

بررسی آزمایشگاهی تأثیر استفاده از سورفکتانت و نانو ذرات سیلیسیم اکسید در پایداری امولسیون آب نفت

امین احمدی^۱، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مسجدسلیمان ■ رضا علی پور، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر

چکیده

در این تحقیق تأثیر هم‌زمان نانو ذرات سیلیسیم اکسید به همراه سورفکتانت بر تغییر ترشوندگی سطحی مغزه‌ی کربناته و میزان انرژی سطحی بین آب و نفت بررسی شده است. سپس امولسیون حاصل از ترکیب آب و نفت مورد استفاده آنالیز و پایداری امولسیون بررسی شده است. مکانیزم ازدیاد برداشت به روش تزریق مواد شیمیایی علاوه بر اینکه بر تغییرات ترشوندگی متمرکز است، همواره باید سیال تولیدی نهایی مورد آنالیز واقع شود. سیال تولیدی در سطح به صورت امولسیون آب و نفت است و این امولسیون باید بتواند جدا شود تا نفت و آب به صورت جداگانه مورد استفاده قرار بگیرند. علاوه بر این، امولسیون تولیدی باید بتواند سریعاً در مخزن تشکیل شود تا باعث بهبود ازدیاد برداشت نفت شود. همچنین حباب‌های امولسیونی باید به اندازه‌ی کافی ریز باشند تا موجب آسیب به سازند نشوند. نتایج نشان داده است که ترکیب سورفکتانت در غلظت بهینه‌ی ۸،۱ درصد وزنی توانایی کاهش زاویه‌ی تماس به اندازه‌ی ۳۰ درجه را دارا می‌باشد، همچنین ترکیب ۳،۶ درصد وزنی نانوذره به همراه ۱،۸ درصد وزنی سورفکتانت زاویه‌ی تماس را تا ۱۸ درجه کاهش داده است. نانوذرات به کار رفته امولسیون با قطرات آب ریزتری نسبت به سورفکتانت ایجاد می‌کنند که این خود نقش مهمی در ازدیاد برداشت نفت دارد. نتایج نشان داد که میانگین قطر ذرات امولسیونی با افزایش درصد حجمی آب، زیاد شده و تغییرات کلی قطر آنها بین ۲۰ تا ۱۲۰ میکرون است. در نهایت امولسیون تشکیل شده توسط سورفکتانت پایداری بیشتری نسبت به امولسیون تشکیل شده توسط نانوذره را دارا می‌باشد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۹/۰۸/۲۴

تاریخ ارسال به داور: ۹۹/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش داور: ۹۹/۰۹/۰۸

واژگان کلیدی:

ازدیاد برداشت، سورفکتانت، نانوذره، امولسیون، پایداری امولسیون.

مقدمه

در حدود ۳۰-۳ درصد است، در حالی که متوسط برداشت اولیه در مخازن ایران چیزی در حدود ۳-۱۰ درصد می‌باشد. [۳] تزریق سورفکتانت‌ها به درون مخزن سبب تشکیل امولسیون آب و نفت شده که این امر ازدیاد برداشت را بهبود می‌دهد. مهمترین چالش برای تزریق امولسیون‌ها پایداری آنها در مخازن است. علاوه بر این موارد انتقال نفت سنگین توسط خط لوله یکی از مهمترین و مناسبترین روش‌های انتقال بوده و ویسکوزیته‌ی بالای ترکیبات سنگین نفتی و رسوب‌گذاری آنها در مسیر انتقال، بارزترین مشکل این نوع انتقال است. [۴] امولسیون کردن نفت‌های سنگین در آب یکی از بهترین روش‌های حل این مشکل محسوب می‌شود.

در این مطالعه تأثیر توامان نانوذرات اکسیدسیلیس و سورفکتانت SDS بر کاهش کشش سطحی و ترشوندگی سنگ به همراه میزان پایداری امولسیون‌ها برای نفت مخزن آسماری و سنگ کربناته‌ی آن اجرا خواهد شد. در این تحقیق متغیر تابع هدف تغییر ترشوندگی و کاهش انرژی سطحی به همراه پایداری امولسیون حاصله است. در واقع بهینه‌سازی در این مطالعه دارای سه جزء است. متغیرهای مورد استفاده برای این تابع میزان انرژی

مطابق پیش‌بینی‌های به‌عمل آمده، افزایش تقاضای جهانی برای انرژی همچنان ادامه خواهد داشت و اگرچه استفاده از انرژی‌های جایگزین مانند انرژی‌های هسته‌ای و انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های آتی افزایش می‌یابد، ولی این افزایش در مقایسه با انرژی‌های فسیلی کم بوده و نقش اصلی منابع انرژی تجدیدپذیر حداقل تا دو دهه‌ی آینده نقش تکمیلی و حامی خواهد بود. با درک این واقعیت که میزان تقاضای انرژی جهانی در سال‌های آتی به بالاترین میزان خود خواهد رسید، نیاز به ایجاد یک تحول علمی و عملی در هسته‌ی اصلی علوم مهندسی نفت و گاز، جهت افزایش میزان بهره‌وری بیش از پیش احساس می‌شود. [۱] در این میان، علم نانو به عنوان علمی که هدف آن بازنگری در ساختار تولیدی مواد و بهینه کردن فرآیند تولید و بهره‌برداری از آنها است، این پتانسیل را دارد که انقلابی عظیم در تمامی فناوری‌های حال حاضر بشری از جمله بهره‌برداری از منابع هیدروکربوری ایجاد کرده و با استفاده از قابلیت‌های گسترده‌ی خود فناوری‌هایی پربازده‌تر و سالم‌تر نسبت به آنچه امروزه شاهد هستیم، معرفی کند. [۲] طبق مطالعات آماری انجام شده، متوسط برداشت اولیه در مخازن سراسر جهان چیزی

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (Ahmadi.amin68@yahoo.com)

