

مدل سازی پخش و انتشار آلودگی نفتی در زمان مد در مصب (مطالعه موردی رودخانه اروندرود)

باقر بهروز^۱، ابوالفضل دلبری^{۲*}، محمد فیاض محمدی^۳

۱- باقر بهروز - دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک دریا- دانشگاه علوم فنون خرمشهر- دانشکده علوم اقیانوسی

۲- ابوالفضل دلبری* - استاد یار دانشگاه علوم و فنون خرمشهر- گروه فیزیک دریا

ایمیل: abolfazl_delbari@yahoo.com

۳- محمد فیاض محمدی، استاد یار فیزیک دریا، دانشگاه علوم و فنون خرمشهر

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۳۱

چکیده

در این مقاله به مدل سازی پخش آلودگی نفتی در اروندرود با استفاده از مدل مایک ۲۱ پرداخته شده است. در این مطالعه فواصل شبکه ها با توجه دقت و حجم محاسبات 70×70 متر در نظر گرفته شده است، 1345 گره در جهت افقی و 1574 گره در جهت عمودی و گام زمانی 60 ثانیه در نظر گرفته شده است و در نهایت فایل عمق ساخته شده است. در ادامه دو مرز باز (دریا و بالا دست) برای مدل در نظر گرفته شده است به مرز پایین دست سری زمانی تغییرات تراز سطح آب اعمال شده است و به مرز بالادست تغییرات تراز آب به صورت عدد ثابت به مرزها اعمال شده است. پس از واسنجی، مقایسه ی نتایج مدل با اندازه گیری های میدانی نشان می دهد مدل دارای دقت قابل قبولی در پیش بینی نوسان سطح آب، سمت و سرعت جریان دارد. جهت شبیه سازی الگوی انتشار نفت، خروجی ماژول هیدرودینامیک به ماژول تحلیل نشت نفت اعمال شده است. نتایج مدل سازی نشان می دهد چنانچه آلودگی هنگام شروع مد به مدت سه ساعت در مقابل پالایشگاه نفت آبادان رخ دهد و دبی متوسط رودخانه $480 \text{ m}^3/\text{s}$ باشد، بدون اعمال باد، آلودگی پس از $130/5$ ساعت به خلیج فارس می رسد.

واژه های کلیدی: "آلودگی نفتی" "جزر و مد" "رودخانه اروندرود" "مدل سازی" "مدل مایک ۲۱"

Modeling The Propagation And Release Of Oil Pollution In Fashion Time (Case Study Of Arvandroud River)

Bagher behrooz¹, Abolfazl delbari^{2*}, mohammad Fayaz mohammadi³

1- Baqer Behrooz - Master of Science in Marine Physics, Khorramshahr University of Science Technology - Ocean Sciences Faculty

2- Abolfazl Delbari * - Assistant Professor of Khorramshahr University of Science and Technology- Department of Physics of the Sea

Author's Name:

email: abolfazl_delbari@yahoo.com

3- Mohammad Fayyaz Mohammadi, professor of marine physics, Khorramshahr University of Science and Technology

Abstract

In this paper, modeling the distribution of oil pollution in Arvandroud using the Mike 21 model has been studied. In this study, the distances of the networks are considered with the accuracy and volume of 70×70 m calculations, 1345 nodes in the horizontal direction and 1574 nodes in the vertical direction and at a time interval of 60 seconds, and finally the depth file is constructed. In the following, two open boundaries (sea and upper hand) are considered for the model. The bottom line of the time series is the time of the change in the level of water level and applied to the upper boundary of the water level changes in the form of constant numbers applied to the boundaries. After calibration, the comparison of the model results with field measurements indicates that the model has acceptable accuracy in predicting the fluctuation of water level, side and flow velocity. To simulate the pattern of oil emission, the output of the hydrodynamic module is applied to the oil leakage analysis module. Modeling results show that if the pollution occurs at the beginning of the fashion for 3 hours in front of the Abadan Oil Refinery and the average river flow rate is $/ \text{s}3 \text{ m}480$, without wind application, pollution reaches the Persian Gulf after 130 hours

Keywords

"Abstract oil pollution" "tidal" "Arvandroud river" "modeling" "Mike model 21"

۱- مقدمه

انتشار آلودگی در محیط های آبی یک پدیده روبه رشد می باشد. محدودیت منابع آب و افزایش احتمالی آلودگی آب ها به انواع آلاینده ها در اثر فعالیت های انسانی منجر به تشدید طرح کنترل کیفیت آب ها گردیده است. از طرفی پیامدهای اجتماعی و اقتصادی ناشی از مصرف مستقیم و غیر مستقیم آب آلوده اهمیت این کنترل را دو چندان کرده است. نیمی از فرآورده های نفتی دنیا از طریق دریا انتقال می یابند. حجم عمده نفت ریخته شده در دریا به علت عملیات تخلیه، تصادفات و به گل نشستن کشتی ها، انفجار و شکستن خط لوله می باشد. به علت رشد اقتصادی جهانی، تقاضا برای فرآورده های نفتی روبه افزایش است، از این رو انتظار می رود ریزش های نفتی بیشتری به خصوص در مسیر حرکت تانکرها و نواحی اطراف سکوهای نفتی صورت گیرد. ۴۸٪ آلودگی نفتی دریایی ناشی از سوخت ها و ۲۹٪ ناشی از نفت خام است (Fingas, 2001).

بر اساس گزارش جمع آوری شده توسط ITOPF طی سال های ۱۹۷۴ تا ۲۰۰۴ میلادی، بیشترین سهم آلودگی نفتی دریایی مربوط به نشت طبیعی نفت خام به میزان ۴۹٪ می باشد و سهم فعالیت نفت کش ها و حوادث مربوط به آنها و سایر کشتی ها در ایجاد آلودگی ناشی از نفت دریا ۴۰٪، سهم تاسیسات ساحلی، تخلیه، بارگیری و سوخت گیری نفت خام و فرآورده های نفتی ۹٪ و ۲٪ باقی مانده شامل فعالیت سکوهای حفاری و بهره برداری دریایی می باشد (ITOPF, 2006).

پیش بینی مسیر حرکت ریزش نفت برای مدیریت منابع، حیات وحش و شیلات به لحاظ پایش و کنترل محیط زیست دریایی بسیار موثر است (Hackett et al, 2009). با توجه به اینکه پخش و انتشار آلودگی نفتی در محیط های آبی غیر قابل دسترس اتفاق می افتد، بنابراین مبارزه با پخش آلودگی نفتی در محیط های آبی از نظر اقتصادی و نیروی انسانی به صرفه نیست. یکی از روشهایی که می تواند در پیش بینی انتشار و پخش آلودگی و پاک سازی آن کمک شایانی کند، مدل سازی عددی است.

مدل سازی عددی قادر به شبیه سازی محیط واقعی الگوی جریان نیست مگر اینکه، خصوصیات هندسی دامنه جریان به طور دقیق مدل شوند. بنابراین حل عددی جریان باید بتواند پیچیدگی های هندسی بستر و مرزها را مورد توجه قرار دهد. ارونرود یکی از مهم ترین رودخانه های قابل کشتیرانی ایران و محل تردد تعداد زیادی نفت کش است که این مسله احتمال آلودگی نفتی را دو چندان کرده است. در رابطه با انتشار آلودگی نفتی تاکنون مطالعاتی انجام شده است که از جمله می توان به مطالعات انجام شده زیر اشاره کرد.

