

مروری بر گسترش نانوفناوری در صنعت بالادستی نفت

مریم دارایی^۱، صدیقه صادق حسنی، پژوهشگاه صنعت نفت

چکیده

امروزه با افزایش جمعیت و رشد تمدن، فراهم کردن انرژی به دلیل محدودیت منابع نفت و گاز بسیار مهم است. فناوری نانو به عنوان یکی از مهمترین فناوری‌ها، باعث پیشرفت فراوانی در صنایع مختلف نفت و گاز در حوزه بالادستی، میان دستی و پایین دستی شده است. نانو ذرات به دلیل اندازه کوچک، حجم منافذ و مساحت سطح ویژه بالا، دارای خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی هستند که کاربردهای گسترده‌ای را پیدا کرده‌اند. حضور این مواد باعث پیشرفت شگرفی در فرایند اکتشاف نفت، حفاری، ازدیاد برداشت، حمل و نقل، فرایندهای تصفیه و پالایش شده است. بر این اساس، در سال‌های اخیر تحقیقات فراوانی بر روی انواع مختلف نانو ذرات و کاربردهای آنها در بخش‌های مختلف فرایندهای نفتی و به خصوص بالا دستی انجام شده است. به علت اهمیت این موضوع، در این تحقیق انواع نانوذرات و کاربردهای آنها در صنعت بالادستی نفت مورد بررسی قرار گرفته است.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۰۳/۱۳

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۰۴/۲۱

واژگان کلیدی:

نانوفناوری، بالادستی نفت، اکتشاف، حفاری، ازدیاد برداشت

مقدمه

مورد توجه هستند. در این مقاله ضرورت استفاده از نانوفناوری در صنایع بالادستی نفت مورد بررسی قرار گرفته که به طور خلاصه انواع نانومواد و سنتز آنها بررسی شده و در ادامه بررسی دقیق و جامع بر روی کاربرد آنها در بالادستی نفت خام صورت گرفته است.

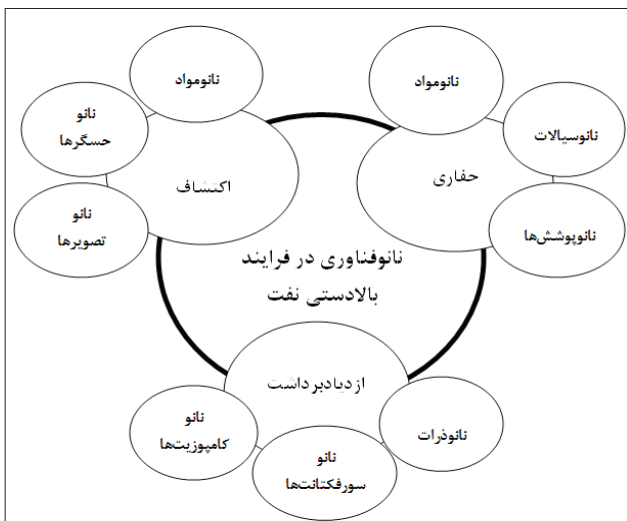
۱- نانو ذرات و روش سنتز آنها

اصلی ترین روش‌های ساخت مواد در مقیاس نانو به دو روش کلی بالا به پایین و روش پایین به بالا خلاصه می‌شوند. روش بالا به پایین به عنوان روشی برای ساخت ذرات در ابعاد نانومتری می‌باشد. در این روش با استفاده از دستگاه‌ها و روش‌های مکانیکی، نانوذرات از مواد با ابعاد بزرگ تر تولید می‌شوند. در روش پایین به بالا، با استفاده از به هم

امروزه نفت و گاز به عنوان یکی از نیازهای ضروری بشر بوده و فرآیند تولید و استخراج بهینه سیال از مخازن هیدروکربوری یکی از دغدغه‌های جهان کنونی در زمینه تأمین سوخت است. با در نظر گرفتن محدودیت منابع نفت و گاز در جهان و نیز توانایی محدود بشر در اکتشاف، تولید و بهره برداری از منابع هیدروکربوری، نیاز به توسعه فناوری‌های جدید در جهت توسعه علمی و عملی استخراج و تولید احساس می‌شود. در این راستا پیدایش فناوری نانو نقش مهمی را در جهت توسعه و بهبود صنایع نفت و گاز دارد. تحقیقات زیادی بر روی جریان‌های پایین دستی، میان دستی و بالادستی صنعت نفت و گاز صورت گرفته است که می‌تواند باعث بهبود فرایند اکتشاف، حمل و نقل و پالایش محصولات نفتی شود. فناوری نانو این ظرفیت و پتانسیل را دارد که تغییرات متحول کننده‌ای را در حوزه‌های مختلف صنایع نفت و گاز نظیر اکتشاف و استخراج، حفاری، تولید و ازدیاد برداشت به وجود آورد [۱].

در واقع نانوفناوری، امکان ساخت، طراحی، تعیین مشخصات، تولید و کاربرد مواد و وسایل در در محدوده ۱-۱۰۰ نانومتر فراهم می‌کند [۲]. کاهش اندازه ذرات از حالت توده یا میکرو به نانو ذرات منجر به افزایش مساحت سطح ویژه آنها شده و می‌تواند باعث تغییر خواصی از ماده نظیر خواص شیمیایی، نوری، الکتریکی، گرمایی و مغناطیسی شود [۳]. انواع گوناگون نانوذرات در اکتشاف، تولید، ازدیاد برداشت، پالایش، فرایند تصفیه و حمل و نقل و ذخیره نفت خام مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شکل ۲- درخت نانوفناوری و کاربردهای آن را در صنعت بالادستی نفت شامل اکتشاف، حفاری و ازدیاد برداشت نشان می‌دهد.

