

## پیش بینی مدل های عددی از حرکت لکه نفتی در خلیج فارس

شهلا حبیبی واحد زنجانی

دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد علوم و تحقیقات تهران (عهده دار مکاتبات)

مسعود ترابی آزاد

گروه فیزیک دریا، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال

علی اکبر بیدختی

موسسه ژئو فیزیک ، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۸۵/۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۸۴/۱۰/۱۵

### چکیده

در این نوشتار، مدل‌های عددی پیش بینی حرکت لکه نفت ناشی از ریزش اتفاقی در خلیج فارس که در داخل و خارج از کشور مطالعه شده است، بررسی می شود. معادلات حاکم بر حرکت لکه نفت، معادلات ناویراستوکس، پیوستگی و معادله انتقال غلظت است و سایر معادلات حاکم بر فرآیندهای موثر بر حرکت و خواص نفت بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که پارامترهای اصلی موثر در معادله انتقال، ترم تعادل جرمی (منبع چشمه و چاه) و ضرایب پخش افقی و عمودی بوده و در معادله تبخیر، پارامترهای فشار بخار نفت و ضریب انتقال جرم و در معادله پخش عمودی، پارامترهای ارتفاع موج و خواص نفت (چگالی و ویسکوزیته) دارای اهمیت است. اعداد بدون بعد به کار رفته در معادلات ضریب انتقال تبخیر، و پخش عمودی غلظت به ترتیب عدد اشمیت و عدد ریچاردسون است. با توجه به مطالعات انجام شده، مدل ایده آل سه بعدی جهت پیش بینی حرکت لکه نفت و لکه میعانات گازی در خلیج فارس پیشنهاد می گردد که، نتایج اولیه مدل با توجه به تئوریهای معتبر و سایر مطالعات در توافق بوده است. مقادیر و جهت ذرات نفت و میعانات گازی در ترازهای مختلف طی ۵۵ ساعت بررسی شده است. در مدل سه بعدی، از تقریب بوسینسک و معادلات لپیس استفاده شده است و تقریب هیدروستاتیک بکار نرفته است. جهت بررسی میدان جریان از روش اویلری که در آن سرعت سیال در هر نقطه در هر زمان تعیین می شود، استفاده شده است.

واژه های کلیدی: مدل عددی، لکه نفت، خلیج فارس، عدد ریچاردسون، عدد اشمیت

### مقدمه

ریزش نفت به مدل‌های پیش بینی جوی، وابسته است. خلیج فارس در عرض جغرافیایی  $30^{\circ}N - 24^{\circ}$  و طول جغرافیایی  $56^{\circ}E - 48^{\circ}$  واقع شده است شکل شماره (۱). طول خلیج فارس ۹۹۰ کیلومتر و پهنای آن، ۲۰۰-۳۰۰ کیلومتر است. مساحت سطحی آن به طور تحلیلی  $10^5 \times 2/39$  کیلومتر مربع، میانگین حجم  $10^3 \times 8/63$  کیلومتر مکعب و میانگین عمق ۴۰ - ۳۵ متر است، حداکثر عمق خلیج فارس ۱۰۰ - ۹۸ متر نزدیک دهانه تنگه هرمز است. هشت کشور، در حاشیه خلیج فارس وجود دارد که بیشترین ساحل را ایران دارد که

اهمیت ارتباط زیست محیطی دریایی با ریزشهای نفت و زیانهای ناشی از آن، به توسعه مدل‌های عددی هدایت شده است که انتقال و سرنوشت لکه های نفت را پیش بینی می کند. طی ۲۵ سال گذشته، مدل‌های ریزش نفت از مدل‌های مسیر یابی دو بعدی تا مدل‌های سه بعدی شامل فرآیندهای موثر بر سرنوشت و انتقال و سرنوشت را در مکان و زمان نشان می دهد، تهیه می شود. اکثر مدل‌ها روش تعادل جرمی را به کار می برند که حجم نفت اتلاف شده، حجم باقیمانده در سطح و ستون آب و خط ساحلی و بستر را در اثر فرآیندها نشان می دهد. مدل

تحت تأثیر جریانهای محلی که توسط خود خط ساحلی منحرف می شود، قرار می گیرد. همانطور که نفت به خط ساحلی می رسد، فرآیندهای پخش آشفستگی نیز ممکن است به دلیل کاهش طولهای اختلاط کم شود. اما در بخش نزدیک تر ساحل، فرآیندهای پخش ممکن است درباره به دلیل تمرکز انرژی، در منطقه شکست، افزایش یابد. جهت شناخت و پیش بینی حرکت لکه نفتی توسط مدل‌های ریاضی در خلیج فارس، مطالعات گسترده ای صورت گرفته است که بطور مفصل به توضیح در خصوص این مدل‌های ریاضی پرداخته خواهد شد.

### آشنایی با مدل‌های ریاضی حرکت و سرنوشت لکه نفت در خلیج فارس

#### - مطالعات انجام شده در ایران

آقای عباسپور و اقبال فر (۱۳۷۵ شمسی) مدل عددی شبیه سازی نشت در خلیج فارس را ارائه دادند [۱]، که شامل مدل‌های تبخیر، پخش و پراکندگی، مدل تشکیل قطره، مدل پراکندگی قطره، مدل پراکندگی نفت در سطح دریا، مدل شبیه سازی جزرو مد و باد به کار رفته است که، در مدل انتقال جریانهای دریایی ناشی از جزر و مد و باد (جریان اکمن) مورد نظر بوده و از جریانهای شیبی و جریانهای چگالی صرف نظر شده است. جریانهای جزرومدی، با حل معادلات بقای جرم و ممانت برای آبهای کم عمق بدست آمده و با کمک مدل‌ها مسیر حرکت نفت و سرنوشت آن تعیین شده است. در کاربرد با معادلات آب کم عمق (با در نظر گرفتن معادله فشار هیدرواستاتیک)، از ویسکوزیته تلاطمی و شرایط جوی صرف نظر شده است و فرض شده است که چگالی در امتداد عمودی یکنواخت باشد. شرایط مرزی چنین است که، سرعت عمودی روی هر مرز خشکی، برابر صفر و ارتفاع آب در مرزهای باز، از اطلاعات جزرومدی است. در مدل جزرومدی، از روش اجزاء محدود استفاده شده است. مدل‌ها نتیجه می دهد که (۱) ترکیب و تبخیر و پخش شدن نفت، (۲) تداخل لکه نفت در دریا و تشکیل قطرات نفت (۳) پراکندگی قطرات نفت در ستون آب

شامل ایران، عراق، عربستان، بحرین، کویت، امارات، عمان و قطر است. مهمترین عوامل فیزیکی خلیج فارس در ارتباط با تأثیرات آلودگی دریایی، طبیعت نیمه بسته و کم عمقی آن و قرار گرفتن در سرزمینهای خشک<sup>۱</sup> از سمت غرب است. طبیعت نیمه بسته آن بدین معنی که یک نسبت پایین تبادل آب (تا ۵ سال) دارد و قسمتهای وسیعی از آن شدید ترین شوری و دما را تجربه می کند که، تأثیر قابل توجه در محیط دریایی دارد. ساختار اصلی و مهم دریایی، حالت پی در پی حرکت آن است. شرایط جوی و محیط دریایی و نوع ساحل منطقه مورد نظر در ارتباط با حرکت و پخش نفت ریزش شده در دریا بسیار تأثیر گذار بوده و آگاهی از عوامل حاکم جوی و دریایی با توجه به فصول مختلف در منطقه ضروری است. علاوه بر باد، جریان یکی از فاکتورهای اصلی در آنالیز مسیریابی آلوده کننده برای محیط دریایی است که می بایست به دقت درک شود. جریانها، باعث جا به جایی عناصر آب و در نتیجه موجب جا به جایی آلاینده ها شده که داخل یا شناور در آب قرار دارد.

