

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



نانوتکنولوژی در صنعت نفت و گاز و پتروشیمی

- فایزه تاری - دانشجوی دکتری تخصصی - مهندسی شیمی - وزارت نفت پژوهشگاه صنعت نفت پژوهشکده شیمی و پتروشیمی
- مهدی عطاپور - دانشجوی دکتری تخصصی - مهندسی شیمی - دانشگاه تهران پردیس دانشکده های فنی دانشکده مهندسی شیمی

کاربرد نانوفناوری در اکتشاف نفت و گاز

طبق بررسی های محققان در پنجاه سال آینده میزان تقاضای جهانی انرژی دو برابر خواهد شد. بنابراین نیاز به استفاده از تکنولوژی های جدید و نوعی بازنگری در نوع تولید و مصرف منابع انرژی به شدت احساس می شود. در این میان علم نانوفناوری با نگرشی جدید که در ساختار و چینش مواد بوجود آورده، روش های بسیار مناسبی را در جهت استفاده از فرآیندهای مختلف در حوزه انرژی ایجاد کرده است. در حقیقت نانوفناوری می تواند با کمک به یافتن منابع هیدروکربوری بصورت دقیق تر و با جزئیات بیشتر به خصوص در فواصل عمیق تر و نیز اندازه گیری ابعاد مخزن با استفاده از روش های لرزه نگاری و مغناطیسی پیشرفته، نقش عمده ای را در بهبود فرآیند بهره برداری و تولید سیال از چاه ایفا کند. در این مقاله به بررسی تاثیرات نانوفناوری در عملیات اکتشاف مخازن نفتی و گازی پرداخته شده و مزایای آن در مقابل روش های سنتی ارائه خواهد شد.

مقدمه

در بخش بالا دستی نفت اولین مرحله برای دست یابی به نفت و بهره برداری از آن، اکتشاف مخازن است. با بدست آوردن مجموعه ای از اطلاعات از لایه های مختلف زمین با استفاده از روشهای زمین شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمی، محل و کیفیت نفت خام یا گاز کشف می شود و بدین ترتیب با تشخیص محل صحیح نفت و گاز موجود در اعماق زمین می توان به حفاری و استخراج این مواد اقدام کرد. در حقیقت ابتدا با توجه به مطالعات سطحی و صحرایی محیط، مجموعه ای از اطلاعات اولیه بدست می آید و اولویت های سایر روش های اکتشافی مشخص می شود. این روش ها شامل روش های سطحی، ثقل سنجی و مغناطیسی سنجی، لرزه نگاری، ژئوشیمی آلی و حفر چاه های اکتشافی می باشد

روش های سطحی

گاه مطالعه برخی از نشانه ها در سطح زمین می تواند راهنمای ما برای کشف مخازن احتمالی باشد. بخشی از لایه هایی که هزاران متر زیر زمین هستند، ممکن است در اثر عوامل مختلفی به سطح زمین رسیده باشد و ما آن بخش از لایه را که برونزد (outcrop) آن نامیده می شود، مشاهده کنیم. ابتدایی ترین کار در اکتشاف مخازن نفت این است که با مطالعه برونزدها (outcrops) و نشانه های سطحی، اطلاعاتی در مورد سازندهای نفت بدست آورد و یا با مطالعه ساختارهای زیرزمینی که آثار آن ها در روی زمین قابل مشاهده و بررسی است، تا حدودی به وجود تله های نفتی پی برد و همچنین اگر در سطح، چشمه های نفتی (oil spring) وجود داشت با مطالعه آن ها به سنگ منشأ (source rock) آن پی برد و از این طریق مخازن احتمالی را شناسایی کرد.

روش های ثقل سنجی و مغناطیسی سنجی

این دو روش برای شناسایی مخازن نفتی که ساختارهای مشخص و معینی (مثل طاقدیس) در اعماق کم دارند به کار می روند. در روش ثقل سنجی اساس کار این گونه است که تغییر شتاب جاذبه ثقل در نقاط مختلف را می توان به تغییر ماهیت سنگ یا تغییر ساختار، مخصوصا ساختارهای طاقدیس نسبت داد. اساس کار روش مغناطیسی سنجی بر این است که میدان مغناطیسی طبیعی زمین را می سنجد، اما اگر سنگی وجود داشته باشد که خود میدان مغناطیسی اضافی ایجاد کند، با استفاده از دستگاه های مغناطیسی سنج شناسایی می شود. از آن جایی که برخی از سنگ های رسوبی خود مغناطیسه هستند و میدان مغناطیسی اضافی ایجاد می کنند، به کمک این دستگاه می توان ضخامت این لایه ها را تا حدودی مشخص کرد. باید توجه داشت که جنس سنگ مخزن و منشأ از سنگ های رسوبی است.

مطالعه لرزه نگاری (seismic)

در روش لرزه نگاری امواج لرزه ای در اثر انفجار به صورت موج های مکانیکی در لایه های درون زمین منتشر می شوند. برای این که بازتاب این امواج از لایه های مختلف دریافت شود، گیرنده هایی (Geophone) بر روی زمین تعبیه شده اند که بازگشت این امواج را ثبت می کنند. منابعی که برای ایجاد این لرزه ها بکار می رود می تواند چاله هایی که از مواد منفجره پر شده و یا دستگاه vibrosizer باشد. این دستگاه کامیونی است که یک صفحه در زیر خود دارد. به هنگام ایجاد لرزه این صفحه روی زمین قرار می گیرد و وزن کامیون بر روی صفحه می افتد و با لرزه هایی که این صفحه ایجاد می کند امواجی پدید می آید. اساس کار این گونه است که با توجه به این که سازندهای مختلف قابلیت های مختلفی برای عبور موج از درون خود دارند، سرعت امواج درون این لایه ها با هم متفاوت است و به این وسیله می توان سطوح بین لایه ای را تشخیص داد البته به این شرط که این لایه ها دارای چگالی و سرعت انتشار متفاوتی باشند این تفاوت اساس شناسایی لایه ها و سازندهای مختلف است. لرزه نگاری بصورت یک بعدی، دو بعدی، سه بعدی و اخیراً چهار بعدی انجام می گیرد. لرزه نگاری چهاربعدی همان لرزه نگاری سه بعدی است که بعد چهارم آن زمان بوده ونحوه پیشروی سیالات مخزن را ارائه می دهد. ازاطلاعات لرزه نگاری، ساختار کلی لایه های زمین، محدوده مخزن، نوع سیال اعم از گاز، آب یا نفت و ... را می توان به دست آورد.

ژئوشیمی آلی (organic Geochemistry)

امروزه از روش ژئوشیمی آلی (organic Geochemistry) برای اکتشافات مخازن، سنگ منشا و تحلیل این سنگ ها استفاده می شود.

حفر چاه های اکتشافی

روش های پیش گفته اطلاعات اولیه را برای حفر اولین چاه در اختیار متخصصین اکتشاف قرار می دهند این متخصصین برای دستیابی به دقت بیشتر در اطلاعات خود باید چاه های اکتشافی را در مخزن حفر کنند. از یک چاه اکتشافی می توان به اطلاعاتی دست یافت از جمله: ترتیب قرار گرفتن سازند های مختلف در عمق زمین، عمق واقعی مخزن در زیر زمین، ضخامت مخزن، خصوصیات سنگ و سیال های درون مخزن (گاز، نفت و آب) که با نمونه برداری از سنگ و سیال و انجام آزمایش های مربوطه مطالعه می شود، مرز لایه های زمین شناختی، جنس و شیب هر لایه، برخی از ویژگی های سنگ مخزن از جمله میزان تخلخل و درجه ی اشباع آن از سیال های مختلف و دمای مخزن با انجام عملیات چاه پیمایی شناسایی می شود.

۲- کاربرد نانوفناوری در اکتشاف مخازن نفتی و گازی

کاربرد نانومواد در زمینه اکتشاف سیالات هیدروکربنی را می توان اینگونه در نظر گرفت:

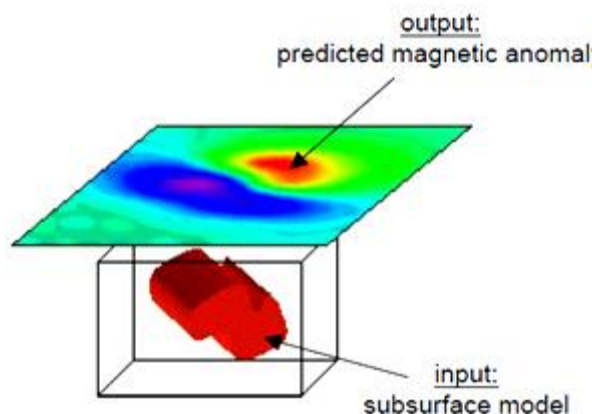
۱. کشف هیدروکربن ها

۲. اندازه گیری سائز مخزن

امروزه محققان بر این باور هستند که صنعت اکتشاف مخازن زیرزمینی نیازمند تحولی است تا بتوان هیدروکربن ها را در نقاط مختلف زمین شناسائی نمود. زیرا گاهی حتی لرزه نگاری های دو و سه بعدی نیز قادر به ارائه اطلاعات روشنی از ساختار زمین شناسی برخی نواحی خاص نمی باشند. محققان بر این باورند که نانوتکنولوژی قادر است تمامی این مشکلات را به خوبی حل کند. زیرا علم نانو می تواند با تولید نانوذرات یا نانوحسگرهای قوی، اطلاعات بسیار باارزشی را از ساختار مخزن جمع آوری نموده و ارائه دهد. طبق مطالعات، نانوفناوری دارای تاثیرات مهمی در بهبود فرآیند اکتشاف با استفاده از لرزه نگاری و چاه پیمائی و نیز روش مغناطیس سنجی می باشد.

کاربرد نانوفناوری در روش مغناطیس سنجی

اکتشاف مغناطیسی نوعی روش جستجوی ژئوفیزیکی است که در آن از آهنرباهای بسیار دقیق جهت مکان یابی و مشخصه یابی اشیاء و پدیده های زمین شناسی استفاده می شود. اساسا دلیل تشخیص اشیاء طی این روش به دلیل میدان مغناطیسی ساطع شده از خود آنها می باشد. هرچند این میدان تشکیل شده بسیار ضعیف می باشد اما می تواند تغییرات قابل اندازه گیری در توزیع میدان مغناطیسی زمین ایجاد کند. به چنین تغییری، نابهنجاری مغناطیسی (magnetic anomaly) اطلاق می شود. در شکل ۱ تاثیر شیء مدفون در زیر سطح زمین بصورت یک نابهنجاری نشان داده شده است. همچنین اغلب اجسامی که خاصیت غیرمغناطیسی نیز دارند مانند سنگ مخزن نیز با قرار گرفتن در میدان مغناطیسی زمین حالت مغناطیسی پیدا می کنند. دستگاهی که جهت اندازه گیری میدان مغناطیسی بکار می رود مغناطیس سنج نام دارد و شامل دو قسمت می باشد BEarth: که میدان مغناطیس زمین و BAnomaly که میدان مغناطیسی شیء مدفون شده را می سنجد. پرکاربردترین نوع مغناطیس سنج ها در زمینه اکتشاف از نوع: مغناطیس سنج پروتونی (Proton Processing Magnetometer) و مین مغناطیسی (Fluxgate magnetometer) می باشد.



شکل ۱- تاثیرات شیء مدفون در داخل زمین بر روی میدان مغناطیسی

با تفسیر داده های بدست آمده با استفاده از یک مغناطیس سنج به سوالات زیر پاسخ داده می شود:

۱. نابهنجاری های مغناطیسی در داده های جمع آوری شده کدام هستند؟
۲. کدام شی مصنوعی و/ یا ساختار زمین شناسی سبب پیدایش این نابهنجاری شده است؟
۳. عمق این شیئی و/ یا ساختار زمین شناسی چقدر است؟
۴. اندازه و شکل شیئی و/ یا ساختار زمین شناسی به چه صورتی است؟

برای تعیین میزان مغناطیس موجود در سنگ می توان از دو نوع ابزار مغناطیسی استفاده نمود:

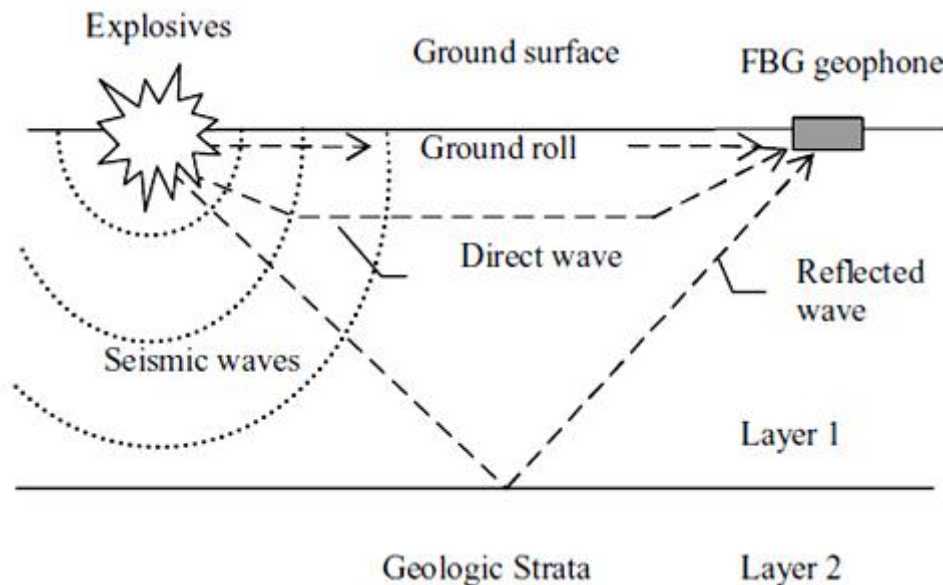
۱. نقشه برداری هوایی که در آن از یک مغناطیس سنج متصل به یک هواپیما استفاده میشود.
 ۲. نقشه برداری زمینی که در آن از یک مغناطیس سنج قابل حمل استفاده می گردد.
- استفاده از نانوتکنولوژی در ساختار مغناطیس سنج ها امروزه در مرحله تحقیق و بررسی قرار دارد و همانگونه که پورافشاری و همکارانش نشان داده اند، استفاده از نانوکامپوزیت ها می تواند آغازگر ایجاد تحول در این روش باشد.

کاربرد نانوفناوری در روش نمودار گیری و لرزه نگاری

کاربرد نانوحسگرها در لرزه نگاری

اصولا کشف یک منبع زیرزمینی بدون مانیتور کردن حرکت سیال درون مخزن بسیار دشوار است. در این راستا زمین شناسان با استفاده از ابزارآلات حسگر از راه دور توانسته اند تصاویری را از منابع زیرزمینی آورند. در طول سال های اخیر تلاش های بسیاری در جهت تولید تصویربرداری زیرزمینی از منابع هیدروکربوری انجام گرفته است. محقق کانادائی Reginlad Fessenden برای اولین بار استفاده از روش لرزه نگاری را در زمین شناسی در سال ۱۹۱۷ ثبت اختراع نمود. یک دهه بعد شرکت شلمبرژه (Schlumberger) اولین ابزار الکتریکی چاه پیمائی را به درون چاه وارد نمود. امروزه پیشرفت های حاصل در داده های لرزه نگاری و الکترومغناطیس، پردازش سیگنال ها و مدلسازی با محاسبات پیشرفته و نیز انقلاب نانوتکنولوژی سبب ایجاد بهبودهای چشمگیری در

تصویربرداری از مخازن گردیده است. چنانچه امروزه با استفاده از حسگرهای کنترل از راه دور میتوان تصاویر بهتر و با جزئیات بیشتر از تغییرات عمودی و عرضی لایه های سازند زیرزمینی و نیز تخلخل و تراوایی آن بدست آورد. اغلب موانعی که بر سر راه کنترل از راه دور این حسگرها وجود دارد ناشی از ساختار و فیزیک خاص سنگ مخزن است. برای مثال با افزایش عمق، ضخامت بستر و اندازه عرضی نسبت به طول موج سیگنال سبب تضعیف انرژی و چگالی و سرعت متغیر سنگ سبب پخش یا پیچیدگی سیگنال ورودی می شود. عموماً منبع و گیرنده های سیگنال در فاصله دوری بر روی سطح زمین قرار دارند و همین امر سبب کاهش کیفیت تصاویر دریافتی می گردد. لرزه نگاری انعکاسی پرکاربردترین نوع استفاده از حسگرهای از راه دور در زمین شناسی می باشد. داده های ناشی از لرزه نگاری میزان سرعت سیال زیرزمینی و تغییرات چگالی آن را تعیین می کنند و حتی اگر سنگ مخزن دارای ویژگی های مناسبی باشد این ابزار توانائی تشخیص هیدروکربن ها از آب مخزن را نیز دارند. در حقیقت انرژی لرزه ای که از لایه های درونی زمین بازتابش می شود در سطح زمین توسط ژئوفون ها دریافت می گردد. برای افزایش حساسیت این گیرنده ها لازم است تا امواج رسیده از داخل زمین به خوبی جمع آوری گردند. ژئوفون های معمولی اغلب از نوع سیم پیچ الکترومغناطیسی متحرک می باشند و اساس کار آنها بدین صورت است که زمانی که بدنه بصورت عمودی حرکت می کند، سیم پیچ ثابت مانده و آهنربا متحرک می گردد. حرکت نسبی بین سیم پیچ و میدان مغناطیسی سبب تولید ولتاژ نهائی ژئوفون می گردد. ولی در این نوع گیرنده ها عموماً مشکل تداخل الکترومغناطیسی و کم بودن محدوده فرکانس پاسخ وجود دارد و محققان در حال بررسی روش های نوین در جهت بهبود این معایب می باشند.



شکل ۲- استفاده از ژئوفون ها در لرزه نگاری

امروزه ایجاد نانوحسگرها جدید برای ثبت لرزه ها بصورت دقیق تر و پربازده تر توانسته این بخش ها از صنایع بالادستی نفت را متحول کند، چرا که امکان وارد کردن نانوحسگرها در لایه های مختلف زمین و ثبت لرزه ها از موقعیت های متنوع تر بوجود آمده است. همچنین نانوتکنولوژی می تواند با نانوساختار نمودن ژئوفون ها (گیرنده ها) به عملکرد سریع و ثبت اطلاعات صوتی دقیق تر منجر گردد. در این راستا آزمایش های زیادی انجام پذیرفته و توانایی نانوفناوری را در این بخش به اثبات رسانده است. از نتایج این آزمایش ها می توان به تولید ده برابر ضریب طول و دریافت اطلاعات از اعماق دورتر اشاره کرد. آقای جونگ کیم از دانشگاه تگزاس در کنفرانس نانوفناوری انجمن مهندسين برق آمریکا، فناوری "شناوری مغناطیسی با دقت بالا" را که در بسیاری از زمینه های تحقیقاتی نانوفناوری و سایر فناوری هایی که براساس اندازه گیری دقیق حرکات و نیروها کار می کنند کاربرد دارد، مورد بررسی قرار داده است. این فناوری ها شامل ساختن ساختارهای نانومقیاس، کاربری در مقیاس اتمی، سرهم بندی میکروقطعات و آشکارسازهای حرکات لرزه ای می باشند. شرکتهای نفتی Shell و BP برای کشف و استخراج میادین جدید نفت و گاز از نانوفناوری در تصویربرداری لرزه ای و لرزه نگاری چهار بعدی استفاده می کنند.

همچنین شرکت آمریکائی InInput/Output از میکرومکانیکال سیستم ها (MEMS) و نانومکانیکال سیستم ها (NEMS) جهت تهیه داده های لرزه نگاری چاه های نفت و گاز استفاده می کند. این ابزارها داده ها را بصورت دقیق تر و کم حجم تر از ژئوفون های معمولی ثبت می کنند. به طور خلاصه کاربرد نانوفناوری در ابزارآلات مربوط به عملیات اکتشاف نفت و گاز می تواند به دریافت اطلاعات دقیق تر و به خصوص ارائه اطلاعات اعماق بسیار زیاد و به تبع آن شناخت جامع تر از مخزن کمک نماید.

کاربرد نانوحسگرها در نمودارگیری دقیق تر از چاه

بطور کلی در این رویکرد، ابتدا در آزمایشگاه پرتوهای مختلفی نظیر گاما، ایکس، نوترون و همچنین انواع مختلف امواج صوتی و میدان های مغناطیسی یا الکتریکی در مقابل ساختارهای سنگی مختلف اعمال، بازتابش های مربوطه ثبت و نمودارها رسم می شود (کالیبراسیون). سپس ابزار نمودارگیری در میدان نفتی یا گازی به درون یک چاه رانده شده و فرآیند تاباندن پرتوها، امواج و میدان ها و ثبت بازتابش ها صورت می پذیرد. نهایتاً از مقایسه نمودارهای بدست آمده با نمودارهای استاندارد، جنس لایه ها (لیتولوژی) تعیین می گردد. همچنین با استفاده از تئوری های موجود، تخلخل و درجه اشباع سیالات نیز مشخص می شود. در این قسمت از نانوحسگرها برای تحلیل دقیق پرتوها و نیز به دلیل سطح ویژه بالای آنها، جهت تحلیل پرتوها در همه جهات استفاده می شود. علاوه بر آن از این نانوحسگرها می توان جهت تعیین جنس لایه ها و خواص سیال نیز استفاده نمود. همچنین چون بخشی از نمودارگیری درون چاه مربوط به بررسی تخلخل ها می شود، می توان با وارد نمودن یک سری نانوپودرها به داخل مخزن و دانستن مقدار و سطح ویژه آنها، میزان تخلخل سازند را تخمین زد. در این راستا می توان نانوحسگر ها را به اعماق بیشتری درون سازند نفوذ داده و تحلیل های دقیق تر و در نقاط متنوع تر را انجام داد. این حسگر ها به دلیل مزایائی مانند اندازه کوچک، ایمنی در قبال تداخل الکترومغناطیسی، قابلیت کارآئی در دما و فشار بالا و محیط های دشوار در صنعت نفت بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. محققان در دانشگاه صنعتی ویرجینیا در

حال تولید نانوحسگرهائی ارزان و قابل اعتماد از فیبرهای نوری جهت اندازه گیری فشار، دما، جریان نفت و امواج اکوستیک در چاه های نفت می باشند. همچنین Benischek و همکارانش نشان دادند که با استفاده از نانوذرات و/یا نانوحسگرها بعنوان نانواپزارها (nano devices) و بررسی انرژی برگشت داده شده از آنها در نقاط مختلف درون چاه می توان مکان و مورفولوژی آنها را شناسائی و به اطلاعات مفیدی دست یافت. در حقیقت این محققین، یک سیستم انتقال و دریافت امواج الکترومغناطیسی را که از دسته ای از آنتن ها تشکیل شده است بکار گرفتند. این امواج به نانواپزارهای موجود در داخل چاه نفت برای شارژ منبع قدرت تعبیه شده در داخل این اپزارها و کنترل و ایجاد ارتباط با آنها فرستاده می شود. این نانواپزارها بخشی از این انرژی الکترومغناطیسی را منعکس می کنند نهایتا با دریافت این امواج برگشت داده شده و تحلیل آنها، نقشه سه یا چهار بعدی از ساختار داخلی مخزن بدست می آید.