سیلیس و آلومینای پراکنده در کشر بین سطحی پرداخته‌اند. نتایج حاصل از مطالعات آنها نشان داد که نانوذرات باعث تغییر ترشوندگی سنگ‌های ماسه‌سنگی و کربناته از حالت نفت‌دوست به آب‌دوست می‌شوند. همچنین در نمونه‌های ماسه‌سنگی بیش از نمونه‌های سنگ کربناته اثر می‌گذارند و نانوذرات آلومینا پتانسیل بیشتری برای تغییر قابلیت ترشوندگی سنگ دارند. در این مطالعه، با بررسی مشکلات عمده و رایج در فرآیند برداشت نفت به کمک مواد شیمیایی، نقش نانوذرات در بهبود نتایج حاصل مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. با بررسی مطالعات انجام شده در این زمینه به عنوان نتیجه کلی می‌توان گفت که حضور نانوذرات در خلال فرآیند برداشت نفت به کمک مواد شیمیایی عمدتاً باعث افزایش پایداری و اثرگذاری مواد شیمیایی در شرایط سخت مخزن نفتی در قالب سه سازوکار کنترل تحرک‌پذیری، کاهش کشر بین سطحی سنگ مخزن نفتی و تغییر ترشوندگی سطح سنگ مخزن شده که در نهایت به افزایش بیشتر درصد بازیافت نفت نسبت به حالت سنتی منجر می‌شود. جهت پاسخ به تقاضای روزافزون انرژی و با توجه به آمار موجود درباره‌ی کمبود آن، باید به موازات اکتشاف مخازن جدید، برداشت حداکثری از مخازن انجام شود. در این تحقیق به تاثیر هم‌زمان نانوذرات سیلیسیم‌اکسید به همراه سورفکتانت بر تغییر ترشوندگی سطحی مغزه‌ی کربناته و میزان انرژی سطحی بین آب و نفت می‌پردازیم.

روش پژوهش

در ابتدا نمونه‌های مغزه‌های کربناته از سازند آسماری یکی از میدین نفتی در ایران تهیه می‌شوند. سپس از نمونه‌ی مغزه یک سطح ورقه‌ای جدا می‌شود. پس از آن نانوسیال با غلظت مختلف و همچنین سورفکتانت با غلظت مختلف تهیه می‌شود. جهت مخلوط شدن مناسب نانوسیال از دستگاه اولتراسونیک استفاده می‌شود. سپس میزان انرژی سطحی بین نانوسیال با نفت با استفاده از دستگاه قطره‌ی آویخته تعیین و غلظت بهینه‌ی نانوآکسیدسیلیس به همراه سورفکتانت به دست می‌آید. پس از آن میزان پایداری برای همه‌ی غلظت‌ها و غلظت بهینه تعیین می‌شود.

آزمایش‌ها

مواد اولیه

محیط متخلخل

از مغزه‌های کربناته‌ی متعلق به یک مخزن کربناته‌ی شکاف‌دار در ایران به عنوان محیط متخلخل استفاده شده است. این مغزه‌ها که به منظور انجام آزمایش‌های اندازه‌گیری زاویه‌ی تماس در ابعاد مختلف برش داده شده‌اند

سطحی بین سیالات و تغییر زاویه‌ی تماس سیال تزریقی با سطح سنگ و زمان جدایش امولسیون هستند. کاهش انرژی سطحی و کاهش زاویه‌ی قطره سیال آب با سطح سنگ به معنی تغییر ترشوندگی از نفت‌دوست به آب‌دوست است.

Bishhan و همکاران (۲۰۱۳) به تاثیر نانوذره‌های آب‌دوست لیپوفیلیک پلی‌سیلیکون LHP بر میزان ترشوندگی سنگ مخزن پرداختند. نتایج نشان داد، هنگامی که LHP در یک محیط متخلخل تزریق شود چهار پدیده اتفاق می‌افتد که عبارتند از: جذب، دفع، انسداد و انتقال. این چهار پدیده، سه اثر عمده بر طبیعت جریان نفوذی در سنگ مخزن دارند. ابتدا دیواره‌های آب‌گریز حفرات به واسطه‌ی جذب سطحی LHP، آب‌دوست شده و نفوذپذیری نسبی فاز نفت افزایش می‌یابد. دوم به واسطه‌ی جذب سطحی LHP و تغییر ترشوندگی منجر به جابجایی نفت از حفرات کوچک می‌شود که هر دو اثری مطلوب بر افزایش برداشت خواهند داشت.

اثر نهایی که تأثیری نامطلوب بر برداشت نفت از مخزن دارد، جذب LHP بر سطح متخلخل و انسداد دهانه‌ی حفرات است که می‌تواند به کاهش تخلخل و نفوذپذیری کلی محیط منجر شود.

Onyekonwu و همکاران (۲۰۱۰) توانایی سه نوع متفاوت از نانوذرات پلی‌سیلیکون (PNSP) را در ازدیاد برداشت مطالعه کردند. نتایج آزمایشات انجام شده به وسیله‌ی PNSP و سیال حامل اتانول نشان داد که NWPN و HLPN واسطه‌های خوب برای افزایش برداشت هستند.

Rashee و همکاران (۲۰۰۹) دو دسته آزمایش به منظور بررسی اثر نانوذرات بر کاهش ویسکوزیته‌ی نفت سنگین انجام دادند. دسته‌ی CO₂ متشکل از گاز دی‌اکسید کربن اول با استفاده از نانوسیال به عنوان سیال پایه و نانوذره‌ی CuO و پلی‌دی‌متیل‌سیکلوکسان به عنوان توزیع‌کننده و دسته‌ی دوم با استفاده از نانوسیال VRI متشکل از سیال کاهنده‌ی ویسکوزیته VRI به عنوان سیال پایه و نانوذره‌ی CuO و پلی‌دی‌متیل‌سیکلوکسان PDMS به عنوان توزیع‌کننده.

کمال و همکاران در سال (۲۰۱۵) بیان کردند که به طور کلی نیروی محرکه‌ی پراکندگی نانوذرات اختلاف فشار جداسازی ساختاری یا کشر فیلم است که نشان‌دهنده‌ی اختلاف فشار بین جلوی فیلم مثلثی شکل نسبت به توده‌ی فاز آبی است.

