

بررسی ویژگی‌های گل حفاری اصلاح شده با نانوکامپوزیت باریت / پلی اکریل آمید

صمد صباغی*+

شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده فناوری‌های نوین، بخش نانو مهندسی شیمی

پوریا رودباری

شیراز، دانشگاه شیراز، پردیس بین‌المللی، بخش نانو مهندسی شیمی

مهران صادق الوعد

شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده فناوری‌های نوین، بخش نانو مهندسی شیمی

چکیده: باتوجه به اینکه گل حفاری در کیفیت چاه حفر شده و همچنین بازدهی عملیات حفاری تأثیرگذار است، بنابراین نقش به‌سزایی در عملیات حفاری بازی می‌کند. بنابراین در این پژوهش، تأثیر افزودنی‌های پلی اکریل آمید و نانوکامپوزیت باریت / پلی اکریل آمید بر روی ویژگی‌های گل حفاری مورد ارزیابی قرار گرفت. نانو کامپوزیت با روش پلیمریزاسیون محلول تولید شد. نانوکامپوزیت تولیدی به گل حفاری پایه آبی (۳۵۰ میلی لیتر آب به همراه ۱۰ گرم بنتونیت) افزوده شده و ویژگی‌های گل حفاری شامل گرانیروی، میزان هرزروی سیال و ضخامت اندود گل مورد آزمایش قرار گرفت. به طور کلی، نتیجه‌ها نشان می‌دهد که افزودنی نانوکامپوزیت باعث کاهش ضخامت اندود گل و هرزروی سیال و همچنین موجب افزایش گرانیروی گل حفاری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: گل حفاری؛ نانوکامپوزیت؛ هرزروی سیال؛ ضخامت اندود گل؛ گرانیروی.

KEY WORDS: Drilling mud; Nanocomposite; Fluid loss; Mud cake thickness; Viscosity.

مقدمه

با پیشرفت صنعت نفت، سیال‌های حفاری از شکل ابتدایی خود خارج شده و وظیفه‌های بیش‌تر و سنگین‌تری پیدا کرده است. از جمله نقش‌های امروزی سیال‌های حفاری، تمیز کردن کف چاه و حمل خرده سنگ‌های حفاری شده به سطح زمین، خنک کردن و روان کاری وسایل حفاری مانند مته و لوله‌های حفاری، نگهداری

مهم‌ترین وظیفه گل حفاری حمل خرده‌های حفاری به سر چاه می‌باشد، یکی از وظیفه‌های اصلی دیگر این سیال، ایجاد شناوری برای وسایل و تجهیزهای درون چاه است، بدین صورت که با شناور شدن اجزا از وزن آن‌ها کاسته شده و در نتیجه از فشار وارد بر رشته‌های حفاری به مقدار چشمگیری کم می‌شود.

*E-mail: sabbaghi@shirazu.ac.ir

*عهده دار مکاتبات

کاهش چشمگیری در میزان جذب آب توسط شیل‌ها می‌شود که در میدان‌های یاد شده باعث کاهش به میزان ۱۶ تا ۲۷ درصد و همچنین کاهش ۹۸ درصدی نسبت به آب دریا می‌شود. در سال ۲۰۰۹ میلادی، یانگ و همکاران^(۴) [۷] چگونگی تولید، ویژگی‌ها و کاربرد ویژگی‌ها نانو ذره‌ها کopolymerی کربوکسی متیل سلولز با پلی آکریل آمید را بررسی کردند. آن‌ها در ابتدا کopolymer پیوندی کربوکسی متیل سلولز با پلی آکریل آمید را در یک محیط آبی با استفاده از یک سامانه ریدوکس به عنوان آغازگر، غلظت مونومر، دمای واکنش و مقدار pH را بر روی وزن متوسط مولکولی کopolymer پیوندی مورد بررسی قرار دادند. برای اثبات کopolymer پیوند زده شده نیز از آنالیزهای پرتو سنجی فروسرخ، آنالیزهای گرمایی، پراش پرتو ایکس استفاده کردند. همچنین اثر گرانیروی ذاتی سامانه را هم با نمک و هم بدون نمک مورد ارزیابی قرار دادند. در سال ۲۰۱۱ میلادی، وانگ و همکاران^(۵) [۸] کاربرد نانو ذره‌های اصلاح شده پلی آکریل آمید برای جدا سازی فازهای جامد و مایع در پساب گل حفاری بررسی کردند. برای این منظور، نانو ذره‌های اصلاح شده پلی آکریل آمید را به چهار روش پراکندگی درجا پراکندگی مستقیم، تشکیل همزمان و روش انباشتگی تولید کردند روش پراکندگی درجا را برای تولید نانو ذره‌های اصلاح شده آنیونی و کاتیونی پلی آکریل آمید به کار بردند. برای اثبات اصلاح‌های انجام شده از آنالیز پرتو سنجی فروسرخ استفاده کردند. این پژوهشگران، پلیمرهای تولید شده را بر روی خاصیت هرزروی سیال‌های حفاری انجام دادند. در سال ۲۰۱۲ میلادی، صبوری [۹] بر روی تولید نانو کامپوزیت‌های پوسته هسته کربوکسی متیل سلولز و استایرن به روش مینی تعلیق کار کرد. کاربرد این کامپوزیت را در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و رئولوژی گل حفاری مورد بررسی قرار داد. همچنین تأثیر خود کربوکسی متیل سلولز را به شکل توده و هم به شکل نانو ذره مورد آزمایش قرار داد. درستی عمل نشسته شدن پلیمر استایرن بر روی نانو ذره‌ها نیز به وسیله آنالیز گرمایی تجزیه‌ای نشان دادند. در همان سال، فریدونی و همکاران [۱۰] تأثیر پلی آیونیک سلولز بر روی ویژگی‌های رئولوژی گل حفاری را بررسی کردند. برای این منظور آن‌ها تأثیر پلی آیونیک سلولز را هم به صورت توده و هم به صورت نانو ذره بر روی هرزروی سیال و همچنین میزان ضخامت اندود گل

