

بررسی آزمایشگاهی خواص فیزیکی و شیمیایی سیالات سبک وزن کلوئیدی گازی افرونی

امیر تبذر^{۱*}، محمد حسین غضنفری^۱

۱- ایران، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت

نویسنده مسئول، ایمیل: tabzar.amir@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۱

چکیده:

این مقاله خواص رئولوژی، پایداری و میزان هرزروی سیالات افرونی را ارائه می‌دهد. هشت مدل رئولوژیکی برای بررسی رفتار رئولوژی جریان سیالات افرونی به کار گرفته شده و مدل مناسب برای پیش‌بینی رفتار جریان سیال انتخاب شده است. آنالیز پایداری سیال با استفاده از روش اندازه‌گیری نرخ درین سیال افرونی بررسی شده است. سپس میزان هرزروی این سیالات توسط تست استاندارد API filtration بررسی گردیده است. همچنین پارامترهای مدل‌های رئولوژیکی مختلف مانند شاخص جریان سیال، سازگاری سیال و نقطه تسلیم تعیین می‌گردد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که وجود سورفکتانت‌های سدیم دودسیل سولفات و ستیل متیل تری آمونیوم بروماید باعث بهبود خواص سیالات حفاری افرونی شده است و سورفکتانت آنیونی سدیم دودسیل سولفات نسبت به سورفکتانت کاتیونی ستیل تری آمونیوم بروماید در بهبود خواص سیالات حفاری افرونی دارای عملکرد بهتری است.

کلمات کلیدی: سورفکتانت آنیونی و کاتیونی، سیال کلوئیدی گازی افرونی، رئولوژی، پایداری، هرزروی سیال حفاری افرونی.

۱- مقدمه

سازند و ریکاوری بالا بعد از شروع تولید از چاه، از مزیت‌های سیال افرونی هستند [۴]. پایداری میکرو حباب‌های پراکنده شده، یک پارامتر مهم از سیال افرونی برای داشتن یک عملکرد مناسب در عملیات حفاری است. جورجی و همکاران [۵] به بررسی پایداری افرون به عنوان تابعی از غلظت سورفکتانت پرداختند. نتایج حاصل از کارهای آنها نشان می‌دهد که با افزایش غلظت سورفکتانت پایداری افرون افزایش می‌یابد. سیو و پنگکار [۶] به بررسی نیمه عمر افرون با استفاده از نرخ درین پرداختند و اثر ویسکوزیته را بر آن بررسی کردند. آنها بیان کردند که افزایش ویسکوزیته نیمه عمر را افزایش می‌دهد زیرا افزایش ویسکوزیته نرخ درین را کاهش می‌دهد. جورندال و همکاران [۷] به بررسی پایداری افرون تحت شرایط و پارامترهای مختلف پرداختند. آنها بیان کردند که ویسکوزیته‌ی سیال پایه، اثر قابل توجهی بر پایداری دارد و افزایش ویسکوزیته سیال پایه، باعث پایداری بیشتر می‌گردد.

میکرو حباب‌های پراکنده شده به صورت سوسپانسیونی تعدادی از حباب‌های کروی شکل گاز هستند که توسط فیلم مایع صابونی در یک محلول آبی سورفکتانت محاصره شده‌اند [۱ و ۲]. سایز کوچک حباب‌ها (۲۵ تا ۱۰۰ میکرومتر) به سیال افرونی خاصیت کلوئیدی می‌دهد و به همین دلیل افرون گاز کلوئیدی نامیده می‌شود [۳ و ۱]. استفاده از سیالات افرونی در صنعت نفت به دلیل خواص مطلوب و ویژه به سرعت در حال گسترش است. استفاده از سیال افرونی به دلیل تشکیل یک سیال عاری از جامد، سازگار با محیط‌زیست و تشکیل پل در محیط متخلخل و شکافدار اطراف چاه که باعث کاهش عمق نفوذ سیال به درون سازند اطراف چاه و به حداقل رساندن کاهش آسیب به سازند می‌شود، مورد توجه قرار گرفته است. میکرو حباب‌های وارده شده به سازند به دلیل برگشت جریان مخزن با شروع تولید سریعاً برداشته می‌شوند و هزینه‌های ناشی از عملیات تحریک چاه کاهش می‌یابد. بالا بودن ظرفیت حمل سیال افرونی، حفاری در شرایط زیر تعادلی، نفوذ کم به درون





هرزروی سیال به درون محیط متخلخل سازند می‌تواند به مخزن آسیب وارد کند و قابلیت تولید را با بسته شدن مسیرهای حرکت هیدروکربن کاهش دهد. به همین دلیل باید به سیال حفاری، افزودنی‌های ویژه‌ای اضافه کرد تا با ایجاد فیلتر کیک اطراف چاه، هرزروی سیال به درون سازند کاهش یابد و آن را به تاخیر بیندازد [۸]. سریوسا و همکاران [۹] از ذرات نانو به عنوان افزودنی هرزروی سیال در یک سیال حفاری با پایه پلیمر-سورفکتانت استفاده کردند. نتایج حاصل از کار آنها نشان می‌دهد که ترکیب بایو پلیمر-سورفکتانت دارای خواص رئولوژی و هرزروی سیال بهتری نسبت به سیال با پایه پلیمری یا سیال با پایه سورفکتانتی است و غلظت سورفکتانت نقش مهمی در خواص هرزروی سیال بازی می‌کند و همچنین ذرات نانو، خواص سیال را جهت کنترل هرزروی سیال بهبود می‌بخشند. وانگ و همکاران [۱۰] به بررسی سیالات سورفکتانت ویسکوالاستیک پرداختند و برای سیال سورفکتانت ویسکوالاستیک، یک افزودنی کنترل هرزروی سیال برای بازه گسترده‌ای از دما و تراوایی توسعه دادند. آنها بیان کردند که با ایجاد یک شبه فیلتر کیک بروی محیط متخلخل، مقدار و نرخ هرزروی کاهش می‌یابد.

هدف اصلی از به‌کارگیری پارامترهای رئولوژی برای ارزیابی رفتار سیال حفاری، حل مشکلاتی مانند محاسبات هیدرولیکی، انتقال خرده‌های حفاری و تمیزکاری چاه می‌باشد [۱۱]. نرخ برش و استرس برشی، دو پارامتر مهم در تعیین رئولوژی هستند که با استفاده از رابطه‌ی آنها می‌توان رفتار جریان سیال را به‌دست آورد. ضیایی و همکاران [۴] به بررسی پارامترهای رئولوژیکی افرون با استفاده از مدل هرشل-باکلی پرداختند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل هرشل-باکلی به طور قابل قبولی رابطه‌ی بین نرخ برشی و استرس برشی را توضیح می‌دهد. همچنین بیان کردند که با استفاده از پلیمر و سورفکتانت طبیعی، خواص رئولوژیکی سیال افرونی بهبود می‌یابد. جورندال و همکاران [۱۲] به بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی افرون پرداختند و بیان کردند که با افزایش غلظت پلیمر، ویسکوزیته و چگالی سیال افرونی افزایش و هرزروی سیال کاهش می‌یابد. همچنین افزایش غلظت سورفکتانت، میزان هرزروی را کاهش داده ولی ویسکوزیته را افزایش می‌دهد.

