



بررسی کاربردهای فناوری نانو در بخش بالادستی صنعت نفت و ارائه راهکارهایی با هدف کاهش مشکلات اساسی و نیازهای کوتاه مدت ایران در این بخش

امروزه توسعه روزافزون کشورهای جهان (به ویژه کشورهای کمتر توسعه یافته) در کنار رشد جمعیت، نیاز به انرژی های فسیلی را در این کشورها افزایش داده است. از اینرو، تلاش در جهت کشف میادین نفت و گاز جدید که براساس آمارهای جهانی و سالیانه، تعداد آنها رو به کاهش است و افزایش تولید از میادین موجود، امری بدیهی و اجتناب ناپذیر شده است. به همین دلیل، شرایط بازار و اقتصاد نفت در کنار تجهیزات پیشرفته کشف و تولید نفت و گاز، دو عامل مهمی است که کشورهای تأمین کننده نفت و گاز جهان به آن نیاز اساسی دارند. در این مقاله، کاربردهای فناوری نانو به عنوان فناوری ای که بسیاری از علوم، تجهیزات و صنایع را متحول کرده است، در چهار رکن اصلی اکتشاف، حفاری، استخراج و مدیریت مخازن نفت و گاز بخش بالادستی صنعت نفت بررسی گردید. هم چنین نیازهای کوتاه مدت ایران به این فناوری با هدف توسعه سریع یا کاهش ضررهای مالی و معنوی (به عنوان کشوری که مجموع ذخایر نفت و گاز آن در رتبه نخست جهان قرار دارد)، با اشاره به مشکلات اصلی و عمده کشورمان در صنعت نفت بررسی شد و راهکارهایی از کاربرد این فناوری ارائه گردید. این بررسی نشان داد که با توجه به اهمیت صنعت حفاری و تأثیر آن بر سایر بخش های بالادستی، این صنعت بیش از سایر بخش ها به این فناوری نیازمند است و فواید کوتاه مدت زیادی از کاربرد آن در این بخش حاصل می شود. به علاوه، بخش های استخراج و مدیریت مخازن نفت و گاز نیز با توجه به اینکه هدف اصلی و یکسانی را دنبال میکنند (افزایش تولید از مخازن)، به نیازهای به نسبت مشابهی از این فناوری نیازمندند. هم چنین، با توجه به اینکه مخازن ایران از نظر رفتار سنگ و سیال، مخازن ویژه ای در دنیا به حساب می آیند، استفاده از نتایج آزمایشگاهی و انجام آزمایشهای علمی و کاربردی پیش از استفاده از این فناوری در بخش استخراج (با هدف کاهش ریسک پذیری)، الزامی است.

واژگان کلیدی: فناوری نانو، صنایع بالادستی، اکتشاف، حفاری، استخراج، مدیریت مخازن نفت و گاز

مقدمه

امروزه با افزایش تقاضای انرژی در نتیجه صنعتی شدن کشورها و رشد جمعیت، مصرف منابع نفت و گاز شدت یافته است. از سوی دیگر، روز به روز از تعداد میادین نفت و گازی که به دست بشر کشف می شوند، کاسته می شود و در کنار آن، روش های متداول و سنتی تولید ذخایر، دیگر مانند گذشته پاسخگوی کامل این

نیازها نیست. از اینرو، لزوم استفاده از فناوری های جدید در صنایع بالادستی نفت و گاز احساس می شود. در این میان، فناوری نانو علم نوینی است که تأثیر انقلابی و فراوانی در بسیاری از صنایع از جمله پزشکی، نظامی، هوافضا و غیره داشته است. صنعت نفت نیز به عنوان اولین صنعت تأمین کننده انرژی جهان از این قاعده مستثنی نیست [۵]. هر چند این صنعت در ابتدای راه این تحولات علمی قرار دارد (به ویژه در بخش بالادستی)، اما در گروه صنایعی به حساب می آید که پتانسیل و تأثیر موفقیت آمیز کاربرد فناوری نانو در بخش های مختلف آن (حتی در بُعد میدانی) به اثبات رسیده است. بخش بالادستی صنعت نفت بر چهار رکن اصلی اکتشاف، حفاری، استخراج (بهره برداری) و مدیریت مخازن

هیدروکربوری استوار است که کاربردهای میدانی محدود و مطالعات آزمایشگاهی پایان یافته‌ی اخیر نشان می‌دهد که ورود فناوری نانو در این عرصه‌ها منجر به پیشرفت‌های به نسبت چشمگیری شده است. این درحالی است که پتروشیمی‌ها (که اغلب خوراک آن‌ها از مخازن گازی همراه و غیرهمراه تأمین می‌شود) و پالایشگاه‌های تصفیه نفتخام، از پیشگامان تغییر در این صنعت به حساب می‌آیند که سال‌های زیادی است که از کاتالیست‌های با خواص نانوذرات در ابعاد عملیاتی استفاده می‌کنند. اما آنچه امروزه فناوری نانو را در صدر اخبار علمی کاربردی قرار داده است، شناخت ابعاد پنهان آن در فیزیک اجسام و علم مواد است که با اختراع میکروسکوپ‌های اتمی به اوج خود رسیده است [۵]. به همین دلیل، در این مقاله سعی گردید تا ضمن معرفی کاربردهای همه‌جانبه این فناوری در بخش بالادستی، به نیازهای کوتاه‌مدت و کاربردی صنعت نفت ایران در این حوزه از فناوری (با هدف رفع مشکلات اصلی صنعت نفت کشور) اشاره شود. بدیهی است که راهکارها و پیشنهاد‌های ارائه شده در این مقاله، نسخه توسعه و درمان کلیه مشکلات صنعت نفت ایران نیست و از این حیث تصمیم کاربرد یا عدم کاربرد این فناوری در هر میدان یا هر عملیاتی باید با در نظر گرفتن شرایط خاص و فنی منطقه و میدان اتخاذ شود.

