

مدل عددی لکه نفتی در منطقه جزیره خارک

هلن میرزایی^۱، مسعود ترابی آزاد^۲ و افشین محسنی آراسته^۳

دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۸)

چکیده

با استفاده از اطلاعات هیدروگرافی منطقه خلیج فارس و توسط نرم‌افزار Mike 21 حرکت لکه نفتی در اطراف جزیره خارک مطالعه شده است. در این مدل از شبکه‌بندی مثلثی نامنظم با ۱۱۳۲۵ گره و در نظر گرفتن سطح تراز جزر و مدی جزیره هنگام در تنگه هرمز و مرز خشکی در سواحل، شار جریان آب به‌دست آمده است. سپس جریان‌های جزر و مدی در منطقه خارک بادر نظر گرفتن ۳ مرز باز و یک مرز خشکی (ساحل بوشهر) شبیه‌سازی شد. به‌منظور کالیبراسیون اطلاعات، سطح تراز جزر و مدی در ایستگاه خارک با خروجی سطح تراز جزر و مدی مدل مقایسه گردید. بر اساس نتایج مدل میزان نوسان‌های سطح آب ناشی از جزر و مد از ۱۵-۲۵ فوریه ۲۰۱۱، ۰/۳۳ تا ۲/۲۷ متر و اندازه سرعت جریان‌های جزر و مدی از ۰ تا ۰/۷ متر بر ثانیه محاسبه شد. همچنین میزان نوسان‌های سطح آب ناشی از جزر و مد از ۱۰ الی ۲۰ آگوست ۲۰۱۱، ۰/۳۶ تا ۲/۱۹ متر و اندازه سرعت جریان‌های جزر و مدی ۰ تا ۰/۶ متر بر ثانیه حاصل شد. بر اساس مقدار جریان به‌دست‌آمده از مدل برای یک ایستگاه، سری زمانی جریان جزر و مدی رسم و معادله مکان زمان آن به‌دست آورده شد. برای به‌دست آوردن مسیر طی شده توسط لکه نفتی با استفاده از نرم‌افزار Adiose 2 مدت زمان رسیدن لکه به حالت امولسیون کامل و در نتیجه توقف لکه به‌دست آمده است. سرعت جریان‌های جزر و مدی به‌دست‌آمده در ماه فوریه ۲۰۱۱ بیشتر از آگوست ۲۰۱۱ است و در نتیجه در فوریه ۲۰۱۱ در حرکت لکه نفتی نوسان زیادی مشاهده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: جریان جزر و مدی، مدل عددی، لکه نفتی، نرم‌افزار Mike 21، نرم‌افزار Adiose 2، جزیره خارک، خلیج فارس

Oil spill simulation in the Khark Island region

H. Mirzaie, M. Torabi Azad and A. Mohseni Arasteh

Faculty of Marine Science and Technology

Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

(Received: 04/November/2019 ; Accepted: 28/June/2020)

Abstract

In this paper, the movement of an oil spill around the Khark Island has been studied, using the hydrographic information of the Persian Gulf region and the Mike21 software. To obtain the water flow flux, a model with an irregular triangular network containing 11325 nodes was assumed and the tidal level of Hengam Island in the Strait of Hormuz and the land boundary condition on the coast were considered. Then the tidal currents in the Khark region were simulated by considering 3 open boundaries and one land boundary (the Bushehr coast). In order to calibrate the information, the tidal level in Khark station was compared with the output of the model tidal level. Based on the results of the model, the amount of water level fluctuations caused by the tides from February 15-25, 2011 were calculated to be in the range of 0.33 to 2.27 meters and the speed of the tidal currents were calculated from 0 to 0.7 meters per second. Also, the amount of water level fluctuations caused by the tides from 10 to 20 August 2011 were 0.36 to 2.19 meters and the speed of tidal currents were 0 to 0.6 meters per second. Based on the value of current obtained from the model for a station, the tidal current time series was plotted and its time-space equation was obtained. To obtain the path taken by the oil spill, the time for the spill to reach full emulsion and thus stop, is obtained using Adios2 software. In 2011 the tidal currents obtained in February were faster than August and as a result, in February 2011, there were a lot of fluctuations in the movement of the oil spill.

Key words: Tidal Current, Numerical Modeling, Oil Spill, Mike21 Software, Adios2 Software, Persian Gulf, Khark Island.

۱- کارشناس ارشد: helen.mirzaei@gmail.com

۲- استاد (نویسنده پاسخگو): M_Azad@iau-tnb.ac.ir

۳- دانشیار: afshinma2000@yahoo.com

۱- مقدمه

جزیره خارک از نظر موقعیت جغرافیایی در $29^{\circ}15'$ عرض شمالی و $50^{\circ}20'$ طول شرقی در ۵۷ کیلومتری شمال غربی بوشهر و ۳۵ کیلومتری بندر گناوه واقع است. طول جزیره در راستای شمال - جنوب حدود ۸ km و دارای عرض ۴km می‌باشد. ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۳ متر و دمای این جزیره در طی سال از ۴ تا ۴۶ درجه سانتی‌گراد متغیر است. میانگین روزانه دما در زمستان 17°C و در تابستان $32/6^{\circ}\text{C}$ می‌باشد. این جزیره یکی از مهم‌ترین پایانه‌های صادرات نفت جهان بشمار می‌رود به طوری که در زمان جنگ ایران و عراق ۹۰٪ صادرات نفت ایران از این جزیره صورت می‌گرفت. این جزیره به دلیل داشتن سواحل عمیق برای ایجاد لنگرگاه و پهلو گرفتن نفت‌کش‌ها بسیار مناسب می‌باشد. علاوه بر این قشر سنگ‌ها سطح جزیره را پوشانده به طوری که ارتفاع وسط جزیره به ۶۰ متر می‌رسد، این ارتفاعات موجب شده بندرگاه‌های شرقی خارک در مقابل شدت جریان باد شمال غربی و جنوب شرقی در امان بمانند [۵].

صباغ یزدی در سال ۲۰۰۵ با حل ترکیبی معادلات هیدرودینامیک و معادلات همرفتی و پخش لکه نفتی، لکه نفتی ناشی از جریان‌های جزر و مدی را در خلیج فارس شبیه‌سازی کرد. وی از معادلات هیدرودینامیکی دوبعدی پیوستگی جرم و اندازه حرکت متوسط گیری شده در عمق استفاده به عمل آورد. اثر تبخیر در معادله پیوستگی و اثر شیب بستر و اصطکاک و نیروی کوریولی در معادله اندازه حرکت وارد شد. جریان متوسط ماهیانه ارون رود در سرعت جریان ورودی لحاظ شده و خط ساحلی و جزایر به عنوان شرایط مرزی در نظر گرفته شدند. حرکت لکه به دلیل سرعت جریان آب فرض شده و از سرعت باد صرف نظر شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که حرکت لکه نفتی به دلیل جریان آب و فاکتورهای پخش بوده و گسترش لکه در جهات مختلف در خلیج فارس متفاوت است که به دلیل وجود میدان‌های سرعت متفاوت در الگوی جریان می‌باشد [۶].

