

گرافن و کاربرد آن در بهبود انتقال حرارت

رقیه لطفی^۱، سعید عسگری^۲

۱. مهندسی مکانیک، گروه نانوفناوری، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران

۲. مهندسی شیمی، گروه نانوفناوری، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران

چکیده

در این تحقیق گرافن و کاربرد آن در نانوسیالات جهت بهبود انتقال حرارت مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته اند. در ابتدا خواص، ویژگی ها، مزایا، کاربردها و روش های تولید گرافن مورد بررسی قرار گرفته است و در مرحله بعد به بخش تجربی کار پرداخته شده است. در بخش تجربی گرافن مورد استفاده در تهیه نانوسیالات سنتز شده و با استفاده از آنالیزهای مورد نیاز شناسایی گشتند. سپس نانوسیالات با استفاده از روش دو مرحله ای تهیه شد و رسانایی حرارتی آن ها با استفاده از دستگاه سنجش رسانایی مورد اندازه گیری قرار گرفت. همچنین با استفاده از سیستم آزمایشگاهی ساخته شده، ضریب انتقال حرارت نانوسیالات مورد اندازه گیری قرار گرفت.

واژه های کلیدی: گرافن، نانوسیالات، هدایت حرارتی، ضریب انتقال حرارت

lotfir@ripi.ir

۱- مقدمه

بهینه سازی تجهیزات انتقال حرارت برای رسیدن به راندمان بالاتر انرژی نیازمند کوچک سازی تجهیزات از یک سو و افزایش ضرایب انتقال حرارت از سوی دیگر می باشد. سیالاتی نظیر آب، روغن های معدنی و اتیلن گلیکول کاربرد زیادی در انتقال حرارت در فرآیندهای صنعتی را دارا می باشند. به دلیل پایین بودن ضرایب انتقال حرارت سیالات ذکر شده، محققین به دنبال راه چاره ای برای حل این مشکل بوده اند. هدایت حرارتی برخی جامدات چند صد برابر سیالات ذکر شده می باشد. به همین دلیل ایده استفاده از ذرات جامد در سیالات شکل گرفته است. در سال های گذشته استفاده از ذراتی با ابعاد میلی متر و میکرومتر مورد بررسی قرار گرفت است، ولی به دلیل بزرگ بودن ذرات، ته نشینی سریع، افت فشار بیش از حد و همچنین آسیب رساندن به بدنه تجهیزات استفاده از ذرات جامد در سیالات عملی نبود. با توجه به ریز بودن ذرات در ابعاد نانو مشکلات ذکر شده در سیالات نانویی بسیار کم رنگ تر می باشند. سیالات متداول که حاوی ذرات جامد در ابعاد نانومتری می باشند نانو سیال نامیده می شوند. استفاده از نانو ذرات جامد با درصد وزنی های مختلف علاوه بر این که انتقال حرارت هدایتی را تحت تاثیر قرار می دهد، ضریب انتقال حرارت جابجایی را نیز تحت تاثیر قرار می دهد. استفاده از نانو سیال برای اولین بار در آزمایشگاه آرگون آمریکا مورد توجه قرار گرفت و تا کنون تحقیقات زیادی در این زمینه انجام گرفته شده است.

۲- هدف اصلی

در این مقاله ابتدا سنتز و شناسایی نانومواد مورد استفاده مورد بحث قرار می گیرد. سپس روش تولید نانوسیالات به روش دومرحله ای، که در این کار استفاده شده است، ذکر می گردد.

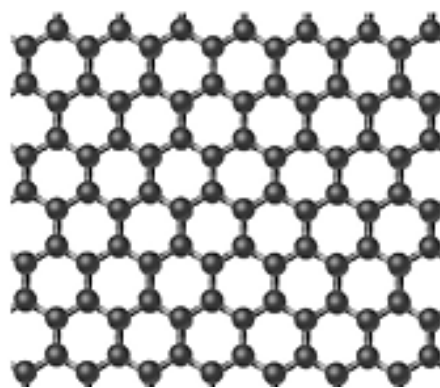
دستگاه اندازه گیری هدایت حرارتی و جزئیات سیستم آزمایشگاهی ساخته شده برای تعیین ضریب انتقال حرارت جابه جایی توضیح داده می شود و در نهایت داده های به دست آمده مورد بررسی قرار می گیرد.

