

مدل سازی عددی پخش و گسترش آلودگی جیوه در سواحل جزیره کیش

علی نسیمی نژاد^۱، محمد اکبری نسب^{۲*}، راحله شفیعی سروستانی^۳، مصطفی بسطام^۴

۱- کارشناس ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه مازندران

۲- استادیار فیزیک دریا، دانشکده ی علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه مازندران

۳- دکتری فیزیک دریا، دانشکده ی علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون خرمشهر

۴- استادیار کامپیوتر T، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مازندران

ایمیل نویسنده مسؤل: m.akbarinasab@umz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶ ۱

چکیده

نحوه پخش و گسترش آلودگی‌ها امری مهم در بحث محیط زیست دریایی می‌باشد. در این مطالعه به کمک مدل سه بعدی MITgcm به بررسی نحوه گسترش آلودگی جیوه در سطح و بستر نواحی شمالی و جنوبی جزیره کیش در فصل زمستان پرداخته شد. داده‌های اولیه (دما، شوری، باد، شار گرمای خالص، تبخیر و بارش) به مدل معرفی و مدل سازی با در نظر گرفتن سه عامل باد، گرادیان چگالی و جزر و مد برای ۱۰ سال اجرا گردید. پس از پایداری مدل، مقایسه نتایج مدل هیدرودینامیک با داده‌های اندازه‌گیری شده، توافق خوبی را نشان داد. سپس با استفاده از ردیاب غیرفعال جیوه نتایج نشان داد که در ماه‌های ژوئن و فوریه آلودگی جیوه تحت تاثیر جریانات غالب در اطراف جزیره کیش بیشتر به طرف تنگه هرمز گسترش می‌یابد، اما با گذشت زمان، در ماه مارس شاهد پخش و گسترش آلودگی به سمت سواحل شمالی خلیج فارس می‌شود. در لایه‌های پایین به دلیل کاهش تنش باد، آلودگی جیوه در بستر به آرامی گسترده می‌شود. در اوایل مدل سازی نفوذ آلودگی جیوه تا عمق ۷۰ متری مشاهده می‌شود که در اواخر مدل سازی به دلیل اختلاط با آب‌های مجاور از غلظت آن کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی

"ردیاب متمرکز"، "جزیره کیش"، "آلودگی جیوه"، "مدل MITgcm"

۱- مقدمه

می‌باشد، که معمولاً توسط مدل‌های عددی انجام می‌گیرد. تاکنون مطالعه‌ای پیرامون بررسی گسترش آلودگی جیوه در این منطقه صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این مطالعه ۱- مدل سازی الگوی گردش جریان در خلیج فارس. ۲- بررسی نحوه پخش آلودگی جیوه در اطراف جزیره کیش.

جزیره کیش با مساحتی معادل ۹۰/۴۵۷ کیلومتر مربع در ۱۸ کیلومتری از کرانه جنوبی ایران قرار گرفته است. از شمال به آبادی گرزه از شرق به جزایر فارو، فاروگان و سیری و از جنوب شرق به بندرابوظبی و از غرب با جزایر هندورابی و لاوان محدود می‌شود.

متأسفانه تاکنون پژوهشی پیرامون بررسی گسترش آلودگی جیوه در خلیج فارس صورت پذیرفته است.

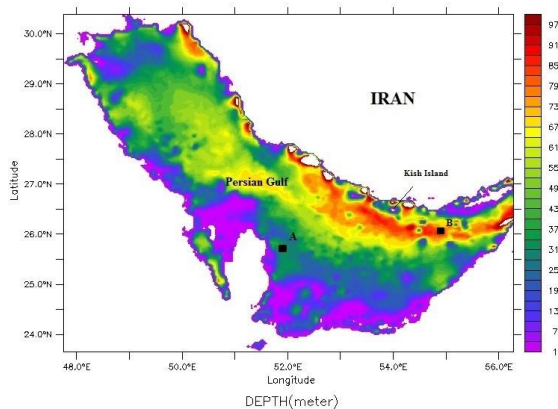
دلبری و همکاران (۱۳۹۶) از مدل عددی مایک ۲۱ برای شبیه‌سازی انتشار آلودگی نفتی در اروند رود استفاده کردند. نتایج مدل سازی نشان داد، چنانچه آلودگی هنگام

جیوه از خطرناک‌ترین آلودگی‌های زیست محیطی است که می‌تواند از راه‌های مختلف گوارشی، تنفسی و پوستی وارد بدن موجود زنده شود. آلودگی جیوه می‌تواند آسیب‌های جبران‌ناپذیری به مولفه‌های اکوسیستمی از جمله آبسنگ-های مرجانی موجود در سواحل جزیره کیش وارد سازد. به طور کلی ۲۷ گونه مرجان آبسنگ‌ساز در خلیج فارس شناسایی شده است که ۲۱ گونه آن در اطراف جزیره کیش است (قوام مصطفوی، ۱۳۸۵). اکوسیستم مرجانی، غنی‌ترین و پرنرزی‌ترین اکوسیستم دریایی خلیج فارس است (Fatemi, ۲۰۰۱). مناطق مرجانی بعد از جنگل‌های نواحی گرمسیری، دومین بیوم پرتولید جهان بوده و مساحت آن‌ها ۱۷ درصد کل تمام اقلیم‌های دریایی است (Birkeland, ۱۹۹۷). یک امر اساسی و بنیادی در شناسایی و تعیین آلودگی رخ داده در هر محیط آبی، تعیین حالت انتقال و پخش آن تحت تاثیر جریانات اقیانوسی

انتقال جیوه سطحی تحت تاثیر باد قرار دارد و سرعت جریان باعث انتقال متفاوت آلودگی جیوه در مقایسه با لایه‌های پایین تر می‌شود (Zhou, ۲۰۱۹). در مطالعه‌ای دیگر با استفاده از مدل PCFLOW^۳D به شبیه‌سازی جریانات دریای ژاپن و نحوه‌ی انتقال و پخش آلاینده‌های رادیواکتیو تحت تاثیر جریانات ترموهالاینی و اعمال تنش توپوگرافی پرداخته شد. نتایج حاکی از آن بود که نشت آلاینده‌های رادیواکتیو از مکان‌های دفن زباله‌های هسته‌ای پس از گذشت سه سال به عمق ۱۸۰ متری می‌رسد (عمقی که ماهیگیری در آن انجام می‌شود)، پس از ۲۰ سال، غلظت این مواد به ۹۶ درصد خود رسیده و بعد از سپری شدن ۳۰ سال از زمان نشت آلودگی به حداکثر غلظت خود می‌رسد که این مقدار دو برار حد مجاز این مواد در آب‌های اقیانوسی است (Wang, ۲۰۰۰).

۲- روش انجام تحقیق

در مطالعه حاضر از مدل MITgcm با توجه به ماژول‌های خاص آن برای ردیابی آلودگی جیوه در خلیج فارس استفاده شده است. محدوده‌ی عمق‌سنجی به کار گرفته شده در این پژوهش در محدوده جغرافیایی ۳۰°N-۲۴°N و ۴۸°E-۵۶°E از سایت GEBCO^۳ با دقت ۳۰ ثانیه دریافت و در نرم‌افزار^۴ ARCGIS به دقت ۲ دقیقه (۳۷۰۶ متر، ۰/۰۳۳°) تبدیل و به صورت یک شبکه ۳۱۲×۶۰۰ به فرمت باینری^۵ به مدل معرفی شده است (شکل ۱).



شکل ۱- عمق‌سنجی مورد استفاده در مدل و محل ایستگاه‌های صحت‌سنجی. مدل با داده‌های HYCOM^{۲۰۰۹} در ایستگاه A و B صحت‌سنجی شده است.