حکیم زاده در سال ۱۳۹۱، مطالعه ای با عنوان "مدل سازی عددی رهاسازی نفت به منظور تهیه نقشه خطرپذیری حاصل بر روی سطح خلیج فارس با استفاده از نرم افزار مایک ۳" انجام داد که در این تحقیق شبیه سازی عددی آلودگی نفتی در خلیج فارس با توجه به عواملی نظیر جزر و مد و تنش باد مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق نحوه انتشار لکه نفتی را شبیه سازی نموده و همچنین از نتایج حاصل از آن می توان در طرح های پیگیری و مبارزه با آلودگی نفتی در خلیج فارس بهره برداری کرد و در نهایت نقشه خطرپذیری این منطقه را تدوین کرد (حکیم زاده، ۱۳۹۱).

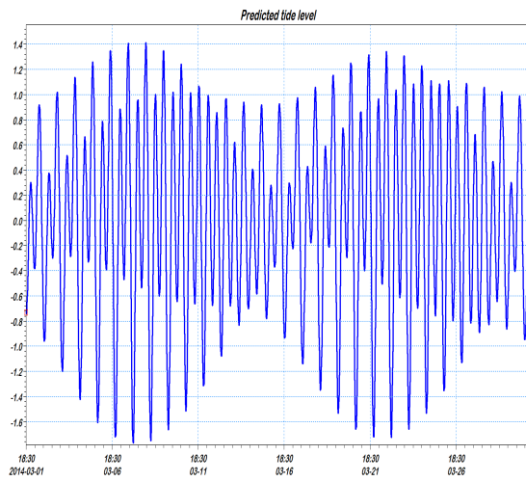
غفاری نوران در سال ۱۳۸۱، با استفاده از مدل انتقال سطحی لکه نفتی در خلیج فارس موفق به بازسازی الگوی جریانات و الگوی حرکت لکه نفتی در منطقه شد (غفاری نوران، ۱۳۸۱).

مختاری و همکاران در سال ۱۳۹۱ با استفاده از مدل مایک ۲۱ به شبیه سازی جریان های جزرومدی و پخش و انتشار آلودگی نفتی در خلیج بوشهر پرداخته اند. نتایج این تحقیق نشان داد که سرعت و الگوی آلودگی نفتی با توجه به اختلاف بردارهای سرعت و جهت جریان متفاوت بوده و در سناریوی اول با توجه به موقعیت رها سازی آلودگی، لکه نفتی ابتدا به سمت داخل خلیج متمایل شده و پس از آلوده نمودن جزایر شمال و شمال غربی خلیج بوشهر و بخشی از سواحل شمال غربی خلیج به سمت مرز غربی مدل حرکت می نماید. و همچنین نشان داده هر چه موقعیت رهاسازی به سمت آب های عمیق تر و نیز محدوده غربی مدل نزدیکتر باشد سرعت انتقال آلودگی بیشتر می باشد (مختاری و همکاران، ۱۳۹۱). دانگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ به مدل سازی ریاضی و الگوریتم های عددی برای شبیه سازی آلودگی نفتی پرداختند. همچنین آنها یک روش جدید برای شناسایی محل منبع آلودگی و زمان وقوع انتشار نفت ارائه دادند این روش در یک مثال برای بخش مرکزی ساحل وینام نشان داد روش ارائه شده موثر است (Dang et al, 2012).

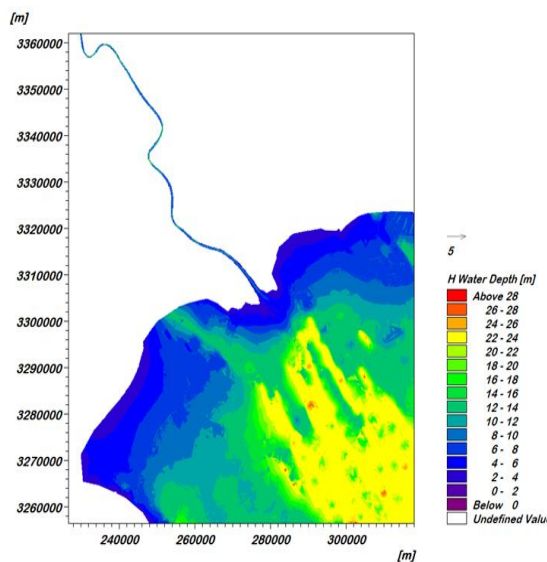
کیلسو و همکاران در سال ۲۰۱۴، با استفاده از مدل مایک ۲۱ به مدلسازی نشت نفت در بخش جنوب شرقی دریای بالتیک پرداخته است در این مدل سازی منطقه مورد مطالعه را به سه قسمت بزرگ تقسیم و پیشنهادهای برای هر قسمت ارائه داده اند (Kileso et al, 2014) و همچنین مطالعات دیگری هم چون (Dang et al, 2012), (Verma et al, 2007), (Riazi et al, 1999), (مومن نیا و همکاران، 1390) در رابطه به این تحقیق تا کنون انجام شده است.

۲. مواد و روشی ها

ثابت (۵/۰ متر) به مرز بالادست در بازه زمانی مورد مطالعه به بخش هیدرودینامیکی اعمال گردیده است. در شکل ۲ تغییرات تراز سطح آب نشان داده شده است.



شکل ۱ تغییرات تراز سطح آب اعمال شده به مرز دریا (جدول ادمیرالتی)



شکل ۲ عمق سنجی منطقه مورد مطالعه الگوی جریان

۲-۲. منطقه مورد مطالعه

محدوده جغرافیایی این مطالعه، حدود ۸۴ کیلومتر از مسیر اروندرود است که از قسمت شمالی خلیج فارس تا کشتی سازی اروندان در خرمشهر امتداد دارد.

بعد از متصل شدن کارون به اروندرود، این رود مسیری حدود ۸۵ کیلومتر را در مرز ایران و عراق، با طی کردن شهرهای خرمشهر، آبادان و بخشهای خسروآباد و اروندکنار، فاو، به شمال خلیج فارس می ریزد (اعتماد شهیدی و همکاران، ۱۳۹۰).

دهانه ورودی اروندرود به خلیج فارس در هشت کیلومتری جنوب شهرهای اروندکنار و فاو، است. عرض این رود به طور متوسط حدود ۵۰۰ متر است. اروند تحت تأثیر الگوی جزر و مد خلیج

در این مقاله از بسته نرم افزاری Mike 21 که توسط موسسه هیدرولیک و آب و محیط زیست دانمارک توسعه یافته است، بر اساس مدل دو بعدی جریان های آزاد سطحی به منظور شبیه سازی هیدرودینامیکی استفاده شده است. ماژول هیدرودینامیک، ماژول پایه ای در مدل جریان Mike 21 است. این مدل برای شبیه سازی هیدرودینامیکی در دریاچه ها، مصب ها، خلیج ها، مناطق ساحلی و دریاها و اقیانوس ها قابل استفاده می باشد.

