بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

مدلسازی عددی آلودگی نفتی و ذرات بر روی آبهای خلیج فارس در عسلویه با در نظر گرفتن اثرات باد، جزرومد و حلالیت در آب

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

محسن فقیهی فرد

استاد راهنما

دکتر محمدعلی بدری

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک آقای محسن فقیهی فرد

تحت عنوان

مدلسازی عددی آلودگی نفتی و ذرات بر روی آبهای خلیج فارس در عسلویه با در نظر گرفتن اثرات باد، جزرومد و حلالیت در آب

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر محمدعلی بدری

۲- استاد مشاور پایان نامه دکتراحمدرضا عظیمیان

۳- استاد داور دکتر محسن ثقفیان

۴- استاد داور دکتر احمد صداقت

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر محمدرضا سلیم پور

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در این جا بر خود لازم می‌دانم از تمامی اساتید بزرگوار بویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده‌اند، تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار، **جناب آقای دکتر محمدعلی بدری** که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان‌نامه تقبل نموده‌اند، نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

همچنین از تشریک مساعی **آقای دکتر محسن ثقفیان و آقای دکتر احمد صداقت** بعنوان اساتید داور داخل دانشگاه و **آقای دکتر احمدرضا عظیمیان** به عنوان استاد مشاور که این پایان‌نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده‌اند تشکر می‌نمایم.

در پایان از **جناب آقای دکتر محمدرضا سلیم‌پور** که بعنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده‌اند سپاسگذاری می‌نمایم.

همچنین از **سازمان‌های بنادر و کشتیرانی، اقیانوس‌شناسی، موسسه آبنگاری سازمان نقشه‌برداری و موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو** که در ارائه اطلاعات و داده‌ها و راهنمایی بنده کمک فراوانی مبذول داشتند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع

این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی

اصفهان است.

تقدیم

تقدیم به

خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را و معرفت را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید.

تقدیم با بوسه بر دستان **پدرم**:

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی، سخاوت، سکوت، مهربانی و.....

و به **مادرم**، دریای بی کران فداکاری و عشق

که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب .....هشت

چکیده ..... سیزده

فصل اول: آلودگی نفتی در دریاها وسواحل

۱-۱مقدمه ۱

۱-۲ مدلهای عددی ۳

۱-۲-۱-مدلهای عددی در خلیج فارس ۳

۱-۳-تاریخچه ۴

-مطالعات انجام شده در خارج از کشور ۴

-مطالعات انجام شده در ایران ۸

۱-۴-کار حاضر ۱۰

۱-۵-جمع‌بندی ۱۱

فصل دوم: معرفی فرآیندهای حاصل از استهلاک و انتشار لکه نفتی و روشهای مقابله با گسترش آن

۲-۱-مقدمه ۱۳

۲-۲-پدیده تبخیر ۱۴

۲-۳- امولسیون ۱۴

۲-۴- حلالیت ۱۵

۲-۵- اطلاعات مورد نیاز در مدلسازی ۱۶

۲-۵-۱-داده‌های هیدرودینامیکی موثر در فرآیندهای گسترش و استهلاک نفت ۱۶

۲-۵-۲ اجزاء نفت ۱۶

۲-۶- آلودگی نفتی در دریا و روشهای حذف آن ۱۷

۲-۶-۱- استفاده از کمربندهای شناور ۱۸

۲-۶-۲- استفاده از رویه‌گیرها یا کفگیرها ۱۹

۲-۶-۳- استفاده از عوامل غرق کردن ۲۰
۲-۶-۴- استفاده از مواد پراکنده ساز ۲۰
۲-۶-۵- استفاده از مواد جامد کننده یا ژلساز ۲۱
۲-۶-۶- بازدارنده‌ها و شکننده‌های امولسیون ۲۱
۲-۶-۷- سوزانیدن در محل ۲۱
۲-۶-۸- بکار گیری میکروارگانیسم‌های نفت‌خوار ۲۲
۲-۶-۹- رها کردن آلودگی به حال خود ۲۳
۲-۶-۱۰- استفاده از مواد جاذب ۲۳
۲-۷- آلودگی انتشار رسوبات ۲۴
۲-۸- جمع‌بندی ۲۴

فصل سوم: شبیه‌سازی آلودگی نفتی به‌وسیله نرم‌افزار مایک۳

۳-۱ مقدمه ۲۶
۳-۲ بخش هیدرودینامیک مایک۳ ومعادلات حاکم بر مدلسازی ۲۷
۳-۳ مدل اغتشاشی ۲۸
۳-۳-۱. مدل اغتشاشی K ۲۸
۳-۳-۲. مدل اغتشاشی $k-\varepsilon$ ۲۹
۳-۳-۳. فرمول اسماگورینسکی ۳۰
۳-۳-۴. اختلاط مدل اغتشاشی $k-\varepsilon$ و فرمول اسماگورینسکی ۳۰
۳-۴. شرایط مرزی ۳۱
۳-۴-۱. سرعت جریان سطحی حاصل از باد ۳۲
۳-۴-۲ چگونگی انتخاب و اعمال سرعت باد در مایک ۳۲
۳-۴-۳. مقاومت برشی حاصل از بستر ۳۲
۳-۵ بخش تحلیل آلودگی مایک ۳۳
۳-۵-۱ معادلات لانگوین ۳۳

