

بررسی آزمایشگاهی تأثیر هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم همراه با سورفکتانت بر ازدیاد برداشت از مخزن نفتی آسماری

نادیا اسفندیاری^۱، سجاد صفری‌نیا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مرودشت

چکیده

تغییر ترشوندگی سنگ مخزن توسط سیلاب‌زنی شیمیایی یکی از روش‌های مناسب برای بهبود و بازیافت نفت از مخازن می‌باشد. یکی از روش‌های ازدیاد برداشت شیمیایی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، سیلاب‌زنی قلیا-سورفکتانت است. سیلاب‌زنی قلیا-سورفکتانت با استفاده از یک قلیای قوی صورت می‌گیرد. سیلاب‌زنی قلیا-سورفکتانت دارای مکانیسم‌های مختلفی است که مهمترین مکانیسم‌های آن شامل تغییر ترشوندگی، کاهش کشش بین‌سطحی و امولسیون‌سازی است. در این مطالعه با استفاده از اندازه‌گیری زاویه تماس، میزان تأثیر قلیا-سورفکتانت بر سنگ مخزن بررسی شده است. از دو ماده قلیایی هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم و از سولفات دودسیل سدیم به‌عنوان سورفکتانت در آزمایش‌ها استفاده شد. با افزودن هیدروکسید سدیم به محلول سورفکتانت سولفات دودسیل سدیم ۵۰۰ ppm مقدار زاویه تماس از ۱۳۹ درجه بدون هیدروکسید سدیم به ۳۳ درجه در غلظت ۴۰۰ ppm از هیدروکسید سدیم رسید. ماده قلیایی کربنات سدیم در همین غلظت‌ها، کاهش زاویه تماس را از ۱۳۹ درجه به ۸۲ درجه نشان داد. با مقایسه زاویه تماس در محلول سورفکتانت بدون ماده قلیایی و همراه با آن می‌توان گفت که حضور ماده قلیایی در کنار سورفکتانت بسیار موثر است و ماده قلیایی هیدروکسید سدیم موثرتر از کربنات سدیم عمل کرده و باعث تغییر ترشوندگی از نفت‌دوست قوی به آب‌دوست قوی می‌شود.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۱۰/۲۰

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۱۰/۲۵

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۱۲/۱۱

واژگان کلیدی:

هیدروکسید سدیم، کربنات سدیم، ترشوندگی، ازدیاد برداشت، سورفکتانت، مخزن نفت آسماری

مقدمه

زیادی در زمینه افزودن مواد فعال سطحی به آب تزریقی در عملیات سیلاب‌زنی انجام شده است، به‌طوری که این مواد به دلیل فعالیت بالا در فصل مشترک آب و نفت توانایی جداسازی اجزای نفت‌خام چسبیده به سطح سنگ را دارا می‌باشند [۶]. کومار^۱ و همکارانش انحلال‌پذیری مایسلار ترکیبات آلی جذب شده توسط سورفکتانت‌های آنیونی را عامل اصلی تغییر ترشوندگی دانستند [۷]. امانی، بیوسورفکتانت رامونولپید را به‌عنوان عامل ازدیاد برداشت میکروبی نفت تولید کرد. سیلاب‌زنی با آب ازدیاد برداشت ۶۱/۸ درصد را نشان داد و سپس سیلاب‌زنی با محلول بیوسورفکتانت ازدیاد برداشت را به میزان ۶/۷۶ درصد افزایش داد [۸]. سورفکتانت‌های کاتیونی نوع $R-NH_3 Cl$ و $R-N(CH_3)_3 Br$ می‌توانند ترشوندگی سنگ را با یک فرآیند برگشت‌ناپذیر و اجذبی کربوکسیلات‌های جذب شده در سطح کربناته به وسیله مکانیسم بین سورفکتانت و یون منفی کربوکسیلات، از حالت نفت‌تر به حالت آب‌تر تغییر دهند [۹]. نقش غلظت بحرانی مایسل در سیلاب‌زنی با سورفکتانت با امواج آلتراسوند و تأثیر غلظت سورفکتانت بر روی ازدیاد برداشت نفت مطالعه شد. امواج صوتی باعث بهبود فرآیند سیلاب‌زنی با آب و سورفکتانت شد و میزان ازدیاد برداشت را به ترتیب ۱۱ و ۱۲ درصد افزایش داد. تشکیل مایسل در طی فرآیند سیلاب‌زنی با سورفکتانت در حضور امواج آلتراسوند مهمترین مکانیزم افزایش برداشت است [۱۰].

با کاهش کشف ذخایر نفتی، گسترش صنایع و استفاده بیشتر از نفت، روش‌های ازدیاد برداشت از مخازن نفتی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. در بسیاری از روش‌های ثالثیه ازدیاد برداشت، تزریق سیال به مخزن صورت می‌گیرد. تزریق این مواد باعث تغییر خواص سیستم سیال و سنگ می‌شود. این تغییرات می‌تواند به‌صورت کاهش کشش بین‌سطحی، انبساط نفت، کاهش گرانروی نفت و تغییر خاصیت ترشوندگی دیده شود [۱]. عواملی نظیر pH، ترکیب نفت‌خام، ترکیب آب نمک موجود در مخزن، فشار و دمای مخزن در تعیین شرایط ترشوندگی نقش دارند [۲]. از جمله موادی که قابلیت ترشوندگی سنگ مخزن را تغییر می‌دهند، سورفکتانت‌ها هستند [۳، ۴]. سورفکتانت‌ها مولکول‌های دو قسمتی هستند که دارای یک سر قطبی آب‌گریز می‌باشند که این سر آب‌گریز یک شاخه هیدروکربنی شامل زنجیره‌ای با ۸ تا ۱۸ کربن بوده و به یک قسمت قطبی یا یونی آب‌دوست اضافه می‌شود. قسمت آب‌دوست سورفکتانت‌ها می‌تواند یونی، غیر یونی یا خنثی باشد. زنجیره هیدروکربنی سورفکتانت واکنش ضعیفی با مولکول‌های آب در محیط‌های آبی داشته و گروه دارای سر قطبی یا یونی، واکنش قوی با مولکول‌های دو قطبی آب یا یون‌های دو قطبی موجود در محلول‌ها دارند [۵]. سورفکتانت‌ها به سه گروه کاتیونی، آنیونی، غیر یونی و آمفوتری تقسیم می‌شوند. اخیراً تحقیقات

