



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران - ژئوتکنیک

شبیه سازی عددی تاثیر نانومواد بر افزایش استخراج نفت از مخازن نفتی

استاد راهنما:

دکتر حسن قاسم زاده

نگارش:

سامان نیکوئی

زمستان ۱۳۹۶

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه خانم / آقای:

را با عنوان:

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی / کارشناسی ارشد تأیید می کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱ - استاد راهنما			
۲ - استاد مشاور			
۳ - استاد مشاور			
۴ - استاد ممحن			
۵ - استاد ممحن			
۶ - نماینده تحصیلات تکمیلی			

قدردانی:

خدا را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نسبیم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی‌ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند. از استاد گرامیم جناب آقای دکتر حسن قاسم زاده بسیار سپاسگذارم چرا که بدون راهنماییهای ایشان تامین این پایان نامه بسیار مشکل بود.

چکیده:

در فرایند استخراج نفت، پس از استخراج اولیه نفت، میزان قابل توجهی از نفت در مخازن نفتی باقی می‌ماند. ازدیاد برداشت نفت به منظور استخراج نفت باقی‌مانده در مخازن نفتی صورت می‌گیرد. روشهای متنوعی جهت ازدیاد برداشت نفت استفاده می‌گردد که تزریق نانوسیال به جای تزریق آب یکی از این روشهاست.

در پایان‌نامه حاضر، به بررسی عددی تاثیر نانومواد مختلف بر ازدیاد برداشت نفت پرداخته شده است. نانوذرات مختلف استفاده شده در روند استخراج نفت برشمرده شده و تاثیرات عمده آنها بر عوامل موثر بر استخراج نفت نیز آورده شده است. از مدل نفت سیاه موجود، به منظور بررسی عددی تاثیر نانوذرات بر استخراج نفت استفاده شده است. از مخلوط نانوذرات اکسید فلزی و آب (نانوسیال) به عنوان فاز آبی در حل مسائل استفاده گردید و معادلات مربوطه به نانوسیال جایگزین معادلات فاز آبی شد. تاثیر تغییرات دما، میزان غلظت نانوذرات، ابعاد و چگالی ذرات جامد نانوذرات (که معرف نانوذرات مختلف هستند) بر میزان استخراج نفت، مکش بین فازی، کشش سطحی (به کمک روابط درصد حجمی آب و فشار کاپیلاری)، تغییرات فشار حفره‌ای و تغییرات حرارت در مسائل این پایان‌نامه مورد بررسی قرار گرفته است.

مطابق با نتایج ارائه شده در این تحقیق، افزودن نانوذرات باعث افزایش میزان استخراج نفت می‌شود. با افزایش غلظت نانومواد در محلول پایه نیز، میزان استخراج نفت افزایش می‌یابد. تاثیر ابعاد و چگالی ذرات جامد نانوذرات بر میزان استخراج نفت موثر بوده و تغییر این پارامترها نیز منجر به تغییر استخراج نفت می‌گردد. میزان مکش بین فازی و کشش سطحی نیز با افزودن نانوذرات، کاهش می‌یابند.

کلیدواژه: ازدیاد برداشت نفت، نانوذرات، مدل نفت سیاه، تغییرات دما، ویسکوزیته، چگالی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱- مقدمه	۱
۱-۱- پیشگفتار	۲
۱-۲- اهداف مطالعه	۲
۱-۳- ضرورت تحقیق	۲
۱-۴- سوالات تحقیق	۲
۱-۵- روش تحقیق	۳
۱-۶- ساختار پایان نامه	۴
فصل ۲- مروری بر روش های استخراج نفت	۵
۲-۱- مقدمه	۶
۲-۲- عوامل موثر بر بهره‌وری نفت از مخازن نفتی	۷
۲-۲-۱- ویسکوزیته	۷
۲-۲-۲- چگالی	۸
۲-۲-۳- دما	۸
۲-۲-۴- کشش سطحی	۸
۲-۲-۵- زاویه تماس	۹
۲-۳- روشهای ازدیاد برداشت نفت	۱۰
۲-۳-۱- ازدیاد برداشت نفت با استفاده از نانوذرات غیر فلزی	۱۲
۲-۳-۲- ازدیاد برداشت نفت با استفاده از نانوذرات فلزی	۱۹
۲-۳-۳- روش های نوین در ازدیاد برداشت نفت	۲۶
۲-۴- کاربرد نانوفناوری در حفظ محیط زیست در صنایع نفت و گاز	۲۸
۲-۴-۱- بهبود سیمان حفاری	۲۹
۲-۴-۲- بهبود سیال حفاری	۲۹
۲-۴-۲-۱- گرافن	۳۰
۲-۴-۲-۲- نانوذرات اکسید روی	۳۱
۲-۴-۲-۳- افزایش های پلیمری نانومتری	۳۲
۲-۵- خلاصه فصل	۳۳
فصل ۳- انواع نانومواد جهت استخراج نفت	۳۴
۳-۱- مقدمه	۳۵
۳-۲- انواع نانومواد قابل استفاده در روشهای استخراج نفت	۳۶