۱ - فناوری نانو چیست؟

نانو تکنولوژی به مواد و سیستم‌هایی مربوط می‌شود که ساختار و اجزای آن به دلیل ابعاد نانومتری، رفتار جدیدی در خواص، پدیده‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی از خود نشان می‌دهند. مواد دارای اندازه ذره نانومقیاس در حوزه‌ای بین اثرات کوانتومی آنها و مولکولها، و خواص توده‌ای آن‌ها قرار دارند [۱]. درحقیقت، فناوری نانو علم تغییر و دستکاری خواص مواد در ابعاد کنترلی نانو و محصول آن، تولید مواد نانوذره‌ای (ذراتی که یک یا بیشتر از یک بُعد آن‌ها کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشد) با خواص دلخواه و کاربردی موردنظر است.

۲- کاربردهای فناوری نانو در بخش

بالادستی صنعت نفت

۲-۱- صنعت اکتشاف

صنعت اکتشاف، پایه و اولین رکن از صنعت نفت است. از تکنیک‌های رایج در این صنعت (که در ایران نیز از آن به‌وفور استفاده می‌شود)، لرزه‌نگاری است. البته روش‌های دیگری هم چون گران‌سنجی و مغناطیس‌سنجی نیز وجود دارد که با توجه به دقت روش لرزه‌نگاری در مقایسه با آن‌ها، به این روش پرداخته می‌شود.

لرزه‌نگاری عبارت است از ایجاد انفجار در نقاط مختلف ناحیه تحت اکتشاف و ثبت لرزه‌های ایجاد شده که با کمک آن‌ها

می‌توان ساختار و چیدمان کلی لایه‌های زمین و مخزن را تشخیص داد. این فرایند براساس تفاوت سرعت حرکت صوت در لایه‌های مختلف صورت می‌پذیرد و می‌توان آن را براساس شرایط تفسیر و ابزارهای موجود، به شکل‌های یک بُعدی، دو بُعدی و سه بُعدی انجام داده، به کمک آن، به وجود لایه‌های با پتانسیل هیدروکربوری یا غیرهیدروکربوری پی‌برد. لرزه‌نگاری چهاربعدی نیز که به تازگی و به صورت محدود در ایران کاربردی شده است، همان لرزه‌نگاری سه‌بعدی است که در زمان‌های مختلف انجام می‌شود و از طریق آن می‌توان نحوه پیشروی سیالات مختلف را مشخص و پیش‌بینی کرد.

مهمترین ابزار فرآیند لرزه‌نگاری ژئوفون نام دارد (شکل-۱). بعد از ایجاد انفجار با دینامیت یا سایر روش‌های تولید انفجار، به کمک این ابزار می‌توان میزان حرکت لایه‌ها نسبت به انفجار ایجاد شده را ثبت کرد. درحقیقت، ژئوفون با دریافت امواج صوتی حاصل از انفجار و تبدیل آن‌ها به ولتاژ، انحراف آن‌ها از خط مبنا را به عنوان نتایج لرزه‌نگاری ارائه می‌دهد.

۲-۱-۱- کاربرد نانو حسگرها در اکتشاف نفت

و گاز

امروزه با ورود فناوری نانو به این عرصه و اختراع نانو حسگرها، خروجی و نتایج



شکل ۱ | نمونه‌هایی از ژئوفن‌های کاربردی در بخش لرزه‌نگاری

شکل ۲ | نمونه‌ای از نانو حسگرهای اکتشافی دقیق در ثبت امواج صوتی

فرآیند لرزه‌نگاری بهبود یافته است. فرآیند لرزه‌نگاری در این روش به همان شکل متداول خود انجام می‌شود، با این تفاوت که در آن با استفاده از ابزار ویژه (شکل-۲)، یک دسته از نانو حسگرهای صوتی به موقعیت‌های مختلف ناحیه تحت اکتشاف ارسال می‌شود، تا بعد از انجام مجدد عملیات لرزه‌نگاری، با بازیابی آن‌ها و تفسیر نتایج، ثبت لرزه‌های حاصل از انفجار با دقت بیشتری انجام شود. به علاوه، فناوری نانو توانسته است تا با نانو ساختار کردن ژئوفون‌ها به عملکرد سریع و ثبت دقیقتر اطلاعات صوتی این فرآیند کمک شایانی کند.

بنابراین، استفاده از نانو حسگرها در تصویربرداری‌های صوتی-لرزه‌ای و شناخت نوع و نحوه جریان سیالات زیرزمینی براساس تفسیر امواج صوتی حاصل از انفجار (که به دریافت اطلاعات دقیق‌تر از ساختار مخزن و لایه‌ها منجر می‌شود)، از مزایای کاربرد فناوری نانو در فرایند اکتشاف نفت و گاز است (به‌ویژه در مواردی که هدف از اکتشاف، کشف یک میدان یا مخزن جدید نبوده و عملیات اکتشاف با هدف بررسی نحوه جابجایی سیالات بعد از گذشت چندین سال از

تولید از یک لایه هیدروکربوری، دوباره انجام شود). هم‌اکنون در شرکت‌های بزرگ BP و Shell، فرآیند اکتشاف میدانی جدید نفت و گاز با کاربرد نانو تکنولوژی در تصویربرداری لرزه‌ای و لرزه‌نگاری چهاربعدی انجام می‌شود. شکل-۳ با هدف اشاره به اهمیت کاربرد فرآیند لرزه‌نگاری چهاربعدی در شناخت نحوه جابجایی سیالات، کاربرد آن در یکی از میدانی نفتی ایالت تگزاس آمریکا را نشان می‌دهد.

