مدلسازی اثرات شرایط آب و هوایی و پارامترهای فیزیکی بر مسیر و سرنوشت لکه نفتی در خلیج فارس

پوران خدری[۱] , امیر اشتری لرکی[۲*] مسعود صدری نسب[۳]

۱و*۲- دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر- خرمشهر، ایران

۳- دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران- تهران، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول : ashtari@kmsu.ac.ir

تاریخ دریافت : ۹۹/۰۸/۰۶ تاریخ پذیرش : ۹۹/۱۱/۱۱

چکیده

آلودگی ناشی از نشت نفت در خلیج فارس با وجود حجم گسترده‌ای از تولید و حمل‌ونقل نفت، اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. سرنوشت و رفتار نفت ریزش شده با عوامل مختلفی مانند نوع نفت و شرایط محیطی مرتبط است. بنابراین هدف از این مطالعه توسعه‌ی یک مدل معتبر تحلیل ریزش نفت برای پیش‌بینی تاثیرات شرایط آب و هوایی و پارامترهای فیزیکی بر مسیر و سرنوشت لکه نفتی در خلیج فارس می باشد. برای این منظور ابتدا مدل هیدرودینامیکی سه بعدی COHERENS V2.11 با به‌کارگیری اطلاعات دقیق عمق‌سنجی و نیرو با دقت بالای مکانی و زمانی در خلیج فارس توسعه داده شد. سپس داده‌های جریان، دما و شوری مدل مذکور و میدان باد پایگاه ECMWF در مدل ریزش نفتی سه بعدی OSCAR بکاربرده شد. نتایج مدل نشان داد تلفیق این دومدل ابزاری بسیار قوی برای پیش-بینی مسیر و سرنوشت حرکت لکه‌ی نفتی در خلیج فارس است. همچنین اجرای مدل در فصل تابستان نشان داد که در این فصل به دلیل کاهش سرعت باد، تلاطم، افزایش پایداری و لایه بندی، جهت حرکت لکه‌ی نفتی به طرف ساحل بیش‌تر شده و نفوذ ذرات در عمق کاهش پیدا می‌کند.

کلمات کلیدی: "مدل‌سازی انتقال و سرنوشت نفت"، "خلیج فارس"، "مدل نفتی OSCAR " ، "باد"

Modeling the effects of physical parameters and seasonal conditions on the fate of spilled oil in the Persian Gulf.

Pooran khedri[1] , Amir Ashtari Laraki[2*]

Masoud Sadrinasab[3]

1,2*- Faculty of Marine Science, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

3- Graduate Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

*Email Address: ashtari@kmsu.ac.ir

Abstract

Pollution from oil spills in the Persian Gulf seems inevitable despite the huge volume of oil production and transportation. The environmental conditions and the type of oil can affect the fate and transport of spilled oil. Therefore, the aim of this study is to develop an oil spill model to predict the effects of seasonal conditions and physical parameters on the path and fate of spilled oil in the Persian Gulf. First, the new version of COHERENS model is developed with Appling the most accurate bathymetry data and forces with high temporal resolution and spatial resolution in the Persian Gulf. Then the current, temperature and salinity data of the mentioned model and the wind field from ECMWF database were used in the OSCAR oil spill model. The results of the model showed that the combination of these two models is a very powerful tool for predicting the fate and transport of the oil spills in the Persian Gulf. Furthermore, the summer result noted that due to the decrease in wind speed, turbulence, increased stability and stratification, oil spill may move toward shore lines and the penetration of particles in depth decreases.

Keywords: “transport and fate of the oil modeling”, “Persian Gulf”, “OSCAR model”, “wind”

