کاربرد فناوری نانو در ازدیاد برداشت نفت

مقدمه

با توجه به اهمیت روز افزون انرژی های فسیلی در دنیا و از طرفی کاهش میزان کشف مخازن جدید، امروزه نیاز به ازدیاد برداشت نفت بیش از گذشته احساس شده و یافتن روشهای نوین جهت ازدیاد برداشت نفت از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. با توجه به اینکه روش‌های معمول اکتشاف و تولید نفت ممکن است قادر به تامین تقاضای رو به افزایش انرژی نباشند، بنابراین، صنایع نفت و گاز با چالش های سختی مواجه بوده و نیاز به نوآوری‌هایی در تکنولوژی به منظور تامین انرژی مورد نیاز می باشد. نانو فناوری هم اکنون سهم قابل توجهی را در پیشرفت فناوری در شماری از صنایع همچون الکترونیک، بیوپزشکی، داروسازی، مواد، هوا فضا و به تازگی صنایع وابسته به انرژی به خود اختصاص داده است. با قابلیت‌های ارائه شده برای نانوتکنولوژی و توجه به پیشرفتهای روز افزون این تکنولوژی در زمینه‌های مختلف و کارایی بسیار بالای آن، نانو تکنولوژی می‌تواند راه‌حل‌هایی منحصر به فرد را برای عبور از این چالش ارائه دهد. فناوری نانو این ظرفیت و پتانسیل را دارد تا تغییرات متحول کننده‌ای را در حوزه‌های مختلف صنایع نفت و گاز نیز همچون اکتشاف، حفاری، ازدیاد برداشت و پالایش و پخش به وجود آورد.

چشم انداز استفاده از نانوذرات در ازدیاد برداشت شیمیایی

در سال‌های اخیر برخی از گروه‌های تحقیقاتی در دنیا در صدد استفاده از فناوری‌های نانو در ازدیاد برداشت نفت بر آمده‌اند و با بررسی میزان ازدیاد برداشت نفت در هنگام استفاده از نانو ذرات، بر لزوم مطالعات شیمی سطح نانو ذرات تاکید نمودند. نتایج این مطالعات بر لزوم ورود نانو تکنولوژی در صنایع بالادستی نفت در آینده نزدیک و نیز ارتباط بیشتر این صنعت با علوم فیزیک، شیمی، ریاضی و مواد اشاره می‌نماید. همچنین پیش‌بینی می‌شود که با اتکا به نانوتکنولوژی امکان برداشت نفت با ضریب بازیافتی در حدود ۶۰ تا ۶۵ درصد وجود خواهد داشت. نفت خام نیز در حقیقت بصورت طبیعی یک نانوسیال است که مولکول‌های بزرگ و جامد آسفالتین در آن نقش نانوذرات را دارند. بدین دلیل است که از نظر برخی از محققین تمامی تکنولوژی‌های موجود در صنایع نفت و گاز می‌تواند به نوعی در زمره نانوتکنولوژی قرار گیرد. در واقع کاربرد نانو تکنولوژی در صنایع نفت و گاز به طور کامل جدید نیست. برای مثال سالهاست ذرات جامد رسی در ابعاد نزدیک به نانومتری در گل‌های حفاری استفاده شده و سبب ایجاد خواص رئولوژیکی شگفت آوری در فازهای آب و نفت شده‌اند. به هر جهت، امروزه توانایی ساخت نانو ذرات با شکل، اندازه و برهمکنش‌های شیمیایی قابل کنترل دریچه‌ای جدید را به سوی گسترش نسل جدیدی از سیالات معروف به سیالات هوشمند قابل کاربرد در حفاری، تولید و تکمیل چاه باز نموده است.

