

نقش فرآیندهای فیزیکی بر نحوه توزیع آلاینده‌های نفتی در خلیج فارس

امید حاج رسولیها^۱، اسماعیل حسن زاده^{۲*}، علی رضایی لطیفی^۳

۱- کارشناس ارشد فیزیک دریا، دانشگاه هرمزگان

۲- دانشیار، دانشگاه اصفهان

۳- استادیار، دانشگاه هرمزگان

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۳/۲۵

تاریخ وصول مقاله: ۹۱/۶/۴

چکیده

خلیج فارس به خاطر 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، شارهای گرما و تنش باد بر نحوه پخش این آلاینده‌ها، ما را در امر جمع‌آوری آن‌ها کمک می‌کند. در این تحقیق قصد داریم نحوه توزیع این آلودگی‌ها را در شرایط مختلف توسط مدل عددی سه‌بعدی هیدرودینامیکی شبیه‌سازی کنیم. به این منظور از مدل کوهرنس که با مدول آلودگی و بیولوژیکی جفت شده و قابلیت حل معادلات انتقال و پخش آلودگی را با به‌کارگیری 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. همچنین نتایج شبیه‌سازی مدل بیانگر این نکته بود که تأثیر نیروی باد بر نحوه پخش آلودگی و کاهش غلظت آلاینده‌ها نه به خاطر تنش باد ایجاد کرده، بلکه به خاطر سرعت باد و تأثیری که باد بر مولفه‌های شار گرما می‌گذارد، می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل در مورد نحوه توزیع و پخش آلودگی‌های نفتی توافقی خوبی با شواهد مشاهداتی و همچنین الگوی جریانات موجود در منطقه دارد.

کلید واژگان: آلاینده‌های نفتی، خلیج فارس، مدل کوهرنس، باد، شارهای گرما، تنش باد

مقدمه

نفت وجود دارد. در این تحقیق از یک الگوریتم اویلری برای شبیه‌سازی انتقال و پخش لکه نفتی استفاده می‌گردد. مدل‌های قدیمی انتقال لکه نفتی مجبور به توصیف توزیع صفحات افقی بودند در حالی که جابجایی قائم ذرات بر اساس روش‌های شناوری و حرکت تصادفی^۱ محاسبه می‌شوند. با استفاده از نتایج شبیه‌سازی مدل می‌توان نحوه انتقال و پخش آلودگی‌های نفتی را در حوزه مورد مطالعه، پیش‌بینی کرد و همچنین با روش‌های یکتایی می‌توان تأثیر فرآیندهای فیزیکی از قبیل؛ باد، شارهای گرما، تنش باد و جزرومد را بر انتقال و پخش آلودگی‌های نفتی به دست آورد. در واقع هدف اساسی از انجام این تحقیق، توجه به نقش فرآیندهای فیزیکی چون باد و شارهای گرما بر انتقال و پخش آلودگی‌ها است، که توسط تنظیم کردن مدل کوه‌رنس با دیدگاه اویلری امکان پذیر می‌باشد. تحقیقات انجام شده در این زمینه همگی تأثیرات مجموع نیروهای موثر بر انتقال آلودگی نفتی را بررسی کرده بودند ولی در این تحقیق علاوه بر نشان دادن اثرات همه نیروهای ذکر شده بر پخش آلودگی‌ها، تأثیر تک‌تک این نیروها را بر انتقال و پخش آلاینده‌ها نیز بررسی شده است. درک نحوه پخش آلودگی‌ها از مهمترین امور در بحث محیط زیست دریایی می‌باشد که در پی آن عملیات پاکسازی و پیشگیرانه قابل اجرا خواهد بود.

مواد و روش‌ها

یک امر اساسی و بنیادی در شناسایی و تعیین آلودگی رخ داده در هر محیط دریایی، تعیین حالت انتقال و پخش آن تحت شرایط مختلف محیط زیستی است، که معمولاً توسط مدل‌های عددی مشکل و پیچیده برای انواع مختلف آلودگی‌ها انجام می‌گیرد. مدل‌های عددی به صورت گسترده‌ای به عنوان یک مولفه مهم در برنامه‌ریزی‌های احتمالی و مدیریت سواحل مورد استفاده قرار می‌گیرند. این چنین

اکوسیستم خلیج فارس امروزه به خاطر واقع شدن در غنی‌ترین منطقه نفت‌خیز در جهان که بیش از ۶۷ 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. 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 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 متحمل می‌کند که نیاز به تحقیقات و ارزیابی‌های حساس‌تری دارد. به همین خاطر، داشتن مدلی که توانایی آن را داشته باشد که در صورت نشت نفت و مواد آلاینده به دریای حوزه مورد بررسی، 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. در زمینه شبیه‌سازی انتقال و پخش آلاینده‌های نفتی و تأثیر فرآیندهای فیزیکی بر آن در خلیج فارس، تحقیقات بسیار کمی انجام شده است. در زمینه بررسی اثر نیروهای باد و شارهای گرمایی بر نحوه انتشار آلودگی‌های نفتی در خلیج فارس هیچ موردی ثبت نشده است. در سه دهه اخیر، محققان زیادی انتقال و پخش آلودگی‌های نفتی را بر اساس روش ردیابی (خط سیر) مطالعه کرده‌اند (Mackay et al. , 1980; Huang, 1983; Shen et al., 1986; Shen and Yapa, 1988; Lonin, 1999) ، از میان این مدل‌های انتشار نفت، بسیاری از آنها بر حرکت سطحی لکه نفتی متمرکز شده‌اند. تحقیقات انجام شده کمی در مورد توزیع قائم ذرات

1 Random walk

۱۹۹۸ توسط یک گروه اروپایی چند ملیتی طراحی و تدوین شد و اولین بار به منظور مدل سازی دریای شمال و نواحی ساحلی طبقه بندی شده به کار گرفته شد. مزیت این مدل آسانی به کار بردن متغیرهای مختلف در مقایسه با مدل های پیچیده تر می باشد (Luyten et al, 1999). از دیگر مزایای مهم این مدل، شفافیت مربوط به ساختار پیمانهای آن و همچنین انعطاف پذیری آن به خاطر امکان انتخاب فرآیندهای مختلف، طرحواره های خاص و روش های مختلف حل عددی معادلات برای یک مورد خاص می باشد.

