



کاربرد نانوذرات سیلیکا فیوم و اکسید تیتانیوم جهت بهبود عملکرد سیالات حفاری

محسن میخی دانشگاه صنعتی شریف

گشاسب چراغیان سید یازگوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات محمود همتی پژوهشگاه صنعت نفت

چکیده

بهبود خواص سیال حفاری به عنوان یکی از پارامترهای مهم در افزایش بازده عملیات حفاری همواره مورد توجه بوده است. از راه‌های بهبود خواص این سیال، استفاده از نانوذرات کارآمد در ترکیب آن است. امروزه علوم نانو در تمامی عرصه‌های علمی وارد شده است. در این نوشتار سعی شده تا تأثیر دو نانوذره بر روی سیال حفاری معمول پایه آبی مورد ارزیابی قرار گیرد. از اینرو با به کارگیری افزاینده‌های مختلف معمول مورد استفاده در گل حفاری به همراه نانوذرات، تأثیر آنها بررسی شدند. با آزمایش دقیق تر تأثیر مطلوب نانوذرات بر حذف آلودگی‌های سیمانی، به صورت تخصصی اثر این مواد بر روی نقطه واروی (Y_p)، شاخص رفتار سیال (n) و شاخص پایداری (k) جهت بهبود سیال آلوده شده توسط سیمان در حین عملیات حفاری بررسی شدند. عملیات سیمان کاری یکی از مراحل معمول در هر حفاری است که به دفعات جهت استقرار و تحکیم لوله‌های جداری انجام می‌شود. به این ترتیب آلودگی‌های سیمانی زمان حفاری اجتناب‌ناپذیر است. سیلیکا به عنوان ماده است که در حفاری جهت مقاصد ویژه‌ای از جمله اقتصادی بودن، آلودگی زیستی کمتر، پایداری بهتر دمایی و فشاری، روانکاری لوله‌های حفاری و بازدارندگی شیلی به کار می‌رود. با توجه به هزینه‌های معمول حفاری در هر فوت و اهمیت زمان در عملیات حفاری، می‌توان از نظر فنی و اقتصادی جایگزین نمودن نانوفیوم سیلیکا را در سیال حفاری در مقابل افزودنی‌های معمول (که در این آزمایش یکی از پرکاربردترین آن‌ها - کربنات سدیم - به کار برده شد)، جهت بهبود سیال حفاری آلوده با سیمان توجیه نمود. افزایش شاخص سیال با افزودن نانوفیوم سیلیکا در سیال پایه از دیگر نتایج به دست آمده در این آزمایش بود.

واژگان کلیدی | نانوذرات، سیال حفاری، خواص رئولوژیکی، صافاب

مقدمه

سیال حفاری برای تمیز کردن ته چاه و انتقال کنده‌های حفاری، خنک کردن و روان کردن مته و لوله‌های حفاری، اندود کردن دیواره چاه و جلوگیری از ریزش آن، کنترل فشار زیرزمینی، تحمل بخشی از وزن لوله‌های حفاری، به حداقل رسانیدن ضایعات وارد بر سازندهای مجاور چاه و انتقال توان هیدرولیک پمپ‌ها به مته، به کار گرفته می‌شود. برای انجام این وظایف، سیال حفاری باید خواص رئولوژیکی ویژه‌ای داشته باشد [۱].

رفتار رئولوژیکی بیشتر سیالات حفاری غیر نیوتنی است [۲]. بنابراین، ویسکوزیته این مواد، ثابت نبوده و رابطه تنش و شدت برشی در آنها غیرخطی است. به علاوه، در صورت وجود انتقال حرارت، ویسکوزیته، تابع درجه حرارت خواهد بود. همچنین نشان داده شده است که فشار، اثر کمی روی نقطه تسلیم سیال حفاری دارد [۳]. میزان و نحوه تغییرات ویسکوزیته با درجه حرارت به نوع سیال حفاری وابسته بوده و تعیین رابطه مناسب ویسکوزیته برای پیش‌بینی عملکرد سیال حفاری ضروری است. برای این منظور، مشخصات رئولوژیکی سیال حفاری در شرایط آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده

و سپس داده‌های آزمایشگاهی ویسکوزیته با یک مدل مناسب تطبیق داده می‌شود [۴-۵].

آزمایشات اخیر نشان داده‌اند که نانوسیال، خواص جالبی برای کاربرد در انتقال حرارت، کاهش اصطکاک و نیروی کشش، توانایی استحکام و یکپارچه‌سازی ماسه‌سنگ‌های سست، ایجاد ژل، تغییر خاصیت ترشوندگی و کنترل خوردگی ایفا می‌کند. میرزایی و همکارانش در سال ۲۰۰۸ نشان دادند که نانوذرات کربن سیاه در گل حفاری، موجب تشکیل اندود صافی یکپارچه و با پیوستگی بیشتری می‌شود. بنابراین، میزان صافاب و ضخامت اندود گل کاهش می‌یابد [۶-۷].

