
کاربرد فناوری نانو در صنعت نفت

سید محمد موسوی سی سخت، بهروز جوهری،

مهدی رضوی فر

انتشارات زرنوشت

تهران - ۱۳۹۹

سرشناسه	:	موسوی سی سخت، سید محمد، ۱۳۷۷-
عنوان و نام پدیدآور	:	کاربرد فناوری نانو در صنعت نفت / مؤلفان: سید محمد موسوی سی سخت، بهروز جوهری، مهدی رضوی فر
مشخصات نشر	:	زرنوشت، ۱۳۹۹
مشخصات ظاهری	:	۲۱۲ ص.
شابک	:	۹۷۸ - ۶۲۲ - ۷۳۷۱ - ۹۹ - ۴
وضعیت فهرست‌نویسی	:	فیبای مختصر
یادداشت	:	فهرست‌نویسی کامل این اثر در http://opac.nlai.ir در دسترس است.
شماره افزوده	:	جوهری، بهروز، ۱۳۷۰ -
مناسه افزوده	:	رضوی فر، مهدی، ۱۳۷۱-



انتشارات زرنوشت

تهران، میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی،

کوچه مهدی‌زاده، شماره ۲۷، واحد ۱۹

تلفن: ۰۹۰۲۴۸۶۸۹۵۶ - ۶۶۴۷۹۶۱۵ - ۶۶۴۳۵۶۳۷

www.zarnevsh.com

کاربرد فناوری نانو در صنعت نفت

مؤلفان: سید محمد موسوی سی سخت، بهروز جوهری،

مهدی رضوی فر

• چاپ اول: ۱۳۹۹ • شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه • ناشر: زرنوشت

شابک: ۹۷۸ - ۶۲۲ - ۷۳۷۱ - ۹۹ - ۴

قیمت: ۷۰,۰۰۰ تومان

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب برای مؤلفان محفوظ است.

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۱۱
---------------	----

فصل اول: «آشنایی با فناوری نانو» ۱۳

۱- تاریخچه نانو مواد.....	۱۳
۲- کاربردهای فناوری نانو در صنعت نفت.....	۱۵
۲-۱- اکتشاف.....	۱۵
۲-۲- مدیریت مخازن.....	۱۶
۲-۳- حفاری.....	۱۶
۲-۴- بهره‌برداری.....	۱۶
۲-۵- پالایش و فرآورش.....	۱۷
۳- تعریف نانو مواد.....	۱۷
۴- انواع نانو مواد.....	۱۸
۴-۱- نانو ذرات.....	۱۸
۴-۲- نانو الیاف.....	۱۹
۴-۳- نانو کیسول‌ها.....	۲۰
۴-۴- نانو لوله‌ها.....	۲۰
۴-۵- نانو سیم‌ها.....	۲۱
۴-۶- نانو روکش‌ها.....	۲۲
۴-۷- مواد نانو حفره‌ای.....	۲۳

فصل دوم: «کاربرد نانو مواد در ازدیاد برداشت» ۲۵

۱- مقدمه.....	۲۵
۱-۱- تعریف مخازن نفتی.....	۲۶
۱-۲- اهداف مدیریت مخازن نفتی.....	۲۷
۱-۳- عوامل موثر در بهره‌برداری از مخازن نفتی.....	۲۷