این ماژول انتشار جریان و تراز سطح آب را به کمک رفتارهای هیدرولیکی حاکم بر بستر توپوگرافی، اثرات باد سطحی و شرایط مرزی شبیه سازی می کند. مدل سازی هیدرودینامیکی جهت ارزیابی توزیع مکانی و جزرومدی جریان در منطقه مورد مطالعه انجام می شود. جریان در منطقه مورد مطالعه عمدتاً افقی، بدون لایه بندی و سیستم به صورت دو بعدی همراه با عمق فرض شده است. در این مقاله، دامنه حل رودخانه اروند می باشد که به صورت یک فایل عمق سنجی به نرم افزار اعمال گردیده است.

در این مطالعه فواصل شبکه ها با توجه دقت و حجم محاسبات ۷۰×۷۰ متر در نظر گرفته شده است، ۱۳۴۵ گره در جهت افقی و ۱۵۷۴ گره در جهت عمودی و گام زمانی ۶۰ ثانیه در نظر گرفته شده است و در نهایت فایل عمق را که از رقمی کردن نقشه های هیدروگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ ساخته شده است. لازم به ذکر است این نقشه ها با وضوح بالا از اداره کل بندر و دریا نوردی خرمشهر دریافت شده است. شکل ۲ ژرفا سنجی اعمال شده به نرم افزار می باشد. در این تحقیق دو مرز باز (مرز دریا و مرز بالا دست رودخانه) برای مدل در نظر گرفته شده است، نوسان سطح آب در مرز دریا به صورت سری زمانی به مدل وارد شده است. این سری زمانی، به کمک ابزار پیش بینی جزرومد، از مولفه های جزرومدی، در جعبه ابزار مایک ۲۱ ساخته شده است.

دامنه و فاز چهار مولفه اصلی جزرومد (M2, O1, K1 و S2) مربوط به دهانه اروندرود از کتاب جداول جزرومدی آدمیرالتی استخراج و به مدل معرفی شده اند. این منطقه، منطبق بر مرز جنوبی در مدل بوده و دامنه و فاز جزر و مدی مولفه های قید شده در جدول ۱ نشان داده شده اند.

جدول ۱ مولفه های جزرومدی مرز جنوبی مدل

نام مولفه	M ₂	S ₂	K ₁	O ₁
دامنه (متر)	۰/۸۴	۰/۲۹	۰/۵	۰/۳
فاز (درجه)	۳۰۸	۹	۲۹۵	۲۴۷

و همچنین تغییرات تراز سطح آب به صورت یک عدد

فارس در بخش‌های انتهایی خود قرار دارد. جزر و مد در خلیج فارس از نیم روزانه تا روزانه متغیر است (اعتماد شهیدی و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل ۳ منطقه مورد مطالعه

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gh \sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] + \Omega_q - f v v_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0$$

کمیت‌های استفاده شده در این معادلات عبارت‌اند از: عمق آب $h(x, y, t)$ ، تراز سطح آب $\zeta(x, y, t)$ تغییر زمانی عمق آب $d(x, y, t)$ ، چگالی‌های شارژ در جهت‌های x, y ، p, q ، (x, y, t) ، g شتاب گرانش، مقاومت سزنی (واحد، $\frac{M^2}{S}$) C ، نیروی کوریولیس وابسته به عرض جغرافیایی Ω ، سرعت باد و مولفه‌های آن در جهت‌های v_x, v_y ؛ واحد آن m/s ، فشار اتمسفر p_a ، چگالی آب: ρ_w ، زمان: t ، مولفه‌های تنش تشعشعی $\tau_{xy}, \tau_{xx}, \tau_{yy}$ ، معادلات فوق با گسسته‌سازی به روش تفاضل محدود و بر روی شبکه منظم حل شده‌اند و در شکل ۴ فلوجارت مدل هیدرودینامیک و شبیه‌سازی انتشار نشت نفت را نشان می‌دهد.

۳-۲. مبانی تئوری و معادلات حاکم

مدل مایک بر پایه روش اویلری توسعه داده شده است و در آن برای مشخص کردن الگوی جریان از معادلات پیوستگی و ممنتوم (معادلات ناویر استوکس متوسط‌گیری شده در عمق)، معادلات (۱)، (۲) و (۳) استفاده شده است (DHI, 2012).

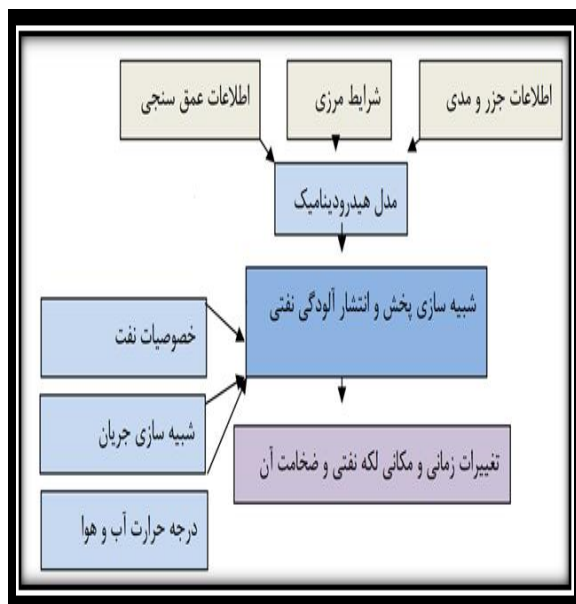
(۱)

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t}$$

(۲)

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gh \sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega_q - f v v_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0$$

(۳)



شکل ۴ فلوجارت مدل هیدرودینامیکی و شبیه‌سازی انتشار نفت

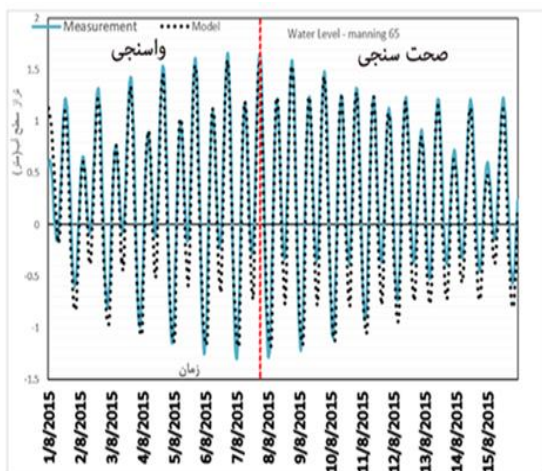
۴-۲. ضریب گرانیوی گردابه ای

به منظور بررسی اثر عدد کورانت^۲ بر تراز جزر و مد بر نتایج شبیه‌سازی، مدل‌سازی حاضر با ضرایب گرانیوی مختلف (۰/۱، ۰/۲۸، ۰/۵، ۱، ۱/۵) برای یک دوره‌ی مشخص اجرا گردیده و نتایج به دست آمده در مناطق مختلف با یکدیگر مورد مقایسه واقع شدند. مقایسه ترازهای آب در شبیه‌سازی نشان داد که نسبت