Al-Ansari و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی به تغییر ترشوندگی سنگ مخزن کربناته با استفاده از ترکیب نانوذرات و سیلاب‌زنی سورفکتانت پرداخته‌اند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که فرمولاسیون سدیم‌دودسیل سولفات و نانوذرات سیلیکا می‌توانند قابلیت ترشوندگی نفت‌دوستی کلسیت را به شدت از نفت‌دوست به آب‌دوستی سنگ مخزن تغییر دهد.

حسینی و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی آزمایشگاهی اثر نانوذرات

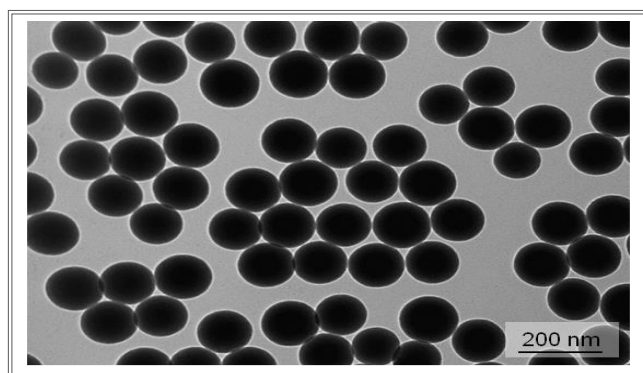
دارای نفوذپذیری بین ۰,۱ تا ۱ میلی‌دارسی و میانگین تخلخل ۱۶,۵ درصد بوده‌اند.

سورفکتانت

در این مطالعه از سورفکتانت یونی سدیم‌دودسیل‌بنزن‌سولفونات (SDS) در غلظت‌های ۰,۵، ۱,۵ و ۲ جهت استفاده در تغییر انرژی بین سطحی و ترشوندگی سطح کربناته استفاده شده است.

نانو اکسیدسیسیم

ذرات نانوسیسیس با توجه به ساختار خود به دو نوع تقسیم می‌شوند: نوع P ذرات متخلخل و نوع S ذرات کروی. در نوع P سطح نانوسیسیس شامل تعدادی از منافذ با میزان ۰,۶۱۱ میلی‌لیتر بر گرم است. در این تحقیق از نوع P استفاده شد که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ | نانو سیلیس تجاری تهیه شده از نوع کروی

نفت

خواص نفت مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ خواص نفت خام موجود					
چگالی	درجه	گرانروی در دمای ۳۰ درجه	درصد سولفور	درصد واکس	درصد آسفالتین
۰.۹۵۷۹		۱.۳۹ pa.s	۳.۷	۱.۴	۱۲.۶
					API ۱۶.۲

آنالیز و اندازه‌گیری‌ها

آماده‌سازی سطوح کربناته‌ی نفت-تر

تیغه‌های موردنیاز برای انجام آزمایش‌های زاویه‌ی تماس در ابعاد ۳۰×۳۰×۲ میلی‌متر از مغزه‌های کربناته برش داده شده‌اند. پس از برش کلیه‌ی سنگ‌ها به وسیله‌ی تولوئن و با استفاده از دستگاه CO₂ - cleaner - خشک شده و در آون خشک شده‌اند. فرآیند نفت-تر کردن سطوح کربناته

شامل پیر کردن تیغه‌ها در نفت خام و سپس شستشوی توده‌ی نفتی جمع شده بر سطح خارجی سنگ بوده که دما و مدت زمان پیر کردن سطوح با توجه به نوع هر آزمایش تعیین شده است.

اندازه‌گیری کشش بین سطحی

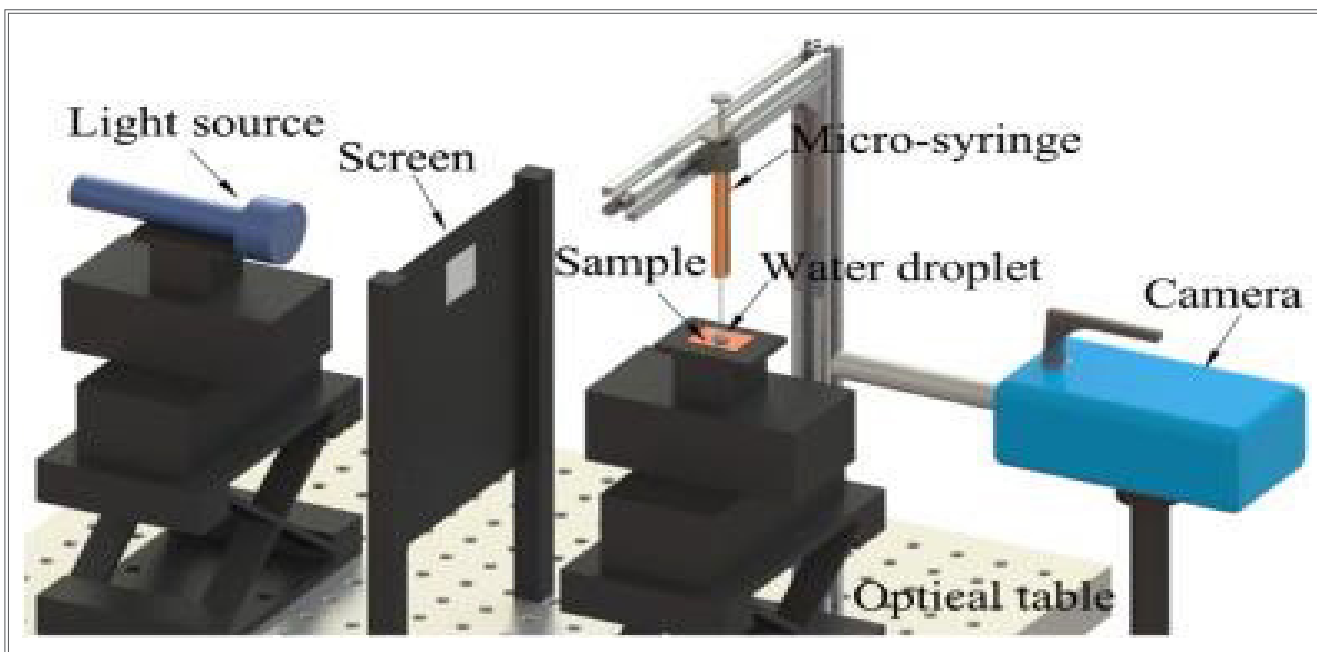
کشش بین سطحی در واقع هم در سیستم تغییر ترشوندگی و هم در امولسیون تشکیل شده نقش مهمی را ایفا می‌کند. نانوذرات یا سورفکتانت مورد استفاده با کاهش انرژی بین سطحی و همچنین تغییر ترشوندگی سطح، سبب کنده شدن و دریافت بیشتر نفت از حفرات سنگ مخزن می‌شوند. در این‌گونه سیستم‌ها کاهش انرژی بین سطحی در واقع یعنی نفت و آب موجود در محیط به یک جنس تبدیل شده‌اند و فرآیند تزریق آب می‌تواند نفت بیشتری را تولید کند. از طرفی این مواد شیمیایی می‌تواند سبب تشکیل امولسیون در محل و درون مخزن شود که باید قطرات امولسیونی ریزتر تشکیل شوند. در این پژوهش نیز کشش سطحی به عنوان یک معیار قابل اندازه‌گیری در نظر گرفته شده و توسط دستگاه قطره‌ی آویخته اندازه‌گیری شد.

