

بررسی زمینه‌های کاربرد فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت و گاز ایران

حمید تقوی نژاد، عباس هاشمی زاده*، دانشگاه حکیم سبزواری

چکیده

با توجه به ورود فناوری‌های جدید و پیشرفته در صنایع مختلف و تأثیر چشمگیر آن در بالابردن سود و بهره‌وری صنایع، لزوم ورود این فناوری‌ها به صنایع نفت و گاز بر کسی پوشیده نیست. فناوری نانو یکی از جدیدترین فناوری‌های مورد استفاده بشر در تمامی صنایع است. این مقاله با هدف ارائه کاربردهای نانوفناوری در صنایع بالادستی نفت و گاز و همچنین، آشنایی هر چه بیشتر با سازوکار آن نوشته شده و در چهار بخش ازدیاد برداشت، حفاری، اکتشاف و مدیریت مخزن و حفاظت از تجهیزات به موارد استفاده نانو فناوری در صنعت نفت و گاز اشاره دارد.

واژگان کلیدی

نانو فناوری، صنعت نفت و گاز، صنایع بالادستی

مقدمه

نقطه‌ی شروع و توسعه‌ی اولیه فناوری نانو به طور دقیق مشخص نیست. در سال ۱۶۶۱ "رابرت بویل" به اهمیت بالقوه خوشه‌های نانویی پی برد و پس از آن، "مایکل فارادی" در سال ۱۸۷۵ موفق به کشف محلول کلونیدی طلا شد. در سال ۱۹۶۰ "ریچارد فاینمن" مقاله‌ای را در مورد قابلیت‌های فناوری نانو در آینده منتشر کرد. با وجود موقعیت‌هایی که توسط بسیاری تا آن زمان کسب شده بود، "ریچارد پی فاینمن" را به عنوان پایه گذار این علم می‌شناسند. [۱] خواص فیزیکی مواد نانوابعاد در حوزه‌ای بین اثرات کوانتومی و خواص توده قرار می‌گیرد. علوم نانو محصول مطالعات دانشمندان در رشته‌های مختلف بوده که با روش‌های گوناگون و خلاقانه به صورت علوم بین رشته‌ای در آمده است. محققان در سراسر جهان انتظار دارند که علوم نانو موجب تغییرات وسیعی در نحوه زندگی بشر شود. [۲] در مواجهه با فناوری نانو و حوزه‌های فراوان کاربردی آن، تشخیص جایگاه مناسب ورود و نحوه قرارگیری آن در کنار زیرساخت‌های قبلی،

امر مهمی است که می‌تواند منجر به بهره‌گیری همه‌جانبه از آن شود. صنعت نفت، با قدمتی نزدیک به صد سال به عنوان راهبردی‌ترین صنعت فعلی کشور، اولین و مناسبترین گزینه ورود این فناوری است. [۳] فناوری نانو تأثیر چشمگیری بر روی تمامی بخش‌های صنعت نفت دارد و چشم‌انداز آینده این صنعت را به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد، به طوری که این گستره عظیم، هر دو بخش صنایع بالادستی و پایین دستی را پوشش می‌دهد. برخی از موارد کاربرد این فناوری در صنایع نفت و گاز عبارتند از: نانوافزودنی‌ها در گل حفاری و سیمان کاری چاه‌های نفت، نانو مواد برای افزایش ضریب برداشت از مخازن، نانو کاتالیست‌ها در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، نانوپوشش‌های مقاوم در برابر گرما، خوردگی، جرم‌گرفتگی، سایش و اصطکاک، سیستم‌های نانو فیلتراسیون و جداسازی، نانوروانکارها، نانو کامپوزیت‌ها، ذخیره‌سازی انرژی در نانوساختارها، نانوسنسورها و نانویوسنسورها. فناوری نانو همچنین می‌تواند آلودگی‌های صنعت

را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. [۴] صنایع بالادستی نفت که شامل عناوینی چون اکتشاف، حفاری، استخراج، مدیریت بهره‌وری و صیانت از مخازن می‌شوند، از اهمیت ویژه‌ای در توسعه منابع وابسته به ذخایر زیرزمینی کشور برخوردارند که این امر، ضرورت بررسی فناوری‌های نوین مانند نانوفناوری را در این صنعت نمایان می‌سازد. [۵] مقاله حاضر با هدف آشنایی هر چه بیشتر مهندسان نفت با کاربردهای فناوری نانو در صنعت نفت و گاز در چهار بخش زیر که از صنایع بالادستی نفت و گاز هستند، ارائه شده است:

- ۱- کاربرد نانوفناوری در ازدیاد برداشت از مخازن
- ۲- کاربرد نانوفناوری در فرایند حفاری
- ۳- کاربرد نانوفناوری در حفاظت از تجهیزات مخازن
- ۴- کاربرد نانوفناوری در اکتشاف و مدیریت مخازن

۱- کاربرد نانوفناوری در ازدیاد برداشت از مخازن

امروزه فناوری نانو با پیشرفت‌های اساسی در ازدیاد برداشت از مخازن نفتی و گازی همراه بوده

*نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (a.hashemizadeh@hsu.ac.ir)

است؛ برای مثال، استفاده از سیالات هوشمند یا نانو سیالات که سبب تغییر در خاصیت ترشوندگی سنگ مخزن شده و یا استفاده از نانو مواد فعال سطحی (Surfactants) که سبب افزایش میزان برداشت از مخازن به نسبت کاملاً کنترل شده می‌گردد. در این حالت، به‌طور کلی استفاده از نانو سیالات، نانو ذرات، نانو سورفاکتانت‌ها و هیدروژل‌های نانو کامپوزیتی سبب بهبود فرآیند بهره‌وری از چاه می‌گردد. [۶]

۱-۱-۱- ازدیاد برداشت با استفاده از نانو سیالات

نانو سیال‌ها ساختار کلوئیدی (ذرات نامحلول در سیال) دارند و از ترکیب یک سیال پایه با نانو ذرات ساخته شده‌اند. چنین سیالات هوشمندی می‌توانند با تغییر ترشوندگی، کاهش نیروی کششی و نیز استحکام ماسه، فرآیند ازدیاد برداشت از مخازن را بهبود دهند. برای مثال Soleimanov و همکاران [۷] توانستند نشان دهند که استفاده از نانو ذرات باعث افزایش خواص رئولوژیکی و نیز افزایش تأثیر محلول سورفاکتانت در فرآیند برداشت نفت شده و موجب ایجاد تغییر در ضریب کشش سطحی مخلوط نفت و سورفاکتانت می‌گردد.

