

# کاربرد نانو مواد در حفاری چاه‌های نفت

مؤلفان:

مهندس بامداد کاظمی

مهندس امیر علی محسنی

به سرپرستی و نظارت علمی

مهندس میلاد مقصودی اکبری



سازمان اسناد و کتابخانه ملی  
جمهوری اسلامی ایران

- سرشناسه : کاظمی، بامداد، ۱۳۷۱-  
عنوان و نام پدید آور : کاربرد نانو مواد در حفاری چاه‌های نفت / مولفان بامداد کاظمی، امیرعلی محسنی؛ به سرپرستی و نظارت علمی میلاد مقصودی اکبری؛ تدوین و تنظیم خانه مهندسی نفت ایران- تهران: سها، ۱۴۰۱.  
مشخصات نشر :  
مشخصات ظاهری : ۲۰۹ص: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار (بخشی رنگی).  
شابک : ۸۰۰۰۰۰۰ ریال 978-622-5803-48-0  
وضعیت فهرست نویسی : فیپا  
یادداشت : کتابنامه : ص. [۱۸۷] - ۲۰۹.  
موضوع : نفت -- صنعت و تجارت -- نوآوری

**Petroleum industry and trade -- Technological innovations**

نانوتکنولوژی

**Nanotechnology**

چاه‌های نفت -- حفاری -- نوآوری

**Oil well drilling -- Technological innovations**

مواد نانوساختار -- کاربردهای صنعتی

**Nanostructured materials -- Industrial applications**

- شناسه افزوده : محسنی، امیرعلی، ۱۳۷۵-  
شناسه افزوده : مقصودی اکبری، میلاد، ۱۳۶۷-  
شناسه افزوده : خانه مهندسی نفت ایران  
رده بندی کنگره : ۵/HD۹۵۶۰  
رده بندی دیویی : ۲۷۲۸/۲۳۸  
شماره کتابشناسی ملی : ۸۸۲۸۹۲۶  
اطلاعات رکورد : فیپا  
کتابشناسی

عنوان کتاب ..... کاربرد نانو مواد در حفاری چاه های نفت  
نویسندگان : ..... بامداد کاظمی، امیر علی محسنی، میلاد مقصودی اکبری  
تدوین و تنظیم : ..... خانه مهندسی نفت ایران  
ناشر ..... انتشارات سها  
سال نشر ..... ۱۴۰۱  
تیراژ ..... ۱۰۰  
نوبت چاپ ..... اول  
چاپ ..... سها  
قیمت ..... ۸۰۰/۰۰۰ ریال  
شابک : ..... ۹۷۸-۶۲۲-۵۸۰-۳۴۸-۰

تمامی حقوق این اثر برای "خانه مهندسی نفت ایران" محفوظ است.



## پیش‌گفتار

امروزه نفت و گاز به عنوان یکی از نیازهای ضروری بشر بوده و فرآیند تولید و استخراج بهینه سیال از مخازن هیدروکربوری یکی از دغدغه‌های جهان کنونی در زمینه تأمین سوخت است. با در نظر گرفتن محدودیت منابع نفت و گاز در جهان و نیز توانایی 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 دارد. تحقیقات زیادی بر روی جریان‌های پایین دستی، میان دستی و بالادستی صنعت نفت و گاز صورت گرفته است؛ که می‌تواند باعث بهبود فرایند اکتشاف، حمل و نقل و پالایش محصولات نفتی شود. فناوری نانو این ظرفیت و پتانسیل را دارد؛ که تغییرات متحول‌کننده‌ای را در حوزه‌های مختلف صنایع نفت و گاز نظیر اکتشاف و استخراج، حفاری، تولید و ازدیاد برداشت به وجود آورد. عملیات حفاری یکی از پیچیده‌ترین و هزینه برترین بخش‌های تولید نفت است و از این رو، توانمندی در این صنعت به نوعی ملاک قدرت شرکت‌های نفتی محسوب می‌شود. بهبود خواص سیال حفاری به عنوان یکی از پارامترهای مهم در افزایش بازده عملیات حفاری همواره مورد توجه بوده است. از راه‌های بهبود خواص این سیال، استفاده از نانو ذرات کارآمد در ترکیب آن است. امروزه علوم نانو در تمامی عرصه‌های علمی وارد شده است. فناوری نانو به زمینه‌ای از فناوری و علوم کاربردی باز می‌گردد؛ که اصول کلی آن کنترل ماده در مقیاس اتمی و مولکولی (اغلب ۱۰۰ نانومتر یا کمتر) و ساخت مواد و وسایلی که ابعاد آن در این محدوده قرار گرفته‌اند. پیشرفت‌ها در زمینه فناوری نانو باعث توسعه مواد،

وسایلی با خصوصیات و ویژگی‌های شده‌اند؛ که به کمک فناوری‌های مرسوم نمی‌توان به آن‌ها رسید. امروزه صنعت نفت و گاز به دنبال موادی است که از لحاظ فیزیکی، شیمیایی و حرارتی پایدار باشند تا بتوان سیالات هوشمند را برای استفاده در زمینه بهره‌برداری و حفاری طراحی کرد.