میدانهای جا به جایی به جریانهای دریایی اشاره می کند که توسط مدل‌های جریان هیدرودینامیک و بقاء جرم شبیه سازی می شود. فرآیندهای فعال سطحی، جریانهای واقعی یا انتقال ممانت که به باد بستگی دارند، توسط فاکتور رانش باد توجیه می شود. آشفستگی ژئوفیزیکی (موثر بر حرکت نفت) اساساً به ترمهای غیر خطی جا به جایی مربوط می شود که، در معادله ناویراستوکس رخ می دهد. فرآیندهای آشفستگی، در پخش و اختلاط طولی عمل می کنند و پخش مولکولی با معرفی ضرائب تلاطمی یا ضریب پخش آشفستگی مطرح می شود. کاربرد ضرائب تلاطمی، فوق العاده در نمایش فرآیندهای گسترده و اختلاط در قلمروهای طبیعی ژئوفیزیکی مفید است. فرآیندهای جا به جایی می گوید که، آلوده کننده به کجا می رود، اما فرآیندهای پخش و گسترده می گوید وقتی آنجا رسید به چه صورت خواهد بود. نفت وقتی به خط ساحلی می رسد،

در شرایط مرزی، سرعت عمود بر مرز صفر و به دلیل تأثیرات شدید بستر در نواحی کم عمق ساحلی، سرعت جریانهای دریایی با اعمال سرعت برشی جایگزین شد. بررسی نتایج نشان می دهد که، در وضعیت عمق ثابت، با اعمال اثر تبخیر و اثر چرخش زمین و بدون اعمال توزیع باد، با توجه به هندسه مرزهای ساحلی و تحت اثر نوسانات آب در تنگه هرمز (تولید شده توسط نرم افزار آنالیز هارمونیک)، جریانات جزرومدی دریایی در خلیج فارس به خوبی توسط مدل تدوین یافته محاسبه و شکل می گیرند. مدل عددی توسعه یافته قادر است انتقال و پخش آلودگی نفت در سطح خلیج فارس را مورد پیش بینی قرار دهد. مدل، حرکت نفت بر روی سطح دریا را مدنظر قرار داده و مسائل مربوط به نفوذ ذرات نفت در ستون آب، فرآیندهای حلالیت، امولسیون مطرح نشده است. تصاویر شماره ۲ تا ۱۲، موقعیت خلیج فارس، شبکه بندی، نوسانات سطح آب، بردارهای سرعت و پراکندگی لکه نفت در مجاورت جزیره خارگ، مربوط به مدل رانشان می دهد.

#### مطالعات انجام شده در خارج از کشور

پیر دانیل<sup>۱</sup> از هواشناسی فرانسه (۱۹۹۲ میلادی)، مدل عددی حرکت لکه نفت در خلیج فارس از ۲۵ ژانویه تا اول فوریه سال ۱۹۹۱ میلادی ناشی از ریزش نفت حدود ۸۰۰۰۰۰ تن در سواحل کویت را ارائه داد [۳]. مدل، شامل یک مدل دو بعدی هیدرودینامیک با کاربرد معادلات غیر خطی آب کم عمق (معادلات حرکت و پیوستگی) با روش تفاضل محدود صریح است که، با توجه به جریان سطحی آب (فاکتور اصلی)، تنش باد، گرادیانهای فشار جو و اصطکاک کف (درجه دوم) و ترمهای غیر خطی جا به جایی، مقادیر سرعتهای جریان سطحی را تعیین می کند. در این مدل، اثرات بارو کلینکی، برای پیش بینی گردش دریای پیرودهای چند روز در خلیج فارس در نظر گرفته نشده است. گردش عمومی خلیج فارس در مدل، بوسیله یک حلقه سیکلونی

(۴) تشکیل و پراکندگی لکه های کوچک بر اثر اغتشاش در دریا در پیش بینی نشت نفت موثر است. طبق مدل پخش و تبخیر، تغییرات و مقدار حجم نفت باقیمانده بر سطح آب، به عواملی مانند سرعت باد و درجه حرارت آب دریا و زمان پس از نشت بستگی دارد. طبق مدل پراکندگی، مقدار حجم نفت پراکنده شده، وابسته به سرعت باد و حالت دریا بوده و با تغییرات شرایط محیطی، مقدار آن کم یا زیاد می شود. مدل میزان نفوذ مواد نفتی در عمق آب را در نظر گرفته است.

آقای سید رضا صباغ یزدی (۲۰۰۱ میلادی)، مدل دو بعدی جزر و مدی پراکنش نفت در خلیج فارس را با حل معادلات میانگین عمقی، بر روی شبکه اجزای بدون ساختار ارائه داد [۲]. بطوریکه، از نتایج آنالیز هارمونیک که نوسانات جزر و مدی بر روی پراکنش نفت در سطح حوزه خلیج فارس از طریق حل عددی معادلات میانگین عمقی به همراه معادله انتقال و پراکنش مواد شناور شبیه سازی شد. در این معادلات، پدیده آشفتگی جریان، از طریق منظور نمودن عبارت های پخش در نظر گرفته شد. با توجه به پیچیدگی های هندسی محیط جریان در مسائل واقعی، برای گسسته سازی محیط از شبکه های اجزای بدون ساختار مثلثی (شبکه های المان های محدود) استفاده شده است. کاربرد روش گرهی گالرکین در گسسته سازی معادلات حاکم که، حل عددی معادلات مورد نظر را در دستگاه مختصات متعامد کارتزین (بدون احتیاج به انتقال فضای انحنایی) ممکن می سازد، بکار برده شده است (به جای اجزای مثلثی شبکه، از یال های آن استفاده شد). در مدل، اثر باد مدنظر نبوده و جریانات دریایی و نوسانات سطح آب که عمدتاً تحت تاثیر جریان های حاصل از شرایط مرزی جزر و مدی، گردش زمین و تبخیر از سطح دریا شکل می گیرد در نظر گرفته شده است. در شرایط اولیه، مولفه های سرعت جریان، در جهت مثبت، در راستای اصلی مختصات ناچیز برابر ۰/۰۰۰۱ کیلومتر بر ساعت و عمق متوسط اولیه ۳۰ متر منظور شده است. در کلیه نقاط، تبخیر و دمای هوا (کل سطح) یکسان فرض شد

است، در مدل، فرض شده است که، ریزش های سطحی نفت، با همان سرعت جریانهای ناشی از باد حرکت می کند که، این فرض برای لکه های نازک مناسب است. مدل، حرکات بویه های شناور را طی قلمرو محاسبه شبیه سازی می کند. مقایسه مسیرهای محاسبه شده و مشاهده شده بویه ها، نتایج معقولی را نشان می دهد. نتایج شبیه سازی، علاوه بر محدودیت داده های متغیر باد، مناسب بوده است. خطاهای کوچک اولیه به دلیل ضعف دقت در الگوهای گردش در ناحیه مرکزی خلیج است. در مدل دوم، کاربرد فرمول تجربی (به نام روش فاکتور رانش باد)، مانند مدلهای ریزش نفت، سرعت جا به جایی ریزش نفت را در سطح دریا مجموعه ای از سرعت باد و سرعت جریان میانگین شده به عمق، به دلیل سایر نیروها مانند جزرومد است. نتایج تجربی بویه های شناور، برای تخمین سرعت جریان سطحی ناشی از باد و زاویه انحراف بکار رفته است. روش تجربی نشان می دهد که، در مدلهای پیش بینی مسیریابی، حرکات سطحی نفت موفقیت آمیز است. این روش، با توجه به فرضیات می توان نتیجه گرفت که:

- اثرات باد و جریان در یک ریزش سطحی به طور مستقل عمل می کند و می تواند به عنوان یک جمع برداری سرعتها بیان شود،  
 - سرعت ریزش نفت ناشی از باد، یک کسر کوچکی از سرعت باد است. علاوه بر آن، جهت حرکت ریزش نفت در یک زاویه غیر صفر (زاویه انحراف) نسبت به جهت باد بدلیل نیروی کوریولیس است. مدل مقدارفاکتور رانش باد بین  $0.06 - 0.1$  ( $0.35$ )، زاویه انحراف بین صفر و  $25$  درجه در نظر گرفته است و فاکتور رانش جریان، به دلیل حذف جریانهای جزرومدی و جریانهای ناشی از چگالی در میانه خلیج، صفر در نظر گرفته شده است. مدل نشان می دهد که، زاویه انحراف سریعاً با افزایش سرعت باد، کاهش می یابد (با توجه به سرعت باد  $10$  و  $20$  نات). برای سرعت باد، بزرگتر از  $30$  نات سرعت نفت ریزش شده ناشی از باد موازی با باد است که با مشاهده ها، مناسب است. در مدل حرکت ذرات نفت

رانده شده توسط بادهای شمالی غربی که سراسر سال غالب است، مشخص شده است. مدل دوم، مدل لکه نفت است که موقعیت لکه را مشخص می کند و لکه نفت را به صورت بسته های مستقل (روش لاگرانژی) در نظر می گیرد. در مدل، دو مدل جوی جهانی میدان باد و میدان فشار در سطح دریا معرفی شده است. مدل، فرآیندهای فیزیکی مانند گسترش، تبخیر، حلالیت و غیره را در نظر نگرفته است. شرایط مرزی، در مرزهای ساحل، مولفه عمودی سرعت صفر است و در مرزهای باز، ارتفاع سطح دریا معادل با جا به جایی بارومتريک بدلیل انحراف فشار سطحی از یک مقدار میانگین تعیین شده، تنظیم شده است ( $1013.25$  hPa). دانیل از مقایسه داده های مدل با مشاهدات مربوط به گزارش رسانه ها نتیجه گرفت که شبیه سازی مدل برای حرکت لکه نفت در خلیج فارس نسبتاً خوب است.

آل<sup>۱</sup> را به (۱۹۹۳ میلادی)، مدل عددی انتقال سطحی نفت ریزش شده در خلیج فارس را ارائه داد [۱۰]. مطالعه مدل، شامل قسمت اول که مدل مسیریابی نفت با کاربرد داده های بویه های شناور گشت مونت میشل<sup>۲</sup> است که، انتقال سطحی نفت ریزش شده، به فواصل  $24$  ساعت، با داده های سرعت میانگین باد روزانه را شبیه سازی می کند که نتایج نشان می دهد، مدل دقت مناسبی داشته است. در قسمت دوم، فرمول تجربی، براساس روش فاکتور رانش که انتقال سطحی ریزش نفت را به دلیل رانش ناشی از باد را تخمین می زند. از مدل سه بعدی هیدرودینامیک، جریانهای سطحی در شرایط خاص باد بدست آمده است. محل مطالعه ابوصفا<sup>۳</sup> در میانه خلیج است. در این مدل، جریانهای ناشی از چگالی و جزرومد نادیده گرفته شده است، بدلیل اینکه جریانهای جزرومدی تأثیر کمی بر انتقال خالص برای پریودهای بیشتر از  $24$  ساعت را سبب می شود و از طرفی جریانهای ناشی از چگالی و گرمایی در قسمت های اصلی خلیج، کوچک

1-Ala Al-Rabeh  
 2-Mitchell Cruise  
 3-Abu Safah

- مولفه های سنگین نفت با چگالیهای بیشتر از چگالی آب به کف دریا فرو می رود مادامی که مولفه های سبک تبخیر می شوند یا درون آب محلول می شوند.
- مدل بخوبی می تواند سرعت محو<sup>۱</sup> را بخصوص برای نفت خام کویت پیش بینی کند و مقادیر نفت فرورفته درون آب، تبخیر شده یا محلول شده، حجم، مساحت، ضخامت لکه و ترکیب ریزش نفت را در مقابل زمان تعیین کند.
- مقدار رسوب به روش و تعداد شبه مولفه های نفت خام حساس است.
- از خواص مهم آب در تعیین حلالیت نفت، غلظت شوری محتوی آب است.

آل را به و همکارانش (۲۰۰۰ میلادی)، مجموعه نرم افزاری مدل عددی پیش بینی حرکت و سرنوشت نفت ریزش شده در خلیج فارس را ارائه دادند [۴]. این مجموعه، شامل مدل های مسیره های ساده، ریزش های بزرگ مقیاس و ریزش های کوچک مقیاس (محلی) است. مدلها بر اساس مدل سه بعدی هیدرودینامیک خلیج فارس است و فرآیندهای تبخیر، امولسیون، پخش توسط موج در ستون آب، به ساحل نشست (احتمال برگشت به درون ستون آب) و گستردگی مکانیکی را شامل می شود. امتیاز اصلی این مجموعه این است که، مدل هیدرودینامیک، خاص منطقه خلیج فارس است و ضعف مجموعه در این است که، مدلها، محدود به محل خاص است و برای کاربرد سایر مناطق نیاز به کالیبره دوباره دارد. در مدل سرعت نفت، با یک کسر معینی از سرعت باد در یک زاویه معین نسبت به جهت راست باد تعیین می شود. مدل، جریان ورودی اروندرود را در نظر گرفته و با روش مونت کارلو<sup>۲</sup> آلودگی به تعداد زیادی از بسته های لاگرانژی هم اندازه تقسیم می شود. سرعت عمودی آب به دلیل کوچکی حذف شده است. جریان جزرومد و سایر جریانها در انتقال نفت مورد نظر بوده است. در

- به ستون آب و سایر فرآیندهای موثر بر نفت مانند تبخیر، حلالیت و غیره بررسی نشده است.
- آقای محمد ریاضی از دانشگاه کویت (۱۹۹۶ میلادی)، مدل عددی سرعت های تبخیر و حلالیت را برای نفت ریزش شده در دریا ارائه داد. نمونه های مورد آزمون، نفت خام اهواز و نفت سفید پالایشگاه تهران بوده است. آزمایشها در دمای ۱۶ تا ۴۰ درجه سانتیگراد و شوری صفر تا شش درصد وزنی انجام شد. نتایج حاصل از آزمایش ها بیانگر آن بود که:
- سرعت حلالیت تحت شرایط معمولی سطح دریا تقریباً ۰/۱ درصد سرعت تبخیر است.
- حلالیت با دما افزایش و با غلظت شوری کم می شود
- سرعت تبخیر شدیداً به وزن مولکولی نفت، ضخامت لکه نفت و دما وابسته است.
- معادلات ضرائب انتقال جرم با توجه به نوع نفت برای تبخیر و حلالیت مناسب است.
- با توجه به نتایج بدست آمده مدل برای پیش بینی سرنوشت نفت مناسب است. تصاویر شماره ۲۶ تا ۲۸ مربوط به مدل محمد ریاضی است.
- آقای ریاضی (۱۹۹۹ میلادی)، مدل عددی دیگری برای سرعت های تبخیر، حلالیت و رسوب گذاری (فروروی) مولفه های نفت را، با توجه به ضخامت متغیر لکه نفت در مقابل زمان، ارائه داد. نمونه های مورد آزمون، نفت خام و چهار محصول نفتی کویت بود. ورودی های مدل، شامل تقطیر (یا ترکیب) نفت، چگالی API نفت، حجم اولیه و مساحت اولیه نفت ریزش شده، دمای جو، سرعت باد و سرعت سطحی آب و پارامتر قابل تنظیم ضریب انتقال جرم تبخیر برای انواع نفت خام است. محدودیت اصلی مدل، این است که نفت به عنوان یک شبه مولفه منفرد بررسی شده است. این فرض برای کسری از محصولات نفت یا محدوده نقطه جوش پایین صحیح است، اما، برای نفت خام یا محصولات با محدوده نقطه جوش بالا صحیح نمی باشد. مدل، فرآیندهای تجزیه، پخش، گسترش، امولسیون موثر در تبخیر و اعمال موج موثر در رسوب را در نظر نگرفته است. در پایان نتایج نشان داد که:

1-Disappearance  
2-Monte Carlo

طی شده بدلیل پخش افقی) بصورت معادله زیر محاسبه می شود:

$$D_h = R\sqrt{2K_h\Delta t} \quad (۲)$$

که در آن  $(K_h)$  ضریب پخش افقی،  $(R)$  عدد تصادفی بین صفر و یک است.