۳۶	 نانوذرات اکسید فلزی	۳-۲-۱
۳۶	 نانوذرات اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)	۳-۲-۱-۱
۳۶	 نانوذرات اکسید مس (CuO)	۳-۲-۱-۲
۳۷	 نانوذرات اکسید آهن (Fe_2O_3/Fe_3O_4)	۳-۲-۱-۳
۳۷	 نانوذرات اکسید منیزیم (MgO)	۳-۲-۱-۴
۳۷	 نانوذرات اکسید قلع (SnO_2)	۳-۲-۱-۵
۳۸	 نانوذرات اکسید تیتانیوم (TiO_2)	۳-۲-۱-۶
۳۸	 نانوذرات اکسید روی (ZnO)	۳-۲-۱-۷
۳۸	 نانوذرات اکسید زیرکونیوم (ZrO_2)	۳-۲-۱-۸
۳۹	 نانوذرات مغناطیسی	۳-۲-۲
۳۹	 نانوسیال‌های فرو	۳-۲-۲-۱
۳۹	 نانوذرات کبالت هیدرواکسید آهن	۳-۲-۲-۲
۳۹	 نانوذرات آلی	۳-۲-۳
۳۹	 نانوذرات کربن	۳-۲-۳-۱
۴۰	 نانوذرات غیرآلی	۳-۲-۴
۴۰	 نانوذرات شامل سیلیس	۳-۲-۴-۱
۴۰	 نانوذرات سیلیس پوشش داده شده با آلومینیوم	۳-۲-۴-۲
۴۱	 نانوذرات اکسید سیلیس آگریز	۳-۲-۴-۳
۴۱	 نانوذرات سیلیسی فوم کروی	۳-۲-۴-۴
۴۱	 نانو کامپوزیت سیلیسیم هسته ای/ پلیمر-پوسته غیرآلی	۳-۲-۴-۵
۴۱	 نانوذرات پلی سیلیسیوم	۳-۲-۴-۶
۴۲	 نانوذرات پلی سیلیسیوم آگریز و نفت دوست (HLP)	۳-۲-۴-۷
۴۲	 نانوذرات پلی سیلیسیوم نفت گریز و آب دوست (LHP)	۳-۲-۴-۸
۴۲	 نانوذرات غیر سیلیسی	۳-۲-۴-۹
۴۲	 نانوذرات پوشش داده شده با پلیمر	۳-۲-۴-۱۰
۴۳	 خلاصه فصل	۳-۳

فصل ۴- روش عددی مورد استفاده در تحقیق ۴۴

۴۵	 مقدمه	۴-۱
۴۵	 ساختار معادلات	۴-۲
۴۶	 توازن مومنتوم	۴-۲-۱
۴۷	 توازن جرم	۴-۲-۲
۴۸	 توازن انرژی	۴-۲-۳
۴۸	 دانسیته آب	۴-۲-۴
۴۹	 دانسیته نفت	۴-۲-۵
۵۰	 ویسکوزیته آب	۴-۲-۶
۵۰	 ویسکوزیته نفت	۴-۲-۷
۵۱	 روابط درصد حجمی و فشار کاپیلاری	۴-۲-۸

۵۲.....	روابط نفوذپذیری نسبی.....	۴-۲-۹
۵۲.....	روابط تغییر داده شده در مسئله تزریق آب.....	۴-۳
۵۵.....	خلاصه فصل.....	۴-۴
۵۶.....	فصل ۵- نتایج آزمایش‌های عددی و صحت سنجی.....	
۵۷.....	مقدمه.....	۵-۱
۵۷.....	فرضیات وارد بر حل مسائل با استفاده از نانوذرات.....	۵-۲
۵۷.....	تزریق آب در حالت یک بعدی.....	۵-۳
۵۸.....	بررسی تغییرات اعمال شده به مدل عددی.....	۵-۳-۱
۶۱.....	تاثیر متغیر دما بر میزان استخراج نفت.....	۵-۳-۲
۶۳.....	تاثیر نانومواد بر استخراج نفت.....	۵-۳-۳
۶۴.....	تاثیر میزان غلظت نانومواد در میزان استخراج نفت.....	۵-۳-۴
۶۵.....	تاثیر دما بر استخراج نفت در تزریق نانوسیال.....	۵-۳-۵
۶۷.....	تاثیر نانومواد بر مکش بین فاز آبی و نفت.....	۵-۳-۶
۶۹.....	تاثیر نانومواد بر روابط کاپیلاری و درصد حجمی فاز آبی.....	۵-۳-۷
۷۱.....	تزریق آب داغ.....	۵-۴
۷۵.....	تزریق سه بعدی.....	۵-۵
۷۸.....	صحت سنجی نتایج.....	۵-۶
۸۱.....	خلاصه فصل.....	۵-۷
۸۲.....	فصل ۶- نتایج و پیشنهادات.....	
۸۳.....	جمع بندی.....	۶-۱
۸۳.....	جمع بندی نتایج.....	۶-۲
۸۴.....	پیشنهادهات.....	۶-۳
۸۵.....	فهرست مراجع.....	
۹۰.....	واژه نامه.....	
۹۱.....	Abstract.....	

