

ارزیابی عملکرد کیفی پلیمرهای SEBS و SBS جهت جمع آوری لکه‌های نفتی و مقایسه با نمونه‌های تجاری

پژوهش نفت

سال بیستم
شماره ۶۴
صفحه ۵۲-۳۸، ۱۳۸۹

مینا ادیبی^{۱*}، داریوش فرخانی^۱، علی مهدیزاده^۱ و مینا فراچی شاندیز^۲

۱- پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی

۲- پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده علوم و تکنولوژی پلیمر

Adebim@ripi.ir

واژه‌های کلیدی: لکه نفتی، کوپلیمرهای سه جزئی، کارایی جامد کننده، نفت خام

مقدمه

نشر نفت و یا آسفالت در آب‌های شور یا شیرین تأثیر زیادی بر حیات وحش وابسته به آب و تخریب سواحل دارد. میزان تأثیر نشر بر حیات دریایی به میزان سمی بودن مواد شیمیایی موجود در نفت و نیز حساسیت موجودات نسبت به آلودگی نفتی و تنوع آنها بستگی دارد.

به دلیل خسارات ناشی از نشر نفت خام یا آسفالت، انواع ترکیبات به همراه روش‌های ساخت و استفاده از این ترکیبات برای کنترل نشر نفت یا آسفالت و جمع آوری از سطح آب اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده‌اند [۱].

اگرچه میزان لکه‌های نفتی بزرگ ناشی از حوادث تانکرهای نفت طی سال‌های اخیر کاهش داشته است، آلودگی‌های نفتی مربوط به عملیات متداول کشتی‌ها مثل بارگیری و تخلیه نفت هر روزه اتفاق می‌افتد.

اثرات یک لکه نفتی بستگی به عوامل متعددی از جمله حجم نفت منتشر شده، مشخصات فیزیکی و شیمیایی و سمیت آن، شرایط منطقه‌ای، فصل و حضور ساختارها و

چکیده

جامدکننده‌ها به عنوان یک عامل مقابله با لکه‌های نفتی بدون اثرات سمی بر محیط زیست به شمار می‌روند. به منظور بررسی عملکرد دو کوپلیمر سه جزئی استایرن- بوتادین- استایرن و استایرن- اتیلن- بوتیل استایرن بر روی نفت خام صادراتی ایران، پنج نمونه نفت خام با APIهای متفاوت (۳۶-۱۹) انتخاب شدند. در این بررسی کلیه مقایسه‌ها بین پلیمرهای انتخابی و دو نمونه تجاری که هر دو توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) مورد تأیید واقع شده‌اند، صورت گرفته است. در این میان ابتدا فاکتورهای نظیراندازه ذره، زمان افزایش جامدکننده به نفت شناور روی آب، وسیله جداسازی نفت جامد شده از آب و سیستم اختلاط آب و نفت بهینه شدند. سپس کارایی دو پلیمر انتخابی در مقایسه با نمونه‌های تجاری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان‌گر آن است که میزان مصرف پلیمرهای انتخابی شده بر روی نفت خام ایران حدود ۳۳-۲۵ درصد وزنی است در حالی که این مقدار برای نمونه‌های تجاری ذکر شده حدود ۵۵ درصد می‌باشد. از سویی میزان آب همراه نفت جامد شده معمولاً در نمونه‌های تجاری بیشتر از دو پلیمر استایرن- بوتادین- استایرن و استایرن- اتیلن- بوتیل استایرن می‌باشد.

منابع در مسیر لکه دارد.

امروزه تکنیک‌های مختلف کنترل آلودگی لکه‌های نفتی به طریق شیمیایی وجود دارد. برای انتخاب روش موثر مقابله با لکه نفتی عوامل مختلفی را باید در نظر گرفت [۲]. یکی از این عوامل، زمان وقوع پدیده انتشار نفت به‌ویژه در مراحل ابتدایی است که در آن جلوگیری از گسترش دامنه لکه نفت نقش بارزی دارد. اولین روش مقابله بلافاصله پس از انتشار، استفاده از وسایل مکانیکی (انواع بوم^۱ و اسکیمر^۲) است. پس از گذشت ساعت‌ها، روزها و حتی هفته‌ها از انتشار نفت، روش‌های شیمیایی انتخاب بهتری هستند.

در روش شیمیایی از موادی استفاده می‌شود که با اضافه شدن به لکه نفتی، موجب تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی لکه نفتی شده و نفت را آسان‌تر در جهت دلخواه کنترل می‌نمایند. اغلب مواد شیمیایی خواص فیزیکی نفت را تغییر می‌دهند. مانند دیسپرسانت‌ها که نفت را به ذرات بسیار کوچک تبدیل کرده و یا جاذب‌ها که ذرات نفت را در خلل و فرج خود جای می‌دهند [۱۹-۳]. در برخی از موارد مثل حذف بیولوژیکی نفت، ترکیب اجزای شیمیایی نفت تغییر می‌کند.

کارایی ترکیبات شیمیایی معمولاً تابعی از نوع نفت و ترکیب آن است. نفت خام و پالایش شده شامل محدوده وسیعی از مولکول‌ها و ترکیبات آسفالتین، آلکان‌ها، آروماتیک‌ها و رزین‌ها است. آنچه که بر روی ترکیبات آسفالتینی کوچک در نفت موثر است، ممکن است بر روی آسفالتین‌های بزرگتر اثری نداشته باشد و آنچه بر یک ترکیب آروماتیک موثر است بر روی یک ترکیب قطبی می‌تواند بی‌اثر باشد. لذا روش واحدی برای ارزیابی کارایی مواد شیمیایی کنترل کننده لکه نفتی وجود ندارد.

فاکتورهای موثر دیگر بر کارایی یک عامل شیمیایی پارامترهای محیطی مانند دما و انرژی دریا هستند. تأثیر این فاکتورها را باید هنگام تصمیم‌گیری در خصوص شیوه مهار لکه نفتی در نظر گرفت.

در اوایل دهه ۱۹۷۰ سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) و شرکت اکسون^۳ تحقیقاتی پیرامون جامد ساختن نفت موجود در مخازن در حال غرق شدن یا

شکستن شروع کردند [۲۰].

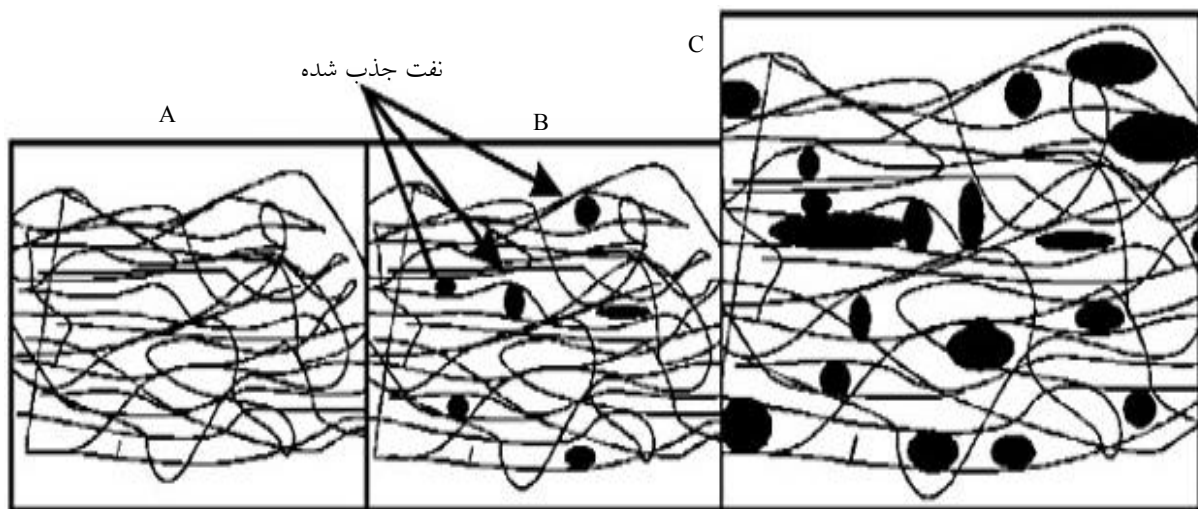
جامد کننده‌ها متداول‌ترین ترکیبات برای مقابله با لکه‌های کوچک نفتی روی زمین و یا مناطق آبی محدود به‌شمار می‌روند [۲۱]. اطلاعات کمی راجع به استفاده از جامدکننده‌ها بر روی لکه‌های نفتی بزرگ یا دریا‌های آزاد وجود دارد. بر اساس نتایج آزمایشگاهی و تست‌های میدانی، جامد کننده‌ها در مواقعی که نیاز به حذف کامل نفت (حتی لایه بسیار نازک^۴) هست و یا بتوان محصول به‌وجود آمده را به‌راحتی مانند جاذب‌ها از آب جدا کرد، مفید می‌باشند.