در سالیان اخیر فناوری نانو با سرعت زیادی در این صنعت وارد شده است به گونه‌ای که اکنون این فناوری یکی از مهمترین فناوری‌های مورد استفاده در توسعه صنعت حفاری شناخته می‌شود و محصولات و تکنیک‌های زیادی مبتنی بر فناوری نانو وارد این صنعت شده است.

نانو ذرات به دلیل خصوصیات منحصر به فرد اعم از اندازه و نسبت بالای سطح به حجم، در حل مشکلات مرتبط با سیال حفاری بسیار موثر هستند. از مشکلات مرتبط با سیال حفاری می‌توان به ناپایداری سازند شیلی، هرزروی، آلودگی سیال حفاری و گیر رشته حفاری اشاره کرد. در صورت تهاجم آب به درون سازند شیلی مشکلاتی از قبیل تورم و پراکندگی ذرات رسوب شکستگی سازند شیلی به وجود آمده و در نهایت ناپایداری سازند شیلی را به دنبال دارد. نانو ذرات با انسداد منافذ موجود در شیل، تراوایی را به حداقل می‌رساند و از این طریق حرکت آب به درون شیل را متوقف کرده و پایداری سازند شیلی را فراهم می‌کنند. نانو ذرات موجود در سیال حفاری با تشکیل کیک گل نفوذ ناپذیر، بدون تخلخل، نازک و پیوسته، می‌توانند هرزروی را به حداقل برسانند. کیک گل تشکیل شده به دلیل ضخامت کم گیررشته حفاری را کاهش می‌دهد. همچنین کیک گل را می‌توان به عنوان عامل روان ساز در سطح تماس رشته حفاری - دیواره چاه توجه کرد. با استفاده از نانو ذرات

می توان آلودگی گازهای اسیدی را به طور کامل برطرف کرد. آزمایشات اخیر نشان داده‌اند که نانو سیال، خواص جالبی برای کاربرد در انتقال حرارت، کاهش اصطکاک و نیروی کشش، توانایی استحکام و یکپارچه سازی ماسه سنگ‌های سست، ایجاد ژل، تغییر خاصیت ترشوندگی و کنترل خوردگی ایفا می‌کند.

انتقال از میکرو به نانو علاوه بر تغییرات فیزیکی، منجر به تغییرات شیمیایی مواد نیز می‌شود. افزایش نسبت سطح به حجم نانو ذرات، باعث کاهش اندازه ذرات می‌شود. این کاهش در اندازه باعث افزایش اثر غالب رفتار اتمی بر روی مساحت سطح ذرات می‌گردد. این ویژگی تقابل ذرات با یکدیگر را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به دلیل مساحت سطح بالاتر، تقابل ذرات نانو با دیگر ذرات در مخلوط بیشتر است. خصوصیات نانو ذرات به شکل، ساختار و اندازه بستگی دارد.

در همین راستا به منظور بررسی ابعاد عملیاتی این روش در بخش حفاری مخازن نفت و گاز، ارزیابی مزایا و کاربردهای این روش و آشنایی هرچه بیشتر محققان و پژوهشگران در راستای کاربردهای نانو مواد در بخش حفاری، نگارش این کتاب انجام شده است و سعی گردیده تا مطالب به تفصیل و جامع ارزیابی 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 زیر در تماس باشید.

