



تغییر ترشوندگی مخازن کربناته با استفاده از نانو سورفکتانت ها

فرشاد بتویی^۱، احد اسدالهی^۲، محمد اسدالهی^۳

دانشجوی کارشناسی مهندسی نفت گرایش مخازن هیدروکربنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد
farshadbatooei@gmail.com

چکیده:

امروزه ثابت شده است که علم نانو توانایی بهبود فرایندها در مقیاس مولکولی را دارا می باشد و تاثیر آن در حیطه فرایندهای جداسازی و ازدیاد برداشت از مخازن نفتی و گازی نیز بسیار چشم گیر است. به گونه ای که با استفاده از نانو سورفکتانت ها و، نانو غشا ها، نانو ذرات، نانو ژل ها، نانو سیالات و هیدروژل های نانو کومپوزیتی، تحول عمده ای در جهت بهبود فرایند استخراج و تولید سیال از مخازن نفتی و گازی به وجود آمده است. در این مقاله تاثیرات و عملکرد فناوری نانو سورفکتانت ها بر روی تغییر ترشوندگی مخازن کربناته مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: نانو سورفکتانت، ترشوندگی، مخازن کربناته، ازدیاد برداشت، کشش سطحی

-
- ۱- دانشجوی کارشناسی مهندسی نفت گرایش مخازن هیدروکربنی نفت و گاز دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد دبیرکل انجمن علمی مهندسی نفت دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد
 - ۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی نفت گرایش بهره برداری از منابع نفت و گاز دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد
 - ۳- دانشجوی کارشناسی مهندسی نفت گرایش مخازن هیدروکربنی نفت و گاز دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد



۱- مقدمه

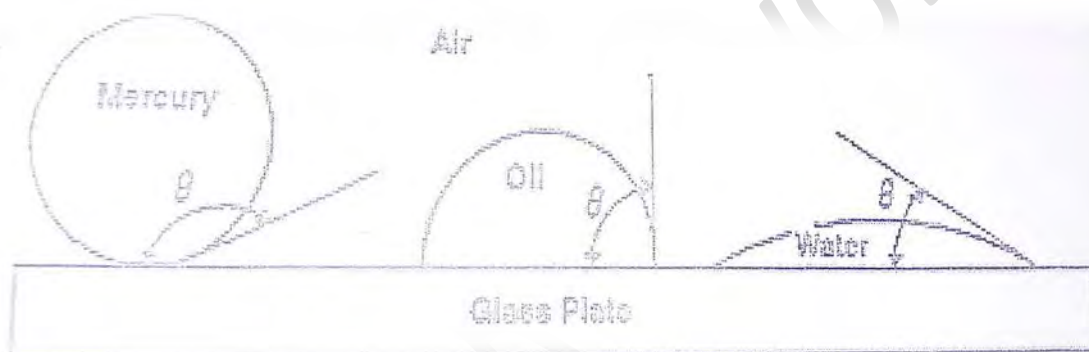
مطابق پیش بینی های به عمل آمده، افزایش تقاضای جهانی برای انرژی همچنان ادامه خواهد داشت و اگر چه استفاده از انرژی های جایگزین مانند انرژی های هسته ای و انرژی های تجدید پذیر در سال های آتی افزایش می یابد، ولی این افزایش در مقایسه با انرژی های فسیلی کم بوده و نقش اصلی منابع انرژی تجدید پذیر حداقل تا دو دهه آینده نقش تکمیلی و حامی خواهد بود. با درک این واقعیت که میزان تقاضا انرژی جهانی در سال های آتی به بالاترین میزان خود خواهد رسید، نیاز به ایجاد یک تحول علمی و عملی در هسته اصلی علوم مهندسی نفت و گاز، جهت افزایش میزان بهره وری بیش از پیش احساس می شود. در این میان، علم نانو بعنوان علمی که هدف آن بازنگری در ساختار تولیدی مواد و بهینه کردن فرآیند تولید و بهره برداری از آنهاست، این پتانسیل را دارد که انقلابی عظیم در تمامی فناوری های حال حاضر بشری از جمله بهره برداری از منابع هیدروکربوری ایجاد نموده و با استفاده از قابلیت های گسترده خود فناوری هایی پر بازده تر و سالم تر نسبت به آنچه امروزه شاهد هستیم، معرفی نماید. بصورت کلی علم نانو از طریق کنترل ساختار ماده در ابعاد اتمی و ایجاد ساختار بهینه برای مواد، سبب بهبود بسیاری از خواص مانند سطح مفید، استحکام، صرفه جویی در میزان ماده مصرفی و غیره می گردد. در صنعت نفت و گاز نیز از آنجا که قدرت، پایداری و ابعاد تجهیزات مورد استفاده از اهمیت به سزائی برخوردار است می توان با استفاده از فناوری نانو به تحولات چشمگیری دست یافت. چنانچه در یکی از مقالاتی که به تازگی چاپ شده به این نکته اشاره شده است که انتظار می رود با کمک فناوری نانو ضریب برداشت جهانی نفت و گاز تا حدود ۱۰٪ افزایش پیدا کند. به منظور پاسخگویی به روند رشد روز افزون تقاضای جهانی جهت تامین منابع نفت و گاز، یا باید منابع جدید هیدروکربنی کشف شده و مورد بهره برداری قرار گیرند و یا با استفاده از فناوری های گوناگون، نفت و گاز در جا و بدون استفاده درون مخزن تحت فرآیند های ازدیاد برداشت مورد بهره برداری قرار گیرد. در این حال و با توجه به شرایط سخت اکتشاف و نیز صیانت از منابع هیدروکربوری موجود، استفاده از روش دوم منطقی تر و اصولی تر می باشد. امروزه فناوری نانو در زمینه ازدیاد برداشت از مخازن نفتی و گازی، پیشرفت های اساسی را ایجاد نموده است. برای مثال استفاده از سیالات هوشمند یا نانوسیالات که سبب تغییر در خاصیت ترشوندگی سنگ مخزن شده و نیروی کششی دراگ و اتصال دهنده ها را در جهت پیوستگی شن کاهش می دهند و یا استفاده از نانو مواد فعال سطحی (Surfactants) که سبب افزایش میزان برداشت از مخازن به نسبت کاملاً کنترل شده می گردد.