مطالعات انجام گرفته توسط تیانگپین در ۲۰۰۷ نشان می‌دهد که نانوسیال در افزایش نیروی کششی اعمال شده بر کنده‌های حفاری، ایجاد ساختار ژله‌ای، توانایی استحکام بخشی و یکپارچه‌سازی ذرات ماسه‌های و همچنین انتقال حرارت موثر می‌باشد. سیفرمن و همکاران ۱۹۷۳ برای مطالعه انتقال کنده‌ها از یک لوله پلاستیکی شفاف و کاملاً عمودی و از سیالات و ذرات مختلف استفاده کردند. آنها در آزمایشگاه دریافتند که خواص رئولوژیکی سیال و سرعت جریان در فضای حلقوی

نقش اساسی در انتقال کنده‌ها دارد در حالی که اثر سایر کمیت‌ها ناچیز یا متوسط است [۱۱-۱۲].

۱- دستگاه‌ها و روش‌ها

در این پژوهش، از گرانروی سنج چرخان مدل ۳۵ فن استفاده شده است. در این گرانروی سنج موارد زیر قابل ذکر است [۸]:

الف- اندازه تنش برشی مستقیماً با درجه خوانده شده متناسب است،

ب- مقدار سرعت برش مستقیماً با سرعت چرخش محور متناسب است (بر حسب rpm).

در این آزمایش، اندازه‌گیری از دست رفتن سیال گل در شرایط فشار ۶۹۰ کیلو پاسکال (۱۰۰ psi) و دمای محیط طی ۶۰ ثانیه (طبق استاندارد انستیتو نفت آمریکا (API)) انجام شد.

مدلی که اغلب برای نشان دادن خواص جریان سیال حفاری استفاده می‌شود، مدل پلاستیک بینگهام است. این مدل نشان می‌دهد پس از اعمال نیروی اولیه لازم برای به حرکت در آمدن سیال، سرعت ثابت تنش برشی با افزایش سرعت برش همراه است (معادله-۱):

$$(SS = Y_p + P_v \times SR) \quad (1)$$



یون‌های توئند از منابع گوناگونی وارد محلول (مثلاً وارد گل حفاری) شوند. از جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد:

الف- یون‌های هیدروکسیل ممکن است در اثر یونیزاسیون آهک و کاستیک سودا (که معمولاً برای تثبیت گل به آن افزوده می‌شود) وارد گل شده باشد.



ب- اگر در گل، یون کربنات وجود داشته باشد، ترکیب آن با آب نیز می‌تواند مولد یون هیدروکسیل شود.

ج- یون‌های بی‌کربنات حاصل، خود نیز مولد یون هیدروکسیل هستند.

د- یون‌های هیدروکسیل، گاهی از حل شدن براتنها، سیلیکاتها و فسفاتهای محلول در آب ناشی می‌شود [۱۰]. میزان pH نمونه‌های مختلف در جدول ۱- مشاهده می‌شود. حالت قلیایی نمونه‌ها با توجه به نکته اول به خوبی توجیه می‌گردد.

۲- حالت آب از دست دادن گل

تا هنگامی که گل در چاه وجود دارد، چه در هنگام سکون و چه در حال حرکت، مقداری از مایع درون گل به سوی طبقات، مهاجرت می‌کند، درحالی که گل مطلوب باید بتواند کیک نازک و غیرقابل نفوذ در دیواره چاه باقی‌گذارد تا از این مهاجرت جلوگیری نماید. این پارامتر گل در آزمایشگاه توسط دستگاه فیلتر پرس (در دمای محیط و فشار ۱۰۰ پام) اندازه‌گیری می‌شود.

۳- بحث و بررسی

در نمونه‌های اول تا سوم، همان‌گونه که در شکل ۱-۳ مشاهده می‌شود، کاهش صافاب نمونه پایه نسبت به نمونه‌های حاوی نانوذرات مشهود است. استفاده از کلسیم اکسید جهت پایداری در برابر حرارت و افزایش محیط شیمیایی قلیایی جهت بهبود کارایی گل می‌باشد. در نمونه‌های چهارم و پنجم و ششم که حاوی کربوکسی متیل سلولز می‌باشد، همچنان نمونه‌های پایه دارای مقدار کمتری از صافاب نسبت به نمونه‌های حاوی نانوذرات است، با این تفاوت که وجود کربوکسی متیل سلولز در نمونه‌های حفاری در بردارنده نانوذرات باعث کاهش محسوسی در مقدار صافاب به دست

می‌آیند [۹]:

$$(3) \quad (P_v = \theta_{600} - \theta_{300})$$

$$(4) \quad (Y_p = \theta_{300} - P_v)$$

با توجه به تعریف، گرانروی ظاهری (Av) عبارت از گرانروی یک سیال غیر نیوتنی در SR معادل ۶۰۰ است. اگر درجه خوانده شده برای rpm = ۶۰۰ را θ_{600} و این مقدار در معادله ۵- قرار داده شود، مقدار گرانروی ظاهری به دست می‌آید:

$$(5) \quad (A_v = 300 \times \frac{\text{dial reading}}{\text{rpm}} = 300 \times \frac{\theta_{600} - \frac{1}{2} \theta_{600}}{600})$$

سیالات حفاری مورد استفاده همگی دارای گل پایه آبی هستند و مشخصات افزایش‌های آنها به شرح زیر است:

