

## بررسی پایداری امولسیون‌های تهیه شده از هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی چند دیواره در دماهای متفاوت جهت ازدیاد برداشت مخازن نفتی

سارا خسروانی<sup>۱</sup>، مهشاد علائی<sup>۲\*</sup>، علی رضانی<sup>۳</sup>، علیمراد رشیدی<sup>۴</sup> و مهشید ارشادی<sup>۵</sup>

۱- کارشناس ارشد شیمی آلی، گروه شیمی، دانشگاه زنجان، ایران

۲- استادیار شیمی معدنی، پژوهشکده کاتالیست و نانوفناوری، پژوهشگاه صنعت نفت، ایران

۳- استاد شیمی آلی، گروه شیمی، دانشگاه زنجان، ایران

۴- دانشیار مهندسی شیمی، پژوهشکده کاتالیست و نانوفناوری، پژوهشگاه صنعت نفت، ایران

۵- کارشناس ارشد شیمی آلی، گروه شیمی، دانشگاه زنجان، ایران

دریافت: تیر ۱۳۹۱، بازنگری: مرداد ۱۳۹۱، پذیرش: شهریور ۱۳۹۱

**چکیده:** با استفاده از روش ساده و اقتصادی شیمی تر، هیبرید آلومینا-نانولوله‌های کربنی چند دیواره برای تهیه امولسیون ساخته شد. امولسیون تهیه شده حاوی آب، هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی چند دیواره (MWCNT-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)، سورفکتانت‌های مناسب، ۲-پروپانول و کروسین است. مشاهدات نشان می‌دهد که امولسیون تهیه شده با سورفکتانت کاتیونی (CTAB) در دماهای متفاوت پایداری قابل توجهی نسبت به سورفکتانت آنیونی (SDBS) و سورفکتانت غیر یونی (TX-100) دارد. با توجه به نتیجه‌های آزمایش کشش بین‌سطحی و زاویه تماس که در انستیتوی نفت دانشگاه تهران انجام شده است، نانوسیال تهیه شده می‌تواند برای ازدیاد برداشت مخازن نفت به‌ویژه مخازن نفتی کربناتی استفاده شود. ریخت‌شناسی و ساختار هیبرید تهیه شده، به‌وسیله‌ی پراش پرتو ایکس XRD و FE-SEM مشخص شد.

**واژه‌های کلیدی:** هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی چند دیواره، امولسیون، نانوسیال، ازدیاد برداشت مخازن نفتی

### مقدمه

بلوری و ویژگی‌های مربوط به خود را دارند. تاکنون نانوذرات آلومینا با روش‌های متفاوتی مانند هم‌رسوبی<sup>[۵]</sup>، سل-ژل<sup>[۶]</sup> و آب‌گرمایی<sup>[۷]</sup> سنتز شده‌اند. نانولوله‌های کربنی، ویژگی‌های فیزیکی ویژه‌ای مانند سبک بودن و استحکام کششی بالا دارند. نانولوله‌های کربنی در زمینه‌های بسیاری مانند پیل‌های سوختی، غربال‌های مولکولی و جاذب هیدروژن استفاده می‌شوند<sup>[۸]</sup>. ازدیاد برداشت مخازن نفت همیشه برای صنعت نفت و گاز در دنیا اهمیت اساسی داشته است. نتیجه‌های مثبت و قابل ملاحظه‌ای

امروزه می‌توان فناوری نانو را به‌عنوان یک حوزه علمی اساسی برای گسترش رشته‌های علوم و مهندسی قلمداد کرد<sup>[۱]</sup>. فناوری نانو، تولید یا به‌کارگیری موادی است که حداقل یکی از ابعاد آن‌ها کمتر ۱۰۰ باشد<sup>[۲]</sup>. آلومینا از جمله مهم‌ترین موادی است که عملکردی عالی به‌عنوان کاتالیست یا پایه کاتالیست در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی دارد<sup>[۳ و ۴]</sup>. آلومینیم اکسید آلوتروپ‌های متفاوتی مثل کروندوم،  $\gamma$ ،  $\alpha$ ،  $\theta$  و  $\eta$  دارد که هرکدام ساختار

1. Co-precipitation

2. Sol-gel

3. Hydrothermal

دستگاه ساخت شرکت فیلیپس هلند با سرعت روبش ۲ درجه بر دقیقه از ۲۰ تا ۸۰ درجه تهیه شد.

#### باز کردن سر نانولوله‌های کربنی چند دیواره

برای تهیه هیبرید MWCNT-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ابتدا لازم است سر نانولوله‌های کربنی باز شود. بدین منظور حدود ۴-۱ گرم MWCNT به محلول ۱۱ مولار نیتریک اسید افزوده شد و در طول شب تحت بازروانی قرار گرفت. نمونه به دست آمده پس از صاف کردن و شست‌وشو با آب مقطر، داخل آون در دمای ۶۰°C خشک شد.