[Petedep.info@gmail.com](mailto:Petedep.info@gmail.com)

جهت كسب اطلاعات بيشتر و خريد آنلاين اين كتاب به وب سايت رسمي «خانه مهندسي نفت  
ايران» به آدرس زير مراجعه فرماييد:

[www.Petedep.Com](http://www.Petedep.Com)

## فهرست مطالب

| صفحه | عنوان   |
|------|---|
| ۱۹   | فصل اول: نواح نانو ذرات .....                               |
| ۱۹   | ۱- پیشینه نانو مواد .....                                   |
| ۲۲   | ۲- کاربردهای فناوری نانو در صنعت نفت .....                  |
| ۲۲   | ۲-۱- اکتشاف .....   |
| ۲۳   | ۲-۲- مدیریت مخازن .....                                     |
| ۲۳   | ۲-۳- حفاری .....  |
| ۲۴   | ۲-۴- بهره‌برداری .....                                      |
| ۲۵   | ۲-۵- پالایش .....   |
| ۲۵   | ۳- تعریف نانو مواد .....                                    |
| ۲۶   | ۴- انواع نانو مواد .....                                    |
| ۲۶   | ۴-۱- نانو ذرات .....  |
| ۲۷   | ۴-۲- نانو الیاف .....                                       |
| ۲۸   | ۴-۳- نانوکپسول‌ها .....                                     |
| ۲۸   | ۴-۴- نانو لوله‌ها .....                                     |
| ۳۰   | ۴-۵- نانو سیم‌ها .....                                      |
| ۳۰   | ۴-۶- نانو روکش‌ها .....                                     |
| ۳۰   | ۴-۷- مواد نانو حفره‌ای .....                                |
| ۳۳   | فصل دوم: کاربرد نانو مواد در صنعت نفت .....                 |
| ۳۳   | ۱- مقدمه .....  |
| ۳۵   | ۲- نانو ذرات مورد استفاده در صنعت نفت و روش سنتز آنها ..... |
| ۴۱   | ۳- کاربرد نانو ذرات در بالادستی نفت .....                   |

|    |   |
|----|---|
| ۴۱ | ۳-۱- اکتشاف   |
| ۴۴ | ۳-۲- حفاری  |
| ۴۸ | ۳-۳- ازدیاد برداشت  |
| ۵۳ | ۴- نانومواد مورد استفاده در محصولات تجاری                 |
| ۵۴ | ۴-۱- نانوذرات دی سولفید تنگستن                            |
| ۵۵ | ۴-۲- نانوذرات اکسید روی                                   |
| ۵۶ | ۴-۳- نانوذرات دی اکسید سیلیسیم                            |
| ۵۶ | ۴-۴- نانوذرات اکسید سرنیم (IV)                            |
| ۵۷ | ۴-۵- نانوذرات اکسید قلع آنتیموان                          |
| ۵۷ | ۵- خواص ایجاد شده توسط نانومواد در محصولات صنعت نفت و گاز |
| ۶۰ | ۶- زمینه های کاربردی فناوری نانو در صنایع بالادستی نفت    |
| ۶۱ | ۷- نتیجه گیری   |
| ۶۳ | <b>فصل سوم: کاربرد نانو کامپوزیت های پایه پلیمری</b>      |
| ۶۳ | ۱- آشنایی با کامپوزیت                                     |
| ۶۴ | ۲- نانو کامپوزیتها  |
| ۶۵ | ۳- روش سل-ژل ساخت نانو کامپوزیت                           |
| ۶۷ | ۴- دسته بندی نانو کامپوزیتها از دیدگاه زیستی              |
| ۶۷ | ۵- دسته بندی نانو کامپوزیتها از لحاظ فاز زمینه            |
| ۶۸ | ۶- دسته بندی نانو کامپوزیتها از لحاظ نوع تقویت کننده      |
| ۶۸ | ۷- انواع کامپوزیتها                                       |
| ۶۸ | ۷-۱- کامپوزیت تقویت شده با فیبر (FRC)                     |
| ۶۸ | ۷-۲- کامپوزیت تقویت شده با ذرات (PRC)                     |
| ۶۹ | ۷-۳- کامپوزیت های الیافی                                  |
| ۶۹ | ۷-۴- کامپوزیت های ورق های                                 |
| ۷۰ | ۷-۵- کامپوزیت های حجمی                                    |



