ISME

# مدلسازي دو بعدي پخش و انتشار لكه هاي نفت بر روي آب هاي خليج فارس

محمد علي بدري [1]
دانشجوي دكترا

احمد رضا عظيميان [2]
استاد

*براي تعيين سرنوشت نفت ريخته شده دردريا وتعيين جهت و نرخ حركت لكه هاي نفتي علاوه برخصوصيات نفت، لازمست شرايط محيطي نظير باد ،جريان آب، امواج ، اغتشاش جريان، شوري و دما نيز بررسي شود. از آنجا كه اكثر مدلهاي انتشار نفت، حركت نفت را از جمع بردارهاي انتقال شامل جريان ميانگين، جزر و مد، باد، امواج و پراكندگي آشفتگي بدست مي‌آورند و از طرف ديگر، ساختار جريان آب در خليج فارس بسيار پيچيده وكاملاً سه بعدي مي‌باشد لازمست، اطلاعات مربوط به جريان وجزر ومد بوسيله مشاهدات يا مدلهاي هيدروديناميكي براي منطقه موردنظر بدست آيد وتاثيرباد وامواج نيزبصورت تركيبي و برمبناي يک پايه تجربي وابسته به سرعت موضعي باد و جهت آن اعمال گردد. در اين مقاله، به منظور مدلسازي دو بعدي حركت لكه هاي نفتي بر روي خليج فارس، پايگاه داده ها شامل هندسه بستر، داده هاي مربوط به باد، سرعت جريان جزرو مدي و جريان آب، خصوصيات نفت و هوا تهيه شده است. ابتدا به‌دليل پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی درمنطقه خلیج فارس، داده‌های هواشناسی روی نقاط شبکه با استفاده ازروش Cressman و برنامه‌ای که به زبان فرترن نوشته شده به‌دست آمده است. در هریک از نقاط شبكه، طول وعرض جغرافيايي، سرعت باد، ارتفاع و پريود موج، مؤلفه هاي جزر ومدي و ارتفاع ميانگين جزرومد، تعيين شده‌اند. به منظوركاربردي تر نمودن اين پايگاه داده ها و به كمك برنامه كامپيوتري ديگري، مساحت سطح لكه نفت و ضخامت آن بر حسب زمان و نيز ميزان تبخير، حل شدگي وامولسيون نفت محاسبه وارائه شده است. مقايسه نتايج حاصل از محاسبه سرعت باد، مولفه هاي جزر و مدي با داده هاي اندازه گيري و نيز ارتفاع متوسط آب با داده هاي يك تحقيق مشابه انطباق خوبي رانشان ميدهند*



*واژه‌های راهنما*: پخش و انتشار لكه هاي نفت، خليج فارس، پايگاه داده ها

## ۱- مقدمه

در فیزیک دریا مهم‌ترین پارامتر مؤثر هواشناسی که بر دریا اثر می‌گذارد عامل باد است. باد یک نیروی تنش برشي بر روی لایه‌های آب ایجاد می‌کند و این نیروی تنش برشي باعث حرکت لایه‌های آب روی هم می‌شود و جریان آب ایجاد مي گردد. بنابراین شناخت و مطالعه باد و به دنبال آن شناخت و بررسی جریان

[1] نويسنده مسئول، دانشجوي دكترا مكانيك، دانشگاه صنعتي اصفهان malbdr@cc.iut.ac.ir
[2] استاد، دانشكده مكانيك، دانشگاه صنعتي اصفهان

آب در حرکت و پیشروی لکه هاي نفتي مؤثر و مهم می‌باشد[۱]. اهمیت این موضوع از آن نظر مي باشد کـه از يك سو، انرژی که باعث حرکت آب می‌شود تحت تـاثیر سـه نیـروی بـاد، جـزر و مـد و اخـتلاف چگـالی مي باشد و از سوي دیگر چرخش آب در منطقه خلیج‌فارس به فصل و سال بستگي دارد و به شدت به میدان باد وابسته است. بنابراین يك شبیه سازي کامل مستلزم اندازه‌گیری یا دستیابي به پارامترهاي واقعي جریـان در تمام بازه زماني که نفت در آب ریخته شده و نیز اطلاع از تاثیرکلیه پارامترهاي انتشار واسـتهلاك نفـت، مي باشد[۱و۲]. اهمیت نیروی تنش باد باعث شده است که برای اندازه‌گیـری کمیـت‌هـای هواشناسـی روی سطح آب در مکان‌های مختلف در منطقه خلیج‌فارس ثبت داده‌های باد روی نقاط شبکه مهم باشد. بـه ایـن منظور از يك روش میانیابي[1] استفاده شده است [۳]. این روش از دقت خوبی برخوردار است و در واقع بـرای تولید و میانیابي داده‌های باد روی نقاط شبکه بر روی سطح خلیج‌فـارس کـاربرد مطلـوبي دارد. بـرای تولیـد داده‌های باد، از تعداد مشخصي ایستگاه هواشناسی ساحلی موجود در حوزه خلیج‌فارس که بـه طـور نـامنظم نسبت به شبکه قرار دارند استفاده نموده و اطلاعات هواشناسـي بـه شـبکه مسـئله بسـط داده شـده اسـت. داده‌های ثبت شده سرعت و جهت باد، مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی ساحلی براساس موقعیـت ایسـتگاه (طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع) مشخص شده اند.

در چند کار پژوهشي در حوزه خلیج فارس، مسئله انتشار موضعي نفت در نزدیکي برخـي جزایـر خلـیج فارس مورد بررسي واقع شده است. در یکي از این مطالعات، با استفاده از الگوریتم MPDATA کـه معمـولا براي جریانهاي جوي به کار میرود، شبیه سازي میعانات گازي در منطقه عسلویه، واقع در شمال خلیج فارس براي حوادث نفتي انجام شده است. در این پژوهش خصوصیات آب در عمق ثابت فرض شده و نتـایج اعتبـار دهي شده است[۴]. درکار دیگري بر روي خلیج فارس[۵] در نزدیکي جزیره سیري، صرفا اثرات تبخیر و نیز جزر و مد به صورت دو بعدي به روش اویلري با فرض آبهاي کم عمق، بررسي گردیده است. درمطالعه حاضر، از بعضي نتایج پژوهش اخیر به منظور اعتبار دهي استفاده شده است.

با توجه به مطالعات صـورت‌گرفتـه بـرای مدلسـازی پخـش نفـت در دریـا، عـلاوه بـر دانسـتن اطلاعـات سـرعت بـاد کـه در واقـع تولیـد مـوج مـی‌کنـد، پارامترهـای جزرومـدی بـرای پـیش‌بینـی جریـان‌هـای جزرومـدی و هندسـه بسـتر[2] و عمـق محـل مـورد مطالعـه و پارامترهـای مربـوط بـه شـوری، دمـا و چگالی[3] نیز مهم مـی‌باشـند کـه در ایـن پـژوهش ایـن پارامترهـا بـر روي شـبکه تعریـف شـده بـه دسـت آمـده انـد. پارامترهـای بـاد بـا اسـتفاده از روش Cressman و برنامـه تهیـه شـده اسـتخراج گردیـده و از طریـق مقایسـه بـا داده‌هـاي سـایت NOAA ، کـه دارای اطلاعـات روزانـه بـاد در کـل دنیـا مـی‌باشـد اعتبـاردهـي شـده‌اسـت. بـرای بـه‌دسـت‌آوردن عمـق و پارامترهـاي جزرومـدي، از داده‌هـا و نقشـه‌هـاي موجـود در سـازمان نقشـه‌بـرداري اسـتفاده شـده‌اسـت و در بعضـي نقـاط شـبکه (کـه اطلاعـات تجربـي آن‌هـا موجـود مـي‌باشـد)، پارامترهـای جزرومـدي بـا داده‌هـاي انـدازه‌گیـري‌شـده توسـط سـازمان نقشـه-برداري مقایسه و مقادیر خطا محاسبه‌شده‌اند.

