Archive of SID

کاربردهای فناوری نانو در ازدیاد برداشت نفت

صابر محمدی[1]، علی قجری[2]
پژوهشگاه صنعت نفت
mohammadisab@ripi.ir

چکیده

امروزه نفت و گاز بعنوان حیاتی‌ترین نیاز بشر به شمار آمده و فرآیند تولید و استخراج بهینه سیال از مخازن هیدروکربوری یکی از دغدغه‌های جهان کنونی در زمینه تامین سوخت می‌باشد. حال آنکه با در نظر گرفتن محدودیت منابع نفتی و گازی در جهان و نیز توانائی محدود بشر در اکتشاف، تولید و بهره‌برداری از منابع هیدروکربوری، نیاز به توسعه فناوری‌های جدید در جهت توسعه علمی و عملی استخراج و تولید احساس می‌شود. در این راستا پیدایش فناوری نانو نقش مهمی را در جهت توسعه و بهبود صنایع نفت و گاز داشته است. فناوری نانو این ظرفیت و پتانسیل را دارد که تغییرات متحول کننده‌ای را در حوزه‌های مختلف صنایع نفت و گاز نظیر اکتشاف و استخراج، حفاری، تولید و ازدیاد برداشت به وجود آورد. در این مقاله ضرورت استفاده از نانوتکنولوژی در صنایع بالادستی نفت و گاز و همچنین چالش‌های صنعت نفت و گاز مورد بررسی قرار گرفته و به‌طور خلاصه پیشرفت‌های صورت پذیرفته در عرصه نانو فناوری در صنعت نفت و گاز به همراه خلاصه‌ای از راه حل‌های ممکن در برخی از زمینه‌های پراهمیت ارائه شده است. در ادامه به چگونگی استفاده از فناوری نانو به صورت مجزا در بخش‌های مختلف ازدیاد برداشت نفت مانند: مخازن نفت سنگین، روش‌های ازدیاد برداشت حرارتی و هم‌چنین ازدیاد برداشت نفت به روش شیمیایی پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: نانو تکنولوژی ، نفت و گاز، مخازن هیدروکربوری، نفت سنگین، ازدیاد برداشت.

۱- کارشناسی ارشد مهندسی نفت، پژوهشگاه صنعت نفت

۲- کارشناسی ارشد مهندسی نفت، پژوهشگاه صنعت نفت

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

به طور کلی، نانوتکنولوژی به حوزه‌ای از علم و فناوری می‌پردازد که با مقیاس اتمی و مولکولی، عموماً ۱۰۰ نانومتر یا کوچکتر، و چگونگی ساخت این گونه مواد سروکار دارد. از این رو نانوتکنولوژی دامنه وسیعی را دربر می‌گیرد؛ ساخت نانوساختارهای تابعی با خواص مهندسی، ساخت و پرداخت نانومواد، شیمی سوپرمولکول‌ها، تکنیک‌های خود مونتاژ و خود جایگزین، بستن و سخت‌شدن آلیاژهای نانوساختاری، بهره‌گیری از اثرات کوانتوم، خلق الگوها و سنسورهای شیمیایی و زیستی، تغییر سطوح و فیلم‌ها از آن جمله‌اند. پیشرفت‌های حاصل در نانوتکنولوژی به توسعه و گسترش مواد و ابزار بسیار پیشرفته، و ویژگی‌های بسیار قابل توجهی از آنها انجامیده است که نمی‌توان بدون استفاده از این گونه فناوری‌ها به آنها دست یافت. تحقیقات و کارهای صورت گرفته در این زمینه به ترکیبی منحصربفرد از خواص مکانیکی، گرمایی، الکترونیکی، نوری، مغناطیسی و شیمیایی از مواد در مقیاس نانو رسیده است.

نانوتکنولوژی قادر به تأثیرگذاری بسیار شگرف بر روی تمامی بخش‌های صنعت خواهد بود. به عنوان مثال، در کاربردهای بخش نفت و گاز، نانوتکنولوژی می‌تواند با بهبود ظرفیت حرارتی و جداسازی درون چاهی به گسترش منابع جدید کمک نماید. از آنجا که در صنعت نفت و گاز استحکام و پایداری مواد مورد استفاده از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار می‌باشد، دقت بسیار زیاد به کار رفته در ساخت نانو مواد نه تنها به استفاده از ابزاری با ابعاد بسیار کوچک منجر می‌شود، بلکه با موادی جدید و با خصوصیات به شدت بهبود یافته روبرو خواهیم بود. در یکی از مقالات منتشر شده در سال ۲۰۰۹ به این نکته اشاره گردیده است که استفاده از فناوری‌های نانو می‌تواند حتی به افزایش ۱۰ درصدی ضریب برداشت میانگین در سراسر دنیا انجامیده و به دلیل پیشرفت‌های بسیار سریع صورت گرفته در زمینه تحقیقات نانوتکنولوژی در صنعت نفت و گاز، کاربرد بسیار زیاد آنها در این صنعت در آینده نزدیک انتظار می‌رود. کاربرد نانوتکنولوژی در تهیه سورفکتانت‌ها روزنه‌های امیدی را در جهت ازدیادبرداشت نفت باز خواهد نمود. به دلیل کنترل بهتر این گونه مواد در مخازن زیرزمینی اعم از محل دقیق تزریق و مسیر جابجایی آنها نسبت به مواد کنونی، می‌توان میزان نفت بیشتری را از درون محیط متخلخل استخراج کرد. به کمک نانوتکنولوژی نیز می‌توان سنسورهای بسیار ریزی را در جهت کسب اطلاعات دقیق‌تر از درون مخزن و تعیین خواص سنگ و سیال طراحی نمود. کاربرد دیگر فناوری نانو در صنعت نفت و گاز استفاده از انواع بسیار جدید "سیالات هوشمند" جهت افزایش برداشت نفت و نیز در ساخت سیالات حفاری می‌باشد. این گونه سیالات هوشمند می‌توانند با تغییر ترشوندگی سنگ مخزن، کاهش افت فشار ناشی از نیروی اصطکاکی، و تثبیت ماسه به بهبود عملیات حفاری کمک نمایند. استفاده از نانوکاتالیزورها نیز باعث بهسازی درجای نفت‌های سنگین و قیری به افزایش تولید نفت در این گونه مخازن منجر خواهد شد [۱].