تعیین ترشوندگی و زاویه‌ی تماس

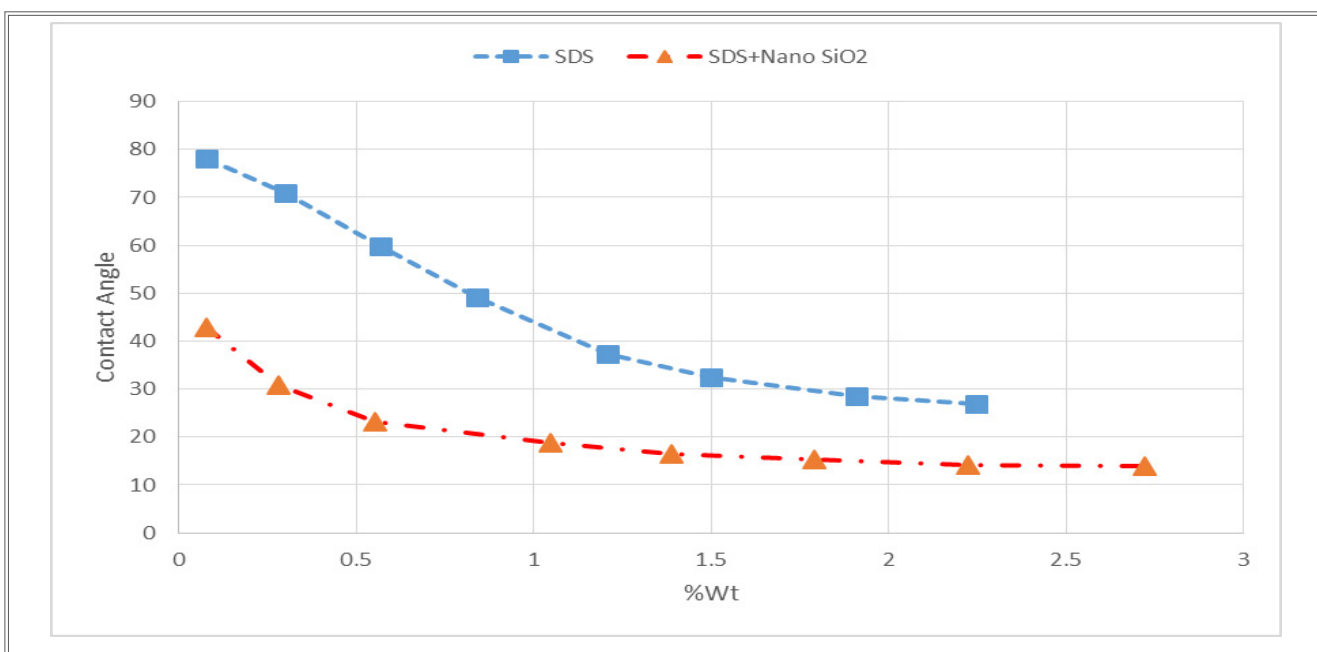
در ابتدا به بررسی نتایج تغییر ترشوندگی سطح مغزه‌ی آهکی پرداخته و سپس غلظت بهینه‌ی سورفکتانت و نانوذره را تعیین می‌کنیم. غلظت بهینه‌ی سورفکتانت غلظتی است که پس از آن تغییر چندانی در زاویه‌ی تماس رخ نمی‌دهد. همین غلظت نیز برای نانوذره تعیین می‌شود. پس از آن اثر هم‌زمان نانوذره و سورفکتانت را بررسی خواهیم کرد. شکل ۲ شماتیک اجزای دستگاه اندازه‌گیری زاویه‌ی تماس را نشان می‌دهد. در نهایت میزان کیفیت حباب‌ها در امولسیون خروجی برای دو نوع ماده‌ی نانو و سورفکتانت بررسی شده است. در این قسمت ابتدا سعی در تعیین غلظت بهینه‌ی میزان سورفکتانت برای تزریق در تحقیقات آینده به درون مغزه‌ها با استفاده از تست زاویه‌ی تماس داریم. در غلظت‌های مختلف برای سطح تماس آب یا نفت از سورفکتانت استفاده شده است. شکل ۳ میزان تغییرات زاویه‌ی تماس برای آب و نفت را نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شده است در ابتدا سطح سنگ تقریباً نفت‌دوست بوده و زاویه‌ی تماس آب با سنگ بین ۸۰ تا ۹۰ درجه می‌باشد. با تهیه‌ی محلول سورفکتانتی و تزریق آن به درون سیالات، همان‌طور که مشاهده می‌کنیم زاویه‌ی تماس آب با سنگ کاهش یافته که به خوبی کارآیی سورفکتانت SDS را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در غلظت ۱/۸ درصد وزنی از محلول سورفکتانت در آب میزان زاویه‌ی تماس به کمتر از ۳۰ درجه رسیده است. همچنین شکل ۳ نحوه‌ی تغییرات زاویه‌ی

داده است. بنابراین ما باید میزان استفاده از سورفکتانت را در این شرایط به این غلظت محدود کنیم و بیشتر از آن صرفه ندارد. همچنین تغییرات انرژی بین سطحی بین آب و نفت اندازه گیری شد و این مقدار از 66 dyn/cm^2 به تقریباً میزان 15 dyn/cm^2 در غلظت بهینه سورفکتانت رسیده است.

