بهبود خواص رئولوژیکی و تریبولوژیکی گل حفاری با استفاده از نانوذرات

میثم سپهری نژاد [۱]، محمد قلم‌باز [۲*]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران
[۲] استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

دریافت: بهمن ۹۵ پذیرش: فروردین ۹۶

چکیده

نانو مواد جهت بهبود خواص رئولوژی و تریبولوژیکی گل حفاری پایه آبی مورد بررسی قرارمی گیرند. به علت مشکلات عملیاتی و محیط زیستی، استفاده از سیال حفاری پایه روغنی و سیال حفاری پایه سینیتیکی محدود شده و سبب شده است که پژوهشگران به دنبال راه جدیدی برای بهینه کردن خواص رئولوژیکی و تریبولوژیکی سیال حفاری پایه آبی باشند. در این پژوهش به بررسی توانایی نانو گرافیت بعنوان افزودنی اصلی برای بهینه سازی صافاب و روانکاری ودیگر خواص رئولوژیکی سیال حفاری پایه آبی پرداخته شده است. به این منظور، تاثیر افزودن غلظت های مختلف 0.09ppb, 0.07ppb, 0.03ppb, 0.02ppb, 0.01ppb 0.3 ppb, 0.2ppb, 0.1ppb, نانو گرافیت در بهبود خواص رئولوژیکی و تریبولوژیکی سیال حفاری پایه آبی آزمایش شد. نتایج نشان داد که ضریب اصطکاک برای سیال حفاری پایه آبی بدون نانو ذرات 0.18 بود. افزودن 0.1ppb از نانو گرافیت باعث کاهش 33% ضریب اصطکاک می شود. همچنین میزان صافاب گل با افزودن 0.1ppb از نانو گرافیت برابر 4ml و استحکام ژله ای ۱۰ دقیقه در این حالت برابر 4Pa.s می باشد. در نتیجه افزودن 0.1ppb از نانو گرافیت به سیال حفاری پایه آبی می تواند بهترین انتخاب می باشد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** m.ghalambaz@iaud.ac.ir

کلمات کلیدی: نانو ذرات، سیال حفاری، خواص رئولوژیکی و تریبولوژیکی، ضریب اصطکاک، حجم صافاب.

۱- مقدمه

در بدو پیدایش حفاری چرخشی، وظیفه گل حفاری عمدتا انتقال کنده‌های حفاری از ته چاه به سطح زمین بود. لیکن با توسعه سیستم حفاری دورانی، وظایف گل حفاری نیز سنگین‌تر شده است. اجرای وظایف محوله به گل و سیال حفاری در عملیات حفر چاه آنقدر مهم و اساسی است که نمی‌توان اهمیت آن ها را نادیده گرفت به همین دلیل باید در انتخاب و نگهداری و بکارگیری آن دقت لازم را انجام داد[۱].

یک گل حفاری مطلوب و کارساز و مورد نظر در یک حفاری موفقیت‌آمیز بایستی دارای این توانایی ها و ویژگی‌ها باشد: (۱) تمیزکردن ته چاه و انتقال کنده‌های حفاری به سطح زمین، (۲) خنک کردن مته و لوله‌های حفاری، (۳) روان کردن مته و لوله‌های حفاری، (۴) اندود کردن دیواره چاه و جلوگیری از ریزش چاه، (۵) کنترل فشارهای زیر زمینی، (۶) معلق نگه داشتن کنده‌ها و مواد وزن افزا به هنگام قطع جریان گل حفاری، (۷) ترخیص شن و کنده‌های حفاری بر روی الکهای لرزان و سایر تجهیزات جدا کننده، (۸) تحمل قسمتی از وزن لوله‌های حفاری و لوله‌های جداری، (۹) به حداقل رساندن ضایعات و آسیب‌ها به سازنده‌های مجاور چاه و (۱۰) انتقال توان هیدرولیکی پمپ های گل به مته و به حرکت در آوردن تیغه‌های متحرک مته[۱و۲].

۲- پیشینه

۲-۱ پیشرفت ها در زمینه فناوری نانو

فناوری نانو به زمینه ای از فناوری و علوم کاربردی باز می گردد که اصول کلی آن کنترل ماده در مقیاس اتمی و مولکولی است. معمولا مقیاس نانو در بازه‌های متفاوتی تعریف می‌گردد اما به طور کلی بازه بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر را نانو تعریف می‌کنند. واژه نانوتکنولوژی هنگامی به کار می‌رود که حداقل یکی از ابعاد مشخصه طراحی، ساخت و یا ساختارهای عامل‌دار ماده در حد نانو باشد[۳]. پیشرفت ها در زمینه فناوری نانو باعث توسعه مواد و وسایل با خصوصیات و ویژگی هایی شده است که به کمک فناوری های مرسوم نمی توان به آنها رسید. امروزه صنعت نفت و گاز به دنبال موادی است که از لحاظ فیزیکی، شیمیایی و حرارتی پایدار باشند تا بتوان سیالات هوشمند را برای استفاده در زمینه بهره برداری و حفاری طراحی کرد. با توجه به اهمیت و نیاز بهره برداری مخازن نفت و گاز، در آینده در حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد از تولیدات از مخازن فراساحلی خواهد بود[۴].

قلم باز و همکاران[1] [۵]، در پژوهشی انتقال حرارت آزاد در یک حفره مربعی پر شده توسط یک نانوسیال در محیط متخلخل اشباع شده با در نظر

1- Ghalambaz et al. 2015

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.2.8]

گرفتن اثرات تابش و اتلاف ویسکوزیته را مورد بررسی قراردادند. نتایج نشان داد تا زمانی که اتلاف ویسکوزیته وجود دارد عدد ناسلت در دیوار سرد و گرم برابر نیستند. در پژوهشی دیگر به بررسی انتقال حرارت لایه مرزی نانوسیالات بر روی یک صفحه کشیده پرداختند که نتایج نشان داد، استفاده از نانوذرات موجب افزایش انتقال حرارت بر روی صفحه کشیده می شود[۶].

زارکی و همکاران[1][۷]، در پژوهشی به تجزیه و تحلیل نظری انتقال حرارت طبیعی بر روی لایه مرزی و انتقال جرم نانوسیال تحت تاثیرات اندازه و شکل نانوذرات و نوع سیال پایه و دمای کاری پرداختند. نتایج نشان داد، نوع نانوذرات و سیال پایه مهم ترین پارامترهای موثر بر انتقال حرارت نانو سیالات هستند.

نقره آبادی و همکاران[2] [۸]، در پژوهشی به تجزیه و تحلیل جریان سیال و انتقال حرارت نانوسیالات بر روی یک ورق کشیده نزدیک شکاف اکستروژن پرداختند. نتایج نشان داد، عدد رینولدز بحرانی برای پروفیل درجه حرارت بطور قابل توجهی تحت تاثیر عدد پرانتل است. در پژوهشی دیگر، به اثر لغزش جزئی شرایط مرزی بر جریان و انتقال حرارت نانوذراتی که از روی صفحه کشیده گذشته با درجه حرارت ثابت دیواره پرداختند که نتایج نشان داد، اعداد ناسلت و شرود به شدت تحت تاثیر پارامتر لغزش کاهش می یابند[۹]. در پژوهشی دیگر رفتار انتگرالی برای انتقال حرارت اجباری و انتقال جرم نانوسیالات بر روی صفحه کشیده خطی را بررسی کردند. نتایج نشان داد افزایش کسر حجمی نانوذرات باعث افزایش ضخامت لایه مرزی حرارتی می شود[۱۰]. در پژوهشی دیگر مشخص شد که نرخ انتقال حرارت با افزایش کسر حجمی نانو ذرات سیلیکا افزایش پیدا می کند، همچنین عدد ناسلت نیز کاهش می یابد[۱۱].

پاپ و همکاران[3] [۱۲]، در پژوهشی به بررس انتقال حرارت آزاد در یک حفره مربعی متخلخل، پر شده با نانو سیال با استفاده از حرارت نا متعادل و مدل بونگیورنو پرداختند. نتایج نشان داد، افزایش نرخ نیروی شناوری، مقدار متوسط عدد ناسلت را کاهش می دهد. همچنین افزایش نانو ذرات به سیال پایه باعث افزایش مقدار متوسط عدد ناسلت نانو ذرات و کاهش مقدار متوسط عدد ناسلت سیال پایه می شود.

