

تأثیر باد بر انتقال و پخش آلاینده‌های نفتی در خلیج فارس

اسماعیل حسن‌زاده¹، علی رضایی لطیفی²، احمد نوحه‌گر³، امید حاج‌رسولیه⁴

1- دانشیار، دانشگاه اصفهان

2- استادیار، دانشگاه هرمزگان

3- دانشیار، دانشگاه هرمزگان

4- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان

چکیده

آلودگی نفتی، آزاد شدن یک مایع هیدروکربنی در محیط زیست دریایی است که ناشی از فرآیندهایی چون نشت از طریق سکویهای نفتی دور از ساحل و پالایشگاه‌ها، حوادث ناشی از نفت‌کش‌ها، تخلیه و شستشوی نفت‌کش‌ها و غیره می‌باشد. خلیج فارس به دلیل دارا بودن عمده میادین نفتی و گازی جهان در معرض آلودگی‌هایی مانند آلودگی‌های نفتی و گسترش آلاینده‌های مرتبط با آن می‌باشد. از آنجا که در صورت نشت آلاینده‌های نفتی به دریا، تشخیص رفتار آن‌ها بر روی آب و دانستن تأثیر فرآیندهای فیزیکی از قبیل باد و غیره بر نحوه پخش این آلاینده‌ها، ما را در امر جمع‌آوری آن‌ها، پاکسازی دریا و اقدامات پیش‌گیرانه کمک می‌کند، در این مطالعه قصد داریم نحوه توزیع این آلودگی‌ها را در شرایط مختلف توسط مدل سه‌بعدی هیدرودینامیکی شبیه‌سازی کنیم. به کارگیری مدل‌های عددی در مورد پخش آلودگی نفتی به عنوان یک روش مناسب شناخته شده است که همخوانی‌های قابل قبولی از نحوه پخش آلاینده‌های نفتی را در سطح دریا فراهم می‌کند. به این منظور از مدل کوهرنس که با مدول آلودگی و بیولوژیکی جفت شده و قابلیت حل معادلات انتقال و پخش آلودگی را با به کارگیری مختصات سیگما در جهت قائم و مختصات دکارتی در جهت افقی دارد، برای شبیه‌سازی انتقال و پخش آلودگی‌های نفتی استفاده شده است. نتایج مدل نشان می‌دهد که آلودگی نفتی نشت یافته در بخش شمالی خلیج فارس، تحت تأثیر تمامی نیروهای اعمال شده در مدل دارای حرکتی به سمت شمال خلیج فارس و سواحل بوشهر در امتداد سواحل ایرانی بوده و سپس تحت تأثیر جریانات پادساعتگرد آن منطقه قرار گرفته و در امتداد سواحل عربی دارای حرکتی متمایل به بخش جنوب غربی خلیج فارس می‌گردد. نتایج مدل همچنین بیانگر تغییر در نحوه توزیع آلاینده‌ها تحت تأثیر باد و کاهش چشمگیر غلظت آلاینده‌ها در اثر نیروی باد می‌باشد.

کلمات کلیدی: باد، خلیج فارس، کوهرنس، آلودگی نفتی، شبیه‌سازی عددی.

مقدمه

زمینه شبیه‌سازی فرآیند انتشار و پخش آلودگی‌های نفتی انجام شده است. بسیاری دیگر از فعالیت‌های بشری در دریا و ساحل اصلی‌ترین آلودگی‌های دریایی را در خلیج فارس تحمیل می‌کند که نیاز به تحقیقات و ارزیابی‌های حساس‌تری دارد. به همین دلیل، داشتن مدلی که در صورت نشت نفت و مواد آلاینده به دریای حوزه مورد بررسی بتواند مسیر حرکت آلاینده و نحوه پخش و همچنین تأثیر فرآیندهای فیزیکی از قبیل: باد، شارهای گرما و جزرومد را بر انتقال و پخش آنها پیش‌بینی کند، امری ضروری است.

معرفی منطقه

خلیج فارس در 24 تا 30 درجه و 30 دقیقه عرض شمالی و 48 تا 56 درجه و 25 دقیقه طول شرقی از نصف

اکوسیستم خلیج فارس امروزه به خاطر واقع شدن در غنی‌ترین منطقه نفت‌خیز در جهان که بیش از 67 درصد ذخایر نفت را دارا می‌باشد، در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌ها قرار گرفته است. فعالیت‌های مرتبط با نفت که گسترده شده از اکتشافات نفتی تا صادرات محصولات نفتی یک گستره عریضی از تأثیرات مضر را منتج می‌شود، که موجب صدمات ویژه‌ای به مولفه‌های اکوسیستمی از قبیل ساحل‌های مرجانی، پوشش‌های خزه‌ای و دیگر زیستگاه‌ها می‌گردد (Elhakeem, 2005). با در نظر گرفتن اثرات مضر ورود این آلودگی به دریاها و ایجاد لکه‌هایی بر سطح دریا و اجتناب ناپذیر بودن این پیامد، پژوهش‌های متعددی در

جزرومدی نیاز بوده که این داده‌ها قابل دسترس بوده و در مدل اعمال می‌شوند. داده‌های جزرومدی برای اعمال شرایط مرزی در مرز شرقی (مرز باز) به کار می‌روند. برای حل معادلات هیدرودینامیکی در این مدل دانستن ضرایب پخش و چسبندگی ادی (پیچک) قائم از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد که از طریق حل معادلات با روش‌های پیچیده در مدل به‌دست می‌آوریم. در این مدل، انواع روش‌ها از روش‌های ساده جبری تا روش‌های پیچیده بستاری دو معادله‌ای برای حل معادلات در نظر گرفته شده که در این تحقیق برای دقت بیشتر از روش بستاری، که البته باعث افزایش زمان محاسبات می‌گردد، برای به‌دست آوردن ضرایب پخش و چسبندگی ادی (پیچک) استفاده می‌کنیم. معادلات موجود را می‌توان هم در مختصات کارتزین و هم در مختصات کروی حل نماییم ولی در راستای قائم مختصه تبدیل به مختصه سیگما می‌شود. برای حل معادلات ذکر شده در بالا باید شرایط مرزی اعمال شوند.