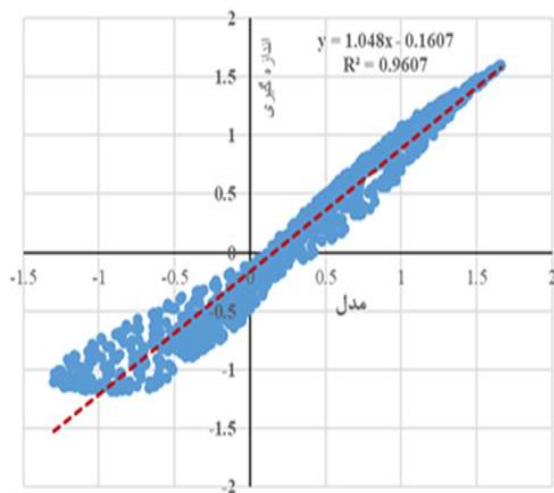
2- Courant Number

1 - Coefficient eddy viscosity

داده‌های استخراج شده از مدل مقایسه شده است، همچنین برای مقایسه سرعت جریان یک سیکل جزرومد در نظر گرفته شده و با داده‌های میدانی مقایسه شده است. شکل (۶) نشان دهنده واسنجی و صحت سنجی تراز سطح آب در بندر فاو و در شکل (۷) نمودار پراکنندگی تراز آب حاصل از مدل و اندازه‌گیری میدانی به همراه شاخص‌های آماری و معادله رگرسیون خطی آورده شده است. مقادیر ضریب همبستگی^۱ ($R^2 = 0.96$) و خطای مجذور میانگین مربعات^۲ ($Rmse = 0.238$) و رگرسیون خطی ($y = 1.048x - 0.1607$) می‌باشد.



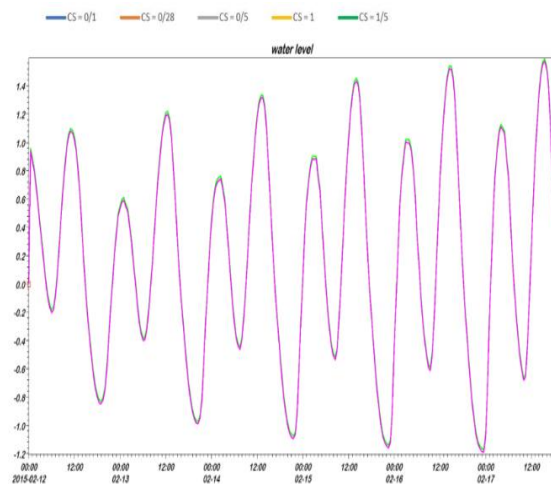
شکل ۶ واسنجی و صحت سنجی تغییرات تراز سطح آب نتایج مدل و نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده در بندر فاو (جداول جزرومدی آدمیرالتی)



شکل ۷ نمودار پراکنندگی نتایج مدل و میدانی تراز آب

شکل (۸) نشان دهنده واسنجی و صحت سنجی جریان آب در مقابل اسکله شیلات آبادان و در شکل ۹ نمودار پراکنندگی جریان آب حاصل از مدل و اندازه‌گیری میدانی به همراه شاخص‌های آماری و معادله رگرسیون خطی آورده شده است، مقادیر ضریب

به ضریب گرانروی حساسیت ندارند. از آن جایی که شبیه‌سازی‌های انجام شده نشان دادند که ضریب گرانروی بر نتایج ترازهای آب ناشی از جزرومد، تأثیر نداشته است، لذا عدد ثابت ۰/۲۸، مقدار دیفالت مدل به کار گرفته شده است. در شکل ۵ حساسیت سنجی تراز سطح آب نسبت ضریب گرانروی نشان داده شده است.



شکل ۵ حساسیت سنجی تراز سطح آب نسبت ضریب گرانروی گردابه‌ای

۲-۵. واسنجی و صحت سنجی مدل هیدرودینامیک

ضرایب واسنجی استفاده شده در مدل هیدرودینامیک شامل ویسکوزیته بر اساس فرمول بندی اسماکورینسکی و نیز تعیین ضریب اصطکاک بستر بر اساس عدد مانینگ است. مدل هیدرودینامیک توسط اطلاعات اندازه‌گیری شده در محدوده اسکله شیلات آبادان و همچنین مولفه‌های جزر و مدی بندر فاو کالیبره شد. در شبیه‌سازی‌های انجام شده عدد مانینگ برابر با ۶۵ و ویسکوزیته گردابی بر اساس فرمول بندی اسماکورینسکی با مقدار ثابت ۰/۲۸ در نظر گرفته شده که به ازای این مقادیر نتایج شبیه‌سازی با دقت بسیار خوب به نتایج اندازه‌گیری شده تطابق می‌یابند بازه زمانی شبیه‌سازی هیدرودینامیکی به مدت سه ماه اجرا شده است.

به منظور انجام صحت سنجی مدل برای شرایط هیدرودینامیک، در منطقه مورد مطالعه کالیبره گشت و برای کالیبره کردن سرعت آب در ایستگاه آبادان یک جریان سنج مغناطیس به مدت ۳۲ ساعت توسط فیاض محمدی در سال ۱۳۹۴ در فاصله ۱۵۰ متری ساحل ایران در عمق ۳ متری نصب شد. در این نقطه عمق کل حدود ۶ متر و عرض رودخانه ۵۰۰ متر است. برای کالیبره کردن تراز سطح آب یک دوره مهکشدن و کپهکشدن را در نظر گرفته و با

2 - Root Mean Square Error

1- correlation coefficient

زمانی ۶۰ ثانیه به صورت دویعدی منظم است، فایل سری زمانی دبی آلودگی نفتی ریخته شده در بازه زمانی سه ساعت با دبی ثابت ۰/۰۱۸۵ متر مکعب بر ثانیه می باشد.

دما و شوری به آب ثابت و به ترتیب برابر با ۲۶ درجه سانتی گراد و ۲ PSU می باشند. درجه حرارت هوا و میزان ابرناکی منطقه به صورت سری زمانی به مدل اعمال شده است.

مقادیر ثابت ضریب بازتابش نفت، آب و هوا برای موازنه حرارتی لکه نفتی به ترتیب مقادیر ۰/۸۲، ۰/۹۸، ۰/۸۲ و ۰/۸۲ در نظر گرفته شده است. ثابت تبخیر به کار رفته در شبیه سازی ۰/۰۲۹ می باشد که نسبت مستقیم با میزان آب و نفت تبخیر شده دارد. برای شبیه سازی نفت دیزلی در نظر گرفته شده است که اطلاعات مربوط به ترکیبات آن در جدول ۲ آورده شده است. به علت پدیده امولسیون حجم نفت در ستون آب افزایش یافته که این خود موجب افزایش مقدار ویسکوزیته می شود.

به منظور انجام فرآیند امولسیون شدن نفت در آب و آب در نفت ضریب حداکثر حجم آب ۰/۸۵، حجم آسفالتین ۰/۰۵، درصد حجم واکس ۵/۷، ثابت جذب آب $e^{-0.7}$ و ثابت رها آب $e^{-0.5}$ (پیش فرض مدل) می باشد. برای تعیین میزان انحلال نفت در ستون آب ضریب تبادل جرمی انحلال نفت برابر با $e^{-0.6}$ (پیش فرض مدل) در نظر گرفته شده است. ویژگی لکه نفتی شامل نوع نفت، درصد حجمی اجزاء تشکیل دهنده آن و نقطه جوش هر یک از اجزاء نفت (جدول ۲) ریخته شده.