کاربرد نانوفناوری در مدیریت مخازن نفت و گاز

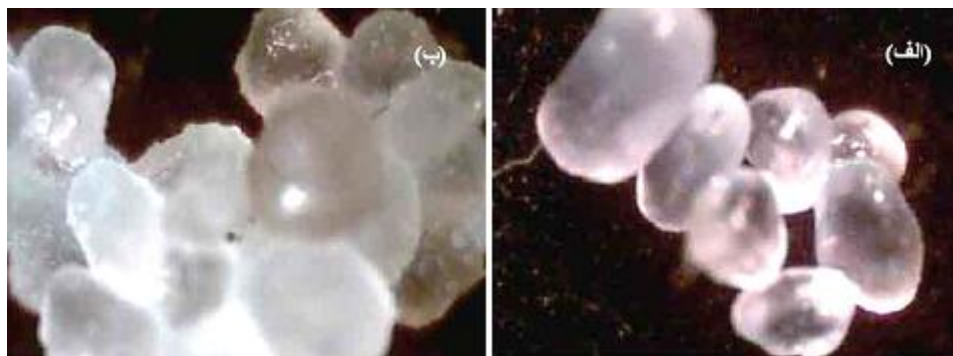
کنترل شن و ذرات

بر اساس منابع مطالعاتی، ذرات ریز سازندی به عنوان ذرات سست یا ذرات جامد رها شده شناخته می شوند که در خلل و فرج ماسه سنگها وجود دارند. اندازه این ذرات کمتر از ۳۷ میکرون می باشد و شامل ذرات رسی و غیر رسی و ذرات باردار و بدون بار هستند. این ذرات به راحتی با هر سیالی که از بین ماسه سنگها جریان یابد، انتقال یافته و در نتیجه با تولید سیالات هیدروکربنی یا آب از چاه و در محیط متخلخل از فواصل دور و از تمامی جهات تا فواصل نزدیک دیواره چاه حرکت می کنند. زمانی که تولید از چاه ادامه می یابد، مقدار زیادی از ذرات ریز در نزدیکی چاه تولیدی تجمع یافته، فعل و انفعال انجام داده و ذرات بزرگتری را تشکیل می دهند که می تواند موجب بسته شدن حفره ها و انسداد غربال ها گردد. که خود این عمل سب کاهش شدید تولید می گردد. همچنین عامل نگران کننده دیگر خوردگی غربال های موجود در چاه و نقص پمپ های بهره برداری می باشد. امروزه

مطالعات بسیاری برای کنترل حرکت ذرات ریز سازندی انجام گرفته و برخی از مهمترین روش ها بر پایه استفاده از نانومواد مورد بحث قرار می گیرد.

استفاده از نانوذرات و نانوسیالات

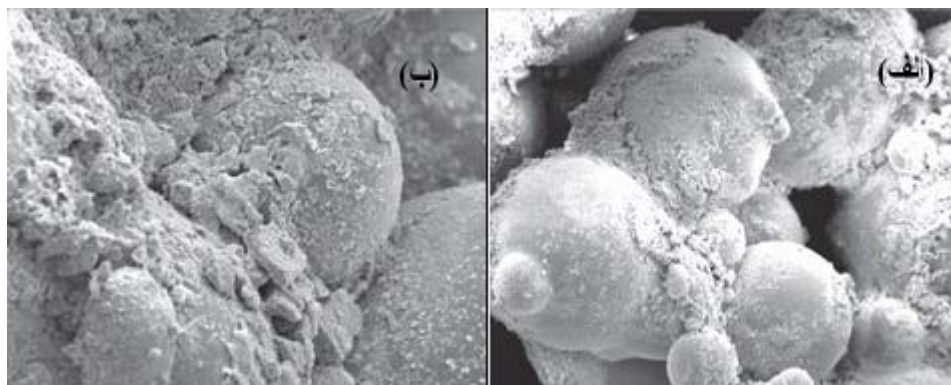
پروپانت ماده ای است که شکست هیدرولیکی ایجاد شده در سنگ را باز نگاه داشته و از مسدود شدن مجدد آن جلوگیری می کند. به منظور بهبود فرآیند تثبیت و توزیع ذرات ریز سازندی می توان از پروپانت های پوشش داده شده با نانوذرات استفاده نمود. به این منظور محققان از بستر پروپانت پوشش داده شده توسط نانوکریستال های خاص که دارای نیروهای سطحی قابل توجهی مانند نیروی واندروالس و الکترواستاتیک هستند و سبب چسبیدن این ذرات به سطح پروپانت ها می شود استفاده می کنند. در طول عملیات شکاف هیدرولیکی سازند و تزریق پروپانت، زمانیکه ذرات ریز سازندی به سمت منطقه پوشش داده شده با پروپانت حرکت می کنند، توسط نیروهای سطحی نانوذرات به دام افتاده و از نزدیک شدن به دیواره چاه باز می مانند. در شکل ۳ (الف) بستر پوشش داده شده با نانوذرات قبل از عبور ذرات سازندی و در شکل ۳ (ب) همان بستر پس از عبور ذرات سازندی نشان داده شده است. طبق شکل ها می توان ذرات ریز سازندی جذب شده توسط نانوذرات را مشاهده نمود. در این راستا Huang و همکارانش نشان دادند که استفاده از سیال شکاف دهنده که حاوی ذراتی مانند پروپانت ها و شن و ماسه می باشد، با افزایش میزان موثری از افزایه های حاوی نانوذرات می تواند سبب تثبیت و یا کاهش مهاجرت ذرات ریز گردد. در این حالت این افزایه های خاص می توانند اکسیدهای فلزات قلیائی، هیدروکسیدهای فلزات قلیائی، اکسیدهای فلزات واسطه، هیدروکسیدهای فلزات واسطه و غیره باشند.



شکل ۳- بستر پوشش داده شده با نانوذرات، قبل از عبور جریان ذرات ریز سازندی (الف) و پس از عبور جریان ذرات ریز سازندی (ب)

به این منظور این افزایه های خاص با ابعاد نانومتری، توسط یک عامل پوشش دهنده مانند یک روغن، به پروپانت می چسبند. برای مثال زمانی که از نانوذرات اکسید منیزیم یا غیره استفاده می شود، اندازه ریز این نانوذرات سبب ایجاد بارهای خاصی می شود که به ثابت نمودن ذرات ریز کمک می نماید. در این حالت نشان داده شده که نانوذرات اکسید منیزیم توانائی بالائی در تثبیت ذرات ریز سازندی مانند خاک رس و کوارتز دارند. همچنین نانوذرات مورد استفاده در این حالت نه تنها دارای سطح ویژه و فعالیت زیاد می باشند بلکه به دلیل بار سطحی زیادی که دارند قادر به چسبیدن و جمع نمودن ذرات دارای بار و حتی بدون بار نیز می باشند. علاوه بر این نانوذرات، نانوذرات دیگری نیز مانند زیرکونیوم دی اکسید، تیتانیا، کبالت اکسید، نیکل اکسید و نیز کریستال های پیزوالکتریک و پیروالکتریک نیز دارای این قابلیت ها می باشند. به منظور انجام عملیات، نانوذرات توسط سیال حامل (carrier fluid) با استفاده از پمپ به درون چاه تزریق شده و نیز می توانند بر روی پروپانت ها و یا ماسه پوشش دهی شوند تا طی عملیات دیگر مانند شکافت هیدرولیکی و غیره مورد استفاده قرار گیرند. چنانچه ماسه ها توسط نانوذرات پوشش دهی شوند، ذرات ریز سازندی نهایتاً درون بسته شنی (gravel pack) به دام خواهند افتاد. سیال حامل در این عملیات نیز می تواند پایه آبی، پایه الکلی و یا پایه روغنی باشد ولی در اکثر عملیات از سیالات پایه آبی استفاده می شود. همچنین چنانچه از محلول های نمکی بعنوان سیالات حامل استفاده شود، نمک های مورد استفاده می توانند سدیم کلرید، پتاسیم کلرید، کلسیم دی کلرید، منیزیم دی کلرید و غیره باشند.

عوامل پوشش دهنده مناسب نیز می توانند روغن های معدنی و یا سایر هیدروکربن هائی که شرایط مناسب عملیاتی را ایجاد کنند باشند. طبق بررسی های محققان، نانوسیالات دارای اکسیدهای فلزی دارای خواص بسیار مناسبی می باشند. همچنین نانوذرات اکسید منیزیم یکی از بهترین جاذب های ذرات ریز در ماده متخلخل می باشند. نانوسیالات حاوی نانوذرات دارای خواص بسیار مناسبی مانند تمایل زیاد به جذب از خود نشان داده و به دلیل ذرات بسیار ریزی که دارند انتخاب مناسبی جهت تزریق به منطقه نزدیک دیواره چاه به شمار می روند. در این راستا حبیبی و همکارانش به بررسی کاهش مهاجرت ذرات ریز سازندی در ماده متخلخل سنتز شده با استفاده از یک برج پر شده و نانوذرات اکسید منیزیم، سیلیس و آلومینا پرداختند. نتایج بیانگر آن است که زمانی که ماده متخلخل در محلول نانوذرات خیسانده می شود، ذرات ریز می توانند به بازدارنده دانه ها (grain hinders) چسبیده و حرکتشان محدود گردد. طبق نتایج، افزودن ۰.۱٪ وزنی از نانوذرات اکسید منیزیم و سیلیس می تواند تا ۱۵٪ مهاجرت ذرات ریز را محدود نماید. در این حالت محققان توانسته اند نشان دهند که نانوذرات اکسید منیزیم زمانی که در غلظت های بالا و نرخ تزریق سیال بالا مورد استفاده قرار می گیرند دارای تاثیر بیشتری در این زمینه هستند. در شکل ۴ تصویر مربوط به دانه های شیشه ای (glass beads) پوشیده شده با نانوذرات اکسید منیزیم قبل (الف) و پس از عبور ذرات ریز (ب) نشان داده شده است. تصاویر بیانگر شدت جذب ذرات ریز توسط نانوذرات می باشد.



شکل ۴- دانه های شیشه ای پوشیده شده با نانوذرات اکسید منیزیم قبل (الف) و پس از عبور ذرات ریز (ب)

نانوغشاها

اصولا غشاء نوعی لایه نازک و نیمه تراوا است که با استفاده از نیروی محرکه اعمال شده می تواند مواد را جداسازی نماید. انواع روش های جداسازی ذرات توسط غشاء را می توان به میکروفیلتراسیون (MF)، اولترافیلتراسیون (UF)، نانوفیلتراسیون (NF) و اسمز معکوس (RO) تقسیم بندی نمود.

در عملیات نانوفیلتراسیون از نانوغشاءها استفاده می شود که دارای اندازه حفراتی در حدود یک هزارم میکرون می باشد. مهمترین کاربرد نانوغشاءها در مدیریت مخازن، مربوط به تزریق آب دریا به مخازن در عملیات سیلاب زنی و تثبیت فشار می باشد.

در این حالت آب دریا حاوی ترکیبات یونی فروانی مانند Na^+ ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Cl^- و SO_4^{2-} بوده و رسوب این ترکیبات بر روی تجهیزات درون چاهی سبب ایجاد آسیب و خوردگی در آنها می گردد. یکی از مهمترین خوردگی های ایجاد شده در تجهیزات درون چاهی بر اثر ترکیبات سولفات است و به این منظور محققان از روش نانوفیلتراسیون جهت تولید آب تقریباً فاقد سولفات به منظور کاربرد در عملیات تزریق آب استفاده نمودند. همچنین در روش دیگر محققان به بررسی پایداری مقاومت این نانوفیلترها پرداختند آنها از یک کامپوزیت سه لایه ای که

قابلیت کاربرد تا دمای ۷۵ درجه سانتیگراد را داشته و فاز عبوری از آن حاوی غلظت های مطلوب از یونها است استفاده نمودند. آب تصفیه شده با این نانوفیلتر مستقیماً در عملیات سیلاب زنی فشار بالای لایه های زیرزمینی تراوا بکار برده شد. فرایند سیلاب زنی جهت عملیات ازدیاد برداشت، نیاز به آبی دارد که عاری از ترکیبات خاص جامد آلی و معدنی و نیز یونهای دوظرفیتی باشد تا از مسدود شدن حفرات تراوای سازند تا حد امکان جلوگیری شود. همچنین ترکیبات یونی آب تزریقی باید حتی الامکان مشابه آب موجود در لایه های تولیدی باشد تا تغییر در سختی یونها سبب ایجاد تورم در ذرات خاک رس و از آنجا کاهش تراوایی سازند نگردد.

فیبر- رزین ها

امروزه استفاده از روش کنترل تولید ماسه با استفاده از پوشش های فیبر-رزینی در مخازن ماسه سنگی بسیار رو به افزایش است. بر اساس آنالیز مکانیسم کنترل تولید ماسه در میدان نفتی Guado و میدان گازی Sebei، که از مهمترین میادین ماسه سنگی می باشند، مکانیسم کنترل تولید ماسه از این دو میدان با استفاده از فیبر-رزین ها بهبود زیادی پیدا کرده است. مقایسه کنترل تولید ماسه در این میادین نشان می دهد که استفاده از فیبر-رزین ها نتایج بسیار مناسبی دارد و از آنجا پیش بینی می شود که استفاده از نانومواد جهت بهبود دادن ساختار کمپلکس فیبر-رزین، تاثیرات بهتری نیز در این فرآیند بر جای می گذارد. در این بررسی از کمپلکس های فیبر-ذرات نانومتری تهیه شده به روش اختلاط همزمان توسط امواج اولتراسونیک استفاده شده و بهبود مکانیسم با استفاده از مواد نانومتر توسط روش های طیف نگاری مادون قرمز و تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی تایید شد. طبق گزارشات استفاده از روش کنترل تولید شن با استفاده از پوشش های فیبر-رزینی در ۲۸ چاه از میادین فوق الذکر و نیز میدان نفتی Xinjiang نتایج بسیار موفقیت آمیزی داشته است.

پایش وضعیت چاه ها

نانوحسگرها

اصولا نانوحسگرها عوامل الکترونیکی یا غیر الکترونیکی هستند که دارای ابعاد نانومتری بوده و در فرآیندهای دریافتی مورد استفاده قرار می گیرند. در حقیقت نانوحسگرها توانائی اندازه گیری جابجائی ها و تغییرات بسیار کوچک در ابعاد مولکولی را دارا بوده و حساسیت آنها نسبت به حسگرهای معمولی فوق العاده بیشتر است. کاربرد عمده نانوحسگرها در صنایع نفت و گاز مربوط به تعیین مکان دقیق مخازن و نیز تشخیص گازهای سمی از چاه ها و معادن و بررسی وضعیت درون چاه مانند دما، فشار و غیره می باشد. در این راستا نانوحسگرها با استفاده از ابعاد بسیار ریزی که دارند می توانند به درون حفرات سازند نفوذ کرده و اطلاعات مناسبی را از ساختار آن در اختیار قرار دهند.

امروزه شرکت های بزرگ نفتی و گازی دنیا به دنبال استفاده از میکرو و نانوحسگرهایی هستند که می توانند به دیواره چاههای نفتی و گازی تزریق شده، در داخل شکست ها و حفرات مهاجرت کرده و اطلاعات لحظه ای از خواص فیزیکی، شیمیائی و خصوصیات مکانی سنگها، مواد معدنی و سیال درون چاه جمع آوری نمایند که به اصطلاح به آن روشن سازی مخزن (illuminating the reservoir) اطلاق می شود. نانوعامل های بهبود دهنده کنتراست (contrast enhancing nanoagents)، حسگرهای آشکارساز بر پایه نانوذرات هستند که بصورت اختصاصی به شکلی طراحی می شوند که میل پیوستگی با هدف مطلوب را دارا هستند و از دور تصویربرداری می شوند. با بهره گیری از خواص فیزیکی و شیمیایی بی نظیری که برخی از ترکیبات در مقیاس نانو ارائه می دهند این عامل های کنتراست برای افزایش پاسخ و/یا بهبود رزولوشن تصاویر دریافتی از حسگرهای فعلی دارای قابلیت کنترل از راه دور مورد استفاده در صنعت نفت و گاز، نوید بخش هستند. حسگرهای نانومواد به حسگرهای مولکولی و مبتنی بر ماده (material-based sensors) اطلاق می شود و بیشتر آنها نیاز به بازیابی و بازرسی دارند. این حسگرها زمانیکه در معرض تغییرات ناپیوسته شرایط فیزیکی و شیمیائی مخزن قرار

می گیرند، یک تغییرحالتی که قابل شناسایی است بروز می دهند. همچنین ابزارهای میکرو و نانوالکترونیک خواص مخزن را اندازه گیری نموده و اطلاعات را به سر چاه انتقال می دهند. محققان دانشگاه رایس، نانوگزارشگرهائی (nano reporter) را طراحی نموده اند که در حقیقت حسگرهای نانومواد بر پایه نانومواد کربن (خوشه های کربنی آبدوست یا HCCs و سیلیکا می باشند. این نانوگزارشگرها می توانند شرایط محیطی موضعی که در آن قرار دارند را احساس و ثبت کنند و حتی ممکن است این نانوگزارشگرها دارای قابلیت جداسازی ردیاب های شیمیائی، رادیواکتیو باشند و غلظت آنها را بر اساس دما، زمان و نیز خصوصیات محلول (آبی و یا هیدروکربنی) که به آن وارد می شوند تغییر دهند و بدین ترتیب نوعی پروفایل از محیط داخل مخزن تهیه می شود. محققان دانشگاه Boston نیز در حال بررسی حسگرهای نانومواد آستانه فشار بر پایه غشاهای گرافن می باشند. در حقیقت گرافن یک تک لایه از جنس کربن است که در برابر نفوذ گاز ناتراوا می باشد. لایه های گرافن از لحاظ نوری، الکتریکی و مکانیکی در محیط های بازی پایدار بوده و می توانند به گونه ای تنظیم شوند که در برابر آستانه فشارهای متفاوت تغییر شکل دهند.

همچنین از آنجائیکه فرآیند ازدیاد برداشت نفت (EOR) یکی از مهمترین عملیات در افزایش برداشت از مخازن به شمار میرود، محققان در تلاش هستند تا با استفاده از حسگرهای جدید که نقشه مناسبی از ساختار درونی مخزن بدست می دهند، افزایش تولید را به گونه ای مناسب و علمی بهبود بخشند. عملیات سیلاب زنی به مخازن یکی از روش های بکار رفته در افزایش بهره برداری است که موفقیت آن به شدت تابع محیط درونی مخزن است که بر روی جریان آب تاثیر می گذارد. شکل گیری مسیرهای ترجیحی و مناسب برای حرکت آب درون مخزن، نیاز به دانستن شرایط فیزیکی و شیمیائی زیر زمین داشته و بر بازده عملیات سیلاب زنی موثر است. در گذشته مسیرهای جریان توسط ردیاب های ایزوتوپ تعیین می شدند که بصورت مستقیم در عملیات سیلاب زنی به مخزن تزریق می شدند. محدودیت این روش در آن است که تنها مشخصه های جریان را بدست می دهد در حالیکه دانستن خصوصیات فیزیکی و شیمیائی مخزن نیز اهمیت بسیار دارد و علاوه بر این زمانیکه مخزن دارای

شرایط سختی از لحاظ دما و فشار باشد، کارآئی این ردیاب ها پائین می آید. در این راستا مطالعات نشان می دهد که استفاده از نانومواد غیر آلی با خصوصیات حسگری پیشرفته می تواند این مشکل را برطرف نماید. برای مثال Turkenburg و همکارانش نوعی نانوحسگر بر اساس نقاط کوانتومی Inp/ZnS و خوشه های اتمی نقره توزیع شده در محلول آبی طراحی نمودند که علاوه بر خاصیت شفافیت و نورانی بودن، دارای خواص بهینه یک حسگر در فرآیند سیلاب زنی مخازن نیز می باشد. زمانیکه از نانوحسگر مبتنی بر نقاط کوانتومی و نانوذرات نقره در شرایط شبیه سازی شده مخزن (دارای میزان زیادی از نمک، $+2Ca$ ، pH بالا، دمای بالا، نفت و جامدات) استفاده شد، نتایج بسیار مثبتی از قدرت حسگرها در تعیین خصوصیات مخزن دریافت گردید.

