



سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی





نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
ICOPMAS 2010
 10-8 آذر ماه (تهران)



کاربرد تلفیق داده های باد و یک مدل هیدرودینامیکی در بررسی آلودگی های زیست محیطی و تهیه نقشه ریسک

محمد علی بدری ، استاد یار ، معاونت پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیر دریا ، malbdr@cc.iut.ac.ir

چکیده - مهمترین منبع آلودگی های نفتی در خلیج فارس مربوط به حمل و نقل نفت توسط تانکرها و استخراج، تخلیه و انتقال نفت به وسیله پالایشگاه های فعال در بنادر می باشد. چون پارامتر باد به عنوان عامل مهم انتقال آلودگی مطرح 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 برآورد تعیین پارامترهای توزیع احتمالی وی بول از روش حداقل نمودن اختلاف مربعات استفاده شده است. میدان باد محاسبه شده با سایر داده های میدانی مقایسه و انطباق خوبی ملاحظه شده است. میدان دینامیکی آب توسط یک مدل هیدرودینامیکی جدید و از طریق تلفیق با میدان باد بدست آمده تا انتقال و انتشار آلودگی برای تعیین نحوه حرکت ابر آلودگی بر روی سطح آب تخمین زده شود. یک پایگاه داده ها بر روی آبهای خلیج فارس شامل میدان باد و مولفه های جزر و مدی تهیه شده است. یک مدل سه بعدی برای تعیین سرنوشت و انتقال آلودگی در دریا معرفی شده که شامل توصیف فرآیندهای انتشار، پخش افقی و عمودی، تبخیر، امولسیون و حلالیت است. برای مدلسازی پدیده جابه جایی 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 گفته شده به منظور تهیه نقشه ریسک تطابق خوبی نشان داده است.

کلید واژه : نقشه ریسک، توزیع وی بول، میدان باد احتمالی، مدل انتشار آلودگی

1- 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 منطبق تر بر فیزیک مسئله را می توانند به کار برند. در اکثر موارد، مدل سازی ریاضی ابزار قوی و مناسبی نه تنها برای محاسبه سریع سرنوشت آلودگی ها بلکه برای شبیه سازی عملیات پاکسازی می باشند. مدلهای عددی به طور گسترده به عنوان یک مولفه مهم برای جلوگیری از احتمال وقوع حوادث و مدیریت ساحلی می باشند. اینگونه مدلها به عنوان یک ابزار واقعی برای پیش بینی حرکت آلودگیها و انتخاب روشهای مقابله و محافظت منابع واقع در مناطق ساحلی استفاده می گردند.

رشد سریع صنعتی به افزایش قابل ملاحظه مصرف نفت منجر شده است. تولید جهانی نفت خام در حدود 3 بیلیون تن در سال بوده و نیمی از آن بوسیله دریاها منتقل می گردد [1]. بخش مهمی از نفت از طریق حفاری و عملیات تخلیه از کشتی ها و نیز حوادث مربوط به تصادم تانکرها در دریا ریخته می شود. 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 می گردد. این فرآیندها شامل جابجایی، نفوذ افقی و عمودی، انتشار و گسترش سطحی، تبخیر، حلالیت، امولسیون، هیدرولیز، فوتواکسیداسیون و تجزیه بیولوژیکی می باشند [2]. وقتی نفت بر روی سطح آب ریخته می شود به صورت یک لکه نازک پخش می شود. حرکت این لکه تحت تأثیر جابجایی و نفوذ ناشی از جریان های آب و باد قرار می گیرد. در زمان های طولانی و تحت تأثیر تلفیقی از تأثیرات آب و هوایی و بیولوژیکی، بخش عمده ای از نفت ریخته شده محومی گردد. متأسفانه در طبیعت به اندازه کافی فرصت برای این موضوع وجود ندارد و نفت به سواحل و مناطق حساس محیط زیست نشست نموده و ضررهای جدی به همراه می آورد. تهدیدات اقتصادی و محیطی و ویرانی های حاصله به توسعه روش هایی برای تمیز کاری نفت منجر شده است. بنابراین، روش های کاربردی مقابله با اثرات سوء زیست محیطی پخش نفت به عنوان کاربرد بررسی آلودگی های زیست محیطی باید قبل از استفاده دقیقاً مورد توجه قرار گیرد [3]. امروزه پخش لکه نفت با استفاده از معادلات ناویراستوکس با استفاده از روش های CFD مدل شده است [4]. در مواردی برای حل معادلات دیفرانسیل پاره ای در زمینه هیدرولیک محیط دریا از روش اویلری در مقایسه با ردیابی لکه نفت