#### سنتز نانوذرات آلومینا با استفاده از روش شیمی تر

برای سنتز نانوذرات آلومینا به روش شیمی تر از روش‌های متداول گزارش شده، استفاده نشد. از این‌رو، برای تهیه نانوذرات آلومینا، ۲ گرم سوربیتول در ۱۰ میلی لیتر آمونیاک حل شد و به مدت ۱۰ دقیقه به هم زده شد (محلول شماره ۱). ۵ گرم آلومینیم کلراید در ۲۰۰ میلی لیتر آب، در دمای اتاق حل شد (محلول شماره ۲)، محلول شماره ۱ قطره قطره به محلول شماره ۲ افزوده و سپس pH محلول به دست آمده روی مقدار ۱۰ تنظیم شد و با افزایش سریع دما به ۷۰ درجه سانتی‌گراد (به منظور ایجاد شوک گرمایی برای تشکیل بلورهای اولیه) در همین دما به مدت ۱۰ دقیقه همزده شد. پس از خنک شدن در دمای اتاق، نمونه صاف و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در جو عادی به مدت ۶ ساعت در کوره کلسینه شد. خلوص فراورده به دست آمده حدود ۹۸٪ بود.

#### تهیه هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی چند دیواره

برای سنتز هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی چند دیواره در هنگام سنتز آلومینا براساس روش یاد شده، پس از تنظیم pH واکنش روی ۱۰، نانولوله‌های چند دیواره که سر آن‌ها باز شده، با توجه به درصد مورد نظر (۱۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪ وزن آلومینای سنتز شده)، افزوده شد. پس از یکنواخت شدن و انتقال مخلوط به داخل

در زمینه‌ی تأثیر نانو ذرات آلومینا در پایداری امولسیون و انتقال نانوسیال در یک فضای متخلخل در منابع علمی گزارش شده است [۹]. با توجه به اینکه پس از اعمال مراحل اولیه و ثانویه ازدیاد برداشت که شامل تزریق بخار آب، گاز کربن دی اکسید و... است فقط ۳۰٪ نفت مخازن برداشت می‌شود، استفاده از تزریق مواد شیمیایی می‌تواند یکی از روش‌های مؤثر در ازدیاد برداشت از مخازن کربناته ایران باشد. تزریق مواد شیمیایی همراه با آب (با غلظت کم) باعث کم شدن نیروی کشش بین سطحی آب و نفت، تولید امولسیون، بالا رفتن گرانیروی آب تزریقی و در نتیجه بالا رفتن بازده رانش نفت با آب و تغییر ترشوندگی سنگ مخزن می‌شوند [۱۰]. در این مقاله، هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی چند دیواره با روش شیمی تر و با درصدهای متفاوت نانولوله‌های چند دیواره در سه دمای ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شده و شرایط بهینه برای تهیه امولسیون برای استفاده در ازدیاد برداشت مخازن نفت بررسی شده است. با عنایت به نتیجه‌های آزمایش‌های کشش بین سطحی و زاویه تماس، نانوسیال تهیه شده با هیبرید، ترشوندگی سنگ مخزن را افزایش داده و به این دلیل موجب ازدیاد برداشت مخازن نفت خواهد شد.

#### بخش تجربی

##### مواد و دستگاه‌های مورد استفاده

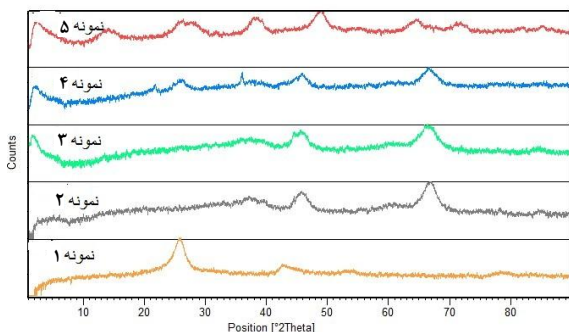
نیتریک اسید (۶۵٪)، ستیل تری متیل آمونیم بروماید<sup>۱</sup> (CTAB)، سدیم دودسیل بنزن سولفونیک اسید<sup>۲</sup> (SDBS)، سوربیتول، کروسین، ۲-پروپانول، TX-100 و آلومینیم کلراید از شرکت مرک خریداری و نانولوله‌های کربنی چند دیواره با قطر داخلی ۱۰ تا ۲۵ نانومتر، طول ۱۰ میکرومتر و خلوص ۹۵٪ از پژوهشگاه صنعت نفت دریافت شد.

