

مدلسازی پخش نفت و پشتیبانی از کاهش تأثیرات زیست محیطی آن مطالعه موردی: خروج نفت از خطوط لوله کف دریا در منطقه خارک - خلیج فارس

مهدی شفیعی‌فر^۱, پویا رنجبر^۲, جواد رضوان‌دوست^۳

چکیده

در این مقاله نتایج تحلیل‌های انجام گرفته بر روی سناریوهای خروج بالقوه نفت از خطوط انتقال نفت در کف دریا، بین ساحل سرزمین مادری و جزیره خارک را ارائه می‌شود. تحلیل‌ها توسط مدل سه بعدی OSCAR انجام شده است. چند سناریویی محتمل خروج نفت خام سنگین و سبک ایران به منظور ارزیابی میزان نفت رسیده به سواحل و بنادر منطقه تعیین شده است. نتایج مربوط به سناریوها نشان می‌دهد که عامل اصلی انتقال و پخش نفت در منطقه باد است به طوری که با یک باد ملایم، نفت با سرعت به صورت طبیعی در منطقه پراکنده می‌شود. در چند روز اول پخش زیادی از نفت تبخیر می‌گردد. بخش عمده‌ای از آلودگی به صورت رسوب و بخشی با برخورد به سواحل محیط زیست منطقه را دچار آلودگی می‌کند. همچنین سناریوهای خروج نفت برای ارزیابی تأثیر طرح عملیات پاسخ بر روی کاهش پتانسیل مورد بررسی قرار گرفتند. وسائل مکانیکی جمع‌آوری، اثرات زیستمحیطی خروج بالقوه نفت را کاهش می‌دهند اما به صورت کامل از بین نمی‌برند. محصولات شیمیایی پراکنده‌ساز از طریق شناورها و هوایپما، تأثیرات سطحی بالقوه را کاهش می‌دهند اما در عین حال نفت موجود در ستون آب و رسوب را افزایش می‌دهند. نتایج تحقیق حاضر می‌تواند بعنوان یک مبنای برای تحلیل استراتژی‌های طرح عملیات پاسخ در کاهش تأثیرات زیستمحیطی نفت پخش شده در آبهای منطقه خارک مورد استفاده قرار گیرند.

کلمات کلیدی: آلودگی نفت، خط لوله، خلیج فارس، مدلسازی، عملیات پاسخ

مقدمه

با وجود اینکه نفت شریان زندگی جوامع مدرن است، زمانی که این منبع حیاتی از کنترل خارج شود، می‌تواند زندگی دریایی را خراب و اقتصاد و محیط زیست یک منطقه را ویران کند و یکی از مخرب‌ترین مواد آلاینده برای محیط زیست باشد. یکی از راه‌های ورود نفت به دریا خروج ناگهانی نفت از کف دریا می‌باشد که می‌تواند در هنگام بروز مشکل برای چاه نفت در فراساحل یا خطوط لوله انتقال نفت در دریا رخ دهد.

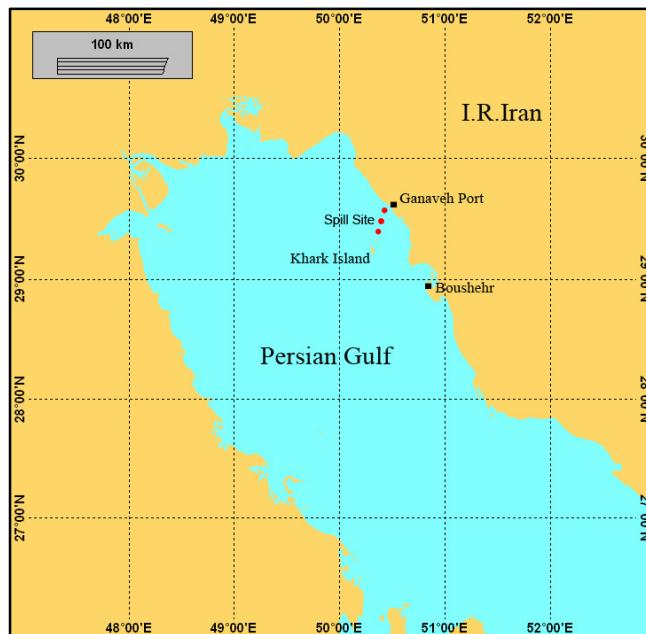
در تحقیق حاضر مدلسازی سناریوهای خروج نفت از لوله‌های انتقال نفت در کف دریا بین سواحل ایران (بندر گناوه در استان بوشهر) و جزیره خارک به منظور ارزیابی تأثیرات زیست محیطی نفت خروجی انجام شده است. جزیره خارک بزرگترین ترمینال صادرات نفت ایران می‌باشد که در فاصله ۵۷ کیلومتری شمال غربی بوشهر و ۴۰ کیلومتری جنوب بندر گناوه واقع است (شکل ۱) و حدود ۹۰ درصد نفت خام کشور به وسیله پنج خط لوله از ساحل ایران و حوزه‌های نفتی فراساحلی به این جزیره منتقل و از آنجا توسط شرکت پایانه‌های نفتی ایران صادر می‌شود. عمق متوسط آب در محدوده عبور خطوط حدود ۲۰ متر است [۱]. بنابراین این ناحیه دارای پتانسیل بالایی برای خروج نفت از خطوط لوله کف دریا در اثر رخداد حوادث احتمالی، خوردگی و فرسودگی لوله‌ها می‌باشد.

برای مقابله با خطرات ناشی از نشت نفت به دریا بسیاری از کشورها تدبیری برای پیشگیری از اثرات ریزش احتمالی نفت در دریا اندیشیده‌اند. در این راستا استفاده از مدل‌های عددی برای پیش‌بینی حرکت و توزیع غلظت ذرات نفت در دریا در طرح عملیات احتمالی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق مدلسازی پخش نفت توسط نرم‌افزار OSCAR انجام شده است که معرفی آن در بخش تشریح مدل انجام می‌شود.