توسط روش لاگرانژی استفاده شده است [5]. مباحث مربوط به انتشار نفت بر روی آب در مرجع [6] ارائه شده است. معمولاً انتشار و پراکندگی لایه های نفت توسط جریانهای ناشی از میدان باد، جزر و مد و پیشگویی های هیدرودینامیکی و نیز نفوذ افقی و عمودی مطالعه می شوند. نفوذ قطرات نفت از سطح نفت به لایه های زیرین، مکانیزم مهمی می باشد زیرا به حذف نفت از سطح بدون هیچ تغییری در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در مقابله با پدیده تبخیر می انجامد. به این رفتار در مرجع [7] و همچنین مقاله مروری [8] اشاره شده است. اگرچه مطالعاتی در زمینه پخش و انتشار لکه های نفتی برای خلیج فارس انجام شده است، ارائه روشهای پراکنده همواره مورد نیاز بوده است. بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر، تهیه 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 ژئوستروفیک برای تولید یک چارچوب دینامیکی و محاسبه حرکت در مقیاس مکان و زمان بزرگ بهره برداری نمود. این مدل در واقع از خصوصیات اساسی فیزیکی حرکت زمین بهره جسته است و در اینجا از آن به عنوان یک مدل جدید هیدرودینامیکی برای حوزه خلیج فارس که دارای جریانهای جزر و مدی و نوسانات مربوط به آن می باشد یاد شده است. استفاده از نظریه امواج کلون در مقایسه با مدل هیدرودینامیکی دیگری که معرفی شده است در کوتاه مدت به طور متوسط تا میزان 15 درصد نتایج بهتری ارائه داده است. از یک میدان باد با استفاده از داده های میدانی استفاده شده است و یک فایل داده 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 تا بتواند مبنای مقایسه نتایج محاسبه شده از طریق استفاده از نظریه امواج کلون باشد. در واقع نتایج مدل ساده که تعیین میدان دینامیکی با استفاده از نظریه کلون می باشد، داده های اندازه گیری و مدل پر هزینه (MIKE) مقایسه شده اند و انطباق مناسبی مشاهده شده است. استفاده از نظریه امواج کلون 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 مینا [9-10] 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. چنانچه مشاهده شده است، تهیه پایگاه داده ها شامل اطلاعات میدان باد و محیط فیزیکی، تخمین حجم باقیمانده بر روی آب و مقدار تبخیر، امولسیون و نفوذ در داخل آب را امکانپذیر نموده است.

2- مدل هیدرودینامیکی برای کاربرد در آبهای خلیج فارس

در اینجا، شبیه سازی جریان در خلیج فارس پس از ارزیابی دقت مدل هیدرودینامیکی توسط نرم افزار MIKE3 ارائه شده است. 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 آدمیرالتی بدست آمده اند. خطوط ساحلی و جزایر در خلیج فارس به عنوان مرزها در نظر گرفته شده و در این مرزها مؤلفه های سرعت عمودی صفر (شرط عدم نفوذ) قرار داده می شوند. کارایی مدل کامپیوتری برای شبیه سازی جریان جزر و مد در خلیج فارس از طریق اعمال نوسانات جزر و مدی در میدان جریان در طی یک محدوده زمانی آزمایش شده است. به منظور ارزیابی کیفیت نتایج، نوسانات جزر و مدی در جزیره دیدعامر برای دوره 16 روزه، از 25 آوریل تا 7 می 2007. در تنگه هرمز در قسمت شمال شرقی خلیج فارس اعمال شده است. با در نظر گرفتن تبخیر سطحی نفت و اثر امولسیون، الگوی جریان شکل گرفته است. 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.

1-2 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.

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

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

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

که $h = h_0 + \eta$ و $\eta \ll h_0$ 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.

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

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

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

در اینجا حل در حالت $\sigma^2 = C_0^2 k^2$ در نظر گرفته شده است. این حل بنام موج کلونین¹ خوانده می شود. 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، η ارتفاع موج کلونین، f عامل کوریولیس، η_0 دامنه موج، $C_0 = \sqrt{g \cdot h_0}$ سرعت انتشار موج، y فاصله از دیواره، $\sigma = C_0 k$ 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 را طوری پیدا نموده ایم که بتواند جواب معادلات حاکم زیر باشد:

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

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

2-2- 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 چارتهایی 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. برعکس، تعیین سری زمانی نوسانات سطح و سرعت جریان آب نیز بر مبنای مقادیر دامنه و فاز مولفه های جزر و مدی امکان پذیر بوده و بدیهی است که در سری زمانی بدست آمده تاثیرات 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 M_2, S_2, K_1 و O_1 به دست آمده است.

