



Investigation of the Effect of Graphene-Silica Nanoparticles on Rheological and Thermo-physical Properties of Water-based Drilling Fluid

Mohammad Gholamhosein Zadeh¹, Ashkan Ghafouri^{2,*}

1.M.Sc., Department of Mechanical Engineering, Ahvaz Branch,
Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2.Assistant professor, Department of Mechanical Engineering, Ahvaz Branch,
Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

*Corresponding author Email: a.ghafouri@iauahvaz.ac.ir

Abstract

Drilling mud is one of the most important and essential requirements for drilling oil and gas wells. Optimization of drilling fluid properties leads to reduce drilling time and costs. Water-based drilling mud is one type of drilling fluid that is mainly used in drilling wells due to its environmental compatibility. In this research, to increase the efficiency of this drilling fluid, graphene and silicon oxide nanoparticles in an equal weight ratio in water-based drilling mud have been used. This study investigates the effect of different concentrations (0.25, 0.5, 0.75, and 1% volume fraction) of these nanoparticles on other properties of drilling fluid such as plastic viscosity, yield point, gel strength of 10 minutes and 10 seconds, circulation loss of the samples and the coefficient of thermal conductivity are discussed. All rheological properties tests are performed according to the standard (API RP 13B). The transient hot-wire method has been used to determine the thermal conductivity of the fluid. The results show that the increase of nanoparticles has a significant effect on the rheological and thermo-physical properties of water-based drilling mud and reduces plastic viscosity (15%), decreases circulation loss of the samples (25%) and gel strength, and also increases the thermal conductivity by 16% in the volume fraction of 1%.

Keywords: Water-based Drilling Fluid, Nanoparticles, Rheological properties, Thermal conductivity coefficient

Introduction

A qualified drilling fluid should take advantage of several properties to improve the efficiency of the well drilling operation. Different additives would be added to drilling fluids to provide these properties [1]. Oil-based muds are simple approaches to overcome the well drilling issues, but their financial and environmental problems reduce the interest in using them. WBDFs have



fewer HSE problems, but they can lower the rate of penetration and make wellbore unstable in shale reservoirs [2]. Nanotechnology plays an important role in drilling fluid modifications. It refers to a part of science that controls materials and fluids in the size of atoms and molecules. Nanotechnology is defined in different size intervals, but the most known size interval is between 1 to 100 nm [3]. The main reasons that convinced researchers to use NPs in drilling fluids are listed below:

1. Extremely high ratio of surface area to volume ratio that causes the growth of additives interactions of drilling fluid
2. The low kinetic energy of NPs reduces erosion.
3. High efficiency in comparison to low concentration [4].

Materials and method

Preparation of basic WBDF is based on the recipe which national Iranian drilling company (NIDC) is suggested (using freshwater, KCl, NaOH, Xanthan. G, PAC, PHPA, Barite). Table 1 presents the properties of prepared drilling mud.

Table 1: Rheological properties of basic drilling fluid

ϕ 600 (RPM)	ϕ 300 (RPM)	PV (CP)	YP (lb/100 ft ²)	10 s G.S (lb/100 ft ²)	10 m G.S (lb/100 ft ²)
83	60	23	37	6	8

Cetyl trimethyl ammonium bromide (CTAB) is used in this experiment as a surfactant to prevent aggregation and precipitation of NPS (1% of NPs weight). Sheet-like structured Graphene NPs (2-18 nm 99.5% pure) and silicon oxide nanofluid (20-30 nm 99% pure) supplied by Us Research Nanomaterials Ins. are added to drilling fluid at half weight as rheological and thermophysical property modifiers. Prepared drilling fluid was stirred for 90 min utilizing a magnetic stirrer. To properly dispersion of NPs and precipitation and aggregation prevention, a process is carried out with an ultrasonic homogenizer device for 60 min with 40% power capacity.

All steps in testing the rheological and thermo-physical properties of WBDF are according to the standard procedures (API RP 13B). A completely known, accurate, and high-speed approach named transient hot wire is used to determine thermal conductivity. Figures 1 to 4 show the effect of NPs concentration on rheological properties of drilling fluid, including plastic viscosity, yield point, gel strength, and mud filtrate volume.

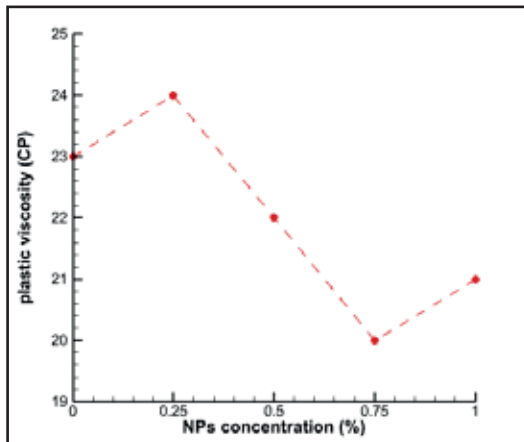


Figure 1: Plastic viscosity vs. NPs concentration

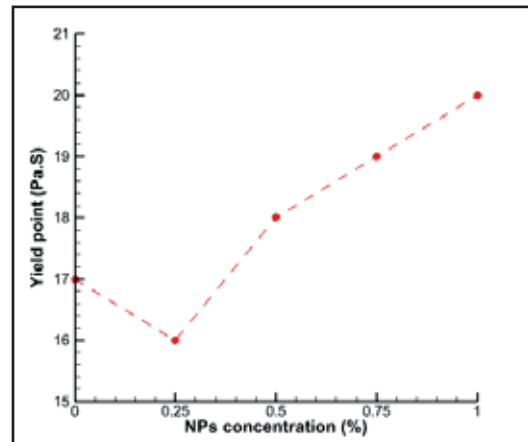


Figure 2: Yield point vs. NPs concentration

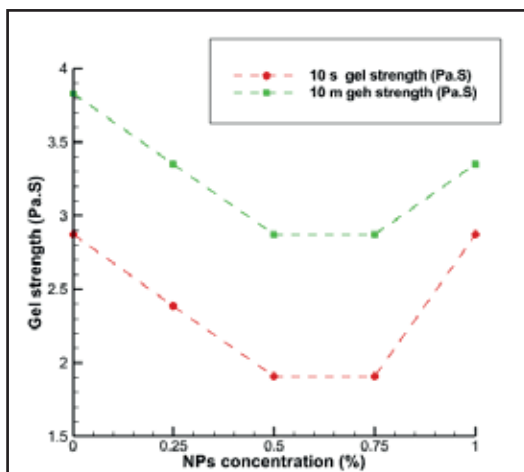


Figure 3: Gel strength vs. NPs concentration

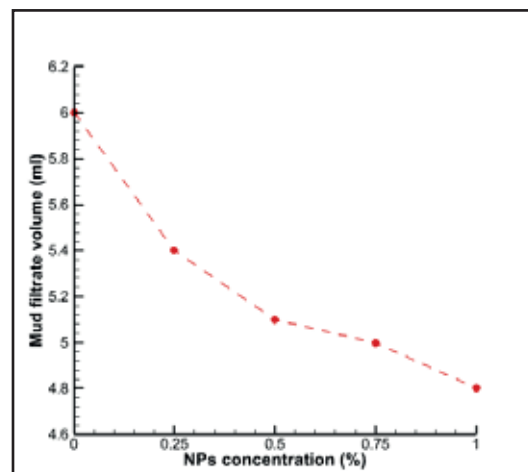


Figure 4: Mud filtrate vs. NPs concentration

During well-drilling operation, friction which is caused by grinding bit against the wellbore, increases the temperature of the bit. Drilling fluid must have the ability to transfer the heat to cool the bit and prolong its life. Such drilling fluid must have high thermal conductivity. Thermal conductivity is compared to temperature independent of NPs concentration and also is compared to NPs concentration without considering the temperature. Results are depicted in figures 5 and 6, respectively.