ریخت‌شناسی نمونه‌های هیبرید به وسیله‌ی میکروسکوپ گسیل میدان الکترونی روبشی (SEM-FE) با استفاده از میکروسکوپ XL30 فیلیپس هلند به دست آمد. الگوهای پراش پرتو X (XRD) نمونه‌ها با استفاده از پرتو تکفام ( $\text{Cu K}\alpha, \lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ) با

1. Cetyl trimethyl ammonium bromide

2. Sodium dodecyl benzene sulfonic acid

و در گستره‌ی ۴۱ تا ۴۳ درجه پیک داده که نشان‌دهنده حضور نانولوله‌های کربنی چند دیواره است. نمونه ۲، نانو ذرات آلومینای سنتز شده با سوربیتول را نشان می‌دهد. شاخص‌ترین پیک آن در ۶۹ درجه است و الگوی پراش پرتو X آن مطابقت خوبی با کارت استاندارد شماره (JCPDS, No.29-63) دارد که بیان‌گر تشکیل گاما آلومیناست. هیچ پیک اضافی که نشان‌دهنده حضور ناخالصی در نمونه‌ی سنتز شده باشد وجود ندارد. در نمونه‌های ۳، ۴ و ۵ با افزایش درصد نانولوله‌های کربنی چند دیواره از شدت پیک گاما-آلومینا در نمونه هیبرید شده کاسته شده و متناسب با آن شدت پیک‌های مربوط به MWCNT افزایش یافته است. هرچند که در نمونه ۳ به علت پایین بودن درصد نانولوله‌های کربنی پیک‌های مربوط به روشنی قابل مشاهده نیستند. شکل ۳ تصویر SEM نانولوله‌های کربنی چند دیواره مورد استفاده را نشان



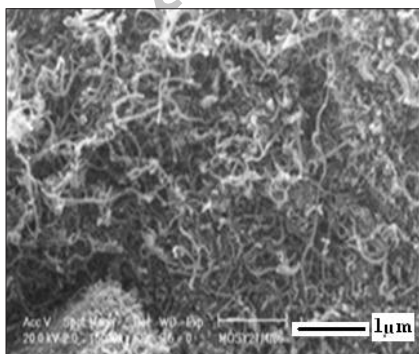
شکل ۲ الگوهای XRD نمونه‌ها

نمونه ۱: MWCNT، نمونه ۲: گاما آلومینا،

نمونه ۳: هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی حاوی ۱۰٪ نانولوله کربنی،

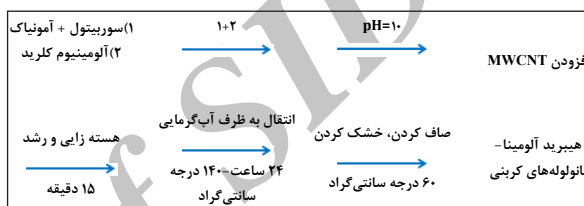
نمونه ۴: هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی حاوی ۵۰٪ نانولوله کربنی،

نمونه ۵: هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی حاوی ۷۰٪ نانولوله کربنی.



شکل ۳ تصویر SEM نانولوله‌های کربنی چند دیواره مورد استفاده

ظرف آب‌گرمایی، نمونه به مدت ۲۴ ساعت همراه با همزدن ۲۵۰ دور در دقیقه (تثبیت سرعت همزدن جهت یکنواختی اندازه ذرات فرآورده)، در دمای‌های متفاوت (۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد) نگه داشته شد. پس از آن رسوب به‌دست آمده صاف و پس از خنثی شدن با آب مقطر، در داخل آون در دمای ۶۰°C خشک شد. شمای خلاصه مراحل انجام واکنش در شکل ۱ و شرایط بهینه تهیه نمونه شامل pH واکنش، بهترین دما و بهترین سورفکتانت برای تهیه امولسیون و درصد هیبرید در جدول ۱ آورده شده‌اند.



شکل ۱ شمای خلاصه مراحل سنتز هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی

جدول ۱ شرایط بهینه سنتز هیبرید و ساخت امولسیون

درصد هیبرید	pH	سورفکتانت	دمای سنتز هیبرید
۷۰	۱۰	CTAB	۱۴۰°C

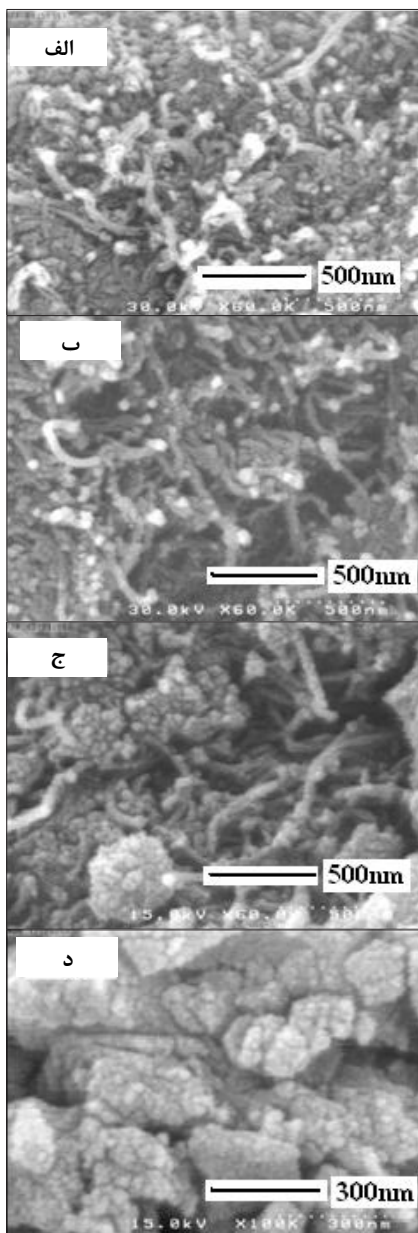
### آماده سازی امولسیون

مقدار کمی از هیبرید MWCNT-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در ۲۵ میلی لیتر آب مقطر متفرق شد، ۳ برابر وزن هیبرید، سورفکتانت مناسبی که می‌تواند آنیونی (مانند SDBS)، غیر یونی (مانند TX-100) و کاتیونی (CTAB) باشد، در ۲۵ میلی لیتر آب مقطر حل شد و سپس به نمونه افزوده شد. امولسیون ۵ درصد روغن در آب، با افزودن کروسین به عنوان فاز آلی و مقدار مناسب از ۲-پروپانول برای تثبیت پایداری امولسیون و سپس قرار دادن آن در حمام فراصوت به مدت ۳۰ دقیقه، تهیه شد.

### نتیجه‌ها و بحث

شکل ۲ الگوی پراش پرتو X (XRD) نمونه‌های هیبریدی تهیه شده آلومینا- نانولوله‌های کربنی را با درصدهای ۱۰، ۵۰ و ۷۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نمونه ۱ در ۶۹ درجه

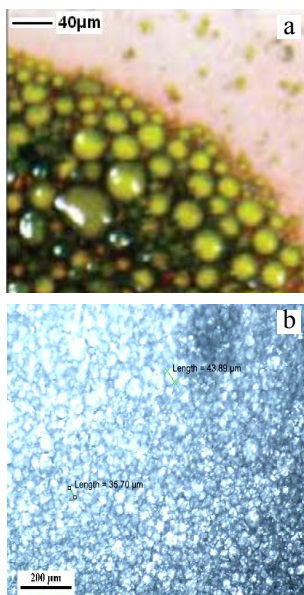
با مقایسه این تصویر با تصویرهای میکروسکوپی نمونه‌های ارایه شده در منابع [۱۱ و ۱۲]، مشاهده می‌شود که املسیون تهیه شده در این پژوهش، یکنواختی بسیار بیشتری دارد و این یکنواختی موجب می‌شود که نمونه مدت زمان بیشتری پایدار بماند.



شکل ۴ تصویرهای FE-SEM نمونه‌های سنتز شده (الف) هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی حاوی ۱۰٪ آلومینا، (ب) هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی حاوی ۵۰٪ آلومینا، (ج) هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی حاوی ۷۰٪ آلومینا و (د) نانو ذرات آلومینا