در نمونه‌های ۲، ۵، ۸، ۱۵، ۱۲ و ۱۸ از نانوذرات اکسید تیتانیوم استفاده شده و در نمونه‌های ۳، ۶، ۹، ۱۳، ۱۶ و ۱۹ از نانوسیلیکا فیوم استفاده شده است. علاوه بر آن، در ترکیب سیال پایه از بنتونایت، کلسیم اکسید و سدیم کربنات استفاده شده است. بنا به تعریف، قلیایی، عبارت است از غلظت یون‌های هیدروکسیل اضافی تک محلول آبی. این

که در آن SS تنش برشی، SR سرعت برش، Y_p نقطه تسلیم و P_v گرانروی پلاستیکی است. سهمی که گرانروی پلاستیکی در ایجاد مقاومت در برابر جریان و حرکت گل دارد، ناشی از اصطکاک مکانیکی در گل حفاری است [۹].

وقتی از گرانروی سنج مدل ۳۵ استفاده می‌شود SR متناسب با سرعت چرخش بر حسب rpm و SS متناسب با درجه خوانده شده دستگاه است. در این حالت، معادله پلاستیکی بینگهام به شکل معادله ۲- در می‌آید [۹]:

$$(2) \quad (\theta = Y_p + P_v \times \frac{\text{rpm}}{300})$$

معادله بالا نشان می‌دهد درجه انحراف θ تابعی از سرعت چرخش (rpm) است. Y_p و P_v پارامترهای معادله‌اند که برای به دست آوردن مقادیر آنها کافی است به ازای دو مقدار دلخواه از سرعت چرخش مقادیر متناظر θ اندازه‌گیری شود. سپس با داشتن دو معادله و دو مجهول، ضرایب مربوط محاسبه می‌شود. از حل معادله بالا برای سرعت‌های ۶۰۰ و ۳۰۰، مقادیر Y_p و P_v از معادله‌های ۳ و ۴ به دست

جدول ۱ | pH صافاب، اندود و سیال حفاری

شماره سیال	ویسکوزیته ظاهری (سانتی پویز)	pH سیال	pH صافاب	pH اندود گل
۱	9	12.42	11.53	12.42
۲	18	11.34	10.50	11.34
۳	14	10.89	10.47	10.89
۴	19	10.98	9.83	10.98
۵	24	11.85	10.41	11.85
۶	20.5	10.44	9.87	10.44
۷	11.5	11.39	10.56	11.39
۸	20	11.44	10.53	11.44
۹	16.5	11.55	10.07	10.43
۱۱	5.5	10.97	10.52	10.97
۱۲	5.5	10.85	10.33	10.85
۱۳	6	10.72	11.53	10.72
۱۴	43	12.90	12.73	11.31
۱۵	69	12.98	13.00	12.29
۱۶	39.5	12.62	12.80	11.48
۱۷	20	12.76	12.95	13.01
۱۸	61	13.13	13.14	12.33
۱۹	46.5	13.16	13.31	11.03

است (شکل ۲-۳). میزان فیلترات سیال حفاری به مانند قبل با افزودن نانوذرات به گل پایه، افزایش می‌یابد. فسفات‌ها جهت کنترل ویسکوزیته و مقدار اندود مورد استفاده قرار می‌گیرند.

بر خلاف نمونه‌های قبل که همواره سیالات پایه کمترین میزان صافاب را داشتند، در سیالات آلوده شده توسط سیمان مشاهده می‌شود که کمترین میزان سیال نفوذی به درون سازند متعلق به سیالات پایه حاوی نانوذرات می‌باشد. یکی از معمول‌ترین راه‌حل‌های مقابله با آلودگی سیمانی، افزودن کربنات سدیم است. تمامی نمونه‌های ۱۴ تا ۱۹ حاوی سیمان می‌باشند و در سه نمونه انتهایی کربنات سدیم وجود دارد (شکل ۵-۵).

در مرحله بعد با توجه به نتایج مطلوب نانوذرات اکسید تیتانیوم و فیوم سیلیکا بر روی نمونه‌های آلوده به سیمان حفاری، خواص رئولوژیکی این سیالات مورد بررسی قرار گرفت.

در ترکیب گل حفاری یک سری ذرات جامد وجود دارد که با مواد دیگر فاز مایع پیوندهای الکتروشیمیایی ایجاد می‌کنند؛ به مقاومتی که این مواد در برابر برش خوردن نشان می‌دهند، نقطه‌ی واروی می‌گویند. به عبارت دیگر، نقطه‌ی واروی بیانگر نیروی چسبندگی و نیروهای الکترواستاتیکی بین ذرات است.