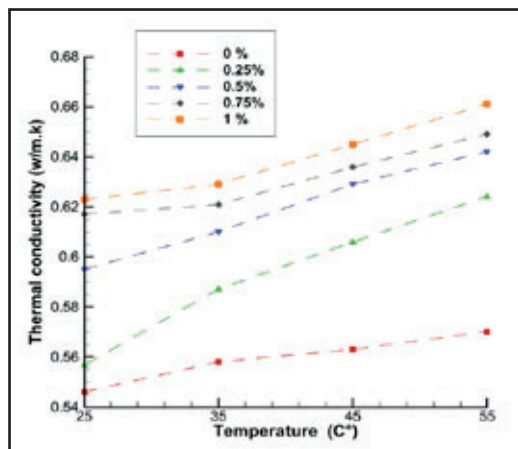


Figure 5: Thermal conductivity vs. temperature at constant NPs concentrations

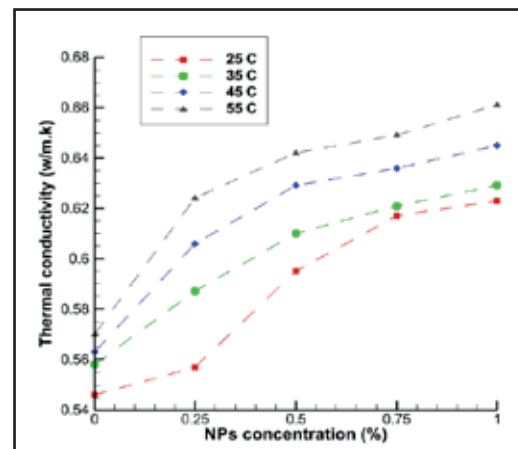


Figure 6: Thermal conductivity vs. NPs concentration at a constant temperature

Conclusion

Experiment results show:

1. 15% reduction is happened in plastic viscosity by 0.75% vol. fraction of NPs
2. Yield point increased 17.65% by the proper amount of NPs (1% vol. fraction)
3. Both 10s and 10min gel strengths are decreased 50.26% and 33.45% respectively by NPs concentrations of 0.5% vol. fraction
4. Gradually decrease in mud filtrate volume is observed in the 300 API LPLT test. In the best case, a 25% reduction of mud filtrate is obtained.
5. Thermal conductivity increase with temperature at a constant concentration of NPs. On the other hand, at a specific temperature with increasing NPs concentration, the thermal conductivity of nanofluid increases gradually. At 55 C° and NPs concentration of 1% vol. Fraction nanofluid thermal conductivity is 0.661 w/m.k which is 16% higher than base drilling fluid at the same temperature.

Reference

1. Bourgoyne, A.T., Millheim, K.K., Chenevert, M.E., Young, J.R., (2016), Applied drilling engineering, Vol 2, Society of Petroleum Engineering, Inc, Richardson, TX, USA, 502.
2. Hoelscher, K. P., De Stefano, G., Riley, M., Young, S., (2012), Application of nanotechnology in drilling fluids, In SPE international oilfield nanotechnology conference and exhibition, Society of Petroleum Engineers.
3. Amanullah, M. d., Al-Tahini, A. M., (2009), Nano-technology-its significance in smart fluid development for oil and gas field application, In SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium, Society of Petroleum Engineers.
4. Fazelabdolabadi, B., Khodadadi, A. A., Sedaghatzadeh, M., (2015), Thermal and rheological properties improvement of drilling fluids using functionalized carbon nanotubes." Applied Nanoscience 5(6), pp 651-659



بررسی اثر نانوذرات گرافن-سیلیکا بر خواص رئولوژیکی و ترموفیزیکی سیال حفاری پایه آبی

محمد غلامحسین زاده^۱، اشکان غفوری^{۲*}

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲. استادیار گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

نویسنده مسئول: a.ghafouri@iauhvaz.ac.ir

چکیده

گل حفاری یکی از مهمترین و اساسی‌ترین ملزومات عملیات حفاری چاه‌های نفتی و گازی است. بهینه‌سازی خواص سیال حفاری منجر به کاهش زمان و هزینه‌های حفاری می‌شود. گل حفاری پایه آبی یکی از انواع سیال حفاری است که بدلیل سازگاری با محیط زیست بصورت عمده در عملیات حفاری چاه‌ها کاربرد دارد. در این پژوهش به منظور بالا بردن بازدهی این نوع سیال حفاری از نانو ذرات گرافن و سیلیکون اکسید به نسبت وزنی برابر در گل حفاری پایه آبی استفاده شده است. این پژوهش به بررسی اثر غلظت‌های مختلف (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد کسر حجمی) این نانوذرات بر خواص مختلف سیال حفاری از قبیل گرانیروی پلاستیکی، نقطه واروی، استحکام ژله‌ای ۱۰ دقیقه و ۱۰ ثانیه، حجم صافاب گل و ضریب هدایت حرارتی پرداخته است. تمامی آزمایشات خواص رئولوژیکی بر پایه استاندارد (API RP 13B) انجام شده است. از روش سیم داغ گذرا برای تعیین ضریب هدایت حرارتی سیال استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد افزایش نانوذرات تاثیر بسزایی بر خواص رئولوژیکی و ترموفیزیکی گل حفاری پایه آبی داشته و سبب کاهش ویسکوزیته پلاستیک (۱۵ درصد)، کاهش حجم صافاب (۲۵ درصد) و استحکام ژله‌ای و همچنین افزایش ضریب هدایت حرارتی به میزان ۱۶ درصد در کسر حجمی ۱ درصد می‌گردد.

کلمات کلیدی: گل حفاری پایه آبی، نانو ذرات، خواص رئولوژی، ضریب هدایت حرارتی.