در این مقاله خواص رئولوژی، پایداری و هرزروی سیالات حفاری افرونی با استفاده از پلیمرهای نشاسته و زانتان‌گام و سورفکتانت آنیونی سدیم دو دسیل سولفات و سورفکتانت کاتیونی ستیل تری متیل آمونیوم بروماید بررسی شده و

اثر غلظت سورفکتانت بر خواص سیالات افرونی نیز بررسی گردیده است و سپس رفتار رئولوژی سیالات افرونی با استفاده از مدل‌های رئولوژی مناسب مورد بررسی قرار گرفته است و مدل‌های مناسب برای پیش‌بینی رفتار جریان سیال مشخص شده‌اند.

۲- آزمایشات

۲-۱- مواد

دو ماده‌ی عمده که برای ساختن یک سیال افرونی به‌کار می‌روند شامل پلیمر و سورفکتانت هستند. پلیمرهای استفاده شده شامل نشاسته و زانتان‌گام هستند. پلیمر زانتان‌گام یک پلی‌ساکاراید طبیعی با وزن مولکولی بالا است که به عنوان افزایش‌دهنده‌ی ویسکوزیته و پایدارکننده استفاده می‌شود [۴ و ۷ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۶ و ۱۸ و ۲۳ و ۲۴]. بروکی [۱۳] بیان کرد که پلیمر زانتان‌گام موثرترین افزایش‌دهنده‌ی ویسکوزیته در پایداری سیالات حفاری افرونی می‌باشد. نشاسته‌ها، کربوهیدرات‌های با فرمول کلی $(C_6H_{10}O_5)_n$ هستند که از گندم، سیب زمینی، برنج و گیاهان و سبزیجات مشابه به‌دست می‌آیند [۴]. پلیمر نشاسته به عنوان مواد کنترل‌کننده‌ی هرزروی سیال حفاری به‌کار می‌رود. خاصیت ژلاتینی نشاسته، عهده‌دار توانایی کنترل ویسکوزیته و کنترل هرزروی سیال حفاری است [۱۴].

وجود سورفکتانت برای نگهداری حباب‌ها درون سیال افرونی مورد نیاز می‌باشد. برای این منظور از سورفکتانت‌های یونی سدیم دو دسیل سولفات و ستیل تری متیل آمونیوم بروماید استفاده شده است. اولین سورفکتانت استفاده شده، سدیم دو دسیل سولفات به عنوان یک سورفکتانت آنیونی است که به طور موثری توسط محققین زیادی استفاده شده است [۱۹ و ۲۰ و ۲۱]. عربلو و همکاران [۱۵] نشان دادند که این سورفکتانت به خوبی افرون‌های پایدار در سیال پایه ایجاد می‌کند. دومین سورفکتانت استفاده شده ستیل تری متیل آمونیوم بروماید است که یک سورفکتانت کاتیونی قابل حل در آب است.

۲-۲- آماده‌سازی سیال افرونی

سیال پایه با استفاده از مخلوط کردن آب مقطر، نشاسته و پلیمر زانتان‌گام در ۸۰۰۰ RPM آماده می‌شود و سپس توسط روش ارائه شده توسط عربلو و همکاران [۱۶] با استفاده از یکی از دو سورفکتانت سدیم دو دسیل سولفات یا ستیل تری متیل آمونیوم بروماید افرونی می‌شود.

۲-۳- فرمول بندی تست‌های انجام شده

صورت نگرفته است.

جدول ۱ غلظت پلیمر و سورفکتانت استفاده شده در انجام تست‌های مختلف برای سه آزمایش رئولوژی، فیلتر پرس و پایداری را نشان می‌دهد. غلظت پلیمر در تست‌های رئولوژی، پایداری و هرزروی ثابت است ولی غلظت سورفکتانت متغیر است. غلظت پلیمر XG در تست پایداری نسبت به تست‌های رئولوژی و هرزروی جهت بررسی بهتر و واضح‌تر پایداری سیال افرونی کمتر است. در تست‌های پایداری، رئولوژی و هرزروی، غلظت پلیمر جهت بررسی اثر سورفکتانت بر سیال افرونی متغیر است. تست‌های مربوط به رئولوژی با سورفکتانت ستیل تری متیل آمونیوم بروماید به دلیل نداشتن پایداری کافی

۲-۴- آزمایشات مربوط به پایداری سیالات

برای داشتن یک عملیات حفاری مؤثر و مفید، سیال افرونی باید پایداری لازم را داشته باشد تا بتواند با حفظ حباب‌ها در جلوی سازند پل بزند و مانع از ورود سیال به درون سازند شود [۱۳]. در این مقاله پایداری سیال افرونی توسط اندازه‌گیری نرخ درین در شرایط اتمسفری آنالیز می‌شود در این روش ۲۵۰ میلی‌لیتر از سیال درون یک استوانه‌ی مدرج ریخته می‌شود و حجم مایع درین شده تحت شرایط اتمسفری با زمان اندازه گرفته می‌شود.

جدول ۱: غلظت پلیمر و سورفکتانت در تست‌های رئولوژی، پایداری و هرزروی سیالات حفاری افرونی

مواد	تست رئولوژی (w/v) %			تست رئولوژی (w/v) %			تست رئولوژی (w/v) %		
نشاسته	۲.۸۵۷			۲.۸۵۷			۲.۸۵۷		
زانتان گام	۰.۱۴۳			۰.۵۷۱			۰.۱۴۳		
سدیم دو دسیل سولفات	۰.۴۲۹	۰.۲۸۶	۰.۱۴۳	۰.۵۷۱	۰.۱۴۳	۰.۲۸۶	۰	۰.۵۷۱	۰.۴۲۹
ستیل تری متیل آمونیوم بروماید	-			۰.۵۷۱	۰.۱۴۳	۰.۲۸۶	۰	۰.۵۷۱	۰.۴۲۹

۲-۵- آزمایشات مربوط به هرزروی سیالات

۳- بحث و نتایج

۳-۱- پایداری سیالات

پایداری سیالات حفاری افرونی به صورت توانایی مقاومت سیال در برابر تغییر اندازه حباب‌ها، محتوی مایع و یا درجه‌ی پراکندگی تعریف می‌شود. به دلیل تفاوت چگالی بین حباب‌ها و محلول، حباب‌ها به سمت بالا و مایع به سمت پایین درین می‌شود و تشکیل دو فاز می‌دهند. در این جا به منظور بررسی همگن بودن سیال افرونی با زمان، آزمایشات مربوط به درین در حالت استاتیک انجام شده است. نتایج آزمایشگاهی تست پایداری در شکل‌های ۱ تا ۳ رسم شده‌اند. غلظت سورفکتانت و همچنین نوع سورفکتانت دارای اثر مهمی بر پایداری سیال افرونی است. همانطور که در این شکل‌ها دیده می‌شود در زمان‌های اولیه، حباب‌های افرونی دارای ناپایداری بیشتری نسبت به زمان‌های نهایی هستند و پس از یک مدت زمان خاص، ارتفاع مایع درین شده به یک مقدار ثابت می‌رسد. شکل ۱ نشان دهنده‌ی نرخ درین مایع برای پلیمر XG و غلظت‌های مختلف سورفکتانت SDS است. همانطور که در

در یک عملیات حفاری باید میزان هرزروی سیال حفاری به کمترین میزان ممکن برسد به این منظور آزمایشات مربوط به هرزروی سیال حفاری توسط افرون با استفاده از دستگاه فیلتر پرس تحت فشار ۱۰۰ psi و دمای اتاق انجام شده است. این آزمایشات در مدت زمان ۳۰ دقیقه صورت می‌گیرد و حجم سیال فیلتر شده حفاری به طور پیوسته در این مدت ثبت می‌شود.