همچنین، از جمله کاربردهای مهم نانو ذرات در این زمینه می‌توان به استفاده از نانو مواد جهت تسهیل جدایش نفت و گاز در داخل مخزن و استفاده از نانو ذرات در داخل سنگ مخزن اشاره کرد. این نانو ذرات هنگامی که با سنگ‌های حاوی نفت خام تماس پیدا می‌کنند، محموله‌های خود را رها کرده و باعث افزایش باز یافت نفت خام می‌شوند. [۸] و [۹] از سوی دیگر، کنترل جریان سیال، یکی از مهمترین فاکتورها در استخراج سیالات هیدرو کربنی است. در این حالت، جبهه جلویی سیال تزریق شده باید تا حد امکان یکنواخت حرکت کند تا بتواند به‌صورت مناسب به درون سازند نفوذ کند. محققان به‌منظور بهبود این فرآیند، موفق به تولید عوامل سطحی و غیر نفوذ کننده بر پایه نانو ذرات شده‌اند که می‌تواند میزان جریان را در عملیات استخراج و تولید بهبود دهد. در این حالت به نانو ذراتی نیاز است که:

۱. به‌هیچ‌وجه به بدنه ماتریس سازند نچسبد.
۲. در غلظت‌های بسیار پایین نیز قابل شناسایی باشد.
۳. بتواند سبب تغییر شکل سیال درون حفره شود.
۴. بتواند سبب تغییر کشش سطحی بین هیدروکربن و آب شور و یا کشش سطحی بین سیال و سطح سنگ مخزن گردد. [۱۰]
همچنین، محققان دانشگاه MIT به‌تازگی کشف کرده‌اند که افزودن نانو ذرات مغناطیسی که آب را دفع می‌کند، می‌تواند در صورت مخلوط شدن با نفت و در نهایت با استفاده از یک آهنربای قوی، سبب جداسازی آسان مخلوط نفت و آب شود که این امر در فرآیند تولید و بهره‌برداری از مخازن نفتی نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. این فرآیند باید خارج از مخازن باز یافت نفت صورت گیرد تا از آلودگی محیط توسط نانو ذرات جلوگیری شود. [۱۱]

۱-۲-۲- ازدیاد برداشت با استفاده از نانو سورفاکتانت‌ها

مواد فعال سطحی یا همان سورفاکتانت در سال ۱۹۵۰ از واژه surface active agent به معنای فعال کننده سطحی استخراج شده و به موادی اطلاق می‌شود که سبب کاهش کشش سطحی می‌شوند. در حالت کلی، سورفاکتانت‌ها را مواد فعال سطحی که دارای یک سر آب دوست و یک دم آب گریز هستند، تعریف می‌کنند. این مواد با توجه به خصوصیت آب دوستی یا آب گریزی سایر مواد، از جهت مناسب خود، به آن‌ها متصل شده و از سر دیگر، آزاد باقی‌مانند و سبب تغییر خواص سطحی آن‌ها می‌گردند. [۱۲] (شکل-۱)

هدف اولیه استفاده از سورفاکتانت‌ها در عملیات استخراج و تولید از مخازن، کاهش کشش سطحی و بهبود عملیات جداسازی سیال، تصحیح ترشوندگی سنگ مخزن و تبدیل آن از حالت نفت دوست به آب دوست (که خود سبب تسهیل فرآیند جداسازی سیال هیدروکربوری از سازند می‌گردد) و نیز کاهش ویسکوزیته نفت است. امروزه استفاده از نانو سورفاکتانت‌ها به دلیل اندازه کوچک تر و سطح فعال بیشتر، سبب بهبود فرآیند استفاده از این مواد گردیده است. 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 به‌صورت گسترده‌ای بر روی کشش سطحی سیال مخزن اثر گذاشته و میزان گرانروی آن را کاهش می‌دهند. در این حالت، سیالی که گرانروی 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 می‌گردد. مطالعات نشان می‌دهد که سورفاکتانت‌ها بر روی نانو کمپلکس‌ها و ترکیبات پیچیده‌ی موجود در چاه تأثیر گذاشته و ساختار مخزن را تغییر می‌دهند. در این حالت، توانایی نفوذ سورفاکتانت در بین لایه‌های سازند بسیار مهم است. [۱۳]

۱-۳-۳- ازدیاد برداشت با استفاده از هیدروژل‌های

نانو کامپوزیتی

طبق مطالعات، چنانچه مقدار تولید آب همراه نفت به دلیل شکاف طبیعی مخزن یا افزایش تریق آب برای ازدیاد برداشت، افزایش یابد و چاه به مرحله آب‌دهی برسد، در این صورت، تأسیسات سطح الارضی قادر به جداسازی آب از نفت نخواهد بود. نانوژل‌ها ذراتی با ابعاد کمتر از میکرومتر هستند که در حضور آب متورم می‌شوند. در حقیقت این ذرات از یک شبکه سه‌بعدی از زنجیره‌های پلیمری آب دوستی که توسط پیوندهای پایدار کوالانسی متصل شده، تشکیل شده‌اند. دلیل اصلی استفاده از سیلاب‌زنی پلیمری در بهره‌برداری از چاه، کاهش گرانروی آب تزریق شده به مخزن و از آنجا، افزایش احتمال جاروب مخزن توسط آب است. زیرا آبی که سرعت حرکت بیشتری دارد با سرعت بیشتری وارد نواحی با تراوایی بالا می‌شود و تأثیر کمتری در افزایش نسبت آب به نفت دارد. ولی در عین حال، استفاده از پلیمرها دارای معایب خاص خود هستند که می‌توان با افزودن ژل و در حقیقت استفاده از ژل پلیمرها تا حدودی این معایب را برطرف کرد. علاوه بر آن، استفاده از ژل پلیمرها نیز معایبی مانند تخریب ژل در اثر صدمات حرارتی، مکانیکی، میکروبی، تنش و غیره به همراه دارد. در