اما کاربرد فناوری نانو در این بخش از صنعت نفت در ابتدای راه است و مشکلاتی بر سر راه آن وجود دارد. محدودیت کاربرد نانو حسگرها نسبت به شرایط محیطی و زیرزمینی مختلف از جمله مشکلات این تکنولوژی است که سبب شده است تا این روش فقط در نواحی اکتشافی ویژه‌ای پاسخگو باشد. به علاوه، هزینه و ریسک بالای صنعت اکتشاف (به‌ویژه در کشوری مانند آمریکا، که در شکل-۳ یکی از میدانی هیدروکربوری آن نشان داده شده است) و ارتباط ضعیف صنعت اکتشاف و نانو تکنولوژی سبب شده است تا از این نوع محصولات کمتر استفاده شود. بنابراین، به نظر می‌رسد که آنچه امروز با ورود روش‌های لرزه‌نگاری

چهاربعدی در صنعت اکتشاف ایران می‌گذرد، در کوتاه‌مدت مطلوب است و تا زمان کاربردی‌تر شدن فناوری نانو در این بخش، نیاز به تغییرات ساختاری احساس نمی‌شود. بدیهی است که در این مدت (تا زمان کاربردی‌تر شدن فناوری نانو در بخش اکتشاف)، تلاش در جهت بومی‌سازی این فناوری باید در رأس امور قرار گیرد.

۲-۲- صنعت حفاری

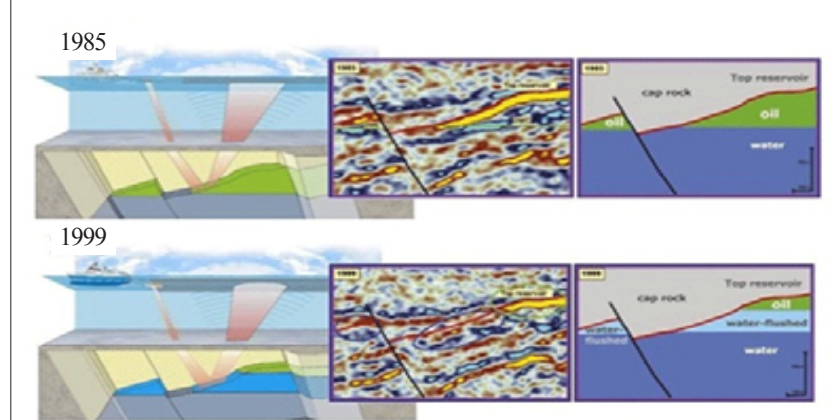
۲-۲-۱- روش‌های حفاری

رکن دوم بخش بالادستی صنعت نفت، صنعت حفاری است. در اوایل عمر صنعت نفت، از روش‌های حفاری ضربه‌ای (کابلی) در مناطق دارای پتانسیل نفت و گاز استفاده می‌شد که محدودیت‌های عمقی، مشکل تخریب سازند، دشواری انتقال کنده‌ها به سطح، کندی عملیات (صرف زمان زیاد) و... منجر به حذف این روش از صنعت نفت گردید. امروزه از این روش فقط در حفاری چاه‌های کم‌عمق آبی استفاده می‌شود.

با پیشرفت تکنولوژی، این روش حفاری جای خود را به روش مکانیکی دیگری با عنوان حفاری دورانی داد. سرعت بالای حفاری (جلوگیری از اتلاف وقت با انتقال سریع کنده‌ها به سطح زمین) و حذف محدودیت عمقی از مهمترین مزیت‌های این روش به حساب می‌آید. هرچند بعد از آن، روش‌های حفاری دیگری مانند حفاری حرارتی، لرزشی، شیمیایی، لیزری و... ارائه شد، اما امروزه به جرأت می‌توان گفت که به دلیل تجارت وسیع در سراسر جهان و فواید عملیاتی، بیش از ۹۸ درصد حفاری‌ها به شکل دورانی انجام می‌گردد و از روش‌های ذکر شده، بیشتر در حفاری‌های آزمایشی یا در حفاری‌های خاص معادن زیرزمینی استفاده می‌شود.

پیشرفت‌های شگرف فناوری نانو در بحث ساخت نانو مواد در سالیان گذشته

نواحی زرد و آبی رنگ به ترتیب نواحی نفتی و تحت هجوم آب هستند



و ارتباط صنعت حفاری با فیزیک اجسام سبب شده است تا بخش حفاری بیش از سایر بخش‌های صنعت بالادستی پتانسیل کاربرد فناوری نانو را داشته باشد. با توجه به اینکه در ایران کلیه حفاری‌های نفت و گاز به شکل دورانی انجام می‌شود، در ادامه، روش حفاری دورانی و تأثیر فناوری نانو بر بخش‌های مختلف آن بررسی و در کنار آن به نیازهای ایران در این بخش از صنعت نفت اشاره می‌شود.

۲-۲-۲- حفاری دورانی

به طور کلی، فرایند و سیستم روش حفاری دورانی از شش بخش تشکیل شده است:

- ۱- زیرسیستم دورانی که وظیفه تأمین چرخش مورد نیاز مته و لوله‌ها به منظور نفوذ صحیح به درون لایه‌های زمین - با استفاده از میز دوار را برعهده دارد،
- ۲- زیرسیستم تعلیق که با استفاده از مجموعه‌ی سیم‌ها و قلاب‌ها، وظیفه کنترل صحیح اسکلت دکل و عملیات بالا و پایین بردن لوله‌های حفاری را برعهده دارد تا از انحراف‌های ناخواسته در خلال حفاری جلوگیری شود،
- ۳- زیرسیستم گردشی که قلب سیستم عملیات حفاری و وجه تمایز آن با روش کابلی است و با هدف اصلی پمپاژ گل به

درون چاه و انتقال کننده‌ها به سطح زمین انجام می‌شود،

۴- زیرسیستم تأمین نیرو که با استفاده از ژنراتورهای تولیدکننده برق، نیروی دورانی میز دوار را تأمین می‌کند،

۵- زیرسیستم ایمنی که به طور کلی شامل دو بخش اصلی فوران گیرها و لوله‌های جداری است و با هدف کنترل ایمنی چاه و جدایش لایه‌های مختلف از یکدیگر نصب می‌شود،

۶- زیرسیستم آگاهی دهنده و دیده بان که وظیفه آن مانیتورینگ و کنترل فرایند تولید با استفاده از تجهیزات ابزار دقیق نصب شده در بخش‌های مختلف است.