میدان باد از مهمترین سازوکارها برای تشکیل امواج سطحی و فرآیندهای با تکرارهای بالا در میدان‌های جریان محسوب می‌شوند. آلودگی‌های شناور مثل لکه‌های نفتی می‌توانند به راحتی در اثر فشار باد بر سطح آب معلق باشند. جریانات از مهمترین شرط‌های فرارفت در انتقال آلودگی نفتی در کل ستون آب است (James, 2002). در دریای باز و یا مناطق متحمل باد، لکه نفتی اساساً توسط جریانات القایی سطحی و زیر سطحی ناشی از باد شناور می‌ماند. از اصلی‌ترین نیروهای جوی برای چرخش آب در خلیج فارس، می‌توان بادهایی که از سمت شمال‌غربی می‌وزند و در قدرتشان تغییر به وجود می‌آید را بیان کرد. باد ضعیف به عنوان بادی با سرعتی کمتر از 6 m/s و جریان کمتر از 60 m/s تعریف می‌شود و بادهای قوی با سرعت‌های بیشتر از 10 m/s و جریان بیشتر از 60 m/s تعریف می‌شوند. بادهای کمتر از 5 m/s حتی در مقایسه با جریانات آهسته‌تر $10-15 \text{ m/s}$ ، یک عامل در حرکت لکه نفتی نیستند

النهار گرینویچ قرار دارد و تقریباً 990 کیلومتر طول دارد و بیشترین عرض آن در حدود 338 کیلومتر بوده، مساحت سطحی تقریبی و حجم خلیج فارس به ترتیب در حدود 239000 کیلومتر مربع و 8630 کیلومتر مکعب است، که متناظر با یک عمق میانگین در حدود 36 متر است. بیشترین عمق در نزدیکی تنگه هرمز و خلیج عمان بوده و در حدود 100 متر می‌باشد (Ahmad and Sultan, 1990). بر اساس گزارش سازمان مدیریت هیدروگرافی جغرافیایی ایران در سال 1386 ، خلیج فارس پس از خلیج مکزیکو و خلیج هودسن سومین خلیج بزرگ جهان محسوب می‌شود. خلیج فارس از طریق تنگه هرمز از خلیج عمان و اقیانوس هند جدا شده، که باریکترین نقطه‌ی آن تنها 56 کیلومتر عرض دارد. از تنگه هرمز، خلیج فارس به سمت شمال‌غربی تا شط العرب در عراق بر فاصله تقریبی 1000 کیلومتر کشیده می‌شود. عرض آن در حد 200 تا 300 کیلومتر می‌باشد (UNEP, 1999). ساحل غربی خلیج فارس توسط دشت‌های کویری وسیع احاطه شده است، ساحل شمالی توسط رودخانه شط العرب و ساحل شرقی توسط محدوده وسیعی از کوه‌های ایران.

مواد و روش

در این تحقیق قصد داریم پدیده انتقال و پخش آلاینده‌های نفتی را در خلیج فارس بررسی و پیش‌بینی نماییم. برای این منظور باید معادلات فرارفت و انتشاردهنده آلودگی حل شوند و این معادلات (اندازه حرکت، پیوستگی، هیدروستاتیکی، شوری، دما و آلودگی) باید توسط روش‌های عددی حل گردند، چون دارای جملات غیر خطی بوده و حل تحلیلی ندارند. برای حل این معادلات از یک مدل عددی سه بعدی هیدرودینامیکی جفت شده با مدول آلودگی استفاده می‌کنیم که توسط یک گروه چند ملیتی در حدود هشت سال (1990-1998) برای مناطق ساحلی و دریا‌های حاشیه‌ای طراحی و تهیه گردید. برای اعمال شرایط مرزی، داده‌های هواشناسی (اقلیمی) و

تحت تأثیر آشفستگی قرار می‌گیرد. انواع مختلفی از طرح‌واره‌های تلاطم در مدل کوهرنس در دسترس می‌باشد. باد و پارامترهای آب‌وهوایی بیشتر باعث تغییر در خواص سطحی می‌شوند، تمام فرآیندهای ذکر شده توسط مدل و با دقت کامل در تمام فصول سال کنترل می‌شوند. یکی از مزایای این مدل نسبت به مدل‌های دیگر، توانایی مدل کردن همزمان پدیده فرارفت و پخش مواد نفتی، روغنی و نامحلول در آب می‌باشد. روش عددی به کار گرفته شده در این موارد بستگی به حجم مواد آلاینده در سطح آب دارد. معمولاً آلودگی‌هایی با حجم و وسعت کم را با روش معادلات لاگرانژی و آلودگی‌های وسیع و حجیم را با روش معادلات اویلری مدل می‌کنند. در مدل کوهرنس هر دو این روش‌های عددی با تشخیص کاربر قابل استفاده می‌باشد. برنامه به زبان fortran77 نوشته شده است و دارای 4 بخش اصلی می‌باشد.

- 1- بخش فیزیکی که دارای مدول عمومی برای حل معادلات فرارفت و پخش می‌باشد.
- 2- مدول بیولوژیکی که به دینامیک میکروپلانکتون‌ها، دتریت‌ها و اکسیژن و نیتروژن حل شده می‌پردازد.
- 3- مدول رسوب که به ته‌نشینی و معلق بودن مواد آلی و معدنی می‌پردازد.
- 4- مدول توزیع آلودگی (برای مدل کردن انتشار آلودگی‌ها) که دارای حالت انتقال اویلری و لاگرانژی می‌باشد.

معادلات هیدرودینامیک پایه

بخش هیدرودینامیک مدل فرمول‌های پایه زیر را مورد استفاده قرار می‌دهد: معادلات تکانه که از تخمین بوسینیسک و فرضیات تعادل هیدرواستاتیک قائم استفاده می‌کند، معادله پیوستگی و معادلات دما و شوری، که معادلات تکانه و پیوستگی به صورت عددی حل می‌شوند.