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (esfandiari_n@miau.ac.ir)

خوبی در تغییر ترشوندگی سنگ مخزن از نفت دوست به آب دوست به دست آوردند [۱۶]. لیو^۷ و همکارانش در سال ۲۰۰۷ تأثیر حضور ماده قلیایی بر فرآیند سیلاب زنی سورفکتانت را در مورد نفت سنگین کانادا بررسی کردند. مواد قلیایی مورد استفاده در آزمایش آنها هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم بود که استفاده از قلیا در محلول سورفکتانت موجب کاهش کشش بین سطحی و افزایش در برداشت نفت شد [۱۷]. فرایند سیلاب زنی قلیا- سورفکتانت در میکرومدل مورد بررسی قرار گرفت. از کربنات سدیم برای فراهم سازی محلول قلیایی استفاده شد. ابتدا کشش بین سطحی محلول قلیا- سورفکتانت و نفت در غلظت های مختلف اندازه گیری شد و از غلظت بهینه برای تزریق به میکرومدل استفاده گردید که نتایج، افزایش در برداشت نفت با حضور قلیا در محلول سورفکتانت را نشان داد [۱۸]. ازدیاد برداشت با سیلاب زنی همراه با مخلوط سورفکتانت سولفیت آلکیل بنزن^۸ و سولفیت اتر پروپوکسیلیت^۹ و ماده قلیایی مورد مطالعه قرار گرفت [۱۹].

در مواردی نظیر مواد شیمیایی پلیمر-سورفکتانت جهت ازدیاد برداشت استفاده شده است. جباری و همکارانش به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت پلیمر و سورفکتانت بازده جاروبی افزایش می یابد [۲۰]. ازدیاد برداشت جهت دو نوع نفت با API متفاوت با تزریق سورفکتانت و دو نوع پلی اکریل آمید سولفونیت مورد مطالعه قرار گرفت [۲۱].

محققان بسیاری بر روی سیلاب زنی با تزریق پلیمر-سورفکتانت- قلیا مطالعه کردند. نتایج آزمایش ها در سیلاب زنی میکرومدل نشان داد که سیستم پلیمر-سورفکتانت- قلیا با ترکیبات اسیدی نفت تشکیل امولسیون آب-نفت در نفت سنگین را می دهد و این باعث افزایش ازدیاد برداشت به میزان ۲۰ درصد می شود [۲۲]. مدل سازی و بهینه سازی سیلاب زنی با قلیا- سورفکتانت- پلیمر مورد مطالعه قرار گرفت. در این سیستم امولسیون بین دو فاز آب و نفت قرار می گیرد. مدل با بسیاری از نتایج آزمایشگاهی مربوط به سیلاب زنی، صحت سنجی شد و نتایج خوبی داشت [۲۳]. دو سیستم سیلاب زنی با قلیا- سورفکتانت- پلیمر و قلیا- کمک حلال- پلیمر بر روی نمونه نفت خام یکسان مورد آزمایش قرار گرفت. سیلاب زنی با قلیا- سورفکتانت- پلیمر، ازدیاد برداشت را به میزان ۸۴/۵ درصد نشان داد و سیلاب زنی با قلیا- کمک حلال- پلیمر ازدیاد برداشت را به میزان ۸۰ تا ۹۰ درصد نشان داد [۲۴]. در مطالعه ای با سیلاب زنی پلیمر-سورفکتانت- قلیا پیشنهاد ایجاد چاه افقی شده است که به عنوان کانال هدف جهت انتقال سیستم ترکیب سه تایی جهت نفت باقیمانده است. هدف از این کار جلوگیری از اتلاف ترکیب در چاه تزریق است. تحت این شرایط ازدیاد برداشت به میزان ۴۸/۸۷ درصد نسبت به

سورفکتانت شاخه دار بسیار موثرتر از سورفکتانت خطی عمل می کند. در سیلاب زنی با یک حجم حفره از محلول سورفکتانت سولفات دودسیل دو درصد وزنی باعث ازدیاد برداشت نفت به میزان ۲۶/۶ درصد بعد از سیلاب زنی گردید [۱۱].

سنگ^۲ مروری بر وضعیت سورفکتانت در تکنولوژی ازدیاد برداشت داشت [۱۲]. تأثیر سه نوع سورفکتانت دی اتانول آمید نارگیل^۳، آلکیل پلی گلیکوزاید^۴ و سدیم الکیل پروپوکسی سولفیت^۵ بر ازدیاد برداشت تالیته مورد بررسی قرار گرفت [۱۳].

مواد قلیایی نیز موادی هستند که باعث افزایش pH محلول و تولید یون های با بار منفی در محلول می شوند. از معمول ترین این مواد می توان از هیدروکسید سدیم، کربنات سدیم، بی کربنات سدیم و متابورات سدیم نام برد. واکنش این یون های دارای بار منفی مواد قلیایی با فاز هیدروکربنی باعث امولسیون سازی شده و همچنین در صورت مجاورت با سورفکتانت باعث بهبود عملکرد سورفکتانت می گردد. در نتیجه می توان گفت که حضور مواد قلیایی به تنهایی یا در محلول سورفکتانت باعث کاهش نیروهای موینه و در نتیجه، کاهش نسبت تحرک و افزایش بازیافت نفت می شود. صابون تولید شده از واکنش بین ترکیبات اسیدی موجود در نفت خام و قلیای تزریقی، یکی از مکانیزم های ازدیاد برداشت با سیلاب زنی قلیایی است. تولید صابون با پخش اسید در نفت خام (HA₀) به آب بر طبق حلالیت زیر مدل می شود:



HA₀ و HA_w غلظت اسید در نفت و آب می باشد و k_D ضریب تفکیک HA بین نفت و آب است.

اسید در آب باعث ایجاد سورفکتانت آنیونی قابل حل (A⁻) می شود.



این واکنش یکی از منابع قلیایی مصرفی جهت تولید صابون است [۱۴]:



کشش سطحی، تولید امولسیون و ترشوندگی در حین فرآیند سیلاب زنی با قلیا بر روی نفت سبک و نیمه سنگین مورد بررسی قرار گرفت. افزودن ۱ درصد از هیدروکسید سدیم، ازدیاد برداشت را به میزان ۲۵/۴۸ درصد افزایش داد. تغییر زاویه تماس از ۱۰۹ درجه به ۳۶/۸ درجه، تغییرات ترشوندگی و در نتیجه ازدیاد برداشت را به همراه دارد [۱۵].