۲-۶- آزمایشات مربوط به رئولوژی سیالات

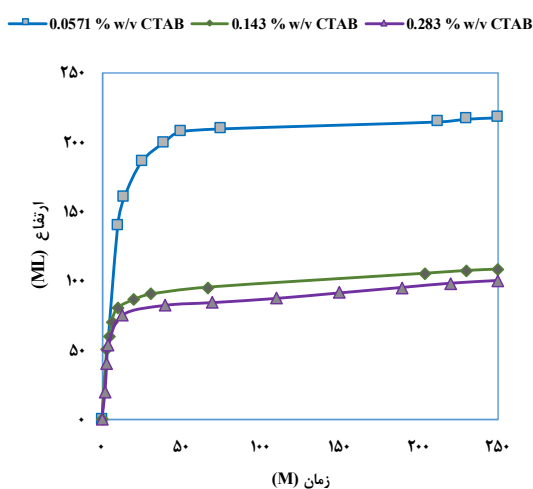
با اندازه‌گیری نرخ برشی و استرس برشی و با استفاده از مدل‌های رئولوژی ریاضی می‌توان رفتار جریان سیال را پیش‌بینی کرد. ویسکوزیته، نرخ برشی و استرس برشی سیال افرونی با استفاده از ویسکومتر دیجیتال بروکفیلد مدل آر-وی اندازه‌گیری شده‌اند و سپس با استفاده از مدل‌های ریاضی مختلف، رفتار جریان سیال بررسی می‌شود و مدل‌های مناسب انتخاب می‌شوند.



می‌گیرد. در زمان‌های اولیه سورفکتانت CTAB با سرعت بیشتری ناپایدار می‌شود و سریعاً به میزان نهایی مایع درین شده می‌رسد. میزان مایع درین شده پس از گذشت زمان ۲۵۰ دقیقه برای سورفکتانت CTAB $0.0571\% \text{ w/v}$ به ۲۱۸ میلی‌لیتر می‌رسد در صورتیکه پس از مدت زمان ۲۵۰ دقیقه، این میزان برای سورفکتانت SDS $0.0571\% \text{ w/v}$ به ۷۸ میلی‌لیتر می‌رسد و به میزان ۶۴ درصد پایداری سیال را نسبت به سورفکتانت CTAB بهبود می‌بخشد. و در غلظت $0.286\% \text{ w/v}$ سورفکتانت، میزان بهبود پایداری برای سورفکتانت SDS نسبت به سورفکتانت CTAB، ۸۱ درصد است.

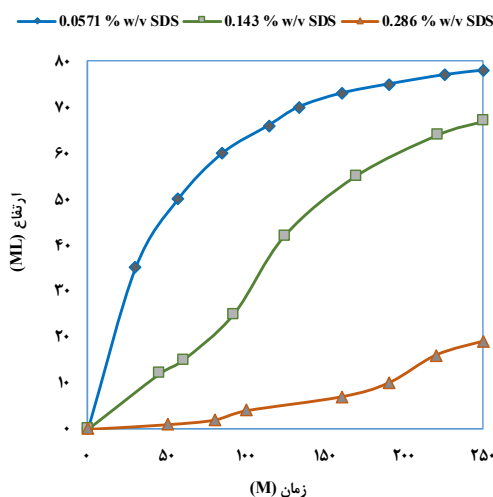
۳-۲- هرزروی سیالات

تست API filtration، به منظور بررسی عملکرد سیال افرونی در کاهش حجم سیال وارد شده به سازند، انجام شده است. اثرات نوع غلظت سورفکتانت بر میزان هرزروی سیال در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است. اثر حباب‌های افرونی در کاهش هرزروی سیال مهم و با ارزش است. شکل ۴ نشان دهنده اثر غلظت SDS بر هرزروی سیال افرونی با پلیمر XG است. همانطور که دیده می‌شود با افزایش غلظت سورفکتانت SDS، هرزروی سیال کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش مقدار سورفکتانت، تعداد حباب‌های موجود در سیال افرونی زیاد می‌شود و این تعداد زیاد حباب، با تجمع در جلوی محیط متخلخل، مانع از ورود سریع و زیاد سیال به درون محیط متخلخل می‌شود. با افزایش غلظت سورفکتانت SDS به $0.143\% \text{ w/v}$ و $0.286\% \text{ w/v}$ ، میزان هرزروی نسبت به سیال پایه به ترتیب $26/83$ و $59/5$ درصد کاهش می‌یابد.



شکل ۲- اثر غلظت CTAB بر نرخ درین سیال افرونی

شکل ۱ دیده می‌شود با افزایش مقدار سورفکتانت SDS، ارتفاع مایع درین شده کاهش و میزان پایداری افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش میزان SDS تعداد حباب‌های بیشتری درون سیال شکل می‌گیرد و میزان مایعی که باید درین شود کاهش می‌یابد. همچنین ویسکوزیته‌ی سیال نیز افزایش می‌یابد که باعث پایداری سیال و نگهداری حباب‌ها می‌شود زیرا سیال با ویسکوزیته‌ی بالا، جریان هیدرودینامیکی اطراف حباب‌های افرونی را که توسط نیروهای بویانسی ایجاد می‌شوند، به تاخیر می‌اندازد [۱۶]. با افزایش غلظت سورفکتانت SDS به $0.143\% \text{ w/v}$ و $0.286\% \text{ w/v}$ ، میزان پایداری نسبت به سیال $0.0571\% \text{ w/v}$ به ترتیب $12/64$ و $75/64\%$ افزایش می‌یابد.

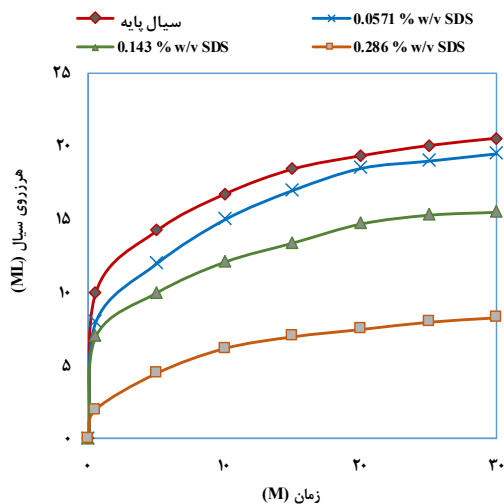


شکل ۱- اثر غلظت SDS بر نرخ درین سیال افرونی

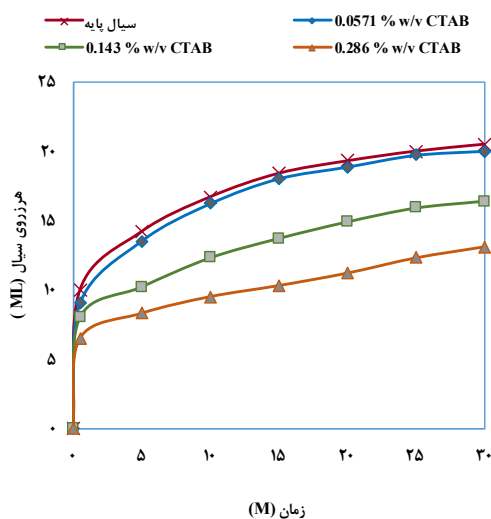
شکل ۲ نشان دهنده نرخ درین مایع برای پلیمر XG و غلظت‌های متفاوت سورفکتانت CTAB است که با افزایش غلظت سورفکتانت، پایداری سیال نیز افزایش می‌یابد. تغییر غلظت CTAB از $0.143\% \text{ w/v}$ به $0.286\% \text{ w/v}$ اثر زیادی بر میزان پایداری نداشته ولی در غلظت‌های پایین‌تر میزان اثرگذاری سورفکتانت بیشتر است. با افزایش غلظت سورفکتانت CTAB به $0.143\% \text{ w/v}$ و $0.286\% \text{ w/v}$ میزان پایداری نسبت به سیال با غلظت سورفکتانت $0.0571\% \text{ w/v}$ به ترتیب $50/46$ و $54/13$ درصد افزایش می‌یابد.