معادلات هیدرودینامیکی اصلی

برنامه فرمول بندی معادلات مدل را هم در سیستم مختصات کارتزین (x_1, x_2, x_3) و هم کروی (λ, ϕ, x_3) مجاز می داند. در سیستم مختصات کارتزین از تخمین $f - plane$ استفاده می شود که در آن فرکانس کوریولیس ثابت است در غیر این صورت عرض جغرافیایی به فرکانس کوریولیس وابسته می شود و باید از مختصات کروی استفاده شود. بخش هیدرودینامیک مدل فرمول های پایه زیر را مورد استفاده قرار می دهد، معادلات اندازه حرکت که از تخمین بوسینیسک و فرضیات تعادل هیدرواستاتیک قائم استفاده می کند، معادله پیوستگی و معادلات دما و شوری، که معادلات تکانه و پیوستگی به صورت عددی حل می شوند. معادلات پیوستگی، اندازه حرکت افقی، تعادل هیدروستاتیک، دما و شوری در مختصات سیگما به ترتیب، به صورت زیر می باشد (Luyten et al, 1999):

$$\frac{1}{J} \frac{\partial J}{\partial t} + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_1} (Ju) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_2} (Jv) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} (Jw) = 0 \quad (1)$$

مدل هایی به عنوان یک ابزار پیش بینی بدون وقفه زمانی در مورد نشت های اتفاقی نفت عمل می کنند. در دسترس بودن یک مدل تحلیلی عددی انتشار نفتی قابل باور برای خلیج فارس، برای کمک به پیش بینی حرکت و جابجایی لکه نفتی به خاطر محفوظ نگه داشتن منابع ساحلی منطقه یک سنگ بنا به حساب می آید. به عبارت دیگر، این چنین مدل های کالیبره شده ای معمولاً یک سکو برای تحقیقات در زمینه پیش بینی های گسترده تر در مورد نشت های نفتی و فعال کردن ارزیابی های قابل باورتر، که بر منابع طبیعی و دست ساز منطقه خلیج فارس اثر می گذارد، را فراهم می کنند.

ارزش افزوده به فرآیند پخش آلودگی نفتی از طریق باد و جریانات همدیدی به عنوان ورودی برای مدل های انتشار نفت تعیین می شود. بعد از به دست آمدن بادها و جریانات با قدرت تفکیک بالا، برای پیش بینی و شبیه سازی حرکت لکه نفتی مدول انتقال به کار گرفته می شود. برای این منظور از مدل کوهرنس استفاده می شود. در این مطالعه شرایط جوی سطحی، مخصوصاً بادها و جریانات اقیانوسی، برای تمام منطقه خلیج فارس که شامل تنگه هرمز نیز می باشد توسط مدل شبیه سازی شده است. سپس خروجی های مدل برای پیش بینی و محاسبات حرکت لکه نفتی مورد تحلیل و ارزیابی قرار می گیرند.

معرفی مدل

کوهرنس (COHERENS)^۱ یک مدل سه بعدی، هیدرودینامیکی، و چند منظوره است که برای نواحی ساحلی و فلات قاره ای دریایی طراحی شده و به خاطر همراه شدن و جفت شدن با مدول هایی که فرآیندهای فیزیکی و بیولوژیکی، انتقال رسوبات و آلودگی ها را شبیه سازی می کنند، مدل کامل و یکپارچه ایست. این برنامه طی سال های ۱۹۹۰ تا

1. Coupled Hydrodynamic Ecological model for Regional Shelf sea

2. Modular structure

▪ هیچ شارشی اجازه عبور از مرزهای خشک را ندارد.

$$\lambda_H \frac{\partial C_i}{\partial x_2} = 0, v C_i = 0$$

$$\lambda_H \frac{\partial C_i}{\partial x_1} = 0, u C_i = 0$$

داده‌های ورودی

ریزش فرضی توسط یک نشت اتفاقی در حدود ۹۵۰ تن در حوالی میدان نفتی نوروز (به دلیل پتانسیل بالای نشت نفت در آن منطقه) هدایت می‌شود، نشت تنظیم شده برای آخرین ساعت ریزش و مسیر ذره دنبال می‌شود. دمای آب بر اساس میانگین ماهیانه دما در منطقه مورد نظر تنظیم شده است. مثلاً برای دوره زمستان ۱ دسامبر تا ۱ مارس، دما در $22^{\circ}C$ تنظیم شده است. نوع نفت مورد استفاده، نفت خام ایران بوده است، دلیل استفاده از این نوع خاص نفت، مشاهده آن به عنوان نماینده‌ای از نفت یافت شده در منطقه مورد مطالعه بوده است. در این مطالعه ما از ۵ لایه سیگما در جهت قائم و فضای شبکه‌ای کارترین با $\Delta x = 5800m$ (از سمت شرق به غرب) و $\Delta y = 6804m$ (از سمت شمال به جنوب) استفاده کرده‌ایم. عمق‌سنجی و موقعیت خطوط ساحلی استفاده شده در این مدل بر حسب داده های ETOPO-2 هستند که در یک شبکه ۲ دقیقه‌ای پردازش شده‌اند. برای شبیه‌سازی حرکت آلاینده‌های نفتی در ابتدا باید شارهای اندازه حرکت، دما و شوری محاسبه شوند و سپس معادله اولیه انتقال آلودگی محاسبه گردد. برای محاسبه شارهای اندازه حرکت و دما و شوری پارامترهای هواشناسی از قبیل؛ مولفه‌های باد در ۱۰ متر بالاتر از سطح دریا، دمای هوا، رطوبت نسبی، پوشش ابر و بارندگی، که به صورت میانگین ماهیانه مورد استفاده قرار می‌گیرند، که همه این داده‌ها از مرکز ثبت ملی اقیانوس‌شناسی (NOAA) تهیه گردیده است. اجرای مدل از ماه دسامبر، ابتدای فصل زمستان بوده که به علت یکنواخت بودن میزان شوری و دما با

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial t} (Ju) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_1} (Ju^2) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_2} (Juv) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} (Jwv) - fv \quad (2)$$

$$= -g \frac{\partial \zeta}{\partial x_1} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x_1} + Q_1 + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\frac{v_T}{J} \frac{\partial u}{\partial x_3} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_1} (J\tau_{11}) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_2} (J\tau_{21})$$

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial t} (Jv) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_1} (Juv) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_2} (Jv^2) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} (Jwv) + fu \quad (3)$$

$$= -g \frac{\partial \zeta}{\partial x_2} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x_2} + Q_2 + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\frac{v_T}{J} \frac{\partial v}{\partial x_3} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_1} (J\tau_{12}) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_2} (J\tau_{22})$$

$$\frac{1}{J} \frac{\partial q_d}{\partial x_3} = b \quad (4)$$

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial t} (JT) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_1} (JT) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_2} (JT) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} (JwT) \quad (5)$$

$$= -\frac{1}{J\rho c_p} \frac{\partial T}{\partial x_3} + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\frac{\lambda_T}{J} \frac{\partial T}{\partial x_3} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_1} \left(J\lambda_H \frac{\partial T}{\partial x_1} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_2} \left(J\lambda_H \frac{\partial T}{\partial x_2} \right)$$

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial t} (JS) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_1} (JS) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_2} (JS) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} (JwS) \quad (6)$$

$$= \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\frac{\lambda_T}{J} \frac{\partial S}{\partial x_3} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_1} \left(J\lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_1} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_2} \left(J\lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_2} \right)$$