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

$$\eta_{WSL} = Z_0 + \sum_{j=1}^4 [\eta_{0j} \cdot e^{\frac{-fy}{C_0}} \cos(kx - \sigma t + \varphi_j)] \quad j, \text{ used for } M_2, S_2, K_1 \text{ \& } O_1 \quad (12)$$

$$u_{tidal\ stream} = \sum_{j=1}^4 [(\eta_{0j} C_0 / h_0) \cdot e^{\frac{-fy}{C_0}} \cos(kx - \sigma t + \varphi_j)] \quad j, \text{ used for } M_2, S_2, K_1 \text{ \& } O_1 \quad (13)$$

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. امواج کلونین در کانال هایی که توسط دیواره هایی به طول بی نهایت و به موازات یکدیگر در بر گرفته شده اند به خوبی انتشار می یابند. 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 معتبراندازه گیری می باشند آماده سازی و استفاده شده اند، لذا در واقع آثار میدان

واقعی ذاتا به همراه این اطلاعات میدانی وارد معادله مشخصه شده تا میدان دینامیکی حاصله تعیین شود. علاوه بر این فرضیات، عامل کوریولیس نیز به عنوان یک عامل اغتشاشی موجی در این معادله مشخصه وارد شده است. بنابراین علیرغم ورود فرضیيات ساده کننده، 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.

3- 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 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 پارامتر 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 از رابطه (14) محاسبه می شود.

$$r_{i,j} = \cos^{-1} [\sin(glat) \times \sin(slat) + \cos(glat) \times \cos(slat) \times \cos(glon - slon)] \times earthradius \quad (14)$$

که $r_{i,j}$ فاصله دو نقطه S و g مربوط به ایستگاه های هواشناسی و نقاط گره، lon و lat به ترتیب عرض و طول جغرافیایی می باشد. سپس مقدار داده بر روی نقاط شبکه از رابطه (15) محاسبه شده است.

$$F_g = \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (W_{i,j} \times F_o) / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{i,j} \right\} \quad W_{i,j} = \max \left\{ 0, (R^2 - r_{i,j}^2) / (R^2 + r_{i,j}^2) \right\} \quad (15)$$

که F_g مقدار اطلاعات محاسبه شده بر روی نقطه شبکه است. F_o اطلاعات داده شده ایستگاه بوده 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 کاهش نسبت به فاصله بوده و در صورتیکه $r_{i,j}$ بزرگتر از R باشد، تابع برابر صفر خواهد بود. R یک ثابت است که اگر صفر باشد، تاثیر ایستگاه وجود ندارد. این درون یابی دوبعدی بوده و روش اصلی مورد استفاده ECMWF است. 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 مولفه های نیمروزانه M_2 برای کره ماه و S_2 برای کره خورشید و مولفه های روزانه K_1 و O_1 برای کره ماه می باشند. سایر مولفه ها دارای دامنه های نسبتا کوچک در مقایسه با دیگر مولفه ها بوده و در نظر گرفته نشده اند. در پژوهش حاضر مولفه های M_2 ، S_2 ، K_1 و O_1 با استفاده از چارت های آدمیرالتی که از سوی نیروی دریایی انگلیس تهیه 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 تصحیحی برای جریانات فصلی، مقدار ارتفاع میانگین جزر و مد را با توجه به رابطه زیر بدست میدهد.

$$ML = M_2 + S_2 + K_1 + O_1 + 0.15 \quad (16)$$

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. 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.