۳- گرافن و روش های سنتز آن

کربن به عنوان پایه همه ترکیبات آلی، نقش بسیار مهمی را در طبیعت ایفا می کند. این عنصر قابلیت ترکیب شدن با طیف وسیعی از عناصر مختلف را دارد که این عناصر می توانند هم از گونه های با الکترون گاتیویته کم (نظیر لیتیم) و هم از گونه های با الکترون گاتیویته زیاد (نظیر بورون) باشند. همچنین اتم های کربن قابلیت ایجاد پیوندهای زنجیره ای طولانی یا شبکه های کریستالی را با خودشان دارند. این گستردگی از نوع پیوندها با توجه به ساختارهای مختلف آلوتروپی کربن مشخص می شود. آلوتروپ های کربن را بر اساس نوع پیوندهای موجود می توان به سه گروه تقسیم بندی نمود. این گونه پیوندها به نوع هیبریدشدگی اوربیتال های اتمی کربن بستگی دارد. به عنوان مثال زمانی که هر اتم کربن با چهار اتم کربن مجاور پیوند شیمیایی برقرار می کند، ساختارهای الماس گونه شکل می گیرند. زمانی که هر اتم کربن با سه اتم کربن مجاور پیوند شیمیایی برقرار می کند، مواد گرافیتی حاصل می گردند. دسته سوم آلوتروپ ها کربن های آمورف هستند که از ساختارهای بی شکل (غیر کریستالی) و از ترکیب دو گونه فوق ایجاد می گردند.

آلوتروپ های گرافیتی ابعاد مختلفی از مواد از صفر بعدی تا سه بعدی را شکل می دهند. این گروه از مواد گاهی تحت عنوان مواد گرافیتی عنوان می شوند، چراکه گرافیت به عنوان قدیمی ترین ماده از این گروه، بسیار شناخته شده می باشد.

گرافیت پایدارترین آلوتروپ کربن محسوب می‌شود و به همین دلیل در طبیعت به وفور یافت می‌شود. در واقع گرافیت هم به شکل طبیعی به صورت سنگ معدنی و هم به شکل سنتز شده با استفاده از گرم کردن کک تا دماهای بسیار بالای 2500°C وجود دارد. این ماده از قرن‌های گذشته کاربردهایی نظیر نوشتاری (مداد) و روان‌کننده داشته است. گرافیت از صفحاتی ایجاد شده است که در آن هر اتم کربن با سه اتم کربن مجاور از طریق پیوند کووالانسی متصل است و این صفحات با نیروهای ضعیف واندوالسی به طور موازی کنار هم قرار می‌گیرند. این نیروهای ضعیف موجب ایجاد فاصله $3/35$ آنگسترومی بین لایه‌ها می‌گردد. در طول دهه‌های گذشته ساختارهای جدیدی از این آلوتروپ شناخته شده‌اند که می‌توان به ساختار صفربعدی فولرن (1985)، یک بعدی نانولوله‌های کربنی (1991) و دوبعدی گرافن (2004) اشاره نمود. برخلاف فولرن‌ها و نانولوله‌های کربنی که وجود آنها قبل از مشاهده واقعی‌شان پیش‌بینی می‌شد، تصور غالب در مورد گرافن بر این بود که چنین ساختاری در همه محدوده‌های دمایی ناپایدار می‌باشد. اما سنتز تک‌لایه‌ای گرافن در سال 2004 به نقض چنین تصویری منجر گردید [۱]. در واقع تولید گرافن موجب ایجاد شاخه جدیدی در علم گردید، چراکه این ماده تک‌لایه متشکل از اتم‌های کربنی در شبکه‌های شش‌ضلعی به دانشمندان این امکان را فراهم نمود که بتوانند یک ساختار کاملاً دوبعدی را برای اولین بار مطالعه و بررسی نمایند (شکل ۱).



شکل ۱: نمای شماتیک گرافن

استفاده از صفحات گرافن با ضخامت یک اتم به دلیل دارا بودن خواص منحصر به فرد مورد توجه زیادی در علم نانو قرار گرفته است. گرافن دارای خواص هدایت حرارتی بالا، هدایت الکتریکی بالا، توانایی بالای حمل بار الکتریکی، استحکام مکانیکی بالا، پایداری شیمیایی، زیاد بودن سطح به ازای واحد حجم و ... می‌باشد [۲]. از گرافن و ترکیبات گرافنی به صورت بسیار گسترده در کاربردهای مختلف مثل حمل دارو، ذخیره سازی گاز، غشا، سلول‌های سوختی، باتری‌های لیتیومی، ترانزیستورها، سنسورهای گازی، کاربردهای کاتالستی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳-۱۶] به عنوان نمونه گرافن می‌تواند داروها و ژن‌ها را به مواضع مورد نظر انتقال بدهد و این موضوع در دارورسانی برای بسیاری از بیماری‌ها که جذب دارو در اندام هدف با مشکل مواجه است و همچنین در درمان سرطان جهت غلبه بر مقاومت