شروع جزر به مدت سه ساعت در مقابل پالایشگاه نفت آبادان رخ دهد و دبی متوسط رودخانه ۴۸۰ مترمکعب بر ثانیه باشد. بدون اعمال باد، آلودگی پس از ۱۲۴ ساعت به خلیج فارس می‌رسد. بدری و فقیهی‌فرد (۲۰۱۶) از Mike^۳ جهت مدل‌سازی گسترش و پخش نفت تحت تاثیر عوامل آب و هوایی از جمله باد و جزر و مد در منطقه عسلویه پرداختند. نتایج نشان داد سطح آلودگی در سال ۲۰۰۸ حدود ۶۲ کیلومتر مربع می‌باشد که موجب آلودگی بنادر سیراف و قسمتی از بندرکنگان گردید. اما در سال ۲۰۱۲ گسترش آلودگی در سمت جنوب عسلویه بود که حاکی از آلوده شدن خلیج‌نایبند در ۳۰ کیلومتری عسلویه می‌باشد. در پژوهشی دیگر حسینی و همکاران (۲۰۱۰) از مدل کوهرنس برای مدل‌سازی و بررسی آلودگی در خلیج بوشهر استفاده نمود، نتایج مدل نشان می‌دهد که پخش آلودگی در خلیج بوشهر، تحت تاثیر جریان‌های اغلب کشندی این خلیج رخ می‌دهد. غیاتی و همکاران (۲۰۱۵) توسط برنامه OILSLICK توزیع آلودگی نفتی در ناحیه‌ی شمال غربی خلیج فارس را مدل‌سازی کردند. مدل بر اساس اطلاعات هیدرودینامیک و سرعت جریان آب، باد، تبخیر، امولسیون و جذب ساحل، توزیع و حرکت لکه آلودگی را پیش‌بینی نمود. طبق بررسی به عمل آمده نتایج مدل‌سازی سازگاری خوبی با داده‌های هدف دارد. در مطالعه دیگر اثرات زیست محیطی فلزات سنگین در خلیج‌کادیس^۱ با استفاده از مدل‌سازی عددی بررسی گردید. پس از شبیه‌سازی جریان و اعمال شرایط جزر و مدی نتایج توسط مدل سه بعدی انتقال رسوب بررسی گردید. رسوب فلزات سنگین در ساحل جنوبی اسپانیا توسط این مدل به خوبی بررسی شد (Periáñez, ۲۰۰۹). در مطالعه‌ای دیگر از مدل POM جهت مدل‌سازی نحوه پخش و گسترش آلودگی جیوه از خلیج میناماتا به دریای یاتسوشیرو^۲ استفاده شد. شبیه‌سازی جیوه و متیل جیوه حل شده سازگاری مناسبی با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد. نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داد که رسوب جیوه قابل توجهی در مرحله اول شبیه‌سازی اتفاق می‌افتد. بر اثر جریان خروجی از دهانه خلیج، جهت انتقال جیوه به سمت شمال است. در حالی که تصور می‌شد گسترش آلودگی جیوه در حین جزر و مد به سمت غرب می‌باشد.

^۳www.gebco.net

^۴Geographic information system

^۵Binary

^۱GoC

^۲Yatsushiro

فشار \dot{P} که به دو قسمت فشارگرایی ناشی از تغییرات ارتفاع سطح دریا (\dot{P}) و قسمت هیدرواستاتیکی ناشی از تغییرات چگالی (\dot{P}) که در کل ستون آب انتگرال گرفته شده، تقسیم می شود. τ_u و τ_v تنش باد در دو راستای مداری و نیم گانی در لایه سطحی (m^2) می باشد که در داخل اقیانوس این جمله صفر است، $\rho_0 = 1000 \frac{kg}{m^3}$ چگالی مرجع آب، Δz_s ضخامت لایه سطحی دریا، θ دمای پتانسیل ($^{\circ}C$)، $\epsilon = 0.025 \frac{j}{kg^{\circ}C}$ گرمای ویژه آب دریا، Q شار گرمایی خالص (m^2)، θ^* میدان نیروی دما ($^{\circ}C$)، S^* میدان نیروی شوری (psu)، $(E - P - R)$ (روان آب رودخانه-بارش-تبخیر) (s)، $S_0 = 35 psu$ شوری مرجع آب دریا می باشد. در معادله پیوستگی، ضرایب اصطکاک لاپلاس در جهت افقی $A_h = 0.02 \frac{m^2}{s}$ و در جهت قائم $A_z = 0.093 \frac{m^2}{s}$ تعیین شده که صحت سنجی این ضرایب برای تعیین پهنای لایه مانک و شرایط پایداری مدل مهم می باشد. ضرایب انتشار دما و شوری در راستای افقی $K_h = 0.03 \frac{m^2}{s}$ و در راستای قائم $K_z = 0.0046 \frac{m^2}{s}$ تعیین شدند. طرح واره فرارفتی مورد استفاده در این مدل یک طرح واره‌ی محدود شار مرتبه‌ی سوم زمانی-مکانی بوده که (Hundsdorfer and Trompert, ۱۹۹۴) برای عدد کورانت $1 \leq |c| \leq 0.6$ پایدار است. مزیت این طرح واره گسسته سازی مکانی و زمانی معادلات به طور همزمان انجام است. در این روش جمله های پخش به معادلات اضافه شده که باعث می شود روش پیشرو در زمان پایدار شود. با عدد کورانت متناهی در این روش انحراف از جمله های خطی با جملات پخش جبران می شود و برای عدد کورانت بالا، روش مرتبه سوم خطی ناپایدار است بنابراین برای تعیین گام زمانی مناسب مدل، شرط عدد کورانت باید برآورده شود.

شرط عدد کورانت به صورت $\delta t < \frac{\Delta x}{u}$ می باشد که در

تفکیک پذیری^۱ در امتداد مداری^۲ و نیم گانی^۳ 37.6° متر و بیشینه عمق حوضه 93 متر است. برای حل دقیق معادلات در ناحیه‌ی پیکنوکلاین^۴ مدل در راستای محور Z به 8 لایه با تفکیک مکانی متغیر از 5 تا 25 متر (عمق 110 متری) تقسیم شده و در بستر و مرزهای جانبی نیز شرایط لغزشی^۵ اعمال شده است. مدل بصورت هیدرواستاتیک اجرا گردید. در حل معادلات از روش حجم محدود استفاده شده است.

در ابتدا یک معادله دوبعدی بیضوی برای شناسایی فشار سطح حل و فشار هیدروستاتیک در همه سطوح از طریق وزن آب بالای سیال محاسبه می شود. معادلات اندازه حرکت افقی بصورت پیشرو گام بندی شده و سرعت قائم از طریق معادله پیوستگی محاسبه می شود. معادلاتی که بر سیر تکامل این میدان ها حاکم هستند توسط اعمال قوانین مکانیک کلاسیک، ترمودینامیک سیال ناویراستوکس، برحسب مختصات قائم نوشته می شوند (معادله های ۱ تا ۷). معادلات مدل در سیستم مختصات کروی (λ, φ, Z) به صورت زیر است (Adcroft, ۲۰۱۸):

$$\frac{Du}{Dt} - fv + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \dot{p}}{\partial x} - A_h \nabla_h^2 u - A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\tau_x}{\rho_0 \Delta z_s} \quad (1)$$

$$\frac{Dv}{Dt} + fu + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \dot{p}}{\partial y} - A_h \nabla_h^2 v - A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = \frac{\tau_y}{\rho_0 \Delta z_s} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla_h \cdot \vec{u} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{D\theta}{Dt} - K_h \nabla_h^2 \theta - K_z \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = -\lambda_{\theta} (\theta - \theta^*) - \frac{1}{C_p \rho_0 \Delta z_s} Q \quad (4)$$

$$\frac{Ds}{Dt} - K_h \nabla_h^2 s - K_z \frac{\partial^2 s}{\partial z^2} = -\lambda_s (S - S^*) - \frac{S_0}{\Delta z_s} (E - P - R) \quad (5)$$

$$\dot{p} = g \rho_0 \eta + \int_{-z}^0 \rho \, dz \quad (6)$$

$$\dot{\rho} = -\alpha_{\theta} \rho_0 \dot{\theta} \quad (7)$$

u و v اجزاء بردار جریان \vec{u} (جریان در مختصات کروی

$$u = \frac{Dx}{Dt} = r \cos \varphi \frac{D\lambda}{Dt}, v = \frac{Dy}{Dt} = r \frac{D\varphi}{Dt}$$