۲- ضرورت استفاده از نانوتکنولوژی در صنایع بالادستی نفت

در واقع، نانوتکنولوژی به دو شاخه اصلی و مجزا تقسیم‌بندی می‌شود. به طور واضح‌تر، عبارت "نانوتکنولوژی" مکرراً در جایگاه "نانوتکنولوژی مولکولی" (MNT[1]) استفاده می‌گردد که از مفاهیم سنتز مکانیکی بر پایه طراحی مولکولی و مکان-دقیق (گروه‌های تحمیل شده[2])، و با استفاده از سیستم‌های ماشینی- ابزار کاوشی پیماشگر (STM, AFM) یا نانوربات‌های درکسلر[3] بهره می‌برد.

شاخه دیگر نانوتکنولوژی به عنوان "شیمی سوپرمولکولی" معرفی شده است که از مفاهیم بنیانی خود-مونتاژ مولکولی بدون راهنمایی و مدیریت از منابع خارجی استفاده می‌نماید. در خود-مونتاژها، تمامی نانوساختارهای نهایی به شکل مولکول-های مورد استفاده "کدگذاری می‌شوند" و دارای خواصی مشابه با آن‌ها می‌باشند. تحقق ساختارهای خاص و مطلوب نانوذرات معلق سوپرمولکولی به کمک تغییرات دقیق در پارامترهای ماکروسکوپی سیستم مانند ترکیب سیستم، انجام می‌پذیرد. در

[1] Molecular Nano Technology
[2] Forced Assembly
[3] Drexler

www.SID.ir

Archive of SID

حقیقت، تغییرات فازی در تهیه نانوکلوییدها به شدت بر خواص ماکروسکوپی توده نانوسیال تاثیرگذار است. در صنعت نفت، بخش اعظم مولکول‌های خود مونتاژ به بخش قابل حل "آسفالتین‌ها" تعلق دارد.

با این تفاسیر، عبارت "نانوتکنولوژی" را می‌توان برای هر عملیات صنعتی که بر پایه مفاهیم نمودارهای پیچیده نانوفازی سیالات نفتی طراحی و اجرا می‌شود به کار برد. چنین تکنولوژی باید دربردارنده فرآیندهایی باشد که به طور خاص طراحی شده تا با پیش‌گیری/ تحریک هدفمند تبدیلات فازی خاص در نانوکلوییدهای نفتی، خواص مهم توده سیال نفت را بهبود بخشیده و یا حداقل از بین نبرد.

طبق یافته‌های افدوکیموف[1] و همکاران در سال ۲۰۰۶، مدارک کافی دال بر آنکه نفت خام‌های محلی خود به عنوان "نانو سیالات آمیزشی" تلقی می‌گردند وجود دارد. از این رو، بهتر است که تکنولوژی‌های رایج/ نوظهور جهت مهندسی مخازن به شکل "فناوری‌های نانو" پدیدار گشته و به گونه‌ای بهینه سازی و طراحی گردند که پیچیدگی خاص نمودارهای فازی نانوکلوییدهای ذاتی نفت، نظیر مولکول‌های آسفالتین را در نظر بگیرند. این امر لااقل سبب نگهداری ساختار درونی و حساس نفت‌های خام خواهد گردید (این رویکرد را می‌توان به نام "نانوتکنولوژی نفت" در نظر گرفت.) توجه به خطوط مرزی نانوفازی می‌تواند از پیشامد مشکلات خاص در حین عملیات مختلف نظیر افزایش ناخواسته گرانروی و نقطه ریزش سیال و یا رسوب محتوای آسفالتینی آن جلوگیری نموده و یا سبب بهبود کیفیت نفت از طریق جداسازی سازنده‌های سبک و سنگین آن گردد [۲].

۳- چالش‌های صنعت نفت و گاز و راه حل‌های نانوتکنولوژی

صنعت نفت و گاز و به طور وسیع‌تر صنعت انرژی با چالش‌ها و مشکلات عدیده‌ای در بخش‌های مختلف خود در ساخت مواد و ابزار مورد نیاز و طراحی روش‌ها و عملیات ایمن روبرو می‌باشد. این مشکلات (که خلاصه آنها در جدول ۱ آورده شده است) ما را به جستجویی عمیق در پی یافتن راه حل‌های اساسی جهت رفع آن‌ها وامی‌دارد. در سال‌های اخیر، فن‌آوری‌های نانو توجه زیادی را در ارایه روش‌هایی جهت رفع این گونه مشکلات به خود جلب نموده‌اند. در ادامه به‌طور خلاصه پیشرفت‌های صورت پذیرفته در عرصه نانوفناوری در صنعت نفت و گاز را به همراه خلاصه‌ای از راه حل‌های ممکن در برخی از زمینه‌های پراهمیت مرور خواهیم کرد.