مقدمه

امروزه با پیشرفت صنایع مختلف نیاز روزافزون به انواع گونه‌های انرژی بصورت مشهودی قابل درک است. سوخت‌های فسیلی همچنان بخش اصلی سبد انرژی جهان را به خود اختصاص داده‌اند. برای دسترسی به سوخت‌های فسیلی تعداد حفاری چاه‌های گاز و نفت افزایش می‌یابد و یکی از مهمترین موضوعات در عملیات حفاری، سیال حفاری است. در گذشته بیشتر از گل حفاری پایه روغنی استفاده می‌شد که امروزه بدلیل مشکلات زیست محیطی سعی بر آن است که استفاده از این نوع سیال حفاری کاهش یابد. گل‌های



حفاری پایه آبی جایگزین مناسبی برای این امر هستند، ولی از آنجایی که این سیالات بدلیل خواص رئولوژی و ترموفیزیکی نسبتاً ضعیف سرعت حفاری را پایین می آورند بهینه سازی هایی برای آنها پیشنهاد شده است که استفاده از ذرات با اندازه نانو یکی از آنها است.

یک سیال حفاری مفید باید از خواص کارآمدی از جمله توانایی تمیزکاری چاه و حمل کننده های حفاری تا سطح که با ویسکوزیته پلاستیکی پایین و نقطه واروی بالا تامین می شود، برخوردار باشد. خنک کاری مته و رشته حفاری منجر به افزایش عمر آنها می شود که خود باعث کاهش هزینه های حفاری می گردد. این مهم در صورتی که ضریب هدایت حرارتی گل حفاری بالا باشد در دسترس خواهد بود. استحکام دیواره چاه و عدم نفوذ بی رویه سیال حفاری به درون لایه های زیرزمینی با تشکیل یک لایه نازک و نسبتاً غیر تراوا به نام فیلتر یکم به روی دیواره داخلی چاه ایجاد می گردد. هنگامی که سیال حفاری حجم صافاب کمی داشته باشد یعنی تشکیل فیلتر یکم به خوبی به وقوع پیوسته است. ضخامت کم فیلتر یکم از گیر کردن رشته حفاری ممانعت به عمل می آورد. گل شناسان برای اینکه به این خواص دست پیدا کنند از افزودنی ها برای گل حفاری استفاده می کنند که از انواع مواد معدنی و آلی تشکیل می شوند. به منظور عملکرد بهتر این مواد افزودنی لازم است که آنها همواره در سیال حفاری معلق بمانند. با افزایش استحکام ژله ای سیال حفاری این اتفاق رخ می دهد [۱].

پژوهشگران متفاوتی به بررسی تاثیر نانو ذرات مختلف بر خواص رئولوژیکی و ترموفیزیکی سیالات مختلف و از جمله گل حفاری پرداخته اند. دلیل گرایش محققان به استفاده از نانو ذرات نسبت بسیار بزرگ سطح به حجم برای ذرات با اندازه نانو است که از اندازه بسیار کوچک این ذرات ناشی می شود. این خاصیت باعث می شود که بر هم کنش های بین ذره های میان نانو ذرات افزایش یابد و عملکرد آنها در گل حفاری را نسبت به همان ذرات با اندازه های میکرو بهبود بخشد. همچنین انرژی جنبشی کم نانو ذرات که منجر به کاهش ساییدگی می شود و بازدهی بالا در مقایسه با غلظت کم از جمله عوامل محبوبیت نانو ذرات در بین پژوهشگران است [۲]. تفاوت های شاخصی بین ذرات با اندازه نانو و همان ذرات با اندازه میکرو وجود دارد. نمونه خوبی از این تفاوت ها بین نانو لوله های کربنی و فولرن^۱ دیده می شود که هر دو از جنس گرافیت طبیعی هستند [۳-۴]. وجود بر هم کنش های بین ذره های باعث شناخته شدن بسیاری از نانو ذرات به عنوان افزایه های گرانبوی شده است [۵]. ذرات جامد ضریب هدایت حرارتی بسیار بالاتری (چند صد برابر) نسبت به سیالات انتقال دهنده حرارت دارند. یک روش اصلی برای افزایش توانایی انتقال حرارت یک سیال افزودن ذرات جامد به آن است. ذرات پلیمری و غیر فلزی و فلزی بعنوان افزایه های افزایش ضریب هدایت حرارتی سیال قابل استفاده هستند [۶]. از آنجایی که نانو ذرات بدلیل برخورداری از برهم کنش های بین ذره ای قوی عملکرد بهتری از ذرات مشابه با اندازه های بزرگتر دارند، افزودن این ذرات به سیالات پیشنهاد می شود. به سیالاتی که در ترکیب آنها حداقل یک نوع ذره با اندازه نانو استفاده شده باشد، نانو سیال گفته می شود. نانو سیالات کاربردهای متفاوتی در زمینه های مختلف از جمله انتقال حرارت [۷-۸]، انتقال جرم [۹]، پوشش و ترشوندگی سطوح [۱۰] دارند. کاربرد انواع مختلف نانوذرات توسط محققان برای بالا بردن بازدهی سیالات حفاری و سایر سیالات صنعتی مورد مطالعه قرار گرفته اند که از میان آنها میتوان به نانوذرات فلزی [۱۱-۱۲] نانو ذرات اکسید فلزی [۱۳]، نانو لوله های اکسید تیتانیوم [۱۰]، نانو لوله های کربنی [۱۴-۱۵] و نانو فیبر [۱۶] اشاره کرد. فریدهیم^۲ و همکاران در کار مطالعاتی خود به تاثیر بسزای نانو ذرات گرافن اکسید بر خواص رئولوژیکی سیال حفاری پایه آبی متشکل از باریت و بنتونایت پرداختند. در این پژوهش با اضافه کردن شش