از دیواره چاه و به وجود آوردن یک طبقه غیر قابل نفوذ روی دیواره، جلوگیری از ورود طبقه‌های تحت فشار به داخل چاه، جلوگیری از ته نشین شدن خرده سنگ‌ها و مواد افزاینده وزن گل حفاری (زمانی که گل حفاری در حال سکون است) و بسیاری موارد دیگر، می‌باشد [۱-۳].

سیال‌های حفاری به طور کلی به شکل مایع و یا بادی (پنوماتیکی) قابل دسته بندی هستند. بسته به نوع فاز مایع، گل حفاری مایع خود به دو دسته تقسیم بندی می‌شود: سیال برپایه آب و بر پایه روغن. سیال‌های پنوماتیکی شامل گاز خشک (هوا، گاز طبیعی و نیتروژن)، بخار آب، کف و گل‌های گازدار شده، می‌باشد، که از این میان گل حفاری پایه آبی بیشترین استفاده را دارد [۱]. پژوهشگران برای بهبود عملکرد گل حفاری، افزودنی‌های متنوعی را تا به امروز مورد بررسی و استفاده قرار داده‌اند، با پیشرفت روز افزون علم و فناوری و فراگیر شدن فناوری نانو در علوم و کاربردهای عملی گوناگون، گل حفاری نیز با استفاده از افزودنی‌های نانومتری دستخوش تغییر شده است. در سال ۲۰۰۴ میلادی، بسیوال و همکاران^(۱) [۴] ویژگی‌های کopolymer پیوندی کربوکسی متیل سلولز و پلی آکریل آمید را مورد مطالعه قرار دادند. تولید کopolymer پیوندی کربوکسی متیل سلولز و پلی آکریل آمید به وسیله یون کریک و با استفاده از روش پلیمریزاسیون اکسایشی صورت گرفت. برای تعیین ویژگی‌های کopolymer پیوندی تولید شده از آنالیزهای تجزیه و تحلیل عنصری، فروسرخ، میکروسکوپ الکترونی پویشی و آنالیز گرمایی تجزیه‌ای استفاده کردند. در سال ۲۰۰۸ میلادی، میرزایی و همکاران^(۲) [۵] عملکرد نانو ذره دوده با اندازه حدود ۳۰ نانومتر را بر روی گل حفاری مورد بررسی قرار دادند. نتیجه‌های به دست آمده از افزودن نانوذره‌های دوده به گل حفاری نشان دهنده آن است که این نانو ذره‌ها باعث کاهش یا جلوگیری از گیر کردن لوله‌های حفاری، کاهش ضخامت اندود گل، کاهش گرانیروی و نقطه تسلیم می‌شود. در سال ۲۰۰۹ میلادی، سنسوی و همکاران^(۳) [۶] عملکرد نانو ذره‌های سیلیکا را بر روی گل حفاری پایه آبی بررسی کردند. نانو ذره تولیدی را بر روی گل حفاری چهار میدان نفتی دارای شیل آتوکا در خلیج مکزیک می‌باشند، مورد بررسی قرار دادند. نتیجه‌های به دست آمده نشان دادند که وجود نانو ذره‌ها باعث

(۱) Bsiwal D.R. et al.

(۲) Mirzaei A. et al.

(۳) Sensoy T. et al.

(۴) Yang F. et al.

(۵) Wang F. et al.

اندود گل حفاری اصلاح شده با نانو کامپوزیت منحصر به فرد باریت/ پلی‌اکریل آمید پرداخته شده است. گرانروی از ویژگی‌های اولیه و اصلی انواع سیال‌ها است. گل حفاری بسته به محیط و نوع سطوحی که در آن حفاری صورت می‌پذیرد باید گرانروی مناسب را داشته باشند، تا بتواند کنده های حفاری را با خود حمل کرده و به سطح بیاورد. همچنین به دلیل صرفه اقتصادی بیشتر، هر چه هرزروی سیال و ضخامت کیک گل حفاری کمتر باشد، در عمل میزان آب کمتر و حجم گل کمتری صرف حفاری می‌شود، که این موارد موجب مقرون به صرفه تر شدن عملیات حفاری می‌شود. بنابراین، این سه پارامتر نقش به‌سزایی در انتخاب گل حفاری مناسب بازی می‌کنند. افزون بر این، از باریت به طور طبیعی در عملیات حفاری برای افزایش وزن گل حفاری استفاده می‌شود. همچنین نانوذره‌های باریت به تنهایی توسط *آقا/سماعیلی [۱۲]* مورد مطالعه قرار گرفته شده، اما در این مقاله به بررسی نانوکامپوزیت باریت/ پلی‌اکریل آمید پرداخته شده که تأثیر گذاری بسیار بیش‌تری در ویژگی‌های گوناگون گل حفاری را نشان می‌دهد. بر این اساس همزمان تأثیرگذاری هر دو ماده که هر کدام به تنهایی در گل های حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرند، مورد مطالعه قرار گرفته است.