۲- ترشوندگی

خاصیت ترشوندگی عبارتست از میزان تمایلی که یک سیال برای پخش شدن و چسبیدن به یک سطح جامد (در حضور سیال غیر قابل امتزاج دیگر) از خود نشان می دهد. مفهوم ترشوندگی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. این شکل نشان می دهد که سه قطره از سه مایع متفاوت جیوه، نفت و آب بر روی یک صفحه



شیشه ای قرار داده شده اند. اگر از یک زاویه یکسان به زاویه پخش شدن این سه قطره نگریسته شود، مشاهده خواهد شد که بر روی این سطح شیشه ای، قطره ی جیوه ای به صورت کروی، قطره نفت به صورت نیم کروی و قطره آب به صورت کامل پخش شده اند. این نشان می دهد که بر روی سطح شیشه ای، قابلیت ترشوندگی آب بیشتر می باشد. بنابراین می توان گفت که تمایل یک سیال برای پخش شدن بر روی جامد مهمترین مشخصه ی ترشوندگی این سیال می باشد. این تمایل پخش شونده را می توان با اندازه گیری زاویه تماس سیال - جامد مشخص نمود. با افزایش فشار قابلیت ترشوندگی، زاویه ی تماس کاهش می یابد. همچنین، در حالت ترشوندگی کامل این زاویه صفر و هنگام ترشوندگی کامل این زاویه ۱۸۰ درجه خواهد شد. برای حالت ترشوندگی متوسط تعاریف مختلفی وجود دارد، ولی اقلب محققین زاویه بین ۶۰ تا ۹۰ درجه را برای این حالت در نظر گرفته اند. ترشوندگی سنگ مخزن نسبت به سیالات مختلف بسیار حائز اهمیت می باشد، زیرا نحوه ی توزیع سیالات موجود در خلل و فرج سنگ مخزن تابعی از ترشوندگی می باشد. به دلیل وجود نیروهای جاذبه، فاز تر تمایل دارد که خلل و فرج کوچک سنگ را اشغال کند ولی تمایل فزاینده به اشغال خلل و فرج بزرگتر می باشد.