نقره آبادی و همکاران [۱۳]، در پژوهشی به بررسی جریان و انتقال حرارت نانو سیالات بر صفحه در حال کشیدن پرداختند. در این پژوهش لغزش جزئی و شرایط مرزی انتقال حرارت پارامتر های متغیر بودند. نتایج حاصل نشان داد که افزایش پارامتر ترموفورسیس یا عامل لغزش می تواند باعث کاهش عدد ناسلت در برخی موارد شود.

۲-۲ فناوری نانو در صنعت حفاری

نانوتکنولوژی در بخش‌های نامحدودی از اکتشاف و تولید نفت کاربرد دارد. در سال‌های اخیر با توجه به کارایی بیشتر، هزینه کمتر و دوستداری محیط زیست نقشی بسیار عمده و تعیین کننده در صنعت نفت ایفا می‌کند. هرچند که بسیاری از شرکت‌ها از این تکنولوژی در حد بسیار زیادی بهره می‌برند اما قیمت نفت و هزینه تولید آن نقش مهمی در استفاده از این تکنولوژی پاک دارد. امروزه بسیاری از شرکت‌های نفتی در زمینه‌های گوناگونی از قبیل: اکتشاف، حفاری، تولید، مسائل زیست محیطی و ازدیاد برداشت از فناوری نانو استفاده می‌کنند[۴].

بهبود عملکرد حفاری هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های کلی را کاهش می‌دهد. سیال حفاری که زمانی از آن فقط به عنوان عاملی برای حمل و انتقال خرده های حفاری به سطح زمین یاد می‌شد، در حال حاضر یکی از اساسی‌ترین عوامل موفقیت یا شکست عملیات حفاری است. واژه گل حفاری به محیط آب یا روغنی اطلاق می‌شود که ذرات جامد در آن به حالت معلق درآمده اند. به دلیل نقش های مهم گل در عملیات حفاری، وجود خواص معین و مطلوب در این سیال ضروری است. در مراحل مختلف عملیات حفاری ممکن است این خواص تحت تأثیر عوامل زیرزمینی به نحو نامطلوبی دست خوش تغییر شوند. با توجه به اهمیت کنترل این تغییرات در عملکرد کیفی سیال حفاری، سالانه مبالغ زیادی صرف پژوهش و مطالعات مختلف درباره پیداکردن وسایل و روش‌های مناسب برای کنترل صحیح خواص رئولوژیکی گل و کاهش آثار عوامل زیرزمینی روی این خواص می‌شود. کیفیت عملیات حفاری پیش از هر چیز تابع عملکرد مناسب گل حفاری انتخاب شده در شرایط موجود زمین است[۱۴].

بهبود عملکرد حفاری، هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های کلی را کاهش می‌دهد. از آغاز دهه ۶۰ و ۷۰ میلادی، میزان میانگین اندازه میادین کاهش پیدا کردند و اکتشافات جدید به ندرت صورت می‌گرفت، بنابراین بازده عملیات حفاری بسیار اهمیت پیدا کرد. علاوه بر این، حفاری در محیط‌های غیر معمول و بسیار شکننده برای افزایش تولید رواج پیدا کرد، که حفاری در آب‌های عمیق و قطب‌ها از نمونه‌های بارز آن است. بنابراین عملیات‌های حفاری بعدی به دلایل پیچیدگی‌های زمین شناسی، افزایش عمق و خطرات ناشی از آن با مشکلات عدیده ای روبرو شد. امان الله و همکاران [۱۵]، برای مواجه با این مشکلات صنعت به موادی نیاز داشتند که از نظر مکانیکی مقاوم، از نظر فیزیکی و شیمیایی پایدار و به علاوه مواد بسیار کوچکی باشند تا برای زمینه‌های مختلف اکتشاف و تولید مورد استفاده قرار گیرند.

۲-۳ کاربرد نانو در تکنولوژی حفاری

نانوذرات مصنوعی بیشترین کارایی خود را در تکنولوژی حفاری نشان دادند. این نانوذرات خواص رئولوژی منحصر به فردی را از خود نشان می‌دهند. سیالات حفاری پیشرفته پایه پلیمری که از نظر فیزیکی و شیمیایی به نانوذرات مرتبط هستند توسعه پیدا کردند. این سیالات دارای خواصی هستند که در مواجه با شرایط مختلف مانند دما، فشار و شوری رفتارهای متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. این سیالات، مخصوصا سیالات همراه نانوذرات کریستالی شده باعث افزایش سرعت حفاری و کاهش ساییدگی مته حفاری خواهند شد. افزودنی‌های نانو در گل حفاری باعث افزایش ظرفیت گرمایی نانوسیال می‌شود که در نتیجه، این خاصیت باعث سرد شدن مؤثر مته حفاری و در نهایت افزایش چرخه‌های عملیاتی خواهد شد[۱۴].

۲-۴ کاربرد نانو در سیالات حفاری

سیال حفاری که زمانی از آن فقط به عنوان عاملی برای حمل و انتقال خرده های حفاری به سطح زمین یاد میشد، در حال حاضر یکی از اساسی ترین عوامل موفقیت یا شکست عملیات حفاری است. واژه گل حفاری به محیط آب یا روغنی اطلاق می شود که ذرات جامد در آن به حالت معلق

1- Zaraki et al. 2015
2- Noghrehabadi et al. 2014
3 - Pop et al. 2014

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.2.8]

درآمده اند. به دلیل نقش های مهم این گل در عملیات حفاری، وجود خواص معین و مطلوب در این سیال ضروری است. در مراحل مختلف عملیات حفاری ممکن است، این خواص تحت تأثیر عوامل زیرزمینی به نحو نامطلوبی دست خوش تغییر شوند. با توجه به اهمیت کنترل این تغییرات در عملکرد کیفی سیال حفاری، سالانه مبالغ زیادی صرف پژوهش و مطالعات مختلف درباره پیدا کردن وسایل و روش های مناسب برای کنترل صحیح خواص رئولوژیکی گل و تقلیل آثار عوامل زیرزمینی روی این خواص می شود. کیفیت عملیات حفاری پیش از هر چیز تابع عملکرد مناسب گل حفاری انتخاب شده در شرایط موجود زمین است[۱۴].

برای تهیه نانو سیالات، به دلیل مساحت سطح بالای نانو ذرات در واحد حجم، به حجم کمتری از نانوذرات نیاز است. امان الله و همکاران [۱۵]، نانو سیال را به این صورت تعریف کردند: هر سیالی که شامل حداقل یک جزء یا یک ذره با ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشد را نانو سیال می گویند.

سال‌های متمادی مواد افزودنی نانو برای بهبود عملکرد سیال حفاری مورد استفاده قرار گرفته اند. بررسی های صورت گرفته نشان می‌دهد که استفاده از فناوری نانو در سیال حفاری در جهت حل مشکلات و یا توسعه محصولات صورت گرفته است. توسعه محصولات نانو در زمینه‌های رئولوژی، هرزروی سیال و پایداری شیل ها بسیار موفق به نظر می رسد. تحقیقات در زمینه جلوگیری از نفوذ آب به شیل‌ها بسیار موفق بوده است.

فریدهیم و همکاران [۱۶]، در مطالعه ای افزودنی‌های چند منظوره سیال حفاری را مورد بررسی قراردادند. نانوتکنولوژی موادی تولید می‌کند که خواص یگانه‌ای دارند. این خواص یگانه باعث می‌شود که نانو مواد بتوانند درقسمت‌های مهم سیال حفاری نقش ایفا کنند.

۲-۵ کاربرد نانو ذرات در بهبود خواص سیال حفاری

صیادنژاد و همکاران[۱][۱۷]، درزمینه حذف سولفید هیدروژن با اضافه کردن نانو ذرات اکسید روی در سیال حفاری پژوهشی انجام دادند. سولفید هیدروژن یک گاز بسیار خطرناک، سمی و خورنده است. این گاز می تواند در طول حفر چاه های نفت و گاز از سازند به سیال حفاری نفوذ کند. حذف این گاز موجب کاهش آلودگی محیط زیست وحفاظت از سلامت کارگران حفاری می شود و از خوردگی خطوط لوله و تجهیزات جلوگیری می کند.

