

بررسی تغییر خواص آب دوستی هیبریدهای نانو لوله کربنی/سیلیکا به عنوان پایدارکننده امولسیون پیکرینگ و بررسی آن در سیستم دوفازی آب املاح دار/نفت

پژوهش نفت

سال بیست و چهارم

شماره ۷۹

صفحه، ۳۹-۳۱ ۱۳۹۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۲/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۶/۱۳

امیرحسین برنائی^۱، علیمراد رشیدی^۲، مهرداد منطقیان^{۳*}، مهشاد علانی^۱، مهشاد ارشادی^۲

۱- دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- مرکز تحقیقات فناوری نانو، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۳- گروه شیمی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(SEM) و عبوری (TEM) استفاده شد. از قطرات امولسیون‌ها به کمک میکروسکوپ نوری تصویر گرفته شد. اضافه شدن این هیبریدها به نمونه‌های آب همراه نفت/نفت باعث تشکیل امولسیون‌های پایدار شد. همچنین نتایج نشان داد که اثر کاتیون‌های دو ظرفیتی بر تغییر خواص آب دوستی/آب‌گریزی ساختار، بیشتر از کاتیون‌های تک ظرفیتی است.

واژه‌های کلیدی: نانو لوله کربنی، سیلیکا، هیبرید نانو ساختار، کاتیون، امولسیون پیکرینگ

مقدمه

استفاده از فناوری نانو در فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت خام یکی از اصلی ترین اولویتهای کاربرد این فناوری در صنایع بالا دستی نفت می باشد [۱]. تاکنون محققان مکانیسم‌ها و پیشنهادات متفاوتی را در رابطه با افزایش برداشت نفت خام به کمک نانو فناوری ارائه داده‌اند که از میان آنها می توان به استفاده از نانو کامپوزیت‌های پلیمری [۲ و ۳]، ساخت و استفاده از امولسیون‌ها و نانو امولسیون‌ها

چکیده

در این پژوهش هیبرید نانو لوله کربنی چند دیواره/سیلیکا به عنوان عامل پایدارکننده امولسیون‌های پیکرینگ آب سازند و نفت به منظور استفاده در فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت ساخته شده است. غلظت بالای کاتیون‌های موجود در آب که معمولا در آب‌های سازند یافت می‌شود، باعث تغییر در موازنه آب دوستی-آب‌گریزی در هیبرید ساخته شده می‌شود، به گونه‌ای که ساختار به دست آمده توانایی تشکیل امولسیون پیکرینگ را پیدا می‌کند. کاتیون‌های یک ظرفیتی و دو ظرفیتی عامل اصلی تغییر در ویژگی‌های ساختار هیبرید هستند. امولسیون تشکیل شده به وسیله نانو هیبرید بسیار پایدار است و به صورت خود به خودی و بدون نیاز به امولسیفایرها و اختلاط مکانیکی تشکیل می‌شود. برای بررسی ساختار هیبرید به دلیل تأثیر کاتیون‌ها بر روی آن، از FT-IR و پتانسیل زتا و برای بررسی ساختار و ریخت هیبرید ساخته شده از پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی

*مسئول مکاتبات
آدرس الکترونیکی

manteghi@modares.ac.ir

هیبریدی از واکنش سیلیکا با نانو لوله کربنی در حین واکنش تشکیل نانو لوله‌های کربنی [۱۱] و نیز شکل‌گیری ساختارهای هیبریدی از واکنش نانو لوله کربنی با ساختار سیلیکا در حین واکنش تشکیل ساختار سیلیکا. استفاده از هر یک از روش‌های ذکر شده، تاثیر بسیار زیادی بر خواص هیبرید نانو ساختار نانو لوله کربنی / سیلیکا می‌گذارد. روش سل-ژل یکی از روش‌های تولیدی هیبرید نانو ساختار به روش دوم است [۱۲ و ۱۳].

املاح موجود در آب بر خواص ساختارهای هیبریدی مورد استفاده در سیستم‌های دوفازی آب و نفت موثر است املاح که عمدتاً ناشی از انحلال نمک‌های یونی قلیایی و قلیایی خاکی هستند، باعث عدم کارکرد مطلوب هیبریدها در شرایط واقعی می‌شوند. از این رو بررسی تاثیر یون‌های موجود در آب بر رفتار هیبریدها ضروری است.