۱- مقدمه

انتشار نفت در محیط‌های دریایی منجر به صدمات جدی محیط زیستی، اثرات کوتاه مدت و بلند مدت قابل توجه بر زیستگاههای ساحلی و دریایی می‌شود. اهمیّت تحقیق و بررسی جدی آلودگی نفتی در خلیج فارس با بررسی اجمالی وضعیت حاکم بر منطقه مشخص می‌شود. این منطقه از شلوغ ترین مسیرهای آبی جهان بوده که با انتقال ۱۷ میلیون بشکه نفت در روز از تنگه هرمز ۶۰ درصد از حمل و نقل نفت جهانی را شامل می‌شود (Hameed et al., 2019). خلیج فارس به دلیل تبادل محدود با آب‌های آزاد، تبخیر بیش از حد و شوری زیاد، پایین بودن ضریب تعویض و انتقال آب با اقیانوس هند و بالاخره فقدان جریان‌ها و کوران‌های دریایی خیلی قوی دارای ظرفیت و قابلیت بسیار محدود در رابطه با دگرگون‌سازی یا پالایش آلودگی‌های وسیع می‌باشد. مدل‌های عددی یکی از ابزارهای مهم در طرح عملیّات اضطراری و مدیریت سواحل هستند و به صورت وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. چنین مدل‌هایی در هنگام رخداد حوادث ریزش نفت، به صورت یک ابزار پیش‌بینی با زمان واقعی[1]عمل می‌کنند و در طرح عملیّات اضطراری برای پیش‌بینی حرکت و توزیع غلظت ذرات نفت به منظور انتخاب بهترین استراتژی در کنترل، جمع‌آوری و به حداقل رساندن آلودگی نفتی حائز اهمیّت هستند. صباغ یزدی (۱۳۸۰)، مدل دو بعدی جزر و مدی پراکنش نفت در خلیج فارس با حل معادلات میانگین عمقی بر روی شبکه اجزای بی ساختار ارائه داد. این مدل در منطقه دریایی عسلویه اجرا شده است و نتایج حاصل از مدل با مشاهدات سازگاری داشته است. غفاری نوران (۱۳۸۱)، انتقال سطحی لکه نفتی در خلیج فارس را مدل‌سازی کرد. گام زمانی در نظر گرفته شده در این مطالعه چهار دقیقه در نظر گرفته شد و برای بدست آوردن جریان‌ها و لکه‌های نفتی باد غالب منطقه، باد شمال غربی با مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ گره مورد استفاده قرار گرفت. بدری و فقیهی فرد (۱۳۹۴)، مدل Mike را به منظور تعیین سرنوشت لکه نفتی که شامل گسترش، انتشار، پخش و نیزمیزان تبخیر، امولسیون، حلالیت نفت در آب و ضخامت لکه نفت باقی مانده می باشد، استفاده کردند. در ابتدا، الگوی جریان با توجه به نوسانات سطحی آب تعیین شد. نوسانات جزرومدی به عنوان مرز باز با استفاده از تغییرات سطح آب در جزیره هنگام به مدل اعمال شد و برای رسیدن به نتیجه های دقیق تر به جای در نظر گرفتن سرعت ثابت باد از داده های تجربی سری زمانی باد استفاده شد. Elhakeem و همکاران (۲۰۰۷) ، نشت نفت در خلیج فارس را با شبیه‌سازی سه بعدی جریان با استفاده ازمدل Mike و نیز با استفاده از مدل تحلیل نشت نفت ازمدل Mike شبیه‌سازی کردند. بازه‌ی زمانی مورد بررسی از ۱۹ ژانویه تا ۱۸ مارس ۱۹۹۱ و گام زمانی ۳۰۰ ثانیه بود. ۲۵ کیلومتری جنوب کویت نیز به عنوان منبع آلودگی در نظر گرفته شد. مطالعات حساسیّت‌سنجی بیانگر این مهم بودند که جریانات ناشی از چگالی در مناطق مجاور سواحل امارات متحده عربی دارای اهمیّتی بالقوّه در حرکت لکه نفتی بودند. سرنوشت و رفتار نفت ریزش شده در دریا با نوع نفت ریزش شده مرتبط است. انواع مختلف نفت دارای خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی هستند که ممکن است منجر به رفتار و سرنوشت متفاوتی پس از ریزش در دریا شوند (Niu et al, 2016). همچنین عمق سنجی و شرایط محیطی (دما، باد و.....) درون منطقه مورد مطالعه می‌تواند جریان، امواج، جزر و مد و روان آب شیرین را تحت تاثیر قرار دهند و درنتیجه بر سرنوشت و انتقال نفت ریزش شده تاثیر بگذارد .(Hemmera Envirochem). بنابراین هدف از این مطالعه توسعه یک مدل معتبر تحلیل ریزش نفت به منظور پیش‌بینی اثرات شرایط آب و هوایی و پارامترهای فیزیکی بر سرنوشت لکه نفتی در خلیج فارس می باشد. با توجه به کارهای صورت گرفته در گذشته، در این پژوهش‌ها کلیه عوامل دخیل در پخش، انتشار و استهلاک لکه نفتی با همدیگر بررسی نشده‌اند و در اکثر موارد سعی شده است تا سرعت و جهت باد، دما و شوری آب خلیج فارس ثابت در نظر گرفته شوند. در پژوهش حاضر سعی شده است که این عوامل به صورت واقعی و تا حد امکان نزدیک به شرایط محیطی به مدل اعمال گردیده و نتایج واقعی‌تری بدست آید.

۲- مواد و روش‌ها

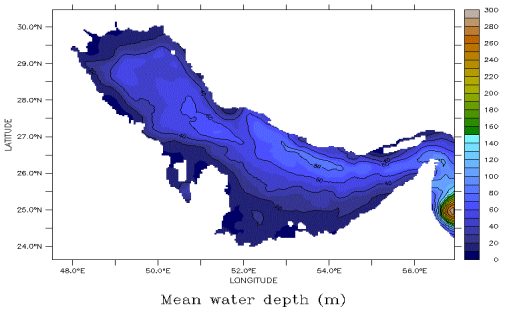
بسیاری از مدل‌های نفتی قابلیت مدل‌سازی هیدرودینامیکی یک منطقه دریایی را ندارند و بدین منظور مدل COHERENS V2.11 با بکارگیری اطلاعات عمق سنجی و نیرو با دقت بالای مکانی و زمانی در خلیج فارس توسعه داده شد و خروجی های جریان، دما و شوری آن در مدل نفتی سه بعدیOSCAR بکار برده شد.