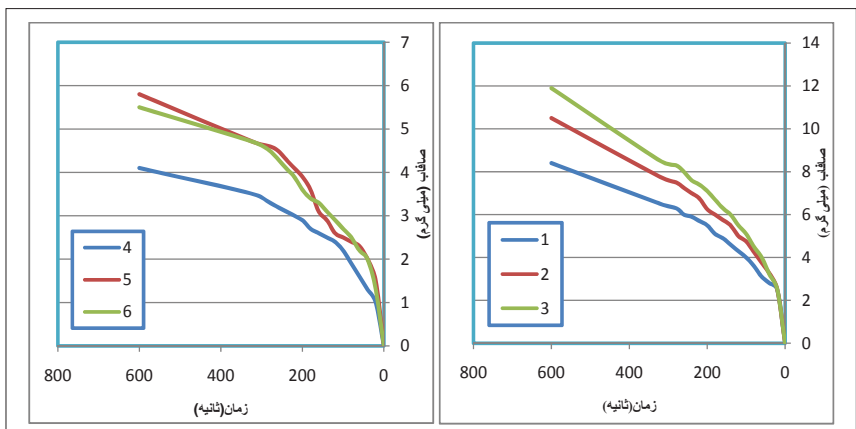
در جریان آرام، خطوط جریان با یکدیگر موازی بوده، گل به صورت لایه‌های جداگانه و موازی با سرعت‌های متفاوت حرکت می‌کند و از درون لوله یا فضای حلقوی عبور می‌کند. با افزایش سرعت، جریان در لایه‌های مختلف به هم نزدیک‌تر می‌شود. جابجایی کننده‌ها توسط جریان آرام مشکل‌تر است چون خرده‌های حفاری تمایل دارند به طرف لایه‌هایی با سرعت کمتر بروند و در این لایه‌ها حرکت کنند. به علت کم بودن سرعت در این لایه‌ها، جابه‌جایی آنها سخت‌تر می‌شود. یک راه برای جلوگیری از این مشکل، افزایش نقطه واروی است [۱۳].

در یک نگاه کلی مشاهده می‌شود سیالاتی که در ساختار آنها از نانوذرات استفاده شده است، نقطه واروی بسیار بالاتری نسبت به سیالات پایه دارا می‌باشند. با توجه به جداول ۱-۲ می‌توان فهمید نقطه واروی سیالات حاوی نانوذرات اکسید تیتانیوم از سایر سیالات بالاتر است، زمانی که از سدیم هیدروکسید در سیال استفاده می‌شود، اختلاف نقطه واروی بین نانو سیالات و سیالات پایه بسیار بیشتر از زمانی است که از این ماده در ساختار سیال

زیاد و کم می‌باشد. در نمونه‌های هفت تا نه از نشاسته استفاده شده است و در نمونه‌های ده تا دوازده، محلول فسفات ۱۰ درصد در نمونه‌های پایه به کار برده شده

۲ پارامترهای محاسبه شده سیالات حفاری

شماره سیال	وزن کل (پوند بر گالن)	دمادرجه (سانتی گراد)	استحکام ژل اولیه سیال	استحکام ژل ثانویه سیال	ضخامت اندود (کل میلی متر)	میزان رسائایی (میلی ولت)
۱	۷/۸	۲۲	۱۲	۲۸	۱.۹	-۲۵۹
۲	۷/۸	۲۲.۵	۲۵	۳۱	۲.۷۱	-۲۱۳
۳	۸/۸	۲۴	۱۳	۳۸	۲.۳۶	-۱۸۳
۴	۸/۶	۲۳	۱۸	۳۸	۱.۶	-۲۱۹
۵	۷/۸	۲۳	۲۰	۳۶	۱.۶۹	-۲۱۹
۶	۷/۸	۲۳	۱۲	۵۲	۱.۳۹	-۱۶۱
۷	۸.۶	۳۱	۱۵	۲۸	۱.۹۸	-۲۳۵
۸	۸.۷	۲۲	۲۹	۴۵	۲.۵۶	-۲۱۲
۹	۸.۸	۲۳	۳۴	۹۱	۳.۸	-۱۶۱
۱۱	۸.۷	۲۰	۳	۶	۰.۶۴	-۱۷۷
۱۲	۸.۷۵	۲۰	۳	۴	۰.۶	-۱۷۲
۱۳	۸.۸۸	۲۰	۳	۹	۱.۳۱	-۱۶۵
۱۴	۸.۷	۲۳	۳۳	۳۷	۶.۲۸	-۳۰۸
۱۵	۸.۸	۲۳	۴۲	۵۹	۱۲.۴۸	-۳۲۳
۱۶	۸.۶	۲۳	۳۳	۶۵	۸.۲	-۳۰۹
۱۷	۸.۷	۲۵	۱۲	۱۸	۹.۷۴	-۳۱۵
۱۸	۸.۶	۲۵	۳۶	۴۷	۷.۴۸	-۳۳۰
۱۹	۸.۶	۲۶	۵۱	۷۳	۹.۱۲	-۳۳۷

