



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Vulnerability Assessment of the Northern Coasts of the Persian Gulf to Oil Spills

Kameleh Aghajanloo^{1*}, Mirali Mohammadi², Mehdi Yadegar Azadi³ and Farzad Ghatei⁴

¹Assist. Professor., Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran

²Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

³M.Sc. Alumni, Department of Water Science Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tehran University, Tehran, Iran

⁴M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Collage of Science and Technology, University of Maragheh, Maragheh, Iran

Article information

Received: February 19, 2021

Revised: July 21, 2021

Accepted: July 25, 2021

Keywords:

Levels of vulnerability

Oil spill

Persian Gulf

Risk potential

Abstract

The occurrence of oil spills in the seas and oceans causes many short-term and long-term damages to the coasts and marine ecosystems. Therefore, in order to reduce the damage, comprehensive coastal vulnerability maps can be provided to coastal management decision-makers as well as the emergency response team as a powerful tool. In the present study, by combining the mathematical model of oil slick routing and ArcGIS software, the northern coasts of the Persian Gulf were evaluated based on exposure to oil pollution. For this purpose, 20 hypothetical fall scenarios with oil type and time of random occurrence in summer and winter were designed. Then, using GNOME Lagrangian software, the path of the oil slick and its arrival time to the shores were simulated, and based on that, the matrix of exposure of each coastal area to pollution was formed. Finally, the northern shores of the Gulf were classified into five levels of vulnerability. The results showed that in summer Assaluyeh and Bushehr ports with a cumulative probability of 120 and 94%, respectively, and in winter Assaluyeh port with a cumulative probability of 119% in all scenarios were in a very high vulnerability. In addition, the ports of Bushehr and Assaluyeh had the highest potential for damage to the region. According to the results of this study, coastal vulnerability is significantly affected by seasonal changes in climatic conditions and flow conditions.

*Corresponding author:

aghajanloo@maragheh.ac.ir



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open access article distributed under the CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.



Introduction

The occurrence of oil spill in marine environment can cause short-term and long-term irreparable damage to coasts, ports, and especially to aquatic ecosystems. In order to minimize the harmful effects, it is essential to have basic management tools to support emergency response actions. One of the most important strategies is to determine the vulnerability of areas to accidents. Due to the importance of the northern coasts of the Persian Gulf in terms of exposure to various types of oil pollution, providing a support system using GNOME processor mathematical model and GIS capabilities to determine the vulnerability of these areas was determined as the main objective of this research work.

Methodology

To implement the stochastic modeling process, first, a database of environmental data and physicochemical properties of the type of oil transported by ships in the region were prepared. During the simulation, the input data of the models were randomly collected from this bank. Moreover, the areas with the highest potential for oil spills were identified as pollution release points and the areas with the highest probability of receiving oil pollution were identified as pollution receiving areas. Accordingly, in order to cover the maximum possible uncertainties in the studies, hypothetical oil spill scenarios were designed in which the behavior of oil in the days after the spill was simulated using GNOME software. The outputs of the mathematical model used are not presented quantitatively. Therefore,

by entering the model outputs into the ArcGIS environment, the amount of oil distribution in each area and the amount of pollution exposure of the coastlines were calculated. Thus, based on criteria such as the frequency of exposure to oil pollution and the retention time of oil slicks in selected areas, the vulnerability of each area to oil spills and high-risk scenarios were evaluated. By transferring the quantitative analysis data to the ArcGIS environment, a map of the vulnerability of the northern coasts of the Persian Gulf to oil spills was prepared.

Results

According to the scenarios defined in this study, the northern coast of Qeshm Island and the areas around Imam Khomeini Port in both seasons (summer and winter) have the lowest vulnerability to oil spills. In addition, in summer, Genaveh, Bushehr, Assaluyeh and Kangan ports and in winter, the Assaluyeh port area are at the highest level of vulnerability. In fact, as expected, most of the coastal areas are in the range of moderate to high vulnerability due to the diversion of oil to the coast in summer. According to the results, the ports of Assaluyeh and Bushehr and the point near the Strait of Hormuz in both summer and winter are among the areas with high damage levels. In other words, in the event of an accident, oil could contaminate a large part of the Gulf coast. Fig. 1 shows the cumulative exposure of each zone to the oil spills for different scenarios. Moreover, the Classification of oil spill points in designed scenarios are mapped in Fig. 2.

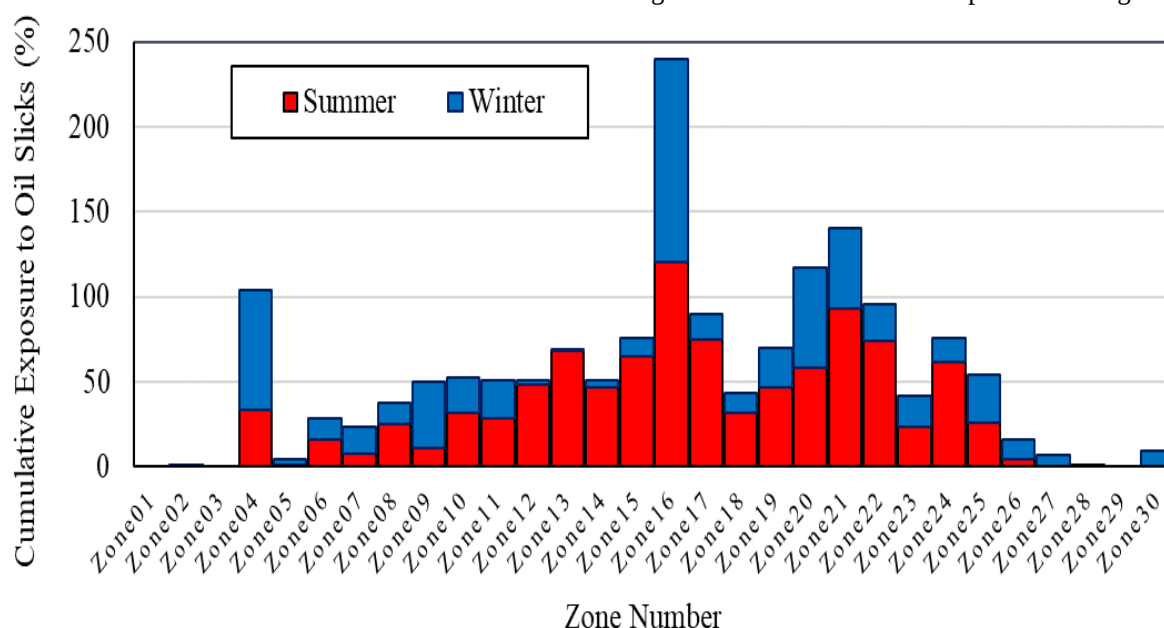


Fig. 1 Cumulative exposure of each zone to oil spills for different scenarios

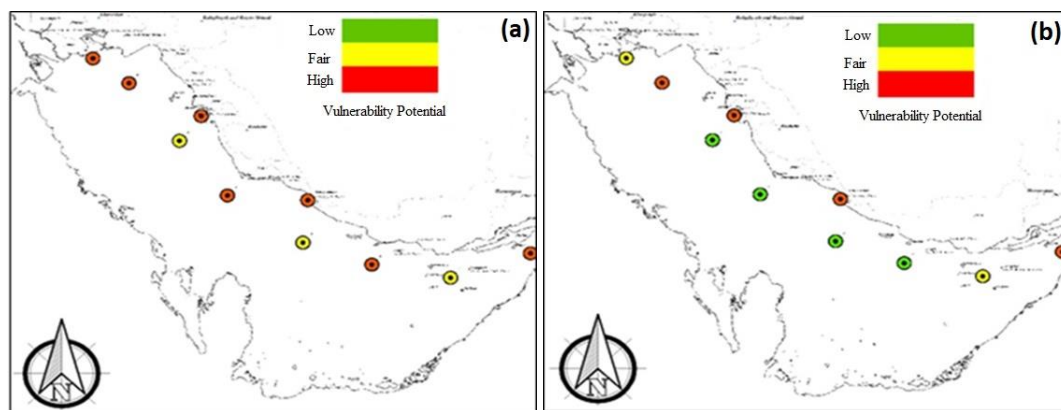


Fig. 2 Classification of oil spill points in designed scenarios: a) Summer and b) Winter

Conclusions

In summer, the ports of Genaveh, Bushehr, Assaluyeh and Kangan and in winter, the port of Assaluyeh are at the highest level of vulnerability. Based on the oil retention time in different areas, the southern areas of Qeshm Island, and Kangan and Bushehr Port with the highest average oil retention time in all scenarios are introduced as the most vulnerable areas. In both summer and winter, in the event of an accident in the area of Qeshm Island and the ports of Bushehr and Assaluyeh, it can cause the

most damage to the northern shores of the Gulf. Therefore, it is necessary to adopt more detailed instructions to maintain safety in the area.