کاربرد نانوفناوری در تولید مواد و تجهیزات با خواص فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و حرارتی بهبود یافته

زینه کلی ناشی از خوردگی که بصورت سالانه به صنعت نفت و گاز جهان تحمیل می شود در حدود ۱,۳۷۲ بلیون دلار می باشد که ۵۸۹ میلیون دلار از آن صرف خوردگی لوله کشی های سطحی و تجهیزات، ۳۲۰ میلیون برای خوردگی های اساسی و ۴۶۳ میلیون دلار آن صرف لوله های درون چاهی می گردد. از آنجاییکه یکی از بزرگترین نگرانی ها در صنعت نفت و گاز، خوردگی لوله ها می باشد، پوشش دهی و ساخت این قطعات با استفاده از نانوذرات و نانوکامپوزیت ها می تواند سبب افزایش استحکام و پایداری تجهیزات و کاهش استهلاک آنها گردد. در این حالت لوله های دارای نانوپوشش می توانند سبب بهبود فرآیند انتقال مواد خام از طریق افزایش مقاومت لوله در برابر دمای های پایین و افزایش مقاومت آنها در برابر شکل گیری پارافین ها، می گردد. همچنین از آنجائیکه پیش بینی می شود تقاضای انرژی جهانی طی ۳۰ سال آینده تا ۶۰٪ افزایش پیدا کند، لزوم افزایش تولید و بهره برداری از منابع نفتی و گازی و استخراج بیشتر سیالات هیدروکربنی احساس می شود. همچنین امروزه عملیات اکتشاف بیشتر در نواحی دور از دسترس و دارای شرایط سخت انجام می شود که همین امر کنترل فرآیند خوردگی تجهیزات را مشکل تر می سازد و نیاز به تولید مواد و تجهیزات با خواص فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و حرارتی بهبود یافته را ملموس تر می کند. نانوفناوری می تواند طی بخش های ذکر شده به فرآیند تولید کمک کند:

۱) افزایش کارآئی و پایداری در تجهیزات حفاری، مواد لوله ای و بخش های دوار

۲) بهبود کشپار ها (elastomers) که در فرآیند حفاری عمیق در محیط های دارای دما و فشار بالا کاربرد دارند

۳) بهبود پایداری تجهیزات سخت در شرایط دما و فشار بالا

۴) افزایش طول عمر تجهیزات با افزایش مقاومت خوردگی، افزایش چسبندگی و مقاومت سایشی

۵) افزایش توانمندی، طول عمر و انعطاف پذیری مته حفاری، واشر ها، کلاهدک و لوله ها

استفاده از مواد نانو ساختار در این حیطه را می توان به بخشهای استفاده از نانوکامپوزیت ها، پوشش های نانوکامپوزیتی، نانوذرات و نانوروان کننده ها تفکیک نمود که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

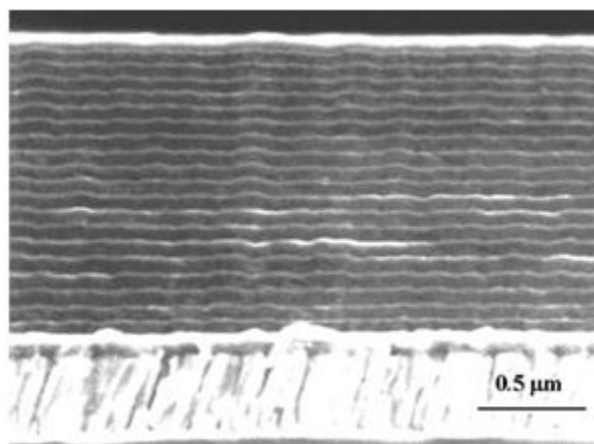
استفاده از نانوفناوری در تولید موادی با خواص بهبود یافته مکانیکی، شیمیائی، حرارتی و غیره؛ قابل

استفاده در صنایع بالادستی نفت و گاز

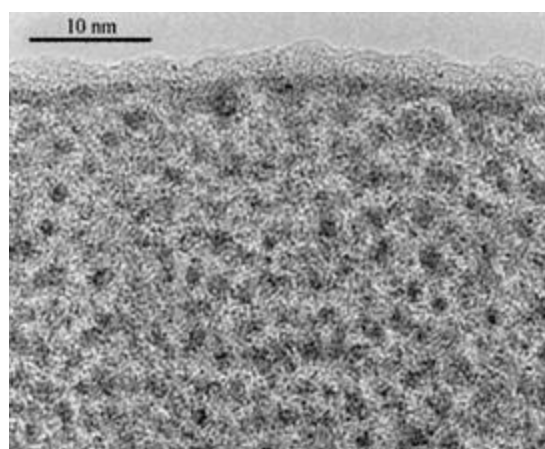
پوشش های نانوکامپوزیتی

استفاده از پوشش های نانوکامپوزیتی منجر به ظهور نوآوریهای مناسبی در زمینه مهندسی سطح شده که در جهت بهبود معایب فیزیکی و شیمیائی مواد ایجاد گردیده است. در این زمینه انواع روشهای مختلف پوشش دهی جهت کاهش اصطکاک، بهبود خواص حرارتی و الکتریکی، افزایش مقاومت خوردگی و سایش و غیره در شرایط سخت عملیاتی مورد استفاده قرار گرفته اند. اغلب ترکیباتی که در گذشته توسط روش های معمولی تحت پوشش دهی قرار می گرفتند، امروزه توسط فیلم های نانوکامپوزیتی و نانو ساختار به دلیل پایداری بالا و سختی مکانیکی مناسب، مقاومت در برابر اکسایش و خوردگی و نیز دارا بودن سطوح لغزنده قابل انطباق در محیط های گوناگون جایگزین شده اند. به دلیل دارا بودن اندازه دانه های (grain size) بسیار کوچک، سطح نانوکامپوزیت ها و یا

مواد پوشش دهی شده توسط نانولایه ها بسیار صاف تر از سطوح معمولی است و این مواد دارای صفحات کریستالی منظم و بدون عدم یکنواختی می باشند. همچنین به دلیل طبیعت نانوساختاری و کامپوزیتی، اینگونه پوشش ها می توانند در گستره وسیعی از خواص فیزیکی، شیمیایی، حرارتی، مکانیکی و غیره تولید شوند. اکثر تکنیک های لایه نشانی و پوشش دهی نانوکامپوزیت ها امروزه توسط فرآیند کند و پاش (sputtering) و یا رسوب دهی فیزیکی بخار (PVD) انجام می گیرد. دو نمونه از نتایج این نوع لایه نشانی در شکل های ۵ و ۶ نشان داده شده است.



شکل ۵- تصویر میکروسکوپ الکترون عبوری (TEM) از نانولایه های Ti/C



شکل ۶- تصویر میکروسکوپ الکترون عبوری (TEM) از فیلم نانوکامپوزیتی W/C:H

امروزه محققان تلاش های بسیاری در جهت استفاده از پوشش دهی توسط نانو ساختار ها انجام داده اند. برخی از این پوشش های نانو ساختار دارای چندین فاز فلزی و سرامیکی بوده و برخی نیز از لایه های چندگانه نانومتری و یا ابر شبکه های (superlattices) نانومتری تشکیل شده اند. این فرآیند پوشش دهی غالباً توسط رسوب دهی فیزیکی بخار (PVD) صورت می گیرد و به دلیل ساختار نانومتری و خواص منحصر بفرد شیمیائی، پوشش ایجاد شده می تواند کارائی های متفاوتی داشته باشد. به گونه ای که برخی فازهای ایجاد شده داخل پوشش می توانند خاصیت ابر سختی (super hardness) را ایجاد نماید و فازهای دیگر سبب کاهش اصطکاک و افزایش هدایت حرارتی و الکتریکی شوند. همچنین افزایه های شیمیائی اضافه شده به این مواد می توانند به گونه ای انتخاب گردند که با محیط های مختلف انطباق پذیری بالائی داشته باشند. همچنین طی جدیدترین تحقیقات محققان توانسته اند با استفاده از لیزر بر روی پوشش های سختی مانند TiN و TiCN، الگوهایی با ابعاد میکرون تا نانومتری ایجاد نمایند.

همچنین کاهش خوردگی در تجهیزات نفتی و گازی یکی از مهمترین دغدغه های محققان می باشد که می تواند منجر به توقف عملیات تولید و در نتیجه اعمال هزینه گردد. نوع خاصی از خوردگی که خوردگی زیر عایق (under insulation corrosion) نام دارد، یکی از مهمترین و هزینه برترین انواع خوردگی در تجهیزات نفتی و گازی می باشد که به دلیل سختی تشخیص می تواند بسیار خطرناک نیز باشد. زیرا در ابتدا لازم است تا عایق جهت بازرسی فلز برداشته شود. در اغلب فرآیندهای خوردگی وجود رطوبت، اکسیژن و انواع یونها سبب خوردگی شده و نیز جنس عایق نیز ممکن است سبب تشدید خوردگی شود. همانگونه که noveiri و torfi نشان داده اند استفاده از نوعی پوشش نانوکامپوزیتی شامل ۳۰٪ اکریلیک رزین پایه آبی و ۷۰٪ نانوکامپوزیت جهت پوشش دهی کامل سطح، سبب جلوگیری از نفوذ هوا به روی سطح و ایجاد خوردگی می گردد و نیز به دلیل خواص آبریز ایجاد شده، رطوبت را نیز از سطح عایق شده دور می سازد. بنابراین این پروسه عایق سازی با استفاده از نانوپوشش

ها از رسیدن رطوبت به سطح لوله های تجهیزات نفتی و گازی جلوگیری نموده و نوع ایزولاسیون بکار برده شده نیز از نوع نیمه شفاف (semi-transparent) می باشد و می توان سطح زیر آن را در لحظه مشاهده نمود.

نانوروان کننده ها

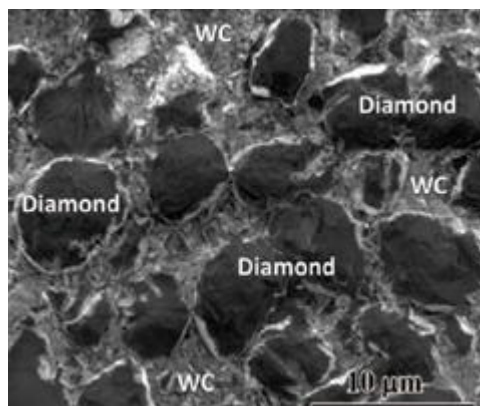
امروزه روان کننده ها (lubricants) کارائی زیادی در صنایع مختلف دارند. بهر حال استفاده از روان کننده های مایع یا گریسی به دلیل مشکلاتی که ایجاد می کنند بویژه مشکلات زیست محیطی، محدود شده است. گزینه بسیار مطلوب در این زمینه این است که پوشش ها و روان کننده ها باهم سازگار شده و مکمل نقش یکدیگر باشند. برای مثال در یک پوشش نانوکامپوزیتی با طراحی ویژه، در حالیکه یک فاز مقاومت بسیاری در برابر سایش و تغییر شکل ایجاد می کند، فاز دوم یا سوم می تواند بصورت ترجیحی با افزایه های موجود واکنش داده و روان کننده ای بالائی جهت محافظت در برابر سایش ایجاد نماید. همچنین امکان طراحی پوشش های نانوکامپوزیتی که بتواند عملکرد روان کننده های مایع موجود را بهبود بخشد وجود دارد. روش دیگر افزودن نانو ذرات به روان کننده ها (نانوروان کننده ها) می باشد. نانوروان کننده ها دارای میلیاردها نانوذره کروی شکل هستند که بصورت قابل توجهی میزان اصطکاک و سایش و نیز خواص فشاری ماده روان کننده را بهبود می بخشند. از مزایای استفاده از این مواد بسته به نوع عملیات می توان به افزایش سرعت و کاهش انرژی مورد نیاز، افزایش طول عمر مواد و کاهش مضرات زیست محیطی با توجه به غیرخورنده بودن مواد اشاره نمود. روان کننده های جامد در حالت بالک یا توده ای طی سالیان متمادی در صنایع مختلف به منظور کاهش اصطکاک و افزایش مقاومت سایشی در شرایط سخت مانند خلا بالا، فشار و دمای زیاد بکار رفته اند. امروزه چندین نمونه از روان کننده های جامد (هم به شکل بالک و هم به شکل فیلم نازک) مانند مولیبدن دی سولفید، بوریک اسید، گرافیت و غیره موجود است که می توان جهت کنترل اصطکاک و مقاومت سایشی در سطوح لغزنده استفاده نمود. امروزه محققان توانسته اند روان کننده های جامد را بر روی انواع سطوح مختلف با ضخامتی در محدوده چندین نانومتر تا چندین میکرومتر ایجاد نمایند. در این حالت فیلم روان کننده جامد تشکیل شده بر روی سطح می تواند ظرفیت تحمل بار و روان بودن سطح را

بهبود داده و بعنوان یک پشتیبان بخصوص در شرایط سخت سطوح اغزنده عمل نماید. روان کننده های جامد و لایه لایه از قبیل مولیبدن دی سولفید، گرافیت، هگزاگونال بورون نیتريد در گذشته جهت ایجاد لغزش مناسب بر روی سطوح بکار رفته اند و امروزه تلاش محققان بر استفاده از نانوپودرهای مولیبدن دی سولفید، تنگستن دی سولفید و گرافیت می باشد. زمانیکه از این مواد در روغن یا گریس روان کننده استفاده می شود، کاهش شدیدی در اصطکاک و مقاومت سایشی سطوح لغزنده مشاهده می شود. در حالت کلی مواد دارای ساختار لایه لایه، مانند گرافیت، مولیبدن دی سولفید و تنگستن دی سولفید می توانند هم بعنوان روان کننده جامد و هم بعنوان افزایه در ساختار روان کننده های مایع بکار برده شوند. مهمترین مزایای استفاده از نانوذرات تنگستن دی سولفید را می توان به کاهش اصطکاک در فرآیند نورد (rolling) و استفاده از این ذرات بعنوان جداساز (spacer) که سبب برطرف نمودن تماس سطحی بین دو فلز می گردد برشمرد.

نانوکامپوزیت ها

اکثر صنایع مانند حفاری نیاز به موادی با سختی فوق العاده زیاد و مقاومت فراوان در برابر سایش دارند. در صنعت حفاری نفت و گاز نیز استفاده از موادی مانند الماس فشرده پلی کریستال (polycrystalline diamond compact) در ساختار مته حفاری رو به افزایش است. اما این مواد دارای معایبی مانند کم بودن پایداری حرارتی می باشند. امروزه محققان توانسته اند با استفاده از نانوکامپوزیت های الماس / سیلیکون کربید و الماس / تنگستن کربید که سختی فوق العاده زیادی (در حدود ۶۰-۴۰ گیگاپاسکال) ایجاد می کنند این معایب را برطرف نمایند. تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی نانوکامپوزیت الماس / تنگستن کربید در شکل ۷ نشان داده شده است. تولید این گونه نانوکامپوزیت ها سبب ایجاد بهبود در عملیات حفاری و بازده آن و نیز کاهش هزینه و انرژی و بخصوص معایب زیست محیطی و تولید کربن می گردد. در حالت کلی می توان گفت مته حفاری مورد استفاده در صنایع نفت و گاز که سخت (hard) است ولی سفت (rough) نیست می تواند در اثر برخورد با سنگ سخت سازند خرد شود. در حالکه مته سفت و غیر سخت می تواند به سرعت ساییده شود. این فرآیند می تواند سبب ایجاد هزینه و

زمان اضافی در عملیات شود. الماس ماده ای است که به دلیل سختی فوق العاده زیادی که دارد (super hardness) در اکثر عملیاتی که ساینده‌گی بالائی دارند مورد استفاده قرار می گیرد. ولی متأسفانه به دلیل ترد بودن در معرض شکستگی قرار دارد. این مشکل را می توان با استفاده از قرار دادن ذرات الماس در ماتریس نانوکریستالی سیلیکون کربید برطرف نمود.



شکل ۷- تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) نانوکامپوزیت الماس/ تنگستن کربید

این ماتریس روند شکل گیری ترک هائی که منجر به شکست می شود را متوقف می سازد. در حقیقت این از نوع نانوکامپوزیت ها، سخت ترین و پایدارترین انواع موجود هستند. مکانیسمی که منجر به شکل گیری چنین سختی در نانوکامپوزیت ها می گردد در حقیقت هنوز ناشناخته است، ولی در حالت کلی محققان بر این باورند که نانوکریستال های کوچک که شامل هزاران اتم هستند در لحظه شکل گیری ترک ها از انتشار آنها جلوگیری می کنند. کربید سیلیکون نوعی ماده سرامیکی بسیار سخت می باشد که گرچه به سختی الماس نیست، با سطح آن پیوندهای شیمیائی قوی تشکیل داده و ذرات الماس را مانند یک چسب قوی در کنار یکدیگر نگاه می دارد. اغلب دانه های الماس دارای ابعادی در حدود میکرومتر هستند و در هر سانتی متر مکعب از نانوکامپوزیت تشکیل شده میلیاردها دانه الماس وجود دارد (شامل نانوکریستال های کربید سیلیکون واقع شده در میان الماس هائی که از آنها صدها بار بزرگتر هستند). در این حالت ترک های ایجاد شده در دانه های الماس نمی توانند تمام کامپوزیت

را بشکنند، زیرا ماتریس کربید سیلیکون نانوکریستالی که ترک ها را پوشش می دهد و به نانوکامپوزیت حاصل، خاصیت مقاومت فوق العاده در برابر شکست می بخشد.

نانوذرات

نانوذرات به دلیل برخورداری از سطح تماس بالا قادرند نفوذ عوامل خوردنده به داخل پوشش را سخت کنند. برای مثال پژوهشگران دانشگاه های امیرکبیر و صنعت نفت 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 پرکاربرد با خواص منحصربه فرد فیزیکی-مکانیکی و ضد خوردگی است. از این پوشش جهت کاهش نرخ خوردگی فلزات در معرض محیط های خوردنده استفاده می گردد. نانوذرات اکسید روی به دلیل اندازه ذرات پایین و سطح ویژه بالا قادرند تا یک سد فیزیکی در برابر نفوذ عوامل خوردنده به درون پوشش و به سطح فلز ایجاد نموده و زمان رسیدن این عوامل خوردنده را به سطح فلز طولانی تر نموده و 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 هیدرولیتیکی (تخریب در حضور آب) شده و 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.

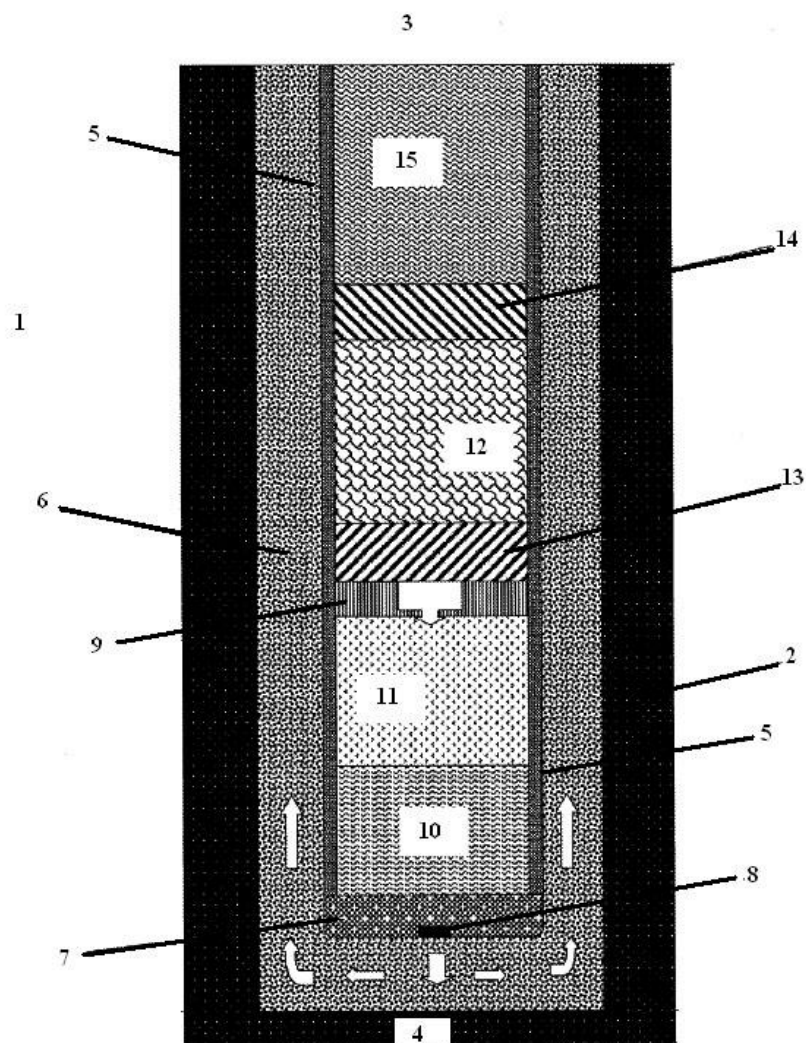
همچنین یکی دیگر از کاربردهای بسیار مهم نانوذرات در صنایع بالادستی نفت و گاز را می توان استفاده از آنها بعنوان افزایه در ساختار ماده لحیم کننده در فرآیند جوشکاری تجهیزات در نظر گرفت. در محیط های سخت عملیاتی، شکست ناشی از خستگی تجهیزات (fatigue failure) در مقاطع لحیم شده یکی از معضلات اساسی می باشد. در این حالت افزایش استحکام منطقه لحیم شده با استفاده از افزودن نانوذرات و پایدار نمودن ساختار دانه ها سبب بهبود پایایی قطعات می گردد. امروزه محققان از دو نوع خاص نانوذرات جهت بهبود لحیم استفاده

می کنند. نوع اول آنها از عناصر واکنشگر مانند نیکل یا نقره تشکیل شده اند. ولی نقطه ضعف این ذرات آن است که این مواد در نهایت و بخصوص در دماهای بالا با لحیم وارد واکنش شده و پایداری جوش را پائین می آورند. نوع دوم از ذراتی که مورد استفاده قرار می گیرد از مواد پایدار و غیرواکنشی شامل تیتانیا (2TiO) تشکیل شده است که حتی در دماهای بالا نیز پایدار می باشند. بهر حال پخش این نوع ذرات در لحیم مشکل می باشد. امروزه محققان به این نتیجه رسیده اند که استفاده از نانوذرات هسته - پوسته ای شامل یک هسته خنثی و یک پوسته ای که می تواند لحیم را تر کند (solder wettable) موثر خواهد بود. در این حالت از سیلیکا بعنوان هسته و از فلزات نجیبی مانند طلا، نقره و پالادیوم نیز بعنوان پوسته استفاده می شود.