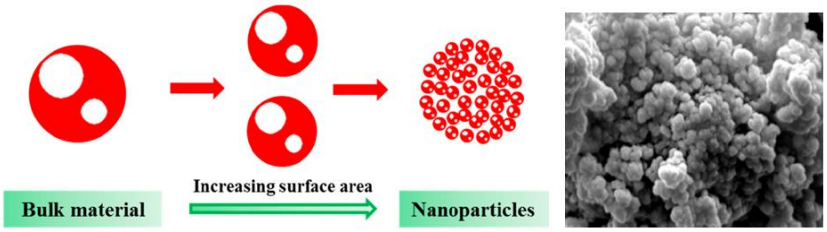
تعاریف و مبانی اولیه نانو و خواص ویژه نانوذرات

فناوری نانو: فناوری نانو یا نانوتکنولوژی علم مواد در ابعاد بسیار نزدیک به بعد مولکولی بوده که دیدگاه انسان را در بسیاری از جوانب علمی تغییر داده و راه حل‌های نوینی را برای مسائل قدیمی که تکنولوژی گذشته قادر به حل آنها نبوده است، ارائه داده است. فناوری نانو در اصطلاح ساخت و استفاده از ابزار هایی بسیار کوچک بوده که واحدهای اندازه‌گیری آنها نانومتری می‌باشد. در اصطلاح مهندسی می‌توان نانو تکنولوژی را به صورت "کنترل مستقیم مواد و ابزار در ابعاد اتمیک و مولکولی" تعریف نمود [1]. در حقیقت فناوری نانو یک رشته جدید نیست بلکه رویکردی جدید در تمامی رشته‌ها می‌باشد.

نانوذرات: طبق تعریف جوامع علمی مرتبط با نانو تکنولوژی، نانوذره به ذره‌ای گفته می‌شود که ابعادی بین یک تا ۱۰۰ نانومتر داشته باشد. این ذرات از طیف وسیعی از مواد ساخته می‌شوند. یکی از مهمترین خصوصیات مواد در ابعاد نانومتری انرژی سطحی بالای این مواد می‌باشد. به نظر می‌رسد که این مواد با این مشخصه مهمی که دارند بتوانند در شرایط مناسب از نظر

جنس و اندازه دیگر پارامترهای خواص سنگ و سیال را در مخزن به گونه‌ای تغییر دهند که نفت آسانتر تولید گردد. در مخازن نفتی با تراوایی پایین به دلیل نقش قوی نیروهای موئینگی در منافذ و کانال‌های بسیار ریز سنگ مخزن، روش‌های معمول ازدیاد برداشت چندان موثر نمی‌باشند. این روش‌ها بر نیروهای موئینگی، ویسکوز و ثقلی تمرکز می‌کنند درحالیکه نانوتکنولوژی بر نیروهای بین مولکولی و کوانتومی که نیروهایی در مقیاس نانو هستند تکیه دارد.

نانوسیال: نانوسیالات سوسپانسیون‌های کلوئیدی از ذرات ریز نانومتری معلق در یک سیال پایه هستند که ویژگی‌های منحصر بفردشان موجب کاربرد آنها در صنایع مختلف شده است. سیال پایه می تواند هر یک از فازهای آب، نفت و یا حتی گاز باشد. اصلی‌ترین مشخصه نانو سیالات این است که خصوصیات آنها تابعی از اندازه نانوذرات تشکیل دهنده آن است. اندازه نانو ذرات کلوئیدی بسیار کوچک (بیشتر نزدیک به ابعاد اتمیک) بوده و قوانینی که رفتار مواد را در این ابعاد کنترل می‌کند در مقایسه با ابعاد میکرو و ماکرومتری کاملاً متفاوت است. در بعد نانومتری وابستگی خواص ماده به اندازه اجزای تشکیل دهنده آن، سبب شده است تا مواد تشکیل شده از نانوذرات رفتاری متفاوت از مواد پایه از خود نشان دهند. این موضوع دلیل اصلی برتری نانو سیالات نسبت به سیالات معمول می‌باشد. بسیاری از خواص مهم سیال پایه از قبیل خواص گرمایی، خواص جریانی، خواص مغناطیسی، تنش میان‌رویه[1] و ویسکوزیته در حضور نانوذرات تغییر یافته و شدیداً تابعی از اندازه و شکل ذرات می‌باشند.



