

تلفیق میدان باد با توزیع احتمالی و یک مدل هیدرودینامیکی به منظور تهیه نقشه ریسک در بررسی آلودگی های زیست محیطی در دریا

محمدعلی بدری استادیار پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیردریا، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

پارامتر باد عامل مهمی در انتقال آلودگی روی دریا می باشد. میدان باد از طریق توزیع احتمالی وی بول برای کالیبره نمودن باد غالب با توجه به داده های اندازه گیری مورد توجه قرار گرفته است. به منظور تعیین پارامترهای توزیع احتمالی وی بول از روش حداقل مربعات استفاده شده است. میدان دینامیکی آب به وسیله یک مدل هیدرودینامیکی جدید و از طریق تلفیق با میدان باد بدست آمده تا انتقال و انتشار ابر آلودگی بر روی سطح آب برآورد شود. برای مدلسازی پدیده جابجایی و نفوذ در آبهای خلیج فارس به عنوان آبهای کم عمق از روش پیمایش اتفاقی استفاده شده است. مقایسه مسیر آلودگی واقعی و محاسباتی بر اساس میدان باد کالیبره شده به منظور تهیه نقشه ریسک تطابق خوبی نشان داده است.

کلمات کلیدی: نقشه ریسک، توزیع وی بول، میدان باد احتمالی، مدل انتشار آلودگی

Combining of a Probability Wind Field and a Hydrodynamic Model to Prepare a Risk Map Investigating Environmental Contaminants

M. A. Badri Assistant professor, Subsea R&D center, Isfahan University of Technology

Abstract

Local wind is recognized as the principal driving force to simulate the trajectory of contaminant over the sea. The wind field is determined by a Weibull probability distribution to adjust the prevailing wind verified by field data. To estimate the parameters of Weibull distribution, the least-squares approach is used. The wind field is combined with the water dynamic field to determine oil drift on the sea surface. The model is used to simulate the trajectory and fate of contaminants in a simple and speedy procedure for the Persian Gulf using random walk technique. Comparison of the actual and simulated contaminant such as oil spill drift was found acceptable in the domain in order to generate large amount of results preparing risk map analysis.

Keywords : Risk map analysis, Weibull distribution, Probability wind field, Environmental contaminants

۱- مقدمه

در طی سه دهه اخیر، روابط تجربی ساده شده برای ارزیابی سریع انتشار دینامیکی آلودگی‌ها ارائه شده است. مدل‌های جدید ریاضی فرمول‌های دقیق‌تر و منطبق‌تر بر فیزیک مسئله را می‌توانند به کار برند. در اکثر موارد، مدل سازی ریاضی ابزار قوی و مناسبی نه تنها برای محاسبه سریع سرنوشت آلودگی‌ها بلکه برای شبیه سازی عملیات پاکسازی می‌باشند. اکنون شبیه سازی کامپیوتری محیط‌های دریایی یکی از حوزه‌های مورد علاقه پژوهشگران شده است. مدل‌های عددی به طور گسترده به عنوان یک مولفه مهم برای جلوگیری از احتمال وقوع حوادث و مدیریت ساحلی می‌باشند. اینگونه مدل‌ها به عنوان یک ابزار واقعی برای پیش بینی حرکت آلودگی‌ها و انتخاب روش‌های مقابله و محافظت منابع واقع در مناطق ساحلی استفاده می‌گردند. در اینجا، آلودگی‌های نفتی به عنوان یک مورد کاربردی که عوامل اثر گذاری بیشتری در انتشار و استهلاک آن نقش دارد مورد بررسی قرار گرفته است. رشد سریع صنعتی به افزایش قابل ملاحظه مصرف نفت منجر شده است. تولید جهانی نفت خام در حدود ۳ بیلیون تن در سال بوده و نیمی از آن بوسیله دریاها منتقل می‌گردد [۱]. بخش مهمی از نفت از طریق حفاری و عملیات تخلیه از کشتی‌ها و نیز حوادث مربوط به تصادم تانکرها در دریا ریخته می‌شود. حمل و نقل نفت توسط کشتی‌ها و عملیات تصفیه نفت برای کشورهای همسایه حوزه‌های نفتی نظیر خلیج فارس مشکل آفرین بوده و تهدیدی برای محیط‌های دریایی و سواحل آنهاست. فعالیت‌های ساحلی و داخلی دریا در کشور ایران و کشورهای عربی برای تولید نفت دائماً در حال افزایش بوده و خلیج فارس از جنبه استراتژیک در مسیر عبور بین‌المللی و انتقال نفت قرار گرفته است. انتقال و سرنوشت لکه نفت بر روی آب بوسیله فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی که بستگی به خصوصیات نفت و شرایط هیدرودینامیکی، هواشناسی و محیطی دارد مدل سازی می‌گردد. این فرآیندها شامل جابجایی، نفوذ افقی و قائم، انتشار و گسترش سطحی، تبخیر، حلالیت، امولسیون، هیدرولیز، فوتواکسیداسیون و تجزیه بیولوژیکی می‌باشد. وقتی نفت بر روی سطح آب ریخته می‌شود، به سبب موازنه بین نیروهای ثقلی، اینرسی، لزجت و کشش سطحی انتشار یافته و ترکیب آن نسبت به حالت اولیه تغییر می‌کند. اجزاء سبک نفت تبخیر می‌شوند، اجزاء حل‌شدنی در ستون آب حل شده و اجزاء مخلوط‌نشده به صورت امولسیون در آمده و در ستون آب به صورت قطرات کوچک متفرق می‌گردند. در زمان‌های طولانی، بخش عمده‌ای از نفت ریخته شده محو می‌گردد. متأسفانه در طبیعت، نفت به سواحل و مناطق حساس محیط زیست نشت

نموده و ضررهای جدی به همراه می‌آورد. تهدیدات اقتصادی و محیطی و ویرانی‌های حاصله به توسعه روش‌هایی برای تمیز کاری نفت منجر شده است. بنابراین، روش‌های کاربردی مقابله با اثرات سوء زیست محیطی پخش نفت به عنوان کاربرد بررسی آلودگی‌های زیست محیطی باید قبل از استفاده دقیقاً مورد توجه قرار گیرد. در اکثر حالات، مدل ریاضی تنها ابزار موجود برای محاسبات سریع سرنوشت رها سازی لکه نفت و شبیه سازی عملیات تمیز کاری می‌باشد [۲]. امروزه مدل دینامیکی پخش لکه نفت با استفاده از معادلات ناویراستوکس میسر شده است. در یک پژوهش عددی حرکت لکه نفتی با استفاده از روش‌های CFD مدل شده است [۳]. سپس روشی برای ارزیابی مساحت لکه‌های نفتی به صورت نیمه تجربی پیشنهاد شده است. در مواردی برای حل معادلات دیفرانسیل پاره‌ای در زمینه هیدرولیک محیط دریا از روش اولبری در مقایسه با ردیابی لکه نفت توسط روش لاگرانژی استفاده شده است [۴]. مدل سازی عددی قادر به شبیه سازی محیط واقعی الگوی جریان نیست مگر اینکه، خصوصیات هندسی دامنه جریان بطور دقیق مدل شوند. بنابراین حل عددی جریان باید بتواند پیچیدگی‌های هندسی بستر و مرزها را مورد نظر قرار دهد. به منظور غلبه بر این مسئله، در کار فعلی، معادلات هیدرودینامیکی بر روی شبکه حجم محدود بی‌سازمان و با استفاده از نرم افزار MIKE3 حل شده‌اند. مدل هیدرودینامیکی به وسیله داده‌های اندازه‌گیری موجود در خلیج فارس ارزیابی و کالیبره شده است. در مسائل مربوط به ریزش نفت، ردیابی آلودگی از منبع آن انجام شده و نفوذ اغتشاشی توسط سیستم مختصات لاگرانژی به موقعیت و تعداد ذرات مربوط می‌شود. این ذرات، توزیع ارتباط ذرات را تعیین می‌نمایند. مباحث مربوط به انتشار نفت بر روی آب در مرجع [۵] ارائه شده است. معمولاً انتشار و پراکندگی لایه‌های نفت توسط جریانات ناشی از میدان باد، جزر و مد و پیش‌گویی‌های هیدرودینامیکی و نیز نفوذ افقی و قائم مطالعه می‌شوند. نفوذ قطرات نفت از سطح نفت به لایه‌های زیرین، مکانیزم مهمی می‌باشد زیرا به حذف نفت از سطح بدون هیچ تغییری در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در مقابله با پدیده تبخیر می‌انجامد. به این رفتار در مرجع [۶] و همچنین مقاله مروری [۷] اشاره شده است.