(Clem, 2007). از این نکته می‌توان نتیجه گرفت که ذات جزر و مدی جریانات عبوری از میان تنگه هرمز با قدرت‌های متغیر باد ترکیب شده و با استفاده از داده‌های هواشناسی، پیش بینی حرکت لکه نفتی را ممکن می‌سازد. بنابراین استفاده از داده‌های تجربی و تقریباً حقیقی محیط زیستی برای برتری اطلاعات لازم می‌باشد.

معرفی مدل

کوهرنس¹ یک مدل سه بعدی، هیدرودینامیکی و چند منظوره است که برای نواحی ساحلی و فلات قاره‌ای دریایی طراحی شده و به خاطر همراه شدن و جفت شدن با مدول‌هایی که فرآیندهای فیزیکی و بیولوژیکی، انتقال رسوبات و آلودگی‌ها را شبیه‌سازی می‌کنند، مدل کامل و یکپارچه‌ای است. این برنامه طی سال‌های 1990 تا 1998 توسط یک گروه اروپایی چند ملیتی طراحی و تدوین شد و اولین بار به منظور مدل‌سازی دریای شمال و نواحی ساحلی طبقه‌بندی شده به کار گرفته شد. مزیت این مدل آسانی به کار بردن متغیرهای مختلف در مقایسه با مدل‌های پیچیده‌تر می‌باشد (Luyten et al, 1999). از دیگر مزایای مهم این مدل، شفافیت مربوط به ساختار پیمانانه‌ای (دارای قسمت‌های کوچک) آن و همچنین انعطاف‌پذیری آن به خاطر امکان انتخاب فرآیندهای مختلف، طرح‌واره‌های خاص و روش‌های مختلف حل عددی معادلات برای یک مورد خاص می‌باشد. واگذاری حق انتخاب قدرت‌های تفکیک افقی و عمودی و همچنین گام‌های زمانی به کاربر که در تأثیرگذاری بر شرایط مختلف بسیار تعیین‌کننده هستند، از مهم‌ترین مزیت‌های مدل کوهرنس است. مدت زمان مدل‌سازی متناظر با مقیاس‌ها می‌تواند به میزان چندین ساعت، یک هفته، چندین ماه و یا چندین سال باشد. معمولاً مدت زمان لازم برای مدل‌های بیولوژیکی و آلودگی که وابسته به تغییرات فصلی هستند طولانی‌تر از مدل‌های فیزیکی می‌باشد. تغییرات پارامترهای فیزیکی در عمق، خواص بیولوژیکی و همچنین تمرکز آلودگی‌ها به شدت

می‌باشند. (u, v, w) مولفه‌های جریان هستند. T دما را نشان می‌دهد و مابقی پارامترها به ترتیب S شوری، f بسامد کوریولیس، g شتاب جاذبه، P_a فشار جو در سطح، Q_1, Q_2 مولفه‌های گرادیان فشار باروکلینیک، v_T و λ_T چسبندگی قائم ادی و ضریب پخش، λ_H ضریب پخش افقی برای شوری و دما، ρ_0 یک چگالی مرجع، c_p گرمای ویژه آب دریا، I تابندگی خورشید، q_d فشار باروکلینیک و b شناوری هستند. معادله 1 معادله پیوستگی است، معادله 2 و 3 معادلات اندازه حرکت افقی هستند، معادله 4 معادله هیدروستاتیک می‌باشد، معادله 5 و 6 معادلات دما و شوری می‌باشند. این معادلات بر حسب شبکه آراکاوا با یک مختصات سیگما در جهت قائم بنا نهاده شده‌اند. سپس معادله اولیه انتقال آلودگی نیز به صورت زیر می‌باشد.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial t} (JC) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (JuC) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (JvC) + \\ & \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (JwC) = \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} \left(\frac{\lambda_T}{J} \frac{\partial C}{\partial x_r} \right) + \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} \left(J\lambda_H \frac{\partial C}{\partial x_r} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} \left(J\lambda_H \frac{\partial C}{\partial x_r} \right)$$

برای شبیه‌سازی پخش آلودگی در ابتدا باید معادلات هیدرودینامیکی پایه، یعنی معادلات اندازه حرکت، پیوستگی، دما و شوری حل شوند و سپس معادله اولیه انتقال آلودگی حل گردد. برای حل معادلات مذکور باید شرایط مرزی اعمال شوند. در این شبیه‌سازی، شرایط مرزی بیشتر به صورت شرط مرزی نویمان اعمال می‌شود (شرط مرزی نویمان، تغییرات مکانی سرعت یعنی $\frac{\partial u}{\partial x_3}, \frac{\partial v}{\partial x_3}$ را در مرزها اعمال می‌کند). برای اعمال این شرایط مرزی پارامترهای هواشناسی از قبیل؛ مؤلفه‌های سرعت باد در 10 متری، دمای هوا، رطوبت نسبی، پوشش ابر، میزان بارش و میزان تبخیر مورد نیاز بوده که با استفاده از ماهواره NOAA

معادلات اولیه در سیستم مختصات سیگما به شکل زیر می‌باشند (Luyten et al, 1999).

$$\frac{1}{J} \frac{\partial J}{\partial t} + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (Ju) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (Jv) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (Jw) = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{J} \frac{\partial J}{\partial t} (Jv) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (Juv) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (Jv^2) + \\ & \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (Jwv) + fu = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x_r} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial x_r} + \end{aligned} \quad (2)$$

$$Q_r + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} \left(\frac{v_T}{J} \frac{\partial v}{\partial x_r} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (J\tau_{r1}) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (J\tau_{r2}) \quad (3)$$

$$\frac{1}{J} \frac{\partial J}{\partial t} (Ju) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (Ju^2) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (Jvu) +$$

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (Jwu) - fv = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x_r} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial x_r} +$$

$$Q_r + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} \left(\frac{v_T}{J} \frac{\partial u}{\partial x_r} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (J\tau_{r1}) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (J\tau_{r2})$$

$$\frac{1}{J} \frac{\partial J}{\partial t} (JT) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (JuT) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (JvT) +$$

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (JwT) = \frac{1}{J\rho c_p} \frac{\partial I}{\partial x_r} + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} \left(\frac{\lambda_T}{J} \frac{\partial T}{\partial x_r} \right) + \quad (4)$$