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول (۴-۱): مقایسه نتایج حاصل از حل توابع با اعداد استفاده شده توسط قریشیان.....	۵۳
جدول (۵-۱): نتایج حاصل از اجرای مدل عددی.....	۵۹
جدول (۵-۲): تغییرات میزان استخراج نفت در برابر تغییرات دما.....	۶۱
جدول (۵-۳): مشخصات نانومواد مورد استفاده.....	۶۳
جدول (۵-۴): نتایج حاصل از اجرای نرم افزار به ازای تزریق نانومواد مختلف.....	۶۴
جدول (۵-۵): میزان تغییرات استخراج نفت به ازای تغییرات پارامترهای b و d.....	۷۱
جدول (۵-۶): مشخصات مخزن و سیال در مسئله تزریق آب داغ.....	۷۲
جدول (۵-۷): نسبت ضریب هدایت گرمایی برای نانوسیالات مختلف.....	۷۴
جدول (۵-۸): فراسنج مورد استفاده در مسئله تزریق سه بعدی.....	۷۷
جدول (۵-۹): میزان استخراج نفت به ازای تزریق نانوسیال‌های مختلف در مسئله تزریق سه بعدی.....	۷۸

فهرست نمودارها

عنوان	صفحه
نمودار (۱-۲): میزان تغییرات کشش سطحی به ازای تزریق نانوسیال.....	۲۲
نمودار (۲-۲): میزان تغییرات استخراج نفت به ازای تزریق نانوسیال.....	۲۲
نمودار (۱-۵): تغییر میزان استخراج نفت به ازای اضافه کردن روابط ویسکوزیته و چگالی فاز آبی.....	۵۹
نمودار (۲-۵): تغییر میزان استخراج نفت به ازای اضافه کردن روابط ویسکوزیته و چگالی فاز نفت.....	۶۰
نمودار (۳-۵): تغییر میزان استخراج نفت به ازای اضافه کردن روابط ویسکوزیته و چگالی هر دو فاز.....	۶۰
نمودار (۴-۵): نسبت میزان خروج آب به خروج کل سیال مایع.....	۶۱
نمودار (۵-۵): تغییرات میزان استخراج نفت در برابر تغییرات دما.....	۶۲
نمودار (۶-۵): نسبت میزان خروج آب به خروج کل سیال مایع به ازای دمای مختلف.....	۶۲
نمودار (۷-۵): میزان استخراج نفت به ازای تزریق نانوسیالها و مقایسه با تزریق آب.....	۶۴
نمودار (۸-۵): میزان تغییر استخراج نفت با تغییرات غلظت نانومواد.....	۶۵
نمودار (۹-۵): میزان تغییر استخراج نفت به ازای تغییرات دما در حالت تزریق نانوسیال.....	۶۶
نمودار (۱۰-۵): تغییرات ویسکوزیته با دما.....	۶۶
نمودار (۱۱-۵): تغییرات مکش برای نانومواد مختلف در گره ۳۶.....	۶۷
نمودار (۱۲-۵): تغییرات مکش با توجه به میزان غلظت نانومواد در گره ۳۶.....	۶۸
نمودار (۱۳-۵): تغییرات مکش با دما در گره ۳۶.....	۶۸
نمودار (۱۴-۵): تغییرات مکش در گره‌های ابتدایی (گره ۱۳)، میانی (گره ۲۰) و انتهایی (گره ۳۶).....	۶۹
نمودار (۱۵-۵): میزان تغییرات استخراج نفت به ازای تغییرات فراسنج‌های b و d.....	۷۰
نمودار (۱۶-۵): میزان تغییرات استخراج نفت به ازای تغییرات فراسنج‌های b و d.....	۷۰
نمودار (۱۷-۵): تغییرات فشار حفره‌ای به ازای تزریق نانوسیال‌های مختلف.....	۷۳
نمودار (۱۸-۵): تغییرات دمای محور مرکزی مخزن به ازای تزریق نانوسیال مختلف.....	۷۴
نمودار (۱۹-۵): میزان استخراج نفت در مدل اولیه در مقایسه با میزان استخراج نفت به ازای اضافه کردن روابط ویسکوزیته و چگالی با متغیر دما به مدل عددی. (در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد).....	۷۷
نمودار (۲۰-۵): میزان استخراج نفت به ازای تزریق نانوسیال‌های مختلف در مسئله تزریق سه بعدی.....	۷۸

نمودار (۵- ۲۱): مقایسه میزان استخراج نفت در مدل عددی و نتایج آزمایشگاهی.....۷۶

فصل ۱- مقدمه

محققان و متخصصان در حال بررسی روش‌هایی برای افزایش استخراج از مخازن موجود هستند. در حال حاضر اکثریت مخازن با استفاده از تکنیک‌های ازدیاد برداشت نفت، حداکثر ۶۰ درصد از حجم اولیه نفت را در طول عمر مخزن استخراج می‌کنند. با بهینه سازی سیلاب آبی^۱ و بهبود روش‌های استخراج نفت، امکان افزایش میزان استخراج نفت، می‌تواند از لحاظ اقتصادی از این ذخایر میسر شود. ازدیاد برداشت نفت^۲ (EOR)، استفاده از تکنیک‌های مختلف برای افزایش مقدار نفت و گازی است، که می‌تواند از منابع موجود استخراج شود. برای این منظور بسیاری از تکنیک‌های مختلف مانند سیلاب بخار [۱][۲]، سیلاب پلیمری [۳][۴][۵][۶][۷] و تزریق گاز [۸]، نسبت به دیگر روش‌ها توسعه یافته‌اند.