گاهی در عملیات ازدیاد برداشت از تزریق قلیا-سورفکتانت استفاده می شود. ژانگ^۶ و همکارانش نیز از یک سورفکتانت آنیونی به همراه یک ماده قلیایی جهت تغییر ترشوندگی سنگ کربناته استفاده کردند و نتایج

سانتی مترمکعب است.

۱-۲- تهیه محلول‌ها

محلول‌ها جهت انجام آزمایش‌ها درون آب مقطر با خلوص ۹۹ درصد ساخته شد. مواد شیمیایی ابتدا بوسیله ترازوی حساس اندازه‌گیری گردید. سپس به آب مقطر اضافه و به وسیله همزن کاملاً یکنواخت شد و در نهایت برای قرارگیری در شرایط مخزن در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار داده شد.

۱-۳- نفت دوست شدن سطح مقطع‌ها

سطح مقطع‌های برش داده شده جهت اندازه‌گیری زاویه تماس، ابتدا باید کاملاً صیقل داده شوند. سطح مقطع‌ها با استفاده از سنباده صیقل داده و سپس به وسیله آب مقطر ۸۰ درجه سانتی‌گراد شسته شد تا ذرات ریز روی سطح سنگ زدوده شود. سطح مقطع‌ها جهت حذف ذرات آسفالتینی با تولوئن شست‌وشو داده می‌شوند. در ادامه، سطح مقطع‌ها جهت خشک شدن مجدداً درون آون به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. سطح مقطع‌های شست‌وشو داده شده پس از خشک شدن جهت نفت‌دوست شدن، مدت ۲۰ روز به عنوان زمان برای نفت‌دوست شدن در نظر گرفته شد. زاویه تماس نفت و سنگ بعد از این زمان اندازه‌گیری شد که مقدار ۱۵۵ درجه بود و اطمینان حاصل شد که سنگ نفت‌دوست شده است.

۱-۴- مرحله خیساندن سطح مقطع‌های نفت دوست شده

سطح مقطع‌های نفت‌دوست شده، جهت تداعی مرحله تزریق و تأثیر سیال تزریقی بر سطح سنگ به مدت ۷۲ ساعت درون محلول‌های سورفکتانت-قلیا که از قبل ساخته شده بودند، قرار گرفت. برای نمونه‌های مختلف تغییر زاویه تماس در زمان‌های ماند ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت اندازه‌گیری شد و بیشترین تغییر بعد از ۲۴ ساعت دیده شد.



شکل ۲ | شرایط اولیه سنگ مخزن

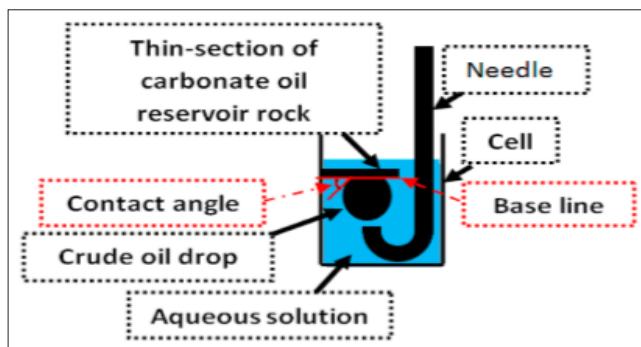
سیلابزنی با آب و به میزان ۲۲/۴ درصد به میزان سیلابزنی با پلیمر-سورفکتانت-قلیا افزایش نشان داد [۲۵].

در این تحقیق تأثیر افزودن ماده قلیایی (هیدروکسید سدیم، کربنات سدیم) بر محلول سورفکتانت سولفات دودسیل سدیم به‌منظور تغییر ترشوندگی در مخزن نفت آسماری مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که خصوصیات مخازن متفاوت می‌باشد، این مطالعه ارزشمند است. در این راستا پارامترهای مختلفی از قبیل تأثیر حضور سورفکتانت بر میزان تغییرات ترشوندگی سنگ مخزن و تأثیر حضور ماده قلیایی در کنار سورفکتانت بر افزایش آب‌دوستی سنگ مخزن مورد بررسی قرار گرفت. همچنین عملکرد دو ماده قلیایی با هم مقایسه گردید.

۱-مواد و روش‌ها

۱-۱- مواد اولیه و دستگاه‌ها

هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم به‌عنوان دو ماده قلیایی و سولفات دودسیل سدیم به‌عنوان سورفکتانت با خلوص بالاتر از ۹۹ درصد از شرکت مرک خریداری و مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق از نفت یکی از مخازن جنوب کشور در آزمایش‌ها استفاده شد. نفت مخزن با درجه API، ۳۰/۱۳ جزء نفت‌های نسبتاً سبک است. جرم حجمی آن در ۱۵ درجه سانتی‌گراد برابر ۸۵۹ گرم بر میلی‌لیتر می‌باشد. نمونه سنگ مورد استفاده در این تحقیق از رخنمون سازند آسماری و از منطقه تنگ ماغر در استان خوزستان گرفته شده است. همه سنگ‌ها از یک جنس و کربناته می‌باشند. سنگ‌ها ابتدا کاملاً شسته شدند و درون گرمخانه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس سنگ‌ها جهت تهیه مغزه به آزمایشگاه خواص سنگ شرکت ازدیاد برداشت فارس برده شد. با استفاده از دستگاه تهیه مغزه، مغزه‌های ۱/۵ اینچی با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر تهیه شد. مغزه‌ها با دستگاه برش، به صورت ۱/۵ اینچی و مقطع ۳ میلیمتری برش داده شده‌اند. تخلخل آن ۱۴/۴ درصد، تراوایی ۱۶/۴ میلی داری و حجم خلل و فرج آن ۱۵/۸۴



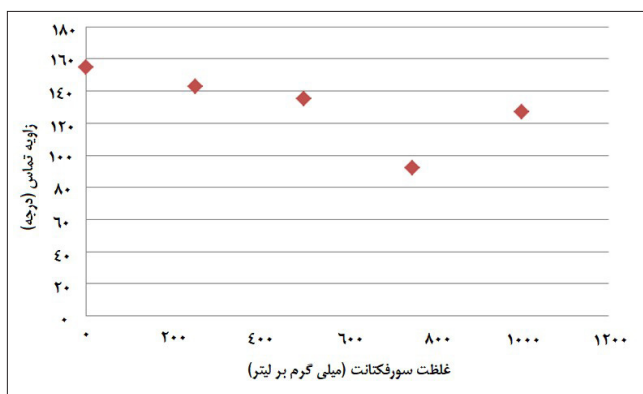
شکل ۱ | شماتیک دستگاه زاویه تماس [۲۶].