دراین پژوهش نانو ذرات اکسید روی با اندازه ۲۵-۱۴ نانومتر به روش تجزیه در اثر حرارت[۲] بدست آمد. نتایج بدست آمده از انجام آزمایشات نشان داد که نانو ذرات اکسید روی می تواند بصورت کامل سولفید هیدروژن موجود در گل حفاری را در ۱۵ دقیقه از بین ببرد این در حالیست که اکسید روی معمولی تنها قادر به حذف ۲/۵٪ از سولفید هیدروژن در زمان ۹۰ دقیقه است.

کارستاد و همکاران[۳][۱۸]، در یک پژوهش تجربی به اندازه گیری ضریب اصطکاک بین انواع مختلف سیال حفاری با سطوح مختلف پرداختند که نتایج این پژوهش تجربی شامل موارد زیر شد:

الف) نتایج مقایسه ای در این تحقیق نشان می دهد که اندازه ضریب اصطکاک سیال با بازالت از حالت سطح فولادی برای یک سیال حفاری خاص بیشتر است.

ب) نتایج پژوهش برای زمانیکه گل و ماده در تماس گرم می شود را نشان می دهد. ضریب اصطکاک با دما افزایش پیدا می کند. زمانیکه دما از 30°c تا 80°c تغییر می کند، ضریب اصطکاک از ۲۰٪ تا ۵۰٪ افزایش پیدا می کند.

ج)ویسکوزیته سیال با افزایش دما کاهش پیدا می کند.

در پژوهش انجام شده بوسیله جمال ناصر و همکاران[۴][۱۹]، به سیال حفاری توسعه یافته با افزایش نانو ذرات جهت افزایش کارایی عملیات حفاری و بیشترین دسترسی به مخازن نفت قدیم و جدید و بهینه کردن شرایط حفاری مختلف پرداخته شد که راه حل غلبه بر مشکلات فراوان حفاری از جمله گرفتگی لوله ها[۵] و هرزروی گردش گل[۶]، آسیب های سازند[۷] در بهینه سازی رئولوژی سیال حفاری می باشد.

نتیجه گرفته شد که گل حفاری اصلاح شده با اضافه کردن نانو ذرات دارای خواص رئولوژی بهتری در دماها و فشارهای بالا می باشد و این کار تجربی نشان می دهد که نانوتکنولوژی می تواند جهت بالا بردن خواص سیالات حفاری استفاده شود.

در تحقیق ارائه شده از سوی اسماعیل و همکاران[۸][۲۰]، نانو ذرات استفاده شده در این مقاله نانو لوله های کربن چند دیواره[۹] که دارای نسبت مساحت سطح نسبت به حجم بالا و ضریب هدایت حرارتی بالایی بوده است. در این تحقیق بیشتر بر روی تخمین اندازه بهینه غلظت های مختلف از نانو لوله های کربنی چند دیواره برای بهبود خواص رئولوژی سیال حفاری پایه آبی و پایه استری در دماهای مختلف تمرکز شدو غلظت های مختلف از نانو ماده مذکور در دماهای مختلف آزمایش گردید.

نتایج نشان داد در سیال حفاری پایه آبی غلظت های مختلف نانو لوله های کربنی تاثیر زیادی بر گرانروی پلاستیکی[۱۰]، نقطه واروی[۱۱] ندارد و افزودن 0.01 ppb نانو لوله های کربنی کمترین حجم صافاب[۱۲] را در مقایسه با غلظت های دیگر می دهد و نمونه های دیگر حجم بالاتری از حد مورد قبول صافاب را نشان داد.

در سیال حفاری پایه استری، مقاومت ژلاتینی و ثبات محلول با افزایش غلظت نانو ماده استفاده شده بطور خیلی کم در حال افزایش است. ضمنا نتایج نشان داد که دما بر روی خواص رئولوژی سیال حفاری تاثیر می گذارد. همچنین خواص رئولوژیکی (ویسکوزیته پلاستیکی، مقاومت ژلاتینی و صافاب) با افزایش نانولوله کربنی چند دیواره بهبود خواهد یافت و افزایش غلظت نانو لوله های کربنی چند دیواره در سیال حفاری پایه استری نتایج

1- Sayyadnejad et al. 2008
2- Pyrolysis Method
3-Kaarstad et al. 2009

4- Nasser et al. 2013
5-Pipe sticking
6-Lost circulation
7-Formation damages
1-Ismail et al. 2014
2-MWCNTs
3-Plastic Viscosity
4-Yield Point
5-Filtrate Volume

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.2.8]

بهتری را در ویسکوزیته پلاستیکی، مقاومت ژلاتینی، پایداری امولسیون[۱] و میزان صافاب تامین کرد[۲۰] .

در پژوهشی توسط اسماعیل و همکاران[۲] [۲۱]، بهبود کارایی سیالات حفاری پایه آبی با استفاده از نانوذرات بر اساس نتایج آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نانوذرات استفاده شده در این تحقیق شامل نانو لوله های کربن چند دیواره[۳] و یک اکسید فلزی خاص بنام نانو اکسید مثال[۴] که از اکسید تیتانیوم[۵] و اکسید آلومینیوم[۶] و اکسید مس[۷] تشکیل شده بود که در سیال حفاری پایه آبی استفاده شد. در این پژوهش تاثیر غلظت های مختلف نانو ذرات بر خواص رئولوژیکی سیال حفاری پایه آبی در شرایط اتاقی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در سیال حفاری پایه آبی با حضور یک گرم از نانو لوله های کربنی چند دیواره، هرزروی صافاب گل[۸] در حدود ۶۵٪ کاهش پیدا کرد و ضخامت کیک گل[۹]در حدود ۳۰٪ کاهش یافت.

سیال حفاری پایه آبی با اضافه کردن نانوذره اکسید فلز نیز همین نتایج را در بر داشت. بطور مثال با اضافه کردن اکسید تیتانیوم به سیال حفاری پایه آبی هرزروی صافاب گل به میزان ۵۰٪ کاهش پیدا کرد و ضخامت کیک گل نیز در حدود ۳۰٪ کاهش یافت. علاوه بر این، بهبود قابل توجهی در خواص رئولوژیکی گل حفاری پایه آبی مانند نقطه واروی، ویسکوزیته پلاستیکی و مقاومت ژلاتینی با حضور اکسید فلزی و نانو لوله کربنی چند دیواره استفاده شده دیده شد. در کل عملکرد نانوذرات بر خواص رئولوژیکی سیال حفاری پایه آبی مزایای زیادی را به همراه داشت[۱۹].

در تحقیق انجام شده توسط ال یسیری و همکاران[۱۰][۲۲]، به صورت تئوری در مورد موثرتر شدن سیالات حفاری با استفاده از نانو مواد صحبت شده است. در این مقاله با توضیح وظایف مهم سیال حفاری در طول مراحل عملیات حفاری، در مورد پتانسیل بسیار زیاد استفاده از فناوری نانو در حل مشکلات حفاری پرداخته که علاوه بر بهبود مسائل فنی منجر به منافع اقتصادی زیادی می گردد.

درمقاله ارائه شده توسط فاضل عبدالابادی و همکاران[۱۱][۲۳]، با موضوع بهبود خواص رئولوژیکی و دمایی سیالات حفاری با استفاده از نانو تیوب های کربنی[۱۲]، نتایج نشان داد که در سیال حفاری پایه آبی با اضافه کردن این نانو ذرات و با شرایط دمای محیطی، هدایت حرارتی به میزان قابل توجهی در حدود ۲۳/۲٪ افزایش داشته است. این میزان با افزایش دما به 50°c به مقدار۳۱/۸٪ افزایش یافت. این نتایج با افزایش نانو ذرات به سیال پایه روغنی نیز تکرار شد و هدایت حرارتی به میزان ۴۳/۱٪ افزایش یافت و حجم صافاب به اندازه ۱۶/۶۷ ٪ کاهش یافت.