بصورت کلی روند تولید و استخراج نفت و گاز را می‌توان در دو قالب کلی جداسازی و ازدیاد برداشت مورد بررسی قرار داد. پروسه جداسازی شامل تفکیک سیالات از یکدیگر و همچنین از آلودگی‌ها و سیالات نامطلوب بوجود آمده در حین فرآیند استخراج و تولید از چاه می‌باشد. پروسه ازدیاد برداشت نیز شامل انواع عملیاتی می‌گردد که سیال تولیدی از مخزن را مورد بهره‌برداری بیشتر قرار می‌دهد. امروزه ثابت شده است که علم نانو توانائی بهبود فرآیندها در مقیاس مولکولی را دارا می‌باشد 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 نانوسورفکتانت‌ها، نانوغشاها، نانوذرات، نانوژل‌ها، نانوسیال‌ها و هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی، تحول عمده‌ای در جهت بهبود فرآیند استخراج و تولید سیال از مخازن نفتی و گازی بوجود آمده است. به طور کلی تقریباً یک سوم نفت با استفاده از روش‌های استخراج اولیه^۳ و ثانویه از نظر اقتصادی از مخازن نفتی قابل برداشت می‌باشد. لذا استفاده از روش جدید ازدیاد برداشت نفت با استفاده از نانومواد مختلف به منظور استخراج هر چه بیشتر و بهینه تر نفت از مخازن نفتی می‌تواند حائز اهمیت باشد [۹][۱۰].

^۱ Waterflooding

^۲ Enhanced Oil Recovery(EOR)

^۳ Primary recovery

تزریق نانوذرات در مخازن نفتی ممکن است منجر به تغییرات رئولوژیکی، ترشوندگی، جابجایی و سایر مشخصات سیالات شوند. به طور مثال، برخی از نانوذرات که در میادین نفتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، با تغییر ترشوندگی سطح سنگ مخزن به کمک جذب در دیواره‌های متخلخل، منجر به ازدیاد برداشت نفت می‌شوند.

۱-۲- اهداف مطالعه

استفاده از نانومواد در ازدیاد برداشت نفت امروزه یکی از روش‌های موثر در این زمینه می‌باشد. هدف از انجام این مطالعه در نظر گرفتن تاثیر نانومواد بر میزان استخراج نفت از مخازن نفتی بصورت عددی می‌باشد. که به این منظور نانومواد مختلف را به آب (فاز آبی) اضافه کرده و محلول حاصل را به عنوان فاز آبی در الگوی از پیش تعیین شده بکار می‌گیریم.

۱-۳- ضرورت تحقیق

از آنجایی که پس از استخراج اولیه، میزان قابل توجهی از نفت در مخازن نفتی باقی می‌ماند، ازدیاد برداشت نفت به روشهای مختلف جهت استخراج نفت باقی‌مانده مورد توجه قرار می‌گیرد. یکی از این روشها تزریق نانوسیال به جای تزریق آب می‌باشد. در این تحقیق تلاش کردیم تا به کمک روش عددی میزان استخراج نفت را به ازای تزریق نانوذرات مختلف مورد بررسی قرار دهیم.

۱-۴- سوالات تحقیق

در این پایان‌نامه به منظور بررسی میزان تاثیر نانومواد بر میزان استخراج نفت و فشار حفره‌ای و تغییر حرارت مخزن، اقدام به حل مسائل مربوط به تزریق یک بعدی، تزریق سه بعدی و تزریق آب داغ شده است. در این مسائل تاثیر عوامل شاخص مربوط به نانومواد، همچون غلظت و بعد نانوذرات، نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

همچنین در این تحقیق از جمله سوالاتی که مورد بحث و بررسی قرار گرفته است، می توان به سوالات زیر اشاره کرد:

۱. چه عواملی بر استخراج نفت تاثیرگذار بوده و تاثیر نانوذرات بر این عوامل چگونه است؟
۲. چه نانومواد در صنعت استخراج نفت مورد استفاده قرار می گیرند؟
۳. تاثیر نانومواد در مدل عددی چگونه اعمال می شود؟
۴. غلظت، بُعد، چگالی ذرات جامد و سایر خصوصیات مربوط به نانوذرات چه تاثیری بر میزان استخراج نفت دارند؟

۵-۱- روش تحقیق

جهت نیل به هدف تعریف شده از الگوی عددی تعریف شده در رساله دکتری جناب آقای قریشیان استفاده شده است. شایان ذکر است که خصوصیات و ویژگی های مورد نظر نانومواد که در استخراج نفت از آنها استفاده می شود به عنوان خصوصیات فاز آبی در الگوی مذکور جانشین می گردد. آزمایشها و تحقیقات انجام شده بر روی مقوله ازدیاد برداشت نفت از مخازن نفتی (EOR)، می تواند کمک شایانی به منظور در اختیار داشتن خصوصیات نانومواد قابل استفاده در الگوی عددی مذکور، داشته باشند. نظر به اینکه آزمایش های صورت گرفته در اینگونه مطالعات در راستای اهداف تحقیق می باشد، لذا نتایج آنها جهت صحت سنجی نتایج حاصل از اجرای الگوی عددی مورد استفاده می توانند قرار گیرند.

این الگوی عددی بر پایه روش های اختلاف محدود و اجزای محدود استوار بوده و شرایط مرتبط با معادلات جریان، معادلات تعادل محیط و معادلات انتقال حرارت را ارضا می کند. فاز گازی تعریف شده در برنامه مذکور نیز برای اهداف این تحقیق در نظر گرفته نشده و همانطور که بیان شد، از محلول آب و نانومواد به جای فاز آب در این مدل عددی استفاده می شود.

