

# کاربرد فناوری نانو در فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت خام

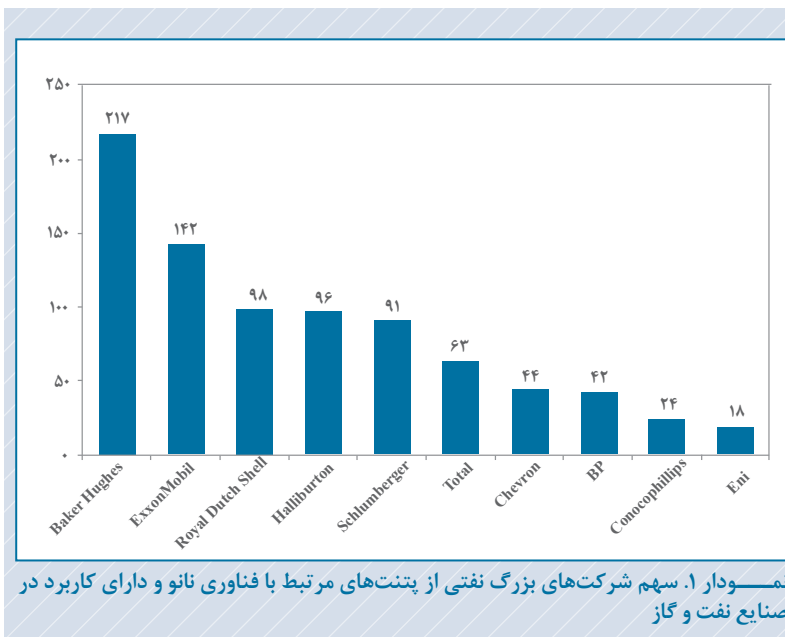
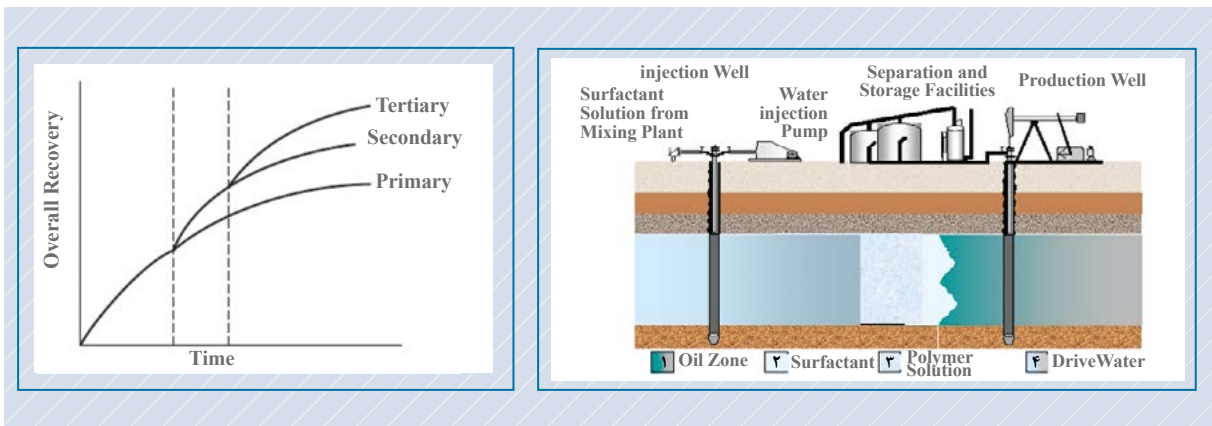
تهیه‌کننده:  
شرکت ایده‌سازان عصر آفتاب

(مانند روش‌های میکروبی و غیره) برای ازدیاد برداشت نفت استفاده می‌شود. انتخاب روش مناسب ازدیاد برداشت نفت خام به متغیرهای زیادی از جمله شرایط دوره‌ی عمر مخزن، نوع نفت خام درون مخزن، نوع سنگ مخزن، در دسترس بودن سیال تزریقی و غیره بستگی دارد.