که بیانگر نسبت یک واحد طول $J = \frac{\partial x_3}{\partial \tilde{x}_3} = \frac{H}{L \frac{df}{d\sigma}}$

فیزیکی به یک واحد طول در فضای تبدیل یافته است، (x_1, x_2, x_3) بیانگر سه جهت در مختصات سیگما می‌باشند. (u, v, w) مولفه‌های جریان هستند. T دما را نشان می‌دهد، S شوری، f فرکانس کوریولیس، g شتاب جاذبه، P_a فشار جو در سطح، Q_1, Q_2 مولفه‌های گرادیان فشار باروکلونیک، 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، $\tau_{11}, \tau_{12}, \tau_{21}, \tau_{22}$ مولفه‌های افقی تانسور تنش، q_d فشار باروکلونیک و b شناوری می‌باشد. در انتقال اولیری، مدل یک سری از معادلات انتقال را برای تعدادی از توزیعات

آلودگی C_i ($i = 1, N_c$) به شکل زیر حل می‌کند:

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial t} (JC_i) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_1} (JC_i) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_2} (JC_i) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} (JwC_i) \quad (7)$$

$$= \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\frac{\lambda_T}{J} \frac{\partial C_i}{\partial x_3} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_1} \left(J\lambda_H \frac{\partial C_i}{\partial x_1} \right) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x_2} \left(J\lambda_H \frac{\partial C_i}{\partial x_2} \right)$$

توزیعات اولیه توسط کاربر تعریف می‌گردد و معادله ذکر شده در بالا با شرایط مرزی زیر حل می‌گردد (۱-۸) و (۹-۱).

▪ شرط شارش صفر در کف و سطح دریا $(\tilde{x}_3 = 0, L)$ به کار می‌رود.

$$\frac{\lambda_T}{J} \frac{\partial C_i}{\partial \tilde{x}_3} = 0$$

شوری می باشد. پس از اجرای مدل در شرایط متفاوت خروجی های مدل هیدرودینامیکی سه بعدی که به صورت انبوهی از کمیت های عددی می باشند را توسط نرم افزارهای مربوط (فررت) به صورت نمودارهای گرافیکی تبدیل شده، منحنی های مربوط ترسیم و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

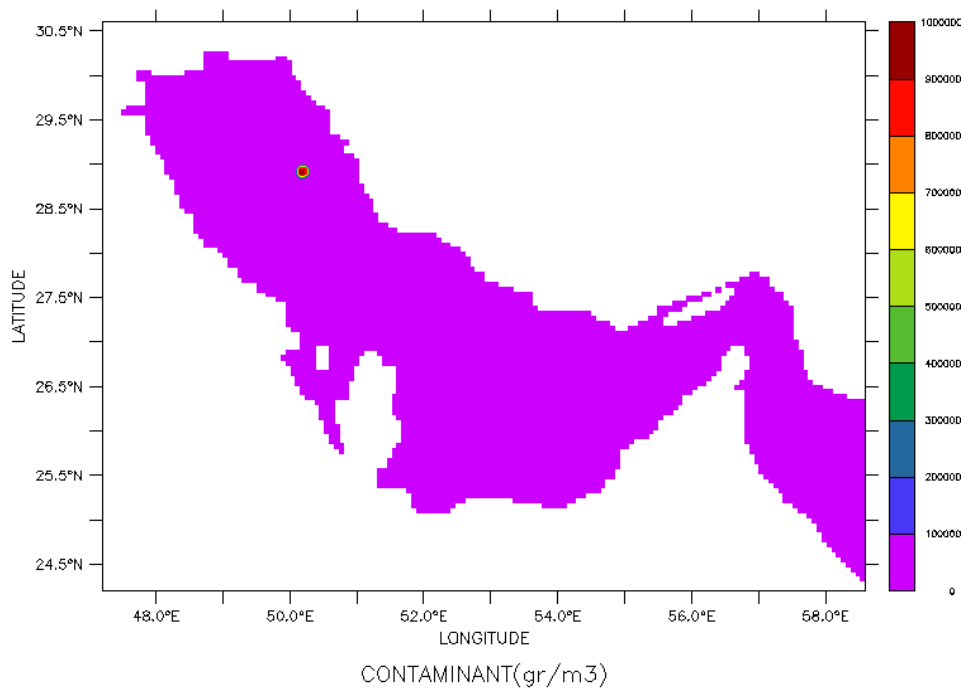
شبیه سازی انتقال و توزیع آلودگی نفتی

در این بخش مدل را با در نظر گرفتن تمامی نیروهای اعمال شده در مدل، اجرا و اجرای شماره ۱ نامگذاری می کنیم. موقعیت آلودگی رها شده در روز اول پس از رهاسازی مطابق شکل ۱ می باشد.

مقادیر به ترتیب ۳۸ و ۱۹ درجه سانتی گراد لایه بندی ضعیفی را در سرتاسر خلیج فارس داریم و آب دریا کاملاً آمیخته است.

بحث و نتایج

بنابر تعریف، مدل دارای یک خروجی سه بعدی و یک خروجی دو بعدی است که خروجی سه بعدی شامل پارامترهای برداری سرعت در جهت x, y و سرعت عمودی w ، و پارامترهای اسکالر دما، شوری و آلودگی می باشد، در حالی که خروجی دو بعدی شامل پارامترهای برداری سرعت در جهت x, y و جابجایی افقی، عمودی و پارامترهای اسکالر دما و