بخش تجربی

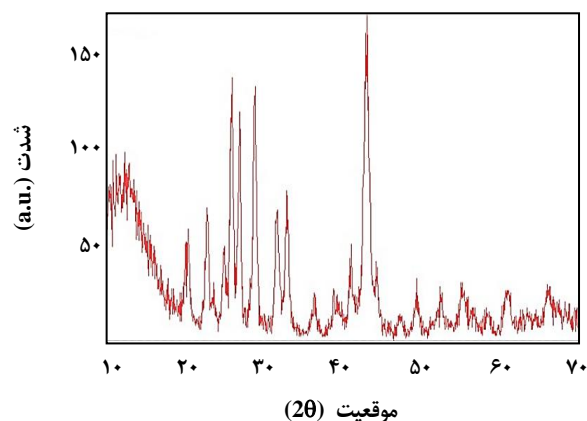
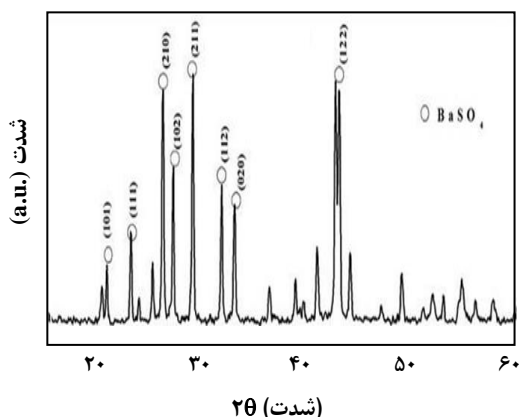
مواد

نانو ذره باریت سولفات (باریت) با اندازه متوسط ۱۵ نانومتر، مونومر اکریل آمید، پتاسیم پرواکسی سولفات (KPS) به عنوان آغازگر فرایند پلیمریزاسیون و سورفکتانت سدیم دودسیل سولفات (SDS) که از شرکت مرک آلمان تهیه شده اند. بنتونیت طبیعی که از شرکت ملی حفاری ایران تهیه شده است.

تولید نانوکامپوزیت باریت/ پلی‌اکریل آمید

۰/۵ گرم نانوذره‌های باریت در ۲۰ میلی لیتر آب مقطر و ۱۰ میلی گرم SDS به وسیله نیروی برشی به دست آمده از دستگاه التراسونیک به خوبی پخش شد. این محلول در واقع نانوسیال اولیه باریت برای انجام پلیمریزاسیون را تشکیل می‌داد. سپس به طور جداگانه ۱۰ گرم مونومرهای اکریل آمید را در ۲۰ میلی لیتر آب دو بار تقطیر حل کرده و به وسیله همزن مغناطیسی حدود ۲۰ دقیقه با دور کم هم زده می‌شد تا مونومرها به طور کامل در آب حل شوند. پس از آن هر دو محلول مخلوط شده و برای مدت

مورد بررسی قرار دادند. نانو ذره‌های پلی‌آیونیک سلولز را از روش آسیاب‌های گلوله‌ای پر انرژی، از پلی‌آیونیک سلولز توده تولید کردند. نانو ذره‌های تولیدی که اندازه‌ای در حدود ۱۰۰ نانومتر داشتند، توانستند تأثیر چشمگیری در میزان کاهش هرزروی سیال و همچنین ضخامت اندود گل نسبت به پلی‌آیونیک سلولز توده از خود نشان دهند. *ضرابی [۱۱]* در سال ۲۰۱۳ میلادی، کاربرد کامپوزیت کلسیم کربنات و نانو ذره سیلیس ($\text{CaCO}_3/\text{SiO}_2$) بر روی ویژگی‌های گل حفاری را مورد بررسی قرار داد. نتیجه‌ها نشان داد که کاربرد این نانو کامپوزیت باعث بهبود همزمان گرانروی و دانسیته گل حفاری می‌شود. *آقا/سماعیلی [۱۲]* در سال ۲۰۱۳ میلادی، تأثیر افزودن نانوذره‌های باریت سولفات را بر روی گل حفاری مورد بررسی قرار داد. به این منظور از روش ته نشست شیمیایی، نانوذره‌های باریت را با میانگین اندازه ذره ۲۰ نانومتر تولید کرد. نتیجه‌های به دست آمده نشان از افزایش ۳۶۶ تا ۴۰۰ درصدی در گرانروی گل حفاری پایه آبی نسبت به باریت سولفات توده‌ای دارند. افزایش وزن گل حفاری در صورت استفاده از نانوذره‌های باریت سولفات در مقایسه با باریت سولفات توده‌ای بین ۰/۱ تا ۰/۲۲۵ درصد است. همچنین با استفاده از نانوذره‌های باریت سولفات افزایش اندکی در ضخامت کیک گل و کاهش در هرزروی سیال دیده شده است. در سال ۲۰۱۴ میلادی، *علیزاده و همکاران [۱۳، ۱۴]* با تولید افزودنی نانوذره‌های پوسته-هسته آلومینا/ پلی‌اکریل آمید به عنوان افزودنی، ویژگی‌های گل حفاری را بررسی کردند. نتیجه‌ها مشخص کرد که این ترکیب باعث افزایش گرانروی گل، کاهش هرزروی، کاهش ضخامت اندود گل و کاهش رقیق شدگی نسبت به پلیمر می‌شود و در وزن مخصوص گل تأثیری ندارد. *صادق‌الوعد و صباغی [۱۵، ۱۶]* با تولید نانوکامپوزیت تیتانیوم دی‌اکسید/ پلی‌اکریل آمید، کاربرد آن را بر روی گل حفاری پایه آبی بررسی کردند. نتیجه‌ها نشان داد که این ترکیب باعث بهبود ویژگی‌های گل حفاری از جمله گرانروی، هرزروی و ضخامت اندود گل می‌شود. در این مطالعه‌ها از نانوذره‌هایی استفاده شده که در حفاری های متداول کمتر مرسوم هستند. در عمل از پودر آلومینیوم دی‌اکسید و تیتانیوم دی‌اکسید تا به حال کمتر استفاده شده، اما ذره‌های باریت به صورت توده، ماده‌ای مرسوم به عنوان افزودنی در عملیات حفاری است. به همین دلیل نانوذره‌های باریت در این کامپوزیت تولیدی مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش به بررسی گرانروی، هرزروی سیال و ضخامت