دارویی سلول‌های سرطانی بسیار کارآمد محسوب می‌شود. شاکرپور و همکارانش [۳] از صفحات گرافن به عنوان حامل دارو برای درمان بیماری سرطان استفاده نمودند. برای رهایش مهار شده‌تر و همچنین ایجاد گروه‌های زیست سازگار پلی‌اتیلن گلیکول بر روی دارورسان از یک پوشش بسپاری استفاده گردید. از آنجایی که بافت سرطانی اسیدیته کمتری نسبت به بافت‌های سالم دارد گروه‌های حساس به اسیدیته بر روی هسته دارو رسان نشاندند. با اندازه‌گیری رهایش دارو، درصد کارایی دارو رسانی 93% بدست آمد. ذخیره‌سازی گاز در گرافن نیز مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. به عنوان مثال در یک تحقیق توسط سرینیواس و همکارانش ظرفیت ذخیره‌سازی هیدروژن در نانوصفحه‌های گرافنی تولید شده مورد بررسی قرار گرفت و ظرفیت جذب بهتری نسبت به ساختارهای مشابه با سطح‌های بالاتر نشان داد [۴]. از سوی دیگر با توجه به خواص ویژه گرافن همانند دانسیته پایین، خنثی بودن و نیز استحکام بالای آن، گرافن خواص اساسی مواد مورد نیاز برای استفاده به عنوان لایه مانع نفوذ را دارد. نفوذناپذیری گرافن کامل به برخی از گازها نظیر هلیوم برای اولین بار توسط گروه بانچ به صورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفت [۵]. در یک تحقیق دیگر گرافن تک و دولایه‌ای به عنوان سوپر مانع به فیلم‌های پلیمری اضافه شدند تا از تخریب شیمیایی مواد در شرایط محیط جلوگیری کنند [۶]. همچنین کارهای تحقیقاتی دیگری نیز وجود دارند که از گرافن متخلخل به عنوان غشاهای ایده‌آل برای جداسازی مولکول‌های مختلف استفاده نموده‌اند [۷-۱۱].

استفاده از گرافن در کاربردهای انتقال حرارتی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از مواد مختلف مانند نانو ذرات، نانو لوله‌های کربنی در نانو سیالات مورد آزمایش و مطالعه قرار گرفته است و تأثیرات حرارتی آنها مورد بررسی قرار گرفته است. محققین زیادی از گرافن به عنوان مواد افزودنی به سیالات به منظور بهبود حرارتی سیالات استفاده نموده‌اند [۱۳-۱۶].

سنتز گرافن تک‌لایه از سال‌ها پیش با تلاش از طریق تجزیه حرارتی کربن گرافیت تک و چندلایه روی زیرلایه تک کریستالی پلاتین آغاز شد. پس از گذشت یک زمان نسبتاً طولانی در نهایت گیم و همکارانش برای اولین بار موفق به سنتز گرافن تک‌لایه در سال 2004 شدند [۱]. آنها سنتز تکرارپذیر گرافن را با استفاده از پوسته‌سازی انجام دادند. در حالت کلی روش‌های سنتز گرافن عبارتند از:

الف) پوسته‌سازی

گرافیت از تعداد زیادی صفحات گرافنی تشکیل شده است که با نیروی واندروالسی به یکدیگر متصل شده‌اند. لذا با شکستن این پیوندها تولید گرافن از گرافیت میسر خواهد بود. در روش پوسته‌سازی از انرژی مکانیکی یا شیمیایی برای شکستن این پیوندهای ضعیف و جدا کردن صفحات گرافنی منفرد استفاده می‌کنند. اولین تلاش در این رابطه به ویکولوس و همکارانش بر می‌گردد که از فلز پتاسیم برای فاصله انداختن گرافیت استفاده کردند و سپس از اتانول برای پراکندگی صفحات کربنی استفاده نمودند. البته این صفحات نانوکربنی به هنگام فرایند اولتراسونیک به شکل طومار درآمدند. آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی

احتراق کوره رسوبدهی شیمیایی فاز بخار در دمای ۷۰۰ تا ۸۵۰ °C در حضور گاز حامل آرگون پیرولیز می‌شد. بر اساس فرایند سرد کردن طبیعی تا دمای اتاق ورق‌های چندلایه گرافن روی فویل‌های نیکل مشاهده می‌گردید. با استفاده از آنالیز میکروسکوپ الکترونی عبوری مشخص شد که گرافن تولیدی دارای چندین تاخوردگی است و از حدود ۳۵ لایه تشکیل شده است. این فرایند سرآغاز تحقیقات جدیدی برای سنتز گرافن بود، هرچند مسائلی نظیر کنترل تعداد لایه‌ها و کاهش تاخوردگی‌ها می‌بایستی حل می‌شد.