در حالت عمودی، برای یک مرحله زمانی  $(\Delta t)$ ، حرکت (مسافت طی شده بدلیل پخش عمودی) بصورت معادله زیر است:

$$D_v = (2R-1)\sqrt{2K_v\Delta t} \quad (۳)$$

که در آن  $(K_h)$  ضریب پخش عمودی است. قطر بحرانی  $(d_c)$ :

$$d_c = \frac{9/52v^{2/3}}{g^{2/3}(1-\rho_o/\rho)^{18v}} \quad (۴)$$

برای قطر کوچک نفت  $d \leq d_c$  برای قطر کوچک نفت ، سرعت عمودی برابر است با :

$$W = (gd^2(1-\rho_o/\rho)/18v) \quad (۵)$$

برای قطر بزرگ نفت  $d > d_c$  ، سرعت عمودی برابر است با :

$$W = [(8/3)gd(1-\rho_o/\rho)]^{1/2} \quad (۶)$$

نیروی شناوری به چگالی و اندازه ی قطرات و سرعت عمودی وابسته است [۷].

در فرمولهای (۴) ، (۵) ، (۶) ،  $(v)$  گرانیوی ،  $(\rho_o)$  چگالی نفت و  $(\rho)$  چگالی آب دریا است. معمولاً ۷۰ - ۶۵ درصد قطرات نفت در سطح دریا باقی می ماند.

### پخش عمودی (سرعت درون آمیختگی)

سرعت درون آمیختگی که تابع نوع نفت، انرژی موج شکسته و دما بوده، طبق رابطه زیر است [۵] و [۶]:

$$Q(d) = K_{en} D_{ba}^{0.57} S_{cov} F_{wc} d^{0.7} \Delta d \quad (۷)$$

که در آن  $(d)$  اندازه ذره به متر  $(m)$  ،  $(\Delta d)$  فاصله اندازه ذره به متر  $(m)$  ،  $Q(d)$  سرعت درون آمیختگی ذرات نفت با اندازه های ذره در فاصله  $(\Delta d)$  اطراف  $(d)$  به کیلوگرم بر متر مربع ثانیه  $(kg/m^2s)$  ،  $(K_{en})$  ،

مدل از مدل مکی ، نفت به لکه نازک و ضخیم تقسیم شده و تبخیر و پخش بطور جداگانه برای هر کدام بررسی می شود. مدل فرض کرده است که، مولفه های سبک فوراً تبخیر شده که مولفه ضخیم با در نظر گرفتن فشار بخار است. توقف فرآیند تبخیر ، رسیدن کسر تبخیر به حداکثر کسر مولفه سبک (نازک) از نفت اصلی و توقف فرآیند امولسیون با جذب آب حداکثر ۸۰ درصد است (نفت شامل تاربال می شود) . توقف فرآیند پخش در مدل وقتی است که گرانیوی نفت، به حداکثر برسد و نفت شامل تاربال شود . در مدل امواج شکسته برای سرعتهای زیر ۵ متر بر ثانیه مورد نظر نیست. فرآیند گستردگی تا زمانی که ضخامت لکه خیلی نازک شود، ادامه دارد. تصاویر شماره ۳۲ تا ۳۸ مربوط به مدل آل را به را نشان می دهد.

### معادلات موثر و حاکم بر فرآیندهای حرکت لکه نفتی و میعانات گازی

براساس تحقیقات انجام شده که برای بهترین مدل در خلیج فارس پیشنهاد می شود عبارتند از:

#### - جا به جایی

جابه جایی لکه نفت به صورت معادله زیر محاسبه می شود:

$$\vec{U}_d = K_t \vec{U}_t + K_w \vec{U}_w \quad (۱)$$

که در آن  $(\vec{U}_d)$  سرعت جا به جایی لکه ،  $(K_t)$

فاکتور جریان،  $(\vec{U}_t)$  سرعت جریان سطحی آب،

$(K_w)$  فاکتور رانش باد فاکتور رانش باد و  $(\vec{U}_w)$  سرعت باد است [۵].

#### پخش آشفتهگی

پخش آشفتهگی که به صورت افقی و عمودی و با روش گام تصادفی سه بعدی بیان می شود. در حالت افقی برای یک مرحله زمان  $(\Delta t)$  ، حرکت (مسافت

$$d_{\max} = \left[ \frac{12\sigma}{g(\rho_w - \rho_o)} \right]^{1/2} \quad (12)$$

$$d_{\min} = \frac{0.12\sigma^{3/5} \omega_f^{2/5}}{\rho_w^{3/5} g^{4/5}}$$

که در آن  $(\sigma)$  تنش موئینی<sup>۱</sup>،  $(\rho_w)$  چگالی آب،  $(\rho_o)$  چگالی نفت و  $(\omega_f)$  فرکانس موج است. عمق نفوذ  $(Z_i)$  طبق رابطه زیر است:

$$Z_i \approx 1.5H_b \quad (13)$$

که در آن ارتفاع موج شکسته می باشد.

### ۳-۴- توزیع عمودی غلظت نفت

توزیع عمودی غلظت نفت که تابعی از زمان و عمق می باشد به صورت زیر بیان می شود [۶].

$$C = C_s \exp\left(-z \sqrt{\frac{\pi}{4D_v t}}\right) \quad (14)$$

که در آن  $(C_s)$  غلظت سطحی نفت،  $(z)$  عمق به متر  $(m)$  و  $(D_v)$  پخش عمودی موثر به متر مربع بر ثانیه  $(m^2/s)$  است.

$$(17)$$

1-Interfacial Tension

### ۳-۵- توزیع افقی غلظت نفت

$$C(x, y, t) = (C_o) \left[ \text{erf}\left(\frac{(D/2 - x)/E}{\sqrt{4K_{xy}t}}\right) + \left(\frac{(D/2 + x)/E}{\sqrt{4K_{xy}t}}\right) \times \left(\frac{(D/2 - y)/E}{\sqrt{4K_{xy}t}}\right) + \left(\frac{(D/2 + y)/E}{\sqrt{4K_{xy}t}}\right) \right]$$

### ۳-۶- گسترش در سطح آب

بر اساس فرضی که لکه نفت به شکل یک بیضی<sup>۱</sup> که محور بزرگ آن در جهت باد بوده، گسترده می شود، معادله گسترش عبارتند از: [۵] و [۶]

$$L_{\min} = 53.76 \left( \frac{\Delta\rho}{\rho_o} \right)^{1/3} V_{oil}^{1/3} t^{1/4}$$

1-Ellipse

ثابت تجربی وابسته به نوع نفت و حالت هوازدگی،  $(D_{ba})$  اتلاف انرژی موج شکسته در واحد مساحت سطح به ژول بر مترمربع  $(J/m^2)$ ،  $(S_{cov})$  کسری از مساحت سطح پوشیده شده بوسیله نفت  $(0 \leq S_{cov} \leq 1)$  و  $(F_{wc})$  کسری از سطح دریا که توسط امواج شکسته در واحد زمان برخورد شده است.