شکل ۲- طیف پراش پرتو ایکس (XRD) مرجع مربوط به نانوذره‌های باریت [۱۸].

شکل ۱- طیف پراش پرتو ایکس (XRD) نانوکامپوزیت باریت/ پلی اکریل آمید.

دستگاه‌های مورد استفاده

دستگاه اندازه‌گیری ذره‌ها به روش تفریق دینامیکی نور (DLS) برای اندازه نانوذره‌های باریت موجود در سامانه و پراش پرتو ایکس (XRD) برای شناسایی ذره‌های باریت موجود در نانوکامپوزیت به کار گرفته شد. همچنین برای بررسی ویژگی‌های رئولوژی گل حفاری از گرانروی سنج دوار Brookfield مدل LVDV II-Pro همراه با اسپیندل مدل UL و برای بررسی ویژگی‌های تصفیه از دستگاه فیلتر پرس در دما و فشار پایین (فشار ۱۰۰ psig، دمای اتاق و مدت زمان ۳۰ دقیقه) استفاده شد.

نتیجه‌ها و بحث

مشخصه یابی ذره‌های باریت توسط آنالیز پراش پرتو ایکس

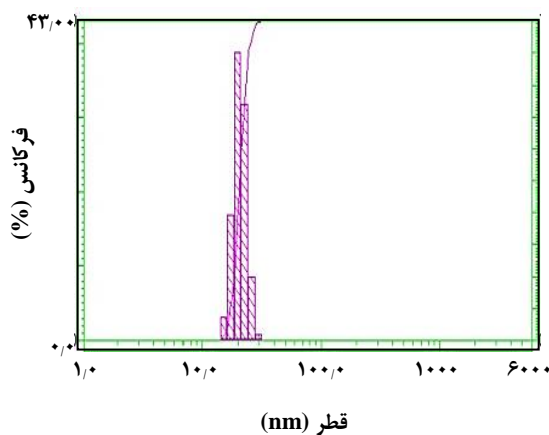
شکل ۱ پراش پرتو ایکس نانوکامپوزیت باریت/ پلی اکریل آمید را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود، قله‌های به دست آمده از آنالیز XRD بیان‌گر باریت در فرآورده‌ی تولیدی هستند، که با شکل ۲ که الگویی از نانوذره‌های باریت سولفات (به عنوان مرجع) است، مطابقت دارد. چهار قله پرشدت تر شکل ۱ مربوط به 2θ برابر با $26/00$ ، $26/95$ ، $28/77$ و $42/85$ است که به ترتیب مربوط به صفحه‌های بلوری hkl (۲۱۰)، (۱۰۲)، (۲۲۱) و (۱۲۲) که با شماره مرجع (۰۰-۰۲۴-۰۰۲۰) مربوط به باریت به دست آمده است. با استفاده از معادله شرر که روشی مرسوم برای محاسبه اندازه بلور است، می‌توان با توجه به قله‌های پرشدت تر که بیان شده‌اند، این مقدار را به دست آورد. معادله شرر به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۷]:

۲۰ دقیقه تحت نیروی برش به دست آمده از دستگاه فراصوت قرار داده شد. سیال تولید شده در این مرحله به خاطر وجود سورفکتانت SDS پایدار شده و کلوخه نمی‌شد.