در یک تحقیق دیگر صفحات گرافنی با ضخامت ۱ تا ۲ نانومتر با روش رسوبدهی شیمیایی فاز بخار روی زیرلایه نیکل تولید شد. فرایند از مخلوط هیدروژن و متان (با نسبت ۸ : ۹۲) استفاده می‌کرد. متاسفانه گرافن‌های تولید شده در این روش دارای برآمدگی‌هایی بودند که به اختلاف در ضریب انبساط حرارتی نیکل و گرافیت ربط داده می‌شد [۲۴]. بعدها گروه یو رشد سه تا چهار لایه گرافن روی فویل‌های نیکلی (به ضخامت ۵۰۰ میکرومتر) را گزارش کردند [۲۵]. ماده اولیه از مخلوط متان، هیدروژن و آرگون (با نسبت‌های ۲ : ۱ : ۰/۱۵) تشکیل می‌شد که به مدت ۲۰ دقیقه تحت فرایند رسوبدهی شیمیایی فاز بخار قرار می‌گرفت. آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی عبوری ورامان مشخص کرد که گرافن تنها تحت شرایط خنک‌کاری متوسط تولید می‌شود و نرخ‌های خنک‌کاری بالا یا پایین برای سنتز گرافن مضر است. با فهم مکانیزم رشد گرافن، مرحله بعدی تولید آن در مقیاس‌های بالا بود. گروه ونگ روش جدیدی را برای رشد گرافن‌های چندلایه بدون استفاده از زیرلایه ارائه نمود [۲۶]. آنها از کاتالیست کبالت بر پایه اکسید منیزیم در یک محفظه سرامیکی در دمای ۱۰۰۰°C و مدت ۳۰ دقیقه تحت گازهای متان و آرگون (با نسبت ۴:۱) استفاده کردند. محصول با اسید کلریدریک غلیظ شستشو داده شد تا اکسید منیزیم و کبالت اضافی آن حذف شود. سپس با آب مقطر چندین بار شستشو داده شد و در ۷۰ °C خشک شد. اگرچه آنالیزهای صورت گرفته نشان داد که صفحات گرافنی که ۵ لایه داشتند، موجدار بودند، اما این فرایند نیز باعث توسعه تولید گرافن در مقیاس بالا شد. در توسعه‌های بیشتر این فرایند، گرافن تک‌لایه با استفاده از فرایند رسوبدهی شیمیایی فاز بخار و یک فویل مسی تولید گردید [۲۷]. این گرافن تولید شده کیفیت بالا و یک شکلی داشت.

ج) روش‌های شیمیایی

یکی از معروف‌ترین روش‌های این گروه تجزیه حرارتی کربید سیلیسیم تحت شرایط خلا بسیار بالا است [۲۸-۲۹]. در این روش در اثر گرمایش کربید سیلیسیم در خلا اتم‌های سیلیسیم از ساختار کربید سیلیسیم تصعید می‌شوند. با ترک اتم‌های سیلیسیم چیدمان اتم‌های کربن تغییر می‌کند تا لایه‌های گرافن تشکیل گردند. دما و مدت زمان فرایند گرمادهی از پارامترهای موثر در تعیین تعداد لایه‌های گرافن هستند. به عنوان نمونه سنتز گرافنی با تعداد کمی از لایه‌ها با استفاده از فرایند تجزیه حرارتی کربید سیلیسیم گزارش شده است که در آن کربید سیلیسیم به مدت چند دقیقه در شرایط خلا تحت گرمای ۱۲۰۰°C قرار گرفته است.

وجود حدود ۴۰ لایه را در هر صفحه نشان داد [۱۷]. اگرچه این نانوطومارها از گرافن‌های چندلایه بسیار ضخیم‌تر بودند، اما در هر حال نشان داده شد که امکان تولید گرافن از گرافیت وجود دارد. این فرایند نیازمند تصحیحاتی بود تا بتواند گرافن‌های چندلایه را تولید نماید. حدود ۲۰ ماه طول کشید تا بالاخره گروه گیم توانست آنها را تولید نماید.

در مطالعه آن‌ها از گرافیت پیرولیتی بسیار منظم تجاری به ضخامت ۱ میلی‌متر استفاده شد که بر اثر برش با پلاسما به صفحات با ضخامت ۵ میکرومتر تبدیل شدند. در مرحله بعد با استفاده از چسب نواری لایه‌هایی از گرافیت پیرولیتی بسیار منظم جدا شدند. لایه‌های جدا شده در استون رها شده و به روی یک زیرلایه سیلیسی منتقل شدند. در نهایت مشخص گردید این ورقه‌ها از گرافن یک یا چندلایه تشکیل شده‌اند. فرایند مذکور جهت تولید گرافن ساده و قابل اعتماد بود و لذا توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرد. با تغییرات جزئی در فرایند اصلی نشان داده شد که ورقه‌های نسبتاً بزرگ و مسطح گرافن می‌توانند با زیرلایه سازی گرافیت پیرولیتی بسیار منظم روی سیلیس و پوسته‌سازی کنترل‌شده تولید گردند [۱۸]. در یک نگرش تقریباً متفاوت از پوسته‌سازی در فاز مایع، گروه استانکوویچ پیشنهاد کردند بر اساس روش هامرز از اکسید گرافیت آب‌گریز و پوسته‌سازی آن در یک محلول آبی با اولتراسونیک و کاهش فیلم‌ها با هیدرازین در دمای ۱۰۰ °C و به مدت ۲۴ ساعت استفاده گردد [۱۹-۲۰]. البته محصول به طور کامل کاهش نمی‌یافت و مقداری اکسیژن در ساختار باقی می‌ماند. با کار کردن روی مزایا و معایب روش پوسته‌سازی فاز مایع هرناندز و همکارانش توانستند به روش جدیدی برای تولید گرافن‌های تک و چندلایه‌ای با پوسته‌سازی گرافیت خالص در متیل پیرولیدون دست یابند [۲۱]. بازده تولید گرافن‌های تک‌لایه‌ای در این فرایند ۱ درصد بود که قابلیت افزایش تا ۱۲ درصد را نیز داشت. همچنین گروه لوتیا با استفاده از یک فرایند دیگر توانستند گرافن تک و چندلایه را با انحلال پودر گرافیت در سدیم دودسیل بنزن سولفونات و با استفاده از فرایند سونیک به منظور پوسته‌سازی تولید نمایند [۲۲].