در این پژوهش ساخت هیبرید نانو لوله کربنی چند دیواره عامل‌دار شده / سیلیکا با روش اصلاح شده سل-ژل بود که به عنوان پایدارکننده امولسیون‌های پیکرینگ سیستم‌های دوفازی مختلف از جمله نفت / آب دیونیزه، نفت / آب املاح‌دار و نفت / آب سازند به کار گرفته شد. با توجه به وجود کاتیون‌هایی Na^+ ، Ca^{2+} و Mg^{2+} با غلظت‌های بسیار بالا در آب‌های سازند جهت بررسی تاثیر کاتیون‌ها، نمونه‌های آب املاح‌دار ساخته شد. همچنین به دلیل وجود یون‌های دیگر غیر از کاتیون‌های ذکر شده در آب داخل مخازن نفتی، در این تحقیق رفتار هیبرید در سیستم آب سازند / نفت که آب سازند آن از دو مخزن نفتی منطقه خوزستان تهیه شده بود، مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت اثر کاتیون‌های موجود در آب بر تغییر ساختار هیبرید با آنالیزهای مختلف ارزیابی شد.

آزمایش‌ها

مواد

نانو لوله کربنی چند دیواره مورد استفاده، از گروه توسعه فناوری نانو و کربن پژوهشگاه صنعت نفت تهیه شد [۱۴].

درفرآیند ازدیاد برداشت نفت [۴ و ۵]، استفاده از نانو مواد فعال سطحی [۶ و ۷] و تزریق نانو مواد فلزی به مخازن نفت سنگین به منظور افزایش هدایت حرارتی نفت [۸] اشاره نمود. از طرف دیگر، شرایط سخت از جمله دما و فشار بالا در عمق زمین، محیط متخلخل، انواع مختلف سنگ مخزن، بار الکتریکی سنگ‌های مخزن، انواع یون‌های موجود در آب داخل مخزن، تنوع و غلظت بالای یون‌های موجود در آب مخزن و تنوع نفت خام، عواملی است که بر کارایی تزریق نانو مواد به مخازن نفتی تأثیرگذار بوده و باید مد نظر قرار گیرد.

در گذشته از امولسیون‌های پیکرینگ (امولسیون‌ی که توسط ذرات جامد پایدار می‌شود)، در صنایع آرایشی بهداشتی، و دارویی استفاده شده است، اما تحقیقات برای ساخت نانو موادی که قابلیت پایدارسازی امولسیون‌های پیکرینگ آب و نفت جهت استفاده در فرآیندهای EOR را داشته باشد، موضوع جدیدی است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است [۹].

به دلیل خواص منحصر به فرد نانو لوله‌های کربنی و نانو ذرات سیلیکا، هیبریدهای نانو لوله‌های کربنی و سیلیکای نانو ساختار است می‌تواند به عنوان پایدارکننده امولسیون‌های آب و نفت مورد استفاده قرار گیرد. نانو لوله کربنی ذاتاً ماده‌ای آب و نفت‌گریز است، اما با تغییر در ساختار و عامل‌دار کردن با گروه‌های عاملی مناسب، خاصیت آب‌دوستی در آن ایجاد می‌شود.

استفاده از سیلیکا به عنوان عامل پایدارسازی امولسیون‌های پیکرینگ امری متداول است [۱۰]. با این حال پارامترهایی وجود دارد که استفاده از هیبریدهای نانو لوله‌های کربنی / سیلیکا را جذاب‌تر می‌نماید که این عوامل عبارتند: از الف) تفاوت در ساختار و خواص آب‌دوستی و آب‌گریزی این دو ماده که منجر به تشکیل ماده مناسب پایدارکننده امولسیون‌های پیکرینگ می‌شود و ب) خواص کاتالیستی مناسب نانو لوله کربنی و سیلیکا و در نتیجه امکان ایجاد خواص کاتالیستی مناسب در هیبرید آنها [۱۱].

دو روش کلی برای سنتز نانو هیبریدهای نانو لوله کربنی / سیلیکا وجود دارد که عبارتند از: شکل‌گیری ساختارهای

سیلیکا و نانو لوله کربنی بر اساس نسبت استوکیومتری به دست نمی‌آید و نیروهای بین مولکولی باعث چسبندگی نانو ذرات سیلیکا بر روی نانو لوله کربنی می‌شود، نسبت وزنی نانو لوله کربنی به سیلیکا در هیبرید ساخته شده، با روش‌های تجربی به دست می‌آید. در این آزمایشات بر اساس روش سنتز ذکر شده، نسبت تجربی ۲۸٪ الی ۳۳٪ وزنی (وزن نانو لوله به کل وزن ساختار) در نظر گرفته شد که این مقدار، نسبت وزنی مناسبی است که خواص آب دوستی و آب‌گریزی بهتری را نشان می‌دهد. به منظور بررسی خواص هیبریدهای ساخته شده با نسبت‌های وزنی متفاوت، ساختارهای هیبریدی با درصدهای متفاوت تهیه و امولسیون‌های مربوطه ساخته شد و پایداری امولسیون‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس امولسیون‌ها که یکنواختی و پایداری بیشتری داشت، انتخاب گردید.