چائو در ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ میلادی مدلی را برای حادثه ریزش نفت در تنگه سنگاپور که در ۱۹۹۷ رخ داده بود ارائه کرد. این ریزش به میزان ۲۸۵۰۰ تن در ابعاد km^2

با توجه به نیاز روزافزون جهان به انرژی و رشد سریع اقتصادی آن موجب افزایش درخواست سوخت‌های نفتی در دهه‌های اخیر شده است. اغلب لکه‌های نفتی در مسیر تردد کشتی‌ها مشاهده می‌شوند، آلودگی لکه نفتی در نتیجه رهاسازی نفت و تخلیه توسط کشتی‌ها، حفاری، اسکله‌های نفتی، برخورد نفت‌کش‌ها، انفجار چاه‌های نفت، شکستن خطوط لوله در دریاها پخش می‌شود. از این میان برخورد نفت‌کش‌ها فقط ۵٪ درصد آلودگی‌ها را شامل می‌شود. نفتی که سطح آب را می‌پوشاند اثر نامناسبی بر زندگی پرندگان دریایی دارد و نفت ته‌نشین شده موجب از بین رفتن تعداد زیادی از ارگانیزم‌های بستری می‌شود. این لکه‌ها خسارات جدی به آبزیان وارد کرده و موجب آلودگی خط ساحلی می‌شود، این رویدادها در مجموع برای محیط اقیانوس مضر بوده و سلامتی بشر را به خطر می‌اندازد. این دلیلی بر ضرورت مطالعه بیشتر در این زمینه است. عموماً حرکت و سرنوشت لکه‌های نفتی در آب تابع فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است که تابع خواص نفت، شرایط هیدرودینامیک و شرایط زیست‌محیطی است [۱]. از بزرگ‌ترین نشت‌های نفتی جهان، نشت نفت در سواحل کویت را می‌توان بیان کرد. که در اوایل دهه ۱۹۹۰ به دلیل حوادث مربوط به جنگ رخ داد. نشت نفت در مقیاس‌های مختلف می‌تواند اثرات مخربی بر اجزای مختلف محیطی مانند خاک، آب‌های زیرزمینی، محیط‌زیست دریایی، کیفیت دریایی و آلودگی هوا ایجاد کند. علاوه بر این، هزینه پاک‌سازی نشت نفت و اصلاح آن می‌تواند بسیار زیاد باشد [۲]. خلیج فارس یک خور معکوس کاملاً شور و نیمه محصور است که در معرض خطر نشت نفت در فعالیت‌های نفت و گاز دریایی است. دلایل مختلف منجر به نشت نفت به طور تصادفی از منابع ثابت و متحرک در محیط دریایی می‌شود؛ بنابراین، داشتن برنامه‌ای منظم برای کاهش پیامدهای نشت نفت ضروری است. به همین منظور یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری عمومی برای برنامه‌ریزی پاسخ منفعّل و فعال در خلیج فارس، قبل و بعد از نشت نفت، پیشنهاد شده است [۳ و ۴].

صدری نسب و حسینی در ۲۰۱۰ جریان‌های جزر و مدی در خلیج بوشهر را با استفاده از مدل کوهرنس با وارد کردن نیروهای کشنده، باد، اصطکاک اولیه و گرادیان فشار شبیه‌سازی کردند. به‌منظور شبکه‌بندی مدل از فواصل ۲۵۰ متر در راستای شرق-غرب و فواصل ۲۵۰ متر در راستای شمال-جنوب و نیز از سطح تا عمق به ۱۰ لایه تقسیم کردند. از جمله پارامترهای جوی استفاده‌شده در مدل شامل مؤلفه‌های سرعت باد، رطوبت نسبی، دمای هوا، پوشش ابر و بارش ایستگاه هواشناسی بوشهر می‌باشد. دما و شوری مرز باز مدل را، با توجه به داده‌های شبیه‌سازی دما و شوری مدل کوهرنس در خلیج فارس انتخاب کرده و دامنه و فاز چهار مؤلفه اصلی جزر و مد K_1 , O_1 , M_2 , S_2 بندر بوشهر را به‌عنوان شرایط مرزی باز در نظر گرفته و از معادلات ناویر-استوکس برای مدل‌سازی جریان‌ها استفاده نمودند. مدل در بازه زمانی ۵ سال در خلیج بوشهر برای رسیدن رژیم گردش آب و سایر خواص آب به یک چرخه پایدار اجرا شد. نمودارهای جزر و مد و جریان در بازه ۱۴ روز رسم و داده‌های شرکت جهاد آب و انرژی مقایسه شد که نتایج مدل هم‌خوانی خوبی با اندازه‌گیری‌های میدانی داشت. در نتیجه مقایسه نوسان‌های سطح آب و جریان نشان داده شد، به‌طوری‌که در مد سرعت جریان کاهش و در جزر سرعت جریان افزایش می‌یابد. سرعت جریان‌های اندازه‌گیری‌شده توسط شرکت جهاد آب و انرژی ۰/۶۲ متر بر ثانیه و سرعت جریان‌های مدل ۰/۶۴ متر بر ثانیه می‌باشد [۱].

تریندد و بلاجی^۱ مشخصه‌های هیدرودینامیکی سواحل شمالی بحرین را به کمک نرم‌افزار RMA2 سطح تراز آب و نیز نوسان‌های جریان در منطقه را شبیه‌سازی کردند. نرم‌افزار RMA2، نرم‌افزاری دوبعدی متوسط‌گیری شده در عمق می‌باشد. بدین منظور ناحیه‌ای به ابعاد ۴۰ کیلومتر به‌طرف دریا و ۳۰ کیلومتر در راستای ساحل انتخاب و از شبکه‌بندی مثلثی با مقدار متوسط ۲۵۰۰ متر در نواحی عمیق که در حرکت به سمت سواحل کم عمق به ۱۰۰ متر می‌رسد استفاده شد [۱۳].