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir



مقاله پژوهشی

ارزیابی آسیب پذیری سواحل شمالی خلیج فارس در برابر ریزش های نفتی

کامله آقاجانلو^{۱*}، میرعلی محمدی^۲، مهدی یادگار آزادی^۳ و فرزاد قاطعی^۴^۱استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران^۲استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران^۳دانش آموخته کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی علم و فن، ارومیه، ارومیه، ایران^۴دانشجوی کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۱۲/۰۱]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۴/۳۰]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۵/۰۳]

واژه های کلیدی:

پتانسیل خطر

خلیج فارس

ریزش نفتی

سطوح آسیب پذیری

*نویسنده مسئول:

aghajanloo@maragheh.ac.ir

وقوع ریزش های نفتی در دریاها و اقیانوس ها موجب بروز آسیب های کوتاه مدت و بلندمدت بسیاری به سواحل و بوم سازگان دریایی می شوند. بنابراین به منظور کاهش خسارات، نقشه های جامع آسیب پذیری سواحل می توانند به عنوان ابزاری قدرتمند در اختیار تصمیم گیرندگان مدیریت سواحل و نیز تیم مقابله اضطراری با ریزش ها قرار بگیرند. در پژوهش حاضر، با تلفیق مدل ریاضی مسیریابی لکه نفتی و نرم افزار ArcGIS، سواحل شمالی خلیج فارس بر اساس مواجهه با آلودگی های نفتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. به همین منظور، ۲۰ سناریو ریزش فرضی با نوع نفت و زمان وقوع تصادفی در فصل های تابستان و زمستان طراحی شدند. سپس با استفاده از نرم افزار لاگرانژی GNOME مسیر حرکت لکه نفتی و زمان رسیدن آن به سواحل شبیه سازی شد و بر اساس آن ماتریس مواجهه هر ناحیه ساحلی با آلودگی تشکیل شد. در نهایت، سواحل شمالی خلیج به پنج سطح آسیب پذیری طبقه بندی شدند. نتایج نشان داد که در تابستان محدوده بندرهای عسلویه و بوشهر با احتمال تجمعی به ترتیب ۱۲۰٪ و ۹۴٪ و در زمستان بندر عسلویه با احتمال تجمعی ۱۱۹٪ در کل سناریوها در رده آسیب پذیری بسیار بالا قرار گرفتند. همچنین، بندرهای بوشهر و عسلویه بالاترین ضریب پتانسیل آسیب رسانی به منطقه را به خود اختصاص دادند. بر اساس نتایج این پژوهش، آسیب پذیری سواحل به طور قابل توجهی تحت تأثیر تغییرات فصلی شرایط اقلیمی منطقه و وضعیت جریان قرار دارد.

۱- مقدمه

جا می شوند. دلایل متفاوتی همچون انفجار یا غرق شدن نفتکش ها، نشت از لوله های انتقال در عمق آب ها و یا انفجار سکوها، می توانند باعث انتشار انواع فرآورده های نفتی در دریاها شوند. این آلودگی ها به دلیل آسیب های کوتاه مدت و

توسعه اقتصادی و پیشرفت های صنعتی جوامع در دهه های اخیر موجب افزایش چشمگیر تمایل به اکتشاف، استخراج و مصرف سوخت های فسیلی شده است. بخش قابل توجهی از این مواد از طریق دریاها و اقیانوس ها در سراسر جهان جابه-

موفقیت پروژه تضمین می گردد (Vethamony et al. 2007; Kankara et al. 2016). در تهیه نقشه های جامع از مناطق تحت تأثیر آلودگی و به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت های دخیل در مسئله، می بایست سناریوهای مختلفی مشابه دنیای واقعی در نظر گرفته شود. براین اساس، استفاده از مدل های ریاضی به دلیل قابلیت شبیه سازی سریع تر سناریوهای ریزش و در نتیجه امکان در نظر گرفتن طیف وسیعی از پارامترهای دخیل در مسائل می تواند بسیار مؤثر واقع شود. همچنین، تلفیق نتایج مدل سازی ریاضی با نرم افزارهای GIS، امکان ارزیابی مکانی دقیق تر مسیر حرکت نفت، میزان مواجهه بخش های مختلف منطقه با آلودگی نفتی و سطوح تأثیرپذیری آن ها را فراهم می سازد (Kankara and Subramanian 2007; Nelson et al. 2015; Balogun et al. 2021).

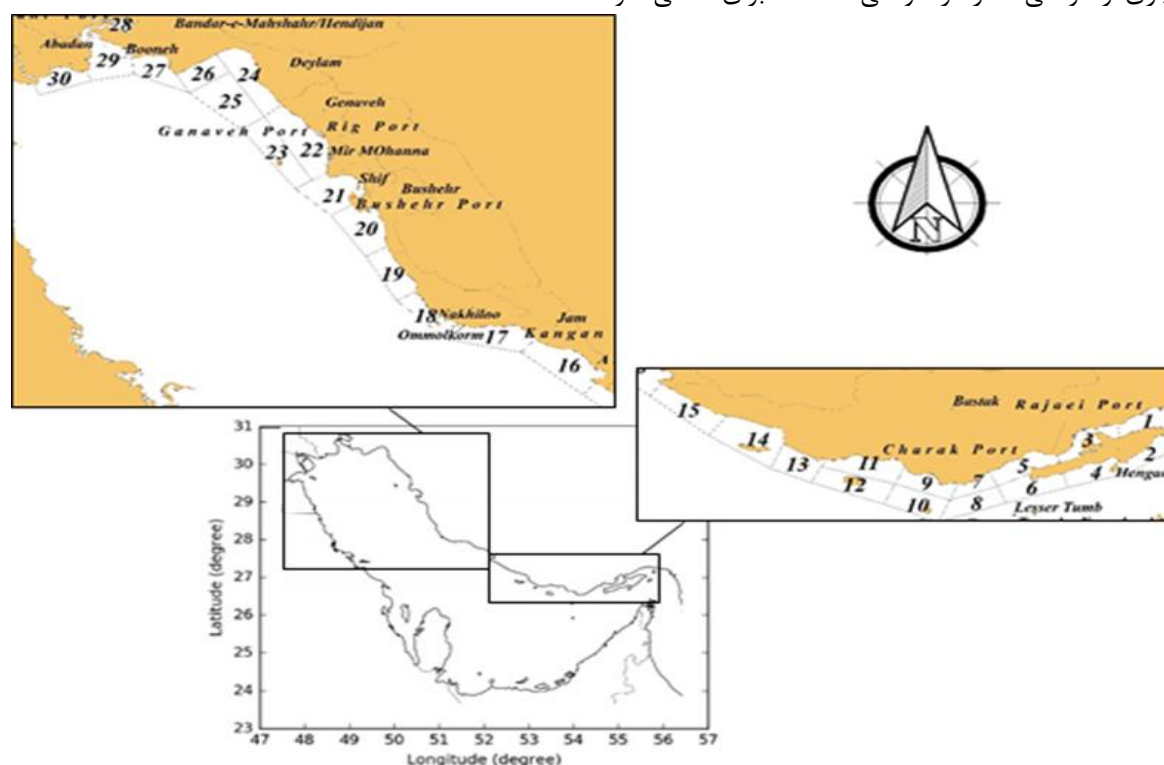
(Nelson et al. 2015) در تحقیقات خود یک ساختار ارزیابی آسیب پذیری مکانی در برابر حوادث نفتی در خلیج مکزیک را ارائه دادند که در آن از مدل ریاضی BLOSOM به منظور شبیه سازی انتشار لکه نفتی استفاده گردید. Liu et al. (2015) مطالعات خود را با هدف توسعه یک مدل احتمالی ارزیابی خطرات ریزش نفت در چین انجام دادند. ایشان با استفاده از تصاویر ماهواره ای همراه با داده های حوادث تاریخی از سال ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۲، چندین سناریوی آلودگی نفتی تنظیم نمودند و در نهایت هفت منطقه پرخطر شناسایی کردند. (Guo et al. 2019) در مطالعاتی مشابه در همین منطقه از یک مدل احتمالی ریزش نفت برای شبیه سازی سناریوهای مختلف در بیست میدان نفتی استفاده کردند که در آن با ادغام توزیع مکانی عوامل محرک محیطی و آسیب پذیری ساحلی/دریایی، نقشه ای از خطرپذیری ریزش نفتی ارائه شد. Amir-Heidari and Raie (2019) یک سیستم پشتیبانی تصمیم گیری کلی برای برنامه ریزی عملیات قبل و بعد از ریزش برای ارزیابی خطر ریزش های نفتی در منطقه خلیج فارس پیشنهاد دادند. تمرکز کار ایشان بر روی دو معیار اولویت عملیات اضطراری و شاخص خطر ریزش از چاه های نفتی ایران بود. Soussi et al. (2020) مدل ارزیابی خطر ریزش نفت را برای سواحل دریای مدیترانه با تمرکز بر تنگه جبل الطارق تهیه کردند و براساس معیار زمان رسیدن لکه نفتی به سواحل، آسیب پذیری این مناطق را بررسی نمودند. Balogun et al.