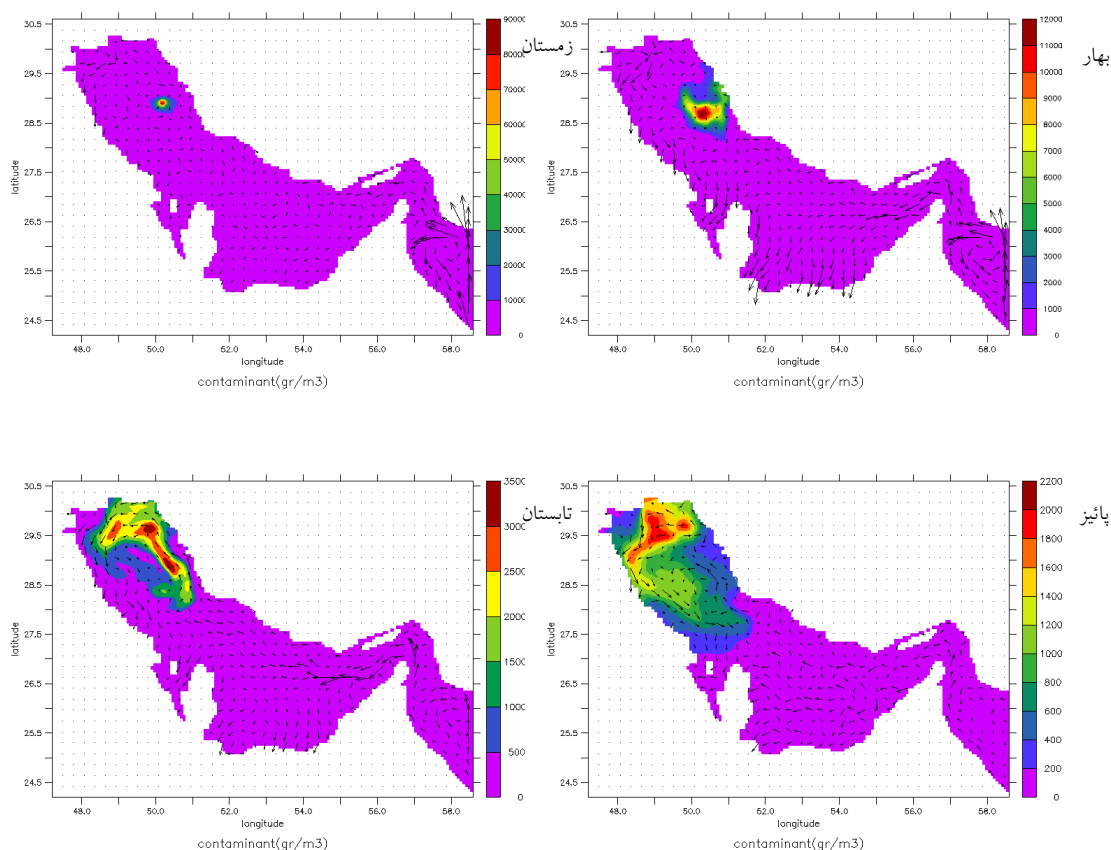


شکل ۱: موقعیت اولیه آلودگی در روز اول نشت در سطح در ابتدای ماه دسامبر و در مختصات جغرافیایی

$$(x = 50^{\circ}00'E, y = 28^{\circ}96'N)$$

(Kampf and Sadrinasab, 2006). به دلیل ناپایداری‌های استاتیکی در فصل زمستان و آمیخته بودن آب دریا همانطور که خروجی‌های مدل نشان می‌دهد جریانات سطحی آب دریا در فصل زمستان (Dec-Feb) کاملاً متغیر می‌باشند.

نتایج حاصل از اجرای مدل برای محاسبه نحوه پخش آلودگی در سطح دریا، بصورت میانگین فصلی در فصول پس از رهاسازی در شکل ۲ نشان داده شده است. جریان‌های سطحی زمستانی از نظر فضایی و زمانی بسیار ناپایدار هستند، این نشان‌دهنده حضور فرایندهای ناپایدار باروکلینیکی در فصل زمستان است



شکل ۲: نحوه توزیع آلودگی و الگوی گردش شبیه‌سازی شده در اجرای مدل با اعمال تمامی نیروها (اجرای شماره ۱) در سطح در فصول پس از رهاسازی آلودگی (Dec-Nov)

(1959). خروجی‌های مدل همچنین نشان می‌دهد که در اوایل فصل زمستان، رژیم گردشی 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

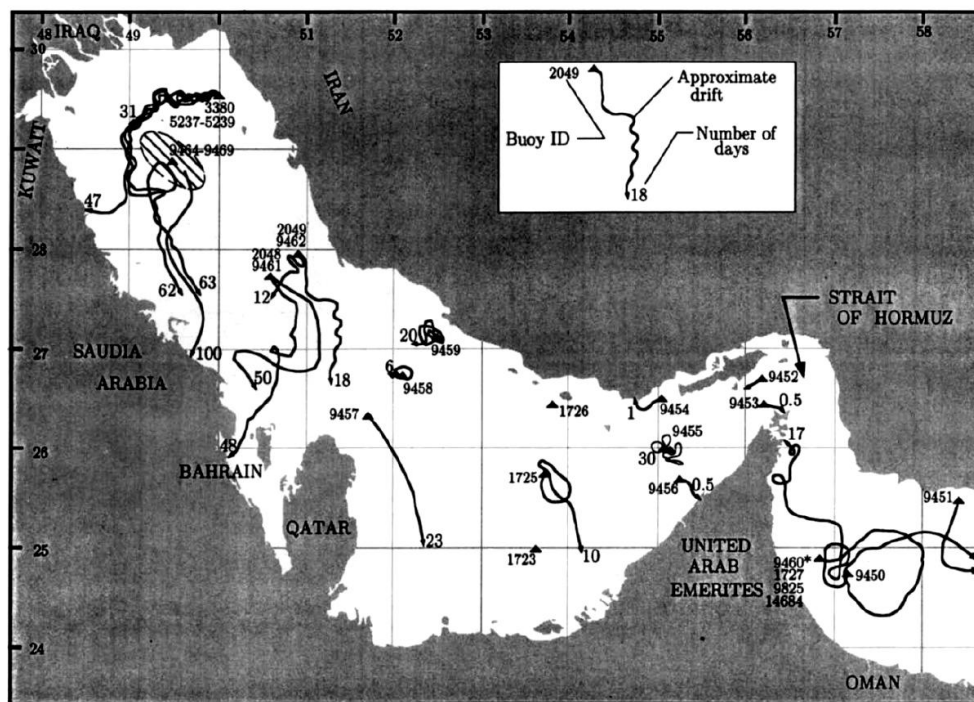
همچنین در این فصل (زمستان) ما با کاهش شدید غلظت آلاینده‌ها به دلیل افزایش میزان تبخیر در این فصل و انحلال صورت گرفته می‌باشد، مواجه هستیم که این نتیجه با نتایج پریوت (۱۹۵۹) که بیشینه میزان تبخیر را در ماه دسامبر و ۱/۴۴ متر درسال برآورد کرده است توافق خوبی دارد (Privett,)

Sep-) (۱۹۸۳) در توافق است و با آغاز فصل پاییز (Nov) از سرعت جریان‌ها کاسته شده و آب ورودی خلیج عمان با سرعت کمتری به قسمت شمال غربی 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 (Reynolds, 1993).

همانطور که شکل ۳ نشان می‌دهد نتایج شبیه‌سازی مدل در مورد انتقال در بخش شمالی خلیج فارس با مشاهدات رینولدز (۱۹۹۳) 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).

گردش خلیج فارس را کامل کند و در نزدیکی سواحل بوشهر متمایل به سمت غرب می‌شود که این نتایج با نتایج مطالعات رینولدز و هانتز در توافق است (Hunter, 1983) و (Reynolds, 1993). با آغاز فصل بهار (Mar-May) بخشی از جریان ورودی آب شیرین از دریای عمان شروع به حرکت به سمت شمال غربی خلیج فارس کرده و همانطور که مشاهده می‌شود این جریان به بخش شمالی و شمال غربی خلیج فارس می‌رسد و منجر به انتقال آلودگی به سواحل بوشهر می‌گردد.