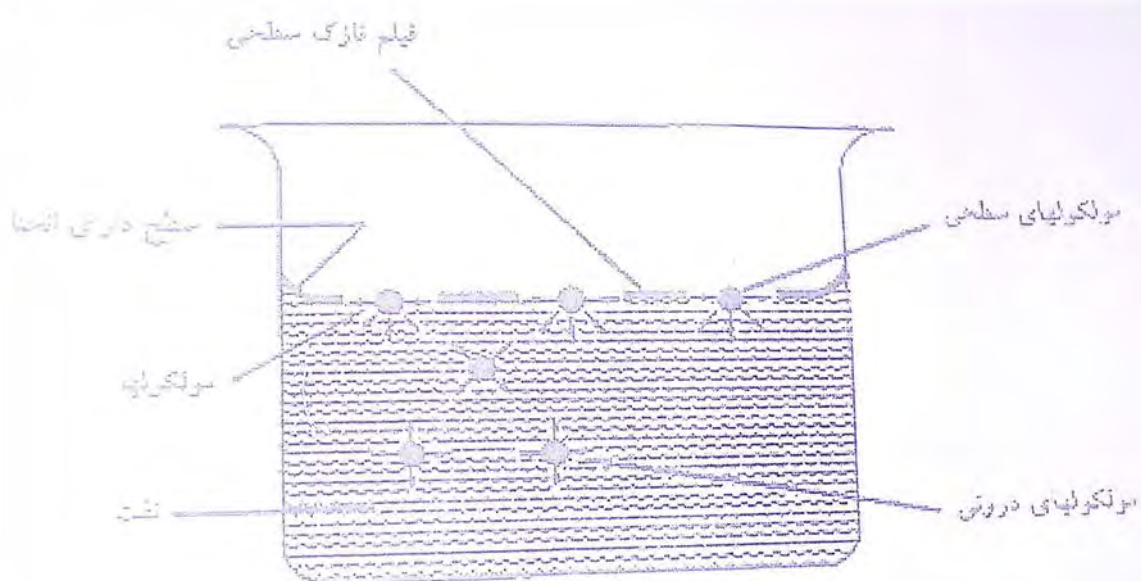
شکل ۱ تعریف ترشوندگی سیالات با توجه به نحوه پخش شدگی سیالات بر روی سطح جامد

۳- کشش سطحی و بین سطحی

هنگام بررسی یک سیستم حاوی چند فاز غیرقابل امتزاج که در تماس با یکدیگر قرار دارند، که یکی از مهمترین عوامل موثر بر رفتار این فازها، نیروهای موجود در سطح تماس این فازها می باشد. در صورتی که یک فاز مایع و یک فاز گاز در تماس با یکدیگر باشند، برای بیان این نیروها از لفظ کشش سطحی و در صورت تماس دو فاز مایع از لفظ کشش بین سطحی استفاده می شود. در شکل ۲ دو فاز غیر قابل امتزاج هوا (به عنوان گاز) و آب یا نفت (به عنوان مایع) را که در تماس با هم قرار دارند نشان داده شده اند. هر مولکول از مایع را که در فاصله ای دور از سطح تماس قرار دارد، توسط دیگر



مولکول های مایع احاطه شده است که در نتیجه تقابل نیروهای جاذبه بین این مولکول و مولکول های اطراف ، برآیند نیروی جاذبه وارد بر این مولکول صفر خواهد بود. اما هر مولکول موجود در سطح تماس مایع با گاز ، از بالا توسط مولکول های گاز و از پایین توسط مولکول های مایع احاطه شده است . این تفاوت در نوع مولکول های اطراف ، موجب ایجاد نوعی عدم توازن در نیروها و در نتیجه ایجاد یک نیروی برآیند غیر متعادل میگردد این نیروی نامتعادل را کشش سطحی می نامند .