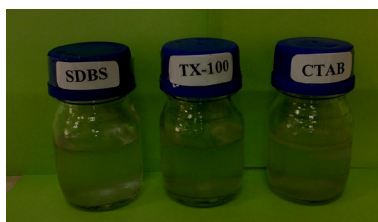
می‌دهد. شکل ۴ تصاویر FE-SEM هیبریدهای MWCNT- $Al_2O_3$  با درصدهای ۱۰، ۵۰ و ۷۰ و هم‌چنین گاما-آلومینای سنتز شده را ارایه می‌دهد. در هر سه هیبرید توزیع مناسبی از نانوذرات آلومینا بر روی نانولوله‌های کربنی چند دیواره دیده می‌شود و در مورد گاما آلومینای سنتز شده، با توجه به مقیاس تصویر، نانوذرات آگلومره گاما آلومینا قابل مشاهده است. شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب تصویرهای املسیون‌های تشکیل شده از گاما-آلومینای سنتز شده و املسیون‌های تشکیل شده از هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی چند دیواره را با استفاده از سورفاکتانت‌های متفاوت نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه فقط با سورفاکتانت کاتیونی ستیل تری متیل آمونیم بروماید تشکیل املسیون داده و با استفاده از سورفاکتانت آنیونی سدیم دودسیل بنزن سولفونیک اسید و سورفاکتانت غیریونی TX-100 املسیونی تشکیل نشده و فاز روغنی به عنوان یک فاز مجزا روی حلال آبی قرار گرفته است. آزمایش‌های پایداری املسیون نشان داد که پایداری املسیون تهیه شده با هیبرید ۷۰ درصد، بیشتر از املسیون تهیه شده با سایر هیبریدها بوده و مدت زمان بیشتری یکنواختی خود را حفظ کرده است. هم‌چنین املسیون هیبرید ۷۰ درصد تهیه شده بسیار پایدارتر از املسیون تهیه شده با گاما آلومینا به تنهایی است. زیرا به مدت چندین ماه، نمونه یکنواخت بوده و دو فازی نشد. املسیون حاوی گاما-آلومینا بعد از اتمام فرایند / فراصوت فقط تا دقایقی پایدار می‌ماند و پس از آن ذرات رسوب در کف ظرف واکنش قابل رویت هستند. شکل ۷ تصویرهای املسیون‌های تهیه شده در پژوهش‌های پیشین به همراه تصویرهای میکروسکوپی مربوط است [۱۲]. مقایسه تصویرهای املسیون‌های تهیه شده در این پژوهش با پژوهش‌های قبلی مانند تصویرهای ارایه شده در شکل ۷ نشان می‌دهد که املسیون‌های روغن در آب در پژوهش حاضر یکنواختی بسیار مناسبی داشته و دو فاز نمی‌شوند. شکل ۸ تصویر میکروسکوپ نوری نمونه املسیون پایدار تشکیل شده از هیبرید ۷۰٪ گاما آلومینا- نانولوله‌های کربنی چند دیواره در دمای  $140^{\circ}C$  با روش آب‌گرمایی را نشان می‌دهد. میانگین اندازه قطرات املسیون  $40 \mu m$  است.



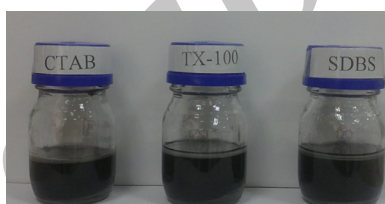


شکل ۸ تصویرهای میکروسکوپ نوری امولسیون‌ها تصویر (a) مربوط به نمونه تهیه شده توسط رسکو و همکارانش [۱۱] و تصویر (b) مربوط به نمونه تهیه شده با هیبرید ۷۰٪ گاما آلومینا- نانولوله‌های کربنی در دمای ۱۴۰°C با روش اول آب‌گرمایی در این پژوهش است.

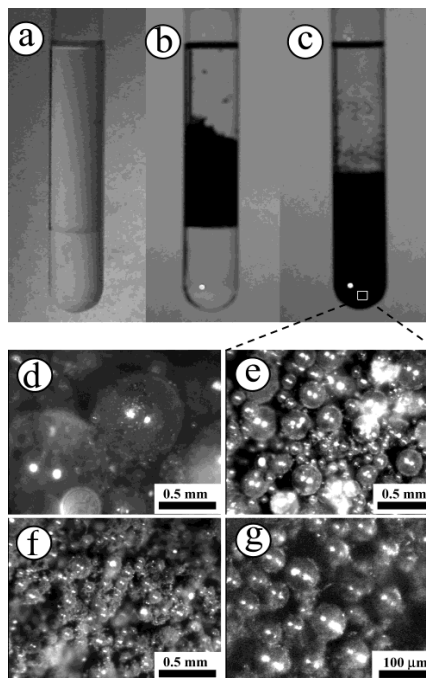
شکل ۹ امولسیون تهیه شده از هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی حاوی ۷۰٪ نانولوله کربنی چند دیواره سنتز شده در دماهای متفاوت را نشان می‌دهد. همان‌طور که نمونه ب شکل ۹ نشان می‌دهد، بهترین دما برای سنتز هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی چند دیواره دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد است. در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد (نمونه الف) هیبرید به خوبی تشکیل نشده و ذرات آلومینا و نانولوله‌های کربنی چند دیواره به صورت جداگانه قرار گرفته‌اند. در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد (نمونه ج) محلول یکنواختی به دست آمده اما در اثر تابش امواج فراصوت، هیبرید شکسته و رنگ خاکستری ایجاد شده است. در ضمن، امولسیون حاوی نانو ذرات گاما آلومینا بعد از اتمام فرایند فراصوت فقط تا دقایقی پایدار مانده و سپس رسوب ایجاد می‌شود. شایان ذکر است که اگر از همزن معمولی و یا مغناطیسی به جای حمام فراصوت استفاده می‌شد، نمونه به خوبی پراکنده نشده و بخش اعظم آن رسوب می‌کرد. درمیان هیبریدهای تهیه شده نمونه‌ای که در دمای ۱۴۰°C سنتز شده بود بهترین پایداری را در امولسیون‌سازی



شکل ۵ امولسیون تشکیل شده از گاما آلومینای سنتز شده، با سورفکتانت‌های متفاوت (نام سورفکتانت مورد استفاده بر روی ظرف نمونه مشخص شده است).