جريان‌های اصلی در خلیج فارس، جریاهای جزر و مدي هستند. با مدلسازی جريان‌های جزر و مدي محیط خلیج فارس توسط بخش هیدرودینامیک (Hydrodynamic Module) نرم‌افزار MIKE21، شدت جريان، جهت و توزیع آن در عمق بدست آمد. با توجه به نتایج مدلسازی

حداکثر سرعت جریان‌های جزر و مدي در آبهای منطقه خارک به طور عمدۀ از جهت شمال غرب به سمت جنوب شرق در حال وزش است و در ماه ژانویه (مدلسازی در این ماه انجام شده است) در ارتفاع ۱۰ متری از سطح دریا دارای سرعت متوسط 4 m/s است. برای داده‌های ورودی باد، از داده‌های مدل هواشناسی چند لایه‌ای طیفی ECMWF استفاده شده است. داده‌ها محدوده زمانی ژانویه ۱۹۹۲ تا آگوست ۲۰۰۲ با گام زمانی ۶ ساعت را پوشش می‌دهند که از یک مدل عددی اتمسفری حاصل شده است [۲]. یک مدل Ekman درون OSCAR تعییه شده است که جریان‌های ناشی از باد را مدلسازی می‌نماید [۳]. دمای متوسط آب در بازه زمانی مورد مطالعه (ماه ژانویه) برابر با 16°C و همچنین شوری آب در این منطقه به طور متوسط 35 گرم در لیتر می‌باشد [۱].

خطوط لوله موجود در منطقه حاوی نفت خام مایع هستند که دو خط نفت سنگین و سه خط نفت سبک ایران را انتقال می‌دهند. خروج فرضی نفت به مدت ۳ روز از دو خط لوله نفت سبک و نفت سنگین به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است. هر دو خط لوله دارای قطر 30 اینچ و طول تقریبی 46 کیلومتر هستند که یکی به طور متوسط $280 \text{ هزار بشکه نفت سبک با چگالی } 852 \text{ ton/m}^3$ (دمای 21°C) و دیگری $350 \text{ هزار بشکه نفت سنگین با چگالی } 875 \text{ ton/m}^3$ (دمای 21°C) را در روز از نزدیکی بندر گناوه به جزیره خارک انتقال می‌دهند. فشار در ابتدای مسیر 280 psig (21 kg/cm^2) و در انتهای مسیر 30 psig (19 kg/cm^2) می‌باشد [۱]. خطوط لوله دارای افت طولی برابر با 204 متر در کل مسیر می‌باشند. در صورت خوردگی بیرونی لوله و یا رخداد حادثه‌ای به طور تقریبی در یک چهارم ابتدای مسیر دریابی که باعث ایجاد حفره‌ای شود در هر یک از دو خط لوله، نفت با سرعت 59 m/s از لوله خارج می‌شود (بر اساس روابط پایداری جرم و برنولی). قطر 5 سانتی‌متر به عنوان قطر حفره‌ای که ممکن است در خطوط لوله ذکر شده ایجاد شود انتخاب شد که موجب خروج تقریبی $189,000 \text{ بشکه نفت}$ از هر خط لوله به طور مشابه در مدت ۳ روز خواهد شد.



شکل ۱: موقعیت منطقه خارک برای استفاده در OSCAR.

تشریح مدل

سیستم مدل OSCAR^۱ به منظور تأمین ابزاری برای تحلیل عملی استراتژی‌های عملیات پاسخ به پخش آلودگی نفت، توسعه داده شده است. هدف OSCAR رسیدن به یک تعادل بین هزینه سازماندهی و آمادگی در حد نیاز و امکان (که با عنوان قابلیت عملیات پاسخگویی به ریزش نفت شناخته می‌شود) از یک طرف، و اثرات زیست محیطی بالقوه آلودگی نفت از سوی دیگر می‌باشد. OSCAR ابزاری است که به صورت مستقیم و واقعی نسبت مناسب میزان تجهیزات به نیازهای زیستمحیطی را تعیین می‌کند [۴ و ۵]. مؤلفه‌ها و اجزای کلیدی این سیستم، در شکل ۲ نشان داده شده است که شامل مدل پایگاه داده هوازدگی نفت^۲ SINTEF [۶ و ۷]، یک مدل سه بعدی مسیریابی و سرنوشت شیمیایی نفت^۳ [۸] و یک مدل پاسخ به

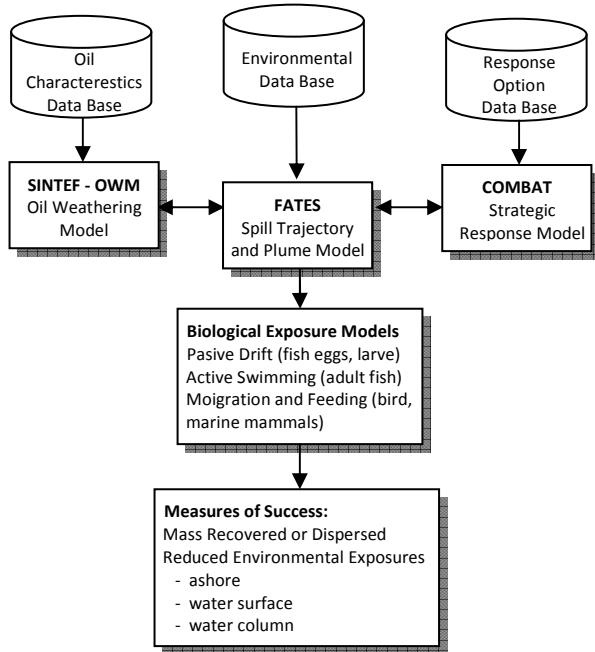
¹Oil Spill Contingency And Response

²Data-Base Oil Weathering Model

³3-Dimensional Oil Trajectory and Chemical Fates Model

ریزش نفت^۱ [۹] می‌باشد. این سیستم دارای اجزای دیگری نیز می‌باشد که به دلیل عدم استفاده ذکر نمی‌شود. OSCAR به منظور تحلیل استراتژی‌های مختلف عملیات پاسخ پخش نفت برای سکوهای نفتی فراساحلی [۵ و ۹]، ترمinal‌های ساحلی [۸] و نیز خطوط انتقال نفت در کف دریا که در این تحقیق انجام شده است، قابل کاربرد است. OSCAR برای استراتژی‌های مختلف عملیات پاسخ به پخش نفت، یک مبنای کلی برای ارزیابی تأثیرات کمی زیستمحیطی در محیط دریا فراهم کرده است. مدل، توزیع نفت را در سه بعد مکانی و زمان و در موقعیت‌های سطح آب، طول ساحل، ستون آب و رسوب محاسبه و ثبت می‌کند. پایگاه داده نفت و مواد شیمیایی، پارامترهای شیمیایی و سمی مورد نیاز مدل را تأمین می‌کند.