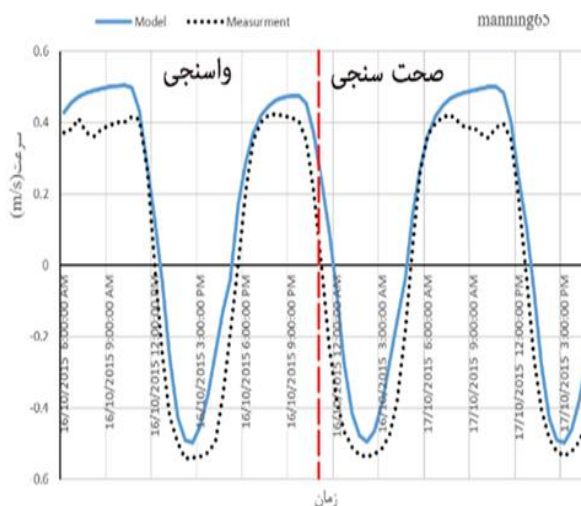
جدول ۲: مشخصات نفت ریخته شده در محدوده مورد مطالعه (DHI, 2012)

شماره	ترکیبات نفت	نقطه جوش	درصد جزئی
1	C_6H_{12} پارافین	230-69	7/4
2	$C_{13}H_{25}$ پارافین	230-405	17/3
3	C_6H_{12} سیکلوپارافین	70-230	2/8
4	$C_{13}H_{23}$ سیکلوپارافین	405-230	6/5
5	C_6H_{11} آروماتیک	240-80	19/8
6	C_2H_{18} آروماتیک	240-400	46/2
7	C_9H_{25} نفتالین	180-400	0
8	باقیمانده	>400	0

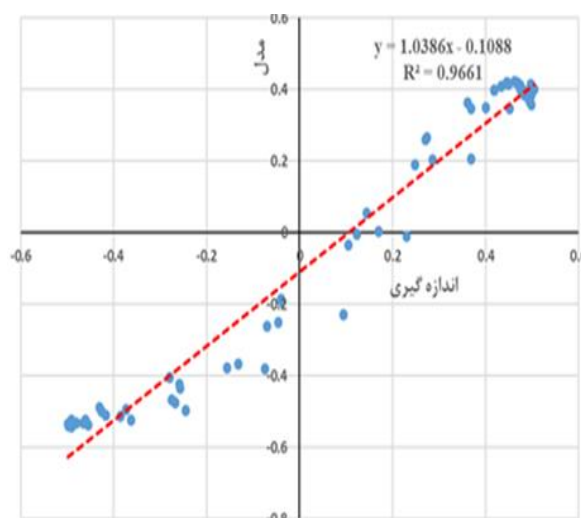
۴. نتایج شبیه سازی جریانات

برای شبیه سازی جریانات در محدوده مورد نظر از مدول

همبستگی ($R^2=0.96$) و خطای مجذور میانگین مربعات ($Rmse=0.127$) و رگرسیون خطی ($y = 1.0386x - 0.1088$) نشان می دهد.



شکل ۸: واسنجی و صحت سنجی جریان آب نتایج مدل با نتایج داده های اندازه گیری شده مقابل اسکله شیلات آبادان



شکل ۹: نمودار پراکندگش نتایج مدل و میدانی جریان آب

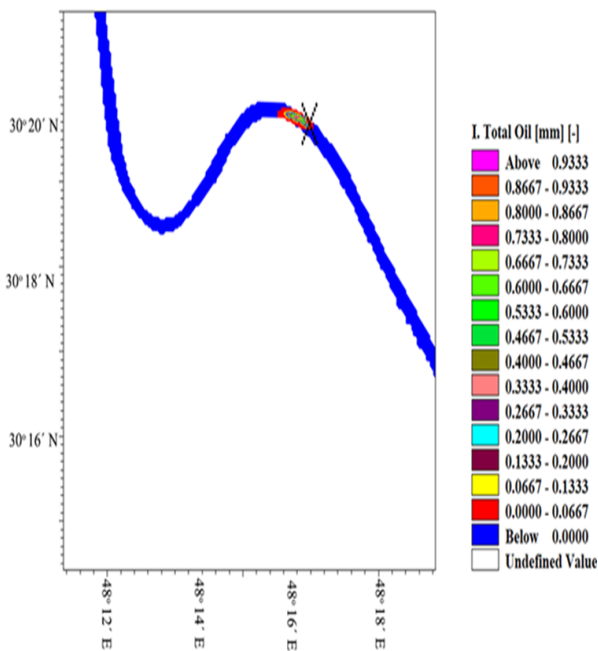
۳. شبیه سازی پخش و انتشار آلودگی نفتی

در این مرحله پس از شبیه سازی جریان های جزر و مدی و شرایط هیدرودینامیک منطقه، به مدل سازی پخش و انتشار لکه نفتی ناشی از تخلیه ۳ m³ ۲۰۰ آلاینده نفتی که در مدت زمان ۳ ساعت با دبی ۰/۰۱۸۵ متر مکعب بر ثانیه به داخل رودخانه اروند نشت پیدا کرده است می پردازیم. این مرحله شامل بر پایی مدل و آماده سازی داده هایی نظیر، فایل خروجی مدل جریان هیدرودینامیک مرحله قبل که شامل تاریخچه زمانی تغییرات عمق آب، تراز سطح آب و تغییرات شار جریان در منطقه در راستای X و Y با گام

در این مقاله آلودگی نفتی با حجم 200 m^3 و با دبی ثابت m^3/s 0.185 در مقابل پالایشگاه نفت آبادان، در زمان مد رها انتشار و پخش آلودگی نفتی از لحظه رها سازی تا لحظه رسیدن به دریا می‌باشد. در این تحقیق آلودگی نفتی به مدت سه ساعت در هنگام مد در مقابل پالایشگاه نفت نشت شده است.

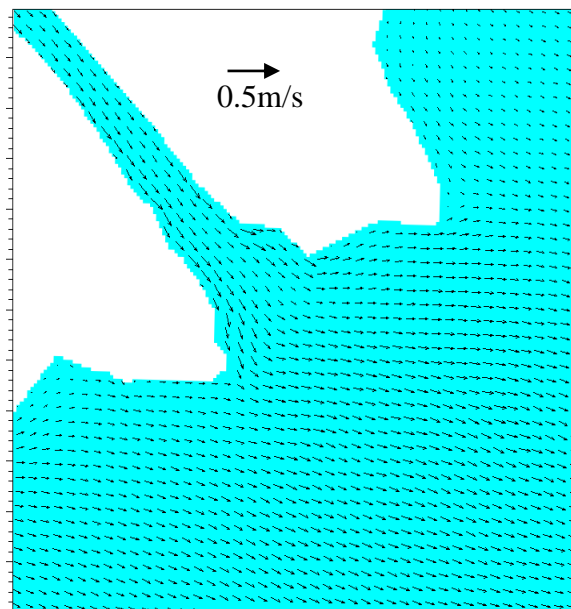
با توجه به اینکه پخش و انتشار آلودگی به مدت سه ساعت اتفاق افتاده بنابراین در سه ساعت ابتدایی نشت به صورت پیوسته اتفاق است و به محض قطع شدن منبع نفت، نقطه اولیه پاک شده است و در ادامه لکه‌ی نفتی به سمت بالا دست حرکت می‌کند و با گذشت ۶ ساعت و همچنین با تغییر رژیم جریان تبدیل مد به جزر لکه نفتی به مدت ۶ ساعت به سمت پایین دست حرکت می‌کند و در نهایت این سیکل تکرار می‌شود تا لکه نفتی بعد از گذر $130/5$ ساعت به دریا می‌رسد.