بلندمدت جبران ناپذیری که به سواحل، بندرها و به ویژه به بوم سازگان آبی وارد می کنند، به عنوان یکی از زیان بارترین حوادث محیط زیستی شناخته می شوند (Santos et al. 2013, Li et al 2016, Guo et al 2019). در سال های اخیر، به دلیل وضع کنترل های سخت گیرانه و اخذ تدابیر امنیتی از سوی کشورهای درگیر، تعداد حوادث ریزش نفت کاهش قابل توجهی داشتند. اما همچنان موارد متعددی از این وقایع در سراسر جهان گزارش می شوند. به عنوان مثال در سال ۲۰۱۸، سه ریزش بزرگ ($< 700 \text{ ton}$) و سه ریزش متوسط ($700 \text{ ton} - 7$) در آب های جهان اتفاق افتاده اند (ITOPE 2019) منطقه خلیج فارس در جنوب ایران، منابع و ذخایر بزرگ نفتی در خود جای داده است. به همین دلیل از مسیرهای پر تردد کشتی ها به ویژه در محدوده تنگه هرمز به شمار می رود. همین امر موجب شده است که همواره در معرض وقوع حوادث نفتی متعدد و متعاقب آن تحمل آسیب های قابل توجهی در بندرها، سواحل و بوم سازگان دریایی باشد (Elhakeem et al 2007, Aghajanjloo et al 2013, Ranjbar et al 2014).

به منظور جلوگیری از انتشار آلودگی و کاهش اثرات سوء ناشی از حوادث، روش های مختلف مکانیکی، شیمیایی و یا ترکیبی از آن ها به کار گرفته می شود (Bhardwaj and Bhaskarwar 2018; Li et al. 2016). اما انتخاب بهترین روش مقابله به دلیل تعدد عوامل دخیل در مسئله، پیچیدگی هایی را به همراه دارد. برهمین اساس، اطلاعات قبلی در مورد منابع ساحلی و میزان آسیب پذیری آن ها، امکان پاسخگویی سریع تر و توزیع بهتر اقدامات حفاظتی و پاک سازی را فراهم می آورد و موجب تسهیل در مدیریت مناسب ساحلی می شود (Santos and Andrade 2009). در این میان به کارگیری گسترده اصول مدیریت ریسک، به دلیل ارائه نگرشی دقیق از خطرات، شناسایی مکان ها با پتانسیل بالای مواجهه با خطر و در نتیجه اتخاذ تصمیمات مؤثرتر، یکی از شاخص های مدیریت خوب شناخته می شود. یکی از بخش های اساسی در فرآیند مدیریت ریسک، تعیین میزان مواجهه مناطق با آلودگی می باشد که از این طریق مناطق با سطوح مختلف آسیب محتمل شاخص گذاری می گردند (Amir-Heidari and Raie 2019). در نتیجه، مناطق براساس میزان آلودگی محتمل با تجهیزات مقابله با ریزش مجهز می شوند و از این طریق سرعت عملیات مقابله و

نفت‌کش‌ها رخ می‌دهد، درحالی‌که در مطالعات پیشین در محدوده خلیج فارس این نقاط پرخطر نادیده گرفته شدند. با توجه به اهمیت موضوع، در پژوهش حاضر براساس یک ساختار تصادفی، سناریوهای ریزش آبی از کشتی‌ها در فصل‌های مختلف طراحی شدند و با تلفیق نتایج مدل ریاضی سریع پردازنده GNOME و نرم‌افزار GIS، میزان مواجهه سواحل شمالی خلیج با این آلودگی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

(2021) برای بررسی آسیب‌پذیری سواحل مالزی از ریزش‌های نفتی، از مدل ریاضی GNOME استفاده نمودند. ایشان در مطالعات خود ۱۲ سناریو را در سه فصل آب و هوایی (موسمی شمال‌شرقی، موسمی جنوب‌غربی و پیش از مونسون) مورد بررسی قرار دادند. نتایج کار ایشان نشان داد تغییر در فصول آب و هوایی به‌طور قابل‌توجهی بر آسیب‌پذیری منابع ساحلی در برابر ریزش‌های نفتی تأثیر می‌گذارد. بررسی تاریخچه ریزش‌های نفتی نشان می‌دهد که بسیاری از آلودگی‌ها در اثر حوادثی است که برای کشتی‌ها و



شکل ۱- نواحی انتخابی به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری سواحل شمالی خلیج فارس

Fig. 1 Selected zones to assess the vulnerability of the northern coasts of the Persian Gulf

ریزش نفتی باشد (Al-Amirah 1985; Al-Rabeh et al. 1992). بنابراین انجام مطالعات ارزیابی آسیب‌پذیری سواحل خلیج فارس در برابر ریزش‌های نفتی امری ضروری به نظر می‌رسد. از این طریق می‌توان نواحی با بالاترین پتانسیل آسیب در برابر ریزش‌ها را شناسایی نمود و با اتخاذ تصمیمات مدیریتی و اقدامات مقابله، صدمات وارده را به حداقل رساند. در پژوهش حاضر، سواحل شمالی خلیج فارس از غرب تا بندر امام خمینی و از سمت شرق تا تنگه هرمز به‌عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب شد (شکل ۱). همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، به‌منظور بررسی مکانی دقیق‌تر، ساحل به ۳۰ ناحیه تقسیم‌بندی گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس با مساحتی حدود $237,473 \text{ km}^2$ یک محیط آبی نیمه‌بسته با اقلیمی نیمه‌گرمسیری در جنوب ایران می‌باشد که از طریق تنگه هرمز به دریای عمان و اقیانوس هند می‌پیوندد. این خلیج با طولی حدود 900 km و عرض متوسط 250 km به‌عنوان سومین خلیج بزرگ جهان به شمار می‌رود (Kämpf and Sadrinasab 2006). منطقه خلیج فارس دارای ذخایر غنی از نفت و گاز می‌باشد و به همین دلیل، حجم وسیعی از عملیات اکتشاف، استخراج و انتقال فرآورده‌ای نفتی در آن انجام می‌گیرد. همین امر موجب شده است که این منطقه بسیار مستعد وقوع حوادث

۲-۲- آسیب پذیری در برابر ریزش نفتی

آن ها می توانند در نگهداشت لکه در سواحل اثرگذار باشند (Guo et al. 2019; Balogun et al. 2021). تمامی این پیچیدگی ها، عدم قطعیت هایی را موجب می شوند که جهت پوشش دادن آن ها، روش مدل سازی تصادفی پیشنهاد گردید. در واقع در این روش، با تجزیه و تحلیل تعدادی از سناریوها به عنوان نمایندگان حوادث واقعی، ارزیابی آسیب های وارده احتمالی ممکن می گردد (Amir-Heidari and Raie 2019). ساختار پیشنهادی در پژوهش حاضر در شکل (۲) نشان داده شده است.

پس از وقوع حادثه، عوامل بسیاری در مسیر حرکت لکه نفتی و فرجام آن دخالت دارند. از جمله این عوامل می توان به دمای هوا، جهت و سرعت باد، شرایط هیدرودینامیکی محیط، محل و زمان ریزش نفت، نوع و مقدار نفت ریخته شده، شرایط ریزش (آنی یا پیوسته) اشاره نمود (Lehr et al. 2002; Aghajanloo and Pirooz 2014). در حین انتشار، اگر لکه نفتی در مسیر خود به سواحل و یا جزایر برخورد کند، موقعیت و هندسه خطوط ساحلی و نوع پوشش