سیستم‌های دوفازی

سه سیستم دوفازی آب دیونیزه/ نفت، آب املاح‌دار/ نفت و آب سازند/ نفت در این تحقیقات مورد بررسی قرار گرفت. در سیستم آب املاح‌دار/ نفت، رفتار هیبرید در حضور سه نوع کاتیون Na^+ ، Ca^{2+} و Mg^{2+} بررسی شد. در جدول ۱ غلظت نمونه آب‌های املاح‌دار ارائه شده است. از آنجایی که بار کاتیون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} با هم برابر است، این دو کاتیون با هم در نمونه‌های ساخته شده حضور داشتند و تاثیر یون سدیم بر رفتار کاتیون دو ظرفیتی نیز بررسی شد. جدول ۲ میزان یون‌های موجود در نمونه‌های آب سازند دو نمونه دریافتی از حوزه‌های نفتی در منطقه خوزستان ایران را نشان می‌دهد. در نمونه‌های آب همراه نفت، علاوه بر یون‌های موجود در

برای عامل‌دار کردن و باز نمودن انتهای نانو لوله‌های کربنی، به ازای هر گرم نانو لوله ۵۰ ml اسید نیتریک با غلظت ۱۲/۵ مولار تهیه و مخلوط به مدت ۱۸ ساعت تحت فرآیند رفلاکس قرار داده شد. پس از شستشو با آب و خنثی‌سازی، نانو لوله‌های عامل‌دار شده فیلتر و خشک گردید. سیلیکات سدیم (آب شیشه) ($SiO_2/Na_2O=2/1$) به عنوان پیش ماده مورد استفاده برای ایجاد ساختار سیلیسی به کار گرفته شد. در این تحقیق از نمک‌های یونی $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ ، $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ و $NaCl$ (Merck) استفاده گردید. فاز نفتی مورد استفاده در این تحقیق، برش نفت سفید واحد ایزوماکس تهیه شده از پالایشگاه تهران بود. همچنین نمونه آب‌های همراه نفت دو مخزن نفتی استان خوزستان به همراه آنالیز آن از پژوهشکده محیط زیست پژوهشگاه صنعت نفت تهیه گردید.

ساخت هیبرید نانو لوله کربنی چند دیواره/ سیلیکا

برای ساخت این نوع هیبرید، نانو لوله‌های کربنی عامل‌دار حین واکنش تشکیل سیلیکا (به روش سل ژل) اضافه شد. برای این منظور، نانو لوله کربنی چند دیواره عامل‌دار شده به ۵۰ ml اسید کلریدریک ۲/۵٪ در دمای $80^\circ C$ و دور همزن ۳۰۰ rpm اضافه شد. پس از پراکندگی کامل نانو لوله کربنی در محلول اسید، سدیم سیلیکات (آب شیشه) با نسبت (water glass/CNT=10 ml/g) به صورت قطره‌ای به مخلوط افزوده شد تا ژل ابری شکل در مخلوط تشکیل شود. پس از اضافه کردن آب شیشه، محصول به مدت ۲۴ ساعت در دمای $80^\circ C$ خشک گردید.

نسبت وزنی نانو لوله‌های کربنی به سیلیکا نقش بسیار مهمی در خواص هیبرید بازی می‌کند. از آنجایی که نسبت

جدول ۱- غلظت یون‌های موجود در آب برای نمونه‌های ساخته شده مختلف

Sample	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	Na^+ (mg/L)
۱	۰	۰	۰
۲	۶۰۰۰	۱۵۰۰	۰
۳	۶۰۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰۰

جدول ۲- غلظت یون‌های موجود در آب برای نمونه‌های آب سازند مخازن نفتی جنوب غرب ایران

Sample	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	Na^+ (mg/L)	K^+ (mg/L)	Sr^{2+} (mg/L)	Oil (mg/L)
۴	۹۴۰۰	۲۴۲۰	۲۹۹۰۰	۲۷۰	۱۷۱۵	۱۱۳
۵	۱۱۶۵۰	۳۰۶۱	۳۱۱۰۰	۴	۱۵	۴۲

FT-IR و پتانسیل زتا انجام شد.

از میکروسکوپ نوری برای تهیه تصاویر قطرات امولسیون نانو هیبریدهای ساخته شده استفاده گردید. برای این کار ابتدا فاز میانی امولسیون به کمک سرنگ جدا شده و سپس تصاویر تهیه شد.