۲-۲- تأثیر قلیا بر زاویه تماس

مواد قلیایی با تولید سورفکتانت درجا موجب تغییر در ترشوندگی سنگ می‌شوند. تأثیر دو نوع ماده قلیایی با قدرت متفاوت بر تغییرات ترشوندگی به‌وسیله تغییرات زاویه تماس بررسی شد. از دو نوع ماده قلیایی کربنات سدیم و هیدروکسید سدیم برای بررسی تغییرات زاویه استفاده شد.

سطح مقطع‌ها ابتدا به‌مدت ۲۰ روز درون نفت قرار داده و کاملاً نفت‌دوست شدند. سپس سطح مقطع‌های نفت‌دوست شده به مدت ۳ روز جهت خیساندن درون محلول قلیا با غلظت‌های متفاوت قرار گرفت و سپس زاویه تماس اندازه‌گیری شد. شکل-۳ زاویه تماس بین نفت و سنگ نفت‌دوست شده قرار گرفته در محلول کربنات سدیم را نشان می‌دهد. زاویه تماس از ۱۵۵ درجه در آب مقطر به ۷۰ درجه برای محلول ppm ۸۰۰۰ کاهش یافت. روند کاهش زاویه تماس ابتدا با شیب کم دنبال شد و سپس در غلظت‌های بالای ppm ۴۰۰۰ از کربنات سدیم، زاویه تماس از ۱۱۰ درجه به ۷۰ درجه کاهش یافت.

دلیل تغییرات زاویه تماس و تغییر ترشوندگی به‌وسیله ماده قلیایی، تولید سورفکتانت درجاست. زمانی که یک قلیا در مجاورت نفت اسیدی قرار می‌گیرد، قلیا با نفت اسیدی واکنش داده و سورفکتانت درجا تولید می‌کند. سورفکتانت درجا با فرارگیری در سطح سنگ موجب تغییر زاویه تماس سطح سنگ به سمت آب‌دوست می‌شود. کربنات سدیم جزء قلیاهای نسبتاً قوی یا متوسط تقسیم‌بندی می‌شود و دارای pH بین ۹ تا ۱۱ است. بنابراین وقتی غلظت از ppm ۴۰۰۰ بالاتر می‌رود، به دلیل سورفکتانت زیادی که تولید می‌شود، سیستم، تغییرات ترشوندگی بیشتری نسبت به غلظت‌های کم از خود نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل-۳ نشان داده شده است، بهترین غلظت کربنات سدیم، ppm ۸۰۰۰ بود که کمترین زاویه تماس را به خود اختصاص داد. شکل-۳ نمودار تغییرات زاویه تماس با تغییر غلظت هیدروکسید



شکل ۴ | تأثیر سورفکتانت بر زاویه تماس

با افزایش زمان ماند سنگ در محلول سورفکتانت-قلیا تغییر بسیار کمی دیده شد. بنابراین، زمان ماند ۷۲ ساعت برای تمام آزمایش‌های در نظر گرفته شد.

۱-۵- دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس

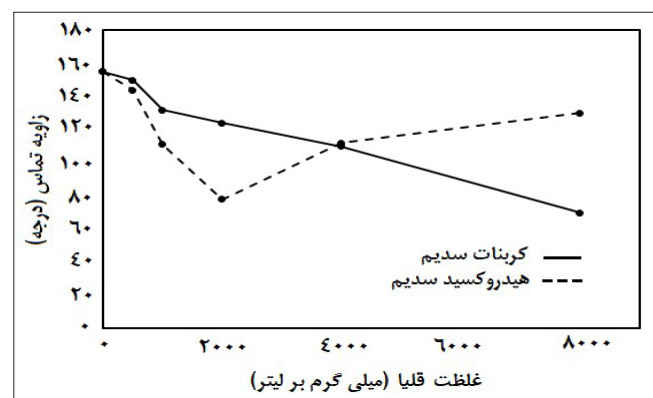
از دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس که توانایی اندازه‌گیری زاویه تماس یک قطره مایع بر روی سطح جامد در حضور یک سیال دیگر را دارد، استفاده شد. اندازه‌گیری زاویه تماس به‌وسیله قرار دادن قطره نفت بر روی سطح مقطع نفت‌دوست در حضور محلول سورفکتانت-قلیا اندازه‌گیری شده است. شماتیک دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس در شکل-۱ نشان داده است.

۲- نتایج و بحث

تغییرات ترشوندگی سنگ مخزن یکی از مکانیسم‌های اصلی سیلاب‌زنی قلیا - سورفکتانت می‌باشد. لذا بررسی عملکرد بهینه این دو ماده شیمیایی هر کدام به‌تنهایی و همراه هم یکی از اهداف محققان در سال‌های اخیر بوده است. در این تحقیق تأثیر این دو ماده شیمیایی بر تغییرات ترشوندگی به‌وسیله روش زاویه تماس بررسی می‌شود و غلظت بهینه برای بهترین عملکرد به‌دست می‌آید.

۲-۱- شرایط اولیه سنگ مخزن

سطح مقطع‌های برش داده شده پس از شست‌وشو، به‌مدت ۲۰ روز درون نفت قرار گرفتند تا کاملاً نفت‌دوست شوند. شکل-۲ قطره نفت را در شرایط اولیه بر سطح سنگ نمایش می‌دهد که سنگ مخزن کاملاً نفت‌دوست شده‌اند و زاویه‌ی ۱۵۵ درجه را با سطح سنگ به‌وجود می‌آورد که نشان‌دهنده نفت‌دوست شدن کامل سنگ می‌باشد. در این مرحله سنگ نفت‌دوست شده و هنوز در محلول سورفکتانت-قلیا قرار نگرفته است.