شکل ۲- چارچوب پیشنهادی برای تعیین آسیب پذیری در برابر ریزش نفتی

Fig. 2 The proposed framework for oil spill vulnerability Assessment

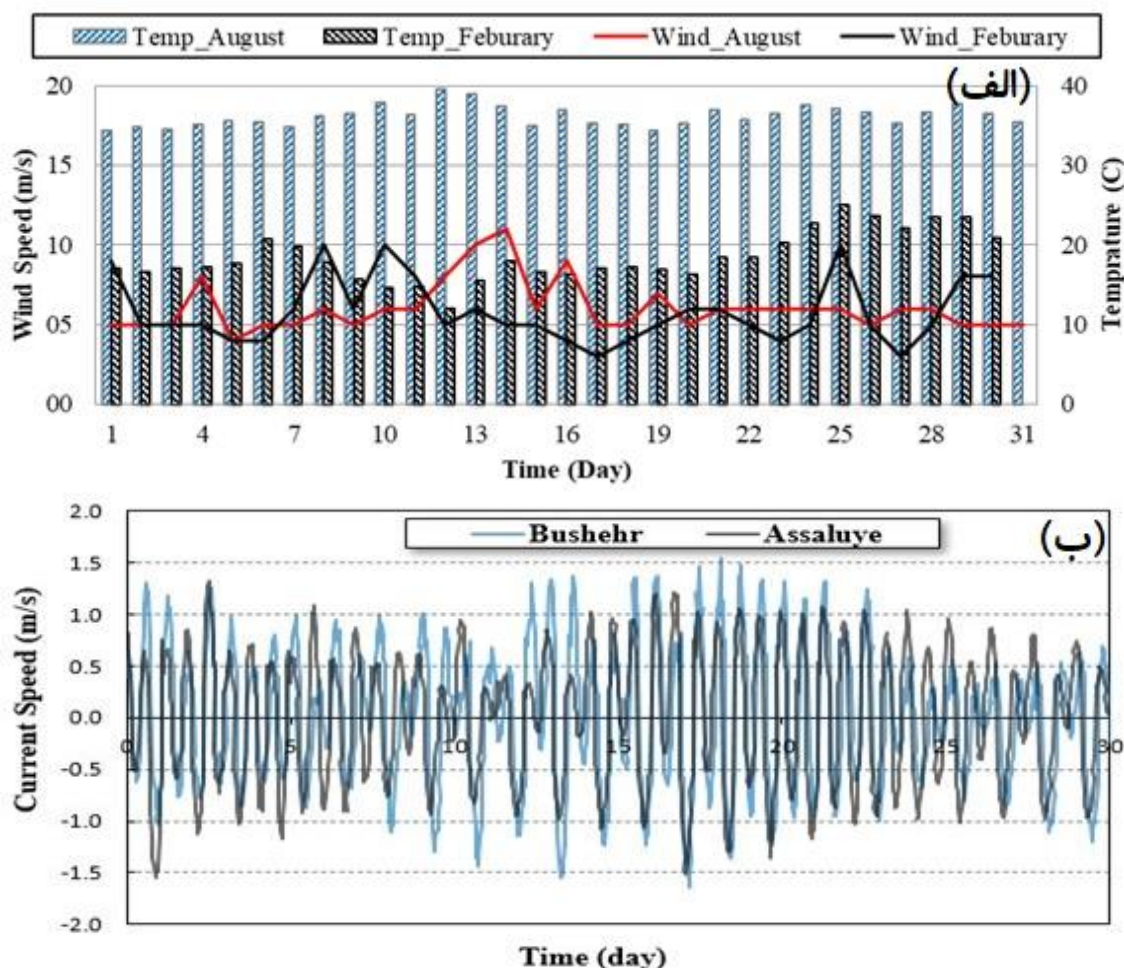
۲-۲-۱- تهیه بانک اطلاعاتی

اطلاعات به طور تصادفی برداشت شدند. داده های هواشناسی مورد نیاز شامل پارامترهای دما، سرعت و جهت وزش باد در بازه های زمانی ۶ ساعته بودند. برای تأمین این اطلاعات، داده های ۷ ایستگاه هواشناسی بندرعباس، عسلویه، بوشهر، خارک، بندر دیر، دیلم و بندر امام خمینی در بازه زمانی ۵ ساله (۲۰۱۳ الی ۲۰۱۸) جمع آوری شدند. در مطالعات اخیر از داده های اقیانوسی یک ساله (Al Shami et al. 2017; Goldman et al. 2015) و ۱۴ ماهه (Amir-Heidari and

تأمین داده های قابل اطمینان نقش مهمی در تضمین کیفیت مطالعات آسیب پذیری ایفا می نماید. این داده ها، دیدی جامع از عوامل محیطی و پارامترهای دخیل در انتشار آلودگی ارائه می دهند و در نتیجه پیش بینی دقیق تر پدیده و عواقب احتمالی آن تأمین می گردد. بر همین اساس، بانک اطلاعاتی از داده های هواشناسی و وضعیت جریان منطقه تهیه گردید که داده های ورودی برای شبیه سازی سناریوها، از میان این

ارائه شده است. براساس این اطلاعات، منطقه متوسط دمای $36/13^{\circ}\text{C}$ و $18/50^{\circ}\text{C}$ و سرعت وزش باد $6/06$ و $25/79$ m/s را به ترتیب در تابستان و زمستان تجربه نمود. در شکل (۳-ب) نیز نمونه‌ای از اطلاعات مربوط به سرعت جریان نشان داده شده است (Aghajanoloo and Pirooz 2014).

(Raie 2018) استفاده گردید درحالی که بررسی‌ها نشان داد انتخاب داده‌ها از بازه زمانی طولانی‌تر می‌تواند نتایج معتبری را به همراه داشته باشد (Amir-Heidari and Raie 2019). در شکل (۳-الف) اطلاعات مربوط به متوسط پارامترهای جریان، دما و باد برای دو فصل تابستان و زمستان



شکل ۳- اطلاعات هواشناسی و سرعت جریان منطقه مورد مطالعه: الف- متوسط سرعت باد و دما در منطقه مورد مطالعه در تابستان و زمستان و ب- تغییرات سرعت جریان در بندرهای بوشهر و عسلویه در فوریه ۲۰۱۵

Fig. 3 Meteorological and current speed data of the study area: a) Average of wind speed and Temperature in the study area in summer and winter and b) Current speed changes in Bushehr and Assaluyeh ports in February 2015

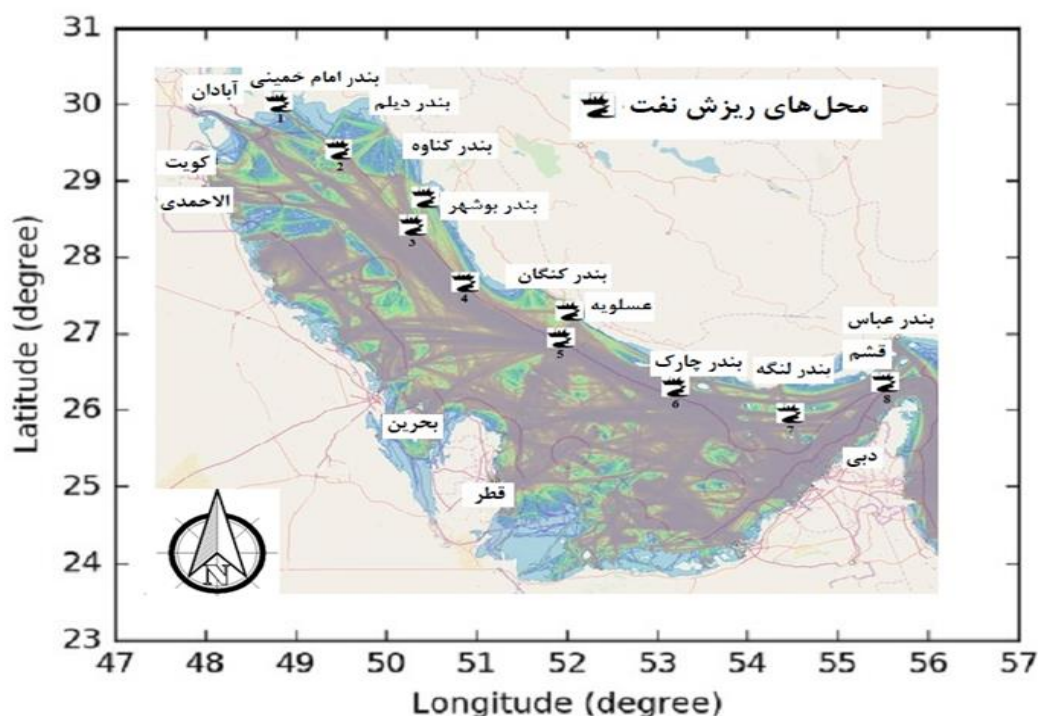
بالای آلودگی به مجموعه اضافه شدند که در نهایت ۱۰ نقطه ریزش را تشکیل دادند (شکل ۴). در ادامه، با توجه به شرایط اقلیمی متفاوت در دو فصل تابستان و زمستان، برای هر محل ریزش دو زمان وقوع حادثه به طور تصادفی در طول این دو فصل در نظر گرفته شد که در نهایت ۲۰ سناریو ریزش نفتی طراحی شد. همچنین نوع نفت ریزش یافته در سناریوها، به صورت تصادفی از میان انواع نفت قابل استخراج در بندرها و فرآورده‌های نفتی که توسط نفت‌کش‌ها و کشتی‌ها در منطقه حمل می‌شوند، انتخاب گردید. بررسی مشخصات ژئوشیمیایی

۲-۲-۲- طراحی سناریوهای فرضی

در طراحی سناریوهای ریزش فرضی در این پژوهش، محل‌های وقوع حادثه با تأکید بر ریزش‌های ناشی از تردد کشتی‌ها و آلودگی‌های بندرهای اصلی خلیج فارس انتخاب شدند. به همین منظور، ابتدا مسیرهای پرتردد نفت‌کش‌ها از سایت marinetraffic.com دریافت شد (پس‌زمینه شکل ۴). سپس، در نزدیکی سواحل شمالی خلیج ۸ نقطه ریزش براساس بیشترین تمرکز خطوط انتخاب گردید. همچنین بندر عسلویه و بندر بوشهر به عنوان نقاط ثابت با پتانسیل

۳۲ و ۱۴ می باشند، به طور تصادفی در سناریوها استفاده گشت. لازم به ذکر است که در کلیه سناریوها در یک ریزش آبی حدود ۱۰,۰۰۰ ton نفت در خلیج ریخته شد. در جدول (۱) مشخصات سناریوهای طراحی شده برای ریزش های نفت فرضی ارائه شده است.