کاربرد نانوفناوری در بهبود سیمان و سیال حفاری

در حالت کلی عملیاتی که به منظور تولید سیال هیدروکربوری انجام می گیرد را می توان به اکتشاف، حفاری، تولید و استخراج و نیز فرآیندهای ازدیاد برداشت تقسیم بندی نمود که هر کدام از آنها دارای روش های متعددی جهت بهبود فرآیند می باشند. عملیات حفاری در حقیقت بخش اولیه دسترسی به سیال درون مخزن می باشد و توسعه مناسب این عملیات، نقش چشمگیری را در افزایش بازده تولید ایفا می کند. در این میان سیالات حفاری موسوم به drilling fluids و یا drilling muds شاهرگ اصلی یک عملیات موفقیت آمیز حفاری می باشند. هزینه یک سیستم سیال حفاری بخش عمده ای از هزینه حفر یک چاه جدید را تشکیل می دهد و به همین دلیل استفاده از سیالات مفیدتر و بهبود یافته بخش مهمی از مطالعات محققان را تشکیل می دهد. سیال حفاری باید توانایی مناسبی در خنک کردن مته حفاری، روانسازی لوله های گردان حفاری، پاکسازی مناسب چاه و غیره داشته باشد. در غیر اینصورت مشکلاتی از قبیل هرزروی، آسیب سازند، چسبندگی لوله ها، نیروهای دراگ و تنش بالا پدید می آید. این مشکلات بخصوص در چاه هائی با دما و فشار بالا بیشتر دیده شده است. بنابراین دستیابی به سیالی که مقاومت بالائی در شرایط دما و فشار بالا نشان می دهد در این حیطه بسیار مهم است. اصولا ویسکوزیته، دانسیته سیال حفاری فاکتورهای کلیدی هستند که رفتار سیال را کنترل می کنند و باید در طول عملیات ثابت

باقی بمانند. همچنین در عملیات سیمانکاری چاه نیز با استفاده از ترکیبات پیشرفته در ساختار سیال حفاری و سیمان، می توان بازده و بهره وری چاه را تا حدود زیادی بهبود بخشید. اغلب از سیمانکاری جهت ثابت سازی و استحکام دیواره چاه حفر شده استفاده می گردد. در این حالت سیمان سبب چسبیدن سطح خارجی لوله درون چاه به دیواره می گردد و بدنه چاه را نیز محکم نموده و از ورود سیالات ناخواسته موجود در لایه های مختلف زمین به درون چاه جلوگیری می کند. همچنین جلوگیری از خوردگی بدنه خارجی لوله ها و نیز ورود سیالات اضافی به قسمت های سیمانکاری شده از مزایای استفاده از سیمان در دیواره چاه می باشد. همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، عملیات حفاری و سیمانکاری چاه دارای اجزای ذیل می باشد.



شکل ۸ شمای کلی چاه در حین عملیات حفاری و سیمانکاری

۱: چاه

۲: سازند

۳: سر چاه (wellhead)

۴: کف چاه (bottom-hole)

۵:لوله جداری(casing)

۶:فضای حلقوی بین دیواره خارجی لوله جداری و سازند

۷:کفشک راهنما

۸:روزنه

۹:طوقه شناور

۱۰:سیال حفاری

۱۱:سیال جدا کننده

۱۲:دوغاب سیمان

۱۳:پلاگ پائینی

۱۴:پلاگ بالائی

۱۵:سیال جابه جائی

طبق شکل ۸، عملیات حفاری از سر چاه (wellhead) شروع شده و تا رسیدن به سازند ادامه می یابد. پس از هر مرحله حفاری، رشته های حفاری (drill string) برداشته شده و لوله جداری (casing) به درون چاه رانده می شود. در این حالت نوعی ناحیه حلقوی بین سطح خارجی لوله جداری و دیواره داخلی چاه ایجاد می گردد. معمولاً نوعی کفشک راهنما و متمرکز کننده (centralizer) به انتهای رشته های لوله جداری متصل می کنند این کفشک راهنما دارای یک روزنه است بطوریکه جریان سیال در داخل لوله جداری و به سمت پایین حرکت کرده و از طریق این روزنه بیرون می آید و به درون منطقه حلقوی و به سمت بالا جریان می یابد. به علاوه نوعی طوقه شناور می تواند در لوله جداری و در نزدیکی کف چاه قرار داده شود تا از برگشت جریان تا به داخل لوله

جداری جلوگیری نماید. همچنین سیال حفاری موجود در چاه در حین قرار دادن لوله جداری را می توان با استفاده از سیال حفاری (یا سیال جایگزین مناسب دیگر) با حرکت دادن به سمت پایین از درون رشته های لوله جداری، از داخل طوقه شناور و روزنه کفشک راهنما و نهایتا با حرکت دادن به سمت بالا در ناحیه حلقوی، از چاه خارج نمود. از آنجائیکه دوغاب های سیمان اغلب با سیالات حفاری ناسازگار هستند، در حین عملیات سیمانکاری می توان پس از سیال حفاری از سیال جداکننده (spacer fluid) استفاده نمود. در این حالت پس از سیال جدا کننده، دوغاب سیمان با قرارگرفتن در بین دو پلاگ جامد بالائی و پلاگ نفوذپذیر/تخریب پذیر پایینی وارد لوله جداری می شود. سپس سیال جایگزین (بطور مثال سیال حفاری) – که گاهی اوقات سیال جدا کننده نیز پشت سر آن است-سبب اعمال نیرو به سیستم پلاگ بالایی-دوغاب سیمان- پلاگ پایینی و حرکت آن به سمت پائین لوله جداری می شود تا جائیکه پلاگ پایینی به طوقه شناور برسد. در این نقطه پلاگ پایینی دچار شکست شده و دوغاب سیمان از درون طوقه شناور، از آنجا به داخل روزنه و نهایتا به داخل ناحیه حلقوی جریان می یابد، تا زمانیکه پلاگ بالائی به پلاگ پایینی بچسبد.

کاربرد نانوفناوری در بهبود سیال حفاری و سیمانکاری چاه

استفاده از نانوذرات و نانو سیال در بهبود خواص سیال حفاری

محققینی چون Abdo و Haneef ۱ نشان داده اند که استفاده از نانوذرات سبب بهبود خواص سیال حفاری می گردد. طبق مطالعات ایشان، استفاده از سیال حفاری بر پایه نانوذرات علاوه بر بهبود خواص عملیات سبب کاهش هزینه ها به نحو چشمگیری می شود. در این حالت به این سیالات اصطلاحا سیال حفاری بهبود یافته از طریق نانوفناوری Nano (Enhanced Drilling Fluids یا NEDF) اطلاق می شود. اصولا مزایای استفاده از NEDF را می توان در چندین مورد برشمرد:

هزینه

استفاده از سیالات حفاری در حالت معمولی نیاز به اضافه نمودن افزایه هائی دارد که اغلب گران بوده مقادیر زیاد و شرایط خاصی را نیز می طلبند. در حالیکه با استفاده از نانوذرات، کنترل پذیری سیال و میزان استفاده، بهینه شده و هزینه ها نیز به نحو چشمگیری کاهش می یابد. همچنین با استفاده از این نوع سیالات پیشرفته، میزان برداشت از مخازنی که دارای شرایط خاص مثل عمق زیاد هستند افزایش می یابد و با کاهش زمان غیر مفید در طول پروسه حفاری به دلیل رفع مشکلات، در زمان و هزینه ها صرفه جوئی خواهد شد.

فنی

از لحاظ فناوری نیز با استفاده از NEDF ها می توان حفاری های نوین مانند افقی/جهت دار را نیز بهبود بخشید و حفاری زیر تعادلی (under-balanced drilling) را کنترل کرد.

رفع مشکل چسبندگی لوله ها (pipe sticking)

استفاده از NEDF ها در عملیات حفاری سبب شکل گیری یک نانو فیلم بر روی سطح رشته های حفاری شده و از این رو باعث کاهش تمایل چسبندگی گل کبره (mud cake) به سطوح شده و مشکلات چسبندگی لوله ها را تا حدود زیادی کاهش می دهد.

رفع مشکل هرزروی گل حفاری

(lost circulation) در حین استفاده از گل حفاری مقداری از سیال آن به دلیل وجود کانال ها، شکست ها و غیره به درون سازند رفته و سیال رفته رفته سنگین تر شده و گردش آن در چاه و انتقال ذرات داخل چاه به سطح زمین سخت تر می گردد، در حالیکه معمولاً کنترل خاصی روی این مسئله وجود ندارد. با استفاده از نانوذرات، میزان توانائی حمل ذرات درون چاه توسط سیال بهینه شده و امکان تثبیت فشار و دانسیته سیال تحت شرایط متنوع عملیاتی بوجود می آید که در نهایت سبب کاهش هرزروی سیال می گردد.

رفع مشکل فرسایش دیواره چاه

زمانیکه سیال در چاه با موانع برخورد می کند ممکن است دچار چرخش شده و در این حین بدنه چاه را دچار فرسایش کند. به منظور کاهش این اثرات باید گرانروی و سرعت سیال بهینه باشد که با استفاده از نانوذرات می توان به این هدف دست یافت. به گونه ای که مقایسه یک سیال پایه معمولی و بدون افزایه، یک سیال پایه دارای افزایه و یک سیال پایه دارای نانوذرات (نانو سیال)، نشان دهنده این است که در نانوسیال، فرسایش دیواره چاه همزمان با افزایش گرانروی سیال و کاهش سرعت آن، کمترین مقدار را دارد.

کاهش نیروی کشش و گشتاور درون چاه

اغلب به دلیل نیروی اصطکاک مابین رشته های حفاری و دیواره چاه، نیروهای کششی و گشتاوری مشکل سازی در چاه پدید می آید که سیالات حفاری معمولی قادر به کاهش آنها نمی باشند. در حالیکه NEDF ها یا نانوسیال ها به دلیل توانائی تشکیل فیلم های نانومتری بر روی سطوح، قادر به کاهش مقاومت اصطکاکی بین لوله ها و دیواره چاه می باشند.

پایداری حرارتی

همانگونه که می دانیم گرانروی یک سیال حفاری و از آنجا توانائی آن در پیشروی درون چاه با افزایش دما کاهش می یابد. در حالیکه سیال حفاری مناسب باید در شرایط دما و فشار بالای درون چاه، قابلیت ها و خواص خود را تا حد ممکن حفظ کند. در این حالت نانوذرات که دارای هدایت حرارتی فوق العاده می باشند، در انواع، ترکیبات و اندازه های متنوع می توانند منجر به تولید نانوسیالاتی شوند که دارای گرانروی مشخص و از لحاظ دمائی پایدار می باشند.

همچنین Lee و همکارانش توانستند نشان دهند که استفاده از سیالات حفاری هوشمند دارای قابلیت کنترل مغناطیسی به صورت درجا (in-situ) ، می تواند سبب کنترل گرانروی سیال تحت یک میدان مغناطیسی گردد.

در این راستا نشان داده شده است که با استفاده از نانوذرات مغناطیسی (اکسید آهن) و بنتونیت، می توان سیال حفاری بسیار مناسبی که دارای خواص رئولوژیکی و انتقال حرارت چشمگیری است تولید نمود. در این حالت دو نوع سیال حفاری متفاوت مورد بررسی قرار گرفته اند:

۱ (سیالاتی بر پایه ذرات هیبریدی که در آنها نانوذرات مغناطیسی در فضاهای بین لایه ای ذرات بنتونیت قرار گرفته اند.

۲ (سیالاتی بر پایه مخلوط های ساده نانوذرات و ذرات بنتونیت

بررسی مغناطیسی این سیالات نشان می دهد که ویسکوزیته آنها می تواند با افزایش شدت میدان مغناطیسی به طرز چشمگیری تحت تاثیر قرار بگیرد. طبق مطالعات، زمانیکه سیال مغناطیسی بر پایه ذرات بنتونیت و نانوذرات آهن تحت تاثیر یک میدان مغناطیسی قرار می گیرد، ذرات دچار بازآرایی شده، برهمکنش نیروهای دور برد (long-range)، نیروهای جاذبه و اندروالس و سایر نیروها مجدداً به تعادل رسیده و امکان کنترل وسیعی روی پارمترهای مختلف از جمله گرانشی سیال، دانسیته و هدایت حرارتی آن بوجود می آید.

استفاده از نانوکامپوزیت ها در ساختار سیال حفاری

همانگونه که Bicerano در پتنت خود ثبت نموده است، می توان با استفاده از نانوکامپوزیت های گرماسخت (Thermoset) و افزودن آنها به سیالاتی مانند سیال حفاری از هرزروی سیال به درون سازند جلوگیری کرده و نیز مقاومت دیواره چاه را نیز افزایش داد. هرزروی سیال به اصطلاح به معنای تمایل فاز مایع سیال حفاری جهت عبور کردن از میان فیلتر کیک تشکیل شده، و ورود به داخل سازند می باشد. در این حالت اغلب هرزروی پائین و شکل گیری لایه نازکی از فیلتر کیک که دارای تراوایی کمی است از نشانه های عملکرد مثبت یک سیال حفاری می باشد. این نوع افزایه های سیال حفاری را اغلب بصورت چندکاره انتخاب می کنند. برای مثال به گونه ای که هم هرزروی و هم افزایش مقاومت دیواره چاه بهینه گردد. ذرات نانوکامپوزیتی گرماسخت مورد استفاده در این

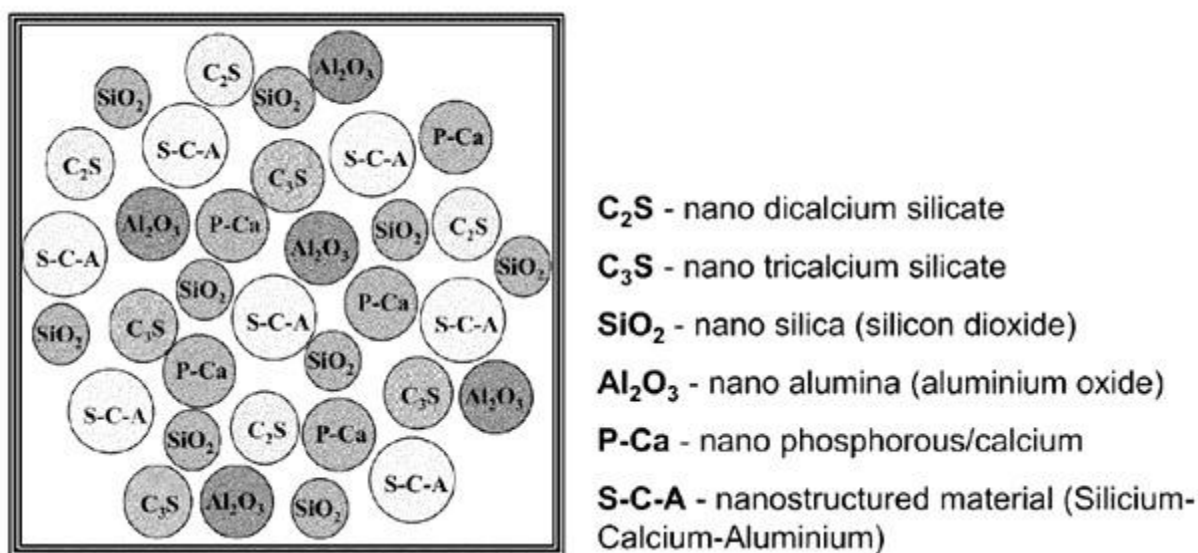
روش می توانند دارای شکل های متفاوت پودری، گلوله ای، دانه ای، فیبرهای کوتاه، میله ای، سیلندری و غیره و نیز دارای اندازه های متنوع باشند. این گونه نانوذرات مقاومت حرارتی و تجزیه ای و سختی مناسبی در شرایط نامناسب از خود نشان می دهند. همین خواص منحصر به فرد آنها را تبدیل به مواد مناسبی برای استفاده در شرایطی با دما و فشار بالا می گرداند. این ذرات می توانند دارای وزن مخصوصی بین ۰,۷۵ تا ۱,۷۵ بوده و با افزایش های دیگری نظیر کلسیم کربنات، لیتیم کربنات، سنگ آهک، سنگ مرمر و برخی اکسیدهای فلزی مورد استفاده قرار گیرد.

استفاده از نانوذرات در بهبود خواص سیمان

اصولا عملیات سیمانکاری چاه به منظور بهره برداری موثر و ایجاد ارتباط مابین سر چاه و سیال موجود در مخزن انجام می گیرد. در این میان عملیات سنتی سیمانکاری با مشکلاتی مانند پائین بودن مقاومت مکانیکی سیمان، پائین بودن مقاومت مکانیکی سازند، مهاجرت گاز و سیال ناخواسته و نیز برخورد با گاز ترش درون مخزن، رو به رو می باشد. همچنین سیمانکاری اولیه در چاه ممکن است به دلیل تنش های ایجاد شده در اثر فشار و دمای بالا و نیز حرکت لوله ها دچار نقصان شود. این گونه تنش ها اغلب در اثر دما و فشار بالای سیال درون چاه و نیز عملیات آزمایش ، مشبک کاری، تزریق سیال یا تولید سیال ایجاد می گردند. برای مثال زمانیکه از بخار داغ برای افزایش تولید از چاه استفاده می گردد و یا خود سازند دارای دمای بالائی است، شرایط موجود در چاه سبب انبساط لوله ها هم در جهت شعاعی و هم در جهت طولی و در نهایت ایجاد تنش در ماده سیمانی بین دیواره چاه و لوله ها می گردد. بنابراین تلاش های محققان در جهت تولید موادی است که استفاده از آنها در ساختار سیمان سبب افزایش سختی و نیز مقاومت گردد و همچنین در برابر شرایطی که منجر به ایجاد ترک خوردگی در دیواره چاه و نیز در خود سیمان می شود مقاومت کند. این شرایط می تواند حرکت سازند (formation shifting) ، فشار لایه های فوقانی (overburden pressure) ، نشست خاک (subsidence) ، خزش زمین ساختی (creep) (tectonic)، حرکت لوله (movement pipe) ، حفاری (drilling) و سایر عملیات درون چاهی باشد. همچنین

یکی دیگر از مشکلات مهمی که بر سر راه فرآیند سیمانکاری بهینه در چاه وجود دارد، مهاجرت ناخواسته گاز از سازند زیرزمینی به درون ترکیبات سیمانی می باشد. این مشکل ممکن است در حین سیمانکاری و قرار دادن مواد سیمانی در داخل چاه و در اثر برخورد سیالات پر فشار درون چاه با این مواد صورت گیرد. این پدیده ممکن است سبب ایجاد تونل هائی درون ماده اولیه و نرم سیمانی شود که پس از سخت شدن مقاومت آن را کاهش می دهند. مشکل مهم دیگر می تواند در خصوص برخورد سیالات خورنده با مواد سیمانی باشد. برای مثال وجود مواد اسیدی داخل چاه و یا گاز دی اکسید کربن که جهت ازدیاد برداشت مورد استفاده قرار می گیرد و در اثر تماس با آب اسید کربنیک تولید می کند سبب ایجاد آسیب در ساختار سیمان می گردد. همچنین اسید کربنیک موجود در چاه می تواند سبب تغییر سطح سیمان به کلسیم کربنات شود، پروسه ای که از آن به کربناسیون (carbonation) یاد می شود. سپس کلسیم کربنات تشکیل شده با اسید کربنیک موجود در محیط واکنش داده و درون آن حل می شود. این مشکل بخصوص در سیمان هائی که دارای تراوائی زیاد هستند (قبل از سخت شدن درون چاه در اثر برخورد با سیالات پر فشار، ساختار درونی آنها دارای حفرات و تونل های ریز و درشت شده است) شدیدتر است و نیاز به استفاده از ماده ای که به ترکیبات اولیه سیمان اضافه شده و این نقائص را کاهش دهد به شدت احساس می گردد. امروزه محققان دریافته اند که استفاده از نانوذرات در ساختار سیمان حفاری می تواند مشکلات موجود در مسیر سیمانکاری چاه را تا حدود زیادی کاهش دهد. چنانچه Roddy و همکارانش توانستند نشان دهند که استفاده از نانورس هائی (nano-clays) مانند نانو- بنتونیت (nano-bentonite) و نانو- مونت موریلونیت (nano-montmorillonite) سبب بهبود ساختار سیمان مورد استفاده در عملیات حفاری چاه می گردد. نانو- مونت موریلونیت دارای ساختاری لایه ای شکل است و ابعاد طولی و عرضی آن بسیار بیشتر از ضخامتش می باشد. در حقیقت این ماده دارای ساختار سه لایه ای از آلومینا است که در بین دو لایه از سیلیکون به حالت ساندویچی قرار گرفته است. این ماده یکی از اجزای اصلی خاکستر های آتشفشانی است که دارای قابیبت تورم تا چندین برابر وزن و حجم اولیه در اثر جذب آب می باشد. همانگونه که Roddy و همکارانش ذکر کرده اند، استفاده از نانو-کلی ها در ساختار سیمان سبب بهبود خواص آن می گردد. برای مثال استفاده از

نانو-رس ها در ساختار سیمان نسبت به ذرات کلی بزرگتر، 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. نانو-رس ها را می توان به اشکال مختلفی مانند ذرات خشک و پودری شکل و یا سوسپانسیون های کلئیدی در ساختار سیمان بکار برد. همچنین Mercado و همکارانش به بررسی نانو-افزایه ها (nano-additives) در ساختار سیمان بکار رفته در عملیات سیمانکاری چاه پرداخته و نشان داده اند که استفاده از ترکیب نانوذرات $3\text{O}_2\text{-CaO-Al}_2\text{SiO}_3$ و حداقل یکی از نانوذرات 2SiO_2 ، 2CaO.SiO_2 ، 2CaO.SiO_3 ، $3\text{O}_2\text{Al}$ و P-Ca و ترکیبی از آنها، به نحو چشمگیری خواص مکانیکی و شیمیائی سیمان تشکیل شده را بهبود می دهد. ترکیب افزایه های مورد استفاده در این زمینه در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹- یک ترکیب خاص از نانو-افزایه های بکار رفته جهت بهبود خواص سیمان در عملیات سیمانکاری چاه

استفاده از نانوذرات در بهبود خواص سیال جدا کننده (spacer)

یکی از نکاتی که همواره می تواند در عملیات سیمانکاری مد نظر قرار گیرد، مسئله عدم تناسب دوغاب های سیمان و سیالات حفاری می باشد. زیرا اغلب این دو ماده از لحاظ شیمیائی با هم نامتناسب می باشند. در حقیقت اختلاط چنین سیالات نامتناسبی می تواند سبب شکل گیری ژل های با ویسکوزیته بالا گردند که جابه جا کردن آنها درون چاه مشکلات بسیاری را ایجاد می کند. از این جهت و به منظور جلوگیری از اختلاط دو سیال نامتناسب از سیال جدا کننده (spacer) استفاده می شود. از این رو 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 گرانوله و گل کبره های موجود در دیواره چاه کمک کند. معمولاً ماده جا به جا کننده شامل یک سیال بر پایه محلول آبی و یک عامل متراکم کننده است. در این راستا Koons توانست نشان دهد که افزودن نانوذرات به منظور بهبود خواص سیال جدا کننده و تصحیح دانسیته و تراکم این ماده به گونه ای که هم با سیال حفاری و هم با دوغاب سیمان در تناسب باشد، دارای کارائی بسیار مناسبی می باشد. در این حالت ماده نهائی از یک سیال پایه و مجموعه ای از نانوذرات با خصوصیات زیر تشکیل می شود:

۱) دارای خلوص بالا باشند

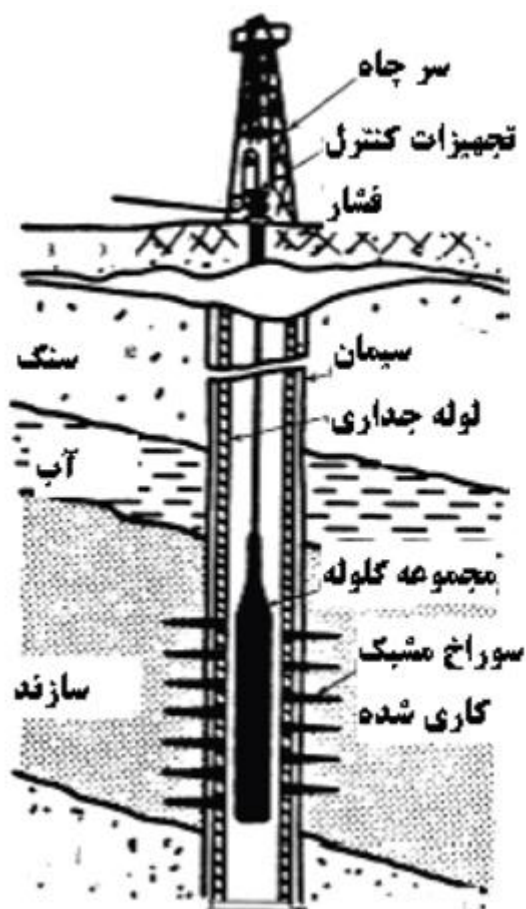
۲) قطر آنها بین ۱۰۰-۱ نانومتر باشد.