3-1- توزیع احتمالی وی بول

به منظور تعیین بهترین توزیع باد به نحوی که با احتمال وزیدن در بازه های شرح داده شده در جدول 1 همخوانی داشته باشد از توزیع وی بول² استفاده شده است. تابع توزیع چگالی وی بول مربوط به متغیر اتفاقی V با پارامترهای A_p و C_p بطور ریاضی بصورت زیر تعریف می شود.

$$f(V, A_p, C_p) = \frac{C_p}{A_p} \left(\frac{V}{A_p} \right)^{C_p-1} \exp \left[- \left(\frac{V}{A_p} \right)^{C_p} \right] \quad V \geq 0, A_p, C_p > 0 \quad (17)$$

در این حالت V سرعت باد به متر بر ثانیه می باشد. A_p یک پارامتر مقیاس³ با واحد متر بر ثانیه و C_p یک پارامتر اندازه و بدون بعد می باشد. تابع توزیع جمعی⁴ بوسیله انتگرال گیری از رابطه زیر بدست آمده است:

² - Weibull

³ - scaling parameter

⁴ - cumulative distribution function (CDF)

$$p(V, A_p, C_p) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V}{A_p}\right)^{C_p}\right] \quad (18)$$

3-2- برآورد پارامترها

برای برآورد پارامترهای توزیع وی بول از روند محاسبه می نیموم مربعات⁵ استفاده شده است. برای بدست آوردن یک مسئله خطی از تابع توزیع جمعی استفاده شده تا رابطه زیر می نیموم گردد:

$$\sum_{j=1}^k (E)^2 = \sum_{j=1}^k \left\{ \left[\ln(A_p^{-C_p}) + C_p \ln V_j - b_j \right]^2 \right\} \quad (19)$$

که k تعداد نقاطی است که برای فیت نمودن منحنی در رابطه $b_j = \ln[-\ln[1 - p(V_j)]]$ استفاده می شود. داده های استفاده شده از این روش یک بردار عددی از سرعت باد نمی باشند بلکه 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 (1) می توان بردار احتمال $R_1 = [p(0 \leq V < 4) \quad p(4 < V \leq 9) \quad p(9 < V \leq 14) \quad p(V > 14)]^T$ را استخراج نمود. به علاوه، بر اساس داده های اندازه گیری بردار $R = [0.33 \quad 0.50 \quad 0.15 \quad 0.02]^T$ تشکیل و اختلاف بین دو بردار $g(A_p, C_p) = \|R - R_1\|^2$ حداقل گردیده است. بدین واسطه $C_p = 1.7243, A_p = 6.8005$ بدست آمده اند. بردار R با استفاده از مقادیر محاسبه شده C_p, A_p بصورت $R_1 = [0.33 \quad 0.54723 \quad 0.16660 \quad 0.02]^T$ نتیجه می گردد. می توان دید که اختلاف دو بردار R, R_1 بسیار کوچک می باشد. پس از محاسبات مربوطه، مقادیر متوسط و واریانس به صورت $\bar{V} = 6.06, \sigma = 3.618$ به دست آمده اند.

4- 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 $u(x, y, z, t), v(x, y, z, t)$ و $w(x, y, z, t)$ 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 عمودی w_b و نوسانات اغتشاشی $u'(x, y, z, t), v'(x, y, z, t)$ و $w'(x, y, z, t)$ مربوط خواهد شد. در حالت کلی w_b به اندازه ذره k ام وابسته است. مختصات ذرات توسط روابط زیر تعیین شده است.

$$\frac{dX_k}{dt} = u + u'_k \quad (20)$$

$$\frac{dY_k}{dt} = v + v'_k \quad (21)$$

$$\frac{dZ_k}{dt} = w + w'_k + w_b \quad (22)$$

که u, v, w از مدل هیدرودینامیکی MIKE-HD پس از اجرا بر روی خلیج فارس بر روی شبکه حجم محدود بی سازمان و در بازه زمانی t بدست می آید. مؤلفه عمودی قطرات نفت w_b و اندازه قطرات از روابط زیر بدست آمده است:

$$w_b = \frac{gd_k^2 \cdot \Delta}{18\nu_w}, \quad d_k = \frac{9.52\nu_w^{2/3}}{g^{2/3} \cdot \Delta^{1/3}} \quad (23)$$

دراین روابط، g شتاب ثقل، $\Delta = (\rho_w - \rho_o) / \rho_w$ ، ρ_w و ρ_o به ترتیب چگالی نفت و آب و ν_w لزجت مولکولی آب می باشد.

4-1- 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:

⁵ - least square approach

$$\vec{U} = k_t \vec{U}_{tide} + k_w (\vec{U}_{wind} + \vec{U}_{wave}) \quad (24)$$

که \vec{U}_{wind} و \vec{U}_{wave} به ترتیب سرعت های باد و موج هستند و در حالت کلی جهت بردارهای آنها منطبق نمی باشد. \vec{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 $(\vec{U}_{wind} + \vec{U}_{wave})$ بر مبنای سرعت باد در 10 متری بالای سطح آب یعنی $\vec{U}_{wind-10m}$ و ضریب k_w تعریف می شود.

$$\vec{U} = k_t \vec{U}_{tide} + k_w \vec{U}_{wind-10m} \quad (25)$$

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 (دریافت) بوده و 0/03 انتخاب شده است.