---

[1] Cressman

[2] Bathymetry

[3] Salinity, Temperature and Density(S,T,D)

## ۲- پايگاه داده ها[1]

پايگاه داده ها شامل هندسه خليج فارس، داده هاي مربوط به سرعت و جهت باد در ايستگاه هاي از پيش تعيين شده با لحاظ نمودن اثرجزرو مد، مختصات موج واطلاعات زمان، حجم و مكان ريزش نفت مي باشد. در الگوريتم لاگرانژي، لكه نفت به تعداد زيادي شبكه كوچك تقسيم شده و يك مجموعه مختصات صفحه‌اي براي هر شبكه در نظرگرفته شده است. اين ذرات در محل لكه با نرخي برابر نرخ انتشار حركت مي‌كنند. به منظور فراهم نمودن اجراي مدل انتشار و پخش نفت، مراحل زير انجام پذيرفته است:

- ايجاد يك شبكه نقاط بر روي منطقه خليج فارس
- جمع آوري و تهيه داده‌هاي پيش‌بيني هوا شامل سرعت وجهت باد مربوط به چند ايستگاه هواشناسي در محدوده محل ريزش نفت و در همان محدوده زماني ريخته شدن نفت و بسط اطلاعات بر روي شبكه
- محاسبه ارتفاع و پريود موج ناشي از باد بر حسب سرعت باد و طول حوزه بادگير بر روي شبكه نقاط با استفاده از برنامه WAM[2]
- تعيين مولفه هاي هارمونيك جزر و مد در نقاط گره از طريق چارت [3] و اطلاعات موجود در سازمان نقشه برداري كشور، تعيين دامنه جزر و مد و جريانهاي ناشي از آن به وسيله نرم افزار تحليل جزر و مد[4]
- تهيه اطلاعات هندسي كف (بستر) حوزه مورد بررسي
- تهيه اطلاعات مربوط به شوري، دما و چگالي آب در نقاط گره
- دسته بندي اطلاعات باد، موج و جزر ومد شامل سرعت و جهت باد، طول حوزه بادگير ومدت وزش باد، ارتفاع و پريود موج ناشي از باد، دامنه جزر ومد و اطلاعات هندسي كف (بستر) حوزه مورد بررسي، شوري، دما و چگالي و بسط مجموعه اطلاعات بر روي شبكه نقاط

اطلاعات استخراج شده باد ، موج، ميدان هاي شوري، دما و چگالي، نه تنها مورد استفاده اين پژوهش به طور مستقيم قرار گرفته، بلكه به طور غير مستقيم، مي تواند توسط مدل اقيانوسي پرينستون POM به تعيين الگوي جريان منجر مي گردد.

### ۲-۱- تولید داده‌های باد روی نقاط شبکه

اندازه‌گیری‌های فیزیکی در نقاط خواسته‌شده به دلیل پراکنده‌بودن ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه خلیج فارس و عدم دسترسی به اطلاعات جوی در هر نقطه از منطقه ممکن نیست. به این دلیل، درون‌یابی، مهم و جزء اصول آنالیز در دو بعد می باشد. برای تولید داده‌ها در این پژوهش، از روش Cressman استفاده شده است. چون محیط واقعی یک محیط کروی است، این انتقال برای یک محیط کروی شبیه‌سازی شد. در ابتدا یک ماکزیمم فاصله برای هر نقطه شبکه تعریف کرده و کلیه داده‌های دیده‌بانی شده آن محدوده برای برآورد پارامتر فیزیکی در آن نقطه شبکه در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که فاصله ایستگاه‌ها تا نقطه

---

[1] Portal
[2] Wave Model
[3] Co-tidal chart
[4] Tidal stream analysis

مورد نظر شبکه یک خط راست نیست بلکه طول یک منحنی است که انحنای آن با انحنای کره زمین هما هنگ بوده و از رابطه زیر محاسبه گردیده است.

$$r_{i,j} = \cos^{-1}[\sin(glat)\times\sin(slat)+\cos(glat)\times\cos(slat)\times\cos(glon-slon)]\times earthradius \qquad (۱)$$

که $r_{i,j}$ فاصله دو نقطه s و g مربوط به ایستگاه‌هاي هواشناسی و نقاط گره ، $lat$ و $lon$ به ترتیب عرض و طول جغرافیایي مي باشد. سپس مقدار داده بر روی نقاط شبکه از روابط (۲) و(۳ )محاسبه شده است.

$$F_g = \frac{\sum_{i=1}^{n}(W_{i,j}\times F_o)}{\sum_{i=1}^{n}W_{i,j}} \qquad (۲)$$

$$W_{i,j} = \max(0,\frac{R^2-r_{i,j}^2}{R^2+r_{i.j}^2}) \qquad (۳)$$

که $F_g$ مقدار اطلاعات محاسبه شده بر روی نقطه شبکه، $F_o$ اطلاعات داده شده ایستگاه و $W_{i,j}$ ضریب وزنی آن ایستگاه نسبت به نقطه شبکه می‌باشد. اگر نقطه شبکه و ایستگاه بر هم منطبق باشند، تابع وزن $W_{i,j}$ برابر واحد مي باشد. این تابع وزن، يك تابع كاهشي نسبت به فاصله بوده و درصورتیکه $r_{i,j}$ بزرگتر از $R$ باشد، تابع برابر صفر خواهد بود. R يك ثابت[1] مي باشد كه در برنامه كامپيوتري تهيه شده، تعريف گرديده و خارج از آن، تاثير ایستگاه وجود ندارد و $r_{i,j}$ فاصله بین نقاط شبکه تا ایستگاه می‌باشد. این درونیابی دوبعدی بوده و روش اصلی مورد استفاده ECMWF [2] است. در پژوهش حاضر و به منظور به كار گيري در مدل WAM [۶ و۷ و۸] از این روش استفاده شده است. برای انجام این کار برنامه‌ای تهیه شده و اطلاعات برای نقاط شبکه به‌دست آمده‌اند.

## ۲-۲- پارامترهاي جزرومد

کل نیروی حاصل از جزر و مد برابر مجموع تعدادي حامل اصلی موج مي باشد. این مولفه های اساسی عبارتند از :

- مولفه هاي نيمروزانه $M_2$ براي كره ماه و $S_2$ براي كره خورشيد كه هردو پريودي حدود نصف روز و سرعتي قريب به $30^\circ/hour$ دارند.
- مولفه هاي روزانه $K_1$ و $O_1$ براي كره ماه با پريود حدود يك روز و سرعتي قريب به $15^\circ/hour$ .
- مولفه هاي روزانه $K_1$ و $P_1$ براي خورشيد، مولفه هاي $M_f$ و $M_m$ براي ماه، مولفه هاي $S_{sa}$ و $S_a$ براي خورشيد، داراي دامنه هاي نسبتا كوچك در مقايسه با ديگر مولفه ها بوده و در عمل، اغلب جدا كردن آنها از سري مشاهدات جزرو مدي بسيار مشكل است. در پژوهش حاضر مولفه هاي $M_2$، $S_2$،

[1] Influence Radius
[2] European Center for Medium –range Weather Forecasts

$K_1$ و $O_1$ بااستفاده از چارت هاي مربوط به پيش‌بيني جزرومد[۱] استخراج مي شوند. ايـن ثوابـت بعـلاوه مقداری ثابت كه بعنوان تصحيحي براي واردكردن جريانات فصلي در نظر گرفته مي‌شـود، مقـدار ارتفـاع ميانگين جزرومد را با توجه به رابطه زير بدست مي دهد. [۹]

$$ML = M_2 + S_2 + K_1 + O_1 + 0.15 \qquad (۴)$$

ايــن پارامترهــا در ۳۳۹ نقطــه شــبكه محاســبه شــده و جهــت اعتبــاردهي ايــن مقــادير از اطلاعــات انــدازه‌گيــري شــده در چهــار بنــدر بوشــهر، كنگــان، شــهيد رجــايي و لنگــه اســتفاده شــده اســت. در كــار حاضربراى اولين بـار از امـواج پيشـرونده كلـوين در تعيـين سـرعت جـزر و مـد در خلـيج فـارس اسـتفاده كــاربردي شــده اســت. ايــن اســتفاده بــه دليــل وضــعيت قــرار گيــرى خلــيج فــارس از لحــاظ فيزيكــي و هندسـي و نيـز زاويـه بـاد غالـب مـي باشـد. بـا اسـتفاده از اطلاعـات مولفـه هـاي جـزر و مـد در تئـوري امواج پيشرونده Kelvin ، سرعت افقي حاصل از جزر و مد به دست آمده است.