1. Fullerene
2. Friedheim



پوند بر بشکه نانو ذره گرافن اکسید به سیال پایه، استحکام ژله‌ای ۱۰ ثانیه‌ای و ۱۰ دقیقه‌ای به ترتیب ۲۵ و ۷ برابر شدند [۵]. هر دو نوع سیال پایه آبی و پایه روغنی توسط ذکر یا^۱ و همکاران به منظور بررسی اثر نوع جدیدی از نانوذرات کنترل کننده حجم صافاب بر روی خواص گل حفاری آزمایش شدند. در این تحقیق که طبق استاندارد API-LTLP انجام شد، مشخص شده است که نانو ذرات ۶۱ درصد بهتر از افزودنی‌های معمول کنترل حجم صافاب موفق به کاهش حجم صافاب شده‌اند [۱۷]. از طرفی سولفید هیدروژن (H_2S) گازی بسیار سمی، کشنده و همچنین خورنده است. وجود آن در سیال حفاری بسیار خطرناک است و علاوه بر آسیب رساندن به تجهیزات می‌تواند باعث مرگ و مسمومیت شدید کارکنان دکل حفاری شود. با حفاری لایه‌هایی که حاوی گاز سولفید هیدروژن هستند این گاز درون سیال حفاری حل می‌شود و به سطح منتقل می‌گردد. خارج کردن سولفید هیدروژن از گل حفاری یک مسئله اساسی است. صیادنژاد در یک کار پژوهشی تفاوت اثر نانو ذرات اکسید روی و ذرات با اندازه بزرگتر آن را مورد آزمایش و بررسی قرار داد. نتایج حاکی از آن بودند که ذرات با اندازه بزرگتر اکسید روی در مدت زمان ۹۰ دقیقه فقط ۲/۵ درصد از گاز سولفید هیدروژن را آزاد کرده اند در حالی که نتیجه آزمایش‌ها برای نانوذرات اکسید روی بسیار شگفت آور بود و توانست تمام گاز سولفید هیدروژن را در مدت زمان ۱۵ دقیقه آزاد کند [۱۸]. لی^۲ و همکاران [۱۹] کاربرد نانوذرات سیلیکا بر روی کاهش ضخامت فیلتر یک با بستن گلوگاه خلل و فرج بوسیله نانو ذرات و کاهش حجم صافاب را بررسی کردند که عملکرد مناسبی را از خود نشان دادند. یکی از ویژگی‌های مهم و کاربردی نانو ذرات سیلیکا عدم افزایش وزن گل حفاری است. غلظت‌های مختلفی از نانو کامپوزیت‌های سیلیکایی در کار مطالعاتی جین^۳ و همکاران [۲۰] مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها نشان داد که با غلظت ۱،۱٪ وزنی از نانو کامپوزیت‌های سیلیکا ۲۶۰ درصد نقطه واری افزایش یافت. همچنین ۱۵۴ درصد کاهش حجم صافاب و ۳۲۵ درصد افزایش استحکام ژله‌ای ۱۰ دقیقه به وقوع پیوست. فاضل عبدالآبادی^۴ و همکاران [۲] موفق شدند ضریب هدایت حرارتی سیال حفاری پایه آبی را تا ۳۱/۸ درصد با افزودن ۱ درصد کسر حجمی از نانو لوله‌های کربنی به آن بیافزایند. همچنین نتایج آزمایش کنترل صافاب ۱۶/۶۷ درصد کاهش حجم صافاب را نشان داد. عوامل و ویژگی‌های مختلفی از نانوذرات بر عملکرد آنها تاثیر گذار است که مهمترین آنها شامل نوع و اندازه [۲۱]، غلظت [۲۲] و دما [۲] است. هدف اصلی این پژوهش بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف از نانو ذرات گرافن و سیلیکا (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد کسر حجمی) بر بهینه کردن عملکرد یک نمونه گل حفاری پایه آبی است. در این کار تحقیقاتی ضریب هدایت حرارتی و خواص رئولوژیکی سیال حفاری شامل ویسکوزیته پلاستیکی، نقطه واری، استحکام ژله‌ای ۱۰ ثانیه و ۱۰ دقیقه و همچنین حجم صافاب قبل و بعد از افزودن نانو ذرات بررسی شده اند که تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته است.

مبانی تجربی

برای آماده سازی گل حفاری پایه از دستورالعمل توصیه شده شرکت ملی حفاری ایران استفاده شده است. گل حفاری پایه به وزن ۹۵ PCF با ترکیبی که در جدول ۱ ذکر شده، آماده شده است.

1. Zakaria
2. Li
3. Jain
4. Fazelabdolabadi



جدول ۱: افزودنی های سیال حفاری پایه آبی

ترتیب	ماده	مقدار	زمان مخلوط شدن (min)
۱	F.W	۲۹۰ ml	۰
۲	KCL	۳۹gr	۲
۳	NaOH	۰/۱۳ gr	۳
۴	Xantan.G	۰/۴۳ gr	۵
۵	PAC	۱.۳ gr	۵
۶	PHPA	۱ gr	۱۰
۷	Barite	۱۸۰ gr	۳۰

خواص رئولوژیکی گل حفاری توسط دستگاه ویسکومتر دوار مدل FANN SA ۳۵ آزمایش شد. خواص رئولوژیکی سیال حفاری پایه آبی اولیه ایجاد شده در جدول ۲ درج شده است.

جدول ۲. خواص رئولوژیکی سیال حفاری پایه

ویسکوزیته پلاستیکی (CP)	نقطه واروی (ft ^۲ ۱۰۰/lb)	استحکام ژله ای ۱۰ ثانیه ای (ft ^۲ ۱۰۰/lb)	استحکام ژله ای ۱۰ دقیقه ای (ft ^۲ ۱۰۰/lb)	۳۰۰ Φ (RPM)	۶۰۰ Φ (RPM)
۲۳	۳۷	۶	۸	۶۰	۸۳

نانوذرات گرافن با خلوص ۹۹/۵ درصد و با اندازه ۲-۱۸ نانومتر و نیز نانوذرات سیلیکون اکسید با خلوص ۹۹ درصد و اندازه ۲۰-۳۰ نانومتر در این آزمایش بکار برده شده است. برای جلوگیری از ته نشینی و کلوخه ای شدن ذرات از سورفکتانت ستیل تری متیل آمونیوم بروماید (CTAB) استفاده شده است. مقدار سورفکتانت استفاده شده به اندازه ۱ درصد وزنی از وزن نانوذرات استفاده شده است. برای وزن کردن نانوذرات و سورفکتانت از ترازوی با دقت بالا (۰,۰۰۰۱) ساخت شرکت کرن^۱ آلمان استفاده شد. گل حفاری به همراه نانوذرات و سورفکتانت به مدت ۹۰ دقیقه بوسیله همزن مغناطیسی مخلوط شدند. به منظور پراکندگی بهتر نانوذرات و سورفکتانت یک فرایند آلتراسونیک به مدت ۶۰ دقیقه با ۴۰ درصد توان بر روی سیال حفاری توسط دستگاه همزنایزر التراسونیک (مدل FAPAN ۱۲۰۰ UT, ۱۲۰۰W/ ۲۴KHz) انجام شد. سیال حفاری بعد از انجام مراحل فوق بخوبی پایدار شد به گونه ای که به مدت حداقل یک هفته آثار هیچ گونه کلوخه ای شدن یا ته نشینی با چشم غیر مسلح دیده نشد.

تاثیر نانو ذرات بر ویسکوزیته پلاستیکی

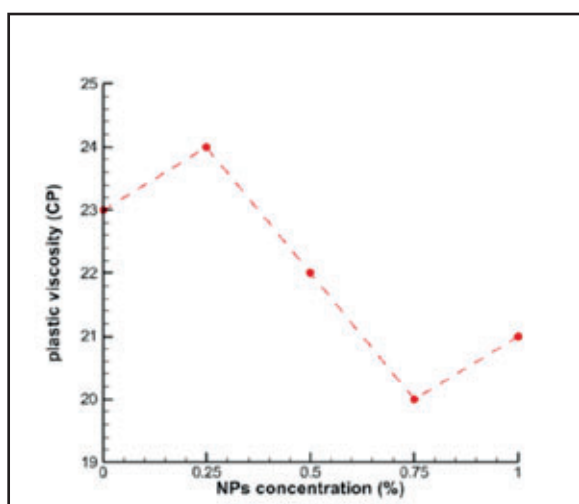
سیال حفاری پایه و نانو سیال ایجاد شده به منظور بررسی اثر غلظت های متفاوت از نانو ذرات گرافن و سیلیکون اکسید بوسیله دستگاه ویسکومتر دوار آزمایش شدند. سیالات حفاری در دو دور مختلف ۳۰۰ و ۶۰۰ دور بر دقیقه (RPM) آزمایش شد و ویسکوزیته پلاستیکی آنها محاسبه گردید. نتایج بدست آمده در جدول ۳ نشان داده شده است.