شکل ۳ | تأثیر غلظت‌های متفاوت کربنات سدیم و هیدروکسید سدیم بر زاویه تماس

و بنابراین قادر به تغییر ترشوندگی سنگ نمی‌باشند. در تحقیقات مشابه نیز بیان شده وقتی سورفکتانت‌ها از حالت مونومری به حالت مایسل درمی‌آیند، دیگر جذب سنگ نمی‌شوند [۲۷].

۲-۴- تأثیر قلیا بر نقطه مایسل سورفکتانت

سورفکتانت ماده‌ای گران قیمت است که وقتی به مخزن تزریق می‌شود بر روی سطح سنگ جذب می‌گردد و راندمان ازدیاد برداشت پایین می‌آید. جهت بهبود بازدهی سورفکتانت از قلیا به‌عنوان ماده فدا شونده استفاده شد. قلیا دارای مکانیسم‌هایی است که مشابه با مکانیسم‌های تولید به‌وسیله سیلاب‌زنی سورفکتانت است. قلیا و سورفکتانت هر دو موجب تغییرات در ترشوندگی سنگ می‌شوند. در طراحی آزمایش‌ها قلیا و سورفکتانت نیاز به کمی پیش‌بینی اولیه و همچنین استفاده از پیشینه تحقیق داشت. بر این اساس از غلظت ثابت کربنات سدیم و هیدروکسید سدیم در آزمایش‌ها برای تأثیر قلیا بر نقطه مایسل استفاده شد. غلظت ppm ۲۰۰۰ برای بررسی تأثیر قلیا بر نقطه مایسل سورفکتانت به کار گرفته شد و غلظت سورفکتانت مشابه با بخش قبل یعنی محلول سورفکتانت بدون قلیا استفاده شد.

شکل ۵- تأثیر کربنات سدیم بر محلول سورفکتانت را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، زاویه تماس ابتدا با افزایش غلظت از ۱۲۰ درجه برای غلظت ppm ۲۵۰ سورفکتانت به ۱۰۳ درجه برای غلظت ppm ۵۰۰ سورفکتانت کاهش یافت و سپس بعد از این نقطه شروع به افزایش کرد. تأثیر ماده قلیایی هیدروکسید سدیم بر محلول سورفکتانت در شکل ۶- نشان داده شده است. تأثیر هیدروکسید سدیم با غلظت ppm ۲۰۰۰ بر محلول سورفکتانت در تغییرات ترشوندگی (زاویه تماس) مشابه با کربنات سدیم است و روندی مشابه را نشان می‌دهد با این تفاوت که کمینه زاویه تماس در محلول سورفکتانت به اضافه هیدروکسید سدیم مقدار کمتری در مقایسه با محلول سورفکتانت و کربنات سدیم بود.



شکل ۵ | تأثیر کربنات سدیم به میزان ppm ۲۰۰۰ بر نقطه مایسل سورفکتانت

سدیم را نشان می‌دهد. با افزایش غلظت هیدروکسید سدیم زاویه تماس ابتدا تا ۷۸ درجه در غلظت ppm ۲۰۰۰ کاهش یافت و سپس دوباره زاویه تماس با افزایش غلظت هیدروکسید سدیم تا ۱۳۰ درجه افزایش پیدا کرد. هیدروکسید سدیم یک باز قوی است که pH در غلظت‌های بالا تا ۱۳/۵ هم افزایش می‌یابد. بنابراین با درجه بالایی نفت اسیدی را هیدرولیز می‌کند. ابتدا با افزایش غلظت به دلیل تولید سورفکتانت درجا، زاویه تماس کاهش می‌یابد که نقطه کمینه به‌عنوان نقطه بهینه شناخته می‌شود. در غلظت‌های بالای ppm ۲۰۰۰ به دلیل هیدرولیز قوی و تولید سورفکتانت ناقص دوباره زاویه تماس افزایش می‌یابد.

۲-۳- تأثیر سورفکتانت بر زاویه تماس

از سورفکتانت آنیونی سولفات دودسیل سدیم برای اندازه‌گیری تأثیر سورفکتانت بر تغییرات ترشوندگی سنگ مخزن استفاده شد. محلول‌هایی با غلظت صفر تا ppm ۱۰۰۰ از سورفکتانت برای آزمایش‌ها تهیه شد. تغییرات زاویه تماس در غلظت‌های مختلف سورفکتانت در شکل ۵- نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴- زاویه تماس ابتدا با افزایش غلظت سورفکتانت کاهش یافت و از ۱۵۵ درجه به ۹۲ درجه برای غلظت ppm ۷۵۰ رسید. سپس دوباره تا ۱۲۷ درجه افزایش پیدا کرد. زاویه تماس با افزایش غلظت سورفکتانت ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. دلیل افزایش زاویه تماس بعد از نقطه کمینه مهم است. دلیل این افزایش تشکیل مایسل است. وقتی غلظت سورفکتانت به یک غلظت خاص می‌رسد، تشکیل مایسل می‌دهد. زمانی که غلظت فعال‌کننده سطحی در آب به یک مقدار مشخص برسد، یک تراکم کروی (مایسل‌ها) از ۵۰ تا ۱۰۰ مولکول همراه شکل خواهد داد. غلظتی که در آن این اتفاق می‌افتد، غلظت بحرانی مایسل‌ها نامیده می‌شود. در این غلظت به دلیل جمع شدن مولکول‌های سورفکتانت و بیرون ماندن سر قطبی، مولکول‌های سورفکتانت قادر به جذب بر سطح سنگ نفت‌دوست نیستند



شکل ۶ | تأثیر کربنات سدیم به میزان ppm ۲۰۰۰ بر نقطه مایسل سورفکتانت

۲-۵- تأثیر غلظت قلیا بر ترشوندگی به وسیله سورفکتانت

از غلظت ۵۰۰ ppm به عنوان غلظت بهینه سورفکتانت در شرایط حضور ماده قلیایی استفاده شد. شکل ۷- تغییرات زاویه تماس در غلظت‌های مختلف هیدروکسید سدیم در غلظت ۵۰۰ ppm از سورفکتانت سولفات دودسیل سدیم را نشان می‌دهد.

