**مطالعه آزمایشگاهی اثر نانوذرات در کاهش جذب آب ویسکوزیفایرهای گِل حفاری**

مهدی موسیوند1، الیاس قلعه­گلاب2\*

|  |  |
| --- | --- |
| 1 گروه مهندسی نفت، واحد امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی، امیدیه، ایران  | Mr.mehdimousivand@gmail.com  |
| 2\* گروه مهندسی نفت، واحد امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی، امیدیه، ایران | elias.ghalehgolab@iauo.ac.ir  |

# چكيده

نانوکامپوزیت مغناطیسی اکسید گرافن/کبالت با روش الکتروشیمیایی تهیه و ویژگی­های فیزیکی آن با استفاده از دستگاه­های پراش پرتوX (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و مغناطش­سنج نمونه ارتعاشی (VSM) مطالعه شد. سپس اثر این نانوکامپوزیت بر میزان جذب آب سیال حفاری محتوی بنتونیت بررسی شد. نتایج XRD مؤید شکل­گیری ساختار بلوری نانوکامپوزیت اکسیدگرافن/کبالت است. طبق تصاویر SEM نانوذرات کبالت روی صفحات اکسید گرافن رشد کرده­اند. نتایج مغناطیس­سنجی با دستگاه VSM، مغناطش اشباع نانوذرات را در حدود emu/g 167 نشان داد. به منظور بررسي میزان جذب آب بنتونیت مورد استفاده در ساخت گل حفاري، نانوذرات ساخته شده با غلظت­های متفاوت به نمونه گل حفاري افزوده شده و با استفاده از دستگاه مافوق صوت به طور کامل و یكنواخت در آن پخش و پراکنده شدند.اثر نانوذرات بر میزان جذب آب بنتونیت با استفاده از روش تست تورم آزاد مطابق با استاندارد (ASTM.D5890-19) مطالعه شد. نتایج حاصل از این آزمایشات نشان داد که نانوکامپوزیت اکسیدگرافن/کبالت باعث افزایش جذب آب در نمونه گل حفاری شده است. دلیل این پدیده را می­توان به وجود صفحات اکسید گرافن در ترکیب نانوکامپوزیت نسبت داد.

**کليدواژه­ها:** نانوکامپوزیت مغناطیسی، گل حفاری، بنتونیت، جذب آب، ویسکوزیته.

**Laboratory study of the effect of nanoparticles for reduction of water absorption of drilling mud viscosifiers**

**Mehdi Mousivand1, Elias Ghalehgolab2\***

|  |  |
| --- | --- |
| 1Department of Petroleum Engineering, Omidiyeh Branch, Islamic Azad University, Omidiyeh, Iran  | Mr.mehdimousivand@gmail.com |
| 2\*Department of Petroleum Engineering, Omidiyeh Branch, Islamic Azad University, Omidiyeh, Iran | elias.ghalehgolab@iauo.ac.ir |

**Abstract**

Graphene oxide/cobalt magnetic nanocomposite was prepared by electrochemical method and its physical properties were studied using X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM) and vibrating sample magnetometer (VSM). Then, the effect of this nanocomposite on the amount of water absorption of bentonite-containing drilling fluid was investigated. XRD results confirm the formation of crystal structure of graphene oxide/cobalt nanocomposite. According to SEM images, cobalt nanoparticles have grown on graphene oxide sheets. The results of magnetometry with VSM device showed the saturation magnetization of nanoparticles around 167 emu/g. In order to investigate the amount of water absorption of bentonite used in the production of drilling mud, nanoparticles made with different concentrations were added to the drilling mud sample and spread and dispersed in it completely and uniformly using an ultrasonic device. The effect of nanoparticles on bentonite water absorption was studied using the free swelling test method according to the standard (ASTM.D5890-19). The results of these tests showed that the graphene oxide/cobalt nanocomposite increased water absorption in the drilling mud sample. The reason for this phenomenon can be attributed to the existence of graphene oxide sheets in the composition of nanocomposite.