۳-۵-۲ معادله فوکر پلانک ۳۴
۳-۶ سرعت جریان ۳۵
۳-۷ فرآیندهای استهلاک لکه نفتی ۳۵
۳-۷-۱ امولسیون ۳۶
۳-۷-۲ تبخیر ۳۷
۳-۷-۳ انتشار نفت بر روی سطح آب ۳۷
۳-۷-۴ حلالیت نفت در آب ۳۸
۳-۸- فرآیندهای پخش و انتشار لکه نفتی ۳۸
۳-۸-۱ گسترش درسطح آب ۳۸
۳-۸-۲ افزایش مساحت لکه نفتی ۳۹
۳-۹- انواع رسوبات بخش تحلیل آلودگی ذرات ۴۰
۳-۹-۱- مواد غیرقابل حل ۴۰
۳-۹-۲- شن و گل ولای ۴۰
۳-۱۰- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی ۴۱
فصل چهارم : نتایج مدلسازی در مورد نحوه پراکنش آلودگی نفتی و ذرات در خلیج‌فارس
۴-۱ مقدمه ۴۳
۴-۲ موقعیت و خصوصیات منطقه مورد مطالعه ۴۳
۴-۳ شرح و روش انجام مدلسازی سه بعدی ۴۴
۴-۴ نحوه اجرای مدل هیدرودینامیکی ۴۵
۴-۴-۱ تعیین الگوی جریان بدون تاثیر نیروی باد ۴۵
۴-۴-۲ تعیین الگوی جریان با تاثیر نیروی باد ۴۶
۴-۴-۳ پیش‌بینی الگوی جریان آب در خلیج‌فارس ۴۷
۴-۴-۴ اطلاعات وشرایط اعمال شده در مدلسازی هیدرودینامیکی ۴۸
۴-۵ نتایج واعتبار سنجی بخش هیدرودینامیک ۴۹

۴-۶ نحوه اجرای مدل تحلیل آلودگی نفتی ۵۰
۴-۷ نحوه استفاده از اطلاعات استخراج شده از بخش تحلیل آلودگی ۵۲
۴-۸ نتایج بخش تحلیل آلودگی نفتی در منطقه مورد مطالعه ۵۳
۴-۸-۱ نتایج حاصل از نیروی باد ۵۳
۴-۸-۳ نتایج حاصل از تغییرات جزرومد ۵۶
۴-۹ نتایج بخش تحلیل آلودگی رسوبات در منطقه عسلویه ۶۰
۴-۹-۱ نتایج حاصل از انتشار مواد نامحلول در آب ۶۱
۴-۹-۲ نتایج حاصل از انتشار گل‌ولای در آب ۶۱
۴-۱۰- بحث و نتیجه‌گیری ۶۱

فصل پنجم: اهم نتایج و تعیین سرنوشت آلودگی نفتی

۵-۱ مقدمه ۶۴
۵-۲ سرنوشت لکه نفتی ۶۴
۵-۳ سرنوشت رسوبات مختلف ۶۶
۵-۴ نتیجه‌گیری ۶۸
۵-۵ دستور العمل جمع‌آوری لکه نفتی ۶۸
۵-۵-۱ ماه‌های آگوست و سپتامبر سال ۲۰۰۸ ..... ۶۸
۵-۵-۲ ماه‌های آگوست و سپتامبر سال ۲۰۱۲ ..... ۶۹
۵-۶ مزیت کار حاضر ۶۹
۵-۷ پیشنهادات ۷۰

پیوست: جوزئیات مربوط به نحوه کار با نرم‌افزار MIKE

پ-۱.مقدمه ۷۱
پ-۲ .بخش هیدرودینامیک ۷۱
پ-۳. سیستم تعیین مختصات جغرافیایی یو تی ام ۷۴
پ-۴. بخش تحلیل آلودگی نفتی و رسوبات مایک ۷۹