جدول ۱: نیازهای اخیر صنعت نفت و پاسخ‌های نانوتکنولوژی [۱]

زمینه	نیازهای صنعت	راه حل فن آوری نانو
اکتشاف	روش‌های اکتشافی با شعاع کاوش کمتر، سنجش از راه دور	نانوسنسورها و تصویربرداری به کمک نانوتکنولوژی
	روش‌های سریع و مؤثر تشخیص ذخایر نفتی	
	بهبود دقت وضوح تصاویر زیرسطحی و روش‌های محاسباتی	
	بقا در شرایط دما و فشار بالا در چاه‌های عمیق و محیط‌های نامساعد	
	ابزار پیشرفته جذب گاز	
	افزایش درجه وضوح کاوش‌های لرزه‌نگاری ۱، ۲، ۳ یا ۴ بعدی	
مدیریت مخازن	بهبود روش‌های تصویربرداری از راه دور، مانیتورکردن همزمان نرخ جریانی، فشار و دیگر پارامترها در طی تولید، دورسنجی بدون استفاده از سیم، تشخیص درجای مواد شیمیایی	نانوسنسورها
	تشخیص سریع و دقیق نقاط نشت (پیش‌گیری از خطرات زیست محیطی)	
	بهبود توصیف مخزن، شامل بهبود نسبت سیگنال-به-نویز ساختارهای موجود در زیر گنبدهای نمکی، بهبود مدل‌سازی سرعت با احتساب	

[1] Evdokimov

www.SID.ir

Archive of SID

	ناهمسانگردی مخزن	
	بهبود روش‌های دفع شن و تحرک‌پذیری سیالات تزریقی	نانوغشاها
	تراکم کنترل شده ذرات	
	قابلیت جداسازی و ذخیره CO_2	
حفاری	افزایش پایداری و پیوستگی فشار و بازدهی انتقال حرارت	نانومواد، نانو سیالات و نانوپوشش‌ها
	کاهش هرچه بیشتر آسیب وارده به سازه سکوهای حفاری، کاهش بار وزنی آنها، و افزایش استحکام آنها	
	افزایش راندمان و طول عمر تجهیزات حفاری، ساخت لوله‌ها و مته‌های حفاری ارزانتر، سبکتر و مستحکمتر	نانومواد و نانوپوشش‌ها
	افزایش طول عمر تجهیزات با مقاوم نمودن آنها در برابر خوردگی و سایش و بهبود چسبندگی آنها	
	بهبود نسبت استحکام-به-وزن دامنه وسیعی از تأسیسات زمین‌شناسی	
	استفاده از لوله‌های قابل انبساط در چاه‌های عمیق تر بدون نیاز به مانیتور کردن چاه، یا چاه‌های بدون لوله‌جداری	
	بهبود سازنده‌های سیمان- چگالی کم اما مقاومت زیاد، کیفیت چاه و مکان یابی‌چاه، مسدودکننده‌های دقیق و بی نظیر	
	موتورهای حفاری بسیار جدید برای استفاده در اعماق زیاد، الاستومرهای بهبود یافته	
	پیش‌گیری از لکه‌های زیستی	
	بهبود سیالات حفاری و ظرفیت حرارتی آنها	نانوسیالات و نانوغشاها
	دفع مواد سمی (جیوه، کادمیوم، سرب)	
	قابلیت جلوگیری از نفوذ گل حفاری، جداسازی فیلتره گل و آب سازند	
بهره‌برداری	کنترل و تشخیص درجا، مانیتورکردن بلافاصله تنش‌ها	نانوسنسورها
	توانایی هدایت شکاف‌ها و تحمل دماهای بالا برای رسیدن به اعماق زیاد مخازن چالش برانگیز، قرائت سطح تماس آب و نفت در چاه‌های عمیق	
	شناسایی مواد شیمیایی بدون وجود سازنده‌های فعال آنها در ته چاه	
	بهبود اندازه‌گیری‌های صورت گرفته درون چاه (فشار، دما، ترکیب سازنده‌ها و رسانایی)	
	تشخیص و تعیین دقیق مکان نشت‌ها (خطوط لوله، ته چاه)	
	دستیابی به دانش بهتر از ماتریکس، شکاف، خواص سیال و تغییرات مرتبط با تولید	
	افزایش مقاومت سایشی	نانومواد و نانوپوشش‌ها
	مواد خود درمانگر	
	پیوستگی فشار، افزایش استحکام	
	بهبود رفتار آب دوستانه و آب گریزانه در عملیات سیلاب‌زنی با آب	
	بهبود تصفیه آب (برای کاربردهای صنعتی، کشاورزی و شرب)	نانوغشاها
	حذف ناخالصی‌ها از نفت‌های سنگین و گازهای ترش	
	گوگردزدایی، بازداری از فعالیت باکتری‌های مولد H_2S	
	جداسازی اقتصادی CO_2	
	حذف ماسه	
	مسدودسازی مؤثر آب	

www.SID.ir

Archive of SID

	حذف رسوبات/ موم	
	تسهیل جداسازی سطحی امولسیون نفت/ اب	
نانوسیالات	نگه‌دارنده های قدرتمند/ کم ورن	
	سیالات دوستدار محیط زیست	
	ازدیاد برداشت نفت: بهبود گرانروی سیال و تغییرات مولکولی	
	افزایش دبی نفت تولیدی و کاهش تولید آب	
	تورم کننده‌های بازگشت‌پذیر/ قابل استفاده مجدد	
	توانایی تغییر خواص سطحی سنگ و سیال	
	برگشت‌پذیر سازی و کنترل ساخت و شکست امولسیون یا کف	
	بهبود فرآیند احتراق و پیش‌گیری از لکه‌دار شدن و خوردگی	
نانوغشاها و نانوکاتالیزورها	افزایش سرعت و ظرفیت پالایش. مواد جداساز و عایق‌های بهتر	پالایش و فرآورش
	تبدیل مؤثر هیدروکربن‌ها و بازدهی پالایش (شامل نفت خام‌های فوق العاده سنگین و ترش) به سوخت‌های پاک حمل و نقل	
نانوسنسورها	نظارت بهبودیافته در طی پالایش نفت	

۴- ازدیاد برداشت نفت (EOR[1])