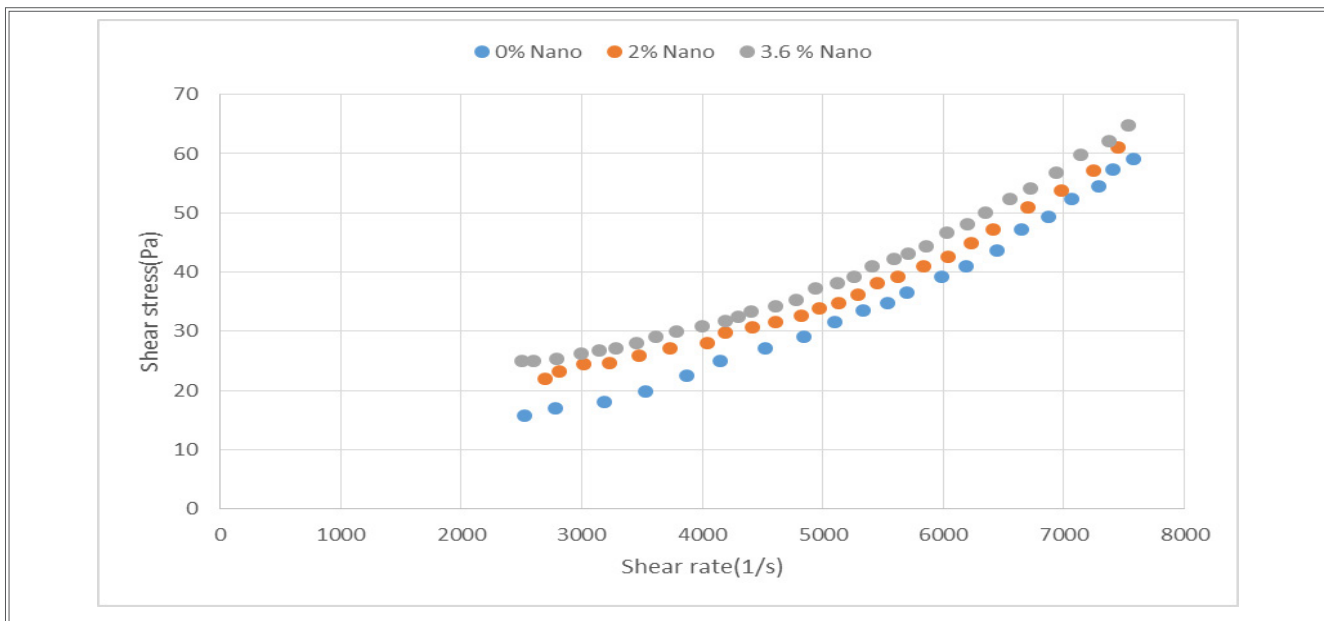
تماس با افزایش غلظت سورفکتانت SDS به همراه نانوذره را نشان می دهد. همان طور که دیده می شود با افزایش میزان غلظت، زاویه تماس کاهش یافته که این کاهش یافتگی در غلظت $1/8$ درصد به حداقل می رسد که کمتر از 20 درجه است. همچنین مشاهده می شود ترکیب $3,6$ درصد وزنی نانوذره به همراه $1,8$ درصد وزنی سورفکتانت زاویه تماس را تا 18 درجه کاهش