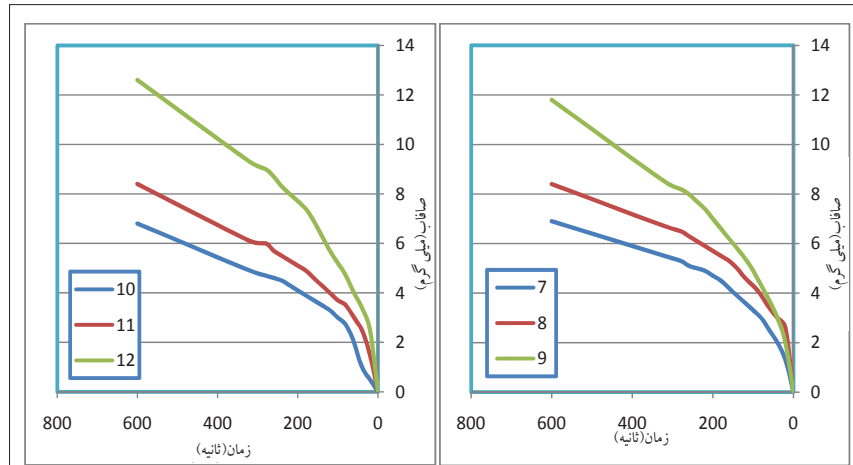


۱ صافاب دینامیکی سیال بر حسب زمان؛ سمت راست: سیالات پایه حاوی نانوذرات، سمت چپ: سیالات پایه حاوی نانوذرات و کربوکسی متیل سلولوز.

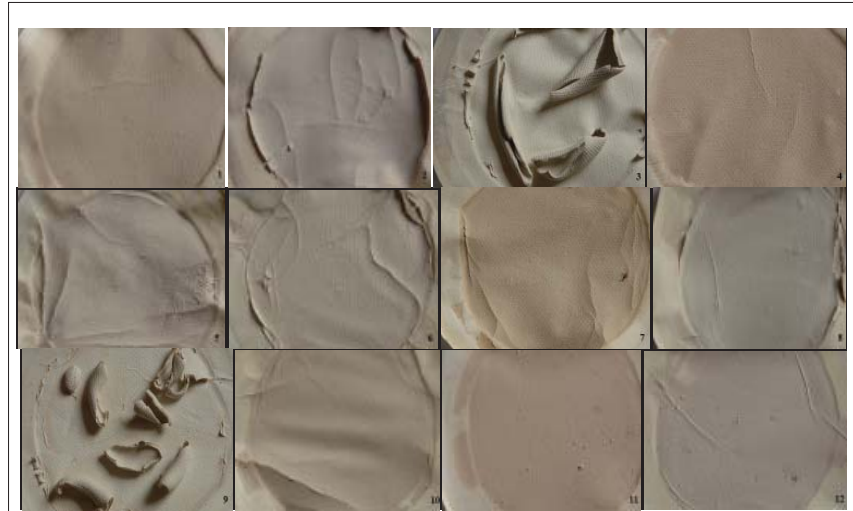


استفاده نشده است. همچنین سدیم کرنات باعث بالا رفتن نقطه واروی سیال حاوی نانوذرات سیلیکا فیوم نسبت به سیالات حاوی نانو اکسید تیتانیوم شده است. در میان سیالات، گل حاوی مواد پایه و نانو اکسید تیتانیوم، بیشترین نقطه واروی را دارند. با افزایش نرخ برش، در میان سیالات به جز سیالات حاوی نانو سیلیکا فیوم که تنش برشی آنها دقیقاً با یک نرخ ثابت رشد می کنند، تنش برشی سیالات حاوی سدیم کرنات، نسبت به حالتی که این ماده در ترکیب آنها موجود نیست، کمتر افزایش پیدا کرده است. در این میان، سیال پایه حاوی نانو اکسید تیتانیوم عاری از سدیم کرنات، بالاترین رشد شیب تنش برشی را در مقابل نرخ برش دارا می باشد و کمترین مقدار، به سیال پایه حاوی سدیم کرنات اختصاص دارد که تقریباً با شیبی ثابت مشخص شده است. در مورد سیالاتی که سدیم کرنات به آنها اضافه نشده است، سیال پایه حاوی نانو سیلیکا فیوم با وجود نقطه واروی بالاتر خود نسبت به سیال پایه، با افزایش نرخ برشی، تنش برشی آن افزایش زیادی ندارد و در نهایت مقدار آن کمتر از سیال پایه می شود. به بیان دیگر، با افزودن سدیم کرنات به سیال پایه، افزایش تنش برشی در برابر افزایش نرخ برشی بسیار کمتر از حالت ابتدایی اش می شود. در حقیقت، تا قبل از رسیدن دو منحنی به یکدیگر، در یک نرخ برش ثابت، گل حاوی نانو سیلیکا فیوم و یسکوزیته بالاتری نسبت به حالت پایه از خود نشان داد، در حالی که پس از افزایش نرخ برش، این حالت برای سیالات عوض شد.