میدان،

^۱ resolution

^۲ Zonal

^۳ Meridian

^۴ Pycnocline

^۵ slip

^۱ Courant number

امواج گرانشی داخلی که ممکن است فرآیندهای محدود کننده ای برای یک گام زمانی پایدار داشته باشد، است. از معادله حالت خطی استفاده و ضرایب انبساط گرمایی^۳ خطی در این معادله $10^{-6} \times 2$ و ضریب انقباض شوری^۴ خطی $10^{-7} \times 2$ در نظر گرفته شده است. تغییرات ثابت کوریولیس با توجه به عرض جغرافیایی حوزه ی مدل سازی محاسبه شده است. داده های ورودی به مدل شامل: دمای سطح دریا (SST^۵)، شوری سطح دریا (SSS^۶) از سایت WOA^۷، داده های هواشناسی شامل بارش (s)، تبخیر (s)، گرمای نهان (m²)، شار خالص امواج بلند (m²)، شار خالص امواج کوتاه (m²)، شار گرمای محسوس (m²) و داده های تنش باد در دو راستای مداری و نیم گانی (m²) از سایت NOAA^۸ و ECMWF^۹ دریافت شده است. داده های دامنه و فاز کشندی^{۱۰} TOPEX^{۱۱}_atlas با دقت^{۱۲} دریافت و با استفاده از جعبه ابزار TMD^{۱۱} در متلب دامنه سرعت جذرومدی بر حسب s و فاز بر حسب درجه، ۸ جزء کشندی (M₂، S₂، N₂، K₂، K₁، O₁، P₁ و Q₁) در سلول های مرزهای باز استخراج و به مدل معرفی شده است. مدل سازی در حوضه مورد نظر برای ۱۰ سال بدون در نظر گرفتن ردیاب اجرا شده تا مدل به پایداری (تغییرات دما و شوری با زمان به صورت تناوبی است) برسد (شکل ۲). نتایج دما و شوری مدل سازی شده با داده های اندازه گیری^{۲۰۰۹} HYCOM^{۲۰۰۹} و NCODA در ایستگاه A و B مقایسه شد. نتایج تطبیق خوبی بین نتایج مدل و داده های واقعی نشان می دهد (شکل ۳).

^۳ Thermal Expansion Coefficient

^۴ Saline Reduction Coefficient

^۵ Sea Surface Temperature

^۶ Sea Surface Salinity

^۷ World Ocean Atlas

(<https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/>)

^۸ National Oceanic and Atmospheric Administration (<http://www.noaa.gov>)

^۹ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (<http://apps.ecmwf.int>)

^{۱۰} <http://www.space.dtu.dk>

^{۱۱} Tide Model Driver

آن $\Delta x = 37.6m$ معرف دقت مدل سازی در راستای مداری و بیشینه سرعت جریان افقی در حوضه مورد مطالعه است، که ۲ در نظر گرفته شده است. بنابراین عدد گام زمانی مناسب برای مدل سازی ۶۰ s انتخاب شد. شرط های دیگر پایداری مدل به شرح زیر می باشند (Adcroft, ۲۰۱۸): پارامتر پایداری اصطکاک لاپلاس در جهت افقی و قائم:

$$S_L = \frac{4A_h \delta t}{\Delta x^2} < 0.5 \quad \text{در جهت افقی} \quad (8)$$

$$S_L = \frac{4A_z \delta t}{\Delta z^2} < 0.3 \quad \text{در جهت قائم} \quad (9)$$

A_h ضریب اصطکاک لاپلاس افقی، A_z ضریب اصطکاک لاپلاس قائم، Δx کوچک ترین دقت مدل در راستای افقی، Δz کوچک ترین دقت مدل در راستای قائم و δt گام زمانی می باشد. پارامتر پایداری نوسانات اینرسی:

$$S_i = f^2 \delta t^2 < 0.5 \quad (10)$$

که f پارامتر کوریولیس و δt گام زمانی می باشد. پارامتر پایداری امواج گرانشی داخلی:

$$S_c = \frac{C_g \delta t}{\Delta x} < 0.25 \quad (11)$$

که C_g بیشینه سرعت امواج گرانشی $10 \frac{m}{s}$ ، Δx کوچک ترین دقت در راستای افقی و δt گام زمانی می باشد.

شرط فرارفت کورانت (CFL^۱) برای سرعت جریان بیشینه:

$$C_a = \frac{|\bar{u}| \delta t}{\Delta x} < 0.5 \quad (12)$$

که $|u| = 2 \frac{m}{s}$ بیشینه سرعت جریان افقی، δt گام زمانی و Δx کوچک ترین دقت در راستای افقی می باشد.

در این مدل سازی، از گسسته سازی گام زمانی چگال گرای^۲ به هم ریخته (به جای حالت همگام) استفاده شده است. مزیت این حالت برای پدیده های طبقه بندی و

^۱ Courant-Friedrich-Levy

^۲ baroclinic

بندی شوند (Dugstad, ۲۰۰۷). ردیاب‌ها را می‌توان به سه دسته طبقه‌بندی شده: ردیاب رادیواکتیو، ردیاب شیمیایی و ردیاب فلورسنت نسبت داد (Aparecida, ۲۰۰۱). ردیاب‌های شیمیایی آب به رنگ‌ها، ردیاب‌های یونی و ارگانیک تقسیم می‌شوند. این‌گونه از ردیاب‌ها در اقیانوس‌شناسی می‌تواند دما، شوری و یا مواد معدنی مانند اکسیژن، فسفات و.. باشد.

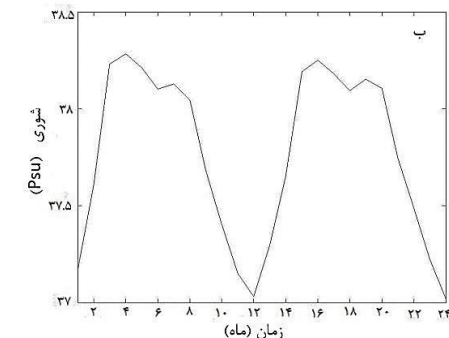
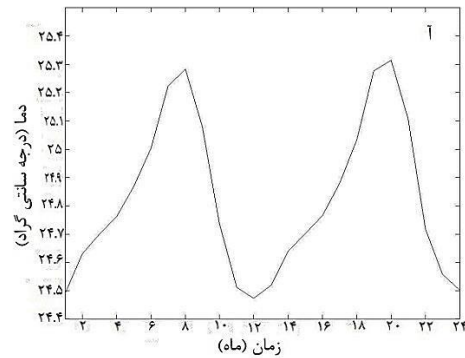
که در مطالعه حاضر آلودگی جیوه به صورت یک ردیاب متمرکز غیرفعال^۱ شیمیایی در مدل MITgcm در نظر گرفته شد. حد مجاز آلودگی جیوه (lit) ۰/۸۵ در دریا می‌باشد که از سایت سازمان بهداشت جهانی (WHO) گرفته شد. سپس آلودگی جیوه با غلظت (lit) ۶ در مناطق شمالی و جنوبی جزیره کیش رها شد. طرح فرارفتی حل معادلات ردیاب، ضرایب پخش افقی و قائم و شرایط اولیه تغییرات ردیاب با عمق به مدل معرفی شده است. در داخل اقیانوس ردیاب‌های غیر فعال توسط جریان‌های مدل اقیانوسی فرارفت می‌شوند. معادله کامل سیر تکامل زمانی ردیاب به صورت زیر است:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \cdot \nabla C - \mu C + \Gamma(C) + S \quad (13)$$