همچنین، در عملیات سیمان کاری چاه، با استفاده از ترکیبات پیشرفته در ساختار سیال حفاری و سیمان، می توان بازده و بهره‌وری چاه را تا حدود زیادی بهبود بخشید. از این رو Roddy و همکارانش [۱۸] توانستند نشان دهند که استفاده از نانوسرهای^۱ مانند نانو-بتنویت^۲ و نانو-مونت موریلونیت^۳ سبب بهبود ساختار سیمان مورد استفاده در عملیات حفاری چاه می گردد. نانو-مونت موریلونیت دارای ساختاری لایه‌ای شکل است و ابعاد طولی و عرضی آن بسیار بیشتر از ضخامتش می باشد. در حقیقت، این ماده دارای ساختار سه لایه‌ای از آلومیناست که در بین دو لایه از سیلیکون به حالت ساندریجی قرار گرفته است. این ماده یکی از اجزای اصلی خاکسترهای آتشفشانی است که دارای قابلیت تورم تا چندین برابر وزن و حجم اولیه در اثر جذب آب می باشد. همان گونه که Roddy و همکارانش ذکر کرده‌اند، استفاده از نانو-سُر ها در ساختار سیمان سبب بهبود خواص آن می گردد. برای مثال، استفاده از نانو-سُر ها در ساختار سیمان نسبت به ذرات رس بزرگ تر، سبب بهبود خواص مکانیکی مانند مقاومت فشاری و مقاومت کششی شده و نیز میزان تراوایی و ریسک پذیری سیمان در اثر مهاجرت گاز و یا خوردگی را به نحو چشم گیری کاهش می دهد. همچنین Mercado و همکارانش به بررسی نانو-افزایه‌ها^۴ در ساختار سیمان به کار رفته در عملیات سیمان کاری چاه پرداخته و نشان داده‌اند که

آسیب سازند، چسبندگی لوله‌ها، نیروهای درآگ و تنش بالا پدید می آید. این مشکلات بخصوص در چاه‌های بادما و فشار بالا، بیشتر دیده شده است. از این منظر، دستیابی به سیالی که مقاومت بالایی در شرایط دما و فشار بالا نشان می دهد، بسیار مهم است. به دلیل اندازه بسیار کوچک، نانو ذرات دارای سطح تماسی بسیار بالایی هستند و همین امر موجب افزایش خواص منحصربه‌فرد این ذرات می شود. نانو ذرات پخش شده در مایعات، هم از لحاظ خواص مواد اساسی و بنیادی و هم از لحاظ کاربردی مورد توجه قرار گرفته‌اند. [۱۶] نانوسیالات به دلیل توانایی بالا در انتقال حرارت می توانند به گل حفاری افزوده شده و عمل خنک کاری توسط گل را بهبود بخشند. به علاوه، پایداری نانو سیالات در مقابل حرارت بالای ته چاه موجب می شود گل، کارایی خود را حفظ کند. نکته قابل توجه اینکه ضرب انتقال حرارت هدایتی نانوسیالات با افزایش دما به صورت صعودی افزایش می یابد.

همچنین، افزودنی‌های گل حفاری حاوی ذرات نانو کامپوزیت‌های ترموست را ممکن است جهت کنترل اتلاف سیال و عامل‌های استحکام‌دهنده دیواره چاه به کار برد. براساس برخی مطالعات، استفاده از ذرات نانو کامپوزیت ترموست به عنوان اجزای افزودنی سیال جهت حفاری، تکمیل و تعمیر چاه می تواند باعث کاهش اتلاف گل و یا افزایش استحکام دیواره‌ی چاه شود [۱۷]. (شکل ۲)

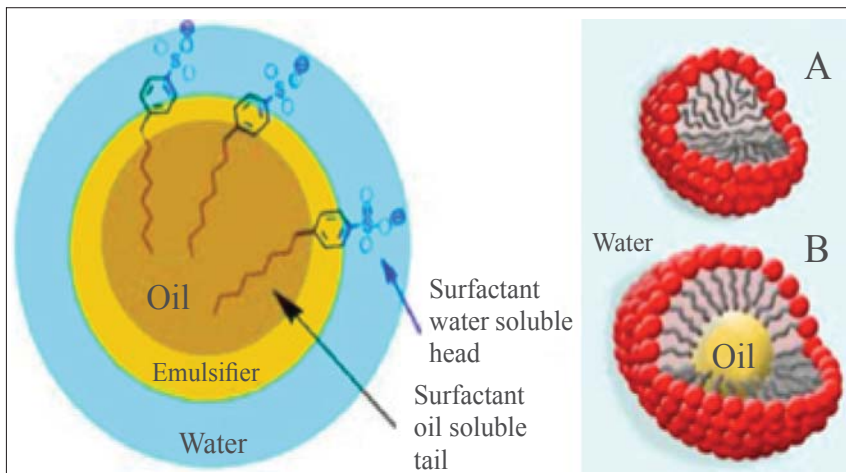
نهایت، به منظور غلبه بر محدودیت‌های موجود در استفاده از ژل پلیمرهای موجود، نانوزل‌های جدیدی بر پایه پلی اکریل آمید- خاک کُرس (MMT) توسعه پیدا کردند و خواص آن‌ها به صورت آزمایشگاهی تست شده و جهت استفاده در سیلاب‌زنی پلیمری مورد استفاده قرار گرفتند. این گونه نانوزل‌ها در مقایسه با ژل پلیمرهای معمولی نتایج مناسبی در تست‌های حرارتی، مقاومتی و مکانیکی از خود نشان دادند. این نانوزل‌ها می توانند از محلول آبی با غلظت کم تا یک جامد الاستیک طبقه‌بندی شوند و یا به عنوان عامل مسدود کننده شکاف‌ها و یا انواع منحرف کننده‌ها مورد استفاده قرار گیرند. [۱۴] در این روش به علت تشابه ویسکوزیته آب و ژل‌های پلیمری، هزینه تزریق به چاه بسیار کمتر از سایر روش‌هاست. همچنین، عمق نفوذ این نوع ژل‌ها به علت تشابه ساختاری با آب بسیار بیشتر از فیلترات سیمان است. از سوی دیگر، استحکام و ماندگاری این نوع ژل‌ها در قیاس با ژل‌های معمولی و در شرایط مشابه بیش از ده برابر است. همچنین، باید توجه داشت که این نوع ژل‌ها دائمی نیستند و در صورت تزریق اشتباه، می توان با عامل شیمیایی دیگر اثر آن‌ها را خنثی کرد. [۱۵]