**Keywords:** Magnetic nanocomposite, Drilling mud, Bentonite, Water absorption, Viscosity.

**مقدمه**

یکی از اصول فناوري نانو ساخت مواد و وسایل در مقیاس اتمي و مولكولي و کنترل خواص ماده در این ابعاد است. نانوذرات به دلیل دارا بودن اندازه بسیار کوچک و نیز نسبت بالاي سطح به حجم خصوصیاتی منحصر به فرد متفاوت با نمونه­های حجیم دارند که از جمله آنها مي­توان به افزایش فعالیت سطحي و واکنش پذیري بسیار بالا اشاره کرد. در حقیقت به دلیل وجود مساحت سطحي بالاي نانوساختارها، در انتقال از اندازه میكرو به نانو، علاوه بر تغییرات فیزیكي، تغییرات شیمیایي نیز در مواد پررنگ­تر می­شود. لازم به ذکر است که خصوصیات خارق العاده نانوذرات به شكل، ساختار و اندازه آن­ها وابسته هستند و باعث کاربرد قابل توجه نانوذرات در زمینه‌هاي گوناگون صنعتي از جمله اکتشاف و بهره­برداري از مخازن نفت و گاز می‌شود [1و2].

امروزه صنعت نفت و گاز به دنبال بکارگیری موادي است که از نظر فیزیكي، شیمیایي و نیز حرارتي پایدار باشند تا بتوان با کمک آن­ها سیالات هوشمند و بهبود یافته را به منظور استفاده در زمینه حفاري و بهره‌برداري طراحي کرد. با توجه به اهمیت صنعت نفت در توسعه کشورها، در سالیان اخیر پژوهشگران فراوانی مطالعات خود را در این زمینه متمرکز نموده­اند [3-11].

حفاري یک فرایند اساسي براي بازیابي مواد مهم زیر زمین مانند نفت و دیگر منابع طبیعي است. اکتشاف و استخراج ذخایر معدني مانند نفت اغلب با حفر چاه­هایي با کمک مته‌هاي دوار همراه است. سنگریزه­هاي حاصل از حفاري، به طور پیوسته از درون چاه بیرون برده مي­شود. در چاه­هاي با عمق کم، خارج کردن سنگ­ها با تزریق گاز تحت فشار از طریق یک میله حفاري تو خالي صورت می­پذیرد در حالیکه در چاه­هاي عمیق یک مایع براي خروج سنگریزه‌ها بکار برده مي­شود که این مایعات را در سیالات حفاري و یا گِل حفاري مي­نامند. برخی از وظایف سیال حفاری عبارتند از: خارج­ کردن کنده‌های حاصل از حفاری از درون چاه و تمیزسازی ته چاه، معلق­سازی و رها­سازی براده­های حفاری در سطح زمین، کاهش صدمه به سازند مخزنی، خنک کردن و روان‌کاری و نگهداری قسمتی از وزن مته و رشته حفاری، جلوگیری از خوردگی فرسایش لوله­های حفاری و پایدارسازی چاه.

سیالات حفاري براساس سیال پایه تشكیل دهنده آن­ها به سه گروه گِل­هاي پایه آبي، گِل­هاي پایه روغني و گِل­هاي سنتزي دسته­بندی مي­شوند. در گل­هاي پایه ‌آبي، آب به عنوان فاز پیوسته و روغن به صورت امولسیون یا فاز پراکنده وجود دارد. در سیال حفاري پایه روغني، روغن فاز پیوسته و آب به صورت امولسیون یا فاز پراکنده حضور دارد. در گل حفاري پایه سنتزي نیز از روغن­هاي سنتزي استفاده مي­شود و نوعي امولسیون آب در روغن محسوب مي­شوند.

سیال حفاري پایه نانویي، عبارت است از سیالي که حداقل یک ماده در ابعاد نانو با اندازه ذرات 1 تا 100 نانومتر به عنوان ماده افزودني وجود داشته باشد. بکارگیری نانومواد در گِل حفاري منجر به کاهش هزینه کلي گِل و نیز بهبود خواص گِل می­شود. سیال حفاري پایه نانویي با اضافه کردن نانوذرات در نسبت­هاي حجمي پایین به سیال پایه تهیه مي­گردد. در حضور این نانومواد خواص سیال پایه نظیر چگالی، ویسكوزیته و پایداري حرارتي آن تحت تأثیر قرار مي‌گیرد. به این ترتیب سیال حفاري پایه نانویی تولید شده خواص رئولوژیكي مطلوب، پایداري مناسب، روانسازي خوب و قدرت ضد آلودگي بالایی را دارا است و می تواند پاسخگوي نیازهاي عملیات حفاري در شرایط پیچیده باشد [12و13].