در فصل تابستان (Jun-Aug)، بخشی از جریان ورودی از خلیج عمان، به دلیل کم قدرت بودن تنش باد شمال در تابستان به انتهای شمال غربی خلیج فارس نفوذ پیدا کرده و چرخش پادساعتگرد خود را کامل می‌کند که این با نتایج رینولدز (۱۹۹۳) و هانتز



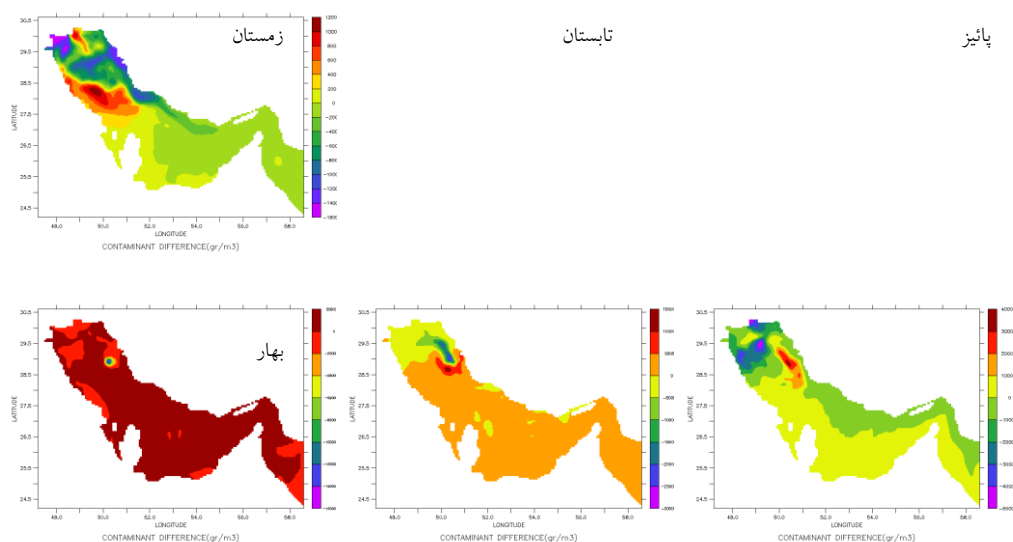
شکل ۳: شمایی از مسیر بویه‌های شناور در خلیج فارس (Reynolds, 1993)

استفاده شده است. همانطور که ذکر شد، در ابتدا مدل با اعمال تمامی نیروهای موثر اجرا شده است (اجرای شماره ۱)، سپس با حذف تک تک نیروها از بین

برای به دست آوردن نقش فرایندهای فیزیکی ذکر شده (باد، شارهای گرمایی و تنش باد) در انتقال و پخش آلاینده‌های نفتی در این مطالعه از روشی نوین

نیروی باد، شارهای گرما و تنش باد را بر نحوه توزیع آلاینده‌ها و همچنین کاهش غلظت آلاینده‌ها به دست آوریم.

نیروهای اعمال شده در مدل و ثابت نگه داشتن دیگر شرایط مانند قبل، مدل را اجرا کرده‌ایم، پس از رسیدن به حالت پایداری، با کم کردن اجزای بعدی از اجرای اصلی (شماره ۱) می‌توانیم به ترتیب تأثیر

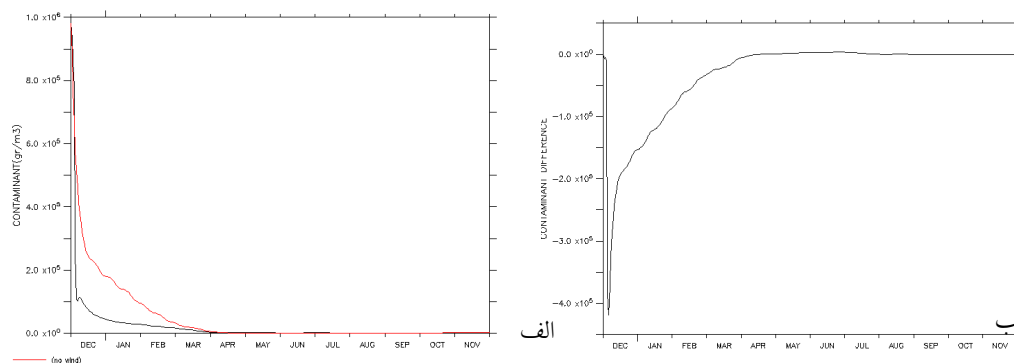


شکل ۴: تفاوت غلظت $\Delta CONCN$ (غلظت در اجرای اصلی منهای اجرای بدون باد) در سطح در فصول پس از رهاسازی

غلظت آلودگی در اثر باد می‌باشند. نیروی باد باعث افزایش غلظت آلاینده در مرکز و غرب خلیج فارس، شامل بخشهایی از عربستان سعودی، بحرین، قطر و تا حدودی امارات متحده عربی می‌گردد و همچنین کاهش غلظت در بخشهای شمالی و شمال شرقی خلیج را منجر می‌گردد.

تأثیر باد بر انتقال و پخش آلاینده‌های نفتی

همانطور که مشاهده می‌شود، تأثیر باد بر نحوه توزیع آلاینده‌ها در فصول مختلف پس از رهاسازی آلودگی در شکل ۴ نشان داده شده است، مقادیر مثبت $\langle \Delta CONCN \rangle (0)$ بیانگر افزایش غلظت آلودگی در اثر باد و مقادیر منفی $\langle \Delta CONCN \rangle (0)$ بیانگر کاهش



شکل ۵: 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)

در شکل ۵ الف، مقایسه بین سریهای زمانی در اجرای اصلی مدل (اعمال تمامی نیروها) و اجرای مدل در غیاب نیروی باد می باشد، مقایسه بین دو سری زمانی نشان می دهد که با حذف نیروی باد از نیروهای اعمال شده در مدل، کاهش غلظت آهسته تر و با شیب ملایم تری نسبت به حالتی که نیروی باد هم در مدل اعمال شده بود رخ می دهد که این نشان دهنده تأثیر نیروی باد بر کاهش غلظت آلاینده ها می باشد و همانطور که در شکل ۵ ب مشاهده می گردد، 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 می دهد که نیروی باد در فصول تابستان و پائیز (Jun-Nov) تأثیر بسزایی بر کاهش یا افزایش غلظت آلاینده ها ندارد.