۲- کاربرد نانوفناوری در فرایند حفاری

۱-۲- بهبود سیال حفاری

طراحی گل حفاری مناسب، عامل مهمی در افزایش بهره‌وری عملیات حفاری است، زیرا باعث افزایش سرعت عملیات حفاری، موفقیت در عملیات سیمان کاری و تکمیل چاه، کاهش زمان‌های غیرتولیدی و ممانعت از کاهش دبی جریان در یک چاه می گردد.

هزینه‌ی یک سیستم سیال حفاری بخش عمده‌ای از هزینه‌ی حفر یک چاه را تشکیل می دهد و به همین دلیل، استفاده از سیالات مفید بهبود یافته، بخش مهمی از مطالعات محققان را شامل می گردد. سیال حفاری باید توانایی مناسبی در خنک کردن مته حفاری، روان‌سازی لوله‌های گردان حفاری، پاک‌سازی مناسب چاه و غیره داشته باشد. در غیر این صورت، مشکلاتی از قبیل هرزروی،



شکل ۱ | A- نانو سورفاکتانت در لحظه اولیه ورود به امولسیون نفت-آب و B- احاطه ملکول نفت توسط نانو سورفاکتانت و از بین رفتن امولسیون

استفاده از ترکیب نانوذرات $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ و حداقل یکی از نانوذرات SiO_2 ، 2CaO.SiO_2 ، 3CaO.SiO_2 ، Al_2O_3 و P-Ca از آن‌ها، به‌نحو چشمگیری خواص مکانیکی و شیمیایی سیمان تشکیل شده را بهبود می‌دهد. ترکیب افزایش‌دهنده مورد استفاده در این زمینه در شکل ۳- نشان داده شده است.

به‌علاوه، در سیمان کاری چاه، به‌منظور جلوگیری از اختلاط دو سیال نامناسب، از سیال جداکننده استفاده می‌شود. از این‌رو، یکی از مهمترین خصوصیات سیال جداکننده باید تناسب این ماده با سیالات حفاری و دوغاب سیمان باشد. همچنین، این ماده باید دارای خواص رئولوژیکی و گرایشی مناسب باشد تا بتواند به جداسازی جامدات گل موجود در دیواره‌ی چاه کمک کند. در این راستا، Koons و همکاران توانستند نشان دهند که افزودن نانوذرات برای بهبود خواص سیال جداکننده و تصحیح دانسیته و تراکم این ماده، به‌گونه‌ای که هم با سیال حفاری و هم با دوغاب سیمان در تناسب باشد، کارایی بسیار مناسبی دارد. [۱۹]

۳- کاربرد نانوفناوری در حفاظت از تجهیزات

هزینه کلی ناشی از خوردگی که به‌صورت سالانه به صنعت نفت و گاز جهان تحمیل می‌شود، در حدود ۱۳۷۲ میلیون دلار است که ۵۸۹ میلیون دلار از آن، صرف خوردگی لوله‌کشی‌های سطحی و تجهیزات، ۳۲۰ میلیون برای خوردگی‌های اساسی و ۴۶۳ میلیون دلار آن صرف لوله‌های درون چاهی

می‌گردد. از آنجایی که یکی از بزرگترین نگرانی‌ها در صنعت نفت و گاز، خوردگی تجهیزات است، پوشش دهی و ساخت قطعات با استفاده از فناوری نانو می‌تواند سبب افزایش استحکام و پایداری تجهیزات و کاهش استهلاک آن‌ها گردد. نانو مواد در بسیاری از بخش‌های صنعت نفت و گاز می‌توانند به کار گرفته شوند. با ساخت چندین ماده در مقیاس نانو، می‌توان تجهیزات تولید کرد که سبک‌تر، پایداری و قوی‌تر از تجهیزات متعارف باشند [۳۰]. استفاده از مواد نانو ساختار در این حوزه را می‌توان به استفاده از نانو کامپوزیت‌ها، پوشش‌های نانو کامپوزیتی، نانوذرات و نانوروان‌کننده‌ها تفکیک کرد که در ادامه، به آن‌ها اشاره خواهد شد. نانو پوشش‌ها در مقایسه با پوشش‌های میکرومتری از ضریب انبساط حرارتی، سختی و چقرمگی بالاتر و مقاومت بیشتر در برابر خوردگی، سایش و فرسایش برخوردارند. [۲۰]

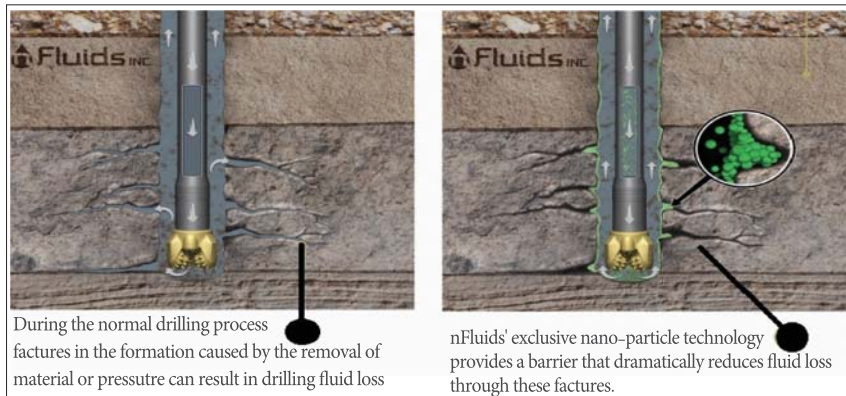
۳-۱- استفاده از نانو کامپوزیت‌ها

اغلب تجهیزاتی که در گذشته توسط روش‌های معمولی تحت پوشش دهی قرار می‌گرفتند، امروزه توسط فیلم‌های نانو کامپوزیتی و نانو ساختار به‌دلیل پایداری بالا و سختی مکانیکی مناسب، مقاومت در برابر اکسایش و خوردگی و نیز دارا بودن سطوح لغزنده‌ی قابل انطباق در محیط‌های گوناگون جایگزین شده‌اند. به‌دلیل دارا بودن اندازه دانه‌های بسیار کوچک، سطح نانو کامپوزیت‌ها و یا مواد پوشش دهی شده توسط نانولایه‌ها بسیار صاف‌تر