شکل ۲ تغییر کشش سطحی

۴- سورفکتانت

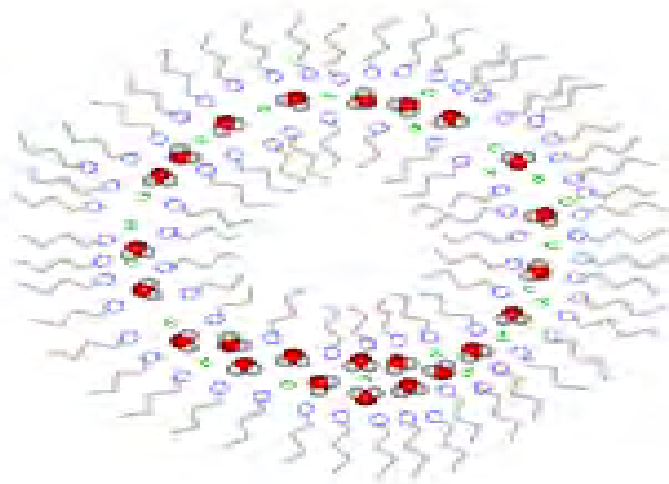
سورفکتانت به زبان ساده ماده ای است که هنگامی که به مقدار بسیار ناچیز استفاده می شود کشش سطحی آب را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد.

کلمه سورفکتانت مجموعه از کلمات Surface active agent می باشد. سورفکتانت ها معمولا ترکیباتی آلی هستند که دارای گروههای هیدروفوبیک (دافع آب) که نقش دو و دنباله را دارد و گروههای هیدروفیلیک (جاذب آب) که نقش سر را دارد می باشند، بنابراین به تناسب ساختار مولکولی در حلال های آلی و آب حل می شوند و باعث کاهش کشش سطحی در فصل مشترک هوا - آب و یا روغن - آب می شوند.

ساختار شیمیایی این مواد اغلب شامل یک مولکول نسبتا طولانی با یک انتهای آب گریز و انتهای دیگر آبدوست می باشد. قسمت آب گریز ایم مواد (یک دنباله هیدروکربنی طولانی) با رزین سازگار بوده و در جهت



آن حرکت می کند در حالیکه قسمت آب دوست به سمت بیرون جهت گیری نموده (به سمت فاز آب) و با احاطه نمودن رزین باعث سازگاری آن با آب می شود .
در واقع سوفکتانت ها موادی هستند که می توانند انرژی سطحی را بین سطوح به میزان زیادی تغییر دهند .
خاصیت یک سوفکتانت ناشی از دو شخصیتی بودن ساختمان مولکولی آن است به این معنی که هم زمان دارای گروه های آب دوست و آب گریز می باشند .



شکل ۳ نمایی از سوفکتانت

۴-۱- سوفکتانتها معمولا به وسیله گروه های بار دار به ۴ گروه تقسیم می شوند :

- ۱ - سوفکتانت کاتیونی (دارای بار منفی)
- ۲ - سوفکتانت های آنیونی (دارای بار مثبت)
- ۳ - سوفکتانت غیر یونی (بدون بار)
- ۴ - آمفوتریک (در مجموع دارای بار خنثی)

حال اگر سوفکتانت در سر خود بار مثبت داشته باشد از نوع آنیونی و اگر بار منفی داشته باشد ، کاتیونی و اگر بدون بار باشد غیر یونی و اگر هم بار مثبت و هم منفی داشته باشد از نوع آمفوتریک می باشد .

۴-۲-انواع سوفکتانتها :

- ۱ - سوفکتانت های زیستی (بیو سوفکتانت)
- ۲ - سوفکتانت با ابعاد نانو (نانو سوفکتانت)
- ۳ - سوفکتانت های پلی مری



۵- تغییر ترشوندگی

یکی از روش های بازیافت نفت از مخازن کربناته نفت - تر تغییر ترشوندگی سنگ مخزن از نفت - تر به آب - تر بوده که در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است .