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} \left(J\lambda_H \frac{\partial T}{\partial x_r} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} \left(J\lambda_H \frac{\partial T}{\partial x_r} \right)$$

(5)

$$\frac{1}{J} \frac{\partial q_d}{\partial x_r} = b$$

$$\frac{1}{J} \frac{\partial J}{\partial t} (JS) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (JuS) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (JvS) +$$

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} (JwS) = \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} \left(\frac{\lambda_T}{J} \frac{\partial S}{\partial x_r} \right) + \quad (6)$$

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} \left(J\lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_r} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_r} \left(J\lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_r} \right)$$

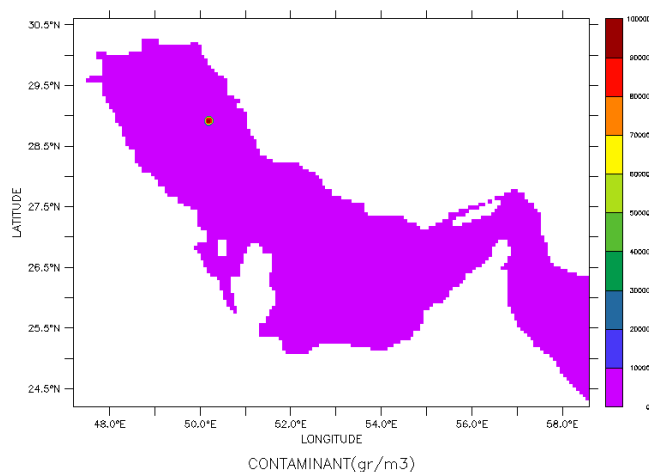
که $J = \frac{\partial X_3}{\partial x_3}$ بیانگر نسبت یک واحد طول فیزیکی

به یک واحد طول در فضای تبدیل یافته است.

(x_1, x_2, x_3) بیانگر سه جهت در مختصات سیگما

سپس مدل با وجود این آلودگی برای مدت یک سال اجرا شده است تا نحوه پخش آلودگی نفتی را برای ماه‌های مختلف پیش‌بینی کند. در ادامه با کم کردن اجرای شماره 2 از شماره 1، تأثیر باد را بر انتقال و پخش این آلودگی نفتی نیز به دست می‌آوریم. در این بخش مدل را با در نظر گرفتن تمامی نیروهای اعمال شده در مدل اجرا کرده و آن را اجرای شماره 1 نام‌گذاری می‌کنیم و نتایج را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم. موقعیت آلودگی رها شده در روز اول پس از رهاسازی مطابق شکل (1) می‌باشد.

به دست آمده است و به صورت میانگین ماهیانه در مدل اعمال شده است. داده‌های جزرومدی نیز برای اعمال شرایط مرزی در مرز شرقی (مرز باز) به کار می‌روند. داده‌های اولیه در مورد خواص نفت نشت یافته از قبیل؛ چگالی، چسبندگی و ... نیز از شرکت ملی نفت ایران به دست آمده است. مدل کوهرنس تحت شرایط اولیه و در نظر گرفتن تمامی نیروها در مدل برای مدت 5 سال اجرا شده است، پس از رسیدن مدل به حالت پایداری، نشت آلودگی نفتی برای سال آخر شبیه‌سازی و در حوالی میدان نفتی نوروز با موقعیت جغرافیایی ۲۸° ۹۶' عرض شمالی و ۵۰° ۰۰' طول شرقی در مدل اعمال شده است (شکل 1).



شکل 1: موقعیت اولیه آلودگی در روز اول نشت در سطح و در مختصات جغرافیایی $(x = 50^{\circ}00'E, y = 28^{\circ}96'N)$.

رینولدز و هانتز در توافق است (Reynolds, 1993) و (Hunter, 1983).

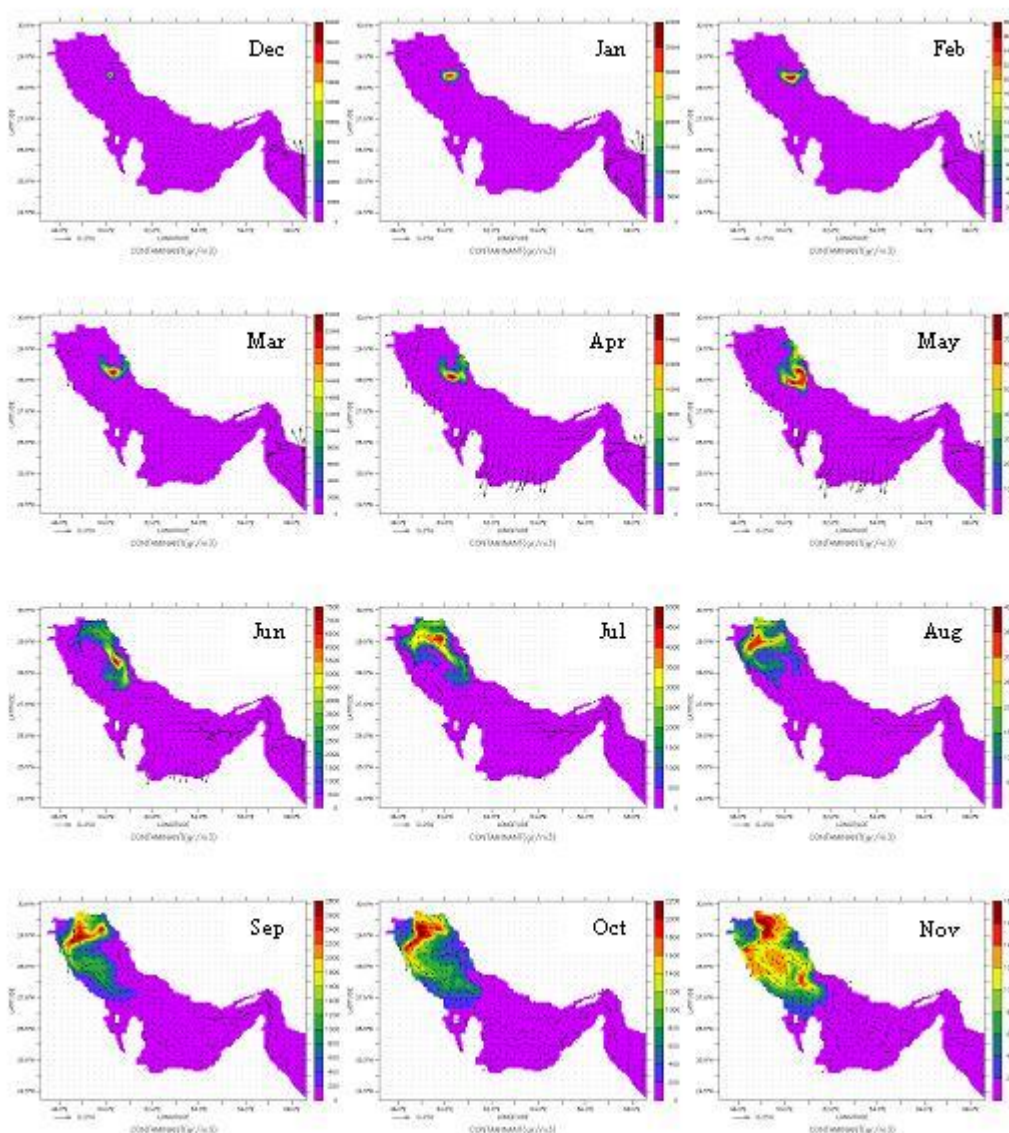
خروجی‌های مدل در ماه مارس و با آغاز فصل بهار نشان می‌دهند که بخشی از جریان ورودی آب شیرین از دریای عمان شروع به حرکت به سمت شمال‌غربی خلیج فارس کرده و همانطور که مشاهده می‌شود در ماه‌های آوریل و می این جریان به بخش شمالی و شمال‌غربی خلیج فارس می‌رسد که با نتایج رینولدز همخوانی دارد. در فصل تابستان (ژوئن - آگوست)، بخشی از جریان ورودی از خلیج عمان، به دلیل کم قدرت بودن تنش باد شمال در تابستان به