از سطوح معمولی است و این مواد دارای صفحات کریستالی منظم و یکنواختی می‌باشند. همچنین، به‌دلیل طبیعت نانو ساختاری و کامپوزیتی، این گونه پوشش‌ها می‌توانند در گستره وسیعی از خواص فیزیکی، شیمیایی، حرارتی، مکانیکی و غیره تولید شوند. استفاده از نوعی پوشش نانو کامپوزیتی شامل ۳۰ درصد اکریلیک رزین پایه آبی و ۷۰ درصد نانو کامپوزیت جهت پوشش دهی کامل سطح، سبب جلوگیری از نفوذ هوا به روی سطح و ایجاد خوردگی می‌گردد و نیز به‌دلیل خواص آب‌گریز ایجاد شده، رطوبت را نیز از سطح عایق شده، دور می‌سازد. بنابراین، این فرایند عایق‌سازی با استفاده از نانو پوشش‌ها از رسیدن رطوبت به سطح لوله‌های تجهیزات نفتی و گازی جلوگیری می‌کند. [۲۱]

معمولاً در چاه‌هایی با دما و فشار بالا نیاز است تا از تفنگ‌های مشبک‌کننده با استحکام بیشتری استفاده گردد و یا برای مثال، بدنه تفنگ مشبک‌کننده با ضخامت بیشتری تولید گردد. در عین حال، از آنجایی که ضخامت سیستم مشبک‌کننده دارای محدودیت‌هایی می‌باشد و نباید از یک مقدار خاص بیشتر گردد، این افزایش ضخامت، در تعداد گلوله‌های مشبک‌کننده تأثیر می‌گذارد و سبب می‌شود که به‌دلیل محدودیت فضا به‌ناچار از چاشنی کوچکتری استفاده گردد. در این حالت، امکان نفوذ گلوله‌ها به داخل سازند کاهش می‌یابد. از این‌رو، محققان به بررسی روش‌های ساخت تفنگ‌هایی با قابلیت کاربرد در چاه‌های با دما و فشار بالا، بدون افزایش ضخامت بدنه پرداخته‌اند. در این راستا، استفاده از پوشش‌های نانو کامپوزیتی با قابلیت استحکام بسیار بالا در ساختار لایه بیرونی و درونی تفنگ‌های مشبک‌کننده بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این حالت، می‌توان تمام بدنه تفنگ و یا بخش بیرونی آن را از نانو کامپوزیت‌هایی بر پایه آهن تهیه کرد. سایر مواد مورد استفاده نیز می‌توانند بور، کربن، کروم، منگنز، مولیبدن، نیکل، سیلیکون، تنگستن و غیره باشد. [۲۲]

همچنین، در صنعت نفت و گاز، اغلب با فشرده‌سازی، پودر فلز آستری را به فرم مخروطی شکل تبدیل می‌کنند. زمانی که ماده منفجره دچار



During the normal drilling process fractures in the formation caused by the removal of material or pressure can result in drilling fluid loss

nFluids' exclusive nano-particle technology provides a barrier that dramatically reduces fluid loss through these fractures.

استفاده از این مواد، بسته به نوع عملیات، می توان به افزایش سرعت و کاهش انرژی مورد نیاز، افزایش طول عمر مواد و کاهش مضرّات زیست محیطی با توجه به غیر خورنده بودن مواد اشاره کرد. امروزه، تلاش محققان بر استفاده از نانوپودرهای مولبدن دی سولفید، تنگستن دی سولفید و گرافیت متمرکز گردیده است. زمانی که از این مواد در روغن یا گریس روان کننده استفاده می شود، کاهش شدیدی در اصطکاک و مقاومت سایشی سطوح لغزنده مشاهده می گردد. [۲۵]

۴- کاربرد نانوفناوری در اکتشاف منابع و مدیریت مخازن

با توجه به اینکه روش های اکتشاف مخازن به صورت دقیق صورت نمی گیرد و هزینه های چاه های اکتشافی نیز بالاست، لزوم استفاده از فناوری نانو در این حوزه از صنعت نفت کشور به خوبی احساس می شود. همچنین، مدیریت و حفاظت از مخزن یکی از مهمترین کارها در طی عملیات نفتی بوده و این مدیریت می تواند به کمک فناوری نانو نقش مفیدتری را در پیش برد اهداف صنعت نفت کشور ایفا کند.

۴-۱- نانو خبر دهنده ها

هدف اصلی از افزایش اطلاعات در رابطه با چاه های نفت و گاز برای بازیابی نفت بیشتر از چاه هاست. در اینجا از نانورپورترها یا خبر دهنده های کوچک به منظور تهیه گزارش از مخزن استفاده می شود.

آن ها به عنوان افزایه در ساختار ماده لحیم کننده در فرآیند جوشکاری تجهیزات در نظر گرفت. در محیط های سخت عملیاتی، شکست ناشی از خستگی تجهیزات در مقاطع لحیم شده یکی از معضلات اساسی است. در این حالت، افزایش استحکام منطقه لحیم شده با استفاده از افزودن نانوذرات و پایدار کردن ساختار دانه ها، سبب بهبود پایداری قطعات می گردد. امروزه محققان از دو نوع خاص نانوذرات جهت بهبود لحیم استفاده می کنند: نوع اول آن ها از عناصر واکنش گر مانند نیکل یا نقره تشکیل شده ولی نقطه ضعف این ذرات آن است که این مواد در نهایت و به ویژه در دماهای بالا با لحیم، وارد واکنش شده و پایداری جوش را پایین می آورد. نوع دوم از مواد پایدار و غیر واکنشی شامل تیتانیا (TiO₂) تشکیل شده است که حتی در دماهای بالا نیز پایدار می باشد. [۲۴]