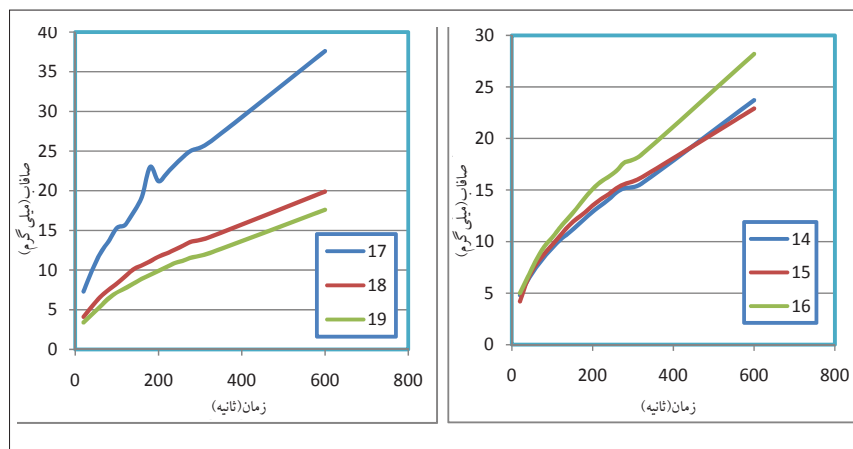
(n) نشانگر شاخص رفتار سیال است و درجه رفتار غیر نیوتنی یک سیال را نشان می دهد، به این معنا که سیالات نیوتنی شاخص رفتار سیالی برابر یک را به خود اختصاص می دهند. هر چه این مقدار کمتر باشد، توانایی گل در تمیز کردن چاه بیشتر می شود. به این ترتیب که مقطع طولی سیال در حال حرکت پهن تر و سقوط جامدات کمتر خواهد شد. کم کردن عددی n باعث می شود که سیال در حال حرکت دارای لغزش برشی شده و در نتیجه، ویسکوزیته در محل مته کاهش یافته، سرعت حفاری زیادتر شود. شاخص پایداری، معرف غلظت یا ویسکوزیته و قابلیت پمپ شدن سیال حفاری است. هر چه ویسکوزیته زیادتر شود، (k) افزایش می یابد. در صورتی که شاخص رفتار سیال کم باشد، تمیز کردن چاه مشکل می شود و می توان با افزایش تدریجی ویسکوزیته، مقدار عددی شاخص پایداری را افزایش داد. پارامترهای



شکل ۲ | صافاب دینامیکی سیال بر حسب زمان؛ سمت راست: سیالات پایه حاوی نانوذرات و نشاسته ذرت، سمت چپ: سیالات پایه حاوی نانوذرات و فسفات



شکل ۳ | تأثیر نانوذرات بر روی اندود سیال حفاری (نمونه های ۱ تا ۱۲)



شکل ۴ | صافاب دینامیکی سیال بر حسب زمان؛ سمت راست: سیالات پایه آلوده به سیمان، حاوی نانوذرات، سمت چپ: سیالات پایه آلوده به سیمان حاوی نانوذرات و کرنات سدیم

می شود. وجود نانو سیلیکافیوم در حالتی که با سدیم کربنات همراه است، کمترین مقدار n را نشان می دهد. با افزایش سدیم کربنات، k نیز در سیالات افزایش می یابد و در این میان بیشترین مقدار شاخص پایداری مختص به سیال حاوی نانو سیلیکافیوم و سدیم کربنات می باشد. با وجود کمتر بودن مقدار n در سیال حاوی نانو سیلیکافیوم نسبت به سیال حاوی اکسید تیتانیوم و سدیم کربنات، شاخص هماهنگی آنها یکسان است. استفاده از نانوذرات در گل حفاری باعث افزایش شاخص هماهنگی در تمامی نمونه ها شده است.

در این تحقیق از نانو سیلیکافیوم استفاده شد که دلیل آن، میزان کم استفاده و همچنین بهبود کارایی این ذره در مقایسه با کربنات سدیم است. هزینه تمام شده این ماده (نانو سیلیکافیوم)، در مقیاس صنعتی پایین تر از کربنات سدیم است و بنابراین از نظر اقتصادی استفاده از این نانوذره را توجیه می کند.

نتیجه گیری

■ در میان سیالات حفاری همواره با افزودن نانوذرات فیوم سیلیکا و اکسید تیتانیوم، افزایش نسبی در صافاب گل به وجود می آید که در بررسی ۱۲ نمونه اول، نمونه های حاوی نانوذرات مورد استفاده در سیالات حفاری حاوی کربوکسی متیل سلولز، کمترین میزان صافاب گل (Filtrate Mud) را در میان سایر سیالات با دیگر افزایش ها دارند.

■ در میان نمونه ها، به دلیل عدم وجود ترتیب مناسب در هر کدام از دسته های سه تایی همراه با افزودن افزایش های ویژه، یک جمع بندی کلی که قابلیت توجیه تمام نمونه ها را داشته باشد، نمی توان انجام داد. ولی به صورت موردی می توان در مورد کمترین میزان اندود گل به نمونه همراه فسفات و نانو اکسید تیتانیوم اشاره نمود. از این رو و با توجه به نزدیکی میزان صافاب این نمونه با نمونه پایه مرتبط با خود، می توان آن را جایگزین مناسبی برای بهبود خواص سیال در زمان کنترل ویسکوزیته سیال حفاری دانست.