جدول ۳. ویسکوزیته پلاستیکی سیال حفاری با غلظت‌های مختلف از نانوذرات

ویسکوزیته پلاستیکی (CP)	۳۰۰ Φ (RPM)	۶۰۰ Φ (RPM)	غلظت نانوذرات (%)
۲۳	۶۰	۸۳	۰
۲۴	۵۸	۸۲	۰/۲۵
۲۲	۶۰	۸۲	۰/۵
۲۰	۶۱	۸۱	۰/۷۵
۲۱	۶۳	۸۴	۱

ویسکوزیته پلاستیکی در اثر اصطکاک مکانیکی بین ذرات جامد گل حفاری ایجاد می‌شود و هرچقدر که این اصطکاک کمتر باشد سرعت عملیات حفاری بهتر است [۲]. ویسکوزیته سیال حفاری با افزودن ذرات سیلیکون اکسید افزایش می‌یابد. ولی از آن جایی که نانوذرات گرافن از جنس کربن هستند و کربن ماهیت روان‌کاری دارد، باعث کاهش اصطکاک بین ذرات گل می‌شود و ویسکوزیته پلاستیکی را کاهش می‌دهد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویسکوزیته پلاستیکی در شکل ۱ به نمایش درآمده است. همان‌طور که در تصویر مشخص است تاثیر مثبت نانوذرات در کاهش ویسکوزیته پلاستیکی سیال حفاری با افزودن بر غلظت آن نمایان می‌شود. بیشترین تاثیر را در کاهش ویسکوزیته پلاستیکی غلظت ۰/۷۵ درصد دارد که باعث کاهش ۱۵ درصدی ویسکوزیته پلاستیکی سیال حفاری پایه شده است.



شکل ۱. تاثیر غلظت نانوذرات بر ویسکوزیته پلاستیکی سیال حفاری

تاثیر نانوذرات بر نقطه واروی سیال حفاری

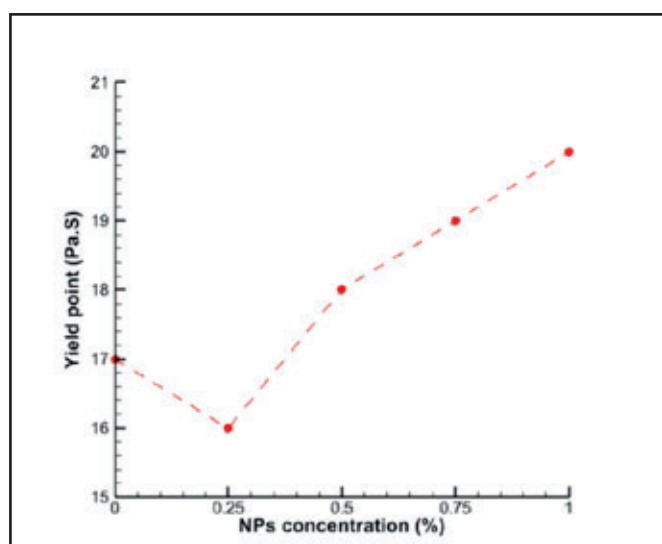
نقطه واروی گل حفاری نشان دهنده میزان مقاومت در برابر گردش سیال درون چاه و جاذبه الکتروشمیایی بین ذرات سازنده گل حفاری است. این خاصیت به توانایی و ظرفیت گل حفاری در حمل کردن کندهای حفاری در داخل چاه و تخلیه آنها در سطح مربوط است. بالا بودن نقطه واروی منجر به حمل بهتر کندها و تمیزکاری مناسب چاه می‌شود. از طرف دیگر اگر نقطه واروی بیش از حد معمول زیاد باشد در کارکرد پمپ‌های تزریق سیال اختلال ایجاد می‌شود [۲]. نتایج حاصل از محاسبات مربوط به نقطه واروی در جدول ۴



آمده است. در شکل ۲ می توان تاثیر مستقیم افزایش غلظت نانوذرات را بر نقطه واروی سیال مشاهده کرد که از غلظت ۰/۲۵ درصد به بعد نمایان است.

جدول ۲. نقطه واروی سیال حفاری در غلظت های مختلف نانوذرات

نقطه واروی (Pa.s)	ویسکوزیته پلاستیکی (CP)	۳۰۰ Φ (RPM)	۶۰۰ Φ (RPM)	غلظت نانوذرات (%)
۱۷	۲۳	۶۰	۸۳	۰
۱۶	۲۴	۵۸	۸۲	۰/۲۵
۱۸	۲۲	۶۰	۸۲	۰/۵
۱۹	۲۰	۶۱	۸۱	۰/۷۵
۲۰	۲۱	۶۳	۸۴	۱



شکل ۲. تاثیر غلظت نانوذرات بر نقطه واروی سیال حفاری

تاثیر نانوذرات بر استحکام ژله ای سیال حفاری

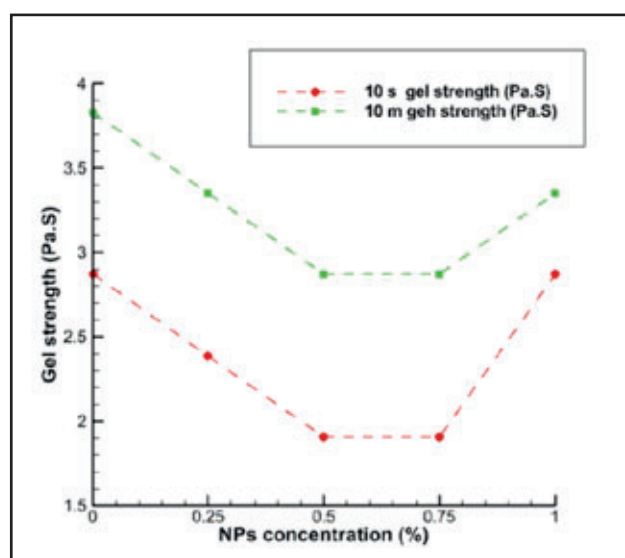
استحکام ژله ای بدلیل نیروهای جاذبه درون سیال حفاری بعد از هر بار توقف گردش گل منجر به بندش گل حفاری می شود و سیال حالتی ژله ای پیدا می کند. در چنین حالتی برای شروع دوباره عملیات حفاری و گردش گل پمپ ها باید فشار بیشتری را ایجاد کنند تا بر نقطه واروی سیال غلبه کنند و حالت ژله ای گل حفاری بشکنند.