پ-۵ .جعبه ابزار MIKE ۸۳
پ-۶ .انیمیشن سازی ۸۶
مراجع ۸۷

چکیده

اهمیت ارتباط مسائل زیست محیطی دریایی با ریزش‌های نفت و زیان‌های ناشی از آن ، به توسعه مدل‌های عددی به منظور پیش‌بینی انتقال و سرنوشت لکه‌های نفتی منجر شده است. وقتی آلودگی نفتی از یک منبع نقطه‌ای به محیطی تخلیه می‌شود، برحسب خصوصیت آن آلاینده، دمای محیط، غلظت سایر مواد درون آب و وزش باد و دیگر عوامل، آلودگی تخلیه شده به محیط شروع به پخش شدن در راستای افقی و عمودی می‌کند. با توسعه علم کامپیوتر، کاربرد دینامیک سیالات محاسباتی در صنایع دریایی امکان‌پذیر و عملی شد. این محاسبات دریچه‌ای تازه از دقت را گشود. در این مقاله از نرم‌افزار مایک۳ برای مدلسازی انتشار لکه نفتی در منطقه عسلویه در ماه‌های آگوست و سپتامبر سال ۲۰۰۸ میلادی استفاده شده است. به‌همین منظور در ابتدا تنگه هرمز به‌عنوان مرز ورود جریان آب به منطقه خلیج‌فارس در نظر گرفته شده است. سپس سری زمانی نوسانات سطح آب جزیره هنگام که نزدیک‌ترین منطقه به تنگه هرمز می‌باشد، به‌عنوان یکی از شرایط مرزی به مدل اعمال شده است. همچنین سری زمانی سرعت و جهت باد در منطقه عسلویه به‌عنوان دیگر شرط مرزی در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، برای حل معادلات هیدرودینامیکی اغتشاشی ناویر استوکس از فرمول اسماگورینسکی که تطابق خوب آن با نتایج تجربی احراز گردیده، استفاده شده است. نتایج سرعت و نوسانات آب ترمینال عسلویه نیز با داده های میدانی به دست آمده از جریان‌سنج‌ها و بویه‌ها مقایسه و صحت آنها احراز گردیده است. سپس با اعمال میدان سرعت به‌دست آمده از ماژول هیدرودینامیکی و اعمال آن به مدول تحلیل لکه نرم‌افزار، میزان تبخیر، امولسیون و سرنوشت لکه نفتی در منطقه برای مهار گسترش آلودگی به‌دست آمده است. نتایج مطالعات موردی نشان می‌دهد که مدل قادر است سرنوشت لکه نفتی را با دقت خوبی و در مدت زمانی کوتاه پیش‌بینی کند. همچنین بر طبق نقشه‌های ریسک، لکه نفتی به سمت سواحل حرکت کرده و به سواحل نزدیک عسلویه خسارت زده است. بر طبق این نتایج در سال ۲۰۰۸ حرکت لکه نفتی به سمت شمال‌غرب منطقه عسلویه بوده و در پایان بازه زمانی بنادر سیراف و کنگان آلوده شده‌اند. مساحت سطح آلوده شده در محدوده‌ی ۶۲ کیلومتر مربع تخمین زده شده است. در سال ۲۰۱۲ نیز این گسترش به سمت جنوب عسلویه به علت وزش بادهای شمال غربی بوده و خلیج نایبند آلوده شده است. در این سال سطح منطقه‌ی پوشیده شده با لکه نفتی در حدود ۲۸ کیلومترمربع می‌باشد. در پایان نتایج نشان می‌دهد که نیروی باد، نقش موثری در فرآیندهای استهلاک لکه نفتی مانند تبخیر و امولسیون نفت در آب دارد. بر اساس تحقیقات، نفت تبخیری در حدود۹۲ درصد و میزان امولسیون ۶۹ درصد افزایش یافته است. همچنین میزان حلالیت در حدود ۱۷ درصد کاهش را نشان می‌دهد. بنابراین مقدار نفت باقی‌مانده در اثر تنش برشی باد به‌طور متوسط ۳۰ درصد کاهش یافته است.