شکل ۳ نشان دهنده نرخ درین مایع برای دو سورفکتانت SDS و CTAB برای پلیمر XG است. سورفکتانت SDS پایداری بیشتری نسبت به سورفکتانت CTAB ایجاد می‌کند. میزان مایع درین شده برای سورفکتانت SDS در زمان‌های اولیه با نرخ کندتری نسبت به سورفکتانت CTAB صورت

جوردالن و کورو [۱۲] از دو سورفکتانت HTAB و DDBS و پلیمر XG در مطالعات خود استفاده کردند. نتایج حاصل از تست API filtration توسط آنها نشان می‌دهد که برای سورفکتانت DDBS میزان هرزروی بالا و قابل ملاحظه بوده و میزان هرزروی برای سورفکتانت HTAB به مراتب کمتر است. اما آنها در سیال مربوط به سورفکتانت HTAB مقداری رسوب جامد مشاهده کردند که ناشی از واکنش بین پلیمر و سورفکتانت بود و کاهش هرزروی بالا ناشی از رسوب مواد جامد تشکیل شده بود.

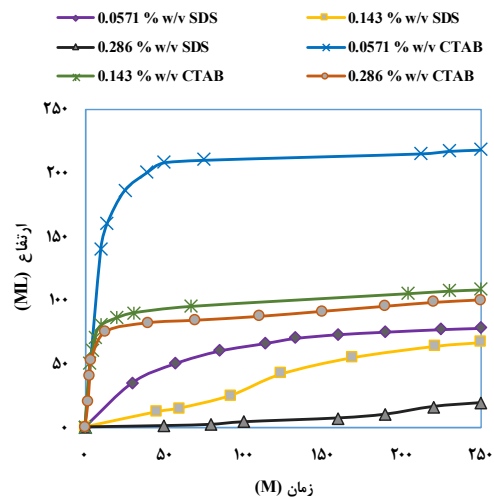


شکل ۳- مقایسه غلظت SDS و CTAB بر نرخ درین سیال



شکل ۴- اثر غلظت SDS بر هرزروی سیال افرونی

شکل ۵- اثر غلظت CTAB بر هرزروی سیال افرونی



شکل ۵- نشان دهندهی اثر غلظت سورفکتانت CTAB بر هرزروی سیال افرونی با پلیمر XG است. همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش غلظت سورفکتانت، میزان هرزروی به دلیل زیاد بودن تعداد حباب‌های افرونی کاهش می‌یابد. با افزایش غلظت سورفکتانت CTAB به ۰/۱۴۳٪ w/v و ۰/۲۸۶٪ w/v، میزان هرزروی نسبت به سیال پایه به ترتیب ۲۰ و ۳۶/۱ درصد کاهش می‌یابد.

شکل ۶ نشان دهندهی اثر دو سورفکتانت SDS و CTAB بر هرزروی سیال افرونی با پلیمر XG است. در غلظت‌های پایین سورفکتانت، اثر هر دو سورفکتانت بر هرزروی سیال تقریباً یکسان است ولی در غلظت ۰/۲۸۶٪ w/v سورفکتانت، اثر سورفکتانت SDS بیشتر از سورفکتانت CTAB است و میزان هرزروی را به نسبت ۳۶/۶ درصد کاهش می‌دهد. هرزروی سیال افرونی در مقایسه با سیال پایه، قابل مقایسه و مهم است. وجود پلیمر در سیال حفاری برای ایجاد پایداری حباب‌ها ضروری است. زیرا نه تنها یک محیط مناسب برای تشکیل افرون و نگه داشتن آنها ایجاد می‌کند بلکه باعث ایجاد یک مقاومت بالا در برابر جریان یافتن سیال می‌شود که باعث جلوگیری از هرزروی زیاد اولیه سیال حفاری افرونی می‌شود [۱۲]. سیال حفاری افرونی با تعداد حباب‌های بیشتر، در هرزروی اولیهی سیال بسیار مؤثر و مفید است زیرا سیال با غلظت بالای سورفکتانت، باعث ایجاد حباب‌های بزرگتر و بیشتر می‌شود که این حباب‌ها به خوبی از ورود سیال به درون سازند جلوگیری، و به عنوان یک مانع عمل می‌کنند.

شکل ۶ نشان دهندهی اثر دو سورفکتانت SDS و CTAB بر هرزروی سیال افرونی با پلیمر XG است. در غلظت‌های پایین سورفکتانت، اثر هر دو سورفکتانت بر هرزروی سیال تقریباً یکسان است ولی در غلظت ۰/۲۸۶٪ w/v سورفکتانت، اثر سورفکتانت SDS بیشتر از سورفکتانت CTAB است و میزان هرزروی را به نسبت ۳۶/۶ درصد کاهش می‌دهد. هرزروی سیال افرونی در مقایسه با سیال پایه، قابل مقایسه و مهم است. وجود پلیمر در سیال حفاری برای ایجاد پایداری حباب‌ها ضروری است. زیرا نه تنها یک محیط مناسب برای تشکیل افرون و نگه داشتن آنها ایجاد می‌کند بلکه باعث ایجاد یک مقاومت بالا در برابر جریان یافتن سیال می‌شود که باعث جلوگیری از هرزروی زیاد اولیه سیال حفاری افرونی می‌شود [۱۲]. سیال حفاری افرونی با تعداد حباب‌های بیشتر، در هرزروی اولیهی سیال بسیار مؤثر و مفید است زیرا سیال با غلظت بالای سورفکتانت، باعث ایجاد حباب‌های بزرگتر و بیشتر می‌شود که این حباب‌ها به خوبی از ورود سیال به درون سازند جلوگیری، و به عنوان یک مانع عمل می‌کنند.

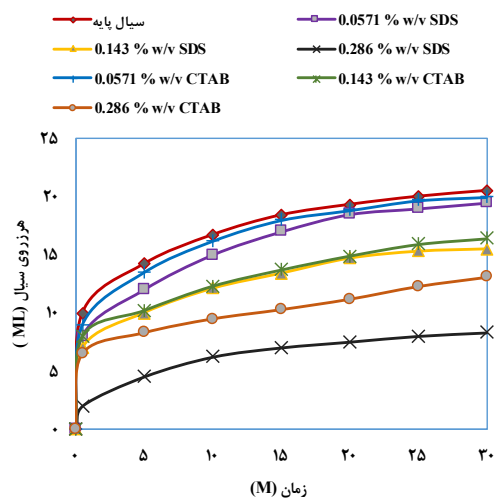


آمده برای پلیمر و سورفکتانت‌های مختلف بین استرس برشی و نرخ برشی یک رابطه‌ی غیرخطی است که نشان دهنده‌ی یک سیال شبه پلاستیک است. در این قسمت، از نتایج مربوط به سورفکتانت CTAB به دلیل نداشتن پایداری مناسب در زمان انجام تست‌های رئولوژی خودداری شده است. هشت مدل رئولوژیکی بینگهام پلاستیک، پاور لاء، کاسون، سیسکو، رابرتسون-استیف، هرشل-باکلی، وکادلو و میژاری-برک برای بررسی رابطه‌ی بین نرخ برشی و استرس برشی به کار گرفته شده است. ویسکوزیته‌ی سیالات حفاری باید در نرخ‌های برشی پایین، به اندازه‌ی کافی بالا باشد تا بتواند خرده‌های حفاری را از ته چاه تا سطح زمین معلق و حمل کند و همچنین در نرخ‌های برشی بالا، ویسکوزیته باید به اندازه‌ی کافی پایین باشد تا سیال به راحتی جریان یابد.

