

## اهمیت سطوح بین‌فازی و مواد سطح فعال در صنعت نفت (بخش دوم): کاربرد مواد سطح فعال

حسین رضایی<sup>۱\*</sup>، فاطمه حسنی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

### چکیده

پدیده‌های بین‌سطحی و برهمکنش‌های شیمیایی در فصل مشترک بین فازهای مختلف در تکنولوژی‌های صنعت نفت بسیار حائز اهمیت می‌باشند. این سطوح از فصل مشترک بین فازهای جامد/مایع مانند سنگ مخزن/نفت، مایع/مایع مانند نفت/آب نمکی گرفته تا فصل مشترک بین فازهای گاز/مایع مانند تشکیل فوم در صنایع پایین‌دستی را شامل می‌گردند. سطح فعال‌ها به دلیل ساختار و خواص ویژه‌ای که دارند، نقش مهمی را در رفتار سطوح بین‌فازی ایفا می‌نمایند که آنها را برای صنعت نفت بسیار با ارزش ساخته است. در مقاله پیشین، پدیده‌های بین‌سطحی مختلف مانند جذب سطحی فیلم‌های سطح فعال، خودشکل‌گیری و تشکیل مایسل‌ها، زاویه تماس، ترشوندگی، فوم‌ها و امولسیون‌ها در فرایندهای مختلف صنعت نفت بررسی گردید. در بخش دوم این تحقیق، اهمیت رفتار جذبی و تجمعی سطح فعال‌ها و کاربرد آنها در عملیات متفاوت این صنعت نظیر حفاری، ازدیاد برداشت، کفزدایی، جلوگیری از خوردگی، پاکسازی لکه‌های نفتی، جداسازی آب و نفت (نمکزدایی) و سیال‌سازی مواد بسیار ویسکوز نیز مورد بحث قرار خواهد گرفت.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۸/۰۳/۲۱  
تاریخ ارسال به داور: ۹۸/۰۳/۱۷  
تاریخ پذیرش داور: ۹۸/۰۵/۰۱

### واژگان کلیدی:

سطوح بین‌فازی، سطح فعال، پدیده‌های سطحی، ازدیاد برداشت نفت

### مقدمه

امولسیون‌ها، توان آب‌دوستی- چربی دوستی، نسبت R وینسور، دمای وارونگی فاز، اختلاف تمایل (میل ترکیبی) سطح فعال<sup>۴</sup> (SAD) و میکروامولسیون‌ها و نحوه ارتباط پدیده‌های مختلف این سطوح با صنعت نفت به بحث گذاشته شد. در این مقاله چندین زمینه مهم در صنعت نفت شامل ازدیاد برداشت نفت، جلوگیری از خوردگی، پاکسازی لکه‌های نفتی، روان‌سازی قیر، امولسیون‌های آسفالتی، جداسازی نفت/آب و نمک‌زدایی از نفت خام که در آنها شیمی سطح بین‌فازی نقشی اساسی را ایفا می‌نماید، بررسی خواهد گردید.

### ۱- کاربردها در صنعت نفت

مواد سطح فعال در بخش‌های مختلفی از صنعت نفت نقش خود را یافته‌اند و به‌خوبی به‌کار گرفته می‌شوند. از جمله این کاربردها عبارتند از: استفاده در فرایندهای ازدیاد برداشت، سیالات حفاری، انگیزش اسیدی چاه، سیمان‌کاری چاه‌های نفت، در دامولسیفایرها و برای رفع آلودگی‌های نفتی و پاکسازی لجن‌های نفتی تانکرها که بهبود کیفیت، تسهیل استخراج، صرفه‌جویی‌های اقتصادی، افزایش تولید و حفظ جنبه‌های زیست‌محیطی را در بر دارد [۲]. جدول ۱- مثال‌هایی از کاربرد مواد سطح فعال در صنعت نفت را به تفکیک سیستم مورد نظر نشان می‌دهد.

امروزه زندگی اجتماعی و مصرف انرژی ارتباط تنگاتنگ و غیرقابل‌انکاری دارند. در بین منابع مختلف انرژی، سوخت‌های فسیلی یا نفت خام نقش اساسی را در تأمین انرژی جهان ایفا می‌کند. نفت خام یکی از منابع انرژی است که به سهولت در اختیار بشر قرار گرفته و به‌عنوان ماده‌خام اولیه برای بسیاری از صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سطوح بین‌فازی، بدون شک در اکثر (اگر نگوییم همه) فرایندهای فناوری‌های نفتی- از حفاری نفت خام گرفته تا تصفیه نفت و فرآورش محصولات پتروشیمی- و نیز در کاربردها و بسیاری از صنایع وابسته دیگر نقش اساسی و محوری دارند.

تمامی این فرایندها شامل پدیده‌های بین‌سطحی و برهم‌کنش‌های شیمیایی سطح هستند. در تکنولوژی‌های نفتی، با خواص سطوح بین‌فازی سیستم‌های مختلفی نظیر نفت خام/هوا، نفت خام/آب یا آب نمک [آب شور]<sup>۱</sup> و نفت خام/سطوح جامد سروکار خواهیم داشت. بنابراین، کشش سطحی (ST) و کشش بین‌سطحی<sup>۲</sup> (IFT)، زاویه تماس، ترشوندگی و بارهای سطحی<sup>۳</sup> (پتانسیل زتا) پارامترهایی هستند که برای مطالعه‌ی رفتار مواد در سطح اندازه‌گیری و بررسی می‌شوند [۱].

در مقاله پیشین مفاهیم اساسی شیمی سطح بین‌فازی شامل فیلم‌های جذب شده، مایسل‌ها، زاویه تماس و ترشوندگی، فوم‌ها،

\* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (hrezaei@pedec.net)

## ۱-۱- گل حفاری

گل حفاری مورد استفاده در اکتشاف نفت، سیستم پیچیده‌ای است که حاوی مواد متنوعی است که هر یک از آنها در فرایند حفاری، وظیفه‌های را به عهده دارند: آب، با ظرفیت گرمایی بالا، گرمای تولید شده در اثر اصطکاک بین مته حفاری و سنگ را گرفته و مته را خنک می‌کند، روغن، مته حفاری را لغزنده می‌کند، خاک‌رس، رئولوژی مطلوب را فراهم می‌آورد و نمک‌های فلزات سنگین، دانسیته گل حفاری را افزایش می‌دهند. بنابراین، سنگ‌ریزه‌های کنده شده می‌توانند به سطح زمین انتقال یابند و از گل حفاری جدا شوند. سطح فعال‌های پراکنده‌ساز و معلق‌کننده نیز برای تثبیت این مخلوط پیچیده استفاده می‌شوند. شایان ذکر است که گل حفاری برای هر منطقه‌ای به صورت ویژه فرموله می‌شود چراکه زمین‌شناسی و شرایط فیزیکی-شیمیایی هر منطقه با منطقه دیگر متفاوت است [۴].

## ۱-۲- ازدیاد برداشت نفت

امروزه یکی از منابع جذاب انرژی، نفتی است که در چاه‌های نفتی رو به اتمام موجود می‌باشد! این نفت در محیط متخلخل مخازن توسط نیروهای موئینگی و ویسکوز به تله افتاده است. برای بازیابی این نفت به تله افتاده، فناوری‌های متعددی بر اساس فرایندهای ازدیاد برداشت (EOR) توسعه داده شده‌اند. مثال‌هایی از این فناوری‌ها (که به روش‌های سوم ازدیاد برداشت نیز موسومند)، عبارتند از: سیلاب‌زنی سطح فعال-پلیمر، ایجاد فوم و شکافت اسیدی [۵-۹].

ازدیاد برداشت نفت به دلیل وجود فصول مشترک متعدد و پیچیدگی مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی و زمین‌شناسی مخازن، به یک چالش علمی و فناورانه‌ی ممتاز تبدیل یافته است. در این جهت به دانش دقیقی از مخازن نفتی، انتقال از میان محیط متخلخل و پدیده‌های متعدد بین‌سطحی نیاز است.