نتایج تحقیقات نشان داده است که سنگ های کربناته دارای ترشوندگی آب - تری اولیه بوده که با گسیخته شدن لایه آبی گسترده شده بر روی سنگ و سپس جذب مواد نفتی به سطح آن ، تر شوندگی آن به نفت - تری تغییر پیدا کرده است [۴]. آزمایش های دیگر نشان می دهد که مواد فعال سطح طبیعی درون نفت خام اغلب دارای قابلیت انحلال کافی در آب بوده و میتواند با عبور از لایه نازک آبی روی سطح ، جذب دیواره ی سنگ شوند[۵]. اگر چه مواد فعال سطحی در بازه وسیعی از برش های نفتی یافت می شوند اما با این حال حضور آنها در برش های سنگین تر نفت همانند آسفالتین و رزین ها بیشتر شایع است. بنابر این تر شوندگی اولیه سنگ مخزن می تواند با جذب ترکیبات قطبی یا رسوب مواد آلی به نفت - تری تغییر کند . به نظر میرسد که در بین ترکیبات قطبی گروه های کربوسیلیک تمایل بیشتری برای جذب شدن سطح کربناته از خود نشان می دهد.

Austand و Standnes نشان دادند که پتانسیل نفت در نفت - تر کردن سطح با افزایش درجه اسیدی نفت افزایش می یابد و تعداد بیشتر گروه های کربوکسیلیک در نفت سبب نفت - تری بیشتر سنگ های گچی می شود [۶]. با توجه به تجزیه شدن گروه های اسیدی موجود در نفت در محیط تقریباً بازی مخازن کربناته و منفی شدن بار الکتریکی سطح تماس آب و نفت ، دلیل تغییر ترشوندگی را می توان جذب مواد اسیدی با بار منفی بر روی سطح مثبت سنگ کربناته دانست .

Blunt و Al-hadhrami نشان دادند که جدا شدن مواد نفتی از سطح سنگ با افزایش دم سبب تغییر ترشوندگی کربنات ها می شود. آن ها به وجود یک دمای بحرانی معتقد بودند که در آن دما مواد آسفالتین خود به خود از سنگ جدا گشته و نفت - تری سنگ کاهش می یابد[۷].

Chen و همکاران با انجام آزمایش مکش محلول های حاوی سورفکتانت بر روی مغزه های دولومیتی نفت - تر و اندازه گیری شاخص USBM توانایی این محلول را در ترشوندگی سنگ به سمت نفت - تری کمتر نشان دادند[۸].

در بررسی های آزمایشگاهی انجام شده توسط Austad و همکاران نشان داده شده که سورفکتانت های کاتیونی CTAB بر خلاف انواع آنیونی استفاده شده ، توانایی تغییر ترشوندگی سطح کربناته و مکش فاز آبی به درون مغزه های اشباع از نفت را داشته و سرعت فرآیند مکش با افزایش دما و کاهش آب همزاد افزایش یافته است [۹]. مکانیزم تغییر ترشوندگی به صورت واکنش مونومرهای سورفکتانت کاتیونی با مواد آلی جذب شده بر روی سنگ و تشکیل جفت یون کاتیونی - آنیونی می باشد که ترکیب ایجاد شده با حل شدن در فاز نفت و با در بین مایسل های فاز آبی از سطح جدا شده و سطح آب - تر می شود . آنها همچنین نشان دادند که حضور برخی از یون ها همانند یون سولفات در فاز آبی نیز می تواند همچون مواد فعال سطحی سبب افزایش آب - تری سنگ کربناته شود . تمایل این یون ها به جذب بر روی سطح و رقابت آن ها با مواد آلی چسبیده شده به سنگ موجب جدا شدن آن ها و کاهش نفت - تری می شود [۱۰].