استفاده از مواد شیمیایی در فرآیندهای EOR یکی از روش‌های متداول است. در این روش، موادی از جمله پلیمرها، مواد فعال سطحی و حلال‌ها و ترکیبات مختلف شیمیایی به منظور تزریق به درون چاه جهت کاهش کشش سطحی دو فاز، ایجاد یک نسبت پویایی مناسب و بهبود تحرک نفت خام در مخازن مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های شیمیایی دارای پتانسیل زیادی در فرآیندهای EOR هستند زیرا توانایی افزایش بازدهی برداشت نفت خام را دارند. اما استفاده از این مواد خالی از اشکال نیست، زیرا این فرآیندها پیچیده و هزینه‌بر بوده و عمدتاً با کاهش تراوایی پس از سیلاب‌زنی همراه هستند و اتلاف مواد تزریقی در این روش‌ها معمولاً زیاد است. به همین دلیل تنها در صورت وجود توجیه اقتصادی، قابلیت استفاده از این روش‌ها وجود دارد.

در طول عمر یک مخزن نفتی می‌توان در طی سه دوره نفت خام را استخراج نمود. در مرحله اول نیروهای طبیعی درون خود مخزن باعث استخراج نفت از درون چاه می‌شود. عوامل مختلفی در طی این دوره در تولید نفت خام و سرازیر شدن نفت به سمت چاه تولیدی نقش دارند.

با گذشت زمان و با تولید نفت، افت فشار در یک مخزن نفتی ایجاد می‌شود که به منظور تثبیت فشار و ادامه تولید نفت، سیالاتی به درون مخزن تزریق می‌شود. در این مرحله که به مرحله ثانویه شهرت دارد، تزریق به دو صورت تزریق آب و یا تزریق گاز انجام می‌شود. پس از این مرحله و برداشت بیشتر نفت از مخزن، فشار درون مخزن دچار افت بیشتر شده بطوریکه دیگر با روش‌های معمول ذکر شده نمی‌توان نفت را برداشت کرد. به همین دلیل در مرحله سوم روش‌های مختلفی به منظور افزایش تولید نفت مورد استفاده قرار می‌گیرد که به روش‌های ازدیاد برداشت نفت خام یا Enhanced Oil Recovery که به اختصار EOR گفته می‌شود، معروف هستند. در این مرحله از روش‌های مختلفی از جمله تزریق امتزاجی / غیرامتزاجی / گاز، روش‌های حرارتی، روش‌های شیمیایی و یا روش‌های نوین



### ۱ اهمیت فناوری نانو در صنایع نفت و گاز

در سال‌های اخیر با گسترش علم نانو، شرکت‌های بزرگ نفتی سعی در استفاده از فناوری نانو در بخش‌های مختلف صنایع نفت و گاز دارند. پتانسیل‌های زیاد فناوری نانو موجب شده است که بخش عمده‌ای از فعالیت‌های تحقیق و توسعه شرکت‌های بزرگ نفتی به استفاده از فناوری نانو معطوف شود.

بر اساس رصد فناوری که به سفارش ستاد توسعه فناوری نانو با موضع بررسی فعالیت‌های ده شرکت برتر نفتی جهان<sup>۱</sup> در حوزه فناوری نانو انجام شده است، مشخص گردید که این شرکت‌ها در مجموع ۸۳۵ پتنت در حوزه فناوری نانو و صنایع مختلف نفتی (بالادستی و پایین‌دستی) در ادارات مختلف ثبت اختراع در سراسر جهان ثبت نموده‌اند که نشان‌دهنده اهمیت فناوری نانو در حوزه‌های مختلف صنایع نفت و گاز است. سهم هر شرکت از پتنت‌های مرتبط با فناوری نانو و دارای کاربرد در حوزه صنایع نفت و گاز در نمودار ۱ قابل مشاهده است.

بر اساس اطلاعات استخراج شده از پتنت‌های فوق، تعداد پتنت‌هایی که در حوزه صنایع بالادستی و پایین‌دستی نفت به ثبت رسیده است تقریباً برابر بوده است که بیانگر اهمیت فناوری نانو در هر دو حوزه بالادستی و پایین‌دستی است.