برخلاف جاذب‌ها که در مایع خیس خورده و به هم می‌چسبند و یا اسفنج‌ها که در اثر فشار، نفت را از خود خارج می‌سازند [۲۰]، جامدکننده‌ها که اغلب به شکل گرانول‌های خشک موجود می‌باشند نفت را به یک توده همگون تبدیل می‌کنند [۲۱ و ۲۲].

جامدکننده‌ها را به سه دسته پلیمرهای جاذب، عوامل اتصال دهنده عرضی^۵ و پلیمرهایی با عوامل اتصال دهنده عرضی تقسیم می‌کنند.

در پلیمرهای جاذب (شامل اغلب جامدکننده‌ها)، هیچ نوع پیوند شیمیایی بین نفت و پلیمر به‌وجود نمی‌آید و فقط نیروهای واندروالس، نفت را بین رشته‌های پلیمر نگه می‌دارد [۲۳] (شکل ۱). عموماً کوپلیمرهای دسته‌ای^۶ در این گروه جای گرفته و توانایی نگه‌داری نفت را به خوبی دارند. در حال حاضر متداول‌ترین مواد این گروه، کوپلیمرهای استایرن- بوتادین و پلیمرهای وابسته بوده و استفاده از آنها به‌عنوان جامدکننده در نفت خام و انواع مایعات هیدروکربنی گزارش شده است [۲۴ و ۲۵]. در گذشته از پلی ترشیری بوتیل استایرن، پلی اکریلو نیتریل، بوتادین، پلی ایزوپرن (لاستیک)، پلی اتیلن و پلی پروپیلن، پلی ایزوبوتیلن و پلیمرهای مشابه استفاده می‌گردید. مزیت این نوع جاذب‌ها سادگی نسبی، احتمال سمیت کم و سرعت مناسب عملکرد می‌باشد.

1. Boom
2. Skimmer
3. Exxon
4. Sheen
5. Cross-linking agent
6. Block Co-polymers



شکل ۱- شمایی از فرآیند جذب نفت توسط پلیمر. شکل A شمایی از یک پلیمر با فضای خالی در مقیاس میکرومتر را نشان می‌دهد. در اثر افزایش نفت به پلیمر، جذب نفت شروع می‌شود (شکل B). محصول نهایی (شکل C) نشانگر تورم بافت پلیمر در اثر نفت جذب شده می‌باشد [۲۳].

این ترکیبات برخلاف دو دسته دیگر جامدکننده‌ها تمایل به اتصال به سایر مواد مثل بوم، داک^۱، مواد آلی و یاسنگ راندارند. عوامل اتصال‌دهنده عرضی با ایجاد پیوند بین دو هیدروکربن به عمل جامد شدن کمک می‌کنند. از جمله این ترکیبات می‌توان به انیدریدها و نوربورنن^۲ اشاره کرد. فرم جامد محصول نهایی و احتمال نشت کم نفت از توده جامد شده از مزایای این دسته و واکنش‌گری زیاد و در نتیجه عدم تکمیل جامدسازی توده هیدروکربنی به‌طور کامل از معایب آنها می‌باشد. از مشکلات دیگر این دسته، ایجاد اتصال با سایر مواد هیدروکربنی مثل بوم، داک و مواد آلی است.

این ترکیبات برخلاف دو دسته دیگر جامدکننده‌ها تمایل به اتصال به سایر مواد مثل بوم، داک^۱، مواد آلی و یاسنگ راندارند. عوامل اتصال‌دهنده عرضی با ایجاد پیوند بین دو هیدروکربن به عمل جامد شدن کمک می‌کنند. از جمله این ترکیبات می‌توان به انیدریدها و نوربورنن^۲ اشاره کرد. فرم جامد محصول نهایی و احتمال نشت کم نفت از توده جامد شده از مزایای این دسته و واکنش‌گری زیاد و در نتیجه عدم تکمیل جامدسازی توده هیدروکربنی به‌طور کامل از معایب آنها می‌باشد. از مشکلات دیگر این دسته، ایجاد اتصال با سایر مواد هیدروکربنی مثل بوم، داک و مواد آلی است.

دسته سوم از جامدکننده‌ها براساس تلفیقی از دو عامل پلیمری و اتصال‌دهنده عرضی طراحی شده‌اند. یکی از نمونه‌های تجاری معروف دسته اخیر به نام Rigid oil محصول شرکت نفت بریتانیا (BP) [۲۶] توسط فینگاس^۳ در سال ۱۹۹۴ در مقیاس میدانی مورد ارزیابی قرار گرفت [۲۷] که نتایج آن چندان رضایت بخش نبود. میزان مصرف این ماده حتی ۴۰ درصد بیشتر از حجم نفت پراکنده شده بود. فینگاس و همکارانش پس از آزمایشاتی بر روی سایر مواد جامد کننده معتبر دریافتند که برای جامد نمودن نفت منطقه آلبرتا حدود ۱۳-۴۴ درصد ماده در مدت ۳۰ دقیقه لازم است [۲۷ و ۲۸].

در سال ۱۹۹۹ دیلان^۴ و همکاران جامدکننده تجاری

1. Docks
2. Norbornene
3. Fingas
4. Delaune
5. Rea
6. Penetromet
7. Dahl

(هر دو مورد تأیید سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا) مقایسه شده است.

بخش تجربی

مواد اولیه و دستگاه‌ها

ماده تجاری Alsocup

این ماده پلیمری محصول شرکت انجمن حفاظت از آب^۲ است که به صورت ویژه برای جلوگیری از آلودگی سواحل و یا حیات وحش توسط لکه نفتی طراحی شده است. همچنین برای جذب لکه نفتی روی خشکی و دریا مورد استفاده قرار می‌گیرد و حاصل عمل آن نفت جامد شده‌ای است که نشت نمی‌کند، به صخره‌ها و فلزات و ماهی‌ها و سایر موجودات نمی‌چسبد، به راحتی انبار می‌شود و حمل و نقل آن توسط کشتی بدون مضرات زیست محیطی صورت می‌گیرد. ساختار شیمیایی این نمونه با توجه به پتنت ثبت شده شرکت مربوطه یک نمونه کوپلیمر استایرن- بوتادین است که توسط مواد چربی دوست سطح آن اصلاح شده است [۲۴].

ماده تجاری Petro-Waste Solidifier (PWS)

PWS محصول گرانولی غیرسمی از شرکت کانادایی ارکوس ابزوربنت^۳ که برای جذب مایعات نفتی طراحی شده است. این محصول با جذب نفت متورم شده و یک ژل تشکیل می‌دهد که در اثر سوختن کمتر از ۲ درصد خاکستر تولید می‌کند. از این ماده برای حذف لکه‌های نفتی شامل سوخت دیزل، روغن روانکاری، روغن ترانسفورماتور، نفت خام، سوخت جت، گازوئیل و... روی خشکی و آب استفاده می‌شود. در خصوص ساختار شیمیایی این نمونه اطلاعات دقیقی در دست نیست ولی با توجه به آزمایشات انجام شده در این تحقیق، احتمالاً جامد کننده ساختاری مشابه کوپلیمر سه جزئی استایرن- اتیلن- بوتیلن استایرن اصلاح شده را داراست.

پلیمرهای SBS و SEBS

این پلیمرها که جزء کوپلیمرهای دسته‌ای استایرن بوتادین و استایرن اتیلن بوتیلن به شمار می‌روند، الاستومرهای

آب دیده نشود انجام دادند [۳۱]. این جامد کننده‌ها قادر به ایجاد جامدهای کاملاً محکم نبودند. همچنین نسبت جامد کننده به نفت در محدوده ۳/۵ - ۱/۵ برابر بود.