بستر خليج فارس در اينجا به صورت يک مستطيل با عمق ثابت $h = 35\,\mathrm{m}$، پهنای $L = 300\,\mathrm{Km}$ و عرض جغرافيايی $\phi = 27^{\circ}$ در نظر گرفته شده است و مدل امواج جزرومدی بر امواج پيشرونده Kelvin منطبق گرديده است[۱۰]. براي خليج فارس با عمق متوسط ۳۵ متر، محاسبه پارامتر $kh$ ( $k$ مدول عدد موج و $h$ عمق متوسط آب)كه قدرت تاثيرات عمق را اندازه گيري مي كند ( $kh \approx 0.9 < 3.0$ )، نشان مي دهد كه خليج فارس آب كم عمق ميباشد (Hasselmann-1981) [۱۱]. در مرز های صلب، از سرعت در جهت عمود بر مرز ( y ) صرفنظر شده است (شكل ۱) و خواهيم داشت:

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial y \partial t} - f\frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \qquad , \qquad y = 0, L \qquad (۵)$$

بنابراين، معادله حاكم براى $\eta$ (ارتفاع موج Kelvin) در حالت عمق ثابت بصورت زير خواهد بود[۱۰]:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left\{\left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} + f^2\right)\eta - C_0^2 \nabla^2 \eta\right\} = 0 \qquad (۶)$$

و حل موج كه بر حسب x وt پريوديک است از طريق رابطه ۷ قابل تعريف مي باشد.

$$\eta = \mathrm{Re}\,\overline{\eta}(y)\, e^{i(kx - \sigma t)} \qquad (۷)$$

كه $\overline{\eta}(y)$ دامنه موج مختلط می‌باشد كه با مختصات y تغيير می‌كند. با جايگزينی رابطه (۷) در (۵) معادله حاصل برای $\overline{\eta}$ بصورت زير بدست می‌آيد.

$$\frac{d^2 \overline{\eta}}{dy^2} + \alpha^2 \overline{\eta} = 0 \ , \ \alpha^2 = \frac{\sigma^2 - f^2}{C_0^2} - k^2 \qquad (۸)$$

$$\frac{d\overline{\eta}}{dy} + f\frac{k}{\sigma}\overline{\eta} = 0 \qquad , \quad y = 0, L \qquad (۹)$$

حل عمومی (۸) بصورت زير خواهد بود:

$$\overline{\eta} = A \sin \alpha y + B \cos \alpha y \qquad (۱۰)$$

با استفاده از كاربرد شرايط مرزی (۹) در $y = 0$ و $y = L$ دو معادله همگن برای A وB خواهيم داشت:

[1] Admiralty Method of Tidal Prediction NP 159

$$\alpha A + \frac{fk}{\sigma} B = 0 \qquad (۱۱)$$

$$A\left\{\alpha \cos \alpha L + \frac{fk}{\sigma} \sin \alpha L\right\} + B\left\{\frac{fk}{\sigma} \cos \alpha L - \alpha \sin \alpha L\right\} = 0 \qquad (۱۲)$$

که دارای مقادیر ویژه زیر می‌باشند:

$$(\sigma^2 - f^2)(\sigma^2 - C_0^2 k^2) \sin \alpha L = 0 \qquad (۱۳)$$

با انتخاب حل درحالت $\sigma^2 = C_0^2 k^2$، این حل نقش مود $n = 0$ برای نشان دادن آثار چرخش را دارد و بنام موج Kelvin خوانده می‌شود. در کار حاضر، انتشار موج در جهت مثبت x مورد توجه قرار گرفته است و لذا:

$$\alpha^2 = -\frac{f^2}{C_0^2} \quad , \alpha = \pm \frac{if}{C_0} \qquad (۱۴)$$

در اینجا با انتخاب $\alpha = \frac{if}{C_0}$، میدان دینامیکی بصورت زیر معرفي شده است:

$$\eta = \eta_0 e^{-fy/C_0} \cos(k[x - C_0 t] + \varphi) \qquad (۱۵)$$

$$u = \frac{\eta_0}{h} C_0 \; e^{-fy/C_0} \cos(k[x - C_0 t] + \varphi) = -\frac{g}{f}\frac{\partial \eta}{\partial y} \qquad (۱۶)$$

$$v = 0 \qquad (۱۷)$$

که $\eta$ ارتفاع موج Kelvin، $f$ عامل کوریولیس، $\eta_0$ دامنه موج، $C_0 = \sqrt{g \cdot h}$ سرعت انتشار موج، $y$ فاصله ازدیواره (شکل ۱)، $\sigma = C_0 k$ فرکانس زاویه ای موج، $\phi$ فاز، $x$ فاصله از مبدأ درجهت طول و $h$ عمق متوسط دامنه محاسباتي می باشند. ارتفاع سطح آب و سرعت جزر و مدي در سري زماني ريخته شدن لكه نفت، با توجه به كاربرد تئوري امواج پيشرونده Kelvin به وسيله برنامه اي كه تهيه شده است بدست آمده و با نتايج ديگران مقايسه شده است ( شكل هاي ۲و۳). در اين پژوهش، بخشي از سرعت افقي جريان كه حاصل از جزر و مد مي باشد، به عنوان جمع آثار مولفه هاي اصلي $M_2$، $S_2$، $K_1$ و $O_1$ بدست آمده است.

$$u = \sum_{j=1}^{4} u_j \quad , \quad \eta = \sum_{j=1}^{4} \eta_j \quad , \quad j = Main \;\; Constituents \qquad (۱۸)$$

$$\eta_{water\ surface\ level} = \sum_{j=1}^{4} \; [\eta_{0\,j} . e^{\frac{-f\,y}{C_0}} \; \cos\left(kx - \sigma\; t + \varphi_j\right)] \qquad \text{j, used for } M_2, S_2, K_1 \;\&\; O_1 \qquad (۱۹)$$

$$u_{tidal\ stream} = \sum_{j=1}^{4} \; [(\eta_{0\,j} C_0 / h). e^{\frac{-f\,y}{C_0}} \; \cos\left(kx - \sigma\; t + \varphi_j\right)] \qquad \text{j, used for } M_2, S_2, K_1 \;\&\; O_1 \qquad (۲۰)$$

در كار حاضر، ارتفاع متوسط آب و سرعت جزر و مدي با استفاده از اصل جمع آثار از روابط (۱۹) و(۲۰) بدست آمده است. در اين روابط، $\eta_{0\,j}$ و $\varphi_j$ به ترتيب دامنه و فاز مولفه هاي غالب انتخاب شده در هر گره مي باشد. بدين سبب، ايده استفاده از تئوري امواج پيشرونده Kelvin در خليج فارس، تحقيق و اعتبار دهي شده است.

## ۲-۳- عمق، شوري، دما و چگالي آب

عمق نقاط مختلف خليج فارس با استفاده از داده‌هاي با مقياس ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ گرفته‌شده از سازمان نقشه‌برداري در نقاط مختلف شبكه به‌دست آمده‌است. مقادير شوري، دما و چگالي آب نيز از طريق داده هاي اندازه گيري شده در چند مكان تهيه و مجددا با استفاده از روش Cresman براي نقاط شبكه ميانيابي شده است.

## ۳- مدل مسيريابي دوبعدي به عنوان كاربرد پايگاه داده ها

ريزش نفت در نزديكي جزيره سيري با موقعيت عرض جغرافيايي ۲۸/۸۸ درجه شمالي و طول جغرافيايي ۵۴/۴۸ درجه شرقي و در ماه فوريه سال ۱۹۹۵ در نظر گرفته شده و پايگاه داده ها براي اين موقعيت آماده گرديده است. 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 که به توصیه مراجع، در حدود ۲ پریود جزر و مدی کامل می باشد ، مرحله گرم شدن مدل [۱] 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 مد ضعیف[۲] و قوی[۳] 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، حداقل طول زمانی بیش از ۷ روز برای شبیه سازی حاصل می گردد. در تحقیق حاضر زمان شبیه سازی ۱۲ روز با احتساب زمان گرم شدن مدل انتخاب گردیده است.