### ۲ پتانسیل‌های فناوری نانو در ازدیاد برداشت نفت

چند سالی پیش نیست که استفاده از فناوری نانو در فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت مورد توجه قرار گرفته است، اما در این مدت کوتاه به یکی از اولویت‌های کاربردی فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت تبدیل شده است. استفاده از نانومواد به منظور ازدیاد برداشت نفت جزء روش‌های نوین ازدیاد برداشت تقسیم‌بندی می‌شود. نانوذرات به دلیل

- سازگاری بیشتر با محیط‌زیست نسبت به سایر مواد شیمیایی
- تحمل دما و فشار بالا به دلیل مقاومت بیشتر در برابر تخریب نسبت به بقیه مواد

### ۳ کاربرد فناوری نانو در فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت

بر اساس تحلیل پتنت انجام شده، از میان پتنت‌های مربوط به فناوری نانو در حوزه بالادستی صنایع نفت، حدود ۸٪ از پتنت‌ها مرتبط با کاربرد فناوری نانو در فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت بوده است. با توجه به گسترده بودن حوزه کاربرد فناوری نانو در صنایع نفت و گاز این میزان (۸ درصد) سهم بالایی محسوب می‌شود. همچنین باید در نظر داشت که در دسته‌بندی زیر تنها پتنت‌هایی که کاربرد مستقیم در EOR داشته لحاظ شده است و بسیاری از پتنت‌های مرتبط با تولید

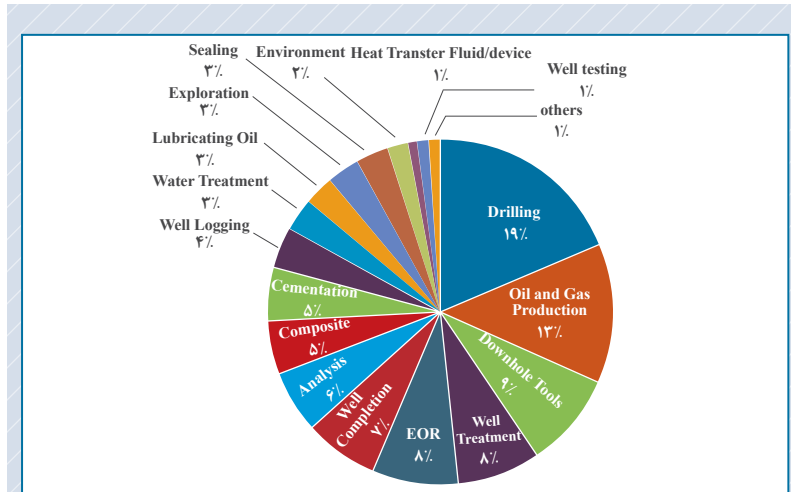
توانایی‌ها و پتانسیل‌های مختلفی که دارند، می‌توانند کاندیدای مناسب به منظور استفاده در فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت باشند. به عنوان مثال اکثر روش‌های شیمیایی دارای کاهش تراوایی شدید پس از تزریق هستند و با رسوب در درون سنگ مخزن باعث بسته شدن خلل و فرج سنگ مخزن می‌شوند. اما نانوذرات به دلایلی که در ادامه آورده شده است، دارای کاربرد در فرآیندهای ازدیاد برداشت هستند:

- اندازه کوچک این مواد که موجب ورود آسان آنها به خلل و فرج سنگ مخزن شده و بدون به دام افتادن، نفت را از درون خلل و فرج خارج می‌کند.
- قابلیت تغییر خواص سیال پایه و ایجاد یک نسبت پویایی مناسب در آن
- توانایی پایدارسازی امولسیون‌ها
- انتقال سریع و بهتر گرما در روش‌های حرارتی