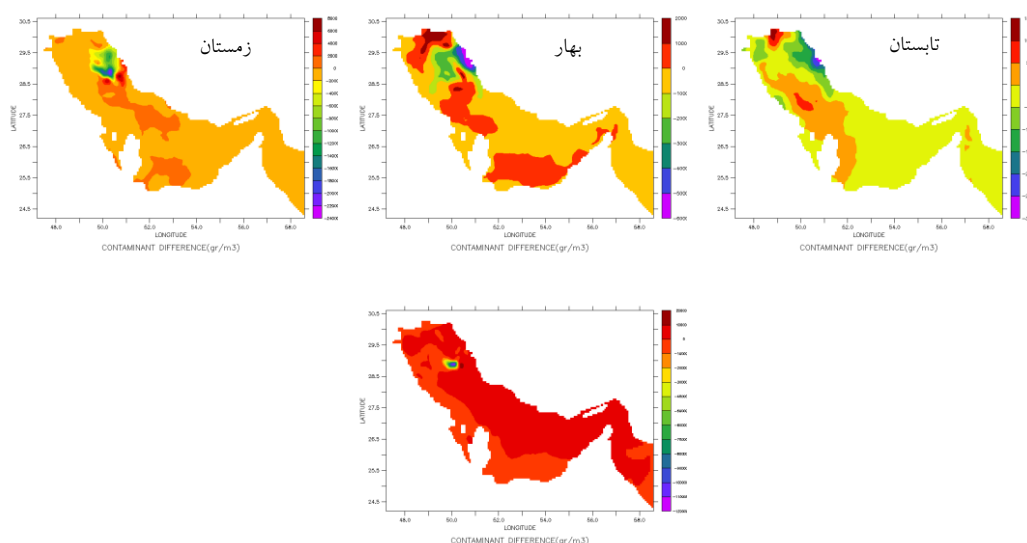
سطح دریا به جو Q_{lw} ، شار گرمای نهان تبخیر Q_{la} و شار انرژی خورشیدی به داخل دریا Q_s که شار گرمای غیر خورشیدی دارای سه مولفه بوده و بصورت زیر می باشد (Stewart, 2008):

$$Q_{sol} = Q_{la} + Q_{se} + Q_{lw}$$

مدل را برای مرتبه سوم و این بار بدون در نظر گرفتن شارهای گرمایی غیر خورشیدی اجرا می کنیم سپس برای یافتن تأثیر شارهای گرما بر نحوه انتقال و پخش آلودگی، اجرای این مرحله را از اجرای مرحله ۱ کم کرده تا تأثیر شارهای گرما را بر نحوه انتقال آلاینده ها و میزان کاهش غلظت آنها بدست آوریم. همانطور که شکل ۶ نشان می دهد در زمستان شارهای گرما منجر به افزایش غلظت به سمت سواحل ایرانی و بخشهایی از تنگه هرمز می گردند، در فصل بهار این افزایش غلظت به سمت مرکز خلیج و بخشهایی از امارات متحده عربی متمایل شده و در فصول تابستان و پائیز، کاهش غلظت آلاینده ها در شمال و شمال شرقی خلیج نمایان می گردد.

تأثیر شارهای گرمایی بر انتقال و پخش آلاینده های نفتی

شارهای گرمایی اعمال شده در مدل، عبارتند از شار گرمای محسوس Q_{se} ، شار خالص تابش موج بلند از

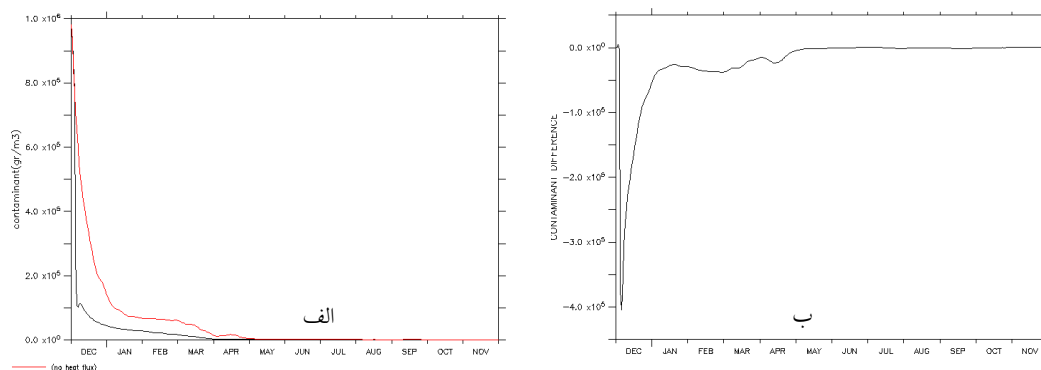


شکل ۶: تفاوت غلظت $\Delta CONCN$ (غلظت در اجرای اصلی منهای اجرای بدون شارهای گرما) در سطح در فصول پس از رهاسازی

آغازین ماه دسامبر عمده غلظت آلودگی کاسته شده در حالیکه در غیاب شارهای گرما در اواسط ژانویه این اتفاق رخ می‌دهد (شکل ۷ الف).

شکل ۷ ب نیز سری زمانی تأثیر شارهای گرما بر غلظت آلودگی را نشان می‌دهد که مقادیر مثبت اختلاف غلظت بیانگر افزایش غلظت در اثر شارهای گرما و مقادیر منفی اختلاف غلظت بیانگر کاهش غلظت در اثر شارهای گرمایی در آن منطقه می‌باشند.

در غیاب شارهای گرما غلظت آلودگی با شیب ملایم‌تری نسبت به هنگامی که شارهای گرما در مدل اعمال می‌شدند، کاهش می‌یابد و همچنین ملاحظه می‌گردد که در اجرای اصلی (شماره ۱)، در اواخر ماه مارس غلظت آلودگی در نقطه اولیه نشت به صفر می‌رسد در حالیکه در اجرای مدل با حذف شارهای گرما در اواخر ماه آوریل غلظت آلودگی به مقدار صفر رسیده و در اجرای اصلی پس از چند روز



شکل ۷: الف- سری زمانی غلظت آلودگی محاسبه شده در (-) اجرای بدون شارهای گرما و (-) اجرای اصلی. ب- سری زمانی تأثیر شارهای گرما بر روی غلظت آلودگی (غلظت در اجرای اصلی منهای غلظت بدون شارهای گرما)