$(D_{ba})$  و  $(F_{wc})$  توسط فرمولهای نیمه تجربی زیر ارائه می شود:

$$D_{ba} = 0.0034 \rho_w g H_{rms}^2 \quad (8)$$

$$F_{wc} = 0.032 (U_{wind} - U_i) / T_w \quad (9)$$

که در آن  $(\rho_w)$  چگالی آب کیلوگرم بر متر مکعب  $(kg/m^3)$ ،

$(g)$  شتاب به دلیل، ثقل متر بر مجذورثانیه  $(m/s^2)$ ،  $(H_{rms})$  جذر میانگین مربعات ارتفاع موج به متر  $(m)$ ،  $(U_{wind})$  سرعت باد به متر بر ثانیه  $(m/s)$ ،  $(U_i)$  سرعت آستانه باد برای موج شکسته (۵ متر بر ثانیه)،  $T_w$  پریود موج شکسته به ثانیه  $(s)$  است. با توجه به معادله (۷)، سرعت پخش عمودی توسط انتگرالگیری روی تمام اندازه های ذرات بدست می آید که می شود:

$$S_{vd} = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} Q(d) \Delta d \quad (10)$$

اندازه های ذره ماکزیمم و مینیمم پیرو زیر محاسبه می شود:

$$(11)$$

که در آن  $(C_o)$  غلظت اولیه  $(ppb)$ ،  $(erf)$  تابع خطا،  $(D)$  قطر اولیه ابری از نفت به متر  $(m)$ ،  $E = (4K_{xy}t)^{1/2}$  که  $(K_{xy})$  پخش افقی به سانتیمتر بر مجذور ثانیه  $(cm/s^2)$  بر طبق قانون ریچاردسون - ابوکف  $(K_p = C_E L^{4/3})$  که در آن  $(C_E)$  ثابت تجربی بستگی به سرعت اتلاف آشفستگی دارد و  $(L)$  مقیاس پدیده به سانتیمتر  $(cm)$  می باشد.

کنماتیکی و  $D_m$  پخش مولکولی می باشد .  
سرعتهای تبخیر در هر مرحله زمانی به صورت زیر است

(۲۲):

$$S_e = \sum M_i / t = \sum K_e A X_i p_i^s / (RT)$$

### ۳-۸- حلالیت

مقدار مولفه  $A$  ام که توسط حلالیت از دست رفته توسط معادله زیر محاسبه می شود [۵]:

$$M_{di} = K_d A t X_i S_i \quad (23)$$

که در آن  $M_{di}$  مقدار مولفه  $A$  ام از دست رفته توسط حلالیت (مول)،  $(K_d)$  ضریب انتقال جرم حلالیت به متر بر ثانیه  $(m/s)$ ،  $(X_i)$  کسر مولی مؤلفه،  $(A)$  مساحت لکه نفت به متر مربع  $(m^2)$ ،  $(t)$  زمان به ثانیه  $(S)$  و  $(S_i)$  قابلیت حلالیت به مول در لیتر است. سرعتهای حلالیت طبق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$S_d = \sum M_{di} / t = \sum K_d A X_i S_i \quad (24)$$

محاسبه  $(K_d)$ ، [۱۲]:

(۲۵)

$$K_d = 0.035 \left( \frac{uL}{v} \right)^{0.8} \left( \frac{v}{D_v} \right)^{0.33} \frac{D_v}{L}$$

که در آن:

$(v)$  گرانیوی کنماتیکی آب دریا به متر مربع بر ثانیه  $(m^2/s)$ ،  $(D_v)$  ضریب پخش نفت در آب به متر مربع بر ثانیه  $(m^2/s)$ ،  $(u)$  سرعت افقی آب به متر بر ثانیه  $(m/s)$  و  $(L)$  ریشه دوم مساحت سطحی لکه نفت به متر  $(m)$  است .

### ۳-۹- امولسیون

سرعت امولسیون با افزایش حالت دریا، زیاد شده که به صورت معادله زیر محاسبه می شود [۷]:

(۲۶)

$$\frac{dY_w}{dt} = K_A (1 + U_A)^2 (1 - K_B Y_w)$$

$$L_{\max} = L_{\min} + 0.95 W_{\text{wind}}^{4/3} t^{3/4} \quad (18)$$

$$A = (\pi/4) L_{\min} L_{\max} = 2270 \left( \frac{\Delta\rho}{\rho_o} \right)^{2/3}$$

$$V_{\text{oil}}^{2/3} t^{1/2} + 40 \left( \frac{\Delta\rho}{\rho_o} \right)^{1/3} V_{\text{oil}}^{1/3} W_{\text{wind}}^{4/3}$$

که در آن  $(L_{\min})$  طول محور کوچک بیضی به متر  $(m)$ ،  $(L_{\max})$  طول محور بزرگ بیضی به متر  $(m)$ ،  $(A)$  مساحت لکه نفت به متر مربع  $(m^2)$ ،  $\Delta\rho = \rho_w - \rho_o$  اختلاف چگالی،  $(\rho_w)$  چگالی آب،  $(\rho_o)$  چگالی نفت،  $(V_{\text{oil}})$  حجم کلی نفت ریزش شده به بشکه (Barrels)،  $(W_{\text{wind}})$  سرعت باد به نات (Knots) و  $(t)$  زمان به دقیقه می باشد.

### ۳-۷- تبخیر

تبخیر فوراً بعد از ریزش صورت می گیرد. مقدار تبخیر یک مولفه نفت پیرو معادله زیر است [۵]:

$$M_i = K_e A t X_i p_i^s / (RT) \quad (19)$$

که در آن  $(M_i)$  مقدار مولفه  $A$  ام که توسط تبخیر از دست رفته (مول)،  $(K_e)$  ضریب انتقال جرم تبخیر متر بر ثانیه  $(m/s)$ ،  $(A)$  مساحت لکه نفت به متر مربع  $(m^2)$ ،  $(t)$  زمان به ثانیه  $(S)$ ،  $R$  ثابت گاز اتمسفر - مترمکعب / مول کلوین  $(atm \cdot m^3 / mol \cdot k)$ ،  $(T)$  دمای هوای بالای لکه به کلوین  $(K)$ ،  $(X_i p_i^s)$  فشار بخار جزئی مولفه  $A$  ام،  $p_i^s$  فشار بخار مولفه  $A$  ام و  $X_i$  کسر مولی مؤلفه به صورت زیر است:

$$X_i = M_i / \sum M_i \quad (20)$$

ضریب انتقال جرم به صورت زیر:

(۲۱)

$$K_e = 0.0292 U_{\text{wind}}^{-0.78} D^{-0.11} S_c^{-0.67}$$

که در آن  $(K_e)$  ضریب انتقال جرم به متر بر ساعت  $(m/h)$ ،  $(U_{\text{wind}})$  سرعت باد به متر بر ساعت  $(m/h)$ ،  $(D)$  قطر لکه نفت به متر  $(m)$  و  $(S_c)$  عدد اشمیت که به زبری سطح اشاره می کند به صورت



۳-۱۱- چسبیدگی نفت به رسوب معلق در آب  
 سرعت اتلاف نفت به دلیل فرآیند چسبندگی نفت به  
 رسوب به صورت زیر محاسبه می شود ( بر حسب متر  
 مکعب بر ثانیه  $m^3/s$  ) [۶]:  
 (۳۰)

$$\frac{dA_d}{dt} = 1.4 \times 10^{-12} S_L (1 - 0.023 S_a)$$

که در آن  $(S_L)$  بار رسوب بر حسب گرم متر بر  
 مترمکعب ( $gm/m^3$ ) و  $(S_a)$  شوری است .

### ۳-۱۲- رسوب در خط ساحلی

ماکزیم ظرفیت ساحل برای نفت می تواند عبارتند  
 از [۶]:

$$C_{max} = L_s W_s D_s \eta_{eff} \quad (31)$$

که در آن  $(C_{max})$  ظرفیت ماکزیم یک ساحل برای  
 جذب نفت به متر مکعب ( $m^3$ ) ،  $(L_s)$  طول ،  $(W_s)$   
 پهنا و  $(D_s)$  عمق رسوبات روی ساحل به متر  $(m)$  و  
 $(\eta_{eff})$  خلل و نفوذ موثر رسوبات در ساحل است .