OSCAR الگوریتم پخش سطحی، اینزینمنت^۲، امولسیون شدن، و تبخیر را در سطح آب برای انتقال و تعیین سرنوشت نفت به کار می‌برد. در ستون آب، جابجایی و پاشیدگی^۳ افقی و قائم هیدروکربن را با استفاده از پروسه حرکت اتفاقی^۴ شبیه‌سازی می‌نماید. بخشی از آلودگی جذب مواد محلول معلق می‌شود و رسوب می‌کند و ممکن است مجدداً به صورت محلول به ستون آب باز گردد. تخریب^۵ در ستون آب و رسوب به صورت یک پروسه اضمحلال^۶ با توان اول ارائه می‌شود. الگوریتم‌های مورد استفاده برای شبیه‌سازی پروسه‌های کنترلی سرنوشت فیزیکی در مراجع [۵]، [۷] و [۸] ارائه شده‌اند.



شکل ۲: نمای کلی سیستم OSCAR [۲]

قابلیت‌های عملیات پاسخ به ریزش نفت

OSCAR قابلیت تخصیص استراتژی‌های عملیاتی مخصوص به هر سیستم بوم-اسکیمیر یا تجهیزات حاوی مواد پراکنده‌ساز^۷ را به منظور شبیه‌سازی سازی دارد. مشخصات تجهیزاتی که در مدلسازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند در جدول ۱ خلاصه شده است. فرض بر آن است که راندمان جمع‌آوری و بازیافت وابسته به ارتفاع موج مشخصه است (شکل ۳)، که در OSCAR بر اساس تابعی از سرعت باد، طول بادگیر و زمان وزش باد می‌باشد. در شرایط ایده‌آل حداقل ۸۰٪ نفت محصور شده در بوم با در نظر گیری نفت نشست کرده از زیر بوم، می‌تواند جمع‌آوری شود. کارایی با افزایش ارتفاع موج یا سرعت باد کاهش می‌باید و با ارتفاع موج ۲ متر یا سرعت باد بالای $10 \text{ m/s} \approx 20 \text{ knots}$ به صفر می‌رسد. فرض بر آن است که عملیات در هنگام شب متوقف می‌شود (یعنی تجهیزات پایش مادون قرمز موجود نیست). OSCAR طلوع و غروب خورشید را بر اساس طول و عرض جغرافیایی و تقویم محاسبه می‌کند [۹]. در جدول ۲ مشخصات شناورهای حاوی مواد پراکنده‌ساز و یک هوایپیمای حاوی مواد پراکنده‌ساز که در عملیات پاسخ موردن استفاده قرار گرفته است، نمایش داده شده است.

¹Oil Spill Combat Model

²Entrainment (Movement Of One Fluid By Another)

³Dispersion

⁴Random Walk

⁵Degradation

⁶Decay

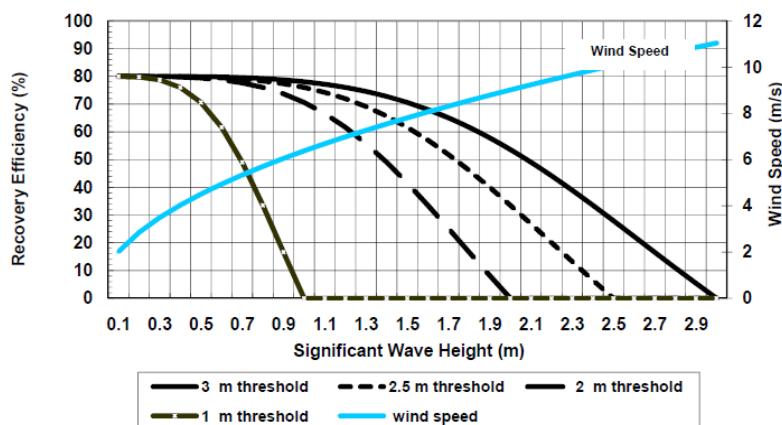
⁷Dispersant

جدول ۱: پارامترهای توصیفی مربوط به فعالیت‌های تجهیزات مکانیکی بوم-اسکیمیر در عملیات پاسخ

سیستم	تعداد	مدت آماده‌سازی (h)	سرعت شناور (knots)	سرعت شناور در هنگام عملیات (knots)	طول بوم (m)	ظرفیت اسمی اسکیمیر (m^3/h)	ظرفیت ذخیره‌سازی اسکیمیر (m^3)	حداکثر ارتفاع موج عملیاتی (m)
۲	۲	۴۸	۱۲	۲	۱۰۰	۳۰	۳۰	۳۰
۱	۲	۴۸	۱۲	۲	۲۵۰	۴۰	۴۰	۴۰

جدول ۲: پارامترهای حاکم بر تجهیزات حاوی مواد پراکنده‌ساز در اختیار بخش اینمنی جزیره خارک

سیستم	تعداد	سرعت عملیاتی (m^3/min)	زمان آماده‌سازی (h)	ظرفیت مخزن حاوی مواد پراکنده‌ساز (m^3)	سرعت باد آستانه در هنگام عملیات (m^3)	سرعت ($knots$)	سرعت عملیاتی ($knots$)	حداکثر توان پرواز (h)	عرض افشارندن (m)	تعداد مأموریت در روز	کل حجم مواد شیمیابی پراکنده‌ساز در اختیار (m^3)	کارایی (%)	زمان بازگشت برای بارگیری مجدد (h)	نوع پراکنده ساز مورد استفاده
Superdispersant-25 type 2	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۹	۱	۲	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱۰۰	۷۰	۰/۵	Superdispersant-25 type 2
	۲	۴۸	۴۸	۴۸	۲۸۰	۲/۷	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸	۱۰۰	۱۰	۱۲	Superdispersant-25 type 2
	۲	۲	۲	۱۴۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰	۱۰	۲	Superdispersant-25 type 2
	-	-	-	۵	۲۵	۲/۷	۵	۳۰	۳۰	۳۰	۱۰۰	۱۰	-	Superdispersant-25 type 2
	۱۲	۱۲	۱۲	۱۴۰	۲۸۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰	۱۰	۱۲	Superdispersant-25 type 2
	-	-	-	۴	۴	-	-	-	-	-	۱۰۰	۱۰	-	Superdispersant-25 type 2
	۱۰	۱۰	۱۰	۲۵	۲۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰	۱۰	-	Superdispersant-25 type 2
	۱۰	۱۰	۱۰	۵	۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰	۱۰	-	Superdispersant-25 type 2
	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰	۱۰	-	Superdispersant-25 type 2
	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	Superdispersant-25 type 2



شکل ۳: رابطه بین راندمان سیستم بوم-اسکیمیر و ارتفاع موج (محور سمت چپ) و سرعت باد (محور سمت راست) برای یک دریای کاملاً توسعه یافته [۱۰].