نانو مواد به دلیل خواص ویژه‌ای که دارند به عنوان موادی نوید دهنده

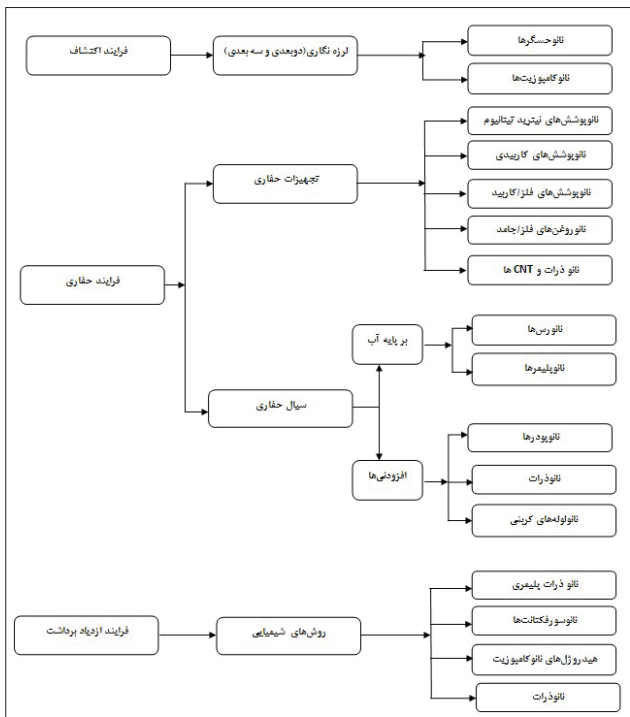


شکل ۱ | استفاده از نانومواد در بالادستی نفت

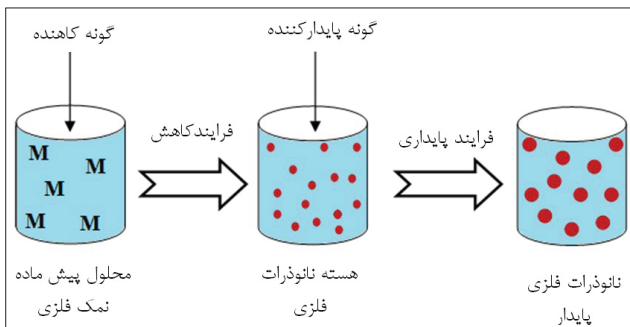
* نویسنده‌ی عهده دار مکاتبات (m20.daraee@gmail.com)

بخار شیمیایی، روش قوس پلاسما، رسوب الکتریکی^۴، سل ژل و آسیاب توپ تولید می‌شوند.

روش کاهش نمک فلزی (شکل-۳) شامل پیش‌ماده نمک فلزی است که با گونه‌های کاهنده مثل هیدروژن، کربن مونوکسید، هیدرازین و هیدریدها مخلوط می‌شود. نمک‌ها عموماً به‌عنوان یک گونه پایدارکننده استفاده می‌شوند تا از تجمع ذرات جلوگیری کنند. این فرایند شامل هسته‌زایی، رشد و تجمع ذرات است. در ابتدا کاتیون‌های فلزی در محلول به‌وسیله گونه کاهنده به اتم فلزی کاهش می‌یابد. سپس اتم‌های فلزی سریعاً دور هم جمع شده تا هسته نانوذرات فلزی کوچک تولید شود. در نهایت هسته‌ها رشد کرده و کنار هم قرار گرفته تا شکل‌های بزرگتر نانوذرات فلزی تولید شود. گونه پایدارکننده در این فرایند باعث



شکل ۲ | درخت نانوفناوری و کاربردهای آن در صنعت بالادستی نفت



شکل ۳ | طرحی شماتیک از فرایند کاهش نمک فلزی

پیوستن واحدهای بنیادی سازنده و قرار دادن آنها کنار هم، نانومواد ایجاد می‌شوند [۴].

انواع مختلف نانو ذرات شامل نانو ذرات فلزی، اکسید فلزی، نانومواد کربنی و نانو کامپوزیت‌ها می‌باشند که در صنعت نفت و گاز کاربرد دارند. از میان آنها نانو ذرات فلزی در تنوع گوناگون در صنعت نفت و گاز مورد استفاده قرار گرفته‌اند که با توجه به نوع فلز، حالت اکسیداسیون، شکل، عامل دار شدن و خصوصیات دیگری که دارند، می‌توانند به روش‌های فیزیکی و شیمیایی تقسیم شوند. یکی از ساده‌ترین و مرسوم‌ترین روش‌ها برای تولید نانو ذرات فلزی کاهش نمک فلزی است. انواع مختلف نانو ذرات مثل Rh، Os، Pt، Cu، Pd، Au، Ag و Ir با استفاده از این روش سنتز شده‌اند [۱].

چندین نوع نانو ذرات اکسید فلزی مثل Fe_2O_3 ، SiO_2 ، Al_2O_3 ، ZnO ، MgO ، ZrO_2 ، eO_2 ، TiO_2 انتقال حرارت به‌عنوان گزینه مناسبی برای کاربردهای مختلف صنعت نفت و گاز هستند. نانو ذرات مغناطیسی، گروه دیگری از نانو مواد هستند که از عناصر مغناطیسی مانند آهن، کبالت، نیکل و یا اکسید آنها تشکیل شده‌اند [۵]. عموماً نانو ذرات مغناطیسی و اکسید فلزی به‌وسیله روش‌های هم رسوبی، سل ژل، میکروامولسیون، سولوترمال، هیدروترمال^۱، سونوشیمی^۲ و رسوب بخار شیمیایی^۳ (CVD) سنتز شده‌اند [۱].

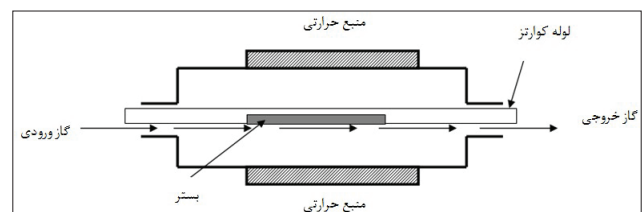
نانو مواد کربنی (نانولوله‌های کربنی، گرافن، کربن فعال و غیره) گروه دیگری از نانومواد هستند. نانولوله‌های کربنی به علت هدایت الکتریکی بالا، هدایت گرمایی، استحکام کششی و انعطاف‌پذیری توجه زیادی را در صنعت نفت و گاز به خود اختصاص داده‌اند. روش‌های مرسوم سنتز نانولوله‌های کربنی، تخلیه قوس^۴، تبخیر لیزری^۵، رسوب بخار شیمیایی، سونوشیمی و هیدروترمال هستند که هر کدام دارای مزایا و معایب خود می‌باشند. نانولوله‌های کربنی پس از فرایند سنتز، باید به‌وسیله روش‌های مناسب خالص‌سازی شوند. انتخاب روش سنتز و خالص‌سازی نانولوله‌ها یک پارامتر مهم است که تأثیر زیادی بر روی کیفیت محصول داشته و بر اساس نوع و کاربرد مورد نیاز این ماده است [۶].