4-2- نفوذ اغتشاش افقی و عمودی

نوسانات سرعت U'_k ، V'_k و W'_k ، براساس روش random walk قابل محاسبه هستند. به طور خلاصه موقعیت سه بعدی بسته k م پس از زمان Δt با توجه به روابط زیر در مدل استفاده گردیده است.

$$X_k = X_k^0 + u\Delta t + [R_1]_0^1 \cdot \sqrt{2D_h \cdot \Delta t} \cos(2\pi[R]_0^1) \quad (26)$$

$$Y_k = Y_k^0 + v\Delta t + [R_2]_0^1 \cdot \sqrt{2D_h \cdot \Delta t} \sin(2\pi[R]_0^1) \quad (27)$$

$$Z_k = Z_k^0 + w\Delta t + [R_3]_0^1 \sqrt{2D_v \cdot \Delta t} + 5.04 \left(\frac{\Delta_1 \cdot U_w}{g} \right)^{1/3} \cdot \Delta t \quad (28)$$

که $[R]_0^1$ یک عدد تصادفی با متوسط صفر و واریانس یک است. انتخاب ضرایب نفوذ افقی و عمودی D_h و 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 کالیبراسیون 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 و D_v از طریق مطالعات موردی زیاد به منظور تهیه الگوی جریان استخراج شده اند [9].

4-3- استهلاک آلودگی تحت تاثیر پدیده های تبخیر، حلالیت و امولسیون

پدیده تبخیر بلافاصله پس از ریزش نفت اتفاق می افتد. در این مطالعه از روش Mackay [11] که یک تئوری تک مؤلفه ای برای محاسبه نرخ تبخیر می باشد استفاده شده است.

$$F_{ev} = \left(\frac{\alpha}{C} \right) \cdot [\ln P_0 + \ln(C \cdot K_E \cdot t + 1/P_0)] \quad (29)$$

که F_{ev} درصد نفت تبخیر شده، α ضریب تصحیح براساس تشکیل ذرات معلق (امولسیون) و سایر فرآیندهای آب و هوایی است. $V_0 = 0.0025 U_{wind-10m}^{0.78} \cdot A \cdot v / (RT \cdot V_0)$ ، k_E 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 در دمای T_E از رابطه 35 تعیین شده است.

$$\ln P_0 = 10.6(1 - T_0/T_E) \quad (30)$$

تحت تاثیر 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 تاثیر قرار می گیرد. به طور کلی، تغییرات تدریجی محتویات آب بر روی سطح با استفاده از پیشنهاد Rasmussen محاسبه شده است [12].

$$F_{em} = \left(1 - e^{-k_A k_B (1 + U_{wind-10m})^2 t} \right) / k_B \quad (31)$$

که F_{em} ، میزان محتویات آب از طریق امولسیون بوده و k_A و k_B اعداد ثابت هستند.

5- نقشه ریسک⁶

برای تهیه نقشه ریسک ابتدا ریسک را به صورت $R(i) = P(i) \times D(i)$ تعریف می نمایم .

$R(i)$ ریسک برای سناریوی i ام، $P(i)$ احتمال سناریوی i ام و $D(i)$ میزان خرابی حاصل از سناریوی i ام می باشد. 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 اندیسهایی برای نشان دادن جهت باد، مقدار حجم نفت ریخته شده و موقعیت قرار گیری آلودگی می باشند. داده های چهار حادثه نفتی برای منظور شبیه سازی آماده گردید. این حوادث عبارتند از حادثه حوزه فراساحلی حبش در 27/75 درجه عرض شمالی و 50/15 درجه طول شرقی، حوزه نفتی نوروز در شمال خلیج فارس در 28/90 درجه عرض شمالی و 49/35 درجه طول شرقی، حادثه حوزه نفتی الاحمدی در 29/25 درجه عرض شمالی و 48/37 درجه طول شرقی و چاه نفتی البکر در 29/15 درجه عرض شمالی و 48/80 درجه طول شرقی.