در این میان، سه زیرسیستم دورانی، گردشی و ایمنی از جایگاه ویژه و مهمی برخوردارند.

مته‌های حفاری به عنوان بخشی از رشته حفاری جزء سیستم دورانی می‌باشند که نرخ نفوذ آن‌ها علاوه بر انرژی دورانی، به شدت تابعی از شکل، جنس و ساختار مته است. از آنجایی که بیشترین تنش وارده در عملیات حفاری، به مته‌ها وارد می‌شود، مته‌های حفاری قسمت فرسایشی رشته حفاری به حساب می‌آیند به طوری که پس از حفر یک متر از مشخص، کارایی‌شان کم می‌شود و باید تعویض شوند. از این رو، همواره

چالش اصلی در زمان ساخت مته‌ها، انتخاب و کاربرد مواد مقاوم در برابر فرسایش و خوردگی است. به همین دلیل، امروزه با ورود فناوری نانو به عرصه ساخت مواد با ویژگی‌ها و خواص دلخواه بشر، استفاده از مته‌های نانو کامپوزیتی با پوشش مقاوم نانو در برخی از کشورهای نفتخیز جهان از جمله عربستان و عمان افزایش یافته است (شکل ۴-۴).

معمولاً مته‌های با پوشش نانو براساس درجه سختی پوشش‌هایشان به دو گروه کلی تقسیم بندی می‌شوند:

گروه اول، گروه پوشش‌های سخت که دارای سختی کوچکتر از ۴۰ GPa هستند و گروه دوم که به پوشش‌های ابرسخت (پوشش‌های چندلایه‌ای نانومتری که معمولاً از دو لایه مختلف فلزی، نیتريدی، اکسیدی یا ترکیبی از آن‌ها ساخته شده‌اند و ضخامت آن‌ها در محدوده ۵ تا ۱۰ نانومتر است)، معروفند و دارای سختی بیشتر از ۴۰ GPa می‌باشند. لازم به ذکر است که از لحاظ تعداد، فراوانی پوشش‌های سخت نسبت به پوشش‌های ابرسختی مانند نیتريد بور با ساختار مکعبی (c-BN)، الماس واره‌های بی‌شکل (DLC) و نیتريد‌های کربن بی-شکل (CNX-) بیشتر است.

افزایش سرعت حفاری، درجه سختی مته‌ها، نرخ نفوذ مته‌ها، راندمان حرارتی مته‌ها و افزایش مدت زمان تعویض مته‌ها در کنار فواید اقتصادی که از کاربرد این نوع مته‌ها حاصل می‌شود، از مزایای کاربرد فناوری نانو در این بخش صنعت نفت است. متأسفانه تاکنون در ایران از این نوع مته‌ها به دلایل مختلف (تحریم‌های صنعتی، قیمت بالای این نوع مته‌ها، انتخاب فرایند تعمیر چندباره مته‌ها بجای تعویض و ...) در بُعد میدانی استفاده نشده است. از این رو به نظر می‌رسد که با توجه به اینکه تعداد دکل‌های حفاری مورد نیاز شرکت‌های نفتی در ایران اندک است، یکی از راه‌های افزایش جابجایی



نمایی از مته‌های دارای پوشش نانو

دکل‌ها در مناطق مختلف و جلوگیری از انتظارهای ناخواسته، کاربرد مته‌هایی است که از عمر مفید بیشتری برخوردارند و استاندارد تعداد دفعات تعویض کمتری دارند.

یکی دیگر از کاربردهای نانو در زیرسیستم گردشی عملیات حفاری است که قلب آن را سیال حفاری تشکیل می‌دهد. اهمیت این سیال زمانی آشکارتر می‌شود که به وظایف چندگانه آن از جمله تمیز کردن ته‌چاه و انتقال کنده‌ها به سطح، خنک کاری و روغن کاری مته و لوله‌ها، پایداری دیواره چاه، کنترل فشارهای زیرزمینی، قدرت شناورسازی کنده‌ها در زمان خاموشی پمپ‌ها (قدرت ژلاسیون)، ترخیص آسان شن و کنده‌ها روی الک لرزان، تحمل بخشی از وزن لوله‌ها و انتقال توان هیدرولیکی پمپ‌ها به مته اشاره شود. به همین دلیل، کاربرد این سیال زمانی از کیفیت بالایی برخوردار است که مرتباً خواص مختلف آن مانند وزن، گرانی، قدرت ژلاسیون، نرخ هرزروی صافاب، مقدار نمک، درجه سختی و درجه اسیدی یا بازی به وسیله آزمایش‌های استاندارد کنترل شود. چراکه این سیال وظایف خود را با پمپ شدن به درون رشته حفاری، عبور از نازل‌های مته و در ادامه، گذر از فضای حلقوی بین لوله جداری و رشته حفاری و رسیدن به سطح

زمین انجام می‌دهد و ممکن است در طول مسیر در اثر تغییرات پارامترهای عملیاتی محیط سنگ و سیال اطراف آن، برخی از خواص خود را از دست دهد.