- ۴-۱- مراحل ازدیاد برداشت از مخازن نفتی..... ۲۸
- ۴-۱-۱- بازیافت اولیه..... ۲۹
- ۴-۱-۲- بازیافت ثانویه..... ۲۹
- ۴-۱-۳- بازیافت ثالثیه..... ۲۹
- ۵-۱- روش های ازدیاد برداشت نفت از مخازن..... ۳۰
- ۵-۱-۱- بازیابی اولیه نفت..... ۳۰
- ۵-۱-۲- بازیابی ثانویه نفت..... ۳۱
- ۵-۱-۳-۱- تجدید فشار..... ۳۱
- ۵-۱-۳-۲- ابقاء فشار..... ۳۱
- ۵-۱-۳-۳-۱- رانش گاز..... ۳۱
- ۵-۳- روش های ازدیاد برداشت نفت از مخازن..... ۳۲
- ۵-۳-۱- تزریق گاز..... ۳۳
- ۵-۳-۲- تزریق آب..... ۳۳
- ۵-۳-۳- تزریق مسترپ آب و گاز..... ۳۴
- ۵-۴- سیلاب زنی با استفاده از مراد کاشنده نیروی کشش سطحی و ژل های پلیمری..... ۳۷
- ۵-۵- استفاده از روش میکروپروپرتورها..... ۳۷
- ۵-۵-۱- شیوه های متداول استفاده از میکروپروپرتورها در ازدیاد برداشت..... ۳۸
- ۶-۱- سورفکتانت ها..... ۳۹
- ۶-۱-۱- ازدیاد برداشت با استفاده از نانوسورفکتانت ها..... ۳۹
- ۷-۱- نانوذرات..... ۴۱
- ۲- مروری بر مطالعات انجام شده..... ۴۲
- ۳- کاربرد سورفکتانت و نانوذرات در مخازن نفتی..... ۵۵
- ۳-۱- تعریف سورفکتانت..... ۵۵
- ۳-۲- ترکیب سورفکتانت..... ۵۶
- ۳-۳- تقسیم بندی سورفکتانت ها..... ۵۶
- ۳-۳-۱- سورفکتانت های غیر یونی..... ۵۷
- ۳-۳-۲- سورفکتانت های آمیونی..... ۵۸
- ۳-۳-۴- سورفکتانت های آمفوتریک..... ۶۰
- ۴-۳- کاربرد نانوفناوری در ازدیاد برداشت از مخازن..... ۶۲
- ۴-۳-۱- ازدیاد برداشت با استفاده از نانوسیالات..... ۶۲

۶۳	۳-۴-۲- ازدیاد برداشت با استفاده از نانوسورفکتانت‌ها.....
۶۵	۳-۴-۳- ازدیاد برداشت با استفاده از هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی.....
۶۷	۳-۴-۴- به کارگیری نانوزل‌های حلقوی برای افزایش ضریب برداشت.....
۶۸	۳-۵-۵- روش‌های تهیه نانوسیال.....
۶۹	۳-۵-۱- روش دو مرحله‌ای.....
۷۰	۳-۵-۲- روش تک مرحله‌ای.....
۷۰	۳-۶- ترکیب نانوذرات و سورفکتانت‌ها در ازدیاد برداشت.....
۷۲	۴- جمع بندی مطالب فصل.....

فصل سوم: «کاربرد نانو مواد در گل حفاری» ۸۳

۸۳	۱- سیال حفاری..... انواع آن.....
۸۴	۲- کاربرد گل حفاری.....
۸۵	۳- افزودنیهای گل حفاری.....
۸۶	۱-۳- جامدات واکنشی.....
۸۶	۲-۳- جامدات خنثی.....
۸۸	۳-۳- افزودنی های شیمیایی.....
۹۱	۴-۳- تشکیل گچ.....
۹۲	۴- نانو افزودنی‌های گل حفاری.....
۹۳	۵- کاربرد نانو مواد افزودنی در گل حفاری.....
۹۳	۱-۵- نانو رس‌ها.....
۹۳	۲-۵- نانو ذره دوده.....
۹۳	۳-۵- نانو بنتونیت.....
۹۴	۴-۵- نانو آلومینا.....
۹۴	۵-۵- نانو اکسیدهای فلزی.....
۹۴	۶-۵- نانو کامپوزیت باریت.....
۹۴	۷-۵- نانو سیلیکا.....
۹۵	۸-۵- نانو پلی آنیونیک سلولز.....
۹۵	۹-۵- نانو اکسید آهن.....
۹۵	۱۰-۵- نانو پلی آکریل آمید.....
۹۵	۱۱-۵- نانو اکسید روی.....

- ۹۶-۵- نانو سیلیکا آمورف..... ۹۶
- ۹۶-۶- کارکردهای اصلی نانو مواد در گل حفاری..... ۹۶
- ۹۶-۱- کنترل هرزروی سیال و پایداری چاه..... ۹۶
- ۹۸-۲- جلوگیری از گل گرفتگی مته..... ۹۸
- ۹۹-۳- کاهش گشتاور پیچشی و نیروی پسا..... ۹۹
- ۹۹-۴- حذف گازهای سمی..... ۹۹
- ۱۰۰-۵- مقابله با چالش دما و فشار بالای مخزن..... ۱۰۰
- ۱۰۰-۶- کنترل دانسیته (وزن) گل حفاری..... ۱۰۰