در سال ۱۹۹۹ پلتیرو سیرون^۱ یک جامدکننده سیلیکونی را بر روی نفت خام سبک برنت مورد آزمایش قرار دادند [۳۲] که نسبت جامدکننده به نفت ۱:۷ بود. نفت جامد شده در حدود ۸۵ درصد وزن خود دارای آب بود. در نتیجه این آزمایشات مشخص شد که فرآیند جامد شدن مستقل از دما و میزان شوری آب است. در تحقیق مربوطه، اندازه‌گیری ویسکوزیته و نفوذسنجی به جای مشاهده ناپدید شدن لکه از سطح آب به کار رفت که نتایج قابل قبولی را به دنبال نداشت. اغلب محققین معتقدند که روش مشاهده چشمی حذف نفت آزاد، نتایج تکرارپذیرتری را نشان می‌دهند. گرچه روش‌های تجزیه‌ای در هر سیستم آزمایشی معتبر است ولی یکی از دلایل عدم تکرارپذیری روش‌های ویسکومتری و نفوذسنجی، لزوم خروج نمونه مورد تجزیه در حین جامد شدن است. از سویی نمونه‌گیری از یک ماده ناهمگون در این شرایط بسیار سخت است. بنابراین نتایج تکرارپذیری خوبی ندارند در حالی که در روش‌های چشمی خطای تکرارپذیری کمتر از ۵ درصد است.

از سایر عوامل موثر بر کارایی جامدکننده، می‌توان به ویسکوزیته نفت اشاره نمود به طوری که در نفتی با ویسکوزیته پایین، جامدکننده بهتر عمل می‌کند.

با توجه به اینکه ایران یکی از کشورهای مهم صادرکننده نفت در خلیج فارس محسوب می‌گردد و احتمال ایجاد آلودگی‌های نفتی ناشی از عملیات انتقال و بارگیری، مسایل زیست محیطی را به دنبال خواهد داشت، توسعه روش‌های حذف آلودگی نفتی از سطح آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا جهت تعیین نقش جامدکننده‌ها در کنترل لکه نفتی در حجم محدود، در این مطالعه بررسی عملکرد دو کوپلیمر سه جزئی استایرن- بوتادین- استایرن و استایرن- اتیلن- بوتیلن بر روی نفت خام صادراتی ایران (پنج نمونه نفت خام با API های متفاوت (۳۶-۱۹)) در دستور کار قرار گرفته است که در این تحقیق نتایج حاصل با عملکرد دو نمونه تجاری از این دو پلیمر به نام‌های Alsocup و Petro-Waste-Solidifier

1. Pelletier and Siron

2. Association Water Protection

3. Arcus Absorbents

صنایع غذایی کاربرد ویژه دارند که متاسفانه در خصوص جامدسازی لکه نفتی کاملاً بی‌اثر هستند.

دستگاه‌ها

سیستم shaker صفحه تخت (از شرکت Yamato مدل SA-۳۱)، غربال با مش ۲۵، ۳۵، ۶۰ و مش کوچکتر از ۶۰، همزن مکانیکی، روتاری ویسکومتر مدل Brookfield DV/III مورد استفاده قرار گرفتند.

شرح آزمایش کیفی عملکرد جامدکننده

جهت دستیابی به روش‌های موجود ارزیابی عملکرد جامدکننده چند روش که در منابع علمی گزارش شده انتخاب گردید. در اغلب این روش‌ها اندازه‌گیری عملکرد بر اساس مقدار ماده جامدکننده نسبت به مقدار نفت می‌باشد (۲۲ و ۲۸).

در یک بشر ۴۰۰ میلی‌لیتر مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر آب ریخته و سپس به آن ۵ گرم نفت خام اضافه می‌کنیم. پس از آن مقدار ۲ گرم از جامدکننده مورد نظر را به نفت اضافه کرده و سپس به‌طور کیفی نفت جمع شده را بررسی می‌نماییم.

شرح آزمایش کمی عملکرد جامدکننده [۲۷]

مقدار ۱۵۰ گرم آب دریا را در بشر ۴۰۰ میلی‌لیتر ریخته و به آن ۱۰ گرم نفت خام اضافه می‌شود. سپس یک همزن مکانیکی را در حد فاصل سطح نفت و آب قرار داده و با سرعت همزدن ۱۲۴ rpm (کمترین سرعت چرخش همزن که قبلاً کالیبره شده) نفت و آب را مخلوط می‌کنیم. سپس مقدار دقیقی از جامدکننده (مثلاً ۷ گرم) را وزن نموده و به تدریج به مخلوط نفت و آب اضافه می‌نماییم تا هنگامی که نفت کاملاً جامد شود. مقدار باقیمانده از جامدکننده را مجدداً وزن نموده در این صورت تفاوت این دو توزین برابر میزان جامدکننده مصرفی است. مدت ۲۵ دقیقه این وضعیت را برای مخلوط برقرار نگه می‌داریم. سپس همزن را متوقف کرده مخلوط را روی یک پارچه توری صاف می‌کنیم و در شرایط یکسان برای نمونه‌ها آب آن را تا حد ممکن خارج می‌سازیم. سپس کل مجموعه را به دقت وزن می‌کنیم. با در دست داشتن وزن نفت اولیه و مقدار

ترموپلاستیکی هستند که ساختار قابل طراحی دارند. با تغییر در نسبت بخش استایرنی به بوتادین می‌توان خواص جالبی از آنها به دست آورد و به‌عنوان چسب، پوشش، فیلم و سیلانت از آنها استفاده کرد.

این دسته از پلیمرها ساختار سه واحدی دارند: واحدهای استایرنی در دو انتها و واحد لاستیکی وسط در واحد لاستیکی میانی معمولاً یک پلی دی‌ان مثل پلی بوتادین یا پلی ایزوپرن است که پلیمرهای گرید D را به نام SBS و SIS تشکیل می‌دهند.

با توجه به حضور پیوند دو گانه در ساختار این دسته از پلیمرها نسبت به گونه‌های هیدروژنه شده آن، کمی ناپایدارتر هستند اما در هر صورت در شرایط مناسب دمایی می‌توان به راحتی از آنها استفاده کرد.

در صورتی که دی‌ان میانی را هیدروژنه کنیم کوپلیمرهای سه جزیی دسته‌ای استایرنی هیدروژنه شده‌ای به نام G حاصل می‌شوند که خواص متفاوتی نسبت به دسته D از خود نشان می‌دهند.

در مقایسه پلیمرهای G نسبت به D از مقاومت حرارتی و اکسیداسیونی و پایداری در مقابل نور فرابنفش بالاتری برخوردارند. پلیمر G یک کوپلیمر خطی شفاف است که تقریباً ۳۰ درصد آن را بخش استایرنی تشکیل می‌دهد. از این پلیمر در فرمولاسیون‌های چسب و پوشش به‌عنوان ماده پایه استفاده می‌شود و یا به‌منظور بهبود دهنده ترموپلاستیک‌ها و نیز بهبود دهنده قیر به کار می‌رود. از جمله خواص این دسته مقاومت در برابر شرایط آب و هوایی سخت و دمای بالا است.

به دلیل بالا بودن جرم مولکولی، این دسته از پلیمرها جزء مواد غیرسمی و از نظر بیولوژیکی غیرفعال به شمار می‌روند. این پلیمرها محصول شرکت شل^۱ با نام تجاری کراتون^۲ می‌باشند. قابل ذکر است که معمولاً ساختار شیمیایی مواد تجاری به صورت پتنت است و فقط ترکیبات کلی آن ذکر می‌شود.