تحقیق پیش رو به بررسی تاثیر افزایش غلظت نانوذرات گرافن و سیلیکون اکسید بر استحکام ژله ای ۱۰ ثانیه و ۱۰ دقیقه ای سیال حفاری پرداخته است. جدول ۵ حاوی نتایج محاسبات مربوط به استحکام ژله ای است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد که سیال حفاری پایه آبی در غلظت های بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ درصد کمترین استحکام ژله ای ۱۰ ثانیه و ۱۰ دقیقه را دارد که به ترتیب منجر به کاهش ۳۳٪ و ۲۵٪ استحکام ژله ای سیال حفاری پایه شده اند که به وضوح در شکل ۳ به نمایش درآمده است.



جدول ۵. استحکام ژله‌ای سیال حفاری بر اساس غلظت نانوذرات

غلظت نانوذرات (%)	استحکام ژله ای ۱۰ ثانیه (Pa.S)	استحکام ژله ای ۱۰ دقیقه (Pa.S)
۰	۲/۸۷	۳/۸۳
۰/۲۵	۳۹.۲	۲/۳۵
۰/۵	۱/۹۱	۲/۸۷
۰/۷۵	۱/۹۱	۲/۸۷
۱	۲/۸۷	۳/۳۵



شکل ۳. تغییرات استحکام ژله ای با غلظت نانوذرات

تأثیر نانوذرات بر حجم صافاب سیال حفاری

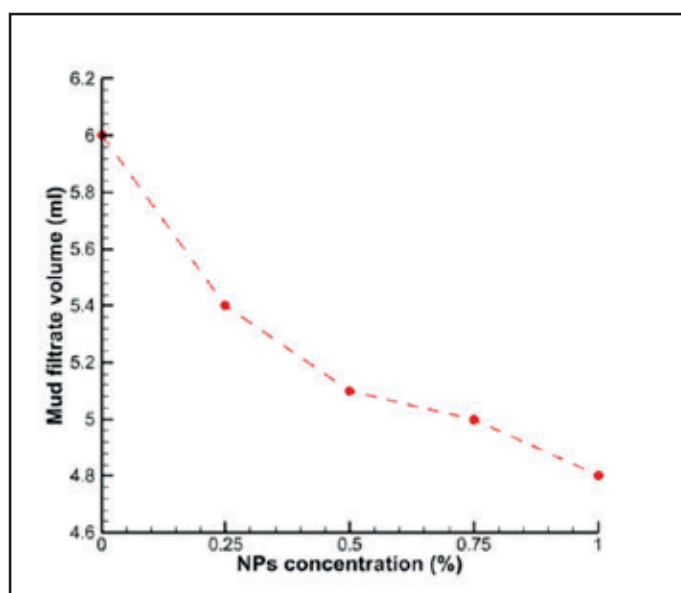
حجم صافاب گل حفاری که به داخل لایه‌های زیر زمینی نفوذ می‌کند یکی از عوامل مهم در تعیین هزینه‌های عملیات حفاری و بازدهی آن است. افزودنی‌های معمول کنترل حجم صافاب از قبیل PHPA, PAC, CMC دارای اندازه‌هایی بزرگ هستند به همین دلیل نمی‌توانند به خوبی گلوگاه خلل و فرج موجود بر دیواره داخلی چاه را پر کنند. در چنین حالتی سیال حفاری به راحتی از این گلوگاه‌ها عبور کرده و باعث افزایش حجم صافاب می‌شود [۲۳].

حجم صافاب گل حفاری پایه و نانو سیال ایجاد شده بوسیله دستگاه فیلتر پرس سری ۳۰۰ API LPLT اندازه‌گیری و بر حسب استاندارد API (دمای محیط، فشار ۱۰۰ پام و به مدت ۳۰ دقیقه) انجام شده است. تأثیر مثبت افزایش غلظت نانوذرات در سیال حفاری بر کاهش حجم صافاب در داده‌های جدول ۶ بخوبی قابل رویت است، به گونه‌ای که کمترین حجم صافاب جمع آوری شده متعلق به سیال با بیشترین غلظت نانو ذرات است. شکل ۴ روند کاهشی حجم صافاب گل حفاری را با افزایش غلظت نانو ذرات نشان می‌دهد.



جدول ۶. تغییرات حجم صافاب سیال حفاری با تغییرات غلظت نانوذرات

غلظت نانوذرات (%)	حجم صافاب (ml)	کاهش حجم صافاب (%)
۰	۶	
۰/۲۵	۵/۴	۱۱/۱
۰/۵	۵/۱	۱۷/۶
۰/۷۵	۵	۲۰
۱	۴/۸	۲۵



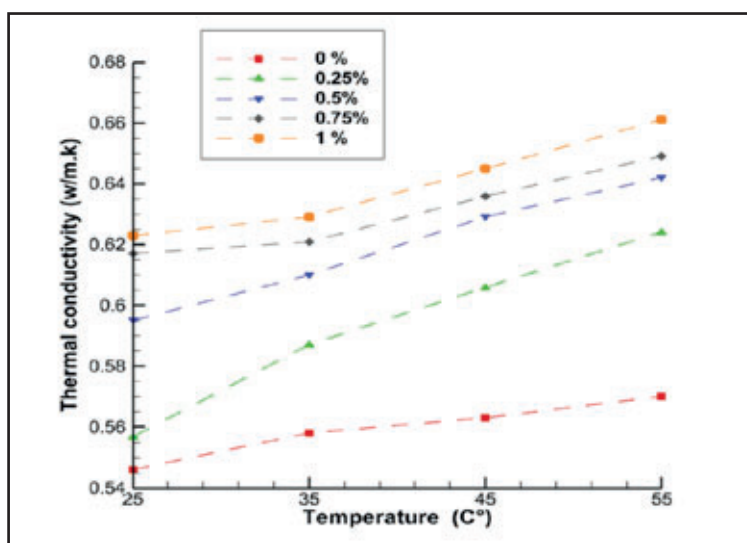
شکل ۴. روند کاهش حجم صافاب با افزایش غلظت نانوذرات