در مدل لاگرانژي تك ذره اي دو بعدي كه در كار حاضر استفاده شده است، شبيه سازي مسير لكه نفت تحت تاثير انتشار و استهلاك لكه در حوزه خليج فارس و در نزديكي جزيره سيري مورد بررسي قرار گرفته است. به تاثيرات ثقلي، اينرسي، لزجت و كشش سطحي، ميدان باد، مؤلفه سرعت افقي با توجه به اثرات جريان آب، باد و جزر ومد در هنگام بررسي پديده انتشار توجه شده و نيز اثر پديده هاي تبخير، امولسيون و حلاليت به عنوان پارامتر هاي غالب استهلاك لحاظ گرديده است.

## ۱-۳- پديده انتشار بر روي سطح آب

در اين تحقيق، براساس رابطه Lehr و همكاران -۱۹۸۴، [۱۲] معادله‌ي انتشار به عنوان توسعه فرمول Fay از طريق رابطه (۲۱ )به دست آمده است.

---

[1] Warm up
[2] Neap
[3] Spring

$$A = 2270\Delta^{2/3}.V^{2/3}.t^{1/2} + 40\Delta^{1/3}.V^{1/3}.U_{wind-10m}^{4/3}.t \qquad (۲۱)$$

كه A مساحت لكه نفتي ، V كل حجم لكه نفت، $\Delta = (\rho_w - \rho_o)/\rho_o$ ، $\rho_w$ چگالي آب، $\rho_o$ چگالي نفـت، $U_{wind-10m}$ سرعت باد در۱۰ متري بالاي سطح آب و t زمان مي‌باشد. در اين مدل، سطح اوليه لكه به شـبكه هاي كوچك تقسيم شده و خصوصيات جابه جايي براي هر نقطه شبكه محاسبه شده و سـرعت جابـه جـايي براي هر نقطه $\vec{U}(U_x, U_y)$ به صورت زير و با لحاظ نمودن آثار باد، موج و جزر و مد محاسبه گرديده است:

$$\vec{U} = k_t \vec{U}_{tide} + k_w(\vec{U}_{wind} + \vec{U}_{wave}) \qquad (۲۲)$$

كه $\vec{U}_{wind}$ و $\vec{U}_{wave}$ به ترتيب سرعت باد و سرعت موج مـي باشـد و در حالـت كلـي جهـت بردارهـاي آنهـا منطبق نمي شوند. $U_{tide}$ سرعت جريان در اثر جزر و مد مي باشـد. $k_t$ عامـل جـزر و مـد[1] و $k_w$ عامـل بـاد مي باشد. مجموع $(\vec{U}_{wind} + \vec{U}_{wave})$ بر مبناي سرعت بـاد در ۱۰ متـري بـالاي سـطح آب يعنـي $\vec{U}_{wind-10m}$ و ضريب $k_w$ تعريف مي شود.

$$\vec{U} = k_t \vec{U}_{tide} + k_w \vec{U}_{wind-10m} \qquad (۲۳)$$

$k_t$ ضريب جريان بوده و چون سرعت جريان، سرعت سطحي است، $k_t$ برابر يك انتخاب گرديـده اسـت. $k_w$ ضريب جريان دريفت بوده و ۰/۰۳ انتخاب شده است.

## ۳-۲- پديده نفوذ اغتشاش افقي

جابجايي افقي هرنقطه شبكه درهر قدم زماني توسط روابط زيربدست آمده است :

$$S_h = [R]_0^1 \sqrt{12 D_h \Delta t} \qquad (۲۴)$$

$$X = X_0 + U_x \Delta t + S_h \cdot \cos\theta \qquad (۲۵)$$

$$Y = Y_0 + U_y \Delta t + S_h \cdot \sin\theta \qquad (۲۶)$$

$$\theta = 2\pi [R]_0^1 \qquad (۲۷)$$

كه $[R]_0^1$ يك عدد تصادفي درمحدودة صفر تا يك است. $D_h$ ضريب نفـوذ افقـي و $\theta$ زاويـه جهـت بـوده و فرض می‌شود به طور يكنواخت واتفاقی در فاصله ۰ تا ۲$\pi$ توزيع شود. همچنـين $X_0$ و $Y_0$ موقعيـت اوليـه لكه نفت، $X$ و $Y$ جابجايي هاي هرنقطه و $\vec{U}(U_x, U_y)$ سرعت هاي افقي انتشار درجهات x وy ميباشـند. از اين طريق، مختصات $x$ و $y$ ذرات نفت درهرقدم زماني و سپس شكل و مسير لكـه نفـت تعيـين گرديـده است.

## ۳-۳- استهلاك نفت تحت تاثير پديده هاي تبخير، حلاليت و امولسيون

پديده تبخير بلافاصله پس از ريزش نفت اتفاق مي‌افتد. در اين مطالعه از روشMackay-1980 [۱۳]كه يك تئوري تك مؤلفه‌اي براي محاسبه نرخ تبخير مي باشد استفاده شده است.

---

[1] Tidal factor

$$F_{ev}=(\frac{\alpha_{ev}}{C}).[\ln P_0+\ln(C.K_E.t+1/P_0)] \quad (۲۸)$$

که $F_{ev}$ در صد نفت تبخير شده، $\alpha_{ev}$ ، ضريب تصحيح براساس تشكيل ذرات معلق (امولسيون) و ساير فرآيندهاي آب و هوايي است. $k_E=0.0025U_{wind}^{0.78}A.v/(R.T.V_0)$ ، A مساحت سطح ريزش نفت، $v$ حجم مولي، R ثابت گازها ، T دماي سطح نفت و $V_0$ حجم اوليه نفت ريخته شده است. براي تعيين فشار بخار اوليه $P_0$ در دماي $T_E$ و ضريب C بر اساس انديس نفت از روابط (۲۹) و(۳۰) استفاده شده است.

$$\ln P_0=10.6(1-T_0/T_E) \quad (۲۹)$$

$$C=1158.9API^{-1.1435} \quad (۳۰)$$

برخي از اجزاء نفت، علاوه بر تبخير در داخل ستون آب حل مي‌گردند. گرچه كاهش حجم نفت تحت تأثير حل‌شدگي ناچيز است، اما آثار محيطي آن مهم مي‌باشد. در اينجا روش Cohen-1980 [۱۴] استفاده شده است. در اين روش، نرخ حلاليت از رابطه (۳۱) محاسبه مي‌گردد.

$$F_{dis}=k_d AS \quad (۳۱)$$

که $F_{dis}$ كل نرخ حلاليت لكه نفت ، $k_d$ ضريب انتقال جرم، $A$ مساحت سطح لكه و $S$ درجه حلاليت نفت در آب مي‌باشد. تحت تأثير موج، قطرات آب ممكن است به داخل نفت نفوذ نموده و امولسيون آب-در- نفت ايجاد كند. فرآيند امولسيون توسط سرعت باد، ضخامت لكه، دماي محيط و ... تحت تأثير قرار مي‌گيرد. تغييرات تدريجي محتويات آب بر روي سطح با استفاده از پيشنهاد Rasmussen-1985 محاسبه شده است[۱۵].

$$F_{em}=\left(1-e^{-k_A k_B(1+U_{wind-10m})^2 t}\right)/k_B \quad (۳۲)$$

که $F_{em}$ ، ميزان محتويات آب از طريق امولسيون بوده و $k_A$ و $k_B$ اعداد ثابت مي‌باشند كه به ترتيب $۴/۵\times ۱۰^{-۶}$ و ۱/۲۵ در نظر گرفته شده اند.