- **مدل هیدرودینامیکی COHERENS V2.11**

در تحقیق حاضر از آخرین نسخه مدل COHERENS که یک مدل هیدرودینامیکی سه بعدی طرحی شده برای کاربرد در دریاهای حاشیه‌ای، خورها و دریاچه‌ها استفاده شده است که برای توصیف مدل ریاضی در فضا از روش تفاضل محدود استفاده می‌شود (Luyten, 2011). برای اجرای مدل در منطقه‌ی مورد نظر داده‌های عمق سنجی با دقت دو دقیقه از پایگاه اطلاعاتی ETOPO2 استخراج گردید. ابعاد شبکه شامل ۲۸۳×۲۰۶ سلول می باشد به طوریکه ابعاد تقریبی هر سلول ۳۶۰۰×۳۶۰۰ کیلومتر است. از طرفی در لایه قائم ۲۰ لایه سیگما با فاصله عمودی یکنواخت از سطح تا بستر در نظر گرفته شد. به منظور اعمال نیروی واداشت سطحی، داده‌های فشار سطح آب ، سرعت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی، نرخ بارش و پوشش ابر با دقت مکانی۰/۳×۰/۳ درجه و دارای گام زمانی ۶ ساعته در بازه

2. Real Time

زمانی از پایگاه داده NCEP استخراج شد. نقشه‌ی عمق‌سنجی منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ : عمق سنجی منطقه‌ی مورد مطالعه

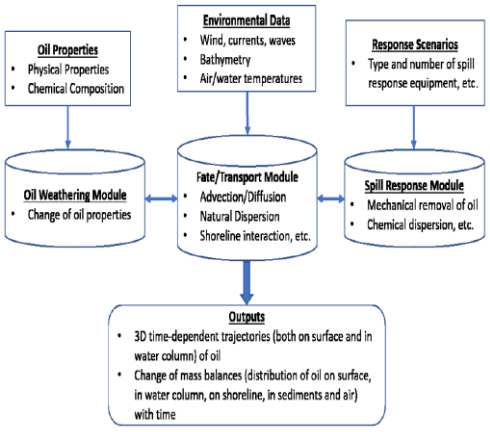
برای شرایط اولیه و شرایط مرزی مدل خروجی‌های دما و شوری Reanalysis مدل HYCOM مورد استفاده قرار گرفت. مرز رودخانه ای اروندرود در شمال غربی خلیج فارس، با دبی سالیانه ۱۴۵۶ مترمکعب بر ثانیه و و شوری دهانه ۳۵ psu به صورت ثابت نسبت به مکان و زمان در نظر گرفته شد. نتایج مربوط به صحت سنجی و راستی آزمایی این مدل در مقاله خدری و همکاران ۱۳۹۹، ذکر گردیده است.

- **مدل نفتی OSCAR**

مدل OSCAR توسط موسسه‌ی تحقیقاتی SINTEF توسعه یافته است. این مدل یک سیستم مدل‌سازی ریزش نفتی می‌باشد که قادر به پیش‌بینی حرکت و سرنوشت نفت در آب‌های دریایی است. این مدل خود از چندین مولفه تشکیل شده است و حرکت نفت را روی سطح و عمق آب پیش‌بینی می‌کند. این محاسبات از داده‌های زیست محیطی اولیه مثل دما و شوری آب، باد و جریان آب و داده های شیمیایی که ویژگی‌های ریزش نفتی را تعریف می‌کنند، ایجاد می‌شوند. در شکل ۲ طرحواره‌ای از مدل OSCAR نشان داده شده است. مدلOSCAR الگوریتم پخش سطحی، امولسیون شدن، و تبخیر را در سطح آب برای انتقال و تعیین سرنوشت نفت به کار می‌برد. این مدل جزء تعداد معدودی از مدل‌های سه بعدی پخش نفت می‌باشد که در فرآیندها، به غیر از فرآیند تبخیر چندین مولفه را در نظر می‌گیرند و خواص هوازدگی آن براساس پایگاه داده مشاهداتی است که پارامترهای شیمیایی مورد نیاز مدل را تامین می‌کند این پایگاه شامل اطلاعات کاملی از هوازدگی بیش از ۵۰ نوع نفت خام و محصولات شیمیایی است (Reed et al., 2011).

- **داده‌های استفاده شده در مدل نفتی**

اطلاعات عمق‌سنجی با استفاده از پایگاه داده SeaTopo 8.2 که در مدل نفتی گنجانده شده استفاده شده است. و همچنین مدل دارای داده‌های خط ساحلی به وضوح تقریبی یک کیلومتر می‌باشد. این مجموعه داده‌ها از پایگاه داده نمودار دیجیتال (DCW) وزارت دفاع ایالات متحده آمریکا بدست آمده است. داده‌های باد مورد استفاده شده در مدل به صورت متغیر در فضا و مکان بوده و از اطلاعات پایگاه ECMWF به دست آمده است. اطلاعات باد به صورت مولفه‌های شرق سوی و غرب سوی در تراز ۱۰ متری در محدوده‌ی منطقه‌ی مدل‌سازی از منبع ذکر شده استخراج گردیده است. تفکیک پذیری مکانی این داده ها ۰/۱۲۵ درجه بوده و دارای گام زمانی ۳ ساعته است. این اطلاعات قبل از استفاده بر روی شبکه محاسباتی درونیابی شده است.



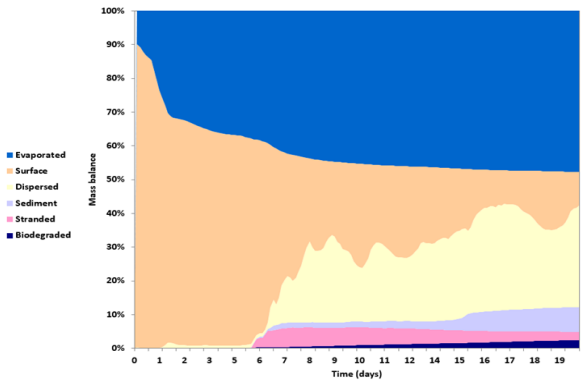
شکل ۲ : طرحواره‌ای از ساختار کلی مدل (Aamo et al., 1997).