نیاز به روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخازن در حال تولید امر انکارناپذیری است که به منظور پاسخ به تقاضای جهانی انرژی و باتوجه به کاهش تعداد میادین در حال اکتشاف در سرتاسر دنیا بسیار حیاتی به نظر می‌رسد. بسیاری از میادین در مراحل پایانی تولید خود به سر می‌برند و این در حالی است که حدود دو سوم از نفت درجای مخازن به کمک روش‌های عادی تولید قابل برداشت نمی‌باشد. سه روش کلی و اقتصادی جهت ازدیاد برداشت نفت مورد استفاده قرار می‌گیرند: (۱) بازیافت حرارتی، که در طی آن نفت درون مخزن از طریق تزریق بخار یا ایجاد احتراق درجا حرارت داده شده تا میزان گرانروی آن کاهش و در نتیجه درجه تحرک آن در مخزن افزایش یابد؛ (۲) تزریق گاز، که با هدف راندن جبهه نفتی به درون چاه‌های تولیدی از طریق انبساط گاز متراکم گازهایی نظیر گاز طبیعی، نیتروژن یا دی اکسیدکربن و به منظور کاهش گرانروی نفت سنگین از طریق فرآیند امتزاج و تسهیل در جریان سیال تولیدی، گازهای مناسب دیگری را به درون مخزن تزریق می‌کنند؛ و (۳) تزریق مواد شیمیایی، که شامل تزریق پلیمر در جهت افزایش بازده عملیات سیلاب‌زنی با آب، یا استفاده از سورفکتانت‌های مناسب به منظور کاهش نیروی کشش سطحی که مانع از عبور قطرات نفت از درون منافذ مخزن می‌گردد می‌شود. اما هریک از این روش‌ها در بسیاری از موارد به دلیل هزینه‌های عملیاتی بالا و یا عدم دستیابی به بازدهی مناسب بکار گرفته نمی‌شوند.

نانوتکنولوژی راه حلی را به منظور کنترل فرآیندهای برداشت نفت که توسط روش‌های کنونی یا پیشین موفقیتی کسب نکرده‌اند ارائه می‌دهد. این نانومواد می‌توانند بشدت میزان برداشت نفت را با بهبود ژئومکانیک مخزن از طریق کاهش کشش-سطحی و نیز ایجاد تغییرات اساسی در خود سیالات افزایش دهند.

امولسیون‌سازی روشی دیگر جهت افزایش گرانروی محسوب می‌شود، اما بسیاری از روش‌های پایدارسازی موجود پرهزینه بوده و یا جهت کاربردهای بزرگ مقیاس مناسب نمی‌باشند. با پایدارسازی به کمک نانوذرات تغییر سطح یافته می‌توان بر این مشکلات فایق آمد. امولسیون‌هایی که با افزودن نانوذرات پایدار شده‌اند قابلیت بقای طولانی مدت را در شرایط دمایی بالا دارا بوده که دامنه وسیعی از مخازن کاندیدا جهت عملیات ازدیاد برداشت را شامل می‌شوند. در صورت استفاده از این نانوامولسیون‌ها محدودیت‌های مرتبط با امولسیون‌های پایدار با ذرات جامد کلوییدی یا سورفکتانت‌ها، مانند ناپایداری در شرایط دمایی و شوری بالا، نیز مرتفع خواهد گردید. به دلیل پایداری این نانوامولسیون‌ها در شرایط مخزنی، می‌توان از آنها به عنوان رویکردی جدید در جداسازی CO_2 نیز استفاده نمود [۱].

[1] Enhanced Oil Recovery

www.SID.ir

Archive of SID

۵- نانوتکنولوژی و ازدیاد برداشت نفت

در بخش قبل به معرفی علم نانو و زمینه‌های بسیار بالقوه کاربردی آن در بخش‌های مختلف صنایع نفت و گاز اشاره گردید. اکنون به بررسی علوم نانو و نفت و چگونگی برقراری ارتباط میان آن‌ها خواهیم پرداخت. پس از آن توجه خود را بر روی توانمندی استفاده از فناوری نانو در زمینه ازدیاد برداشت نفت و عملیات مختلف مربوط به آن متمرکز خواهیم نمود. ابتدا پیچیدگی‌های موجود در این حوزه را بررسی نموده و سپس با استناد به نیروهای مؤثر در عملیات افزایش برداشت نفت از یک مخزن زیرزمینی و توانایی بسیار بالای علم نانوتکنولوژی در حل مشکلات مرتبط با مقیاس‌های بسیار ریزی که نیروهای فوق الذکر در آن ابعاد موجوداند، سعی در پرکردن خلأ موجود در این حوزه از مهندسی به کمک فناوری های نانو می‌کنیم.

زمینه‌های کلاسیک مرتبط با علم نفت و مهندسی نفت در جدول ۲ به صورت پررنگ نمایش داده شده است. ستونی که در سمت راست جدول به مباحث نانوتکنولوژی اختصاص یافته، به موضوعات مختلف از مقیاس نانو تا مقیاس میدانی می‌پردازد. ابزار مناسب به منظور استفاده در مقیاس گوناگون در این جدول گنجانده شده‌است.

جدول ۲: مقایسه‌ای میان علم نانو و علم نفت [۳]

علم نانو	علم نفت	مهندسی نفت
جذب پتانسیل شیمیایی نیروهای جداساز لایه‌های ترشونده اوسمزی معادله گوس معادله لاپلاس معادله یانگ معادله کلوین	فشار مویینگی تراوایی نسبی Sw, So, Sg SCAL/ آنالیز مغزه خواص سیال نیروهای گرانشی افزایش مقیاس	میزان نفت درجای اولیه، OOIP ضریب برداشت دبی تولیدی OPEX CAPEX چاه‌ها و تأسیسات
ازدیاد برداشت نفت و ترشوندگی (مقیاس نانو-خلل و فرج) جذب کشش‌های سطحی رفتار فازی زوایای تماس لایه‌های نازک تغییر ترشوندگی	ازدیاد برداشت نفت و ترشوندگی (مقیاس خلل و فرج-مغزه) انتقال جرم رول آپ تورم بهم‌آمیختگی امولسیون‌سازی نیروی مارانگونی تحریک قطره نفتی تشکیل جبهه نفتی تحرک‌پذیری جبهه نفتی	ازدیاد برداشت نفت و ترشوندگی (مقیاس مغزه-میدان) طراحی و اجرای ازدیاد برداشت شیمیایی نفت و ترشوندگی در میدان اشباع باقیمانده نفت در مخزن سیلاب‌زنی با آب پایه‌ای فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت در میدان دانش صریح و ضمنی