|    |  |
|----|--|
| ۷۰ | ۶-۷- نانو کامپوزیت پایه پلیمری .....                                 |
| ۷۱ | ۸- روشهای ساخت نانو کامپوزیت پلیمری .....                            |
| ۷۱ | ۸-۱- مخلوط سازی مستقیم .....   |
| ۷۱ | ۸-۲- فرآوری محلول .....  |
| ۷۲ | ۸-۳- پلیمریزاسیون درجا .....   |
| ۷۳ | ۸-۴- تهیه پلیمر از مونومرها در حضور قالبهایی در مقیاس نانو .....     |
| ۷۳ | ۹- مزایای کامپوزیت‌های پایه پلیمری .....                             |
| ۷۴ | ۱۰- معایب نانو کامپوزیت‌های پلیمری .....                             |
| ۷۴ | ۱۱- نانو مواد افزودنی به کامپوزیت‌های پلیمری .....                   |
| ۷۶ | ۱۲- نانو کامپوزیت پایه سرامیکی .....                                 |
| ۷۷ | ۱۳- کاربردهای نانو کامپوزیت پایه سرامیکی .....                       |
| ۷۸ | ۱۴- دستهبندی نانو کامپوزیت پایه سرامیکی براساس فاز تقویت کننده ..... |
| ۷۸ | ۱۵- روش تولید کامپوزیت زمینه سرامیکی .....                           |
| ۸۲ | ۱۶- مزایای کامپوزیت‌های سرامیکی .....                                |
| ۸۳ | ۱۷- معایب کامپوزیت سرامیکی .....                                     |
| ۸۳ | ۱۸- نانو کامپوزیت پایه فلزی .....                                    |
| ۸۴ | ۱۹- روش‌های ساخت نانو کامپوزیت‌های پایه فلزی .....                   |
| ۸۵ | ۱۹-۱- روش مایع (ریخته‌گری) .....                                     |
| ۸۶ | ۱۹-۲- روش متالورژی پودر .....  |
| ۸۶ | ۱۹-۳- آلیاژسازی مکانیکی .....  |
| ۸۷ | ۲۰- نانو کامپوزیت پایه پلیمری برپایه گرافن درصنعت نفت .....          |
| ۹۳ | <b>فصل چهارم: کاربرد نانوفناوری در حفظ محیط زیست .....</b>           |
| ۹۳ | ۱- مقدمه .....   |
| ۹۵ | ۲- کاربرد نانوفناوری به منظور حفظ محیط زیست .....                    |
| ۹۵ | ۲-۱- بهبود سیمان حفاری .....   |

|          |   |
|----------|---|
| ۹۶.....  | ۲-۲- بهبود سیال حفاری .....                         |
| ۹۷.....  | ۳- گرافن .....                                      |
| ۹۹.....  | ۴- نانوذرات اکسید روی .....                         |
| ۱۰۱..... | ۵- افزایش‌های پلیمری نانومتری .....                 |
| ۱۰۲..... | ۶- نتیجه‌گیری .....                                 |
| ۱۰۵..... | <b>فصل پنجم: کاربرد نانو مواد در گل حفاری .....</b> |
| ۱۰۵..... | ۱- سیال حفاری و انواع آن .....                      |
| ۱۰۹..... | ۲- کاربرد گل حفاری .....                            |
| ۱۱۰..... | ۳- افزودنی‌های گل حفاری .....                       |
| ۱۱۱..... | ۴- جامدات واکنشی .....                              |
| ۱۱۲..... | ۵- جامدات خنثی .....                                |
| ۱۱۳..... | ۶- افزودنی‌های شیمیایی .....                        |
| ۱۱۶..... | ۷- تشکیل گچ .....                                   |
| ۱۱۷..... | ۸- نانو افزودنی‌های گل حفاری .....                  |
| ۱۱۸..... | ۹- کاربرد نانو مواد افزودنی در گل حفاری .....       |
| ۱۱۸..... | ۹-۱- نانو رسها .....                                |
| ۱۱۹..... | ۹-۲- نانو ذره دوده .....                            |
| ۱۱۹..... | ۹-۳- نانو بتونیت .....                              |
| ۱۱۹..... | ۹-۴- نانو آلومینا .....                             |
| ۱۲۰..... | ۹-۵- نانو اکسیدهای فلزی .....                       |
| ۱۲۰..... | ۹-۶- نانو کامپوزیت باریت .....                      |
| ۱۲۰..... | ۹-۷- نانو سیلیکا .....                              |
| ۱۲۰..... | ۹-۸- نانو پلی آنیونیک سلولز .....                   |
| ۱۲۱..... | ۹-۹- نانو اکسید آهن .....                           |
| ۱۲۱..... | ۹-۱۰- نانو پلی آکریل آمید .....                     |