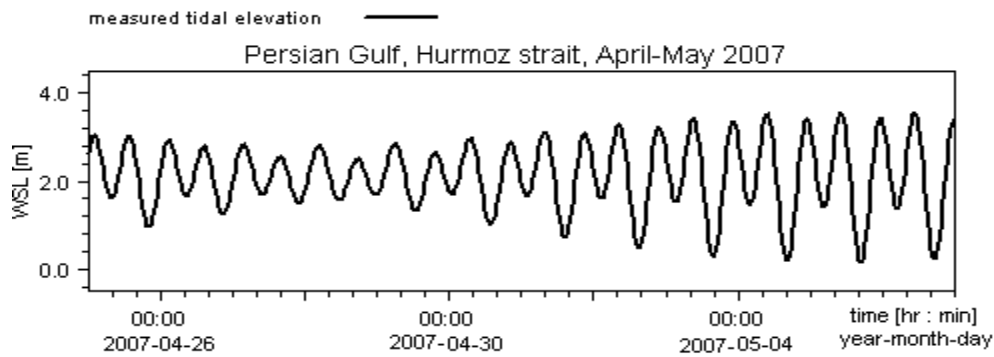
یکی از مهمترین کاربردهای استفاده از چنین مدل‌های هیدرودینامیکی برآورد حرکت سطحی لکه نفت و پیش‌بینی انتقال و سرنوشت آن می‌باشد. بنابراین مدل حاضر که یک مدل سه بعدی است برای چنین منظوری برای خلیج فارس پیشنهاد و تهیه شده است. منطقه خلیج فارس در زمینه تولید و انتقال

۲- مدل هیدرودینامیکی با کاربرد در آبهای خلیج فارس

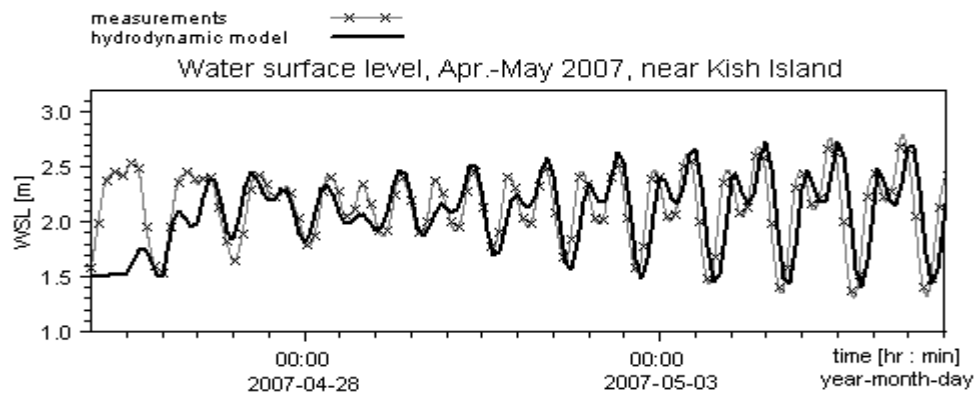
در اینجا، شبیه سازی جریان در خلیج فارس پس از ارزیابی دقت مدل هیدرودینامیکی توسط نرم افزار MIKE3 به منظور تعیین مسیر آلودگی های نفتی ارائه شده است. جزییات این مدل سازی در مراجع [۱۰-۱۱] که قبلاً توسط نگارنده تحقیق شده است قابل دسترسی می باشد. به منظور مدل سازی هیدرودینامیکی از شبکه بی سازمان استفاده شده و شرایط مرزی جریان جزر و مدی با توجه به نوسانات سطح متوسط آب در مرز باز یعنی تنگه هرمز مورد نظر قرار گرفته است. نوسانات ارتفاع سطح آب در جزیره دیدعامر واقع در جزیره هرمز به عنوان مرز باز در یک دوره زمانی اعمال شده است. سری زمانی نوسانات ارتفاع سطح آب از طریق پیشگویی جزر و مد با استفاده از جداول معروف جزر و مد آدمیرالیتی بدست آمده اند. خطوط ساحلی و جزایر در خلیج فارس به عنوان مرزها در نظر گرفته شده و در این مرزها مؤلفه های سرعت قائم صفر (شرط عدم نفوذ) قرار داده شده اند. در واقع به منظور ارزیابی کیفیت نتایج، نوسانات جزر و مدی در جزیره دیدعامر که از جدول جزر و مدی آدمیرالیتی بدست آمده است برای دوره ۱۶ روزه، از ۲۵ آوریل تا ۷ می ۲۰۰۷ در تنگه هرمز در قسمت شمال شرقی خلیج فارس اعمال شده است (شکل ۱). همچنین به دلیل دسترسی به داده های اندازه گیری در زمینه سرعت جریان در همان بازه زمانی در نزدیکی جزیره کیش، از این داده ها در هنگام کالیبراسیون و اعتبار دهی استفاده شده است. در شکل ۲ ارتفاع سطح آب محاسبه شده توسط مدل (خط ضخیم) با پیشگویی جدول جزر و مدی آدمیرالیتی (خط نازک) در موقعیت جزیره کیش مقایسه شده است. چون در ابتدای محاسبات آب ساکن در نظر گرفته می شود، ساعات ابتدایی دوره گرم شدن نامیده شده و سپس نتایج مدل هیدرودینامیکی پیشگویی جدول آدمیرالیتی را دنبال می کند. نمونه ای از نتایج عددی که الگوی جریان را نشان می دهد در شکل ۳ ارائه شده است. در این شکل، نتایج سرعت جریان حاصل از مدل و مقادیر اندازه گیری شده به دلیل دسترسی به این داده ها در نزدیکی جزیره کیش مقایسه و انطباق نسبتاً خوبی ملاحظه گردیده است. شکل ۳ سری زمانی سرعت جریان و شکل ۴ الگوی جریان به صورت متوسط میدان سرعت، در لحظه رها سازی نفت که در هنگام مدلسازی پخش نفت استفاده شده، با نمایش برداری ارائه شده است. مدل هیدرودینامیکی دیگری از طریق مدل کلونین به عنوان مدل ساده و پر سرعت نیز به منظور اعتبارسنجی نرم افزار مورد نظر تهیه شده و در بخش ۲-۱ آمده است. نتایج مقایسه ای در مرجع [۱۰] قابل دسترسی می باشد.

نفت در دنیا اشتها یافته است و برخی پژوهش ها قبلاً به منظور تهیه یک اطلس هیدرودینامیکی، شبیه سازی و اعتبار دهی وقایع نفتی و بالاخره تهیه نقشه مسیرهای خطر از جنبه رها سازی نفت بر اساس شرایط بحرانی دریا انجام یافته است [۸-۹]. بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر، تلفیق میدان باد و یک مدل سه بعدی برای تولید میدان دینامیکی در خلیج فارس به عنوان ابزاری در تعیین موقعیت لکه نفت رها شده و ارائه مقصد آن در بازه مورد نظر می باشد. این مدل نشان داده است که چگونه می توان از یک تقریب زمینگرد برای تولید یک چارچوب دینامیکی و محاسبه حرکت در مقیاس مکان وزمان بزرگ بهره برداری نمود. این مدل در واقع از خصوصیات اساسی فیزیکی حرکت زمین بهره جسته است. معادلات هیدرودینامیکی شامل معادلات بقای جرم و ممنتوم برای آبهای کم عمق مورد توجه قرار گرفته و ساده شده است. استفاده از نظریه امواج کلونین در مقایسه با مدل هیدرودینامیکی دیگری که معرفی شده است در کوتاه مدت به طور متوسط تا میزان ۱۵ درصد نتایج بهتری ارائه داده است. از یک میدان باد احتمالی با استفاده از داده های میدانی معتبر استفاده شده است و یک فایل داده ها شامل میدان باد، توپوگرافی بستر، مولفه های جزر و مدی، نوسانات سطح آب و سرعت سطحی آب در بازه زمانی مورد نظر تهیه شده است. به منظور مقایسه الگوی جریان از بخش هیدرودینامیکی نرم افزار MIKE-HD استفاده شده است. عملکرد این مدل به وسیله داده های اندازه گیری در نقاط مشخص و به منظور کالیبراسیون آن مورد توجه قرار گرفته است و انطباق مناسبی مشاهده شده است. استفاده از نظریه امواج کلونین به عنوان یک مدل هیدرودینامیکی جایگزین، نه تنها قادر به برآورد الگوی جریان به روشی ساده و با سرعت زیاد می باشد بلکه نتایج بهتری در بازه مورد بررسی چه به لحاظ الگوی جریان و چه در راستای تعیین موقعیت لکه ارائه نموده است.