تأثیر هیدروکسید سدیم درون محلول سورفکتانت بر زاویه تماس چشم‌گیر بود. با افزایش غلظت هیدروکسید سدیم تولید سورفکتانت درجا افزایش می‌یابد و در نتیجه موجب تغییر ترشوندگی از نفت‌دوست به آب‌دوست می‌شود. در غلظت ۴۰۰۰ ppm هیدروکسید سدیم در حضور سورفکتانت سولفات دودسیل سدیم زاویه تماس به ۳۳ درجه رسید. زاویه تماس ۳۳ درجه تغییر ترشوندگی را از نفت‌دوست قوی به آب‌دوست قوی نشان می‌دهد و این باعث ازدیاد برداشت نفت خواهد شد. شکل ۸- نمودار زاویه تماس محلول سورفکتانت با تغییر غلظت کربنات سدیم را نشان می‌دهد. با افزایش غلظت کربنات سدیم از ۵۰۰ ppm به ۴۰۰۰ ppm به عنوان یک باز متوسط در غلظت ثابت از سورفکتانت سولفات دودسیل سدیم، زاویه تماس کاهش یافت و از ۱۳۹ درجه به ۸۲ درجه رسید. سپس با افزایش غلظت ماده قلیایی کربنات سدیم، زاویه تماس دوباره افزایش یافت.

با مقایسه زاویه تماس در نقطه بهینه در محلول سورفکتانت بدون ماده قلیایی و سورفکتانت همراه با ماده قلیایی به وضوح مشخص است که می‌توان با توجه به تغییر ترشوندگی از نفت‌دوست قوی به آب‌دوست قوی در غلظت ۴۰۰۰ ppm هیدروکسید سدیم همراه با سورفکتانت سولفات دودسیل سدیم، این نقطه را به عنوان نقطه بهینه سناریو برای فرآیند سیلاب‌زنی تعیین کرد.

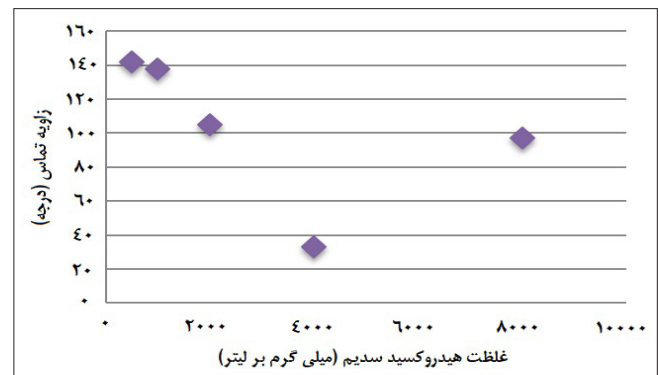
۲-۶- سیلاب‌زنی مغزه

۲-۶-۱- آماده‌سازی سنگ‌ها جهت انجام آزمایش‌ها

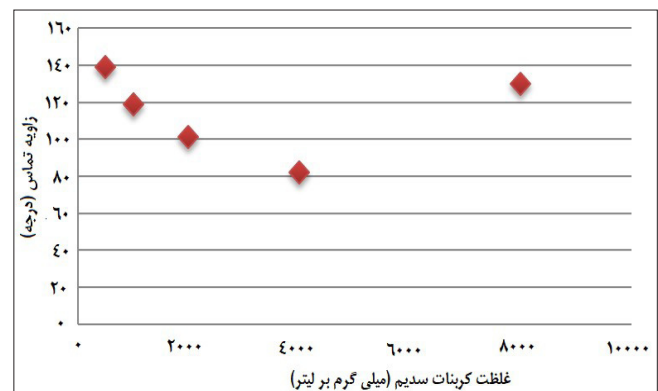
مغزه به وسیله دستگاه برش به صورت استوانه‌ای و متناسب با محفظه نگهدارنده دستگاه سیلاب‌زنی مغزه برش زده، با آب مقطر شست‌وشو داده و سپس در تولوئن قرار داده شد. این مرحله چندین بار تا جایی که تغییر رنگی در تولوئن ایجاد نشود، ادامه یافت. پس از خشک کردن مغزه در آن به مدت چهار روز، ابعاد و وزن مغزه خشک شده اندازه‌گیری و با داشتن ابعاد مغزه حجم بالک آن به دست آمد.

مغزه موردنظر داخل نگهدارنده مغزه دستگاه سیلاب‌زنی مغزه قرار داده شد و آب به مقدار چند برابر حجم مغزه به آن تزریق گردید تا مغزه کاملاً با آب اشباع شد و بعد از اینکه اشباع حاصل شد، با داشتن پارامترهای اختلاف فشار تزریق و دبی تزریق با استفاده از رابطه داری

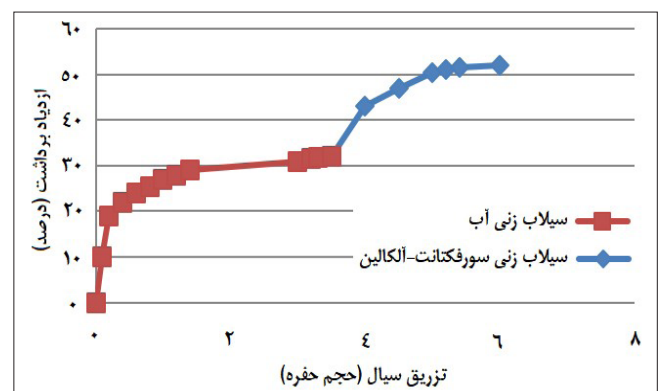
با اضافه شدن ماده قلیایی، نقطه مایسل سولفات دودسیل سدیم از ۷۵۰ ppm به ۵۰۰ ppm کاهش یافت. مقایسه شکل‌های ۵- و ۶ نشان می‌دهد که هیدروکسید سدیم تأثیر بیشتری نسبت به کربنات سدیم بر محلول سورفکتانت داشت و موجب تغییر اندکی بیشتر در زاویه تماس شد که این موضوع به دلیل این است که هیدروکسید سدیم نسبت به کربنات سدیم یک باز قوی‌تر است و قدرت هیدرولیز قوی‌تری دارد.