نتایج

تشکیل امولسیون پایدار

رفتار هیبرید در محیط‌های آب دیونیزه و آب املاح‌دار بسیار متفاوت است. در آب دیونیزه، هیبرید کاملاً آب‌دوست بوده و پایداری بسیار بالایی دارد. این رفتار هیبرید در آب خالص را می‌توان به خاصیت آب‌دوستی نانو لوله کربنی عامل‌دار شده نسبت داد. بر خلاف آب دیونیزه، هیبریدها در آب‌های املاح‌دار، کاملاً ته نشین می‌شوند و حتی به کمک اولتراسونیک هموژنایزر امکان پخش مناسب ذرات در آب وجود ندارد. اما با گذشت زمان به واسطه برهم‌کنش بین هیبرید و کاتیون‌های موجود در آب، رفتار هیبرید تغییر کرده و باعث ایجاد نوعی بالانس آب‌دوستی - آب‌گریزی (HLB) در ساختار ذرات می‌شود این مسأله در نهایت منجر به مهاجرت این ذرات به سطح مشترک فاز آبی و فاز آلی شده و امولسیون پیکرینگ را به صورت خود به خودی تشکیل می‌دهد. شکل ۱ شرایط هیبرید را قبل و بعد از تاثیر یون‌های موجود در آب بر روی آن نشان می‌دهد.

جدول ۲، یون‌های دیگری مانند سولفات، سولفیت، آهن، لیتیم و نیترات نیز موجود است که نسبت آن در مقایسه با یون‌های اصلی کمتر است. میزان هیبرید موجود در تمام نمونه‌ها ثابت و حدود ۰/۱٪ وزنی است همچنین نسبت حجمی آب به نفت در تمام نمونه‌ها برابر ۱۰ می‌باشد.

روش پخش هیبریدهای نانو ساختار در سیستم دوفازی آب / نفت

نانو ساختار هیبرید به سه روش بدون استفاده از همزن، استفاده از همزن مکانیکی و استفاده از حمام اولتراسونیک در سیال متفرق گردید.

بدون استفاده از همزن، ذرات بدون هم‌خوردگی به مدت طولانی در آب املاح‌دار ته نشین می‌شوند. عمل تفرق نانو هیبرید در روش دوم با استفاده از همزن مکانیکی با دور ۴۰۰ rmp در دمای محیط به مدت ۲۴ ساعت انجام گرفت. در روش سوم، پخش نانو هیبرید در آب، به مدت ۱۵ دقیقه با استفاده از حمام اولتراسونیک و سپس به مدت ۳۰ دقیقه با همزن مکانیکی صورت گرفت. زمان تشکیل امولسیون پایدار در هر یک از سه روش مذکور متفاوت می‌باشد.

روش‌های آنالیز

ساختار و مورفولوژی نانو هیبرید به کمک تکنیک‌های TEM، SEM و XRD بررسی شد. همچنین جهت بررسی تاثیر وجود یون‌ها بر ساختار هیبرید در محلول، آنالیزهای



شکل ۱- تأثیر تدریجی کاتیون‌های موجود در آب بر ساختار نانو هیبرید و تغییر خاصیت آب، نفت گریز به آب، نفت دوست

اولتراسونیک و همزن مکانیکی انجام شد. برای بررسی تاثیرات نحوه اختلاط، نمونه‌هایی با آب املاح‌دار با غلظت نمونه شماره ۳ (جدول ۱) به سه روش ذکر شده تهیه شد و به صورت مشاهده چشمی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به کند بودن سرعت تغییرات در نمونه‌ها تغییر حالات نمونه‌ها هر ۲۴ ساعت به مدت سه هفته بررسی گردید.

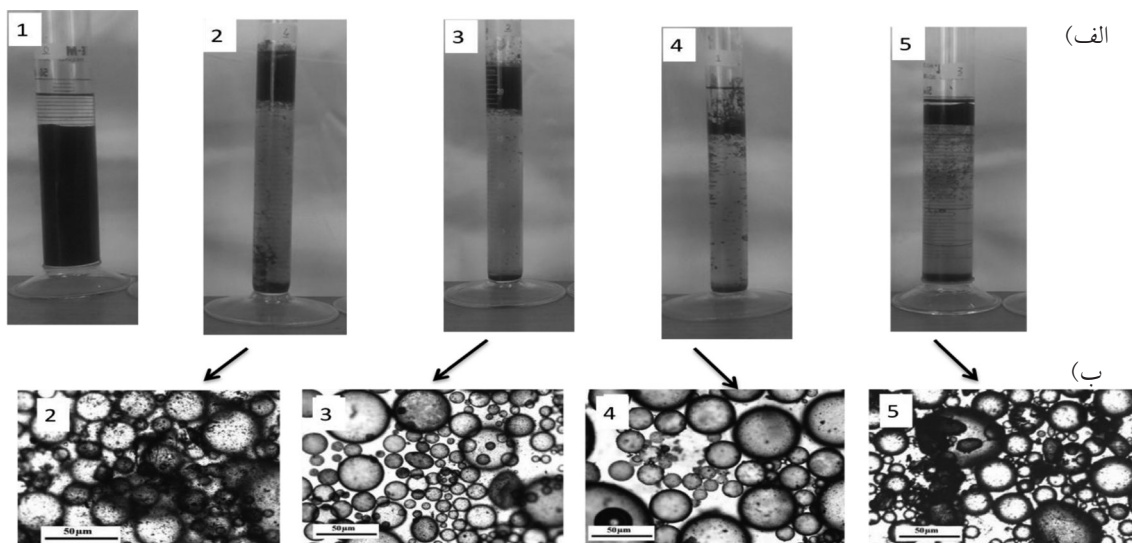
نتیجه بررسی‌ها حاکی از آن است که در نمونه تهیه شده به روش اول، هیبرید به مدت بسیار طولانی در آب ته‌نشین می‌شود، اما با گذشت زمان به تدریج خواص آب دوستی ساختار تغییر می‌نماید. به طوری که پس از ۱۲ روز خواص ساختار به کلی تغییر کرده و سیستم دوفازی آب و نفت به سیستم سه فازی آب/امولسیون نفت در آب/نفت تغییر وضعیت می‌دهد (شکل ۱). در روش دوم و سوم، سرعت اختلاط هیبرید با آب، موجب سرعت در تغییر خاصیت آب دوستی نمونه می‌شود. اگر برای اختلاط، به ترتیب از اولتراسونیک هموژنایزر و همزن مکانیکی استفاده شود، تغییر خواص هیبرید سریع‌تر از حالتی اتفاق می‌افتد که تنها از همزن مکانیکی استفاده می‌گردد. زیرا این روش با افزایش سطح تماس هیبرید با یون‌های داخل آب، برهم‌کنش آن را سریع‌تر می‌نماید.