جدول ۲، داده‌های حاصل از تست‌های آزمایشگاهی رئولوژی برای پلیمر XG و غلظت‌های مختلف سورفکتانت SDS را نشان می‌دهد که مدل‌های رئولوژیکی مختلف بر اساس این داده‌ها متناسب شده‌اند و پارامترهای هر مدل نیز به دست آمده است که در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲: استرس برشی به عنوان تابعی از نرخ برشی بر اساس غلظت‌های مختلف SDS

نرخ برشی (1/s)		استرس برشی (Pa)			
		غلظت SDS			
	سیال پایه	۰.۰۵۷۱ % w/v	۰.۱۴۳ % w/v	۰.۲۸۶ % w/v	۰.۴۲۹ % w/v
۰.۳۲	۲۱.۳	۲۱.۳۴	۲۳.۰۵	۲۵.۲۹	۲۷.۲۹
۰.۵۴	۲۲.۹۴	۲۳.۵۹	۲۵.۵	۲۷.۷۴	۲۹.۵۳
۰.۶۴	۲۳.۵۸	۲۴.۳۳	۲۶.۲۵	۲۸.۶	۳۰.۶
۱.۰۷	۲۵.۵	۲۶.۸۹	۲۹.۲۴	۳۲.۱۲	۳۳.۹
۱.۶۱	۲۷.۱	۲۸.۹۲	۳۱.۴۸	۳۵.۲۱	۳۶.۸۹
۲.۱۴	۲۸.۲۸	۳۰.۲۳	۳۲.۹۷	۳۷.۴۵	۳۹.۰۱
۲.۶۸	۲۹.۳۴	۳۰.۹۴	۳۴.۰۴	۳۹.۳۷	۴۰.۶۳
۳.۲۱	۳۰.۸۳	۳۱.۹	۳۵	۴۰.۸۷	۴۱.۹۱
۴.۲۸	۳۲.۰۱	۳۳.۰۸	۳۵.۶۴	۴۳.۶۴	۴۴.۵۷
۵.۳۵	۳۳.۰۷	۳۴.۲۵	۳۶.۸	۴۵.۳۵	۴۶.۵
۶.۴۲	۳۳.۷۲	۳۴.۴۶	۳۷.۷	۴۶.۹۵	۴۷.۸۸
۱۰.۷	۳۶.۶	۳۷.۸۸	۴۱.۶۱	۵۲.۷۱	۵۳.۶۷
۱۲.۸۴	۳۷.۴۵	۳۹.۲۷	۴۲.۱۵	۵۴.۹۵	۵۵.۶۷
۲۱.۴	۴۱.۰۸	۴۲.۸۹	۴۵.۸۸	۶۱.۸۹	۶۲.۲۹
۳۲.۱	۴۳.۷۵	۴۶.۴۱	۴۸.۰۲	۶۸.۰۷	۷۱.۱۵۴
۵۳.۵	۴۶.۹۵	۵۱.۲۲	۵۴.۴۲	۷۷.۱۴	۷۹.۳۴
۶۴.۲	۴۸.۰۲	۵۲.۶	۵۶.۵۵	۸۰.۰۳	۸۲.۴۶
۱۰۷	۵۲.۲۸	۶۲	۶۴.۱۳	۸۹.۷۳	۹۱.۲۵

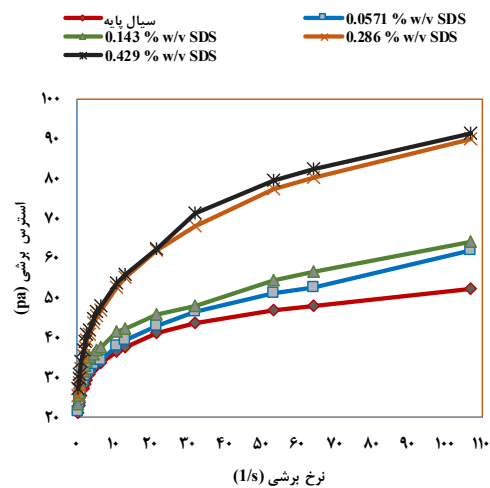


شکل ۶ - مقایسه غلظت SDS و CTAB بر هرزروی سیال افرونی

۳-۳ - رئولوژی سیالات

خواص رئولوژی سیال افرونی با استفاده از ویسکومتر دیجیتالی بروکفیلد (مدل آر وی) به دست آمده است. رابطه‌ی به دست

شکل ۷ نشان دهنده‌ی اثر غلظت سورفکتانت SDS بر رفتار رئولوژیکی سیال افرونی با پلیمر XG است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت سورفکتانت، در نتیجه‌ی اعمال نرخ برشی، استرس برشی نیز افزایش پیدا می‌کند. جدول ۲ و شکل ۷ نشان می‌دهند که استرس‌های به‌وجود آمده در نتیجه‌ی اعمال نرخ برشی، تمایل به زیاد شدن با افزایش غلظت سورفکتانت دارند. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، افزایش غلظت سورفکتانت SDS از w/v ۰/۲۸۶٪ به ۰/۵۷۱٪، w/v ۰/۱۴۳٪ و همچنین از w/v ۰/۲۸۶٪ به w/v ۰/۴۲۹٪، تاثیر زیادی بر روی افزایش استرس برشی نداشته ولی افزایش غلظت SDS از w/v ۰/۱۴۳٪ به w/v ۰/۲۸۶٪ باعث افزایش استرس برشی به میزان ۴۰ درصد شده است.



شکل ۷- اثر غلظت SDS بر خواص رئولوژی سیالات حفاری افرونی

جدول ۳ پارامترهای حاصل از متناسب کردن داده‌های آزمایشگاهی برای هشت مدل رئولوژیکی مختلف برای سورفکتانت SDS و پلیمر XG را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج ارائه شده، اولین مدل به‌کار گرفته شده، مدل بینگهام پلاستیک است که به‌طور ضعیفی عمل کرده و قادر به تخمین داده‌های آزمایشگاهی نیست. رابطه‌ی بین استرس برشی و نرخ برشی خطی نیست زیرا به‌دلیل وجود حباب در سیال، سیال دارای خواص پیچیده‌ای بوده که نیاز به مدل‌های دقیق‌تری است. همچنین مدل کاسون دارای عملکرد ضعیفی در متناسب کردن داده‌های آزمایشگاهی است، هر چند که از رابطه‌ی غیرخطی استفاده می‌کند. هر چند که مقدار R^2 بالا

است ولی مقدار RMSE و AARE نیز بالا هستند. مدل پاور لا رفتار رئولوژی سیال را بهتر از دو مدل بینگهام پلاستیک و کاسون مدل می‌کند. خطای کم برآورد کردن رفتار رئولوژی مدل پاورلا، ناشی از نبود پارامتر نقطه‌ی تسلیم در این مدل است [۱۷]. همچنین همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود مدل‌های هرشل باکلی، رابرتسون-استیف، سیسکو و میژاری-برک در توضیح رفتار رئولوژیکی سیال افرونی در غلظت‌های مختلف سورفکتانت، دارای دقت خوب و تقریباً یکسانی هستند ولی مدل وکادلو در توضیح رفتار سیال به‌خوبی عمل نکرده است. مقدار بالای R^2 و همچنین مقادیر پایین AARE و RMSE نشان دهنده‌ی دقت و برتری این چهار مدل بیان شده در توضیح رفتار رئولوژی سیال افرونی است و همچنین به دلیل داشتن سه پارامتر، بهتر از مدل‌های دو پارامتری مانند بینگهام پلاستیک و کاسون عمل می‌کنند. همچنین می‌توان مشاهده کرد که در هر غلظت معین، یکی از مدل‌های ذکر شده نسبت به بقیه مدل‌ها، دارای دقت بیشتری است. در SDS w/v ۰/۴۲۹٪، برای پلیمر XG، مدل میژاری-برک دارای بیشترین دقت است و در SDS w/v ۰/۱۴۳٪ برای پلیمر XG مدل سیسکو دارای بیشترین دقت است.