مائو و همکاران[۱۳][۲۴]، در پژوهشی از یک پلیمر پایه نانو سیلیکای آب گریز در سیال حفاری پایه آبی استفاده کردند. نتایج آزمایش نشان داد که کامپوزیت استفاده شده به عنوان یک افزودنی برای سیال حفاری، باعث بهبود خواصی مانند پایداری حرارتی، رئولوژی، هرزروی سیال و بخصوص روانکاری شده است.

جین و همکاران[۱۴][۲۵]، در پژوهشی از ماده پلی اکریل آمید نانو کامپوزیت[۱۵] بعنوان افزودنی به سیال حفاری پایه آبی استفاده کردند که نتایج نشان داد، خواص رئولوژیکی و میزان حجم از دست رفته سیال با حضور نانوکامپوزیت استفاده شده بهبود یافتند.

صادق الواد و همکاران[۱۶] [۲۶]، در پژوهشی به تاثیر ماده نانوکامپوزیت پلی اکریلامید/ دی اکسید تیتانیوم[۱۷] بر سیال حفاری پایه آبی پرداختند که نتایج ذیل حاصل گردید :

۱-ویسکوزیته سیال حفاری با افزایش نانوکامپوزیت افزایش پیدا کرد

۲-میزان صافاب و ضخامت کیک تشکیل شده با افزایش نانوکامپوزیت کاهش پیدا کرد

۳-ویسکوزیته پلاستیکی با افزودن ۷ گرم از نانو کامپوزیت برابر 22mpa اندازه گیری شد.

۴-اندازه صافاب با افزودن ۱۴گرم از نانو کامپوزیت برابر 19ml شد.

در پایان نامه حاضر، نانوگرافیت با پایه اکسیدی تهیه شده، سپس تاثیر افزودن غلظت های مختلف نانوگرافیت در گل حفاری پایه آبی جهت بهبود خواص رئولوژیکی و تریبولوژیکی سیال حفاری پایه آبی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳- نوآوری پژوهش حاضر

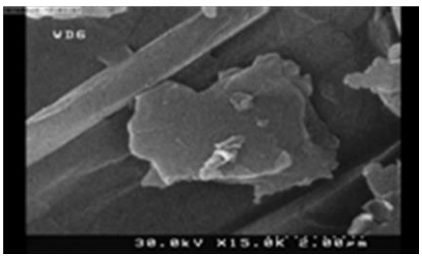
در پژوهش حاضر، از نانوذرات اکسیدی زیر ۴۰ نانومتر برای بهبود خواص رئولوژیکی و اصطکاکی گل حفاری استفاده می گردد. کوچک بودن اندازه نانوذرات برای قرارگیری نانوذرات در ساختار مزوسکوپیک گل حفاری امری ضروری می باشد. از دیدگاه اصطکاکی نیز، ابعاد کوچک این ذرات می تواند منجر به ایجاد پوشش محلی فوق مسطح بر روی جداره لوله مته حفاری و جدار سازند حفاری شده و خواص اصکاکی سیستم را تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین، نانوسیالات در کاهش مقاومت سایشی بین لوله و دیواره چاه از طریق تحت تاثیر قرار دادن خواص پوشش سطح مته و دیواره چاه و تغییر خواص تربیولوژیکی گل حفاری می توانند موثر باشند. همچنین، نانو سیالات هوشمند در کاهش مشکلات گشتاوری و مقاومت هوا در حفاری‌های افقی، عمیق چندگانه جانبی و لوله‌ای مارپیچی نقش پر رنگی می توانند داشته باشند.

6- Emulsion Stability
2- Ismail et al. 2014
8- MWCNT(multi-walled carbon nanotubes)
9-Nano Metal Oxide
10- Titanium Oxide
11-Aluminum Oxide
12- Copper Oxide
13- Filtrate Loss
14- Mud Cake Thickness
15- Al-Yasiri et al. 2015
16- Fazelabdolabadi et al. 2015
17- CNTs

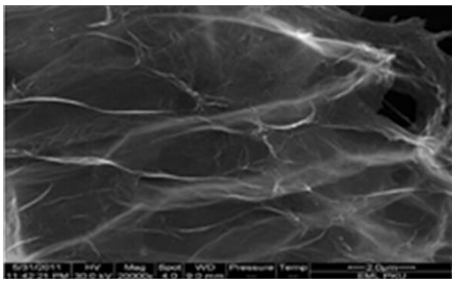
18- Mao et al. 2015
19- Jain et al. 2015
20- Polyacrylamide/Clay Nanocomposite (PANC)
1-Sadeghalvaad et al. 2015
2-TiO2/Polyacrylamide Nanocomposite

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.2.8]



شکل ۲، عکس میکروسکوپ الکترونی SEM
نانو گرافیت مورد استفاده در این آزمایش(شرکت آمریکایی Us Research Nanomaterials,Inc.)



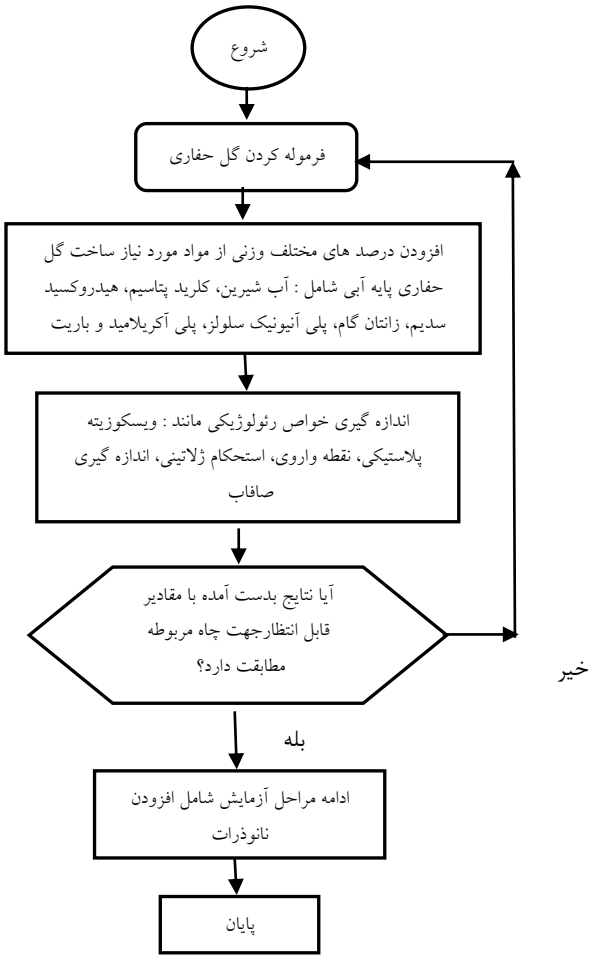
شکل ۳، عکس میکروسکوپ های الکترونی TEM
نانو گرافیت مورد استفاده در این آزمایش(شرکت آمریکایی Us Research Nanomaterials,Inc.)



شکل ۴، مواد مورد استفاده برای ساخت گل حفاری در این پژوهش

۴- روش انجام کار

روش استفاده شده در این پژوهش بر پایه کارهای آزمایشگاهی بنا نهاده شده است. همه مراحل تست سیال حفاری در آزمایشات بر پایه توصیه های ذکر شده در استاندارد API RP 13B جهت بررسی سیال حفاری پایه آبی انجام شده است. طراحی گل بر پایه فلوچارت تجربی بدست آمده در شکل شماره (۱) می باشد.



شکل ۱، فلوچارت تجربی بدست آمده برای فرمولاسیون گل حفاری پایه آبی

۴-۱ انتخاب مواد :

در این پژوهش بر اساس تحقیقاتی که از مدیریت سیالات شرکت ملی حفاری ایران بعمل آمد. بر اساس تجربه استفاده از گرافیت بعنوان ماده روان کننده سیال حفاری و سازگار با محیط زیست، تصمیم به استفاده از نانو ذرات گرافیت گرفته شد. همچنین با توجه به جستجو در مقالات متعدد داخلی و خارجی در خصوص بهینه سازی سیال حفاری پایه آبی مشخص گردید که تا کنون از این نانو ذره در سیال حفاری استفاده نگردیده است.