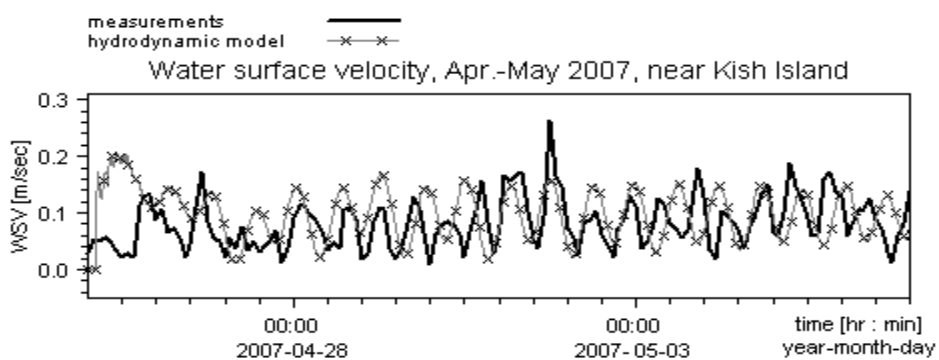
در این مقاله ترتیب بخشهای مختلف از این قرار است: در بخش دوم معادلات حاکم در مدل هیدرودینامیکی توصیف شده است. در این بخش مدل MIKE3-HD به عنوان مدل مبنا [۱۰-۱۱] قلمداد شده است. در بخش سوم توصیف مختصری از توزیع احتمال وی بول به منظور تهیه پایگاه داده ها و استفاده در مدلسازی انتقال و انتشار آلودگی آمده است. چگونگی مدلسازی آلودگی های نفتی در بخش چهارم آمده است. چگونگی تهیه نقشه ریسک به عنوان یک برآورد کیفی در بخش پنجم و نتایج در بخش ششم آورده شده است.



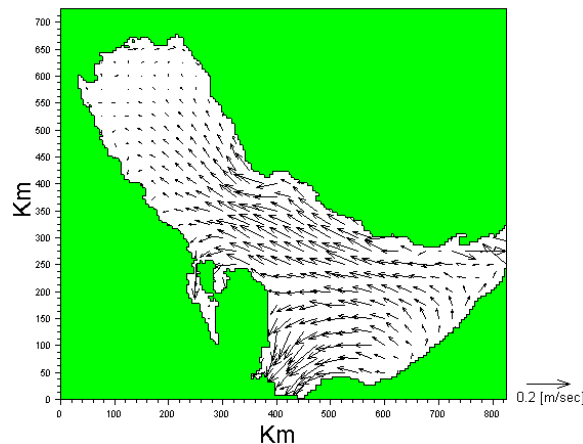
شکل ۱- نوسانات اعمال شده ارتفاع متوسط سطح آب در محل مرز باز از میدان جریان (تنگه هرمز)



شکل ۲ - مقایسه جدول جزر ومدی آدمیرالتی و نتایج مدل عددی برای نوسانات ارتفاع سطح آب در نزدیکی جزیره کیش



شکل ۳ - مقایسه نتایج مدل عددی و داده های اندازه گیری در خصوص سرعت جریان آب در نزدیکی جزیره کیش



شکل ۴ - یک نمونه نمایش الگوی جریان (متوسط میدان سرعت) به صورت برداری در بازه ۲۵ آوریل تا ۷ می ۲۰۰۷

۲-۱- معادلات حاکم و مدل‌سازی هیدرودینامیکی

برای بدست آوردن معادلات حاکم، از شکل خطی معادلات بدون در نظر گرفتن جملات رتبه دوم معادلات آبهای کم عمق که در مورد خلیج فارس صدق می نماید استفاده شده است.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} - fV = -g.h_0 \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + fU = -g.h_0 \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad (3)$$

که $h = h_0 + \eta$ و $h_0 \ll \eta$ مورد ملاحظه قرار گرفته و پس از یک سلسله محاسبات طولانی معادله حاکم مورد نظر برای η در حالتی که عمق کانال ثابت است، به شکل زیر به دست آمده است.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left\{ \left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} + f^2 \right) \eta - C_0^2 \cdot \nabla^2 \eta \right\} = 0 \quad (4)$$

با مقایسه معادله کلاسیک موج، $\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = C_0^2 \nabla^2 \eta$ با رابطه فوق می‌توان دریافت که در واقع به این رابطه یک اختلال یعنی $f^2 \eta$ حاصل از نیروهای ژئوفیزیکی اضافه گردیده است. با صفر قرار دادن مولفه y سرعت در دیواره ها، شرط مرزی زیر حاصل شده است:

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial y \partial t} - f \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0, \quad y = 0, L \quad (5)$$

در اینجا حل در حالت $\sigma^2 = C_0^2 k^2$ در نظر گرفته شده است. این حل بنام موج کلین^۱ خوانده می‌شود [۱۲]. در اینجا حل انتشار موج در جهت مثبت x یعنی $\sigma = C_0 k$ مورد توجه قرار گرفته و میدان دینامیکی بصورت زیر استخراج شده است:

$$\eta = \eta_0 e^{-fy/C_0} \cos(k[x - C_0 t] + \varphi) \quad (6)$$

$$u = \frac{\eta_0}{h_0} C_0 e^{-fy/C_0} \cos(k[x - C_0 t] + \varphi) = -\frac{g}{f} \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad (7)$$

$$v = 0 \quad (8)$$

در روابط فوق $U = h_0 u$ ، $V = h_0 v$ ارتفاع موج کلین، f پارامتر کوریولیس، η_0 دامنه موج، $C_0 = \sqrt{g \cdot h_0}$ سرعت انتشار موج، y فاصله از دیواره، σ فرکانس زاویه ای موج، φ فاز، x فاصله از مبدأ در جهت طول و h_0 عمق متوسط دامنه محاسباتی می باشند. به عبارت دیگر، حل زیر طوری تعیین شده که بتواند جواب معادلات حاکم زیر باشد:

$$\eta = f_1(y).e^{\pm i(kx - \sigma t)}, u = f_2(y).e^{\pm i(kx - \sigma t)}, v = f_3(y).e^{\pm i(kx - \sigma t)} \quad (9)$$

$$f_1, f_2, f_3 \propto e^{-\beta y}, \beta = f / C_0, f_3 = 0 \quad (10)$$

^۱ - Kelvin wave

۲-۲- محاسبه میدان دینامیکی

مقادیر دامنه و فاز مولفه های جزر و مدی بر اساس داده- های اندازه گیری نوسانات سطح آب و سرعت جریان سطحی قابل محاسبه اند و در چارت هایی به صورت خطوط هم دامنه یا هم فاز تهیه می گردند. طبیعتاً در این داده های اندازه گیری، مشخصات هندسی واقعی حوزه مورد بررسی از جنبه مرزهای خشکی و پستی و بلندی بستر دریا لحاظ گردیده اند. سری زمانی بدست آمده تأثیرات مشخصات هندسی، آثار اصطکاک، شیب بستر و خط ساحلی موجود می باشد. نوسانات سطح آب و سرعت سطحی آب، با توجه به کاربرد تئوری امواج پیشرونده کلونین به وسیله برنامه ای که تهیه شده است بدست آمده و با نتایج اندازه گیری و نرم افزار مایک مقایسه شده است. در واقع، بخشی از سرعت افقی جریان که حاصل از جریانات جزر و مدی می باشد، به عنوان جمع آثار مولفه های اصلی O_1 و K_1 ، S_2 ، M_2 به دست آمده است.