وقتی لکه نفتی در هنگام مد رها می‌شود تمام مناطق بالادست آلود می‌شود و همچنین لکه نفتی از مرز بالا دست خارج شده است و همین عامل باعث می‌شود تا غلظت لکه نفتی در قسمت پایین دست نقطه انتشار نسبت به بالادست کاهش پیدا کند و همچنین زمان رسیدن لکه‌ی نفتی به پایین دست افزایش پیدا کند شده است. شکل ۱۲ تا ۱۸ نشان دهنده پخش و انتشار لکه نفتی از لحظه شروع تا لحظه رسیدن به دریا در هنگام رها سازی لکه نفتی در زمان شروع مد است.

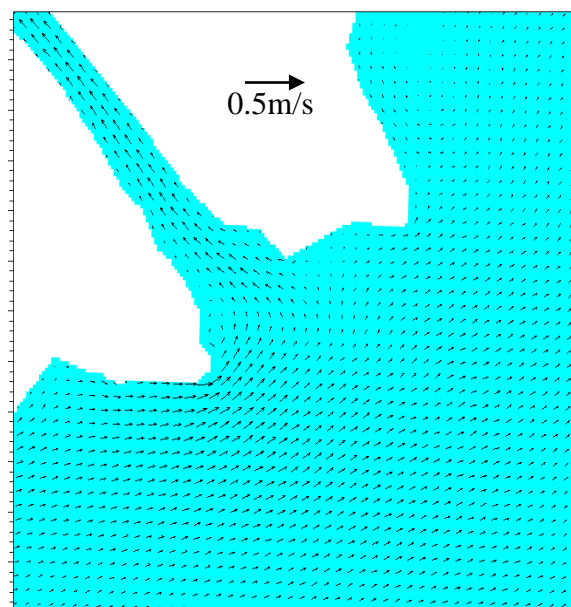


شکل ۱۲ وضعیت لکه نفتی پس از ۱ ساعت (۲۰۱۴/۲/۲۱): ساعت ۱

هیدرودینامیکی جریان در بسته نرم افزاری Mike 21 استفاده شد. این مدول قابلیت جریانات جزرومدی و جریانات ناشی از تنش امواج را دارد، در شکل های ۱۰ و ۱۱ الگوی جریانات را در حین شروع جزر و شروع مد در دهانه اروندرود نشان داده است.

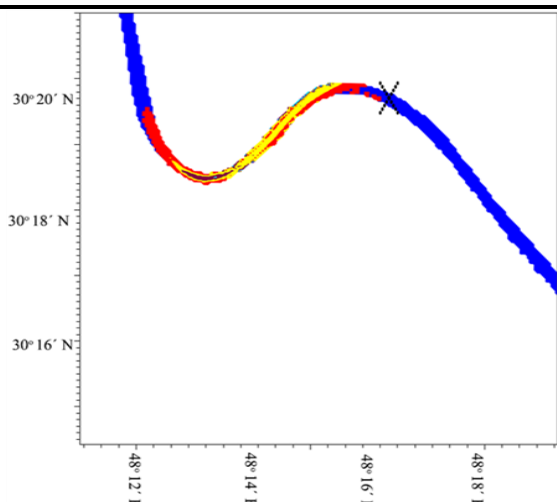


شکل ۱۰ بردار های جریان در هنگام شروع جزر در دهانه اروندرود

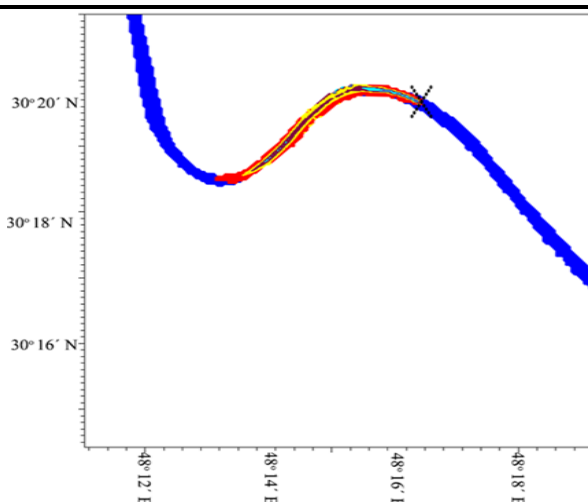


شکل ۱۱ بردار های جریان در هنگام شروع جزر در دهانه اروندرود

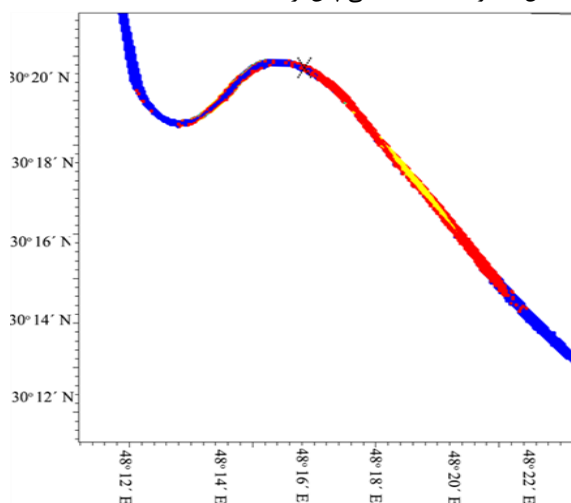
۵. نتایج حاصل از شبیه سازی الگوی پخش و انتشار آلودگی نفتی



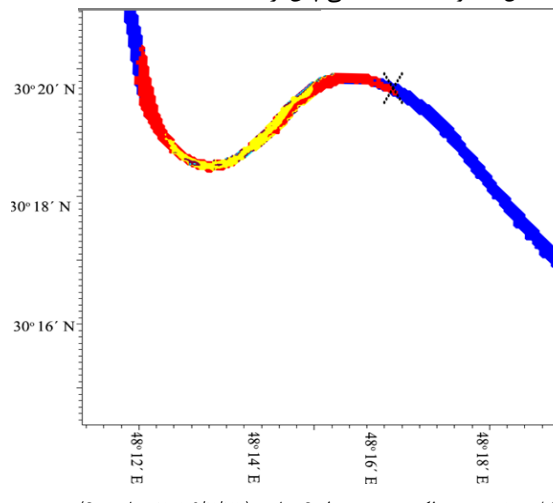
شکل ۱۴ وضعیت لکه نفتی پس از ۴ ساعت (۲۰۱۴/۲/۲۱: ساعت ۴)