انتخاب نواحی حفاظتی

نواحی حفاظتی شامل تأسیسات بارگیری نفت در جزیره خارک که در معرض خطر آتش‌سوزی و انفجار هستند، سواحل توریستی، سواحل صخره‌ای و شنی به دلیل دشواری پاکسازی، بنادر و تأسیسات ساحلی می‌باشند. همچنین محل زیست و تخم‌بری ماهی‌ها نیز از اهمیت بالایی برخوردارند

که در این تحقیق به دلیل نبود اطلاعات کافی در این رابطه، بررسی اثرات نفت بر روی آنها انجام نشد. نواحی مذکور به منظور تأمین معیارهای عملیاتی برای ارزیابی تأثیر و کارایی عملیات پاسخ پخش نفت مد نظر قرار گرفته‌اند.

استراتژی‌های عملیات پاسخ به پخش نفت

در طرح عملیات پاسخ سه سیستم مکانیکی جمع‌آوری و بازیافت مورد استفاده قرار گرفت. هر سه سیستم طی ۴۸ ساعت پس از اعلام حادثه آماده عملیات می‌شوند که دو سیستم دارای بوم به طول ۱۰۰ متر و اسکیمر با ظرفیت پمپاژ $30\text{ m}^3/\text{h}$ می‌باشد و سیستم دیگر دارای بوم به طول ۲۵۰ متر و اسکیمر با ظرفیت پمپاژ $40\text{ m}^3/\text{h}$ می‌باشد. علاوه بر این دو شناور حامل مواد پراکنده‌ساز هر کدام با نرخ عملیاتی پخش $0.5\text{ m}^3/\text{min}$ و یک هوایپیمای حامل مواد پراکنده‌ساز با نرخ عملیاتی پخش $0.9\text{ m}^3/\text{min}$ در عملیات حضور دارد که با پراکنده نمودن لکه‌های سطحی نفت به ذرات درون ستون آب، به مقداری اندی پتانسیل تأثیرات سطحی نفت را کاهش می‌دهند. زمان آماده‌سازی شناورها و هوایپیمای حامل مواد پراکنده‌ساز نیز ۴۸ ساعت پس از اعلام حادثه می‌باشد. باید این مسئله را در نظر داشت که زمانی می‌توان از مواد شیمیایی پراکنده ساز استفاده نمود که هدف حذف سطحی نفت است و مسئله وجود نفت در ستون آب از اهمیت کمتری برخوردار باشد؛ به طور مثال در مواردی که هدف نرسیدن نفت به ساحلی که محل زیست پرندگان و پستانداران باشد و در ستون آب و کف دریا جانداران با ارزشی حضور نداشته باشند. بنابراین استفاده از مواد شیمیایی پراکنده ساز نیاز به یک بررسی دقیق دارد.

استراتژی استاندارد پاکسازی دریاهای نروز (NOFO) برای خروج نفت از کف دریا، قرارگیری تجهیزات جمع‌آوری نفت در نزدیک‌ترین محل ممکن به منبع خروجی، به منظور کاهش پخش سطحی و افزایش پتانسیل نرخ برخورد^۱ بین بوم و نفت است [۳]. خطوط لوله این ویژگی را نسبت به چاههای نفت دارند که در هنگام حادثه قابل کنترل هستند و به طور مثال می‌توان انتقال نفت را قطع نمود و یا در صورت وجود خطوطی دیگر به آن خطوط انتقال داد. پی بردن به وجود یک نقص در خطوط لوله زیر آب در منطقه نیازمند یک موازنۀ جرم دائمی بین ایستگاه پمپاژ و پایانه و یا مشاهده لکه‌های نفتی توسط شناورهای موجود در منطقه می‌باشد. در یک حالت بحرانی، در صورت مشاهده و مهار خروج نفت از لوله پس از ۳ روز، دیگر نمی‌توان سیستم‌های عملیات پاسخ را در محل خروج نفت متمرکز نمود، زیرا در هنگام شروع عملیات پاسخ، خروج نفت از لوله مهار شده است.

استراتژی عملیات پاسخ که در اینجا شبیه‌سازی شده است به صورت یک استراتژی ترکیبی عمل می‌کند (شکل ۴). بدین ترتیب که دو بوم-اسکیمر و هوایپیمای پخش‌کننده مواد پراکنده‌ساز در نواحی پایین دست جهت باد و نزدیکی سواحلی که در معرض خطر آسودگی هستند مستقر هستند که بیشترین لکه‌ها با بیشترین ضخامت در این نواحی حضور دارند. سومین بوم-اسکیمر و یک شناور حامل مواد پراکنده‌ساز نفتی در ناحیه خروج نفت مستقر هستند. همچنین دو شناور دیگر حامل مواد پراکنده‌ساز در نزدیکی جزیره خارک مستقر شده‌اند. به منظور عدم نیاز به بازگشت بوم-اسکیمرها و تخلیه نفت جمع‌آوری شده از چند بارچ تخلیه نفت^۲ نیز استفاده شده است.

سناریوهای خروج نفت

خروج احتمالی نفت در محدوده یک چهارم تا سه چهارم میانی مسیر در نظر گرفته شد. همچنین حداقل قطر خروجی محتمل در لوله ۵ سانتی-متر، و با توجه به امکانات مربوط به پی بردن به حادثه و جلوگیری از آن، حداقل زمان جلوگیری از خروج ۳ روز در نظر گرفته شده است. در این محدوده با قطر خروجی $2/5$ سانتی-متر، در طول یک ماه مدل‌سازی هیچ‌گونه نفتی به ساحل نمی‌رسد. در اثر ایجاد حفره‌ای به قطر ۵ سانتی-متر در هر محل از مسیر خط لوله و خروج نفت به مدت ۳ روز، به طور قطع نفت به ساحل خواهد رسید. هدف از انتخاب شرایط ذکر شده یک تحلیل عملی در تعیین میزان تأثیر اقدامات طرح عملیات پاسخ بر روی کاهش اثرات نفت خروجی در چنین موقعیت‌هایی می‌باشد.