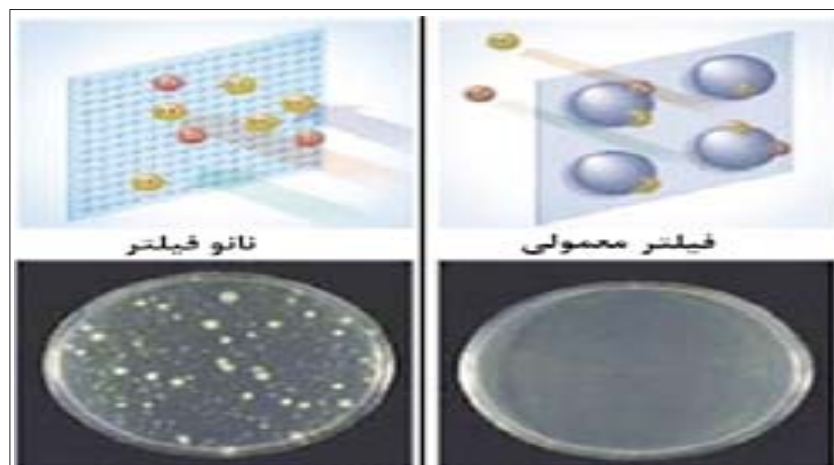
هم‌اکنون کنترل خواص فوق با ورود فناوری نانو و ساخت نانو سیالات (سیالات هوشمند)، ساده‌تر شده است. با افزودن نانو ذرات مناسب به یک سیال حفاری (به عنوان بخش معلق در فاز مایع)، می‌توان سیالی با چگالی، گرانی، هدایت حرارتی و گرمای ویژه مطلوب تهیه کرد [۳]. از ویژگی‌های این نانو ذرات که ترجیحاً غیر آلی هستند، عدم انحلال آن‌ها در فاز مایع سیال حفاری (آب یا گاز وئیل)، سازگاری بالا با سیالات مخزن و خواص زیست محیطی مطلوب آن‌ها است. هم‌چنین، پایداری بسیار مطلوب دیواره چاه در کنار جلوگیری از هرزروی زیاد صافاب گل حفاری که علاوه بر تخریب سازند، منجر به تغییر خواص سیال حفاری می‌شود، از جمله مزایای نانو سیالات است که تاکنون نتایج مطلوبی از کاربرد آزمایشگاهی و میدانی آن‌ها گزارش شده است.

افزودن نانو ذرات پودری سیلیس به سیال حفاری (که مخصوصاً گرمای ویژه و هدایت حرارتی مطلوبی به گل القا می‌کند) و کاربرد نانو کامپوزیت‌ها و نانو تیوب‌های

کربنی، یکی از روش‌های تهیه نانو سیالات است که حصول گرانی و چگالی مطلوب آن بدون صدمه زدن به سایر خواص سیال، مورد پذیرش بسیاری از کارشناسان فعال در بخش پژوهش‌های سیال حفاری است. خاصیت ژلاتینی یا توانایی برگشت گل به حالت جریانی در زمان شروع به کار مجدد پمپ‌ها نیز از دیگر خواص مهم سیال حفاری است (که مانع ته‌نشین شدن کنده‌ها و گیر کردن ابزار در چاه می‌شود) و از کاربرد نانو پلیمرها، نانو کامپوزیت‌ها، نانو ذرات رسی و پراکنده کننده‌های نانو حاصل می‌شود.

هم‌چنین در سال ۲۰۰۳، بارن و همکارانش موفق به تولید نانو موادی شدند که افزودن آن‌ها به سیالات حفاری موجب تولید نوعی کف خاص می‌شود. تولید این نوع کف، هم سبب ساخت و تولید گل‌های حفاری سبک می‌گردد و هم قابلیت خارج کردن کنده‌های حفاری را نسبت به شرایط معمولی افزایش می‌دهد [۷]. مهم‌ترین کاربرد گل‌های سبک در صنعت حفاری، انجام حفاری‌های غیر تعادلی است (حفاری با فشار گل کمتر یا برابر فشار سازند) که مهم‌ترین مزیت آن‌ها نسبت به حفاری‌های معمولی کاهش صدمات سازندی می‌باشد.

با توجه به عدم کاربرد میدانی نانو سیالات در ایران، به نظر می‌رسد که کاربرد نانو سیالات هوشمند در حفاری مخازن نفت و گاز یکی از راه‌حل‌های مفید و کوتاه‌مدت صنعت حفاری ایران جهت حذف یا به حداقل رساندن مشکلات این صنعت عظیم می‌باشد. عمر پایین و فرسایش زیاد مته‌ها، حفاری سازندهای حساس و متورم شیلی (که نسبت به گل‌های پایه آبی از خود حساسیت بسیاری نشان می‌دهند)، تخریب سازند در نتیجه نفوذ صافاب گل، هرزروی زیاد صافاب و پایداری ضعیف دیواره چاه در کنار مشکلات اقتصادی حاصل از این مشکلات، تنها بخشی از مشکلات اصلی صنعت حفاری ایران است. نتایج آزمایشگاهی اخیر محققان



شکل ۵ | نمایی از مته‌های دارای پوشش نانو

۲-۳-۲- بررسی و ارائه راهکار برای یکی از مهمترین مشکلات ایران در بخش استخراج

با توجه اینکه در ایران افت فشار شدید ته چاهی ناشی از تشکیل پوسته (و ناکامی سیال در رسیدن به سطح زمین) از جمله مشکلات اصلی بهره‌برداری از چاههای تعمیراتی و در دست تعمیر است، به نظر می‌رسد که ورود فناوری نانو یکی از ملزومات بخش استخراج است که تا به حال از آن در هیچیک از بخشهای خود استفاده نکرده است. انجام عملیات اسیدزنی سنتی با هدف حذف پوسته و بهبود تولید از چاه، روش متداولی است که در ایران (با هدف رفع مشکل افت فشار ته چاهی) به دفعات از آن استفاده می‌شود. این در حالی است که کاربرد این روش به صورت سنتی در مواردی نه تنها باعث بهبود شرایط تولیدی نمی‌شود، بلکه گاهی واکنشهای شیمیایی ناخواسته در نتیجه برهم کنش اسید تزریقی و سنگ مخزن منجر به تخریب سازند، تغییرات منفی خواص مخزنی سنگ (نفندوستی) و حتی در مواردی باعث از دست دادن چاه و مخزن در آن ناحیه از میدان می‌شود. از اینرو، به نظر می‌رسد که از منظر کاربرد فناوری‌های نوین و کاربردی، کاربرد نانوذرات افزودنی به اسیدهای تزریقی یکی از بهترین راه‌حل‌های حذف یا به حداقل رساندن افت فشار اضافی ته چاه ناشی از تشکیل پوسته است (ممکن است این افت فشار غیر از تشکیل پوسته، دلایل مختلف دیگری داشته باشد). چراکه این ذرات در کنار بهبود عملکرد اسید تزریقی (و به حداقل رساندن دفعات اسیدکاری)، مانعی در برابر واکنش آن با سنگ مخزن و عواقب ناخواسته آن هستند و با محیط‌زیست سازگاری مطلوبی دارند. بدیهی است که کاربرد اسیدهای دارای نانوذرات فعال که از تخریب سازند جلوگیری می‌کنند، منافع مالی زیادی را نیز به دنبال خواهد داشت.