فصل چهارم: «کاربرد نانو مواد در سیمان حفاری» ۱۰۳

- ۱۰۳-۱- آشنایی با سیمان حفاری..... ۱۰۳
- ۱۰۳-۲- کاربرد فناوری نانو در سیمان حفاری..... ۱۰۳
- ۱۰۴-۳- نانو افزودنی‌های مورد استفاده در سیمان حفاری..... ۱۰۴
- ۱۰۵-۴- مزایای کاربرد نانو افزودنی‌ها در سیمان حفاری..... ۱۰۵
- ۱۰۵-۴-۱- بهبود خواص مختلف سیمان حفاری..... ۱۰۵
- ۱۰۶-۴-۲- پایداری حرارتی..... ۱۰۶
- ۱۰۶-۴-۳- بهبود خواص سیال حائل..... ۱۰۶

فصل پنجم: «کاربرد نانو مواد در تجهیزات» ۱۰۷

- ۱۰۷-۱- کاربرد نانو مواد در صنعت اکتشاف..... ۱۰۷
- ۱۰۸-۲- کاربرد نانو مواد در صنعت حفاری..... ۱۰۸
- ۱۱۰-۲-۱- تاثیر نانو مواد در مته حفاری..... ۱۱۰
- ۱۱۲-۳- کاربرد نانو مواد در تجهیزات صنعت استخراج و بهره‌برداری..... ۱۱۲
- ۱۱۲-۳-۱- تاثیر نانو مواد در خوردگی فلزات..... ۱۱۲

فصل ششم: «کاربرد نانو مواد در امواج فراصوت» ۱۱۵

- ۱۱۵-۱- امواج فراصوت و کاربردهای آن در صنعت نفت..... ۱۱۵
- ۱۱۶-۱-۱- تاثیر گذاری بر نفوذپذیری و تراوایی نسبی نفت خام..... ۱۱۶
- ۱۱۶-۲-۱- پاکسازی چاه‌های افقی..... ۱۱۶
- ۱۱۷-۱-۲- جلوگیری از رسوب نمک‌ها..... ۱۱۷

- ۱-۴- نمک‌گیری از نفت خام..... ۱۱۷
- ۱-۵- امولسیون زدایی و آب‌گیری نفت خام..... ۱۱۸
- ۱-۶- حذف پلاگ‌ها و رسوبات پارافینی نزدیک چاه تولیدی..... ۱۱۸
- ۱-۷- کاهش گرانشی نفت خام..... ۱۱۹
- ۱-۸- تأثیر گذاری بر روی رسوب آسفالتین نفت خام..... ۱۲۰
- ۱-۹- استحصال نفت خام از لجن نفتی..... ۱۲۰
- ۱-۱۰- تأثیر گذاری بر تزریق آب به منظور ازدیاد برداشت..... ۱۲۱
- ۱-۱۱- تحریک چاه‌های نفتی..... ۱۲۱
- ۲- تأثیرات نانو مواد در فراصوت..... ۱۲۲

فصل هفتم: «کاربرد نانو مواد در میکرومدل» ۱۲۵

- ۱- آشنایی با میکرومدل و اهداف آنها..... ۱۲۵
- ۱-۱- طراحی و ساخت میکرومدل..... ۱۲۶
- ۱-۱-۱- طراحی و ساخت میکرومدل‌های دوبعدی..... ۱۲۶
- ۱-۱-۱-۱- طراحی میکرومدل دوبعدی..... ۱۲۷
- ۱-۱-۲-۲- چاپ طرح، با استفاده از چاپگر سه بعدی..... ۱۳۱
- ۱-۱-۲-۳- شستشوی قطعه چاپ شده..... ۱۳۱
- ۲- کاربرد میکرومدل..... ۱۳۲
- ۲-۱- بررسی میزان برداشت با توجه به طرح و نفوذ پذیری میکرومدل..... ۱۳۳
- ۲-۲- بررسی مواد و سیالات مختلف جهت یافتن روشهای ترشنگ‌ترین در ازدیاد برداشت..... ۱۳۴
- ۲-۳- بررسی واکنش‌های سیال و خصوصیات سیال با توجه به طرح و نفوذ پذیری میکرومدل..... ۱۳۴
- ۲-۴- بررسی واکنش‌های مواد بر روی سیال درون میکرومدل..... ۱۳۵
- ۲-۵- مشاهده و بررسی حرکت سیال و بازده جابجایی در مقیاس حفرا..... ۱۳۵
- ۳- کاربرد نانو مواد در میکرومدل..... ۱۳۵
- ۳-۱- نانو ذرات رس..... ۱۳۶
- ۳-۲- نانو سیالات..... ۱۳۷
- ۳-۳- نانو ذرات سیلیکا..... ۱۳۸
- ۳-۴- نانو شور آب..... ۱۳۸
- ۳-۵- استفاده ترکیبی از نانو ذره با آب کم شور..... ۱۳۹
- ۳-۶- نانو ذره فلزی..... ۱۳۹