نتایج

نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل همخوانی قابل قبولی با مشاهدات واقعی در خلیج فارس دارد. خروجی‌های مدل نشان می‌دهد که در اوایل فصل زمستان (ماه دسامبر)، رژیم گردش پادساعتگرد در خلیج فارس از لحاظ دینامیکی ناپایدار شده و تبدیل به جریان‌های گردابی می‌گردد و به همین خاطر آب شیرین ورودی از دریای عمان نمی‌تواند به قسمت‌های شمال‌غربی خلیج فارس برسد و الگوی گردش خلیج فارس را کامل کند و در نزدیکی سواحل بوشهر متمایل به سمت غرب می‌شود که این نتایج با نتایج مطالعات

(Reynolds, 1993). همانطور که شکل (3) نشان می‌دهد نتایج شبیه‌سازی مدل در مورد انتقال در بخش شمالی خلیج فارس با مشاهدات رینولدز (1993) که در آن رفتار بویه‌های شناور را در قبال جریان‌های سطحی موجود در خلیج فارس ارائه می‌دهد همخوانی خوبی دارد. رینولدز همچنین بیان کرده که رفتاری مشابه بویه‌های شناور را برای نشت آلودگی نفتی انتظار داریم (Reynolds, 1993).

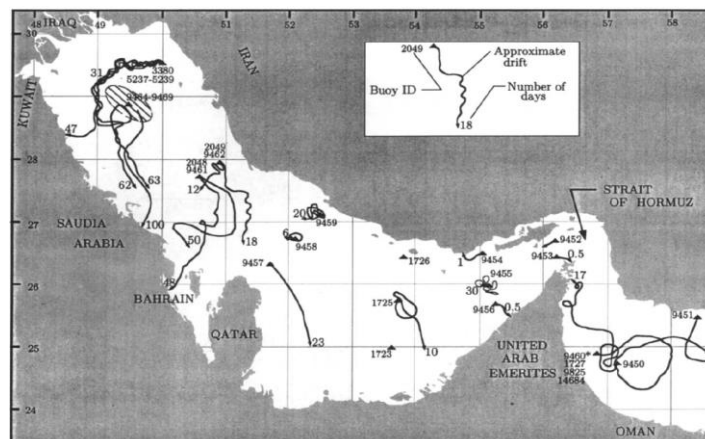
انتهای شمال‌غربی خلیج فارس نفوذ پیدا کرده و چرخش پاد ساعتگرد خود را کامل می‌کند که این با نتایج رینولدز (1993) و هانتز (1983) در توافق است. در اواسط پاییز (اکتبر) از سرعت جریان‌ها کاسته شده و آب ورودی خلیج عمان با سرعت کمتری به قسمت شمال‌غربی خلیج فارس می‌رسد و همانطور که مشاهده می‌شود جریان راکد و چرخشی در قسمت مرکزی شمال خلیج فارس دیده می‌شود، که این نتایج با مشاهدات میدانی همخوانی دارد



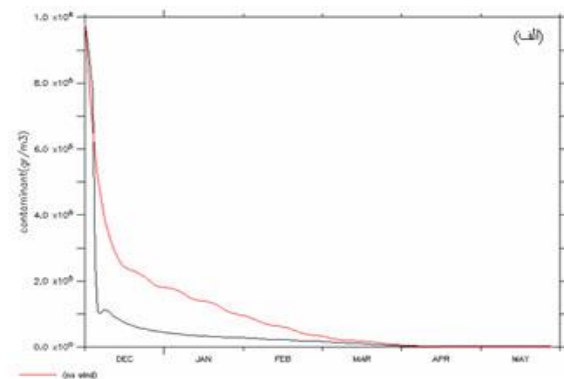
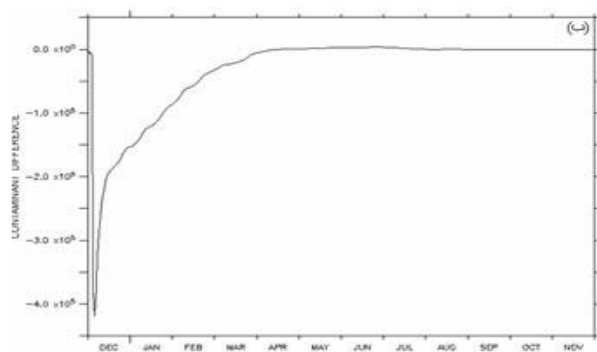
شکل 2: نحوه توزیع آلودگی و الگوی گردش شبیه‌سازی شده در اجرای مدل با اعمال تمامی نیروها (اجرای شماره 1) در سطح (Dec-Nov).