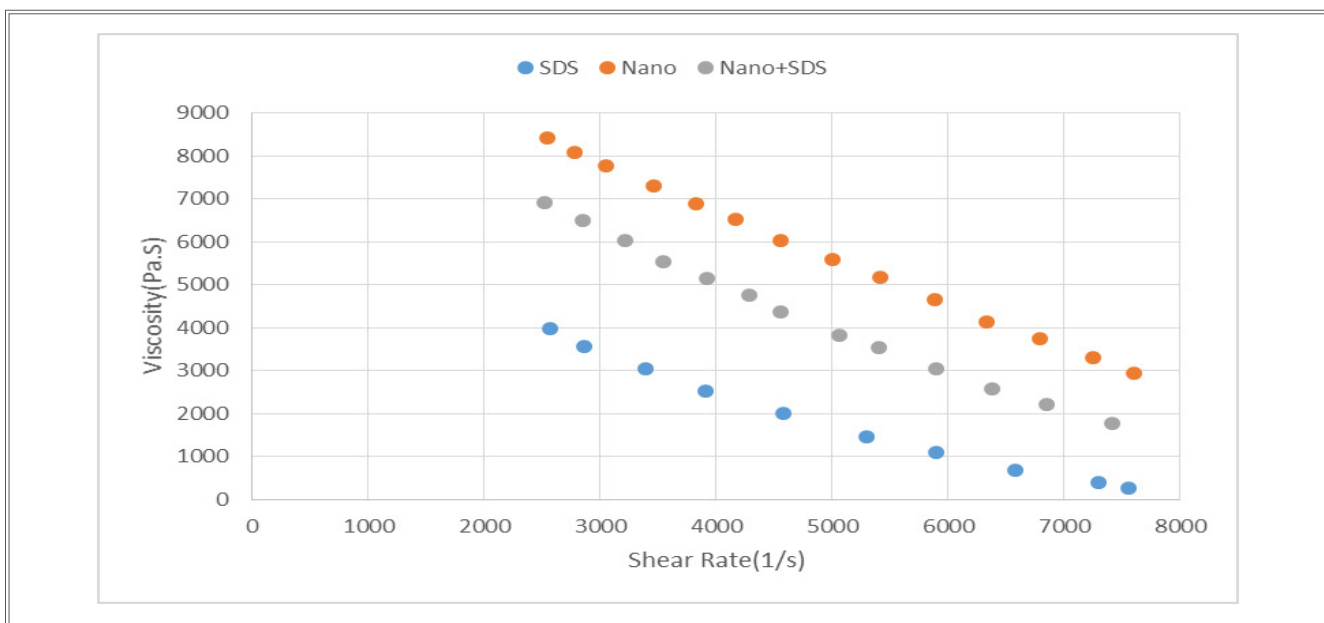
شکل ۲ | شماتیک دستگاه زاویه تماس



شکل ۳ | تغییرات زاویه تماس بین آب و سطح سنگ در حضور نانوذره و سورفکتانت



شکل ۴ | تغییرات تنش برشی بر حسب نرخ برشی برای امولسیون حاوی نانوذره

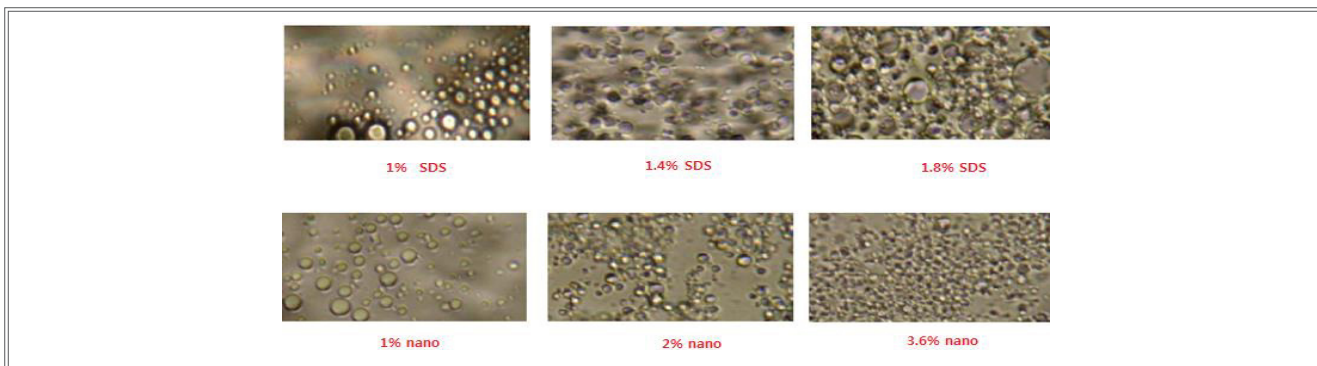


شکل ۵ | تغییرات ویسکوزیته بر حسب نرخ برشی برای امولسیون حاوی نانوذره و سورفکتانت

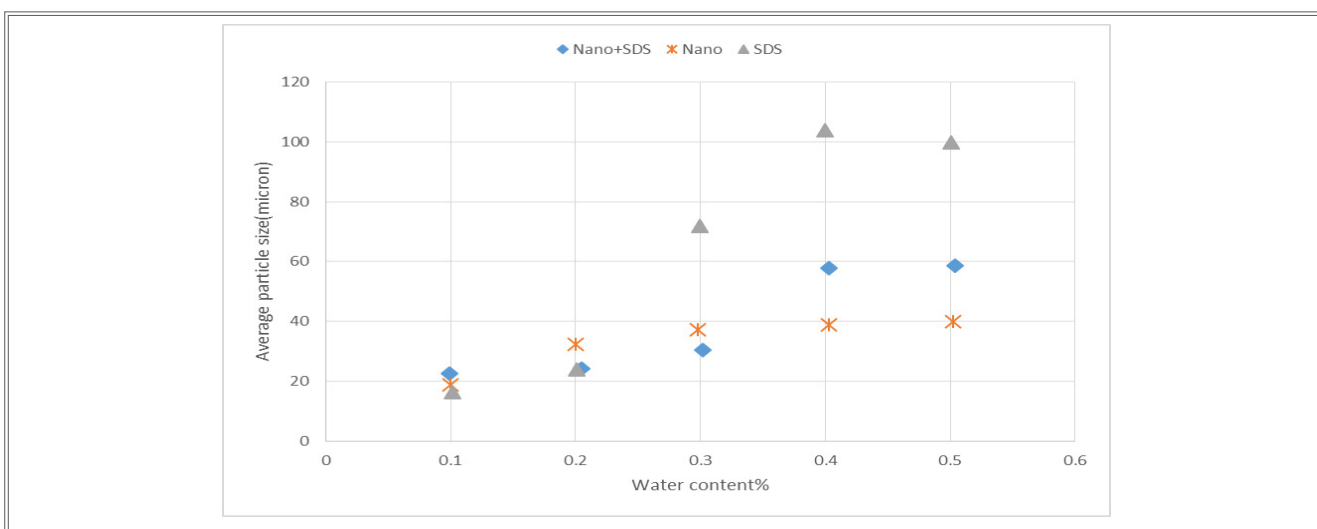
گرانروی امولسیون

و ۳,۶ نانوذرات میزان تنش برشی به ترتیب به ۶۰، ۶۳ و ۶۷ رسیده است. شکل ۵ میزان تغییرات گرانروی امولسیون حاوی سورفکتانت و نانوذره را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش برش میزان گرانروی کاهش می‌یابد که نشان از نازک‌شدگی برش در غلظت‌های مختلف امولسیون دارد. برای امولسیون تهیه شده با سورفکتانت میزان گرانروی حداقل بوده و برای امولسیون تهیه شده با نانوذره میزان گرانروی بیشتر است.

