, F., Harati, S. A. N., & Sabbaghian, H. (2012). Investigation of Coastal Inundation Due to a Rise in Sea Level (Temporary and Permanent). *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(1).
  34. Van Liew, M. W., Arnold, J. G., & Garbrecht, J. D. (2003). Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models. *Transactions of the ASAE*, 46(6), 1539-1551.
  35. Warrick, R. A., Provost, C. L., Meier, M. F., Oerlemans, J., & Woodworth, P. L. (1996). *Changes in sea level*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 359-405.
  36. Wasson, K., A. Woolfolk, and C. Fresquez. 2013. Ecotones as indicators of changing environmental conditions: rapid migration of salt marsh-upland boundaries. *Estuaries and Coasts* 36:654–664.
  37. White, E., and D. Kaplan. 2017. Restore or retreat? Saltwater intrusion and water management in coastal wetlands. *Ecosystem Health and Sustainability* 3: e01258.
  21. Manda, A. K., A. S. Giuliano, and T. R. Allen. 2014. Influence of artificial channels on the source and extent of saline water intrusion in the wind tide dominated wetlands of the southern Albemarle estuarine system (USA). *Environmental Earth Sciences* 71:4409–4419.
  22. Meehl, G. A., Stocker, T. F., Collins, W. D., Friedlingstein, P., Gaye, T., Gregory, J. M., ... & Zhao, Z. C. (2007). Global climate projections.
  23. Munns, R., and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59:651–681.
  24. Murali, R. M., & Kumar, P. D. (2015). Implications of sea level rise scenarios on land use/land cover classes of the coastal zones of Cochin, India. *Journal of environmental management*, 148, 124-133.
  25. Poulter, B., & Halpin, P. N. (2008). Raster modelling of coastal flooding from sea-level rise. *International Journal of Geographical Information Science*, 22(2), 167-182.
  26. Rosenzweig, C., Solecki, W. D., Blake, R., Bowman, M., Faris, C., Gornitz, V., ... & Zimmerman, R. (2011). Developing coastal adaptation to climate change in the New York City infrastructure-shed: process, approach, tools, and strategies. *Climatic change*, 106, 93-127.
  27. Schuerch, M., et al., 2018. Future response of global coastal wetlands to sea-level rise. *Nature* 561:231–234.
  28. Spencer, T., M. Schuerch, R. J. Nicholls, J. Hinkel, D. Lincke, A. t. Vafeidis, R. Reef, L. McFadden, and S. Brown. 2016. Global coastal wetland change under sea-level rise and related stresses: The DIVA Wetland Change Model. *Global and Planetary Change* 139:15–30.
  29. Strauss, B. H., Kulp, S., & Levermann, A. (2015). Carbon choices determine US cities