۶- خاصیت سنگ های کربناته

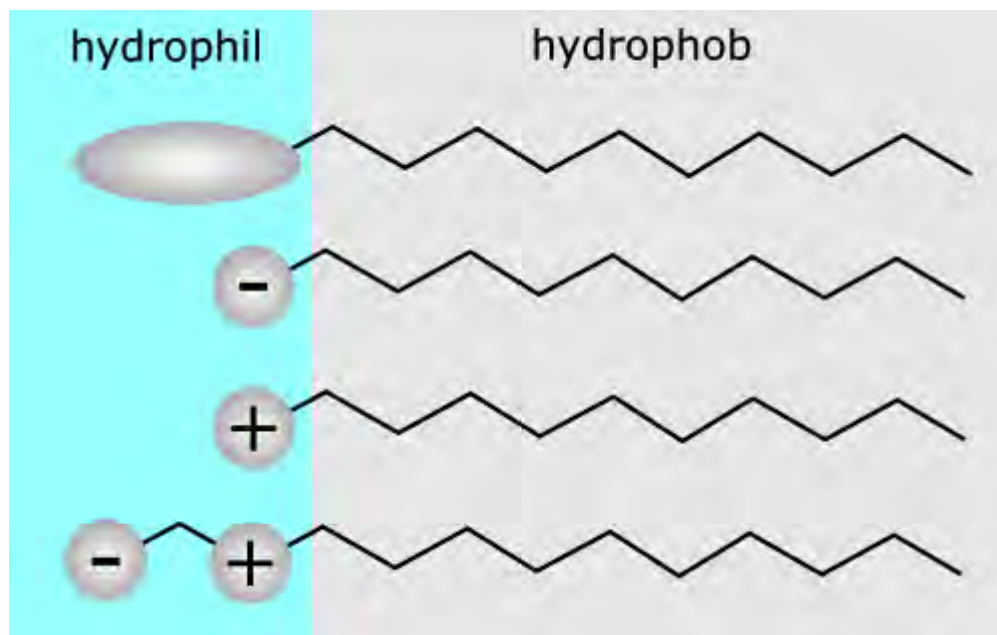
سنگ های کربناته دارای حالت هایی برای این که نسبت به چه ماده ای خاصیت ترشوندگی دارند هستند ، که عبارتند از :

- ۱- سنگ های کربناته دارای ترشوندگی آب - تری اولیه بوده که با گسیخته شدن لایه آبی گسترده شده بر روی سنگ و سپس جذب مواد نفتی به سطح آن ، ترشوندگی آن به نفت - تری تغییر پیدا کرده است .
 - ۲- مواد فعال سطح طبیعی درون نفت خام اغلب دارای قابلیت انحلال کافی در آب بوده و میتواند با عبور از لایه نازک آبی روی سطح ، جذب دیواره ی سنگ شوند .
 - ۳- ترشوندگی اولیه سنگ مخزن می تواند با جذب ترکیبات قطبی یا رسوب مواد آلی به نفت - تری تغییر کند . به نظر میرسد که در بین ترکیبات قطبی گروه های کربوسیلیک تمایل بیشتری برای جذب شدن سطح کربناته از خود نشان می دهد .
- قابل ذکر است که به دلیل وجود نیروهای جاذبه فاز تر تمایل دارد که خلل و فرج کوچک سنگ را اشغال کند ، ولی تمایل فاز نادر به اشغال خلل و فرج بزرگتر می باشد ، که در این صورت ما تولید آب خواهیم داشت و نفت در سنگ باقی خواهد ماند .
- با توجه به موارد ذکر شده در بالا باید روشی برای این مشکل پیدا کرد و با استفاده از روش های مختلف این مشکل را حل نمود ولی بعضی از روش ها وقت گیر بوده و از نظر اقتصادی هم مقرون به صرفه نیست . که ما در اینجا از روشی که دارای هزینه ی کم و دارای بیشترین بازده می باشد استفاده می کنیم .

۷- چگونگی عمل سورفکتانت

برخی از سورفکتانت ها ی آنیونی در غلظت های بسیار پایین با کاهش بسیار زیاد تنش میان رویه و تغییر ترشوندگی سنگ به حالت خنثی موجب افزایش باز یافت نفت شده اند . سورفکتانت های کاتیونی CTAB بر خلاف انواع سورفکتانت های آنیونی استفاده شده ، توانایی تغییر ترشوندگی سطح کربناته و مکش فاز آبی به درون مغزه های اشباع از نفت را داشته اند و سرعت فرآیند مکش با افزایش دما و کاهش آب همزاد افزایش یافته است .

باید توجه داشت که در PH های پایین کربنات ها بار الکتریکی مثبت و در PH های بالا دارا بار الکتریکی منفی می باشند . مواد فعال کننده سطحی نیز با توجه به نوع جهت گیری آن ها نسبت به سطح ، ترشوندگی سنگ را از نفت - تر به آب - تر و یا بالعکس تغییر دهد . و با توجه به باری که دارد می توان نوع سورفکتانت را تعیین کرد .