$$u = \sum_{j=1}^4 u_j, \quad \eta = Z_0 + \sum_{j=1}^4 \eta_j \quad (11)$$

$$\eta_{WSL} = Z_0 + \sum_{j=1}^4 [\eta_{0j} \cdot e^{\frac{-fy}{C_0}} \cos(kx - \sigma t + \varphi_j)] \quad (12)$$

$$u_{tidal\ stream} = \sum_{j=1}^4 [(\eta_{0j} C_0 / h_0) \cdot e^{\frac{-fy}{C_0}} \cos(kx - \sigma t + \varphi_j)] \quad (13)$$

که η_i ، u_i به ترتیب سرعت و نوسانات سطح آب برای هریک از چهار مولفه جزر و مدی و Z_0 متوسط نوسانات سطح آب می باشد. از امواج کلونین با دوره پریودی برابر با دوره پریود امواج جزرومدی به عنوان یک مدل ساده ریاضی جهت بررسی پدیده جزرومد در حوزه مورد بررسی استفاده شده است. در این گونه امواج، مؤلفه سرعت جریان آب در امتداد عرض کانال به دلیل شرایط مرزی روی دیواره ها برابر با صفر می باشد و تنها مؤلفه سرعت، در امتداد طول کانال وجود دارد. برای استفاده از این مدل، با توجه به اینکه دو حامل اطلاعاتی η و φ که نقش اساسی در تعیین میدان دینامیکی دارند خود از طریق خطوط هم دامنه و هم فاز که داده های معتبر اندازه گیری می باشند آماده سازی و استفاده شده اند. لذا در واقع آثار میدان واقعی ذاتاً به همراه این اطلاعات میدانی وارد معادله مشخصه شده تا میدان دینامیکی حاصله تعیین شود. علاوه بر این فرضیات، پارامتر کوریولیس نیز به عنوان یک عامل اغتشاشی موجی در این معادله مشخصه وارد شده است. بنابراین نوآوری کار حاضر، استفاده از یک تقریب ژئوستروفیک ساده برای رسیدن به میدان دینامیکی در حوزه خلیج فارس با اعمال داده های اندازه گیری و میدانی در کل شبکه حل می باشد.

۳- تولید داده های باد و جزر ومد بر روی نقاط شبکه

اندازه گیری های فیزیکی در نقاط خواسته شده به دلیل پراکنده بودن ایستگاه های هواشناسی در منطقه خلیج فارس و عدم دسترسی به اطلاعات جوی در هر نقطه از منطقه ممکن نیست. به این دلیل، درون یابی مهم بوده و جزء اصول آنالیز می باشد. برای تولید پایگاه داده ها در این پژوهش، از روش کرسمن [۱۳] استفاده شده است. در این روش، یک ماکزیمم فاصله برای هر نقطه شبکه تعریف و کلیه داده های دیده بانی شده آن محدوده برای برآورد عامل فیزیکی مورد نظر در آن نقطه شبکه در نظر گرفته شده اند. چون محیط واقعی یک محیط کروی است، این انتقال برای یک محیط کروی شبیه سازی شده است. سپس مقدار داده بر روی نقاط شبکه از رابطه (۱۴) محاسبه شده است.

$$F_g = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (W_{i,j} \times F_o)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{i,j}} \right\}$$

$$W_{i,j} = \max \left\{ 0, (R^2 - r_{i,j}^2) / (R^2 + r_{i,j}^2) \right\} \quad (14)$$

که F_g مقدار اطلاعات محاسبه شده بر روی نقطه شبکه است. F_o اطلاعات داده شده ایستگاه بوده، $r_{i,j}$ فاصله دو نقطه مربوط به ایستگاه های هواشناسی و نقاط گره می باشد و $W_{i,j}$ ضریب وزنی آن ایستگاه نسبت به نقطه شبکه می باشد. اگر نقطه شبکه و ایستگاه بر هم منطبق باشند، تابع وزن $W_{i,j}$ برابر واحد می باشد. این تابع وزن، یک تابع کاهشی نسبت به فاصله می باشد. R یک ثابت است که اگر صفر باشد، تأثیر ایستگاه وجود ندارد. $r_{i,j}$ هم فاصله بین نقاط شبکه تا ایستگاه می باشد. این درون یابی دوبعدی بوده و روش اصلی مورد استفاده 1 ECMWF است. در پژوهش حاضر از این روش استفاده شده است [۱۳]. برای انجام این کار برنامه ای تهیه شده و اطلاعات برای نقاط شبکه به دست آمده اند.

کل نیروی حاصل از جزر و مد برابر مجموع تعدادی حامل اصلی موج می باشد. این مولفه های اساسی عبارت از مؤلفه های نیمروزانه M_2 برای کره ماه و S_2 برای کره خورشید و مؤلفه های روزانه K_1 و O_1 برای کره ماه می باشند. سایر مؤلفه هابه دلیل تأثیرات جزئی در نظر گرفته نشده اند. در پژوهش حاضر چهار مؤلفه گفته شده با استفاده از چارت های آدمیرالتی مربوط به پیش بینی جزر و مد استخراج و بر روی شبکه حل منتقل شده اند. در این نمودارها که از سوی نیروی دریایی انگلیس تهیه

¹-European Center for Medium- Range Weather Forecasts(ECMWF)

$$\sum_{j=1}^k e^2 = \sum_{j=1}^k \left\{ \left[\ln(A_p^{-C_p}) + C_p \ln V_j - b_j \right]^2 \right\} \quad (17)$$

که k تعداد نقاطی است که برای برازش منحنی در رابطه $b_j = \ln[-\ln[1-p(V_j)]]$ استفاده میشود. داده های استفاده شده از این روش محدوده هایی هستند با احتمالاتی که برای تعریف توزیع وی بول برای برآورد پارامترهای C_p, A_p به کار می روند. بنابراین با داده های میدانی جدول شماره (۱) بردار احتمال استخراج شده است. به علاوه، بر اساس داده های اندازه گیری، بردار $R = [0.33 \ 0.50 \ 0.15 \ 0.02]^T$ تشکیل و اختلاف بین دو بردار R_1, R حداقل گردیده است:

$$g(A_p, C_p) = \|R - R_1\|^2 \quad (18)$$

از این رابطه $A_p = 6.8005, C_p = 1.7243$ بدست آمده اند. بردار R با استفاده از مقادیر محاسبه شده C_p, A_p بصورت $R_1 = [0.33 \ 0.54723 \ 0.16660 \ 0.02]^T$ نتیجه می گردد. می توان دید که اختلاف دو بردار R_1, R در حد رسته 10^{-2} و بسیار کوچک می باشد. مقادیر متوسط و واریانس به صورت $\bar{V} = 6.06, \sigma = 3.618$ به دست آمده و میدان باد محاسباتی در کل شبکه کالیبره شده است.

جدول ۱- اطلاعات میدان باد و احتمال توزیع آن

رديف	سرعت باد (متر بر ثانيه)	احتمال وقوع
۱	۰-۴	٪۳۳
۲	۵-۹	٪۵۰
۳	۱۰-۱۴	٪۱۵
۴	>۱۵	٪۲

۴- پدیده های انتشار، نفوذ و استهلاک نفت

کل حجم نفت پخش شده بر روی سطح دریا بوسیله تعداد N بسته که خود از ذرات ریز تشکیل شده و تحت تأثیر حرکت محیط با سرعت $\vec{U}(u, v, w)$ و مؤلفه های $u(x, y, z, t), v(x, y, z, t), w(x, y, z, t)$ باشد مورد توجه قرار گرفته است. در اینجا u, v, w مؤلفه های سرعت در جهات x, y, z بوده و t زمان می باشد. شناوری قطرات نفت به سرعت قائم W_b و نوسانات اغتشاشی $u'(x, y, z, t), v'(x, y, z, t), w'(x, y, z, t)$ و $u''(x, y, z, t), v''(x, y, z, t), w''(x, y, z, t)$ مربوط خواهد شد. در حالت کلی W_b به اندازه ذره k ام وابسته است. مختصات X_k, Y_k, Z_k از طریق ردیابی ذرات تعیین شده اند. میدان سرعت از مدل هیدروپنمیک پیس از اجرا بر روی خلیج فارس در بازه زمانی مورد نظر بدست آمده

شده اند، فاز و دامنه مولفه های مهم ذکر شده ارائه گردیده اند. مجموع دامنه این مولفه ها با توجه به مقداری ثابت به عنوان تصحیح جریانات فصلی، مقدار ارتفاع میانگین جزرومد را با توجه به رابطه $Z_0 = M_2 + S_2 + K_1 + O_1 + 0.15$ بدست می دهد. این پارامترها در نقاط شبکه محاسبه شده و جهت اعتباردهی این مقادیر از اطلاعات اندازه گیری شده در چهار بندر بوشهر، کنگان، شهید رجایی و لنگه استفاده شده است. این مقادیر در رابطه (۱۲) قرار گرفته تا نوسانات سطح آب و سرعت جریان سطحی به دست آید. در برنامه نوشته شده، آزمایش میدان باد احتمالی به منظور ردیابی آلودگی استفاده شده است تا بتوان سری زمانی باد را اعمال نمود. اطلاعات مربوطه به سرعت باد به همراه احتمال وجود باد در یک محدوده سرعت از طریق اطلاعات کسب شده از سازمان هواشناسی استفاده شده است.