جدول فوق دربردارنده ابزار، تکنیک‌ها و مفاهیم مرتبط با علم نانو، علم نفت و مهندسی آن می‌باشد. مفاهیم کلیدی استفاده از معادلات علم کلویید و سطح مشترک یعنی معادلات گوس، لاپلاس، یانگ و کلوین که تا مقیاس‌هاس بسیار ریز نانو نیز قابل اطمینان‌اند در اولین خانه جدول نشان داده می‌شود. مباحث مربوط به ازدیاد برداشت نفت و ترشوندگی در مقیاس خلل و فرج-مغزه، قلب فرآیندهای برداشت نفت محسوب گشته و از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است [۳].

www.SID.ir

Archive of SID

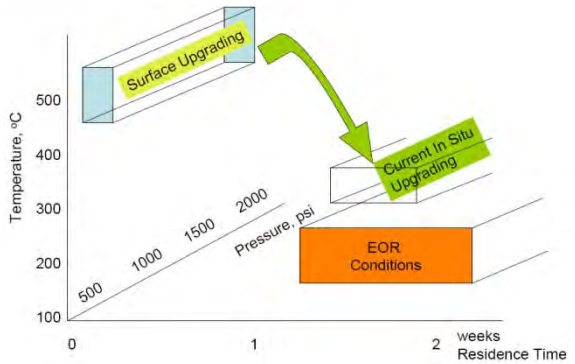
۵-۱- کاربرد نانوتکنولوژی در فرآیندهای مختلف ازدیاد برداشت نفت

با توجه به ماهیت فناوری نانو که با ابعاد بسیار ریز و در مقیاس مولکولی سروکار دارد و با معرفی نیروهای مؤثر در فرآیند ازدیاد برداشت نفت، توانایی بالای نانوتکنولوژی در بهبود ضریب برداشت نفت از مخازن زیرزمینی آشکار شد. در این بخش به چگونگی استفاده از فناوری نانو در بخش‌های مختلف ازدیاد برداشت نفت به صورت مجزا خواهیم پرداخت. برخی از این کاربردها نظیر استفاده از نانوذرات در ازدیاد برداشت نفت به روش شیمیایی به صورت عملی و یا تست‌های میدانی در آمده و برخی دیگر نیز مانند نانوسنسورها و نانوربات‌ها در مراحل ابتدایی و مطالعاتی خود قرار دارند که امید آن می‌رود در سال‌های پیش‌رو به استفاده فراوان از آنها در بخش‌های مختلف صنعت نفت و گاز روی آورده شود.

۵-۱-۱- مخازن نفت سنگین

نفت‌های سنگین، فوق‌سنگین و قیرهای نفتی از منابع غیرمتعارف نفت به شمار می‌آیند که با گرانروی و چگالی بسیار زیاد نسبت به نفت‌های متعارف شناخته می‌شوند. این‌گونه مخازن بخش عظیمی از منابع نفتی دنیا را تشکیل می‌دهند که به‌دلیل خواص فیزیکی‌شان، برداشت از آن‌ها با مشکلات عملیاتی بسیاری همراه می‌باشد.

رایج‌ترین عملیات ازدیاد برداشت نفت از مخازن نفت سنگین روش‌های حرارتی می‌باشند. دیگر روش‌های موجود برداشت نفت از این‌گونه مخازن عبارتند از معدن‌کاوی روباز برای مخازن کم عمق، تولید سرد نفت از طریق چاه‌های افقی، سیلاب‌زنی با آب، تولید سرد به همراه شن، تزریق حلال به همراه حرارت یا بدون استفاده از آن. در مقابل نیز، روش‌های متعدد تجاری برای تولید درجای نفت‌های سنگین وجود داشته و برخی نیز در مرحله تحقیقات و یا فاز میدانی قرار دارند. روش‌های حرارتی و نیز بسیاری از روش‌های تولید درجا به منابع انرژی خارجی به منظور حرارت دادن نفت سنگین و کاهش گرانروی آن نیاز خواهد داشت. گاز طبیعی رایج‌ترین سوخت برای تولید بخار محسوب می‌گردد که در سال‌های آتی با افزایش جهانی قیمت و تقاضای شدید برای مصارف مختلف آن روبرو خواهیم بود. می‌توان از سوخت‌های جایگزین دیگر جهت تأمین انرژی مانند نفت‌های سنگین یا فرآورده‌های جانبی بهسازی آن‌ها و نیز زغال‌سنگ استفاده کرد، امّا احتراق ساده آن‌ها باعث آزادشدن مقادیر زیاد گاز گلخانه‌ای CO_2 خواهد گردید [۴]. تجزیه نفت در اثر شکست حرارتی در دماهای بالاتر از ۶۵۰ درجه فارنهایت رخ خواهد داد. اگرچه تجزیه حرارتی سبب کاهش گرانروی نفت خواهد گردید، امّا اغلب اوقات این عمل به تولید مقدار زیادی کک می‌انجامد. از سوی دیگر، اگرچه این واکنش حرارتی درجه API نفت را به میزان دلخواه افزایش می‌دهد، اما تأثیر اندکی بر محتوای گوگرد آن گذاشته، سبب بالا رفتن عدد اسیدی مجموع آن و کاهش ارزش نفت تولیدی جهت عملیات پالایش می‌گردد [۵]. متعاقباً، نیاز به استفاده از روش‌های جایگزین و مؤثرتر جهت تولید نفت‌های سنگین احساس می‌گردد. در شکل ۱ شرایط دمایی و فشاری تعیین‌کننده نوع عملیات ازدیاد برداشت نفت‌های سنگین نشان داده شده است.



شکل۱: شرایط دمایی و فشاری تعیین کننده نوع عملیات ازدیاد برداشت نفت های سنگین

www.SID.ir

Archive of SID

۵-۱-۲- بهسازی درجای نفت‌های سنگین به کمک نانوکاتالیزورها

بهسازی درجای نفت و تبدیل آن به ترکیبات سبک‌تر به منظور کاهش گرانروی سیال درون محیط متخلخل و سهولت در حرکت آن به سمت چاه‌های تولیدی می‌تواند به عنوان روشی مؤثر در ازدیاد برداشت نفت‌های سنگین مورد استفاده قرار گیرد [۵، ۶].