اثر نیروی باد و مقادیر مثبت بیانگر افزایش غلظت در اثر نیروی باد می‌باشند). همانطور که مشاهده می‌گردد، نیروی باد در چند روز اول ماه دسامبر باعث کاهش شدید غلظت در آن منطقه شده است، که این کاهش غلظت در اثر نیروی باد تا اواسط فصل بهار (آوریل) نیز ادامه دارد و پس از آن سری زمانی تغییرات اختلاف غلظت آلودگی تقریباً ثابت شده و نشان می‌دهد که نیروی باد در فصول تابستان و پاییز (ژوئن - نوامبر) تأثیر بسزایی بر کاهش یا افزایش غلظت آلاینده‌ها ندارد. حال برای بدست آوردن تأثیر نیروی باد بر انتقال آلودگی نفتی اجرای شماره 2 (اجرای مدل با حذف نیروی باد) را از اجرای شماره 1 (اجرای مدل با اعمال تمام نیروها) کم کرده که نتایج بدست آمده بصورت زیر می‌باشد.

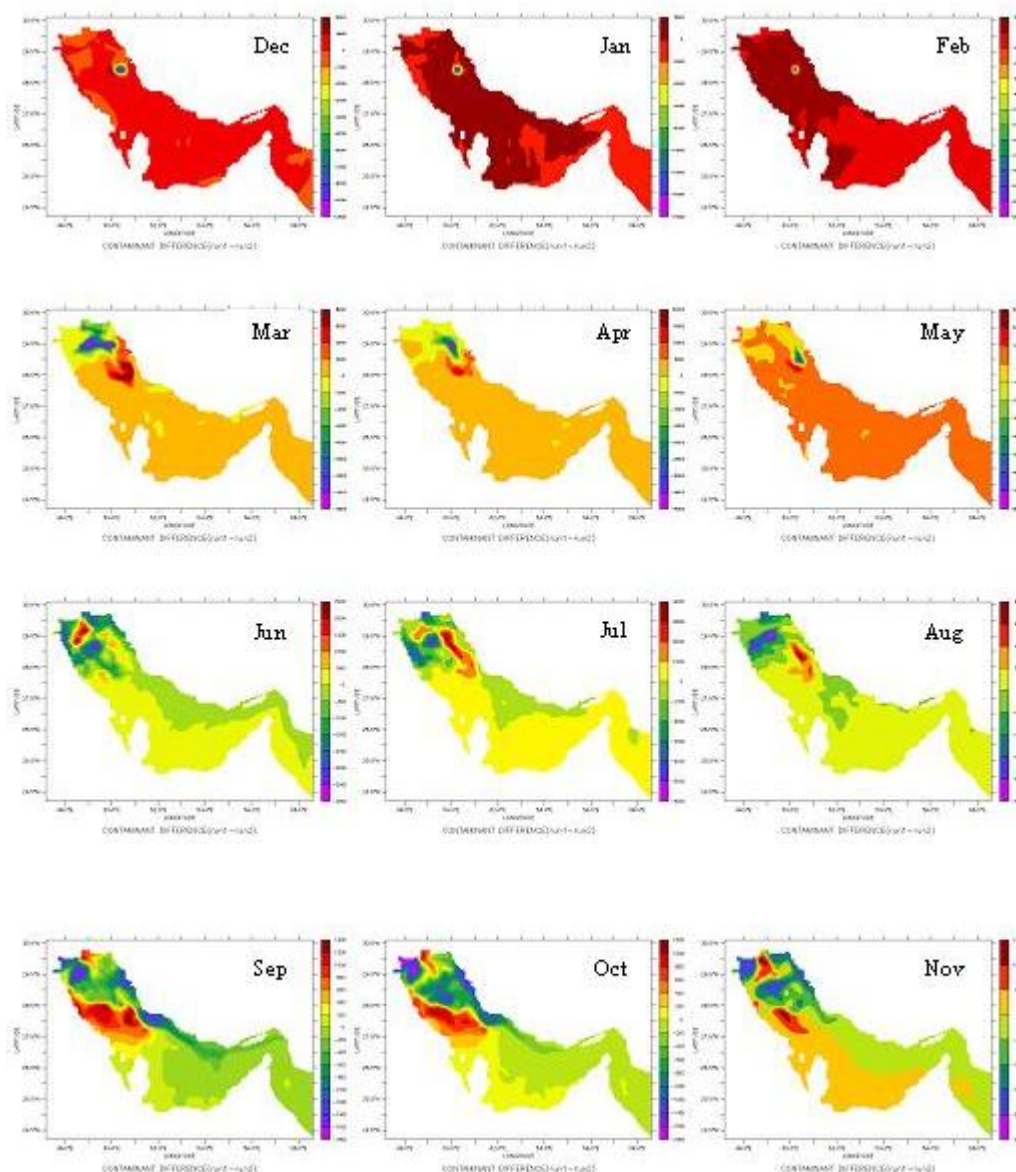
شکل 4- الف سری زمانی غلظت آلودگی در اجرای شماره 1 (اعمال تمام نیروها) و اجرای شماره 2 (حذف نیروی باد) در شش ماه اول پس از نشت (دسامبر- می) در نقطه اولیه نشت آلودگی رسم شده است. مقایسه بین دو سری زمانی نشان می‌دهد که با حذف نیروی باد از نیروهای اعمال شده در مدل، کاهش غلظت آهسته‌تر و با شیب ملایم‌تری نسبت به حالتی که نیروی باد هم در مدل اعمال شده بود رخ می‌دهد که این نشان‌دهنده تأثیر نیروی باد بر کاهش غلظت آلاینده‌ها می‌باشد. شکل 4- ب نیز سری زمانی اختلاف غلظت آلودگی در اجرای شماره 1 و شماره 2 را در مدت یک‌سال پس از نشت (دسامبر- نوامبر) نشان می‌دهد که در واقع بیانگر نقش نیروی باد بر نحوه کاهش یا افزایش غلظت آلودگی در مکان اولیه نشت و ماه‌های مختلف سال می‌باشد (مقادیر منفی بیانگر کاهش غلظت در



شکل 3: شمایی از مسیر بویه‌های شناور (Reynolds, 1993).