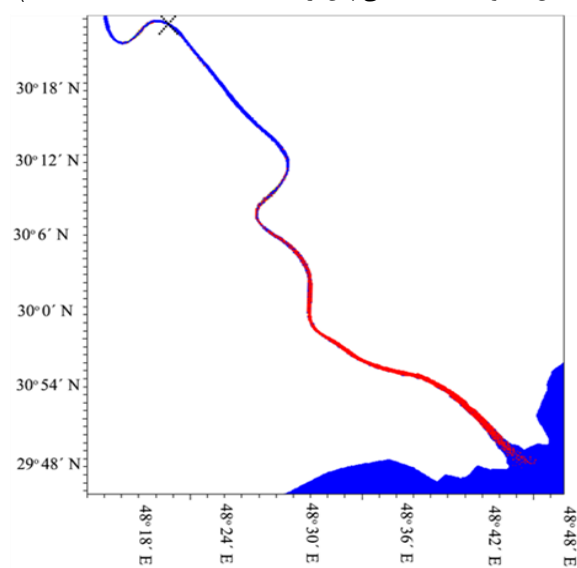
شکل ۱۳ وضعیت لکه نفتی پس از ۳ ساعت (۲۰۱۴/۲/۲۱: ساعت ۳)



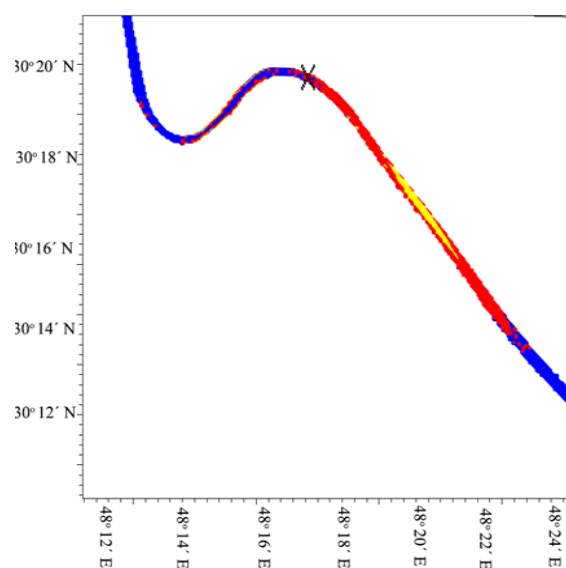
شکل ۱۶ وضعیت لکه نفتی پس از ۱۲ ساعت (۲۰۱۴/۲/۲۱: ساعت ۱۲)



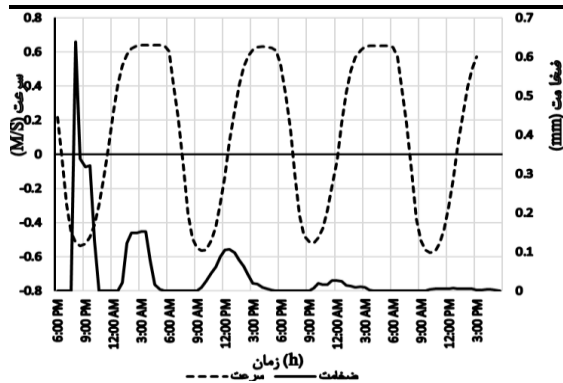
شکل ۱۵ وضعیت لکه نفتی پس از ۶ ساعت (۲۰۱۴/۲/۲۱: ساعت ۶)



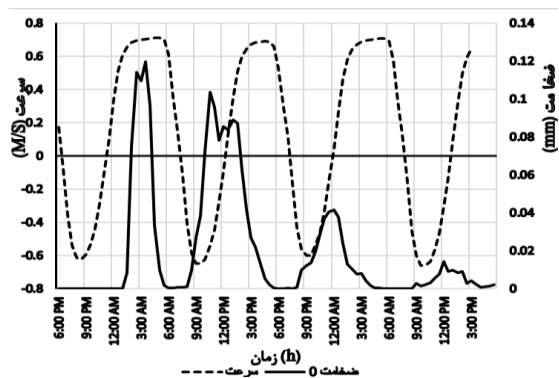
شکل ۱۸ وضعیت لکه نفتی پس از ۱۳۰/۵ ساعت (۲۰۱۴/۲/۲۶: ساعت ۱۳۰:۳۰)



شکل ۱۷ وضعیت لکه نفتی پس از ۲۴ ساعت (۲۰۱۴/۲/۲۲: ساعت ۰۰)

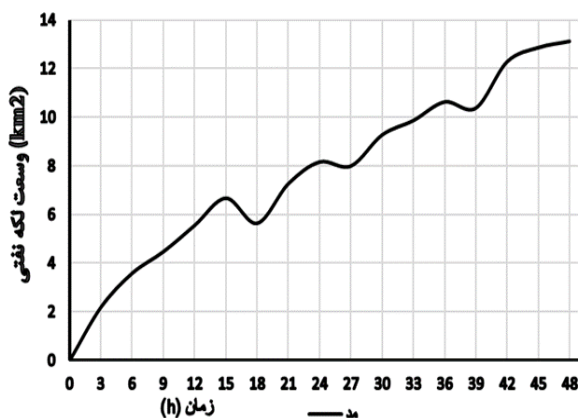


شکل ۱۹ ضخامت لکه نفتی در ۱ کیلومتری بالا دست نقطه رها سازی لکه نفت



شکل ۲۰ ضخامت لکه نفتی در ۱ کیلومتری پایین دست نقطه رها سازی لکه نفت

شکل ۲۱ وسعت لکه‌ی نفتی در یک دوره ۴۸ ساعته نشان می‌دهد، وسعت لکه نفتی در شکل ۱۸، در ساعت‌های اولیه با شیبی تند افزایش پیدا می‌کند و با تغییر رژیم جریان از مد به جزر وسعت لکه نفتی روند افزایشی خود را، با شیب ملایم تری حفظ می‌کند. بنابراین در ساعت‌های اولیه مد ضخامت لکه نفتی به دلیل جمع شدن لکه نفتی و همچنین کم بودن وسعت منطقه در بالا دست، کاهش پیدا می‌کند و با کامل شدن مد دوباره وسعت لکه نفتی افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۲۱ وسعت لکه نفتی در یک دوره ۴۸ ساعت پس از نشت نفت

در شکل‌های ۱۹ تا ۲۰، تغییرات ضخامت لکه نفتی را در قسمت بالادست و پایین دست منبع آلودگی نشان داده است، با توجه به اینکه نشت نفت در هنگام مد اتفاق می‌افتد و لکه نفتی ابتدا به سمت بالا دست رودخانه حرکت می‌کند، ضخامت لکه نفتی در قسمت بالا دست نسبت به قسمت پایین دست رودخانه بزرگتر است از آنجایی که لکه نفتی در هنگام مد رها شده و نشت نفت به مدت ۳ ساعت رخ می‌دهد بنابراین در شکل ۱۹ لکه نفتی به سمت بالا دست حرکت می‌کند و پس از ۱/۵ ساعت به یک کیلومتری بالا دست میرسد و ضخامت آن افزایش پیدا می‌کند و در ادامه روند مد لکه نفتی از نقطه مورد نظر در وسط رودخانه به سمت بالا دست رفته و باعث کاهش ضخامت لکه نفتی در این نقطه می‌شود، به گونه‌ای که ضخامت به صفر می‌رسد و در نهایت با تغییر رژیم جریان و آغاز جزر همچنان ضخامت در این نقطه صفر می‌باشد و با افزایش سرعت جزر و حرکت لکه نفتی به سمت پایین دست ضخامت افزایش می‌یابد، از آنجایی که در جزر سابق لکه نفتی به میزان زیادی از این نقطه دور شده و همچنین به دلیل فرآیندهای شیمیایی، بخش کوچکی از لکه نفتی به نقطه مورد نظر می‌رسد و باعث به وجود آمدن پیک کوچکی از ضخامت می‌شود و با گذشت زمان این سیکل تکرار می‌شود تا لکه نفتی به طور کامل از محیط حذف می‌شود.