نوع نفت خام به دست آمده از میدان های نفتی بخش ایران در خلیج فارس نشان داد که API آن ها مابین ۱۲/۲ الی ۳۹/۲ متغیر می باشد (Rabbani et al. 2014). با تطابق خصوصیات نفت های ایران با نوع نفت های تعیین شده در نرم افزار، از میان ۴ نوع نفت دیزل، نفت خام متوسط و نفت سیاه شماره ۴ و شماره ۶ که API آن ها به ترتیب ۳۰، ۳۷،



شکل ۴- محل های ریزش فرضی نفت با تصویر زمینه مربوط به تراکم ترافیک کشتی ها در خلیج فارس

Fig. 4 Hypothetical oil spill locations in the Persian Gulf with ship traffic map in the background

جدول ۱- سناریوهای تعیین شده ریزش نفت فرضی

Table 1 Designed oil spill scenarios

Location	Longitude	Latitude	Season	
			Summer	Winter
Bushehr	50° 47'	28° 57'	Sc01-a	Sc01-b
Assaluyeh	52° 31'	27° 28'	Sc02-a	Sc02-b
Point 1	49° 22'	29° 59'	Sc03-a	Sc03-b
Point 2	49° 37'	29° 32'	Sc04-a	Sc04-b
Point 3	50° 27'	28° 31'	Sc05-a	Sc05-b
Point 4	51° 13'	27° 33'	Sc06-a	Sc06-b
Point 5	52° 26'	26° 42'	Sc07-a	Sc07-b
Point 6	52° 27'	26° 19'	Sc08-a	Sc08-b
Point 7	54° 49'	26° 51'	Sc09-a	Sc09-b
Point 8	56° 59'	26° 31'	Sc10-a	Sc10-b

دلیل انتخاب این نرم افزار، دو معیار قابل اعتماد بودن نتایج و سرعت بالای اجرا (Balogun et al. 2021; Amir- Heidari and Raie 2019) می باشد. پس از آن، برای تجزیه و تحلیل کمی نتایج، خروجی های ۲۴ hr از مدل تهیه

۲-۲-۳- مدل سازی ریزش های نفتی

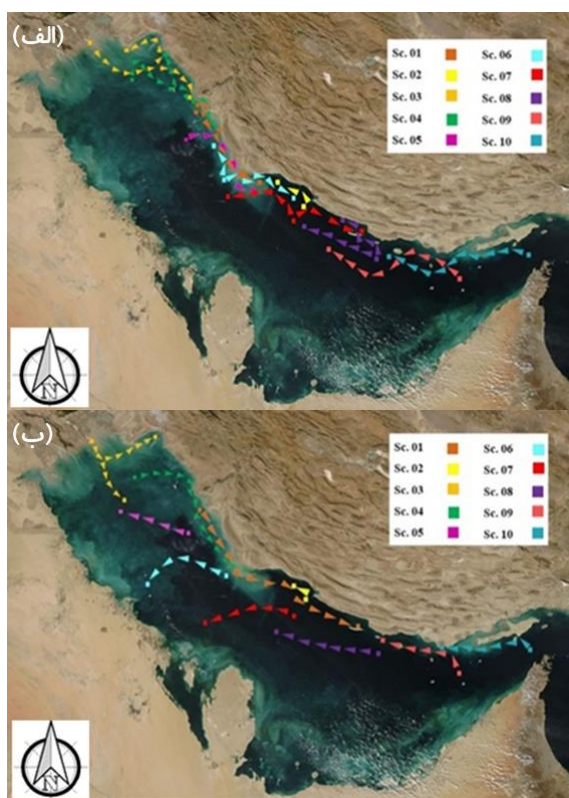
در پژوهش حاضر برای تعیین مسیر حرکت لکه های نفتی، مدل ریاضی GNOME انتخاب شد. ریزش های نفتی در دوره ۳۰ روزه مورد شبیه سازی قرار گرفتند و نواحی تحت تأثیر آلودگی نفتی در روزهای پس از حادثه تعیین گردید.

زمان برای همه ۱۰ سناریوی فصل‌های تابستان و زمستان، زمان ماند متوسط ناحیه ۱ تعیین شد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- شبیه‌سازی مسیر حرکت لکه نفتی

همان‌طور که در بخش (۳-۲-۲) بحث شد، به‌منظور تعیین مسیر حرکت لکه نفتی، مدل ریاضی GNOME با در نظر گرفتن دوره شبیه‌سازی ۳۰ day تنظیم و اجرا شد و برای انجام آنالیز کمی، خروجی‌های مدل در بازه‌های ۲۴ hr استخراج گردیدند. در شکل (۵) نتایج مدل مسیریابی نفت، برای سناریوهای مختلف به‌طور شماتیک ارائه گردید که در آن مسیر حرکت نفت با جهت فلش‌ها مشخص شده است. با توجه به شکل (۵-الف) مربوط به مسیرهای انتشار نفت در تابستان دیده شد تقریباً در همه موارد لکه‌های نفتی به سمت ساحل منحرف شدند و در خطوط ساحلی باقی ماندند.



شکل ۵- مسیر حرکت نفت در خلیج فارس به ازای سناریوهای مختلف: الف- تابستان و ب- زمستان

Fig. 5 The trajectory of the oil slicks in the Persian Gulf in for different scenarios: a) Summer and b) Winter

درحالی‌که مطابق شکل (۵-ب)، در مورد مسیرهای انتشار در زمستان، انحراف بیشتر به سمت نواحی میانی خلیج بود و حتی در سناریوهای Sc5-b, Sc6-b, Sc7-b, Sc8-b و

گردید که در آن‌ها نفت به‌صورت ذرات لاگرانژی در سواحل و نواحی دریایی نشان داده شدند.

۲-۲-۴- تحلیل کمی نتایج

در این مرحله، به‌منظور بررسی میزان درگیری نواحی ساحلی با آلودگی‌های نفتی، نتایج حاصل از سناریوهای ریزش نفت مورد ارزیابی کمی قرار گرفتند. براین‌اساس، نتایج خروجی مدل ریاضی GNOME که لکه نفتی را به‌صورت ذرات لاگرانژی نشان می‌داد، وارد نرم‌افزار ArcGIS شدند. با شمارش این ذرات، جرم نفت پخش‌شده در هر ناحیه تعیین گردید. سپس، غلظت نفت در ناحیه ۱ در اثر سناریو z_j ، OC_{ij} ، به‌صورت تقسیم کل جرم نفتی که در مدت ۳۰ day در اثر حادثه سناریو z_j به ناحیه ۱ رسیده است بر مساحت ناحیه ۱، محاسبه شد. در نهایت، درصد احتمال مواجهه ناحیه ۱ با آلودگی ناشی از ریزش سناریو z_j ، LO_{ij} از رابطه (۱) به‌دست آمد:

$$LO_{ij} = OC_{ij} / \sum_{i=1}^{30} OC_{ij} \times 100 \quad ; \quad j = 1, 10 \quad (1)$$

به‌این‌ترتیب، مقدار نفت در هر ناحیه به پارامتر احتمال مواجهه با آلودگی نفتی در هر ناحیه تبدیل گشت که معیار بهتری در ارزیابی آسیب‌پذیری سواحل خلیج در برابر ریزش‌های نفتی بود. در واقع LO_{ij} بزرگ‌تر بیانگر مواجهه بیش‌تر یک ناحیه مشخص با آلودگی نفتی در طول یک ماه پس از وقوع ریزش سناریو z_j بود و متعاقب آن آسیب وارده به آن ناحیه بیش‌تر ارزیابی گردید. علاوه بر این با محاسبه احتمال تجمعی، LO ، به ازای سناریوی z_j برای همه نواحی ۱، شاخصی برای تعیین پتانسیل آسیب‌رسانی سناریوهای مختلف به‌دست آمد. پارامتر دیگری که به‌عنوان معیاری برای ارزیابی آسیب‌پذیری نواحی ساحلی مطرح شد، زمان ماند نفت در سواحل و یا به‌عبارت‌دیگر پتانسیل نگهداشت نفت در نواحی مختلف بود. به‌همین دلیل، با محاسبه تعداد روزهایی در بازه ۳۰ day که ذرات نفت در اثر سناریو z_j در ناحیه ۱ باقی می‌مانند، پارامتر میانگین زمان ماند نفت (RT_{ij}) محاسبه گردید. در نهایت با متوسط‌گیری این

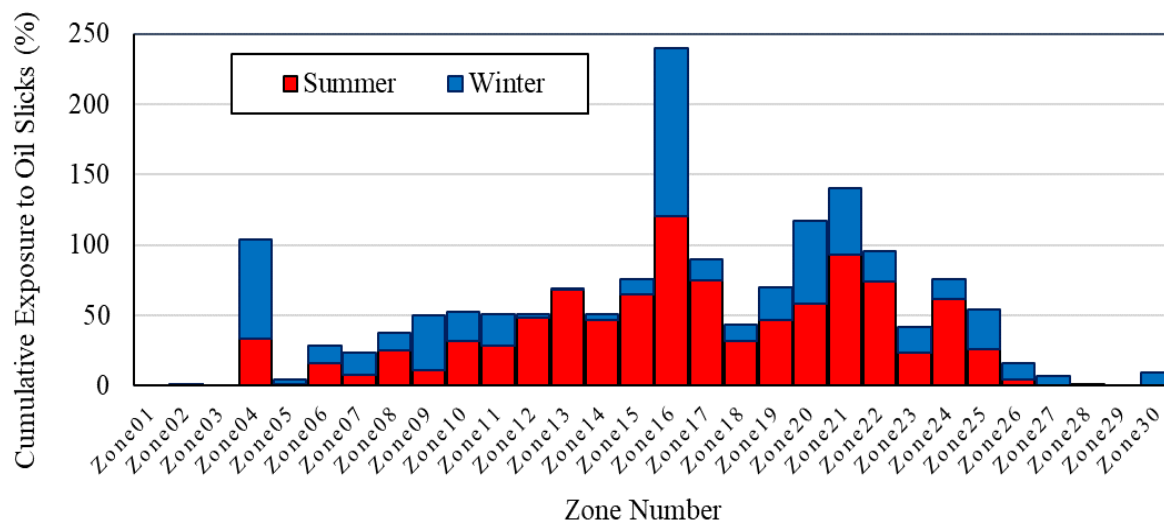
نگهداشت لکه نفتی اثبات گردید. به‌عنوان مثال در سناریوهای Sc2-a و Sc2-b (ریزش‌ها در محدوده بندر عسلویه)، مسیر پراکنش نفت بسیار کوتاه‌تر از بقیه سناریوها بود و نشان‌دهنده باقی ماندن نفت در این منطقه تا مدت‌ها پس از ریزش است.