شکل.۱ نسبت سطح به حجم بسیار زیاد نانوذرات در نتیجه تبدیل شکل ماده از حالت توده به ذرات نانومتری [2]

مقایسه خواص نانوذرات با عامل‌های شیمیایی متداول

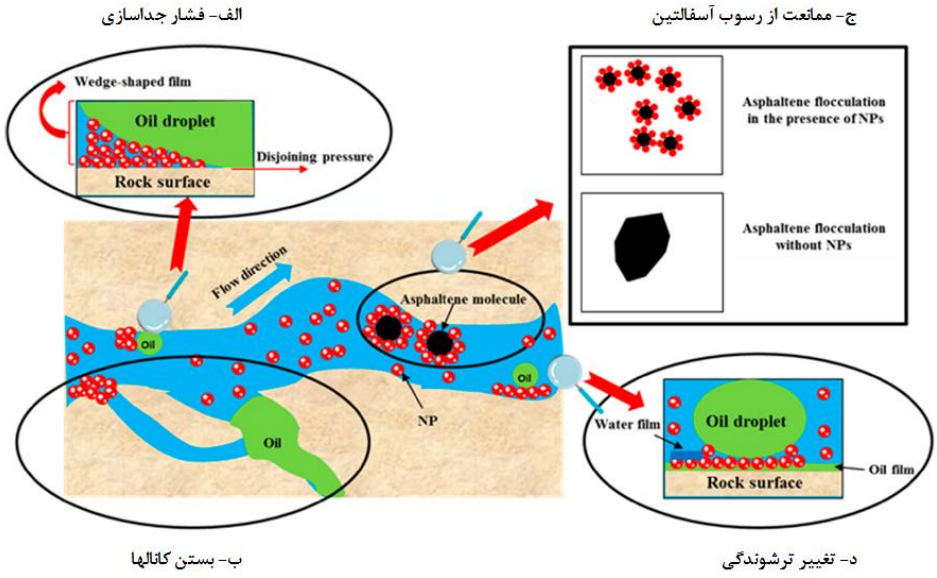
یکی از مهمترین چالش‌های استفاده از روشهای شیمیایی ازدیاد برداشت بسته شدن حفرات محیط متخلخل به‌وسیله سیال تزریقی (برای مثال مواد پلیمری) بوده که سبب کاهش نفوذپذیری سازند و در نتیجه افزایش هزینه‌های تزریق می‌شود. به طور معمول نانوذرات مورد استفاده در ازدیاد برداشت همانند نانوذرات سیلیکا، اکسید تیتانیوم و اکسید آلومینیوم دارای اندازه کوچکتری نسبت به اندازه خلل و فرج مخزن می‌باشند. بنابراین نانوذرات می‌تواند بدون آسیب رساندن به سازند و بستن حفرات از آنها عبور کرده و سبب افزایش برداشت گردند. نانوذرات ریز حتی توانایی ورود به منافذی را داشته که در برخی از روش‌های معمول ازدیاد برداشت شیمیایی امکان آن وجود ندارد. نسبت سطح به حجم بسیار زیاد (به دلیل کوچک بودن اندازه نانوذرات) یکی دیگر از ویژگی‌های مثبت نانوذرات جهت استفاده در عملیات ازدیاد برداشت شیمیایی می‌باشد. به دلیل سطح تماس بالا، تعداد اتم‌های سطحی نانوذرات و موثر بر واکنش‌های شیمیایی نیز زیاد می باشند. همچنین یکی از پارامترهای مهم استفاده از مواد شیمیایی، هزینه تامین آنها می‌باشد. با توجه به اینکه نانوذرات هزینه نسبتاً کمتری نسبت به دیگر مواد شیمیایی دارند، پتانسیل استفاده بیشتر از آنها در سال‌های آینده وجود خواهد داشت. علاوه بر آن با توجه به اینکه بسیاری از نانوذرات مورد استفاده بصورت طبیعی در محیط وجود دارد، تاثیر منفی کمتری نیز به محیط زیست خواهند داشت.

مکانیزم‌های شناخته شده تاثیر نانوذرات بر ازدیاد برداشت

[1] Interfacial Tension (IFT)

همانند طراحی هر فرایند ازدیاد برداشت شیمیایی دیگر، قبل از انجام عملیات ازدیاد برداشت بوسیله نانوذرات نیز درک صحیح از مکانیزم‌های چگونگی تاثیر نانوذرات بر افزایش تولید نفت جهت موفقیت آمیز بودن طرح ضروری می‌باشد. با وجود آنکه نتایج مطالعات انجام شده اخیر برخی از این مکانیزم‌ها را آشکار نموده با این حال بسیاری از مکانیزم‌های موثر همچنان ناشناخته باقی مانده است. در ادامه مهمترین مکانیزم‌های پیشنهاد شده برای تاثیر نانوسیالات بر افزایش تولید نفت به اختصار مرور شده است.