از آن گذشته، فناوری‌های ازدیاد برداشت نفت معمولاً به دلیل وجود مقادیر متعدد مواد شیمیایی گران‌قیمت که به درون چاه نفت تزریق شده و معمولاً در طول فرایند از بین می‌روند، هزینه‌بر می‌باشند. علیرغم این مشکلات، از آنجایی که چاه‌های به ظاهر به‌ته کشیده هنوز دارای تقریباً ۶۵ درصد نفت دست‌نخورده می‌باشند، فناوری ازدیاد برداشت هنوز بسیار جذاب و مورد توجه هستند.

## ۱-۲-۱- سیلاب‌زنی سطح فعال-پلیمر

در این قسمت به فناوری‌های مرتبط با «سیلاب‌زنی سطح فعال-پلیمر» یا «سیلاب‌زنی مواد شیمیایی» پرداخته می‌شود. اساساً، هدف سیلاب‌زنی سطح فعال-پلیمر، تولید نفت از یک چاه نفتی تمام شده (چاهی که در اواخر عمر تولید خود با روش‌های معمول در حال تولید است) می‌باشد، بدین صورت که با استفاده از تزریق دوغابی از مواد فعال سطحی، جابه‌جایی نفت به تله افتاده ممکن می‌شود [۵-۹].

شکل ۱- به صورت شماتیک فرایند سیلاب‌زنی سطح فعال-پلیمر را نشان می‌دهد. مرحله اول، تزریق محلول می‌باشد (preflush) که شرایط مخزن را با از بین بردن نمک‌های نامطلوب مهیا می‌نماید. نمک‌های نامطلوب باعث می‌شوند که سطح فعال‌های با ارزش به هم چسبیده و کارایی خود را از دست بدهند [۱۰-۱۳]. سپس، یک سطح فعال به منظور کاهش کشش بین‌سطحی نفت محبوس [۵-۹، ۱۴] و نیز به منظور حرکت دادن نفت از درون شکاف‌های باریک حفرات [۶، ۸]، تزریق می‌شود. بنابراین، بانکی از نفت تشکیل می‌شود (شکل ۲). تشکیل بانک نفت اجتناب‌ناپذیر است چراکه این بانک نفت این امکان را فراهم می‌آورد که حرکت نفت خام به تله‌افتاده موثرتر شود. دوغاب سطح فعال توسط دوغابی

۱ | مثال‌هایی از کاربرد مواد سطح فعال در صنعت نفت [۲، ۳]  
سیستم‌کاربرد

سیستم	کاربرد
گاز- مایع	تولید فوم چاه نفتی و سرچاهی فرایند معلق‌سازی نفت فوم‌های برج‌های تقطیر و تفکیک فوم‌های تانک‌ها (کامیون‌های حمل) سوخت‌های نفتی سیال حفاری فومی سیال اسیدزنی فوم‌های انسدادکننده و جهت‌دهنده فوم‌های کنترل حرکت گازها
مایع- مایع	سیالات امولسیون حفاری ازدیاد برداشت در شبه امولسیون‌ها دوغاب‌های فرایندی تعلیق سنگ نفت امولسیون‌های سرچاهی امولسیون‌های سوخت‌های نفتی امولسیون‌های خطوط لوله انتقال نفت سنگین امولسیون‌های آسفالت امولسیون‌های ذرات کوچک نفتی نشستی تانکرهای نفتی
مایع- جامد	اصلاح کننده‌های ترشوندگی مخازن تثبیت‌کننده خاک‌های نفتی پراکنده‌ساز لجن تانک‌ها و وسل‌ها توزیع‌کننده گل حفاری

از یک محلول تغلیظ شده پلیمری پایه آبی رانده و توسط دوغاب آب برگردانده می‌شود [۶، ۷، ۱۵]. دوغاب ویسکوز پلیمر، اجازه نمی‌دهد که باریکه‌های آب به داخل بانک نفت نفوذ نمایند. چراکه نفوذ باریکه‌های آب به درون بانک نفت کارایی سیستم را کاهش می‌دهد [۹]. برای بهینه کردن فرایند سیلاب‌زنی پلیمر-سطح فعال، بانک نفت شکل گرفته باید به درون ناحیه متخلخل گسترده شده و نفت محبوس به انتهای پیش‌رفته‌ی بانک نفت بپیوندد. حجم تحت پوشش توسط فرایند با تنظیم حرکت هریک از دوغاب‌ها بهینه می‌شود (شکل-۳) [۸، ۹] که این کار با ایجاد کشش سطحی فوق کم در فصل مشترک بانک نفت/ دوغاب سطح فعال محقق می‌شود [۸، ۱۶]. همچنین لازم است از ساختارهای تجمعی سطح فعال‌ها مانند کریستال‌های مایع لایه‌ای که باعث به وجود آمدن ویسکوزیته‌های بسیار بالا می‌شوند، جلوگیری کرد [۱۷-۱۹].

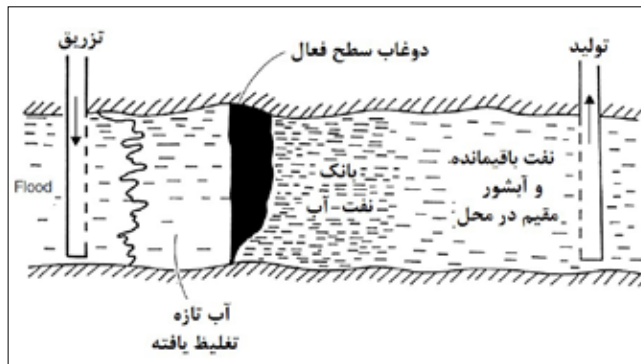
پارامترهای سیستم باید طوری باشند که اختلاطی بین سیالات در دوغاب‌های سطح فعال، نفت و پلیمر صورت نپذیرد. پراکندگی سطح فعال و نفت یک امولسیون نامطلوب را تشکیل خواهند داد، در حالی که پراکندگی سطح فعال و پلیمر، اگر ناسازگار باشند، ممکن است منجر به جدایش فازی شوند که این امر باعث کاهش تأثیر فرایند می‌شود. نکات دیگر که باید در نظر گرفته شوند، عبارتند از: (۱) انتقال جرم سطح فعال به بانک نفت می‌تواند کشش بین‌سطحی را تغییر دهد و (۲) ناسازگاری سطح فعال-پلیمر منجر به جدایش فازی می‌شود که می‌تواند اثر بخشی فرایند را کاهش دهد [۸، ۱۸].

پس از ازدیاد برداشت ثانویه (سیلاب‌زنی آب)، نفت محبوس درون حفرات توسط نیروهای موئینگی و ویسکوز به تله می‌افتد که بزرگی آن را می‌توان با عدد موئینگی،  $N_C$ ، نشان داد:

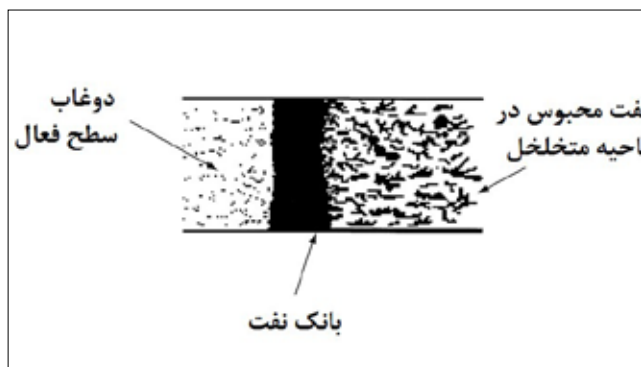
$$N_C = \left( \frac{\mu_w v_w}{\gamma_{ow}} \right) \quad (1)$$

در این رابطه،  $\mu_w$ ، ویسکوزیته آب،  $v_w$ ، سرعت آب و،  $\gamma_{ow}$  کشش بین سطحی نفت و آب می‌باشد [۵-۹]. در این مرحله، در فرایند برداشت نفت، عدد موئینگی تقریباً ۶-۱۰ می‌باشد که به این معناست که نیروهایی که نفت را به تله می‌اندازند، بسیار بزرگ هستند.