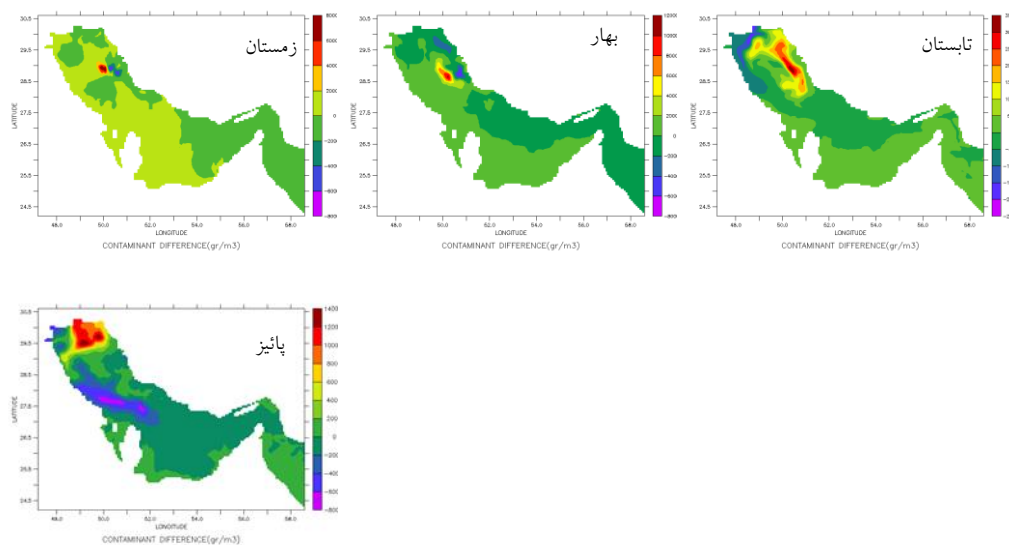
اما به دلیل گردش زمین و نیروی کوریولیس، آب دریا به طور کامل در جهت تنش باد حرکت نمی‌کند و منجر به تغییراتی در توزیع حرکت قائم و افقی آب می‌گردد. در این قسمت برای یافتن تأثیر نیروی تنش باد بر انتقال و پخش آلودگی نفتی و این مطلب که آیا تأثیر نیروی باد بر پخش آلودگی به خاطر تنش باد ایجاد کننده می‌باشد یا نه، مانند قبل مدل را با حذف نیروی تنش باد از نیروهای اعمال شده در مدل اجرا کرده (اجرای شماره ۴) و با کم کردن این مرحله از اجرا از اجرای شماره ۱ می‌توانیم تأثیر نیروی تنش باد را بر نحوه انتقال آلاینده‌ها به دست آوریم.

همانطور که مشاهده می‌شود در شکل ۷ یک کمینه وجود دارد که نشان‌دهنده کاهش غلظت شدید تحت اثر شارهای گرما در اوایل ماه دسامبر می‌باشد و از اواسط ماه می شارهای گرمایی تأثیری بر افزایش یا کاهش غلظت آلاینده‌ها در آن نقطه ندارند.

تأثیر تنش باد بر انتقال و پخش

آلاینده‌های نفتی

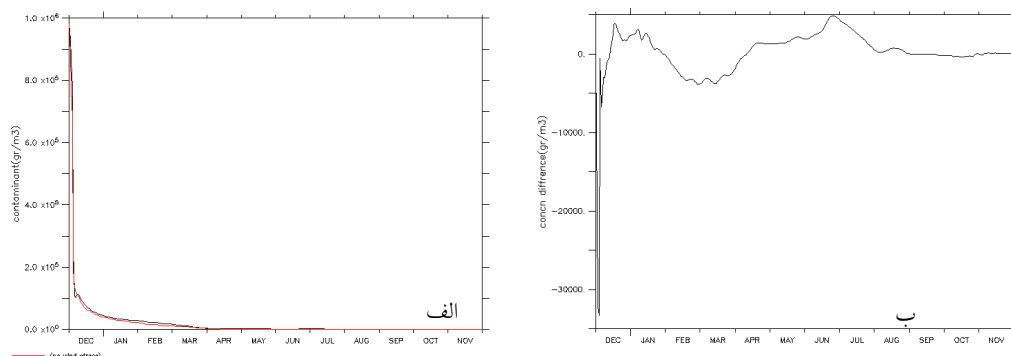
وزش باد بر روی سطح دریا باعث حرکت آن سطح می‌شود که این حرکت در اثر اعمال نیروی تنش اصطکاکی بین هوا و آب می‌باشد. این نیرو به سطح بالایی آب اعمال شده و آن را به حرکت در می‌آورد.



شکل ۸: تفاوت غلظت $\Delta CONCN$ (غلظت در اجرای اصلی منهای اجرای بدون تنش باد) در سطح در فصول پس از رهاسازی

نشت رسم شده است. همانطور که نتایج مدل نشان می‌دهد بین این دو حالت اجرا تفاوت بسیار کمی وجود دارد و مشاهده می‌شود که در غیاب تنش باد نیز غلظت آلودگی با شیب تندی تا چند روز ابتدایی فصل دسامبر کاهش یافته و پس از آن این کاهش غلظت تا اوایل ماه آوریل همچنان ادامه دارد.

شکل ۸، بیانگر این نکته است که تنش باد در طی فصول مختلف پس از رهاسازی منجر به افزایش جزئی غلظت در بخش‌های شمالی و شمال شرقی خلیج فارس می‌گردد. همانطور که شکل ۹ الف نشان می‌دهد، سری زمانی غلظت آلودگی محاسبه شده برای حالت اجرا در غیاب نیروی تنش باد و حالت اجرای کلی در یکسال پس از رهاسازی در نقطه اولیه



شکل ۹: الف- سری زمانی غلظت آلودگی محاسبه شده در (-) اجرای بدون تنش باد و (-) اجرای اصلی. ب- سری زمانی تأثیر تنش باد بر روی غلظت آلودگی (غلظت در اجرای اصلی منهای غلظت بدون تنش باد).

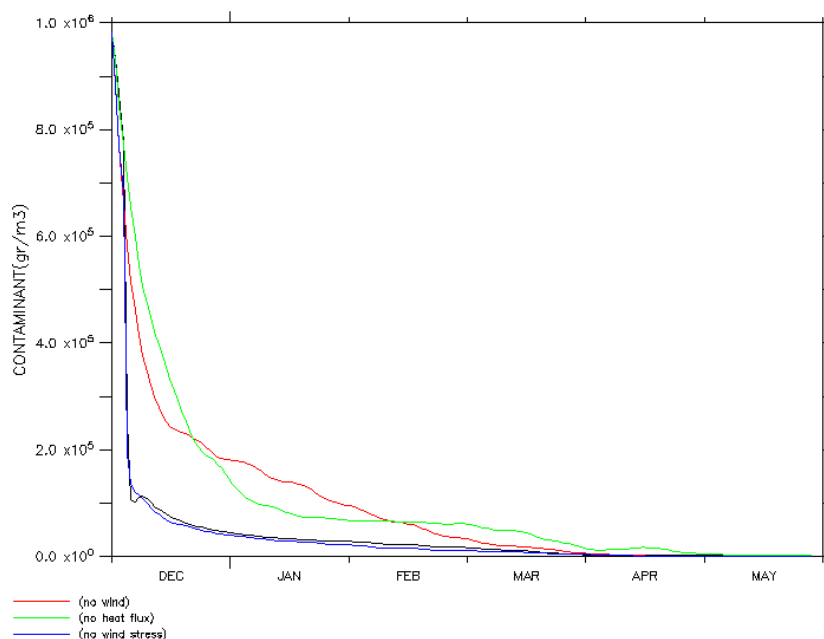
همانطور که در زیر مشاهده می‌شود (شکل ۱۰)، سری‌های زمانی مربوط به این چهار مرحله از اجرا در نقطه اولیه نشت و در لایه سطحی رسم شده است. در اجرای مدل در غیاب نیروی باد (رنگ قرمز) همانطور که مشاهده می‌شود کاهش غلظت آلودگی با شیب ملایم‌تری و آهسته‌تر رخ می‌دهد و عمده غلظت آلودگی تا اواخر ماه دسامبر کاهش یافته و تا اواسط آوریل نیز این کاهش غلظت با شیبی ملایم ادامه دارد.