موادی که با افزایش آن­ها به گل حفاری منجر به بهبود خاصیت ژلاتینی و چسبندگی گل می شوند، ویسکوزیفایر­ یا قوام دهنده گل حفاری نام دارند. افزایش گرانروی سیال حفاری به منظور افزایش قدرت گل در بالا آوردن کنده­های حفاری صورت می­گیرد. بنتونیــت یــک نــوع خــاک رس اســت که بــه رنــگ زرد روشــن تــا خاکســتری دیده می­شود و بیشتریــن سهم در ســاختار آن را یــک کانــی رســی بــه نــام مونــت موریلونایــتبــا فرمــول مولکولی (Al2 Si4 O24 H42.nH2O) تشکیل می‌دهد. مولکول مونت موریلونایت که بنتونیت نیز گفته می­شود، دارای ساختاری سه­لایه­ای است، یک لایه هشت وجهی آلومینایی (Al2O3) که بین دو لایه چهاروجهیسیلیکائی (SiO2)قرار گرفته است [14].

کاربرد و استفاده از نانوذرات به عنوان کاهش دهنده میزان جذب آب ویسكوزیفایرهاي مورد استفاده در ساخت گِل حفاري جديد است. اگرچه افزایش جذب آب می­تواند مشکلاتی را در فرایند حفاری ایجاد نماید، اما موجب ویسکوز شدن سیال بنتونیتی و ایجادخاصیت تورق در آن شده و کمک می کند که بنتونیت دیواره چاه را اندود نموده و از نفوذ صافاب گل بداخل سازندهای نفوذپذیر ممانعت به عمل می­آورد.

در این مقاله ابتدا نانو کامپوزیت مغناطیسی اکسیدگرافن/کبالت ساخته مي‌شود و ویژگي­هاي فیزیکی آن مانند اندازه و شكل و خواص مغناطیسي مورد بررسي قرار خواهند گرفت. سپس اثر این نانوذرات بر میزان جذب آب بنتونیت مورد استفاده در ساخت گِل حفاري بررسي می­شود.

**کارهای تجربی و آزمایشگاهی**

برای تهیه نانوذرات اکسیدگرافن/کبالت یک سلول الکتروشیمیایی حاوی الکترودهای گرافیت و نیکل درون محلول الکترولیت سولفات کبالت هفت آبه بکار گرفته شد.

سطح الکترودها با سونش مکانیکی توسط سنباده و نیز اعمال امواج فراصوت تمیز شد. سپس الکترودها در سلول الکتروشیمیایی محتوی محلول الکترولیت قرار گرفتند و این مجموعه به یک منبع تغذیه متصل و ولتاژ در حدود 25 ولت به مدت یک ساعت و نیم اعمال شد. پس از انجام آزمایش، رسوب نانوذرات تولید شده در محلول الکترولیت از آن جدا شده و چندین بار با آب مقطر شستشو و در دمای اتاق خشک شد.

در این پژوهش برای مطالعه و بررسی میزان جذب آب از تست تورم آزاد استفاده شد. این تست جهت تعیین شاخص تورم آزاد انواع نمونه­های رسی کاربرد دارد. در این روش افزایش حجم نمونه پودر رسی بدون هیچ گونه محدودیت خارجی و تنها با فروبردن در آب یا محلول مورد نظر بررسی شده و به آن شاخص تورم آزاد رس می­گویند. از جمله علل استفاده از روش تست تورم آزاد به منظور مطالعه میزان جذب آب می­توان به سادگی، ارزانی و در دسترس بودن تجهیزات مورد نیاز برای انجام آن اشاره کرد. از جمله معایب این روش نیز می­توان خطای دید انسانی در ثبت داده­ها را برشمرد [15و16].

در این تحقیق به منظور بررسی مقدار جذب آب ویسکوزیفایر گل حفاری از اندازه­گیری شاخص تورم بنتونیت مطابق با استاندارد (ASTM-D5890−19) استفاده شد و آزمایشات به صورت زیر انجام شدند.

در اولین مرحله پودر بنتونیت از الک 75 میکرون عبور داده و سپس وزن آن را اندازه گیری شد و در آون در دمای 100 درجه سانتی گراد به مدت یک ساعت قرار گرفت. بعد از خروج از آون دوباره پودر بنتونیت وزن گیری شد. زیرا با قرار گرفتن در دمای 100 درجه امکان از دست دادن آب و تغییر وزن آن وجود دارد.