در سیستم آب املاح‌دار/نفت، کاتیون‌های موجود در آب عامل موثر تشکیل امولسیون پایدار است. در شکل ۲، تصاویر میکروسکوپ نوری قطرات نفتی در آب مشاهده می‌شود. آزمایشات نشان می‌دهد که یون‌های منیزیم و کلسیم به تنهایی و همچنین در کنار یون سدیم قادر به ایجاد تغییر در HLB هیبرید می‌باشند. همچنین مطابق بررسی‌ها، یون‌ها باعث ایجاد تغییرات برگشت‌ناپذیر بر روی هیبرید می‌شوند. هیبریدی که در آب املاح‌دار قرار گرفته است، پس از خشک شدن و اضافه نمودن به آب دیونیزه دیگر رفتار آب دوست از خود نشان نمی‌دهد و هیبرید در این محیط نیز ته‌نشین می‌شود.

در نمونه‌های ۴ و ۵ رفتار هیبریدها در نمونه‌های واقعی مورد بررسی قرار گرفت. در این شرایط هر چند ضخامت فاز میانی نسبت به نمونه‌های دیگر کمتر بود، ولی در فاز میانی نیز امولسیون پایدار تشکیل شد. این امر می‌تواند ناشی از غلظت بسیار بالای یون سدیم و حضور سایر یون‌ها در سیستم باشد.

تاثیر شرایط اختلاط بر زمان تشکیل امولسیون

نحوه اختلاط هیبرید با آب تأثیر بسیار زیادی بر سرعت تشکیل امولسیون دارد. اختلاط به سه روش الف) بدون استفاده از همزن مکانیکی و هموژنایزر اولتراسونیک، ب) با استفاده از همزن مکانیکی و ج) با استفاده از هموژنایزر



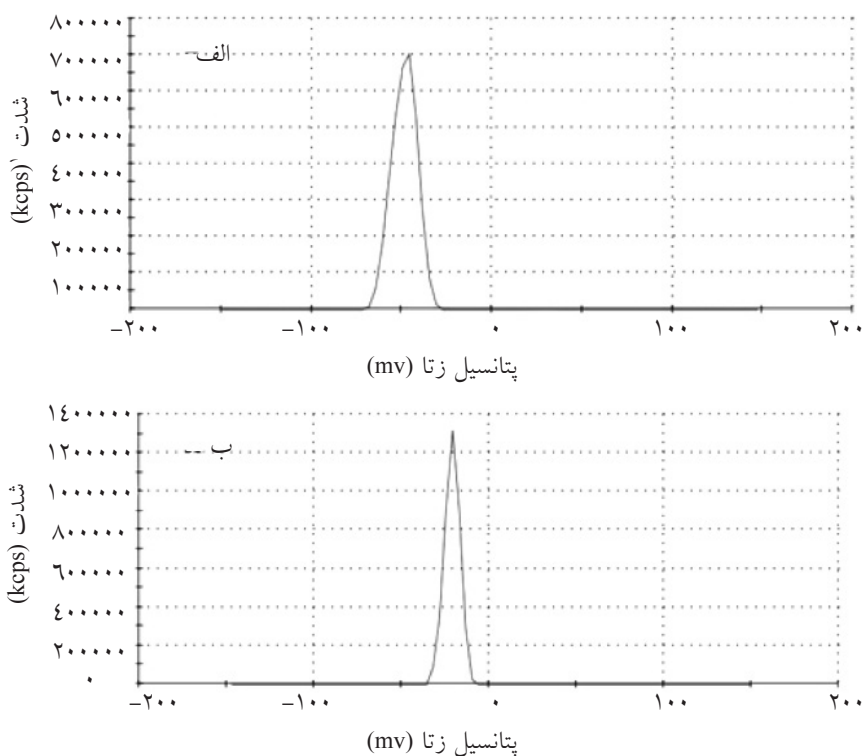
شکل ۲- الف) بالا، تشکیل امولسیون پایدار آب و نفت پایدار شده توسط نانو هیبرید و ب) تصاویر میکروسکوپی از قطرات امولسیون تشکیل شده