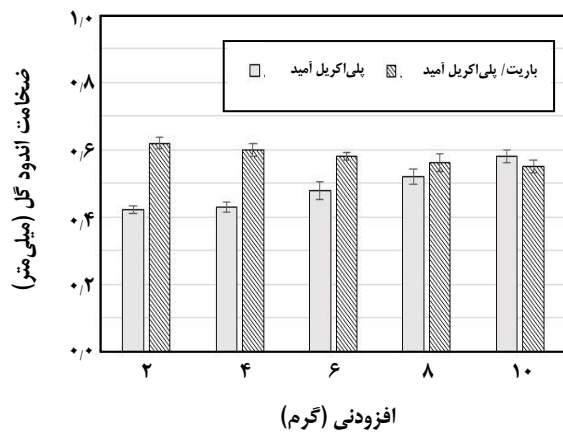
بعد از پایان اعمال نیروی برش مقداری از پتاسیم پراکسی سولفات (۰/۱ گرم) به عنوان آغازگر به محلول افزوده شد. حمام آب به کمک دستگاه کنترل کننده دما در دمای پلیمریزاسیون اکریل آمید یعنی ۶۷ درجه سلسیوس تنظیم شده بود. نانوسیال آماده شده درون راکتور ناپیوسته مجهز به همزن با قابلیت هم زدن ۳۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. سامانه بازروانی را برای جلوگیری از هدر رفتن بخارهای سامانه و تحت نیتروژن برای جلوگیری از به وجود آمدن واکنش‌های ناخواسته به راکتور افزوده شد. پس از حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه فرایند تکمیل شده و لاتکس تردی از نانوکامپوزیت باریت/ پلی اکریل آمید به دست آمد. پس از این مرحله، مواد به دست آمده در آن خلاء برای مدت حداقل ۳ ساعت با دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا نانوکامپوزیت تولیدی به طور کامل خشک شود.

آماده سازی گل حفاری

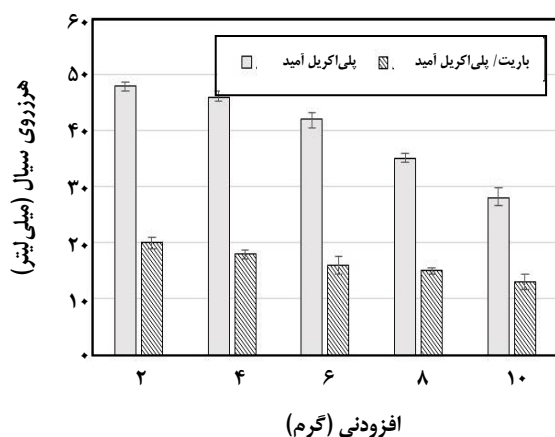
با افزودن مقادیر مشخصی (۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ گرم) نانوکامپوزیت باریت/ پلی اکریل آمید به سیال شامل ۱۰ گرم بنتونیت در ۳۵۰ میلی لیتر آب، گل حفاری اصلاح شده با نانوکامپوزیت باریت/ پلی اکریل آمید به دست آمد. هم‌زدن با همزن صنعتی در دما بالای همپلتون به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد.



شکل ۳- نمودار آنالیز اندازه ذره‌های باریت.



شکل ۴- ضخامت اندود گل حفاری اصلاح شده با پلی اکریل آمید و نانوکامپوزیت باریت / پلی اکریل آمید.



شکل ۵ - هرزروی گل حفاری اصلاح شده با پلی اکریل آمید و نانوکامپوزیت باریت / پلی اکریل آمید.

$$L = \frac{0.94\lambda}{B(2\theta)\cos\theta}$$

که λ طول موج پرتو ایکس 0.154 نانومتر است، $B(2\theta)$ عرض نصف ارتفاع پیک است بر حسب رادیان، θ زاویه پراش و L اندازه بلور بر حسب نانومتر است. که با توجه به محاسبه شرر، می‌توان اندازه بلور باریت در نانوکامپوزیت تولیدی را به‌طور متوسط 24 نانومتر گزارش کرد.

آنالیز تفریق دینامیکی نور

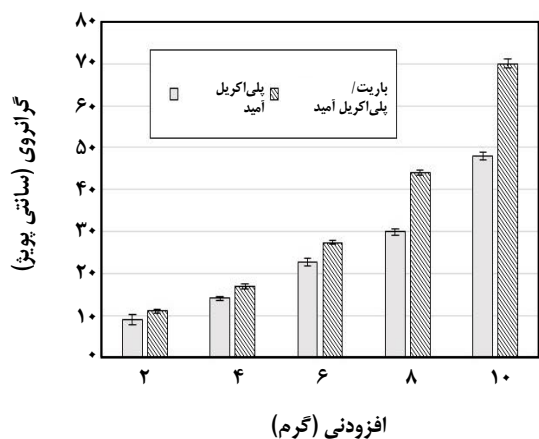
نانوکامپوزیت باریت / پلی اکریل آمید تولید شده حدود 5 دقیقه در محلول آبی فراصوت دهی شد و سپس توسط دستگاه آنالیز اندازه ذره‌های متوسط 20 نانومتر را نشان می‌دهد که در شکل ۳ نشان داده شده است. این آنالیز توزیع باریک اندازه ذره‌های باریت را نشان می‌دهد، که با توجه به اندازه متوسط بلور باریت در نانوکامپوزیت تولیدی توسط محاسبه شرر (24 nm)، می‌توان به درستی آنالیزهای انجام شده پی برد.