از سویی باتوجه به گسترگی انواع پلیمرهای SBS و SEBS فقط با استناد به تجارب قبلی، از میان آنها دو پلیمر مورد نظر در این تحقیق انتخاب شدند. قابل توضیح است که برخی از انواع کوپلیمرهای SBS در حال حاضر در

1. Shell
2. Kraton

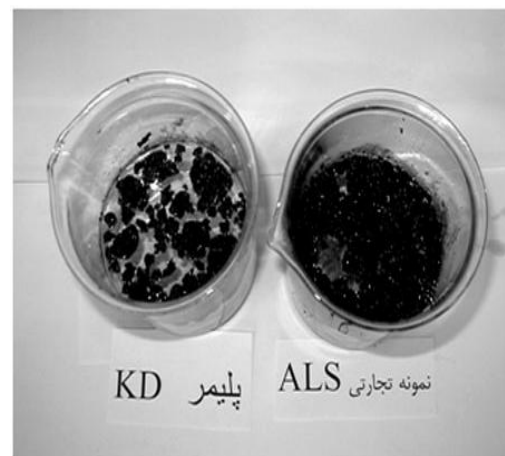
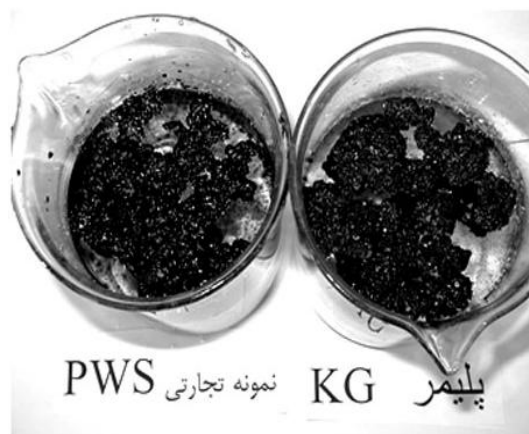
مانند میزان نفت باقیمانده، یکنواختی و چسبندگی نفت جامد شده و میزان آب جذب شده همراه آن نیز در آزمایشات بررسی عملکرد جامد کننده باید مدنظر قرار گیرد. در آزمایش بررسی کیفی عملکرد، ۲ گرم نمونه تجاری Alsocup قادر به جامدسازی کامل ۵ گرم نفت نیست بلکه بخشی از نفت را جامد و بخش دیگری را به صورت مایع ویسکوز در می آورد. از طرفی ۲ گرم پلیمر SBS گرید D قادر به جامدسازی کامل ۵ گرم نفت است. در جدول ۱ مشاهدات اولیه قدرت جامد کردن نمونه تجاری Alsocup و پلیمر SBS به طور نسبی ملاحظه می شود (شکل ۲) و نتایج بررسی عملکرد به صورت کمی در جدول ۲ ارائه شده است.

تعیین حد جامد شدن

حد جامد شدن در اینجا به مفهوم مقدار ماده ای از جامدکننده است که برای جامدسازی کامل مقدار مشخصی از نفت نیاز است و طبیعی است هر چه این مقدار کمتر باشد، نشان دهنده کارایی بیشتر جامدکننده می باشد. در جدول ۳ نتایج مقایسه ای این حد برای دو جامدکننده Alsocup و پلیمر SBS گزارش شده است.

جدول ۱- توانایی جامد کردن نمونه تجاری Alsocup و پلیمر SBS

جامد کننده	مقدار نفت اولیه (گرم)	مقدار جامد کننده (گرم)	وزن نفت جامد شده به همراه آب (گرم)	کیفیت آب باقیمانده
Alsocup	۵	۲	۷/۳	نفت جامد نشده روی آب مشاهده می شود
پلیمر SBS	۵	۲	۶/۹	آب شفاف بدون لکه نفت



شکل ۲- در شرایط کاملاً مشابه عملکرد دو پلیمر انتخابی (SBS(KD) و SEBS(KG) نسبت به نمونه های تجاری بهتر است و شفافیت آب باقیمانده قابل ملاحظه می باشد.

جدول ۲- آزمایشات مقدماتی ارزیابی جامدکننده‌ها

نوع ماده	مقدار جامد کننده (گرم)	وزن نفت جامد شده (گرم)	ملاحظات
Alsocup	۱	۶/۱	نفت جامد شده تکه تکه و آب باقیمانده حاوی نفت است
Alsocup	۱/۵	۷/۵	نفت جامد شده تکه تکه و آب باقیمانده حاوی نفت است
Alsocup	۲	۹/۳	نفت جامد شده تکه تکه و آب باقیمانده حاوی نفت است
پلیمر SBS	۱/۵	۷/۹	نفت جامد شده توده یکنواخت با چسبندگی زیاد است آب باقیمانده نفت کمتری نسبت به Alsocup دارد.
پلیمر SBS	۲	۹/۷	آب باقیمانده کاملاً شفاف است.

جدول ۳- مقایسه حد جامدکنندگی برای دو جامدکننده Alsocup و پلیمر SBS

جامد کننده	مقدار جامدکننده (گرم)	مقدار نفت اولیه (گرم)	وزن نفت جامد شده به همراه آب (گرم)	آب همراه نفت جامد شده (%)	حد جامد شدن (%)
Alsocup	۵/۵	۱۰	۱۹/۸	۲۷/۷	۵۵
پلیمر SBS	۳/۳	۱۰	۱۵/۳	۱۵	۳۳

بررسی اثر اندازه ذرات جامدکننده

اندازه ذرات جامد کننده Alsocup در مقایسه با پلیمر SBS بزرگتر و یکنواخت تر است. برای اینکه تأثیر اندازه ذرات را در ارزیابی عملکرد جامدکننده بررسی نماییم، یک نمونه کامل از پلیمر SBS را توسط غربال با مش ۲۵، ۳۵، ۶۰ و مش کوچکتر از ۶۰ تفکیک می‌کنیم به طور متوسط در یک نمونه تجاری از پلیمر SBS ذرات با پراکندگی متفاوت مشاهده می‌شوند (جدول ۴). همین تفکیک برای ماده تجاری Alsocup صورت می‌گیرد. نتایج نشان‌دهنده تفاوت در دامنه اندازه ذرات است. در مجموع همان‌گونه

که ملاحظه می‌شود، اندازه ذرات پلیمر SBS کوچکتر می‌باشد.

اثر اندازه ذرات بر عملکرد و کیفیت آب باقیمانده در جدول ۵ ملاحظه می‌شود. تأثیر این دانه‌بندی به منظور ارزیابی در تفاوت نحوه پخش شدن در آب، میزان چسبندگی ذرات نفت جامد شده است و احتمالاً یکی از دلایل چسبندگی بیشتر نفت جامد شده در نمونه‌ای که پلیمر SBS به آن افزوده شده همین کوچکتر بودن ذرات و در نتیجه پراکندگی بیشتر آنها و نسبت سطح به حجم بیشتر آن برای جذب نفت می‌باشد.

جدول ۴- درصد توزیع اندازه ذرات پلیمری

نوع ماده	مش	بزرگتر از ۲۵	۲۵	۳۵	۶۰	کوچکتر از ۶۰
Alsocup		۲۰٪	۵۶٪	۱۲٪	۹٪	۳٪
پلیمر SBS		-	۳۴٪	۲۲٪	۳۹/۷٪	۴/۳٪

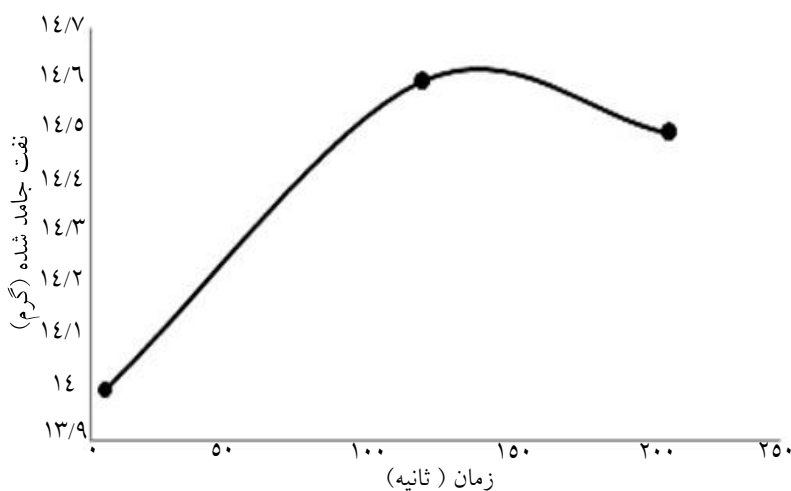
جدول ۵- تأثیر اندازه ذرات بر عملکرد و کیفیت آب باقیمانده

جامد کننده	مقدار جامدکننده (گرم)	وزن نفت جامد شده به همراه آب (گرم)	آب همراه نفت جامد شده (%)	حد جامد شدن (%)	کیفیت آب باقیمانده
مخلوط پلیمر SBS	۳/۴	۱۴/۵	۸/۲	۳۴	تقریباً شفاف
پلیمر SBS با مش ۶۰	۳/۳	۱۴/۱	۶	۳۳	کاملاً شفاف

که اگر سرعت افزایش جامد کننده پلیمر SBS، ۰/۹۴-۱/۶۵ گرم بر دقیقه به ازای هر ۱۰ گرم نفت باشد، کیفیت آب باقیمانده خوب و عاری از ذرات پلیمر عمل نکرده و یا نفت جامد نشده خواهد بود. در صورت افزایش پلیمر به مخلوط پس از زمان جامد شدن، پلیمر روی سطح نفت جامد شده به صورت عمل نکرده باقی می ماند.