- فشار جداسازی[2]: حضور نانوذرات در فاز آبی می‌تواند سبب تشکیل یک لایه گوه‌ای[3] شکل در سطح تماس سه فازی آب/ نفت/ سنگ شود. لایه گوه‌ای تشکیل شده همچون یک غشای اسمزی عمل کرده و سبب ایجاد یک فشار اسمزی از داخل فاز آبی به سمت فاز نفتی و در نتیجه حرکت جبهه نفت خواهد شد. میزان این فشار بستگی به عواملی همچون اندازه و غلظت نانوذرات، دما، شوری و خواص سنگ داشته و در مواردی حتی به میزان ۵۰ هزار پام خواهد رسید (شکل.۲ الف).
- بستن دهانه کانال‌ها[4]: هنگام جریان سیال از درون حفرات سنگ، باریک شدن مسیر سبب افزایش اختلاف فشار و در نتیجه افزایش سرعت سیال می‌شود. تجمع نانوذرات در دهانه برخی حفرات ریز تر می‌تواند سبب مسدود شدن موقت آنها و در نتیجه جریان شدید تر سیال به دیگر حفرات و تخلیه نفت درون آنها شود (شکل.۲ ب). همچنین با تخلیه نفت و باز شدن مسیر عبور سیال، افت فشار نیز کمتر شده که سبب جدا شدن مجدد نانوذرات از یکدیگر و باز شدن مسیرهای بسته شده می‌شود. عواملی همچون غلظت و اندازه نانوذرات، دبی تزریق و قطر حفرات سنگ در این پدیده تاثیرگذار می‌باشند.



شکل.۲ شماتیک مکانیزم‌های پیشنهادی تاثیر نانوذرات بر تولید نفت [2]

- کاهش تحرک‌پذیری سیال تزریقی: یکی از فاکتورهای مهم در راندمان سیلابزنی شیمیایی نسبت تحرک‌پذیری سیال تزریقی به فاز نفتی می‌باشد. این نسبت با ویسکوزیته سیال تزریقی نسبت معکوس داشته و کاهش آن سبب حرکت پیستون‌وار تر سیال تزریقی و کاهش احتمال انگشتی شدن آن و در نتیجه افزایش راندمان تزریق می‌شود. حضور نانوذرات در فاز تزریقی می‌تواند به میزان قابل توجهی ویسکوزیته سیال تزریقی را افزایش داده و سبب کاهش نسبت تحرک‌پذیری گردد. برای مثال نتایج نشان داده حضور یک درصد نانوذره در فاز گازی دی اکسید کربن سبب افزایش ۱۴۰ برابری

[2] Disjoining Pressure
[3] Wedge
[4] Pore Channels Plugging

ویسکوزیته گاز می‌شود. عوامل تاثیرگذار بر میزان افزایش ویسکوزیته نانوسیال نرخ برشی، دما، غلظت و نیز نوع نانوذرات استفاده شده می‌باشند.