تحقیق انجام شده در این پایان نامه در قالب ساختاری که در زیر تشریح می شود ارائه می گردد:

- فصل دوم پایان نامه به مروری بر تحقیقات پیشین انجام شده در راستای هدف تعریف شده پایان نامه اختصاص دارد. در این فصل ابتدا عوامل موثر بر ازدیاد برداشت نفت تعریف و مورد بررسی قرار گرفته و سپس به روش های مختلف استخراج نفت که در گذشته مورد بررسی و تحقیق قرار گرفتند، پرداخته می شود. در پایان نیز اثرات زیست محیطی استخراج نفت مورد بررسی قرار گرفته است.
- فصل سوم پایان نامه به بررسی تاثیر نانومواد مختلف بر هرکدام از این عوامل موثر بر ازدیاد برداشت نفت اختصاص دارد. در این فصل به تعریف انواع نانومواد قابل استفاده در استخراج نفت پرداخته می شود و در ادامه فصل نیز تاثیر نانومواد بر هرکدام از عوامل موثر بر استخراج نفت مورد بررسی قرار می گیرد.
- فصل چهارم پایان نامه به بیان روش تحقیق و بررسی روابط ارائه شده به منظور محقق ساختن هدف این پایان نامه اختصاص دارد. در این فصل ابتدا روابط به کار گرفته شده به منظور استفاده در مدل عددی تعریف شده، مورد بررسی قرار می گیرد. سپس روابط مربوط به تاثیر نانومواد، ارائه شده و مورد بررسی قرار می گیرد.
- فصل پنجم پایان نامه به صحت سنجی روابط ارائه و جایگزین شده در مدل عددی اختصاص دارد. در این فصل از مسائل عددی حل شده در رساله دکتری جناب آقای قریشیان استفاده می گردد.
- فصل ششم پایان نامه به جمع بندی و ارائه پیشنهاد جهت تحقیقات آینده اختصاص داده شده است.

فصل ۲- مروری بر روش‌های استخراج نفت

ازدیاد برداشت نفت از مخازن نفتی به کمک تزریق نانومواد امروزه یکی از روشهای پرکاربرد در این صنعت می‌باشد. شناخت عوامل موثر در بهره‌وری نفت از مخازن نفتی و همچنین روشهای مختلف استخراج نفت که تا به حال توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است، موضوع این فصل می‌باشد.

نخستین تزریق آب توسط جان اف. کارل در سال ۱۸۸۰ پیشنهاد شد. تزریق آب ابتدا در میدان برادفورد در پنسیلوانیا انجام شد [۱۱]. موارد دیگر عبارتند از: انتاریو، کانادا، در سال ۱۹۱۳ و میدان رودخانه کرن در کالیفرنیا در سال ۱۹۱۷ استفاده از تزریق آب در دهه ۱۹۵۰ به دست آمد. امروزه بیش از ۵۰ درصد از ایالات متحده و ۷۴ درصد تولید روزانه نفت برزیل از مخازن تزریقی آب تولید می‌شود [۱۲]. محققان بسیاری بر روی مقوله استخراج نفت و ازدیاد برداشت نفت به وسیله تزریق نانوذرات، تحقیق و مطالعات گسترده‌ای انجام دادند. استفاده از نانومواد فلزی و یا سورفکتانت‌های مختلف در این روش بسیار مورد توجه قرار گرفته که در این بین استفاده از نانوذرات اکسید سیلیسیوم به دلیل وجود اکسید سیلیسیوم به میزان بیشتر از ۹۰ درصد در محلول تزریقی، که در استخراج نفت باقیمانده بسیار موثر واقع می‌شود، بیشترین کاربرد را دارد [۱۳]. از طرفی اکسید سیلیسیوم از نظر شیمیایی اسید چندانانی به محیط زیست نمی‌رساند. همچنین اکسید سیلیسیوم به راحتی می‌تواند از حالت آب گریزی^۱ (نفت دوستی) به حالت آبدوستی^۲، در صورت ترکیب با هیدروکسیل و یا سولفوریک اسید، تغییر خاصیت دهد و در صورت عدم انباشتگی نانوذرات اکسید سیلیسیوم در محلول بر راحتی می‌تواند در حفرات حرکت کرده و در نتیجه نفت جامانده را به میزان قابل ملاحظه‌ای استخراج کند. از طرفی همانطور که بیان شد استفاده از سورفکتانت‌ها و پلیمرها در روش ازدیاد برداشت نفت نیز جایگاه ویژه‌ای دارند. ازدیاد برداشت نفت با استفاده از این مواد اغلب با استفاده از پلیمرهای

^۱ Hydrophobic

^۲ Hydrophilic

سنتزی در رده پلی آکریل آمیدها و پلیمر بیولوژیکی زانتاگام^۱ صورت می گیرد. اگرچه پلیمرهای بیولوژیکی در مقابل تغییرات دما حساس ترند، اما به دلیل ارزانی زانتاگام جایگاه مناسبی در این روش دارد. به عنوان مثال نمونه‌هایی از تزریق قلیایی-سورفکتانت-پلیمر^۲ (ASP) در میدان‌های نفتی چاتورنارد در فرانسه و میدان نفتی داجینگ در چین که نتیجه موفق نیز داشته‌اند را می‌توان معرفی کرد. روش‌های تزریق مواد شیمیایی به علت گران بودن مواد تزریقی، معمولاً برای مخازن کوچک مناسب هستند. عوامل مهم در این روش دما، آب و جنس سنگ مخزن هستند. کاربرد پلیمرها در شرایط دمای کمتر از ۱۲۲ درجه سانتیگراد است چون پلیمرها از لحاظ پایداری شیمیایی حساس‌اند [۱۴][۱۵].

۲-۲- عوامل موثر بر بهره‌وری نفت از مخازن نفتی

از جمله عوامل موثر بر استخراج نفت، می‌توان به ویسکوزیته، چگالی، دما، کشش سطحی بین فازی^۳، زاویه تماس^۴ اشاره کرد که در ادامه به اختصار در مورد هر کدام از این عوامل توضیحاتی آورده شده است.