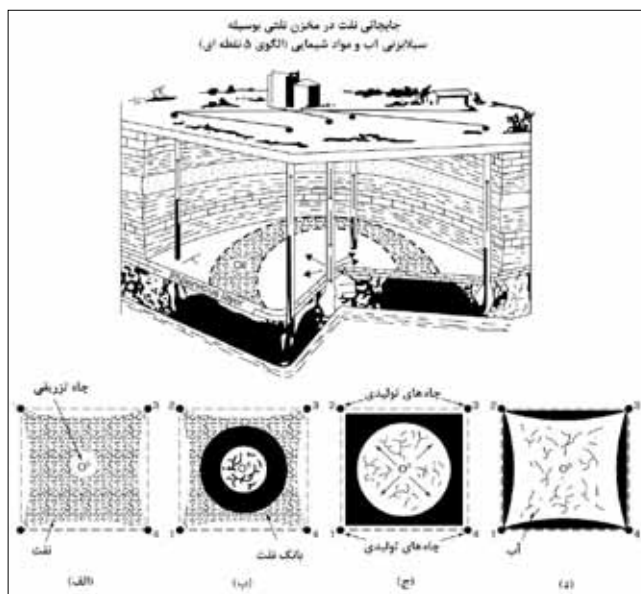
همانطور که معادله فوق نشان می‌دهد، برای غلبه بر این نیروها، واجب است که عدد موئینگی را با افزایش ویسکوزیته یا سرعت سیال تا ۳-۱۰ افزایش دهیم یا کشش بین‌سطحی را از ۳۰ به



شکل ۱ | نمایش شماتیک فرایند سیلاب‌زنی سطح فعال-پلیمر



شکل ۲ | نمایش شماتیک نقش کشش بین سطحی بسیار کم بر تشکیل بانک نفت



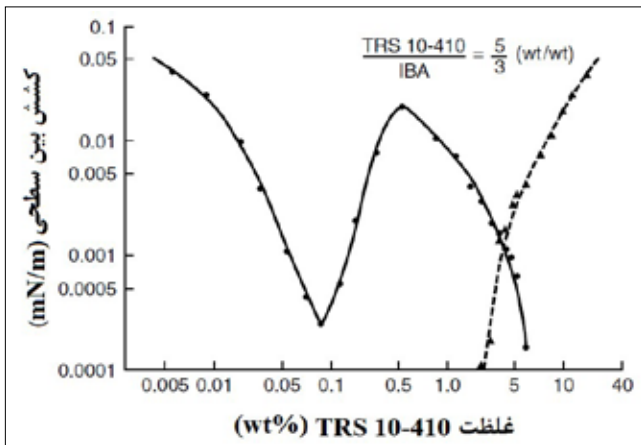
شکل ۳ | نمایش شماتیک مخزن نفتی و جایابی نفت با سیلاب‌زنی آب یا مواد شیمیایی [۱]

(الف): نفت در مخزن در ناحیه متخلخل مخزن محبوس است. (ب): باتزریق سیلاب سطح فعال-پلیمر، نفت رانده شده و بانک نفت ایجاد می‌شود. (ج): باتزریق بیشتر، بانک نفت به سمت چاه‌های تولیدی رانده می‌شود. (د): نفت بطور کامل از ناحیه متخلخل خارج می‌شود.

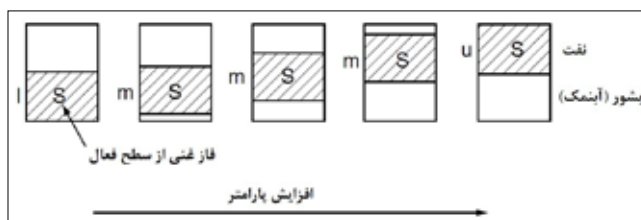
بین سطحی مرتبط هستند.

#### ۱-۲-۲- فومها در ازدیاد برداشت نفت

در صنعت نفت، فوم توانسته کاربرد اصلی خود را در زمینه ازدیاد برداشت نفت به خوبی پیدا کند. فومها دارای خواص رئولوژیکی منحصر به فردی در محیط متخلخل می باشند و جهت بستن نواحی بسیار نفوذپذیر (از جایی که نفت از آنجا اصطلاحاً جاروب شده است) استفاده می شوند که به نفت این امکان را می دهد که از نواحی با نفوذپذیری پایین برداشت شوند. گاهی از دی اکسید کربن در فرایند فوم به عنوان سیال جابه جاکنده استفاده می شود. سیال دی اکسید کربن در همه نسبتها با هیدروکربنهای سبک، امتزاج پذیر است. این رفتار با جابه جایی توسط آب بسیار متفاوت



۴ تاثیر غلظت سطح فعال بر کشش بین سطحی (IFT) TRS 10410 (یک سطح فعال سولفوناته‌ی نفتی). + الکل ایزوبوتیل (IBA) در ۱.۵٪ با دوکان. یک IFT بسیار پایین در غلظت‌های بالا و پایین سطح فعال افتاده است: کشش بین سطحی میکرومولسیون ۰.۰۰۵ W/O، کشش بین سطحی میکرومولسیون W/O، جایی که (●) و (▲) برهم منطبق شده‌اند، سیستم سه‌فازی (نواحی نفت-پیوسته، آب-پیوسته و فاز میانی) می باشد.



۵ عواملی که بر توزیع سطح فعال از فاز آبی به فاز نفتی تاثیر می گذارند. گذار از فاز پایتتر به فاز میانی و به فاز بالایی (l-m-u) از طرق مختلف امکانپذیر است: (۱) افزایش شوری، (۲) کاهش طول زنجیره‌ی نفت، (۳) کاهش دما، (۴) افزایش غلظت کلی سطح فعال، (۵) افزایش نسبت آبشور به نفت، (۶) افزایش نسبت محلول سطح فعال به نفت، یا (۷) افزایش وزن مولکولی سطح فعال.

حدود  $10^{-4}$  تا  $10^{-3}$  mN/m کاهش دهیم. افزایش سرعت نیازمند استفاده از فشارهای بالاست که ممکن است باعث شکستن ساختار سنگ مخزن شود و در نتیجه، مسیری را با حفرات زیاد ایجاد کند و امکان به وجود آمدن کانال فراهم آید [۹].

افزایش ویسکوزیته نیز غیرعملی است (مانند تلاش برای دمیدن عسل درون نی است). بنابراین، برای افزایش عدد موئینگی، می باید کشش بین سطحی (IFT) نفت محبوس شده را کاهش دهیم. کشش‌های بین سطحی می تواند تاجایی که می توان غلظت سطح فعال را افزایش داد، به مقادیر فوق کم برسد (شکل-۴) [۶، ۸].

در غلظت‌های پایین سطح فعال، سیستم به صورت دوفازی است که فاز نفت و فاز آب شور در تعادل با یکدیگر می باشند. تغییر کوچکی در غلظت سطح فعال حول این ناحیه می تواند تأثیر زیادی روی کشش بین سطحی بگذارد. این چنین تغییری در غلظت سطح فعال ممکن است به دلیل جذب مولکول‌های سطح فعال بر روی سطوح محیط‌های متخلخل مخزن رخ دهد.

از سوی دیگر، در سیستم‌های با غلظت بالای سطح فعال (تقریباً ۸٪-۴٪ وزنی سطح فعال)، یک میکرومولسیون فازمیانی در تعادل با فازهای آب شور و نفت اضافی به وجود خواهد آمد. این سیستم‌های غلظت بالا به فرمولاسیون بهینه بسیار نزدیک می باشند (یعنی غلظتی که در آن، بیشترین نفت حرکت خواهد کرد) و بنابراین، به سیستم‌های غلظت-پایین ترجیح داده می شوند (شکل-۵).

دانسیده بار سطحی یکی دیگر از عواملی است که می تواند به شدت و با تمایل زیاد بر روی جابجایی موثر نفت محبوس تأثیر بگذارد. این کار را با تغییر کشش بین سطحی، ویسکوزیته سطحی و دافعه الکتریکی نفت محبوس در محیط متخلخل صورت می دهد (شکل-۶) [۶، ۸، ۱۰، ۲۰].