شکل ۶ امولسیون تهیه شده از هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی حاوی ۷۰٪ نانولوله کربنی چند دیواره در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد با سورفکتانت‌های متفاوت TX-100، CTAB و SDBS



شکل ۷ تصویرهای امولسیون‌های تهیه شده در پژوهش‌های پیشین به همراه تصویرهای میکروسکوپی مربوط [۱۲]

نانولوله کربنی، منجر به تشکیل امولسیون پایدارتر خواهد شد و ساختار هیبرید به دست آمده مستحکم‌تر است.

#### آزمایش‌های انجام شده در انستیتوی نفت دانشگاه تهران آزمایش کشش بین‌سطحی

برای درک تأثیر نمونه بر کشش بین‌سطحی، هیبرید تهیه شده به تنهایی بدون افزودن هیچ سورفکتانت و پایدارکننده‌ای در آب مقطر پراکنده شد.

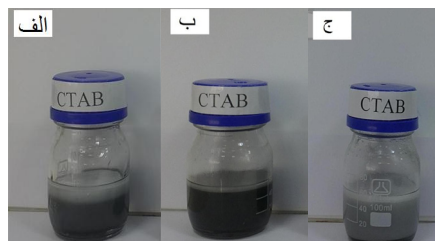
پس از گرفتن عکس از قطره آویزان با دوربین متصل به دستگاه و دادن مقدار عددی چگالی به نرم‌افزار، مقدار کشش بین‌سطحی برحسب میلی‌نیوتن بر متر به دست می‌آید. کشش سطحی بین کروسین و آب به‌عنوان نمونه‌ی شاهد،  $53.9 \text{ Nm/m}$  و کشش سطحی بین سیال به دست آمده با استفاده از نمونه هیبرید تهیه شده و کروسین،  $51.7 \text{ Nm/m}$  تعیین شد. بنابراین، مشاهده می‌شود که سیال تهیه شده با استفاده از هیبرید سنتز شده، کشش سطحی را کاهش داده است.

#### آزمایش زاویه تماس

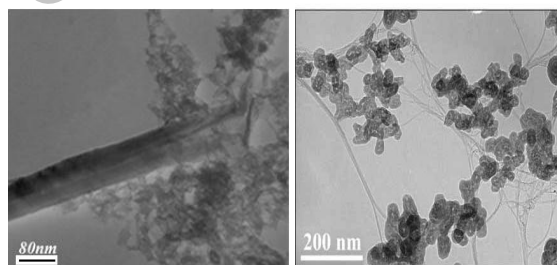
اگر زاویه تماس بین آب با سنگ در محیط نفت اندازه‌گیری شود، هرچه زاویه تماس از  $90^\circ$  بیشتر باشد، نمونه آب‌دوست‌تر و هرچه زاویه تماس از  $90^\circ$  کمتر باشد، نمونه نفت‌دوست‌تر است. شکل ۱۱ زاویه تماس بین آب مقطر و سنگ کربناته اشباع شده از کروسین را در دستگاه "زاویه برخورد" به‌عنوان نمونه شاهد نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، مقدار زاویه تماس،  $81^\circ$  به دست آمده است. شکل ۱۲ زاویه‌ی تماس بین آب مقطر و سنگ ماسه‌ای اشباع شده از کروسین را در دستگاه زاویه برخورد به عنوان نمونه‌ی شاهد نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، مقدار زاویه تماس،  $115^\circ$  به دست آمده است. افزایش زاویه تماس، باعث افزایش ترشوندگی شده و موجب آب‌دوست‌تر شدن سنگ می‌شود. شکل ۱۳ زاویه تماس بین قطره کروسین و سنگ کربناته پوشیده شده از هیبرید تهیه شده را در دستگاه زاویه برخورد نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، مقدار

1. Contact angle

داشت زیرا افزایش دما موجب شکسته شدن گروه‌های عاملی تشکیل شده روی نانولوله‌های کربنی چند دیواره می‌شود و هیبرید مناسبی از آن‌ها با نانو ساختارهای گاما آلومینا تشکیل نمی‌شود. در دمای پایین‌تر (دمای  $110^\circ\text{C}$ ) شرایط مناسب برای تشکیل هیبریدهای مورد نظر در ظرف آب‌گرمایی فراهم نمی‌شود.