۳-۲- ارزیابی آسیب‌پذیری سواحل

به‌منظور تجزیه و تحلیل کمی داده‌ها، خروجی‌های مدل GNOME در بازه‌های زمانی ۲۴ hr، وارد محیط ArcGIS شدند. با شمارش ذرات لاگرانژی در هر ناحیه از نواحی ۳۰ گانه در مدت زمان ۳۰ day و تقسیم آن بر مساحت ناحیه، غلظتی از نفت سناریو j که باعث آلودگی ناحیه i شده است، OC_{ij} ، محاسبه گشت. آنگاه با استفاده از معادله (۱) درصد احتمال مواجهه ناحیه i با آلودگی ناشی از ریزش سناریو j ، LO_{ij} ، تعیین شد. این پارامتر معیاری است که نشان داد ناحیه i در مدت ۳۰ day به چه میزان با ریزش نفتی j مواجهه شد. به این ترتیب برای هر فصل، یک ماتریس 30×10 از پارامترهای LO_{ij} شکل گرفت که در ادامه، ارزیابی‌ها براساس این ماتریس انجام شد.

نفت برخوردی با ساحل نداشتند. دلیل این امر را می‌توان وزش بادها با قدرت زیاد از سمت شمال غرب (بادهای شمال) در فصل تابستان دانست (Yao and Johns 2010). در واقع نتایج مدل تأیید کردند که در هر سناریو، به دلیل تفاوت شرایط هیدرودینامیکی خلیج و شرایط اقلیمی منطقه، ذرات نفت مسیرهای کاملاً متفاوتی را طی کردند. نکته قابل توجه دیگر این است که در هیچ سناریویی لکه‌های نفتی در طول یک ماه به بیرون از خلیج هدایت نشدند و نواحی تحت تأثیر آن‌ها نواحی ساحلی و دریایی منطقه بود، حتی در مواردی که محل ریزش بسیار نزدیک به تنگه هرمز بود (سناریوهای Sc10-a و Sc10-b). دلیل این پدیده را می‌توان با ورود آب تازه در تنگه هرمز از بخش شمالی خلیج (Yao and Johns 2010) مرتبط دانست که باعث شد لکه نفتی به سمت داخل خلیج کشانده شود.

بنابراین انتظار می‌رود به دلیل هیدرودینامیک خاص منطقه، آسیب‌های وارده به بوم سازگان‌های ساحلی و دریایی خلیج شدیدتر از یک شرایط مشابه در یک دریای باز باشد. همچنین با بررسی شکل‌ها، نقش هندسه سواحل در



شکل ۶- درصد مواجهه تجمعی هر ناحیه با ریزش نفتی به ازای سناریوهای طراحی شده

Fig. 6 Cumulative exposure of each zone to oil spills for different scenarios

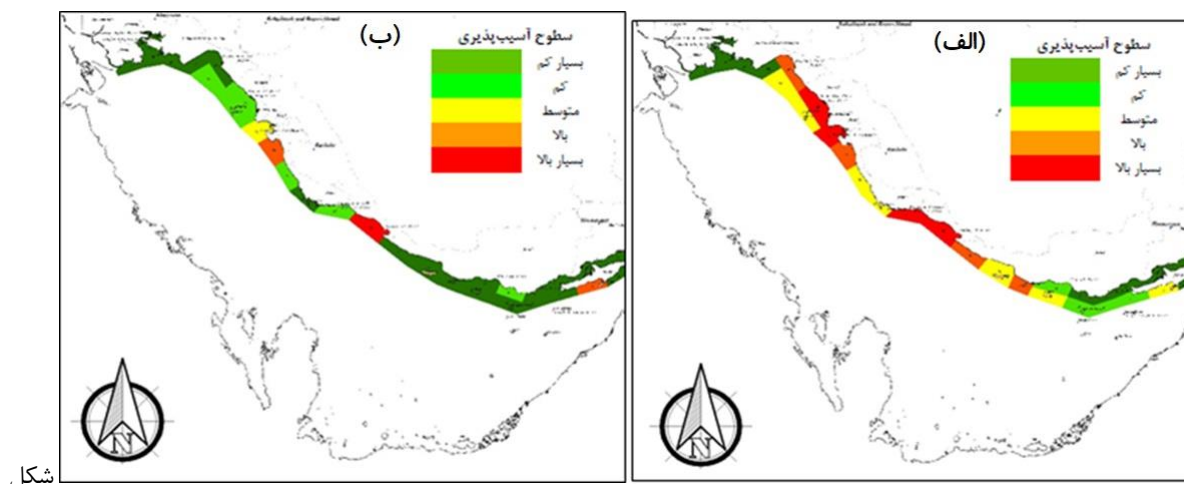
در هیچ منطقه ساحلی نگردید. در ادامه، به‌منظور بررسی دقیق‌تر نتایج و با توجه به دامنه تغییرات LO مجموع همه سناریوها، ۵ سطح آسیب‌پذیری بسیار کم، کم، متوسط، بالا و بسیار بالا تعریف شد. این تقسیم‌بندی شامل رده آسیب‌پذیری بسیار کم ($LO < 10$)، کم ($10 < LO < 30$)، متوسط ($30 < LO < 50$)، بالا ($50 < LO < 70$) و بسیار بالا ($LO > 70$) است.

در شکل (۶) مقادیر ماتریس درصد احتمال مواجهه هر یک از ۳۰ ناحیه با ریزش‌های مربوط به ۲۰ سناریو طراحی شده، ارائه شده است. به‌عنوان نمونه، در اثر وقوع ریزش سناریو Sc6-a (تابستان)، نواحی ۱۶، ۱۷ و ۱۸ با احتمال به ترتیب ۴/۲۸، ۷۴/۲۳ و ۲۱/۴۹٪ دچار آلودگی خواهند شد. درحالی‌که وقوع ریزش نفت تحت تأثیر سناریو Sc6-b (زمستان) باعث آلودگی

لکه‌ها از سواحل شمالی خلیج دور شدند و میزان آلودگی در ۳۰ ناحیه انتخابی کم‌تر گردید.

در مطالعاتی که Amir-Heidari and Raie (2018) بر روی ارزیابی خطر ریزش نفتی در خلیج فارس با تأکید بر ریزش‌ها از چاه‌های نفتی منطقه انجام دادند، دریافتند در فصل بهار و تابستان خطر آلودگی سواحل بیشتر از دیگر فصل‌ها می‌باشد. ایشان دلیل این امر را بادهای غالب شمال غربی که معمولاً در بهار و تابستان شدید هستند، اعلام نمودند (Amir-Heidari and Raie 2018). بررسی‌ها نشان دادند، در فصل تابستان نواحی ۱، ۲ و ۳ (اطراف بندر امام خمینی در غربی‌ترین بخش خلیج) و نواحی ۲۸، ۲۹ و ۳۰ (بخش‌های شمالی جزیره قشم در شرقی‌ترین بخش خلیج)، مواجهه بسیار ناچیزی با ریزش‌های نفتی داشتند (شکل ۶ و ۷).

در نهایت، نقشه آسیب‌پذیری سواحل شمالی خلیج فارس در دو فصل تابستان و زمستان تهیه گردید (شکل ۷). به‌طور کلی، تبدیل مقادیر کمی آسیب‌پذیری به عبارات کیفی، می‌تواند به راحتی ارزیابی‌ها را برای مدیران دولتی و تصمیم‌گیرندگان قابل درک نماید (Sepp Neves et al. 2015). با تحلیل نتایج ماتریس LO (شکل ۶)، مجموع درصد مواجهه سواحل با ریزش‌ها در تابستان به میزان ۲/۱۶ برابر این میزان در زمستان برآورد گردید. به عبارت دیگر، در صورت وقوع ریزش در فصل تابستان، احتمال درگیری بخش‌های شمالی خلیج با لکه نفتی نسبت به روزهای سرد سال بیشتر است. بررسی مسیر حرکت لکه‌های نفتی در شکل (۵-الف و ب) نیز تأیید کننده این نتیجه هستند که در فصل زمستان به دلیل شرایط اقلیمی و جریان در منطقه،