### ۴- معادلات حاکم در مدل سه بعدی هیدرودینامیک

#### جزرومدی

معادله پیوستگی ، [۵]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (32)$$

که در آن  $\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)$  تغییر سرعت زمانی محلی آلوده

معادلات ممنتم در جهت X و Y:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( v_h \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( v_h \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial (\tau_x)}{\partial z} + \Omega V$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( v_h \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( v_h \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial (\tau_y)}{\partial z} + \Omega V \quad (33)$$

که در آن  $(Y_w)$  کسری از آب محتوی  $(1/K_A)$   
 ، کسر نهایی آب محتوی ،  $(K_B)$  یک ثابت تجربی  
 که بستگی به سرعت باد  $(U_A)$  دارد. فرآیند امولسیون  
 باعث افزایش در گرانروی موثر و چگالی نفت شده که به  
 عبارتند از:

$$\mu = \mu_o \exp\left(\frac{2.5 Y_w}{1.0 - 0.6 Y_w}\right) \quad (27)$$

که در آن  $(\mu_o)$  گرانروی اولیه نفت قبل از تأثیر فرآیند  
 امولسیون است .

الگوریتمی که چگالی امولسیون نفت  $(\rho_E)$  را محاسبه  
 می کند به صورت زیر است :

(۲۸)

$$\rho_E = Y_w \rho_w + (1 - Y_w) (\rho_c + C_p F_E)$$

که در آن  $(F_E)$  کسری که تبخیر شده است ،  $(\rho_c)$   
 چگالی نفت خام اصلی ،  $(C_p)$  ثابت بدست آمده از داده  
 های تقطیر است.

### ۳-۱۰- فتواکسیداسیون

سرعت فتواکسیداسیون (اکسیده شدن نفت) از رابطه  
 زیر محاسبه می شود [۶]:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \left(\frac{B}{70}\right) (1 - C) C_A \quad (29)$$

که در آن  $(B)$  زاویه تابش خورشید بر حسب درجه  
 نسبت به سطح لکه ،  $(C)$  پوشش کسری از ابر ،  $(C_A)$   
 ضریبی که با ضخامت لکه تغییر می کند .

معادله فشار هیدروستاتیک می شود: (۳۵)  $\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0$  که در این مدل از تقریب هیدروستاتیک استفاده نشده است.

معادله انتقال ذره نفت (مدل سه بعدی): (۳۶)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} + \frac{\partial(VC)}{\partial y} + \frac{\partial(WC)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \frac{\partial(\omega_f C)}{\partial z} + \sum S$$

$$\rho = F_{ow} \rho_o + (1 - F_{ow}) \rho_w \quad (38)$$

$$v = F_{ow} v_o + (1 - F_{ow}) v_w \quad (39)$$

که در آن  $F_{ow}$  کسری از نفت در اختلاط است. برای ترمهای تبادل عمودی، مدل اختلاط آشفتهگی طولی به کار می رود که تنش های آشفتهگی  $(\tau_x, \tau_y)$  در معادلات (۳۳) و (۳۴) را بصورت زیر تعریف می کند: (۴۰)

$$\tau_x = v_{tx} \frac{\partial U}{\partial z} = \rho l_{mo}^2 \frac{\partial U}{\partial z} \frac{\partial U}{\partial z}$$

$$\tau_y = v_{ty} \frac{\partial V}{\partial z} = \rho l_{mo}^2 \frac{\partial V}{\partial z} \frac{\partial V}{\partial z} \quad (41)$$

که در آن  $(v_{tx})$  و  $(v_{ty})$  به ترتیب گرانیوی آشفتهگی در جهت های X و Y است،  $(l_{mo})$  طول اختلاط که آن تابع رابطه عمق  $(Z/H)$  است:

$$l_m = 0.7Z(1 - Z/H)^{0.5} \quad (41)$$

ضرائب پخش افقی و عمودی (تابعی از گرانیوی تلاطمی آشفتهگی) در معادله (۳۶) به صورت زیر می باشد:

$$D_x = \frac{A_x}{A_{tx}} (F_o + F_1 Q_T) + \infty Q_k \frac{\Delta x}{A_x} \quad (42)$$

$$D_y = \frac{A_y}{A_{ty}} (F_o + F_1 Q_T) + \infty Q_k \frac{\Delta y}{A_x} \quad (43)$$

کننده در یک نقطه خاص،  $\left( \vec{\nabla} \left( C \vec{U} \right) \right)$  جا به جایی یا حرکت آلوده کننده بخاطر حرکت مرکزی خودش،

$\left( \vec{\nabla} \left( D \vec{\nabla} C \right) \right)$  پخش آلوده کننده، عملگر

بردار  $i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y}$ ،  $(U)$ ،  $(V)$  و  $(W)$  به ترتیب مولفه های سرعت میانگین شده زمانی در جهت  $x$  و  $y$  و  $z$ ، زمان  $(t)$ ، چگالی جریان نفت - آب  $(\rho)$ ، فشار میانگین زمانی،  $(g)$  شتاب ثقل،  $(v_h)$  ضریب گرانیوی تلاطمی افقی،  $(\tau_x)$ ،  $(\tau_y)$  تنش های برشی حاصل از انتقال عمودی ممنتم آشفتهگی،  $(\Omega)$  پارامتر کوریولیس،  $\Omega = 2\omega \sin \phi$  که در آن  $\omega$  سرعت زاویه ای چرخش زمین و  $(\phi)$  عرض جغرافیایی،  $(C)$  غلظت ذرات نفت،  $(D_x)$ ،  $(D_y)$  و  $(D_z)$  به ترتیب ضرائب پخش در جهت های  $x$  و  $y$  و  $z$ ،  $(\sum S)$  ترم موثر منبع که شامل تبخیر، حلالیت، پخش عمودی و نیز رسوب در خط ساحلی و بستر بوده،  $(\omega_f)$  سرعت شناوری ذرات نفت که آن:

$$\omega_f = \frac{1}{18} \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_w} g \frac{d^2}{v_w} \quad (37)$$

که در آن  $(\rho_w)$  چگالی آب،  $(\rho_o)$  چگالی نفت،  $(d)$  اندازه میانگین ذره نفت و  $(v_w)$  گرانیوی جنبشی آب است.

در یک شبکه محاسبه ای جداگانه،  $(\rho)$  چگالی و  $(v)$  گرانیوی که کسری از نفت در جریان مخلوط نفت - آب می باشد به صورت زیر تعریف می شود:

$(\sigma_{\varphi z})$ ، ضریب پخش عمودی ( $D_z$ ) بدست می آید. ضرائب پخش افقی (اختلاط افقی) می تواند به صورت زیر محاسبه شود [۸]: (۴۹)

$$D_x = D_y = C_{\mu} \Delta x \Delta y \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + 0.5 \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

که در آن ( $C_{\mu}$ ) ثابت اختیاری از مرتبه ۰/۵ و ( $\Delta x$ )، ( $\Delta y$ )، به ترتیب طولهای شبکه در جهت  $x$  و  $y$  می باشد.

برای حل عددی معادلات حاکم در مدل دو بعدی هیدرودینامیک هر دو روش تفاضل محدود و اختلاف اجزاء مناسب بوده است و مهم آن است که ابتدا مدل دو بعدی هیدرودینامیک قابل اجرا است و در گام بعدی، مدل ریزش نفت اجرا شود.

در صورتی که لکه نفت به صورت لکه ضخیم (Thick) و نازک (Thin) بیان شود مساحت های لکه به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\frac{dA_t}{dt} = C_1 A_t^{0.33} \left[ \frac{-C_3}{h_k + 0.00001} \right] \quad (50)$$

$$\frac{dA_k}{dt} = C_2 A_k^{0.33} (h_k)^{1.33} \quad (51)$$

که در آنها، ( $A_t$ ) مساحت لکه نازک به متر مربع ( $m^2$ ) و ( $A_k$ ) مساحت لکه ضخیم به متر مربع ( $m^2$ )، ضخامت لکه به متر ( $m$ )، ( $t$ ) زمان به ثانیه ( $S$ ) و ( $C_1$ )، ( $C_2$ )، و ( $C_3$ ) ثابت ها هستند.