تأثیر نوع املاح آب بر ساختار هیبرید

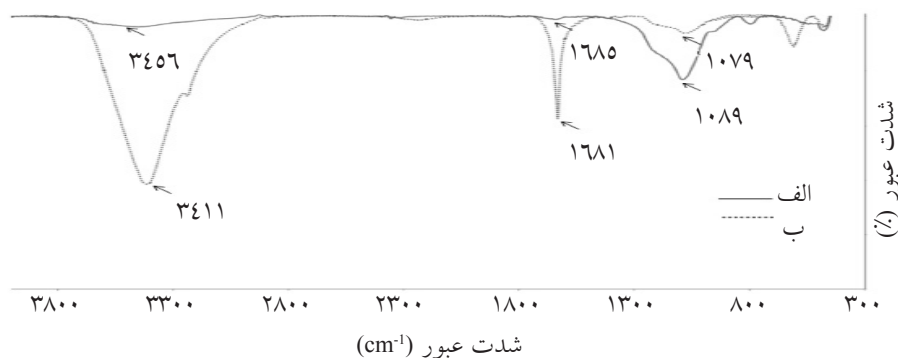
دهنده تأثیر یون‌های موجود در آب بر بار الکتریکی ساختار هیبرید است، به طوری که از یک ساختار با پایداری خوب به ساختاری کاملاً ناپایدار تبدیل شده است. بنابراین، تأثیر یون‌های موجود در آب بر بار روی ذرات به خوبی قابل مشاهده است.

جهت بررسی تأثیر یون‌های موجود در آب بر باندهای روی ساختار، آنالیزهای FT-IR بر روی ساختار پیش و پس از قرار گرفتن در آب املاح‌دار مقایسه گردید. شکل ۴ نتایج آنالیز را نشان می‌دهد.

تغییر پایداری ماده در آب از حالت کاملاً پایدار به ناپایدار با بررسی تغییر پتانسیل زتا مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی پتانسیل زتا، دو نمونه یکی در آب دیونیزه و دیگری در آب املاح‌دار (نمونه ۴) با استفاده از هیبرید تهیه شد. پس از مدت ۳ ساعت، نمونه در آب املاح‌دار از آب جدا شده و چندین بار با آب دیونیزه شسته شد. سپس نمونه به وسیله اولتراسونیک پخش و تست زتا بر روی آن انجام شد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، تغییر زیادی در پتانسیل زتای دو نمونه مشاهده می‌گردد که نشان



شکل ۳- پتانسیل زتا (الف) پیش و (ب) پس از تأثیر کاتیون بر روی ساختار، (پایداری ساختار در آب پس از تأثیر کاتیون‌ها از -۴۹ به -۲۱ کاهش یافته است)



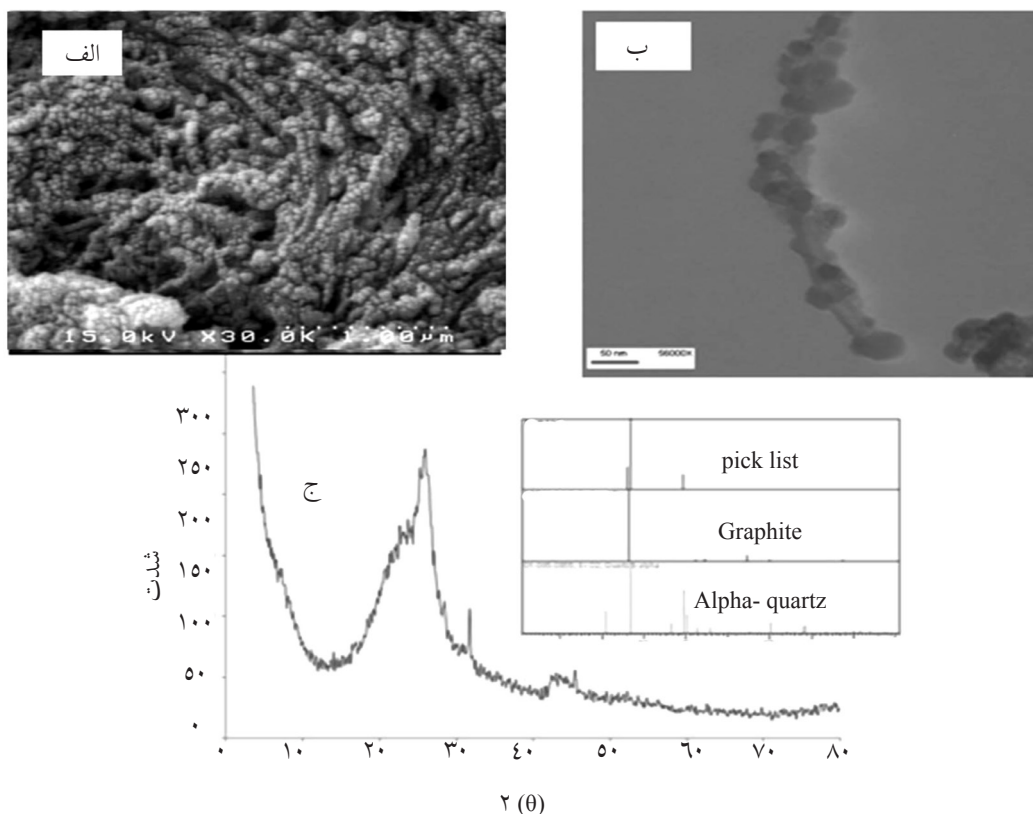
شکل ۴- آنالیز FT-IR (الف) پیش از تأثیر کاتیون‌های موجود در آب بر ساختار و (ب) پس از تأثیر کاتیون‌ها بر ساختار هیبرید