شکل 4: الف- سری زمانی غلظت آلودگی محاسبه شده در اجرای بدون باد (—) و اجرای اصلی (—).
ب- سری زمانی تأثیر باد بر روی غلظت آلودگی (غلظت در اجرای اصلی منهای غلظت بدون باد).



شکل 5: تفاوت غلظت $\Delta CONCN$ (غلظت در اجرای اصلی منهای اجرای بدون باد) در سطح در ماههای پس از نشت آلودگی.

عربستان سعودی شده است و می‌توان گفت که نیروی باد در ماه دسامبر غلظت آلودگی را تا اندکی در سواحل بحرین و قطر نیز افزایش داده است. در ماه دوم پس از نشت آلودگی نفتی (ژانویه)، نیروی باد غلظت آلودگی را در کناره های عراق و کویت کاهش داده و منجر به افزایش غلظت در امتداد سواحل ایرانی و همچنین سواحل عربستان سعودی، بحرین و قطر می‌گردد. در ماه سوم پس از نشت

شکل (5) تأثیر باد را بر انتقال و پخش آلودگی در سه ماهه اول پس از نشت نشان می‌دهد. مقادیر مثبت $\Delta CONCN > 0$ بیانگر افزایش غلظت آلودگی در اثر باد و مقادیر منفی $\Delta CONCN < 0$ بیانگر کاهش غلظت آلودگی در اثر باد می‌باشند. همانطور که مشاهده می‌شود، در ماه دسامبر نیروی باد باعث افزایش غلظت آلودگی در بخش شمالی خلیج فارس و همچنین سواحل بوشهر، کویت و

در امتداد کناره شرقی خلیج فارس و سواحل ایرانی تا بخش شمال غربی تنگه هرمز نیز ادامه یافته است و منجر به افزایش غلظت آلودگی در بخش غربی خلیج فارس، سواحل بحرین، قطر و عربستان سعودی می‌گردد. در اواخر تابستان (آگوست) همانطور که ملاحظه می‌شود نیروی باد باعث کاهش عمده غلظت در نوار شرقی و شمالی خلیج فارس شده که این کاهش غلظت تا بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی تنگه هرمز نیز ادامه یافته و همچنین افزایش غلظتی به صورت جزئی در نزدیکی سواحل عراق و به صورت کلی در قسمت غربی و تا حدی جنوبی خلیج فارس (سواحل عربستان سعودی، بحرین، قطر و امارات متحده عربی) ملاحظه می‌گردد. در اوایل فصل پائیز و ماه سپتامبر نیروی باد باعث افزایش غلظت در نوار غربی و تا حدودی جنوب‌غربی خلیج فارس که سواحل بحرین، قطر و امارات متحده عربی را در بر گرفته، می‌شود. بیشینه افزایش غلظت ناشی از نیروی باد در نزدیکی سواحل عربستان رخ می‌دهد. همچنین در ماه سپتامبر کاهش شدید غلظت در بخش شمال‌شرقی خلیج فارس مشاهده می‌گردد که این کاهش غلظت در امتداد سواحل ایرانی تا بخش شرقی تنگه هرمز گسترده شده است. در ماه یازدهم (اکتبر) پس از نشت، مشاهده می‌شود که نیروی باد باعث افزایش شدید غلظت در نزدیکی سواحل عربستان سعودی و همچنین کاهش شدید غلظت در بخش شمالی و شمال‌شرقی و تا حدودی شمال‌غربی خلیج فارس شده است که این کاهش غلظت در امتداد سواحل ایرانی تا بخش جنوبی خلیج فارس ادامه می‌یابد. در ماه آخر (نوامبر) پس از نشت آلودگی، نیروی باد غلظت آلودگی را در سواحل عربستان و بخش‌هایی از سواحل بحرین و قطر افزایش داده است که این افزایش غلظت به سواحل امارات متحده عربی نیز می‌رسد و باعث کاهش غلظت آلودگی در بخش شمالی خلیج فارس، سواحل ایرانی و بخش‌های جنوبی خلیج فارس می‌گردد.

نتیجه گیری

(فوریه)، همانطور که مشاهده می‌شود نیروی باد منجر به افزایش غلظت آلودگی در بخش مرکزی خلیج فارس شده است. به سمت جنوب این افزایش غلظت تا قسمت شرقی تنگه هرمز نیز ادامه می‌یابد و کاهش غلظت در بخش شمال و شمال‌غربی خلیج فارس در اثر نیروی باد نیز مشهود است. نیروی باد در ماه چهارم پس از نشت (مارس) و با آغاز فصل بهار، باعث افزایش غلظت در سواحل شرقی و همچنین سواحل عربستان سعودی، بحرین، قطر و امارات متحده عربی می‌گردد که این افزایش غلظت تا بخش شرقی تنگه هرمز نیز ادامه می‌یابد. نتایج مدل نشان می‌دهد که نیروی باد در ماه مارس، غلظت آلودگی نفتی را در بخش شمالی خلیج فارس و سواحل عراق و کویت کاهش داده است. در ماه آوریل مانند ماه مارس، باد باعث افزایش غلظت در قسمت‌هایی از شرق و غرب و بصورت عمده در مرکز خلیج فارس می‌شود و همانطور که مشاهده می‌گردد کاهش غلظت در بخش شمالی و شمال‌غربی و بخش‌هایی از سواحل بوشهر در اثر نیروی باد کاملاً نمایان است. در ماه ششم (می) پس از نشت آلودگی، نیروی باد باعث افزایش غلظت آلودگی در امتداد سواحل شرقی خلیج فارس تا طول جغرافیایی 50 درجه شرقی و عرض جغرافیایی 29 درجه شمالی و همچنین باعث کاهش غلظت آلودگی در بخش شمال‌غربی و کاهش شدیدی در حوالی سواحل بوشهر می‌گردد. در تابستان قدرت باد شمال کم بوده و جریانات ورودی از دریای عمان می‌توانند خود را به بخش شمالی خلیج فارس برسانند و گردش پادساعتگرد را در آن منطقه ایجاد کنند که این یافته در توافق با نتایج رینولدز می‌باشد (Reynolds, 1993). در ماه هفتم (ماه ژوئن) پس از نشت آلودگی، نیروی باد باعث افزایش غلظت در قسمت‌هایی از غرب و بخش عمده‌ای از مرکز و جنوب خلیج فارس می‌شود. همچنین کاهش غلظت آلودگی در بخش شمال‌غربی و در حوالی سواحل کویت و عربستان سعودی تحت تأثیر باد مشهود است. در ماه جولای نیروی باد غلظت را در بخش شمال‌غربی کاهش داده که این کاهش غلظت