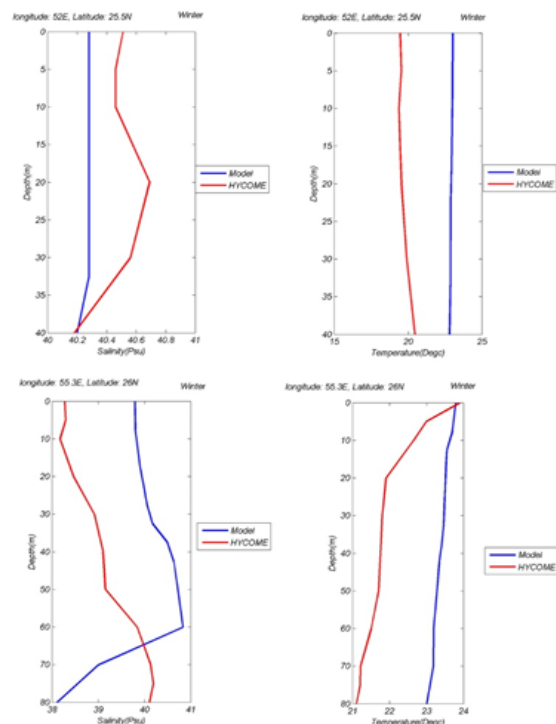
S جمله منبع ردیاب است. این جمله توسط منبع درونی C به دلیل تزریق مستقیم به وجود می‌آید. جمله U مجموع چرخش اولری^۲ مدل و سرعت ناشی از گردابه‌ها طبق پارامتر Gent/Mcwilliams است. تابع همرفت $\Gamma(C)$ را به طور قائم مختلط می‌کند، اگرچه سیال به طور محلی دارای ناپایداری استاتیکی است (Adcroft, ۲۰۱۸).

۳- نتایج

الگو جریان‌ات سطحی خلیج فارس نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد جریان‌ات سطحی در زمستان متاثر از افزایش شدت بادهای شمال غربی است. اختلاف چگالی بین آب دریای عمان و خلیج فارس منجر به ایجاد جریان‌ات ورودی سطحی از تنگه هرمز می‌گردد. توده آب ورودی به جهت ناپایداری‌های باروکلینیکی تشکیل پیچک‌های میان مقیاس در نزدیکی سواحل ایران می‌شود.



شکل ۲- تغییرات دما (ا) و شوری (ب) سطحی در حوزه مدل سازی در دو سال آخر مدل سازی.

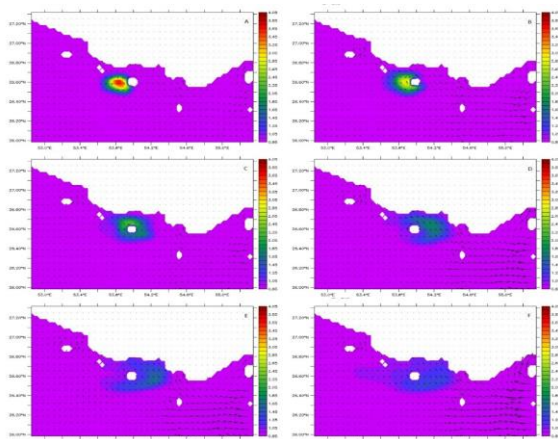


شکل ۳- نیم رخ دما (سمت راست) و شوری (سمت چپ) حاصل از نتایج مدل‌سازی برای فصل زمستان (خط آبی) و داده‌های NCODA+HYCOM سال ۲۰۰۹ در ایستگاه A و B (خط آبی). ردیاب‌ها می‌توانند از نظر تعاملات آن‌ها با مایع حمل‌کننده‌شان، ردیاب‌های فعال و ردیاب‌های غیرفعال، طبقه

^۱Passive concentration Tracer

^۲ Eulerian

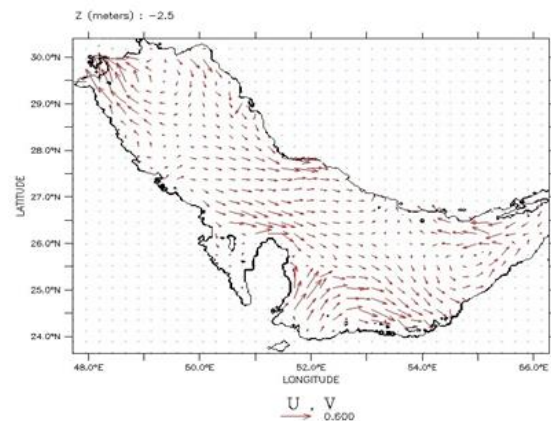
گسترش سطحی آلودگی جیوه در ناحیه شمالی جزیره کیش شکل ۶ نشان دهنده آن است که گسترش آلودگی سطحی در زمستان متأثر از افزایش شدت بادهای شمال غربی است. که منجر به پخش آلودگی به سمت تنگه هرمز می-گردد. اما در ادامه جریانات سطحی ورودی به خلیج فارس با گذشت زمان غالب شده و در نهایت منجر به گسترش آلودگی جیوه به سمت سواحل شمالی خلیج فارس می-شوند. در ادامه به دلیل وجود رژیم چرخشی پادساعتگرد در خلیج فارس و وجود جریان شدید ساحلی جنوبی بین دهانه خلیج فارس و قطر که تا شرق قطر امتداد پیدا می کند شاهد افزایش غلظت جیوه در سواحل قطر بالخص سواحل غربی این کشور هستیم (Reynolds, ۱۹۹۳ و Hunter, ۱۹۹۳). همچنین شاهدیم که به تدریج و با سپری شدن زمان به علت اختلاط آلودگی جیوه با آبهای مجاورش از غلظت آن در محیط کاسته می شود.



شکل ۶- جریان و نحوه توزیع آلودگی سطحی در شمال جزیره کیش پس از ۱۵ روز (A)، ۳۰ روز (B)، ۴۵ روز (C)، ۶۰ روز (D)، ۷۵ روز (E) و ۹۰ روز (F) از شروع مدل سازی.

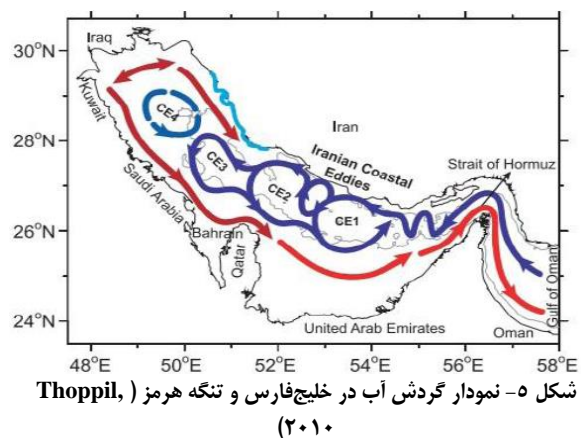
گسترش آلودگی جیوه در بستر ناحیه شمالی جزیره کیش در شکل ۷ به تدریج و با گذشت زمان جیوه بیشتری ته- نشین شده و سبب افزایش غلظت آن در بستر می شود. از طرفی به دلیل وجود جریانات خروجی از تنگه هرمز که غالباً در نزدیکی بستر می باشند (Lardner, ۱۹۹۱) منجر به گسترش آلودگی جیوه در دریای عمان شده و در آنجا تحت تاثیر جریانات آن حوضه تقریباً بصورت یکنواخت پخش و از غلظت آن تا حد مجاز کاسته می شود. اواخر ماه فوریه جبهه ای از آلودگی در نزدیکی سواحل قشم قابل رویت است که توسط جریانات زیر سطحی از تنگه خارج می شود (Johns, ۱۹۸۸) و در ماه آخر (مارس) مدل سازی شاهد افزایش شدت جریانات های ورودی به خلیج فارس

جریان ترموهالاینی ورودی به خلیج در امتداد سواحل ایران حرکت کرده و مسیری پادساعتگرد را در این حوضه طی می کند. از دیگر عوامل موثر بر جریان در خلیج فارس جزر و مد است که در سواحل ایران تاثیر محسوسی بر جریانات خواهد داشت. جریانات غربی در خلیج فارس تحت تاثیر پلوم ورودی از اروندرود می باشد.