در گام بعدی نانوذرات ساخته شده در 100 میلی لیتر آب مقطر با استفاده از دستگاه امواج فراصوت کاملا پخش و پراکنده شده و سپس 90 سی­سی از محلول درون استوانه مدرج ریخته شد.

در مرحله بعدی مقدار 2 گرم بنتونیت را در مدت زمان یک ساعت به آرامی و به تدریج، به محلول افزوده و صبر می‌کنیم تا ته‌نشین شود. بعد از اضافه نمودن کامل بنتونیت، مقدار 10 میلی لیتر دیگر از محلول را به آن افزوده تا ذرات بنتونیت که به دیواره استوانه مدرج چسبیده شده جدا و ته نشین شود.

در گام بعد دمای نمونه­ها با استفاده از ترمومتر اندازه­گیری شده و سپس نمونه­ها در یک جای ثابت قرار گرفته و روی آن‌ها کاملا پوشانده شده تا از تبخیر شدن سطحی نمونه­ها جلوگیری شود. بعد از سپری شدن 2 ساعت نمونه­ها مجدداً بررسی و در صورت مشاهده حباب هوا در آن­ها استوانه به صورت مایل و با زاویه 45 درجه کج قرار گرفت تا حباب هوا از بین برود. بعد از سپری شدن 16 ساعت ارتفاع بنتونیت و ارتفاع آب بررسی شد. در صورت عدم مشاهده تورم، مقدار 10 درصد وزن اولیه به آن بنتونیت اضافه و پس از 48 ساعت تغییرات ثبت گردید.

**نتایج و بحث**

نوع ساختار نانوکامپوزیت‌ تولید شده با استفاده از دستگاه XRD بررسی شد. در شکل 1 الگوی XRD نمونه ساخته شده دیده می­شود. قله‌های تیز موجود در این الگو بیانگر شکل­گیری مطلوب ساختار بلوری نانوکامپوزیت‌ است. مقایسه این الگو با الگوی پراش موجود در کارت­ استاندارد (JCPDS 00-005-0727) نشان­دهنده ساختار بلوری هگزاگونال کبالت، Co است. در مقایسه با کارت استاندارد شماره (JCPDS 00-030-0443) درمی­یابیم که مقداری هیدروکسیدکبالت Co(OH)2 با ساختار هگزاگونال در نمونه وجود دارد. مقدار کم اکسیدگرافن و شدت پراش کم آن در مقایسه با کبالت، می‌تواند باعث ناپدیدشدن قله‌ی اکسیدگرافن شود [17].



شکل 1: الگوی XRD نانوکامپوزیت اکسیدگرافن/کبالت.

بررسی شکل هندسی و پراکندگی نانوذرات کبالت در نانوکامپوزیت تولید شده با کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی، SEM انجام شد. در شکل 2 تصویری از این نانوکامپوزیت مشاهده می­شود. همان­طور که­دیده می­شود نانوذرات کبالت به شکل پولک­هایی به‌ یکدیگر وصل شده و ساختاری متخلخل را ایجاد می­کنند که با قرارگیری روی صفحات اکسیدگرافن نانوکامپوزیت اکسیدگرافن/کبالت را شکل می‌دهند. اندازه ذرات کبالت حدوداً 110 نانومتر و میانگین اندازه ضخامت صفحات اکسید گرافن در حدود 20 نانومتر تخمین زده شده است.

خواص مغناطیسی و منحنی مغناطش نانوکامپوزیت اکسیدگرافن/کبالت ساخته شده با استفاده از دستگاه VSM در دمای اتاق بررسی شد. در شکل 3 منحنی مغناطش نانوکامپوزیت برحسب میدان مغناطیسی اعمال شده ارائه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، مغناطش اشباع این نانوکامپوزیت در حدود emu/g 167 اندازه گیری شد. همچنین منحنی بسیار باریک مغناطش بیانگر خاصیت مغناطیسی نرم این نمونه است.

اندازه نانوذرات کبالت و وجود گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار در صفحات اکسید گرافن بر خاصیت مغناطیسی این نانوکامپوزیت‌ اثر دارند. علاوه بر این، خارج شدن گروه‌های اکسیژن از شبکه‌ی گرافن و ایجاد جاهای خالی حاصل از آن باعث می­شود که تقارن ساختار در شبکه‌های اکسید گرافن برهم خورده و مؤلفه‌های مغناطیسی در ساختار آن القا شود [17].



شکل 2: تصویر SEM نانوکامپوزیت اکسیدگرافن/کبالت.