در این پژوهش از میدان جریان سه بعدی متغیر با زمان و از خروجی‌های مدل هیدرودینامیکیCOHERENS، به عنوان ورودی جریان در مدل نفتی استفاده شده است. خروجی‌های دما و شوری مدل COHERENS استخراج و برای کل منطقه‌ی خلیج فارس در مدل OSCAR تعریف شدند. ذکر این نکته ضروری است مدل نفتی برای داده‌های هیدرودینامیکی با مختصات قائم z طراحی شده است. بنابراین خروجی های مدل COHERENS قبل از استفاده در مدل نفتی به‌وسیله کد نویسی‌های گسترده در محیط فرترن به مختصات قائم z تبدیل شدند و همچنین با توجه به اینکه عمق‌سنجی بکار رفته در مدل COHERENSV2.11 و مدل نفتی دارای محدوده‌ی پوشش دریا و خشکی یکسانی نیستند داده‌های هیدرودینامیکی مدل COHERENSV2.11 بر روی شبکه‌ی عمق سنجی مدل نفتی مذکور درون‌یابی شد، و سپس در مدل نفتی مورد استفاده قرار گرفت.

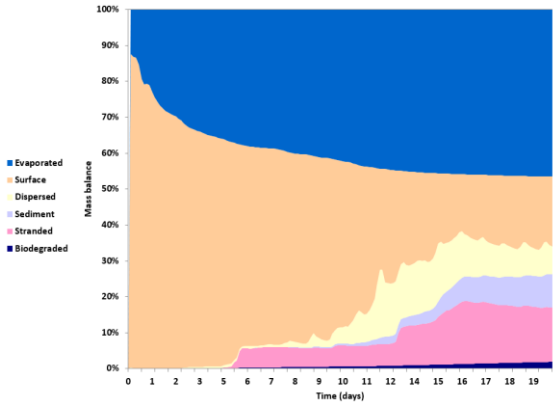
۳- نتایج

در این بخش به منظور ارزیابی اثرات شرایط آب و هوایی و پارامترهای فیزیکی بر سرنوشت و انتقال ریزش نفت در خلیج فارس در مجموع ۳ سناریوی محتمل و فرضی در نظر گرفته شد. در تمام سناریوها یک ریزش نفت فرضی در حدود ۱۰۰۰ متر مکعب نفت سبک در حوالی میدان نفتی خارک (به دلیل پتانسیل بالای نشت نفت در آن منطقه) در نظر گرفته شد. سناریوی ۱ در فصل زمستان (ماه فوریه) و سناریوی۲ در فصل تابستان (ماه سپتامبر) اجرا شد. به منظور بررسی تاثیر خصوصیات فیزیکی نفت بر پخش و انتشارلکه نفتی سناریوی ۳ با ریزش نفت سنگین در ماه فوریه اجرا شد و نتایج مدل‌سازی این سناریو با نتایج سناریوی ۱ مقایسه شد. در این شبیه-سازی‌ها از گام زمانی برابربا ۵ دقیقه و بازه‌ی زمانی ذخیره‌ی خروجی‌ها برابر با ۶۰ دقیقه استفاده شده است. دمای متوسط هوا در ماه فوریه ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد و در ماه سپتامبر ۴۰ درجه‌ی