شکل ۸، منحنی حاصل از اثر غلظت سورفکتانت SDS بر ویسکوزیته‌ی سیال افرونی با پلیمر XG بر اساس نرخ برش را نشان می‌دهد. افرون خاصیت نرخ برشی پوابین ویسکوزیته را بهبود می‌بخشد. با افزایش غلظت سورفکتانت، تعداد حباب‌ها افزایش می‌یابد که باعث افزایش نیروهای بین مولکولی می‌گردد و ویسکوزیته را افزایش می‌دهد. بالا بودن ویسکوزیته در نرخ‌های برشی پایین، برای معلق نگه‌داشتن خرده‌های حفاری مهم است و همچنین پایین بودن ویسکوزیته در نرخ‌های برشی بالا برای جریان یافتن آسان‌تر سیال مهم است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت سورفکتانت SDS برای پلیمر XG، ویسکوزیته افزایش می‌یابد و خواص رئولوژیکی سیال افرونی را بهبود می‌بخشد. در SDS w/v ۰/۴۲۹٪، برای پلیمر XG، میزان ویسکوزیته نسبت به سیال پایه ۲۱/۵ درصد افزایش می‌یابد که وجود سورفکتانت SDS، رئولوژی سیال افرونی را بهبود بخشیده و ویسکوزیته را به مقدار قابل قبولی افزایش داده است.



جدول ۳: مدل رئولوژیکی برای سیال افرونی با پارامترهای مدل‌های مختلف

مدل‌های رئولوژیکی	پارامتر	سیال پایه	۰.۰۵۷۱ % w/v SDS	۰.۱۴۳ % w/v SDS	۰.۲۸۶ % w/v SDS	۰.۴۲۹ % w/v SDS
BINGHAM-PLASTIC	τ_0	۲۸.۹۹	۲۹.۷۸	۲۹.۹۲	۳۸.۲۸	۳۹.۶۸
	η	۰.۲۷۸۲	۰.۳۵۱۸	۰.۳۴۹۶	۰.۶۰۰۲	۰.۶۰۶۸
	R^2	۰.۷۶۲۵	۰.۸۴۸۵	۰.۸۵۸	۰.۸۲۴۱	۰.۸۳۲۲
	AARE	۳۴۳.۹	۳۱۵.۱	۲۸۸.۶	۱۰۹۷	۱۰۵۹
	RMSE	۴.۳۶۳	۴.۴۳۸	۴.۳۴۷	۸.۲۸	۸.۱۳۶
POWER LAW	K	۲۵.۳۳	۲۵.۷۲	۲۵.۹	۳۱.۴۴	۳۲.۷۶
	N	۰.۱۵۵۴	۰.۱۷۶۱	۰.۱۷۳۹	۰.۲۲۳۵	۰.۲۱۸۸
	R^2	۰.۹۹۹۴	۰.۹۸۹۱	۰.۹۸۷	۰.۹۹۹۴	۰.۹۹۹۹
	AARE	۰.۸۴۹۲	۲۲.۷۲	۲۶.۳۲	۳.۶۱	۱۹.۳۱
	RMSE	۰.۲۳۰۴	۱.۱۹۲	۱.۲۸۳	۰.۴۷۵	۱.۰۹۹
HERSCHEL-BULKLEY	τ_0	۳.۰۴E-۸	۱۲.۸۶	۱۵.۱۲	۵.۱۱۳	۱۰.۲۶
	K	۲۵.۳۳	۱۳.۳۵	۱۱.۴۱	۲۶.۹۵	۲۳.۰۶
	N	۰.۱۵۵۴	۰.۲۷۰۳	۰.۲۹۶۵	۰.۲۴۸۴	۰.۲۷۲
	R^2	۰.۹۹۹۴	۰.۹۹۳۹	۰.۹۹۵۱	۰.۹۹۹۸	۰.۹۹۸۷
	AARE	۰.۸۴۹۲	۱۲.۶۳	۹.۹۷۳	۲.۲۶۲	۸.۴۰۹
	RMSE	۰.۲۳۹۷	۰.۹۱۷۸	۰.۸۱۵۴	۰.۲۹۰۱	۰.۷۴۸۷
CASSON	τ_0	۴.۹۹۴	۵.۰۱	۵.۰۲۶	۵.۵۸۴	۵.۶۶۲
	K	۰.۲۴۶۲	۰.۲۹۲۲	۰.۲۸۹۸	۰.۴۲۱۸	۰.۴۲۰۲
	R^2	۰.۹۰۸۵	۰.۹۵۳۸	۰.۹۶۰۵	۰.۹۳۶۲	۰.۹۴۶۱
	AARE	۱۳۲.۴	۹۶.۱۲	۸۰.۱۷	۳۷۴.۳	۳۴۰.۴
	RMSE	۲.۸۷۷	۲.۴۵۱	۲.۲۸۳	۴.۸۳۷	۴.۶۱۲
SISKO	A	۲.۸۶E-۱۲	۰.۰۸۹۰۹	۰.۰۹۹۴۹	۰.۰۳۳۴۴	۰.۰۶۰۶
	B	۲۵.۳۳	۲۶.۳	۲۶.۵۶	۳۱.۶۵	۳۳.۱۴
	N	۰.۱۵۵۴	۰.۱۴۴۷	۰.۱۳۸۶	۰.۲۱۵۵	۰.۲۰۴۴
	R^2	۰.۹۹۹۴	۰.۹۹۷۶	۰.۹۹۹۱	۰.۹۹۹۷	۰.۹۹۷۹
	AARE	۰.۸۴۹۲	۵.۰۶۴	۳.۹۵۹	۱.۸۶۶	۱۳.۳۸
	RMSE	۰.۲۳۰۴	۰.۵۸۱۱	۰.۵۱۳۸	۰.۳۵۲۷	۰.۹۴۴۵
ROBERSON-STIFF	K	۲۵.۳۳	۲۴.۶۳	۲۴.۰۸	۳۰.۸۸	۳۱.۶۲
	γ_0	۷.۱۶E-۱۲	۰.۲۹۸۵	۰.۵۴۶	۰.۱۰۰۹	۰.۲۶۷
	R^2	۰.۱۵۵۴	۰.۱۸۷۷	۰.۱۹۳۳	۰.۲۲۸۳	۰.۲۳۰۵
	AARE	۰.۹۹۹۴	۰.۹۹۰۹	۰.۹۹۲	۰.۹۹۹۷	۰.۹۹۸۶
	RMSE	۰.۸۴۹۲	۱۸.۸۷	۱۶.۲	۱.۶۵۸	۸.۹۲۹
		۰.۲۳۰۴	۱.۱۲۱	۱.۰۳۹	۰.۳۳۲۵	۰.۷۷۱۵
VOCADLO	τ_0	۲۶.۰۸	۲۶	۲۶.۵۷	۳۱.۰۲	۳۲.۶۸
	K	۹۵۴۲	۱.۲۴E ۴	۱.۲۴E ۴	۱.۵۳E ۴	۱.۵۵E ۴
	N	۰.۲۹۰۵	۰.۲۹۳۳	۲.۹۳E-۱	۰.۳۱۷۹	۰.۳۱۹
	R^2	۰.۹۰۸۴	۰.۹۵۸۴	۰.۹۶۴۲	۰.۹۶۵۲	۰.۹۷۲۳
	AARE	۱۳۲.۷	۸۶.۵۸	۷۲.۸	۱۹۱.۴	۱۷۴.۹
	RMSE	۲.۹۷۴	۲.۴۰۳	۲.۲	۳.۵۷۲	۳.۴۱۴
MIZHARI-BERK	τ_0	۳.۰۶E-۶	۳.۲۳۷	۳.۵۹۸	۱.۳۴۱	۲.۳۹۸
	K	۵.۰۳۲	۱.۸۸۶	۱.۵۵۶	۴.۲۹۱	۳.۳۷۵
	N	۰.۰۷۷۷۱	۰.۱۸۷۲	۰.۲۱۱۴	۰.۱۳۷۳	۰.۱۶۲۸
	R^2	۰.۹۹۹۴	۰.۹۹۴۴	۰.۹۹۵۵	۰.۹۹۹۸	۰.۹۹۸۶
	AARE	۰.۸۴۹۳	۱۱.۶۹	۹.۱۰۷	۱.۲۶	۸.۷۳
	RMSE	۰.۲۳۷۹	۰.۸۸۲۹	۰.۷۷۹۲	۰.۲۸۹۸	۰.۷۶۲۹