ویژگی‌های گل حفاری

ویژگی‌های تصفیه

ضخامت اندود گل پارامتری تأثیرگذار در تعیین ویژگی‌های گل حفاری و بررسی میزان اثر بخشی افزودنی به گل حفاری محسوب می‌شود که با کاهش ضخامت آن میزان گل مصرفی کاهش می‌یابد. هرزروی افزون بر تحمیل هزینه اضافی برای تهیه و جایگزینی دوباره گل در زمان عملیات حفاری، موجب وارد شدن صدمه‌های اساسی به یک مخزن می‌شود. از آنجا که اغلب مخازن ایران از نوع کربناته با شکستگی‌های فراوان هستند، کاربرد حفاری بالای تعادل در این مخازن باعث ایجاد مشکل‌های بسیاری از جمله هرزروی گل می‌شود [۱۹]. افزون بر این، میزان هرزروی سیال از داخل گل به سازند و یا به شکل وارون، ارتباط مستقیمی با میزان ضخامت گل حفاری دارد. تعیین ضخامت گل حفاری با کمک آزمون استاندارد گل صورت می‌پذیرد. در این آزمایش بایستی نمونه‌های گل حفاری با درصد‌های وزنی یکسان از دو حالت پلی اکریل آمید و نانوکامپوزیت باریت / پلی اکریل آمید را تهیه کرده و با یکدیگر مقایسه شوند. آماده‌سازی گل حفاری با درصد‌های گوناگون، پیش‌تر توضیح داده شده است.

شکل ۴ نتیجه‌های به دست آمده از بررسی‌های انجام شده در رابطه با ضخامت کیک گل و شکل ۵ هرزروی سیال را نشان می‌دهند.



شکل ۶ - گرانیوی گل حفاری اصلاح شده با پلی‌اکریل آمید و نانوکامپوزیت باریت/پلی‌اکریل آمید.

برای مقایسه هر چه بهتر پژوهش حاضر با مطالعه‌های پیشین، شکل ۷ و ۸ به ترتیب مقایسه ضخامت اندود گل و هرزروی سیال را نشان می‌دهد. بررسی مقایسه نشان می‌دهد که روند کلی تغییرها در نانوکامپوزیت‌های سنتزی در مطالعه حاضر همانند مطالعه‌های گذشته [۱۳، ۱۶] است، اما تفاوت در میزان تغییرها است که به دلیل نوع نانو ذره استفاده شده می‌باشد. بررسی‌ها نشان داده است که در مقدارهای بالاتر افزودنی (۱۰ گرم) مقدار ضخامت کیک گل ایجاد شده در افزودنی‌های گوناگون، بسیار به یکدیگر نزدیک شده و در بازه‌ی ۰/۸-۰/۶ میلی متر قرار می‌گیرند، این در حالی است که تفاوت در مقدارهای کمتر افزودنی، چشمگیر می‌باشد. شکی ۸ نیز گویای تغییر روند انواع افزودنی‌هاست. به خوبی مشخص است که نانو کامپوزیت باریت/پلی‌اکریل آمید، عملکرد بهتری را در هرزروی سیال نسبت به نانو کامپوزیت‌های تهیه شده پیشین دارد، اما این امر در مورد افزودنی‌های پلیمری طبیعی (کربوکسی متیل سلولز و پلی‌آیونیک سلولز) صادق نمی‌باشد.

نتیجه‌گیری

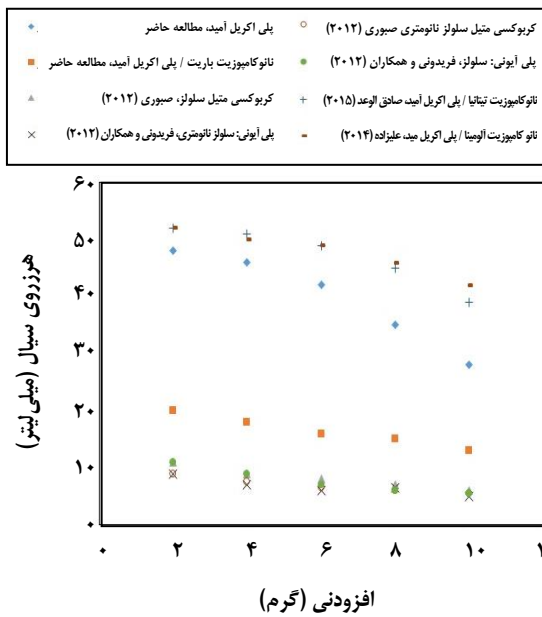
در این پژوهش با تولید نانوکامپوزیت باریت/پلی‌اکریل آمید ویژگی‌های گل حفاری از جمله ضخامت اندود گل، هرزروی سیال و گرانیوی بررسی شد. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که نانوکامپوزیت تولیدی در بهبود ویژگی‌های رئولوژی و تصفیه گل حفاری اثر گذار است. نتیجه‌ها نشان می‌دهد با افزایش نانوکامپوزیت از ۲ به ۱۰ گرم، گرانیوی از ۱۱ به ۷۰ سنتی پویز افزایش، ضخامت کیک گل از ۰/۶۲ به ۰/۵۵ میلی متر کاهش و