6- نتایج

در مدل تک ذره ای سه بعدی که در کار حاضر استفاده شده است، شبیه سازی مسیر آلودگی تحت تاثیر انتشار، نفوذ و استهلاک لکه در حوزه خلیج فارس در نزدیکی جزیره کیش مورد بررسی قرار گرفته است. به تاثیرات ثقلی، اینرسی، لزجت، میدان باد، مؤلفه سرعت افقی با توجه به اثرات جریان آب، باد و جزر و مد در هنگام بررسی پدیده انتشار توجه شده و نیز تبخیر، امولسیون و حلالیت به عنوان پارامترهای غالب استهلاک لحاظ شده اند. تولید پایگاه داده ها شامل اطلاعات مربوط به سرعت و جهت باد، مؤلفه های دامنه و فاز جزرومدی، 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 2). جهت کالیبراسیون، میدان باد با مقادیر نمونه حاصل از سایت NOAA مقایسه شده اند. در تحقیق حاضر، چهار مؤلفه هارمونیک M_2 ، S_2 ، K_1 و O_1 که از طریق جداول جزر و مد آدمیرالتی به دست آمده اند با اطلاعات استخراج شده در چهار بندر بوشهر، کنگان، شهید رجایی و لنگه مقایسه و جدول بندی شده اند. برای مقایسه داده های جزرومدی در کل شبکه، بیشینه و کمینه خطای مقادیر محاسبه شده با داده های اندازه گیری در این چهار بندر، به جدول شماره 3 مراجعه شود. در شکل (1) ارتفاع سطح آب محاسبه شده توسط مدل (خط ضخیم) با پیشگویی جدول جزر و مدی آدمیرالتی (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 آدمیرالتی را دنبال می کند. نمونه هایی از نتایج عددی که الگوی جریان را نشان می دهد در شکل (2) ارائه شده است. در این شکل ها، 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 3 مقایسه ضخامت لکه نفت برای 36 ساعت با نتیجه مطالعات Chao را نشان می دهد. چنانچه مشاهده می شود، 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. زیرا امولسیون باعث می شود آلودگی قبل از اینکه تبخیر شود به داخل ستون آب نفوذ نماید. شکل (4) به مقایسه مسیر لکه نفت با داده های واقعی برای 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 جدید می باشد. این مدل جدید از لحاظ سادگی و سرعت محاسباتی امکان انجام مطالعات موردی زیاد به منظور تهیه نقشه ریسک را میسر نموده است. شکل 5 مقدار نفت باقیمانده در طول 1/5 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 1/5 روز حدود 63/5 درصد از نفت رها شده به آلودگی هوا و آب منجر می گردد. حدود 24/7 درصد از نفت تبخیر، 18/8 درصد به امولسیون تبدیل و 20٪ در داخل ستون آب نفوذ می نماید. شکل 6 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 یک کس های حامل وسایل جمع آوری آلودگی پیش بینی شده اند. همچنین مساحتی به اندازه 2 طول جغرافیایی و 0/5 عرض جغرافیایی در نزدیکی جزایر سیری و ابوموسی جهت برپایی یک مزرعه دریایی و پرورش ماهی مناسب تشخیص داده شده است.

7- جمع بندی و نتیجه گیری

ارائه کاربردی مدلسازی مسیرحرکت 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 تاثیرات میدان باد و جزر و مد که اثر آن بیش از حدود 60٪ 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. مقایسه انتشار واقعی لکه با توجه به داده های در دست و مقدار محاسبه شده توافق مناسبی نشان داده است. بنابراین، خروجی اصلی این پژوهش ارائه یک برآورد ساده برای تعیین الگوی جریان با استفاده از نظریه امواج کلین در بررسی های کوتاه مدت انتشار لکه نفت می باشد. توانایی استفاده از میدان باد و داده های

میدانی به ایجاد سهولت در بهره برداری از این روش ساده و پر سرعت منجر شده است. همچنین سهولت و ارائه کاربردی مدل سازی و کاربرد آن در کنار کثرت نفت به منظور بررسی آثار زیست محیطی و تعیین مسیر لکه برای آماده سازی نقشه های مناطق خطر آفرین در نواحی شمالی خلیج فارس از جنبه ریزش و انتشار نفت براهیمت این پژوهش می افزاید.