شکل ۷ | تغییرات زاویه تماس برای غلظت‌های مختلف هیدروکسید سدیم در غلظت ثابت سورفکتانت سولفات دودسیل سدیم



شکل ۸ | تغییرات زاویه تماس برای غلظت‌های مختلف کربنات سدیم در غلظت ثابت سورفکتانت سولفات دودسیل سدیم



شکل ۹ | میزان برداشت نفت در سیلاب‌زنی مغزه

خروجی فقط محلول قلیا- سورفکتانت شد. میزان بازیافت با تقسیم نفت تولید شده در هر مرحله به نفت اولیه درون مغزه به دست آمد. با استفاده از سیلاب‌زنی آب حدود ۳۲ درصد برداشت نفت حاصل شد و بعد با تزریق محلول قلیا- سورفکتانت به مغزه، ۲۰ درصد افزایش در برداشت نفت به دست آمد. شکل-۹ سیلاب‌زنی مغزه را نشان می‌دهد. با شروع سیلاب‌زنی قلیا- سورفکتانت مقدار نفت باقیمانده بیشتری از مغزه تولید شد که دلیل این موضوع تغییر ترشوندگی از نفت‌دوست به آب‌دوست است. ابتدا وقتی آب تزریق می‌شود، درون محیط متخلخل به دلیل نفت‌دوست بودن سنگ، آب از وسط خلل و فرج حرکت می‌کند و نفت کناره‌ها درون محیط متخلخل باقی می‌ماند. با تزریق قلیا- سورفکتانت و تغییر ترشوندگی به سمت آب‌دوست، آب از کنار خلل و فرج حرکت می‌کند و نفت باقیمانده درون مغزه را حرکت می‌دهد. در نتیجه، افزایش در برداشت نفت رخ می‌دهد.

نتیجه‌گیری

حضور مغزه‌های کربناته درون نفت‌خام به مدت طولانی موجب نفت‌دوست شدن سنگ می‌شود که این امر دلالت بر نفت‌دوست بودن سنگ مخزن در گذشت سالیان زیاد است. تأثیر دو نوع قلیا هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم به‌عنوان دو ماده قلیایی با قدرت متفاوت بر سطح سنگ بررسی شد. افزایش غلظت کربنات سدیم موجب تغییرات ترشوندگی به سمت خنثی شد. افزایش غلظت هیدروکسید سدیم موجب تغییر ابتدایی ترشوندگی به سمت آب‌دوست گردید و سپس زاویه تماس تا ۱۳۰ درجه افزایش یافت. حضور محلول سورفکتانت موجب تغییر ترشوندگی از نفت‌دوست به سمت ترشوندگی خنثی گردید و سپس با تشکیل مایسل در غلظت‌های بالای ۷۵۰ ppm سنگ مخزن آب‌دوست شد. زاویه تماس از ۱۵۵ به ۹۲ کاهش یافت. تأثیر قلیا بر نقطه مایسل قابل توجه بود. حضور یک غلظت ثابت قلیا در محلول سورفکتانت موجب کاهش غلظت مایسل شد و غلظت مایسل در هر دو نوع قلیا از ۷۵۰ ppm به ۵۰۰ ppm کاهش یافت. با سیلاب‌زنی آب حدود ۳۲ درصد برداشت نفت رخ داد و با تزریق محلول قلیا به سورفکتانت ۲۰ درصد افزایش از دیاد برداشت مشاهده شد. ■

تراوایی مطلق اندازه‌گیری گردید. سپس برای تعیین تخلخل از روش وزنی استفاده شد. بدین‌منظور وزن نمونه‌ی تر اشباع شده مغزه با ترازوی دیجیتال تعیین گردید که اختلاف آن با وزن حالت خشک مغزه برابر با وزن کل آب اشباع شده درون خلل و فرج و حفره‌های مغزه است. با داشتن این وزن و دانسیته آب و رابطه دانسیته، حجم آب اشباع درون مغزه حساب گردید که همان حجم خلل و فرج مغزه می‌باشد. در نهایت، تخلخل به دست آمد.

مغزه اشباع شده از آب درون نگهدارنده مغزه دستگاه سیلاب‌زنی قرار گرفت. محاسبه مقدار اشباع اولیه آب از طریق تزریق نفت مرده مخزن به مغزه به اندازه چند برابر حجم حفره‌های سنگ و خروج آب موجود در آن تا زمانی که به حداقل اشباع آب در سنگ برسیم و دیگر هیچ آبی از مغزه تولید نشود و همه سیال خروجی از مغزه نفت شود، حاصل شد. در این فرایند آب و نفت خروجی از سنگ در یک استوانه مدرج جمع‌آوری و نهایتاً حجم کل آب خارج شده و جمع شده در استوانه اندازه‌گیری شد. با تفاضل حجم خلل و فرج مغزه و آب تولید شده در این مرحله، حجم آب اولیه کاهش‌ناپذیر به دست آمد. با تقسیم این حجم آب اولیه بر حجم خلل و فرج‌های مغزه، میزان اشباع اولیه آب حاصل گردید.

بعد از به دست آوردن اشباع اولیه آب به‌وسیله تزریق نفت مرده مخزن، مغزه از دستگاه خارج شد و درون یک ظرف پیرکس محتوی نمونه نفت‌خام مخزن قرار گرفت. ظرف سربسته به مدت ۳۰ روز درون آون در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. (به‌طور استاندارد عموماً دمای پیرشدگی حدود ۹۰ درجه سانتی‌گراد بوده که جهت پیرشدگی سریع‌تر می‌توان دما را افزایش داد). پس از انجام مراحل بالا برای مغزه موجود، مغزه، آماده انجام آزمایش بازیافت نفت شد.