نانو گرافیت[1] (۲۰ نانو متر) با خلوص 99.99% از شرکت آمریکایی Us Research Nanomaterials,Inc. ، جهت استفاده در این پژوهش تهیه گردید. عکس میکروسکوپ های الکترونی Sem و Tem نانو گرافیت مورد استفاده در این پژوهش در زیر نشان داده شده است:

و افزایه های سیال حفاری[2] شامل:

آب شیرین[3]، کلرید پتاسیم[4]، هیدروکسید سدیم[5]، زانتان گام[6]، پلی آنیونیک سلولز[1]، پلی آکریلامید[2] و باریت[3] توسط شرکت ملی حفاری ایران

3-Nanographite
1-Drilling fluid additives
2-Fresh water
3-Potassium chloride(KCL)
4- Caustic soda(NaOH)
5- Xantan gum

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.2.8]

تامین گردیده بود. در جدول شماره ۱ اندازه مواد مورد نظر مشخص شده است.

جدول ۱، فرمول تهیه سیال حفاری پایه آبی

Formulation of Water-Based Drilling Fluid		
Selection Material	**Concentration**	**Time of Stirred(min.)**
F.W	290 ml	0
KCL	39 gr	3
NaOH	0.13 gr	2
Xanthan.Gum	0.43 gr	5
PAC	1.3 gr	5
PHPA	1.5 gr	10
Barite	180 gr	30

۴-۲ نحوه ساخت گل حفاری پایه آبی

بر اساس فلوچارت تجربی مندرج در شکل (۱)، ابتدا ۲۹۰ میلی لیتر آب شیرین با ۳۹ گرم کلرید پتاسیم به مدت سه دقیقه توسط دستگاه میکسچر مخلوط شد. پس از سه دقیقه هیدروکسید سدیم به محلول اضافه شده و به مدت ۲ دقیقه مخلوط گردید، سپس ۰/۴۳ گرم از پلیمر زانتان گام به محلول اضافه و به مدت دو دقیقه مخلوط شد. پس از آن ۱/۳ گرم پلی آنیونیک سلولز به محلول اضافه شد و به مدت ۵ دقیقه مخلوط گردید. سپس ۳/۹ گرم پلی آکریلامید به محلول اضافه شده و به مدت ۱۰ دقیقه مخلوط شد. درنهایت ۱۸۰ گرم باریت اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه هم مخلوط گردید.

۴-۳ آماده سازی نمونه اولیه گل حفاری پایه آبی

با در نظر گرفتن خواص رئولوژیکی مورد نظر که مشابه موارد استفاده شده در مخازن نفتی، حفاری شده توسط شرکت ملی حفاری ایران می باشد. ساخت نمونه اولیه گل حفاری پایه آبی با درصد های وزنی مختلف از مواد برای رسیدن به وزن گل و خواص رئولوژیکی مورد نظر انجام شد. با توجه به نتایج بدست آمده، خواص ویسکوزیته پلاستیکی، نقطه واروی و استحکام ژلاتینی مورد نظر، نمونه ذیل به عنوان نمونه پایه جهت انجام آزمایشات انتخاب گردید.



شکل ۵، ترازوی گل مدل ۱۴۰ ساخت شرکتFannآمریکا

6- Pily anionic cellulose(PAC)
7- Partial hydrolytic poly-acrylamide (PHPA)
8-Barite

جدول ۲، مشخصات نمونه پایه جهت انجام آزمایشات

Material	**Concentration**	**Time of Stirred(min.)**
F.W	290 ml	0
KCL	39 gr	3
NaOH	0.13 gr	2
Xanthan.G	0.43	5
PAC	1.3 gr	5
PHPA	1.5 gr	10
Barite	180 gr	30

Rheological Properties					
Φ 600	**Φ 300**	**PV**	**YP**	**10s GS**	**10m GS**
66	47	19	28	4	6



شکل ۶، ترازوی دیجیتالMettler Toledo

۴-۴ پراکنده کردن نانوذرات در محلول کلوئیدی همگن

مقدار مشخص شده در هر مرحله از نانوگرافیت به ۴۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد و مخلوط در دستگاه اولتراسونیک به مدت ۲۵ دقیقه قرارداده شد. سپس مخلوط آماده شده پس از مخلوط کردن باریت به سیال حفاری پایه آبی اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه مخلوط شد.

۴-۵ دستگاه های اندازه گیری استفاده شده در این پژوهش

درانجام این پژوهش از دستگاه های ماد بالانس[۴]، ترازوی دیجیتال، مولتی میکسر[۵]، ویسکومتر دوار[۶]، فیلتر پرس[۷]، لوبریسیتی تستر[۸] و دستگاه اولتراسونیک[۹] استفاده شده است که در زیر به شرح دستگاه ها پرداخته می شود:

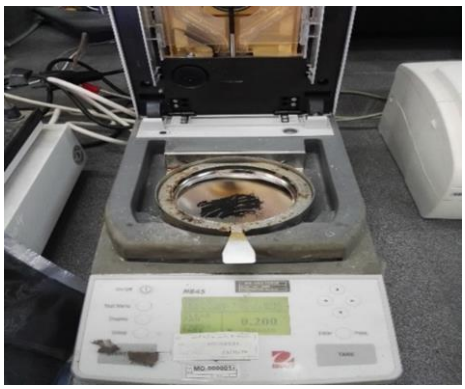
1-Mud Balance
2-Multi-Mixer
3-Rotational Viscometer
4-API Filter Press
5-Lubricity Tester
6-Ultrasonic

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.2.8]

جدول ۳، دستگاه های اندازه گیری استفاده شده در این پژوهش

ردیف	نام دستگاه	مدل	شرکت سازنده
۱	ماد بالانس	۱۴۰	FANN
۲	ترازوی دیجیتال	MB45	Mettler Toledo
۳	ترازوی دیجیتال	9B	OHAUS
۴	مولتی میکسر	35 SA	Sterling Multi-Products, Inc
۵	ویسکومتر دوار	۳۰	FANN
۶	فیلتر پرس	۳۰۰	FANN
۷	لوبریسیتی تستر	212 EP	FANN



شکل ۷، ترازوی دیجیتال OHAUS Model MB45



شکل ۸ ، دستگاه مولتی میکسر ساخت شرکت Sterling Multi-



شکل ۱۰ ، دستگا فیلتر پرس سری 311 ساخت شرکت FANNآمریکا



شکل ۱۱، دستگاه لوبریسیتی تستر مدل 212EP ساخت شرکت FANNآمریکا

۵- خواص رئولوژیکی

۵-۱ ویسکوزیته پلاستیکی

ویسکوزیته پلاستیکی عبارتست از مقاومتی که سیال در برابر جابجایی و حرکت از خود نشان می دهند، سهمی که ویسکوزیته پلاستیکی در برابر جریان و حرکت گل دارد ناشی از اصطکاک مکانیکی[1] است. ویسکوزیته پلاستیکی در این پژوهش بوسیله دستگاه ویسکومتر دوار اندازه گیری شده است که نتایج اندازه گیری در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۴، تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر ویسکوزیته پلاستیکی سیال حفاری پایه آبی

WBDF+Concentration of Nanographite,ppb(gr)	Φ 600	Φ 300	PV(mPa-s)
0	66	47	19
0.01	65	45	20
0.02	63	38	25
0.03	59	40	19
0.07	60	40	20
0.09	59	40	19
0.1	60	41	19
0.2	63	44	19
0.3	64	44	20

ویسکوزیته پلاستیکی پائین باعث بالارفتن سرعت حفاری می شود زیرا سیال حفاری با ویسکوزیته کم در حال خارج شدن از مته حفاری می باشد.

شکل۱۲، تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر ویسکوزیته پلاستیکی سیال حفاری پایه آبی نشان می دهد. ویسکوزیته پلاستیکی در گل حفاری پایه آبی با افزایش نانو گرافیت به مقدار کمی افزایش پیدا کرد. این ممکن است به دلیل غلظت کم نانو گرافیت نسبت به سایر افزاینده های اساسی سیال حفاری باشد. با توجه به نمودار بالا کم ترین ویسکوزیته پلاستیکی در غلظت های 0.09 ppb, 0.1 ppb, 0.2 ppb از نانو گرافیت به یک اندازه و برابر 19 cp(19 mPa-s) بدست آمد.