در این تحقیق از روش‌های عددی توسط نرم‌افزار Mike و نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی جریان‌های جزر و مدی در منطقه خارک شبیه‌سازی شده و با استفاده از

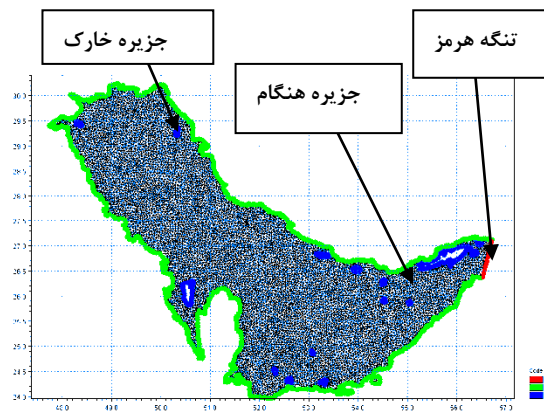
۱۵/۵×۵۲ برآورد شد. چائنو از مدل دو بعدی برای شبیه‌سازی حرکت لکه سطحی نفت و از مدل سه‌بعدی برای پیش‌بینی غلظت ذره نفت در ستون آب استفاده کرد. او برای شبیه‌سازی توزیع ذرات نفت در ستون آب مدل سه‌بعدی جابجایی نفت را بر اساس معادله انتقال جرم و توزیع غلظت ذرات نفت بکار برد. حوزه مدل ناحیه‌ای به ابعاد ۱۱۰×۷۲ کیلومتر مربع و توده آب به ۸ لایه تقسیم شد. نتایج نشان داد که ارتفاع‌های سطحی آب و جریان‌ها از مدل عددی هم‌خوانی خوبی با داده‌های جزر و مدی داشته و ضخامت لکه نفتی سریعاً طی شش ساعت کاهش داشته است، تبخیر رخ داده در ۱ تا ۲ روز اول حدود ۰/۳۶٪ نفت ریزش شده و مقدار حلالیت ۰/۲۹ درصد مقدار کل ریزش و غلظت نفت با افزایش عمق کاهش یافته است. وی مشاهده کرد مسیر حرکت لکه نفتی در مدل با مسیر طی شده لکه تطابق خوبی داشته است [۷ و ۸].

حبیبی واحد زنجانی در ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ حرکت سطحی لکه میعانات گازی ناشی از ریزش اتفاقی در منطقه دریایی عسلویه را توسط مدلی عددی که بر اساس حل معادلات ناویر-استوکس و پیوستگی با تأثیر سرعت باد متغیر و چگالی متغیر جریان میعانات گازی-آب را شبیه‌سازی کرد. وی با استفاده از معادله غلظت و تأثیر پارامترهای چشمه و چاه از جمله تبخیر، حلالیت و پخش عمودی مدلی سه‌بعدی برای حرکت ذرات میعانات گازی در ستون آب برای منطقه عسلویه را به‌دست آورد [۹ و ۱۰].

آل رابه و همکاران در ۱۹۹۳ و ۲۰۰۰ به‌منظور شبیه‌سازی لکه نفتی از برنامه Oilpol استفاده کردند. در استفاده از مدل هیدرودینامیک، از مدل GulfHydro استفاده شد. معادلات استفاده‌شده در مدل، معادلات اندازه حرکت و پیوستگی به همراه شرایط مرزی دینامیکی و سینماتیکی روی سطح و بستر آب و نیز در مرزها می‌باشد. در مدل Oilpol از روش مونت کارلو استفاده شده، بدین ترتیب که لکه به تعداد زیادی از ذرات لاگرانژی با سایزهای برابر تقسیم شده و هر لکه در هر بازه زمانی مسافتی را طی می‌کند. از فرضیات اساسی مدل می‌توان به حرکت هر شی شناور، از جمله لکه نفتی با سرعت و جهت جریان آب اشاره کرد [۱۱ و ۱۲].

^۱ Balaji-J.Trinidad

گرفته شد، و کلیه سواحل خلیج فارس و جزایر به‌عنوان خشکی در مدل لحاظ گردید (شکل ۲). بازه زمانی ۱۰ روز از آن جهت منظور شده است که لکه نفتی در حرکت روی سطح آب نهایتاً ۶ روز بر سطح آب شناور مانده و سپس در اثر فرایندهای هوازگی ته‌نشین خواهد شد.



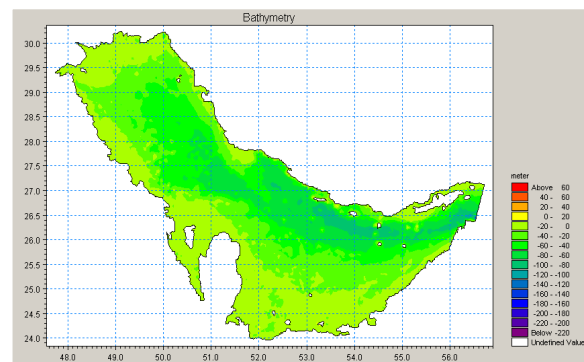
شکل (۲): مرزبندی و شبکه‌بندی خلیج فارس

در مدل مایک که مدلی جهت شبیه‌سازی تغییرات سطح آب و جریان می‌باشد، از معادلات پیوستگی و اندازه حرکت دوبعدی متوسط گیری شده با عمق استفاده می‌شود. به‌منظور پایداری مدل، بادر نظر گرفتن عدد کورانت برابر $0/8$ و فواصل شبکه‌بندی ۵ کیلومتر، بازه زمانی ۲۰۰ ثانیه برای اجرای این مدل انتخاب شد. که برای فواصل با ابعاد شبکه ریزتر (مجاورت جزایر) از گام‌های زمانی کوچک‌تر تا $0/1$ ثانیه متناسب با عدد کورانت استفاده شده است. در مدل هیدرودینامیک در فوریه ۲۰۱۱ به‌دلیل نبودن داده از متوسط سرعت باد با مقدار $4/5$ متربرثانیه در جهت شمال غربی و در آگوست ۲۰۱۱ به‌دلیل وجود داده در بازه زمانی مفروض سرعت باد متغیر در نظر گرفته شده است. برای شرایط اولیه سطح تراز آب، سطح متوسط تراز آب در بازه شبیه‌سازی در فوریه ۲۰۱۱ مقدار $1/2$ متر و در آگوست ۲۰۱۱ مقدار $1/7$ متر و سرعت اولیه جریان صفر فرض گردیده است. به‌منظور عمق سنجی منطقه خارک، سواحل بوشهر را به‌عنوان مرز خشکی و مرزهای شمالی و غربی و جنوبی به‌عنوان مرزهای باز در نظر گرفته شده است. در منطقه مورد نظر به‌دلیل داشتن هندسه نامنظم منطقه از شبکه‌بندی مثلثی به فواصل ۵۰۰ متر و 61158 گره استفاده شد (شکل ۳).