حضور منابع هیدروکربوری در آن‌ها به اثبات رسیده است، تولید و بهره‌برداری از این منابع به عنوان رکن سوم بخش بالادستی آغاز می‌شود. این بخش نیز همواره با مشکلات عملیاتی و تولیدی فراوانی در بخش‌های سطحی و زیرسطحی همراه بوده است. در ادامه، به برخی از کاربردهای فناوری نانو در این حوزه اشاره می‌شود.

۲-۳-۱- کاربردهای فناوری نانو در صنعت استخراج و بهره‌برداری

استفاده از نانو مواد در تسهیل جدایش نفت و گاز در داخل مخزن و افزایش در جدایش موثر نفت و آب نمک در مخازن و تفکیک گره‌های سطحی، کاهش آلودگی با کاربرد نانوفیلترهای جاذب ترکیبات غیرآلی نفت و بخارات آن (شکل ۵-د)، تسهیل کاهش آلودگی با کاربرد نانو کاتالیست‌ها در جداسازی CO_2 , H_2O , H_2S از گاز طبیعی، تزریق هیدروژن‌های نانو کامپوزیتی در مخازن توسعه یافته با هدف انسداد منافذ تولیدکننده آب و گاز، استفاده از نانوغشاهای پلیمری با هدف افزایش پایداری نانوذراتی که در شرایط دما و فشار بالای زیرزمین کاربرد دارند، استفاده از نانو غشاهای حذف واکس و اکسیدهای فلزی، حذف تیوفن‌ها و تیول‌های همراه نفت با استفاده از نانو کاتالیست‌ها، تبدیل نفت سنگین به نفت سبک (فرآیند هیدروکانورژن)، بهبود روش‌های تزریق بخار و تولید از مخازن نفت سنگین با افزودن نانو کاتالیزورها به بخار تزریقی و افزایش راندمان جاروبی آن در کنار جلوگیری از اتلاف انرژی بخار، ساخت پمپ‌های ریز درون‌چاهی در ابعاد سلول، کاربرد نانوجاذبها با هدف حذف آلودگیهای دریایی در اثر نفت، کاربرد نانو اسفنجها با هدف افزایش عمر مفید لوله‌های دریایی انتقال نفت و گاز و ... از جمله کاربردهای فناوری نانو در فرآیند تولید از میادین نفت و گاز است [۲، ۶].

نشان می‌دهد که ساخت نانوذرات افزودنی به گل حفاری، بسیاری از محدودیت‌های فوق را از بین برده است.

هم‌چنین، تهیه لوله‌های جداری مقاوم در برابر خوردگی و سایر عوامل مخرب با استفاده از نانوموادها و کاربرد نانوذرات (به‌ویژه نانو سیلیس‌ها) با هدف ساخت سیمان‌های با استحکام خمشی و تراکمی بالا از جمله کاربردهای این فناوری در زیرسیستم ایمنی حفاری دورانی است.

۲-۳-۲- نمونه‌ای موفقیت آمیز از کاربرد فناوری نانو در صنعت حفاری ایران

هرچند از لوله‌های جداری نانو ساختار تاکنون در ایران استفاده نشده است، اما اخیراً در بعد میدانی و به صورت محدود از سیمان‌های نانو ساختاری استفاده شده است که زمان بندش طولانی‌تری دارند (سیمان‌بندی مناسب لوله‌های جداری بخشی از زیرسیستم ایمنی می‌باشد). مزیت افزایش زمان بندش سیمان، کاهش میکروشکاف‌هایی است که در نتیجه بندش سریع سیمان پورتلند معمولی بوجود می‌آیند و ممکن است راهی به منظور نفوذ سیال از لایه‌های پرفشار تشکیل دهند. برای مثال، مشکل نفوذ آب و به دنبال آن تولید آب از پوش سنگ پرفشار گچساران همواره یکی از مشکلات تولیدی و عملیاتی چاه‌های نفت و گاز حوزه جنوب غرب ایران بوده است که هم‌اکنون از کاربرد سیمان‌های نانو ساختار نتایج مطلوبی از کنترل و رفع این مشکل حاصل شده است. به علاوه، سیمان‌بندی ضعیف منجر به مچالگی رشته لوله‌های حفاری در نواحی پرفشار نسبت به زمان می‌شود که این مشکل در بسیاری از میادین نفتخیز ایران مشهود است.

۲-۳-۳- صنعت استخراج و بهره‌برداری بعد از کشف و حفاری نواحی ای که

۲-۴-مهندسی و مدیریت مخازن نفت و گاز

مدیریت مخازن هیدروکربوری جزء وظایف مهندسان مخزن به‌شمار می‌آید؛ مهندسانی که وظایف آنها با تولیدی شدن مخزن آغاز می‌شود و باید با توجه به چالشهای خاص هر مخزن و براساس شرایط مخزنی و عملیاتی، تصمیمات صحیحی راجع به تولید اتخاذ نمایند. از اینرو، ارتباط نزدیکی میان فعالیتهای مهندسان و مدیران مخزن با مدیران بهره‌برداری وجود دارد. به عبارتی دیگر، هدف اصلی دو بخش استخراج و مدیریت مخزن، بهبود شرایط تولیدی است؛ با این تفاوت که تصمیمات تولیدی مدیران مخزن با در نظر گرفتن زمان و دوره‌های تولیدی اتخاذ می‌شود، چراکه معمولاً هر مخزن هیدروکربوری در عمر تولیدی خود به ترتیب سه دوره‌ی افزایش دبی، تثبیت دبی و کاهش دبی (یا ترک مخزن) را تجربه می‌کند. وظیفه مهندسان مخزن، طولانی‌تر کردن هر چه بیشتر دوره میانی است که امروزه با ورود فناوری نانو میتوان از کاربردهای آن در این بخش بهره‌مند گردید.