می‌توان هیدروژن و کاتالیزور کلوییدی را همزمان و از طریق یک چاه تزریق نمود؛ در روش دیگر، ابتدا تزریق هیدروژن صورت گرفته و پس از گذشت مدت زمان کافی جهت نفوذ کامل هیدروژن به مناطق مختلف مخزن، مخلوط کاتالیزور تزریق می‌گردد. پس از انجام عملیات تزریق، زمان کافی برای تماس مخلوط تزریق‌شده با نفت مخزن و انجام واکنش‌های لازم جهت بهسازی درجای نفت سنگین از طریق فرآیند هیدروژنی‌شدن داده می‌شود. با نمونه‌برداری‌های متوالی از نفت تولیدی چاه و با توجه به دما، فشار و تخلخل سازند، میزان مناسب‌بودن گرانروی نفت تولید شده به منظور تولید اقتصادی آن سنجیده خواهد شد. مدت زمان لازم برای تماس مخلوط تزریقی با نفت مخزن که زمان "خیسش کاتالیزوری" نامیده می‌شود، بسته به شرایط مخزن و خواص نفت سنگین از کمتر از یک روز تا صدها روز متغیر است [۴].

۵-۱-۳- حذف گاز H_2S در عملیات بهسازی درجای نفت سنگین به کمک نانوذرات

در سال ۲۰۰۷، حسین و همکاران[1] رویکرد جدیدی را بر پایه میکروامولسیون نانوذره در جهت حذف گاز H_2S در طی بهسازی درجای نفت سنگین ارائه کردند. آنها از میکروامولسیون‌های آب در نفت برای تشکیل و پایدارسازی جذب کننده‌های نانوذره‌ای هیدروکسید/ اکسیدآهن که به صورت کلوییدی و بسیار پراکنده وجود دارند استفاده نموده‌اند. جذب ذرات با پراکندگی بسیار زیاد از دو مزیت برخوردار است؛ در وهله اول، افزایش بسیار زیاد سطح تماس با ذرات جاذب سبب کاهش مسافت طی‌شده میان سازنده‌های در حال واکنش و سطح خواهد گردید. مهمتر از آن، گوگرد حاصله که حالت جامد به خود دارد می‌تواند در سطح تولید گردیده و یا درون مخزن باقی بماند، که در هر دو مورد به لحاظ شیمیایی به صورت جامدی نسبتاً غیرفعال می‌باشد که به طور طبیعی در بسیاری از سطوح و محیط‌های زیرزمینی موجود است و از این رو نگرانی‌های زیست محیطی را درپی نخواهد داشت[۶].

۵-۱-۴- استفاده از نانوفلزات در کاهش گرانروی نفت سنگین یا بیتومن در روش‌های ازدیاد برداشت حرارتی

همان‌گونه که در ابتدای این بخش ذکر گردید، روش‌های گوناگونی برای بازیافت از منابع نفتی سنگین پیشنهاد شده است. تزریق بخار، بهسازی درجای نفت درون مخزن و به‌تازگی روش‌های حرارتی الکتریکی و الکترومغناطیسی از مهمترین و رایج‌ترین این روش‌ها می‌باشند.

روش‌های ازدیاد برداشت رایج (تزریق بخار) و غیررایج (روش‌های الکتریکی یا الکترومغناطیسی) نفت‌های سنگین یا بیتومن به انرژی زیادی نیازمند است. بازدهی این روش‌ها می‌تواند با بهبود انتقال انرژی به نفت جهت کاهش گرانروی افزایش یابد. به‌تازگی نشان داده شده است که ذرات فلزی در ابعاد نانو می‌توانند بازدهی بعضی فرآیندهای غیردرجا مانند مایع‌سازی زغال‌سنگ[2]، تجزیه حرارتی[3]، بازیافت شیل‌های نفتی و کاهش گرانروی نفت سنگین را بهبود بخشند. این ایده با اندکی تغییر می‌تواند جهت کاهش انرژی مورد نیاز جهت فرآیندهای حرارتی ازدیاد برداشت نفت سنگین و بیتومن مورد استفاده قرار گیرد. انتظار می‌رود که این ذرات فلزی با کاهش انرژی مورد نیاز، گرانروی سیال را کاهش دهند.

اثر ذرات فلزی برروی ویژگی‌های نفت و افزایش بازیافت در طول سه دهه گذشته از دیدگاه‌های مختلف مانند بازیافت درجا، غیردرجا با و بدون فرآیندهای حرارتی و ارتقا[4] نفت و بیتومن، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. شکرلو و

[1] Husein et al.
[2] Coal liquefaction
[3] Pyrolysis
[4] Upgrading

www.SID.ir

Archive of SID

همکارانش[1] در پژوهشی در دانشگاه آلبرتا اثر ذرات فلزی در ابعاد نانو در کاهش گرانروی نفت در فرآیندهای ازدیاد برداشت حرارتی را مورد بررسی قرار دادند [۶].

۵-۱-۵- ازدیاد برداشت نفت به‌روش شیمیایی

به‌طور خلاصه، روش‌های شیمیایی جهت بهبود ضریب بازیافت نفت سه هدف اساسی را دنبال می‌کنند: (۱) افزایش عدد مویینگی (N_C) جهت جابجایی نفت باقیمانده در حفرات، (۲) کاهش نسبت تحرک پذیری (M) برای بازدهی بهتر عملیات سیلاب‌زنی آب، و (۳) افزایش سازگاری در مخازن ناهمگن برای دستیابی به بازدهی سیلاب‌زنی بیشتر. در ادامه به کاربرد نانوذرات در بخش‌های متفاوت روش‌های شیمیایی برداشت نفت می‌پردازیم.