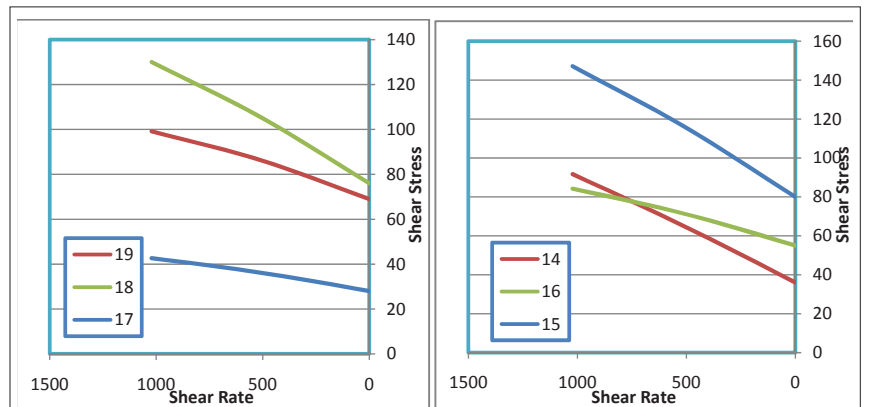
■ با توجه به نمودارهای صافاب سیالات حفاری آلوده شده به سیمان، با افزودن کربنات سدیم، گل های حاوی نانوذرات، میزان صافاب را به خوبی کنترل کرده است. در این میان، گل حفاری حاوی نانوذره فیوم سیلیکا به میزان قابل توجهی فیلترت را کاهش داده است و در مقایسه با تمامی نمونه های آلوده، کمترین میزان

عددی n مربوط به گل حاوی نانو اکسید تیتانیوم نسبت به دو سیال دیگر بیشتر است. در مجموع با اضافه شدن سدیم کربنات به گل پایه، شاخص رفتار سیال کاهش می یابد و با یک اختلاف ثابت و تقریباً برابر در نانو سیالات، این شاخص کاهش می یابد. همچنین، بیشترین اختلاف در گل پایه دیده

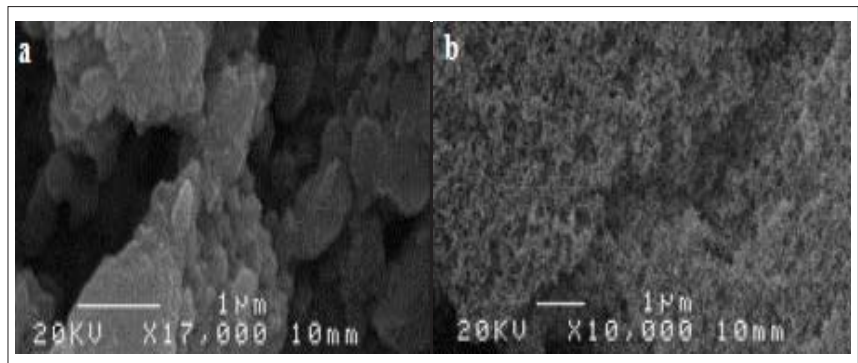
شاخص پایداری (k) و شاخص رفتار سیال (n) با تغییر ترکیب شیمیایی سیال و دما تغییر می کنند [۱۰] ولی با توجه به دمای نسبتاً ثابت سیالات مورد آزمایش، تنها گزینه ی تغییر، متوجه ترکیب شیمیایی آنها می باشد. مشاهده می شود با افزودن سدیم کربنات، مقدار



شکل ۵ | تاثیر نانوذرات بر روی اندود سیال حفاری آلوده توسط سیمان (نمونه های ۱۴ تا ۱۹)



شکل ۶ | نمودار تنش برشی بر میزان برش؛ سمت راست: سیالات پایه آلوده به سیمان، حاوی نانوذرات و سمت چپ: سیالات پایه آلوده به سیمان حاوی نانوذرات و کربنات سدیم



شکل ۷ | تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (a) اکسید تیتانیوم (b) سیلیکافیوم



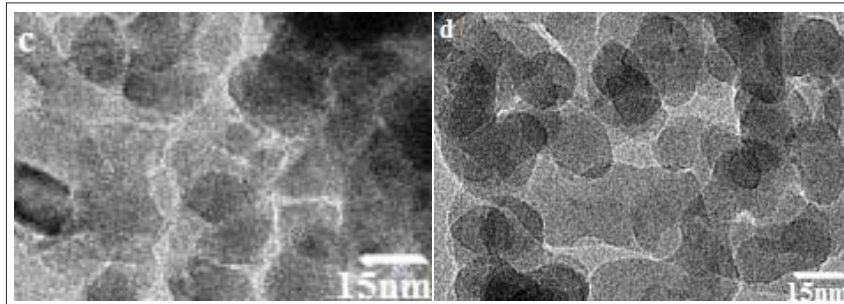
یکی از نکات مثبت افزودن این مواد به سیال پایه می‌باشد که به‌وضوح در نمودارها دیده شد و مشکل جریان‌های آرام در درون فضای حلقوی برگشتی را به‌خوبی پوشش می‌دهد.

■ در میان تمام سیالات مورد ارزیابی، سیالات حاوی نانوذرات اکسیدتیتانیوم در هر دو حالت دارای نقطه واروی بیشتری از سیالات حاوی نانوذرات سیلیکافیوم می‌باشند و در مجموع، نقطه واروی سیال حاوی نانو اکسیدتیتانیوم از سایر گزینه‌ها بیشتر بود.