|     |   |
|-----|---|
| ۱۲۱ | ۹-۱۱- نانو اکسید روی                            |
| ۱۲۲ | ۹-۱۲- نانو سیلیکا آمورف                         |
| ۱۲۲ | ۱۰- کارکردهای اصلی نانو مواد در گل حفاری        |
| ۱۲۲ | ۱-۱۰- کنترل هرزروی سیال و پایداری چاه           |
| ۱۲۷ | ۱۰-۲- جلوگیری از گل گرفتگی مته                  |
| ۱۲۷ | ۳-۱۰- چسبندگی (گیر) رشته حفاری                  |
| ۱۲۸ | ۱۰-۴- کاهش گشتاور پیچشی                         |
| ۱۲۹ | ۱۰-۵- حذف گازهای سمی و خورنده                   |
| ۱۳۰ | ۱۰-۶- مقابله با چالش دما و فشار بالای مخزن      |
| ۱۳۱ | ۱۰-۷- کنترل دانسیته (وزن) گل حفاری              |
| ۱۳۲ | ۱۰-۸- کاهش مواد جامد درون گل حفاری              |
| ۱۳۳ | ۱۰-۹- نتایج تحقیقات انجام شده                   |
| ۱۳۴ | ۱۰-۱۰- نانو ذرات سیلیکا فیوم در سیال حفاری      |
| ۱۳۷ | ۱۰-۱۱- پایداری سازندهای شیلی با نانو مواد       |
| ۱۳۹ | ۱۰-۱۲- کاربرد نانو مواد در صنعت حفاری           |
| ۱۴۰ | ۱۰-۱۳- حفاری دورانی                             |
| ۱۴۲ | ۱۰-۱۴- تاثیر نانو مواد در مته حفاری             |
| ۱۴۳ | ۱۵-۱۰- کاربرد نانو فناوری در طراحی مته حفاری    |
| ۱۴۵ | ۱۱- افزایش عمر تجهیزات فناوری حفاری             |
| ۱۴۶ | ۱۲- افزودنی های نانو به سیال حفاری:             |
| ۱۴۷ | ۱۳- افزایش گرانشی سیال حفاری با نانو مواد       |
| ۱۴۸ | ۱۴- نانو گرافیت در گل حفاری                     |
| ۱۵۱ | <b>فصل ششم: کاربرد نانو مواد در سیمان حفاری</b> |
| ۱۵۱ | ۱- آشنایی با سیمان حفاری                        |
| ۱۵۲ | ۲- کاربرد فناوری نانو در سیمان حفاری            |

|   |            |
|---|------------|
| ۳- معرفی انواع نانو افزودنیهای مورد استفاده در سیمان حفاری .....                  | ۱۵۳        |
| ۴- نانو افزودنی‌های مورد استفاده در سیمان حفاری .....                             | ۱۵۴        |
| ۵- مزایای کاربرد نانو افزودنی‌ها در سیمان حفاری .....                             | ۱۵۴        |
| ۵-۱- بهبود خواص مختلف سیمان حفاری .....   | ۱۵۴        |
| ۵-۲- پایداری حرارتی .....   | ۱۵۵        |
| ۵-۳- بهبود خواص سیال حائل .....   | ۱۵۵        |
| ۵-۴- استفاده از نانو سیلیکا در سیمان حفاری .....                                  | ۱۵۶        |
| <b>فصل هفتم: بهبود تولید نفت با نانو مواد .....</b>                               | <b>۱۶۳</b> |
| ۱- مقدمه .....  | ۱۶۳        |
| ۲- تعریف مخازن نفتی .....   | ۱۶۴        |
| ۳- اهداف مدیریت مخازن نفتی .....  | ۱۶۵        |
| ۴- عوامل موثر در بهره برداری از مخازن نفتی .....                                  | ۱۶۶        |
| ۵- مراحل ازدیاد برداشت از مخازن نفتی .....  | ۱۶۷        |
| ۵-۱- بازیافت اولیه .....  | ۱۶۸        |
| ۵-۲- بازیافت ثانویه .....   | ۱۶۸        |
| ۵-۳- بازیافت ثالثیه .....   | ۱۶۹        |
| ۶- روش های ازدیاد برداشت نفت از مخازن .....                                       | ۱۶۹        |
| ۶-۱- بازیابی اولیه نفت .....  | ۱۷۰        |
| ۶-۲- بازیابی ثانویه نفت .....   | ۱۷۰        |
| ۶-۳- روش های ازدیاد برداشت نفت از مخازن .....                                     | ۱۷۲        |
| ۶-۴- سیلاب زنی با استفاده از مواد کاهش دهنده نیروی کشش سطحی و ژل‌های پلیمری ..... | ۱۷۸        |
| ۶-۵- استفاده از روش میکروبی .....   | ۱۷۹        |
| ۶-۶- سورفکتانت‌ها .....   | ۱۸۱        |
| ۷- ازدیاد برداشت با استفاده از نانوسورفکتانتها .....                              | ۱۸۲        |

١٨٤ ..... ٨- نانوذرات

١٨٧ ..... منابع