۵-۱-۶- نانوامولسیون‌ها

امولسیون‌ها، سیستم‌های چند فازی پراکنده و ناپایدار از نظر ترمودینامیکی دو مایع نامحلول یا بیشتر در یکدیگر هستند. امولسیون‌ها که حداقل از یک فاز پیوسته (فاز خارجی) و یک فاز داخلی مجزا تشکیل شده‌اند، زمانی تولید می‌گردند که انرژی اختلاط کافی جهت ایجاد سطح اضافه فاز پخش‌شونده فراهم شود. در یک انرژی اختلاط ثابت، با کاهش کشش‌سطحی، اندازه متوسط قطرات کوچکتر خواهد شد. تشکیل قطرات بسیار کوچک مشکل است و نیاز به مقدار زیادی انرژی و یا سورفکتانت دارد.

فرآیندهای متعددی را می‌توان برای تهیه امولسیون‌ها بکار برد. عموماً اختلاط مکانیکی یک توزیع گسترده از اندازه ذرات فراهم می‌سازد زیرا ادغام قطره-قطره با تشکیل قطره رقابت خواهد کرد. اغلب این امولسیون‌ها، ماکروامولسیون نامیده می‌شوند. ماکروامولسیون‌ها برای رسوب ناشی از گرانش یا بهم‌پیوستن مستعد هستند و در غیاب عوامل پایدارکننده (سورفکتانت‌ها، پلیمرها یا جامدات کلوئیدی) سریعاً منعقد می‌شوند.

مشخصه‌هایی که استفاده از نانوامولسی‌ون ها را برای کاربرد در میادین نفتی جذاب می‌کند، شامل مقاومت نانوامولسیون‌ها در برابر رسوب و تجمع است که در طی آن تفکیکی در تانک‌های ذخیره یا حین انتقال به خطوط لوله اتفاق نمی‌افتد. همچنین اندازه قطرات در مقایسه با گلوگاه‌های حفرات در سنگ مخزن یا آستره‌شنی کوچک است و تزریق‌پذیری و نفوذ مناسب بدون گیرافتادگی را میسر خواهند ساخت. زمانی که یک سیستم دو فازی است، آن‌ها باید برای حمل افزودنی‌های محلول در آب و نفت درون سیال یکسان مناسب باشند، نیاز به تانک‌های ذخیره جداگانه و خطوط تحویل چندگانه را کاهش می‌دهند. نهایتاً یک نانوامولسیون پایدار باید نسبت به زمان در برابر انعقاد و تبادل فاز پراکنده شده بین قطرات مقاومت کند. در این حالت، آن‌ها به مانند محفظه‌های کروی پراکنده در اندازه‌های نانو می‌مانند که بدون نیاز به تماس با یکدیگر توانایی حمل معرف‌های ناسازگار را خواهند داشت [۷].

۵-۱-۷- استفاده از نانوذرات در پایدارسازی فوم‌ها

فوم‌ها در صنعت نفت در ۳ بخش مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. نخستین کاربرد آن مسدودسازی رسوخ آب یا گاز در طی عملیات سیلاب‌زنی و تزریق به عنوان بازیافت ثانویه نفت می‌باشد. فوم به مناطق با تراوایی بالا نفوذ کرده و به منظور جلوگیری از رسوخ سیال تزریقی تراوایی آن نواحی را کاهش می‌دهد [۸]. فوم‌ها با کاهش تحرک‌پذیری گاز تزریقی مشکل کانالەشدن[2] گاز در نواحی بسیار تراوا به دلیل گرانروی پایین آن و نیز جدایش گرانشی[3] آن را به دلیل چگالی اندک گاز تا حد زیادی برطرف می‌سازند [۹]. در مرحله بعد فوم به منظور جابجایی نفت، خود به درون مخزن تزریق می‌گردد. کاربرد سوم فوم مربوط به استفاده از آن در گل های حفاری با چگالی پایین در جهت بهبود خارج‌سازی خرده‌های حفاری می‌باشد.

[1] Shokrlu et al.
[2] Channeling
[3] Gravity Segregation

www.SID.ir

Archive of SID

۵-۱-۸- استفاده از نانوذرات در عملیات سیلاب‌زنی با حلال در ازدیاد برداشت شیمیایی نفت

در مخازنی که به دلایل متفاوت از جمله مسایل زیست‌محیطی و فنی، نوع ساختار مخزن و احتمال تولید شن، محتوای بالای آسفالتینی و تراوایی درجای اندک محیط متخلخل امکان بکارگیری روش‌های حرارتی جهت ازدیاد برداشت نفت وجود ندارد، بهبود شیمیایی ضریب بازیافت نفت روش مناسبی ممکن است به نظر برسد. مکانیزم‌های اصلی ازدیاد برداشت نفت‌های سنگین در عملیات سیلاب‌زنی با امولسیون‌های پایه حلال شامل موارد زیر می‌باشد:

۱. کنترل تحرک‌پذیری
۲. کاهش گرانروی نفت
۳. امولسیون‌سازی درجای نفت سنگین

در مطالعات انجام شده توسط کیو[1] در سال ۲۰۰۹ ، از نانوذره CAB-O-SIL ® TS-530 جهت پایدارسازی امولسیون به همراه سورفکتانت استفاده گردیده است. این ماده می‌تواند امولسیون پایه حلال را غلیظ نموده و مقاومت جریانی بسیار مناسبی را فراهم آورد؛ بدین معنی که جذب کمتری بر روی سطح سنگ انجام می‌گیرد. علاوه بر آن، به دلیل مساحت سطحی بسیار بالا، می‌توان امولسیون را بدون سورفکتانت یا به کمک مقدار کمتری از آن تهیه نمود [۱۰].