۲-۶-۲- انجام آزمایش‌های بازیافت نفت

آزمایش‌های بازیافت نفت با فرآیند سیلاب‌زنی با آب و سیلاب‌زنی با محلول قلیا-سورفکتانت در نقطه بهینه غلظت صورت گرفت. ابتدا آب تزریق شد و پس از آنکه دیگر نفتی تولید نشد و خروجی فقط آب بود (میزان تزریق آب ۳/۵ حجم حفره بود)، ۲/۵ حجم حفره محلول قلیا-سورفکتانت به مغزه تزریق شد. نفت تولیدی با استفاده از یک دریافت‌کننده جزئی دریافت شد تا جایی که دیگر نفتی تولید نشد و

پانویس‌ها

1 Kumar

2 Sheng

3 Coconut diethanol amide

4 Alkylpolyglycosides

5 Alkylpropoxy sulfate sodium

6 Zhang

7 Liu

8 Alkyl benzene sulfonate

9 propoxylated ether sulfate

- Chemistry, 2018, 59, 286296-.
- [16] Zhang D. L., Liu S., Puerto M., Miller C. A., Hirasaki G. J., Wettability alteration and spontaneous imbibition in oil-wet carbonate formations, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2006, 52, 213226-.
- [17] Liu Q., Dong M., Ma S., Tu Y., Surfactant enhanced alkaline flooding for Western Canadian heavy oil recovery, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2007, 293, 63-71.
- [18] Chen L., Zhang G., Ge J., Jiang P., Tang J., Liu Y., Research of the heavy oil displacement mechanism by using alkaline/surfactant flooding system, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2013, 434, 63-71.
- [19] Chen Z., Han X., Kurnia I., Yu J., Zhang G., Li L., Adoption of phase behavior tests and negative salinity gradient concept to optimize Daqing oil field alkaline-surfactant-polymer flooding, *Fuel*, 2018, 232, 7180-.
- [۲۰] جباری، هادی؛ رضانی سعادت آبادی، احمد، بررسی آزمایشگاهی اثر پلیمر در حضور سورفکتانت بر بازده جاروب نفت از مسیرهای بسته، پژوهش نفت، ۱۳۹۲، ۷۴، ۸۷-۹۸.
- [21] Mahdavi S.Z., Aalaie J., Miri T., Razavi S.M.R., Rahmani M. R., Study of polyacrylamide-surfactant system on the water-oil interface properties and rheological properties for EOR, *Arabian Journal of Chemistry*, 2017, 10, 11361146-.
- [22] Fu L., Zhang G., Ge J., Liao K., Pei H., Jiang P., Li X., Study on organic alkali-surfactant-polymer flooding for enhanced ordinary heavy oil recovery, *Colloids and Surfactant A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2016, 508, 230239-.
- [23] Dang C., Nghiem L., Nguyen N., Yang C., Chen Z., Bae W., Modeling and optimization of alkaline-surfactant-polymer flooding and hybrid enhanced oil recovery processes, *Journal of Petroleum science and Engineering*, 2018, 169, 78601-.
- [24] Sharma H., Panthi K., Mohanty K. K., Surfactant-Less alkali-Cosolvent-Polymer floods for an acidic crude oil, *Fuel*, 2018, 215, 484491-.
- [25] Wu F., Hou J., Wang Z., Wa Y., Wang D., An enhanced oil recovery technique by targeted delivery ASP flooding, *Petroleum Exploration and Development*, 2018, 45, 321327-.
- [26] Lashkarbolooki M., Ayatollahi S., Riazi M., The Impacts of Aqueous Ions on Interfacial Tension and Wettability of an Asphaltenic-Acidic Crude Oil Reservoir Smart Water Injection, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2014, 59, 36243634-.
- [27] Kumar S., Saxena N. and Mandal A., Synthesis and evaluation of physicochemical properties of anionic polymeric surfactant derived from *Jatropha* oil for application in enhanced oil recovery, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2016, 43, 106116-.
- [۱] خداوردی سامانی، بهنام؛ عزت‌یار، پیمان؛ طباطبایی نژاد، علیرضا، بررسی آزمایشگاهی اثر فشار بر ازدیاد برداشت از مخازن نفت سنگین، اکتشاف و تولید نفت و گاز، ۱۳۹۶، ۱۵۱، ۷۷-۷۱.
- [2] Karousi O., Hamouda A. A., Macroscopic and nanoscale study of wettability alteration of oil-wet calcite surface in presence of magnesium and sulfate ions, *J. Colloid and interfaces science*, 2008, 317, 2634-.
- [3] Bagrezaei M. A., Pourafshay P., Improvement of Surfactant Flooding Performance by Application of Nanoparticles in Sandstone Reservoirs, *Journal of Japan Petroleum Institute*, 2015, 58, 97102-.
- [4] Chilinger G. V., Yen T. F., Some notes on wettability and relative permeability of carbonate reservoir rocks, *Energy Sources*, 2007, 7, 67-75.
- [5] Tadors T. F., *Applied Surfactants: Principles and Applications*, 2005.
- [6] Adibhatla B., Mohanty K. K., Oil Recovery from Fractured Carbonates by Surfactant - Aided Gravity Drainage: Laboratory Experiments and Mechanistic Simulations, *SPE Reservoir Elevation and Engineering*, 2008, 11, 119130-.
- [7] Kumar k., Dao E.K., Mohanty K.K., Atomic Force Microscopy Study of Wettability Alteration, *SPE International Symposium of Oilfield Chemistry, Texas*, 2005.
- [۸]. امانی، حسین، تولید بیوسورفکتانت‌های رامنولپید به منظور کاربرد در فرآیند ازدیاد برداشت نفت، نشریه شیمی و مهندسی شیمی، ۱۳۹۲، ۳۲: ۸۳-۷۳.
- [۹]. قجاوند، حسین؛ نورمحمد، علیرضا، ازدیاد برداشت نفت از سنگ‌های کربناته به وسیله آشام خود به خودی محلول‌های سورفکتانت، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، ۱۳۹۲، ۳۲: ۷۸-۶۹.
- [10] Agi A., Junin R., Shirazi R., Afeez G., Yekeen N., Comparative study of ultrasound assisted water and surfactant flooding, *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 2018.
- [11] Ko K.M., Chon B.H., Jang S.B., Jang H.Y., Surfactant flooding characteristics of dodecyl alkyl sulfate for enhanced oil recovery, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2014, 20, 228233-.
- [12] Sheng J.J., Status of surfactant EOR technology, *Petroleum*, 2015, 1, 97105-.
- [13] Iglauer S., Wu Y., Shuler P., Tang Y., goddard W.A., New surfactant classes for enhanced oil recovery and their tertiary oil recovery potential, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2010, 71, 2329-.
- [14] Olajire A.A., Review of ASP EOR (alkaline surfactant polymer enhanced oil recovery) technology in the petroleum industry: Prospects and challenges, *Energy*, 2014, 77, 963982-.
- [15] Saha R., Uppaluri R.V.S., Tiwari P., Influence of emulsification, interfacial tension, wettability alteration and saponification on residual oil recovery by alkali flooding, *Journal of Industrial and Engineering*