شکل ۴- انواع سورفکتانت

با توجه به شکل اگر بار نفت منفی باشد یعنی دارای PH بالا باشد میتوان از سورفکتانتی استفاده کرد که در سر (نفت دوست است) دارای بار مثبت است استفاده نمود و حالت عکس آن هم صادق است یعنی نفت دارای بار مثبت است، از سورفکتانتی که در سر خود دارای بار منفی است را مورد استفاده قرار میدهیم [۱۱].

۸- شرح انجام عملیات تغییر ترشوندگی

ما مخزنی را فرض می کنیم که نفت دوست است و نیاز است که ترشوندگی آن را تغییر دهیم در این حالت نیاز به چاه های تزریقی جهن تزریق نانو سورفکتانت داریم پس از احداث چاه های تزریقی ما نیاز به به تولید نانو سورفکتانت با غلظت بالا داریم .

در حقیقت زمانی که این مواد در حلال حل می شوند ، ساختارهایی با ابعاد نانو تا میکرومتری پدید می آورند . در غلظت های نسبتا بالا ، مولکولهای سورفکتانت در حالت توده ای یا بالک تجمع می کنند تا به کمترین میزان نسبت حجم به سطح رسیده و از لحاظ ترمودینامیکی پایدارتر شوند . در این حالت کره هایی به شکل گلوبول تشکیل می شوند که مایسل نام دارند. در مایسل ها سر آب دوست سورفکتانت ها به سمت سطح کره و سرهای بنابراین سطح مایسل تشکیل شده آبدوست ، و درون آن آب گریز می باشد . در حالت عادی ابعاد و جهت گیری اغلب سورفکتانت ها به گونه ای است که مایسل هایی با ابعاد نزدیک به ۲-۱۰ نانومتر ایجاد می کنند . معمولا این پدیده در سورفکتانت های غیر یونی رخ می دهد . همچنین زمانی که از سورفکتانت های آنیونی استفاده شود ، سطح مایسل تشکیل شده دارای بار منفی ، و زمانی که از سورفکتانت های کاتیونی استفاده گردد ، سطح مایسل تولیدی دارای بار مثبت می باشد . در مخزنی که ترشوندگی آن باردار خاصی بوده و یا نیاز است در آن ها جداسازی صورت پذیرد از مایسل هایی با بار متضاد استفاده می شود . بنابراین



سورفکتانت های کاتیونی برای تغییر ترشوندگی های که نفت آن دارای بار آنیونی ، و سورفکتانت های آنیونی برای تغییر ترشوندگی هایی که نفت آن دارای بار کاتیونی است به کار می رود . تغییر ترشوندگی هایی که نفت آن غیر یونی است نیز این مواد می توانند درون هسته آب گریز مایسل حل شوند . مایسل ها با ابعاد بزرگتر به اصطلاح نانو کلوئید نامیده می شوند . هدف اولیه استفاده از سورفکتانت ها در عملیات استخراج و تولید از مخازن ، کاهش کشش سطح و بهبود عملیات جدا سازی سیال ، تصحیح ترشوندگی سنگ مخزن و تبدیل آن از حالت نفت دوست به آب دوست ، که خود سبب تهسیل فرآیند جداسازی سیال هیدروکربنی از سازند می گردد ، و نیز کاهش ویسکوزیته ی نفت می باشد . در عین حال ایم امر سبب متورم شدن و افزایش قطر و فضای بین لایه ها با استفاده از عرض زنجیره های طولیل سورفکتانت می شود که به نوبه خود مسیرهای فیلتراسیون سیال را مسدود می کند. همچنین سورفکتانت ها با ابعاد بزرگ به دلیل ساختار نامناسب در فواصل ابتدایی سازند جذب شده و یا تاثیر معکوسی بر ترشوندگی مخزن دارند . بنابر این برخی خصوصیات این مواد سبب کاهش تاثیر آن ها در پایین آوردن فشار موپینگی می گردد . در حالیکه هدف ، کاهش فشار موپینگی و افزایش تراوایی سازند در ازدیاد برداشت می باشد . امروزه استفاده از نانو سورفکتانت ها به دلیل اندازه ی کوچکتر و سطح فعال بیشتر سبب بهبود فرآیند استفاده از این مواد گردیده است . زمانی که ابعاد این مواد در محدوده ی نانومتری قرار می گیرد ، توانایی آنها برای نفوذ به حفرات سازند و نیز سطح فعال آن ها افزایش چشمگیری می یابد [۱۲-۱۵]. این مواد به طور گسترده ای بر روی کشش سطحی سیال مخزن اثر گذاشته و میزان گرانیروی آنها کاهش می دهند. در این حالت سیالی که گرانیروی آن در داخل مخزن و چاه کاهش یافته باشد ، سبک تر شده و بهتر در مسیر خروج از چاه جریان یافته و از سایر مواد موجود در مخزن جدا می گردد.