ب) روش رسوبدهی شیمیایی فاز بخار

در حالت کلی این روش به روش‌هایی اطلاق می‌شود که یک زیرلایه در معرض یک جریان فرار قرار می‌گیرد و بر اثر واکنش‌های رخ داده بین زیرلایه و جریان فرار محصول دلخواه تولید می‌گردد. این روش در تولید نانومواد کربنی بسیار کاربرد دارد. در این گونه فرایندها یک منبع هیدروکربنی (متان، ...) در دمای بالا از روی یک بستر (زیرلایه) کاتالیستی عبور می‌کند و در نتیجه این تماس منبع هیدروکربنی به هیدروژن و نانوماده کربنی تجزیه می‌گردد. شکل ۲-۱۳ نمایی از فرایند رسوبدهی شیمیایی فاز بخار را برای تولید نانومواد کربنی نمایش می‌دهد.

اولین گزارش در مورد سنتز گرافن صفحه‌ای چندلایه با استفاده از روش رسوبدهی شیمیایی فاز بخار در سال ۲۰۰۶ ارائه شد [۲۳]. در این پژوهش از یک ماده اولیه طبیعی و دوستدار محیط‌زیست، یعنی کافور برای سنتز گرافن روی فویل‌های نیکل استفاده شد. ابتدا کافور در دمای ۱۸۰°C تبخیر می‌شد و سپس در محفظه

۴- بخش تجربی

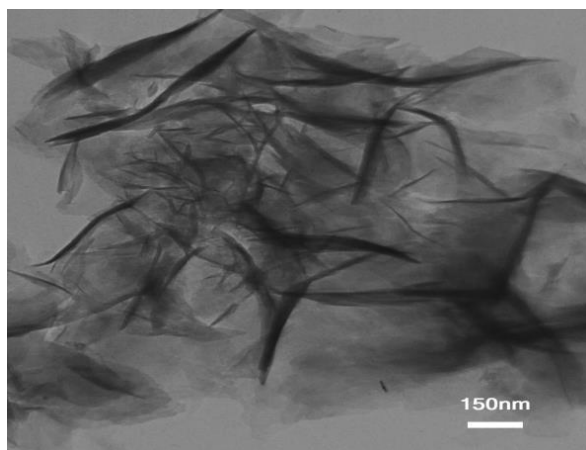
در این پژوهش در ابتدا گرافن سنتز شد و با استفاده از آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی عبوری و پراش اشعه ایکس صفحات گرافنی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با اندازه‌گیری هدایت حرارتی و ضریب انتقال حرارت جابجایی خواص حرارتی نانوسیال گرافنی بررسی گردید.

۴-۱- روش سنتز

در این تحقیق برای سنتز گرافن از روش هامرز استفاده گردیده است. ابتدا ۱ گرم گرافیت را با ۵۰ ml اسید سولفوریک مخلوط کرده و به مدت ۱۰ دقیقه توسط استیرر به هم زده شد. سپس ۶ گرم پتاسیم پرمنگنات به صورت یکنواخت به مدت ۱۰ دقیقه همراه با هم‌زدن شدید به محلول اضافه گردید. مخلوط به دست آمده به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط روی استیرر قرار داده شد تا واکنش به صورت کامل انجام شود. سپس ۱۵۰ ml آب به محلول اضافه شد و بعد از ۱۵ دقیقه، ۵۰ ml آب اکسیژنه (۱۸ %wt) به محلول اضافه گردید. بلافاصله بعد از اضافه کردن آب اکسیژنه مخلوط حاصل بایستی توسط سانتریفیوژ از یکدیگر جدا نمود و سپس توسط اسیدکلریدریک ۱۰ درصد وزنی، مواد چندین دفعه شستشو داده شود. بعد از شستشو با اسیدکلریدریک مواد حاصل چندین مرتبه با آب دیونیزه شستشو داده شد تا اسیدیته آن به حالت خنثی برسد. بعد از خنثی شدن نمونه ۵۰۰ ml آب دیونیزه به آن اضافه نموده و به مدت ۴۵ دقیقه محلول را سونیک نموده و دوباره محلول را سانتریفیوژ کرده تا قسمت پایدار از ناپایدار جدا شود، قسمت پایدار بدست آمده حاوی گرافن اکساید می باشد زیرا گرافن اکساید کاملاً در آب پایدار می‌باشد.