۳) در سیال پایه به خوبی توزیع شده باشند.

۴) توانائی افزایش تراکم مخلوط نهائی جداکننده سیمان را داشته باشند، به گونه ای که وزن نهائی مخلوط به دست آمده تابعی از اندازه نانوذرات، میزان آنها و وزن مخصوص آنها باشد.

کاربرد نانوفناوری در مشبک کاری چاه

همانگونه که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، مشبک کاری (Perforation) عملی است که در صنعت حفاری استفاده می‌شود. این عمل جهت سوراخ کردن لوله جداری برای عبور جریان سیال از مخزن به درون ستون چاه می‌باشد و بر اساس نوع مشبک کننده، به روش های مختلفی صورت می گیرد.



شکل ۱۰- نمائی از چاه در حال مشبک کاری

انواع مشبک کننده ها

گلولة های مشبک کننده

در این روش چندین گلولة روی یک تفنگ مخصوص که شبیه به لوله است بسته شده و با رسیدن به عمق مورد نظر، با شوک الکتریکی که از روی چاه اعمال می شود بطرف دیواره فلزی چاه شلیک می شوند گردد. در حقیقت در این روش - که دیگر کاربرد ندارد- مشابه گلولة های تفنگ، پس از انفجار گلولة فلزی از تفنگ خارج و به سمت دیواره فلزی چاه پرتاب می گردد.

لیزر

این روش کاملاً جدید می باشد بطوریکه فناوری آن در دنیا در اختیار شرکت های محدودی قرار دارد. در این روش با استفاده از اشعه قدرتمند لیزر، لوله جداری چاه سوراخ می گردد.

شهاب فلزی (جت) مشبک کننده

همانطور که قبلاً گفته شد عملیات مشبک کاری در ابتدا با استفاده از گلولة های معمولی انجام می گرفت لیکن با پیشرفت تکنولوژی در حال حاضر بیشتر از گلولة های مخصوص یا شهاب فلزی (جت) بدلیل اندازه (قطر سوراخ) و عمق نفوذ بیشتر استفاده می شود. تفنگ مشبک کاری به شکل های مختلفی می تواند فعال گردد، مانند ایجاد یک سیگنال، استفاده از یک خط نوری فیبری، یک خط کنترل هیدرولیکی و یا با استفاده از یک رسانا. در این حالت در حقیقت گلولة از دهانه تفنگ خارج نمی گردد، بلکه در اثر انفجار دیواره فلزی به حالت ذوب در آمده و تغییر شکل داده و در اثر فشار زیاد بصورت جت به خارج از فشنگ راه یافته و بصورت یک شعاع گازی به سمت پوشش جداری چاه حرکت می کند و با سرعت تقریبی ۶۵۰۰ متر در ثانیه با آن برخورد می نماید و با ایجاد فشاری معادل ۵ میلیون پوند بر اینچ مربع و حرارت تولیدی جداره پوششی را سوراخ می کند و از داخل آن و دیواره سیمانی به داخل سنگ مخزن نفوذ کرده و ارتباط چاه با سنگ مخزن را ایجاد می نماید که عمق آن به

طول و پهنای این شعاع گازی بستگی دارد. نحوه مشبک کاری، نوع و اندازه تفنگ انتخاب شده تأثیر مستقیم بر بازده و کیفیت عملیات خواهد داشت. در حال حاضر انواع مشبک کننده ها از این نوع با استاندارد های جهانی وجود دارند که توسط شرکت های سرویس دهنده در حال استفاده می باشند. خوشبختانه در ایران نیز از سال ۱۳۷۴ این نوع گلوله ها توسط صنایع دفاع تولید و توسط شرکت سرویس دهنده ایرانی (ملی حفاری) در چاه های مختلف بکار گرفته شده و نتایج خوبی در بر داشته است.

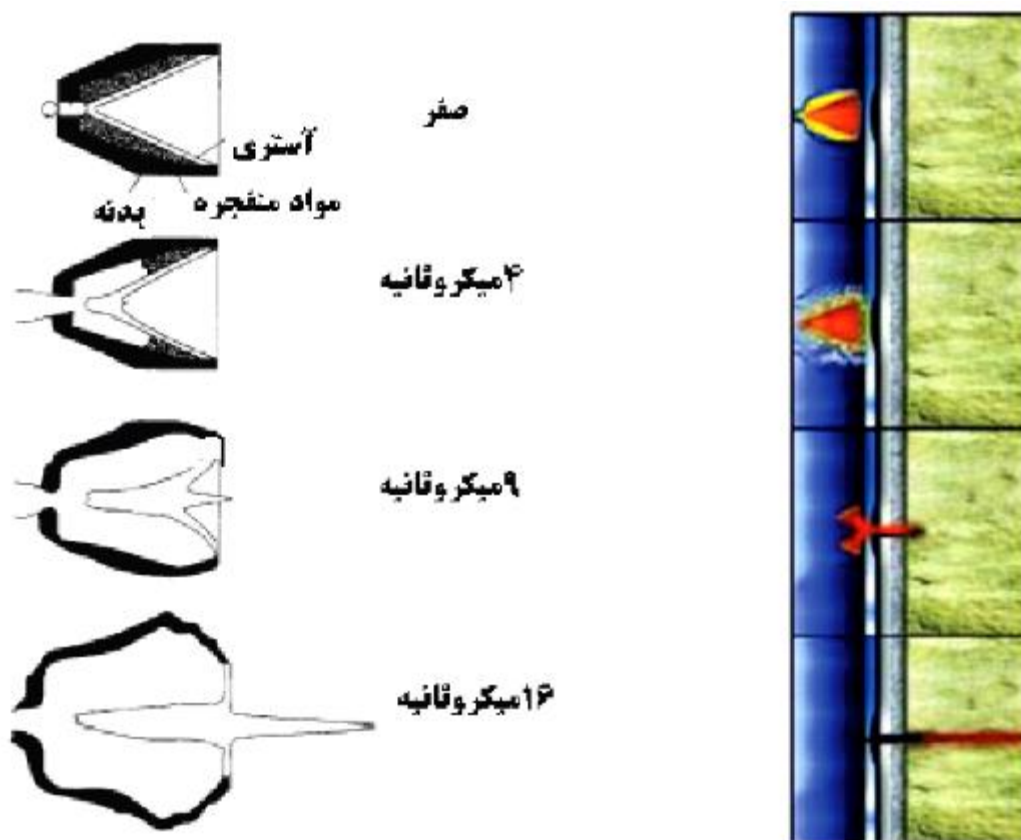


شکل ۱۱- اجزای اساسی یک خرج گود

ساختار خرج گود (shaped charge)

مشبک کاری توسط ریل ها (carriers) که مجهز به گلوله ها (perforator guns) هستند صورت می گیرد. گلوله های مشبک کاری توسط ریل درون لوله جداری قرار می گیرد و سپس ولتاژ به چاشنی اعمال و سبب انفجار فتیله انفجاری می شود. گلوله های مشبک کاری در اثر انفجار ناشی از فتیله، منفجر و جت های کوچکی با سرعت بالا ایجاد می کنند. در واقع گلوله های مذکور نوعی خرج گود (shaped charge) می باشند. شکل ۲ نشان دهنده اجزای اصلی یک خرج گود می باشد. در حقیقت خرج گود، استوانه ای متشکل از ماده منفجره است با حفره ای توخالی در یک انتهای آن و یک چاشنی در انتهای دیگر آن بطوریکه حفره توخالی خرج با یک لایه نازک فلزی (آستری یا liner) پوشانده می شود. پس از شروع انفجار، از نقطه شروع انفجار یک موج کروی به بیرون گسترش می یابد که با سرعت بسیار زیاد حرکت کرده و با رسیدن به آستری جامد، در اثر فشار بالای انفجار به

ماده آستری شتاب داده و باعث انهدام آن می شود. مواد تشکیل دهنده آستری که به شدت تغییر شکل یافته اند به طرف محور خرج گود شتاب گرفته و در آنجا پس از برخورد با یکدیگر جریانی از ذرات پر سرعت بوجود می آورند که به آن جت گفته می شود. جت های ایجاد شده در داخل لوله جداری، سیمان و سازند چاه نفوذ کرده و دیواره چاه را مشبک می کنند. در شکل ۱۲، نحوه تشکیل جت در زمان های مختلف و فرایند مشبک کاری نشان داده شده است. امروزه محققان تلاش های بسیاری را در جهت افزایش بازده این عملیات انجام داده اند که از مهمترین آنها می توان به استفاده از مواد پر انرژی در ساختار ماده آستری اشاره نمود.



شکل ۱۲ تشکیل جت در زمان های مختلف و فرایند مشبک کاری

کاربرد نانوفناوری در زمینه مشبک کاری چاه

استفاده از نانومواد

جنس مواد بکار رفته در ابزار مشبک کاری اهمیت حیاتی در انجام این فرایند دارد و در این میان نانو مواد در این حیطه پتانسیل خوبی جهت بکار گرفته شدن دارد.

استفاده از نانوپوشش ها

در حقیقت نانوپوشش ها گونه ای از لایه های نازک هستند که یا ابعاد آن ها در حد نانو می باشد، و یا زمینه ای (سُل) دارند که ذرات ریز در ابعاد نانو در آن پراکنده شده اند و خواص ویژه ای را به آن می بخشند. یکی از مواردی که در حال حاضر فناوری نانو در آن به طور گسترده و مؤثری مورد استفاده قرار گرفته است، فرآیندهای پوشش دهی و به دنبال آن تولید مواد نانوساختار است. بررسی های انجام گرفته بر روی نانوپوشش ها نشان می دهد که خواص آن ها در بسیاری موارد نسبت به پوشش های معمولی بهبود چشمگیری دارد. نانوپوشش ها در مقایسه با پوشش های میکرومتری از ضریب انبساط حرارتی، سختی و چقرمگی بالاتر و مقاومت بیشتر در برابر خوردگی، سایش و فرسایش برخوردار هستند. تاکنون عمده تحقیقات انجام شده بر روی نانوپوشش ها مربوط به پوشش های با سختی بالا و فوق سخت (Super hard) است. پوشش های فوق سخت پوشش هایی هستند که سختی آن ها بیشتر از ۴۰ گیگا پاسکال است.

انواع نانوپوشش ها

چهار گروه مهم از نانوپوشش ها عبارتند از:

۱) پوشش های دانه ای (nano grade)

۲) پوشش های شبکه ای و چند لایه ای (super lattice)

۳) پوشش های لایه نازک (Thin films)

۴) پوشش های نانوکامپوزیتی

پوشش های نانوکامپوزیتی

در بین چهار نوع از پوشش های نانوساختار، پوشش های نانوکامپوزیتی بیشترین کاربرد را دارند، زیرا با استفاده از آن ها می توان خواص منحصر به فرد شیمیایی و فیزیکی را بر روی سطح قطعات ایجاد نمود. در این پوشش ها که از دو فاز زمینه و تقویت کننده تشکیل شده اند، فاز نانوکریستالی (تقویت کننده) در فاز آمورف (ماده ی زمینه) جاسازی شده است. در این دسته از نانوپوشش ها اندازه ی فاز نانوکریستال و نحوه توزیع آن به درون فاز آمورف بسیار حائز اهمیت می باشد. هرچه اندازه مواد نانوکریستالی کاهش یابد، تشکیل نابجایی ها به تأخیر افتاده و تغییر شکل پلاستیکی کمتر رخ می دهد. توزیع ذرات نیز باید به نحوی باشد که فاصله بین دو ذره نانوکریستالی در حدود نانومتر باشد. چنانچه این فاصله زیاد باشد باعث ایجاد ترک و گسترش آن در ماده زیرلایه می گردد. فاصله بیش از حد کم بین این ذرات نیز امکان ایجاد واکنش بین صفحات اتمی دانه های نانوکریستال را به وجود می آورد. لذا در طراحی و ساخت این پوشش های نانوکامپوزیتی، اندازه، درصد حجمی و توزیع این ذرات فاکتورهای مهمی هستند و تغییر هر یک از این موارد روی چقرمگی و سختی پوشش تأثیر خواهد گذاشت. روش های مختلفی برای پوشش دهی نانوکامپوزیت ها وجود دارد اما اغلب از روش کندوپاش مغناطیسی، پاشش حرارتی و رسوب شیمیایی بخار استفاده می شود.

استفاده از نانوکامپوزیت ها در ساختار تفنگ مشبک کننده

معمولا در چاه هائی با دما و فشار بالا نیاز است تا از تفنگ های مشبک کننده با استحکام بیشتری استفاده گردد و یا برای مثال بدنه تفنگ مشبک کننده با ضخامت بیشتری تولید گردد. در عین حال از آنجا که ضخامت سیستم مشبک کننده دارای محدودیت هائی می باشد و نباید از یک مقدار خاص بیشتر گردد، این افزایش ضخامت در تعداد گلوله های مشبک کننده تأثیر می گذارد و سبب می شود که به دلیل محدودیت فضا لاجرم از خرج گودهای (shaped charges) کوچکتری استفاده گردد. در این حالت امکان نفوذ گلوله ها به داخل سازند کاهش می

یابد. از این رو محققان به بررسی روش های ساخت تفنگ هائی با قابلیت کاربرد در چاه های با دما و فشار بالا، بدون افزایش ضخامت بدنه پرداخته اند. در این راستا استفاده از پوشش های نانوکامپوزیتی با قابلیت استحکام بسیار بالا در ساختار لایه بیرونی و درونی تفنگ های مشبک کننده بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این حالت می توان تمام بدنه تفنگ و یا بخش بیرونی آن را از نانوکامپوزیت هائی بر پایه آهن تهیه کنند. سایر مواد مورد استفاده نیز می توانند بور، کربن، کروم، منگنز، مولیبدن، نیکل، سیلیکون، تنگستن و غیره باشد.

استفاده از مواد نانوساختار

استفاده از مواد نانوساختار در ماده آستری خرج گود

در صنعت نفت و گاز، اغلب با فشردن سازی، پودر فلز آستری را به فرم مخروطی شکل تبدیل می کنند. زمانیکه ماده منفجره دچار انفجار می شود، نیروی ایجاد شده سبب فروپاشی آستری شده و از انتهای خرج با سرعت بسیار زیادی بصورت توده مواد خارج می شود. این جت می تواند ماده هدف را سوراخ کند. در بسیاری از صنایع، هدف این است که جت به عمق بیشتری از ماده هدف نفوذ کند. برای رسیدن به این هدف، یکی از روش ها می تواند افزایش میزان ماده منفجره درون خرج گود باشد. ولی مشکل این روش در این است که مقداری از انرژی آزاد شده توسط انفجار در جهات مختلف و متفرق از جهت اصلی جت پراکنده می گردد و ممکن سبب ایجاد صدمات ناخواسته گردد. در صنعت نفت نیز استفاده از این روش می تواند سبب ایجاد صدمه در دهانه چاه و تجهیزات درون چاهی گردد.

روش دیگر جهت افزایش میزان عمق نفوذ، ایجاد تغییر در مواد مورد استفاده در ساختار آستری می باشد. در گذشته اغلب از فلز مس در ساختار این ماده استفاده شده است ولی امروزه مواد جدیدتری در این حیطه مورد استفاده قرار می گیرند. در حقیقت هدف تولید نوعی ماده آستری واکنش پذیر و دارای ترکیباتی است که در اثر فعال شدن، قابلیت تولید یک واکنش گرمازا را داشته باشند. به منظور دستیابی به این نتایج، ترکیب آستری را اغلب حداقل از دو نوع ماده انتخاب می کنند به گونه ای که با تامین انرژی کافی (میزان انرژی که بیشتر از انرژی

فعالسازی واکنش گرمازاست) وارد واکنش شده و میزان بسیار زیادی انرژی تولید می کند که معمولاً بصورت حرارت نمایان می شود. برای ایجاد واکنش گرمازا، نوعاً ماده آستری از مخلوط استوکیومتری حداقل دو فلز ساخته می شود بطوریکه هنگام فعال سازی، این فلزات قابلیت تولید ترکیب بین فلزی (intermetallic product) و حرارت را دارند. همچنین می توان آستری را از ترکیب حداقل یک فلز و یک غیر فلز که می تواند اکسید فلزی باشد، مثل اکسید مس، اکسید مولیبدن یا اکسید نیکل و یا هر ترکیب غیر فلزی از گروه سه یا چهار اصلی، مثل سیلیکون، بور یا کربن انتخاب کرد. زمانیکه این مواد با یکدیگر مخلوط شده و به دمائی بالاتر از دمای فعالسازی می رسند، میزان زیادی انرژی تولید می کنند و دمای جت تولیدی می تواند به ۲۰۰۰ کلوین برسد. ولی اغلب مواد انتخاب شده نمی توانند قابلیت های مناسبی مانند دانسیته و مقاومت مکانیکی مناسب از خود نشان دهند. در این حالت به منظور بهبود خواص و بازده فرآیند، تاثیر اندازه ذرات فلزات تشکیل دهنده ماده آستری بر روی خواص جت تولیدی نیز مبحث بسیار مهمی است. زمانیکه از یک ترکیب خاص استفاده می شود، اندازه ذرات (grain size) نقش مهمی را در استحکام مواد و در نتیجه دانسیته فشاری ماده آستری ایفا می کند و مطلوب ترین حالت، دستیابی به بیشترین دانسیته جهت تولید جت سوراخ کن موثرتری است. در گذشته معمولاً از پودرهائی با اندازه ذرات در حدود ۱ تا ۱۰ میکرومتر استفاده می شده است ولی ذراتی با ابعاد کمتر و نانوذرات نیز جدیداً مورد استفاده قرار گرفته و به آنها "nano-crystalline material" اطلاق می شود. زمانیکه ابعاد ذرات فلزات کاهش یافته و به زیر میکرومتر می رسد، واکنش پذیری و از آنجا گرمادهی آنها بسیار افزایش می یابد، زیرا با کاهش ابعاد، میزان سطح فعال ذرات افزایش پیدا می کند. بنابراین ترکیبی که بر اساس این ذرات شکل می گیرد سبب بهبود انرژی سینتیکی جت ایجاد شده می گردد.