این اطلاعات در نرم‌افزار Adiose 2 تغییرات محسوس چگالی نفت و مسافت طی شده توسط آن محاسبه شده است.

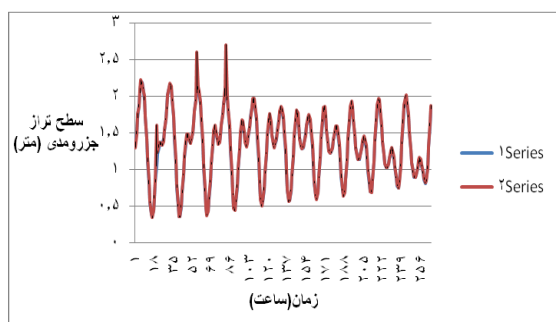
۲- روش‌ها

در این تحقیق اطلاعات لازم برای شبیه‌سازی لکه نفتی از جمله فایل هیدروگرافی منطقه خلیج فارس، نوسان‌های سطح تراز جزر و مدی تنگه هرمز و جزیره خارک، اطلاعات سرعت باد در یک ماه از فصل تابستان و یک ماه از فصل زمستان جمع‌آوری شده است. با استفاده از مدل مایک ۲۱ جریان‌های جزر و مدی در خلیج فارس و سپس در جزیره خارک شبیه‌سازی و معادله مکان-زمان جریان به‌دست آورده شده است. سپس با استفاده از نرم‌افزار Adiose 2، مدت زمان رسیدن نفت به امولوسیون کامل و توقف حرکت لکه به‌دست آمده است. با جایگذاری زمان حرکت لکه در معادله مکان زمان، مختصات نهایی لکه پیش‌بینی شده است. برای عمق سنجی خلیج فارس، با استفاده از فایل هیدروگرافی منطقه خلیج فارس و استفاده از نرم‌افزار Mike 21، نقشه عمق منطقه خلیج فارس رسم شد. در این تحقیق به‌دلیل قابلیت‌های بالای محاسباتی و گرافیکی از نرم‌افزار Mike21 استفاده شده است. در رسم نقشه عمق منطقه، به‌دلیل هندسه نامنظم خلیج فارس از شبکه‌بندی مثلثی با فواصل ۵ کیلومتر و 11325 گره استفاده به عمل آمد (شکل ۱).

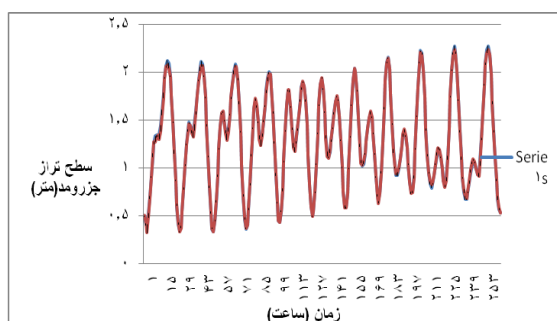


شکل (۱): عمق‌سنجی خلیج فارس

به‌منظور اجرای مدول هیدرودینامیکی و اعمال شرایط مرزی سطح تراز جزر و مدی در جزیره هنگام از ۱۵ فوریه ۲۰۱۱ به مدت ۱۰ روز و نیز از ۱۰ آگوست به مدت ۱۰ روز را به‌عنوان سطح تراز جزر و مدی در تنگه هرمز در نظر



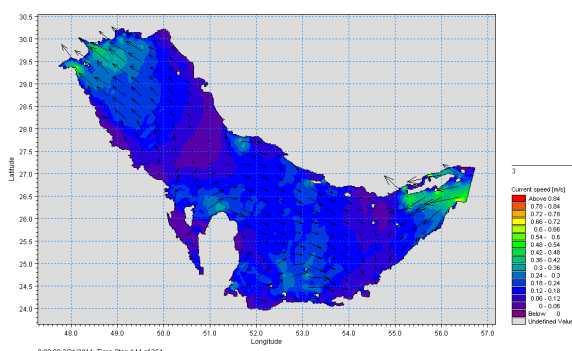
شکل (۴): مقایسه سطح تراز جزرومدی در فوریه ۲۰۱۱ جزیره خارک با سطح تراز جزرومدی مدل در منطقه خارک (سری ۱ مقادیر واقعی - سری ۲ مقادیر مدل)



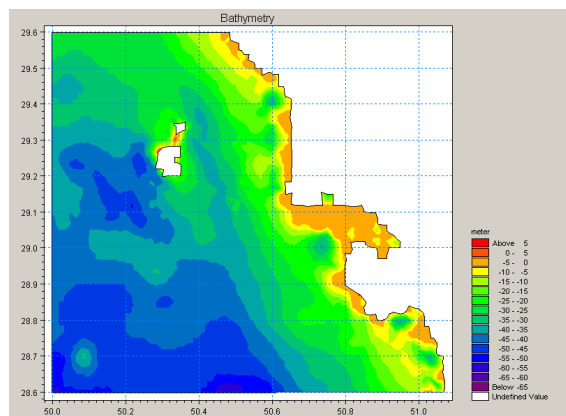
شکل (۵): مقایسه سطح نوسانات جزرومدی در آگوست ۲۰۱۱ با سطح تراز جزرومدی مدل در منطقه خارک (سری ۱ مقادیر واقعی - سری ۲ مقادیر مدل)

۳- بحث

نتایج اجرای مدل در مقیاس بزرگ‌تر برای کل خلیج فارس در شکل‌های ۶ تا ۹ ارائه شده است. جریان‌های جزر و مدی به دست آمده در فوریه و آگوست ۲۰۱۱ مطابق این شکل‌ها برای کل خلیج فارس نشان داده شده است.