پس از تولید سورفکتانت مورد نظر آن را توسط چاه های تریقی وارد مخزن نموده که اگر بتوان به آن حرارت نیز اضافه کرد برای بالا بردن میزان جواب دهی بهتر است .

البته باید توجه داشت که بعضی از پارامترهای برای آسیب نرسیدن به مخزن بسیار اهمیت دارد که عبارتند از :

۱-میزان حجم تزریقی نانو سورفکتانت به سطح مخزن

۲-فشار انتقال نانو سورفکتانت به مخزن

۳-زمان تزریق نانو سورفکتانت

۴-میزان زمان بسته نگه داشتن مخزن

نتیجه گیری:

پس از وارد کردن نانو سورفکتانت به دورن خلل و فرج سنگ مخزن یک زنجیره ی بلند را تشکیل می دهد که در این زنجیره سر های نانو سورفکتانت ها به نفت متصل میشود و این امر موجب می گردد که این مواد به صورت گسترده ای بر روی کشش سطحی نفت مخزن اثر گذاشته که باعث تغییر ترشوندگی سنگ مخزن شده و همچنین میزان گرانیروی آن را کاهش می دهند. در این حالت نفتی که گرانیروی آن در داخل مخزن و چاه



کاهش یافته باشد، سبک تر شده و بهتر در مسیر خروج از چاه جریان یافته و از سایر مواد موجود در چاه جدا می گردد.

منابع:

- 1- Drummond, C., Israelachvili, J., 2004. Fundamental studies of crude oil-surface water interactions and its relationship to reservoir wettability.
- 2-
- 3- Legnes, C., Toulhoat, H., Cuiec, L., Villieras, F., Palermo, T., 1998. Wettability Change Related to the Adsorption of Organic Acids on Calcite.
- 4- Buckley, J.S., Liu, Y., 1998. Some mechanism of crude oil/brine/solid interactions.
- 5- Morrow, N.R., Lim, H.T., Ward, J. S., 1986 effect of Crude Oil-Induced Wettability changes on Oil Recovery .
- 6- Kovscek, A.R., Wong, H., Radke, C.J., 1993. A Pore-Level Scenario for the development of mixed Wettability in Oil Reservoirs.
- 7- Standnes, D. C., Austad, T., 2000. Wettability Alteration in Chalk, Preparation of core Material and Oil Properties.
- 8- Al-Hadharmi, H. S., Blunt, M. J., 2001. Thermally Induced Wettability Alteration to Improve Oil Recovery in Fracture Reservoir.
- 9- Chen, H. L., Lucas, L. R., Nogaret, L. A. D., Yang, H. D., 2001. Laboratory Monitoring of Surfactant Imbibition Using Computerized Tomography.
- 10- Standnes, D. C., Austad, T., 2003. Wettability Alteration in Carbonates Interaction between cationic surfactant and carboxylates as a key factor in wettability alteration from oil-wet to water-wet conditions.
- 11- Zang, P., Austad, T., 2006. Wettability and Oil Recovery from Carbonates : Effect of Temperature and Potential Determining Ions, Colloids and Surfaces .
- 12- Gray, H., George, R., Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids.
- 13- Alkafef, S. F., 2001. An Investigation of The Stability of colloidal Asphaltene in Petroleum Reservoirs.
- 14- Jessen, K., Kovscek, A. R., 2005. Increasing CO₂ storage in Oil Recovery .
- 15- Statoil, Marum Asmari Full Field Study , unpublished report , 2003.