## ۴- نتايج

توليد پايگاه داده‌ها شامل اطلاعات مربوط به سرعت و جهت باد، اطلاعات مربوط به ارتفاع و پريود موج، مولفه هاي دامنه و فاز جزرومدي ، ارتفاع متوسط آب و سرعت افقي جزر و مد و عمق مربوط به نقاط شبكه‌بندي خليج فارس از نياز هاي اوليه مورد استفاده در اين پژوهش مي‌باشند. برخي از پارامترها به منظور اعتبار دهي در شرايط واقعي اندازه‌گيري شده اند. سرعت باد از طريق روش Cressman بر روي شبكه محاسبه شده و با داده هاي سايت NOAA مقايسه گرديده است (جدول ۱). همانطور كه ملاحظه مي‌شود كمترين مقدار خطا، برای نقاط شمالی خليج فارس ۸/۶ درصد و بيشترين مقدار خطا براي نقاط جنوبی ۴۵/۳ درصد است كه اين روند قابل پيش‌بيني بوده و دليل آن عدم دسترسي به اطلاعات مربوط به جنوب خليج فارس مي‌باشد. براي تكميل اين نقيصه مي توان اطلاعات باد مربوط به ايستگاه‌هاي حوزه جنوبي

خليج فارس در سمت كشور هاي عربي را در صورتيكه تهيه آنها امكان پذير باشد، جهت افزايش دقت مقادير مربوط به سرعت باد در نقاط شبكه اعمال نمود. همانگونه كه قبلا ذكر شد، جدول شماره ۱ نتـايج حاصـل از محاسبات را در سال ۱۹۹۵ نشان مي دهد كه با مقادير نمونه حاصل از سايت NOAA مقايسه شده انـد. در تحقيق حاضر، چهار مولفه هارمونيكي $M_2$ ، $S_2$ ، $K_1$ و $O_1$ كه ازطريق جـداول جـزرو مـد Admiralty بـه دست آمده اند با اطلاعات استخراج شده در چهار بندر بوشهر، كنگان، شهيد رجايي و لنگه مقايسـه وجـدول بندي شده اند. جدول۲ به عنوان يك نمونه، مقايسه داده‌هاي مربوط به دامنه و فاز مولفه هاي جزرومدي در بندر بوشهر را ارائه نموده است. براي مقايسه داده‌هاي جزرومدي در كـل شـبكه، بيشـينه و كمينـه خطـاي مقادير محاسبه شده با داده هاي اندازه گيري دراين چهار بندر، بـه جـدول شـماره ۳ مراجعـه شـود. ارتفـاع متوسط سطح آب بر اثر جزر ومد و سرعت افقي جريان آب در نزديكي جزيره سيري در مدت ۱۲ روز( ۶ روز قبل و ۶ روز بعد از حادثه با احتساب زمان گرم شدن) در خليج فارس با استفاده از تئوري امـواج پيشـرونده Kelvin محاسبه و با نتيجه مشابه ارائه شده [۵] با استفاده از نگرش اويلري مقايسه شده (شكل هـاي ۳و۴) كه انطباق خوبي ملاحظه مي شود. در مدل لاگرانژي تك ذره اي دو بعدي كه در كار حاضـر اسـتفاده شـده است، شبيه سازي مسير لكه نفت تحت تاثير انتشار و استهلاك لكه در حوزه خليج فارس در نزديكي جزيـره سيري مورد بررسي قرار گرفته است. به تاثيرات ثقلي، اينرسي، لزجت، ميدان باد، مؤلفه سرعت افقي با توجه به اثرات جريان آب، باد و جزر ومد در هنگام بررسي پديده انتشـار توجـه شـده و نيـز تبخيـر، امولسـيون و حلاليت به عنوان پارامتر هاي غالب استهلاك لحاظ شده است. در شكل۵، تغييرات ضخامت لكه نفتـي پـس از۵۲ ساعت از ۱۴ ميلي متر به ۴ ميلي متر كاهش يافته و با نتـايج نـرم افـزار ADIOS مقايسـه شـده انـد. همانطور كه در اين شكل ملاحظه مي شود، نتايج اين مدل نسبت به نتايج نرم افزار ADIOS ، ضخامت لكـه را مقدار كمتري پيش بيني مي كند زيرا اساس نرم افزار ADIOS بر فرمول هاي تجربي و اندازه گيري هـاي ميداني بنا نهاده شده و پارامترهاي بيشتري در راستاي پخش و نفوذ لحـاظ مـي شـود. در مـدل حاضـر بـر مبناي فرمول Lehr و توسعه فرمول Fay مساحت و ضخامت لكه پيش بيني مي شـود. شـكل ۶ بـه مقايسـه ضريب تنظيم مساحت سطح لكه نفتي در خليج فارس در طي ۷۲ ساعت مي پردازد. با انتخاب اين ضريب به ميزان ۶/۳ انطباق مناسبي حاصل ميشود. در جدول ۴ و شـكل ۷، مقايسـه ميـزان اسـتهلاك نفـت در اثـر تبخير، حلاليت و امولسيون پس از ۵۲ ساعت از ريـزش نفـت ارائـه شـده اسـت. همـان طـور كـه ملاحظـه مي گردد، درصد تبخير و معلق شدن نفت پس از ۵۲ ساعت به ترتيب ۸/۸ و ۸/۶ در صد نفت باقي مانـده در سطح، در همان گام زماني بوده و درصد نفـت حـل شـده تقريبـا صـفر ميباشـد. بنـابراين حلاليـت از ميـان پارامترهاي استهلاك قابل صرفنظر بوده و ميزان تبخير و امولسيون بـه نسـبت نفـت باقيمانـده، بـه جـز در ساعات اوليه، از يك رسته برخوردار ميباشند. البته نرخ تغييرات تبخير به دليل تبخيـر سـريع اجـزاء سـبك نفت در ساعات ابتدايي بيشتر مي باشد و سپس كند ميگردد و بر عكس، نرخ تغييرات امولسـيون در سـاعات ابتدايي كمتر و سپس به دليل افزايش تاثير اجـزاء باقيمانـده نفـت كـه سـنگين تـر مـي باشـند سـريع تـر مي گردد . شكل ۸، جابه جايي و مسير بخشي از لكه نفتي در صفحه افق در طول ۵۲ ساعت را با توجـه بـه نمايش راستاي باد غالب در شكل ۲ ارائه نموده است. اين جابه جايي بـه ميـزان ۳۲/۱ كيلـومتر در راسـتاي ۳۲۲/۵ تا ۳۳۷ درجه در راستاي شمال غربي- جنوب شرقي نشان داده شده است[۱۶]. شكل هـاي ۹ و ۱۰

به ترتيب ميزان تغييرات نفت باقيمانده بر روي آب و ميزان تبخير نفت از سطح آب (به عنوان غالبترين پديده استهلاك) بر حسب زمان، پس از گذشت ۵۲ ساعت براي سه نوع نفت سبك، معمولي و سنگين در حوزه خليج فارس را نشان مي دهد. چنانچه ملاحظه مي گردد، نفت سبك تر(API بزرگ تر) با نرخ سريعتري تبخير مي شود.

## ۵- جمع بندي و نتيجه گيري

مدل تهيه شده قادر به پيشگويي مسير لكه نفت، تعيين مساحت سطح و ضخامت لكه، در صد نفت تبخير شده، حل شده و امولسيون شده و نيز تعيين ميزان نفت باقيمانده بر روي سطح آب مي باشد. به دليل تاثيرات بسيار جزئي استهلاك نفت در اثر پديده حل شدن، مي توان از اين پديده صرفنظر نمود. چنانچه بررسي هاي كوتاه مدت تغييرات لكه نفت در مقياس ساعت مورد نظر باشد، پديده غالب تبخير بوده و هر دو پديده تبخير و امولسيون در بررسي هاي ميان مدت در مقياس هفته بايد لحاظ شود. با توجه به اينكه دامنه حل، آب كم عمق مي باشد و نيز به دليل هندسه خليج فارس، دقت پيشگويي به تعيين دقيق مولفه هاي جزر و مد وابستگي زيادي خواهد داشت. بنابراين، ارائه كاربردي مدلسازي مسيرحركت نفت كه در اين تحقيق به آن پرداخته شده است، مي تواند نقش موثري در چگونگي جمع آوري آن ايفا نمايد. در واقع، اين پيشگويي با در نظرگرفتن تاثيرات ميدان باد و جزر و مد و با تعيين مساحت سطح، ضخامت و مسيرلكه نفت مي تواند به تهيه يك سناريوي جمع آوري لكه از روي آب منجر گردد. بنابراين به طور خلاصه مي توان تحقيق حاضر را در حوزه خليج فارس، از جنبه هاي زير زمينه ساز پژوهش ها ي بعدي دانست:

- ايجاد امكان استفاده از ميدان باد و موج واقعي و نيز مصنوعي در تعيين الگوي جريان
- استفاده كاربردي از امواج پيشرونده كلوين در تعيين سرعت جزر و مد در خليج فارس
- اجرا و كاليبراسيون يك مدل هيدرودناميكي، مقايسه با نتايج حاصل ازتئوري امواج پيشرونده كلوين وتعيين الگوي جريان با در نظر گرفتن هندسه سه بعدي خليج فارس

خارج ازحل يك مسئله عددي، ارتباط تنگاتنگ با مسائل محيط زيست دريايي درطي توسعه حوزه هاي نفتي و انتقال نفت به منظور مديريت بركنترل آثار مخرب زيست محيطي، براهميت اين پژوهش مي افزايد.