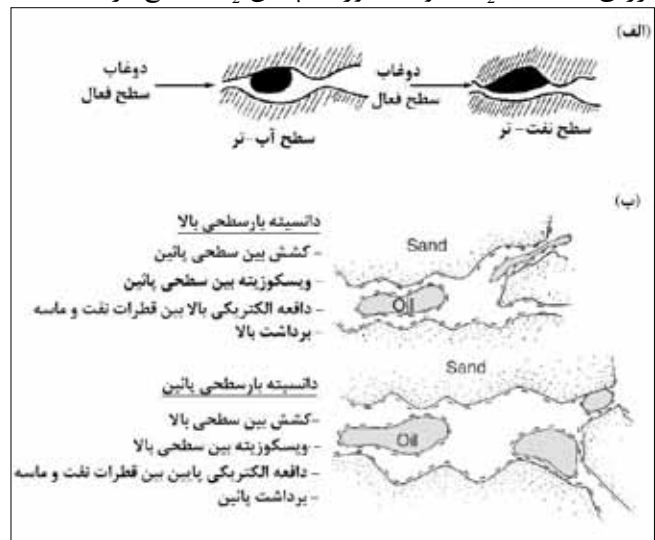
شکل-۷ یک درجه شوری اپتیمم را نشان می دهد که در آن، فرمولاسیون غلظت بالای سطح فعال کشش بین سطحی مینیمم بین آب و نفت، تشکیل یک میکرومولسیون فاز-میانی با آب و نفت یکسان که در فاز میانی پایدار شده‌اند، حداقل هدررفت سطح فعال در محیط متخلخل، حداقل زمان جدایش فازی سه فاز، حداقل افزایش فشار در هنگام پمپ کردن این سیستم چندفازی به درون محیط متخلخل، و ماکزیمم بازدهی جابه جایی نفت در این شوری بهینه اتفاق می افتد. این شکل همچنین نشان می دهد که موارد گفته شده به پدیده‌های

اجزای سنگین موجود در نفت می‌باشد. ویسکوزیته پایین، بیانگر قابلیت بیشتر و به این معناست که امکان نفوذ  $CO_2$  با تشکیل انگشتی<sup>۵</sup> یا کانالی شدن<sup>۶</sup> فراهم می‌آید. سطح فعال‌ها با افزایش پایداری فوم جهت کاهش تحرک استفاده می‌شوند. همچنین، از بخار نیز جهت ایجاد سیال کفزا (فوم-ساز) استفاده می‌شود. مشکل این مورد هم مشابه مشکل سیستم دی‌اکسیدکربن است؛ یعنی تحرک بالای بخار. در اینجا نیز سطح فعال‌ها به همراه گاز یا بدون گاز کندانس شده برای افزایش پایداری فوم استفاده می‌شوند. تا زمانی که دماهای عملیاتی زیاد هستند، سیستم سطح فعال می‌باید طوری طراحی شود که برای گستره وسیعی از دماها تأثیرگذار باشد. جذب سطح فعال‌ها بر روی سطوح سنگ مخزن، در دماهای بالاتر کمتر می‌باشد، مگر اینکه انواع یونی موجود باشند. در صورتی که فوم از بخار خالص (بخار اشباع به صورت لایه‌ای در تعادل با آب) ساخته شده باشد، بر اساس معادله کلونین<sup>۷</sup>، حباب‌های کوچک‌تر که دارای فشار بیشتری هستند، توسط حباب‌های بزرگ‌تر متلاشی و جذب می‌گردند که باعث کاهش پایداری فوم می‌شوند. مقادیر بسیار کم از گاز نانوکنندانس پذیر<sup>۸</sup> به جهت افزایش پایداری فوم به سیستم افزوده می‌شود که اینکار با کاهش سرعت کندانس بخار و از بین رفتن فوم صورت می‌گیرد. در کتاب شرام [۲۱] به جنبه‌های مختلف استفاده از فوم‌ها در صنعت نفت، از اصول اولیه تا از دید برداشت اشاره شده است. در این کتاب همچنین، داده‌های مربوط به چند میدان نفتی به همراه روش‌های مختلف آزمایشگاهی برای تطبیق با تئوری‌های پیشنهادی موجود ارائه شده است.

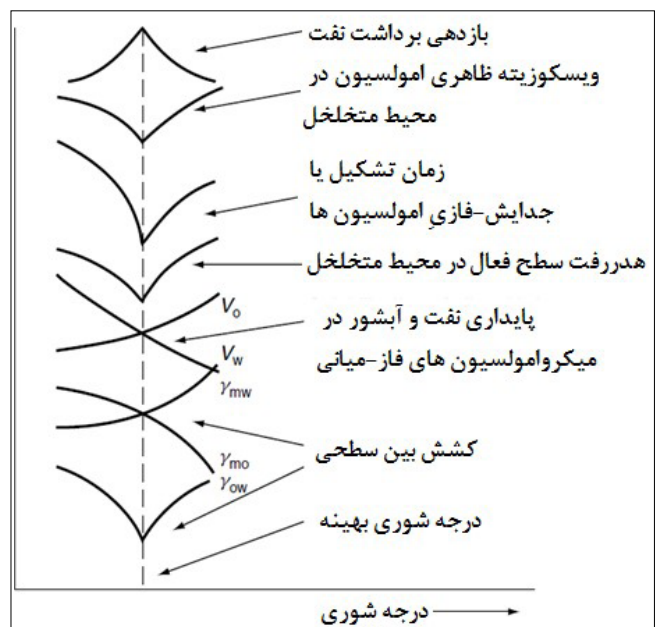
### ۱-۲-۳- شکافت اسیدی<sup>۹</sup> برای انگیزش چاه نفت

شکافت اسیدی یک فرایند انگیزش چاه نفتی است که در آن، اسید (HCl یا HF، بسته به نوع ساختار سنگ) به داخل چاه نفتی با فشار تزریق شده تا بتواند محیط متخلخل را شکافته و یا شکاف‌های طبیعی موجود ساختار مخزن را گشاد کند. برای جلوگیری از هدررفت سیال، کاهش نرخ مصرف اسید و صرفه‌جویی در هزینه‌ها، توجه به سطوح بین‌فازی و شیمی سطح بسیار حائز اهمیت می‌باشد. لذا برای کنترل هدررفت سیال، سطح فعال‌هایی به‌عنوان تغلیظ‌کننده<sup>۱۰</sup> استفاده می‌شوند که اسید را به کمک تشکیل مایسل، اصطلاحاً ژله‌ای می‌نمایند. اسیدهای ژله‌ای، در مقابل نیروهای برشی پایدار هستند، چراکه

در جابه‌جایی با آب، مقدار بسیار زیادی از نفت به دلیل امتزاج ناپذیری نفت و آب به صورت محبوس باقی می‌ماند. یکی دیگر از مزایای استفاده از دی‌اکسیدکربن، حلالیت کم آن در آب است. بنابراین تمامی  $CO_2$  تزریق شده را می‌توان جهت حل کردن در نفت به کار گرفت و مقدار کمتری در اثر حل شدن در آب هدر می‌رود. سطح فعال‌ها برای جبران برخی از اثرات نامطلوبی که سیلاب‌زنی  $CO_2$  در بردارد، به کار گرفته می‌شود. مهمترین عیب تزریق سیلاب  $CO_2$ ، ویسکوزیته پایین  $CO_2$  مایع در مقایسه با



شکل ۶ | (الف) شکل قطره نفت در یک سطح آب-تر یا نفت-تر. (ب) نقش بارسطوحی در فرایند جابجایی نفت