نانوکامپوزیت‌ها موادی هستند که نانوذرات درون شبکه آنها ادغام شده تا خصوصیات خاصی از مواد را بهبود دهند و به‌طور گسترده در صنعت نفت و گاز مورد استفاده قرار داده شده‌اند. به‌عنوان مثال مواد نانوکامپوزیت به‌عنوان یک افزودنی در سیالات حفاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین آنها به‌طور محسوسی ویسکوزیته سیال را بهبود داده و منجر به کاهش تلفات فیلتراسیون و ضخامت کیک می‌شوند [۷]. نانومواد عموماً به‌وسیله روش‌هایی مثل کاهش نمک فلزی، رسوب

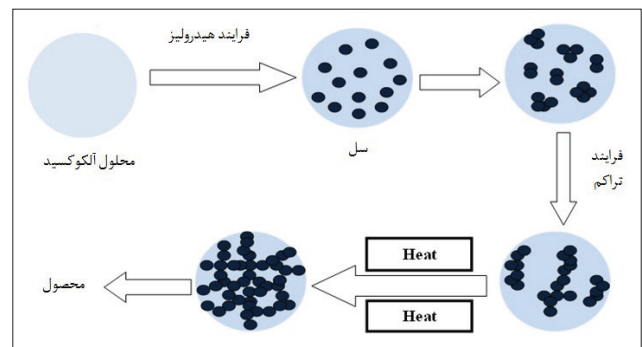
کنترل اندازه، شکل و مورفولوژی نانو ذرات نهایی خواهد شد [۱]. روش رسوب بخار شیمیایی (شکل-۴) شامل، ورود گازهای واکنش دهنده به داخل راکتوری است که در آن یک یا چند سطح گرم (بستر) وجود دارد. نفوذ گازها از طریق یک لایه مرزی و تماس گازها با سطح بستر صورت گرفته و با نشست گاز روی زیرلایه واکنش صورت می‌گیرد. در نتیجه رسوب به صورت یک لایه نازک بر روی سطح به وجود می‌آید. این فرآیند منجر به تولید مواد شیمیایی می‌شود. همچنین مواد زائد و محصولات جانبی نیز به وجود می‌آیند که از راکتور، همراه با گازهای واکنش نداده از پیش ماده، خارج می‌شود. رسوب‌دهی به طور معمول در دماهای حدود 1000°C انجام می‌پذیرد [۱].

در روش تخلیه قوس الکتریکی، در یک محفظه پر از آرگون، میدان الکتریکی به دو انتهای گرافیت اعمال می‌شود. همزمان یک قوس الکتریکی بین الکترودهای گرافیت صورت می‌پذیرد که سبب ایجاد دمای بسیار بالا حدود 1700°C می‌شود. در نتیجه کربن از آند تبخیر شده و روی کاتد جمع می‌شود و نانولوله‌های کربنی تشکیل می‌شوند. این روش برای سنتز نانولوله‌های کربنی استفاده می‌شود و بسیار پرهزینه است. دما در این روش بسیار بالا بوده و نانولوله تولید شده دارای نقص‌های ساختاری کمتری می‌باشد. البته اندازه و بازدهی نانولوله‌های کربنی تولید شده به طور موثری به نوع الکترود، دما، گاز و جریان قوس بستگی دارد.

در روش رسوب الکتریکی، دو الکترود فلزی درون محلول الکترولیت غوطه‌ور شده و با اعمال جریان الکتریکی کاتیون‌ها کاهش یافته و فلز



شکل ۴ | فرایند رسوب بخار شیمیایی



شکل ۵ | فرایند سل ژل

موردنظر بر روی سطح بستر رسوب می‌کند [۶].

در فرآیند سل-ژل^۷ محلول همگنی شامل حلال و پیش ماده‌هایی^۸ که قرار است در طول فرآیند، محصول نهایی را شکل دهند، تهیه می‌شود. سپس با افزودن آب واکنش هیدرولیز بر روی پیش ماده صورت می‌گیرد تا ذرات گرد هم آمده و ذرات ریز و جامدی تشکیل می‌شود که در حلال پراکنده هستند که به آن سل می‌گویند. در مرحله بعد، سل ساخته شده را به نوعی تحریک کرده، تا ذرات ریز پراکنده شده شروع به نوعی گردهمایی کنند که ژل تولید شود. در نهایت فرایند خشک کردن و کلسینه کردن بر روی ژل نهایی صورت می‌گیرد. از مزیت‌های این روش سادگی سنتز، تولید محصولاتی با خلوص بالا، سنتز ترکیبات کامپوزیتی و تولید محصول به اشکال مختلف است. شکل-۵ روش سل ژل را برای سنتز نانوذرات نشان می‌دهد.

روش آسیاب توپی (شکل-۶) شامل توپ‌های کوچک و یک محفظه است. با حرکت آسیاب، توپ‌ها درون محفظه با انرژی بالا شروع به چرخیدن کرده و به واسطه نیروی جاذبه بر روی مواد جامد افتاده و منجر به خرد شدن و ریز شدن ذرات جامد بزرگ‌تر می‌شوند. در این روش، کاهش اندازه ذرات تا حد نانومتر میسر می‌شود [۶].

۲- نانو ذرات در بالادستی نفت

۱-۲- اکتشاف

با توجه به افزایش میزان تقاضای انرژی در آینده، نیاز به استفاده از فناوری‌های جدید و بازننگری در نوع تولید و مصرف منابع انرژی به شدت احساس می‌شود. در این میان نانوفناوری روش‌های بسیار مناسبی را در جهت استفاده از فرآیندهای مختلف در حوزه انرژی به خصوص نفت و گاز ایجاد کرده است. نانو فناوری می‌تواند به یافتن منابع هیدروکربوری به صورت دقیق و در فواصل عمیق تر و نیز اندازه‌گیری ابعاد مخزن با استفاده از روش لرزه‌نگاری کمک کرده و نقش مهمی را در بهبود فرآیند اکتشاف ایفا کند.

در بالادستی نفت اولین مرحله برای دست‌یابی به نفت و بهره برداری از آن، اکتشاف مخازن است. در فرایند اکتشاف، با تهیه مجموعه‌ای از اطلاعات از لایه‌های مختلف زمین می‌توان محل و کیفیت نفت خام را کشف کرد و با تشخیص محل دقیق نفت موجود در اعماق زمین، می‌توان به حفاری و استخراج این مواد اقدام نمود [۸].