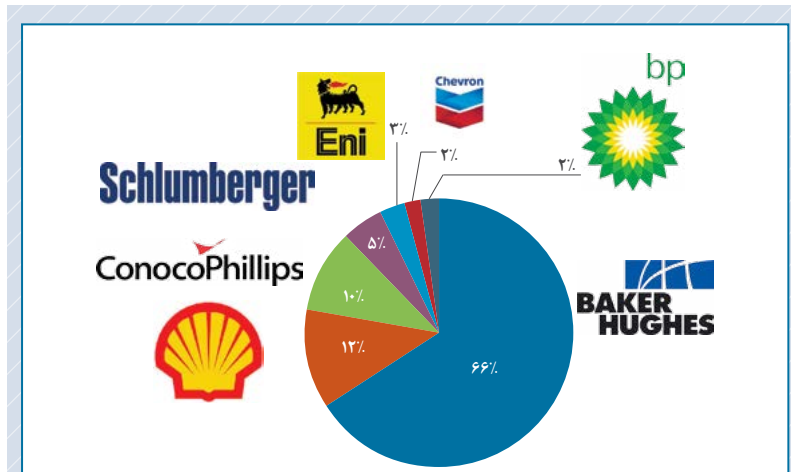
مورد استفاده قرار می‌گیرد، یکی از متداول‌ترین روش‌های ازدیاد برداشت نفت است. در این فرآیند تامین آب با درصد شوری مناسب برای تزریق بصورت تنها یا همراه با سایر مواد شیمیایی مانند مواد فعال سطحی، عاملی مهم در این فرایند است. در این فناوری که در سال ۲۰۰۷ توسط شرکت بی‌پی به ثبت رسیده است<sup>۱</sup>، از نانوفیلتراسیون برای تهیه آب و یا کاهش شوری و حذف یون‌های دوظرفیتی موجود در آن استفاده شده است. در این فناوری از دو فرایند اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون استفاده می‌شود و این امکان را می‌دهد که آب تزریق با شوری مناسب و بدون حضور یون‌های سنگین بدست آید. آب مصرفی در این مراحل می‌تواند آب دریا، آب رودخانه، آب بدست آمده از خود مخزن نفتی، آب فاضلاب، سفره‌های آب زیرزمینی و یا تمامی آب‌های غیرقابل شرب باشد. این فناوری می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی و بهره‌گیری از آب‌های غیرقابل استفاده به منظور تزریق به درون مخزن و برداشت نفت و کاهش هزینه ایفا کند. یکی دیگر از شرکت‌های بزرگ نفتی که به استفاده از این فناوری به منظور حذف مواد جامد موجود در آب و کنترل شوری آن روی آورده است، شرکت رویال داچ شل است. این شرکت از نانوفیلتراسیون، میکروفیلتراسیون و اسمز معکوس به منظور کاهش سختی آب، حذف یون‌های چندظرفیتی موجود در آن و کنترل شوری آن استفاده کرده است<sup>۱۱،۱۲</sup>.

■ **استفاده از فناوری نانوفیلتراسیون جهت جداسازی و بازیابی پلیمرها در سیلاب زنی پلیمر**  
فناوری دیگری که توسط شرکت بی‌پی در سال ۲۰۱۰ به ثبت رسیده<sup>۱۳</sup>، مربوط به استفاده از فناوری نانوفیلتراسیون به منظور جداسازی و بازیابی پلیمرها در سیلاب زنی پلیمر است. این کار منجر به کاهش هزینه‌های عملیاتی طی فرایندهای تزریق پلیمر به منظور ازدیاد برداشت نفت می‌شود. غشای ساخته شده در این پتنت از جنس پلی اتر سولفات<sup>۱۴</sup>، پلی وینیلیدن فلوراید<sup>۱۵</sup> و پلی اکریلونیتریل<sup>۱۶</sup> است که دارای سایز حفرائی بین ۲۰ تا ۸۰۰ نانومتر است.

■ **استفاده از نانوفیلتراسیون جهت شکستن امولسیون‌های آب و نفت تشکیل شده در جریان تزریق سورفکتانت به مخزن**  
این فناوری که توسط شرکت رویال داچ شل در سال ۲۰۱۱ به ثبت رسیده است<sup>۱۷</sup>، در مورد جداسازی فاز آلی هیدروکربنی از مخلوط شامل امولسیون آب و نفت است. روش کار در این فناوری به این صورت است که در ابتدا با تنظیم کردن شوری مخلوط اجازه خروج آب و فاز آلی را از امولسیون را می‌دهد و در مرحله بعد



نمودار ۲. سهم فناوری نانو در بخش‌های مختلف صنایع بالادستی نفت (برگرفته از پتنت‌ها)