۴-۲- میکروسکوپ الکترونی عبوری

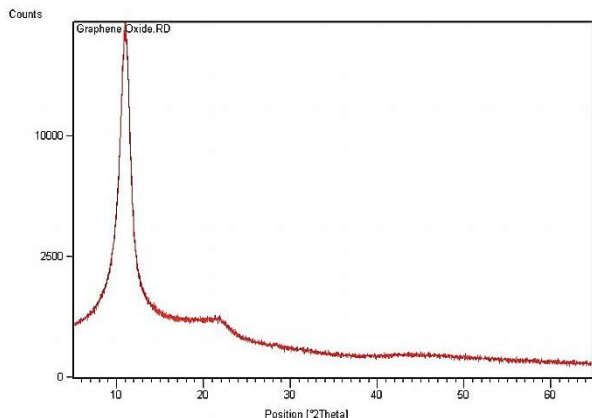
برای بررسی شکل و اندازه گرافن سنتز شده از نمونه تست میکروسکوپ الکترونی عبوری گرفته شده است، همان‌طور که در شکل ۲ قابل مشاهده می باشد صفحات گرافن به راحتی قابل مشاهده می‌باشند.



شکل ۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری برای گرافن سنتز شده

۴-۳- پراش اشعه ایکس

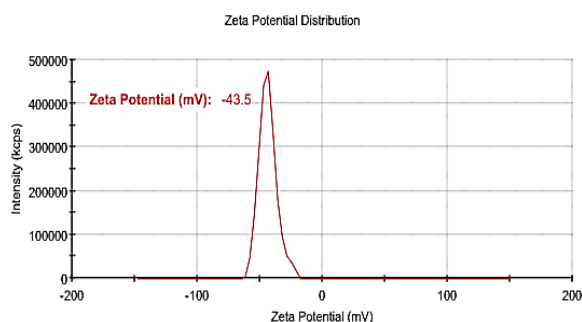
هدف از تست پراش اشعه ایکس مشخص کردن ساختار بلوری و ترکیب فاز ماده سنتز شده می باشد. شکل ۳ تصویر پراش اشعه ایکس گرفته شده از اکسید گرافن را نشان می دهد. پیک موجود در ۱۱ درجه، نشان وجود صفحات گرافنی می‌باشد.



شکل ۳: تصویر پراش اشعه ایکس برای گرافن سنتز شده

۴-۴- پایداری

با استفاده از تست زتا پتانسیل میزان پایداری گرافن اکساید سنتز شده درون سیال پایه که در اینجا آب می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به شکل ۴ میزان زتا پتانسیل برابر ۴۳٫۵- می‌باشد که این نشان دهنده میزان مناسب پایداری می‌باشد.

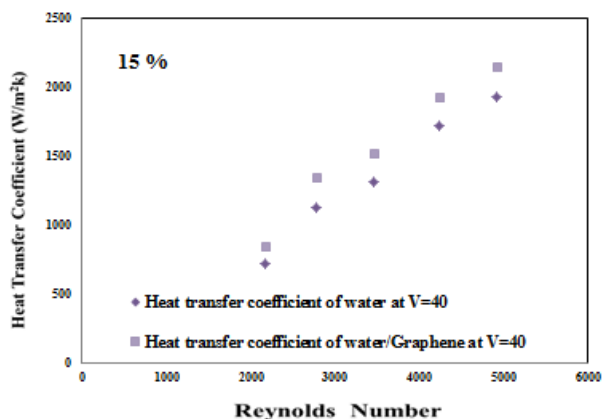


شکل ۴: نمودار زتا پتانسیل نانو سیال پایه آبی گرافن اکساید

۴-۵- اندازه‌گیری هدایت حرارتی

اندازه‌گیری هدایت حرارتی با استفاده از دستگاه KD2 انجام شد. این دستگاه از مبنای روش سیم داغ حالت ناپایدار استفاده می‌کند. دستگاه KD2 سه حسگر مختلف برای اندازه‌گیری هدایت حرارتی مواد مختلف دارد. در این تحقیق از سوزن تکی شش سانتی‌متری که بهترین حسگر برای اندازه‌گیری هدایت حرارتی مایعات است، استفاده گردید. دمای ثابت با استفاده از سیرکولاتور ایجاد شد و برای اینکه چرخش سیال سیرکولاتور سبب حرکت حسگر دستگاه نشود، از یک شیشه دوجداره استفاده شد. شکل ۵ نتایج اندازه‌گیری هدایت حرارتی نانوسیال گرافنی با غلظت‌های مختلف را نمایش می‌دهد. نتایج اندازه‌گیری نشان داد که هدایت حرارتی سیال پایه آب برابر ۰٫۵۸ وات بر متر مربع کلون می باشد، در حالی که این رقم برای نانوسیال با غلظت ۰٫۱

شکل ۷ نتایج اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت جابجایی برای سیال پایه و نانوسیال گرافنی با غلظت ۰.۱ درصد وزنی را نمایش می‌دهد.