شکل ۷ | پدیده‌های مختلف مرتبط با ازدیاد برداشت نفت در درجه شوری بهینه

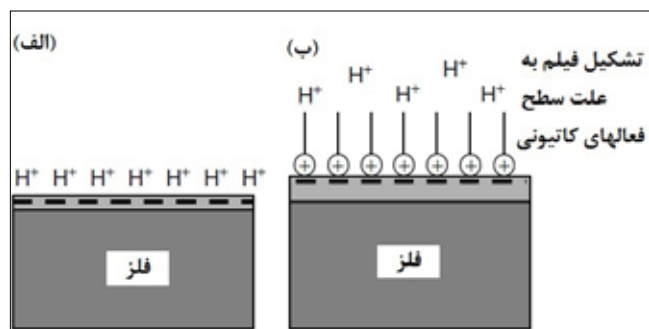
## ۱-۳- ضدفوم (ضدکف) و کفزدایی

فوم‌ها دارای خواص عجیبی هستند که در ازدیاد برداشت نفت مفید می‌باشند. اما فوم‌ها در ادامه، در فرایندهای پایین‌دستی و پس از استخراج نفت باعث بروز مشکلات زیادی خواهند شد. علت ایجاد فوم معمولاً مربوط به ناخالصی‌های طبیعی و مواد حاصل از خوردگی است که در جریان فرایند یافت می‌شوند. به‌عنوان مثال در فرایندهای شیرین‌سازی و آب‌گیری در پالایشگاه‌های گاز، تجزیه ترکیبات آمین و گلایکول منجر به پیدایش ناخالصی‌هایی می‌شود که باعث پیدایش کف می‌گردند [۲۳]. عامل‌های ضدکف و کف‌زدا به بسیاری از عملیات واحدها افزوده می‌شود که از ایجاد فوم جلوگیری شود. عامل‌های ضدکف به جهت جلوگیری از ایجاد فوم جدید و کف‌زداها برای تخریب فوم‌های موجود استفاده می‌شوند [۲۱]. سیلیکاهای آب‌دوست، نفت‌های سیلیکونی، پلیمرهای پایه-گلایکولی، آمیدها، اسیدهای چرب و اسیدهای نفتی معدنی، عامل‌های ضدکف متداول می‌باشند [۲۱].

## ۱-۴- جلوگیری از خوردگی

اثرات خوردگی جزء جدائی‌ناپذیر صنعت نفت می‌باشد (همانطور که در بحث امولسیون‌های اسید-در-نفت اشاره شد)، در واقع خوردگی پدیده‌ای است که تقریباً در تمام صنایع مشاهده می‌شود. قطعات فلزی همه‌جا از چاه‌های نفتی گرفته تا واحدهای پالایشگاهی و پتروشیمی‌ها در معرض خوردگی قرار دارند. در سال ۱۹۹۹، در آمریکا به‌تنهایی، خوردگی تقریباً باعث هدررفتن ۳۰۰ میلیارد دلار سرمایه شد که بیش از یک سوم آن با استفاده از روش‌های موجود کنترل خوردگی، قابل صرفه جویی بود [۲۴].

متداول‌ترین نوع خوردگی در صنعت نفت با جذب پروتون‌ها روی سطوح فلزی شروع می‌شود و در ادامه، یک واکنش الکتروشیمیایی



۸ | نمایش شماتیک (الف) سطح یک فلز (ب) سطح در حضور فیلم سطح فعال به عنوان موانعی در مقابل خوردگی

زنجیره‌های مایسلی می‌توانند بلافاصله پس از برش، دوباره شکل بگیرند. مزیت سطح‌فعال‌ها به عنوان تغلیظ‌کننده این است که این مواد می‌توانند طوری طراحی شوند که برای محلول اسید زنده (فعال) ویسکوزیته‌های بالا و به‌طور هم‌زمان برای اسید مصرفی ویسکوزیته پایین ایجاد نمایند. علت این قابلیت، توزیع ساختارهای مایسلی است که تحت تأثیر افزایش غلظت محصولات واکنشی هستند که حین مصرف اسید، تولید می‌شوند. کاهش ویسکوزیته اسید مصرفی در بازیابی سیال عملیاتی کمک می‌کند [۲۲]. استفاده از اسیدهای فومی و امولسیون اسید-خارجی (نفت به‌عنوان فاز پراکنده و اسید ژله‌ای به‌عنوان فاز پیوسته)، روش‌های دیگری هستند که برای کنترل هدررفت محلول اسیدی به کار گرفته می‌شوند. اشکال استفاده از نفت به‌عنوان فاز پراکنده این است که جهت کاهش ویسکوزیته‌ی امولسیون، غلظت بسیار زیادی از نفت مورد نیاز می‌باشد و به‌همان نسبت، غلظت اسید. در نتیجه، مقدار اسید موجود برای قلم‌زنی<sup>۱۱</sup> شکاف (شکافتن سازند) را کاهش می‌دهد. فومی ساختن اسید همچنین مقدار اسید موجود برای قلم‌زنی را کاهش می‌دهد، چراکه مقدار اسید کمتری به‌ازای یک واحد حجم تزریقی در حالت فومی موجود است.

برای کنترل سرعت واکنش اسید، عوامل تأخیری<sup>۱۲</sup> نظیر آلکیل سولفونات‌ها، آلکیل فوسفونات‌ها و آلکیل آمین‌ها برای تشکیل فیلم‌های آب‌دوست بر روی سطوح کربناته استفاده می‌شوند. این فیلم‌ها به‌عنوان موانعی جهت کاهش سرعت حمله اسید عمل می‌نمایند. روش دیگر، استفاده از عامل‌های کف‌زا می‌باشد که جهت تثبیت فوم دی‌اکسیدکربن است. CO<sub>2</sub> به‌عنوان محصول واکنش قلم‌زنی اسید تولید می‌شود. این فوم CO<sub>2</sub> به‌عنوان مانعی جهت کاهش سرعت حمله اسید به کار گرفته می‌شود.

روش دیگری که برای کنترل فعالیت اسید در یک چاه نفتی انجام می‌شود، استفاده از امولسیون‌های شامل کروسن (نفت سفید) یا دیزل به‌عنوان فاز پیوسته نفتی و اسید هیدروکلریک به‌عنوان فاز آبی پراکنده می‌باشد. امولسیون اسید در نفت متداول‌ترین نوع می‌باشد، چراکه نفت، اسید را از سطوح کربناته جدا می‌کند و بنابراین، سطح خوردگی را کاهش می‌دهد [۱]. به علاوه، سرعت واکنش اسید می‌تواند بعداً توسط سطح‌فعال‌های تأخیری کاهش یابد که این سطح‌فعال‌ها ترشوندگی سطح کربناته نسبت به نفت را افزایش می‌دهند.

غلظت‌های بالای CMC امکان‌پذیر است. در مکانیسم نخست، مونومرهای سطح‌فعال، مسئول فرآیند ورقه‌ای شدن هستند که در دو گام رخ می‌دهد؛ در گام اول، مونومرها در فصل مشترک خاک-آلاینده و خاک-آب تجمع یافته و زاویه‌ی تماس بین خاک و آلاینده را افزایش می‌دهند. مولکول‌های سطح‌فعال بر روی سطح آلاینده نشست کرده و نیروی دافعه‌ای بین سر مولکول سطح‌فعال و دانه‌های خاک ایجاد می‌گردد و بدین طریق جدایش آلاینده از دانه‌های خاک را بهبود می‌بخشند. در گام دوم، جریان‌های همرفت با ایجاد هوادهی و فرسایش، انرژی لازم را برای ایجاد سطح مخصوص اضافی در فاز نفتی تولید کرده و از این راه جداسازی آلاینده از خاک را ممکن می‌سازند [۲۷]. مکانیسم دوم، انحلال است؛ در این روش شرکت آلاینده در هسته‌ی آب‌گریز مایسل‌های سطح‌فعال، سبب کنده‌شدن آن از سطح دانه‌های خاک می‌گردد. هم‌زمان با افزایش مایسل‌ها در محلول، انحلال، افزایش می‌یابد. به‌همین دلیل وجود غلظت بالاتر از غلظت بحرانی مایسل (CMC) مواد سطح‌فعال برای رخ دادن این حالت الزامی است [۲۵].