کلید واژه: مدل هیدرودینامیکی، فرمول اسماگورینسکی، منطقه عسلویه ، نرم‌افزار مایک۳

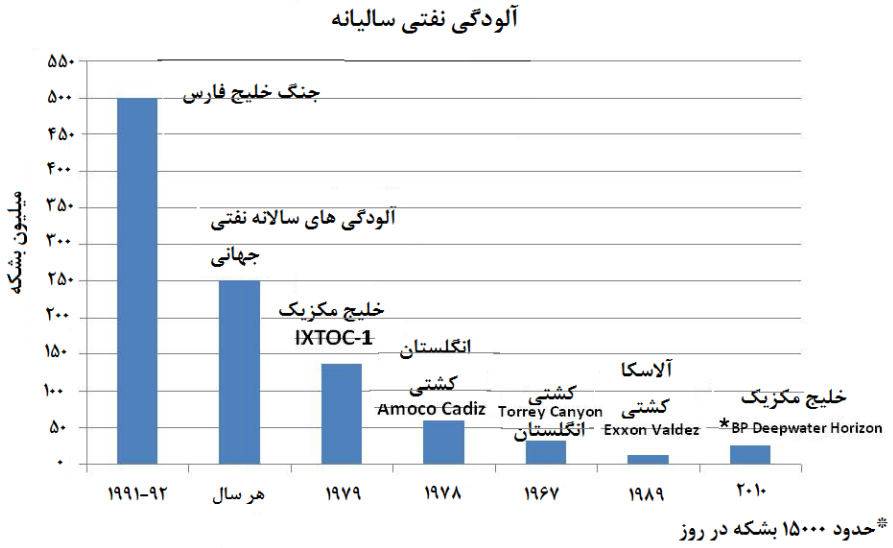
فصل اول
آلودگی نفتی در دریاها وسواحل

۱-۱مقدمه

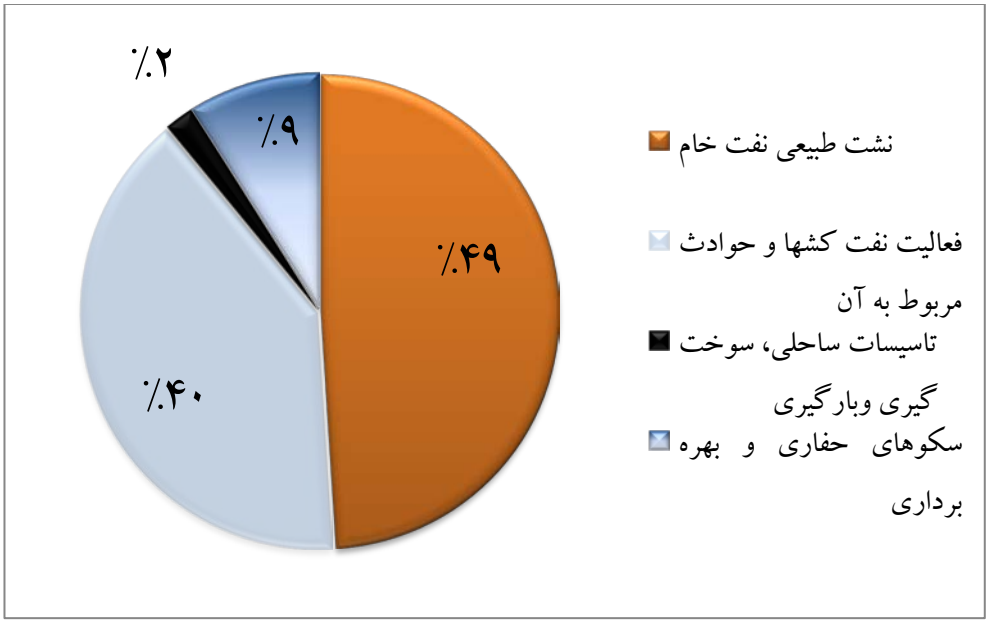
به دلیل اهمیت رودخانه ها، دریاها و خلیج‌ها در اقتصاد کشورها و همچنین حفاظت محیط زیست، حفاظت از آب‌ها در برابر آلودگی های مختلف، از اهمیت بالایی برخوردار است. نفت خام به دلایل مختلف از جمله سوختن آسان، هزینه نسبتا کم تولید، جابجایی آسان و عرضه به قیمت مناسب یکی از حیاتی ترین منابع طبیعی محسوب می شود. آلودگی های دریایی ناشی از مواد معدنی، نفت خام و مواد نفتی، یک معضل مهم و عمده زیست محیطی است [۱]. نیمی از فرآورده‌های نفتی دنیا از طریق دریا انتقال می‌یابند. حجم عمده نفت ریخته شده در دریا به علت عملیات تخلیه، تصادفات و به گل نشستن کشتی ها ، انفجار و شکستن خطوط لوله می‌باشد . به‌علت رشد اقتصادی جهانی، تقاضا برای فرآورده های نفتی رو به افزایش است، از این رو انتظار می‌رود ریزش‌های نفتی بیش‌تری به‌خصوص در مسیر حرکت تانکرها و نواحی اطراف سکوهای نفتی صورت گیرد (شکل۱-۱). ۴۸٪ آلودگی دریایی ناشی از سوخت‌ها و ۲۹٪ ناشی از نفت خام است [۲]. براساس گزارش‌های جمع‌آوری شده[1]، طی سال‌های ۱۹۷۴ تا ۲۰۰۴ میلادی ، بیش‌ترین سهم آلودگی نفتی دریایی مربوط به نشت طبیعی نفت خام به میزان ۴۹٪ درصد می‌باشد . سهم فعالیت نفت‌کش‌ها و حوادث مربوط به آن‌ها و سایر کشتی‌ها در ایجاد آلودگی ناشی از نفت در دریا ۴۰٪، سهم تاسیسات ساحلی، تخلیه، بارگیری و سوخت‌گیری نفت‌خام و فرآورده‌های نفتی ۹٪ و دو درصد باقی‌مانده شامل فعالیت سکوهای حفاری و بهره‌برداری دریایی می‌باشد [۳]. البته این نسبت در همه‌جا یکسان نیست و ممکن است با بیش‌تر شدن یک فعالیت در نقطه‌ای خاص یا در زمانی خاص، سهم منابع مختلف در ایجاد آلودگی نفتی در دریا

[1] ITOPF

تغییر کند[۴]. شکل ۱-۲ علل عمده نفت تخلیه شده به دریا را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱. میزان آلودگی نفتی در مناطق مختلف جهان[۳]



شکل ۱-۲. علل عمده نفت تخلیه شده به دریا[۳]

در دو دهه اخیر خطر آلودگی نفتی در خلیج فارس به‌شدت در حال افزایش بوده است. علت این امر میزان بالای تولیدات و انتقال نفت در این پهنه آبی می‌باشد[۵]. خلیج‌فارس به‌عنوان فعال‌ترین ناحیه تولید نفت در جهان شناخته شده است. اکثر نفت تولید شده در این منطقه توسط تانکرهای حامل نفت به میزان حدودا ۳۵۰۰۰ تانکر در سال و از طریق تنگه هرمز انتقال می‌یابد[۶]. حمل نفت از طریق تانکر به‌همراه سایر منابع ریزش نفت در دریا مانند تولید، بارگیری، انتقال (خط لوله یا تانکر) و تصادفات سبب ایجاد پتانسیل بالای آلودگی نفتی در خلیج‌فارس شده

است[۷]. پیش‌بینی مسیر حرکت ریزش نفت به‌منظور مدیریت منابع، حیات‌وحش وشیلات به لحاظ پایش و کنترل محیط زیست دریایی انجام می‌پذیرد. پیشگیری، یکی از فاکتورهای مهم برنامه‌ریزی‌های احتمالی در خصوص ریزش آلودگی نفتی می‌باشد. مدل‌های عددی یکی از ابزارهای اصلی (البته نه تنها ابزار موجود) هستند که می‌توانند باعث سهولت در انجام عملیات پیشگیری شوند.