۳-۱- توزیع احتمالی وی بول

به منظور تعیین بهترین توزیع باد به نحوی که با احتمال وزیدن در بازه های شرح داده شده همخوانی داشته باشد از توزیع وی بول^۱ استفاده شده است. تابع توزیع چگالی وی بول مربوط به متغیر اتفاقی $V \geq 0$ با پارامترهای $A_p > 0$ و $C_p > 0$ بطور ریاضی بصورت زیر تعریف می شود.

$$f(V, A_p, C_p) = \frac{C_p}{A_p} \left(\frac{V}{A_p} \right)^{C_p-1} \exp \left[- \left(\frac{V}{A_p} \right)^{C_p} \right] \quad (15)$$

در این حالت V سرعت باد برحسب متر بر ثانیه می باشد. A_p یک پارامتر مقیاس^۲ با واحد متر بر ثانیه و C_p یک پارامتر اندازه و بدون بعد می باشد. تابع توزیع جمعی^۳ بوسیله انتگرال گیری از رابطه زیر بدست آمده است:

$$P(V, A_p, C_p) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{V}{A_p} \right)^{C_p} \right] \quad (16)$$

۳-۲- برآورد پارامترها

برای برآورد پارامترهای توزیع وی بول از روش حداقل مربعات^۴ استفاده شده است. برای بدست آوردن یک مسئله خطی از تابع توزیع جمعی استفاده شده تا رابطه زیر کمینه گردد:

^۱ - Weibull

^۲ - scaling parameter

^۳ - cumulative distribution function (CDF)

^۴ - least square approach

$$\bar{U} = k_t \bar{U}_{tide} + k_w \bar{U}_{wind-10m} \quad (21)$$

k_t ضریب جریان بوده و چون سرعت جریان، سرعت سطحی است، k_t برابر یک انتخاب گردیده است. k_w ضریب جریان توده آب (دریفت) بوده و ۰/۳ انتخاب شده است.

۴-۲- نفوذ اغتشاش افقی و قائم

نوسانات سرعت u'_k ، v'_k و w'_k ، براساس روش پیمایش اتفاقی قابل محاسبه هستند. موقعیت سه بعدی بسته K ام پس از زمان Δt با توجه به روابط زیر درمدل استفاده گردیده است.

$$X_k = X_k^0 + u \Delta t + [R]_0^1 \sqrt{2D_h \Delta t} \quad (22)$$

$$Y_k = Y_k^0 + v \Delta t + [R]_0^1 \sqrt{2D_h \Delta t} \quad (23)$$

$$Z_k = Z_k^0 + w \Delta t + [R]_0^1 \sqrt{2D_v \Delta t} + w_b \Delta t \quad (24)$$

که $[R]_0^1$ یک عدد تصادفی در محدوده صفر تا یک (با شدت واحد و مقدار متوسط صفر) است. انتخاب ضرایب نفوذ افقی و قائم D_h ، D_v ، بسیار مشکل می باشد و معمولاً از طریق یک فرآیند اندازه گیری و اعتبار دهی بدست می آید. از آنجا که داده های اندازه گیری به منظور کالیبره کردن فرآیندهای انتقال به ندرت فراهم بوده و این فرآیندها دارای ثابت زمانی طولانی (هفته یا ماه) می باشند، اغلب استفاده از تخمین تجربی اولیه مناسب خواهد بود. مقادیر D_h ، D_v از طریق مطالعات موردی زیاد به منظور تهیه الگوی جریان استخراج شده اند [۱۰].

۴-۳- استهلاک آلودگی تحت تأثیر پدیده های تبخیر،

حلالیت و امولسیون

پدیده تبخیر بلافاصله پس از ریزش نفت اتفاق می افتد. در این مطالعه از روش Mackay [۱۵] که یک تئوری تک مؤلفه ای برای محاسبه نرخ تبخیر می باشد استفاده شده است.

$$F_{ev} = \left(\frac{\alpha}{C}\right) [\ln P_0 + \ln(C.K_E.t + 1/P_0)] \quad (25)$$

که F_{ev} درصد نفت تبخیر شده، α ضریب تصحیح براساس تشکیل ذرات معلق (امولسیون) و سایر فرآیندهای آب و هوایی است. $k_E = 0.0025 U_{wind-10m}^{0.78} A.v / (R.T.V_0)$ ، مساحت سطح ریزش نفت، v حجم مولی، R ثابت گازها، T دمای سطح نفت و V_0 حجم اولیه نفت ریخته شده است. ضریب C و T_0 از طریق اندیس نفت (API) و فشار بخار اولیه P_0 بر حسب اتمسفر تعیین شده است.

است. مؤلفه قائم قطرات نفت w_b و اندازه قطرات از روابط زیر [۱۴] بدست آمده است:

$$w_b = \frac{g d_k^2 \Delta}{18 \nu_w}, \quad d_k = \frac{9.52 U_w^{2/3}}{g^{2/3} \Delta^{1/3}} \quad (19)$$

در این روابط، g شتاب ثقل، $\rho_w = (\rho_w - \rho_o) / \rho_w$ و ρ_o به ترتیب چگالی نفت و آب و U_w لزجت مولکولی آب می باشد. به منظور استفاده از مدل هیدرودینامیکی، انتخاب محدوده زمانی مناسبی که نتایج حاصله در آن بازه قابلیت تعمیم به زمان های دیگر را داشته باشد، بسیار مهم می باشد. اصولاً در شبیه سازی بسیاری از پدیده ها، تعیین دقیق و جامع بعضی از مقادیر شرایط اولیه، بسیار مشکل و حتی غیر ممکن است. به عنوان مثال تعیین تراز سطح آب در تمامی گره های شبکه محاسباتی مدل، در زمان آغاز شبیه سازی غیر ممکن می باشد. با عنایت به این مسئله، چندین گام زمانی طول می کشد تا مدل، پس از اعمال شرایط مرزی، اثرات این شرایط خاص را در محدوده شبیه سازی شده منعکس نموده و به همگرایی مطلوب برسد. این تعداد گام زمانی، در حدود ۲ پریرود جزر و مدی کامل می باشد، مرحله گرم شدن مدل می باشد. با توجه به طبیعت هارمونیک پدیده جزر و مد، استفاده از حداقل یک بازه زمانی ۷ روزه که حاوی حداقل یک جزر و مدضعیف و قوی باشد، به منظور شبیه سازی پدیده لازم است. بنابراین با افزودن زمان کوتاهی به مدت زمان شبیه سازی برای عبور مدل از مرحله گرم شدن، زمان کالیبره کردن مدل انتخاب گردیده است.

۴-۱- انتشار بر روی سطح آب

در این مدل، سطح اولیه لکه به شبکه های کوچک تقسیم شده و خصوصیات جابه جایی برای هر نقطه شبکه محاسبه شده و سرعت جابه جایی برای هر نقطه (U_x, U_y) با لحاظ نمودن آثار باد، موج و جزر و مد محاسبه گردیده است:

$$\bar{U} = k_t \bar{U}_{tide} + k_w (\bar{U}_{wind} + \bar{U}_{wave}) \quad (20)$$

که \bar{U}_{wind} و \bar{U}_{wave} به ترتیب سرعت های جریان تحت تأثیرات باد و موج هستند و در حالت کلی جهت بردارهای آنها منطبق نمی باشند. \bar{U}_{tide} سرعت جریان در اثر جزر و مد می باشد. k_t عامل جزر و مد و k_w عامل باد می باشد. مجموع $(\bar{U}_{wind} + \bar{U}_{wave})$ که در آن \bar{U}_{wave} کوچک می باشد، بر مبنای سرعت باد در ۱۰ متری بالای سطح آب یعنی $\bar{U}_{wind-10m}$ و ضریب k_w تعریف می شود.