ورود نفت به محیط دریایی<sup>۱۵</sup> یک مرحله اجتناب‌ناپذیر حین تولید و انتقال نفت‌خام و محصولات پالایشگاهی است. نشستی‌های نفتی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آلوده‌کنندگان محیط‌زیست محسوب می‌شوند، چراکه باعث بدترین فجایع محیط‌زیستی در تاریخ تمدن (اخیر) بشر می‌باشند. نشستی‌های نفتی، زندگی آبزیان وابسته به اکسیژن را به‌خطر می‌اندازند چراکه لایه‌های نفتی به‌عنوان مانعی در فصل مشترک آب و هوا عمل کرده و از انتقال اکسیژن جلوگیری می‌کند. پرندگان دریایی، در صورتی‌که بال‌هایشان آغشته به این نفت‌ها شود، دیگر قادر به پرواز نخواهند بود و در نتیجه، بلافاصله مرگ آنها را به‌همراه دارد. به‌علاوه، از نقطه‌نظر زیبایی‌شناسی و بوم‌شناسی، نواحی ساحلی نیز ممکن است به‌دلیل چنین آلودگی‌های نفتی متحمل ضررهای اقتصادی شوند زیرا سواحل تفریحی، بندرگاه‌ها و کشتی‌ها، صدف‌های دریایی و منابع تأمین‌ی واحدهای قدرت و نمکزدایی آسیب خواهند دید. شکل ۱۰- برخی از پدیده‌های بین‌سطحی که آلودگی‌های نفتی در سطح دریا با آن مواجه‌اند را نشان می‌دهد. برای زدودن این نشستی‌های نفتی، یک محلول سطح‌فعال (به‌عنوان پراکنده‌ساز<sup>۱۶</sup>) در اطراف نفت افزوده می‌شود (توسط کشتی و هواپیما پاشیده می‌شود)، که باعث به‌وجود آمدن گرادیان کشش سطحی شده

بین پروتون‌ها و اتم‌های فلزی صورت می‌پذیرد. کاتیون‌های فلزی، ممکن است در فاز آبی حل شوند یا با آنیون‌هایی نظیر سولفور و اکنش دهند، بنابراین، سطح فلزی بیشتری برای حملات بعدی در معرض قرار می‌گیرد. بررسی پدیده‌های سطوح بین‌فازی، امکان جلوگیری از خوردگی را فراهم می‌آورد (شکل-۹).

بازدارندگان اهمی<sup>۱۳</sup> که از جمله بازدارندگان فیلم‌ساز محسوب می‌شوند، سطح‌فعال‌های کاتیونی‌ای هستند که تمایل دارند روی تمام نقاط منفی سطوح فلزی جذب شوند و یک فیلم آب‌دوست فرسوده را تشکیل دهند.

این فیلم‌های کم‌نفوذپذیر می‌باید (۱) ترشوندگی سطح را نسبت به آب و آب‌شور کاهش دهند، (۲) تحرک یون‌های مختلف را کاهش دهند، (۳) گسترش پل‌های ارتباطی بین آند و کاتد را تقلیل دهند و (۴) برهم‌کنش‌های احتمالی عامل‌های اکسیدکننده (مثلاً پروتون‌ها، اسیدها و...) را با نقاط منفی سطح فلز کم کنند. رابینسون [۴] به‌طور مفصل در خصوص مشکلات خوردگی در مراحل مختلف عملیات پتروشیمی بحث کرده است.

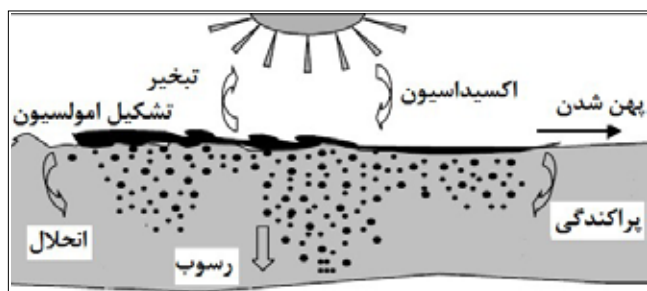
#### ۱-۵- پاکسازی آلودگی‌های نفتی

نقش مواد سطح‌فعال در پاکسازی آلودگی‌های نفتی را در دو بخش آلودگی‌های خاک و آلودگی آب بررسی می‌نماییم: پاکسازی خاک‌های آلوده نفتی به جهت خطرهای زیادی که نفت برای موجودات زنده و انسان دارد، بسیار حائز اهمیت است. یکی از روش‌های پاکسازی، خاکشویی است. سابقاً از آب جهت خاکشویی استفاده می‌شد که بعدها به آن افزودنی‌هایی را به‌منظور بالا بردن بازدهی، گسترش روش به محدوده بزرگ‌تری از آلاینده‌ها، کاستن هزینه‌های تمام‌شده، کاستن دفعات شست‌وشو و صرفه‌جویی زمانی اضافه کردند. مواد سطح‌فعال به‌عنوان مهم‌ترین افزودنی خاکشویی در خارج از محل معرفی شده‌اند [۲۵]. مواد سطح‌فعال با کاستن کشش سطحی بین آلاینده و دانه‌های میزبان، آنها را از هم جدا می‌نمایند. مولکول‌های مواد سطح‌فعال به علت طبیعت دوقطبی خود، انرژی آزاد سیستم را با جانشین نمودن مولکول‌های بزرگ‌تر و با انرژی بیشتر در فصل مشترک‌ها کاهش می‌دهند [۲۶]. عملیات خاکشویی بهبودیافته با مواد سطح‌فعال برای حذف ایزومرهای کرسول<sup>۱۴</sup> (که نوعی آلاینده‌ی نفتی آروماتیک است) از دو مکانیسم امکان‌پذیر است: مکانیسم اول ورقه شدن خاک است که در غلظتی زیر غلظت بحرانی مواد سطح‌فعال، CMC، روی می‌دهد و مکانیسم دوم انحلال است که در

یافت می‌شود. ویسکوزیته بالا یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که هنگام استحصال قیر با آن مواجه هستیم. ویسکوزیته‌ی قیر طبیعی در دما و فشار اتمسفری و بر اساس اندازه‌گیری بدون گاز، فراتر از ۱۰۰۰۰ mPa است [۲۹]. اما خوشبختانه امروزه تکنولوژی موجود استحصال، استفاده از این منبع غنی انرژی را امکان‌پذیر می‌نماید [۱]. فرایند استخراج این مواد خالص نسبت به فرایندهای تصفیه دیگر سوخت‌های فسیلی به مراتب کمتر بوده و صنعت استخراج قیر صنعتی، نوظهور و رو به پیشرفت است. در این فرایند، گازوئیل، که محصولی میانی در فرایند تصفیه نفت خام می‌باشد، به درون چاه نفتی تزریق می‌شود که ویسکوزیته قیر را کاهش داده و امکان پمپ کردن آن را از زیر زمین به سطح زمین فراهم می‌آورد. محصولات تجاری تحت عنوان آریمولسیون (آریمولسیون محصولی از یکی شرکت نفتی ونزوئلا به نام شرکت INTEVEP می‌باشد)، مثالی از کاربرد سطوح بین‌فازی در تکنولوژی تخصیص خواص ویژه به نفت خام می‌باشد. این محصول یک امولسیون نفت در آب است که با استفاده از یک سطح فعال غیریونی، از قیر تثبیت شده ساخته می‌شود. این سطح فعال، ویسکوزیته نفت را از ۱۰۵ به حدود ۱۰<sup>۲</sup> mPa کاهش می‌دهد و همچنین، نشت NOx را ضمن حفظ عملکرد احتراقی بالا، کمتر می‌نماید [۳۰]. لازم به ذکر است، برای بهینه کردن ویسکوزیته یک امولسیون، دو امولسیون با توزیع اندازه قطرات متفاوت باهم مخلوط می‌شوند. غلظت امولسیون ریزتر و درشت‌تر به ترتیب ۲۵٪ و ۷۵٪ از غلظت کل امولسیون می‌باشد [۳۱].

#### ۱-۷- امولسیون آسفالتی

یکی دیگر از کاربردهای مهم علم سطوح بین‌فازی در صنعت نفت که اخیراً توجه زیادی به آن شده است، تولید امولسیون‌های آسفالتی نفت در آب می‌باشد (آسفالت در فاز پیوسته‌ی آب‌شور پراکنده می‌شود) که در جاده‌سازی کاربرد دارد. در این امولسیون،



۹ شماتیک پدیده‌هایی که پس از نشت نفت در پیرامون لکه نفتی صورت می‌گیرد.