برای ردیابی ریزش‌های نفتی تا به حال چندین مدل عددی بکار رفته است. معمولا برای اجرای این‌چنین مدل‌ها به داده‌هایی مانند جریانات آب، باد سطحی دریا و دمای سطح آب نیاز است. همچنین علاوه بر آلودگی ناشی از لکه نفتی، آلودگی ناشی از انتشار رسوبات مختلف نیز وجود دارد. یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها در مسائل موجود در خلیج فارس انتقال رسوب و آلودگی وتاثیر منفی آن در زندگی منطقه می‌باشد. رسوب مواد دانه ریز در طول رودخانه و دلتاها عامل محدودکننده‌ای برای کشتیرانی می‌باشد و می‌تواند مسئله سیل و سیل‌خیزی را حادتر نماید. به‌علاوه غلظت بالای رسوب می‌تواند روی افزایش کدورت آب و درنتیجه کاهش نفوذ نور در عمق آب موثر باشد، ضمن اینکه افزایش رسوبات در جابجایی فلزات سنگین که اکثرا سمی نیز می‌باشند نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند[۸]. مسئله آلودگی در این منطقه از دیرباز مورد توجه مهندسان آب و محیط زیست بوده است. این آلودگی‌ها ناشی از فعالیت‌های انسانی یا منابع طبیعی است[۹]. وقتی آلودگی از یک منبع نقطه‌ای به محیطی تخلیه می‌شود، برحسب خصوصیت آن آلاینده، دمای محیط، غلظت سایر مواد درون آب و وزش باد و دیگر عوامل، آلودگی تخلیه شده به محیط شروع به پخش شدن در راستای افقی و عمودی می‌کند، که در سطح به انتشار معروف است[۱۰]. در این انتشار، مواد آلاینده شامل ذرات یا لکه آلودگی، پخش‌شدگی در اثر ترکیبی از اثرات برشی و اختلاف پتانسیل اتفاق می‌افتد. پخش‌شدگی در راستای عمق نیز صورت می‌گیرد، که به مرور زمان غلظت ماده کم می‌شود ولی مرکز جرم آن ثابت می‌ماند وعلت آن حرکت تصادفی آب است. این پخش در حالت مولکولی پخش‌شدگی ناشی از حرکت براونی[1] مولکول‌های آب و در حالت آشفتگی ناشی از حرکت متلاطم خود آب است[۱۰].

۱-۲ مدل‌های عددی

اهمیت ارتباط زیست محیطی دریایی با ریزش‌های نفت و زیان‌های ناشی از آن ، به توسعه مدل‌های عددی هدایت شده است که انتقال و سرنوشت لکه‌های نفتی را پیش‌بینی می‌کند. طی ۲۵ سال گذشته، مدل‌های ریزش نفت از مدل‌های مسیریابی دوبعدی تا مدل‌های سه بعدی که شامل فرآیندهای موثر بر سرنوشت و انتقال می‌باشند، تهیه می‌شوند. اکثر مدل‌ها روش تعادل جرمی را به‌کار می‌برند که حجم نفت تلف شده، حجم باقی‌مانده در سطح وستون آب و خط ساحلی و بستر را در اثر فرآیندها نشان می‌دهد. مدل ریزش نفت به مدل‌های پیش‌بینی جوی، وابسته است.

۱-۲-۱-مدل‌های عددی در خلیج‌فارس

خلیج فارس در عرض جغرافیایی۳۰-۲۴ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶/۵-۴۸ درجه شرقی قرار دارد (شکل ۱-۳). طول خلیج فارس ۹۹۰ کیلومتر و پهنای آن ، ۳۰۰-۲۰۰ کیلومتر است. مساحت سطحی آن به طور

[1] Brownian motion

تحلیلی $۲/۳\times۱۰^{۵}$ کیلومتر مربع، میانگین حجم $۸/۶۳\times۱۰^{۳}$ کیلومتر مکعب و میانگین عمق آن ۴۰-۳۵ متر است . حداکثر عمق خلیج فارس ۱۰۰-۹۸ متر نزدیک دهانه تنگه هرمز است . هشت کشور، در حاشیه خلیج فارس وجود دارد و بیش‌ترین ساحل، مربوط به ایران است. این کشورها شامل ایران، عراق، عربستان، بحرین، کویت، امارات، عمان و قطر می‌باشند. مهم‌ترین عوامل فیزیکی خلیج‌فارس در ارتباط با تاثیرات آلودگی دریایی، طبیعت نیمه بسته و کم عمقی آن و قرار گرفتن در سرزمین‌های خشک از سمت غرب است. طبیعت نیمه بسته آن بدین معنی که یک نسبت پایین تبادل آب (تا۵ سال) دارد و قسمت‌های وسیعی از آن شدیدترین شوری و دما را تجربه می‌کند، که تاثیر قابل توجهی در محیط دریایی دارد. شرایط جوی و محیط دریایی و نوع ساحل منطقه موردنظر در ارتباط با حرکت و پخش نفت ریزش شده در دریا بسیار تاثیرگذار بوده و آگاهی از عوامل حاکم جوی و دریایی با توجه به فصول مختلف در منطقه ضروری است. علاوه بر باد، جریان آب یکی از فاکتورهای اصلی در تحلیل مسیر یابی آلوده کننده برای محیط دریایی است که می‌بایست به دقت درک شود. جریان‌ها، باعث جابجایی عناصر آب و در نتیجه موجب جابه‌جایی آلاینده‌ها که داخل یا شناور در آب هستند، می‌شود.