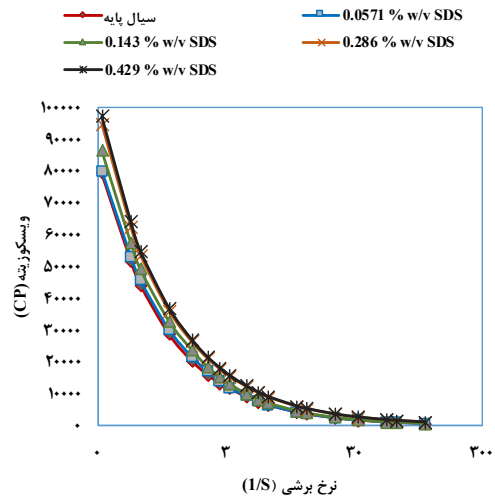


افزایش غلظت سورفکتانت SDS و CTAB برای پلیمر XG باعث افزایش پایداری سیال افرونی شده و نرخ از بین رفتگی سیال را کاهش می دهد. برای پلیمر XG میزان بهبود پایداری سیال افرونی توسط سورفکتانت SDS بیشتر است و در کل ترکیب سورفکتانت SDS و پلیمر XG دارای قدرت بیشتری نسبت به سورفکتانت CTAB و پلیمر XG در بهبود پایداری سیال افرونی است.

افزایش غلظت سورفکتانت SDS و CTAB برای پلیمر XG، باعث کاهش میزان هرزروی سیال افرونی می شود و هرزروی سریع و اولیه سیال افرونی را کاهش می دهد. برای پلیمر XG، میزان کاهش هرزروی سیال افرونی توسط سورفکتانت SDS بهتر و بیشتر بوده و ترکیب سورفکتانت SDS و پلیمر XG دارای عملکرد بهتری نسبت به سورفکتانت CTAB و پلیمر XG در بهبود کاهش هرزروی سیال افرونی است.

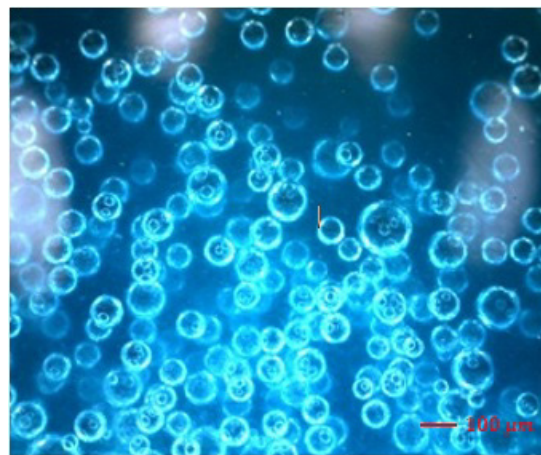
استرس برشی وارد شده به سیال در اثر اعمال نرخ برشی با افزایش غلظت سورفکتانت، افزایش می یابد و خاصیت نرخ برشی پائین ویسکوزیته سیال افرونی را بهبود می بخشد. اثر سورفکتانت SDS برای پلیمر XG بیشتر از سورفکتانت CTAB بوده و ترکیب پلیمر XG و سورفکتانت SDS دارای قدرت بیشتری در بهبود خواص سیال است.

داده های آزمایشگاهی با استفاده از هشت مدل مختلف متناسب شده اند که مدل های دو پارامتری بینگهام پلاستیک و کاسون به طور ضعیفی رفتار رئولوژیکی سیال را شبیه سازی کرده اند ولی مدل پاور لا در مقایسه با دو مدل بینگهام پلاستیک و مدل کاسون بهتر عمل کرده است. مدل های هرشل باکلی، رابرتسون-استیف، سیسکو و میژاری-برک در توضیح رفتار رئولوژیکی سیال افرونی در غلظت های مختلف سورفکتانت، دارای دقت خوب و تقریباً یکسانی هستند ولی مدل وکادلو به عنوان یک مدل سه پارامتری در توضیح رفتار سیال به خوبی عمل نکرده است.



شکل ۸- اثر غلظت SDS بر ویسکوزیته سیال افرونی

شکل ۹ سیال کلئیدی گازی افرونی را در مقیاس میکروسکوپی نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود حبابها دارای اندازه های در ابعاد میکرون هستند و همچنین ویژگی غیر انعقادی این حبابها به راحتی در شکل ۹ دیده می شود.



شکل ۹- حباب های میکروسکوپی سیال کلئیدی گازی افرونی

۴- نتیجه گیری

خواص سیالات افرونی با استفاده از پلیمرهای نشاسته و زانتان گام و سورفکتانت های یونی SDS و CTAB بررسی شده و اثر غلظت و نوع سورفکتانت بر خواص سیال افرونی ارزیابی شده است.