که نیروی باد در مدل اعمال شده بود داشت. سپس با کم کردن این مرحله از اجرا از مرحله اصلی اجرا (اجرای شماره 1) توانستیم تأثیر نیروی باد بر نحوه توزیع و پخش آلودگی نفتی و همچنین تأثیر باد بر میزان کاهش یا افزایش غلظت آلودگی در مکان اولیه نشت بیابیم. باد در نحوه انتقال و پخش آلودگی نفتی عامل مهمی شناخته شد به نحوی که در غیاب نیروی باد مسیر حرکت آلاینده‌ها تغییر چشمگیری دارد. همچنین نیروی باد بیشترین تأثیر را بر کاهش غلظت آلاینده‌ها در مقایسه با دیگر نیروهای اعمال شده در مدل دارد.

منابع

1. Ahmad, F. and Sultan, S. A. R., Annual mean surface heat fluxes in the Arabian Gulf and the net heat transport through the Strait of Hormuz, Atmos Ocean, 1990, 29, 54-61.
2. Clem, T., Oceanographic Effects On Maritime Threats: Mines and Oil Spills in the Strait of Hormuz, Lieutenant, United States Navy B. A., University of Texas at Austin, thesis, 2007.
3. Elhakeem, A. A., Modeling the oil spill in marine environments: a risk assessment in association with coastal desalination plants in the UAE, Master Thesis, Environmental Science Master Program, United Arab Emirates University, 2005.
4. Hunter, J. R., "Aspects of the dynamics of the residual circulation of the Persian Gulf," Coastal Oceanography, Plenum, New York, 1983, 31-42.
5. James, I. D., Modeling pollution dispersion, the ecosystem and water quality in coastal waters: a review Environmental Modeling and Software, 2002, 17, 363-385.
6. Luyten, P. J., Jones, J. E., Proctor, R., Tabor, A., Tett, P. and Wild-Allen, K., September 1999, COHERENS, User Documentation.
7. Reynolds, R. M., Physical Oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman-Results from the Mt Mitchell Expedition, Marine Pollution Bulletin, 1993, 27, 35-59.
8. UNEP, Overview on Land-based Sources and Activities Affecting the Marine Environment in the ROPME Sea Area, UNEP/GPA Coordination Office and ROPME, 1999, 127.

در این مطالعه چگونگی انتقال و پخش آلاینده‌های نفتی در خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفت و نحوه توزیع این آلاینده‌ها به صورت عددی توسط مدل هیدرودینامیکی سه بعدی کوهرنس شبیه‌سازی شد. همچنین با اجرای مدل در دو مرحله با شرایط متفاوت توانستیم تأثیر نیروی باد بر نحوه انتقال و پخش آلودگی نفتی به دست آوریم. در مرحله اول اجرا (اجرای شماره 1) تمامی نیروها اعم از نیروهای باد، شارهای گرما، جزرومد و تنش باد در مدل اعمال شده بودند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل در اجرای شماره 1، نحوه توزیع و پخش آلودگی نفتی را که در طول و عرض جغرافیایی $x = 50^{\circ}00'E, y = 28^{\circ}96'N$ در حوالی میدان نفتی نوروز نشت یافته بود را در ماه‌های مختلف سال پس از نشت و در سطح دریا نشان داد. که نتایج حاصل از مدل تطابق خوبی با جریانات موجود در منطقه خلیج فارس و همچنین با مشاهدات واقعی داشت. در فصل زمستان (دسامبر - فوریه) آلودگی نفتی دارای حرکتی متمایل به سمت سواحل شمال شرقی خلیج فارس بوده که طی فصل بهار (مارس - می) این توزیع آلودگی در امتداد سواحل بوشهر قرار گرفته و به سمت شمال خلیج فارس در حرکت بوده، با آغاز فصل تابستان (ژوئن - آگوست) آلودگی نفتی تحت تأثیر جریانات پادساعتگرد آن منطقه متمایل می‌شود به سمت شمال غربی خلیج فارس و طی این فصل آلودگی سواحل عراق و کویت را در بر می‌گیرد. طی فصل پائیز (سپتامبر - نوامبر) آلودگی نفتی حرکتی را در جهت جنوب غربی خلیج فارس شروع کرده و به آن سمت متمایل می‌گردد که بخش وسیعی از سواحل عربستان سعودی، بحرین و قطر را نیز در بر می‌گیرد. سپس برای یافتن تأثیر نیروی باد بر نحوه انتقال و پخش آلودگی، مدل را با حذف نیروی باد از نیروهای اعمال شده در مدل اجرا کرده‌ایم (اجرای شماره 2) و نحوه توزیع آلودگی را در غیاب نیروی باد به دست آورده‌ایم. همانطور که نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل در اجرای بدون باد نشان دادند، نحوه پخش آلودگی نفتی در غیاب نیروی باد تفاوت محسوسی با حالتی