بررسی تغییر روش جدا کردن نفت جامد شده از آب

در جدول ۶ نتایج حاصل از تغییر سیستم جداسازی نفت جامد شده از آب ارائه شده است در این حالت از کاغذ صافی و قیف بوختر به جای توری استفاده شده است. مشاهده می گردد که در این سیستم مقدار آب باقیمانده لای ذرات نفت جامد، بیشتر از موردی است که از توری استفاده می شود. با توجه به اینکه این عامل سبب ایجاد خطای بیشتری در ارزیابی عملکرد جامد کننده ها می شود، بنابراین سیستم انتخابی برای جداسازی نفت جامد شده استفاده از تور پارچه ای است که در مقیاس بزرگ تر نیز استفاده از آن ساده تر می باشد.



شکل ۳- بررسی اثر زمان افزایش جامد کننده بر مقدار نفت جامد شده

جدول ۶- استفاده از قیف بوختر جهت جداسازی نفت جامد شده از آب

آزمایش	جامد کننده	مقدار جامد کننده (گرم)	نفت جامد شده (گرم)	آب همراه نفت جامد شده (%)	حد جامد شدن (%)	کیفیت آب باقیمانده
۱	Alsocup	۵	۲۸/۳	۸۸/۶	۵۰	شفاف
*۲	Alsocup	۵	۲۵/۸	۷۲	۵۰	شفاف
۳	پلیمر SBS	۳/۳	۱۶/۸	۲۶/۳	۳۳	شفاف
*۴	پلیمر SBS	۳/۳	۱۶	۲۰/۳	۳۳	شفاف

* آزمایش در شرایط مشابه موارد ۱ و ۳ تکرار شده است.

بررسی زمان افزایش جامد کننده به نفت از آزمایشاتی که با جامد کننده SBS انجام شد، نتیجه گیری شد که با توجه به توزیع گسترده تر اندازه ذرات در این ماده نسبت به نمونه تجاری Alsocup، زمان افزایش، نقش مهمی در کیفیت عمل جامد سازی و نیز آب باقیمانده دارد. در صورتی که سرعت افزایش جامد کننده نسبت به زمان جامد شدن (حدود ۵-۲ دقیقه) بیشتر باشد در این صورت آب باقیمانده حاوی ذرات جامد کننده عمل نکرده است که این پدیده سبب کاهش کیفیت آب باقیمانده می شود. اما در صورتی که سرعت افزایش برابر و یا کمتر از زمان جامد شدن باشد، در آن صورت تمام جامد کننده مصرف شده و آب باقیمانده کاملاً شفاف و عاری از ذرات باقیمانده پلیمر است. در شکل ۳ تاثیر زمان افزایش جامد کننده پلیمر SBS به مقدار نفت جامد شده، نشان داده شده است.

با توجه به زمان جامد شدن در این روش ارزیابی (استفاده از همزن مکانیکی برای مخلوط کردن نفت و جامد کننده) که حدود ۲-۳ دقیقه است، ملاحظه می گردد

ارزیابی کارایی نمونه‌های جامدکننده تجاری در مقایسه با پایه‌های پلیمری انتخاب شده بر روی نفت خام مناطق فلات قاره پس از انجام آزمایشات مربوط به بررسی شرایط و نحوه ارزیابی نمونه جامدکننده Alsocup و مقایسه نتایج آن با نمونه پلیمر انتخاب شده SBS اقدام به استفاده از چهار جامدکننده Alsocup, PWS, SBS و SEBS روی نمونه‌های نفت خام مناطق فلات قاره ایران یعنی خارگ، بهرگان، لاوان و سیری می‌نماییم.

نتایج این بررسی‌ها نشان‌گر کارایی متفاوت هر یک از این جامدکننده‌ها برای جمع‌آوری لکه‌های نفتی احتمالی منطقه فلات قاره ایران می‌باشد.

بررسی نحوه عملکرد جامدکننده‌ها بر روی نفت منطقه لاوان
نفت خام منطقه لاوان، نفتی با ویسکوزیته نسبتاً پایین (API حدود ۳۷) می‌باشد. طی آزمایشات اولیه و پس از تعیین حد جامدشدن برای نفت لاوان، ملاحظه می‌شود که مقادیر جامدکننده مورد نیاز بسیار کمتر از آزمایشات مقدماتی بر روی نفت بهرگان است. در جدول ۹ عملکرد جامدکننده‌های تجاری و پلیمرهای انتخابی ارائه شده است.

با توجه به اینکه نفت این منطقه از سبک‌ترین نفت‌های منطقه است، ملاحظه می‌شود که تقریباً درصد آب همراه نفت جامد شده صفر است. همانگونه که از جدول ۹ ملاحظه می‌شود حد جامد شدن چهار جامدکننده حدود از ۳۰ درصد می‌باشد.

بررسی نحوه عملکرد جامدکننده‌ها بر روی نفت منطقه بهرگان

نفت منطقه بهرگان با API حدود ۲۸ نفت نسبتاً سنگینی است، بنابراین انتظار می‌رود نتایج متفاوتی نسبت به نفت منطقه لاوان داشته باشد. جدول ۹ عملکرد چهار ماده

بررسی اثر سیستم اختلاط آب و نفت (استفاده از تکان‌دهنده) برای بررسی نحوه اختلاط آب و نفت و تأثیر انرژی مربوط به این فرآیند در عملکرد جامدکننده از سیستم تکان‌دهنده که حرکت آن به صورت رفت و برگشتی است استفاده می‌شود. نتایج مقایسه نمونه Alsocup و پلیمر SBS در جدول ۷ آورده شده است. ملاحظه می‌شود که در شرایط کاملاً مشابه از نظر نوع و مقدار جامدکننده، مقدار آب همراه نفت جامد شده بسیار متفاوت است (آزمایش ۲ و ۳ جدول ۶) و آزمایش از تکرارپذیری خوبی برخوردار نمی‌باشد. بنابراین برای کسب نتایج معتبر ارزیابی جامدکننده، استفاده از همزن مکانیکی توصیه می‌گردد.

مقایسه عملکرد جامدکننده بر روی نمونه‌های نفت خام با دو زمان نمونه‌گیری متفاوت

یکی از پارامترهایی که در برخی از روش‌های کنترل آلودگی دریا توسط نفت خام مهم است، تغییری است که در ویسکوزیته و ترکیب درصد یک نمونه رخ می‌دهد که این اثر مربوط به تبخیر اجزای فرار از نفت خام به مرور زمان است. برای بررسی تأثیر زمان نمونه‌برداری از نفت خام در ارزیابی‌های به‌عمل آمده توسط جامدکننده، دو نمونه نفت خام مربوط به منطقه بهرگان با دو تاریخ استحصال از چاه (سال ۸۶ و سال ۸۷) مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۸). مشاهدات انجام شده بر روی کیفیت آب باقیمانده نشان می‌دهد که تفاوت در عملکرد دو جامدکننده Alsocup و SBS روی دو نمونه نفت بسیار ناچیز است و همان‌گونه که در بخش‌های بعدی ملاحظه می‌شود تغییر در ویسکوزیته نفت تا حد مشخصی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد این دسته از جامدکننده‌ها ندارد.