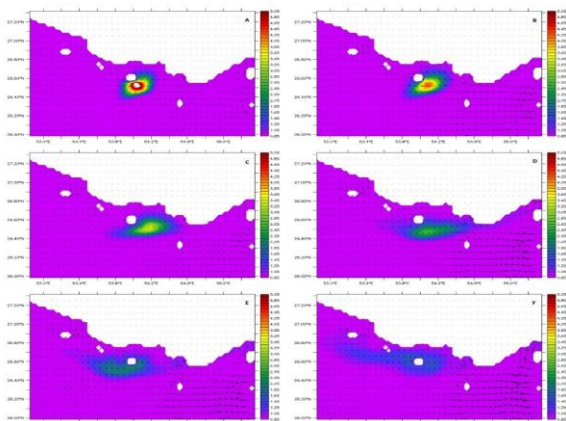
شکل ۴- میانگین خروجی جریانات مدل

یک جریان شمال غربی در نزدیک سواحل ایران با سرعتی بین ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر بر ثانیه بین تنگه هرمز و شمال کشور قطر باعث تشکیل دامنه شمالی این سلول می شود. بین ماه های جولای تا آگوست جریانات ساحلی ایران ناپایدار است. علت آن مکانیزم فشارورودی^۱ در نتیجه انرژی پتانسیل ذخیره شده در لایه عرضی شیب چگالی است. به عنوان یک نتیجه، پیچ و خم های موجود در جریانات ساحلی ایران، در یک سری از گرداب های ریز مقیاس نمود پیدا می کند، که بعنوان گرداب های ساحلی ایران شناخته می شود. که سازگاری مناسبی با مطالعات انجام شده توسط هوگان و پراساد دارد.



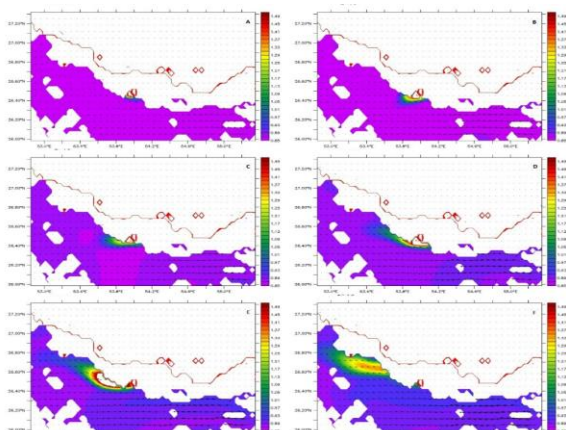
شکل ۵- نمودار گردش آب در خلیج فارس و تنگه هرمز (Thoppil, ۲۰۱۰)

^۱ baroclinicity



شکل ۸- جریان و نحوه توزیع آلودگی سطحی در جنوب جزیره کیش پس از ۱۵ روز (A)، ۳۰ روز (B)، ۴۵ روز (C)، ۶۰ روز (D)، ۷۵ روز (E) و ۹۰ روز (F) از شروع مدل سازی.

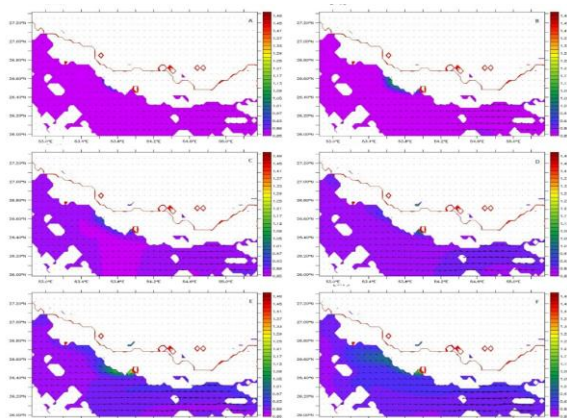
گسترش آلودگی جیوه در بستر ناحیه جنوبی جزیره کیش شکل ۹ نحوه پخش و گسترش آلودگی جیوه در بستر جنوبی جزیره کیش قدری متفاوت از ناحیه شمالی آن است. به گونه‌ای که هم میزان غلظت جیوه ته‌نشین شده در ماه مارس بیشتر است و هم اینکه آلودگی تحت تاثیر جریانات قوی تر ورودی به خلیج فارس نسبت به جریانات خروجی در این لایه به طرف شمال خلیج فارس حرکت کرده و در بستر سواحل شرقی جزیره لاوان ته‌نشین می‌گردد. نکته جالب توجه دیگر تمرکز آلودگی و گسترش کم‌تر آن است که تا حدودی می‌توان محل تجمع جیوه در بستر را بطور دقیق بیان کرد. همچنین مقداری از آلودگی نیز توسط جریانات خروجی وارد دریای عمان شده و تحت تاثیر جریان موجود در آن منطقه واقع می‌گردد.



شکل ۹- جریان و نحوه توزیع آلودگی بستر در جنوب جزیره کیش پس از ۱۵ روز (A)، ۳۰ روز (B)، ۴۵ روز (C)، ۶۰ روز (D)، ۷۵ روز (E) و ۹۰ روز (F) از شروع مدل سازی.

بررسی مقطع طولی و عرضی گسترش آلودگی جیوه در ساحل جزیره کیش

هستیم که از گسترش بیش‌تر آلودگی به دریای عمان ممانعت کرده و در نهایت باعث رسوب آلودگی در نواحی بستر سواحل جزیره کیش و می‌گردد.

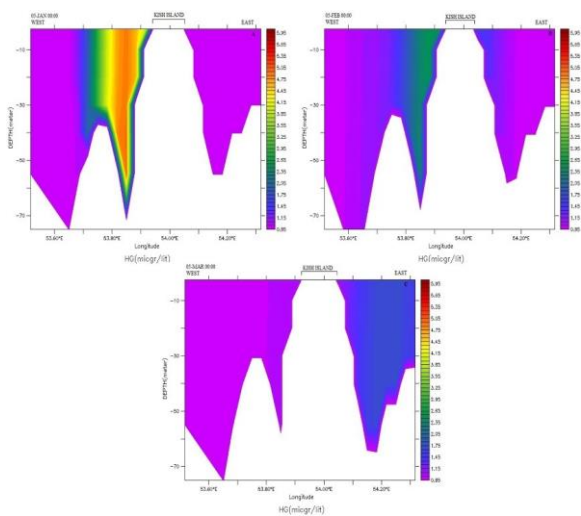


شکل ۷- جریان و نحوه توزیع آلودگی بستر در شمال جزیره کیش پس از ۱۵ روز (A)، ۳۰ روز (B)، ۴۵ روز (C)، ۶۰ روز (D)، ۷۵ روز (E) و ۹۰ روز (F) از شروع مدل سازی.

گسترش سطحی آلودگی جیوه در ناحیه جنوبی جزیره کیش

جهت اکثر امواج در جزیره کیش از سمت غرب و جنوب غربی است. همچنین وزش بادهایی با سرعت ۲۸ متر بر ثانیه در این منطقه مشاهده می‌گردد (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۸۳). مشاهده می‌شود آلودگی بخش جنوبی جزیره کیش تحت تاثیر جریانات ناشی از باد شمال غربی و نیروی کوریولیس که گردش خالصی در جهت عقربه‌های ساعت تولید می‌کند (Thoppil, ۲۰۱۰)، ابتدا مسیری پیچکی را بصورت ساعتگرد طی کرده و بعد از گذشت ۶۰ روز از رهاسازی آلودگی به سمت شمال خلیج فارس حرکت می‌کند و کل جزیره را دربر می‌گیرد که دلیل این امر غلبه جریانات سطحی ورودی از تنگه هرمز به جریانات ناشی از باد شمال غربی است. پس از گذشت ۹۰ روز مشاهده می‌شود زبانه‌ای از آلودگی که طبق الگوهای جریان غالب در خلیج فارس (Reynolds, ۱۹۹۳ و Kleeman, ۱۹۹۳) حرکتی پاد ساعتگرد در این حوضه داشته و به سمت سواحل ایران گسترش می‌یابد.