فصل هشتم: «کاربرد نانو مواد در پالایشگاه و پتروشیمی» ۱۴۱

- ۱- خوردگی..... ۱۴۲
- ۱-۱- نقش فناوری نانو در کاهش خوردگی..... ۱۴۴
- ۱-۲- استفاده از نانو لوله های کامپوزیتی..... ۱۴۵
- ۱-۳- نانو لوله های کربنی..... ۱۴۷
- ۱-۴- فولاد ضد زنگ با مقاومت خوردگی بسیار بالا..... ۱۵۰
- ۱-۵- استفاده از فناوری نانو در روکش (پوشش) و رنگها..... ۱۵۱
- ۲- کاربرد نانوفناوری در فیلترهای مورد استفاده در صنعت نفت و گاز و پتروشیمی..... ۱۵۳
- ۲-۱- نانو فیلتراسیون در جداسازی هیدروکربن ها..... ۱۵۵
- ۲-۲- تصفیه هوا، ورودی به توربین ها و کمپرسورها..... ۱۵۵
- ۲-۳- تصفیه آب و پساب صنعتی..... ۱۵۸
- ۲-۴- تصفیه ذرات در سی..... ۱۵۹
- ۳- کاربرد فناوری نانو در کاتالیزورها..... ۱۵۹
- ۳-۱- نانوکاتالیست با رفتار همتا..... ۱۶۱
- ۳-۲- نانوکاتالیست با رفتار ناهمگن..... ۱۶۱
- ۳-۳- انواع نانو مواد کاتالیستی..... ۱۶۱
- ۳-۴- تاثیر نانوفناوری بر کاتالیست ها..... ۱۶۱
- ۳-۵- ویژگی های مهم کاتالیست ها..... ۱۶۲
- ۳-۶- کاربرد نانوکاتالیست ها در فرایندهای پالایش..... ۱۶۲
- ۳-۷- نانوکاتالیست های $\text{CoMo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ و $\text{NiMo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ در فرآیندهای سولفوریزاسیون..... ۱۶۲
- ۳-۸- نانوکاتالیست های $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ برای افزایش عدد اکتان و کاهش ترکیبات الفینی..... ۱۶۳
- ۳-۹- نانوکاتالیست های ژئولیتی..... ۱۶۴
- ۳-۱۰- کاربرد نانو کاتالیست ها در جداسازی ترکیبات گوگرد از بنزین..... ۱۶۴
- ۴- کاربرد فناوری نانو در ذخیره سازی و جذب گاز..... ۱۶۵
- ۴-۱- انواع نانوجاذب استفاده شده در ذخیره سازی گاز..... ۱۶۶
- ۴-۲- کاربرد فناوری نانو در فرآیند نم زدایی..... ۱۶۷
- ۵- کاربرد نانو ذرات در روانکارها..... ۱۶۹
- ۶- کاربرد نانو فناوری در عایق های حرارتی..... ۱۷۱
- ۶-۱- نانومواد استفاده شده در انواع عایق های حرارتی..... ۱۷۳