معیار انتخاب سناریوها کوتاه‌ترین زمان رسیدن نفت به ساحل ایران، کوتاه‌ترین زمان رسیدن نفت به جزیره خارک، بیشترین نفت رسیده به سواحل و طولانی‌ترین توزیع در طول ساحل می‌باشد. فصل زمستان دارای بدترین شرایط تاریخچه باد و حداقل میزان تبخیر نفت است و در اثر آزادسازی در این فصل، بیشترین مقدار نفت به ساحل می‌رسد. بنابراین تاریخ ۹۴۰۱۰۲ در تمام سناریوها به عنوان تاریخ آغاز آزادسازی نفت مد نظر قرار گرفت. سناریوهای انتخاب شده در جدول ۳ تشریح شده‌اند.

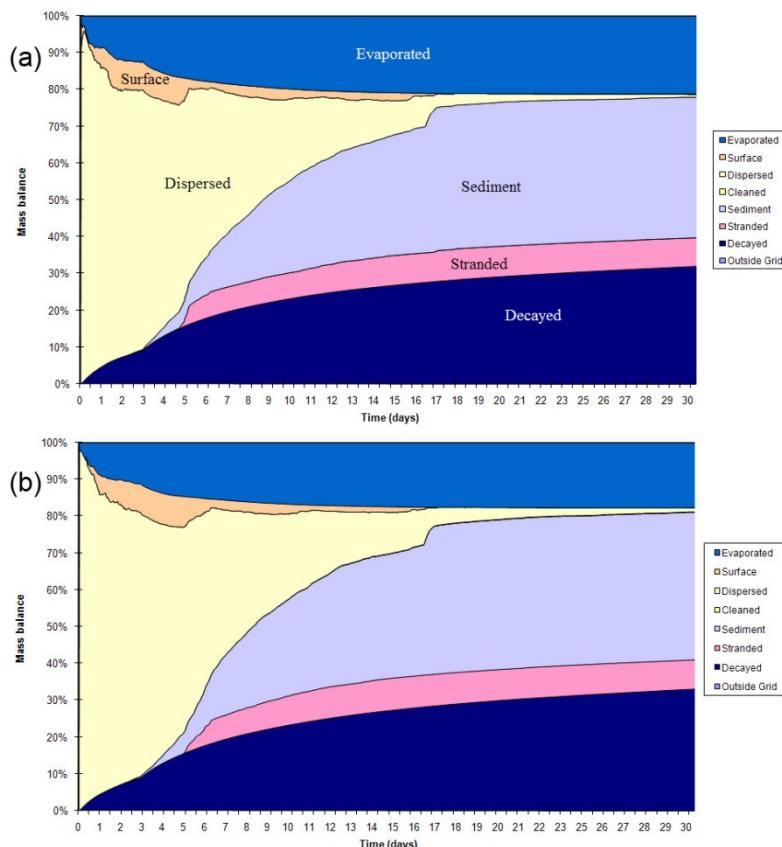
¹Potential Encounter Rate
²Offload

خروج نفت سبک و سنگین

درون خطوط لوله نفت منطقه خارک هم نفت سبک ایران (سه خط) و هم سنگین ایران (دو خط) جریان دارد. مدلسازی خروج و پخش هر دو نوع نفت به صورت جداگانه به مدت ۳۰ روز انجام شد که نتایج مربوط به موازنه جرم نفت در مدت ۳۰ روز در شکل ۱ ارایه شده است. در مدلسازی خروج نفت نوع سبک، نفت تبخیر شده حدود ۵٪ (۹۴۵۰ بشکه) بیشتر از نفت تبخیر شده در حالت خروج نفت سنگین می‌باشد. بنابراین در حالت خروج نفت سنگین، مقدار بیشتری از نفت در محیط دریا باقی خواهد ماند. از طرف دیگر توزیع نفت در محیط دریا نیز مشابه یکدیگر می‌باشد. بنابراین تنها خروج نفت سنگین که اثر بدتری بر روی محیط زیست خواهد داشت، مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۳: سناریوهای انتخاب شده برای ارزیابی تأثیر خروج و پخش نفت بر روی ناحیه و همچنین تأثیر عملیات پاسخ. (در تمام سناریوها آغاز خروج نفت در تاریخ ۹۴۰۱۰۲ و به مدت ۳ روز می‌باشد. همچنین محل خروج نفت از حفره‌ای در خط لوله در یک چهارم ابتدایی مسیر می‌باشد. مشخصات سیستم‌های عملیات پاسخ در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.)

سناریو	نوع نفت	حجم نفت آزاد شده (بشکه)	عملیات پاسخ تعیین شده	زمان رسیدن اولین لکه‌های نفت به ساحل (روز)	حداکثر نفت رسیده به ساحل (%) از کل)	دلیل انتخاب سناریو
۱	سبک	۱۸۹۰۰	بدون عملیات پاسخ	۵	۷/۷	کمترین زمان و بیشترین مقدار نفت رسیده به ساحل ایران
۲	سنگین	۱۸۹۰۰	بدون عملیات پاسخ	۵	۸/۰	روی سواحل با استفاده از مواد پراکنده‌ساز
۳	سنگین	۱۸۹۰۰	سه سیستم مکانیکی جمع‌آوری	۵	۶/۵	کاهش تأثیر نفت بر هواییمای حاوی مواد پراکنده‌ساز
۴	سنگین	۱۸۹۰۰	سه سیستم مکانیکی جمع‌آوری، شناور حاوی مواد پراکنده‌ساز و یک شناور حاوی مواد پراکنده‌ساز	۵	۴/۰	