در شکل ۲۰ با توجه به این که لکه نفتی در هنگام مد رها شده و نفت به مدت سه ساعت نشت شده است، بنابراین ابتدا لکه نفتی به سمت بالا دست حرکت می‌کند و ضخامت در نقاط پایین دست صفر می‌باشد. و با تغییر رژیم جریان از مد به جزر، لکه نفتی به سمت پایین دست حرکت می‌کند و بعد از ۷/۵ ساعت لکه نفتی به یک کیلومتری پایین دست می‌رسد و ضخامت افزایش پیدا می‌کند. در ادامه با کامل شدن روند جزر لکه نفتی به سمت پایین دست حرکت می‌کند و ضخامت لکه نفتی در نقطه مورد نظر کاهش می‌یابد، هنگامی که دوباره مد آغاز می‌شود لکه نفتی به سمت بالا دست بر می‌گردد و ضخامت در سلول مورد نظر در وسط رودخانه افزایش می‌یابد.

با کامل شدن مد و حرکت لکه نفتی به سمت بالا دست، ضخامت در این نقطه کاهش می‌یابد. و با تغییر رژیم جریان از مد به جزر لکه نفتی در بیشینه سرعت جزر باقی مانده لکه نفتی از گوشه و کنارها به سمت پایین دست حرکت می‌کند، در نهایت ضخامت افزایش می‌یابد و با کامل شدن جزر ضخامت کاهش پیدا می‌کند به طوری که ضخامت به صفر می‌رسد، این الگوی به صورت تناوب تکرار می‌شود تا نقطه مورد نظر به طور کامل از آلودگی نفتی تمیز شود.

۶- بحث و نتیجه گیری

پخش و انتشار آلودگی نفتی به زمان نشست نفت بستگی دارد، در این تحقیق نشست نفت در زمان مد به مدت سه ساعت در مقابل پالایشگاه نفت اتفاق افتاده است، باتوجه به اینکه نشست نفت به مدت سه ساعت با دبی ثابت ۰/۱۸۵ متر مکعب بر ثانیه رخ داده است بنابراین در سه ساعت اولیه نشست به صورت پیوسته اتفاق افتاده است و از ساعت چهارم نقطه اولیه نشست از آلودگی پاک می شود و همچنان لکه نفتی از نقطه نشست شده به طرف بالا دست دور شده و باعث آلوده شدن بیشتر مناطق بالا دست شده است به گونه ای لکه ی به مدت شش ساعت به سمت بالا دست حرکت کرده است و با تغییر رژیم جریان از مد به جزر لکه ی به سمت پایین دست به مدت ۶ ساعت حرکت می کند و در نهایت این سیکل تکرار می شود به طوری که پس از ۱۳۰/۵ ساعت به خلیج فارس رسیده است. از آنجایی که نشست در هنگام مد اتفاق افتاده است بنابراین حجم عمده نفت در ساعت های اولیه به سمت بالا دست حرکت می کند، ضخامت لکه نفتی در مناطق بالا دست نسبت به مناطق پایین دست بزرگتر است. در این تحقیق با توجه به اینکه نشست در زمان مد اتفاق افتاده است بنابراین جهت جریان رودخانه با جهت مد ناهمسو می باشد و همین عامل باعث شده تا لکه نفتی به سمت بالادست تندتر و به سمت دریا کندتر حرکت کند و همچنین باعث می شود مناطق بالادست به طور کامل آلوده شود و حجم زیادی از لکه نفتی از مرز بالادست خارج شود. وسعت لکه نفتی در ۴۸ ساعت اولیه نشان داده است وسعت لکه ی نفتی در ساعت های اولیه با سرعت بیشتری افزایش پیدا می کند ولی در ادامه به دلیل آلوده شدن کامل منطقه بالادست، وسعت لکه نفتی با شیب ملایم تری افزایش پیدا می کند. لازم به ذکر است وسعت لکه نفتی با گذشت زمان به دلیل حرکت به سمت پایین دست افزایش پیدا می کند.

. مراجع

- Fingas, M., 2001, The basics of oil spill cleanup. Lewis Publishers.
- ITOPF, 2006., www.itopf.com.
- Hackett, B., Comerma, E., Daniel, P., Ichikawa, H., 2009. Marine oil pollution prediction. *Oceanography* 22 (3), 168–175.

- حکیم زاده، ه.، ۱۳۹۱، مدل سازی عددی نفت به منظور تهیه ی نقشه ی خطر پذیری حاصل در روی سطح خلیج فارس با استفاده از نرم افزار مایک ۳، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه اصفهان.
- غفاری نوران، پ.، ۱۳۸۱، مدل انتقال سطحی لکه نفتی در خلیج فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

- Dong, Lei, Jing Liu, Xi Du, Chao Dai, and Renzhi Liu. 2017. 'Simulation-based risk analysis of water pollution accidents combining multi-stressors and multi-receptors in a coastal watershed', *Ecological Indicators*.
- Kilesso, Alexander, Boris Chubarenko, Petras Zemlys, and Igor Kuzmenko. 2014. 'Oil spill modelling methods: application to the south-eastern part of the Baltic Sea', *Baltica*, 27.
- Dang, Quang A, Matthias Ehrhardt, Gia LichTran, and Duc Le. 2012. 'Mathematical modeling and numerical algorithms for simulation of oil pollution', *Environmental modeling & assessment*, 17: 275-88.
- Verma, Parikshit, Satish R Wate, and Sukumar Devotta. 2008. 'Simulation of impact of oil spill in the ocean—a case study of Arabian Gulf', *Environmental monitoring and assessment*, 146: 191-201.
- Riazi, Mohammad R, and Ghazi A Al-Enezi. 1999. 'Modelling of the rate of oil spill disappearance from seawater for Kuwaiti crude and its products', *Chemical Engineering Journal*, 73: 161-72.
- مومن نیا، مدیحی، راعی، آشتیانی، قادری، شقاقی، اکبر زاده، "شبه سازی ریاضی الگوی پخش و انتشار آلودگی نفتی در دریا - مطالعه موردی کانال قشم" سیزده همین همایش صنایع دریایی، جزیره کیش ۱۷ الی ۱۹ آبان ۱۳۹۰

- DHI (Danish Hydraulic Institute), 2012b. MIKE21: Oil Spill Module Scientific Documentation. DHI, Copenhagen.

- اعتماد شهیدی، الف.، صبوری، الف. و پارسا، ج.، ۱۳۹۰. کنترل نفوذ شوری در خور رودخانه ای ارون در شرایط مختلف هیدرولوژیکی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال هفتم شماره ۲، تابستان ۱۳۹۰، ص ۵۰-۶۰