جدول ۷- بررسی استفاده از تکان‌دهنده به‌عنوان سیستم اختلاط آب و نفت

آزمایش	جامدکننده	مقدار جامدکننده (گرم)	نفت جامد شده (گرم)	آب همراه نفت جامد شده (%)	حد جامد شدن (%)	کیفیت آب باقیمانده
۱	Alsocup	۵	۱۹/۴	۲۹/۳۳	۵۰	شفاف
۲	پلیمر SBS	۳/۳	۱۴/۷	۱۰/۵	۵۰	شفاف
۳	پلیمر SBS (مش ۲۵)	۳/۳	۱۷/۱	۲۸/۶	۳۳	کمی نفت جامد نشده از صافی عبور می‌کند
۴	پلیمر SBS (مش ۶۰)	۳/۳	۱۵/۲	۱۴/۳	۳۳	شفاف

جدول ۸- مقایسه عملکرد جامدکننده بر روی نمونه‌های نفت خام با دو زمان نمونه‌گیری متفاوت

آزمایش	نوع نفت	نوع جامدکننده	مقدار جامدکننده (گرم)	نفت جامدشده (گرم)	آب همراه نفت جامدشده (%)	حد جامد شدن (%)	کیفیت آب باقیمانده
۱	نفت صادراتی بهرگان سال ۸۶	Alsocup	۵/۵	۱۸/۳	۱۸	۵۵	آب شفاف است و کمی نفت ویسکوز شده از تور عبور می‌کند
۲	نفت صادراتی بهرگان سال ۸۶	پلیمر SBS	۳/۳	۱۴	۵/۳	۳۳	شفاف
۳	نفت صادراتی بهرگان سال ۸۷	Alsocup	۵/۵	۱۸/۲	۱۷/۴	۵۵	مقداری نفت ویسکوز از توری عبور می‌کند
۴	نفت صادراتی بهرگان سال ۸۷	پلیمر SBS	۳/۳	۱۳/۸	۶	۳۳	مقدار نفت ویسکوز کمتر از مورد Alsocup است

جدول ۹- مقایسه عملکرد ۴ نوع ماده جامدکننده بر روی نفت مناطق فلات قاره

نوع جامدکننده	نفت منطقه لاوان		نفت منطقه بهرگان		نفت منطقه خارگ		نفت منطقه سیری		نفت چاه نوروز	
	آب همراه نفت جامد شده (%)	حد جامد شدن (%)	آب همراه نفت جامد شده (%)	حد جامد شدن (%)	آب همراه نفت جامد شده (%)	حد جامد شدن (%)	آب همراه نفت جامد شده (%)	حد جامد شدن (%)	آب همراه نفت جامد شده (%)	حد جامد شدن (%)
Alsocup	۱/۶	۲۵	۲۰/۶	۵۵	۱۲/۹	۵۵*	۰/۷۷	۳۰	۱۶/۱	۵۵**
پلیمر SBS	۰	۲۷	۵/۳	۳۳	۵/۳	۳۳	۰	۳۰	۲/۳	۳۳
PWS	۰	۳۰	۱۱/۶	۵۵	۹/۷	۵۵	۲/۳	۳۰	۱۴/۲	۵۵
پلیمر SEBS	۰	۳۰	۵/۳	۳۳	۵/۳	۳۳	۰	۲۷	۱۶/۵	۳۳

* کمی نفت ویسکوز شده از توری خارج می‌شود.

** مقدار ناچیزی نفت دارد.

مصرف برای جامد کردن نفت کمتر است. در این موارد آب جذب شده همراه نفت جامد نیز کمتر می‌باشد.

بررسی نحوه عملکرد جامد کننده‌ها بر روی نفت منطقه سیری

این نفت نسبت به دو نفت مناطق بهرگان و خارگ سبک‌تر است (API حدود ۳۳). نتایج جدول ۹ نشان دهنده میزان مصرف کمتر جامد کننده‌ها جهت جامدسازی کامل نفت منطقه سیری است که تقریباً مشابه مورد نفت لاوان می‌باشد. **بررسی نحوه عملکرد جامد کننده‌ها بر روی نفت چاه نوروز** علت انتخاب نفت خام این چاه به‌طور ویژه، ویسکوزیته بسیار بالای آن است (API اندازه‌گیری شده ۲۰/۲۶) که به عنوان یک نفت سنگین مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج عملکرد جامدکننده‌های مورد آزمایش در جدول ۹ آورده

جامدکننده را روی نفت منطقه بهرگان نشان می‌دهد. با توجه به ویسکوزیته بالاتر این نفت نسبت به نفت منطقه لاوان، مقدار جامدکننده مصرفی بیشتر است و به همین علت نیز آب باقیمانده در لابه‌لای نفت جامدشده بیشتر خواهد بود.

بررسی نحوه عملکرد جامد کننده‌ها بر روی نفت منطقه خارگ (فروزان)

نفت خام این منطقه با API حدود ۳۰ نسبت به نفت مناطق سیری و لاوان سنگین‌تر است. جدول ۹ عملکرد چهارماده جامدکننده را روی نفت این منطقه نشان می‌دهد.

نتایج نشان دهنده آن است که جامدکننده‌های SBS و SEBS برای نفت‌هایی با ویسکوزیته بیشتر در مقایسه با نمونه‌های تجاری Alsocup و PWS مناسب‌ترند و مقدار

که در این آزمایش از همزن مکانیکی استفاده نگردید. نفت مورد آزمایش، نفت منطقه لاوان و نوع جامدکننده پلیمر SBS است. در مدت ۵ الی ۱۰ دقیقه نفت به صورت یک تکه جامد می شود. همان گونه که در بخش مقدمه گفته شد یکی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد جامدسازی نفت میزان اختلاط یا به عبارتی انرژی دریا برای اختلاط نفت و عامل جامدکننده است. در شرایط کاملاً مشابه (از نظر نوع نفت و میزان جامدکننده) در صورتی که عامل اختلاطکننده حضور نداشته باشد، درصد آب همراه نفت جامد شده از صفر به ۱۷ درصد افزایش می یابد که از نظر اقتصادی شرایط نامناسبی را ایجاد می کند. بنابراین حتی در محل هایی که عملاً آب ساکن است، توصیه می شود که به نوعی شرایط اختلاط ایجاد گردد.

آزمایش اندازه گیری ظرفیت جامد سازی نفت توسط جامدکننده SEBS بدون حضور آب

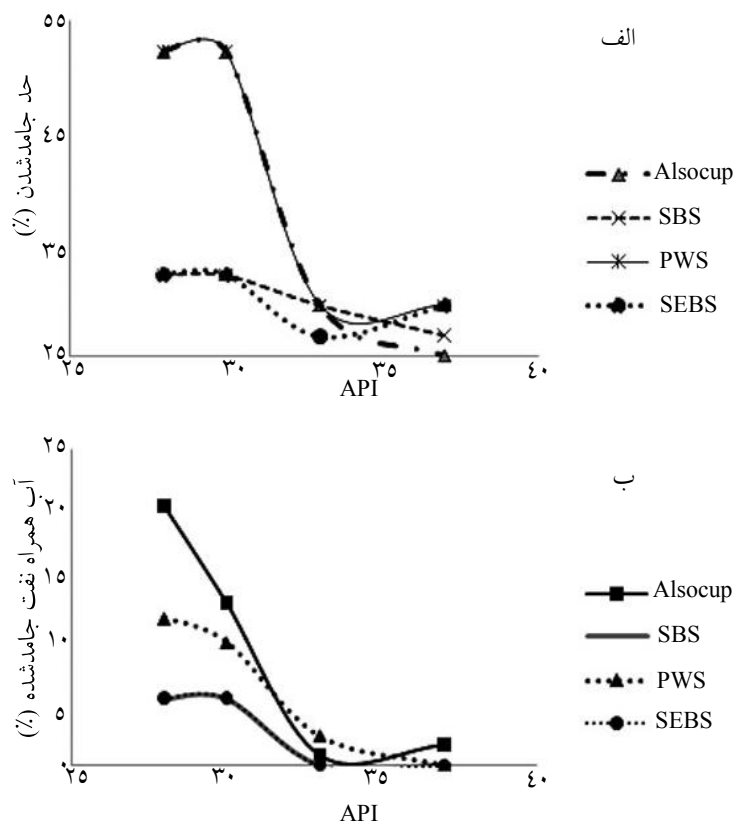
هدف از انجام این آزمایش ارزیابی عملکرد جامدکننده در تانکرها و مخازن نگهداری نفت که دچار حادثه شده اند و همچنین ارزیابی مشخصات محصول نفت جامد شده می باشد.