زمانی که از گل حفاری اولیه (۱۰ گرم بنتونیت در ۳۵۰ میلی لیتر آب) استفاده شد، اندازه‌گیری‌ها ۱/۵۶ mm برای ضخامت اندود گل و ۵۲ mL برای هرزروی سیال نشان دادند. مطابق شکل ۴ و ۵ مشخص است که هر دو افزودنی تأثیر دلخواهی بر این ویژگی‌ها را دارند، چرا که به طور کلی میزان هرزروی و ضخامت کیک گل کمتری نسبت به گل حفاری اولیه دارند. مطابق شکل ۴ مشخص است که با افزایش مقدار نانوکامپوزیت باریت/پلی‌اکریل آمید ضخامت اندود گل روند کاهشی دارد. این در حالی است که برای افزودنی پلی‌اکریل آمید این روند افزایشی است. اما به طور کلی در درصدهای وزنی کمتر افزودنی پلی‌اکریل آمید ضخامت کیک گل کمتری نسبت به افزودنی نانوکامپوزیت باریت/پلی‌اکریل آمید دارد. شکل ۴ به طور کامل اثر نانوذره‌های باریت را در عملکرد نهایی ضخامت اندود گل حفاری نشان می‌دهد. حضور نانوذره‌ها به دلیل سطح زیادشان نسبت به حجم آنها باعث کاهش شده‌اند. در عمل نانوذره‌ها باعث ایجاد هرزروی کمتر (شکل ۵) به دلیل بسته کردن فضاهای بسیار کوچک و در نتیجه فشردگی تر شدن کیک گل شده است.

شکل ۵ نشان‌دهنده تغییرهای هرزروی گل حفاری نسبت به مقدار افزودنی است. همان طور که مشاهده می‌شود، هر دو افزودنی باعث کاهش میزان هرزروی سیال می‌شوند اما این کاهش در افزودنی نانوکامپوزیت باریت/پلی‌اکریل آمید بسیار بیشتر است که این عامل به دلیل حضور نانوذره‌ها در این افزودنی می‌باشد. در واقع، نانوذره‌های باریت باعث بهبود در ویژگی‌های تصفیه گل حفاری شده‌اند.

گرانیوی گل حفاری

گرانیوی گل حفاری اصلاح شده با باریت سولفات/پلی‌اکریل آمید و گل حفاری اصلاح شده با پلی‌اکریل آمید در شکل ۶ آورده شده است. گرانیوی این دو سیال با هم تفاوت دارد. در واقع سیال اصلاح شده با افزودنی نانوکامپوزیت باریت/پلی‌اکریل آمید گرانیوی بیشتری نسبت به افزودنی پلی‌اکریل آمید دارد. به طور مثال در سیال‌های با ۱۰ گرم افزودنی، گرانیوی گل حفاری اصلاح شده با نانوکامپوزیت باریت/پلی‌اکریل آمید حدود ۷۰ سانتی پویز و در افزودنی پلی‌اکریل آمید حدود ۵۰ سانتی پویز می‌باشد. به طور کلی در هر دو نوع گل حفاری اصلاح شده، گرانیوی سیال با افزایش مقدار افزودنی، افزایش می‌یابد.



شکل ۸ - مقایسه مقدارهای هرزروی سیال در مطالعه‌های حاضر و پیشین.

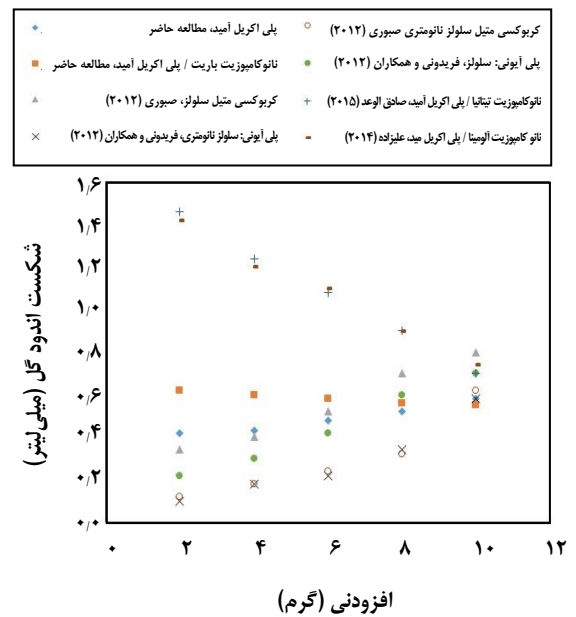
با کاهش هرزروی و کاهش ضخامت کیک گل در شرایط گوناگون عملیاتی می‌باشد.

قدردانی

نویسندگان از مهندس سامان شریعت کارشناس آزمایشگاه نفت دانشگاه شیراز و همچنین مهندس سجاد علیزاده کمال تشکر را دارند.

فهرست نمادها

KPS	پتاسیم پراکسی سولفات
SDS	سدیم دودسیل سولفات
DLS	تفریق دینامیکی نور
XRD	پراش پرتو ایکس



شکل ۷ - مقایسه مقدارهای ضخامت اندود گل در مطالعه‌های حاضر و گذشته.