۱-۲-۲- ویسکوزیته

مطابق تعریف ویسکوزیته عبارت است از مقاومت سیال در برابر اعمال تنش برشی. هرچه ویسکوزیته مایعی بیشتر باشد، برای ایجاد تغییر شکل یکسان، به تنش برشی بیشتری نیاز است. در مبحث استخراج نفت ویسکوزیته سیالات همچون آب، نفت و گاز از جمله عوامل موثر بر استخراج نفت محسوب می‌شوند. افزودن نانومواد (نوع و میزان غلظت نانومواد) در تغییر ویسکوزیته سیال موثر بود و این تغییر منجر به تغییر در میزان استخراج نفت می‌گردد. تغییرات ویسکوزیته هر کدام از این سیالات در فصل‌های بعدی مفصلاً مورد بحث قرار گرفته است.

^۱ Xanthan gum

^۲ Alkaline-Surfactant-Polymer

^۳ Interfacial Tension (IFT)

^۴ Contact Angle

۲-۲-۲- چگالی

همانند ویسکوزیته، چگالی سیالات نیز در استخراج نفت نقش مهمی ایفا کرده و تغییر چگالی سیالات در میزان استخراج نفت از مخازن نفتی تغییراتی ایجاد می‌کند. با افزودن نانومواد چگالی سیال تغییر کرده که روابط مربوط در فصل‌های آینده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۲-۳- دما

افزایش دما باعث افزایش استخراج نفت و همچنین باعث افزایش جابجایی می‌گردد و همچنین ممکن باعث کاهش کشش سطحی شود زیرا افزایش دما اندرکنش مولکولی بین سیالات را کاهش می‌دهد. از نظر دیگر شدت حرکت براونی با دمای محیط و کاهش لزجت و اندازه ذرات، افزایش می‌یابد. همچنین تغییرات دما می‌تواند منجر به تغییرات خصوصیات فیزیکی فاز آبی و نفتی گردد و در نتیجه این تغییرات منجر به تغییر در میزان استخراج نفت شود.

۲-۲-۴- کشش سطحی

کشش سطحی زمانی وجود دارد که دو فاز وجود داشته باشند. این فازها می‌توانند گاز و نفت، نفت و آب یا گاز و آب باشند. کشش سطحی نیرویی است که سطح یک فاز خاص را با هم نگه می‌دارد و معمولاً با واحد dyne/cm اندازه‌گیری می‌شود. کشش سطحی تابعی از فشار، دما و ترکیب هر فاز می‌باشد. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری کشش سطحی وجود دارد مانند ورق ویلهلمی، حداکثر فشار حباب، قطره چرخشی، افزایش موینگی، قطره معلق و قطره آویز. در بیشتر مطالعات، کشش سطحی با روش قطره سنجی اندازه‌گیری شده است. در این روش، کشش سطحی به راحتی از ابعاد یک قطره معلق که توسط یک دوربین عکس گرفته می‌شود، محاسبه می‌شود. این روش بر اساس برخی مفروضات است:

۱. قطره متقارن است و از یک محور عمودی مرکزی به حالت تعلیق درآمده است.

۲. قطره استاتیکی است. به این معنی است که تنش و گرانش تنها نیروهای موجود هستند.

۵-۲-۲- زاویه تماس

زاویه تماس تا به حال به طور گسترده‌ای برای ارزیابی میزان آبگریزی یا درجه خلوص مواد معدنی یا جامدات در صنعت پردازش مواد معدنی مورد استفاده قرار گرفته است. ترشوندگی ترجیح یک جامد به تماس با یک مایع به جای مایع دیگر را توصیف می‌کند. ترشوندگی سنگ مخزن تاثیر غالب بر جنبش متحرک و جابجایی نفت را از طریق محیط متخلخل دارد. تغییرات ترشوندگی از نفت دوستی به آب دوستی، باعث افزایش قابل توجه استخراج نفت می‌شود. اندازه‌گیری زاویه تماس یک آزمون ضروری برای مطالعه ترشوندگی است.

خصوصیات ترشوندگی یک سطح مواد معدنی نیز می‌تواند با توجه به ارزش آن از کشش سطح بحرانی خیس‌کننده تعریف شود که یک ویژگی اساسی برای دستیابی به انتخابی در فرآیندهای مبتنی بر شیمی در سطح است.

روش اندازه‌گیری زاویه تماس روشی مناسب برای شناخت ترشوندگی سطح سنگ و تغییرات آن است [۱۶]. در این تکنیک یک قطره نفت در تماس با یک سطح سنگ احاطه شده توسط فاز آب (محل آزمایش) قرار می‌گیرد. زاویه تماس، اندازه‌گیری شده از طریق فاز آب، توسط معادله یانگ-لاپلاس تعریف می‌شود که مربوط به تنش میان فازی (γ) بین فازها است:

$$\gamma_{os} - \gamma_{ws} = \gamma_{ow} \cos \theta_{ow} \quad (۱-۲)$$

که γ_{os} ، γ_{ws} و γ_{ow} تنش بین فاز بین نفت و جامد، آب و جامد و نفت و آب است و θ_{ow} زاویه تماس بین نفت و آب است.