مراجع

1. Clark, R. B., (1992), Marin Pollution, 3rd. Ed., Gookcraft Ltd., UK., P. 50-60.
2. Haung, J. C., (1983), A review of the state of the art of the oil spill behavior models, Proc. of Oil Spill Conf., Washington DC., pp. 313-322.
3. Tkalich, P., Huda, K. and Hoong, K. Y., (2003), A multiphase oil spill model, J. Hydro. Res., 1, pp. 115-125.
4. Spaulding, M. L., (1988), A State of the art review of oil spill trajectory and fate modeling, Oil. Chemical Pollutant., 4, pp. 39-55.
5. Reed, M., Johansen, O., Brandvik, P. J., Daling, P., Lewis, A., Fiocco, R., Mackey, D. and Prentki, R., (1999), 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.
6. Proctor, R., Flather, R.A., Elliot, A. J., (1994), Modeling tides and surface drift in the Arabian Gulf-application to the Gulf oil spill. Continental Shelf Res. 14(5), pp. 531-545.
7. Sebastiao, P., Soares, C. G., (1995), Modeling the fate of oil spills at sea. Spill Science and Technology, Bull. 2(2/3), pp. 121-132.
8. ASCE, Task Committee on Modeling Oil Spills of the Water Resources Engineering Division, (1996), State of the art review of modeling transport and fate of oil spills, Journal of Hydraulic Engineering, 122, pp. 594-609.
9. Badri, M.A., Azimian, A.R., (2010), An oil spill model based on the Kelvin wave theory and artificial wind field for the Persian Gulf, Indian Journal of Marine Sciences.
10. Badri, M.A., Wilders, P., Azimian, A.R., (2010), 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.
11. Mackay, D., Paterson, S. and Trudel, K., (1980), A mathematical model of oil spill behavior, Report No. EE-7, Fisheries and Envir., Environmental Protection Service, Canada.
12. Rasmussen, D., (1985), Oil spill modeling, a tool for cleanup operations, proceeding of oil spill conference, US Coast Guard, American Petroleum Institute, Environment Protection Agency, California, pp. 243-249.

جدول 1- اطلاعات میدان باد و احتمال توزیع آن (احتمال وقوع)

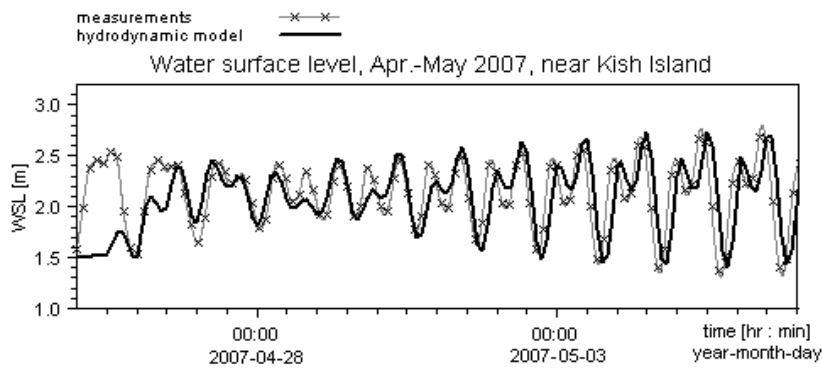
ردیف	سرعت باد (متر بر ثانیه)	احتمال وقوع
1	0-4	33%
2	5-9	50%
3	10-14	15%
4	>14	2%

جدول 2- مقایسه سرعت باد بدست آمده از توزیع وی بول و ایستگاه های اندازه گیری در نقاط نمونه

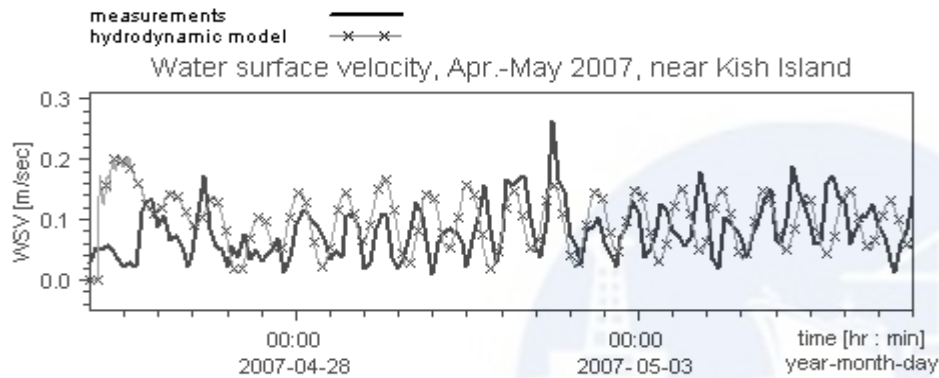
ردیف	مختصات مکان مورد مقایسه		مقادیر محاسبه شده از توزیع وی بول	مقادیر بدست آمده از ایستگاه های اندازه گیری	اختلاف (درصد)
	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی			
1	28	51	1/350	1/477	8/6
2	27/5	51	1/362	1/72	20/8
3	27	50	1/336	1/58	15/4
4	27	52	1/67	1/7	2/0