ابتدایی‌ترین فرایند اکتشاف نفت خام، مطالعه برخی از علائم و نشانه‌ها در سطح زمین است که می‌تواند در کشف احتمالی مخازن کمک کند. لایه‌هایی که هزاران متر زیر زمین هستند، ممکن است بخشی از آن در اثر عوامل مختلفی به سطح زمین برسد و مشاهده

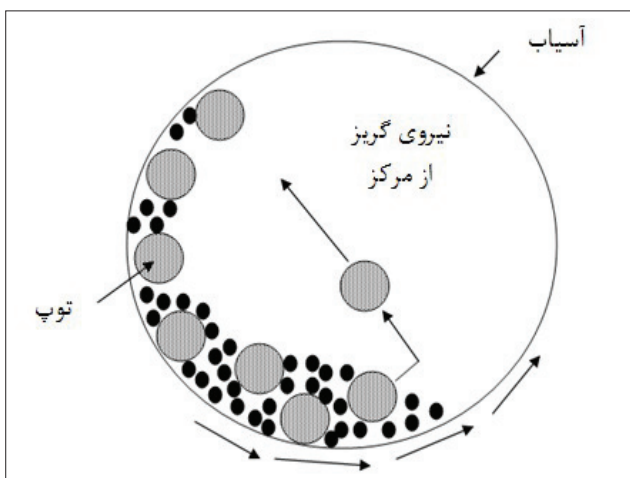
دلیل اندازه کوچک و نفوذپذیری می‌توانند اطلاعات را با دقت بالا در زمان واقعی فراهم کنند [۶].

یکی از نانوذراتی که به این منظور استفاده می‌شود نانوذرات مغناطیسی است. نانو ذرات سوپرمغناطیس اکسید آهن^{۱۲} (SPIO) می‌توانند در تصاویر رزونانس مغناطیسی هسته‌ای^{۱۳} (NMR) برای تعیین مشخصات اطلاعات سنگ‌های متخلخل استفاده شوند. همچنین در تحقیقی نشان داده شد که نانوذرات مغناطیسی آهن با قطر ۲۰ تا ۱۰۰ نانومتر، نیروی مغناطیسی بزرگ‌تری را نسبت به ذرات با قطر کمتر از ۱۰ نانومتر از خود نشان می‌دهند. نانوذرات سیلیکا همچنین پتانسیل خوبی در کاربردهای اکتشاف ایفا می‌کنند. این نانو ذرات با ابعاد ۵ تا ۲۰ نانومتر دارای نفوذ بسیار خوبی بوده و با حرکت در بین لایه‌های سنگ رسوبی نقش محسوسی را در شناسایی ساختار مخازن ایفا می‌کنند [۱۱].

همچنین تجهیزات نانوحسگرها قادر هستند تا موادی نظیر آلودگی‌ها، سموم و گازهای خطرناک را شناسایی کنند. نانوذرات WO_3 می‌توانند به‌عنوان نانوحسگر برای شناسایی گاز هیدروژن سولفید مورد استفاده قرار گیرند. این نانوحسگرها دارای اندازه کوچک، هزینه کم، حساسیت و انتخاب پذیری بالا هستند [۱۲]. در تحقیقات نشان داده شد که این نانوحسگرها قادر هستند که مقادیر بسیار کم هیدروژن سولفید (تا میزان ۱ ppm) را شناسایی کنند. در تحقیقی از نانوسیم‌های پالادیوم به عنوان نانوحسگر برای ردیابی گاز هیدروژن استفاده شده است [۱۳].

۲-۲- حفاری

عملیات حفاری در حقیقت مرحله مهم دسترسی به سیال درون مخزن است و توسعه مناسب این عملیات، نقش چشمگیری را در



شکل ۶ | آسیاب توپی

و بررسی آثار آنها در روی زمین، همگی می‌توانند در کشف احتمالی مخازن نفتی راهنما باشند. در گذشته اکتشاف نفت خام به کمک شناسایی این نشانه‌ها صورت می‌پذیرفت [۹]. اما امروزه فرایند اکتشاف عموماً به کمک یک سری نقشه‌های لرزه‌نگاری و تفسیر آنها صورت می‌گیرد. برای مثال، در روش لرزه‌نگاری، امواج لرزه‌ای در اثر انفجار به‌صورت موج‌های مکانیکی در لایه‌های درون زمین منتشر می‌شوند. بازتاب این امواج به کمک گیرنده‌هایی ثبت می‌شود. با توجه به اینکه سازندهای گوناگون، قابلیت‌های مختلفی برای عبور موج از درون خود دارند، سرعت امواج درون این لایه‌ها با هم متفاوت بوده و به این طریق می‌توان سطوح بین‌لایه‌ای را که دارای چگالی و سرعت انتشار متفاوتی هستند، تشخیص داد [۱۰].

به‌منظور برداشت بهینه و حداکثری از منابع انرژی به خصوص نفت و گاز، باید از روش‌های دقیق‌تر و کامل‌تر استفاده کرد. با توجه به اینکه حتی لرزه‌نگاری‌ها نیز قادر به ارائه اطلاعات واضح از ساختار زمین‌شناسی برخی نواحی خاص نمی‌باشند، پیش‌بینی می‌شود راه‌حل کلیدی این موضوع استفاده از نانوفناوری باشد تا با تولید نانوذرات یا نانوحسگرهای قوی، اطلاعات بسیار با ارزشی از ساختار مخزن جمع آوری نمود. نانوحسگرها به دلیل سطح ویژه بالای نانوذرات، جهت تحلیل دقیق پرتوهای مختلف در مقابل ساختارهای سنگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین از آنها می‌توان جهت تعیین جنس لایه‌ها و خواص سیال نیز استفاده کرد. علاوه‌براین، نانوحسگرها به‌علت اندازه کوچک، ایمنی در قبال تداخل الکترومغناطیسی، قابلیت عملکرد در دما و فشار بالا^{۱۴} (HPHT) و محیط‌های دشوار در صنعت نفت، برای بررسی تخلخل مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱]. با وارد کردن برخی از این نانوحسگرها به داخل مخزن و دانستن مقدار و سطح ویژه آنها، می‌توان میزان تخلخل سازند را در اعماق زیاد و با تحلیل بسیار دقیق و در نقاط متنوع به‌دست آورد. این حسگرها می‌توانند با حساسیت بالا نوسانات دما و فشار را کشف کرده و با عکس‌برداری از محیط‌های متخلخل آن را ردیابی کنند. یکی دیگر از حالت‌های مهم در فرایند اکتشاف، توزیع اندازه منافذ در سنگ‌های گلی^{۱۵} است. در فناوری نانوحسگر با ورود آن به درون مخازن نفت و گاز، از مسدود شدن منافذ جلوگیری کرده و اطلاعات را حس و ذخیره می‌کنند. در واقع قبل از شروع فرایند حفاری و حتی در مواردی بعد از آن، دانستن اطلاعات در زمینه مخزن و سنگ‌شناسی^{۱۱} ضروری است که استفاده از نانوربات‌هایی که به نانوحسگرها متصل شده‌اند، می‌توانند این اطلاعات را جمع‌آوری کنند. این نانوربات‌ها تجهیزات با اندازه کوچک در حد میکرومتر هستند که به ترکیباتی با اندازه نانومتر مجهز شده‌اند. آنها به

یافته است [۱۵].