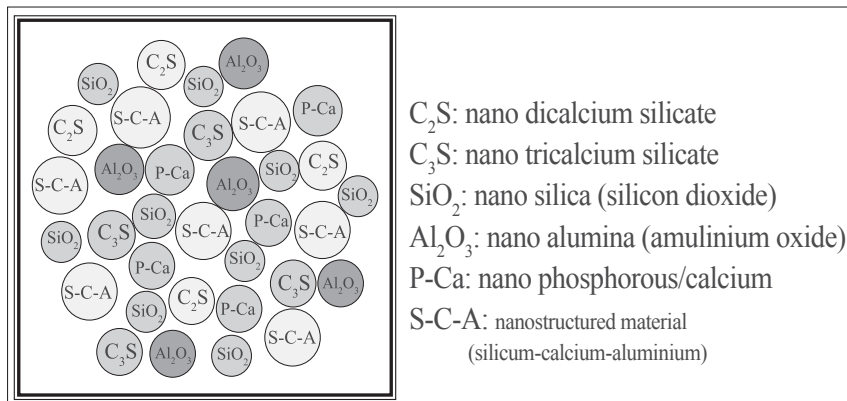
۳-۳- روان کننده ها

امروزه روان کننده ها کارایی زیادی در صنایع مختلف دارند. به هر حال استفاده از روان کننده های مایع یا گریسی به دلیل مشکلاتی که ایجاد می کنند به ویژه مشکلات زیست محیطی، محدود شده است. گزینه بسیار مطلوب در این زمینه این است که پوشش ها و روان کننده ها باهم سازگار شده و مکمل نقش یکدیگر باشند. نانوروان کننده ها دارای میلیاردها نانوذره کروی شکل هستند که میزان اصطکاک و سایش و نیز خواص فشاری ماده روان کننده را بهبود می بخشد. از مزایای

انفجار می شود، نیروی ایجاد شده سبب فروپاشی آستری شده و از انتهای خرج با سرعت بسیار زیادی به صورت توده ی مواد خارج می شود. این جت می تواند ماده هدف را سوراخ کند. هر چند افزایش ماده منفجره یکی از راه کارهای افزایش نفوذ است، اما خطرات و خسارات زیادی به همراه دارد. امروزه استفاده از ذرات نانومتری در ساختار ماده آستری به دلیل انرژی و حرارت بسیار زیاد تولیدی و نیز سطح فعال، به شدت مورد توجه قرار گرفته است. [۲۳]

۲-۳- نانوذرات و بهبود تجهیزات

نانوذرات به دلیل برخورداری از سطح تماس بالا قادرند نفوذ عوامل خورنده به داخل پوشش را سخت کنند. پژوهشگران با استفاده از نانوذرات اکسید روی، به پوشش های اپوکسی / پلی آمیدی با خواص بهبود یافته ضد خوردگی و فیزیکی - مکانیکی دست پیدا کردند. پوشش اپوکسی، یک پوشش آلی پر کاربرد با خواص منحصر به فرد فیزیکی - مکانیکی و ضد خوردگی است. از این پوشش، جهت کاهش نرخ خوردگی فلزات در معرض محیط های خورنده استفاده می گردد. نانوذرات اکسید روی به دلیل اندازه ذرات پایین و سطح ویژه بالا، قادرند تا یک سد فیزیکی در برابر نفوذ عوامل خورنده به درون پوشش و به سطح فلز ایجاد و زمان رسیدن این عوامل خورنده را به سطح فلز طولانی تر کرده، طول عمر سازه فلزی را افزایش دهند. نانوذرات همچنین، با کاهش چگالی اتصالات شیمیایی و افزایش چگالی اتصالات فیزیکی پوشش، باعث بهبود مقاومت یونی و مقاومت در برابر تخریب هیدرولیکی (تخریب در حضور آب) شده، دوام پوشش را افزایش می دهند. همچنین با این مکانیزم، بهبود خواص فیزیکی - مکانیکی از جمله کاهش شکنندگی پوشش و افزایش چقرمگی آن نیز حاصل می شود. کاربرد عمده این پوشش ها بر روی سازه های فلزی نظیر لوله های انتقال نفت، گاز و آب است. یکی دیگر از کاربردهای بسیار مهم نانوذرات در صنایع بالادستی نفت و گاز را می توان استفاده از



۳ | یک ترکیب خاص از نانو-افزایه های به کار رفته جهت بهبود خواص سیمان در عملیات سیمان کاری چاه

این نانوریپورترها از میلیون‌ها خوشه کربنی ساخته شده‌اند. هر کدام از این گزارشگرها ۳۰ هزار بار از موی انسان کوچک‌ترند و قابلیت ورود به هر بخش از مخازن نفتی را دارند. این گزارشگران نانویی بسته به موادی که به داخل آن وارد می‌شوند، تغییر می‌یابند. مانند آب، نفت، سولفید هیدروژن و غیره. به عبارت دیگر، خود را با خصوصیات مواد میزبان تطبیق می‌دهند. این مواد دارای برجسب (چیزی شبیه به بارکد) هستند و دانشمندان می‌توانند مدت زمانی که این مواد در مخزن بوده‌اند را محاسبه کنند. نانوریپورترها به گزارش دادن از خواص مواد پیرامون خود می‌پردازند و دما و فشار آن‌ها را به صورت داده‌های رایانه‌ای، ارائه می‌دهند. [۲۶]

۴-۲- کنترل شن

پروپانت ماده‌ای است که شکست هیدرولیکی ایجاد شده در سنگ را باز نگاه داشته و از مسدود شدن مجدد آن جلوگیری می‌کند. به منظور بهبود فرآیند تثبیت و توزیع ذرات ریز سازندی، می‌توان از پروپانت‌های پوشش داده شده با نانوذرات استفاده کرد. به این منظور، محققان از بستر پروپانت پوشش داده شده توسط نانو کریستال‌های خاص که دارای نیروهای سطحی قابل توجهی مانند نیروی واندروالس و الکترواستاتیک هستند و سبب چسبیدن این ذرات به سطح پروپانت‌ها می‌شود، استفاده می‌کنند. در طول عملیات شکاف هیدرولیکی سازند و تزریق پروپانت، زمانی که ذرات ریز سازندی به سمت منطقه پوشش داده شده با پروپانت حرکت می‌کنند، توسط نیروهای سطحی نانوذرات به دام افتاده و از نزدیک شدن به