جدول 3- بیشینه و کمینه خطای محاسباتی در مقایسه با مقادیر اندازه گیری برای مولفه های جزرومدی در بنادر بوشهر، کنگان، رجبی و لنگه

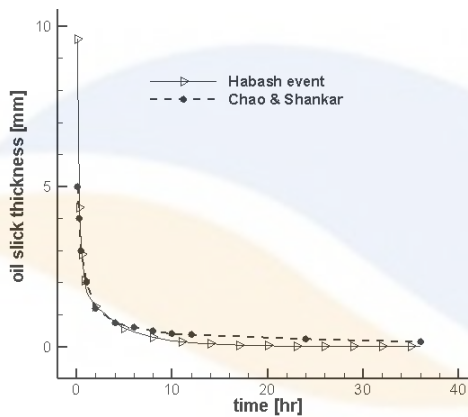
پارامترهای جزرومدی	M2		S2		K1		O1		ML
	دامنه	فاز	دامنه	فاز	دامنه	فاز	دامنه	فاز	
(%) بیشینه انحراف	15/2	14/1	21/1	27/5	19/8	18/4	20/7	23/4	18/9
(%) کمینه انحراف	0/6	0	1/3	3/6	0/9	1/8	2/9	2/9	1/3



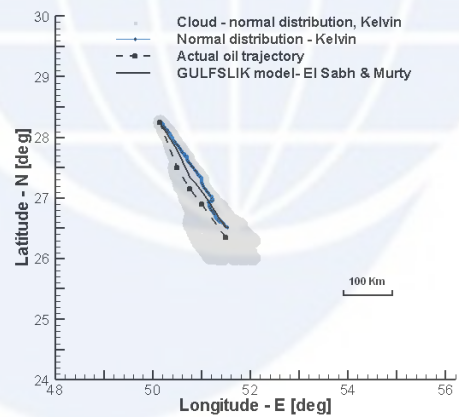
شکل 1 - مقایسه جدول جزر ومدی آدمیرالتی و نتایج مدل عددی برای نوسانات ارتفاع سطح آب در نزدیکی جزیره کیش



شکل 2 - مقایسه نتایج مدل عددی و داده های اندازه گیری در خصوص سرعت جریان آب در نزدیکی جزیره کیش

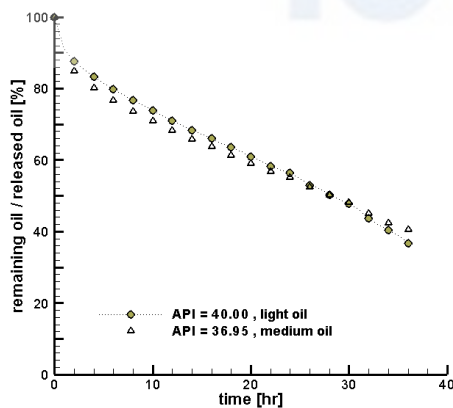


شکل 3 - مقایسه ضخامت انتشار لکه نفت با کار دیگران

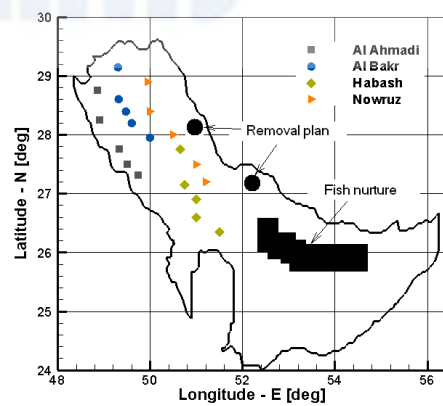


شکل 4 - مقایسه مسیر لکه نفت حاصل از نتایج دیگران و

نتایج حاصل از این مطالعه برای حادثه حبش



شکل 5 - تغییرات نفت باقیمانده بر روی سطح آب نسبت به کل نفت رها شده در طول 36 ساعت برای دو نوع نفت مختلف



شکل 6 - بررسی کیفی اثر آلوده شدن خلیج فارس در چهارمکان عمده نفتی در خلیج فارس