نمودار ۳. سهم هر شرکت از پتنت‌های فناوری نانو در EOR

مورد استفاده نیز با هم تفاوت‌های زیادی داشته است. از انواع نانو ساختارهای مختلفی که در این حوزه مورد استفاده قرار گرفته است، می‌توان به نانوذرات کلوئیدی، نانوذرات فلزی و یا اکسید فلزی، انواع نانو ساختارهای سیلیکایی، نانوذرات غیر آلی، نانو ساختارهای آلومینا، نانولوله کربنی، غشاهای نانو ساختار و نانو ساختارهای کاتالیستی اشاره کرد. فعالیت‌هایی که این شرکت‌ها در این حوزه انجام داده‌اند بسیار متنوع بوده است که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

■ **استفاده از فناوری نانوفیلتراسیون برای تصفیه آب و کنترل شوری آن برای تزریق درون مخزن**  
تزریق آب به درون مخزن نفتی یا همان سیلاب‌زنی با آب که به منظور تامین فشار و ایجاد نیروی لازم برای برداشت نفت از مخزن

نفت و گاز (Oil and Gas Production) نیز که کاربردهای غیرمستقیمی در فرایندهای ازدیاد برداشت دارند در دسته دیگری قرار گرفته‌اند (نمودار ۲).

در میان شرکت‌های بزرگ نفتی هفت شرکت بیکر هیوز<sup>۱</sup>، رویال داچ شل<sup>۲</sup>، کنکو فیلیپس<sup>۳</sup>، شلامبرگر<sup>۴</sup>، انی<sup>۵</sup>، شورون<sup>۶</sup> و بی‌پی<sup>۷</sup> دارای پتنت‌هایی هستند که در آن از نانومواد در فرایندهای EOR استفاده شده است. نمودار ۳ نشان‌دهنده سهم هر کدام از شرکت‌های مذکور در این حوزه است.

#### ۴ فناوری و نوع مواد مورد استفاده در فرایندهای ازدیاد برداشت نفت

راهبردهای شرکت‌های مختلف برای استفاده از فناوری نانو در این حوزه با توجه به نیاز آنها بسیار متفاوت بوده است. به تبع آن بر اساس اهداف مختلف این شرکت‌ها نانو ساختارهای



نفت از فاز آبی نمکی جدا خواهد شد. فاز آبی بدست آمده در این مرحله برای موارد استفاده دیگر مانند ترکیب شدن با سورفکتانت به منظور تزریق به درون چاه برای ازدیاد برداشت نگهداری خواهد شد.

### ■ استفاده از نانوذرات بعنوان عامل تشکیل ژل در تزریق پلیمر یا استفاده از نانوذرات در جهت کنترل سرعت تشکیل ژل

وجود شکاف‌ها در بسیاری از مخازن به خصوص مخازن نفتی ایران یک امر طبیعی است. این شکاف‌ها هم می‌توانند نقش مثبت و هم منفی در تولید نفت از یک مخزن داشته باشند. اگر به دلیل شکاف موجود در یک مخزن، آب همراه با نفت افزایش یابد و یا در تزریق آب به منظور ازدیاد برداشت نفت هرزروی زیاد باشد، در این صورت وجود شکاف در یک مخزن نقش منفی در تولید نفت دارد و جداسازی آب از نفت بر روی سطح زمین بسیار پیچیده خواهد شد. به همین دلیل استفاده از ژل‌های پلیمری برای مدیریت آب مخزن می‌تواند سودمند باشد. این ژل‌ها در تماس با آب متورم شده ولی حل نمی‌شوند و با بستن شکاف‌ها اجازه افزایش آب در مخزن را می‌گیرند. ژل‌های نانوکامپوزیتی با پایه پلی اکریل آمید یک از پرمصرف‌ترین این مواد است. نانوکامپوزیت‌ها باعث افزایش مقاومت شبکه ژل‌های پلیمری، افزایش تمایل به جذب آب، افزایش عمق نفوذ، افزایش مقاومت مکانیکی و پایداری حرارتی بالایی می‌شوند. همچنین گرانیوی این نوع پلیمرها مانند آب است و به همین دلیل با پمپ‌های معمولی قابل تزریق به مخازن هستند.