اینگونه توجیه کرد که در نمونه ب افزایش شدت پیک ناشی از این دلیل است که اکسیداسیون جزئی نانولوله کربنی در فرآیند عامل‌دار کردن نانو لوله باعث ایجاد نقص‌های ساختاری در نانو لوله و ایجاد سایت‌های فعال در اثر افزایش تعداد کربن‌های Sp^2 می‌گردد (ایجاد پیوند دوگانه $C=C$ به صورت رزونانسی) که در نهایت بر اثر برهمکنش یون‌های کلسیم و منیزیم با این پیوندها، این پیوندهای دوگانه از حالت رزونانسی به نوع پایداری می‌رسند و منجر به افزایش شدت پیک در محدوده مربوط به ناحیه پیوند آلکنی می‌شود.

شکل ۵ آنالیزهای TEM، SEM و XRD ساختار هیبرید را نشان می‌دهد. در این تصاویر نحوه قرار گرفتن ذرات سیلیکا بر روی نانو لوله کربنی چند دیواره قابل مشاهده است. تصویر TEM نشان دهنده قرار گرفتن ذرات سیلیکا بر روی ساختار یک نانو لوله کربنی است. همچنین آنالیز XRD به خوبی وجود ساختار نانو لوله کربنی و ساختار سیلیکاتی با ساختار کریستالی "آلفا کوارتز" را نشان می‌دهد.

با توجه به ترکیب هیبرید، جابه‌جایی‌های جزئی در پیک‌ها عادی است. نمونه ب پس از قرار گرفتن در آب املاح‌دار به مدت ۷۲ ساعت در دمای $80^{\circ}C$ خشک شد.

در این شناسایی سه پیک شاخص در محدوده‌های 3400 cm^{-1} ، 1680 cm^{-1} و 1080 cm^{-1} وجود دارد. با توجه به وجود گروه کربوکسیلیک در ساختار اولیه نانو لوله عامل‌دار شده، پیک 3400 cm^{-1} در نمونه الف مربوط به این پیوند شیمیایی است. اما افزایش شدت آن در نمونه ب می‌تواند ناشی از پیوند هیدروژن و اکسیژن آب تبلوری که در ساختار ماده به جا مانده، باشد. از این رو افزایش شدت این پیک برای دو نمونه قابل توجیه است. پیک محدوده 1080 cm^{-1} نیز مربوط به وجود باندهای Si-O-Si بر روی ساختار است. اما تغییرات میزان شدت پیک در محدوده 1680 cm^{-1} نسبت به سایر پیک‌ها غیر عادی به نظر می‌رسد. با توجه به ساختار و مواد تشکیل‌دهنده هیبرید، در این محدوده امکان وجود چنین پیکی تنها می‌تواند ناشی از پیوند دوگانه $C=C$ باشد. افزایش شدت آن را می‌توان



شکل ۵- (الف) آنالیز SEM ساختار، (ب) آنالیز TEM ساختار و (ج) آنالیز XRD و تفکیک پیک‌های ساختار

نتیجه‌گیری

هیبرید نقش مهمی دارند، هرچند مکانیسم دقیق تغییر رفتار این ساختار در مواجهه با کاتیون‌ها، مشخص نیست. با توجه به بازگشت ناپذیری این پدیده و نتایج آنالیزهای زتا، احتمال تغییرات شیمیایی نسبت به تاثیرات جذب یون‌ها بیشتر است. همچنین روش‌های مختلف اختلاط و تاثیر آن بر اثر بخشی هیبریدها در تشکیل امولسیون بررسی شد. نتایج نشان داد که هرچند تشکیل امولسیون بدون استفاده از روش‌های مکانیکی بسیار طولانی است، اما در نهایت باعث تشکیل امولسیون می‌شود که از این منظر جنبه کاربردی این نانو مواد را افزایش می‌دهد. در ادامه تحقیقات، انجام آزمایش‌های تکمیلی بر روی مغزه ضروری به نظر می‌رسد.