امروزه استفاده از ذرات نانومتری در ساختار ماده آستری به دلیل انرژی و حرارت بسیار زیاد تولیدی و نیز سطح فعال بسیار بالا مورد توجه ویژه قرار گرفته است. خواص تنگستن و مس بعنوان آستری، به دلیل دانسیته بالا و انعطاف پذیری بالا مشهور است و همین امر آنها را تبدیل به فلزات مناسبی جهت تولید این ماده می گرداند. برای

مثال محققان نشان داده اند که استفاده از آستری های فشرده شده حاوی پودر تنگستن می تواند سبب افزایش چشمگیر عمق نفوذ در عملیات مشبک کاری گردد. طبق مطالعات، عمق نفوذ با حاصلضرب طول جت در دانسیته ماده آستری نسبت مستقیم دارد. بنابراین افزایش دانسیته ماده آستری سبب افزایش عمق نفوذ جت میگردد. زیرا تنگستن دارای دانسیته بالایی است و استفاده از آن با مقدار بالاتر از ۹۰٪ وزنی، سبب افزایش عمق نفوذ در عملیات مشبک کاری می گردد. علاوه بر آن طول جت نیز بر روی عمق نفوذ موثر می باشد. برای رسیدن به یک جت طولانی باید آستری به گونه ای طراحی گردد که زمان تجزیه جت طولانی باشد. در این حالت مطالعات نشان می دهد که زمان تجزیه جت نیز با اختلاف سرعت ذرات (plastic particle velocity) رابطه عکس دارد و خود این پارامتر نیز دارای تابعیت یکنواخت از اندازه ذرات تشکیل دهنده ماده آستری می باشد. در نتیجه هر چه اندازه ذرات ماده ریزتر باشد، مدت زمان تجزیه جت (jet break up time) افزایش یافته و از آنجا میزان عمق نفوذ نیز بیشتر می شود. نتایج تحقیقات نشان می دهد که با استفاده از ذراتی با ابعاد کوچکتر از یک میکرون، قابلیت نفوذ ذرات آستری از جنس تنگستن افزایش چشمگیری می یابد. زمانی که ابعاد ذرات تنگستن مورد استفاده به حدود ۲۵ نانومتر رسید، این قابلیت به بیشترین مقدار خود افزایش پیدا می نماید. در حقیقت با داشتن ذراتی با ابعاد زیر ۱۰۰ نانومتر، به دلیل بهبود چشمگیر پلاستیسیته دینامیک، ذرات نانوکریستالی تنگستن بعنوان نوعی آستری بسیار مناسب عمل می کنند. این ذرات را می توان به روش های مختلفی از جمله رسوب دهی فیزیکی (PVD) و نیز توسط plasma arc reactor تولید نمود. در این رابطه Bourne و Graham موفق به تولید نوعی ماده آستری شدند که بیشتر از ۹۰٪ وزن آن از تنگستن و ۱۰٪ آن نیز پودر binder است و بصورت مخروطی شکل داده شده و ابعاد ذرات آن بین ۲۵ نانومتر تا ۱ میکرون می باشد.

در این مقاله مروری بر کاربردها و نقش فناوری نانو در زمینه مشبک کاری چاه های نفتی و گازی انجام شده است. در ابتدا به اختصار روش ها مرسوم مشبک کاری لایه مورد نظر توضیح داده شده و اصول و چگونگی فرآیند مشبک کاری در دو حالت استفاده از تفنگ های معمولی و استفاده از خرج گود ها بعنوان نسل جدیدی از ابزارهای

مشبک کاری مورد بررسی قرار گرفته است. سپس ساختار ماده آستری بعنوان یکی از مهمترین اجزای این سیستم تشریح شده و با نتایج علمی نشان داده شده است که مواد بکار رفته در ساختار آستری به چه صورت بر عملکرد این ماده در تولید یک جت پر انرژی و متمرکز تاثیر می گذارد. همچنین بر اساس روابط مستدل نشان داده شد که زمانیکه ابعاد ذرات سازنده ماده آستری در محدوده نانومتری قرار می گیرد، قابلیت نفوذ و نیز استحکام به میزان چشمگیری افزایش می یابد. این امر بدان معنی است که مشکلات موجود در صنایع، به ویژه صنعت نفت را با استفاده از نانو فناوری که نگرشی نوین در چینش و ساختار ماده بوده و سبب بهبود خواص آن می گردد، می توان تا حدود زیادی مرتفع نمود. همانگونه که با اشاره به منابع معتبر در متن ذکر شد، نتایج آزمایش های انجام شده توسط محققان نشان می دهد که با استفاده از نانوذرات، نانوساختار ها و نانو پوشش ها می توان فرآیند مشبک کاری چاه های نفت و گاز را بهبود بخشید.

کاربرد نانوفناوری در تولید و استخراج نفت و گاز

بصورت کلی پروسه تولید و استخراج نفت و گاز را می توان در دو قالب کلی جداسازی و ازدیاد برداشت مورد بررسی قرار داد. پروسه جداسازی شامل تفکیک سیالات از یکدیگر و همچنین از آلودگی ها و سیالات نامطلوب بوجود آمده در حین فرآیند استخراج و تولید از چاه می باشد. پروسه ازدیاد برداشت نیز شامل انواع عملیاتی می گردد که سیال تولیدی از مخزن را مورد بهره برداری بیشتر قرار می دهد. امروزه ثابت شده است که علم نانو توانائی بهبود فرآیند ها در مقیاس مولکولی را دارا می باشد و تاثیر آن در حیطه فرآیندهای جداسازی و ازدیاد برداشت از مخازن نفتی و گازی نیز بسیار چشمگیر است. به گونه ای که با استفاده از نانوسورفکتانت ها، نانوغشاها، نانوذرات، نانوژل ها، نانوسیالات و هیدروژل های نانوکامپوزیتی، تحول عمده ای در جهت بهبود فرآیند استخراج و تولید سیال از مخازن نفتی و گازی بوجود آمده است. در این مقاله به بررسی فرآیند جداسازی با استفاده از نانوفناوری پرداخته و جزئیات مربوط به کاربرد و تاثیرات نانوفناوری در عملیات ازدیاد برداشت در یک مقاله مجزا مورد بررسی قرار می گیرد.

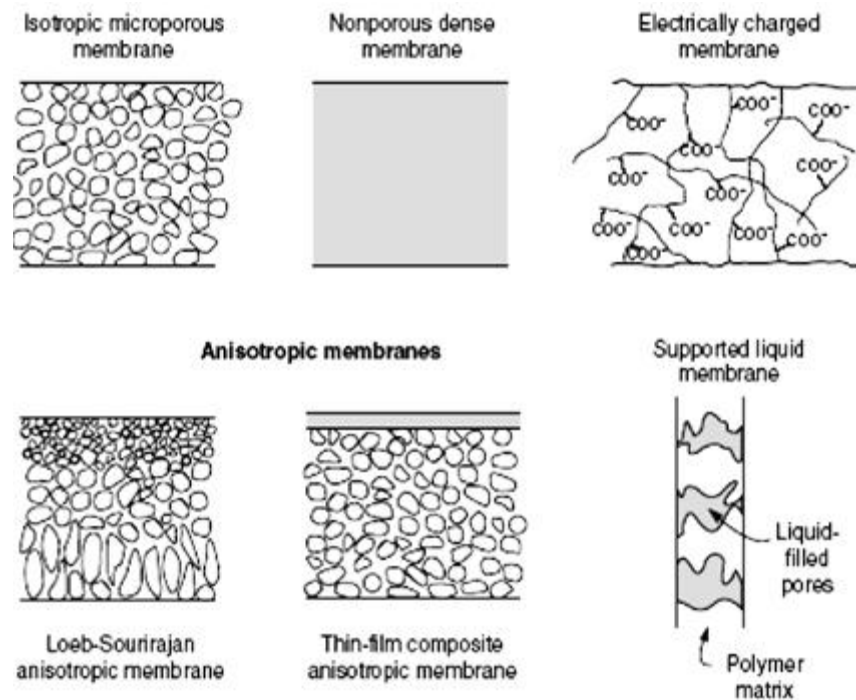
کاربرد فناوری نانو در بهبود فرآیند تولید و استخراج چاه های نفتی و گازی:

امروزه با استفاده از نوآوری های عرصه نانوفناوری، روش های متعدد و بسیار مناسبی جهت بهبود فرآیند استخراج و تولید نفت و گاز صورت گرفته است. در این زمینه می توان به موارد زیر اشاره نمود:

استفاده از نانوغشاها

در حالت کلی غشا به ماده ای اطلاق می شود که بعنوان یک سد عمل کرده و سبب جداسازی دو فاز و همچنین محدود کردن انتقال اجزای شیمیائی معین بصورت گزینش شده می گردد. ضخامت غشاها می تواند از مقداری به کوچکی ۱۰ میکرون تا مقادیری در محدوده چند صد میکرومتر متغیر باشد. در سالهای ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰، استفاده از غشاء جهت جداسازی کاربرد وسیعی پیدا کرد و در پایان سال ۱۹۸۰، نانوغشاء ها متولد شدند. از نانوغشاءها معمولا در فرآیند نانوفیلتراسیون استفاده می شود. این پروسه بصورت کلی در مورد مواد حل شده در مایعات و نه مواد توزیع شده در آنها کاربرد دارد. در این حالت پروسه جداسازی شامل نفوذ مولکول های حلال در جرم ماده غشائی بوده که توسط فشار انتقالی بالای غشاء، و نه حفرات آن صورت می گیرد. در حقیقت نانوفیلتراسیون نوعی پروسه جداسازی در فاز مایع است که جامدات حل شده را جدا می سازد. امروزه نانوفیلتراسیون کاربرد های بسیاری در صنایع مختلف از جمله صنعت نفت دارد.

برای مثال نمک زدائی، تصفیه آب زائد، جداسازی مواد آلی و غیره. قطر حفرات در نانوفیلتر از نیم تا یک نانومتر می باشد.



شکل ۱۳ انواع غشاء

پروسه جداسازی و انتقال ماده در نانوفیلترها توسط نفوذ، جابجائی و مهاجرت الکترونی صورت می گیرد. در این حالت بارهای منفی روی سطح قرار گرفته و یون های مثبت جذب می شوند (بعلت تفاوت بین ثابت دی الکتریک در حفرات نانوفیلتر، ماده نانوغشاء و حلال). همچنین جداسازی گازهای تولیدی پروسه مهمی در صنعت تولید و استخراج به شمار می رود. در این حالت استفاده از غشاء به دلیل سادگی و هزینه پائین بسیار مناسب می باشد. ولی رابطه معکوس بین گزینش پذیری اجزای یک گاز و تراوایی آنها سبب کاهش تاثیر استفاده از غشا می گردد. در این حالت استفاده از غشاهای نانوکامپوزیت پلیمر- ماده غیرآلی که بصورت هماهنگ گزینش پذیری و تراوایی را بهبود می بخشند بسیار مناسب است. نانوکامپوزیت های پلیمری- ماده غیرآلی از دو ماتریس یعنی یک پلیمر و یک ماده غیرآلی تشکیل شده است. در این حالت، فاز غیر آلی در مقیاس نانومتری درون فاز پلیمری توزیع می

شود. به دلیل ساختار مناسب ایجاد شده، خاصیت جداسازی گازی غشاهای نانوکامپوزیت پلیمر- ماده غیرآلی نسبت به پلیمرهای خالص بهبود می یابد.

استفاده از نانوذله ها

نانوذله ها ذراتی با ابعاد کمتر از میکرومتر هستند که در حضور آب متورم می شوند. در حقیقت این ذرات از یک شبکه سه بعدی از زنجیره های پلیمری آبدوستی که توسط پیوندهای پایدار کوالانسی متصل شده، تشکیل شده است. همچنین از آنجائیکه اندازه و شکل این مواد مشابه تک ماکرومولکول های خطی با ساختار مارپیچی می باشد، می توان آنها را در زمره زنجیره های پلیمری که به صورت درونی اتصال عرضی پیدا کرده اند در نظر گرفت. این ترکیب خاص از لحاظ ساختار و اندازه، این مواد را تبدیل به مبحث مورد علاقه محققان نموده است. بیشتر مخازن موجود در ایران بصورت کربناته بوده و پس از عملیات سیلاب زنی و تزریق گاز، بسیاری از نفت موجود در آنها در شکاف ها باقی می ماند. میزان اشباع زیاد نفت در این شکاف ها به دلیل کم بودن ضریب جاروب در مخازن شکافدار است. عامل مهم دیگر در اشباع بالای نفت در مخازن شکافدار، این است که بدلیل فشار موئینگی آن، نفت درون حفرات نفت دوست باقی می ماند. دلیل اصلی استفاده از سیلاب زنی پلیمری در بهره برداری از چاه، کاهش روانروی آب تزریق شده به مخزن و از آنجا افزایش احتمال جاروب مخزن توسط آب می باشد. زیرا آبی که سرعت حرکت بیشتری دارد با سرعت بیشتری وارد نواحی با تراوانی بالا می شود و تاثیر کمتری در افزایش نسبت آب/نفت دارد. ولی در عین حال استفاده از پلیمر ها دارای معایب خاص خود نیز می باشد که می توان با افزودن ژل و در حقیقت استفاده از ژل پلیمرها تا حدودی این معایب را برطرف نمود. علاوه برآن استفاده از ژل پلیمر ها نیز معایبی مانند تخریب ژل در اثر صدمات حرارتی، مکانیکی، میکروبی، تنش و غیره به همراه دارد. در نهایت به منظور غلبه بر محدودیت های موجود در استفاده از ژل پلیمرهای موجود، نانوذله های جدیدی بر پایه پلی اکریل آمید- خاک رس (MMT) توسعه پیدا کردند و خواص آنها بصورت آزمایشگاهی تست شده و جهت استفاده در سیلاب زنی پلیمری مورد استفاده قرار گرفتند. اینگونه نانوذله ها در مقایسه با ژل پلیمرهای معمولی نتایج مناسبی

در تست های حرارتی، مقاومتی و مکانیکی از خود نشان دادند. این نانوژل ها می توانند از محلول آبی با غلظت کم تا یک جامد الاستیک طبقه بندی شوند و یا بعنوان عامل مسدود کننده شکاف ها و یا انواع منحرف کننده ها مورد استفاده قرار گیرند

استفاده از نانوذرات

کنترل جریان سیال، یکی از مهمترین فاکتورها در استخراج سیالات هیدروکربنی می باشد. در این حالت جبهه جلوئی سیال تزریق شده باید تا حد امکان یکنواخت حرکت کند تا بتواند بصورت مناسب به درون سازند نفوذ کند. محققان به منظور بهبود این پروسه موفق به تولید عوامل سطحی و غیر نفوذ کننده بر پایه نانوذرات شده اند که می توانند میزان جریان را در عملیات استخراج و تولید بهبود دهند. در این حالت به نانوذراتی نیاز است که:

(۱) به هیچ وجه به بدنه ماتریس سازند نچسبد.

(۲) در غلظت های بسیار پائین نیز قابل شناسائی باشد

(۳) بتوانند سبب تغییر شکل سیال درون حفره شود

(۴) بتواند سبب تغییر کشش سطحی بین هیدروکربن و آب شور و یا مابین سیال و سطح سنگ مخزن گردد.

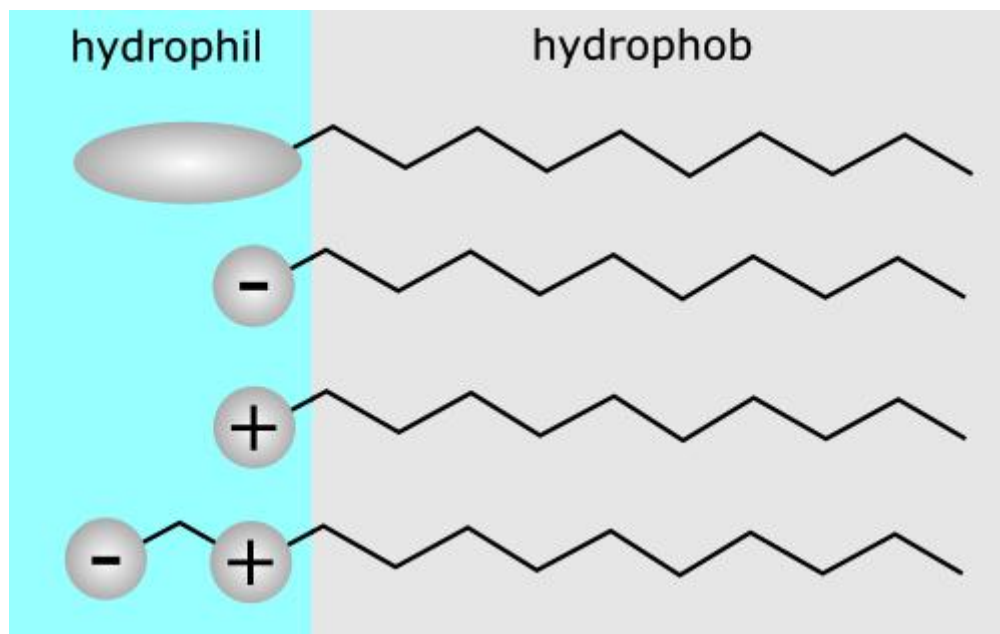
همچنین محققان دانشگاه MIT به تازگی کشف کرده اند که افزودن نانوذرات مغناطیسی که آب را دفع می کنند می توانند در صورت مخلوط شدن با نفت، و در نهایت با استفاده از یک آهنربای قوی، سبب جداسازی آسان مخلوط نفت و آب شوند و این امر در پروسه تولید و بهره برداری از مخازن نفتی نقش بسیار مهمی را ایفا می کند. این پروسه باید خارج از مخازن بازیافت نفت صورت گیرد تا از آلودگی محیط توسط نانوذرات جلوگیری شود. مطابق تحقیقات دکتر Zhan ، این پروسه که در آن از ferrofluid ها استفاده می شود- سیالاتی که دارای

نانوذرات مغناطیسی هستند- نتایج بسیار مثبتی نشان داده است. در این پروسه مخلوط آب و سیال را از درون کانال عبور داده و در خارج از کانال نیز از یک آهنربای مناسب جهت هدایت به درون مکان مورد نظر قرار می دهند تا عملیات جداسازی به شکل بسیار مناسبی انجام گیرد. از جمله کاربردهای مهم دیگر نانوذرات می توان به استفاده از نانو مواد جهت تسهیل جدایش نفت و گاز در داخل مخزن و استفاده از نانوردیاب ها در داخل سنگ مخزن اشاره نمود. این نانو ذرات هنگامی که با سنگهای حاوی نفت خام تماس پیدا می کنند، محموله های خود را رها کرده و باعث رهایش نفت خام می شوند .

استفاده از نانوسورفکتانت ها

مواد فعال سطحی یا همان سورفکتانت در سال ۱۹۵۰ از واژه surface active agent به معنای فعال کننده سطحی استخراج شده و به موادی اطلاق می شود که سبب کاهش کشش سطحی می شوند. این مواد را میتوان بر اساس ساختار و روش تولید به انواع سورفکتانتهای زیستی (بیوسورفکتانت)، سورفکتانت با ابعاد نانو (نانوسورفکتانت) و سورفکتانتهای پلیمری تقسیم بندی نمود. در حالت کلی سورفکتانت ها را اینگونه تعریف می کنند که مواد فعال سطحی و دارای یک سر آبدوست و یک دم آبگریز می باشند. این مواد با توجه به خصوصیت آبدوستی یا آبگریزی سایر مواد، از جهت مناسب خود به آنها متصل شده و از سر دیگر آزاد باقی می مانند و سبب تغییر خواص سطحی آنها می گردند. در حقیقت زمانی که این مواد در حلال حل می شوند، ساختارهایی با ابعاد نانو تا میکرومتری پدید می آورند. این مواد اغلب از یک سر (head) آبدوست و یک دم (tail) آبگریز تشکیل شده اند و بر اساس خاصیت سر خود به دسته های: غیر یونی (nonionic) یا بدون بار، آنیونی (anionic) یا دارای بار منفی، کاتیونی (cationic) یا دارای بار مثبت و آمفوتریک (amphoteric) که هم بار مثبت و هم بار منفی دارد، تقسیم بندی می شوند. در غلظت های نسبتا بالا، مولکول های سورفکتانت در حالت توده ای یا بالک تجمع می کنند تا به کمترین میزان نسبت حجم به سطح رسیده و از لحاظ ترمودینامیکی پایدارتر شوند. در این

حالت کره هائی به شکل گلیبول تشکیل می شوند که مایسل نام دارند. در مایسل ها، سرهای آبدوست سورفکتانت ها به سمت سطح کره و سرهای آبگریز یا نفت دوست به سمت مرکز کره جهت گیری شده اند.



شکل ۱۳ انواع سورفکتانت بر اساس نوع دم

بنابر این سطح مایسل تشکیل شده آبدوست، و درون آن آبگریز می باشد. در حالت عادی ابعاد و جهت گیری اغلب سورفکتانت ها به گونه ای است که مایسل هائی با ابعاد نزدیک به ۱۰-۲ نانومتر ایجاد می کنند. معمولاً این پدیده در سورفکتانت های غیر یونی رخ می دهد. همچنین زمانیکه از سورفکتانت های آنیونی استفاده شود، سطح مایسل تشکیل شده دارای بار منفی و زمانیکه از سورفکتانت های کاتیونی استفاده گردد، سطح مایسل تولیدی دارای بار مثبت می باشد. در محلول هائی که دارای آلودگی باردار خاصی بوده و یا نیاز است در آنها جداسازی صورت پذیرد از مایسل های با بار متضاد استفاده می شود. بنابراین سورفکتانت های کاتیونی برای جداسازی آلودگی های آنیونی، و سورفکتانت های آنیونی برای جداسازی آلودگی های کاتیونی بکار می روند. در خصوص آلودگی های غیر یونی نیز این مواد می توانند درون هسته آبگریز مایسل حل شوند. مایسل های با ابعاد بزرگتر

نیز به اصطلاح نانوکلوئید نامیده می شوند. هدف اولیه از استفاده از سورفکتانت ها در عملیات استخراج و تولید از مخازن، کاهش کشش سطح و بهبود عملیات جداسازی سیال، تصحیح ترشوندگی سنگ مخزن و تبدیل آن از حالت نفت دوست به آبدوست که خود سبب تسهیل فرآیند جداسازی سیال هیدروکربوری از سازند می گردد، و نیز کاهش ویسکوزیته نفت می باشد. در عین حال این امر سبب متورم شدن و افزایش قطر و فضای بین لایه ها با استفاده از عرض زنجیره های طویل سورفکتانت می شود که به نوبه خود مسیر های فیلتراسون سیال را مسدود می کند. همچنین سورفکتانت های با ابعاد بزرگ به دلیل ساختار نامناسب در فواصل ابتدائی سازند جذب شده و یا تاثیر معکوسی بر ترشوندگی دارند. بنابراین برخی خصوصیات این مواد سبب کاهش تاثیر آنها در پائین آوردن فشار موئینگی می گردد. در حالیکه هدف، کاهش فشار موئینگی و افزایش تراوایی سازند در ازدیاد برداشت می باشد. امروزه استفاده از نانوسورفکتانت ها به دلیل اندازه کوچکتر و سطح فعال بیشتر سبب بهبود فرآیند استفاده از این مواد گردیده است. زمانیکه ابعاد این مواد در محدوده نانومتری قرار می گیرد، توانائی آنها برای نفوذ به درون حفرات سازند و نیز سطح فعال آنها افزایش چشمگیری می یابد. این مواد بصورت گسترده ای بر روی کشش سطحی سیال مخزن اثر گذاشته و میزان گرانیروی آن را کاهش می دهند. در این حالت سیالی که گرانیروی آن در داخل مخزن و چاه کاهش یافته باشد، سبکتر شده و بهتر در مسیر خروج از چاه جریان یافته و از سایر مواد موجود در چاه جدا می گردد. مطالعات نشان می دهند که سورفکتانت ها بر روی نانوکمپلکس ها و ترکیبات پیچیده موجود در چاه تاثیر گذاشته و ساختار مخزن را تغییر می دهند. در این حالت توانائی نفوذ سورفکتانت در بین لایه های سازند امری بسیار مهم می باشد.