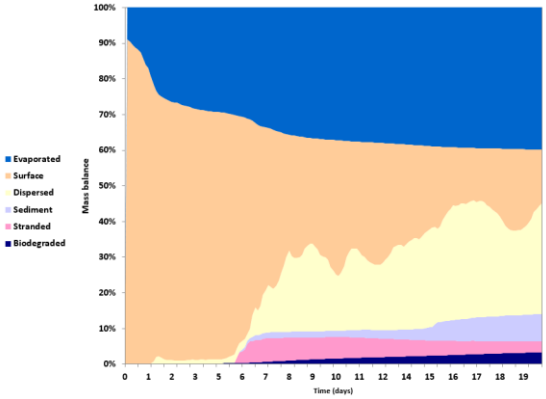
سانتیگراد در نظر گرفته شد. بازه زمانی مدل‌سازی به مدت بیست روز در ماههای فوریه و سپتامبر سال ۲۰۰۴ در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه مدل OSCAR قابلیت مدل‌سازی عملیّات پاسخ به مهار لکه نفتی را دارد، با مدل‌سازی سناریوی شماره‌ی ۴ به بررسی میزان کارایی استفاده از عملیات پاسخ در جلوگیری از پخش و انتشار لکه‌های نفت در منطقه پرداخته شد. در این سناریو مانند سناریوی ۲ فرض شده است که ریزش نفت سبک در ماه سپتامبر در منطقه رخ داده است. استراتژی عملیات پاسخ که در این سناریو مدل‌سازی شده است به صورت یک استراتژی ترکیبی می‌باشد. بدین ترتیب که سه skimmer، Boom و هواپیمای پخش‌کننده مواد پراکنده ساز در نزدیکی سواحلی که در معرض خطر آلودگی هستند در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی سناریوهای مختلف ذکر شده که به صورت پیش‌بینی مسیر حرکت لکه نفتی، میزان رسوبگذاری نفت در کف بستر دریا، ضخامت لکه نفتی، توزیع هیدورکربن‌های موجود در ستون آب و همچنین نمودار موازنه جرم بطور مجزا برای فرآیندهای اثرگذار بر روی حرکت نفت از قبیل تبخیر، پراکنش در ستون آب، تجزیه زیستی، رسوبگذاری و مقدار نفت رسیده به خطوط ساحلی در شکل‌های ۳ تا ۱۴ نمایش داده شده‌اند. نتایج موازنه جرم نفت مربوط به سناریوهای ۱ تا ۳(شکل‌های ۳ تا ۵) نشان می‌دهد که بخش نسبتا زیادی از نفت خروجی در پنج روز اول ریزش نفت تبخیر شد، به طوریکه میزان تبخیر در روزهای ابتدایی ریزش نفت روند صعودی را داشت و بعد از گذشت چند روز به دلیل باقی ماندن اجزای سنگین‌تر نفت به مقداری ثابت رسید. در مدل‌سازی ریزش نفت سبک در ماه فوریه (سناریوی ۱) نفت تبخیر شده حدود ٪۸ بیشتر از نفت تبخیر شده در حالت ریزش نفت سنگین (سناریوی ۳) است. بنابراین در حالت ریزش نفت سنگین میزان بیشتری از نفت در محیط دریا باقی خواهد ماند. همچنین نتایج نمودارهای موزانه جرم نشان داد که پس از ۲۰ روز از ریزش نفت، میزان نفوذ نفت در ستون آب در سناریوی یک ۲۹/۵ درصد، و در سناریوی دو ۷/۸ درصد می‌باشد. همچنین در فصل زمستان ۲/۷ درصد و در فصل تابستان ۱۵/۱درصد کل نفت ریزش‌شده به ساحل رسیدند و موجب آلودگی خطوط ساحلی با حداکثر بارگذاری خطی در حدود ۱۰ kg/m شدند.



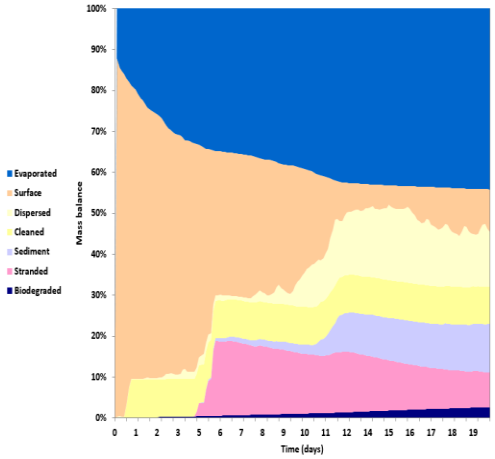
شکل۳ : سری زمانی موازنه جرم فرآیندهای دخیل در پخش و هوازدگی نفت در دریا ۲۰ روز پس از ریزش نفت مربوط به سناریوی۱



شکل ٤ : سری زمانی موازنه جرم فرآیندهای دخیل در پخش و هوازدگی نفت در دریا ۲۰ روز پس از ریزش نفت مربوط به سناریوی۲



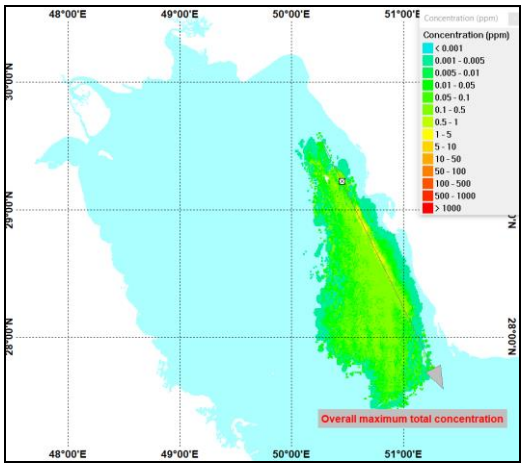
شکل ٥: سری زمانی موازنه جرم فرآیندهای دخیل در پخش و هوازدگی نفت در دریا۲۰ روز پس از ریزش نفت مربوط به سناریوی۳



شکل ٦ : سری زمانی موازنه جرم فرآیندهای دخیل در پخش و هوازدگی نفت در دریا ۲۰روز پس از ریزش نفت مربوط به سناریوی ٤