شکل (۶): جریان‌های جزرومدی ۲۱ فوریه ۲۰۱۱ در حالت مد کامل

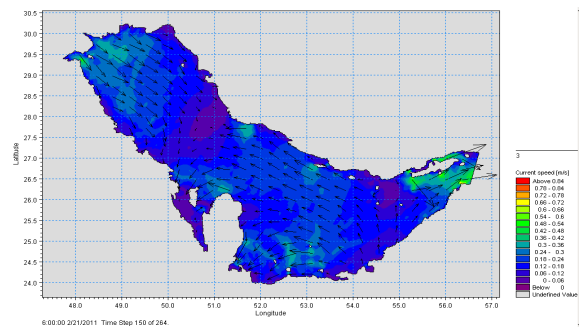


شکل (۳): عمق سنجی منطقه خارک

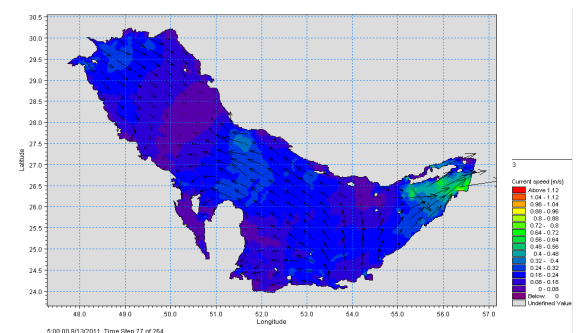
در اجرای مدول هیدرودینامیک برای اطراف جزیره خارک از خروجی‌های مدل بزرگ‌تر برای خلیج فارس به عنوان شرایط مرزی ورودی استفاده شده است. به منظور پایداری مدل و با توجه به فواصل شبکه بندی ۵۰۰ متر و با استفاده از عدد کورانت که مناسب‌ترین حالت آن برابر ۰/۸ می‌باشد، از بازه زمانی ۱۸ ثانیه در ۱۵ الی ۲۵ فوریه و نیز ۱۰ الی ۲۰ آگوست ۲۰۱۱ استفاده شده است. انتخاب دو ماه مذکور و در بازه‌های زمانی ۱۰ روزه از آن جهت صورت گرفته است که مقایسه‌ای در مسیر طی شده توسط لکه، میان دو ماه از سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال بوده و نیز نفت ریزش شده به دلیل تحت تأثیر قرار گرفتن لکه تحت فرایندهای هوازدگی نهایتاً ۶ روز می‌تواند بر سطح آب شناور بماند و نیز در نظر گرفتن روزهای ۱۵ الی ۲۵ فوریه و نیز ۱۰ الی ۲۰ آگوست از آن جهت است که در این روزها، میزان جزر و مد قوی‌تر از سایر روزهای ماه می‌باشد. در محاسبه جریان‌های جزر و مدی و نیز جریان‌های ناشی از باد از تغییرات چگالی صرف نظر می‌شود [۱۴]، چگالی آب ثابت فرض شده و در نتیجه از مد باروتروپیک در مدل استفاده شده است. با اعمال شرایط مرزی و نیز استفاده از ضریب مانینگ ۳۲ مدول هیدرودینامیک برای منطقه جزیره خارک اجرا شده و به منظور کالیبراسیون مدل، به دلیل نداشتن داده جریان، در بازه شبیه‌سازی مطابق شکل‌های ۴ و ۵ تغییر سطح تراز جزر و مدی به دست آمده از مدل در ایستگاه خارک با تغییرات تراز جزر و مدی حاصل از سایت هیدروگرافی ایران مقایسه گردیده است.

با اجرای مدول هیدرودینامیک در منطقه خارک، سری زمانی تغییرات مؤلفه افقی و عمودی جریان را در $N 29/1$ و $E 50/4$ (نقطه فرضی ریزش) در ۱۵ الی ۲۶ فوریه ۲۰۱۱ و نیز ۱۰ الی ۲۰ آگوست ۲۰۱۱ محاسبه شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار مطلب، معادله جریان-زمان به‌دست آمد. همچنین سری فوریه معادله مؤلفه افقی و عمودی جریان جزر و مدی و ناشی از باد در فوریه و آگوست ۲۰۱۱ با ضریب همبستگی $0/9622$ محاسبه شد.

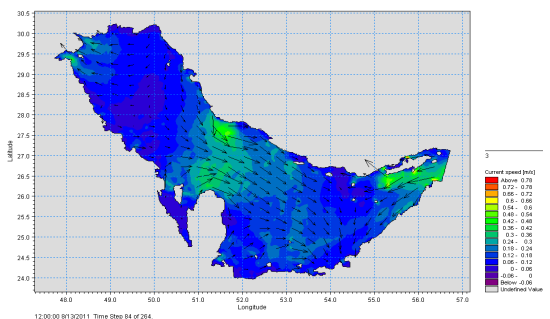
نفت پس از ریزش به‌دلیل فرایند امولسیون، قطرات آب به درون نفت فرو رفته و سبب افزایش چگالی نفت و در نهایت فرو رفتن در آب می‌شود. برای به‌دست آوردن زمان رسیدن لکه به حالت امولسیون کامل از نرم‌افزار Adios 2 استفاده شد. در اسکله خارک نفت خام سبک ایران^۱ (ILCO) بارگیری می‌شود که نفت ریزش شده به حجم یک تن فرض شد. وزن مخصوص^۲ نفت ریزش شده $33/8$ کیلوگرم بر متر مکعب است [۱۵]. در ۱۵ فوریه ۲۰۱۱ دمای هوا 19 درجه سانتی‌گراد و شوری آب دریا 39 جزر هزار و سرعت باد 4 متربرثانیه در جهت شمال غربی می‌باشد. هنگامی که نفت به 90 درصد آب در قطرات نفت برسد، نفت در اثر فرایندهای هوازگی به امولسیون کامل رسیده و در اثر نزدیک شدن چگالی آن به چگالی آب حرکتش متوقف خواهد شد. با توجه به نتایج نرم‌افزار Adios 2 لکه پس از 3 روز و 9 ساعت به امولسیون کامل خواهد رسید. به‌منظور محاسبه مدت زمان رسیدن لکه به حالت امولسیون کامل در صورت ریزش نفت در 10 آگوست ۲۰۱۱، نفت ریزش شده، نفت سبک ایران به مقدار 1 تن، دمای هوا 33 درجه سانتی‌گراد و سرعت باد متغییر فرض شد. پس از 3 روز و 21 ساعت قطرات نفت حاوی 90 درصد آب شده و در نتیجه به حالت امولسیون کامل خواهد رسید. از آنجایی که لکه نفتی به همراه جریان‌های جزر و مدی جابجا می‌شود، به‌منظور محاسبه مسافت و مسیر طی شده توسط لکه نفتی، با استفاده از معادلات مکان - زمان جریان‌های جزر و مدی، مختصات لکه نسبت به نقطه ریزش در هر زمان قابل دست‌یابی است. در نتیجه برای به‌دست آوردن مسافت و مسیر طی شده توسط لکه، زمان را در معادلات مکان زمان وارد کرده و این عمل تا زمان رسیدن لکه به امولسیون کامل انجام شد. در ادامه از روش آل را به و همکاران [۱۱ و ۱۲] در استفاده از نرم‌افزار