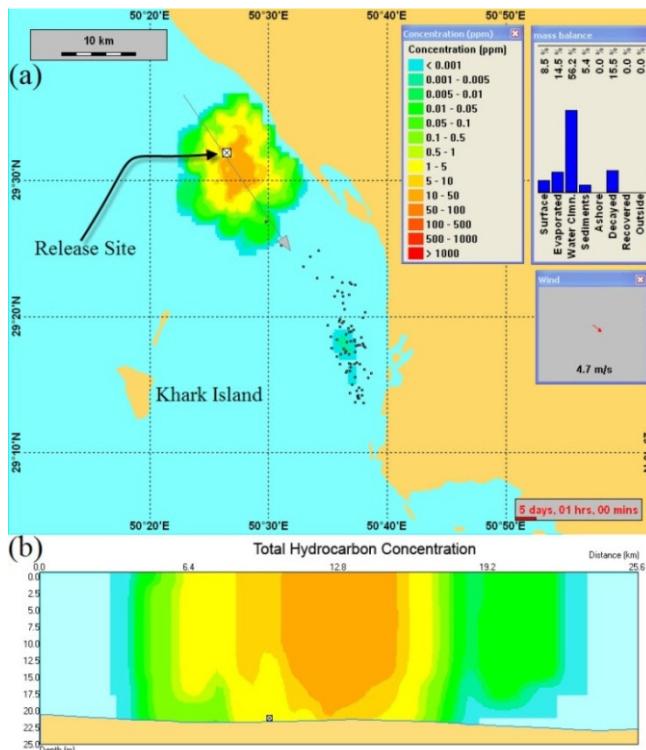
شکل ۱: سری زمانی موازنۀ جرم مربوط به خروج نفت از حفره‌ای در خط لوله در یک چهارم ابتدایی مسیر: (a) نفت نوع سبک (b) نفت نوع سنگین.

مدلسازی خروج نفت سنگین

در یک مدلسازی، سناریو شماره ۲ را بدون اثر باد و حضور جریان‌های جزر و مدی مورد بررسی قرار دادیم. در این مدلسازی حرکت نفت در سطح و ستون آب به صورت رفت و برگشتی و در جهت جریان‌ها بود که در نتیجه آن نفت در محدوده خروج از لوله باقی می‌ماند و پس از ۳۰ روز کمتر از ۱٪ کل حجم نفت به ساحل شمال شرقی محل خروج نفت که فاصله کمی با آن دارد می‌رسد.

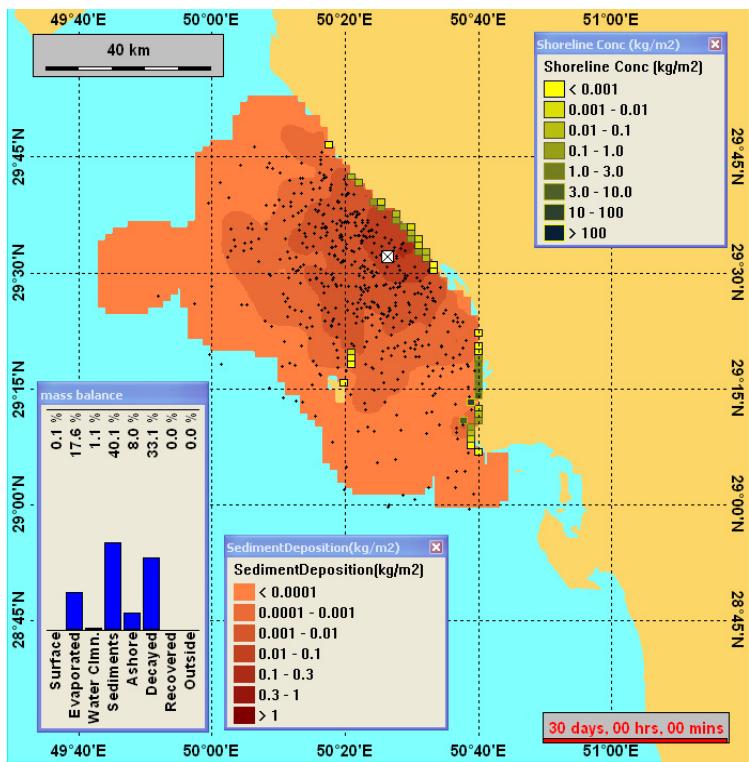
شکل ۲ نشان دهنده تصویر لحظه‌ای مربوط به توسعه و پخش نفت سنگین آزاد شده از حفره‌ای در یک چهارم ابتدایی مسیر خط لوله (سناریو شماره ۲) است. نفت برای اولین بار بعد از ۵ روز به ساحل می‌رسد. این شکل هم نفت سطحی و هم توزیع هیدروکربن محلول زیرسطح را بدون عملیات پاسخ نشان می‌دهد. با اینکه سرعت باد در حین سناریو زیر 5 m/s است، کمتر از ۵٪ نفت در این زمان روی سطح باقی مانده است. جریان‌ها عامل اصلی توزیع قائم و اختلاط افقی نفت هستند و باد ملایم تأثیر کمی در این مسئله دارد. در شکل ۲ حداقل غلظت نفت 50 ppm است و در کل ستون آب توزیع شده است.

موازنۀ جرم نشان می‌دهد که حدود ۵۶٪ نفت به دلیل پاشیدگی طبیعی در ستون آب باقی مانده است. در این آزادسازی ۸٪ از نفت در جهت وزش باد به ساحل می‌رسد که باعث رخداد حداقل بارگذاری خطی در حدود 10 kg/m در سواحل ایران می‌شود (شکل ۳). بخش عمده‌ای از نفت آزاد شده (۴۰٪) به صورت رسوب با حداقل رسوبگذاری 120 gr/m^2 در کف دریا تنهشین شده است که موجب تهدید زیستگاه و محل تخم‌ریزی جانداران کف دریا می‌شود (شکل ۳). عامل اصلی میزان بالای رسوب نفت می‌تواند عمق کم آب ناحیه باشد. سری زمانی موازنۀ جرمی مربوط به عملیات پاسخ با تجهیزات جمع‌آوری و بدون حضور تجهیزات حامل مواد پراکنده‌ساز) حدود ۳/۵٪ از نفت پخش شده جمع‌آوری و بازیافت می‌شود، و تنها ۱/۵٪ (۱/۵٪) نفت به ساحل می‌رسد) کاهش در نفت رسیده به ساحل مشاهده می‌شود. در حالت بدون عملیات پاسخ مابقی نفت جمع‌آوری شده (۶/۵٪) به صورت طبیعی دچار پاشیدگی می‌شود. در سناریو شماره ۴ (عملیات پاسخ با حضور هم‌زمان تجهیزات جمع‌آوری و تجهیزات حامل مواد پراکنده‌ساز) حدود ۲/۵٪ از نفت پخش شده جمع‌آوری و بازیافت می‌شود، و حدود ۴٪ (۴٪) نفت به ساحل می‌رسد) کاهش در نفت رسیده به ساحل مشاهده می‌شود. در سناریو شماره ۴ به دلیل آنکه مواد شیمیایی پراکنده‌ساز بخشی از نفت قابل جمع‌آوری را پراکنده می‌کنند، شاهد کاهش نفت جمع‌آوری شده به میزان ۱٪ هستیم.