۲-۴-۱- روشهای ازدیاد برداشت و جایگاه آن در ایران

در مهندسی مخازن به روشهایی که با هدف تولید بخشی از نفت باقیمانده مخزن (نفتی که توسط روشهای قبلی به تولید نرسیده است) و افزایش درصد بازیافت نهایی مخزن طراحی و پیشنهاد می‌شود، روشهای ازدیاد برداشت می‌گویند. روشهای ازدیاد برداشت باید براساس حجم ذخایر قابل برداشت، جنس سنگ و سیال مخزن، مکانیسمهای فعال مخزنی، شرایط اقتصادی- عملیاتی، شرایط سیاسی و... برای یک مخزن خاص از سوی مهندسان مخزن پیشنهاد شوند. به عبارت دیگر، هدف از کاربرد این روشهای پیشرفته (روشهای ثالثیه) که اغلب براساس تزریق یک سیال خارجی به مخزن استوار

هستند، تولید بخشی از ذخایر قابل برداشت از مخزن است که با مکانیسمهای طبیعی مخزن یا روشهای ثانویه (تزریق آب و تزریق غیرامتزاجی گاز) قابل تولید نیست. در بهترین شرایط، معمولاً تنها ۳۰ تا ۴۰ درصد نفت قابل برداشت مخزن از کاربرد مجموع روشهای اولیه و ثانویه حاصل می‌شود.

روشهای حرارتی (تزریق بخار، آبگرم)، شیمیایی (تزریق پلیمر، حلال و مواد فعال سطحی) و تزریق امتزاجی گازها (تزریق گازهای هیدروکربوری، دیاکسید کربن)، سه روش کلی ازدیاد برداشت از مخازن به حساب می‌آیند. در این میان، تزریق گاز به مخازن نفتی هم‌اکنون تنها روشی است که از آن به عنوان روش ازدیاد برداشت در ایران استفاده می‌شود. معمولاً این فرآیند را می‌توان به دو شکل امتزاجی با نفت و غیرامتزاجی انجام داد. در روش غیرامتزاجی، گاز با نفت مخزن اختلاط نمی‌یابد و هدف اصلی آن رانش نفت به سمت چاههای تولیدی است. اما در روش امتزاجی، گاز با ترکیب و فشار مشخصی (براساس نتایج شبیه‌سازی مخزن) به مخزن تزریق می‌شود که از اختلاط آن با نفت مخزن، نفت متورم شده، خواص فیزیکی و شیمیایی آن تغییر می‌کند و تولید آن با سهولت بیشتری انجام می‌پذیرد.

بررسی مخازن هیدروکربوری تحت تزریق گاز در ایران نشان می‌دهد که از روش غیرامتزاجی (تزریق در کلاهک گازی که با هدف فشارافزایی مخزن انجام می‌شود) به مراتب بیشتر از تزریق امتزاجی استفاده می‌شود. از اینرو، با توجه به تعریف روشهای ازدیاد برداشت به عنوان کلیه روشهایی که علاوه بر رانش نفت، تزریق سیالات آنها منجر به تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی نفت مخزن می‌شود، میتوان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد روشهای ازدیاد برداشت در ایران هنوز مرسوم نشده است.

فشار نسبتاً بالای مخازن نفتی، در دسترس بودن گاز همراه و غیرهمراه فراوان جهت تزریق غیرامتزاجی، هزینه بالای برخی از روش‌های ازدیاد برداشت در ابتدای کاربرد، کربناته و شکاف دار بودن مخازن به‌عنوان ویژگی اصلی و غالب اکثر مخازن ایران (چراکه نتایج مطلوب کاربرد اغلب روش‌های ازدیاد برداشت در مخازن ماسه‌سنگی حاصل شده است) و ... از جمله چالش‌های کاربرد این روش‌ها در صنعت نفت ایران به‌شمار می‌آید.

اما علی‌رغم اینکه تاکنون در ایران به شکل جدی از روش‌های ازدیاد برداشت در ابعاد میدانی استفاده نشده است، اما مطالعات صنعتی و رساله‌های دکتری و کارشناسی ارشد فراوانی در این زمینه به ثبت رسیده است. امکان‌سنجی تزریق بخار به چندین مخزن نفت‌سنگین دریایی و بررسی تزریق پلیمر و مواد شیمیایی با هدف افزایش تولید از مخازن تخلیه شده یا مخازنی که استمرار تولید نفت آن‌ها با مشکلات فراوانی همراه بوده است، تنها بخش اندکی از آمادگی صنعت نفت ایران جهت کاربرد این روش‌ها در آینده است. از این‌رو، با توجه به وضعیت تولید نفت ایران و نیاز کشور به کاربرد روش‌های ازدیاد برداشت در آینده نزدیک، آگاهی از تغییرات و اصلاحاتی که روش‌های ازدیاد برداشت با ورود فناوری نانو دستخوش آن شده‌اند (با توجه به ویژگی خاص مخازن کربناته ایران)، اجتناب‌ناپذیر است.