## مراجع

[۱] بدري، محمد علي، معرفي مكانيزم هاي مهم جهت پيش بيني نحوه پراكندگي نفت حاصل از رها سازي مداوم، دومين همايش ملي علوم و فناوري هاي زيردريا، صفحه ۲۱۳-۲۲۱ ، اصفهان، آذر (۱۳۸۲) .

[۲] عظيميان، احمد رضا، بدري ، محمد علي، مولويان جزي، مهدي، رفيعي، مصطفي، مدلسازي مقدماتي پديده هاي انتشار و استهلاك لكه نفت بر روي سطح آب تحت تاثير برخي مكانيزمهاي موثر، پانزدهمين كنفرانس سالانه مهندسي مكانيك،ISME2007 ، صفحه ۵۴۵-۵۴۶، تهران، ارديبهشت (۱۳۸۶) .

[3] Yamamoto, J. K., An Alternative Measure of the Reliability of Ordinary Kriging Esti-

mates, Mathematical Geology, Vol.32, pp. 489-509, (2002).

[4] Habibi, S., Torabi Azad, M., and Bidokhti, A.," A Numerical Model for the Prediction of Movement, Gas Condensate from Spill Accidents in Assalouiyeh Marine Region (Persian Gulf)", Indian Journal of Marine Science, Vol. 37(3), pp. 233-242, (2008).

[5] Sabbagh Yazdi, S. R.," Coupled Solution of Oil Slick and Depth Averaged Tidal Currents on Three-dimensional Geometry of Persian Gulf ", International Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 2, No. 4, pp. 309-317, (2006).

[6] Hasselmann S., Hasselmann, K., Bauer, E., Janssen, P., Cardone, V. C., and Reisad, M. "The WAM Model, A Third Generation Ocean Wave Prediction Model", Journal of Physics Oceanography, Vol. 1, pp. 1775-1810, (1988).

[7] WMO, "Guide to Wave Analysis and Forecasting", No. 702, Secretariat of Word Meteorological Organization, Geneva, (1988).

[8] Mellor, G. L., User Guide for a Three-dimensional Primitive Equation", Numerical Ocean Model, Program in Atmospheric and Oceanic Science, Princeton University, Princeton (2004).

[9] Tides and Tidal streams, Admiralty Manual of Hydrographic Surveying, Vol. 2, chapter 2, pp. 134b(2), (1969).

[10] Pedlosky, J., *"Geophysical Fluid Dynamics"*, 2nd Edition, Springer-Verlag, pp. 75-80, (1992).

[11] Komen, G. J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., and Janssen P.A.E.M.," *Dynamics and Modeling of Ocean Waves*", Cambridge Univ. Press, pp. 156, (1995).

[12] Lehr, W. J., Cekirge, H. M., Fraga, R. J. and Belen, M. S., "A New Technique to Estimate Initial Spill Site using a Modified Fay-type Spreading Formula", Marine Pollution Bulletin, Vol. 15, pp. 326-329, (1984).

[13] Mackay, D., and Matsugu, R.S., " Evaporation Rates of Liquid Hydrocarbon Spills on Land and Water", Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 51, pp. 434–439, (1973).

[14] Cohen, Y., Mackay, D., and Shiu, W.Y., "Mass Transfer Rates Between Oil Slicks and Water", Journal of Chemical Engineering, Vol. 58, pp. 569-574, (1980).

[15] Rasmussen, D., 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, (1985).

[16] Badri, M.A., and Azimian, A. R., "An Oil Spill Model for Northern Persian Gulf Waters", 12th Asian Congress of Fluid Mechanics (12ACFM), 18-21 August Daejeon, Korea, (2008).

## فهرست نمادهاي انگليسي

A : مساحت لكه نفتي برحسب مترمربع

$A$ : دامنه موج

API : انديس مربوط به نوع نفت

$C$ : ضريب وابسته به انديس نفت

$C_0$ : سرعت انتشار موج

$D_h$ : ضريب نفوذ افقي

$f$ : عامل كوريوليس

$F_{dis}$: كل نرخ حلاليت لكه نفت

$F_{em}$ : محتويات آب درنفت از طريق امولسيون

$F_{ev}$: در صد حجم نفت تبخير شده

$F_g$ : اطلاعات داده شده بر روی نقطه شبکه

$F_o$ : اطلاعات داده شده ايستگاه

$h$ : عمق متوسط دامنه محاسباتي

$K_1$: مولفه جزر ومد روزانه براي كره ماه

$k_A$ : عدد ثابت

$k_B$ : عدد ثابت

$k_d$ : ضريب انتقال جرم

$k_t$ : عامل جزر و مد

$k_w$ : عامل باد

$lat$ : عرض جغرافيايي نقطه مورد نظر در شبكه

$lon$ : طول جغرافيايي نقطه مورد نظر در شبكه

$M_2$ : مولفه جزر ومد نيمروزانه براي كره ماه

$ML$ : ارتفاع متوسط سطح آب

$O_1$ : مولفه هاي روزانه براي كره ماه

$P_0$ : فشار بخار اوليه نفت

R : ثابت گازها

$[R]_0^1$ : يك عدد تصادفي درمحدودة صفر تا يك

$r_{i,j}$ : فاصله دو نقطه s و g در شبكه محاسباتي

$S$ : درجه حلاليت نفت در آب

$S_2$ : مولفه جزر ومد نيمروزانه براي كره خورشيد

T : دماي سطح نفت

t : زمان

$U_x$ : سرعت افقي انتشار درجهت x

$U_y$ : سرعت افقي انتشار درجهت $y$

$U_{tide}$ : سرعت افقي جريان آب در اثر جزر و مد

$U_{wind}$ : سرعت باد در ۱۰ متري بالاي سطح آب

V : كل حجم لكه نفت

$V_0$ : حجم اوليه نفت ريخته شده

$W_{i,j}$ : ضريب وزنی ایستگاه نسبت به نقطه شبکه

$x$ : فاصله از مبدأ درجهت طول

$y$ : فاصله ازديواره

$X$ : جابجايي هرنقطه در راستاي محور طول

$X_0$ : موقعيت اوليه لكه در راستاي محور طول

$Y$ : جابجايي هرنقطه در راستاي محور عرض

$Y_0$ : موقعيت اوليه لكه در راستاي محور عرض

## فهرست نمادهاي يوناني

$\alpha_{ev}$ : ضريب تصحيح براساس تشكيل ذرات معلق

$\phi$ : فاز

$\varphi_j$ : فاز مولفه جزر و مدي مربوطه در هر گره

$\eta$ : ارتفاع موج كلوين

$\overline{\eta}(y)$ : دامنه موج مختلط

$\eta_{0j}$ : دامنه مولفه جزر و مدي مربوطه در هر گره

$v$ : حجم مولي

$\sigma$ : فركانس زاويه ای موج

$\theta$ : زاويه جهت

$\rho_w$ : چگالي آب

$\rho_0$ : چگالي نفت

# جدولها

جدول۱- مقايسه سرعت باد بدست آمده از روش Cressman و سايت NOAA در نقاط نمونه، فوريه۱۹۹۵

| رديف | مختصات مكان مورد مقايسه | | مقادير محاسبه شده از طريق برنامه كامپيوتري | مقادير بدست آمده از سايت NOAA | خطا (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|
| | عرض جغرافيايي | طول جغرافيايي | | | |
| ۱ | ۲۸ | ۵۱ | ۱/۳۵ | ۱/٤۷۷ | ۸/٦ |
| ۲ | ۲۷/۵ | ۵۱ | ۱/۳٦۲ | ۱/۷۲ | ۲۰/۸ |
| ۳ | ۲۷ | ۵۰ | ۱/۳۳٦ | ۱/۵۸ | ۱۵/٤ |
| ٤ | ۲۷ | ۵۲ | ۱/۱٦۷ | ۱/۷ | ۳۱ |
| ۵ | ۲٦/۵ | ۵۱ | ۱/۳۷۱ | ۱/۷۲ | ۲۰/۳ |
| ٦ | ۲٦/۵ | ۵۳ | ۱/۰۲۷ | ۱/۷۳ | ٤۰/٦ |
| ۷ | ۲٦/۵ | ۵٤/۲۵ | ۰/۹۵۲ | ۱/۷ | ٤٤ |
| ۸ | ۲۵/۵ | ۵۵ | ۰/۹۲۹ | ۱/۷ | ٤۵/۳ |