با توجه به موارد گفته شده استفاده از این نوع ژل‌ها توسط بسیاری از شرکت‌های نفتی مورد توجه قرار گرفته است. در پتنتی که در سال ۲۰۱۲ توسط شرکت کونکوفیلیپس فایل شده است<sup>۱۸</sup>، از نانوذرات مختلف برای کنترل سرعت ژل‌شدگی استفاده شده است. در این پتنت برای تهیه یک ساختار پلیمری تجزیه‌پذیر دو روش ارائه شده است: مخلوط کردن یک مونومر، یک آغازگر، یک عامل اتصال‌دهنده عرضی<sup>۱۹</sup> و یک عامل ژل‌شدگی و دیگری مخلوط کردن یک پلیمر، یک عامل اتصال‌دهنده عرضی و یک عامل ژل‌شدگی. با تجزیه ساختار پلیمری تولید شده به صورت کلی یا جزئی تحت شرایط دمایی بالا و یا تغییرات pH، عامل ژل‌شدگی خارج می‌شود که این امر موجب اتصال عرضی با یک پلیمر دیگر و تولید ژل جدید می‌شود. این عمل باعث افزایش زمان تجزیه و تخریب ذرات و زمان ژل‌شدگی می‌شود. این روش در مخازن عمیق به برداشت بیشتر نفت کمک می‌کند. شکل مقابل بیانگر مراحل ساخت یک نانوذله اصلاح شده سطحی است.

نتیجه نرخ تنش در مرزهای شکاف‌ها بیشینه خواهد شد و در نتیجه سیال در دیواره‌ها ژل خواهد شد، ابعاد روزنه موثر شکاف‌ها کاهش خواهد یافت و هرزروی سیال نفتی کاهش می‌یابد. سیال هوشمند مورد استفاده در این پتنت از طریق حل کردن یک یا چند پلیمر درون یک فاز آبی به همراه نانوذرات سیلیکا بدست می‌آید. این پلیمرها شامل چندین گروه عاملی است که باعث ژل‌شدگی و استفاده از این پلیمرها تحت شرایط دمایی مورد نظر می‌شود و به صورت قرص مورد استفاده قرار می‌گیرند و بصورت ناگهانی و با سرعت زیاد به ژل تبدیل می‌شوند.

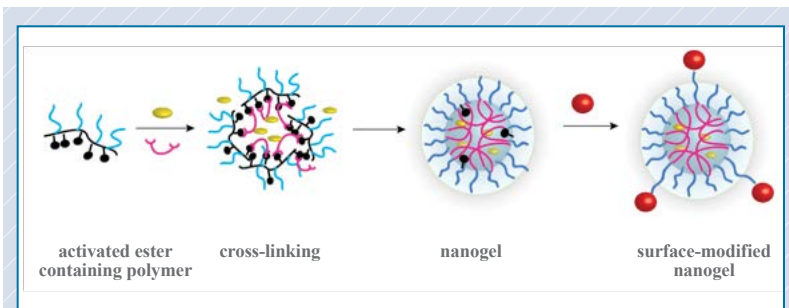
### ۵ سرمایه‌گذاری‌ها و سایر فعالیت‌های علمی و فنی شرکت‌های بزرگ نفتی

هر چند فعالیت‌های شرکت‌های نفتی به طور کامل اعلام نمی‌شود، اما از میان اخبار و اطلاع‌رسانی رسمی شرکت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

□ شرکت Royal Dutch Shell و دولت عمان با سرمایه‌گذاری ۵۳ میلیون دلار از سال ۲۰۱۴ در حال اجرای طرحی هستند که با استفاده از فناوری نانو به کمک انرژی خورشید اقدام به تولید بخار برای استفاده در فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت حرارتی نمایند.