فصل نهم: «کاربرد نانو کامپوزیت‌های پایه پلیمری» ۱۷۵

- ۱- آشنایی با کامپوزیت..... ۱۷۵
- ۱-۱- نانو کامپوزیت‌ها..... ۱۷۵
- ۱-۲- روش سل-ژل..... ۱۷۶
- ۱-۳- دسته بندی نانو کامپوزیت‌ها از دیدگاه زیستی..... ۱۷۸
- ۱-۴- دسته بندی نانو کامپوزیت‌ها از لحاظ فاز زمینه..... ۱۷۸
- ۱-۵- دسته بندی نانو کامپوزیت‌ها از لحاظ نوع تقویت کننده..... ۱۷۸
- ۱-۶- انواع کاه وزیت‌ها..... ۱۷۹
- ۱-۶-۱- کامپوزیت تقویت شده با فیبر (FRC)..... ۱۷۹
- ۱-۶-۲- کامپوزیت تقویت شده با ذرات (PRC)..... ۱۷۹
- ۱-۶-۳- کامپوزیت هیالینایی..... ۱۷۹
- ۱-۶-۴- کامپوزیت‌های ورت‌های..... ۱۸۰
- ۱-۶-۵- کامپوزیت‌های جمی..... ۱۸۰
- ۱-۶-۶- نانو کامپوزیت پایه پلیمری..... ۱۸۰
- ۱-۷- روش‌های ساخت نانو کامپوزیت..... ۱۸۱
- ۱-۷-۱- مخلوط سازی مستقیم..... ۱۸۱
- ۱-۷-۲- فراآوری محلول..... ۱۸۲
- ۱-۷-۳- پلیمریزاسیون درجا..... ۱۸۲
- ۱-۷-۴- تهیه پلیمر از مونومرها در حضور قالب‌گیری در مقیاس نانو..... ۱۸۳
- ۱-۸- مزایای کامپوزیت‌های پایه پلیمری..... ۱۸۳
- ۱-۹- معایب نانو کامپوزیت‌های پلیمری..... ۱۸۴
- ۱-۱۰- نانو مواد افزودنی به کامپوزیت‌های پلیمری..... ۱۸۴
- ۱-۱۱- نانو کامپوزیت پایه سرامیکی..... ۱۸۶
- ۱-۱۲- کاربردهای نانو کامپوزیت پایه سرامیکی..... ۱۸۷
- ۱-۱۳- دسته‌بندی نانو کامپوزیت پایه سرامیکی براساس فاز تقویت کننده..... ۱۸۷
- ۱-۱۴- روش تولید کامپوزیت زمینه سرامیکی..... ۱۸۷
- ۱-۱۴-۱- پرس کاری و ایزواستاتیک گرم..... ۱۸۷
- ۱-۱۵- مزایای کامپوزیت‌های سرامیکی..... ۱۹۱
- ۱-۱۶- معایب کامپوزیت سرامیکی..... ۱۹۱
- ۱-۱۷- نانو کامپوزیت پایه فلزی..... ۱۹۱

پیش‌گفتار

صنعت نفت یکی از مهمترین صنایع در سطح دنیا است؛ که توانسته توجه زیادی را به خود جلب کند. یکی از بخش‌هایی که محققان و شرکت‌های مطرح دنیا بر روی آن تمرکز کرده‌اند، استفاده از فناوری نانو در صنعت نفت است. امروزه می‌توان به وضوح نقش فناوری نانو را در جهان اطراف خود درک کرد و با توجه به اهمیت و گسترده بودن صنعت نفت، فناوری نانو توانسته جایگاه به خصوصی را در دهه‌های اخیر برای خود رقم بزند. با استفاده از این فناوری می‌توان هزینه‌های عظیمی را کاهش داد و همچنین می‌توان درآمد بالایی را بدست آورد. کاهش هزینه مصرفی و بدست آوردن سود بیشتر برای صنعت نفت می‌تواند دلیل بسیار مهمی برای استفاده از این فناوری نوین در صنعت نفت باشد. فناوری نانو به چندین زیرمجموعه بزرگ و کاربردی تقسیم می‌شود؛ که ما در این کتاب سعی کرده‌ایم کاربردهای مهم و بسیار ضروری را با استفاده از نانو مواد بررسی کنیم. نانو مواد ارائه شده خود را به راحتی در بخش‌های پرهزینه و همچنین کاربردی صنعت نفت مانند: تل، سیمان حفاری، تجهیزات، آزمایشات و شبیه‌سازی، عملیات ازدیاد برداشت، پترسیمی‌ها و... به خوبی جای دهد.

به منظور آشنایی هرچه بیشتر محققان و پژوهشگران در راستای کاربردهای نانو مواد در صنعت نفت، نگارش و تالیف این کتاب انجام شده و سعی گردیده تا مطالب به تفصیل و جامع معرفی و توضیح داده شوند. شایان ذکر است که کتاب پیش رو حاصل تلاش و تجارب نویسندگان است و مطالب ارائه شده خالی از ایراد نیست. در صورت هرگونه انتقاد یا پیشنهاد می‌توانید با نویسندگان از طریق آدرس ایمیل موجود در تماس باشید.

با تشکر

تیم نویسندگان^۱

۱. سید محمد موسوی سی سخت- دانشجوی مهندسی نفت مرکز آموزش عالی لامرد- عضو تیم Writing و IOR کمیته جهتی

نفت WPC در ایران - Mousavimohammad104@gmail.com

بهروز جوهری - کارشناس ارشد مهندسی نفت - مدیر عامل شرکت سارین پارس - Behrouz.johari@yahoo.com

مهدی رضوی‌فر- دانشجوی دکتری مهندسی نفت دانشگاه شیراز- مدیر عامل شرکت آموزشی ویرا- مسئول تیم‌های تحقیقاتی و پژوهش

کمیته جهتی نفت WPC در ایران - Mahdi.razavifar@gmail.com