شکل ۷: نتایج اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت جابجایی برای سیال پایه و نانوسیال

همانگونه که نتایج نشان می‌دهد در اعداد رینولدز مختلف ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیال گرافنی نسبت به سیال پایه حدود ۱۵٪ افزایش دارد.

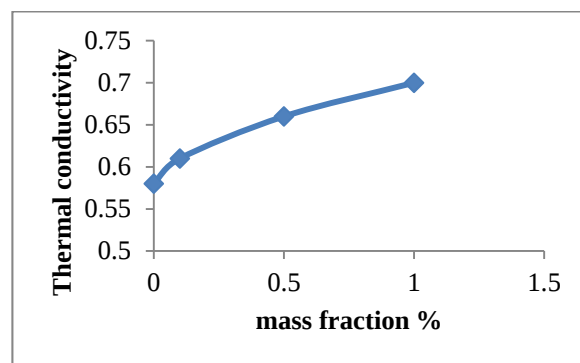
۷-۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله گرافن به‌عنوان یک نانوماده جدید معرفی شد و خواص، کاربردها و روش‌های تولید آن مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در بخش تجربی به سنتز و شناسایی گرافن به‌عنوان نانومواد جهت تهیه نانوسیالات پرداخته شد. در ادامه ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات تهیه شده مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه‌گیری شد که افزودن گرافن به سیال پایه سبب افزایش ضریب هدایت حرارتی می‌گردد. در نهایت ضریب انتقال حرارت نانوسیالات اندازه‌گیری گردید و نتیجه‌گیری گردید افزودن گرافن موجب بهبود حدود ۱۵ درصدی در ضریب انتقال حرارت جابجایی نیز می‌گردد.

۵- منابع

- [1] K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, and A. A. Firsov, Electric field effect in atomically thin carbon films, *Science*, 306(2004), 666.
- [2] R. Lotfi, Y. Saboohi, A comparative study on hydrogen interaction with defective graphene structures doped by transition metals, *Physica E*, 60(2014)104.
- [3] A. Shakerpour, Z. Mazaheri Tehrani, A. pourjavadi, Preparation of Magnetic graphene Oxide Mesoporous Silica Hybrid Nanoparticles with pH sensitive moiety as Nanocarriers for Anticancer Drug Delivery, 21th Iranian Seminar of Organic Chemistry, 2014.

درصد وزنی به ۰.۶۱ وات بر متر مربع کلون و در غلظت‌های ۰.۵ و ۱ درصد وزنی به ترتیب به ۰.۶۶ و ۰.۷ وات بر متر مربع کلون می‌رسد. لذا گرافن به دلیل دارا بودن هدایت حرارتی بالا، زمانی که به عنوان مواد افزودنی به سیال پایه اضافه می‌گردد موجب بهبود خواص حرارتی سیال می‌گردد.



شکل ۸: نتایج اندازه‌گیری هدایت حرارتی برای نانوسیال گرافنی

۴-۶- اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت جابجایی

سیستم آزمایشگاهی اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت جابجایی از یک لوله مسی، یک پمپ، یک مبادله‌کننده پوسته و لوله و یک سیرکولاتور تشکیل شده است. لوله مسی صاف به قطر داخلی ۱۱/۴۲ میلی‌متر و طول ۱ میلی‌متر به‌عنوان بخش آزمایش استفاده شده است. المنتی از جنس نیکل - کروم به دور لوله پیچیده شده و با جریان الکتریکی متناوب سطح لوله را گرم می‌کند. برای اندازه‌گیری دمای سطح لوله پنج ترموکوپل در فواصل برابر قرار داده شده‌اند و دو ترموکوپل دیگر نیز دمای ورودی و خروجی توده سیال را اندازه می‌گیرند. شکل ۶ نمایی از سیستم آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت جابجایی را نمایش می‌دهد.