1-Mechanical Friction

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.2.8]

۵-۲ نقطه واروی

یکی از اجزا مقاومت دربرابر جریان درگل حفاری نقطه واروی است، برای به حرکت درآوردن مایع هم زمان با فشاری که برمایع وارد می شود. تا هنگامی که این فشار به نقطه ای برسد که در آن نقطه مایع شروع به حرکت کند آن نقطه را نقطه واروی گویند.

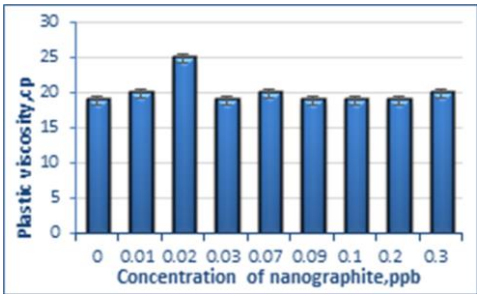
نقطه واروی، توانایی سیال حفاری برای بالاکشیدن کنده ها از درون چاه به طرف سطح می باشد. بطور عادی نقطه واروی بالا برای هدایت بهتر جریان سیال حفاری طی سیستم کامل گردش گل مورد نیاز می باشد. نقطه واروی نامناسب می تواند نتیجه برابری نقطه گذر جریان بین جریان آرام و جریان آشفته باشد. نقطه واروی با افزایش غلظت نانوذرات افزایش پیدا می کند.

جدول ۵، تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر نقطه واروی سیال حفاری پایه آبی

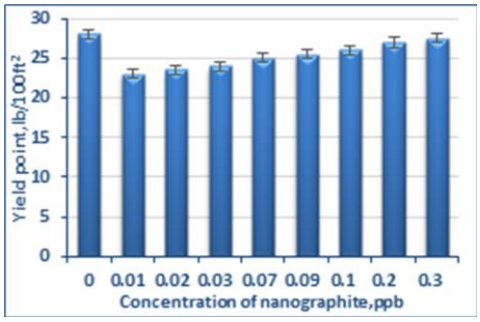
WBDF+Concentration of Nanographite,ppb(gr)	Φ 600	Φ 300	PV(mPa-s)	YP(Pa-s)	YP(lb/100ft²)
0	66	47	19	13	28
0.01	65	45	20	11	23
0.02	63	38	25	11	23.5
0.03	59	40	19	11	24
0.07	60	40	20	12	25
0.09	59	40	19	12	25.5
0.1	60	41	19	12	26
0.2	63	44	19	13	27
0.3	64	44	20	13	27.5

Φ600=600rpm,Φ300=300rpm,lb/100ft²=0.4788 Pa-s

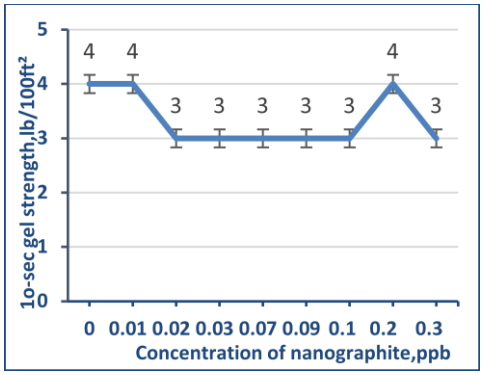
شکل ۱۳، تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر نقطه واروی سیال حفاری پایه آبی را نشان می دهد. نقطه واروی پس از افزودن 0.01 ppb نانو گرافیت مطابق نمودار نشان داده شده در شکل فوق بین (23-27.5)lb/100ft² یا بعبارتی (11.01-13.17)Pa-s افزایش پیدا می کند. این امر ممکن است به دلیل این باشد که ذرات جامد با افزودن نانوذرات شروع به انباشته شدن می کنند.



شکل ۱۳، نمودار تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر نقطه واروی



شکل ۱۲، نمودار تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر ویسکوزیته پلاستیکی



شکل ۱۴، نمودار تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر مقاومت ژلاتینی ۱۰ ثانیه

۵-۳ مقاومت ژلاتینی ۱۰ ثانیه

سنجش نیروهای الکتروشیمیایی یا نیروهای جاذبه بین ملکولی موجود در گل در حالت سکون یا استاتیک گل، استحکام ژله ای نام دارد، مقدار کمی از نانوذرات، تاثیر بهتری بر مقاومت ژلاتینی گل خواهد داشت.

جدول ۶، تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر مقاومت ژلاتینی ۱۰ ثانیه سیال حفاری پایه آبی

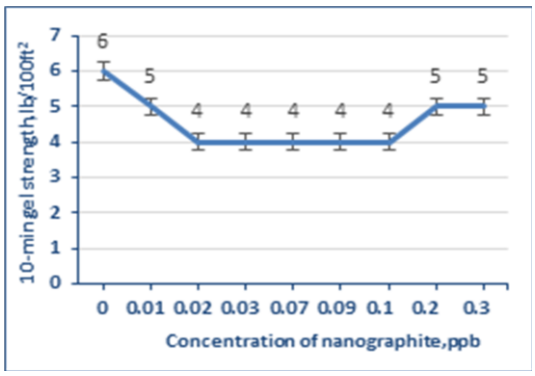
WBDF+Concentration of Nanographite,ppb(gr)	10s GS(lb/100ft²)	10s GS(Pa-s)
0	4	1.92
0.01	4	1.92
0.02	3	1.43
0.03	3	1.43
0.07	3	1.43
0.09	3	1.43
0.1	3	1.43
0.2	4	1.92
0.3	3	1.43

شکل ۱۴، تاثیر غلظت های متفاوت نانو گرافیت بر مقاومت ژلاتینی ۱۰ ثانیه را نشان می دهد. بهترین مقاومت ژلاتینی موجب کمترین فشار برای

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.2.8]

شروع دوباره عملیات حفاری می شود. بر اساس شکل فوق، مقاومت ژلاتینی ۱۰ ثانیه، دراثر افزودن غلظت های 0.02 ppb تا 0.1ppb از نانوگرافیت به گل حفاری پایه آبی رفتار خطی صاف، یکسان و برابر 3 lb/100ft² یا بعبارتی 1.43 pa.s بدست آمد.



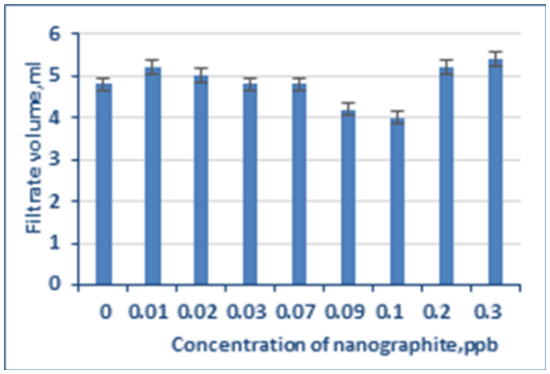
شکل ۱۵، نمودار تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر مقاومت ژلاتینی ۱۰ دقیقه

۵-۴ مقاومت ژلاتینی ۱۰ دقیقه

جدول ۷، نتایج تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر مقاومت ژلاتینی ۱۰ دقیقه سیال حفاری پایه آبی

WBDF+Concentration of Nanographite,ppb(gr)	10min GS(lb/100ft²)	10min GS(Pa-s)
0	6	2.87
0.01	5	2.39
0.02	4	1.92
0.03	4	1.92
0.07	4	1.92
0.09	4	1.92
0.1	4	1.92
0.2	5	2.39
0.3	5	2.39

شکل ۱۵، تاثیر غلظت های متفاوت نانو گرافیت بر مقاومت ژلاتینی ۱۰ دقیقه را نشان می دهد. بر اساس شکل فوق، دراثر افزودن غلظت های 0.02 ppb تا 0.1ppb از نانوگرافیت به گل حفاری پایه آبی رفتار خطی صاف، یکسان و برابر 4 lb/100ft² یا بعبارتی 1.92 pa.s بدست آمد.