شکل۱-۳. موقعیت جغرافیایی منطقه خلیج فارس

میدان‌های جابجایی به جریان‌های دریایی اشاره می‌کند که توسط مدل‌های جریان هیدرودینامیک و بقاء جرم شبیه‌سازی می‌شود. فرآیندهای فعال سطحی، جریان‌های واقعی یا انتقال ممنتم که به باد بستگی دارند توسط فاکتور رانش باد توجیه می‌شود. آشفتگی ژئوفیزیکی اساسا به جملات غیر خطی جابجایی مربوط می‌شود که در معادله ناویر استوکس رخ می‌دهد. به‌منظور شناخت و پیش‌بینی حرکت لکه نفتی توسط مدل‌های ریاضی در خلیج‌فارس مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است که در ادامه بطور مفصل به توضیح در خصوص این مدل‌های ریاضی پرداخته خواهد شد .

۱-۳-تاریخچه

-مطالعات انجام شده در خارج از کشور

پییر دانیل از هواشناسی فرانسه (۱۹۹۲ میلادی)، مدل عددی حرکت لکه نفت در خلیج‌فارس از ۲۵ ژانویه تا اول فوریه سال ۱۹۹۱ میلادی ناشی برای ریزش نفت حدود ۸۰۰۰۰۰ تن در سواحل کویت را ارائه داد[۱۱]. مدل، شامل یک

مدل دوبعدی هیدرودینامیک با کاربرد معادلات غیرخطی آب کم‌عمق(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 جملات غیر خطی جابجایی ، مقادیر سرعت‌های جریان سطحی را تعیین می‌کند. مدل دوم، مدل لکه نفت است که موقعیت لکه را مشخص می‌کند و لکه نفت را به صورت بسته‌های مستقل (روش لاگرانژی) در نظر می‌گیرد. 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. در مرزهای ساحلی، مولفه عمودی سرعت صفر است. دانیل از مقایسه داده‌های مدل با مشاهدات مربوط به گزارش رسانه‌ها نتیجه گرفت که شبیه‌سازی مدل برای حرکت لکه نفت در خلیج‌فارس نسبتا خوب است.

آل را به(۱۹۹۳ میلادی)، مدل عددی انتقال سطحی نفت ریزش شده در خلیج‌فارس را ارائه داد. مطالعه مدل، شامل قسمت اول که مدل مسیریابی نفت با کاربرد داده‌های بویه‌های شناور گشت مونت میشل است. این مدل انتقال سطحی نفت ریزش شده، به فواصل ۲۴ ساعت، با داده‌های سرعت میانگین باد روزانه را شبیه‌سازی می‌کند. در قسمت دوم، فرمول تجربی بر اساس روش فاکتور رانش که انتقال سطحی ریزش نفت را به‌دلیل رانش ناشی از باد تخمین می‌زند، می‌باشد. از مدل سه‌بعدی هیدرودینامیک، جریان‌های سطحی در شرایط خاص باد به‌دست آمده است. در این مدل، جریان‌های ناشی از چگالی و جزرومد نادیده گرفته شده است. این موضوع بدلیل این است که جریان‌های جزرومدی تاثیر کمی بر انتقال خالص بر پریودهای بیش‌تر از ۲۴ ساعت را باعث می‌شوند. از طرفی به‌علت کوچکی جریان‌های ناشی از چگالی و گرمایی در قسمت‌های اصلی خلیج، در مدل فرض شده است که ریزش‌های سطحی نفت، با همان سرعت جریان‌های ناشی از باد حرکت می‌کند که این فرض برای لکه‌های نازک مناسب است. مدل، حرکات بویه‌های شناور را طی قلمرو محاسبه، شبیه‌سازی می‌کند. مقایسه مسیرهای محاسبه شده و مشاهده شده بویه‌ها ، نتایج معقولی را نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی، علاوه بر محدویت داده‌های متغیر باد ، مناسب بوده است. خطاهای کوچک اولیه به دلیل ضعف دقت در الگوهای گردش آب در ناحیه مرکزی خلیج است. در مدل دوم، کاربرد فرمول تجربی (به نام فاکتور رانش باد)، مانند مدل‌های ریزش نفت، سرعت جابجایی ریزش نفت را در سطح دریا به‌عنوان مجموعه‌ای از سرعت باد و سرعت جریان نشان می‌دهد. نتایج تجربی بویه‌های شناور، برای تخمین سرعت جریان سطحی ناشی از باد و زاویه انحراف به‌کار رفته است. روش تجربی نشان می‌دهد که، مدل‌های پیش‌بینی مسیریابی، در حرکات سطحی نفت موفقیت آمیز است. در این روش، می‌توان نتیجه گرفت:

- اثرات باد و جریان در یک ریزش سطحی به طور مستقل عمل می‌کند و می‌تواند به عنوان یک جمع برداری سرعت‌ها بیان شود.
- سرعت ریزش نفت ناشی از باد، 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. در این مدل مقدار فاکتور رانش باد بین ۰/۰۶-۰/۰۱، زاویه انحراف بین صفر و ۲۵ درجه در نظر گرفته شده است و فاکتور رانش جریان، به‌دلیل حذف جریان‌های جزرومدی و جریان‌های ناشی از چگالی در میانه خلیج، صفر در نظر گرفته شده است. مدل نشان می‌دهد که زاویه انحراف سریعا با افزایش سرعت باد، کاهش می‌یابد (با توجه به سرعت باد ۱۰ الی ۲۰ نات).

برای سرعت باد بزرگ‌تر از ۳۰ نات، سرعت نفت ریزش شده ناشی از باد موازی با باد است که با مشاهده‌ها، همخوانی دارد. در این مدل، حرکت ذرات نفت در ستون آب و سایر فرآیندهای موثر برنفت مانند تبخیر، حلالیت وغیره بررسی نشده است.