شده است. در این خصوص بهترین نتایج مربوط به پلیمر SBS است که ضمن دارا بودن بهترین حد جامد شدن، کمترین میزان آب را در لابه لای ذرات جامد شده حمل می کند. به طور کلی همان گونه که در شکل ۴ (الف) ملاحظه می شود حد جامد شدن دو پلیمر انتخابی SBS و SEBS در مورد نفت هایی با ویسکوزیته بالا، به میزان ۴۰ درصد کمتر از نمونه های تجاری می باشد و این پلیمرها از کارایی بهتری برخوردار هستند. این تفاوت در خصوص نفت با ویسکوزیته پایین بسیار ناچیز است. همین مطلب در مورد میزان آب همراه نفت جامد شده نیز صدق می کند (شکل ۴ ب).

آزمایشات تکمیلی

بررسی عملکرد جامد شدن نفت خام بدون اختلاط نفت و آب

در این حالت عمل جامد شدن نفت بدون حضور همزن مورد بررسی قرار گرفت. این وضعیت به ویژه در حوضچه های تخلیه نفت در پایانه های نفتی مشاهده می شود. این آزمایش همانند آزمایشات قبلی انجام شد با این تفاوت



شکل ۴- الف) تأثیر گذاری API بر اثر بخشی جامدکننده ها روی نفت فلات قاره و ب) مقدار آب همراه نفت جامد شده

جامد سازی نفت منطقه بهرگان در آب دریا با استفاده از پلیمر SEBS در مقیاس پنج

با توجه به نکاتی که در اغلب مقالات مربوط به استفاده از جامدکننده‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و مقایسه آن با مقیاس بزرگتر مطرح شده مبنی بر افزایش مقدار مصرف جامدکننده در مقیاس بالاتر، این آزمایش به گونه‌ای طراحی شد که در یک ظرف شیشه‌ای به ابعاد $50 \times 50 \times 80 \text{ cm}^3$ (حجم تقریبی ۲۰۰ لیتر) آب دریا قرار گیرد. برای ایجاد تلاطم در این مخزن از یک همزن با پروانه ملخی که تا عمق ۱۰ cm در آب فرو رفته بود استفاده شد. نتایج حاصل از این آزمایش در جدول ۱۱ آورده شده است.

کیفیت آب باقیمانده بسیار خوب و مقدار آب جذب شده همراه نفت جامد حدود ۸/۸ درصد است که در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی مشابه که حدود ۵ درصد است، تفاوت ناچیزی را نشان می‌دهد (نسبت مقیاس‌ها ۱ به ۳۴/۴ است). جمع‌آوری نفت جامد شده به راحتی توسط تور پارچه‌ای انجام می‌شود.

به این منظور در شرایط بدون حضور آب، جامدکننده SEBS به نفت منطقه بهرگان اضافه گردید. با افزایش مقادیر ۵ و ۱۰ درصد از جامدکننده SEBS به نفت خام منطقه بهرگان، مشاهده می‌گردد که مخلوطی از نفت جامد شده (به صورت ژل یک تکه) و نفت کاملاً ویسکوز به وجود می‌آید. با جداسازی دقیق این دو فاز و سپس اندازه‌گیری ویسکوزیته آنها و مقایسه با ویسکوزیته نفت اولیه، می‌توان مقدار جامدکننده مورد نیاز برای جامد کردن کل نفت را در شرایط بدون حضور آب به دست آورد. نتایج در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

همان‌گونه که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که افزودن پلیمر SEBS به نفت به طور خطی، باعث افزایش میزان نفت جامد شده می‌شود. با توجه به معادله خط حاصل، می‌توان میزانی از جامدکننده که برای جامدسازی کامل نفت لازم است را محاسبه نمود (حدود ۱۷ درصد). همچنین مشاهده می‌شود که افزایش مقدار پلیمر سبب افزایش ویسکوزیته بخش مایع و جامد می‌گردد.

جدول ۱۰- اندازه‌گیری ظرفیت جامدسازی نفت منطقه بهرگان توسط پلیمر SEBS بدون حضور آب

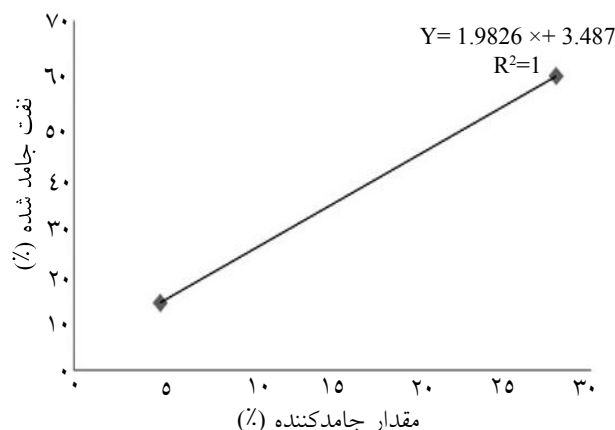
آزمایش	مقدار نفت (گرم)	مقدار پلیمر SEBS اضافه شده (گرم)	* درصد نفت جامد شده	** ویسکوزیته بخش مایع (CP)	*** ویسکوزیته بخش نفت جامد شده (CP)
۱	۱۳۴/۳	۱۳/۴۳ (۱۰ درصد)	۵۹	۲۰۱	۹۲۹
۲	۱۳۹/۸	۷ (۵ درصد)	۲۸	۸۹	۵۳۶
۳	۱۳۰	۰	۰	۲۱۹	۰

* درصد نفت جامد به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$100 \times \frac{\text{وزن نفت جامد شده}}{\text{وزن پلیمر اضافه شده} + \text{وزن نفت اولیه}} = \text{درصد نفت جامد شده}$$

** ویسکوزیته در دمای 25°C اندازه‌گیری شده است.

*** ویسکوزیته در دمای 100°C اندازه‌گیری شده است.



شکل ۵- تاثیر مقدار جامدکننده بر میزان جامد شدن نفت در غیاب آب

جدول ۱۱- جامدسازی نفت منطقه بهرگان در آب دریا با استفاده از پلیمر SEBS در مقیاس پنج

مقدار نفت خام	نوع جامدکننده	مقدار جامدکننده (گرم)	مقدار نفت جامد شده (گرم)	آب همراه نفت جامد شده (%)	حد جامد شدن (%)	کیفیت آب باقیمانده
۳۲۹/۴	پلیمر SEBS	۱۱۰	۴۸۱/۹	۹/۷	۳۳/۳	شفاف

نتیجه گیری

جامدکننده‌ها این قابلیت را دارند که به‌عنوان یک روش مقابله با لکه‌های دریایی در آب‌های آرام به‌ویژه در حفاظت سواحل به‌کار گرفته شوند. یک مزیت عمده جامدکننده‌ها نسبت به سایر روش‌های مقابله با لکه‌های نفتی، آن است که مواد جامدشده حاصل از عملیات به‌عنوان مواد غیرسمی طبقه‌بندی می‌شوند که همین امر سبب کاهش هزینه‌های حمل و نقل و انتقال می‌شود. در این مطالعه ضمن بهینه نمودن فاکتورهای موثر بر جامدشدن نفت در اثر افزایش نمونه جامدکننده، نقش پلیمرهای انتخابی بر جداسازی نفت صادراتی مناطق فلات قاره ایران از آب مورد بررسی قرار گرفته است.

از جمله فاکتورهای مورد مطالعه، سرعت بهینه افزایش پلیمر SBS به نفت برای عملکرد مناسب است که پس از آزمایشات به عمل آمده برابر ۱/۶۵-۰/۹۴ گرم بر دقیقه به ازای هر ۱۰ گرم نفت تعیین گردید.

اندازه ذرات جامدکننده تأثیر ویژه‌ای بر عملکرد جامدکننده ندارد، ولی هرچه اندازه ذرات کوچکتر باشد آب جذب شده در توده جامد شده کمتر است.