- جلوگیری و کنترل رسوب آسفالتین: در بسیاری از فرآیندهای ازدیاد برداشت شیمیایی و یا تزریق گاز، به هم خوردن تعادل ترمودینامیکی سیستم می‌تواند سبب رسوب آسفالتین در درون مخزن، چاه و یا تاسیسات سطحی الارضی گردد. حضور نانوذرات در فاز تزریقی و جذب آنها به مولکول‌های آسفالتین می‌تواند سبب پایداری بیشتر آسفالتین در فاز نفتی و در نتیجه کاهش رسوب و جداشدگی آنها از فاز نفتی گردد (شکل.۲ ج). فاکتورهای تاثیرگذار در این پدیده عواملی همچون دما، مقدار و محتویات آسفالتین و آب و مدت زمان تماس آسفالتین با نانوذرات می‌باشند.
- کاهش تنش میان‌رویه: تنش میان‌رویه یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده چگونگی توزیع و حرکت سیالات در محیط متخلخل و کاهش آن یکی از اهداف اصلی روش‌های ازدیاد برداشت شیمیایی می‌باشد. حضور نانوذرات در فاز تزریقی می‌تواند سبب کاهش بیشتر تنش میان‌رویه و افزایش راندمان تزریق گردد. نانوذرات می‌توانند خود بصورت ذاتی همانند سورفکتانت‌ها دارای خواص فعال‌کنندگی سطحی بوده و یا اینکه با جذب گروه‌های عاملی موجود در فاز نفتی یا فاز آبی قابلیت کسب خواص فعال کنندگی سطح را پیدا نمایند. همچنین نشان داده شده که حضور نانوذرات طبیعی خنثی نیز می‌تواند سبب افزایش خواص فعال سطحی مولکول‌های سورفکتانت و افزایش راندمان آنها گردد [3].
- تغییر ترشوندگی: جذب نانوذرات بر دیواره سنگ می‌تواند سبب تغییر ترشوندگی سنگ گردد. تغییر ایجاد شده در ترشوندگی اولیه سنگ موثر از جنس نانوذرات جذب شده (با ترشوندگی متفاوت از ترشوندگی سنگ) و نیز زبری نانومتری ایجاد شده بر روی سطح سنگ می‌باشد. تغییر ترشوندگی سنگ از حالت نفت-تر به آب-تر و غلبه بر نیروی موئینگی سبب افزایش آشام سیال تزریقی به درون سنگ و در نتیجه افزایش راندمان تزریق آب خواهد شد (شکل.۲ د). این پدیده در فرایند تزریق گاز نیز با استفاده از نانوذرات معلق در فاز گازی (آیروسل یا نانوذرات گازی) و ایجاد تغییر ترشوندگی به حالت گاز-تری قابل دستیابی خواهد بود. همچنین تغییر ترشوندگی به سمت گاز-تری سبب جلوگیری از تجمع مایعات گازی در نزدیکی دهانه چاه در مخازن گاز میعانی و افزایش راندمان و نرخ تولید از این مخازن می‌شود.
- پایداری فوم/ میکروامولسیون‌ها: نانوذرات با جذب شدن به سطح تماس سیالات (آب/ گاز و یا آب/ نفت) می‌توانند سبب پوشش سطح تماس دو فاز و افزایش الاستیسیته سطحی شده و شرایط پایداری فوم/ امولسیون‌های مورد استفاده در فرایندهای ازدیاد برداشت شیمیایی را بوجود می‌آورند. فوم/ امولسیون‌های حاصله بر حسب خاصیت ترشوندگی ذرات جامد تشکیل دهنده آنها می‌توانند حتی در شرایط دما و شوری بالای مخزن نیز در یک بازه زمانی طولانی فوق العاده پایدار باشند.
- بهبود راندمان روش‌های ازدیاد برداشت حرارتی: حضور نانوذرات فلزی سبب افزایش هدایت حرارتی فاز تزریقی (و یا فاز نفتی در صورت ورود نانوذرات به این فاز) که می‌تواند منجر به افزایش راندمان و اثربخشی روش‌های ازدیاد برداشت حرارتی از جمله تزریق بخار و یا احتراق درجا شود. علاوه بر آن می‌توان به نقش کاتالیستی برخی از نانوذرات فلزی همانند نانوذرات آهن و یا نیکل اشاره نمود. در این فرایند مواد قیری موجود در نفت خام سنگین از طریق برخی واکنش‌های شیمیایی بر روی سطوح نانوذرات تبدیل به ترکیبات سبک‌تر شده که علاوه بر اصلاح درجای نفت[5]، سبب کاهش چشمگیر ویسکوزیته این فاز و در نتیجه تولید بیشتر و با کیفیت‌تر نفت خام می‌گردد.

منابع

[5] In-Situ Upgrading

[1] O. Bueno, “The Drexler-Smalley Debate on Nanotechnology: Incommensurability at Work?,” *HYLE – Int. J. Philos. Chem.*, vol. 10, pp. 83–98, 2004.

[2] X. Sun, Y. Zhang, G. Chen, and Z. Gai, “Application of Nanoparticles in Enhanced Oil Recovery : A Critical Review of Recent Progress,” *Energies*, vol. 10, pp. 345–378, 2017.

[3] H. Vatanparast, A. Samiee, A. Bahramian, and A. Javadi, “Surface behavior of hydrophilic silica nanoparticle-SDS surfactant solutions: I. Effect of nanoparticle concentration on foamability and foam stability,” *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 513, pp. 430–441, 2017.