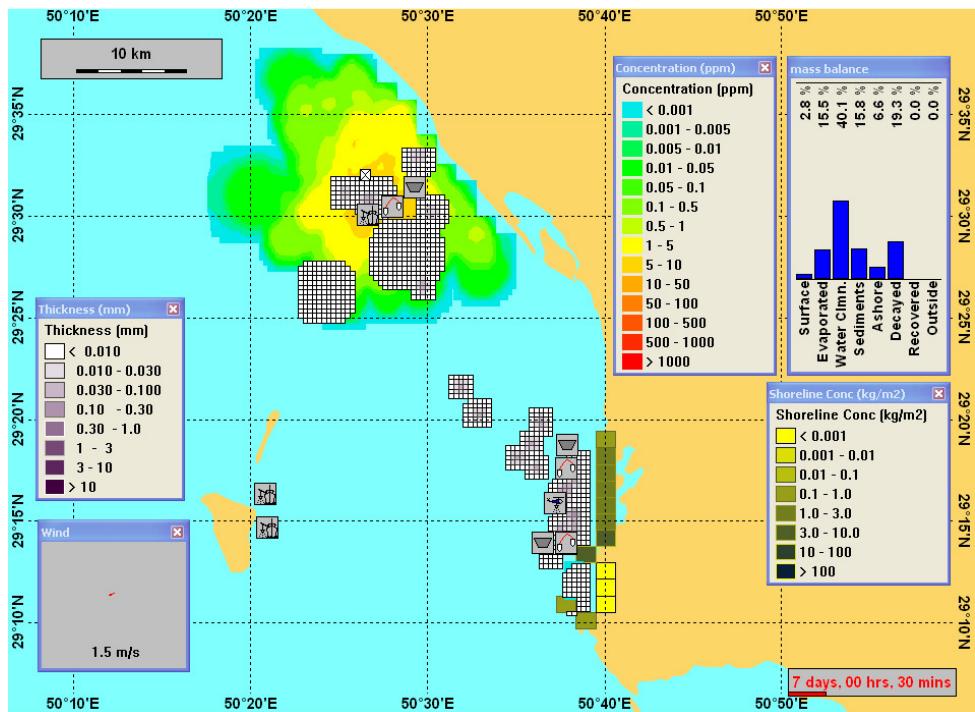


شکل ۲: توزیع نفت سطحی (سیاه) و غلظت هیدروکربن کل (^{1}THC) در ستون آب ۵ روز بعد از آغاز آزاد شدن فرضی نفت سنگین. در این زمان کمی کمتر از ۱٪ از نفت، به ساحل رسیده است. (a) نمایش دهنده حداقل غلظت افقی در منطقه و (b) مقطع عرضی قائم ستون آب که از سمت شمال غرب به جنوب شرق ترسیم شده است.

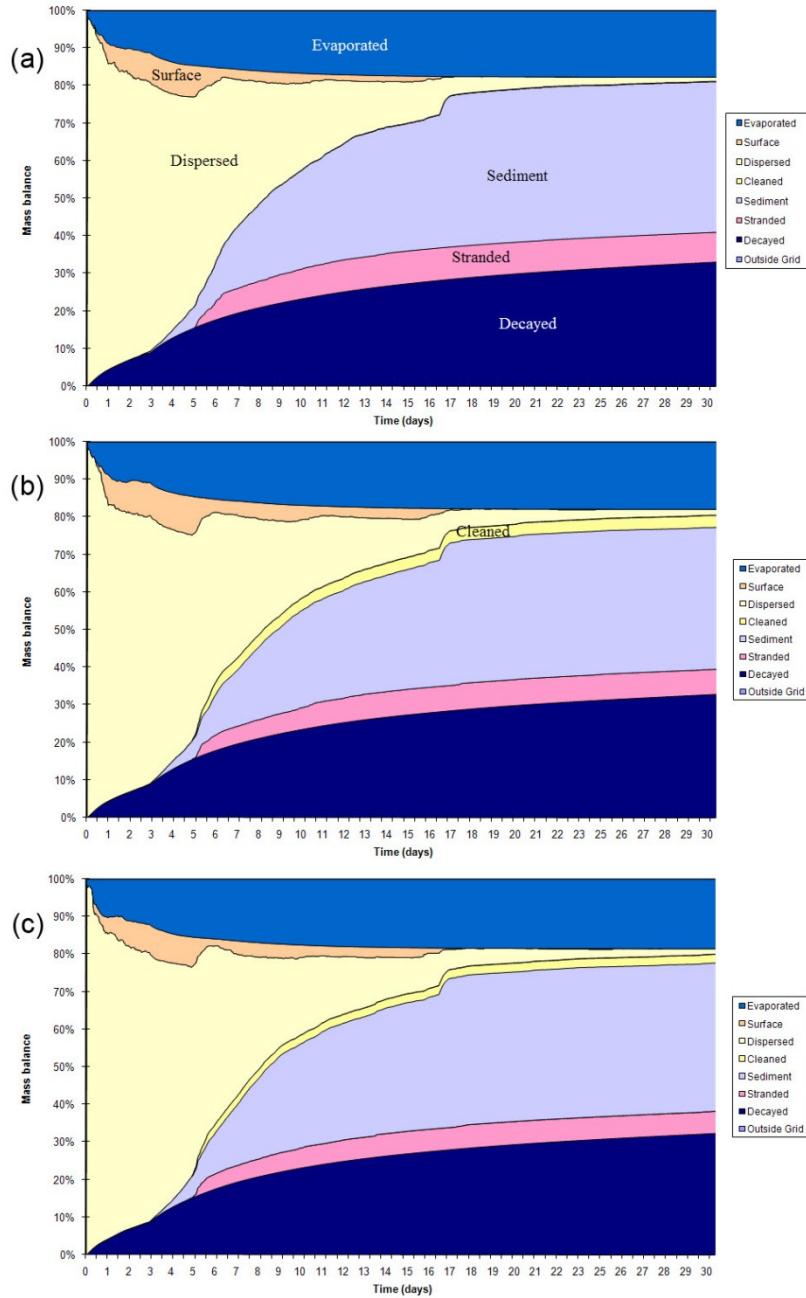
¹Total Hydrocarbon Concentration



شکل ۳: توزیع نفت رسیده به ساحل و نفت محلول در آب به همراه کانتور رسوپ نفت ۳۰ روز بعد از آغاز آزاد شدن فرضی نفت سنگین. در این سناریو که بدون عملیات پاسخ می‌باشد، پس از ۳۰ روز ۸٪ نفت (۱۵۱۲۰ بушکه، یا ۲۱۰۰ تن) به ساحل رسید.