۲-۳ - روشهای ازدیاد برداشت نفت

فناوری نانو می‌تواند بخش بزرگی از صنعت نفت را شامل سیالات حفاری، سیالات تکمیلی، سیالات کاری، سیالات تحریک کننده سازگار با محیط زیست، سیالات اصلاح پروفیل، رقیق کننده‌های نفت سنگین، مواد تصفیه فاضلاب نفتی، مواد تغییر دهنده کشش سطحی و غیره پوشش دهد. همچنین نانوذرات می‌توانند به عنوان مواد جاذب گرمایی در روش استخراج حرارتی نفت مورد استفاده قرار بگیرند. خصوصیات منحصر به فرد نانوذرات باعث جذاب شدن آنها برای کاربرد احتمالی در صنعت نفت می‌شود. اندازه نانو مقیاس نانوذرات باعث می‌شود آنها برای استفاده در حفظ پایداری چاه‌های حفاری، بهبود کیفیت سیمان، بازسازی مخزن آسیب دیده، تصفیه فاضلاب و در نهایت افزایش بازده بهره برداری از نفت و گاز، کارایی بیشتری داشته باشند. با توجه به تحقیقات صورت گرفته، نشان داده شده است که نانوذرات می‌توانند ۵ تا ۱۰ درصد نفت اضافی را با انتخاب مناسب نانوذرات بسته به اتلاف سطوح سنگ‌ها بهبود دهند. بنابراین می‌توان به این نکته اشاره کرد که کاربرد فناوری نانو در صنایع نفت و گاز تا سطح بالایی می‌تواند تغییرات انقلابی در تولید و توسعه هیدروکربن ایجاد کند. بنابراین، استفاده مناسب از فناوری نانو در صنعت نفت و گاز برای بهبود روش‌های مختلف استخراج نفت حائز اهمیت است.

بسته به نتایج مستند شده، تایید شده است که نانوذرات یا نانوسیال قادر به استخراج مقدار مورد نظر نفت پس از سیلاب آبی ثانویه هستند. نانوذرات مختلفی مانند سیلیس، آلومینا، ZrO_2 ، Fe_2O_3 ، ZnO ، MgO و نانولوله‌های کربنی (CNT) برای افزایش بازده نفت در آزمایش‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. گزارش شده است که با افزودن نانوذرات در مخازن ماسه سنگ و کربنات، بسته به اتلاف سطوح سنگ‌های مخزن، بیش از ۵ تا ۱۵ درصد نفت استخراج می‌شود. بنابراین نتایج آزمایشگاهی به این معنی است که نانوذرات می‌توانند به عنوان کاندیدای بالقوه برای افزایش بازده نفت مورد توجه قرار گیرند.

علاقه به فرآیندهای شیمیایی ازدیاد برداشت نفت در سال‌های اخیر به علت پیشرفت‌های فرمولاسیون شیمیایی و تکنیک‌های تزریق، شدت یافته است. تزریق پلیمر (P)، سورفاکتانت-پلیمر (SP) و قلیایی-سورفاکتانت-پلیمر (ASP) تکنیک‌هایی برای بهبود جابجایی با هدف ازدیاد برداشت نفت است. علاقه به

سیلاب مواد شیمیایی اخیرا برای شرایط مختلف چالش برانگیز بوده است. از جمله این شرایط مخازن با درجه حرارت بالا، ترکیبات با غلظت شدید، کربنات‌های به طور طبیعی شکست خورده، و مخازن ماسه سنگ با نفت خام سنگین و چسبناک است.

نانوذرات پلی‌سیلیکون مطابق با ترشوندگی سطح ^۱PN دسته بندی می‌شوند. نوع اول نانوذرات پلی‌سیلیکون لیپوفوبی (چربی گریز) و هیدروفیلی (آب دوست) شناخته شده‌اند و در فاز آب فقط وجود دارند، در حالی که دسته نوع دوم نانوذرات پلی‌سیلیکون هیدروفوبی (آبگریز) و لیپوفیلی (چربی دوست) شناخته شده و فقط در فاز نفت وجود دارند. هدف از تزریق محلول آب-نانوذرات به مخزن نفت تغییر ترشوندگی محیط از نفت دوست به آب دوست می‌باشد، بنابراین سنگ ممکن است به عنوان سنگ مخلوط مرطوب در نظر گرفته شود.

فرآیندهای شیمیایی مانند سورفکتانت شامل تغییرات ترشوندگی و کاهش کشش سطحی (IFT) است که پتانسیل زیادی برای کاهش میزان نفت باقیمانده در بلوک‌های ماتریس را نشان می‌دهد که منجر به بهبود بازیافت نفت ^۲ (IOR) می‌شود. ASP یکی از تکنیک‌هایی است که به دلیل توانایی آن در بهبود جابجایی و راندمان جابه جایی، موفق بوده است. علیرغم محبوبیت آن به عنوان یک روش سیلاب شیمیایی بالقوه مقرون به صرفه، بدون محدودیت هم نیست.

با توجه به نقش پلیمر در افزایش راندمان جاروب در هنگام استخراج نفت، توجه زیادی به محلول‌های پلیمری در روش‌های ازدیاد برداشت نفت شده است. به رغم وجود تحقیقات بزرگی در این زمینه، نقش نانوذرات در اصلاح عملکرد پلیمر در حضور نمک مورد بررسی قرار نگرفته بود. علاوه بر این، هیچ اطلاعاتی در مورد چگونگی تاثیر نانوذرات سیلیس پراکنده بر روی استخراج نفت سنگین در جریان سیلاب پلیمری در حضور کاتیون‌های دو قطبی وجود نداشت.