تأثیر نانوذرات بر ضریب هدایت حرارتی سیال حفاری

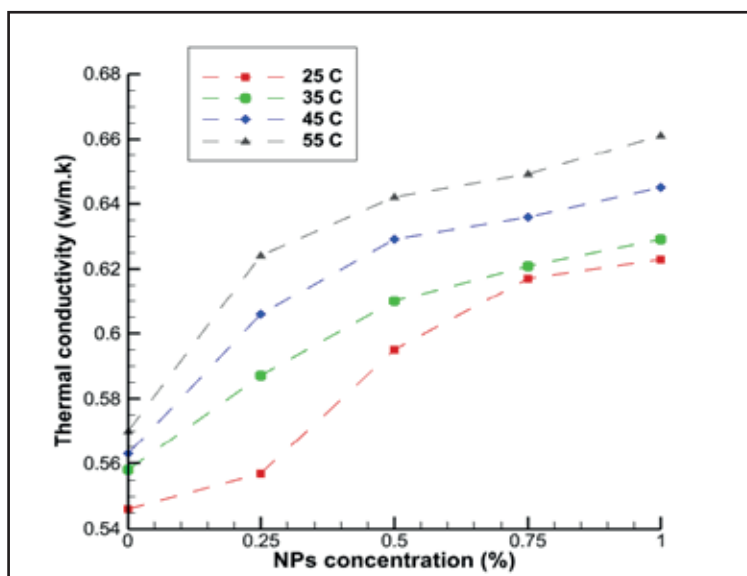
حین عملیات حفاری سایش مته بر سازند باعث بالا رفتن دمای مته و رشته حفاری می شود. سیال حفاری باید ظرفیت و توانایی جذب و انتقال گرما از مته را داشته باشد تا با خنک کاری منجر به افزایش طول عمر تجهیزات و کاهش هزینه ها گردد. این توانایی سیال به ضریب هدایت حرارتی مربوط می شود. در بخش انتهایی این مطالعه به بررسی تأثیر غلظت های متفاوت نانوذرات بر افزایش ضریب هدایت حرارتی سیال حفاری در دماهای ۲۵ و ۳۵ و ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی گراد پرداخته شده است. ضریب هدایت حرارتی نانو سیالات به عوامل متفاوتی از جمله ویسکوزیته نانو سیال، ضریب هدایت حرارتی و چگالی نانو ذرات و سیال پایه، ظرفیت گرمایی ویژه، غلظت و شعاع نانوذرات و کلوخه های نانو ذرات وابسته است [۲۴]. روش سیم داغ گذرا برای تعیین ضریب هدایت حرارتی سیال انتخاب شده است که روشی شناخته شده برای این کار است. این روش از دقت و سرعت بالایی برای تعیین ضریب هدایت حرارتی سیال برخوردار است [۲۵]. اساس عملکرد روش سیم داغ گذرا اندازه گیری تغییرات دمایی یک سیم نازک فلزی غوطه ور در سیال است که متصل به یک منبع حرارتی است. هنگامی که سیال هادی الکتریسیته باشد برای جلوگیری از بروز خطاهای کنترل نشده سیم فلزی را بوسیله مواد عایق چون پلی استر، آمینوم اکسید، تانتالیوم اکسید و یا سیلیکا می پوشانند [۲۶].



برای اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی از دستگاه KD محصول شرکت دکاگون آمریکا استفاده شده است. برای کالیبراسیون دستگاه از مایع کالیبراسیون مخصوص (گیلیسرین) استفاده می‌شود. در تعیین ضریب هدایت حرارتی ثابت ماندن دما امری مهم و ضروری است به همین دلیل برای اندازه‌گیری دما از حسگرهای RTD و جریان آب گرم برای تامین حرارت استفاده شده است. ضریب هدایت حرارتی سیال حفاری در دماهای مختلفی اندازه‌گیری شده است که نتایج حاصل از تحقیق در شکل های ۵ و ۶ نشان دهنده تاثیر مستقیم دما و غلظت نانوذرات بر ضریب هدایت حرارتی است. همچنین نتیجه محاسبات ضریب هدایت حرارتی سیال حفاری و درصد افزایش آن نسبت به دما و غلظت نانوذرات در جدول ۷ آمده است.



شکل ۵. تاثیر دما بر ضریب هدایت حرارتی سیال حفاری در غلظت های ثابت



شکل ۶. تاثیر غلظت نانوذرات بر ضریب هدایت حرارتی در دماهای ثابت



جدول ۷: تغییرات ضریب هدایت حرارتی با دما و غلظت نانوذرات

غلظت نانوذرات (□)	دما (°C)	ضریب هدایت حرارتی (w/m.k)	افزایش ضریب هدایت حرارتی با افزایش دما در غلظت ثابت (%)	افزایش ضریب هدایت حرارتی با افزایش غلظت نانوذرات در دمای ثابت (%)
۰	۲۵	۰/۵۴۶	-	-
	۳۵	۰/۵۵۸	۲/۲	-
	۴۵	۰/۵۶۳	۳/۱	-
	۵۵	۰/۵۷	۴/۴	-
۰/۲۵	۲۵	۰/۵۵۷	-	۲
	۳۵	۰/۵۸۷	۵/۴	۵/۲
	۴۵	۰/۶۰۶	۸/۸	۷/۶
	۵۵	۰/۶۲۴	۱۲	۹/۵
۰/۵	۲۵	۰/۵۹۵	-	۹
	۳۵	۰/۶۱	۲/۵	۹/۳
	۴۵	۰/۶۲۹	۵/۷	۱۱/۷
	۵۵	۰/۶۴۲	۷/۹	۱۲/۶
۰/۷۵	۲۵	۰/۶۱۷	-	۱۳
	۳۵	۰/۶۲۱	۰/۶	۱۱/۳
	۴۵	۰/۶۳۶	۳	۱۳
	۵۵	۰/۶۴۹	۵/۲	۱۳/۹
۱	۲۵	۰/۶۲۳	-	۱۴/۱
	۳۵	۰/۶۲۹	۱	۱۲/۷
	۴۵	۰/۶۴۵	۳/۵	۱۴/۶
	۵۵	۰/۶۶۱	۶/۱	۱۶

نتیجه گیری

این پژوهش به دلیل اهمیت بهینه‌سازی عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز و کاهش هزینه‌های آن به بررسی تاثیر غلظت نانوذرات گرافن و سیلیکون اکسید با نسبت وزنی برابر، بر خواص رئولوژیکی و ترموفیزیکی سیال حفاری پایه آبی پرداخته است. برای همگن کردن سیال حفاری و جلوگیری از ته‌نشین و کلوخه‌ای شدن نانو ذرات از سورفکتانت CTAB و پروسه التراسونیک استفاده شده است. تمامی آزمایش‌های مربوط به خواص رئولوژیکی طبق استاندارد API RP ۱۳B انجام شده است. برای تعیین ضریب هدایت



حرارتی از روش سریع و دقیق سیم داغ گذرا در دماهای ۲۵ و ۳۵ و ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شده است. ذرات با اندازه نانو بدلیل اندازه بسیار کوچک دارای نسبت سطح به حجم بسیار بزرگی هستند که باعث بالا رفتن برهم کنش‌های بین ذره‌ای می‌شود و می‌تواند اثر ماهیت ذره را به طرز چشم‌گیری افزایش دهد. انرژی جنبشی کم نانو ذرات منجر می‌شود حتی در غلظت‌های کم هم تاثیر بسزایی داشته باشند. در این پژوهش ویسکوزیته پلاستیکی، نقطه واروی، استحکام ژله‌ای، حجم صافاب و ضریب هدایت حرارتی سیال حفاری پایه و نانو سیال حفاری در غلظت‌های مخلف اندازه‌گیری و مقایسه شده‌اند. نتایج حاصل نشان دهنده کارآمدی بسیار بالای نانوذرات در بهبود خواص گل حفاری هستند. این نتایج بصورت خلاصه در ذیل ذکر شده‌اند.