شکل (۷): جریان‌های جزرومدی خلیج فارس ۲۱ فوریه ۲۰۱۱ در حالت جزر کامل



شکل (۸): جریان‌های جزرومدی ۱۳ آگوست ۲۰۱۱ در حالت جزر کامل



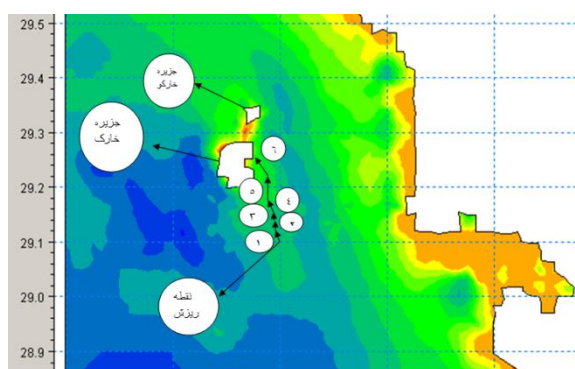
شکل (۹): جریان‌های جزرومدی ۱۳ آگوست ۲۰۱۱ در حالت مد کامل

بر اساس نتایج مدل، جهت جریان در منطقه خارک خلاف جهت عقربه‌های ساعت و در قسمت جنوبی خلیج فارس در جهت عقربه‌های ساعت به‌دست آمده است. شرایط جریان و جزر و مد در قسمت شمالی خلیج فارس به‌دلیل وجود جریان ارونرد رود و تأثیر بادهای رو به ساحل و خلاف جهت ساحل بسیار پیچیده می‌باشد که عمدتاً جریان‌های جزر و مدی در امتداد سواحل بوشهر تا دماغه بحرین به موازات ساحل و دارای سرعتی در حدود $0/2$ تا $0/7$ متر بر ثانیه می‌باشد [۱۱].

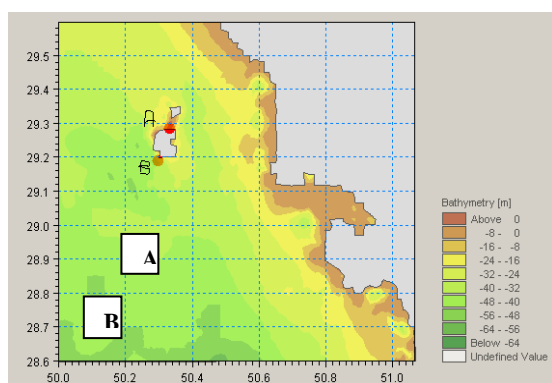
¹ Iranian Light Crud Oil

² Specific gravity(API)

شمالی و ۵۰/۴ شرقی در ماه فوریه ۲۰۱۱، لکه با سوار شدن بر جریان‌های جزر و مدی و داشتن حرکات رفت و برگشتی به دلیل جزر و مد در نهایت منجر به آلودگی سواحل خارک و خارکو خواهد شد. در صورت ریزش نفت در موقعیت جغرافیایی ۲۹/۱ شمالی و ۵۰/۴ شرقی در ماه آگوست ۲۰۱۱، لکه به همراه جریان‌های جزر و مدی به ساحل خارک برخورد خواهد کرد. در این تحقیق نوسان‌های سرعت جریان‌های جزر و مدی با استفاده از نرم‌افزار میک نسبت به زمان برای دو نقطه در اطراف جزیره خارک (شکل ۱۲) در نمودارهای ۱۳ و ۱۴ رسم شده است.



شکل (۱۱): مسیر طی شده توسط لکه نفتی در آگوست ۲۰۱۱

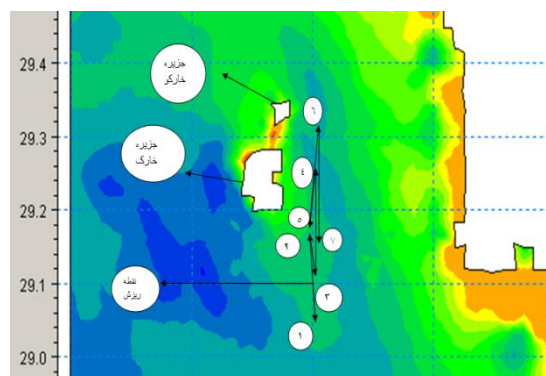


شکل (۱۲): موقعیت ایستگاه‌های A و B جهت شبیه‌سازی جریان‌های جزر و مدی در منطقه جزیره خارک

همان‌طور که شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان می‌دهند جریان‌های جزر و مدی به دلیل نوسانات سطح تراز آب در اثر جزر و مد، حالت نوسانی داشته که مقدار آن در این دو ایستگاه بین ۰ تا ۰/۶ متر بر ثانیه نوسان می‌کند. این مقادیر همخوانی خوبی با نتایج تحقیقات ذکر شده دارد. ایستگاه A دارای عمق کمتری نسبت به ایستگاه B است، لذا اندازه سرعت

oilpol و GulfTrak که در آن شی شناور از جمله لکه نفتی به همراه لایه سطحی آب و در جهت آن هدایت خواهد شد، استفاده شده است.

در صورت ریزش نفت در مختصات ۵۰/۴ شرق و ۲۹/۱ شمال در ۱۵ فوریه ۲۰۱۱ مدت زمان رسیدن لکه به حالت امولوسیون کامل ۸۱ ساعت می‌باشد. بادر نظر گرفتن نقطه ریزش به‌عنوان مبدأ مختصات لکه نفتی پس از ۱۲ ساعت در $(X=0/68, Y=-5/01)$ بر حسب کیلومتر و پس از ۲۴ ساعت در $(X=-1/17, Y=8/6)$ و پس از ۳۶ ساعت در $(X=-0/22, Y=1/67)$ و پس از ۴۸ ساعت $(X=2/22, Y=16/27)$ و پس از ۶۰ ساعت $(X=-1/11, Y=8/16)$ و پس از ۷۲ ساعت در $(X=3/05, Y=22/16)$ و پس از ۸۱ ساعت در $(X=-0/9, Y=6/24)$ کیلومتری خواهد رسید (شکل ۱۰).



شکل (۱۰): مسیر طی شده توسط لکه در فوریه ۲۰۱۱

در صورت ریزش نفت در مختصات ۵۰/۴ شرق و ۲۹/۱ شمال در ۱۰ آگوست ۲۰۱۱ مدت زمان رسیدن لکه به حالت امولوسیون کامل ساعت می‌باشد. بادر نظر گرفتن نقطه ریزش به‌عنوان مبدأ مختصات لکه نفتی پس از ۱۲ ساعت در $(X=-1/7, Y=1/26)$ و پس از ۲۴ ساعت در $(X=9/64, Y=3/9)$ و پس از ۳۶ ساعت در $(X=-3/5, Y=5/9)$ و پس از ۴۸ ساعت در $(X=-4, Y=8)$ و پس از ۶۰ ساعت در $(X=-4/77, Y=9/61)$ و پس از ۷۲ ساعت در $(X=-6/2, Y=21/19)$ و پس از ۸۴ ساعت در $(X=13/65, Y=-7/33)$ و پس از ۹۳ ساعت به $(X=-8/47, Y=15/52)$ کیلومتری نقطه ریزش خواهد رسید (شکل ۱۱).