ریاضی از دانشگاه کویت(۱۹۹۶ میلادی)، مدل عددی سرعت‌های تبخیر و حلالیت را برای نفت ریزش شده در دریا ارائه داد. نمونه‌های 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 درنظر گرفته شده است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها بیانگر آن بود که:

- سرعت حلالیت تحت شرایط معمولی سطح دریا تقریبا ۰/۱ درصد سرعت تبخیر است.
- حلالیت با دما افزایش و با غلظت شوری کم می‌شود.
- سرعت تبخیر شدیدا به وزن مولکولی نفت ، ضخامت لکه نفت و دما وابسته است.
- معادلات ضرایب انتقال جرم با توجه به نوع نفت برای تبخیر و حلالیت مناسب است .

ریاضی(۱۹۹۹ میلادی)، مدل عددی دیگری برای سرعت‌های تبخیر ، حلالیت و رسوب‌گذاری مولفه‌های نفت را، با توجه به ضخامت متغیر لکه نفت در مقابل زمان، ارائه داد. نمونه‌های مورد آزمون، نفت‌خام و چهار محصول نفتی کویت بود. ورودی‌های مدل، شامل تقطیر نفت، چگالیAPI 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 بوده است. مدل، فرآیندهای تجزیه، پخش، گسترش، امولسیون موثر در تبخیر و اعمال موج موثر در رسوب را در نظر نگرفته است. در پایان نتایج نشان داده شده است که :

- مولفه‌های سنگین نفت با چگالی‌های بیش‌تر از چگالی آب به کف دریا فرو می‌روند مادامی که مولفه‌های سبک تبخیر می‌شوند یا درون آب محلول می‌شوند.
- مدل سرعت محوشدن لکه نفتی را بخصوص برای نفت خام کویت بخوبی پیش‌بینی نموده و مقادیر نفت فرورفته درون آب، تبخیر شده یا محلول شده، حجم، مساحت، ضخامت لکه و ترکیب ریزش نفت را در مقابل زمان تعیین نموده است.
- مقدار رسوب به روش و تعداد شبه مولفه‌های 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 نرم‌افزاری مدل عددی پیش‌بینی حرکت و سرنوشت نفت ریزش شده در خلیج‌فارس را ارائه دادند[۱۲]. این مجموعه، شامل مدل‌های مسیرهای ساده ، ریزش‌های بزرگ مقیاس و ریزش‌های کوچک مقیاس(محلی) است. مدل‌ها بر اساس مدل سه‌بعدی هیدرودینامیک خلیج‌فارس است و فرآیندهای تبخیر، امولسیون، پخش توسط موج در ستون آب، به ساحل نشستن(احتمال برگشت به درون ستون آب) و گستردگی مکانیکی را شامل می‌شود. امتیاز اصلی 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 نمودن دوباره دارد. در این مدل سرعت نفت با کسر معینی از سرعت باد در یک زاویه معین نسبت به جهت

راست باد تعیین می‌شود. مدل، جریان ورودی اروندرود را در نظر گرفته و با روش مونت کارلو آلودگی به تعداد زیادی از بسته‌های لاگرانژی هم‌اندازه تقسیم می‌شود. سرعت عمودی آب به دلیل کوچکی حذف شده است. جریان جزرومد و سایر جریان‌ها در انتقال نفت مورد نظر بوده است.

در مدل مکی، نفت به لکه نازک و ضخیم تقسیم شده و تبخیر و پخش بطور جداگانه برای هرکدام بررسی شده است. مدل فرض کرده است که، مولفه‌های سبک فورا تبخیر شده و مولفه‌های سنگین با در نظر گرفتن فشار بخار معرفی شده 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. توقف فرآیند پخش در مدل وقتی است که گرانروی نفت، به حداکثر برسد. فرآیند گستردگی تا زمانی که ضخامت لکه خیلی نازک شود، ادامه دارد.

بر اساس مطالعات انجام شده توسط فینگاس، میزان تبخیر مواد نفتی مختلف اندازه گیری شده است. او نشان داد هرچه ماده نفتی دارای اجزای بیشتری باشد منحنی تغییرات میزان تبخیر آن بر حسب زمان به یک منحنی لگاریتمی نزدیک می شود. ولی او انتشار و پخش نفت را مورد توجه قرار نداد[۱۳]. او همچنین در مقالاتی به پدیده های فیزیکی شیمیایی پرداخته است و اثرات مربوط به تغییر شرایط آب و هوا بر نفت نشت یافته را بررسی کرده است [۱۴].در کار دیگری که شباهت زیادی به کار فینگاس دارد، سباستیو و سوارز سعی کردند یک مدل عددی برای نشت نفت به طورکلی در دریا و نه در یک حوزه خاص ارائه دهند. در مدل آنها اثرات فیزیکی و شیمیایی که در نشت نفت برروی دریا موثر هستند منظور شده است ولی از اثرات رسوبات صرف نظر شده است .در کار دیگری توسط ریاضی و عدالت با استفاده از یک سری روابط ترمودینامیکی، مسئله حل شدن و تبخیر به صورت عددی شبیه سازی و اثرات دما ونمک موجود بر میزان تبخیر و حل شدن مطالعه شده و انتشار وپخش نفت بررسی نشده است. آنها نشان دادند افزایش دما به ازدیاد نرخ تبخیر و حل شدگی منجر شده در حالی که افزایش نمک در آب میزان حل شدن را کاهش می دهد[۱۵].در تحقیق دیگر چائو وهمکارانش با استفاده از مدل های دو بعدی وسه بعدی ، مسئله نشت نفت در سواحل سنگاپور را بررسی کردند[۱۶]. شاویتس و کین به مدلسازی نشت نفت در خلیج ناراگانست واقع در رودایلند امریکا پرداخته اند. آنها از معادلات ممنتوم دو بعدی و معادلات انتقال برای دما و شوری آب استفاده کرده و از یک معادله حالت (به صورت تابع فشار و شوری) و معادله هیدرو استاتیک برای سیال غیر قابل تراکم استفاده نموده اند[۱۷]. فابیان و آرترو به یک مدل عددی برای محاسبه چگونگی انتشار لکه نفتی دست یافتند .آنها با مقایسه مدل های ریاضی بلوکر[1]، فی[2] و مک‌کی[3] که نتایج آنها به زمان انتخابی برای حل بستگی نداشت و برای امکان مقایسه با نتایج قبلی، زمان را ۳۰۰ ثانیه در نظر گرفتند.