نتایج رئولوژیکی برگرفته از دستگاه رئومتر در اشکال ۴ و ۵ آمده است. کلیه‌ی این تست‌ها در شرایط PH خنثی و تقریباً برابر ۷,۵ آنالیز شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در شکل ۴ تغییرات تنش برشی بر حسب نرخ برشی برای سه غلظت مختلف نانوذره نشان داده شده است. با افزایش درصد وزنی نانوذرات میزان تنش برشی بیشتر می‌شود منتهی این افزایش مقدار به صورت کم است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در غلظت‌های ۲



۶ تصاویر امولسیون‌ها با استفاده از دوربین دینولایت



۷ تغییرات قطر متوسط حباب‌های امولسیون بر حسب میزان درصد حجمی آب



توزیع قطر ذرات امولسیون

موجود در نفت بستگی دارد. با افزایش میزان آب، امولسیون قدری ناپایدارتر شده و بازده جداسازی نیز افزایش پیدا می‌یابد. همچنین نیروی جاذبه‌ی دوقطبی وابستگی شدیدی به اندازه و فاصله‌ی بین قطرات دارد، بنابراین در یک امولسیون همگن با اندازه‌ی قطرات یکسان، فاصله‌ی بین قطرات متناسب با معکوس کسر حجمی آب پراکنده است. همچنین اثر جاذبه‌ی دوقطبی با افزایش مقدار آب، افزایش می‌یابد، چون فاصله‌ی بین قطرات با افزایش مقدار آب کاهش پیدا می‌کند. در شکل ۷ میزان توزیع قطر حفرات برای امولسیون‌های مختلف بر حسب درصد حجمی آب موجود در امولسیون نشان داده شده است.

در این شکل مشاهده می‌شود به صورت کلی با افزایش درصد حجمی آب میزان قطر متوسط ذرات امولسیونی بیشتر می‌شود و برای امولسیون‌های تشکیل شده با نانوذره قطر متوسط آنها در محدوده‌ی ۲۰-۴۰ میکرون بوده و برای امولسیون‌های حاصل از سورفکتانت در محدوده‌ی ۱۰۰-۲۰ میکرون است که در نهایت تغییرات کلی قطر ذرات بین ۲۰ تا ۱۲۰ میکرون می‌باشد.

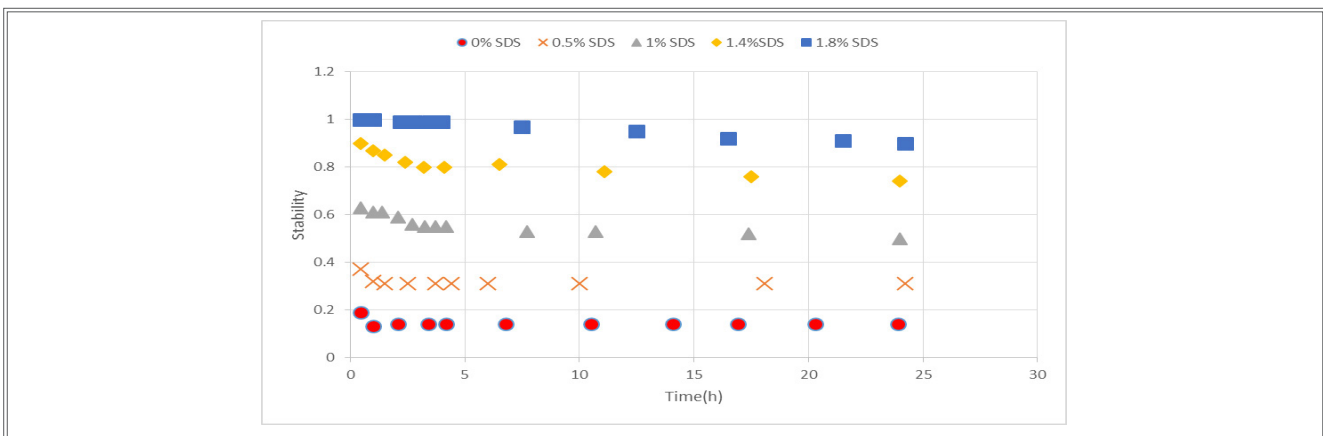
توزیع قطر ذرات امولسیونی در محلول از اهمیت بالایی برخوردار است. برای این منظور با استفاده از دوربین دینولایت قطر متوسط ذرات امولسیون ارزیابی و سپس با استفاده از برنامه‌ی آنالیز تصویر متلب میانگین قطر حفرات امولسیون استنتاج شد. این تصاویر برای امولسیون حاصل از سورفکتانت و امولسیون حاصل از نانوذره و سورفکتانت هنگامی که محلول‌های تهیه شده در تماس با مغزه‌های کربناته بوده است، در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در امولسیون‌های تشکیل شده از غلظت‌های وزنی مختلف سورفکتانت قطر میانگین ذرات یا حباب‌های امولسیونی بیشتر از امولسیون‌های حاصل از نانوذره است. بنابراین به کار بردن نانوذره توانسته است امولسیون با قطر کمتر تولید کند که این برای استفاده‌ی بهتر می‌باشد، چراکه حباب‌های ریزتر تواناییی بلاک کردن و حبس کردن نفت کمتری در مخزن دارند. میزان آب موجود در امولسیون آب در نفت، یکی از پارامترهای موثر بر بازده امولسیون‌زدایی و ناپایداری امولسیون است. تشکیل امولسیون‌های بسیار پایدار، به میزان آسفالتن و رزین، میزان آب