همان‌طور که در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشخص می‌باشد، در صورت ریزش لکه نفتی در موقعیت جغرافیایی ۲۹/۱

۴- نتیجه گیری

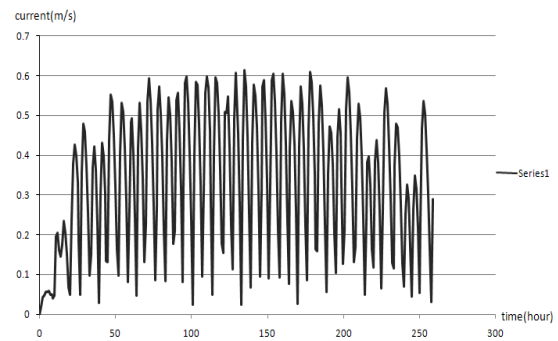
۱- بر اساس نتایج مدل میزان نوسان‌های سطح آب ناشی از جزر و مد از ۱۵-۲۵ فوریه ۲۰۱۱، ۰/۳۳ تا ۲/۲۷ متر است. جهت جریان‌های جزر و مدی در منطقه خارک برخلاف جهت عقربه‌های ساعت و به همراه نوسانات جزر و مد، نوسانات هماهنگ تغییرات مقدار جهت جریان‌های جزر و مدی مشاهده گردید. مقدار سرعت جریان از ۰ تا ۰/۷ متر بر ثانیه متغیر است. بزرگی جریان‌های جزر و مدی تابع ساختار و شیب بستر، اختلاف تراز سطح آب و وضعیت خط ساحلی می‌باشد. اختلاف بیشتر سطح آب در جزر و مد منطقه خارک می‌تواند جریان‌های با سرعت بیشتر ایجاد نماید.

۲- بر اساس نتایج مدل اجرا شده میزان نوسان‌های سطح آب ناشی از جزر و مد از ۱۰ الی ۲۰ آگوست ۰/۲۰۱۱، ۳۶ تا ۲/۱۹ متر است. جهت جریان‌های جزر و مدی در منطقه خارک از ۱۰ الی ۲۰ آگوست هماهنگ با نوسانات جزر و مد از ۰ تا ۰/۶ متر بر ثانیه متغیر است. از آنجا که نوسانات سطح تراز جزر و مدی در فوریه ۲۰۱۱ بیشتر از آگوست ۲۰۱۱ است، جریان‌های جزر و مدی فوریه ۲۰۱۱ دارای سرعت بیشتری می‌باشند. لذا سرعت حرکت آب در منطقه خارک در فصل زمستان بیشتر از تابستان می‌باشد. همچنین پیشروی و جابجایی لکه نفتی در فصل زمستان نسبت به تابستان بیشتر است. خصوصاً در فصل زمستان به دلیل افزایش سرعت بادهای غالب شمال غربی خلیج فارس، جابجایی حرکت لکه نفتی نیز بیشتر است.

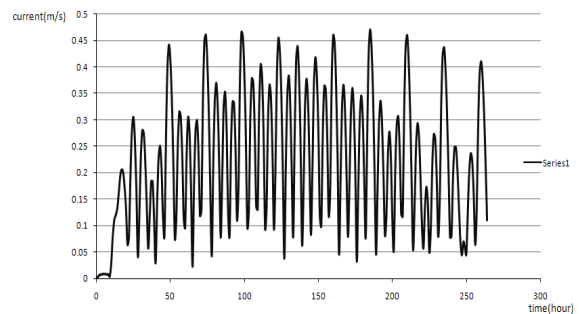
۳- از جمله عوامل مؤثر بر حرکت لکه نفتی، فرایندهای هوازدگی، سرعت باد و جریان آب را می‌توان اشاره کرد که در این بین در خلیج فارس، جریان آب بیشترین اثر را بر حرکت لکه نفتی دارا می‌باشد.

۴- با استفاده از نرم‌افزار مطلب و محاسبه ضرایب سری فوریه معادلات مکان زمان حرکت لکه نفتی در منطقه خارک در فوریه ۲۰۱۱ و آگوست ۲۰۱۱ به دست آورده شد. بر اساس این معادلات، حرکت لکه نفتی تابع سینوسی

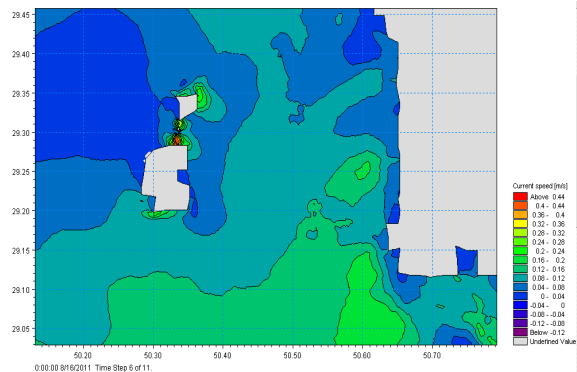
جریان در ایستگاه A نسبت به ایستگاه B بیشتر می‌باشد. در شکل ۱۵ نقاط دارای جریان یکسان در اطراف جزیره خارک برای یک روز از ماه آگوست مشخص شده است. در عمق‌های کمتر به دلیل افزایش اصطکاک بستر، نوسانات سطح آب قابل ملاحظه است و لذا سرعت جریان‌های جزر و مدی در آب‌های کم عمق بیشتر است.



شکل (۱۳): شبیه‌سازی سرعت جریان‌های جزرومدی نسبت به زمان در ایستگاه A



شکل (۱۴): شبیه‌سازی سرعت جریان‌های جزرومدی نسبت به زمان در ایستگاه B



شکل (۱۵): سرعت جریان‌های جزرومدی در ۱۶ آگوست ۲۰۱۱ در اطراف جزیره خارک

مشخص است که سواحل شمال و شمال شرقی این جزیره احتمال آلودگی بیشتری دارند. لذا احتمال آلودگی ناشی از ریزش نفت به دلیل سرعت بیشتر جریان‌های غالب جزر و مدی در سواحل شمالی جزیره خارک بیشتر است.