شکل ۴: توزیع نفت سطحی (خاکستری)، غلظت هیدروکربن کل (THC) در ستون آب و تجهیزات عملیات پاسخ (حضور همزمان تجهیزات جمع-آوری و پراکنده‌ساز مواد شیمیایی) ۷ روز پس آزاد شدن نفت سنگین.



شکل ۵: سوی زمانی موازن جرم مربوط به خروج نفت سنگین: (a) بدون عملیات پاسخ (b) با ۳ سیستم عملیاتی بوم-اسکیمر جمع‌آوری نفت (c) با ۳ سیستم عملیاتی بوم-اسکیمر جمع‌آوری نفت، ۳ شناور حاوی مواد پراکنده‌ساز و یک هواییمای پخش‌کننده مواد پراکنده‌ساز.

مسئله‌ای که باعث می‌شود با چنین تجهیزات جمع‌آوری و بازیافت تنها $\frac{3}{5}$ % نفت پخش شده در منطقه جمع‌آوری شود، مقدار نفت موجود در سطح آب است. همان‌گونه که در شکل a-۳ مشاهده می‌شود حداقل میزان نفت سطحی 10% کل نفت خروجی است که در روز پنجم رخ می‌دهد. همچنین پس از روز هجدهم به طور کلی هیچ لکه نفتی روی سطح آب مشاهده نمی‌گردد. با توجه به آنکه سیستم بوم-اسکیمر تنها قادر است لکه‌های سطحی و همچنین نفت موجود در بخش سطحی ستون آب را جمع‌آوری کند، بنابراین میزان نفت جمع‌آوری شده منطقی است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این تحقیق در بر گیرنده تحلیل‌هایی بر روی سناریوهای خروج بالقوه نفت از خطوط لوله منطقه خارک در اثر حوادث احتمالی و پخش آن می‌باشد. تحلیل‌ها توسط سیستم مدل سه بعدی SINTEF OSCAR انجام شده است. نتایج مربوط به سناریوها نشانگر آن است که عامل اصلی انتقال و

پخش نفت در منطقه باد می باشد؛ به طوری که با یک باد ملایم، نفت با سرعت و به صورت طبیعی در منطقه پراکنده می شود و نقش جریان های جزر و مدي به مراتب بسیار کمتر از نقش باد است. در چند روز اول بخش عمده ای از نفت تبخیر می گردد. بخش عمده ای از نفت به صورت رسوب و بخشی با برخورد به سواحل محیط زیست منطقه را دچار آلودگی می کند.

همچنین سناریوهایی به منظور ارزیابی تأثیر اقدامات مربوط به طرح عملیات پاسخ بر روی کاهش پتانسیل انتخاب شدند. وسائل مکانیکی جمع-آوری و بازیافت، اثرات زیست محیطی خروج بالقوه نفت را کاهش می دهند اما به صورت کامل از بین نمی برند. محصولات شیمیایی پراکنده ساز از طریق شناورها و هواپیما، تأثیرات سطحی بالقوه را کاهش می دهند اما باعث افزایش نفت موجود در ستون آب و همچنین رسوب نفت در کف دری می شوند. به طور کلی در سناریوهای تعیین شده، سطح عملیات پاسخ تعیین شده در مقابل خروج بالقوه نفت، مؤثر بوده و اثرات زیست محیطی نفت بر روی ساحل را کاهش می دهد.

تقدیر و تشکر

این تحقیق با همکاری و حمایت شرکت پایانه های نفتی انجام شده است. از مسئولین و کارشناسان محترم این شرکت مخصوصاً مهندس ابوقداره، مهندس مرشد و مهندس سردار بخارتر کمک و همیاری های بعمل آمده تشکر و قدردانی می گردد. همچنین نویسندها مقاله لازم می دانند از راهنمایی های ارزنده دکتر Reed Hoverstad و پروفسور Reed صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

فهرست منابع

- [1] "اطلاعات مربوط به خطوط لوله انتقال نفت از گناوه به جزیره خارک، شرکت پایانه های نفتی ایران-شرکت ملی نفت ایران،" ۱۳۹۰
- [2] <http://www.ECMWF.int>
- [3] Reed, M., Ekrol, N., Rye, H., Turner, L., "Oil spill contingency and response(OSCAR) analysis in support of environmental impact assessment offshore Namibia," *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 5, No. 1, pp 29±38, 1999.
- [4] Aamo, O.M., Reed, M., Downing, K., "Calibration, verification, and sensitivity analysis of the SINTEF oil spill contingency and response (OSCAR) model system (in Norwegian)," Report No. 42.4048.00/01/96, p. 87, 1996.
- [5] Reed, M., Aamo, O.M., Daling, P.S., "Quantitative analysis of alternate oil spill response strategies using OSCAR," *Spill Sci. Technol.* 2 (1), 67±74, 1995a.
- [6] Daling, P.S., Brandvik, P.J., Mackay, D., Johansen, O., "Characterization of crude oils for environmental purposes," *Oil & Chemical Pollution* 7, 199±224, 1990.
- [7] Aamo, O.M., Reed, M., Daling, P.S., Johansen, O., "A laboratory-based weathering model: PC version for coupling to transport models," In: *Proceedings of the 1993 Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar*, pp. 617±626, 1993.
- [8] Reed, M., French, D., Rines, H., Rye, H., "A three dimensional oil and chemical spill model for environmental impact assessment," In: *Proceedings of the 1995 International Oil Spill Conference*, pp. 61±66, 1995b.
- [9] Aamo, O.M., Reed, M., Daling, P.S., "Evaluation of environmental consequences and effectiveness of oil spill response operations with a possible change in first line response at the Veslefrikk field (in Norwegian)," SINTEF Report No. 95.006, SINTEF Petroleum Research, 1995.
- [10] Reed, M., Rye, H., Johansen, Ø., Durgut, I., Hetland, B., Høverstad, B., Ditlevsen, M., Brønner, U., Arslanoglu, Y., Ekrol, N., Aamo, O.M., Downing, K., "Technical description and verification tests of the SINTEF marine environmental modeling workbench (MEMW)," SINTEF Report, 2011.