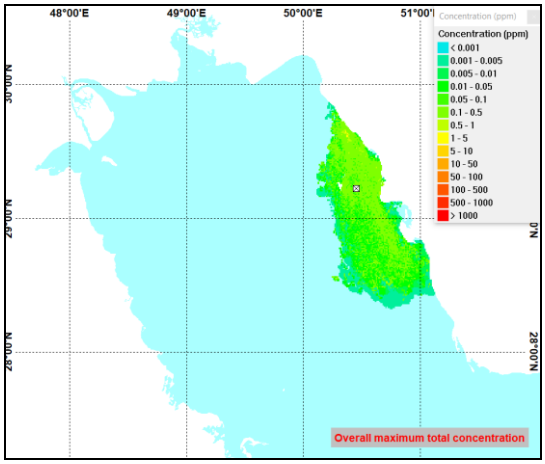
از آن‌جاییکه حرکت عمودی نفت تابع تلاطم و پایداری ستون آب می‌باشد. در فصل تابستان به دلیل کاهش سرعت باد، تلاطم، افزایش پایداری و لایه بندی ، حرکت ذرات به طرف ساحل بیش‌تر شده و نفوذ ذرات به طرف عمق کاهش پیدا کند. در فصل تابستان جهت حرکت لکه نفتی به سمت سواحل می باشد به همین دلیل برای دست یافتن به دستورالعملی مناسب جهت مقابله با آلودگی نفتی ایجاد شده بایستی تجهیزات جمع‌آوری و بازیافت نفت را به سمت سواحل بوشهر و گناوه معطوف داشت. استفاده از روش آتش زدن لکه نفت در محل به دلیل آلوده شدن خطوط ساحلی روش مناسبی نخواهد بود.

تنها در صورتی می توان از این روش استفاده کرد که از کمربندهای ضدحریق در سرتاسر منطقه آلوده شده استفاده شود، تا با شعله‌ور ساختن نفت، از گسترش آتش و خسارات جبران ناپذیر به تاسیسات ساحلی ممانعت به‌عمل بیاید.

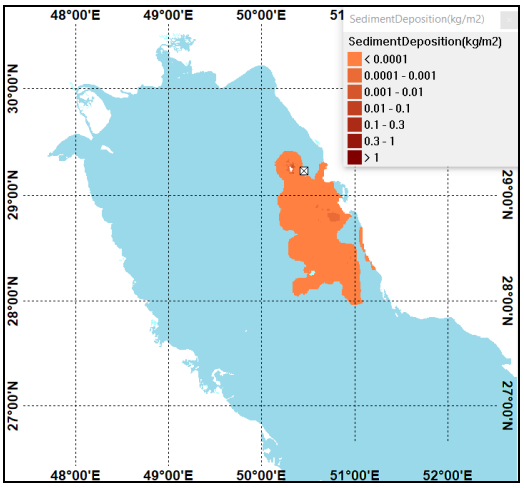


شکل۷: توزیع نفت سطحی و غلظت هیدروکربن کل ۲۰ روز پس از ریزش نفت مربوط به سناریوی ۱

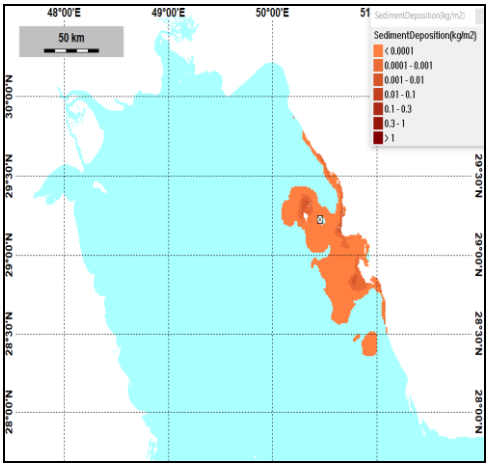
از نتایج مربوط به سناریوی ۴ می‌توان چنین نتیجه گرفت که حدود ۹/۲٪ از نفت پخش‌شده جمع‌آوری و بازیافت می‌شود. عاملی که موجب می‌شود، با وجود چنین تجهیزات جمع‌آوری و بازیافت نفت، در مدت ۲۰ روز بخش کوچکی از نفت جمع‌آوری شود، میزان نفت موجود در سطح آب است. از نمودار موازنه جرم سناریوی ۴ می‌توان دریافت حداکثر میزان نفت سطحی تنها ۱۰٪ از کل نفت خروجی را شامل می‌شود. همچنین پس از روز نهم به طور کلی هیچ لکه نفتی با ضخامت مناسب روی سطح آب مشاهده نمی‌شود. با توجه به اینکه سیستم Booms- skimmers تنها قادر است لکه‌های سطحی و همچنین نفت موجود در بخش سطحی ستون آب را جمع‌آوری کند، بنابراین میزان نفت جمع‌آوری شده منطقی است.



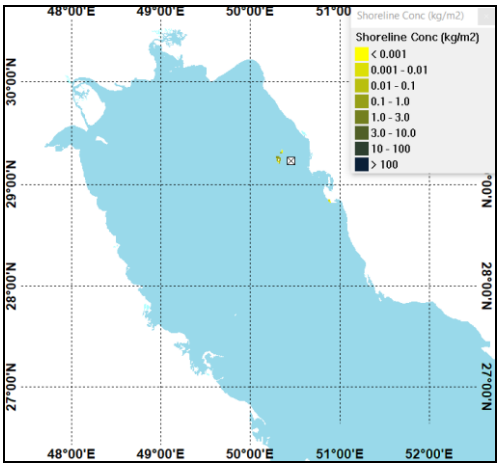
شکل۸: توزیع نفت سطحی و غلظت هیدروکربن کل ۲۰ روز پس از ریزش نفت مربوط به سناریوی ۲