هارمونیکی که از طریق جداول جزر و مد دریایی به دست آمده اند با اطلاعات استخراج شده در چهار بندر بوشهر، کنگان، شهید رجایی و لنگه مقایسه و جدول بندی شده اند. جدول ۳ به عنوان یک نمونه، مقایسه داده‌های مربوط به دامنه و فاز مولفه های جزر و مدی در بندر بوشهر را ارائه نموده است. برای مقایسه داده‌های جزر و مدی در کل شبکه، بیشینه و کمینه خطای مقادیر محاسبه شده با داده های اندازه گیری در این چهار بندر، به جدول شماره ۴ مراجعه شود. پس از اطمینان از صحت داده ها به خصوص میدان باد، شبیه سازی مسیر آلودگی تحت تأثیر انتشار، نفوذ و استهلاك لکه نفت در حوزه خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفته است. به تأثیرات ثقلی، اینرسی، لزجت، با توجه به اثرات جریان آب، باد و جزر و مد در هنگام بررسی پدیده انتشار توجه شده و نیز تبخیر و امولسیون به عنوان پارامتر های غالب استهلاك لحاظ شده اند. شکل ۵ مقایسه ضخامت لکه نفت برای ۳۶ ساعت با نتیجه مطالعات Chao را نشان می دهد. چنانچه مشاهده می شود [۱۹]، این محاسبات ضخامت آلودگی را بدلیل در نظر گرفتن عامل امولسیون علاوه بر تبخیر در کار حاضر کمتر از پژوهش های Chao پیش بینی می نماید [۱۹]. زیرا امولسیون باعث می شود آلودگی قبل از اینکه تبخیر شود به داخل ستون آب نفوذ نماید. در شکل ۶ نفوذ قائم لکه نفت به داخل آب با کارهای Lonin مقایسه گردیده است. بدون در نظر گرفتن عامل شناوری، قطرات نفت با توجه به متوسط قطر آنها حدود ۲ الی ۲/۵ برابر بیشتر در داخل آب نفوذ می نمایند. کار حاضر نفوذ در داخل آب را به میزان ۶۰ درصد بیش از نتایج Lonin نشان می دهد [۲۰]. این اختلاف بدلیل لحاظ نمودن آثار تبخیر و امولسیون در کار حاضر می باشد. در حالیکه Lonin فقط اثر تبخیر را در نظر گرفته بود. لازم به ذکر است امولسیون بدلیل وجود اثر مؤلفه های سنگین نفت به غوطه وری بیشتر ذرات نفت کمک می نماید. شکل های (۷- الف) و (۷- ب) به مقایسه مسیر لکه نفت با داده های واقعی برای چاه های نفتی نوروز و حادثه حبش می پردازد. اختلاف جزئی در نتایج بدلیل ساده سازی های انجام شده در هنگام حذف جملات غیرخطی در معادله ممنتوم در مدل هیدرودینامیکی می باشد. این مدل، انجام مطالعات موردی زیاد به منظور تهیه نقشه ریسک را میسر نموده است. شکل های ۸ و ۹ اثر چگالی و حجم آلودگی در ضخامت لکه را به تصویر کشیده است. شکل ۱۰ مقدار نفت باقیمانده در طول ۱/۵ روز برای حادثه چاه نوروز که در خلیج فارس اتفاق افتاده را نمایش می دهد. در این شکل نتایج مربوط به دو نمونه نفت نیز مقایسه شده اند. چنانچه در این شکل نشان داده شده است، پس از ۱/۵ روز حدود ۶۳/۵ درصد از نفت رها شده به آلودگی هوا و آب

برخی از اجزاء نفت، علاوه بر تبخیر در داخل ستون آب حل می شوند. گرچه کاهش حجم نفت تحت تأثیر حل شدگی ناچیز است، اما آثار محیطی آن مهم می باشد. در اینجا از روش Cohen [۱۶] برای تعیین این پدیده استفاده شده است. تحت تأثیر موج، قطرات آب ممکن است به داخل نفت نفوذ نموده و امولسیون آب-در-نفت ایجاد کنند. فرآیند امولسیون توسط سرعت باد، ضخامت لکه، دمای محیط و تحت تأثیر قرار می گیرد. تغییرات تدریجی محتویات آب بر روی سطح با استفاده از مراجع [۱۷-۱۸] محاسبه شده است.

$$F_{em} = \left(1 - e^{-k_A k_B (1 + U_{wind-10m})^2 t}\right) / k_B \quad (26)$$

۵- نقشه ریسک^۱

تهیه نقشه ریسک، از طریق تعریف زیر برای ریسک انجام پذیرفته است:

$$R(i) = P(i) \times D(i) \quad (27)$$

که $R(i)$ ریسک برای سناریوی i ام، $R(i)$ احتمال سناریوی i ام و $D(i)$ میزان خرابی حاصل از سناریوی i ام می باشند. میزان خرابی را برابر تعداد ذراتی که به ساحل رسیده اند قرار داده و احتمال یک سناریو از خارج قسمت تعداد زمانهایی که سناریوی i ام در مجموعه ظاهر شده به تعداد کل سناریو ها بدست آمده است. S بعنوان مجموعه همه سناریوها بصورت $S = (W_s, iW_d, i_v, i_l)$ تعریف گردیده است. W_s سرعت باد با توزیع وی بول می باشد. i_l, i_v, iW_d به ترتیب اندیس هایی برای نشان دادن جهت باد، مقدار حجم نفت ریخته شده و موقعیت قرار گیری آلودگی می باشند.

۶- نتایج

تولید پایگاه داده‌ها شامل اطلاعات مربوط به سرعت و جهت باد، مولفه های دامنه و فاز جزر و مدی، ارتفاع متوسط آب و سرعت افقی جزر و مد و عمق مربوط به نقاط شبکه بندی خلیج فارس مورد نظر قرار گرفته اند. برخی از پارامترها به منظور اعتبار دهی در شرایط واقعی اندازه گیری شده اند. سرعت باد از دو طریق بر روی شبکه محاسبه و مقایسه شده اند (جدول ۲). جهت کالیبره کردن، میدان باد با مقادیر نمونه حاصل از سایت NOAA^۲ نیز مقایسه شده اند. در تحقیق حاضر، چهار مولفه

^۱-maps of risk

^۲-National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

است. ارائه کاربردی مدلسازی مسير حرکت نفت که در این تحقیق به آن پرداخته شده است، می تواند نقش موثری در چگونگی جمع آوری آن ایفا نماید. در واقع، این پیش بینی با در نظر گرفتن تأثیرات میدان باد و جزر و مد که اثر آن بیش از حدود ۶۰٪ کل اثرات پیرامونی در افزایش مساحت لکه تخمین زده شده است، می تواند به تهیه یک سناریوی جمع آوری لکه از روی آب منجر گردد. مدل توسعه داده شده به عنوان کاربرد در پیش بینی مسیر لکه و تعیین موقعیت، ضخامت و سطح آن بهره گیری شده است. همچنین در صد نفت تبخیر شده، حل شده و امولسیون شده و نیز میزان نفت باقیمانده بر روی سطح آب بررسی گردیده است. بنابراین، خروجی اصلی این پژوهش، توانایی تلفیق میدان باد با یک توزیع احتمالی که از داده های میدانی حاصل شده است و ارائه یک برآورد ساده برای تعیین الگوی جریان با استفاده از نظریه امواج کلون در بررسی های کوتاه مدت انتشار لکه نفت می باشد. سهولت و استفاده از مدلسازی توصیف شده، به منظور بررسی آثار زیست محیطی و آماده سازی نقشه های مناطق خطر آفرین پژوهش حاضر را کاربردی نموده است.