در جدول 1 نتایج تست تورم آزاد در دما و فشار محیط گردآوری شده است. با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش قبل این داده­ها بعد از سپری شدن مدت زمان 24 ساعت از انجام تست ثبت شده­اند. طبق این نتایج واضح است که نانو کامپوزیت اکسید گرافن/کبالت باعث افزایش تورم بنتونیت در فشار و دمای محیط شده و مقدار تورم در ارتباط مستقیم با افزایش غلظت نانو ذرات قرار دارد. به دلیل بالا بودن نسبت سطح به حجم در نانوذرات، واکنش­پذیری آن­ها با سیال حاوی بنتونیت افزایش می­یابد. از جمله دلایل افزایش جذب آب در نمونه های محتوی نانوذرات می‌توان وجود صفحات اکسید گرافن در ترکیب نانوکامپوزیت را برشمرد. زیرا وجود گروه­های عاملی اکسیژن­دار مانند گروه­های هیدروکسیل و اپوکسی، کربوکسیل و کربونیل در لبه صفحات اکسید گرافن موجب افزایش خاصیت آب­دوستی صفحات گرافن و برقراری پیوند بیشتر با مولکول­های آب می­شود.

چنانچه بنتونیت در آب شیرین واقع شود، صفحاتش در اثر جذب آب، متورم شده و نیروهای بین صفحه­ای آن­ها به قدری سست می­شود که کوچکترین نیروی برشی می‌تواند صفحات را یکی یکی مثل ورق­های کاغذ از یکدیگر جدا کند. این پدیده که به دیسپرسین معروف است، باعث ویسکوز شدن سیال می‌شود. روی سطوح خارجی صفحات سینی شکلی ایجاد می­شود که لبه‌های آن­ها همانند پره­های یک پنکه روی هم افتاده و این شکل خاص صفحات بنتونیت باعث پدید آمدن خاصیت تورق در آن شده و منجر به اندود شدن دیواره چاه توسط بنتونیت می­شود و به این ترتیب از نفوذ صافاب گل بداخل سازندهای نفوذپذیر ممانعت به عمل می­آید.

جدول 1: نتایج میزان جذب آب بنتونیت.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| رديف | مقدار نانوکامپوزیت (گرم) | نسبت تورم پذیری (میلی­لیتر) |
| 1 | 0 | 28 |
| 2 | 02/0  | 32 |
| 3 | 03/0 | 5/33 |
| 4 | 05/0 | 38 |
| 5 | 06/0 | 57 |

در شکل 3 تصاویر استوانه­های مدرج حاوی نمونه­های مختلف سیال با غلظت­های گوناگون نانوکامپوزیت در حین انجام تست تورم آزاد مشاهده می­شود.

شکل 3: استوانه­های مدرج حاوی نمونه­های مختلف سیال به ترتیب از راست به چپ بدون نانوذره و محتوی 02/0، 03/0، 05/0 و 06/0 گرم نانوکامپوزیت در حین انجام تست تورم آزاد**.**

**نتيجه‌گيري**

در این تحقیق نانوکامپوزیت اکسیدگرافن/کبالت با روش مبتنی بر سیستم الکتروشیمیایی در سلولی حاوی الکترولیت آبی محتوی 1/0 مولار سولفات کبالت 7 آبه و دو قطعه گرافیت و نیکل تحت ولتاژ مناسب به مدت 90 دقیقه ساخته شد و از ساختاری و مغناطیسی بررسی شدند. الگوی پراش پرتو ایکس تایید کننده ساختار بلوری هگزاگونال کبالت است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که نانوذرات پولکی کبالت با اندازه میانگین 110 نانومتر روی صفحات چند لایه اکسید گرافن با ساختاری دو بعدی با ضخامت حدود 20 نانومتر واقع شده­اند. مقدار مغناطش اشباع نانوکامپوزیت اکسیدگرافن/کبالت ساخته شده در این تحقیق emu/g167 برآورد شد. نتایج تست تورم آزاد در دما و فشار محیط نشان داد که نانوکامپوزیت اکسید گرافن/کبالت موجب افزایش تورم بنتونیت شده و مقدار تورم در ارتباط مستقیم با افزایش غلظت نانوذرات قرار دارد به­گونه­ای که در سیال بدون نانوکامپوزیت نسبت تورم پذیری 28 میلی لیتر است که این مقدار در حضور 06/0 گرم نانوذرات به 57 میلی­لیتر افزایش می­یابد.