۲-۴-۲- برخی کاربردهای فناوری نانو در بخش ازدیاد برداشت و مباحث مرتبط با مدیریت مخازن

کاربرد نانوذرات افزودنی به سیالات تزریقی با هدف بهینه‌سازی نسبت تحرک سیال تزریقی به نفت مخزن و افزایش راندمان جارویی میکروسکوپی و ماکروسکوپی، اندازه‌گیری مداوم دبی، فشار و دیگر

پارامترهای تولیدی با استفاده از نانوحسگرها، کاربرد نانوغشاها با هدف افزایش قابلیت امتزاج پذیری سیالات تزریقی (به ویژه گازها) در دما و فشارهای عملیاتی با نفت مخزن، انسداد نواحی ای از مخزن که مشکلاتی را در روند تولید بوجود آورده اند (مانند هجوم آب یا گاز از شکاف های بزرگ مخازن کربناته، تغییر خواص مخزنی مخازن کربناته از نفت دوستی به آب دوستی با استفاده از نانوذراتی که روی سنگ مخزن ته نشین می شوند و در نتیجه بهبود نسبی ضریب بازیافت این مخازن، تشخیص و بررسی بهتر روند حرکت و جابجایی سیالات تزریقی در مخزن با استفاده از نانوردیاب ها و ... گوشه ای از کاربردهای فناوری نانو در بخش مهندسی و مدیریت مخازن نفت و گاز است. به عبارتی دیگر، امروزه فناوری نانو به بهبود عملکرد نیروها و مکانیسم های رانشی فعال در مخزن، پدیده های سطحی و جذب و به طور کلی، روش های ازدیاد برداشت، کمک شایانی کرده است.

یکی دیگر از کاربردهای نانوذرات، اضافه کردن نانوذرات آزمایش شده به سیال تزریقی و افزایش ویسکوزیته سیال تزریقی (بدون افزایش دانسیته) است. بدیهی است که با افزایش ویسکوزیته ی سیال تزریقی، به دلیل کاهش تحرک پذیری آب در فرآیند سیلاب زنی، نسبت تحرک پذیری آب به نفت کاهش یافته و پدیده انگشتی-شدن

سیال تزریقی (که مانعی در برابر جاروب شدن صحیح نفت مخزن است)، به حداقل می رسد. علاوه بر این، کاربرد نانوروبات ها و تأثیرشان بر کاهش خطای نمودارگیری، از دیگر مزیت های فناوری نانو است [۴]. با کمک این فناوری می توان اثرات محیطی موثر بر عملیات نمودارگیری را کاهش داد یا به حداقل رساند که این موضوع باعث شناخت و ارزیابی هر چه دقیق تر مهندسان مخزن از رفتار استاتیک و دینامیک مخزن منجر خواهد شد.

نتیجه گیری

امروزه فناوری نانو به راهی جهت تغییر دیدگاه های ما نسبت به اکتشاف، حفاری، استخراج و مدیریت میادین نفت و گاز تبدیل شده است. از این رو در این مقاله، با هدف مرور و شناخت بیشتر کاربردهای فناوری نانو در صنعت نفت، عمده ترین مشکلات بخش بالادستی صنعت نفت ایران (که رفع آن ها به پیشرفت و توسعه کوتاه مدت می انجامد)، بررسی شد و راهکارها و پیشنهاداتی با هدف رفع یا به حداقل رساندن آن ها براساس نیازهای نانو تکنولوژیکی ارائه گردید.

محصولاتی از نانو که در این مقاله مرور شدند به سادگی نشان می دهد که این فناوری در صنعت بالادستی از قابلیت ها و کاربردهای فراوانی مانند نانوسیالات (بخش حفاری)، نانو مواد (بخش حفاری)،

نانوحسگرها (بخش اکتشاف)، نانوذرات (در بخش استخراج و مدیریت مخازن نفت و گاز) و ... برخوردار است که تاکنون نتایج میدانی مطلوبی از کاربرد آن ها در برخی از کشورهای تولیدکننده نفت و گاز به دست آمده است.

در حقیقت، هر چند این فناوری در ابتدای راه خویش است و هنوز در مواردی با چالش هایی در زمینه کاربرد میدانی مواجه است (ناپایداری نانوذرات در شرایط دمایی و فشاری اعماق زمین و هرزروی ناخواسته نانوذرات، مشکلات تکنولوژیکی حل نشده، مقرون به صرفه نبودن و ...)، اما آنگاه کردن بخش بالادستی نسبت به مواردی که کاربردها و مزایای آن کاملاً به اثبات رسیده است، ضروری است. چراکه به طور کلی، سنتی بودن فرآیند تولید، ارتباط ضعیف صنعت نفت با مراجع توسعه فناوری نانو در ایران و آگاهی ضعیف و عدم تمایل به ریسک پذیری در هزینه های اولیه مربوط به این فناوری از سوی مدیران ارشد، سبب شده است تا هم چنان با مشکلات صنعت نفت در بخش بالادستی، به صورت ناقص و ناکارآمد برخورد شود. هم چنین، به نظر می رسد کاربرد فناوری نانو با اولویت بخش حفاری و در قالب روش های چاه محور که به برخی از آن ها اشاره شد، بهترین راه شروع توسعه و پیشرفت کوتاه مدت و رفع مشکلات عملیاتی و اقتصادی با کمک این فناوری است. ■

منابع

- Logging", the SPE Eastern Regional Meeting, Canton, Ohio, USA, October 2006
- [5] S. Kapusta, L. Balzano, P. Riele, "Nanotechnology Applications in Oil and Gas Exploration and Production", Industry-An Overview of the Recent Progress", International Petroleum Technology Conference, Bangkok, February 2012
- [6] X. Kon, "Application of Micro and Nano Technologies in the Oil and Gas Industry-An Overview of the Recent Progress", International Petroleum Exhibition & Conference, Abu Dhabi, May 2010
- [7] <http://www.nano.ir/paper.php?PaperCode=184>

- [۱] رضا شیدپور، سیدمهدی طباطبایی، ابوذر سهرابی جهرمی، "کاربرد نانوحسگرها در بخش لرزه نگاری صنایع بالادستی صنعت نفت"، ماهنامه نفت، گاز و پتروشیمی، شماره ۵۶، آبان ۱۳۸۷
- [۲] هادی ابراهیم فتح آبادی، "مروری بر کاربردهای نانوفناوری در صنایع اکتشاف و تولید نفت و گاز"، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۸۵، آذر ۱۳۹۰
- [3] K. Hoelscher, G. Stefano, M. Riley, S. Young, "Application of Nanotechnology in Drilling Fluids", the SPE International Oilfield Nanotechnology Conference, Noordwijk, Netherlands, June 2012
- [4] P. Bhat, S. Bhat, "Nanologging: Use of Nanorobots for