^۱ Polysilicon Nanoparticles

^۲ Improved Oil Recovery

این اهمیت به استفاده از سیلاب پلیمری، علاقه صنعت را به استفاده از شبیه ساز مخزن به عنوان ابزاری برای ارزیابی و مدیریت مخزن برای به حداقل رساندن هزینه‌ها و افزایش کارایی فرآیند، بیشتر کرده است. شبیه سازها باید ابتدا در برابر آزمایشگاه‌های کنترل شده و آزمایش‌های آزمایشگاهی معتبر و قابل اعتماد شوند تا عملیات میدانی را به اطمینان پیش بینی و طراحی کنند.

یک بخش منحصر به فرد در بررسی ویژگی‌های نانوسیال‌ها، توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفت. تست‌های مشخصه‌های مختلف مانند SEM، TEM، XRD، FT-IR، DLS، TGA و تجزیه و تحلیل پتانسیل زتا برای شناسایی ساختار بلوری، اندازه ذرات، عملکرد سطح انجام می‌شود. اطمینان از اندازه ذرات، توزیع، انباشتگی و ثبات و یکپارچگی در مطالعات مشخصه از نانوسیال‌ها ضروری است. خواص نانوسیال‌ها عمدتاً براساس پنج پارامتر هستند: سیال‌های دمایی، انتقال حرارت، ذرات، کلوئید و روانکاری. هدایت حرارتی، ویسکوزیته و مدل‌های گرمایی ویژه از نانوسیال‌ها در مقالات گوناگون زیاد مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۳-۲- ازدیاد برداشت نفت با استفاده از نانوذرات غیر فلزی

در سال ۲۰۰۹، بینشان جو^۱ و تیلیانگ فن^۲ [۱۷] به بررسی مدل ریاضی انتقال نانوذرات در محیط متخلخل پرداختند. بدین منظور از دو نوع نانوذرات پلی‌سیلیکون در میداین نفتی برای ازدیاد برداشت نفت استفاده کرده و مدل ریاضی خود را بر این پایه استوار ساختند. آنها با استفاده از مدل خود توانستند تاثیر پارامترهای مهمی همچون توزیع تخلخل و نفوذپذیری را در استخراج نفت در نظر بگیرند. آنها در تحقیق خود از دو نوع نانوذرات پلی‌سیلیکون (PN) در میداین نفتی برای ازدیاد برداشت نفت و بهبود تزریق آب به ترتیب استفاده کردند. خواص فیزیکی نانوذرات مورد بررسی قرار گرفته و ویژگی‌های حفرات ماسه سنگ توسط آزمایش‌های تزریق جیوه مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش‌های جذب نانوذرات پلی‌سیلیکون

^۱ Binshan Ju

^۲ Tailiang Fan

چربی‌گریزی و آب‌دوستی (LHPN) برای نشان دادن تغییرات ترشوندگی (از نفت‌دوستی به آب‌دوستی) سطح ماسه سنگ انجام شد و نانوذرات متصل به دیواره‌های منافذ توسط میکروسکوپ انتقال الکترونی (TEM)، مشاهده شد. مدل ریاضی برای توصیف انتقال نانوذرات حمل شده در جریان دو فاز در محیط‌های متمایل به طور متناوب ارائه شد و یک شبیه ساز عددی برای شبیه سازی دو نمونه کاربرد نانوذرات در میدان‌های نفتی طراحی شد. یک کشف مهم این بود که نفوذپذیری در برابر آب در این ماسه سنگها از $1/6$ تا $2/1$ برابر مقدار اصلی آنها افزایش می‌یابد. با این حال، کاهش نفوذپذیری مطلق آنها به دلیل جذب نانوذرات در سطوح منافذ و جذب نانوذرات در دهانه‌های منافذ، صورت گرفته بود. پارامترهای مهم مانند توزیع تخلخل و نفوذپذیری، تغییرات در قابلیت تزریق آب و بازیافت نفت با موفقیت با روش شبیه سازی عددی به دست می‌آید. علاوه بر این، نفوذ پذیری‌هایی که از شبیه سازی عددی حاصل می‌شود، با داده‌های تجربی تطابق خوبی دارد. به عنوان نتیجه نیز نشان دادند که نانوذرات پلی‌سیلیکون عامل مؤثر برای افزایش قابلیت تزریق آب یا بهبود بازیافت نفت می‌باشند.

در سال ۲۰۱۲، الامین^۱ و همکاران [۱۸] به مدلسازی و شبیه سازی انتقال نانوذرات در جریان دوفازی در محیط متخلخل پرداختند و در سال ۲۰۱۳ نیز به مدلسازی و شبیه سازی تزریق نانوذرات در فرایند ازدیاد برداشت نفت پرداختند [۱۹]. ایشان در تحقیق خود به این اشاره کردند که دو نوع از نانوذرات پلی‌سیلیکون می‌توانند در زمینه‌های نفتی به ترتیب به منظور استخراج نفت و بهبود تزریق آب، استفاده کردند. هوانگ و همکارانش روابط کلی برای هر چهار زیر مجموعه حلقه پسماند محدود پیشنهاد کردند: اشباع خود بخودی و اجباری، زهکشی ثانویه خود بخودی و اجباری. شاولند^۲ و همکارانش [۲۰] رابطه کلی فشار مؤئینگی برای سنگ مخزن وابسته را با استفاده از قانون اول بروکس و کوری^۳ [۲۱] برای فشار مؤئینگی زهکشی اولیه بیان کردند. وقتی که فشار نفت به کندی کاهش یابد آب در سنگ جذب می‌شود

^۱ Mohamed F.El-Amin

^۲ Skjaeveland

^۳ Brooks and Corey