دیواره چاه باز می‌مانند. (شکل-۴) [۲۷] در کنترل شن می‌توان از نانو غشاهای نیز استفاده کرد. اصولاً غشاهای نوعی لایه نازک و نیمه تراوست که با استفاده از نیروی محرکه اعمال شده می‌تواند مواد را جداسازی کند. انواع روش‌های جداسازی ذرات توسط غشاهای رومی می‌توان به میکروفیلتراسیون (MF)، اولترافیلتراسیون (UF)، نانوفیلتراسیون (NF) و اسمز معکوس (RO) تقسیم‌بندی کرد. در عملیات نانوفیلتراسیون از نانو غشاهای استفاده می‌شود که دارای اندازه حفراتی در حدود یک هزارم میکرون می‌باشند. [۲۶] مهمترین کاربرد نانو غشاهای در مدیریت مخازن، مربوط به تزریق آب دریا به مخازن در عملیات سیلاب‌زنی و تثبیت فشار است. در این حالت، آب دریا حاوی ترکیبات یونی فراوانی مانند Na^+ ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Cl^- و SO_4^{2-} بوده و رسوب این ترکیبات بر روی تجهیزات درون‌چاهی سبب ایجاد آسیب و خوردگی در آن‌ها می‌گردد که استفاده از این نانو غشاهای تأثیر چشمگیری در کاهش رسوبات خواهد داشت.

۴-۳- کاربرد نانو فناوری در اکتشاف با روش

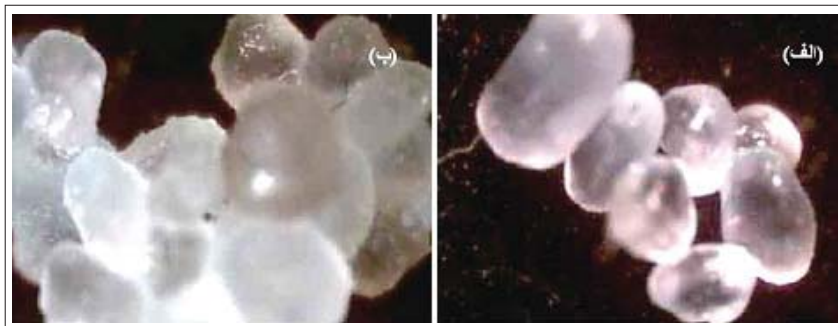
نمودارگیری و لرزه‌نگاری

عموماً منبع و گیرنده‌های سیگنال در فاصله دوری بر روی سطح زمین قرار دارند و همین امر سبب کاهش کیفیت تصاویر دریافتی می‌گردد. لرزه‌نگاری انعکاسی پُر کاربردترین نوع استفاده از حس گرهای از راه دور در زمین شناسی است. داده‌های ناشی از لرزه‌نگاری میزان سرعت سیال زیرزمینی و تغییرات چگالی آن را تعیین می‌کنند و حتی اگر سنگ مخزن دارای ویژگی‌های مناسبی باشد، این ابزار

توانایی تشخیص هیدروکربن‌ها از آب مخزن را نیز دارا می‌باشند. در حقیقت انرژی لرزه‌ای که از لایه‌های درونی زمین بازتابش می‌شود، در سطح زمین توسط ژئوفون‌ها دریافت می‌گردد. [۲۸]

امروزه ایجاد نانو حس گرها برای ثبت لرزه‌ها به صورت دقیق‌تر و پربازده‌تر توانسته این بخش از صنایع بالادستی نفت را متحول کند، چراکه امکان وارد کردن نانو حس گرها در لایه‌های مختلف زمین و ثبت لرزه‌ها از موقعیت‌های متنوع‌تر به وجود آمده است. اصولاً نانو حس گرها عوامل الکترونیکی یا غیر الکترونیکی هستند که دارای ابعاد نانومتری بوده و در فرآیندهای دریافتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حقیقت نانو حس گرها توانایی اندازه‌گیری جابجایی‌ها و تغییرات بسیار کوچک در ابعاد مولکولی را دارا بوده و حساسیت آن‌ها نسبت به حس گرهای معمولی فوق‌العاده بیشتر است. کاربرد عمده نانو حس گرها در صنایع نفت و گاز مربوط به تعیین مکان دقیق مخازن و نیز تشخیص گازهای سمی از چاه‌ها و معادن و بررسی وضعیت درون چاه مانند دما، فشار و غیره است. در این راستا، نانو حس گرها با استفاده از ابعاد بسیار ریزی که دارند، می‌توانند به درون حفرات سازند نفوذ کرده و اطلاعات مناسبی را از ساختار آن در اختیار قرار دهند. [۲۹]

به‌علاوه، نانوفناوری می‌تواند با نانو ساختار کردن ژئوفون‌ها (گیرنده‌ها) به عملکرد سریع و ثبت اطلاعات صوتی دقیق‌تر منجر گردد. همچنین شرکت آمریکایی IncInput/Output از میکرو مکانیکال سیستم‌ها (MEMS) و نانو مکانیکال سیستم‌ها (NEMS) جهت تهیه داده‌های لرزه‌نگاری چاه‌های نفت و گاز استفاده می‌کند. این ابزارها داده‌ها را به صورت دقیق‌تر و کم‌حجم‌تر از ژئوفون‌های معمولی ثبت می‌کنند. به‌طور خلاصه، کاربرد نانوفناوری در ابزار آلات مربوط به عملیات اکتشاف نفت و گاز می‌تواند به دریافت اطلاعات دقیق‌تر و به‌خصوص ارائه اطلاعات عمیق بسیار زیاد و به تبع آن، شناخت جامع‌تر از مخزن کمک کند. [۳۰]



شکل ۴ | بستر پوشش داده شده با نانوذرات. (الف) قبل از عبور جریان ذرات ریز سازندی (ب) پس از عبور جریان ذرات ریز سازندی