به عبارت دیگر در حفاری‌های افقی به علت افزایش گشتاور و کشش^{۱۵} ممکن است نیروی اصطکاک بین مته حفاری و دیواره چاه افزایش یابد. مطالعات نشان داده است که با تزریق نانوذرات سیلیکای آبگریز درون کانال‌های مخزن، می‌توان نیروی دراگ را به‌وسیله جذب بر روی دیواره و تشکیل لایه فوق آبگریز کاهش داده، که منجر به کاهش مقاومت جریان می‌شود.

یکی دیگر از مشکلات موجود در حفاری چاه‌ها، حرکت ذرات خاک به سمت مخازن است که منجر به مسدود شدن منافذ می‌شود. به عبارت دیگر، این ذرات خاک اغلب از میان مش‌های محافظتی عبور کرده و باعث آسیب به پمپ‌ها می‌شوند. این ذرات سست و ناپایدار مشکلاتی را برای تولید نفت ایجاد می‌کنند زیرا به‌طور ضعیفی در منافذ سنگ‌ها چسبیده و می‌توانند حرکت کنند. تحقیقات نشان داده است که نانو ذرات می‌توانند به‌منظور ثابت کردن ذرات سست و ناپایدار خاک و کاهش حرکت آنها استفاده شوند [۱۴]. نانو ذرات به علت مساحت سطح زیاد و نیروهای الکترواستاتیک می‌توانند در کاهش تشکیل خاک ریز موثر بوده و قادر هستند آنها را به دام اندازند [۶].

خوردگی تجهیزات حفاری یکی دیگر از مشکلات حفاری است که باید سالانه میلیون‌ها دلار هزینه بابت این پدیده پرداخت شود. هیدروژن سولفید به عنوان یک گاز خورنده و بسیار سمی ممکن است در فرایند حفاری منجر به خوردگی تجهیزات حفاری شود. نانو ذرات اکسید روی با ابعاد ۱۴-۲۵ نانومتر به میزان زیادی در حذف هیدروژن سولفید از سیال حفاری نقش دارد. استفاده از این نانو ذرات علاوه بر حذف خوردگی سیال حفاری، باعث پاکسازی محیط و بهبود سلامت بشر می‌شود [۱۷]. نانو ذرات فرومغناطیسی هم که در سیال پراکنده می‌شوند قادر خواهند بود خوردگی را در تجهیزاتی که از جنس کربن استیل می‌باشد، کاهش دهند. اندازه بهینه نانو ذرات فرومغناطیس برای این منظور ۳-۱۵ نانومتر است. این ذرات به سطح تجهیزات چسبیده و به‌عنوان یک لایه محافظ عمل کرده و باعث جلوگیری از خوردگی می‌شوند. همچنین در تحقیقی نشان داده شده که نانو ذرات آهن هم قادر هستند از خوردگی تجهیزات جلوگیری کنند [۶].

یکی دیگر از مشکلات موجود در فرایند حفاری، سیمان کاری است که حضور نانو مواد باعث تغییرات شگرفی در این زمینه شده است. عملیات سنتی سیمان کاری با مشکلاتی مانند پایین بودن مقاومت مکانیکی سیمان و سازند، مهاجرت گاز و سیال ناخواسته و نیز برخورد با گاز ترش درون مخزن، روبه‌رو می‌باشد. اما در عملیات سیمان کاری چاه نیز با استفاده از نانوذرات می‌توان بازده و بهره‌وری چاه را تا حدود زیادی

افزایش بازده تولید ایفا می‌کند. برای این فرایند در ابتدا دکل حفاری ثابت شده و مته حفاری شروع به چرخیدن کرده و به مناطق عمیق‌تر زمین نفوذ می‌کند [۱۴]. هزینه حفر یک چاه جدید، عمدتاً شامل هزینه یک سیستم سیال حفاری است و به همین دلیل استفاده از سیالات حفاری^{۱۴} مفید و مناسب می‌تواند تاثیر زیادی در فرایند حفاری داشته باشد. سیال حفاری وظیفه انتقال مواد حفاری شده، کاهش خوردگی، تسهیل فرایند سیمان کاری، انتقال حرارت مناسب (مثل خنک نگه داشتن مته حفاری) و حفظ خواص رئولوژی مناسب را دارد. در غیر این صورت مشکلاتی مثل هرزروی، آسیب سازند، چسبندگی لوله‌ها، نیروهای دراگ و تنش بالا ایجاد می‌شود. این مشکلات به‌خصوص در چاه‌هایی با دما و فشار بالا بیشتر دیده شده است. بنابراین دستیابی به سیالی که در شرایط دما و فشار بالا، دارای مقاومت بالا و خواص رئولوژی مناسب باشند، در این حیطه بسیار مهم هستند و منجر شده است که در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای را به خود اختصاص دهد [۱].

نانوذرات، به‌علت اندازه ذرات کوچک و شکل خاص قادر هستند به‌راحتی با ذرات دیگر پیوند دهند. از این‌رو، انواع گوناگون نانو ذرات به‌صورت سوسپانسیون در گل حفاری مورد استفاده قرار گرفته و خصوصیات رئولوژی، الکتریکی و گرمایی را بهبود داده‌اند [۶]. گرانیروی یک سیال حفاری و توانایی آن در پیشروی درون چاه با افزایش دما کاهش می‌یابد. در حالی که سیال حفاری مناسب باید در شرایط دما و فشار بالای درون چاه، قابلیت‌ها و خواص خود را تا حد ممکن حفظ کند. در این حالت نانوذراتی که دارای هدایت حرارتی فوق العاده‌ای هستند، در اندازه‌های متنوع می‌توانند منجر به تولید نانوسیالاتی شوند که دارای گرانیروی مشخص و از لحاظ دمایی پایدار باشند [۱۵].