و نفت را وادار می‌کند که از مرکز عدسی نفتی<sup>۱۷</sup> به سمت بیرون کشیده شود. این شرایط زدودن لکه‌های نفتی را آسان‌تر می‌نماید. اثربخشی این روش، به شرایط دریا و روش‌های مورد استفاده و نیز طبیعت شیمیایی نفت و پراکنده‌سازها بستگی دارد. زمان، یکی از فاکتورهای مهم در این فرایند می‌باشد. از آنجایی که در اثر تماس با هوا، ویسکوزیته نفت به سرعت افزایش می‌یابد، در نتیجه، انتقال سطح فعال‌ها به فصل مشترک نفت و آب آهسته‌تر شده و اثرگذاری پراکنده‌سازها کاهش می‌یابد. هنگامی که نفت جمع‌آوری شد، به سمت مخازن جمع‌آوری موجود در کشتی‌ها منتقل می‌شود که از سطح فعال‌ها و فیلترهای نفت-تر و آب-تر برای شکستن امولسیون نفت-آب‌شور استفاده می‌شود. حتی بعد از زدودن توده لکه نفتی، لایه نازکی از نفت هنوز باقی خواهد ماند- که در قالب مانعی در مقابل جذب اکسیژن عمل می‌نماید به طوری که میکروبه‌های موجود نیز قادر به تخریب این لایه نیستند. لذا لازم است که این فیلم به قطرات بسیار ریز شکسته شود تا از این طریق بتوان تخریب آن را سریع‌تر کرده و انتقال اکسیژن را از جو به داخل آب ممکن سازیم. این امر با افزودن محلول سطح فعال به لنز نفتی ممکن می‌شود.

سابقاً سطح فعال‌ها به‌عنوان پراکنده‌سازها استفاده می‌شدند که به اثرات جانبی آنها توجه نمی‌شد. بعداً، بحث‌هایی روی اثرات نامطلوب سمیت این پراکنده‌سازها بر ارگانیزم‌های دریایی و محیط ساحلی، مطرح شد و در نتیجه، جست‌وجوها برای فرمولاسیون‌های جدید با سمیت‌های کمتر، مورد توجه قرار گرفت. امروزه روش‌هایی نظیر تبخیر ترکیبات نفتی، استفاده از تکنیک خلاء، جذب و جداسازی از سطح آب توسط انواع مختلفی از جاذب‌ها به‌خصوص جاذب‌های تهیه شده با استفاده از فناوری نانو، استفاده از عوامل بیولوژیکی و میکروارگانیزم‌ها برای تجزیه هیدروکربن‌ها، به‌کارگیری تکنولوژی لیزر، جداسازی فیزیکی به کمک کف‌گیر و تبدیل آلودگی‌های نفتی به ترکیبات دیگر با روش‌هایی چون فتواکسیداسیون، از مهم‌ترین روش‌های جمع‌آوری، حذف و پاکسازی آلودگی‌های نفتی از دریا به‌شمار می‌رود (شکل ۱۰- [۲۸]).

#### ۱-۶- روان‌سازی قیر<sup>۱۸</sup>

قیر نوعی هیدروکربن طبیعی است که به‌صورت جامد یا شبه‌جامد وجود دارد. مهم‌ترین مخازن قیر در کانادا و ونزوئلا



روش‌های الکترومغناطیسی و گرانشی بهبود یافته به‌عنوان روش‌های شکستن امولسیون استفاده می‌شوند. چنین روش‌هایی مواد شیمیایی شکننده امولسیون را قادر می‌سازند که امکان برخورد و تلفیق قطرات را فراهم آورده و باعث جداسازی فازهای نفت و آب شود که برای این منظور لازم است، دما و غلظت یون‌های متقابل و دانسیته باری سطحی به‌خوبی تنظیم شوند. برای افزایش تلفیق قطرات آب، می‌توان از پلیمرها نیز استفاده کرد. جزئیات بیشتر در خصوص پدیده‌های الکترواستاتیک موجود در این فرایند در مرجع [۳۲] قابل دسترسی است. انعقادها که معمولاً از چندین یون متقابل تشکیل یافته است، نمک‌هایی از آلومینیوم و آهن و نمک‌های کلسیم و منگنیم هستند. هنگامی که از سطح فعال‌های غیریونی استفاده می‌شود، گذار از امولسیون پایدار به امولسیون ناپایدار بر حسب تغییرات دما در دمای انعقاد بحرانی<sup>۲۰</sup> (CFT) بسیار شدید است.

عموماً ذرات پراکنده در فاز آبی با افزایش دما ناپایدار می‌شوند، درحالی‌که ذرات پراکنده در محلول‌های غیرآبی با کاهش دما ناپایدار می‌شوند. برای انحلال عوامل پایدارکننده، استفاده از کوحلال‌هایی مانند دی‌سولفیدکربن، تتراکلریدکربن، استن و اتر متداول است. مثال‌هایی از جداسازی آب/نفت و جزئیات بیشتری در مورد شناورسازی هوای حل شده، فیلتراسیون بستر عمیق و انتخاب و اندازه‌گذاری بسیاری از تجهیزات، در مرجع [۳۳] برای علاقه‌مندان ارائه شده است.

#### نتیجه‌گیری

در در بخش اول این تحقیق در قالب مقاله، اول به اهمیت سطوح بین‌فازی در صنعت نفت و بررسی نقش مواد سطح فعال در این سطوح پرداخته شد. در ابتدا شیمی سطح، پدیده‌ها، رفتار و تئوری‌های سطوح بین‌فازی نظیر معادله گیبس، فیلم‌های جذب شده، زاویه تماس و ترشوندگی، نسبت وارونگی فاز، نسبت R وینسور، توان چربی‌دوستی-آب‌دوستی (HLB)، اختلاف تمایل (میل ترکیبی) سطح فعال (SAD)، و مفاهیم مایسل، فوم و امولسیون معرفی و بررسی گردید و سپس، در بخش دوم تحقیق، به سطوح بین‌فازی و نقش مواد سطح فعال در رفتار این سطوح در فرایندهای مختلف صنعت نفت اشاره شد. از جمله کاربردهای مواد سطح فعال در صنعت نفت استفاده در ازدیاد برداشت نفت، پاکسازی آلودگی‌های نفتی، جداسازی آب از نفت (نمک‌زدایی) و جلوگیری از خوردگی مورد بررسی قرار گرفت ■

ویسکوزیته آسفالت کاهش یافته ضمن اینکه از گازولین نیز استفاده نمی‌شود. در روش‌های موجود از گازولین یا بنزین برای شناورسازی آسفالت استفاده می‌شود که هزینه‌های اقتصادی زیست‌محیطی زیادی را دربر دارد. برای چنین کاربردهای فناورانه‌ای، سطح فعال‌های اصلی مورد استفاده، کاتیون‌ها هستند چراکه سطوح اکثر سنگ ریزه‌ها بار منفی به‌خود گرفته‌اند. با استفاده از این روش، هنگامی که امولسیون آسفالتی در تماس با زمین قرار می‌گیرد، مولکول‌های سطح فعال از سطح قطرات آسفالت به سطوح سنگ‌ها منتقل شده، امولسیون آسفالتی شکسته و آسفالت روی سطح زمین پهن می‌شود. سطح فعال‌های کاتیونی، با چشم‌پوشی از قیمت بالای‌شان، به‌دلیل اینکه تجزیه امولسیون آسفالت را سرعت می‌بخشند، نسبت به سطح فعال‌های دیگر ارجح هستند. تجزیه امولسیون برای جلوگیری از باران‌شویی آسفالت قبل از سفت‌شدن ضروری به نظر می‌رسد. اگرچه در حال حاضر در امولسیون به جهت کاهش هزینه و افزایش خواص مکانیکی آسفالت، از سطح فعال‌های غیریونی نیز استفاده می‌شود.