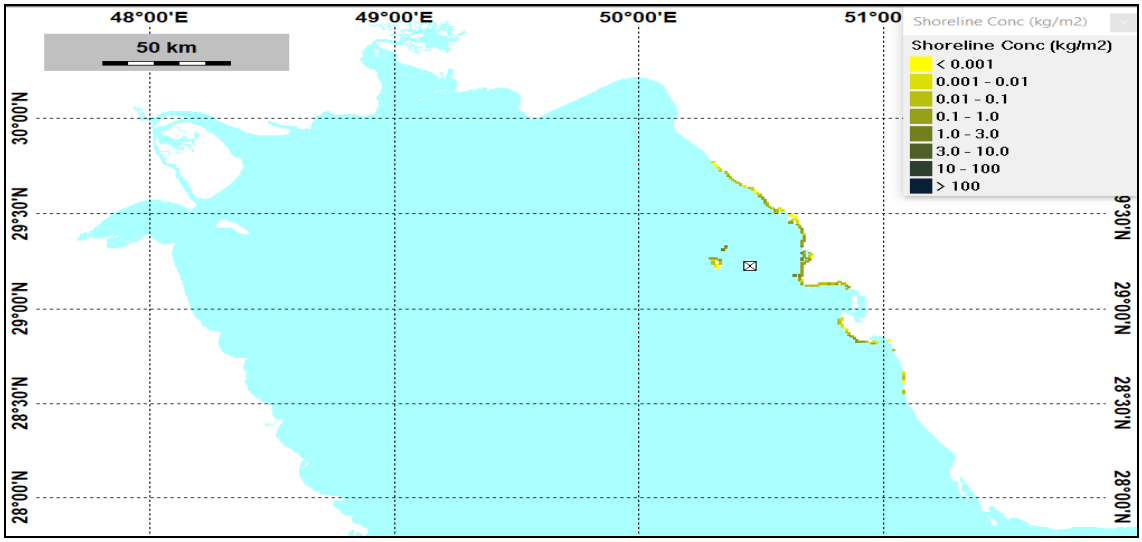
شکل ۹: غلظت رسوب نفت در کف بستر دریا، ۲۰ روز پس از ریزش نفت مربوط به سناریوی ۱



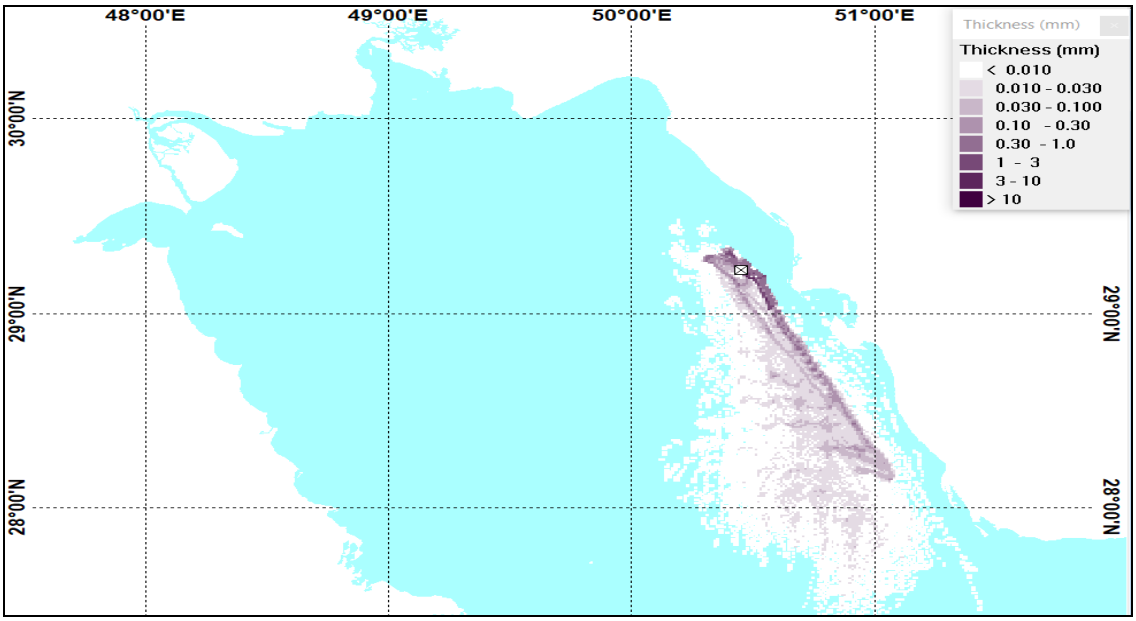
شکل۱۰: غلظت رسوب نفت در کف بستر دریا، ۲۰ روز پس از ریزش نفت