- “An Experimental Investigation on use of Nanoparticles as Additives in a Surfactant – Polymer Based Drilling Fluid” 2012, J. International Petroleum Technology Conference.
10. Huang, T., Crews, J.B., Agrawal, G. and Baker Hughes “Nanoparticle Pseudo Cross Linked Micellar Fluids: Optimal Solution for Fluid – Loss Control with Internal Breaking” 2010, J. SPE, 128067.
 11. Arabloo, M., Shahri, M. P., & Zamani, M. (2013). Characterization of colloidal gas aphron-fluids produced from a new plant-based surfactant. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 34(5), 669-678.
 12. Bjorndalen, N., & Kuru, E. (2008). Physico-chemical characterization of aphron-based drilling fluids. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 47(11), 15-21
 13. Brookey, T., 1998. “Micro-bubbles”: new aphron drill-in fluid technique reduces formation damage in horizontal wells. In: SPE Formation Damage Control Conference, Lafayette, LA.
 14. Khalil, M., Mohamed Jan, B., 2012. Herschel–Bulkley rheological parameters of a novel environmentally friendly light weight biopolymer drilling fluid from xanthan gum and starch. *J. Appl. Polym. Sci.* 124, 595–606.
 15. Arabloo Narehei, M., Pordel Shahri, M., Zamani, M., 2012. Rheological and filtration Loss characteristics of colloidal gas aphron based drilling fluids. *J. Jpn. Pet. Inst.* 55 (3), 182–190.
 16. Arabloo, M., Pordel Shahri, M., 2014. Experimental studies on stability and Viscoplastic modeling of colloidal gas aphron (CGA) based drilling fluids. *J. Petrol. Sci. Eng.* 113, 8–22.
 1. Sebba, F. (1985). Separations using aphrons. *Separation and Purification Methods*, 14(1), 127-148.
 2. Dai, Y., & Deng, T. (2003). Stabilization and characterization of colloidal gas aphron dispersions. *Journal of colloid and interface science*, 261(2), 360-365.
 3. Matsushita, K., Mollah, A.H., Stuckey, D.C., Del Cerro, C., Bailey, A.I., “Predispersed solvent extraction of dilute products using colloidal gas aphrons and colloidal liquid aphrons: Aphron preparation, stability and size” *Colloids Surf.* 69 (1992) 65.
 4. Ziaee, H., Arabloo, M., Ghazanfari, M. H., Rashtchian, D. “Herschel–Bulkley rheological parameters of light weight colloidal gas aphron (CGA) based fluids” 2014, *J. Chemical Engineering Research and Design*.
 5. Jauregi, P., Gilmour, S., & Varley, J. (1997). Characterization of colloidal gas aphrons for subsequent use for protein recovery. *Chemical Engineering Journal*, 65(1), 1-11.
 6. Save, S. V., & Pangarkar, V. G. (1994). Characterization of colloidal gas aphrons. *Chemical Engineering Communications*, 127(1), 35-54.
 7. Bjorndalen, N., E. kuru. “Stability of Micro bubble-Based Drilling Fluids under Down-hole Conditions” June 2008, Volume 47, No. 6, *J. Canadian Petroleum Technology*.
 8. Kosynkin, D. V., Ceriotti, G., Wilson, K. C., Lomeda, J. R., Scorsone, J. T., Patel, A. D., & Tour, J. M. (2011). Graphene Oxide as a High-Performance Fluid-Loss-Control Additive in Water-Based Drilling Fluids. *ACS applied materials & interfaces*, 4(1), 222-227.
 9. Jayanth T. Srivatsa, Malogorzata B. Ziaja



بیوست A: مدل‌های رئولوژی

A-1- Bingham-plastic $\tau = \tau_0 + \eta\gamma$ Parameters constrains: $\tau_0 \geq 0$ and $\eta > 0$	A-1
A-2- Power Law $\tau = k\gamma^n$ Parameters constrains: $k > 0$ and $0 < n < 1$	A-2
A-3- Herschel-Bulkley $\tau = \tau_0 + k\gamma^n$ Parameters constrains: $\tau_0 \geq 0$, $k > 0$ and $0 < n < 1$	A-3
A-4- Casson $\tau^{0.5} = \tau_0 + k\gamma^{0.5}$ Parameters constrains: $\tau_0 \geq 0$ and $k > 0$	A-4
A-5- Sisko $\tau = a\gamma + b\gamma^n$ Parameters constrains: $a \geq 0$, $b > 0$ and $0 < n < 1$	A-5
A-6- Robertson-Stiff $\tau = k(\gamma_0 + \gamma)^n$ Parameters constrains: $\gamma_0 \geq 0$, $k > 0$ and $0 < n < 1$	A-6
A-7- Vocadlo $\tau^{1/n} = \tau_0^{1/n} + k\gamma$ Parameters constrains: $\tau_0 \geq 0$, $k > 0$ and $0 < n < 1$	A-7
A-8- Mizhari-Berk $\tau^{0.5} = \tau_0 + k\gamma^n$ Parameters constrains: $\tau_0 \geq 0$, $k > 0$ and $0 < n < 1$	A-8

علائم و نشانه‌ها

AARE: میانگین خطای نسبی مطلق
 a و b: پارامترهای معادله (A-5)
 CTAB: ستیل تری متیل آمونیوم بروماید
 k: شاخص سازگاری سیال
 n: شاخص جریان سیال
 RMSE: ریشه‌ی میانگین مربعات خطا
 R^2 : ضریب تعیین
 SDS: سدیم دو دسیل سولفات
 XG: زانتان گام
 τ_0 : نقطه‌ی تسلیم (Pa)
 τ : استرس برشی (Pa)
 γ : نرخ برشی (s^{-1})
 μ : نقطه‌ی تسلیم (Cp)

- Nasiri, M., Ashrafizadeh, S.N., 2010. Novel equation for the prediction of rheological parameters of drilling fluids in an annulus. *Ind. Eng. Chem. Res.* 49 (7), 3374–3385.
- Bjorndalen, H. N., Jossy, W. E., Alvarez, J. M., & Kuru, E. (2014). A laboratory investigation of the factors controlling the filtration loss when drilling with colloidal gas aphron (CGA) fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 117, 1-7.
- Roy, D., Valsaraj, K. T., Constant, W. D., & Darji, M. (1994). Removal of hazardous oily waste from a soil matrix using surfactants and colloidal gas aphron suspensions under different flow conditions. *Journal of Hazardous Materials*, 38(1), 127-144.
- Moshkelani, M., & Amiri, M. C. (2008). Electrical conductivity as a novel technique for characterization of colloidal gas aphones (CGA). *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 317(1), 262-269.
- Yan, Y.L., Qu, C.T., Zhang N.S., Yang, Z.G., Liu, L. *Colloids Surf. A.* 259 (2005) 167.
- Belkin, A., Irving, M., O'Connor, R., Fosdick, M., Hoff T., And Growcock, F.B., 2005, "How Aphron Drilling Fluids Work" SPE 96145, Dallas, Texas, U.S.A, 9-12 October.
- A. Tabzar, M.A., M.H. Ghazanfari, Rheology, stability and filtration characteristics of Colloidal Gas Aphron fluids: role of surfactant and polymer type, *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 26 (2015) 895–906.
- Tabzar, M.H. Ghazanfari, Pore-scale analysis of filtration loss control by Colloidal Gas Aphron Nano-Fluids (CGANF) in heterogeneous porous media, *J. Exp. Thermal Fluid Sci.* 77 (2016) 327-336.

Experimental Investigation of Physico-Chemical Characteristics of Light Weight Colloidal Gas Aphron (CGA)

Amir Tabzar^{1*}, Mohammad Hossein Ghazanfari¹

1-Iran, Tehran, Chemical and Petroleum Engineering Department, Sharif University of Technology

Corresponding Author, Email: tabzar.amir@gmail.com

Abstract

This paper presents rheology, stability and filtration loss characteristics of Colloidal Gas Aphron (CGA). Eight rheological models are applied for investigation the rheological behavior of CGA based fluids and proper model are chosen in which best described the rheological properties of CGA based Fluids. Stability analysis of CGA based fluids is examined by measuring drain rate technique. Also, Standard API filtration test were applied for investigation of the CGA based fluid loss in this study. Moreover, Rheological parameters such as fluid flow index, fluid consistency and yield point were determined. The results of the experiments show that both SDS and CTAB surfactants were improved the properties of the CGA based fluids in which SDS anionic surfactant has a better performance compared to CTAB cationic surfactant.

Keywords: Anionic/Cationic Surfactant, Colloidal Gas Aphron, Rheology, Stability, Fluid loss.