فرآیند تبخیر باعث افزایش در گرانروی نفت می شود ( $\mu$ ). این افزایش بوسیله رابطه زیر بیان می شود:

$$\mu = \mu_o (C_{\mu} F_E) \quad (52)$$

که در آن ( $F_E$ ) کسر تبخیر شده، ( $\mu_o$ ) گرانروی نفت مادر (Parent) و  $C_{\mu}$  مرتبه ای از ۱۰-۱ می باشد و انتخاب مقدار آن بستگی به نوع نفت دارد.

$$D_z = \frac{v_e}{\sigma_{\varphi z}} = \frac{v}{\sigma_{\varphi z}} + \frac{v_t}{\sigma_{\varphi z}} \quad (44)$$

که در آن ( $A_x$ ) و ( $A_y$ ) به ترتیب مساحت های برش عرضی در جهت های  $x$  و  $y$ ، ( $A_x$ ) و ( $A_y$ ) به ترتیب مساحت های کل برش عرضی در جهت های  $x$  و  $y$ ، ( $Q_T$ ) دبی جزرومدی طی فصل مشترک، ( $Q_k$ ) دبی جزرومدی کل، ( $F_o$ )، ( $F_1$ ) و  $\infty$  فاکتورهای تجربی،  $\Delta x$ ،  $\Delta y$ ، به ترتیب مسافت های بین مراکز شبکه ها در جهت های  $x$  و  $y$ ، گرانروی جنبشی مولکولی ( $v_t$ )، گرانروی جنبشی آشفتگی و ( $v_e$ ) گرانروی جنبشی موثر، ( $\sigma_{\varphi z}$ ) عدد آشفتگی اشمیت، بر اساس مدل اختلاط آشفتگی طولی (همان معادله ۴۰)، ( $v_t$ ) گرانروی آشفتگی به صورت زیر بیان می شود:

$$v_t = \rho l_m^2 / \frac{\partial U}{\partial z} \quad (45)$$

که در آن ( $l_m$ ) طول اختلاط در جریان نفت - آب که به صورت زیر بیان می شود:

$$\frac{l_m}{l_{mo}} = (1 + BR_i)^{-0.5} \quad (46)$$

که در آن  $B=20$ ، ( $l_{mo}$ ) طول طبیعی اختلاط که از معادله (۴۱) بدست می آید، ( $R_i$ ) عدد ریچاردسون که به صورت در رابطه ۴۷ بدست می آید:

$$R_i = -\frac{g}{\rho} \frac{\partial p / \partial z}{(\partial U / \partial z)^2} \quad (47)$$

برای عدد اشمیت ( $\sigma_{\varphi z}$ ) نفوذ شناوری نیاز است که توجه شود و آن بوسیله فرمول مانک، آندرسون محاسبه می شود:

$$\frac{\partial \varphi z}{\partial \varphi k} = \frac{(1 + 3.33 R_i)^{1.5}}{(1 + 10 R_i)^{0.5}} \quad (48)$$

که در آن ( $\sigma_{\varphi} = 1.0$ ) بعد از محاسبه ( $v_t$ ) و

نیز بررسی شده است .

### بحث و نتیجه گیری

فرآیند انتقال جرم حاکم بر نفت ریزش شده به سه صورت (۱) - جا به جایی افقی بدلیل نیروی باد و جریان ، (۲) - پخش آشفته‌گی توسط آشفته‌گی دریا و (۳) - جا به جایی عمودی (پخش عمودی) در ستون آب بدلیل تبدیل نفت به قطرات در اثر شکست امواج می باشد . مدل‌های سه بعدی هیدرودینامیک به خوبی می تواند جهت حرکت لکه نفت و ناحیه آلوده شده از نفت را پیش بینی کند . مدل‌های سه بعدی ریزش نفت می تواند انتقال غلظت و مقدار ذرات نفت در هر لایه را بدست آورد . این دو مدل ثابت شده است که برای مطالعه رفتار فرآیندهای مؤثر بر حرکت نفت مفید می باشد . در جا به جایی افقی عوامل مؤثر در حرکت لکه نفت ، سرعت جریان و باد می باشد . جا به جایی عمودی به انرژی اختلاط (ارتفاع موج) و خواص نفت (چگالی و گرانیوی) و عمق نفوذ وابسته می باشد . در پخش آشفته‌گی ، ضرایب پخش عمودی و افقی مهم است . در گسترده‌گی، حجم اولیه نفت ریزش شده و سرعت باد اهمیت دارد . در تبخیر، فشار بخار، ضریب انتقال جرم، مساحت لکه نفت و دما فاکتورهای مهم هستند . در حلالیت، ضریب انتقال جرم و قابلیت حلالیت نفت در آب اهمیت دارد . حلالیت در تعادل جرمی اهمیت چندانی ندارد ولی از نظر سم شناسی<sup>۲</sup> در آب دارای اهمیت است . در امولسیون، فاکتور درصد جذب آب توسط نفت مهم می باشد . چسبندگی ذرات نفت به رسوب معلق در آب به اندازه ، نوع و بار رسوب و شوری ، مواد آلی و درجه آشفته‌گی (جذب / دفع) وابسته است . رسوب در خط ساحلی، به اندازه رسوب در ساحل ، خلل و فرج ، فشار آب در ساحل و مقدار انرژی موج در امتداد شکل ساحل بستگی دارد . تغییرات در فرآیند تبخیر، به علت کاهش مولفه های فرار به صورت لگاریتمی نسبت به زمان می باشد و از فاکتورهای اصلی در تعادل جرمی است . فرآیندهای فیزیکی که نفت را انتقال می دهد بر حسب محل یا محیط دریایی ناحیه

### یک نتیجه گیری از اجرای اولیه مدل در خلیج فارس

به منظور بررسی حرکت لکه نفت ناشی از ریزش اتفاقی در منطقه بین جزیره خارک و بندر بوشهر ، یک مدل سه بعدی مسیریابی و سرنوشت نفت ریزش شده جهت شبیه سازی فرآیندهای گسترده‌گی ، جابه جایی ، پخش آشفته‌گی ، تبخیر و حلالیت لکه نفت در سطح آب با توجه به معادلات ناویراستوکس و پیوستگی و یک مدل سه بعدی سرنوشت نفت ریزش شده، جهت شبیه سازی توزیع غلظت ذرات نفت در ستون آب براساس معادله انتقال جرم بکار رفته است . برای حل عددی معادلات، از روش تفاضل محدود و به شکل غیر هیدروستاتیک به همراه تقریب بوسینسک به صورت معادلات لپس استفاده شده است . ابعاد شبکه  $X = 555$  ،  $Y = 180$  کیلومتر ، نقطه ریزش ۲۱ کیلومتر دور از ساحل (۷۵  $X = 41$  ،  $Y = 41$  کیلومتر) ، فاصله ابعاد شبکه از هم  $\Delta x = \Delta y = 300$  متر و تعداد نقاط شبکه ۱۱۳۴۶ در نظر گرفته شده است . توسط مدل، مقادیر تبخیر ، حلالیت و پخش عمودی حاصل شده است که با نتایج سایر مطالعات، همخوانی دارد . برای نفت خام به حجم ۱۰۰ متر مکعب (۶۳۰ بشکه) با مشخصات وزن مخصوص ۸۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب، جرم مولکولی ۵۲۵ گرم ، قابلیت حلالیت ۱۸ میلی گرم در لیتر و چسبندگی کنماتیکی ۱۹/۲ سانتی استوکس، با توجه به سرعت باد متغیر ۸ - ۵ متر بر ثانیه و دمای متغیر ۲۵ - ۲۰ درجه سانتیگراد در زمستان، مقادیر تبخیر بعد از ۲۱ دقیقه ، ۹ ساعت ، ۲۴ ساعت و ۳۴ ساعت به ترتیب ۱/۱۶۱ ، ۱۰/۴۲۶ ، ۲۲/۵۱۳ ، ۲۹/۸۹ درصد و مقدار حلالیت بعد از ۲۴ ساعت ۰/۰۱۴ درصد و حداکثر جذب آب برای تشکیل امولسیون نفت در آب، مقدار ۸۰ درصد بدست آمده است . حرکت لکه نفت در فصل زمستان ، بطرف جنوب شرقی پیش بینی شده است، که باد غالب در این فصل از سال شمال غربی است . مدل نیز، برای ریزش اتفاقی میعانات گازی<sup>۱</sup> در منطقه دریایی عسلویه

۲- از آنجا که جذب نفت در ساحل به رسوب ساحل، خلل و فرج، فشار آب و شیب ساحل وابسته است. ضروری است که به صورت کامل با توجه به نوع رسوب و شکل هندسی ساحل و حساسیت ظرفیت جذب نفت، سواحل خلیج فارس طبقه بندی شود (خصوصاً سواحل در معرض آلودگی نفت).