۵- مراجع

1. Sadrinassab, M. and Hosseini, S. T. "Numerical Forecasting of Tidal Currents in Bushehr Bay with Coherence Hydrodynamic Model", Proc. 12th Conf. Marine Industries, Gilan Province, Iran, 2010 (In Persian).
2. Nivine I. and Sreya V. "Oil Spills in the Persian Gulf: A Case Study and Environmental Review", Environment and Natural Resources Research; Published by Canadian Center of Science and Education. Vol. 8, no. 2, pp. 144-153, 2018.
3. Amir-Heidari, P. and Raie, M. "Response Planning for Accidental Oil Spills in Persian Gulf: A Decision Support System (DSS) Based on Consequence Modeling", Marine Pollution Bulletin, Vol. 140, no. 2, pp. 116-128, 2019.
4. Amir-Heidari, P. and Raie, M. "A New Stochastic Oil Spill Risk Assessment Model for Persian Gulf: Development, Application and Evaluation", Marine Pollution Bulletin, Vol. 145, no. 2, pp. 357-369, 2019.
5. "Geography of Persian Gulf Persian Islands, Bushehr Province", Publications of the Geographical Organization of the Armed Forces. 2002 (In Persian).
6. Sabbagh Yazdi, S. "Coupled Solution of Oil Slick and Depth Averaged Tidal Currents on Three Dimensional Geometry of Persian Gulf", Int. J. Environ. Sci. Te., Vol. 2, no. 4, pp. 309-317, 2006.
7. Chao, X., Shankar, N. J. and Cheong, H. F. "Two and Three-Dimensional Oil Spill Model for Coastal Waters", Ocean Eng., Vol. 28.No. 12, pp.1557-1573, 2001.
8. Chao, X., Shankar, N. J. and Wang, S. S. Y. "Development and Application of Oil Spill Model for Singapore Coastal Waters", J. Hydraul. Eng-Asce, Vol. 129, no. 7, pp. 495-503, 2003.
9. Habibi, S., Torabi Azad, M., and Bidokhti, A. A. "A Numerical Model for the Prediction of Movement of Gas Condensate from Spill Accidents in the Assalouyeh Marine Region,

می‌باشد که این امر ناشی از حرکات رفت و برگشتی در جزر و مد است.

۵- مقدار سرعت جریان‌های جزر و مدی در فوریه ۲۰۱۱ قوی‌تر از آگوست ۲۰۱۱ است و در نتیجه در فوریه ۲۰۱۱ نوسان زیادی در مسیر حرکت لکه نفتی مشاهده می‌شود.

۶- بر اساس شبیه‌سازی به عمل آمده در صورت ریزش لکه نفتی در موقعیت جغرافیایی ۲۹/۱ شمالی و ۵۰/۴ شرقی در ماه فوریه ۲۰۱۱، لکه با سوار شدن بر جریان‌های جزر و مدی و داشتن حرکات رفت و برگشتی به دلیل جزر و مد در نهایت منجر به آلودگی سواحل خارک و خارکو خواهد شد. در صورت ریزش نفت در موقعیت جغرافیایی ۲۹/۱ شمالی و ۵۰/۴ شرقی در ماه آگوست ۲۰۱۱، لکه نفتی به همراه جریان‌های جزر و مدی با حرکتی کندتر نسبت به فوریه ۲۰۱۱ به ساحل خارک خواهد رسید.

۷- در امولوسیون نفت، تبخیر نقش مهمی را ایفا می‌کند زیرا با تبخیر مؤلفه‌های سبک‌تر، ویسکوزیته و چگالی نفت افزایش می‌یابد. تبخیر تابع دما و سرعت باد می‌باشد و با افزایش سرعت باد فشار بخار آب بر سطح دریا کاهش یافته و احتمال تبخیر مؤلفه‌های سبک‌تر بالاتر می‌رود. مدت امولوسیون کامل لکه نفتی در آگوست ۲۰۱۱ طولانی‌تر از فوریه ۲۰۱۱ است، زیرا با وجود بالاتر بودن دما در تابستان، به دلیل وزش بادهای شدید در زمستان در سطح خلیج فارس، تبخیر در زمستان بیش از تابستان است و نیز برهمکنش امواج و لکه نفتی بیش‌تر مشاهده می‌شود و در نتیجه لکه سریع‌تر به حالت امولوسیون کامل خواهد رسید.

۸- با توجه به وجود میدان‌های سرعت جریان آب متفاوتی در جهات مختلف در خلیج فارس شاهد مسیرهای متفاوتی در انتقال لکه نفتی در مناطق متفاوت خواهیم بود.

۹- جزیره خارک در قسمت شمالی خلیج فارس واقع است، سرعت جریان‌های جزر و مدی در آن کمتر از تنگه هرمز است. البته نقاطی که دارای عمق کمتری می‌باشند دارای سرعت جریان‌های جزر و مدی بیشتری خواهند بود و حرکت لکه در این مناطق سرعت بیشتری دارد. با توجه به وجود اسکله‌های بارگیری نفت در شرق جزیره خارک در دو ایستگاه احتمال وقوع ریزش نفت در جنوب شرقی این جزیره شبیه‌سازی شده است. بر اساس نتایج حاصل‌شده

12. Al-Rabeh, A.H., Lardner, R.W. and Gunay, N. "Gulf Spill Version 2.0: A Software Package for Oil Spills in the Persian Gulf", *J. Environ. Journal of Environmental Modelling and Software*, Vol. 15, no. 4, pp. 425-442, 2000.
13. Balaji-J.T. "Tidal Hydrodynamics of North Bahrain Coastal area", *The Arabian J. Sci. Eng.*, Vol. 35, no. 2B, pp. 93-103, 2010.
14. Brekke, C. and Schistad Solberg, A. "Oil spill Detection by Satellite Remote Sensing", *Remote Sens. Environ.*, Vol. 95, no. 1, pp. 1-13, 2005.
15. "Red Sea and Persian Gulf Report", National Geospatial Intelligence Agency, 2011.
10. Habibi Vahed, SH., Torabi Azad, M., Bidokhti, A. A. "Numerical Model for Predicting the Movement of Gas Condensate Due to Accidental landslides in the Assaluyeh Maritime Zone", *Proc. 7th Int. Conf. Coastal Engineering, Ports and Marine Structures*, Tehran, Iran, 2006 (In Persian).
11. Al-Rabeh, A., Lardner, R., Gunay, N. and Khan, R. "On Mathematical and Empirical Models for Surface Oil Spill Transport in the Persian Gulf", *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 27, pp. 71-77, 1993.