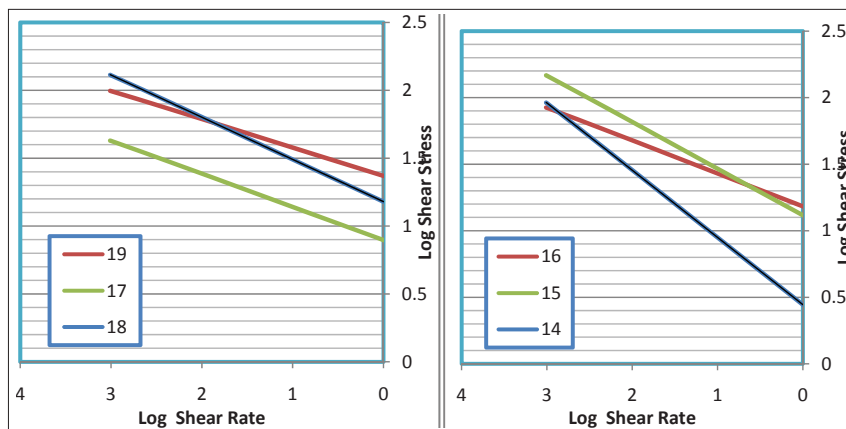
■ با درمان آلودگی سیمان سیال حفاری توسط سدیم کربنات، مشاهده می‌شود که سیالات متشکل از نانوذرات سیلیکافیوم کمترین میزان شاخص رفتار سیال را دارند. زمانی که این ذرات نانو درون گل آلوده به سیمان وجود داشت نیز، مقدار عددی این شاخص برابر با سیال درمان شده توسط سدیم کربنات بدون وجود هر گونه نانوذره بود؛ به بیان دیگر، می‌توان میزان n در گل‌های حفاری آلوده به سیمان را توسط نانوذرات سیلیکافیوم به همان اندازه‌ای که سدیم کربنات بر روی این شاخص تأثیر گذار است، درمان نمود.

■ سیال حاوی نانو سیلیکافیوم و سدیم کربنات، کمترین مقدار شاخص رفتار سیال و بالاترین شاخص پایداری را در میان سایر سیالات دارد که از این لحاظ، دارای بیشترین توانایی در تمیز کردن چاه بوده و با کاهش ویسکوزیته در محل مته، سبب افزایش سرعت حفاری می‌شود. ■

دشواری آنها، نیاز به افزایش Y_p بسیار با اهمیت است؛ افزایش بسیار زیاد Y_p در سیالات حفاری حاوی نانوذرات اکسیدتیتانیوم و سیلیکافیوم،



شکل ۸ | تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (c) اکسید تیتانیوم (d) سیلیکا فیوم



شکل ۹ | نمودار تنش برشی بر میزان برش؛ سمت راست: سیالات پایه آلوده به سیمان حاوی نانوذرات، سمت چپ: سیالات پایه آلوده به سیمان حاوی نانوذرات و کربنات سدیم

منابع

- [1] Raabia, H., "Oil well drilling engineering". British library cataloging in publication data. 1985.
- [2] Adam T., Bourgoyne Jr., Keith K., Millheim, Martin E., Chenevert, F.S. Young Jr. "Applied Drilling Engineering". Second Printing, Society of Petroleum Engineers, Richardson, TX 1991.
- [3] American Petroleum Institute "Recommended Practice on the Rheology and Hydraulics of Oil-Well Drilling Fluids, API RP 13D", Fourth Edition. American Petroleum Institute, June 1995.
- [4] Power, D. and Zamora, M.: "Drilling Fluid Yield Stress: Measurement Techniques for Improved Understanding of Critical Drilling Fluid Parameters," paper AADE-03-NTCE-35 presented at the AADE Technical Conference, Houston, 1-3 April, 2003.
- [5] Ayeny, O., "Evaluation of Commonly Used Fluid Rheological Models Using Developed Drilling Hydraulics Simulator," presented at Canadian International Petroleum Conference, Calgary, 8-10 June. 2004.
- [6] Phuoc X, Tran R, Gupta LW, "Nanofluids for Use as Ultra Deep Drilling Fluids". R&D Facts National Energy Technology Laboratory, 2007.
- [7] Mirzaei Paiaman A., Azadbakht S., "Using Nanoparticles to Decrease Differential Pipe Sticking and its Feasibility in Iranian Oil Fields". Oil and Gas Business 2008.
- [8] Soltaniyan H., "Use of Polymer and Biopolymer Mud in Drilling Operation", Tehran University, Chapt. 4 and 5, 2000.
- [9] Walter R., "Composition and Properties of Oil Well Drilling Fluid", Gulf Professional, 1953.
- [10] Adelzadeh M.R., "Fundamentals of Drilling Engineering", Setayesh Publication, 964-6913-98-9, Tehran, 2007, pp. 291-384.
- [11] Sifferman TR, George NM, Elera DH, Harry AW, "Drill Cutting Transport in Full Scale Vertical Annuli." 48th Annual Full Meeting of the Society of Petroleum Engineers of AIME. Sept. 30 - Oct. 3. Las Vegas: SPE Pap., 4514: 1295-1302, 1973.
- [12] Tianping H, James BC (2007). Nanotechnology Applications in Viscoelastic-Surfactant Stimulation Fluids. European Formation Damage Conference. 30 May-1. Scheveningen, Netherlands: SPE paper 107728, 1-7.
- [13] Moazeni A.R., Nabaei M., "Drilling Engineering", Kankash Publication, Isfahan, 2005.