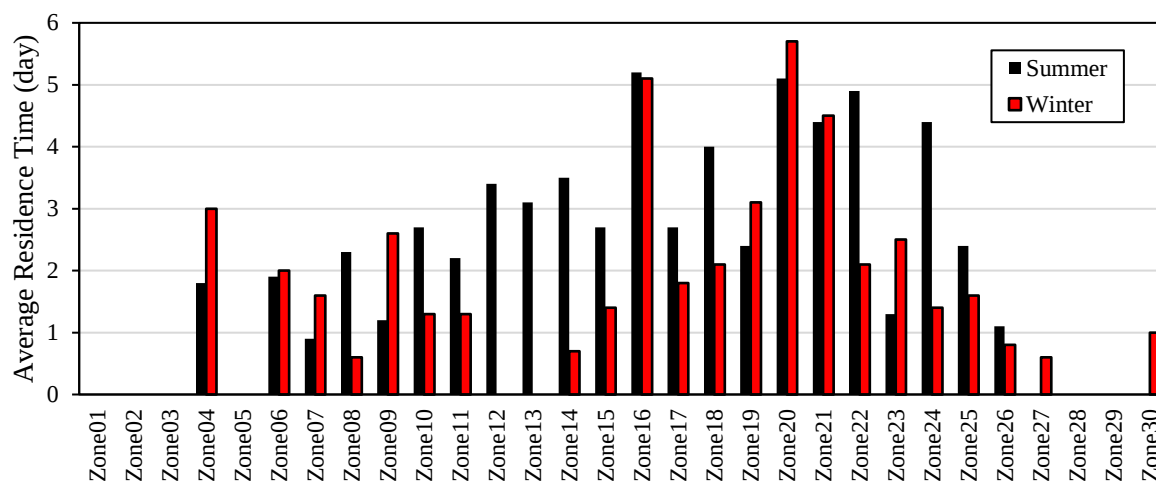
شکل ۷- میزان آسیب‌پذیری سواحل شمالی خلیج فارس در برابر ریزش‌های نفتی: الف- تابستان و ب- زمستان
Fig. 7 Vulnerability of the northern shores of the Persian Gulf to oil spills: a) Summer and b) Winter

ریزش‌های نفتی در منطقه و تأمین تجهیزات حفاظتی اضطراری در نواحی تعیین شده در تابستان حساس‌تر به نظر می‌رسد.

از دیدگاهی دیگر، زمان ماند نفت در سواحل معیار مناسبی برای تعیین میزان آسیب‌رسانی نفت به بندرها و بوم‌سازگان ساحلی می‌باشد. بررسی‌ها نشان دادند، چنانچه نفت به خطوط ساحلی برخورد کند، بسته به شرایط می‌تواند تا مدت‌ها در بافت خاک سواحل و درون صخره‌ها باقی بماند. به این ترتیب، مشکلات بیشتری برای سلامتی افراد، بوم‌سازگان ساحلی، کاربری بندرها، صنعت شیلات، توریسم و گردشگری ایجاد می‌نماید (Balogun et al. 2021; Kankara et al. 2016). بر این اساس در پژوهش حاضر، با

در این فصل، نواحی ۱۶ و ۱۷ (حوالی بندر عسلویه) و ۲۱ و ۲۲ (حوالی بندر بوشهر) با مقدار مجموع LO برای کل سناریوها به ترتیب ۱۲۰/۱، ۷۵/۲، ۹۳/۶ و ۷۴/۵ بالاترین میزان مواجهه با لکه نفتی را به خود اختصاص دادند. در نقطه مقابل در فصل زمستان، نواحی ساحلی در سطح آسیب‌پذیری بسیار کم تا متوسط قرار گرفتند به غیر از ناحیه ۱۶ (بندر عسلویه) که با مجموع مقدار LO معادل ۱۱۹/۰٪ برای کل سناریوها، آسیب‌پذیرترین ناحیه انتخاب شد. به‌طور کلی نواحی میانی نوار ساحلی، در فصل تابستان و زمستان به ترتیب با ۵۸/۹ و ۴۴/۹٪ مواجهه با نفت، نسبت به بخش غربی و شرقی خلیج آسیب‌پذیرتر برآورد شدند. با استناد به این نتایج، اتخاذ تدابیر مدیریتی مقابله با

استفاده از تلفیق نتایج مدل GNOME و ArcGIS متوسط زمان ماند نفت، RT_{ij}، برای نواحی ۳۰ گانه سواحل شمالی خلیج به ازای سناریوهای طراحی شده، محاسبه گردید (شکل ۸).

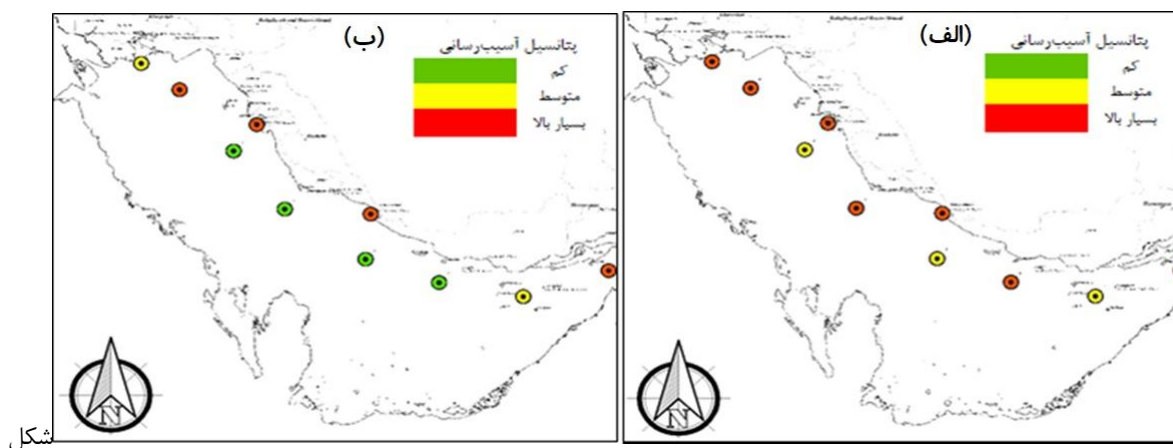


شکل ۸- متوسط زمان ماند نفت در ۳۰ ناحیه مورد بررسی در دو فصل تابستان و زمستان

Fig. 8 Average oil residence time in 30 studied zones in summer and winter

اهمیت عملیات اضطراری مقابله با ریزش های نفتی در تابستان می باشد. مطالعات اخیر نشان دادند، جنس سواحل، کاربری خطوط ساحلی و بوم سازگان های این مناطق می توانند در میزان آسیب وارده بسیار تأثیرگذار باشند (Balogun et al. 2021; Kankara et al. 2016). بنابراین تلفیق نتایج مطالعه حاضر با مطالعات زمین شناسی و اکوبیولوژی منطقه، می تواند به نقشه جامعی از ارزیابی خطر ریزش نفتی منتج شود.

با استفاده از این نتایج، در تابستان و زمستان به ترتیب ۲۳/۳۳ و ۱۳/۳۳ درصد نواحی زمان ماند ۲۰ الی ۳۰ day داشتند. در این میان، نواحی ۴ (جنوب جزیره قشم)، ۹ (بندر چارک)، ۱۵ (بندر دیر)، ۱۷ (بندر کنگان) و ۲۰ (بندر بوشهر) با متوسط زمان ماند بین ۲۵ الی ۳۰ day، آسیب پذیرترین نواحی معرفی شدند. مقدار متوسط زمان ماند نفت در خطوط ساحلی در فصل های تابستان و زمستان به ترتیب ۱۷/۳۹ و ۱۴/۳۶ day محاسبه گردید که نشان دهنده



۹- دسته بندی نقاط ریزش نفت در سناریوهای طراحی شده: الف- تابستان و ب- زمستان

Fig. 9 Classification of oil spill points in designed scenarios: a) Summer and b) Winter

پتانسیل آسیب رسانی محاسبه گردید. با توجه به نتایج به دست آمده، محل های ریزش انتخابی به سه سطح پتانسیل آسیب رسانی بالا، متوسط و پایین برای فصل های تابستان و زمستان طبقه بندی شدند (شکل ۹). بررسی ها نشان داد، در هر دو فصل تابستان و زمستان بندرهای عسلویه و بوشهر

در ادامه، با تحلیل ماتریس ILO، میزان آلودگی که نفت در اثر ریزش سناریو ۲ برای نواحی ساحلی ایجاد می کند، محاسبه گردید. سپس، برحسب کل نفت ریخته شده، ضریب وزنی به هر یک از این آلودگی ها اختصاص یافت. در نهایت برای هر سناریو (به عبارتی هر محل ریزش) یک ضریب

۲- محدوده‌های جنوب جزیره قشم، بندر کنگان و بندر بوشهر با بالاترین مقدار متوسط زمان ماند نفت در کل سناریوها آسیب‌پذیرترین نواحی هستند.

۳- در هر دو فصل تابستان و زمستان، وقوع حادثه در محدوده‌های جزیره قشم و بندرهای بوشهر و عسلویه، بیش‌ترین آسیب را به سواحل شمالی خلیج وارد نمود.

۴- شرایط آب و هوایی و وضعیت جریان در منطقه بر سطوح آسیب‌پذیری سواحل تأثیر قابل‌توجهی دارند و در مقابل فاصله نقطه ریزش تا ناحیه دریافت‌کننده آلودگی در این امر بی‌تأثیر می‌باشد.