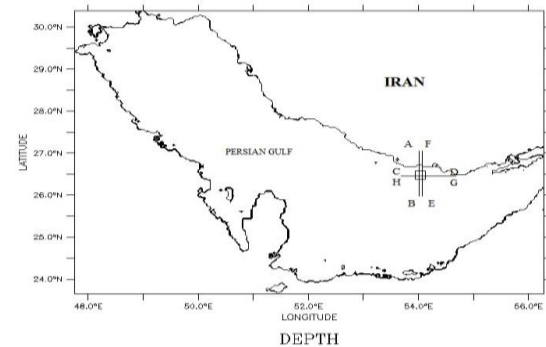
مقطع طولی CD در ساحل شمالی جزیره کیش شکل ۱۲ نمودار گسترش آلودگی با عمق، مقطع طولی CD در جزیره کیش و عرض جغرافیایی $26/6^{\circ}N$ برای پنجمین روز از ماه‌های ژوئن، فوریه و مارس رسم شده است. آلودگی در ۵ ژوئن تا عمق ۷۰ متری نفوذ می‌کند و بر اثر جریانات ناشی از باد و پیچک موجود در این بخش از خلیج فارس، آلودگی جیوه بصورت چرخش ساعتگرد حرکت کرده و در ۵ فوریه گسترش آلودگی جیوه در بخش شرقی سواحل جزیره کیش مشاهده می‌شود و سواحل جزیره بطور کامل تحت تاثیر آلودگی جیوه قرار می‌گیرد. در ماه مارس تقریباً آلودگی جیوه در بخش غربی مشاهده نمی‌شود اما غلظت آن در بخش شرقی افزایش می‌یابد.



شکل ۱۲- گسترش آلودگی با عمق در مقطع طولی CD در عرض جغرافیایی $26/6^{\circ}N$ بصورت ماهانه. (A) پنجم ژوئن، (B) پنجم فوریه و (C) پنجم ماه مارس.

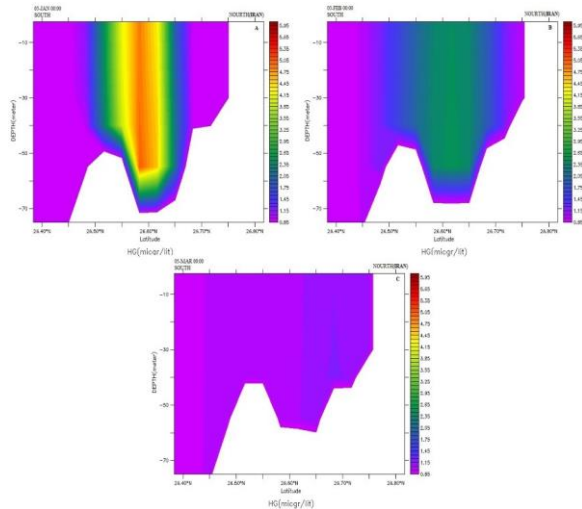
مقطع عرضی EF در ساحل جنوبی جزیره کیش شکل ۱۳ نمودار گسترش آلودگی با عمق در مقطع عرضی EF جزیره کیش در طول جغرافیایی $54^{\circ}E$ به ترتیب برای ۵امین روز ماه‌های ژوئن، فوریه و مارس رسم شده است. در اوایل ماه ژوئن نفوذ آلودگی تا عمق ۷۰ متری مشاهده می‌شود. چرا که در زمستان ترموکلاین کاملاً از بین رفته و درجه حرارت سطح و بستر تقریباً با هم برابرند (قوام مصطفوی، ۱۳۸۵). لذا در این فصل آلودگی به سرعت در همان روزهای اولیه به اعماق نفوذ می‌کند. گسترش آلودگی با توجه به محل رهاسازی و جریانات زیرسطحی موجود در حوضه خلیج فارس که در جهت تنگه هرمز است، بیشتر به طرف جنوب می‌باشد و تقریباً تا فاصله ۱۰ کیلومتری از ساحل جنوبی کیش گسترش می‌یابد. با

در ادامه جهت بررسی نحوه گسترش و پخش آلودگی جیوه در سطح و بستر، مقاطع طولی و عرضی در نزدیکی ساحل کیش ترسیم گردید (شکل ۱۰). براساس این اشکال نحوه گسترش آلودگی جیوه بطور قائم در راستای طولی و عرضی مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

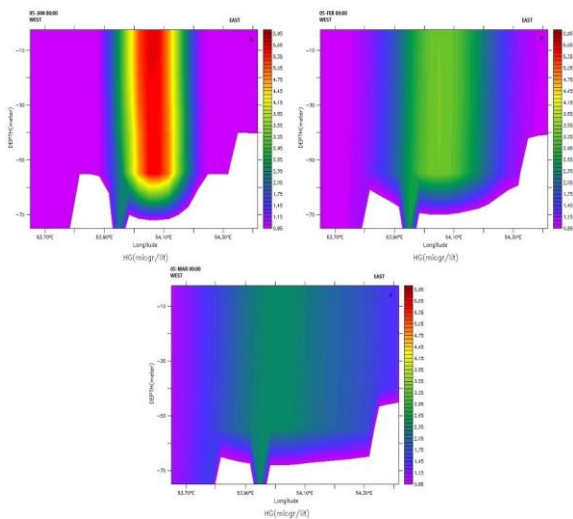


شکل ۱۰- برش طولی و عرضی در نقاط رهاسازی آلودگی جیوه

مقطع عرضی AB در ساحل شمالی جزیره کیش در شکل ۱۱ برش عرضی AB در ناحیه شمالی جزیره کیش در طول جغرافیایی $53/9^{\circ}E$ به ترتیب برای ۵ امین روز از ماه‌های ژوئن، فوریه و مارس نشان داده شده است. مشاهده می‌شود آلودگی جیوه در همان روزهای ابتدایی تا عمق ۷۰ متری نفوذ کرده و بر اثر جریانات زیر سطحی موجود به سمت سواحل ایران کشیده می‌شود و بتدریج به دلیل اختلاط با آب‌های اطراف از غلظت آن کم می‌شود. تمرکز آلودگی جیوه بیش‌تر در سواحل ایران می‌باشد و سواحل جزیره کیش تحت تاثیر این آلودگی قرار نمی‌گیرد. در نتیجه مرجان‌های بخش شمال و شمال غربی جزیره کیش تحت تاثیر این آلودگی قرار نخواهند گرفت.



شکل ۱۱- گسترش آلودگی با عمق در مقطع عرضی AB در طول جغرافیایی $53/9^{\circ}E$ بصورت ماهانه. (A) پنجم ژوئن، (B) پنجم فوریه و (C) پنجم ماه مارس.

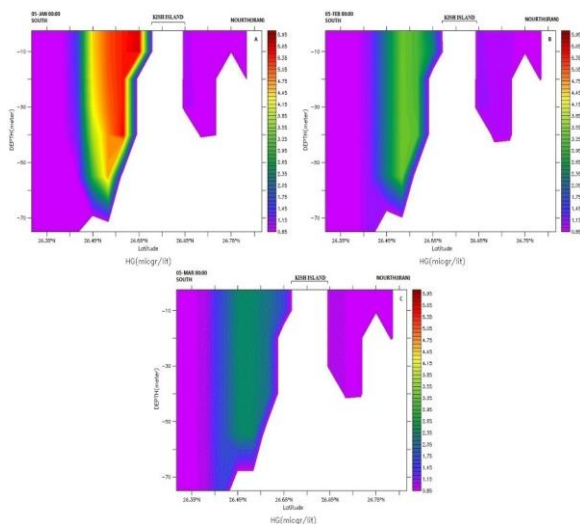


شکل ۱۴- گسترش آلودگی جیوه در مقطع طولی GH در عرض جغرافیایی $26^{\circ}E$ بصورت ماهانه. (A) پنجم ژوئن، (B) پنجم فوریه و (C) پنجم ماه مارس.