در این پژوهش هیبرید نانو لوله کربنی / سیلیکا به روش سل-ژل با هدف پایدارسازی امولسیون‌های آب و نفت ساخته شد. هدف در ابتدا، بررسی امکان استفاده هیبریدهای ساخته شده در شرایط واقعی بود. از این رو اثر وجود املاح مختلف و روش اختلاط مورد بررسی قرار گرفت. بررسی تاثیر املاح نشان داد که کاتیون‌های دو ظرفیتی موجود در آب باعث ایجاد خاصیت آب، نفت دوست^۱ مناسب در هیبریدهای نانو ساختار تهیه شده، می‌گردد. اثر مثبت املاح با غلظت بالا بر روی این هیبرید، می‌تواند، امکان کاربرد آن در فرآیندهای EOR در شرایط واقعی افزایش دهد. یون‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم در تغییر رفتار

مراجع

- [1]. Dong M., Ma S. and Liu Q., "Enhanced heavy oil recovery through interfacial instability: A study of chemical flooding for Brintnell heavy oil", Fuel., Vol. 88, pp. 1049–1056, 2009.
- [2]. Yang-Chuan K., Guang-Yao W. and Yi W., "Preparation, morphology and properties of nanocomposites of polyacrylamide copolymers with monodisperse silica", Eur. Polymer J. Vol. 44, pp. 2448–2457, 2008.
- [3]. Alvarado V. and Manrique E., *Enhanced oil recovery: field planning and development strategies*, Burlington: Gulf Professional Publishing, pp. 480-591, 2010.
- [4]. Porrada M., Solans C., Gonzalez C. and Gutierrez J. M., "Properties of water-in-oil (W/O) nano-emulsions prepared by a low-energy emulsification method", Colloid Surface Physicochem Eng. Aspect. Vol. 324, pp. 181–188, 2008.
- [5]. Shen M. and Resasco D. E., "Emulsions stabilized by carbon nanotube-silica nanohybrids", Langmuir., Vol. 25 pp. 10843–10851, 2009.
- [6]. Fu Z., Liu M., Xu J., Wang Q. and Fan Z., "Stabilization of water-in-octane nano-emulsion Part I: Stabilized by mixed surfactant systems", Fuel., Vol. 89 pp. 2838–2843, 2010.
- [7]. Rajesh K., Saini, Lewis R., *Nanohybrid-stabilized emulsions and methods of use in oil field applications*, US20120181029 A1, 2012.
- [8]. Pilar Ruiz M., Faria J., Shen M., Drexler S. and Prasomsri T., "Resasco D. E., nanostructured carbon metal oxide hybrids as amphiphilic emulsion catalysts", Chem. Sus. Chem., Vol. 4, pp. 964–974, 2011.

1. Amphiphilic

- [9]. Fan H., Resasco D. E. and Striolo A., "Amphiphilic Silica Nanoparticles at the Decane–Water Interface: Insights from Atomistic Simulations", *Langmuir*, Vol. 27, pp. 5264–5274, 2011.
- [10]. Frelichowska J., Bolzinger M. A. and Chevalier Y., "Pickering emulsions with bare silica", *Colloid Surface Physico Chem. Eng. Aspect.*, Vol. 343 pp. 70–74, 2009.
- [11]. Faria J., Pilar Ruiz M. and Resasco D. E., "Phase-Selective Catalysis in Emulsions Stabilized by Janus Silica-Nanoparticles", *Adv. Synth. Catal.* Vol. 352, pp. 2359–2364, 2010.
- [12]. Kitiyanan B., Alvarez W. E., Harwell J. H. and Resasco D. E., "Controlled production of single-wall carbon nanotubes by catalytic decomposition of CO on bimetallic Co–Mo catalysts", *Chem. Phys. Lett.* Vol. 317, pp. 497–503, 2000.
- [13]. Mzawrah M. Z., El-Kheshen A., Haitham M. and Abd-El- Ali A., "Facile and economic synthesis of silica nanoparticles", *Journal of Organic Research*, Vol. 5, pp. 129-133, 2011.
- [14]. Rashidi A., Horri B. A., Mohajeri A., Sadraei S., Jafari Jozani K. and Nakhaeipour A., *inventor; Continuous process for producing carbon nanotubes*. US patent: 20080274277, 2008.