همچنین جهت ادامه پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود، دیگر منابع خطر (نشت از چاه‌ها و خطوط انتقال نفت، ریزش‌های ممتد از نفت‌کش‌ها و غیره) موردبررسی قرار گیرند و نتایج آن با نتایج پژوهش حاضر مقایسه شود.

دست‌رسی به داده‌ها

در صورت درخواست، داده‌ها از طرف نویسنده مسئول و از طریق ایمیل قابل‌ارسال می‌باشند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافی در رابطه با نوشتن و یا انتشار این مقاله ندارند.

جزو نقاط با سطح آسیب‌رسانی بالا هستند به‌طوری‌که وقوع حادثه در آن‌ها می‌تواند باعث آلودگی بخش زیادی از سواحل خلیج گردد. همچنین، با استناد به مقادیر ضرایب پتانسیل آسیب‌رسانی برای سناریوهای مختلف، متوسط این ضرایب در تابستان در حدود ۴/۲۹ برابر متوسط ضرایب در زمستان است. این نتیجه می‌تواند برای تصمیم‌گیرندگان بخش مدیریت ساحلی و فرماندهان کنترل‌کننده مسیر حرکت نفت‌کش‌ها هشدار باشد تا با اتخاذ قوانین سخت‌گیرانه در زمینه رعایت نکات ایمنی کشتی‌ها، احتمال وقوع حوادث در این نواحی را در فصول پرخطر به حداقل برسانند. همچنین با توجه به فاصله‌های متفاوت محل‌های ریزش نفت تا سواحل، می‌توان نتیجه گرفت که پتانسیل آسیب‌رسانی نقاط ریزش مستقل از فاصله آن‌ها تا ناحیه دریافت‌کننده آلودگی می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، سناریوهای ریزش فرضی در فصول مختلف و نوع نفت‌های متفاوت شبیه‌سازی شدند. تجزیه و تحلیل نتایج بر اساس میزان مواجهه نواحی ساحلی با آلودگی، زمان ماند نفت در ساحل و ضریب پتانسیل آسیب‌رسانی انجام گرفت. نتایج نشان داد:

۱- در تابستان محدوده بندرهای گناوه، بوشهر، عسلویه و کنگان و در زمستان محدوده بندر عسلویه در بالاترین سطح آسیب‌پذیری قرار دارند.

References

- Aghajanoloo, K. and Pirooz, M. D. (2014). Three-dimensional numerical modeling of oil spill behavior in marine environment. *Int. J. Environ. Res.*, 8(3), 779-788. DOI: 10.22059/IJER.2014.771.
- Aghajanoloo, K., Pirooz, M. D. and Namin, M. M. (2013). Numerical simulation of oil spill behavior in the Persian Gulf. *Int. J. Environ. Res.*, 7(1), 81-96. DOI: 10.22059/IJER.2012.588.
- Al-Amirah, A. S. (1985). The nowruz oil spill in the Arabian Gulf: case study of Saudi Arabia. *Geogr. Bull.*, 27, 16.
- Al-Rabeh, A. H., Cekirge, H. M. and Gunay, N. (1992). Modeling the fate and transport of Al-Ahmadi oil spill. *Water Air Soil Pollut.*, 65(3-4), 257-279. DOI: 10.1007/BF00479891.
- Al Shami, A., Harik, G., Alameddine, I., Bruschi, D., Garcia, D. A. and El-Fadel, M. (2017). Risk assessment of oil spills along the Mediterranean coast: a sensitivity analysis of the choice of hazard quantification. *Sci. Total Environ.*, 574, 234-245. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.064>.
- Amir-Heidari, P. and Raie, M. (2018). Probabilistic risk assessment of oil spill from offshore oil wells in Persian Gulf. *Mar. Pollut. Bull.*, 136, 291-299. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.07.068.
- Amir-Heidari, P. and Raie, M. (2019). Response planning for accidental oil spills in Persian

- Gulf: A decision support system (DSS) based on consequence modeling. *Mar. Pollut. Bull.*, 140, 116–128. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.12.053.
- Balogun, A. L., Yekeen, S. T., Pradhan, B. and Wan Yusoff, K. B. (2021). Oil spill trajectory modelling and environmental vulnerability mapping using GNOME model and GIS. *Environ. Pollut.*, 268-A. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115812.
- Bhardwaj, N. and Bhaskarwar, A. N. (2018). A review on sorbent devices for oil-spill control. *Environ. Pollut.*, 243, 1758–1771. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.09.141.
- Elhakeem, A. A., Elshorbagy, W. and Chebbi, R. (2007). Oil spill simulation and validation in the Persian Gulf with special reference to the UAE coast. *Water Air Soil Pollut.*, 184, 243–254. DOI: 10.1007/s11270-007-9413-1.
- Goldman, R., Biton, E., Brokovich, E., Kark, S. and Levin, N. (2015). Oil spill contamination probability in the southeastern Levantine basin. *Mar. Pollut. Bull.*, 91(1), 347–356. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.10.050>.
- Guo, W., Zhang, S. and Wu, G. (2019). Quantitative oil spill risk from offshore fields in the Bohai Sea, China. *Sci. Total Environ.*, 688, 494–504. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.226.
- ITOPF, (2019). Oil tanker spill statics.
- Kämpf, J. and Sadrinasab, M. (2006). The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. *Ocean Sci.*, 2(1), 27–41. DOI: 10.5194/os-2-27-2006.
- Kankara, R. S., Arockiaraj, S. and Prabhu, K. (2016). Environmental sensitivity mapping and risk assessment for oil spill along the Chennai Coast in India. *Mar. Pollut. Bull.*, 106(1-2), DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.03.022.
- Kankara, R. S. and Subramanian, B. R. (2007). Oil spill sensitivity analysis and risk assessment for Gulf of Kachchh, India, using integrated modeling. *J. Coastal Res.*, 23(23), 1251-1258. DOI: 10.2112/04-0362.1.
- Lehr, W., Jones, R., Evans, M., Simecek-Beatty, D. and Overstreet, R. (2002). Revisions of the ADIOS oil spill model. *Environ. Model. Softw.*, 17 (2), 189–197. DOI: 10.1016/S1364-8152(01)00064-0.
- Li, P., Cai, Q., Lin, W., Chen, B. and Zhang, B. (2016). Offshore oil spill response practices and emerging challenges. *Mar. Pollut. Bull.*, 110(1), 6–27. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.06.020.
- Liu, X., Meng, R., Xing, Q., Lou, M., Chao, H. and Bing, L. (2015). Assessing oil spill risk in the Chinese Bohai Sea: A case study for both ship and platform related oil spills. *Ocean Coast Manag.*, 108, 140-146. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2014.08.016.
- Nelson, J. R., Grubestic, T. H., Sim, L., Rose, K. and Graham, J. (2015). Approach for assessing coastal vulnerability to oil spills for prevention and readiness using GIS and the blowout and spill occurrence model. *Ocean Coast. Manag.*, 112, 1-12. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.04.014.
- Rabbani, A. R., Kotarba, M. J., Baniasad, A. R., Hosseiny, E. and Wieclaw, D. (2014). Geochemical characteristics and genetic types of the crude oils from the Iranian sector of the Persian Gulf. *Org. Geochem.*, 70, 29-43. DOI: 10.1016/j.orggeochem.2014.02.010.
- Ranjbar, P., Shafieefar, M. and Rezvandoust, J. (2014). Modeling of oil spill and response in support of decreasing environmental oil effects case study: blowout from Khark subsea pipelines (Persian Gulf). *Int. J. Environ. Res.*, 8(2), 289-296. DOI: 10.22059/IJER.2014.719.
- Santos, C. F. and Andrade, F. (2009). Environmental sensitivity of the Portuguese coast in the scope of oil spill events-comparing different assessment approaches. *J. Coast. Res.*, 56, 885–889.
- Santos, F. C., Michel, J., Neves, M., Janeiro, J., Andrade, F. and Orbach, M. (2013). Marine spatial planning and oil spill risk analysis: finding common grounds. *Mar. Pollut. Bull.*, 74(1), 73–81. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.07.029.
- Sepp Neves, A. A., Pinardi, N., Martins, F., Janeiro, J., Samaras, A., Zodiatis, G. and De Dominicis, M. (2015). Towards a common oil spill risk assessment framework - Adapting ISO 31000 and addressing uncertainties. *J. Environ. Manag.*, 159, 158–168.

- <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.04.044>.
- Soussi, A., Bersani, C., Sacile, R., Bouchta, D., El-Amarti, A., Seghioeur, H., Nachite, D. and Al-Miys, J. (2020). Coastal Risk Modelling for Oil Spill in the Mediterranean Sea. *Adv. Sci. Technol. Eng. Syst. J.*, 5(4), 273-286. DOI: 10.25046/aj050434.
- Vethamony, P., Sudheesh, K., Babu, M. T., Jayakumar, S., Manimurali, R., Saran, A. K., Sharma, L. H., Rajan, B. and Srivastava, M. (2007). Trajectory of an oil spill off Goa, eastern Arabian Sea: Field observations and simulations. *Environ. Pollut.*, 148, 438-444. DOI: 10.1016/j.envpol.2006.12.017.
- Yao, F. and Johns, W. E. (2010). A HYCOM modeling study of the Persian Gulf: 1. Model configurations and surface circulation. *J. Geophys. Res.*, 115(C11), 1–17.