۳- جریانهای ساحلی ناشی از شکست موج و باد که در امتداد ساحل و به دور از ساحل ایجاد می شوند می توانند نقش موثری در انتقال حرکت لکه نفتی داشته باشند و پیشنهاد می شود در سایر مطالعات اثر جریانهای ساحلی نیز در نظر گرفته شود.

۴- فشار بخار، ضرائب پخش عمودی و افقی در آب، قابلیت حلالیت نفت در آب با توجه به شرایط جوی و دریایی منطقه مورد مطالعه، با دقت بالا و بطور دقیق محاسبه شوند.

۵- در اکثر مدل‌های ریزش نفت، این ماده، به عنوان یک مولفه منفرد در نظر گرفته می شود، از آنجا که نفت شامل چندین مولفه ترکیب شده است. پیشنهاد می شود نفت در مدل‌ها به صورت چند مولفه (ذرات با قطرهای مختلف) بررسی شود.

۶- پارامترهای جوی و دریایی و خواص فیزیکی نفت خام هر منطقه به صورت جداول ماهانه تهیه شود.

۷- در مدل عددی، گستردگی لکه نفت به صورت اشکال دایره و بیضی در نظر گرفته می شود. پیشنهاد می شود شکل واقعی و نامنظم لکه نفت در نظر گرفته شود.

۸- از آنجا که قطرات کوچکتر تمایل دارند، به ستون آب (عمق) و قطرات بزرگتر به سطح حرکت کنند. پیشنهاد می شود قطر ذرات نفت داخل ستون آب با توجه به غلظت نفت طبقه بندی شود.

۹- در مدل عددی ضخامت لکه نفت به صورت نازک، متوسط و ضخیم بررسی و تعیین شود.

۱۰- در حل معادلات ناویراستوکس، پیوستگی و معادله انتقال غلظت و سایر معادلات حاکم در نظر گرفتن موارد ذیل پیشنهاد می شود:

مورد نظر است. بعضی نواحی، تحت تسلط جزرومد است و بعضی نواحی تحت تسلط جریانهای دائمی است که خود را به ساحل می رساند و بعضی تحت تسلط نیروی ترموهالین و مصبی می باشد.

### نتیجه گیری کلی

با کمک معادلات ارائه شده و با توجه به پارامترهای اصلی، می توان با مدل عددی، حرکت و سرنوشت نفت را شبیه سازی کرد. مدل عددی سه بعدی شامل معادلات حرکت و پیوستگی آب کم عمق برای حرکت سطحی لکه نفت شناور و مدل عددی سه بعدی شامل معادله انتقال برای ذرات نفت معلق در ستون آب بکار می رود. با توجه به نتایج مطالعات، تبخیر، عامل مهم در تعادل جرمی بوده و بلافاصله بعد از ریزش نفت شروع می شود. ضخامت لکه نفت سریعاً طی چند ساعت کاهش می یابد. ارتفاع شکست موج، در تشکیل ذرات نفت به ستون آب دارای اهمیت است. مدل ایده آل برای شبیه سازی حرکت و سرنوشت نفت در خلیج فارس مدلی است که، شامل فرآیندهای حلالیت مولفه های نفت در آب، تبخیر مولفه های نفت، پخش افقی و عمودی قطرات نفت در آب، گستردگی، جا به جایی لکه و جرم آب، اکسیداسیون مولفه های نفت خصوصاً فتواکسیداسیون، امولسیون، تجزیه بیولوژیکی، رسوب در ساحل و بستر و پارامتر چشمه و چاه که مقادیر نفت از دست رفته و باقیمانده را بیان می کند، در نظر داشته باشد. این مدل‌ها، وابسته به زمان بوده و توسط مدل‌های دینامیکی بررسی می شود. بنابراین، جریان آب، ارتفاع جزرومدی، فشار جو، تنش سطح و کف و عمق‌ها در مدل‌ها دارای اهمیت است.

### پیشنهادها

۱- جهت بررسی دقیق تر فرآیندهای موثر بر لکه نفت ریزش شده، بهتر است تأثیر گردشهای لانگمیر (Langmuir) بر پراکندگی عمودی ذرات نفت در ستون آب مورد مطالعه قرار گیرد.

4. Al-Rabeh , A.H. and et al., ( ) , « Gulf Spill Version : a Software Package for Oil Spills in the Persian Gulf », Environmental Modelling of Software (Elsevier), vol. , pp.
5. Chao, Xiaobo and et al ., ( ) , «Two and Three - Dimensional Oil Spill Model for Coastal waters », Ocean Engineering (Pergamon), Vol. , pp.
۱. سرعت باد متغیر.
۲. تغییرات چگالی و دما.
۳. فشار سطحی جو ، تنش کف ، توپوگرافی و ارتفاع سطح آب در معادلات حرکت بررسی شود .
۴. دبی رودخانه در مدل تأثیر داده شود .
۵. ضریب اصطکاک کف.
۶. نیروی کوریولیس متغیر.
۷. عمق نفوذ ذرات نفت متغیر (معادله پخش عمودی ) .
۸. ارتفاع شکست موج متغیر (معادله پخش عمودی ) .

6. Korotenko, K.A. and et al ., ( ) , « Prediction of the Dispersal of Oil Transport in the Caspian Sea Resulting from a Continuous Release » , Spill Science & Technology Bulletin (Pergamon) , Vol. , No. pp.

### تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت شرکت نفت و گاز پارس انجام شده است . بدین وسیله از مسئولین آن شرکت محترم قدردانی می شود .

### منابع

7. Comerma , E.and et al .,( ) , « Inclusion of an Oil Database into a Forecasting System » Proceedings of AMOP, Victoria, Canada, pp.
8. Chao , Xiaobo and et al ., ( ) , « Development and Application of Oil Spill Model for Singapore Coastal Waters » , Journal of Hydraulic Engineering , ASCE , pp .
۱. عباسپور ، مجید و اقبال فر ، محمد اسماعیل ، ۱۳۶۷ ، « مدلسازی ریاضی در مورد پخش آلودگیهای نفتی درخلیج فارس » ، مجموعه مقالات انتخابی گروههای دوروزه فنی وکارشناسی مسائل دریایی ، روز جهانی دریانوردی ، صفحات ۱-۲۸ .
۲. صباغ یزدی ، سعیدرضا ، ۸۰-۱۳۷۹ ، «مدل دوبعدی جزرومدی پراکنش نفت درخلیج فارس باحل معادلات میانگین عمقی برروی شبکه اجزای بی ساختار» ، مجله علمی وپژوهشی علوم و تکنولوژی محیط زیست شماره ۷ و ۸ ، ۸۰-۱۳۷۹ ، مرکزانتشارات علمی دانشگاه آزاداسلامی صفحات ۱۳-۳۱ .

3. Daniel , Pierre , ( ) , « A Numerical Study of Movements of an Oil Slick on the Sea Surface in the Persian Gulf From January to February » , First thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments , pp.