شکل ۹: سیستم آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت جابجایی

- [4] G. Srinivas, Yanwu Zhu, Richard Piner, Neal Skipper, Mark Ellerby, Rod Ruoff, Synthesis of graphene-like nanosheets and their hydrogen adsorption capacity, *Carbon*, 48, (2010), 630.
- [5] J.S. Bunch, S.S. Verbridge, J.S. Alden, A.M. Zande, J.M. Parpia, H.G. Craighead, P.L. McEuen, Impermeable Atomic Membranes from Graphene Sheets, *Nano Lett* 8 (2008) 2458.
- [6] P. Lange, M. Dorn, N. Severin, D. A. Vanden Bout, J. P. Rabe, Single- and double- layer graphenes as ultrabarrriers for fluorescent polymer films, *J. Phys. Chem. C* 115 (2011) 23057.
- [7] J. Schrier, *J. Phys. Chem. Lett.* Selective molecular sieving through porous graphene, 1 (2010) 2284.
- [8] A.W. Hauser, P. Schwerdtfeger, Nanoporous Graphene Membranes for Efficient $3\text{He}/4\text{He}$ Separation, *J. Phys. Chem. Lett.* 3 (2012) 209.
- [9] H. Du, J. Li, J. Zhang, G. Su, X. Li, Y. Zhao, Separation of Hydrogen and Nitrogen Gases with Porous Graphene Membrane, *J. Phys. Chem. C* 115 (2011) 23261.
- [10] D. Jiang, V. R. Cooper, S. Dai, Porous Graphene as the Ultimate Membrane for Gas Separation, *Nano Lett.* 9 (2009) 4019.
- [11] M. Shan, Q. Xue, N. Jing, C. Ling, T. Zhang, Z. Yana, J. Zheng, Influence of chemical functionalization on the CO_2/N_2 separation performance of porous graphene membranes, *Nanoscale*, 4 (2012) 5477.
- [12] B. Lang, A LEED study of the deposition of carbon on platinum crystal surfaces, *Surface Sci.*, 53(1975), 317.
- [13] E. Rokuta, Y. Hasegawa, A. Itoh, K. Yamashita, T. Tanaka, S. Otani, and C. Oshima, Vibrational spectra of the monolayer films of hexagonal boron nitride and graphite on faceted Ni(755), *Surface Sci.*, 427(1999), 97.
- [14] W. Y. H. Xie, D. Bao, Enhanced thermal conductivities of nanofluids containing graphene oxide nanosheets, *Nanotechnology* 21 (2010) 055705.
- [15] M. Mehrali, Investigation of thermal conductivity and rheological properties of nanofluids containing graphene nanoplatelets, *Nanoscale Research Letters*, 9 (2014) 15.
- [16] X. Li, Y. Chen, S. Mo, L. Jia, X. Shao, Effect of surface modification on the stability and thermal conductivity of water-based SiO_2 -coated graphene nanofluid, *Thermochimica Acta* 595 (2014) 6.
- [17] L. M. Viculis, J. J. Mack, and R. B. Kaner, A chemical route to carbon nanoscrolls, *Science*, 299(2003), 1361.
- [18] V. Huc, N. Bendiab, N. Rosman, T. Ebbesen, C. Delacour, and V. Bouchiat, large and flat graphene flakes produced by epoxy bonding and reverse exfoliation of highly oriented pyrolytic graphite, *Nanotechnology*, 19 (2008), 455601.
- [19] S. Stankovich, R. D. Piner, X. Chen, N. Wu, S. T. Nguyen, and R. S. Ruoff, Stable aqueous dispersions of graphitic nanoplates via the reduction of exfoliated graphite oxide in the presence of poly(sodium 4-styrenesulfonate), *J. Mate. Chem.*, 16(2006), 155.
- [20] S. Stankovich, D. A. Dikin, R. D. Piner, K. A. Kohlhaas, A. Lleinhammes, Y. Jia, Y. Wu, et al., Synthesis of grapheme-based nanosheets via chemical reduction of exfoliated graphite oxide, *Carbon*, 45(2007), 1558.
- [21] Y. Hernandez, V. Nicolosi, M. Lotya, F. M. Blighe, Z. Sun, S. De, I. T. Mcgovern, et al., High-yield production of graphene by liquid-phase exfoliation of graphite, *Nature Nanotechnol.*, 3(2008), 563.
- [22] M. Lotya, Y. Hernandez, P. J. King, R. J. Smith, V. Nicolosi, L. S. Karlsson, F. M. Blighe, et al., Liquid phase production of graphene by exfoliation of graphite in surfactant/water solutions, *J. Am. Chem. Soc.*, 131(2009), 3611.
- [23] P. R. Somani, S. P. Somani, and M. Umeno, Planer nanographenes from camphor by CVD, *Chemical Physics Letters*, 430(2006), 56.
- [24] A. N. Obratsov, E. A. Obratsova, A. V. Tyurnina, and A. A. Zolotukhin, Chemical vapor deposition of thin graphite films of nanometer thickness, *Carbon*, 45 (2007), 2017.
- [25] Q. Yu, J. Lian, S. Siriponglert, H. Li, Y. P. Chen, and S. S. Pei, Graphene segregated on Ni surfaces and transferred to insulators, *Appl. Phys. Lett.*, 93 (2008), 113103.
- [26] X. Wang, H. You, F. Liu, M. Li, L. Wan, S. Li, Q. Li, et al., Large scale synthesis of few-layered graphene using CVD, *Chem. Vapor Deposition*, 15, 2009, 53.
- [27] X. Li, W. Cai, J. An, S. Kim, J. Nah, D. Yang, R. Piner, et al., Large-area synthesis of high-quality and uniform graphene films on copper foils, *Science*, 324 (2009), 1312.
- [28] W. Liu, S. Chai, A. Mohamed, U. Hashim, Synthesis and characterization of graphene and carbon



nanotubes: A review on the past and recent developments, Journal of Industrial and Engineering Chemistry 20 (2013), 1171.

[29] W. Choi, I. Lahiri, R. Seelaboyina, Y. Kang , Synthesis of graphene and its applications: a review, Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences, 35