در اجرای مدل در غیاب شارهای گرما (رنگ سبز) نیز همانطور که مشاهده می‌گردد، شیب کاهش غلظت آلودگی شبیه به حالت قبلی بوده با این تفاوت که در غیاب شارهای گرما، کاهش غلظت آلاینده‌ها تا اواخر آوریل ادامه دارد.

در اجرای مدل در غیاب تنش باد (رنگ آبی) نیز مطابق شکل شیب کاهش غلظت نزدیکی بسیاری به اجرای شماره ۱ دارد و بیانگر تأثیر ناچیز تنش باد بر کاهش غلظت آلودگی می‌باشد، که می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر باد بر نحوه کاهش غلظت آلاینده‌ها به خاطر نیروی تنش باد نبوده بلکه به خاطر سرعت خود باد و تأثیر باد بر مولفه‌های شارهای گرما می‌باشد.

همخوانی زیاد بین این دو حالت بیانگر تأثیر ناچیز نیروی تنش باد بر کاهش غلظت آلودگی می‌باشد. شکل ۹ ب نیز سری زمانی تأثیر تنش باد بر غلظت آلودگی را نشان می‌دهد که مقادیر مثبت بیانگر افزایش غلظت در اثر تنش باد و مقادیر منفی بیانگر کاهش غلظت در اثر تنش باد بوده است. تنش باد تا اواسط ماه ژانویه باعث کاهش غلظت در نقطه نشت اولیه شده. طبق شکل ۹ ب نمودار دارای دو بیشینه یکی در اوایل ماه ژانویه و دیگری در اواخر ماه ژوئن می‌باشد که بیانگر افزایش شدید غلظت در اثر تنش باد در این دو زمان از سال می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود نیروی تنش باد مانند باد یا شارهای گرما تأثیر چندانی بر کاهش یا غلظت آلودگی نفتی ندارد و افت و خیزهای نمودار که نشان‌دهنده کاهش یا افزایش غلظت آلودگی است دارای دامنه‌های کوچکی در مقایسه با نمودارهای قبلی است.

مقایسه تحلیلی بین اثر فرآیندهای فیزیکی بر نرخ کاهش غلظت آلاینده‌های نفتی



شکل ۱۰: سری زمانی غلظت آلودگی محاسبه شده در (-) اجرای اصلی، (-) اجرای بدون باد، (-) اجرای بدون شارهای گرما و (-) اجرای بدون تنش باد در لایه سطحی و در نقطه نشئت اولیه ($x = 50^{\circ}00'E, y = 28^{\circ}96'N$)

▪ شارهای گرما مسیر حرکت آلاینده‌ها را به طور محسوس تغییری نمی‌دهد و تأثیر آن‌ها بر نحوه توزیع آلودگی در مقایسه با باد کمتر بوده ولی تأثیر شارهای گرما بر کاهش غلظت آلاینده‌ها کاملاً محسوس است و اثر آن‌ها را بر کاهش غلظت آلودگی می‌توان با اثر باد مقایسه کرد.

▪ تنش باد مسیر حرکت آلاینده‌ها را تغییری نمی‌دهد و می‌توان گفت که تنش باد تأثیری بر نحوه انتقال آلاینده‌ها ندارد ولی تأثیر تنش باد بر پخش‌شدگی سطحی آلودگی کاملاً نمایان است و می‌توان نتیجه گرفت که عامل پخش‌شدگی جزئی آلودگی نفتی در سطح دریا نیروی تنش باد می‌باشند. تأثیر تنش باد بر کاهش غلظت آلاینده‌ها در مقایسه با باد و شارهای گرما بسیار ناچیز و قابل چشم پوشی بوده است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر نیروی باد بر نحوه توزیع آلاینده‌ها و یا کاهش غلظت

نتیجه گیری و جمع بندی

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 چهار مرحله با شرایط متفاوت توانستیم تأثیر نیروهای باد، شارهای گرمایی و تنش باد را بر نحوه انتقال و پخش آلودگی نفتی به دست آوریم. در مجموع از نتایج شبیه‌سازی عددی مدل و محاسبات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که:

▪ باد در نحوه انتقال و پخش آلودگی نفتی عامل مهمی بوده 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.

- September 1999, COHERENS, User Documentation.
6. Mackay, D., Paterson, S., Nadeau, S., 1980, Calculation of the evaporation rate of volatile liquids, In: Proceedings of the National Conference on Control of Hazardous Material Spills, Louisville, KY, 364-368.
 7. Privett, D.W., 1959, Monthly charts of evaporation from the Indian Ocean (including the Red Sea and the Persian Gulf), 85, 424-428.
 8. Reynolds, R.M., 1993, Physical Oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman-Results from the Mt Mitchell Expedition, Marine Pollution Bulletin, 27, 35-59.
 9. Shen, H.T., Yapa, P.D., 1988, Oil slick transport in rivers, Journal of Hydraulic Engineering, 114, 529-543.
 10. Shen, H.T., Yapa, P.D., Petroski, M.E., 1986, Simulation of oil slick transport in Great Lakes connecting channels, Department of Civil and Environmental Engineering, Clarkson University, Potsdam, NY, Report Nos. 86-1 to 4, vols, I-IV.
 11. Stewart, R.H., 2008, Introduction to Physical Oceanography.
- آن‌ها به خاطر تنش باد ایجاد کرده نبوده، بلکه به خاطر سرعت خود باد و تأثیر آن بر مولفه‌های شارهای گرما می‌باشد.

منابع

1. Huang, J.C., 1983, a review of the state-of-the art of oil spill fate/behavior models, In: Proceedings of the 1983 Oil Spill Conference, Washington DC, 313-322.
2. Hunter, J.R., 1983, "Aspects of the dynamics of the residual circulation of the Persian Gulf," Coastal Oceanography, Plenum, New York, 31-42.
3. Kampf, J. and Sadrinasab, M., 2006, the Circulation of the Persian Gulf: a Numerical Study, Ocean Science, 2, 27-41.
4. Lonin, S.A., 1999, Lagrangian model for oil spill diffusion at sea, Spill and Technology Bulletin, 5, 331-336.
5. Luyten, P.J., Jones, J. E., Proctor, R., Tabor, A., Tett, P. and Wild-Allen, K.,