۴- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر از مدل MITgcm به منظور بررسی نحوه پخش و گسترش آلودگی جیوه در اطراف جزیره کیش استفاده گردید. تاکنون مطالعه‌ای پیرامون گسترش آلودگی جیوه در این منطقه صورت نگرفته است. نتایج حاصل از مدل‌سازی حکایت از تاثیر باد شمال غربی بر الگوی پخش آلودگی سطحی جیوه و جریانات ترموهالاینی بر نحوه پخش آلودگی در بستر دارد. وجود جریانات جزر و مدی و بادهای محلی و همچنین بوم ورودی از رودخانه‌ها به خلیج نیز سبب پیچیده تر شدن آگوی جریان و در نتیجه فرایند پخش آلودگی جیوه می‌گردد. پخش آلودگی جیوه در سطح در هر دو منطقه با توجه به افزایش شدت وزش باد شمال غربی در زمستان و تاثیر نیروی کوریولیس بر حرکت آن، ابتدا مسیری پیچکی به طرف تنگه هرمز دارد و در ادامه با کاهش شدت وزش باد و غالب بودن جریانات ترموهالاینی در نزدیکی تنگه هرمز آلودگی جیوه به طرف شمال غربی خلیج فارس حرکت می‌کند. در عمق جریانات ترموهالاینی بیش‌ترین تاثیر بر پخش آلودگی جیوه را دارند. و با توجه به اختلاف دما و چگالی در نقاط مختلف خلیج فارس شدت و جهت جریان در مناطق مختلف متفاوت است. با توجه به شرایط محیطی، بر اثر اختلاط شدید آب آلودگی جیوه با سرعت بیش‌تری در محیط پخش می‌شود و با توجه به کندی تبادل آب خلیج فارس با دریای عمان تقریباً مقدار زیادی از آلودگی جیوه در همین منطقه گسترده می‌گردد.

گذشت زمان و در ماه فوریه میزان آلودگی در سمت دیگر جزیره افزایش می‌یابد و به طرف سواحل ایران حرکت می‌کند. اما در ادامه پدیده اختلاط مانع از رسیدن آلودگی به سواحل ایران می‌شود، اما سواحل شمالی جزیره کیش را کماکان در بر دارد. این امر با مقایسه اشکال مربوط به ماه فوریه و مارس به روشنی قابل درک است.



شکل ۱۳- گسترش آلودگی جیوه در مقطع عرضی EF در طول جغرافیایی $26^{\circ}E$ بصورت ماهانه. (A) پنجم ژوئن، (B) پنجم فوریه و (C) پنجم ماه مارس.

مقطع طولی GH در ساحل جنوبی جزیره کیش شکل ۱۴ مقطع طولی GH در جزیره کیش در عرض جغرافیایی $26^{\circ}N$ برای پنجمین روز از ماه‌های ژوئن، فوریه و مارس رسم شده است. در مقطع طولی آلودگی جیوه تا بستر نفوذ کرده و سپس در آنجا پخش می‌شود. با توجه به شدت بیشتر جریانات مداری در بستر (به جهت تبادل آب شورتر خلیج فارس با آب کم‌شور تر دریای عمان) اختلاط و گسترش بیش‌تر آلودگی جیوه در راستای طولی مشاهده می‌شود، بطوری که غلظت آلودگی جیوه در اوایل ماه مارس شکل ۱۴ (C) تقریباً به حد مجاز خود در آب‌های اقیانوسی می‌رسد.

منابع

- بدری، م.، فقیهی فرد، م.، ۲۰۱۶. شبیه سازی عددی آلودگی نفتی بر اساس الگوی بهینه اغتشاشی جریان و تأثیرات باد و جزر و مد، مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، دوره ۴۵، شماره ۴، ص ۱۵-۲۲.
- دلبری، ا.، بهروز، ب.، فیاض محمدی، م.، ۱۳۹۶. شبیه سازی انتشار آلودگی نفتی؛ مطالعه موردی رودخانه اروند، فصل نامه علمی پژوهشی هیدروفیزیک، شماره ۲.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح ۱۳۸۳. جغرافیای جزایر ایرانی خلیج فارس (جزایر کیش و هندورابی)، تهران: انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- غیائی، ر.، زهره حیدریها، ج.، محمودی مقدم، ا.، ۱۳۹۴. شبیه سازی عددی مدل آلودگی نفتی در سواحل شمال غربی خلیج فارس. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۴۷، شماره ۱، ص ۱۶۵-۱۷۴.
- قوام مصطفوی، پ.، ۱۳۸۵. بررسی و شناسایی مولکولی جلبک های همزیست زوگسانتله با مرجان های آبسنگ ساز غالب جزیره ی کیش: پایان نامه دکترا، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات.
- Aparecida de Melo, M., et al. ۲۰۰۱. Using tracers to characterize petroleum reservoirs: application to Carmopolis Field, Brazil, In SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Society of Petroleum Engineers.
- Adcroft, A., et al. ۲۰۱۸. MIYgcm User Manual, ۴۱۵ P.
- Birkeland, C. ۱۹۹۷. Life and death of coral reefs. Springer Science & Business Media.
- Dugstad, Ø. ۲۰۰۷. Well-to-Well Tracer Tests, Chapter ۶ p. ۶۵۱-۶۸۳, Petroleum Engineering Handbook, Vol. ۵-Reservoir Engineering and Petrophysics by Edward D. Holstein (Ed.) SPE, Richardson, Texas.
- Fatemi, S. M. R., Shokri, M. R. ۲۰۰۱. Iranian coral reefs status with particular reference to Kish Island, Persian Gulf, In Proceedings of international coral reef initiative (ICRI) regional workshop for the Indian Ocean, Maputo, Mozambique.
- Hosseini, S. T., et al. ۲۰۱۰. Modeling pollution in the Gulf of Bushehr with numerical models coherence, ۱۴th Iranian Geophysical Conference, Tehran, Geopolitical Society of Iran.
- Hunter, J. R. ۱۹۸۳. Aspects of the dynamics of the residual circulation of the Persian Gulf, In Coastal oceanography, p. ۳۱-۴۲.
- Johns, W. E., Olson, D. B. ۱۹۹۸. Observations of seasonal exchange through the Strait of Hormuz, Oceanography, Vol. ۱۱, p. ۵۸.
- Kleeman, R., Power, S.B. ۱۹۹۳. A simple atmospheric model of surface heat flux for use in ocean modeling studies, Journal of physical oceanography, Vol. ۲۵, p. ۹۲-۱۰۵.
- Lardner, R. W., Das, S. K. ۱۹۹۱. On the computation of flows driven by density gradient: Residual currents in the Persian Gulf, Applied mathematical modelling, Vol. ۱۵, p. ۲۸۲-۲۹۴.
- Periañez, R. ۲۰۰۹. Environmental modelling in the Gulf of Cadiz: heavy metal distributions in water and sediments, Science of the Total Environment, Vol. ۴۰۷, p. ۳۳۹۲-۳۴۰۶.
- Reynolds, R. M. ۱۹۹۳. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman, Results from the Mt Mitchell expedition, Marine Pollution Bulletin, Vol. ۲۷, p. ۳۵-۵۹.
- Thoppil, P. G., Hogan, P. J. ۲۰۱۰. A modeling study of circulation and eddies in the Persian Gulf, Journal of Physical Oceanography, Vol. ۴۰, p. ۲۱۲۲-۲۱۳۴.
- Wang, S. D., et al. ۲۰۰۵. Two-dimensional numerical simulation for transport and fate of oil spills in seas, Ocean Engineering, Vol. ۳۲, p. ۱۵۵۶-۱۵۷۱.
- Zhou, C., et al. ۲۰۱۹. Mercury dynamic simulation of Minamata Bay by using a three-dimensional numerical model, Ocean Dynamics, Vol. ۶۹, p. ۱۷۵-۱۸۶.