در خصوص افزایش ماده پلیمری SEBS به نفت خام

بدون حضور آب، آزمایشات به‌عمل آمده نشان می‌دهد که با افزایش حدود ۱۷ درصد وزنی پلیمر به نفت و اعمال شرایط همزن، می‌توان نفت را به‌طور کامل جامد کرد. این پدیده به‌ویژه در خصوص جامد نمودن نفت در تانکرهای نفتی در حال نشست و در صورت عدم هرگونه عملیات بازیابی نفت می‌تواند به‌عنوان یک روش مقابله به‌شمار آید. در مجموع می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که جامدکننده‌های SBS و SEBS برای نفت‌هایی با ویسکوزیته بیشتر (API بیش از ۳۰) در مقایسه با نمونه‌های تجاری مشابه یعنی Alsocup و PWS مناسب‌ترند و مقدار مصرف آنها برای جامد نمودن نفت با ضریبی حدود ۱/۶ کمتر است، در حالی که در مورد نفت‌هایی با ویسکوزیته پایین‌تر (API بالاتر از ۳۰) تفاوت بین نمونه‌های تجاری و پلیمرهای انتخاب شده ناچیز است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدر دانی خود را از مدیریت پژوهش و توسعه شرکت ملی نفت ایران به دلیل حمایت مالی طبق قرارداد ۸۱-۸۳۰۱۵ اعلام می‌دارند.

منابع

- [1] Ghalambor A., Effectiveness of Solidifiers to Combat Oil Spills, Final Report, Louisiana Oil Spill Coordinator's Office/Office of Governor, Louisiana Applied spill research and development program, Baton Rouge, Louisiana, , 1996.
- [2] a) NRC., Using Oil Spill Dispersants on the Sea, *Committee on effectiveness of oil spill dispersants*, National Academy Press, Washington, D.C. 1989.
- b) Spill Response Glossary, Compiled by: National Oceanic and Atmospheric Administration, Hazardous Materials Response and Assessment Division, Scientific Support Coordination Branch, http://response.restoration.noaa.gov/book_shelf/675_append.pdf
- c) Glossary of Terms Related to Health, Exposure, and Risk Assessment, *Air risk information support center (air rISK)*, USEPA, 1989.

- d) Oil Spill Response: Products and Technology Reference Guide, USEPA, Scientific and environmental associates, research planning, inc., Ecosystem Management & Associates, Inc., 1998.
- [3] Sayed S.A. & Zayed A.M., "Investigation of the effectiveness of some adsorbent materials in oil spill clean-ups", desalination, Vol. 194, pp. 90–100, 2006.
- [4] Banerjee S.S., Joshi M.V. & Jayaram R.V., "Treatment of oil spill by sorption technique using fatty acid grafted sawdust", Chemosphere, Vol. 64, pp. 1026–103, 2006.
- [5] Kumagai S., Noguchi Y., Kurimoto Y. & Takeda K., "Oil adsorbent produced by the carbonization of rice husks", Waste Management, Vol. 27, pp. 554–56, 2007.
- [6] Gioia F. & Ciriello P.P., "The containment of oil spills in porous media using xanthan/aluminum solutions, gelled by gaseous CO₂ or by AlCl₃ solutions", Journal of Hazardous Materials B, Vol. 138, pp. 500–506, 2006.
- [7] Bastani D., Safekordi A.A., Alihosseini A. & Taghikhani V., "Study of oil sorption by expanded perlite at 298.15K", separation and purification technology, Vol. 52, pp. 295–300, 2006.
- [8] Carmody O., Frost R., Xi Y. & Kokot S., "Adsorption of hydrocarbons on organo-clays-implications for oil spill remediation", Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 305, pp. 17–24, 2007.
- [9] Chapman H., Purnell K., Law R. J. & Kirby M. F., "The use of chemical dispersants to combat oil spills at sea: a review of practice and research needs in europe", Marine Pollution Bulletin, Vol. 54, Issue 7, pp. 827-838, 2007.
- [10] Lois S. E. & Anastopoulos G. "Investigation of the effectiveness of absorbent materials in oil spills clean up desalination", Vol. 140, Issue 3, pp. 259-264, 2001 .
- [11] Fuller H.I., "Use of floating absorbents and gelling techniques for combating oil spills on water", J. Inst. Petrol, London, Vol. 57 No. 553, pp. 35-43, 1971.
- [12] Forbes T. S., Process for absorbing oil, GB Patent: 1,235,463, 1971.
- [13] Bogosian T. O., Collecting oil floating on water, Fr Patent: 2,014,075, 1970
- [14] Maier D. & Spaich H., Oil adsorbing agents for water and soil – purification, Ger. Offen 1,944,636, 1971.
- [15] Weinberg, Ion and recovery method and means for absorbing crude oil and the like for transportation, U.S Patent: 3,756,948, 1973.
- [16] Masami T., Akiji T., Kazuhisa K., Hideo O. & Yutaka M., Oil adsorbent, U.S. Patent : 3,960,722, 1976.
- [17] Tsukahara M., Oil adsorbent, Japan. Kokai Patent: 77,101,683, 1977.
- [18] Stein C. & Duquenne D., Article and process for absorbing polluting products, EP Patent:, 349,363, 1990.
- [19] Atsushi O., Takayuki T. & Satomitsu E., Oil – treating agent and scattering method therefore, JP Patent: 11 279,542, 1999.
- [20] Goldstein A.M., Koros R.M. & Tarmy B.L., Gellation of crude oil, florham park, NJ, Exxon Research and Engineering Company, 1974.
- [21] Ju Ch.S., Hwang D.K. & Kang J.T., Oil-gelling agent for preventing dispersion of oil spill and organic Hazardous chemical liquid, KR Patent: 2000 61,544, 1989.
- [22] Dahl W.A., Lessard R.R. & Cardello E.A., Proceeding of the 1997 oil spill conference, 7-10 April, Ft. Lauderdale, FL, PP 391-395, American Petroleum Institute Washington DC 1993.

- [23] Fingas M.A., *Review of literature related to oil Spill solidifiers* 1990-2008. Alaska, Prince William Sound Regional Citizens Advisory Council, 2008.
- [24] Gabrick A., *Controlling and recovering oil spills from the environment*, U.S. Patent: 4941978, 1990.
- [25] Vonk W.C., Migchels P. & Roumache O., *Process for the prevention or restriction of oil spills* U.S., Patent: 2005/0222340A1, 2005.
- [26] Meldrum I.G., Fisher R.G. & Plomer A.J., *Oil solidifying additives for oil spills*, in Proceedings of the Fourth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar, Environment Canada, Ottawa, Ontario, pp. 325-352, 1981.
- [27] Fingas M.F., Kyle D.A., Laroche N.D., Fieldhouse B.G. & Sergy R.G., *The Effectiveness testing of spill-treating agentse*, mergencies science division environment canada, Ottawa, Canada, p. 297, 1994.
- [28] Fingas M.F., Kyle D.A., Laroche N.D., Fieldhouse B.G, Sergy G. & Stoodly R.G., *The use of chemicals in oil spill response*, ASTM STP 1252, Peter Lane, Ed., American society for testing and Material, Philadelphia, pp. 286-297, 1995.
- [29] Delaune R.D., Lindau C.W. & Jugsujinda A., "*Effectiveness of Nochar Solidifier Polymer in Removing Oil from Open Water in Coastal Wetlands*", Spill science and technology bulletin, Vol. 5, pp. 357-359, 1999.
- [30] Rea B., *Analysis of solidification and fixation parameters of diesel fuel when blended with chemical polymer gelling agents*, Report, New Mexico State University, pp. 138, 1991.
- [31] Dahl W., Lessard R.R., Cardello E.A., Fritz D.E., Norman F.S., Twyman J.D., Clayton E.W., Knight B.L., Crane R.D., Johnson S.J. & Martin B.R., "*Solidifiers for oil spill response*", in Proceedings of the Society of Petroleum Engineers Conference on Health Safety and Environment, SPE paper No. 35860, pp. 803-810, 1996.
- [32] Pelletier E. & Siron R. "*Silicone-based polymers as oil spill treatment agents*", Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 18, pp. 813-818, 1999.