در این مقاله مروری بر کاربرد ها و نقش فناوری نانو در زمینه استخراج و تولید مخازن هیدروکربوری انجام گرفته است. در ابتدا به اختصار روش ها مرسوم جداسازی مورد بررسی قرار گرفت و در هر زمینه نیز جنبه های بهبود هر روش توسط فناوری نانو شرح داده شد. این امر بدان معنی است که مشکلات موجود در صنایع، به ویژه صنعت نفت را با استفاده از نانو فناوری که نگرشی نوین در چینش و ساختار ماده بوده و سبب بهبود خواص آن می گردد،

می توان تا حدود زیادی مرتفع نمود. همانگونه که با اشاره به منابع معتبر در متن ذکر شد، نتایج آزمایش های انجام شده توسط محققان نشان می دهد که می توان با استفاده از نانوذرات، نانوسورفکتانت ها، نانوغشاءها و نانوذله ها میزان بازده فرآیند جداسازی در مخازن را تا حد زیادی بهبود بخشید.

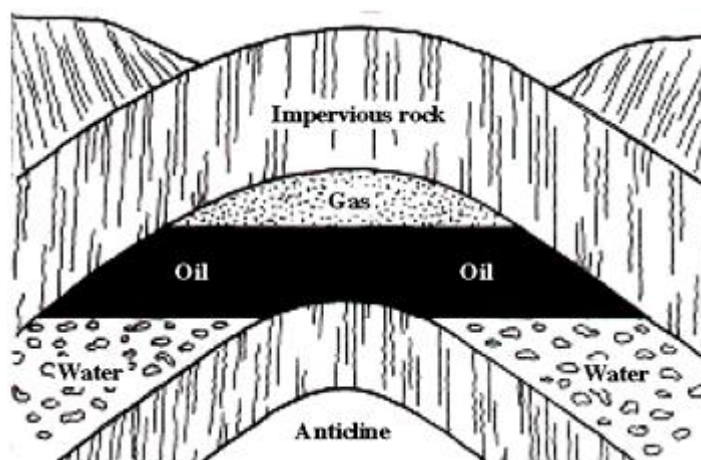
کاربرد نانوفناوری در ازدیاد برداشت نفت و گاز

مطابق پیش بینی های به عمل آمده، افزایش تقاضای جهانی برای انرژی همچنان ادامه خواهد داشت و اگر چه استفاده از انرژی های جایگزین مانند انرژی های هسته ای و انرژی های تجدید پذیر در سال های آتی افزایش می یابد، ولی این افزایش در مقایسه با انرژی های فسیلی کم بوده و نقش اصلی منابع انرژی تجدید پذیر حداقل تا دو دهه آینده نقش تکمیلی و حامی خواهد بود. با درک این واقعیت که میزان تقاضا انرژی جهانی در سال های آتی به بالاترین میزان خود خواهد رسید، نیاز به ایجاد یک تحول علمی و عملی در هسته اصلی علوم مهندسی نفت و گاز، جهت افزایش میزان بهره وری بیش از پیش احساس می شود. در این میان، علم نانو بعنوان علمی که هدف آن بازنگری در ساختار تولیدی مواد و بهینه کردن فرآیند تولید و بهره برداری از آنهاست، این پتانسیل را دارد که انقلابی عظیم در تمامی فناوری های حال حاضر بشری از جمله بهره برداری از منابع هیدروکربوری ایجاد نموده و با استفاده از قابلیت های گسترده خود فناوری هائی پر بازده تر و سالم تر نسبت به آنچه امروزه شاهد هستیم، معرفی نماید. بصورت کلی علم نانو از طریق کنترل ساختار ماده در ابعاد اتمی و ایجاد ساختار بهینه برای مواد، سبب بهبود بسیاری از خواص مانند سطح مفید، استحکام، صرفه جوئی در میزان ماده مصرفی و غیره می گردد. در صنعت نفت و گاز نیز از آنجا که قدرت، پایداری و ابعاد تجهیزات مورد استفاده از اهمیت به سزائی برخوردار است می توان با استفاده از فناوری نانو به تحولات چشمگیری دست یافت. چنانچه در یکی از مقالاتی که به تازگی چاپ شده به این نکته اشاره شده است که انتظار می رود با کمک فناوری نانو ضریب برداشت جهانی نفت و گاز تا حدود ۱۰٪ افزایش پیدا کند. به منظور پاسخگویی به روند رشد روز افزون تقاضای جهانی جهت تامین منابع نفت و گاز، یا باید منابع جدید هیدروکربنی کشف شده و مورد بهره برداری قرار گیرند و یا با استفاده

از فناوری های گوناگون، نفت و گاز در جا و بدون استفاده درون مخزن تحت فرآیند های ازدیاد برداشت مورد بهره برداری قرار گیرد. در این حال و با توجه به شرایط سخت اکتشاف و نیز صیانت از منابع هیدروکربوری موجود، استفاده از روش دوم منطقی تر و اصولی تر می باشد. امروزه فناوری نانو در زمینه ازدیاد برداشت از مخازن نفتی و گازی، پیشرفت های اساسی را ایجاد نموده است. برای مثال استفاده از سیالات هوشمند یا نانوسیالات که سبب تغییر در خاصیت ترشوندگی سنگ مخزن شده و نیروی کششی دراگ و اتصال دهنده ها را در جهت پیوستگی شن کاهش می دهند و یا استفاده از نانو مواد فعال سطحی (Surfactants) که سبب افزایش میزان برداشت از مخازن به نسبت کاملاً کنترل شده می گردد.

مراحل بهره وری و تولید از مخازن هیدروکربوری

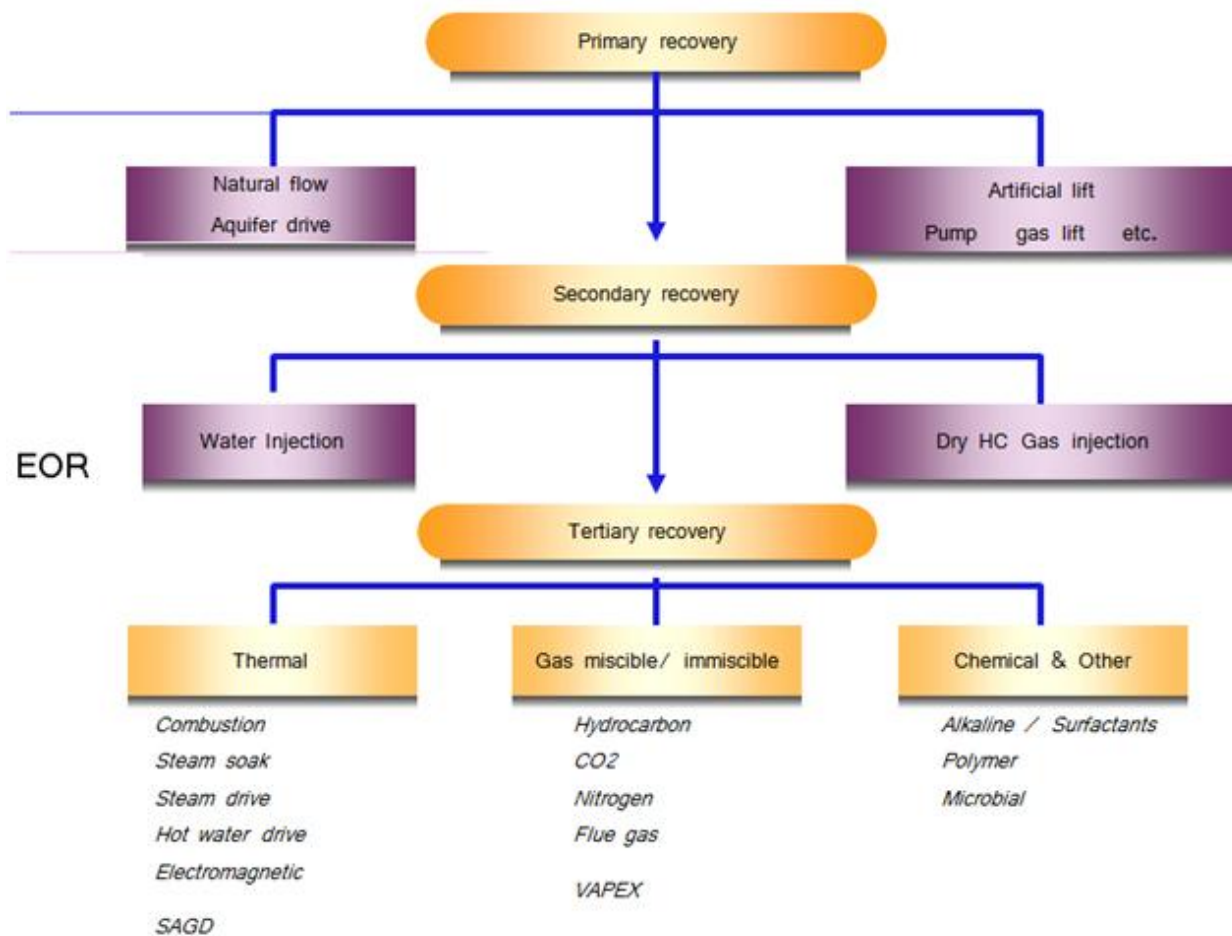
مطابق شکل ۱۴ سیال هیدروکربوری در داخل مخزن ذخیره شده و نیازمند بکارگیری روش های مختلف جهت برداشت می باشد.



شکل ۱۴- ذخیره شدن نفت و گاز درون مخزن

مطابق شکل ۱۴ به منظور استخراج سیال از درون مخزن مراحل و روش های متفاوتی وجود دارد.

در مرحله بازیافت اولیه (Primary Recovery) ، سیال با فشار طبیعی و یا با استفاده از فراآوری مصنوعی (Artificial Lift)، از درون مخزن خارج می شود. طبیعتا فشار طبیعی درون مخزن پس از مدتی دچار کاهش می شود و یا از همان ابتدا نیاز به عملیات کمکی جهت بیرون راندن سیال دارد که در این مرحله با استفاده از تزریق گاز به کلاهک بالائی و یا تزریق آب به سفره زیرزمینی، میزان برداشت از مخزن افزایش می یابد. اما چنانچه افت فشار مخزن در اثر مدت طولانی بهره برداری محسوس بوده و سیال بصورت درجا و راکد مانده باشد، نیاز است تا از روش های موسوم به ازدیاد برداشت نفت یا همان EOR استفاده گردد. در این حالت روش های ازدیاد برداشتی که از نظر تجاری موفق بوده اند، در حالت کلی به سه دسته تقسیم می شوند که در هر دسته، می توان از روش های مختلفی استفاده نمود.



شکل ۱۴- مراحل تولید و بهره برداری از مخزن [EOR]

روش های کلی ازدیاد برداشت

ازدیاد برداشت حرارتی

این روش شامل اعمال حرارت به مخزن توسط تزریق انواع بخار، آب داغ، روش الکترومغناطیس و غیره می باشد و سبب کاهش ویسکوزیته نفت سنگین و خروج آن از مخزن می گردد.

ازدیاد برداشت با استفاده از تزریق گاز

در این روش با استفاده از تزریق گازهای نامحلول مانند گاز طبیعی، دی اکسید کربن و نیتروژن که در مخزن منبسط شده و باعث حرکت سیال به دهانه چاه می گردند و نیز با استفاده از تزریق گازهای محلول در نفت که سبب کاهش ویسکوزیته آن می گردند، سبب افزایش ازدیاد برداشت از چاه می شوند.

ازدیاد برداشت با استفاده از تزریق مواد شیمیائی

در این روش که به (CEOR=Chemically Enhanced Oil Recovery) نیز شهرت دارد، با استفاده از تزریق مواد و ترکیبات شیمیائی سعی می شود تا میزان برداشت از مخازن افزایش یابد. از آنجائیکه علم نانو توانائی بهبود بخشیدن به خواص ماده و ایجاد ترکیبات نوین شیمیائی را دارا می باشد، تاثیرات چشمگیر آن را می توان در CEOR مشاهده نمود.

ازدیاد برداشت با استفاده از نانومواد

در این حالت بصورت کلی استفاده از نانوسیالات، نانوذرات، نانوسورفکتانت ها و هیدروژل های نانوکامپوزیتی سبب بهبود فرآیند بهره وری از چاه می گردد.

ازدیاد برداشت با استفاده از نانوسیالات

امروزه نسل جدیدی از سیالات مورد توجه محققین در صنایع نفت و گاز قرار گرفته اند که نانوسیالات و یا سیالات هوشمند نام دارند و از افزودن نانوذرات با غلظت های حجمی کم به سیالات به منظور افزایش و بهبود خواص آنها بدست می آید. از مهمترین خواص نانوسیالات می توان به این امر اشاره نمود که خواص آنها شدیداً تابع ابعاد

نانوذرات موجود در آنهاست. چنین سیالات هوشمندی می توانند با تغییر ترشوندگی، کاهش نیروی کششی و نیز استحکام ماسه، فرآیند ازدیاد برداشت از مخازن را بهبود دهند. برای مثال Soleimanov و همکارانش توانستند نشان دهند که استفاده از نانوذرات باعث افزایش خواص رئولوژیکی و نیز افزایش تاثیر محلول سورفکتانت در پروسه برداشت نفت شده و در وهله اول موجب ایجاد تغییر در ضریب کشش سطحی مخلوط نفت و سورفکتانت می گردد.

ازدیاد برداشت با استفاده از نانوذرات

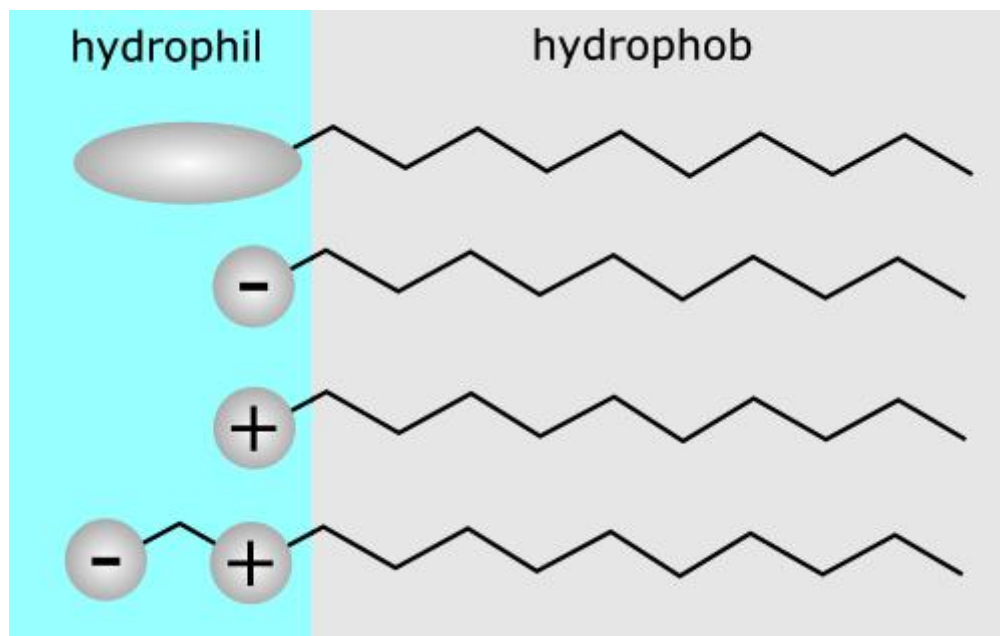
از جمله کاربردهای مهم نانوذرات در این زمینه می توان به استفاده از نانو مواد جهت تسهیل جدایش نفت و گاز در داخل مخزن و استفاده از نانوردیاب ها در داخل سنگ مخزن اشاره نمود. این نانو ذرات هنگامی که با سنگهای حاوی نفت خام تماس پیدا می کنند، محموله های خود را رها کرده و باعث بازیافت نفت خام می شوند.

شرکت نانوتکنولوژی "جی پی" در هنگ کنگ یکی از پیشگامان توسعه کربید سیلیکون، یک پودر سرمایی در ابعاد نانو می باشد. با استفاده از این پودرها می توان مواد بسیار سختی تولید نمود. این مخلوط آسیب های وارده به دیواره مخزن در چاه را حذف نموده و قابلیت استخراج نفت را افزایش می بخشد. همچنین طبق مطالعات انجام شده، یکی از کاربردهای اساسی نانوذرات، تغییر دادن میزان ترشوندگی (Wettability) سنگ مخزن می باشد. ترشوندگی یک سیستم سیال - سنگ مخزن به صورت توانایی پخش شدن یک سیال بر روی سطح سنگ در حضور سیال دیگر تعریف می شود. ترشوندگی نه تنها تعیین کننده توزیع اولیه سیال است بلکه یک فاکتور اصلی در نحوه ی جریان سیال در مخزن می باشد و نقش مهمی در تولید نفت و گاز دارد. در حالت کلی سنگ مخزن آب دوست نسبت به نفت دوست ارجحیت دارد. زیرا در صورت نفت دوست بون سنگ مخزن، نفت تمایل دارد که به آن بچسبد و میزان تولید کاهش یابد. زمانیکه چاه مورد بهره برداری قرار می گیرد در اثر صدماتی که به سازند وارد می شود ممکن است سنگ مخزن حالت نفت دوست پیدا کند که در این حالت با استفاده از نانوذرات می توان به خوبی ترشوندگی سنگ مخزن را اصلاح نمود. به این منظور اثر نانو سیالات بر روی ترشوندگی سنگ کربناته

به عنوان یکی از عوامل اصلی در ازدیاد برداشت در مطالعات مورد بررسی قرار گرفته و از نانوذرات ZrO_2 ، TiO_2 ، CaCO_3 و SiO_2 در این راستا استفاده می شود همچنین Ju و همکارانش توانستند نشان دهند که استفاده از نانوذرات پلی سیلیکون می تواند سنگ مخزن را از حالت نفت دوست به آبدوست تغییر دهد. طبق تصاویر میکروسکوپ الکترون عبوری، نانوذرات پلی سیلیکون بر روی دیواره حفرات مشاهده شدند.

ازدیاد برداشت با استفاده از نانوسورفکتانت ها

مواد فعال سطحی یا همان سورفکتانت در سال ۱۹۵۰ از واژه surface active agent به معنای فعال کننده سطحی استخراج شده و به موادی اطلاق می شود که سبب کاهش کشش سطحی می شوند. این مواد را میتوان بر اساس ساختار و روش تولید به انواع سورفکتانتهای زیستی (بیوسورفکتانت)، سورفکتانت با ابعاد نانو (نانوسورفکتانت) و سورفکتانتهای پلیمری تقسیم بندی نمود. در حقیقت زمانی که این مواد در حلال حل می شوند، ساختارهایی با ابعاد نانو تا میکرومتری پدید می آورند. این مواد اغلب از یک سر (head) آبدوست و یک دم (tail) آبگریز تشکیل شده اند و بر اساس خاصیت دم خود به دسته های: غیر یونی (nonionic) یا بدون بار، آنیونی (anionic) یا دارای بار منفی، کاتیونی (cationic) یا دارای بار مثبت و آمفوتریک (amphoteric) که هم بار مثبت و هم بار منفی دارد، تقسیم بندی می شوند.



شکل ۱۵- انواع سورفکتانت بر اساس نوع دم

اگر سورفکتانت شامل یک زنجیره هیدروکربن با کمتر از دروازه اتم کربن باشد، حلال در آب نامیده می‌شود. به این دلیل که سرگروه‌های قطب مغناطیسی تمام مولکول را در آب می‌کشند. به هر حال، وقتی که طول زنجیره هیدروکربن بزرگتر از چهارده اتم کربن است این ترکیبها سورفکتانت غیر حلال در آب نامیده می‌شوند. به این دلیل که آنها در آب به دلیل دارا بودن زنجیره بلند هیدروکربن حل نمی‌شوند. زمانی که ابعاد مواد اشاره شده در محدوده کمتر از ۱۰۰ نانومتر قرار می‌گیرد، به آنها نانوسورفکتانت اطلاق می‌شود. طبق بررسی‌های انجام شده توسط محققان، فعالیت مواد با اندازه آنها و نیز میزان سطح فعال آنها رابطه دارد. این پدیده می‌تواند بیانگر این امر باشد که خواص سورفکتانت‌ها (که همان فعالیت‌های سطحی آنها می‌باشد) نیز با کاهش ابعاد به گونه بسیار چشمگیری افزایش می‌یابد. در حالت عادی می‌توان گفت که پوشاندن یک سطح با سورفکتانت‌های کلاسیک، نسبت به نانوسورفکتانت‌ها حدود ۱۰۰ برابر ماده بیشتری می‌طلبد! همچنین خودآرائی مولکول‌ها در نانوسورفکتانت‌ها به گونه بسیار بهتری صورت می‌پذیرد. یکی از مهمترین خواص سورفکتانت‌ها، محو امولسیون

ها یعنی قطرات و حباب های کوچکی است که از یک مایع در مایع دیگر تشکیل می شود. برای مثال زمانیکه از عملیات سیلاب زنی با سورفکتانت و پلیمر در مخازن استفاده می شود، امولوسیون های آب- روغن شکل می گیرند که برای جداسازی آنها مجدداً از انواع سورفکتانت ها استفاده می گردد. هدف اولیه از استفاده از سورفکتانت ها در ازدیاد برداشت از مخازن، کاهش کشش سطحی، تصحیح تر شوندگی سنگ مخزن و کاهش ویسکوزیته نفت می باشد. با اینحال بسیاری از این مواد در فواصل ابتدائی سازند جذب شده و یا تاثیر معکوسی بر ترشوندگی دارند. بنابراین سبب کاهش تاثیر آنها در پائین آوردن فشار موئینگی می گردد. در حالیکه هدف، کاهش فشار موئینگی و افزایش تراوایی سازند در ازدیاد برداشت می باشد. تحقیقات نشان می دهند که نانوسورفکتانت ها سبب کاهش فشار موئینگی در ناحیه شکست مخزن شده و جریان یافتن سیال مخزن را در این ناحیه بهبود می بخشد. زیرا زمانیکه ابعاد این مواد در محدوده نانومتری قرار می گیرد، توانائی آنها برای نفوذ به درون حفرات سازند و نیز سطح فعال آنها افزایش چشمگیری می یابد.