۱۵ درصد کاهش ویسکوزیته پلاستیکی در غلظت ۰/۷۵ درصد کسر حجمی.

۱۶/۶۵ درصد افزایش در نقطه واروی سیال حفاری در غلظت ۱ درصد.

۵۰/۲۶ درصد و ۳۳/۴۵ درصد کاهش در استحکام ژله‌ای ۱۰ ثانیه و ۱۰ دقیقه در بازه غلظت ۰/۵ درصد تا ۰/۷۵ درصد کسر حجمی.

۲۵ درصد کاهش حجم صافاب گل حفاری در غلظت ۱ درصد کسر حجمی.

افزایش ۱۶ درصد ضریب هدایت حرارتی در غلظت ۱ درصد کسر حجمی در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد.

مراجع

1. Bourgoyne, A.T., Millheim, K.K., Chenevert, M.E., Young, J.R., (2016), Applied drilling engineering, Vol 2, Society of Petroleum Engineering, Inc, Richardson, TX, USA, 502.
2. Fazelabdolabadi, B., Khodadadi, A. A., Sedaghatzadeh, M., (2015), Thermal and rheological properties improvement of drilling fluids using functionalized carbon nanotubes, Applied Nanoscience, 5(6), pp 651-659.
3. Smalley, R. E., Yakobson, B. I., (1998), The future of the fullerenes. Solid state communications, 107(1), pp 597-606.
4. Zhou, W., Heiney, P. A., Fan, H., Smalley, R. E., Fischer, J. E., (2005), Single-walled carbon nanotube-templated crystallization of H₂SO₄: Direct evidence for protonation. Journal of the American Chemical Society, 127(6), pp 1640-1641.
5. Friedheim, J. E., Young, S., De Stefano, G., Lee, J., Guo, Q., (2012), Nanotechnology for oilfield applications-hype or reality, SPE international oilfield nanotechnology conference and exhibition. Society of Petroleum Engineers.
6. Duangthongsuk, W., Wongwise, S., (2009), Measurement of temperature-dependent thermal conductivity and viscosity of TiO₂-water nanofluids, Experimental thermal and fluid science, 33(4), pp 706-714.
7. Kim, S. H., Choi, S. R., Kim, O., (2007), Thermal conductivity of metal-oxide nanofluids: particle size dependence and effect of laser irradiation, pp 298-307.
8. Xie, H., Wang, J., Xi, T., Liu, Fei Ai, Y., Wu, Q., (2002), Thermal conductivity enhancement of suspensions containing nanosized alumina particles. Journal of applied physics, 91(7), pp 4568-4572.
9. Krishnamurthy, S., Bhattacharya, P., Phelan, P. E., Prasher, R. S., (2006), Enhanced mass transport in nanofluids, Nano letters, 6(3), pp 419-423.



10. Wasan, D. T., Nikolov, A. D., (2003), Spreading of nanofluids on solids, *Nature* 423(6936), pp 156-159.
11. Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu, W., (2001), Thompson L. J., Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, *Applied physics letters*, 78(6), pp 718-720.
12. Li, Q., Xuan, Y., Convective heat transfer and flow characteristics of Cu-water nanofluid, (2002), *Science in China Series E: Technolglcal Science*. 45(4), pp 408-416.
13. He, Y., Jin, Y., Chen, H., Ding, Y., Cang, D., Lu, H., (2007), Heat transfer and flow behaviour of aqueous suspensions of TiO₂ nanoparticles (nanofluids) flowing upward through a vertical pipe, *International journal of heat and mass transfer*, 50(11-12), pp 2272-2281.
14. Ding, Y., Alias, H., Wen, D., Williams, R. A., (2006), Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids), *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49(1-2), pp 240-250.
15. Wen, D., Ding, Y., (2004), Effective thermal conductivity of aqueous suspensions of carbon nanotubes (carbon nanotube nanofluids), *Journal of thermophysics and heat transfer*, 18(4), pp 481-485.
16. Shaikh, S., Lafdi, K., Ponnappan, R., (2007), Thermal conductivity improvement in carbon nanoparticle doped PAO oil: An experimental study, *Journal of Applied Physics*, 101(6), pp 064302.
17. Zakaria, M., Husein, M. M., Harland, G., (2012), Novel nanoparticle-based drilling fluid with improved characteristics, SPE international oilfield nanotechnology conference and exhibition. Society of Petroleum Engineers.
18. Sayyadnejad, M. A., Ghaffarian, H. R., Saeidi, M., (2008), Removal of hydrogen sulfide by zinc oxide nanoparticles in drilling fluid, *International Journal of Environmental Science & Technology*, 5(4), pp 565-569.
19. Li, L., Yuan, X., Xu, X., Li, S., Wang, L., (2013), Vital role of nanotechnology and nanomaterials in the field of oilfield chemistry, IPTC 2013: International Petroleum Technology Conference, pp. cp-350. European Association of Geoscientists & Engineers.
20. Jain, R., Mahto, V., VSharma, P., (2015), Evaluation of polyacrylamide-grafted-polyethylene glycol/silica nanocomposite as potential additive in water based drilling mud for reactive shale formation, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 26, pp 526-537.
21. Esfe, M. H., Saedodin, S., Mahmoodi, M., (2014), Experimental studies on the convective heat transfer performance and thermophysical properties of MgO-water nanofluid under turbulent flow. *Experimental thermal and fluid science*, 52, pp 68-78.
22. Saedinia, M., Akhavan-Behabadi, M. A., Razi, P., (2012), Thermal and rheological characteristics of CuO-Base oil nanofluid flow inside a circular tube, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(1), pp 152-159.
23. Abdul Razak, I., Norhana M. R., Mohd Zaidi, J., Wan Rosli Wan, S., Nor Aziah B., (2014), Effect of nanomaterial on the rheology of drilling fluids, *Journal of applied sciences*, 14(11), pp 1192.



24. Xuan, Y., Li, Q., Hu, W., (2003), Aggregation structure and thermal conductivity of nanofluids, *AIChE Journal*, 49(4), pp 1038-1043.
25. Choi, S. U., Eastman, J. A., (1995), Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. No. ANL/MSD/CP-84938; CONF-951135-29. Argonne National Lab., IL (United States).
26. Kadjo, A. J. J., Maye, J. P., Saillard, J., Thévenot, G., Garnier, J. P., Martemianov, S., Measurement of thermal conductivity and diffusivity of electrically conducting and highly corrosive liquids from small samples with a new transient hot-wire instrument, *Proceeding of 5th European Thermal Sciences Conference*, pp. 18-22. 2008.