**مراجع و منابع**

[1] S. Mørup, M. F. Hansen, C. Frandsen, Magnetic nanoparticles *Comprehensive Nanoscience and Technology* vol 1 ed D. L. Andrews *et al* (Amsterdam: Elsevier) pp 437–91, chapter 14, 2011.

[2] Q. A. Pankhurst, N. T. K. Thanh, S. K. Jones, J. Dobson Progress in applications of magnetic nanoparticles in biomedicine *J. Phys. D: Appl. Phys.* **42** (2009) 224001.

[3] E. Ghaleh Golab, S. Riahi, M. Vatankhah-Varnosfaderani, A. Nakhaee, Synthesis, Introduction and Study of the Rheological Properties of a Novel Polymeric Surfactant and its Effect on Interfacial Tension in Different Salinity, Journal of Petroleum Research, **29** (2019) 74-88,.

[4] E. Golabi, F. Seyedeyn-Azad, Sh. Ayatollahi. Chemical induced wettability
alteration of carbonate reservoir rock, Iranian Journal of chemical engineering, **6** (2009) 66-73.

[5] E. Golabi, F.S. Azad, S.S. Ayatollahi, S.N. Hosseini, M. Dastanian. Experimental study
of anionic and cationic surfactants effects on reduce of IFT and wettability alteration in
carbonate rock. Int J Sci Eng Res, **3** (7) (2012) 1-8.

[6] E. Golabi, S. Sogh, S.N. Hosseini, M.A. Gholamzadeh, Biosurfactant production by
microorganism for enhanced oil recovery, Int. J. Sci. Eng. Res, **3** (2012) 1-6.

[7] R. Hashemi, L.K. Kshirsagar, P.B. Jadhav, S. Nandi, E. Ghaleh Golab. An overview on
asphaltene precipitation phenomena from crude oil, International Journal of Chemical
Studies **4** (02) (2016) 46-50.
[8] E. Golabi. The Investigation of the Anionic and Cationic Surfactants effects on the
enhanced oil recovery in Iran oil reservoir, International Journal of Chemical Studies,
**2** (2) (2014) 63-71.

[9] E. Golabi. Experimental Study of Chemical Reduction on Interfacial Tension by
Using Dodecyl Trimethyl Ammonium Bromide, International Journal of Chemical
Studies, **1** (4) 2013.

[10] E. Ghaleh Golab, S. Riahi, .Evaluation of adsorption of a polymeric surfactant on reservoir rock in different conditions and its comparison with HPAM, Journal of Petroleum Research, **32** (2022) 95-107.

[11] A. Samadi, M. A. Salati, A. Safari, M. Jouyandeh,
M. Barani, N. Pal Singh Chauhan, E. Ghaleh Golab, P. Zarrintaj, S. Kar, F. Seidi, A. Hejna, M. Reza Saeb., Comparative review of piezoelectric biomaterials approach for bone tissue engineering, Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition, 2022.

 [12] D. Sarkar, C.R. Landis, R.P. Collins, Nanoparticle smart tags in subterranean applications, in, Halliburton Energy Services, Inc., US, 2013.

[13] J.M. Tour, H.K. Schmidt, J.R. Lomeda, D.V. Kosynk, C.D. Doyle, Graphene compositions and drilling fluids derived there from, in, William Marsh Rice University, US, 2012.

[14] Bourgoyne A. T., Millheim K. K., Chenevert M.E. and Young F. S, Applied Drilling Engineering, 1991, SPE, 1986.

]15[ علی مومنی، پژمان براتی، خلیل شهبازی، شیل و راهای مقابله باتورم شیل توسط گل پایه آبی دوستدار محیط زیست، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی ، 7 خرداد 1394، ایران، تهران.

]16[ امیر حسین کوهساری، فرهاد محمدتراب، بررسی کانی شناختی و ترکیب شیمیایی بنتونیت، در جهت فعال سازی آن به روش شیمیایی، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشکده مهندسی معدن دانشگاه یزد (1381).

[17] [S. Iranshahi](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884222000876?via%3Dihub" \l "!), [S. Mosivand](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884222000876?via%3Dihub#!), Cobalt/graphene oxide nanocomposites: Electro-synthesis, structural, magnetic, and electrical properties, [Ceramics International](https://www.sciencedirect.com/journal/ceramics-international), **48** (2022) 12240-12254.