#### ۱-۸- جداسازی آب/نفت و آزدایی (نمک‌زدایی) از نفت خام

سیستم‌های امولسیون آب-نفت، گاهی در مواردی چون انتقال نفت خام و افزایش بازدهی سوخت برش‌های نفتی سبک، بسیار مطلوب و حائز اهمیت می‌باشد. همچنین، این سیستم‌ها در برخی فرایندها مانند تقطیر و کراکینگ کاتالیستی نفت خام نامطلوب می‌باشند. ماده اولیه بیش از ۵۰٪ تمام محصولات نفتی، در ابتدا به‌صورت امولسیون‌های آب-در-نفت بوده‌اند. نحوه ایجاد این امولسیون‌ها بدین صورت است که نفت خام دارای سطح فعال‌های طبیعی است و ترکیب استخراجی نفت و آب در حین عبور از تجهیزات مکانیکی مانند پمپ‌ها و شیرها به‌صورت امولسیون در می‌آیند. قبل از هر عملیاتی، لازم است آب از این ترکیب نفتی زدوده شود. در غیر این صورت عملیات پایین‌دستی مانند تقطیر، هزینه‌های بسیار زیادی را جهت تأمین انرژی مورد نیاز متحمل می‌شوند. همچنین آب ممکن است برای برخی فرایندها به‌عنوان سم محسوب شود. مثلاً باعث کاهش فعالیت کاتالیست‌ها در فرایندهای کراکینگ کاتالیستی می‌شود. در ابتدا، روش مورد استفاده جهت ناپایدار کردن امولسیون نفت/آب ترسیب گرانشی-گرمایی بوده است. اما امروزه، از امولسیون‌شکن‌های<sup>۱۹</sup> شیمیایی به‌همراه

## پانویس‌ها

1. Brine
2. Surface Tension
3. Interfacial Tension
4. Surfactant affinity difference
5. finger formation
6. channelling
7. Kelvin's equation
8. noncondensable gas
9. Acid fracturing
10. Thickeners
11. Etching
12. Retarders
13. Ohmic inhibitors
14. Cresols
15. marine environment
16. Dispersant
17. Oil lens
18. Fluidization of bitumen
19. Demulsifier
20. Critical flocculation temperature

## منابع

- [1] Kanicky, J.R., et al., Surface chemistry in the petroleum industry. Handbook of applied surface and colloid chemistry, 2001. 1: p. 251267-.
- [۲] رضایی، ح، رساله دکتری: شبیه سازی مولکولی رفتار سطح بین فازی؛ بررسی ساختار مولکولی ماده سطح فعال، دانشکده مهندسی شیمی. ۱۳۹۵، دانشگاه صنعتی امیرکبیر: تهران.
- [3] Schramm, L.L., Surfactants: Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry. 2000: Cambridge University Press.
- [4] Robinson, J., Corrosion inhibitors: recent developments. Vol. 132. 1979: Noyes Data.
- [5] RIVAS, H., et al., Microemulsion and optimal formulation occurrence in pH-dependent systems as found in alkaline-enhanced oil recovery. Surfactant science series, 1997. 66: p. 305329-.
- [6] Pillai, V., J. Kanicky, and D. Shah, Applications of microemulsion in enhanced oil recovery in: Kumar, P. Handbook of Microemulsion Science and Technology, 1999.
- [7] BAVIERE, M. and J.P. CANSÉLIER, Microemulsions in the chemical EOR process. Surfactant science series, 1997. 66: p. 331353-.
- [8] Shah, D. Fundamental aspects of surfactant-polymer flooding process. in Proceedings of the European symposium on Enhanced Oil Recovery. 1981.
- [9] Wilson, L., Physico-chemical environment of petroleum reservoirs in relation to oil recovery systems, in Improved Oil Recovery by Surfactant and Polymer Flooding, D.O. Shah and R.S. Schechter, Editors. 1976, Academic Press: New York. p. 126-.
- [10] Somasundaran, P. and H. Hanna, Physico-chemical aspects of adsorption at solid/liquid interfaces. Improved Oil Recovery by Surfactant and Polymer Flooding, DO Shah and RS Schechter (eds.), Academic Press, New York, 1977: p. 205274-.
- [11] Hanna, H. and P. Somasundaran, Physico-Chemical Aspects of Adsorption at Solid/Liquid Interfaces, II. Mahogany Sulfonate/Berea Sandstone, Kaolinite. 1977, Academic Press, New York.
- [12] Malmberg, E. and L. Smith, The adsorption losses of surfactants in tertiary recovery systems. Improved Oil Recovery by Surfactant and Polymer Flooding, 1977: p. 275291-.
- [13] Willhite, G. and J. Dominguez, Mechanisms of polymer retention in porous media. Improved oil recovery by surfactant and polymer flooding, 1977: p. 511554-.
- [14] Morgan, J.C., R.S. Schechter, and W.H. Wade, Recent advances in the study of low interfacial tensions. Improved Oil Recovery by Surfactant and Polymer Flooding, 1977: p. 101118-.
- [15] Shah, D., The world of surface science. Chemical Engineering Education, 1977: p. 1448-.
- [16] Stegemeier, G., Mechanisms of entrapment and mobilization of oil in porous media. Improved Oil Recovery by Surfactant and Polymer Flooding, 1977: p. 5591-.
- [17] Mashiko, A., Microemulsions in enhanced oil recovery: Middle-phase microemulsion formation with some typical anionic surfactants. Industrial Applications of Microemulsions, 1996. 66: p. 279303-.
- [18] Lissant, K., Emulsification and demulsification in oil recovery. 1977, Academic Press, New York. p. 93100-.
- [19] Shah, D., et al., The structure, formation, and phase inversion of microemulsions. 1977: Academic Press, New York.
- [20] Wasan, D. and V. Mohan, Interfacial rheological properties of fluid interfaces containing surfactants. Improved oil recovery by surfactant and polymer flooding, Academic Press, New York, 1977: p. 161.
- [21] Schramm, L.L., Foams: fundamentals and applications in the petroleum industry. Vol. 242. 1994: American Chemical Society Washington, DC.
- [22] Economides, M.J., et al., Reservoir stimulation. Vol. 18. 2000: Wiley Chichester.
- [۲۳] اسماعیل زاده، ع، روزبهانی، and احمدی، شناسایی مواد فعال سطحی در ضد کف بر پایه سیلیکون، سومین همایش علوم و فناوری مواد فعال سطحی و صنایع شوینده. ۱۳۹۱، دانشکده مهندسی شیمی و نفت دانشگاه شریف.
- [24] Davis, J.R., Corrosion: Understanding the basics. 2000: ASM International.
- [25] Deshpande, S., et al., Surfactant selection for enhancing ex situ soil washing. Water Research, 1999. 33(2): p. 351360-.
- [26] Mulligan, C.N., R.N. Yong, and B.F. Gibbs, Surfactant-enhanced remediation of contaminated soil: a review. Engineering Geology, 2001. 60(1): p. 371380-.
- [۲۷] کار، خن، س.گ. پور، and ح. طائی، کاربرد سورفکتانت‌ها در پاکسازی خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی به‌ویژه ایزومرهای کرسول، سومین همایش مدیریت پساب و پسماند صنعتی (در صنایع نفت و انرژی). ۱۳۹۱: تهران.
- [۲۸] سعید، ز.م. and م. وحید، بررسی روش‌های جمع‌آوری، حذف و پاکسازی الودگی‌های نفتی از دریا. اولین همایش ملی راهکارهای نوین تامین، نگهداشت، انتقال و توزیع فرآورده‌های نفتی، ۲۰۰۹.
- [29] Miller, C., et al., Fine particle emissions from heavy fuel oil combustion in a firetube package boiler. Combustion science and technology, 1998. 134(16-): p. 477502-.
- [30] Zaki, N.N., N.S. Ahmed, and A.M. Nassar, Sodium lignin sulfonate to stabilize heavy crude oil-in-water emulsions for pipeline transportation. Petroleum science and technology, 2000. 18(910-): p. 11751193-.
- [31] Nunez, G., et al., Rheological behavior of concentrated bitumen in water emulsions. Langmuir, 2000. 16(16): p. 64976502-.
- [32] Hunter, R.J., Foundations of colloid science. 2001.
- [33] Wasan, D.T., M.E. Ginn, and D.O. Shah, Surfactants in Chemical Process Engineering. Vol. 28. 1988: CRC Press.