در تحقیقی نشان داده شده که نانو سیالات ZnO و CuO در دماهای مختلف تحت شرایط دما و فشار بالا بر روی خواص رئولوژی گل سیال حفاری تاثیرگذار هستند [۱۶]. همچنین در تحقیقات ثابت شده است که نانولوله‌های کربنی چند دیواره به‌طور قابل توجهی باعث پیشرفت هدایت گرمایی می‌شوند. همچنین هیبرید نانولوله کربنی با سیلیکا در غلظت‌های بالا این اثر را بهبود بخشیده است. در تحقیقی بهبود عملکرد گل حفاری با استفاده از نانولوله‌های کربنی چند دیواره، نانوذرات اکسید روی، نانو ذرات سیلیکا و هیبرید نانو ذرات سیلیکا- نانولوله کربنی مورد بررسی قرار داده شد. این تحقیق اثر دما، سرعت سیال و غلظت نانو ذرات روی رفتار و عملکرد گل بررسی شد و نتایج نشان داد که خواص رئولوژی و انتقال حرارت سیالات حفاری با استفاده از نانوذرات بهبود

و برداشت آن می‌شود. استفاده از سیالات هوشمند یا نانوسیالات سبب تغییر در خاصیت تراوایی سنگ مخزن شده و نیروی کششی درآگ و اتصال‌دهنده‌ها را در جهت پیوستگی شن کاهش می‌دهند. جو و همکارانش توانستند نشان دهند که استفاده از نانوذرات پلی سیلیکون می‌تواند سنگ مخزن را از حالت نفت‌دوست به آبدوست تغییر دهد [۱۹]. یکی دیگر از روش‌های افزایش برداشت از مخازن استفاده از مواد فعال سطحی است. استفاده از نانو مواد فعال سطحی سبب افزایش میزان برداشت از مخازن می‌شود. مواد فعال سطحی^{۱۸} به موادی اطلاق می‌شوند که سبب کاهش کشش سطحی می‌شوند. این مواد اغلب از یک سر آبدوست و یک دم آبریز تشکیل شده‌اند و بر اساس خاصیت دم خود به دسته‌های غیر یونی یا بدون بار، آنیونی یا دارای بار منفی، کاتیونی یا دارای بار مثبت و آمفوتری^{۱۹} که هم بار مثبت و هم بار منفی دارد، تقسیم‌بندی می‌شوند. این مواد با توجه به خصوصیت آبدوستی یا آبریزی سایر مواد، از جهت مناسب خود، به آنها متصل شده و از سر دیگر، آزاد باقی می‌مانند و سبب تغییر خواص سطحی آنها می‌شوند. هدف اولیه از استفاده از مواد فعال سطحی در ازدیاد برداشت از مخازن، کاهش کشش سطحی، تصحیح تراوایی سنگ مخزن و کاهش ویسکوزیته نفت است. در نانوسورفکتانت‌ها زمانی که ابعاد این مواد در محدوده نانومتری قرار می‌گیرد، توانایی آنها برای نفوذ به درون حفرات سازند و نیز سطح فعال آنها افزایش چشمگیری می‌یابد. این مواد به صورت گسترده‌ای بر روی کشش سطحی سیال مخزن اثر گذاشته و میزان گرانیوی آن را کاهش می‌دهند. در این حالت، سیالی که گرانیوی آن در داخل مخزن و چاه کاهش یافته باشد، روان تر شده و بهتر در مسیر خروج از چاه جریان یافته، از سایر مواد موجود در چاه جدا می‌شود [۶].

انواع مختلف نانو ذرات در فرایند ازدیاد برداشت مورد بررسی قرار داده شدند. آلومینیوم اکسید اولین نانوذره‌ای است که برای بهبود استخراج نفت در فرایند ازدیاد برداشت مورد استفاده قرار گرفت. اکسید آلومینیوم به علت توانایی در کاهش کشش سطحی و کاهش ویسکوزیته نفت نتایج قابل توجهی را از خود نشان دادند و به طور خاص برای مخازن نفتی سنگین مناسب بودند. اما مشکل رسوب سریع این مواد بود. تحقیقات نشان داد که افزودن پلی‌وینیل پیرولیدون^{۲۰} (PVP) باعث برطرف شدن این مشکل شده است. افزایش دما تا بیش از ۸۰°C روشی مؤثر برای پایداری نانوذرات آلومینیوم اکسید است [۲۰]. تعدادی از نانو ذرات نظیر Al_2O_3 ، Cu_0 ، SiO_2 و TiO_2 به منظور مقایسه پایداری امولسیون آب/نفت مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که همه این نانو ذرات با غلظت ۱ درصد وزنی نتایج خوبی را نشان می‌دهند و

بهبود بخشید. اغلب از سیمان کاری جهت ثابت‌سازی و استحکام دیواره چاه حفر شده استفاده می‌شود. در این حالت سیمان سبب چسبیدن سطح خارجی لوله درون چاه به دیواره شده و بدنه چاه را نیز محکم کرده و از ورود سیالات ناخواسته موجود در لایه‌های مختلف زمین به درون چاه جلوگیری می‌کند. همچنین جلوگیری از خوردگی بدنه خارجی لوله‌ها و نیز ورود سیالات اضافی به قسمت‌های سیمان کاری شده از مزایای استفاده از سیمان در دیواره چاه است. امروزه محققان دریافته‌اند که استفاده از نانوذرات در ساختار سیمان حفاری می‌تواند مشکلات موجود در مسیر سیمانکاری چاه را کاهش داده و فرایند حفاری را تا حدود زیادی کوتاه کند [۱].

در تحقیقی نشان داده شده است که نانو ذرات آلومینا و سیلیکا همانند نانولوله‌های کربنی در ترکیب با سیمان قادر هستند که توانایی بالایی در استحکام دیواره چاه ایجاد کنند [۱۷]. همچنین نانوامولسیون‌ها هم موادی هستند که قادرند باعث تمیزی منافذ، حفظ تراوایی^{۱۶} و کاهش کشش بین سطحی شوند و از این طریق سیمان یک پیوند مناسبی را با دیواره چاه برقرار می‌کند [۶].