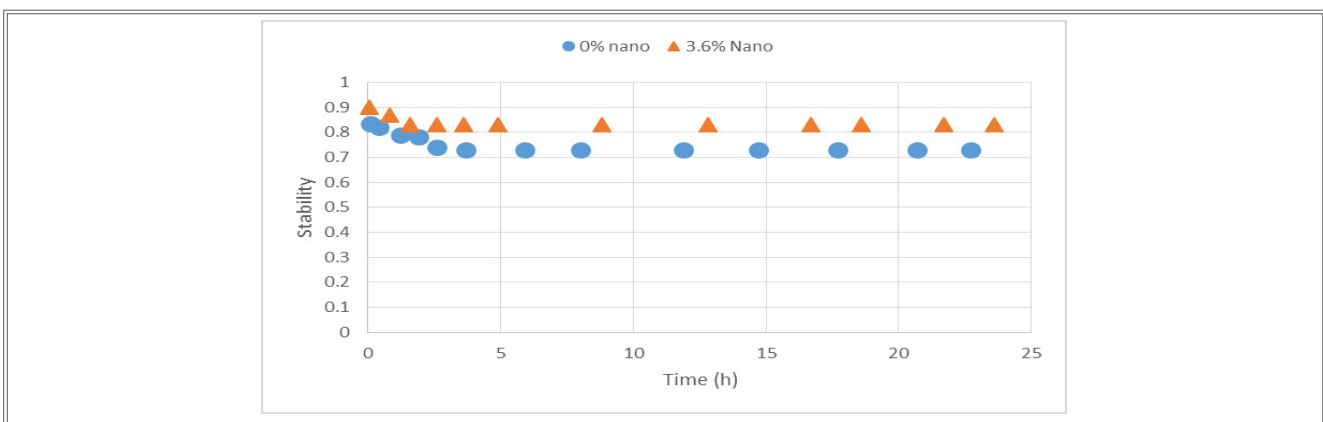
شکل ۹ | کیت امولسیون



شکل ۸ | پایداری امولسیون با گذشت زمان



شکل ۱۰ | تغییرات پایداری امولسیون‌های سورفکتانتی با زمان



شکل ۱۱ | تغییرات پایداری امولسیون نانو با زمان

است. با گذشت زمان این پارامتر کمتر می‌شود و امولسیون می‌شکند. مقدار پایداری سورفکتانت برای غلظت‌های مختلف سورفکتانت SDS در شکل ۱۰ نشان داده می‌شود. مشاهده می‌شود که در غلظت بهینه که همان ۱,۸ است، پایداری امولسیون نیز خوب است و تقریباً تا ۵ ساعت برابر با ۱ بوده و حداقل به میزان ۰,۸۵ تا ۲۲ ساعت می‌رسد. شکل ۱۱ نیز مقدار پایداری امولسیون

برای تعیین کمی پایداری امولسیون از رابطه‌ی ۱ استفاده می‌کنیم. رابطه‌ی (۱):

$$stability = \frac{H_{oil} - H_w}{H_{oil}}$$

در این رابطه، H_{oil} حداکثر ارتفاع سیال نفتی و سیاه رنگ و H_w نیز ارتفاع آب

مخزن تشکیل شود تا باعث بهبود ازدیاد برداشت شود. همچنین حباب‌های امولسیون باید به اندازه‌ی کافی ریز باشند تا موجب آسیب به سازند نشوند. به طور کلی این نتایج از این پژوهش حاصل شده است:

- ترکیب سورفکتانت در غلظت بهینه‌ی ۱,۸ درصد وزنی توانایی کاهش زاویه‌ی تماس به اندازه‌ی ۳۰ درجه را دارا می‌باشد.
- ترکیب ۳,۶ درصد وزنی نانوذره به همراه ۱,۸ درصد وزنی سورفکتانت زاویه‌ی تماس را تا ۱۸ درجه کاهش داده است.
- نانوذرات به کار رفته، امولسیون با قطرات آب ریزتری نسبت به سورفکتانت ایجاد می‌کنند که این خود نقش مهمی در ازدیاد برداشت دارد.
- میانگین قطر ذرات امولسیونی با افزایش درصد حجمی آب زیاد شده و تغییرات کلی قطر آنها بین ۲۰ تا ۱۲۰ میکرون است.
- امولسیون تشکیل شده توسط سورفکتانت پایدارتری نسبت به امولسیون تشکیل شده توسط نانوذره دارد. ■

را برای غلظت‌های مختلف نانوذرات نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نانوذرات در غلظت‌های صفر و ۳,۶ در زمان‌های مختلف توانایی زیادی در پایداری امولسیونی به میزان قابل توجهی از خود نشان ندادند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر هم‌زمان نانوذرات سیلیسیم‌اکسید به همراه سورفکتانت بر تغییر ترشوندگی سطحی مغزه‌ی کربناته و میزان انرژی سطحی بین آب و نفت بررسی شد. پس از آن امولسیون حاصل از ترکیب آب و نفت مورد استفاده آنالیز و پایداری امولسیون بررسی شده است. همان‌طور که بیان شد، مکانیزم ازدیاد برداشت به روش تزریق مواد شیمیایی علاوه بر اینکه بر تغییرات ترشوندگی متمرکز است، همواره باید سیال تولیدی نهایی مورد آنالیز واقع شود. سیال تولیدی در سطح به صورت امولسیون آب و نفت است و این امولسیون باید بتواند جدا شده تا نفت و آب به صورت جداگانه مورد استفاده قرار بگیرند. علاوه بر این، امولسیون تولیدی باید بتواند سریعاً در

منابع

- [1]. H. M. Zaid, N. Yahya, N. R. A. Latiff, The Effect of Nanoparticles Crystallite Size on the Recovery Efficiency in Dielectric Nanofluid Flooding, Nano Research, 21 (2013).
- [2]. Binshan. Ju, Tailiang. Fan and Mingxue. Ma, Enhanced Oil Recovery by Flooding With Hydrophilic Nanoparticles, China Particology, Vol. 4, No. 1, 41-46, 2013.
- [3]. Y. Tamsilian, A. Ramazani S.A., M. Shaban, Sh. Ayatollahi, J. C. de la Cal, J. J. Sheng, R. Nanostructured Particles for Controlled Polymer Release in Enhanced Oil Recovery, Tomovska, Energy Technology J., in Press, 2016.
- [4]. M. O. Onyekonwu and N. A. Ogolo, Investigating the Use of Nanoparticles in Enhancing Oil Recovery, SPE 140744, 2010.
- [5]. Shah, Rusheet D, application of nanoparticle saturated injectant gases for EOR of heavy oils, SPE-129539- STU, 2009.
- [6]. M. Sh. Kamal, A. S. Sultan, U. A. Al-Mubaiyeh, I. A. Hussein, Polymer Reviews, 55 (2015).
- [7]. S. Al-Ansari, Lezorgia N. Nwdee, Muhammad Arif, Shaobin Wang, Ahmed Barifceni, Maxim Lebedev, and Stefan Iglauer, 2017, Wettability Alteration of Carbonate Rocks via Nanoparticle-Anionic Surfactant Flooding at Reservoirs Conditions, SPE-189203-MS.
- [8]. E. Hosseini, F. Hajivand, A. Yaghodous, R. Soltani, 2019, Experimental investigation of the effect of dispersed silica and alumina nanoparticles on oil-aqueous phase interfacial tension, Petroleum science and technology.