ازدیاد برداشت با استفاده از هیدروژل های نانوکامپوزیتی

طبق مطالعات چنانچه مقدار تولید آب همراه نفت به دلیل شکاف طبیعی مخزن یا افزایش تزریق آب برای ازدیاد برداشت، افزایش یابد و چاه به مرحله آب دهی برسد در این صورت، تأسیسات روزمینی (سطح الارضی) قادر به جداسازی آب از نفت نخواهد بود. لذا باید پس از شناسایی منشأ شکاف ها، از ژل ها یا روش های دیگر برای مدیریت آب مخزن استفاده شود. در این روش، ترک ها (شکاف ها) و سطح مخروطی آب مخزن با استفاده از ژل پوشیده شده و در نتیجه از افزایش و بالا آمدن بیش از اندازه آب در مخازن جلوگیری می شود. در حقیقت هیدروژل ها، پلیمرهای سه بعدی آبدوستی هستند که در تماس با آب متورم شده ولی حل نمی شوند. امروزه از انواع این مواد که در فرآیند ازدیاد برداشت استفاده می شود می توان به ژل های نانوکامپوزیتی با پایه پلی اکریل آمید (Polyacrylamide-based nanocomposite gels) اشاره نمود. امروزه در جهت افزایش مقاومت شبکه ژل های پلیمری، از هیدروژل های نانوکامپوزیتی استفاده می گردد که به اختصار به آنها NC gels اطلاق

می شود. این ژل ها تمایل زیادی به جذب آب دارند در حالیکه مقاومت مکانیکی و پایداری حرارتی بالایی نیز از خود نشان می دهند. در حقیقت نانوکامپوزیت های پلیمری نسل جدیدی از مواد هستند که حاوی یک زمینه (ماتریس) پلیمری و درصد کمی (کمتر از ۱۰ درصد وزنی) از یک تقویت کننده نانومتری می باشند که با یک روش مناسب با هم آمیخته شده اند. ذرات نانو به علت داشتن ابعاد بسیار کوچک و سطح تماس بسیار بالا در میزان بارگذاری (Loading) متری باعث بهبود خواص مورد نظر گردیده و مسائل مربوط به تقویت کننده های رایج، نظیر افزایش وزن، نقایص سطحی و مشکلات فرآیندپذیری در آنها کمتر دیده می شود. این سیستم های ژل شونده شامل یک پلیمر محلول در آب و یک یا چند عامل اصلی اتصال عرضی هستند، همچنین این نوع پلیمرها به دلیل ویسکوزیته مشابه آب با پمپ های معمولی قابل تزریق به مخازن هستند، این مواد با رسیدن به محل مورد نظر به یک توده سفت تبدیل می شوند و نقش خود را به عنوان عامل تغییر دهنده مسیر یا مسدود کننده ایفا می کنند. در این روش به علت تشابه ویسکوزیته آب و ژل های پلیمری هزینه تزریق به چاه بسیار کمتر از سایر روش ها است، همچنین عمق نفوذ این نوع ژل ها به علت تشابه ساختاری با آب بسیار بیشتر از سیمان است؛ از سوی دیگر استحکام و ماندگاری این نوع ژل ها در قیاس با ژل های معمولی و در شرایط مشابه بیش از ده برابر است. همچنین باید توجه داشت که این نوع ژل ها دائمی نیستند و در صورت تزریق اشتباه، می توان با عامل شیمیایی دیگر اثر آنها را خنثی کرد.

کاربرد نانوفناوری در حفظ محیط زیست در فعالیت های صنایع بالادستی نفت و گاز

به دلیل افزایش فعالیت های جهانی در حیطه صنایع بالادستی نفت و گاز، تولید انرژی در آینده همراه با افزایش ضایعات بیشتری خواهد بود. در این زمینه ایده آل ترین حالتی که محققان برای رسیدن به آن تلاش می کنند، کاهش میزان ضایعات و پسماندها به میزان صفر است. در این میان عملیات حفاری یکی از مهمترین بخش های عملیات استخراج و تولید است که سبب ایجاد ضایعات فراوان می گردد. برای مثال قطعات داخل چاه که همراه با گل حفاری به سطح زمین حمل می شوند بخصوص زمانیکه آلوده به نفت باشند، برای محیط زیست بسیار خطرناک

می باشند. در اولین دوره های حیات صنعت نفت، اهمیت کمی به مقوله مدیریت ضایعات حفاری داده می شد ولی با افزایش تقاضای جهانی انرژی و روند رو به رشد حفاری های پیشرفته، مسئله حفاظت از محیط زیست بیشتر مورد توجه قرار گرفت. بنابراین امروزه دانستن چگونگی تولید ضایعات حفاری و مدیریت آنها به بهترین روش که کمترین اثرات سوء زیست محیطی را به همراه داشته باشد بسیار حائز اهمیت است [۱]. برای مثال یکی از مهمترین مواردی که در حفاری های دریائی و عملیات تولید و استخراج باید مد نظر قرار گیرد، حفظ اکوسیستم و تنوع زیستی موجود در خاک و نیز آبها و اقیانوس هاست که همواره در حین عملیات تولید و برداشت در معرض خطر قرار می گیرد. زیرا مسلماً تخلیه و یا نشت ضایعات ناشی از عملیات حفاری و بهره برداری در آبهای آزاد و دریاها اثرات سوء محیط زیستی را در بر خواهد داشت که باید به حداقل برسند. در این راستا محصولات نانوفناوری زیست محیطی (E-nano) یا (Environmental Nanotechnology) را می توان به گونه وسیعی در فرآیندهای بازسازی و حفظ محیط زیست استفاده نمود. برای مثال از آنجائیکه نانوفناوری علمی است که به کاهش مصرف مواد (کاهش ضایعات) و همچنین اصلاح ساختار و بهبود فرآیندها کمک شایانی می نماید، محققان به این نتیجه رسیده اند که استفاده از نانومواد در ساختار سیالات حفاری می تواند آنها را تبدیل به موادی با مضرات بسیار پایین زیست محیطی گرداند. در این حالت غلظت نانوذرات در سیال بسیار پایین بوده (معمولاً کمتر از ۰.۱٪) و شرایط حفاری را در محیط های نامناسب بسیار بهبود می بخشد. در این راستا این مقاله به بررسی توانائی های نانوفناوری در حفظ محیط زیست در صنایع بالادستی نفت و گاز پرداخته و چگونگی تاثیر نانو ساختارها در تبدیل عملیات بالادستی بخصوص حفاری به نوعی فرآیند دوستدار محیط زیست مورد بحث قرار خواهد گرفت.

کاربرد نانوفناوری به منظور حفظ محیط زیست در فعالیت های صنایع بالا دستی نفت و گاز

بهبود سیمان حفاری

نانوسیلیکا

سیمانکاری چاه های عمیق نیاز به موادی دارد که متفاوت از مواد بکار رفته در عملیات معمولی است. بنابراین نانوذرات، بخصوص نانوسیلیکا، نانواکسید آهن و نانوالومینا جهت افزایش استحکام و مقاومت سیمان بکار می روند. در این خصوص نانوسیلیکا ماده ای است که هم در سیمانکاری چاه و هم در عملیات ساختمانی مورد استفاده قرار می گیرد. نانوسیلیکا از ذرات بسیار ریز که در حدود ۱۰۰۰ بار کوچکتر از ذرات معمولی سیمان می باشد تشکیل شده و قابلیت های آن بعنوان افزایه مناسب جهت بالا بردن استحکام، پایداری و کاهش تراوایی سیمان اثبات شده است. استفاده از نانوسیلیکا در ساختار سیمان سبب کاهش نفوذپذیری (permeability) آن و در نتیجه کاهش آلودگی های زیست محیطی می شود.

بهبود سیال حفاری

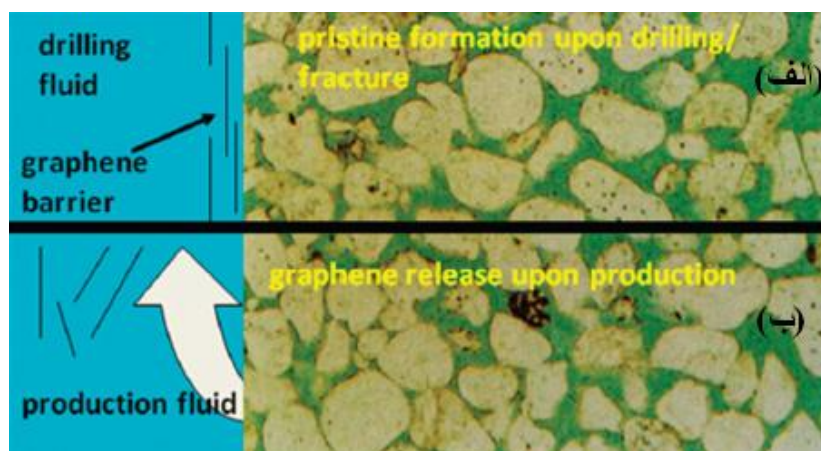
امروزه در صنعت حفاری سعی می شود از سیالاتی استفاده شود که کمترین اثرات سوء زیست محیطی را داشته باشند. برای مثال محققان به این نتیجه رسیده اند که حفاری سازندهای ماسه سنگی با استفاده از سیالات پایه آبی دارای فوائد زیست محیطی و اقتصادی فراوان می باشد و در این حالت سیالات حاصل به گونه ای فرموله می شوند که دارای کمترین میزان هزینه باشند. در این راستا Sharma و همکارانش به بررسی استفاده از نوعی سیال حفاری جدید پایه آبی حاوی نانوذرات پرداخته و همچنین نشان دادند که با استفاده از این نوع نانوسیالات، میزان تهاجم آب به درون سازند در کمترین مقدار قرار داشته و مشکلات دهانه چاه به کمترین مقدار خواهد رسید. همچنین بررسی ها نشان می دهد که سیالات پایه آبی با عملکرد بالا (HPWBF) دارای مزایایی از جمله کاهش اثرات سوء محیط زیستی، هزینه های پائین تر و هرزروی کمتر می باشند. برای مثال محققان از HPWBF های

دارای پلی اکریل آمید های هیدرولیز شده و افزایه های پلی آمید در عملیات حفاری چندین چاه در خلیج فارس استفاده نموده و به این نتیجه رسیدند که دارای اثرات زیست محیطی مطلوبی می باشد. همچنین نانوموادى مانند نانوگرافن و سایر مواد نانوساختار نیز بعنوان افزایه های سیال حفاری وجود دارند که می توانند سیالات حفاری را به دو دسته: نانوسیالات ساده و نانوسیالات پیشرفته دسته بندی نمایند. استفاده از این نانوذرات میزان مواد شیمیائی و جامدات موجود در سیال حفاری را به میزان چشمگیری کاهش داده و در نتیجه سبب کاهش هزینه کلی و اثرات سوء محیط زیستی عملیات می گردد. در ادامه به برخی از پرکاربردترین نانومواد بکار رفته در ساختار سیال حفاری اشاره می شود.

گرافن

سیالات حفاری که اغلب از آنها به گل حفاری یاد می شود سیستم های پیچیده شیمیائی هستند که در عملیات حفاری چاه های نفتی و گازی حیاتی می باشند. این سیالات وظیفه خنک سازی و روانسازی حرکت مته، انتقال برش ها و قطعات داخل چاه به سطح زمین، مقاوم سازی دیواره چاه، محافظت از سازند تولیدی، ایجاد یک لایه نازک و کم تراوا که از سازندهای تولیدی تراوا محافظت می کند و غیره را بعهدہ دارند. هجوم سیال به خلل و فرج سازند، سبب آسیب رساندن به مخزن و کاهش تولید از طریق مسدود کردن مسیر هیدروکربن ها می شود. لذا نیاز است تا از افزایه ها و موادی در ساختار سیال حفاری استفاده گردد که تا حد ممکن از هرزروی آن که سبب آلودگی محیط زیست و نیز وارد نمودن آسیب به سازند میشود جلوگیری گردد. این افزایه ها از طریق تشکیل فیلتر کیک در اطراف دیواره چاه سبب جلوگیری از هرزروی سیال حفاری می شوند. امروزه، گرافن بعنوان یک تک لایه از گرافیت به دلیل خواص مناسبی که دارد مورد توجه محققان قرار گرفته است. یکی از مهمترین خصوصیات این تک لایه داشتن سطح ویژه ای در حدود ۲۹۶۵ مترمکعب بر گرم است که می تواند به عنوان غشایی که حتی در برابر گاز هلیوم ناتراوا عمل کند. به همین دلیل می تواند بعنوان فیلتر عمل کند. اما از

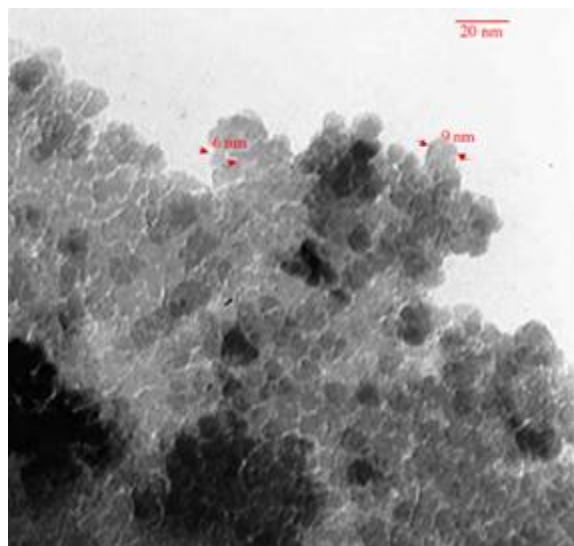
آنجائیکه توزیع قطعات بزرگ این ماده در محیط های آبی مشکلاتی را در گل حفاری پایه آبی ایجاد می کند، محققان پیشنهاد می کنند که از اکسید گرافن در این زمینه استفاده گردد. زیرا این ماده در محیط های آبی پایدارتر است و مورفولوژی صفحه ای خود را که سبب تشکیل فیلتر کیک مطلوب می شود حفظ می کند. یکی از خواص جالب این ماده این است که می تواند از محلول جدا شده و نوعی ماده کاغذی شکل قوی تولید نماید. این امر در تولید یک لایه ناتراوا به منظور جلوگیری از هرزروی سیال به داخل دیواره چاه بسیار موثر است. از آنجائیکه این ذرات ساختار ورقه ورقه ای مناسب و ضخامت نانومتری دارند (نانومواد دو بعدی) می توانند در مقایسه با افزایه های دیگر، مانند خاک رس، فیلتر کیک های نازک تر و با کارآئی بالاتری ایجاد نمایند. این نکته از این بابت نیز حائز اهمیت است که ضخامت فیلتر کیک تشکیل شده بصورت مستقیم و به شدت با گشتاور دیفرانسیلی مورد نیاز جهت چرخاندن لوله ها در حین عملیات حفاری، با زمان حفاری و با هزینه حفاری همبستگی دارد. همچنین از مزایای مهم دیگر این ماده می توان به این نکته اشاره نمود که خطرات زیست محیطی بسیار پائینی دارد و فناوری آن ارزان است. در شکل ۱ عملکرد گرافن در حین عملیات حفاری (الف) و در حین عملیات برداشت (ب) نشان داده شده است. در حین حفاری زمانی که فشار بالا باشد صفحات گرافن یک فیلمی را تشکیل می دهند تا از نفوذ سیال حفاری به درون سازند جلوگیری نمایند. همچنین زمانی که در حین پروسه بازیافت فشار کاهش می یابد نفت و گاز موجود در سازند صفحات گرافنی را از روی دیواره چاه پس می زنند.



شکل ۱۶- سیال حفاری دارای صفحات گرافن در حین عملیات حفاری (الف) و در حین عملیات برداشت (ب)

نانوذرات اکسید روی

هیدروژن سولفید گازی بسیار خطرناک، سمی و خورنده است که می تواند در حین عملیات حفاری از درون سازند به داخل سیال حفاری نفوذ کرده و باعث آلودگی محیط زیست گردد. به منظور حفاظت از محیط زیست، ایمنی کارکنان و نیز جلوگیری از خوردگی خط لوله و تجهیزات نیاز است تا این ماده از سیال حفاری جدا گردد. در گذشته جاذب های متنوعی جهت زدودن این گاز از سیال حفاری استفاده شده است که متداول ترین آنها ترکیبات فلز روی مانند اکسید روی و کربنات روی می باشند. اکسید روی مورد استفاده در این عملیات نیز بعنوان پسماند جامد، بی خطر می باشد. در این راستا Sayyadnejad و همکارانش به بررسی پاکسازی سیال حفاری از هیدروژن سولفید با استفاده از نانوذرات اکسید روی پرداخته اند. از آنجائیکه نانوذرات سطح ویژه بالائی دارند بسیار واکنش پذیر می باشند. آنها توانستند نشان دهند که استفاده از نانوذرات اکسید روی با ابعادی در حدود ۲۵-۱۴ نانومتر و سطح ویژه ۴۴-۵۶ متر مکعب بر گرم که توسط روش پیرولیز پاششی (spray pyrolysis) تهیه شده اند در جداسازی هیدروژن سولفید از سیال حفاری پایه آبی می تواند بسیار موثر باشد. همچنین کارآئی این نانوذرات با ذرات بالک اکسید روی نیز مقایسه گردید و نتایج حاصل بیانگر آن است که در شرایط عملیاتی یکسان، نانوذرات اکسید روی بکار برده شده قابلیت جداسازی کامل هیدروژن سولفید را در مدت ۱۵ دقیقه از سیال حفاری پایه آبی دارا هستند، در حالیکه ذرات بالک در مدت ۹۰ دقیقه تنها قادر به جداسازی ۲,۵٪ از آلودگی هیدروژن سولفید هستند. تصویر میکروسکوپ الکترون عبوری (TEM) نانوذرات اکسید روی بکار رفته در این تحقیق در شکل ۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۱۷- تصویر میکروسکوپ الکترون عبوری (TEM) از نانوذرات اکسید روی

افزایه های پلیمری نانومتری

پسماند سیال حفاری، جزء اجتناب ناپذیر عملیات حفاری و اکتشافی نفت و گاز است که به نوبه خود یکی از مهمترین منابع آلودگی محیط زیستی به شمار می رود. روش های زیادی برای از بین بردن این نوع سیالات وجود دارد که در میان آنها جداسازی جامد-مایع یکی از پرکاربردترین فرآیندهاست. ولی در حفاری چاه های عمیق ترکیبات سیال حفاری پیچیده تر، دانسیته آن بیشتر و پاکسازی نیز سنگین تر می شود. در این راستا Wang و همکارانش به بررسی استفاده از منعقد کننده پلی اکریل آمیدهای نانوبهبودیافته (nano-modified polyacrylamide flocculant) جهت جداسازی فازهای جامد-مایع در پسماند سیال حفاری با دانسیته زیاد پرداختند. طبق نتایج بدست آمده زمانی که منعقد کننده پلی اکریل آمیدهای نانوبهبود یافته در شرایط بهینه جهت تصفیه پسماند گل حفاری با دانسیته بالا بکار برده شد، میزان آب موجود در فیلتر کیک تشکیل شده، ۲۴،۳۲ درصد بود که نسبت به سایر منعقد های موجود در بازار بطور قابل توجهی بهتر است. همچنین همانگونه که Manea گزارش نموده است استفاده از افزایه های پلیمری نانومتری در ساختار سیالات حفاری پایه آبی می تواند

در اقتصادی کردن فرآیند حفاری و تبدیل آن به یک فرآیند دوستدار محیط زیست موثر باشد. در این تحقیق به بررسی رفتار سیال حفاری از طریق آنالیز تاثیر اندازه ذرات افزایه های موجود در آن در شرایط استاندارد پرداخته شده است. نتایج این بررسی نشان می دهد زمانیکه ابعاد ذرات پلیمری کوچکتر شده و به محدوده نانومتری می رسد، سطح ویژه کل بسیار زیاد شده و از آنجا سطح برهمکنش بین ذرات زیاد شده قدرت تورم پلیمر بالا می رود. در حقیقت نانوپلیمر جدید ایجاد شده توانائی کنترل هرزروی سیال حفاری را داشته و می تواند به عنوان افزایه کاهش دهنده هرزروی گل حفاری در ساختار سیال بکار رود.

بحث و نتیجه گیری:

در این مقاله مروری بر کاربردها و نقش نانوفناوری در زمینه حفظ محیط زیست در فعالیتهای صنایع بالا دستی نفت و گاز انجام شده است. همانگونه که در متن و با اشاره به منابع معتبر ذکر شد، حفاظت از محیط زیست، اصلی ترین فاکتوری است که در هر صنعتی از جمله صنایع نفت و گاز لازم است مد نظر قرار گیرد و امروزه با پیشرفت علم محققان و صنعتگران بیش از پیش به اهمیت این امر واقف شده اند. همچنین محققان نشان داده اند که با استفاده از نانوفناوری که رویکردی در جهت اصلاح ساختار مواد بصورت بهینه و کاهش ضایعات می باشد، می توان فرآیندهای موجود در صنایع بالادستی نفت و گاز بخصوص عملیات حفاری را تا حدود زیادی به فرآیندهای دوستدار محیط زیست تبدیل نمود. در این راستا استفاده از نانومواد، بخصوص نانوذرات نانوسیلیکا در ساختار سیمان و نیز نانوگرافن، نانوذرات اکسید روی و افزایه های پلیمری نانومتری در ساختار سیال حفاری سبب کاهش آلودگی های محیطی و اتلاف و هرزروی مواد به درون سازند شده و اثرات سوء زیست محیطی را کاهش می دهد.