شکل ۱۶، نمودار تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر حجم صافاب سیال حفاری پایه آبی

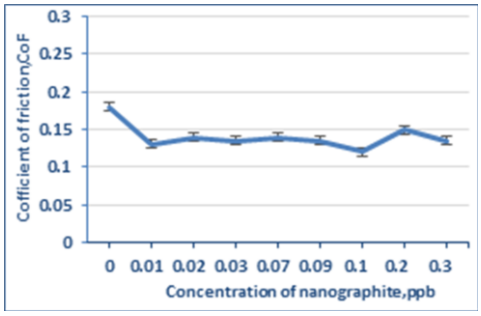
جدول ۸، نتایج تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر حجم صافاب سیال حفاری پایه آبی

WBDF+Concentration of Nanographite,ppb	API Filtration (ml)
0	4.8
0.01	5.2
0.02	5
0.03	4.8
0.07	4.8
0.09	4.2
0.1	4
0.2	5.2
0.3	5.4

شکل ۱۶، تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر حجم صافاب گل حفاری را نشان می دهد که مطابق نمودار، کمترین حجم صافاب (4 ml) زمانی بدست می آید که از 0.1 ppb نانوذرات گرافیت در ترکیب گل حفاری پایه آبی استفاده شود.

۵-۶ ضریب اصطکاک

یکی از وظایف سیال حفاری، زمانیکه یک چاه نفت در حال حفاری است روانکاری رشته حفاری می باشد. سیال حفاری می بایست به گونه ای ساخته شود که بتواند ضریب اصطکاک بین رشته حفاری و دیواره چاه را به کمترین حد خود برساند که موجب افزایش سرعت حفاری و کاهش سایش رشته حفاری و افزایش طول عمر مته گردد.



شکل ۱۷، نمودار تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر ضریب روانکاری گل حفاری

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.2.8]

جدول ۹. نتایج تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر ضریب اصطکاک سیال حفاری پایه آبی

Concentration of nanoparticles , ppb	Nanographit Drilling Fluids		
	Coefficient of Friction	Lubricity Coefficient	Relative Cof Reduction (%)
0	0.18	0.161	0
0.01	0.13	0.116	27
0.02	0.14	0.125	22
0.03	0.135	0.121	25
0.07	0.14	0.125	22
0.09	0.135	0.121	25
0.1	0.12	0.107	33
0.2	0.15	0.134	16
0.3	0.135	0.121	25

شکل ۱۷، نمودار تاثیر غلظت های مختلف نانو گرافیت بر ضریب روانکاری گل حفاری پایه آبی را نشان می دهد. با توجه به شکل فوق مشخص است که بیشترین کاهش ضریب اصطکاک مربوط به زمانی است که 0.1ppb از نانو گرافیت در ترکیب گل حفاری پایه آبی استفاده شود که در این حالت درصد کاهش ضریب اصطکاک نسبت به نمونه پایه 33% می باشد.

۷- نتیجه گیری های مهم

مهم ترین نتایج بدست آمده در این پژوهش شامل موارد زیر می باشد:

۱- با توجه به اینکه ویسکوزیته پلاستیکی پائین باعث بالارفتن سرعت حفاری می شود زیرا سیال حفاری با ویسکوزیته کم در حال خارج شدن از مته حفاری می باشد. در پژوهش حاضر، ویسکوزیته پلاستیکی با افزایش غلظت نانو گرافیت به گل حفاری پایه آبی به مقدار کمی افزایش پیدا کرد. این ممکن است بدلیل غلظت کم نانو گرافیت نسبت به سایر افزاینده های اساسی سیال حفاری باشد. بر اساس نتایج بدست آمده، کم ترین ویسکوزیته پلاستیکی در غلظت های 0.09 ppb, 0.1 ppb, 0.2 ppb از نانو گرافیت به یک اندازه و برابر 19 cp(19 mPa-s) بدست آمد.

۲- با توجه به اینکه نقطه واروی، توانایی سیال حفاری برای بالاکشیدن کنده ها از درون چاه به طرف سطح می باشد. بطور عادی نقطه واروی بالا برای هدایت بهتر جریان سیال حفاری طی سیستم کامل گردش گل مورد نیاز می باشد. در پژوهش حاضر نیز نقطه واروی با افزایش غلظت نانو گرافیت از 0.01 ppb به بالا، به گل حفاری پایه آبی، بر اساس نتایج بدست آمده، بین (23-27.5)lb/100ft² یا بعبارتی (11.01-13.17)Pa-s افزایش پیدا کرد. این امر ممکن است به دلیل این باشد که ذرات جامد با افزودن نانو ذرات شروع به انباشته شدن می کنند.

۳- از آنجائیکه، سنجش نیروهای الکتروشیمیایی یا نیروهای جاذبه بین ملکولی موجود در گل در حالت سکون یا استاتیک گل، استحکام ژله ای نام دارد. بهترین مقاومت ژلاتینی موجب کمترین فشار برای شروع دوباره عملیات حفاری می شود. بر اساس نتایج بدست آمده، مقاومت ژلاتینی ۱۰ ثانیه، دراثر افزودن غلظت های 0.02 ppb تا 0.1ppb از نانوگرافیت به گل حفاری پایه آبی رفتاری خطی صاف، یکسان و برابر 3 lb/100ft² یا بعبارتی 1.43 pa.s بدست آمد. مقاومت ژلاتینی ۱۰ دقیقه، دراثر افزودن غلظت های 0.02 ppb تا 0.1ppb از نانوگرافیت به گل حفاری پایه آبی رفتار خطی صاف، یکسان و برابر 4 lb/100ft² یا بعبارتی 1.92 pa.s بدست آمد.

۴- با توجه به اینکه هدف از افزودن نانو ذرات رسیدن به کمترین حجم صافاب از دست رفته گل حفاری می باشد. در اثر افزودن غلظت های مختلف از پودر نانو گرافیت به گل حفاری پایه آبی، بر اساس نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر، کمترین حجم صافاب (4 ml) زمانی بدست می آید که از 0.1 ppb نانو گرافیت در ترکیب گل حفاری پایه آبی استفاده شود.

۵- با توجه به اینکه سیال حفاری می بایست به گونه ای ساخته شود که بتواند ضریب اصطکاک بین رشته حفاری و دیواره چاه را به کمترین حد خود برساند که موجب افزایش سرعت حفاری و کاهش سایش رشته و مته حفاری و افزایش طول عمر مته و رشته حفاری گردد. بر اساس نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر، بیشترین کاهش ضریب اصطکاک مربوط به زمانی است که 0.1ppb از نانو گرافیت در ترکیب گل حفاری پایه آبی استفاده شود که در این حالت درصد کاهش ضریب اصطکاک نسبت به نمونه پایه 33% می باشد.

۶- مقایسه نتایج پژوهش حاضر با پژوهش های اخیر بر سیال حفاری پایه آبی شامل نانوذرات

Rheological properties	Mao et al.(2015),Polymer based nanosilica	Jain et al.(2015),Polyacrylamide-grafted-polyethylene glycol/silica nanocomposite	Sadeghalvaad et al.(2015),TiO2/Polyacrylamide nanocomposite	Ismail et al.(2016),nanosilica& MWCNT	Present study results, nanographite
PV	16 mPa-s at 0.3 g	20 mPa-s at 0.3 g	22 mPa-s at 7 g	22 mPa-s at 0.2 MWCNT	19 mPa-s at 0.1 g
YP	5.5 mpa-s at 0.3 g	9 mpa-s at 0.3 g	Not reported	18.9 mpa-s at 0.2 g of nanosilica 18.6 mPa-s at 0.2 MWCNT	12.45 mpa-s at 0.1 g
10 s GS	Not reported	3.5 Pa-s at 0.3 g	Not reported	3.3 Pa-s at 0.2 g of nanosilica 3.8 Pa-s at 0.2 g of MWCNT	1.43 Pa-s at 0.1 g

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.2.8]

10 min GS	Not reported	5.5 Pa-s at 0.3 g	Not reported	2.8 Pa-s at 0.2 g of nanosilica 3.3 Pa-s at 0.2 g of MWCNT	1.92 Pa-s at 0.1 g
API FL	11.6 ml was found at 0.3 g	7.8 ml was found at 0.3 g	19 ml was found at 14 g	4.8 ml was found at 0.01 g nanosilica 4.6 ml was found at 0.01 g MWCNT	4 ml was found at 0.1 g
CoF	CoF was not reported at 0.3 g but found 0.057 at 0.5 g	Not reported	Not reported	CoF reduction wad 38% at 0.01g of nanosilica CoF reduction wad 44% at 0.0.1g of MWCNT	CoF reduction wad 33% at 0.1g of nanosilica