۲-۳- ازدیاد برداشت

با توجه به روند رشد روز افزون تقاضای جهانی جهت تأمین منابع نفت و گاز، یا باید منابع جدید هیدروکربنی کشف شده و مورد بهره‌برداری قرار گیرند و یا با استفاده از فناوری‌های گوناگون، نفت و گاز درجا و بدون استفاده درون مخزن تحت فرآیندهای ازدیاد برداشت، مورد بهره‌برداری قرار گیرد. به منظور بهره‌برداری از نفت، تاکنون روش‌هایی نظیر بازیافت گرمایی^{۱۷} و یا تزریق مواد شیمیایی و یا تزریق گاز مورد استفاده قرار گرفته است. روش بازیافت گرمایی شامل اعمال حرارت به مخزن با تزریق انواع بخار، آب داغ، روش الکترومغناطیس و غیره است و سبب کاهش ویسکوزیته نفت سنگین و خروج آن از مخزن می‌شود. در روش تزریق مواد شیمیایی با اعمال مواد شیمیایی خاص می‌توان به بهبود جریان سیال در چاه و افزایش برداشت کمک کرد. در روش تزریق گاز با استفاده از تزریق گازهای نامحلول مانند گاز طبیعی، کربن دی‌اکسید و نیتروژن که در مخزن منبسط شده‌اند، باعث حرکت سیال به دهانه چاه می‌شوند. همچنین با استفاده از تزریق گازهای محلول در نفت که با کاهش ویسکوزیته آن، سبب افزایش ازدیاد برداشت از چاه می‌شوند. در سال‌های اخیر فناوری نانو توانسته است برای فرایند ازدیاد و برداشت نفت‌خام نیز عملکرد بسیار خوبی را نشان دهد، حتی برای مخازنی که برداشت از آنها اقتصادی نمی‌باشد [۱۸]. ازدیاد برداشت در این حالت شامل روش‌هایی است که منجر به افزایش اکتشاف نفت

استفاده از نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید در کاهش ویسکوزیته نفت سنگین و کشش سطحی تأثیرگذار نیست اما استفاده از این مواد در تغییر تراوایی هسته‌های سنگ‌ها مؤثر است و منجر به افزایش فرایند ازدیاد برداشت می‌شود. در تحقیقات استفاده از نانو ذرات کبالت فریت هم در کاهش ویسکوزیته و افزایش فرایند برداشت تأثیرگذار است. مطابق تحقیقات استفاده از مواد فعال سطحی نظیر سدیم دودسیل سورفکتانت^{۲۱} (SDS) به منظور جلوگیری از کاهش رسوب این نانو ذرات مهم است. اما نانو ذرات اکسید فلزی مثل منیزیم اکسید، قلع اکسید و روی اکسید و زیرکونیوم اکسید هم دارای اثرات ضعیفی در فرایند ازدیاد برداشت بوده و برای این کاربرد مورد بررسی و تحقیق گسترده قرار داده نشده‌اند. از طرفی نانو مواد کربنی نظیر نانولوله‌های کربنی، گرافن و فولرن‌ها نیز در فرایند ازدیاد برداشت بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. از بین نانو مواد کربنی، نانولوله‌های کربنی به علت استحکام کششی بالا، هدایت گرمایی و خواص مقاومت در برابر خوردگی حائز اهمیت می‌باشند. در فرایند بازیافت نفت، تزریق نانولوله‌های کربنی به عنوان یک نانوسیال به علت اعمال نیروی الکترومغناطیسی قوی، منجر به افزایش استخراج تا بیش از ۷۰ درصد می‌شود. نانو ذرات سیلیکا به تنهایی و در ترکیب با مواد دیگر هم اثرات خارق‌العاده‌ای را برای فرایند ازدیاد برداشت از خود نشان داده‌اند. نانوکامپوزیت‌های سیلیکا/پلیمر و پلی‌سیلیکون‌ها به علت کاهش کشش سطحی و تغییر در تراوایی، اثرات مثبتی در فرایند ازدیاد برداشت داشته‌اند. البته توجه به این نکته ضروری است که کاهش زیاد اندازه نانو ذرات منجر به مسدود شدن منافذ در فرایند بازیافت نفت شده و این خود یک مشکل مهم برای این فرایند است [۲۰]. جدول ۱- کاربرد نانوفناوری را در سطح گسترده در صنعت بالادستی نفت آورده است.

نتیجه‌گیری

این تحقیق به بررسی انواع مختلف نانو ذرات و کاربردهای آن در صنعت نفت با تأکید بر صنایع بالادستی آن پرداخته است. در سال‌های اخیر صنعت نفت و گاز مزایای زیادی را به وسیله نانو ذرات به دست آورده‌اند. انواع مختلف نانو ذرات مثل نانو ذرات فلزی، اکسید فلزی، مغناطیسی، نانو مواد کربنی و نانو کامپوزیت‌ها در فرایندهای مختلف بالادستی مثل اکتشاف، حفاری و ازدیاد برداشت مورد بررسی قرار داده شدند. مطابق تحقیق استفاده از نانو ذرات در صنعت بالادستی نفت منجر به تغییر شگرفی در بخش‌های مختلف نفت و کاهش هزینه‌ها شده است. هرچند به علت گستردگی نانوذرات و خواص منحصر به فرد آنها تحقیقات در این راستا توسط محققان همچنان ادامه خواهد داشت. ■

نانوذرات آلومینیوم دی‌اکسید نسبت به دیگر ترکیبات، اثر فوق‌العاده‌ای از خود نشان می‌دهند. نتایج بهتر زمانی به دست آمد که ترکیبی از آلومینیوم اکسید و سیلیکا با غلظت ۰/۰۵ درصد وزنی مورد استفاده قرار گرفت. بهبود عملکرد به کاهش مناسب کشش سطحی به وسیله مخلوط آلومینیوم اکسید و سیلیکا نسبت داده می‌شود [۶].

نانو ذرات نیکل اکسید عملکردی شبیه نانو ذرات آلومینیوم اکسید در فرایندهای ازدیاد برداشت و به خصوص روغن سنگین و آسفالتین از خود نشان داده‌اند. نفت سنگین به علت ویسکوزیته بالا به هنگام برداشت نیاز به صرف انرژی بالا دارد اما کاهش ویسکوزیته این فرایند را به طور محسوسی آسان تر می‌کند. به این منظور استفاده از نانوذرات در کاهش ویسکوزیته نفت سنگین بسیار مؤثر است. پراکندگی مناسب نانو ذرات نیکل اکسید تأثیر زیادی در عملکرد بهتر این مواد دارد. در حقیقت استفاده از نانو ذرات نیکل با مساحت سطح بالا و سطح تماس بیشتر منجر به تأثیر بهتر و کاهش بیشتر در ویسکوزیته نفت سنگین خواهد داشت. از طرفی نانو ذرات آهن اکسید خاصیت الکتریکی و مغناطیسی خارق‌العاده‌ای دارند اما برای فرایندهای ازدیاد برداشت و کاهش ویسکوزیته روغن سنگین نتایج خوبی از خود نشان نداده‌اند. نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید نیز یکی دیگر از موادی هستند که در فرایند ازدیاد برداشت مورد توجه قرار گرفتند. نتایج تحقیقات نشان داده است که