هرزروی سیال از ۲۰ به ۱۳ میلی لیتر کاهش می‌یابد. به‌طور کلی، روند تغییر ویژگی‌های مورد مطالعه در مقایسه با مطالعه‌های پیشین از نظر تئوری همخوانی دارند. در عمل به‌طور نظری روشن است که با افزودن پلی اکریل آمید، گرانیوی سیال دچار افزایش می‌شود و هرزروی کاهش می‌یابد. نتیجه‌ها نشان داد که، با افزودن نانوکامپوزیت تهیه شده، ضخامت کیک گل و هرزروی سیال کاهش می‌یابد، در حالی که گرانیوی افزایش می‌یابد. در واقع، در عملیات‌های حفاری که نیازمند گرانیوی بالا می‌باشند، می‌توان با افزودن مقدار کمتری از این نانوکامپوزیت تهیه شده، به گرانیوی مورد نظر رسید، چرا که در این حالت، گرانیوی از گرانیوی پلی اکریل آمیدی که بدون حضور نانوذره تهیه شده است، بیشتر می‌باشد. یکی از مهم‌ترین دستاوردهای استفاده از نانوکامپوزیت تهیه شده در این پژوهش، افزایش همزمان گرانیوی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۱۲

مراجع

- [۱] عباس زاده شهری، عباس؛ قادری، عبدالواحد؛ خیری زاده، امید؛ "مهندسی گل حفاری"، چاپ اول، تهران، انتشارات کتاب آوا، (۱۳۹۱).

- [۲] عادل زاده، محمدرضا؛ "اصول مهندسی حفاری (مبانی و اصول نظری و کاربردی در صنعت نفت و تجارت صنعتی)"، چاپ اول، تهران، انتشارات ستایش، (۱۳۸۵).
- [3] Chlingarian G.V., Voraburt P., "Drilling and Drilling Fluids", Updated Textbook Edition, New York, (1983).
- [4] Bsiwal D.R., Singh R.P., Characterization of Carboxymethyl Cellulose and Polyacrylamide Graft Copolymer, *J. Carbohydr. Polym.*, **57**: 379-387 (2004).
- [5] Mirzaei P.A., Duraya A.A.B., Using Nanoparticle to Decrease Differential Pipe Sticking and Its Feasibility in Iranian Oil Field, *Oil and Gas Business*, **2**: 1-6 (2008), <http://www.ogbus.ru/eng/>.
- [6] Sensoy T., Chenevert M.E., Sharma-Mukul M., Minimizing Water Invasion in Shale Using Nanoparticles, *SPE 12442*, (2009).
- [7] Yang F., Li G., He Y.G., Ren F.X., Wang G.X., Synthesis, Characterization and Applied properties of Carboxymethyl Cellulose and Polyacrylamide Graft Copolymer, *J. Carbohydr. Polym.*, **78**: 95-99 (2009).
- [8] Wang F., Fan J., Zhu H., Han K., Zou J., Sun H., Preparation of Nano Modified Polyacrylamide and Its Application on Solid-Liquid Separation in Waste Drilling Mud, *Adv. Chem. Eng. Sci.* **1**: 33-36 (2011).
- [9] Saboori R., "Experimental Study of Nano Additive on Drilling Mud", M.S. Thesis in Chemical Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran, (2012).
- [10] Fereydouni M., Sabbaghi S., Saboori R., Zeinali S., Effect of Polyanionic Cellulose Polymer Nanoparticles on Rheological Properties of Mud Drilling, *Int. J. Nanoscience and Nanotechnology*, **8**: 171-174 (2012).
- [11] Zarrabi M., "Synthesis of Nano SiO₂/CaCO₃ Composite in Order to Inject Into Drilling Mud", M.S. Thesis in Nano Chemical Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran, (2013).
- [12] Aghaesmaeli N., "Synthesis of Nano Barite in Order to Inject Into Drilling Mud", M.S. Thesis in Nano Chemical Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran, (2013).
- [13] Alizadeh S., "Experimental Study of Nano Core Shell Alumina/Poly Acrylamide Additive in Drilling Mud Properties", M.S. Thesis in Nano Chemical Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran, (2014).
- [14] Alizadeh S., Sabbaghi S., Soleymani M., Synthesis of Alumina/Polyacrylamide Nanocomposite and Its Influence on Viscosity of Drilling Fluid, *Int. J. Nano Dimens.*, **6**: 271-276 (2015).
- [15] Sadeghalvaad M., "Synthesis of Titanium Dioxide/Polyacrylamide Core-Shell Nanoparticles and Its Application in Drilling Mud", M.S. Thesis in Nano Chemical Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran, (2014).
- [16] Sadeghalvaad M., Sabbaghi S., The Effect of the TiO₂/Polyacrylamide Nanocomposite on Water-Based Drilling Fluid Properties, *Powder Technol.*, **272**: 113-119 (2015).

- [17] Ramaswamy V., Vimalathithan R.M., Ponnusamy V., Synthesis of Monodispersed Barium Sulphate Nanoparticles Using Water-Benzene Mixed Solvent, *Adv. Mater. Lett.*, **3**: 29-33 (2012).
- [18] Nandakumar N., Kurian P. h., Chemosynthesis of Mono-Dispersed Porous BaSO₄ Nano Powder by Polymeric Template Process and Its Characterization, *Powder Technol.*, **224**: 51-56 (2012).
- [۱۹] جمالی نیا، محمد؛ تیموری خانه سری، ناصر؛ امکان‌سنجی کاربرد حفاری زیرتبادل‌ی در میدان نفتی پرسینا توجه به هرزروی گل حفاری، "همایش الکترونیکی پژوهش‌های نوین در علوم و فناوری"، (۱۳۹۳).