منجر می گردد. حدود ۲۴/۷ درصد از نفت تبخیر ، ۱۸/۸ درصد به امولسیون تبدیل و ۲۰٪ در داخل ستون آب نفوذ می نماید. شکل ۱۱ نتایج کیفی مطالعات ارزیابی ریسک را نشان می دهد. این مطالعه موردی برای چهار حادثه که به منظور مقایسه، همزمان فرض گردیده اند به نام های الاحمدی ، البکر ، حبش و نوروز انجام شده اند. چنانچه نمایش داده شده است، دو مکان به نام های بوشهر و بندر کنگان بهترین مناطق برای مستقر نمودن پدک کش های حامل وسایل جمع آوری آلودگی پیش-بینی شده اند. همچنین مساحتی به اندازه ۲ طول و ۰/۵ عرض جغرافیایی در نزدیکی جزایر سیری و ابوموسی جهت برپایی یک مزرعه دریایی و پرورش ماهی مناسب تشخیص داده شده است.

۷- جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به اینکه دامنه حل، آب کم عمق می باشد و نیز به دلیل هندسه خلیج فارس، دقت پیشگویی به تعیین دقیق مؤلفه های جزر و مد و میدان باد وابستگی زیادی نشان می دهد. بنابراین، توانایی استفاده از میدان باد و داده های میدانی به ایجاد سهولت در بهره برداری از این روش ساده و پر سرعت منجر شده

جدول ۲- مقایسه سرعت باد بدست آمده از توزیع وی بول و میدان باد واقعی در نقاط نمونه

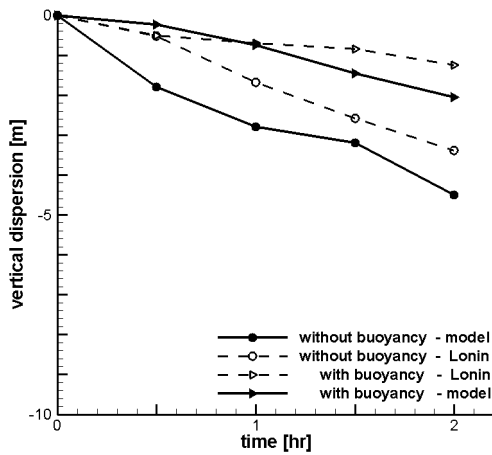
ردیف	مختصات مکان مورد مقایسه		مقادیر محاسبه شده از توزیع وی بول	مقادیر اندازه گیری شده	انحراف (درصد)
	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی			
۱	۲۸	۵۱	۱،۳۵۰	۱،۴۷۷	۸،۶
۲	۲۷،۵	۵۱	۱،۳۶۲	۱،۷۲	۲۰،۸
۳	۲۷	۵۰	۱،۳۳۶	۱،۵۸	۱۵،۴
۵	۲۶،۵	۵۱	۱،۳۷۱	۱،۷۲	۲۰،۳

جدول ۳- مقایسه داده های مربوط به دامنه و فاز مولفه های جزرومدی در بندر بوشهر و نقطه متناظر آن در شبکه

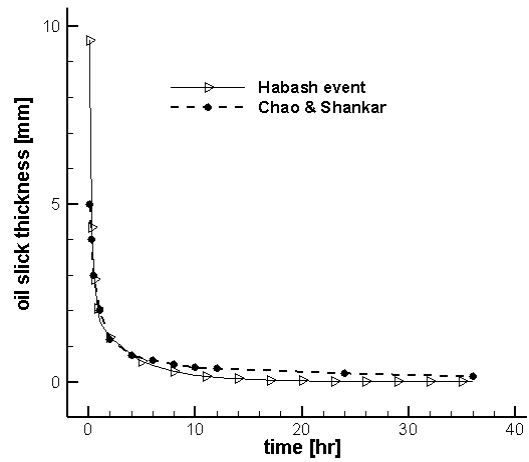
پارامترهای جزرومدی	M ₂		S ₂		K ₁		O ₁		ML
	فاز	دامنه	فاز	دامنه	فاز	دامنه	فاز	دامنه	
مقدار اندازه گیری	۲۳۲،۴	۰،۳۷۴	۲۸۶،۷	۰،۱۳۹	۲۸۳،۶	۰،۳۹۲	۲۴۹،۲	۰،۲۱۹	۱،۱۸
مقدار محاسبه شده	۲۳۳،۸	۰،۳۴۱	۲۸۳	۰،۱۴۴	۲۸۶،۱	۰،۳۲۰	۲۴۱،۹	۰،۲۱۲	۱،۱۷
(٪) انحراف	۰،۶	۸،۸۲	۱،۲۹	۳،۶	۰،۸۹	۱۸،۳۷	۲،۹۳	۳،۲	۱،۲۷

جدول ۴- بیشینه و کمینه خطای محاسباتی در مقایسه با اندازه گیری برای مولفه های جزرومدی در بندر بوشهر، کنگان، رجبی و لنگه

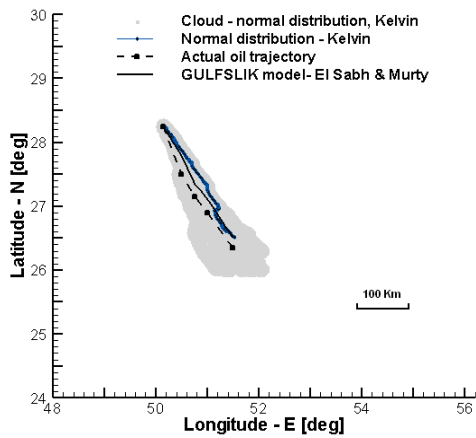
پارامترهای جزرومدی	M2		S2		K1		O1		ML
	فاز	دامنه	فاز	دامنه	فاز	دامنه	فاز	دامنه	
(٪) بیشینه خطا	۱۵،۲	۱۴،۱	۲۱،۱	۲۷،۵	۱۹،۸	۱۸،۴	۲۰،۷	۲۳،۴	۱۸،۹
(٪) کمینه خطا	۰،۶	۰	۱،۳	۳،۶	۰،۹	۱،۸	۲،۹	۲،۹	۱،۳



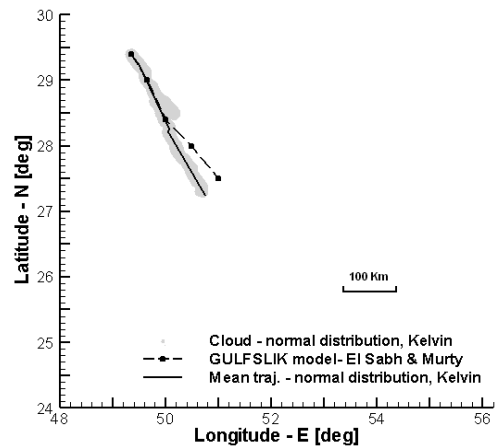
شکل ۶ - مقایسه اثر نیروی شناوری در نفوذ قائم قطرات



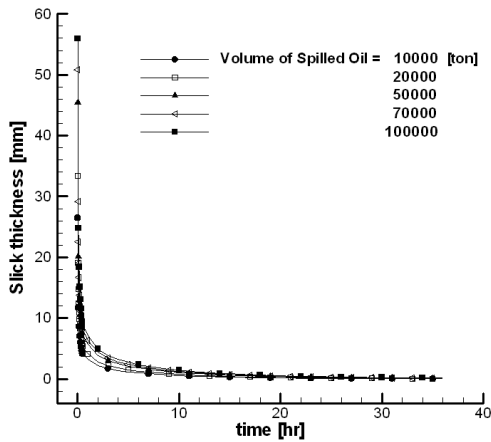
شکل ۵ - مقایسه ضخامت انتشار لکه نفت با کار دیگران



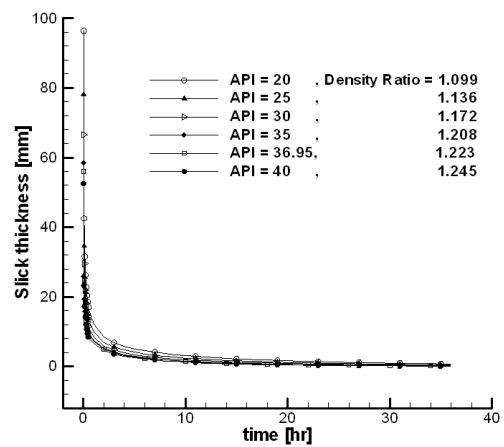
شکل ۷-ب - مقایسه مسیر لکه نفت حاصل از نتایج دیگران و نتایج حاصل از این مطالعه برای حادثه حبش