فهرست اختصارها

موسسه نفت امریکا	API(American petroleum institute)
ویسکوزیته ظاهری	AV(apparent viscosity)
آب تازه	FW(fresh water)
سلولز متیل کربوکسی	CMC(carboxy methyl cellulose)
اتلاف سیال	FL(fluid loss)
مقاومت ژلاتینی	GS(Gel strength)
فشار بالا دما بالا	HPHT(high pressure high temperature)
کلراید پتاسیم	KCL(potassium chloride)
ویسکوزیته پلاستیکی	PV(Plastic viscosity)
هیدروکسید سدیم	NaOH(sodium hydrxide or caustic)
سیال حفاری پایه روغنی	OBDF(oil-based drilling fluid)
پلی آنیونیک سلولز	PAC(poly anionic cellulose)
پلی آکریلامید	PHPA(poly hydrolytic polyacrylamide)
دور بر دقیقه	RPM(rotation per minute)
سیال حفاری پایه سینتتیکی	SBDF(synthetic-based drilling fluid)
سیال حفاری پایه آبی	WBDF(water-based drilling fluid)
نقطه واروی	YP(yield point)
علامت ها	
سانتیمتر مکعب	cc(Cubic centimeter)
سانتی پویز	cp(centipoise)
فوت	Ft(feet)
گرم	gr(gram)
میلی پاسکال ثانیه	mPa-s(milli pascal's second)
نانومتر	nm(nanometer)
پوند بر بشکه	ppb(pound per barrel)
پوند بر گالن	ppg(pound per gallon)
پاسکال-ثانیه	Pa-s (pascal's second)
شاخص خوانده شده	ϕ(Dial reading)
میکرومتر	µm (micrometer)
واحدها	
$\frac{1\ lb}{100\ ft^2}$ = 0.4788 Pa-s	
1 cp = 1 mPa-s	
$1\ ppb = \frac{1\ gr}{350\ cc}$	

مراجع

[1] A. T. Bourgoyne, K. K. Millheim, M. E. Chenevert, & F. S. Young, Applied drilling engineering (1986).

[۲]اسدی، بیژن (۱۳۷۳) مهندسی گل و کاربرد آن در حفاری چاه نفت. اهواز، نشرمناطق نفتخیز.

[3] R. Kelsall, I. W. Hamley, & M. Geoghegan, (Eds.), Nanoscale science and technology, John Wiley & Sons (2005).

[4] X. Kong, & M. Ohadi, Applications of micro and nano technologies in the oil and gas industry-overview of the recent progress. InAbu Dhabi international petroleum exhibition and conference, Society of Petroleum Engineers (2010).

[5] M. Ghalambaz, M. Sabour, & I. Pop, Free convection in a square cavity filled by a porous medium saturated by a nanofluid: Viscous dissipation and radiation effects. Engineering Science and Technology, an International Journal, 19(3), (2016), 1244-1253.

[6] M. Ghalambaz, E. Izadpanahi, A. Noghrehabadi, & A. Chamkha, Study of the boundary layer heat transfer of nanofluids over a stretching sheet: Passive control of nanoparticles at the surface, Canadian Journal of Physics, 93(7), (2014), 725-733.

[7] A. Zaraki, M. Ghalambaz, A. J. Chamkha, M. Ghalambaz, & D. De Rossi, Theoretical analysis of natural convection boundary layer heat and mass transfer of nanofluids: Effects

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.2.8]

of size, shape and type of nanoparticles, type of base fluid and working temperature, Advanced Powder Technology, 26(3), (2015), 935-946.

[8] A. Noghrehabadi, E. Izadpanahi, & M. Ghalambaz, Analyze of fluid flow and heat transfer of nanofluids over a stretching sheet near the extrusion slit, Computers & Fluids, 100, (2014), 227-236.

[9] A. Noghrehabadi, R. Pourrajab, & M. Ghalambaz, Effect of partial slip boundary condition on the flow and heat transfer of nanofluids past stretching sheet prescribed constant wall temperature, International Journal of Thermal Sciences, 54, (2012), 253-261.

[10] A. Noghrehabadi, P. Salamat, & M. Ghalambaz, Integral treatment for forced convection heat and mass transfer of nanofluids over linear stretching sheet, Applied Mathematics and Mechanics, 36(3), (2015), 337-352.

[11] A. Noghrehabadi, M. Ghalambaz, & M. Ghalambaz, A theoretical investigation of SiO2-water nanofluid heat transfer enhancement over an isothermal stretching sheet, International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering, 2(9), (2011), 18-21.

[12] I. Pop, M. Ghalambaz, & M. Sheremet, Free convection in a square porous cavity filled with a nanofluid using thermal non equilibrium and Buongiorno models, International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, 26(3/4), (2016), 671-693.

[13] A. Noghrehabadi, R. Pourrajab, & M. Ghalambaz, Flow and heat transfer of nanofluids over stretching sheet taking into account partial slip and thermal convective boundary conditions, Heat and Mass Transfer, 49(9), (2013), 1357-1366.

[14] R. Krishnamoorti, Extracting the benefits of nanotechnology for the oil industry, Journal of petroleum technology, 58(11), (2006), 24-26.

[15] M. Amanullah, & A. M. Al-Tahini, Nano-technology-its significance in smart fluid development for oil and gas field application, InSPE Saudi Arabia Section Technical Symposium. Society of Petroleum Engineers (2009).

[16] J. E. Friedheim, S. Young, G. De Stefano, J. Lee, & Q. Guo, Nanotechnology for Oilfield Applications-Hype or Reality?. In SPE International Oilfield Nanotechnology Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers (2012).

[17] M. A. Sayyadnejad, H. R. Ghaffarian, & M. Saeidi, Removal of hydrogen sulfide by zinc oxide nanoparticles in drilling fluid, International Journal of Environmental Science & Technology, 5(4), (2008), 565-569.

[18] E. Kaarstad, B. S. Aadnoy, & T. Fjelde, A study of temperature dependent friction in wellbore fluids, In SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers (2009).

[19] J. Nasser, A. Jesil, T. Mohiuddin, M. Al Ruqeshi, G. Devi, & S. Mohataram, Experimental Investigation of Drilling Fluid Performance as Nanoparticles, World Journal of Nano Science and Engineering (2013).

[20] A. R. Ismail, N. M. Rashid, M. Z. Jaafar, W. R. W. Sulaiman, & N. A. Buang, Effect of Nanomaterial on the Rheology of Drilling Fluids, Journal of Applied Sciences, 14(11), (2014), 1192.

[21] A. R. Ismail, Improve performance of water-based drilling fluids, In Sriwijaya International Seminar on Energy-Environmental Science and Technology, 1(1), (2014), 43-47.

[22] M. S. Al-Yasiri, & W. T. Al-Sallami, How the Drilling Fluids Can be Made More Efficient by Using Nanomaterials, American Journal of Nano Research and Applications, 3(3), (2015), 41-45.

[23] B. Fazelabdolabadi, A. A. Khodadadi, & M. Sedaghatzadeh, Thermal and rheological properties improvement of drilling fluids using functionalized carbon nanotubes, Applied Nanoscience, 5(6), (2015), 651-659.

[24] H. Mao, Z. Qiu, Z. Shen, , & W. Huang, Hydrophobic associated polymer based silica nanoparticles composite with core–shell structure as a filtrate reducer for drilling fluid at utra-high temperature, Journal of Petroleum Science and Engineering, 129, (2015), 1-14.

[25] R. Jain, & V. Mahto, Evaluation of polyacrylamide/clay composite as a potential drilling fluid additive in inhibitive water based drilling fluid system. Journal of Petroleum Science and Engineering, 133, (2015), 612-621.

[26] M. Sadeghalvaad, & S. Sabbaghi, The effect of the TiO2/polyacrylamide nanocomposite on water-based drilling fluid properties, Powder Technology, 272, (2015), 113-119.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.2.8]