شکل ۹ (الف) امولسیون تهیه شده از هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی در دمای  $120^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد، (ب) امولسیون تهیه شده از هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی در دمای  $140^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد، (ج) امولسیون تهیه شده از هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی در دمای  $170^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد (سورفکتانت مورد استفاده برای تهیه امولسیون‌های مذکور، ستیل تری متیل آمونیم برماید (CTAB) بوده است).



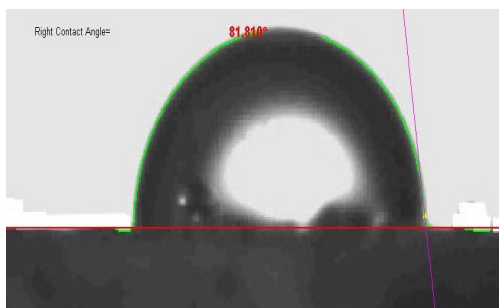
شکل ۱۰ مقایسه تصویرهای TEM نمونه هیبرید ساخته شده توسط رسسکو و همکارانش [۱۱] (تصویر سمت راست) و نمونه هیبرید  $70\%$  تهیه شده در پژوهش حاضر (تصویر سمت چپ)

در شکل ۱۰ تصویرهای TEM نمونه هیبرید  $70\%$  سنتز شده در این پژوهش با نمونه هیبرید تهیه شده توسط رسسکو و همکارانش [۱۲] جهت مقایسه ارایه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نانوذرات آلومینا در نمونه به دست آمده در این پژوهش، به خوبی در دهانه باز شده نانولوله‌های کربنی و در داخل آن‌ها تشکیل شده‌اند و در ضمن روی سطح نانولوله‌های کربنی نیز پوشش مناسبی ایجاد کرده‌اند در صورتی که نمونه تهیه شده توسط رسسکو و همکارانش تنها تشکیل نانوذرات روی سطح نانولوله‌های کربنی را نشان می‌دهد. بدیهی است تشکیل نانوذرات در داخل و دهانه

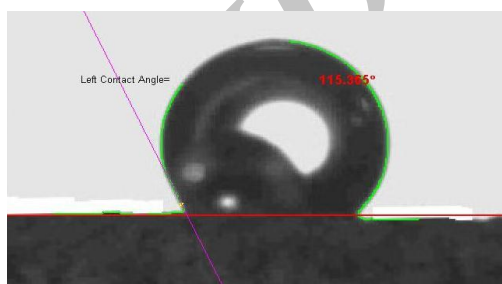
زاویه تماس،  $134^\circ$  به دست آمده است. شکل ۱۴ زاویه تماس بین قطره کروسین و سنگ ماسه‌ای پوشیده شده از هیبرید تهیه شده را در دستگاه زاویه برخورد نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، مقدار زاویه تماس،  $127^\circ$  به دست آمده است. با مقایسه نتیجه‌های آزمایش‌های کشش بین سطحی و زاویه تماس نمونه‌های حاصله با نمونه‌های گزارش شده در منابع علمی [۱۳] مشخص می‌شود که نمونه‌های تهیه شده باعث کاهش کشش بین سطحی آب و نفت شده و ترشوندگی سنگ مخزن را افزایش دهند و بنابراین، می‌توانند در ازدیاد برداشت مخازن نفتی با استفاده از مواد شیمیایی به کار روند.