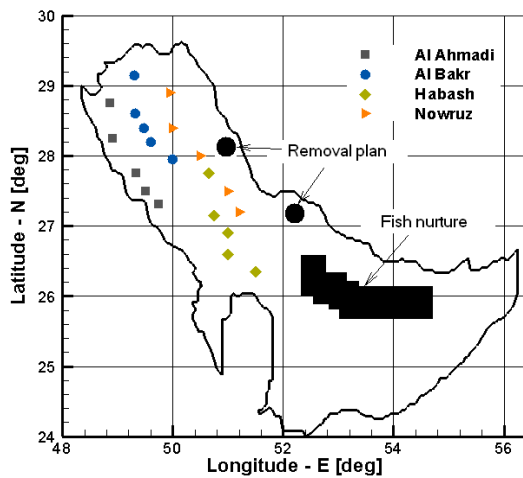
شکل ۷-الف - مقایسه مسیر لکه نفت حاصل از نتایج دیگران و نتایج حاصل از این مطالعه برای حادثه نوروز



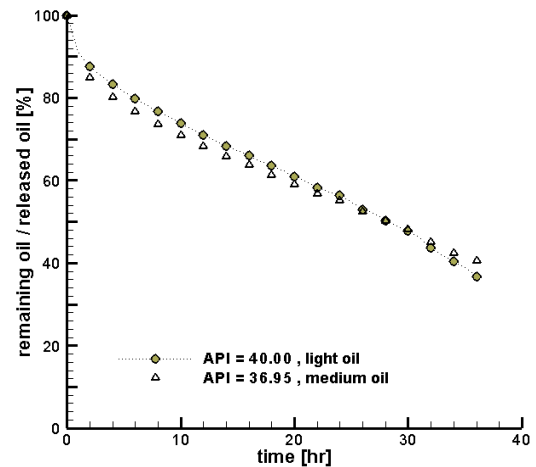
شکل ۹ - اثر حجم نفت ریخته شده در ضخامت لکه نفت



شکل ۸ - اثر اختلاف چگالی آب و نفت در ضخامت لکه نفت



شکل ۱۱ - بررسی کیفی اثر آلوده شدن خلیج فارس در چهار مکان عمده نفتی در خلیج فارس



شکل ۱۰ - تغییرات نفت باقیمانده بر روی سطح آب نسبت به کل نفت رها شده در طول ۳۶ ساعت برای دو نوع نفت مختلف

	F_o	نامها
اطلاعات داده شده ایستگاه	F_o	
عمق متوسط دامنه محاسباتی	h	A
مولفه جزر ومد روزانه برای کره ماه	K_1	API
عدد ثابت	k_A	C
عدد ثابت	k_B	C_0
عامل جزر و مد	k_t	D_h
عامل باد	k_w	f
مولفه جزر ومد نیمروزانه برای کره ماه	M_2	F_{em}
مولفه های روزانه برای کره ماه	O_1	امولسیون
فشار بخار اولیه نفت	P_0	F_{ev}
ثابت گازها	R	F_g
یک عدد تصادفی در محدوده صفر تا یک	$[R]_0^1$	شبکه

[2]Tkalic, P., Huda, K. and Hoong, K. Y., "A multiphase oil spill model", J. Hydro. Res., 1, pp. 115-125, 2003.

[3]Fingas, M., Fieldhouse, B. & Mullin, J., "Studies of water-in-oil emulsions: stability Studies", Proceedings 20th Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar, Vancouver, Environment Canada, 1997.

[4]Reed, M., Johansen, O., Brandvik, P. J., Daling, P., Lewis, A., Fiocco, R., Mackey, D. and Prentki, R., "Oil spill modeling toward the close of the 20th. Century": Overview of state of the art, Spill Science and Technology Bulletin, 5, pp. 3-16, 1999.

[5]Elshorbagy, W., Azam, M., Taguchi, K., "Hydrodynamic characterization and modeling of the Arabian Gulf", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 132 (1), 47-56, 2006.

[6]Sebastiao, P., Soares, C. G., "Modeling the fate of oil spills at sea. Spill Science and Technology", Bull. 2(2/3), pp.121-132, 1995.

[7]ASCE, "Task Committee on Modeling Oil Spills of the Water Resources Engineering Division", State of the art review of modeling transport and fate of oil spills, Journal of Hydraulic Engineering, 122, pp. 594-609, 1996.

[8] Elshorbagy, W., Elhakeem, A., "Risk assessment maps of oil spill for major desalination plants in the United Arab Emirates", *Desalination* 228, pp. 200-216, 2008.

[9] El-Sabh, M. I., Murty, T. S., "Simulation of the Movement and Dispersion of Oil Slicks in the Persian Gulf", *Natural Hazards*, Vol. 1, pp. 197-219, 1988.

[10]Badri, M.A., Azimian, A.R., "An oil spill model based on the Kelvin wave theory and artificial wind field for the Persian Gulf", *Indian Journal of Marine Sciences* Vol. 39, No. 2, pp. 165-181, 2010.

[11]Badri, M.A., Wilders, P., Azimian, A.R., "Oil spill simulation for the Persian Gulf based on a new and efficient flow estimation procedure", Report 10-07, Department of Mathematics, Delft University of Technology, The Netherlands, 2010.

[12] Pedlosky, J., *Waves in the ocean and atmosphere: Introduction to wave dynamics*, 2nd edition, Springer-Verlag, pp.260, 2003.

[13] Yamamoto, J. K., *An alternative measure of the reliability of ordinary kriging estimates*, Mathematical Geology, 2002.

[14]Zheng, L., Yapa, P.D., "Buoyant velocity of spherical and non-spherical bubbles/ droplets", Journal of Hydraulic Engineering 126 (11), 852-854, 2000.

[15]Mackay, D., Paterson, S. and Trudel, K., "A mathematical model of oil spill behavior", Report No. EE-7, Fisheries and Environmental Protection Service, Canada, 1980.

[16]Cohen, Y., Mackay, D., Shiu, W.Y., "Mass transfer rates between oil slicks and water", *J. of chemical engineering*, 58, pp. 569-574, 1980.

فاصله دو نقطه s و g در شبکه محاسباتی	$r_{i,j}$
مولفه جزر ومد نیمروزانه برای کره خورشید	S_2
دمای سطح نفت	T
زمان	t
سرعت افقی انتشار در جهت x	U_x
سرعت افقی انتشار در جهت y	U_y
سرعت افقی جریان آب در اثر جزر و مد	U_{tide}
سرعت باد در ۱۰ متری بالای سطح آب	U_{wind}
کل حجم لکه نفت	V
حجم اولیه نفت ریخته شده	V_0
ضریب وزنی ایستگاه نسبت به نقطه شبکه	$W_{i,j}$
فاصله از مبدأ در جهت طول	x
فاصله از دیواره	y
موقعیت اولیه لکه در راستای محور طول	X_0
جابجایی هرنقطه در راستای محور عرض	Y
موقعیت اولیه لکه در راستای محور عرض	Y_0

نمادهای یونانی

ضریب تصحیح براساس تشکیل ذرات معلق	α
فاز مولفه جزر و مدی مربوطه در هر گره	φ_j
ارتفاع موج کلوین	η
دامنه مولفه جزر و مدی مربوطه در هر گره	η_{0j}
حجم مولی	v
فرکانس زاویه ای موج	σ
چگالی آب	ρ_w
چگالی نفت	ρ_0

مراجع

[1]Clark, R. B., "Marin Pollutio", 3rd.Ed., Gookcraft Ltd., UK., P. 50-60,1992.

- [17] Fingas, M., Fieldhouse, B., Lerouge, L., Lane, J., and Mullin, J., "Studies of water-in-oil emulsions: energy and work threshold as a function of temperature", Proceedings, 24th Arctic Marine Oil spill Program Technical Seminar, Edmonton, Alberta., Environment Canada, 2001.
- [18] Xie, H., Yapa, P.D. & Nakata, K., "Modeling Emulsification after an Oil Spill in the Sea", Journal of Marine Systems, Elsevier, 68 , 489-506, 2007.
- [19] Chao X., Jothi Shankar N., Cheong H. F., "Two and three dimensional oil spill model for coastal waters", *Ocean Engineering*, Vol. 28, pp. 1557-1573, 2001.
- [20] Lonin, S., A., "Lagrangian model for oil spill diffusion at sea", *spill Science &Technology Bulletin*, Vol. 5, pp. 331-336, 1999.