### ■ استفاده از نانوسیالات هوشمند بر پایه ژل به منظور کنترل هرزروی سیال در عملیات‌های سیلابزنی

با توجه به پیچیدگی شرایط یک مخزن در مناطق مختلف آن، استفاده از سیال‌های هوشمند برای ایجاد یک حرکت پیوسته یکنواخت درون مخزن به منظور ازدیاد برداشت نفت بسیار مفید است. همیشه حرکت سیال از درون شکاف‌ها و ترک‌های موجود در یک مخزن نسبت به مسیرهای دیگر توسط سیال تزریقی در ارجحیت است. به همین دلیل برای جلوگیری از این عمل و کنترل بهتر حرکت سیال تزریقی در درون مخزن به ترتیب این شکاف‌ها باید از بزرگ به کوچک مورد توجه قرار گیرند و حرکت سیال در درون آنها کنترل شود. این کار باعث می‌شود که در فرایندهای ازدیاد برداشت نفت سطح بیشتری از مخزن در تماس با سیال تزریقی قرار گیرد و بازدهی جارویی<sup>۲۰</sup> این فرایند افزایش یابد. ایده اصلی بکار رفته در این فناوری که توسط شرکت شلامبرگر در سال ۲۰۰۴ به ثبت رسیده است<sup>۲۱</sup>، همگن‌سازی رفتار مخزنی است که سیال درون آن تزریق شده است. استفاده از سیالات برشی-ژل‌شوندگی<sup>۲۲</sup> برای کاهش ابعاد روزنه شکاف‌های بزرگ، ایده این پتنت است. در این حالت تنش‌های برشی و در



نمایی شماتیک از تشکیل ژل‌های نانویی



□ شرکت ConocoPhillips با همکاری دانشگاه کانزاس از سال ۲۰۰۸ پروژه‌ای با بودجه سالیانه ۴۰۰ هزار دلار جهت شبیه‌سازی اثرات نانومواد در فرآیندهای ازدیاد برداشت شروع کرده است که نتایج این فعالیت‌ها در قالب پتنت‌هایی منتشر شده است.

□ شرکت Eni و دانشگاه MIT در سال ۲۰۱۳ طی توافقنامه‌ای چهارساله، برنامه مشترکی را در حوزه انرژی شروع نمودند که یکی از سرفصل‌های اصلی این برنامه توسعه فناوری نانومولسیون‌ها جهت استفاده در فرآیندهای ازدیاد برداشت است.

## پی‌نوشت‌ها: ↓

۱. شامل شرکت‌های: Schlumberger, Eni, ExxonMobil, Baker Hughes, Halliburton, Royal Dutch Shell, BP, Total, ConocoPhillips
2. Baker Hughes
3. Royal Dutch Shell
4. ConocoPhillips
5. Schlumberger
6. Eni
7. Chevron
8. British Petroleum (BP)
9. WO2007138327: Method of providing a supply of water of controlled salinity and water treatment system.
10. US20120125611: Water injection systems and methods.
11. US20120227975: Water injection systems and methods.
12. US20130168097: Method and system for enhancing oil recovery (EOR) by injecting treated water into an oil bearing formation.
13. WO201090889: Polymer recovery and recycle.
14. Polyethersulfone
15. Polyvinylidene Fluoride
16. Polyacrylonitrile
17. EP2613863: Improvements relating to hydrocarbons recovery.
18. US20120037364: Delayed gelling agents.
19. Crosslinker
20. Sweep Efficiency
21. EP1591619: Enhanced oil recovery method.
22. Shear-Gelling

## منابع: ↓

۱. رصد فناوری و تحلیل پتنت با موضوع «کاربردهای نانو در فناوری حوزه نفت و گاز با محوریت شرکت‌های فعال»، پاییز ۱۳۹۳، کارفرما ستاد توسعه فناوری نانو، مجری شرکت ایده‌سازان عصر آفتاب.
2. [http://www.eni.com/en\\_IT/innovation-technology/technological-answers/maximize-recovery/maximize-recovery.shtml](http://www.eni.com/en_IT/innovation-technology/technological-answers/maximize-recovery/maximize-recovery.shtml)
3. [http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/oman--royal-dutch-shell-invest-53-million-in-glasspoint-solar\\_100016367/](http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/oman--royal-dutch-shell-invest-53-million-in-glasspoint-solar_100016367/)
4. <http://www.nanowerk.com/news/newsid=8448.php>