### نتیجه‌گیری

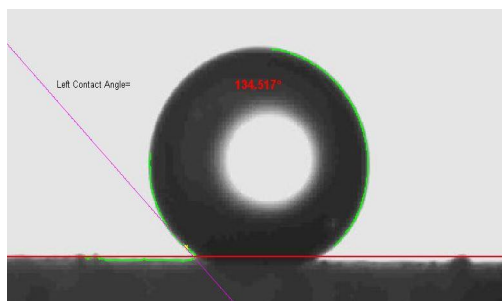
با توجه به این‌که جنس سنگ‌های مخزن نفت در خاورمیانه بیشتر کربناتی است، برای تهیه امولسیون‌ها بهتر است از سورفکتانت کاتیونی استفاده شود. بررسی نوع سورفکتانت در پایداری امولسیون‌های تهیه شده نشان داد که نمونه هیبریدهای سنتز شده بیشترین سازگاری را با سورفکتانت کاتیونی CTAB دارند. بنابراین، امولسیون به دست آمده سازگاری خوبی با مخازن نفت کربناته کشور خواهد داشت. خوشبختانه امولسیون‌های تهیه شده از نمونه‌های هیبرید آلومینا- نانولوله‌های کربنی به مدت چندین ماه یکنواخت بوده و رسوب ایجاد نکردند. بنابراین، پایداری مناسبی داشته‌اند و با توجه به نتیجه‌های آزمایش‌های کشش بین سطحی و زاویه تماس که در انستیتوی نفت دانشگاه تهران انجام شده است، با افزایش ترشوندگی سنگ مخزن و کاهش کشش بین سطحی می‌توانند در ازدیاد برداشت مخازن نفتی مورد استفاده قرار گیرند. از نظر اقتصادی نیز روش ارایه شده در این پژوهش برای تهیه هیبرید  $MWCNT-Al_2O_3$  ساده و مقرون به صرفه است. امولسیون تهیه شده حاوی هیبرید تهیه شده، آب مقطر، سورفکتانت کاتیونی، کروسین و ۲-پروپانول است. بررسی پایداری امولسیون‌های تهیه شده با هیبریدهای گاما آلومینا و درصدهای متفاوت نانولوله‌های کربنی (۱۰، ۵۰ و ۷۰٪)، نشان داد که امولسیون تهیه شده با هیبرید ۷۰٪ بهترین پایداری را ایجاد می‌کند.



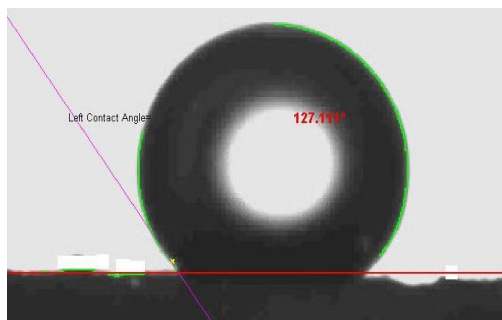
شکل ۱۱ زاویه تماس بین آب مقطر و سنگ کربناته اشباع شده از کروسین در دستگاه "زاویه برخورد" به عنوان نمونه شاهد



شکل ۱۲ زاویه‌ی تماس بین آب مقطر و سنگ ماسه‌ای اشباع شده از کروسین در دستگاه "زاویه برخورد" به‌عنوان نمونه‌ی شاهد



شکل ۱۳ زاویه تماس بین قطره کروسین و سنگ کربناته پوشیده شده از هیبرید تهیه شده در دستگاه "زاویه برخورد"



شکل ۱۴ زاویه تماس بین قطره کروسین و سنگ ماسه‌ای پوشیده شده از هیبرید تهیه شده در دستگاه "زاویه برخورد"

## مراجع

- [1] Pathak, L.C.; Singh, T.B.; Das, S.; Verma, A.K.; Ramachandrarao, P.; Materials Letters 57, 380–385, 2002.
- [2] Wu, Y.Q.; Zhang, Y.; Huang, X.; Guo, J.; Int. 27, 265–268, 2001.
- [3] Macedo, M.I.F.; Osawa, C.C.; Bertran, C.A.; J. Sol-gel Sci. Technol. 30, 135-140, 2004.
- [4] Ada, K.; Sarikaya, Y.; Alemdaroglu, T.; Onal, M.; Int. 29, 513-518, 2003.
- [5] Sharma, P.K.; Varadan, V.V.; Varadan, V.K.; Soc. 23, 659-666, 2003.
- [6] Dumeignil, F.; Sato, K.; Imamura, M.; Mat-subayashi, N.; Payen, E.; Shimada, H.; App. Catal. A-General. 241, 319-329, 2003.
- [7] Qu, L.; He, C.; Yang, Y.; He, Y.; Liu, Z.; Materials Letters 59, (2005), 4034.
- [8] Serp, P.; Corrias, M.; Kalck, P.; App. Catal. A-General, 253, 337-358, 2003.
- [9] Nhu, Y.; Thi, Le.; Du, Khanh Pham, Kim Hung, Le.; Phuong, Tung Nguyen., J. Nano sci Nanotechnol., 2, 035013, 2011.
- [۱۰] گلایی، الف؛ سیدین آزاد، ف؛ آیت الهی، ش؛ مرتضوی پورسوق، ر؛ استفاده از مواد شیمیایی در ازدیاد برداشت نفت، هفتمین همایش ملی دانشجویی مهندسی شیمی.
- [11] Shen, M.; Resasco, D.E.; Langmuir, 25, 18, 10843, 2009.
- [12] Wang, H.; Hobbie, E.K.; Langmuir, 19, 8, 30912003.
- [13] Karimi, A.; Fakhroueian, Z.; Bahramian, A.; Pour-Khiabani, N.; Babaee-Darabad, J.; Azin, R.; Arya, S.; Energy Fuels, 26, 1028, 2012.

Archive of SID