در مقاله دیگری حرکت لکه نفتی که دربردارنده‌ی حرکت افقی، پخش و انتشار می‌باشد توسط حرکت براونی جزئی در منطقه ساحلی دالیان بررسی شده است[۱۸]. همچنین در مقاله‌ی آنتونیو الیتا نیز نقشه ریسک آلودگی نفتی در سواحل ایتالیا بررسی شده است. در این پژوهش مدل جدیدی بر اساس المان محدود سه بعدی که قادر است، امواج و هیدرودینامیک آب را شبیه‌سازی کند، به‌کار گرفته شده است[۱۹].

[1] Blokker
[2] Fay
[3] Mackay

-مطالعات انجام شده در ایران

در مورد آلودگی‌های نفتی مطالعات زیادی در ایران صورت گرفته است، که بخشی از این مطالعات در مقدمه فصل ذکر شده است. همچنین مطالعات تکمیلی در این زمینه در ادامه و در جدول ۱-۱تشریح شده است. عباسپور و اقبال فر (۱۳۷۵ شمسی) مدل عددی شبیه سازی نشت در خلیج فارس را ارائه دادند[۲۰]، که شامل مدل‌های تبخیر، پخش و پراکندگی، مدل تشکیل قطره، مدل پراکندگی قطره ، مدل پراکندگی نفت در دریا ، مدل شبیه‌سازی جزرو مد و باد می‌باشد. در مدل آن‌ها انتقال جریان‌های دریایی ناشی از جزرومد و باد (جریان اکمن) موردنظر بوده و از جریان‌های شیبی و جریان‌های چگالی صرف‌نظر شده است. در جریان‌های جزرومدی، با حل معادلات بقای جرم و ممنتم برای آب‌های کم‌عمق (با در نظر گرفتن معادله فشار هیدروستاتیک)، از لزجت مغشوش و شرایط جوی صرف‌نظر 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 به‌دست آمده است. در مدل جزرومدی، از روش اجزاء محدود استفاده شده است. مدل‌ها نتیجه می‌دهند که ترکیب و تبخیر وپخش شدن نفت، تداخل لکه نفت در دریا و تشکیل قطرات نفت، پراکندگی قطرات نفت در ستون آب و تشکیل و پراکندگی لکه‌های کوچک بر اثر اغتشاش در دریا در پیش‌بینی 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 باتغییرات شرایط محیطی، مقدار آن کم یا زیاد می‌شود . این مدل، میزان نفوذ مواد نفتی در عمق آب را در نظر گرفته است. صباغ یزدی(۲۰۰۱ میلادی)، مدل دوبعدی جزرومدی پراکنش نفت در خلیج‌فارس را با حل معادلات میانگین عمقی، بر روی شبکه اجزای بدون ساختار ارائه داد[۲۱]. در این مدل از نتایج آنالیز هارمونیک (نوسانات جزرومدی بر روی پراکنش نفت در سطح حوزه خلیج‌فارس از طریق حل عددی معادلات میانگین عمقی به همراه معادله انتقال و پراکنش مواد شناور) استفاده شده است. در این معادلات پدیده آشفتگی جریان، از طریق حل عددی معادلات میانگین عمقی به همراه معادله انتقال و پراکنش شناور شبیه‌سازی شده است. در این معادلات، پدیده آشفتگی جریان از طریق منظور نمودن عبارت‌های پخش در نظر گرفته شده است. با توجه به پیچیدگی‌های هندسی محیطی جریان در مسائل واقعی، برای گسسته‌سازی محیط از شبکه‌های اجزای بدون ساختار مثلثی(شبکه‌های المان‌های محدود) استفاده شده است. در مدل، اثر باد مدنظر نبوده و جریانات دریایی و نوسانات سطح آب که عمدتا تحت تاثیر جریان‌های حاصل از شرایط مرزی جزرومدی، گردش زمین و تبخیر از سطح دریا شکل می‌گیرد در نظر گرفته شده است. در شرایط اولیه ، مولفه‌های 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 ودمای هوا(کل سطح) یکسان فرض شده است. در شرایط مرزی، سرعت عمود بر مرز صفر و به دلیل تاثیرات شدید بستر در نواحی کم‌عمق ساحلی، سرعت جریان‌های دریایی با اعمال سرعت برشی جایگزین شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد 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 نرم‌افزار آنالیز هارمونیک)، جریانات جزرومدی دریایی در خلیج‌فارس به‌خوبی