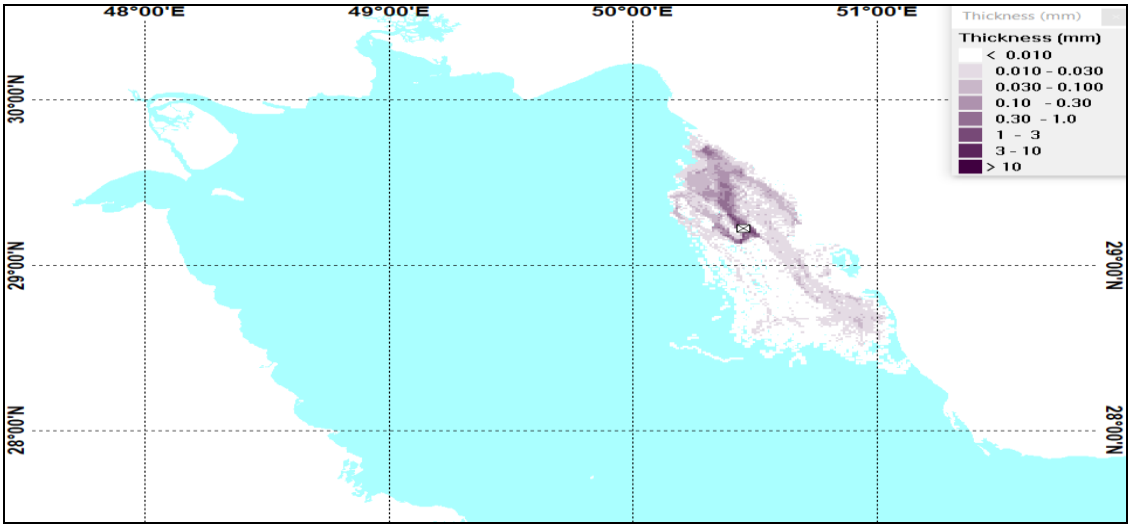
شکل ۱۱: توزیع نفت رسیده به ساحل، ۲۰ روز پس از ریزش نفت مربوط به سناریوی ۱



شکل۱۲: توزیع نفت رسیده به ساحل، ۲۰ روز پس از ریزش نفت مربوط به سناریوی ۲



شکل ۱۳: ضخامت لکه نفتی ۲۰ روز پس از ریزش نفت مربوط به سناریوی ۱



شکل ۱۴: ضخامت لکه نفتی ۲۰ روز پس از ریزش نفت مربوط به سناریوی ۲

٤- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر یک مدل معتبر تحلیل ریزش نفت به منظور پیش‌بینی اثرات شرایط آب و هوایی و پارامترهای فیزیکی بر سرنوشت لکه نفتی در خلیج فارس توسعه داده شد. از این رو سه سناریوی مجزا در شرایط محیطی متفاوت در فصل زمستان (ماه فوریه) و فصل تابستان (ماه سپتامبر) با دو نوع نفت سنگین و سبک به دلیل اهمیت استراتژیک در مجاورت حوزه‌ی نفتی خارک مدل-سازی شد. با توجه به نتایج تشریح شده می توان گفت که تلفیق مدل هیدرودینامیکی COHERENSV2.11 و مدل نفتی OSCAR ابزاری بسیار قوی برای پیش‌بینی مسیر و سرنوشت حرکت لکه‌ی نفتی در خلیج فارس است. همچنین نیروی باد، نقش موثر و اساسی‌تری در پخش و انتشار لکه‌ی نفتی و فرآیندهای هوازدگی نفت دارد بطوریکه در فصل تابستان به دلیل کاهش سرعت باد، تلاطم، افزایش پایداری و لایه بندی، جهت حرکت لکه-ی نفتی به طرف ساحل بیش‌تر شده و نفوذ ذرات در عمق کاهش پیدا می‌کند و جهت مهار آلودگی نفت عملیات پاسخ باید به سمت سواحل معطوف شود.

منابع

- بدری، م.، فقیهی فرد، م.، ۱۳۹۴. شبیه‌سازی عددی آلودگی نفتی براساس الگوی بهینه اغتشاشی جریان و تاثیرات باد و جزر و مـد. مجلـه‌ی مهندسـی مکانیک، شماره ۴، ص ۱۵-۲۲
- خدری، پ. صدری نسب، م. اشتری لرکی، ا. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد نسخه جدید مدل COHERENS(V2.11) در خلیج فارس. مجله‌ی مطالعات علوم زیست، شماره ۴، ص ۳۱۵۰-۳۱۵۴
- صباغ یزدی، س.،۱۳۸۰. مدل دوبعدی پراکنش نفت در خلیج فارس با حل معادلات میانگین عمقی بر روی شبکه ی اجزای بی ساختار. مجله ی علمی و پژوهشی علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۷، ص ۱۳-۳۱
- غفاری نوران، پیغام. ۱۳۸۱. مدل انتقال سطحی لکه نفتی در خلیج فارس: پایان نامه ی کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه تربیت مدرس.
- Aamo, O. et al. 1997. Oil spill contingency and response (OSCAR) model system: sensitivity studies. International Oil spill conference.
- Elhakeem, A. et al. 2007. Oil spill simulation and validation in the Persian Gulf with special reference to the UAE coast. Water, air, and soil pollution. Vol 184, P. 243-254.
- Hameed, A. et al. 2019. The use of the equation of oil refining Iran in exchange for strengthening the reserve power Saudi Arabia to increase production rates to maintain balance in the world oil markets. International Journal of Multidisciplinary and Current Research. Vol 7, P.148-160.
- Hemmera Envirochem Inc. (2015). M/V Marathassa Fuel Spill Environmental Impact Assessment (p. 803).
- Luyten, P. 2011. Coherens–a coupled hydrodynamical-ecological model for regional and shelf seas: User documentation version 2.0. RBINS MUMM Report, Royal Belgian Institute of Natural Sciences.
- Niu, H. et al. 2016. Stochastic Modeling of Oil Spill in the Salish Sea. In The 26th International Ocean and Polar Engineering Conference. International Society of Offshore and Polar Engineers.
- Reed, M. et a. 2011. Technical description and verification tests of the SINTEF marine environmental modeling workbench (MEMW). SINTEF, Report STF66 F. 1044.