۵-۱-۹- استفاده از نانوذرات در جهت بهبود عملیات سیلاب‌زنی با پلیمر

برخی از پلیمرها خواص و قابلیت انحلال بسیار مناسبی جهت بهبود خواص تزریقی در مخازن نفتی دارند. پلیمرها به‌طور گسترده در عملیات ازدیاد برداشت نفت مورد استفاده قرار می‌گیرند. این‌گونه ترکیبات به عنوان تغییردهنده‌های خواص رئولوژی سیال مخزن و به منظور بهبود گرانروی فاز پیوسته و در نتیجه نسبت تحرک‌پذیری و بازدهی عملیات سیلاب‌زنی بکار گرفته می‌شوند تا در نهایت سبب افزایش ضریب بازیافت و نرخ تولید نفت گردند. سیستم‌های پلیمری می‌بایست توانایی تحمل شرایط موجود در مخازن نفتی را داشته باشند. به‌علاوه، پلیمر مورد استفاده باید از حلالیت کاملی برخوردار بوده، در غلظت‌های اندک محلول دارای گرانروی بالا، و نسبت به فاز نفتی کشش‌سطحی پایین و کنترل تحرک‌پذیری مناسبی داشته باشد. پلیمر بکار رفته از نظر اقتصادی نیز می بایست مقرون به صرفه باشد.

به منظور برطرف نمودن مشکلات مرتبط با سیستم‌های پلیمری معمول، اخیراً استفاده از نانوذرات چسبیده به‌هم به لحاظ شیمیایی جذابیت‌های زیادی را درپی داشته است. سیلاب‌زنی با آب یکی از موفق‌ترین و رایج‌ترین روش‌های بازیافت ثانویه به شمار می‌رود. بهبود کنترل حرکت آب و جابجایی نفت توسط آن در مناطق کم تراوا از اهمیت زیادی در این نوع عملیات برخوردار است. بدین منظور ذرات بهم چسبیده به عنوان عامل مسدودکننده به درون مخزن تزریق شده که در نتیجه آن نواحی با تراوایی بالا مسدود گشته و مسیرهای با تراوایی اندک در معرض سیلاب قرار می‌گیرند [۱۱].

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله کاربردها و نقش فناوری نانو در زمینه‌های مختلف صنایع بالادستی نفت و گاز مرور شد. همچنین ضرورت استفاده از نانوتکنولوژی در این صنعت به همراه چالش‌های موجود مورد بررسی قرار گرفت و به‌طور خلاصه به پیشرفت‌های صورت پذیرفته در عرصه نانو فناوری در صنعت نفت و گاز به همراه راه حل‌های ممکن و امکان‌سنجی استفاده از این فناوری در بخش‌های مختلف ازدیاد برداشت پرداخته شد. طبق مطالعه انجام شده، این تکنولوژی می‌تواند تاثیر چشمگیری در صنعت نفت و گاز در جهت رفع مشکلات و ضعف‌های موجود، استخراج بهینه منابع هیدروکربوری و ازدیاد برداشت از مخازن زیرزمینی نفت و گاز ایفا کند. مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد نانو به منظور ازدیاد برداشت از مخازن هیدروکربوری بیشتر تئوری و آزمایشگاهی بوده و نیازمند استفاده و توسعه در مقیاس میدانی می‌باشند. گسترش و توسعه این تحقیقات در مقیاس میدانی

[1] Qiu

www.SID.ir

Archive of SID

می‌تواند موفقیت‌های گوناگونی را برای صنعت نفت و گاز به ارمغان بیاورد. همچنین مطالعه اقتصادی استفاده از این تکنولوژی امکان‌پذیری انجام آن را در مقیاس عملی و میدانی آشکار خواهد کرد.

مراجع

1. X. Kong, M.M, Ohadi.: Applications of Micro and Nano Technologies in the Oil and Gas Industry- An Overview of the Recent Progress. Paper SPE 138241, International Petroleum Exhibition & Conference, Abu Dhabi, 1-4 Nov, 2010.
2. N. Evdokimov, N.Y. Eliseev, A.P. Losev, M.A. Novikov.: Emerging Petroleum-Oriented Nanotechnologies for Reservoir Engineering. Paper SPE 102060, Oil and Gas Technical Conference and Exhibition, Moscow, Russia, 3-6 October, 2006.
3. J.P. Fletcher, J.P. Davis.: How EOR Can be Transformed by Nanotechnology. Paper SPE 129531, Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, Oklahoma, USA, 24-28 April, 2010.
4. R. O. Owen.: Catalytic Oil Recovery. United States Patent Application 20100175896, Jul, 2010.
5. J.E. Langdon, C.H. Ware.: Process for Dispersing NanoCatalysts into Petroleum-Bearing Formations. United States Patent Application 20100200232, May 2010.
6. M.M. Husein, L. Patruyo, P. Pereira.: In-Situ Removal of $H_2S_{(g)}$ Using Ultra-dispersed Iron Oxide Nanoparticles. AlChE Annual Meeting, Salt Lake, Utah, 4-9 Nov, 2007.
7. Gaudio, L.D., R. Bortolo, and T.P. Lockhart.: Nanoemulsions: A New Vehicle for Chemical Additive Delivery. Paper SPE 106016, International Symposium on Oilfield Chemistry, Houston, Texas, U.S.A 28 February-2 March, 2007.
8. J.R. Baran, O.J. Cabrera.: Use of Surface Modified Nanoparticles for Oil Recovery. United States patent US 7033975B2, April, 2006.
9. T. Zhang, et al.: Foams and Emulsions Stabilized With Nanoparticles for Potential Conformance Control Applications. Paper SPE 121744, SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, The Woodlands, Texas, 20-22 April 2009.
10. F. Qiu.: The Potential Application in Heavy Oil EOR with the Nanoparticle and Surfactant Stabilized Solvent-Based Emulsion. Paper SPE 134613, Canadian Unconventional Resources & International Petroleum Conference, Calgary, Alberta, Canada, 19-21 October. 2010.
11. N. Al-Manasir, A.L. Kjoniksen, B. Nystrom.: Preparation and Characterization of Cross-Linked Polymeric Nanoparticles for Enhanced Oil Recovery Application. J. Appl. Polym. Sci. vol 113, 2009.

www.SID.ir