۱ کاربرد نانوفناوری در کل محدوده صنعت بالادستی

سطح بالادستی	توزیع نانوفناوری
اکتشاف	استفاده از نانوذرات به منظور کشف هیدروکربن‌ها و افزایش حساسیت در حسگرها
مخازن	شناسایی رفتار و خواص فیزیکی و شیمیایی مخزن به کمک ترکیبات نانو به منظور انجام عملیاتی دقیق بر روی آنها
مهندسی حفاری	ساخت مته‌های پیشرفته حفاری به منظور افزایش خراش و مقاومت در برابر خورگی به وسیله پوشش‌های نانو ساختار طراحی سیال حفاری در دما و فشار بالا طراحی سیالات حفاری بر پایه آب با استفاده از نانوذرات
ازدیاد برداشت	استفاده از مواد فعال سطحی نانو ساختار در فرایند ازدیاد برداشت نفت به منظور افزایش استخراج نفت و کاهش هزینه‌های احتمالی
جریان آب ^{۲۲}	توانایی تغییر تراوایی به وسیله نانو ذرات
سیمان‌های چاه نفت	استحکام و افزایش طول عمر چاه‌های نفتی با استفاده از نانو ذرات در ترکیب با سیمان مورد استفاده در چاه
تولید	جداسازی گازهای تولیدی در فرایند اکتشاف نفت به کمک غشاهای نانو ساختار
هیدرات گازی	بازیافت هیدرات به وسیله نانوذرات نیکل-آهن

پانویس‌ها

1. Hydrothermal
2. Sonochemical
3. Chemical vapor deposition
4. Arc discharge
5. Laser ablation
6. Electrodeposition
7. Sol-gel
8. Precursor
9. High pressure and high temperature
10. Mud rocks
11. Lithology
12. Superparamagnetic iron oxide
13. Nuclear magnetic resonance
14. Drilling fluid
15. Torque and drag
16. Wettability
17. Thermal recovery
18. Surfactants
19. Amphoteric
20. Polyvinyl pyrrolidone
21. Sodium dodecyl surfactant
22. Waterflooding

منابع

- [1] Khalil M, Jan B.M, Tong C.W, Berawi M.A, Advanced nanomaterials in oil and gas industry: Design, application and Challenges, *J. Applied Energy* vol. 191, 2017, pp. 287310-.
- [2] Kumar R, Gupta A, Dhakate S.R, Nanoparticles-decorated coal tar pitch-based carbon foam with enhanced electromagnetic radiation absorption capability, *RSC Adv* vol. 5, 2015, pp. 20256–20264.
- [3] Kim B.H, Hackett M.J, Park J, Hyeon T, Synthesis, characterization, and application of ultrasmall nanoparticles, *Chem Mater* vol. 26, 2014, pp. 5971-.
- [4] Mittal A.K, Christi Y, Banerjee U.C, Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts, *Biotechnol Adv* vol. 31, 2013, pp. 346356-.
- [5] Kandpal N.D, Sah N, Loshali R, Joshi R, Prasad J, Co-precipitation method of synthesis and characterization of iron oxide nanoparticles, *J Sci Ind Res*, vol. 73, 2014, pp. 8790-.
- [6] Fakoya MF, Shah SN, Emergence of nanotechnology in the oil and gas industry: Emphasis on the application of silica nanoparticles," *Petroleum*, vol. 3, 2017, pp. 39140-.
- [7] Sadeghalvaad M, Sabbaghi S, The effect of the TiO₂/polyacrylamide nanocomposite on water-based drilling fluid properties, *Powder Technol*, vol. 279, 2015, pp. 113119-.
- [8] Devold H, An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry, *Oil and gas production handbook*, 2013.
- [9] Havarid D, "An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry", 2015, pp. 162.
- [10] Sainson S, "Electromagnetic seabed logging, A new tool for geoscientists," Ed. Springer, 2017.
- [11] Park Y.C, Paulsen J, Nap R.J, Whitaker R.D, Mathiyazhagan V, Adsorption of Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles on Silica and Calcium Carbonate Sand," *American Chemical Society*, vol. 30, 2014, pp.792794-.
- [12] Piantanida M, Veneziani M, Fantoni R.F, Mickelson W, and Milgrome O, An innovative wireless H₂S sensor based on nanotechnology to improve safety in oil & gas facilities," In: *SPE 166544 presented at the SPE offshore Europe oil and gas conference and exhibition, September 3–6, Aberdeen, UK., 2013.*
- [13] Turkenburg D, Chin P.T.K, Fischer H, Use of modified nanoparticles in oil and gas reservoir management, *SPE 157120 MS presented at the SPE international oilfield nanotechnology conference and exhibition, June 12– 14, Noordwijk, The Netherlands 2012.*
- [14] Swaminathan P, Nagarajan R, and Jitendra S, Applications of Nanotechnology for Upstream Oil and Gas Industry , *Journal of Nano Research*, vol. 24, 2013, pp. 715-.
- [15] SadeghHassani S, Amrollahi A, Rashidi A.M, Soleymani M, Rayatdoost S, The effect of nanoparticles on the heat transfer properties of drilling fluids, *Petroleum Science and Engineering*, vol. 146, 2016, pp. 183190-.
- [16] Williams J.K.M, Ponmani S, Samuel R, Nagarajan R, Sangwai J.S, Effect of CuO and ZnO nanofluids in xanthan gum on thermal, electrical and high pressure rheology of water-based drilling fluids, *Journal of Petroleum Science and Engineering* vol. 117, 2014, pp.1527-.
- [17] Abdo J and Haneef M.D, Nano-Enhanced drilling fluids: pioneering approach to overcome uncompromising drilling problems, *J. Energy Resour. Technol*, vol. 134, 2012.
- [18] Peng B, Tang J, Luo J, Wang P, Ding B, Applications of Nanotechnology in Oil and Gas Industry: Progress and Perspective, accepted for *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 2017.
- [19] Ju B, Fan T, and Ma M, Enhanced oil recovery by flooding with hydrophilic nanoparticles, *China Particuology*, vol. 4, 2006, pp. 4146-.
- [20] Chegenizadeh N, Saeedi A, and Quan X, Application of nanotechnology for enhancing oil recovery: A Review, *Petroleum*, vol. 2, 2016, pp. 324333-.