Numerical Modeling of Spreading Mercury on the Shores of Kish Island

Ali Nasiminejad^۱; Mohammad Akbarinasab^۲; Rahele Shafie Servestani^۳; Mostafa Bastam^۴

^۱ MSc., Faculty of Marine and Oceanic Sciences, University of Mazandaran, Mazandaran, Iran

^۲ Associate Professor, Faculty of Marine and Oceanic Sciences, University of Mazandaran, Mazandaran, Iran

^۳ Phd., Faculty of Marine and Oceanic Sciences, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

^۴ Assistant Professor, Faculty of Engineering and Technology, University of Mazandaran, Mazandaran, Iran

Abstract

The way of pollution spreads one of the most important issues in the marine environment. In this study, the spread of mercury pollution on the surface and bed areas of the northern and southern region of Kish Island was investigated by using the 3D MITgcm model in the winter season. Primary data (temperature, salinity, wind, net heat flux, evaporation and precipitation) were entered to the model and modeling was carried out by considering the three factors of wind, density gradient and tide for ۱۰ years. After the stability of the model, comparing the results of the hydrodynamic model with the measured data showed a good agreement among them. Moreover, the results of using the passive mercury detector showed that in June and February, the mercury pollution spread to the Strait of Hormuz because of the influence of the prevailing currents around the Kish Island, but over the time, on March, it can be seen that the pollution spread towards the northern shores of the Persian Gulf. In the lower layers, due to the reduction of wind stress, mercury pollution spreads slowly in the bed. At the beginning of the modeling, mercury contamination is observed up to a depth of ۷۰ meters, while at the end of the modeling, its concentration decreases due to mixing the pollution with nearby waters.

Introduction

Mercury is one of the most dangerous environmental pollutants that can enter the living organism through various digestive, respiratory and skin routes. Mercury pollution can cause irreparable damage to ecosystem, including coral reefs on the coast of Kish Island. In general, ۲۷ species of waterstone-forming corals have been identified in the Persian Gulf, of which ۲۱ species are around Kish Island. The coral ecosystem is the richest and most energetic marine ecosystem in the Persian Gulf. Coral reefs are the second most productive biomes in the world and their area is ۱۷% of all marine climates. A basic and fundamental thing in identifying and determining the pollution occurred in any aquatic environment is to determine its transmission and distribution under the influence of ocean currents, which is usually done by numerical models. So far, there has been no study on the spread of mercury pollution in this area. Therefore, the purpose of this study is ۱- Modeling the circulation pattern in the Persian Gulf. ۲- Investigating the spread of mercury pollution around Kish Island.

Methodology

In this study, the MITgcm model has been used according to its special modules to track mercury pollution in the Persian Gulf. The bathymetry range used in this research in the geographic range of ۳۰-۲۴ N and ۵۶-۴۸ E was obtained from the GEBCO website with an accuracy of ۳۰ seconds. Then in the ARCGIS software with an accuracy of ۲ minutes (۳۷۰۶ meters, ۰,۰۳۳ degree) has been converted and entered to the model as a ۳۱۲x۶۰۰ grid in binary format (Figure ۱).

Separability along the orbit and hemisphere is 37.6 meters and the maximum depth of the basin is 93 meters. In order to accurately solve the equations in the pycnocline area, the model is divided into 8 layers along the Z axis with spatial resolution varying from 0 to 20 meters (110 meters deep) and sliding conditions have been applied to the bed and lateral boundaries. The model was implemented hydrostatically. The finite element method is used to solve the equations.

In this modeling, the time step discretization of the cluttered denser is used. The advantage of this method is stratification phenomena and internal gravity waves that may have limiting processes for a stable time step. The linear state equation is used and the coefficients of linear thermal expansion in this equation were 2×10^{-4} $1/^\circ\text{C}$ and linear salinity contraction coefficient of 2×10^{-1} $1/\text{psu}$ is considered in this equation. Coriolis constant changes have been calculated according to the latitude of the modeling domain. Input data to the model include: sea surface temperature (SST), sea surface salinity (SSS) collect from the WOA website, meteorological data including precipitation, evaporation, latent heat, net flux of long waves, net flux of short waves, sensible heat flux and data and the wind stress data in both orbital and hemispherical directions have been received from the NOAA and ECMWF websites. TOPEX^{atlas} amplitude and inertial phase data were obtained with an accuracy of $1/12^\circ$. Then by using the TMD toolbox in MATLAB, the amplitude of the radiative velocity in m/s and the phase in degrees, with 8 inertial components (M^2 , S^2 , N^2 , K^2 , K^1 , O^1 , P^1 and Q^1) have been extracted and entered to the model in the open border cells. Modeling was carried out in the target basin for 10 years without considering the tracer until the model reaches stability (temperature and salinity changes periodic with time) (Figure 2). The modeled temperature and salinity results were compared with the measurement data of HYCOM²⁰⁰⁹ and NCODA at station A and B. The results show a good match between the model results and real data (Figure 3).

In this study, mercury pollution was considered as a concentrated inactive chemical tracer in the MITgcm model. The permissible limit of mercury pollution is 0.85 ($\mu\text{gr/lit}$) in the sea, which was taken from the World Health Organization (WHO) website. Then mercury pollution with a concentration of 1 ($\mu\text{gr/lit}$) was released in the northern and southern regions of Kish Island.

The result of model shows that the surface currents in winter are affected by the increase in the intensity of northwest winds. The difference in density between the waters of the Oman Sea and the Persian Gulf leads to the creation of surface inflows from the Strait of Hormuz. Due to baroclinic instabilities, the incoming water mass forms medium-scale eddies near the coast of Iran. The thermohaline current entering the Gulf moves along the coast of Iran and travels a counter-clockwise path in this basin. Another factor affecting the flow in the Persian Gulf is the tides, which will have a noticeable effect on the currents on the coasts of Iran. The western currents in the Persian Gulf are influenced by the incoming plume from Arvandrud.

A northwesterly current near the coast of Iran with a speed between 30 and 40 cm/s between the Strait of Hormuz and the north of Qatar causes the formation of the northern slope of this cell. Between July and August, the coastal currents of Iran are unstable. Its cause is the pressurization mechanism as a result of potential energy stored in the transverse layer of the density gradient. As a result, the twists and turns in the coastal currents of Iran appear in a series of micro-scale eddies, which are known as coastal eddies of Iran. It is in good agreement with the studies done by Hogan and Prasad.

Conclusion

In this study, the MITgcm model was used to investigate the spread of mercury pollution around Kish Island. The results of the modeling indicate the influence of northwest wind on the spreading pattern of surface mercury pollution, in addition thermohaline currents has affected on the spreading of pollution in the bed. The tidal currents and local winds and also the plume entering from the rivers into the bay, lead to complicate the current flow and, as a result, the process of spreading mercury pollution. The spread of mercury pollution on the surface in both regions, due to the increase in the intensity of the northwest wind in winter and the effect of the Coriolis force on its movement, first has a winding path towards the Strait of Hormuz, and then with the decrease in the intensity of the wind and the predominance of thermohaline currents in Near the Strait of Hormuz, mercury pollution moves to the northwest of the Persian Gulf. In depth, thermohaline currents have the greatest effect on

the spread of mercury pollution, and due to the difference in temperature and density in different parts of the Persian Gulf, the intensity and direction of the flow is different in varied areas. Due to the environmental conditions, because of the strong mixing of water, mercury pollution spreads faster in the environment, and due to the slow exchange of water in the Persian Gulf with the Sea of Oman, almost a large amount of mercury pollution spreads in this area.

Keywords

Focused tracer; Kish Island; Mercury pollution; MITgcm model