نتیجه گیری

فناوری نانو با ساختار و مواد ویژه‌ای که در دست دارد، می‌تواند بسیاری از مشکلات صنایع مختلف، به‌خصوص صنایع نفت و گاز کشور را کاهش دهد. از سوی دیگر، اهمیت صنایع نفت، گاز و پتروشیمی به‌واسطه وجود منابع گسترده نفت و گاز در کشور که

خود خوراک صنایع پتروشیمی به حساب می‌آیند، بر کسی پوشیده نیست. لذا، انجام تحقیقات جامع در راستای استفاده از نانوفناوری در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی لازم و ضروری به نظر می‌رسد. همچنین، نواقص و مشکلات حال حاضر صنعت نفت و گاز و مسأله کاهش ذخایر نفت و گاز در کشور، لزوم ورود

1. nano-clays
2. nano-bentonite
3. nano-montmorillonite
4. nano-additives

5. shaped charges
6. fatigue failure
7. lubricants

پانویس‌ها

منابع

- [۱]. چارلز پی، پول، فرانک جی، اونسز "مقدمه‌ای بر فناوری نانو"، ترجمه نیما تقوی نیا، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، موسسه انتشارات علمی ۱۳۸۷
- [2]. <http://oilchemistry.blogfa.com/post/227>.
- [۳]. اخوان عبداللهیان، علی، فائقه اسلامی پور، محمدرضا زارعی خشک‌تاب، و سید طه سیدمصطفوی، حوزه‌های کاربرد فناوری نانو در صنعت نفت، دومین همایش ملی توسعه فناوری در صنعت نفت، تهران ۱۳۸۳
- [۴]. حبیبی، کیان، اصغر احمدی، و علیرضا دایمی، ۱۳۹۱، ارزیابی و نتیجه‌گیری کاربردهای نانو تکنولوژی در صنعت نفت و گاز، اولین کنفرانس بین‌المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی، تهران.
- [۵]. اخوان عبداللهیان، علی، و همکاران، "گزارش نهایی طرح نانو تکنولوژی در صنعت نفت و تعیین اولویت‌ها"، پژوهشگاه صنعت نفت، آبان ۱۳۸۲
- [۶]. تازی، فایزه، مهدی عطاپور، کاربرد نانو در ازدیاد برداشت، Iran Nanotechnology Initiative Council- www.nano.ir
- [7]. Suleimanov, B.A., Ismailov, F.S., Veliyev, E.F. "Nanofluid for enhanced oil recovery", Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol.78, pp. 431-437, (2011).
- [8]. <http://phys.org/news/201209-surprisingly-simple-effective-method-magnetically.html>
- [۹]. کریمی، علی، "تزریق نانو سیالات به عنوان شیوه جدید از دیاد برداشت نفت"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تهران، ۱۳۸۹
- [10]. http://www.kaustcu.comell.edu/research/enhanced_oil_and_natural_gas_recovery.cfm
- [11]. <http://phys.org/news/201209-surprisingly-simple-effective-method-magnetically.html>
- [12]. Jamaloei, B.Y., "Insight into the Chemistry of Surfactant-Based Enhanced Oil Recovery Processes", Recent Patents on Chemical Engineering, Vol.2, pp.12009, (10-).
- [13]. Izotov, V.G. and Sitdikova, L.M. "Nanomineral systems of oil reservoirs and their role in the development process", Georesources international journal of science, Vol.1, pp.11,12-2008).
- [14]. Jamaloei, B.Y., "Insight into the Chemistry of Surfactant-Based Enhanced Oil Recovery Processes", Recent Patents on Chemical Engineering, Vol.2, pp.12009, (10-).
- [15]. <http://www.ripi.ir/congress13/improved%20oil.pdf>
- [۱۶]. سجادیان، مجید، و همکاران، بهبود عملکرد سیال حفاری پایه آبی با استفاده از نانوذرات سیلیکا بهسازی نشده - ارزیابی آزمایشگاهی، اولین همایش ملی نانو مواد و نانو تکنولوژی، شاهرود، ۱۳۹۰
- [17]. Evdokimov, I. N., Eliseev, N. Yu., Losev, A. P., and Novikov, M. A. 2006. Emerging Petroleum-Oriented Nanotechnologies for Reservoir Engineering. SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition, Moscow, Russia.
- [۱۸]. آریانا، محمد امین، احسان عباسی، بهبود خواص سیال حفاری، اولین همایش ملی توسعه تکنولوژی در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، ۱۳۸۹
- [19]. Roddy, C.W., Ricky, L., Chatterji, J., Brenneis, D.C., U.S.Patent, US0025039A1, 201004-02-
- [20]. Koons, B.E., U.S.Patent, US0243236A1, 201030-7-
- [21]. Noveiri, E. and Torfi, S. "Nano Coating Application for Corrosion Reduction in Oil and Gas Transmission Pipe: A Case Study in South of Iran". IPCSIT, vol.15, pp.562011, (63-)
- [22]. J. Hales, J.Burleson, J.Rodgers, U.S.Patent, US0300750A1, 20102-12-
- [23]. L.R. Bates, B. Bourne, U.S.Patent, US8220394B2, 201217-7-
- [24]. http://www.lboro.ac.uk/research/iemrc/documents/ResearchPortfolio/LUW_RP_03_NANO.pdf.
- [25]. Erdemir, A. "Review of engineered tribological interfaces for improved boundary lubrication". Tribology International, Vol.38, pp.249-256, (2005)
- [26]. T. Huang, J.B. Crews, R. Willingham, J.R. Pace, C.K. Belcher, U.S.Patent, US7721803B2, 20104-25-
- [27]. T. Huang, J.B. Crews, R. Willingham, J.R. Pace, C.K. Belcher, U.S.Patent, US7721803B2, 20104-25-
- [28]. http://www.spe.org/industry/.../higher-resolution_subsurface_imaging.pdf.
- [29]. <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100215232510/interactive.bis.gov.uk/nano/sections/nanotechnologies-and-sensing-and-instrumentation>.
- [30]. http://www.civilica.com/Paper-ICNPGP01-ICNPGP01_034.html#9.