جدول۲- مقايسه داده‌هاي مربوط به دامنه و فاز مولفه هاي جزرومدي در بندر بوشهر و نقطه متناظر آن در شبكه

| پارامترهاي جزرومدي | $M_2$ | | $S_2$ | | $K_1$ | | $O_1$ | | ML |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | فاز | دامنه | فاز | دامنه | فاز | دامنه | فاز | دامنه | |
| مقدار اندازه گيري شده | 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 |
| (%) خطا | ۰/۶ | ۸/۸۲ | ۱/۲۹ | ۳/۶ | ۰/۸۹ | ۱۸/۳۷ | ۲/۹۳ | ۳/۲ | ۱/۲۷ |



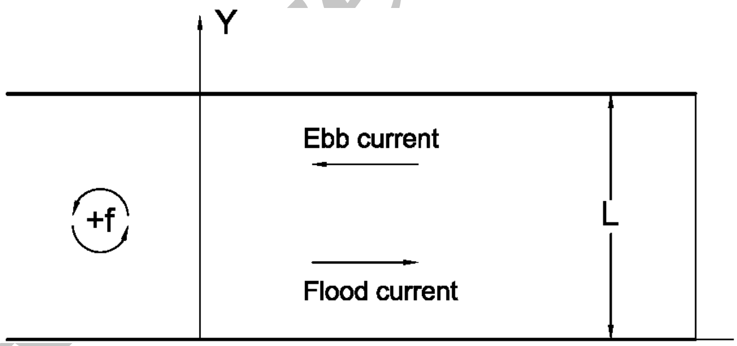
جدول۳- بيشينه وكمينه خطاي محاسباتي در مقايسه با مقادير اندازه گيري شده براي دامنه و فاز مولفه هاي جزرومدي در بنادربوشهر، كنگان، رجايي و لنگه

| پارامترهاي جزرومدی | M2 | | S2 | | K1 | | O1 | | ML |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | فاز | دامنه | فاز | دامنه | فاز | دامنه | فاز | دامنه | |
| (%)بيشينه خطا | ۱۵/۲ | ۱۴/۱ | ۲۱/۱ | ۲۷/۵ | ۱۹/۸ | ۱۸/۴ | ۲۰/۷ | ۲۳/۴ | ۱۸/۹ |
| (%)كمينه خطا | ۰/۶ | ۰ | ۱/۳ | ۳/۶ | ۰/۸۹ | ۱/۸ | ۲/۹ | ۲/۹ | ۱/۳ |

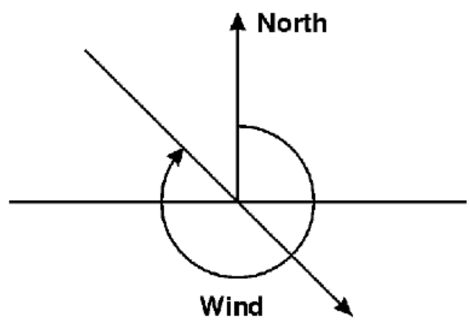
جدول۴- نسبت استهلاك نفت در اثرتبخیر، حلالیت و امولسیون به نفت باقیمانده در گام هاي زماني

| ردیف | زمان (ساعت) | نفت تبخیر شده به کل نفت ریخته شده (%) | نفت حل شده به کل نفت ریخته شده (%) | نفت امولسیون شده به کل نفت ریخته شده (%) |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۵ | ۱۰/۲ | ۰/۰۰۱ | ۱ |
| ۲ | ۱۰ | ۱۰/۷ | ۰/۰۰۲ | ۲ |
| ۳ | ۱۵ | ۱۰/۱ | ۰/۰۰۴ | ۲/۹ |
| ۴ | ۲۰ | ۹/۳ | ۰/۰۰۶ | ۳/۸ |
| ۵ | ۲۵ | ۸/۸ | ۰/۰۰۸ | ۴/۶ |
| ۶ | ۳۰ | ۸/۷ | ۰/۰۱۰ | ۵/۵ |
| ۷ | ۳۵ | ۸/۶ | ۰/۰۱۱ | ۶/۳ |
| ۸ | ۴۰ | ۸/۵ | ۰/۰۱۳ | ۷/۱ |
| ۹ | ۴۵ | ۸/۴ | ۰/۰۱۴ | ۷/۸ |
| ۱۰ | ۵۰ | ۸/۳ | ۰/۰۱۴ | ۸/۶ |

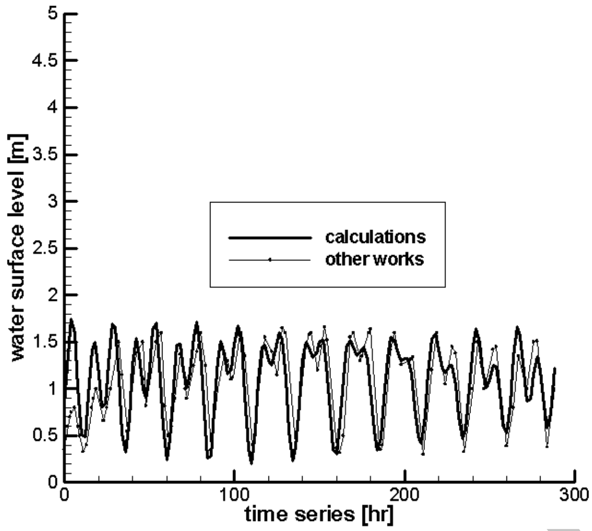
## شکلها



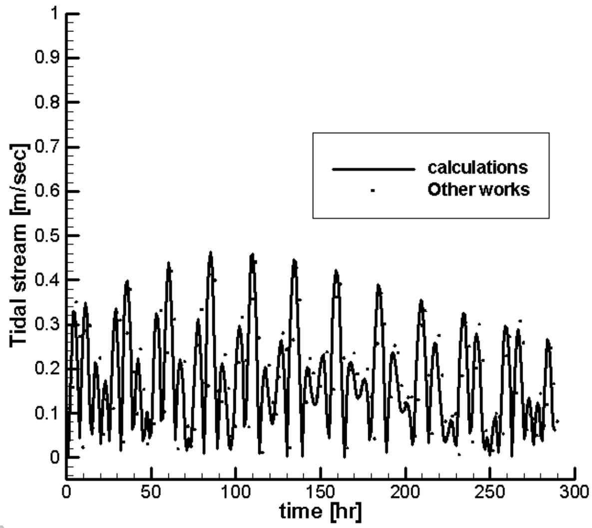

شکل ۱- مدلسازي خلیج فارس و انطباق آن بر امواج پیشرونده کلوین در استفاده از مدل امواج جزر و مدی



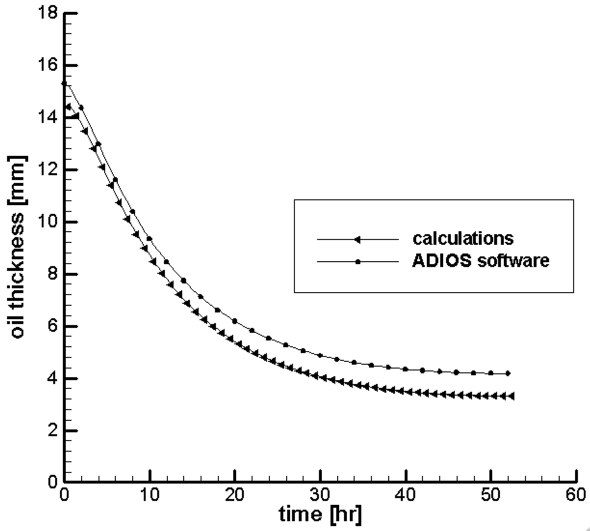

شکل۲- نمایش جهت باد غالب در خلیج فارس



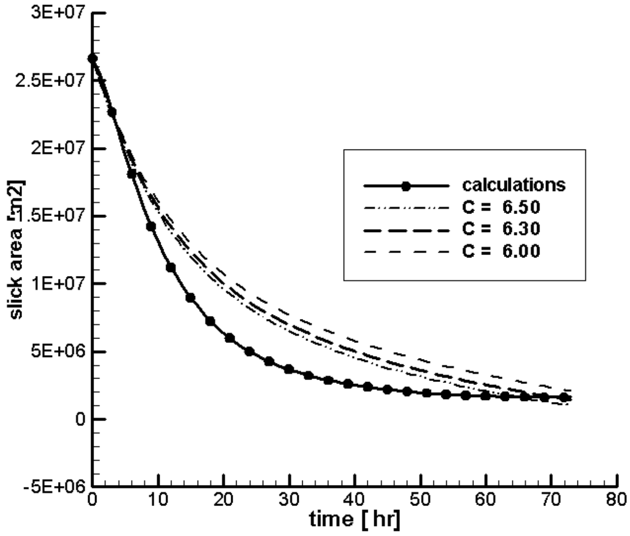

شکل۳- سري زماني ارتفاع سطح آب در نزديکي جزيره سيري



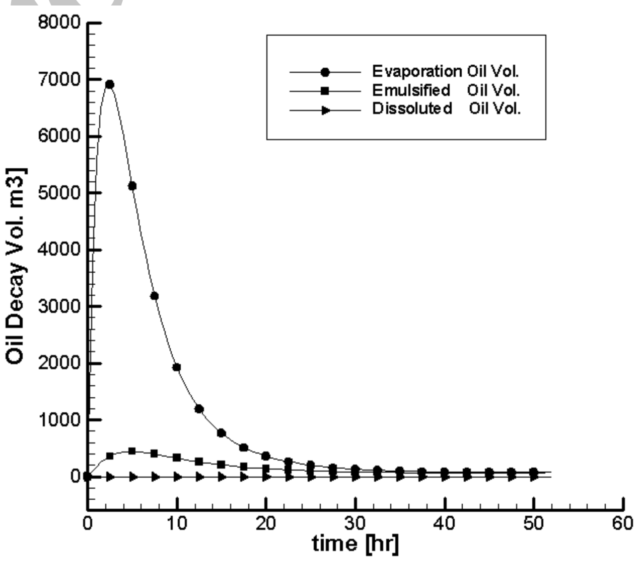

شکل۴- سري زماني سرعت لايه سطحي آب در نزديکي
جزيره سيري در طول ۱۲ روز



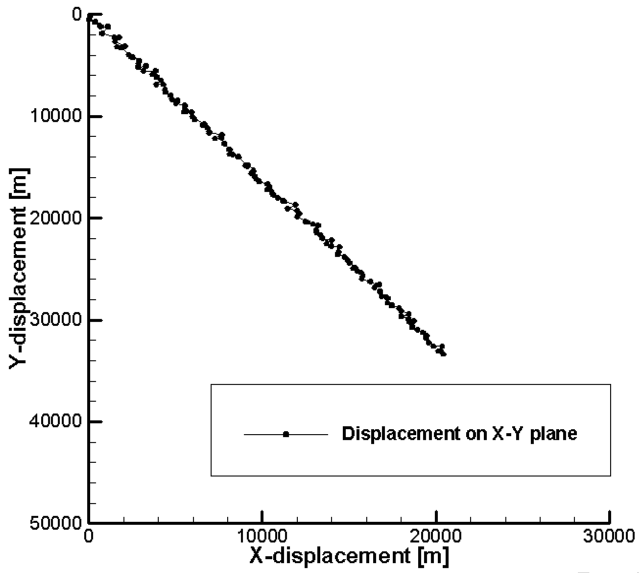

شکل۵- تغییرات ضخامت لكه نفتي در طي ۵۲ ساعت



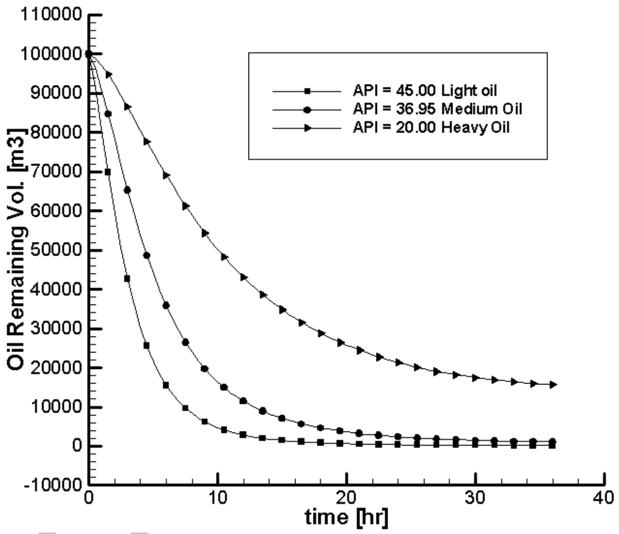

شکل۶- مقايسه ضريب تنظيم مساحت سطح لكه نفتي در خليج فارس



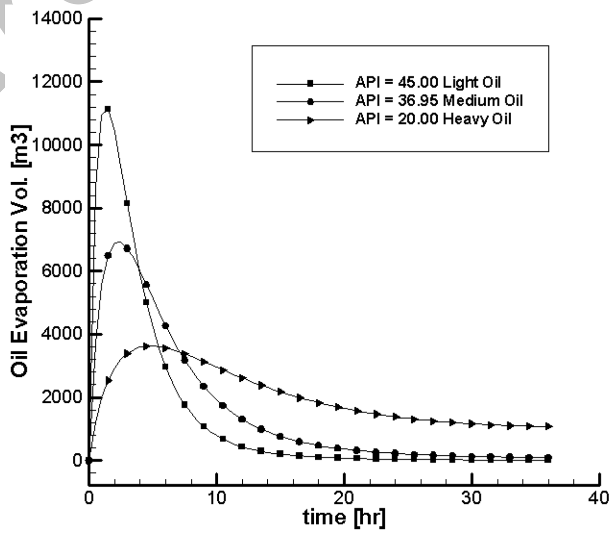

شکل ۷- مقايسه ميزان استهلاك نفت در طي ۵۲ ساعت




شکل۸- مسيرلکه نفتي درصفحه افق درطي۵۲ ساعت




شکل ۹- ميزان نفت باقيمانده بر روي آب در طي ۳۶ ساعت براي سه نوع نفت




شکل ۱۰- ميزان تبخير نفت ازسطح آب درطي ۳۶ ساعت براي سه نوع نفت

## Abstract

The transport and fate of spilled oil in water bodies are governed by physical, chemical and biological processes that depend on the environmental conditions such as wind, wave, water current, turbulent diffusion, salinity and temperature. Oil spill models usually determine oil movements by vectorial summation of surface current, tidal stream, wind and wave fields and turbulent diffusion. As flow pattern in Persian Gulf is very complicated, it is necessary to obtain water current and tidal stream by measurements or a hydrodynamic model to superimpose wind and wave effects based on an experimental relation.

Here, water current and wind-induced velocities are taken into account to develop a 2-D trajectory model for prediction of oil slick motion. So, a portal including bathymetry, wind field, tidal constituents, oil and water characteristics have been provided for the northern of Persian Gulf waters. Firstly, meteorological data including wind velocity and direction from cynoptical stations, have been interpolated by Cressman analysis and an in-house program in whole grids. Then, latitude, longitude, wind velocity, wave height and period, amplitude and phase of constituents and mean water surface level in grids have been determined.

The portal is then, applied to obtain time series of oil surface area and thickness, oil evaporation, oil dissolution and oil emulsification. Sample simulations for oil spill are presented and a comparison of wind and tide data and water surface level for the domain of solution with the observed data and numerical results shows good conformity.