

تولید نانوکامپوزیت متیل متاکریلات بر پایه اکسید گرافن و خواص آن

اکبر الصاق^{۱*} و امید مرادی^۲

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، دانشکده شیمی، گروه شیمی، تهران، ایران

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر قدس، گروه شیمی، تهران، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۲/۰۴/۲۸، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۲/۰۷/۰۵، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۲/۰۸/۲۸

چکیده

در این تحقیق، ساخت نانوکامپوزیت بر پایه اکسید گرافن مورد بحث و بررسی قرار گرفت. برای این منظور مطابق روش مشهور هومر-آفرمن گرافن پس از اکسید توسط اسید قوی به اکسید گرافن تبدیل و با استفاده از روش‌های FT-IR، XRD و SEM مورد بررسی و ساختار آن به عنوان بستر مناسب جهت واکنش‌های مختلف تایید شد. پس از مطالعات صورت گرفته از مونومری که در بازار ایران نسبتاً راحت در دسترس بود، یعنی متیل متاکریلات با درصد‌های مختلف جهت تهیه نانوکامپوزیت اکسید گرافن و پلیمر استفاده شد. سپس به منظور بررسی حالت بهینه در سنتز، با استفاده از روش‌های دستگاهی از قبیل FT-IR، SEM، XRD و TGA ساختار شیمیایی آنها آنالیز و مورد تایید قرار گرفت. نتایج افزایش و بهبود خواص و مقاومت حرارتی متیل متاکریلات را، در اثر افزایش درصد وزنی گرافن نشان می‌دهد. در گرافن اکسید، گروه عاملی کربوکسیل باعث ساختاری می‌گردد که به راحتی مونومرها وارد واکنش شیمیایی بشوند که این مورد نیز با استفاده از مطالعه در ساختار FT-IR شناسایی شده است. همچنین با مطالعه تصویر میکروسکوپ الکترونی روشن شد که زبری سطوح پلیمر در اثر افزودن اکسید گرافن به حداقل خود رسیده است که این عامل می‌تواند خواص مکانیکی پلیمرها را بهبود دهد. بنابراین با توجه به خواص سطحی نانوکامپوزیت مورد تحقیق و بررسی خواص فیزیکی-مکانیکی، از قبیل هدایت الکتریکی، رفتار حرارتی انتظار بر این است که خواص نانوکامپوزیت مورد مطالعه بهبود و در واکنش‌های بعدی به عنوان بستری مناسب برای سایر واکنش‌های شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد یا همچنین به عنوان یک دارو (حامل دارو)، یا کاربرد آن در محیط زیست در حذف ترکیبات سمی موجود در آب مورد بررسی و مطالعه بیشتر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: گرافن، اکسید گرافن، نانوکامپوزیت، متیل متاکریلات.

۱- مقدمه

می‌کند [۲]. نخستین نمونه گرافن توسط روش Mechanical Exfoliation (ME) تهیه شد [۳]. روش Solution-Phase مزایای بی‌نظیری در زمینه بازده و هزینه نسبت به سایر روش‌ها مانند Micro-ME [۳]، CVD [۴] و Epitaxial Growth (EG) [۵]، که بازده بسیار پایینی دارند و قابلیت استفاده در کاربردهای بالک را هم ندارند، دارا می‌باشد. استفاده از روش محلول نه تنها اجازه ساخت

اکسید گرافن، که برای اولین بار ۱۵۰ سال پیش ساخته شد [۱]، یک ماده جالب و جذابی است که اخیراً به عنوان یک کلاس جدید از مواد کربنی در مقیاس نانومتری طبقه‌بندی شده است. این ماده دارای خواص غیرمعمول و خاصی است که آنرا از سایر سیستم‌های گرافیتی مجزا

* عهده‌دار مکاتبات: اکبر الصاق

نشانی: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، دانشکده شیمی، گروه شیمی

تلفن: ۰۲۱-۲۲۲۲۲۵۱۲، دورنگار: ۰۲۱-۲۲۲۲۲۵۱۲، پست الکترونیکی: a_elsagh@iau-tnb.ac.ir

منوهیدرات، مونومر متیل متاکریلات (MMA) با بالاترین خلوص از شرکت آلدریچ تهیه و در محلول قلیایی و آب دوبار تقطیر شده قرار داده شد. برای سنتز نمونه‌ها از دستگاه اولتراسونیک مدل Plus.1440 ساخت کمپانی Soltec ایتالیا استفاده شد. تصاویر تهیه شده از نمونه‌ها توسط دستگاه SEM ساخت هلند مدل Philips XL30 انجام شد. همچنین سانتریفیوژ مدل Hettich Rotofix32 ساخت ژاپن جهت جداسازی محصولات سنتز شده از محیط واکنش و دستگاه‌های FTIR مدل Bomem.b100 ساخت کانادا، مدل GNRMPD300 ساخت ایتالیا و TGA مدل PL-STA1640 ساخت انگلستان برای شناسایی نانومواد ساخته شده بکار گرفته شد. در این تحقیق از آب بدون یون تولید شده توسط دستگاه Milli-RO15 ساخت سوئیس موجود در سازمان انرژی اتمی ایران استفاده شد.

۲-۲- تهیه نانوکامپوزیت GO/متیل متاکریلات

در این تحقیق، اکسید گرافن (Graphen Oxide: GO) به روش هوفر-آفرمن (Hummers-Offeman) [۱۳] تهیه شد. در این روش، مقدار ۱۰ گرم پودر گرافن به ۱۵۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظی که در حمام یخ قرار داشت، اضافه شد و سپس در حالیکه همزن مغناطیسی در حال چرخش می‌باشد به آن ۱۵ گرم پرمنگنات پتاسیم به تدریج اضافه شد (اجازه افزایش دما بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد داده نمی‌شود که این کار با استفاده از حمام یخ خواهد بود). بعد از اتمام افزایش مواد فوق، با استفاده از هیتر برقی، دمای محلول را به ۳۵ درجه سانتیگراد افزایش داد و به مدت ۳۰ دقیقه با استفاده از همزن برقی، محلول همگن و هموژن شد. سپس ۲۵۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده به محلول افزایش و مجدد دمای آن با استفاده از هیتر به ۹۸ درجه سانتیگراد افزایش یافت و مدت ۱۵ دقیقه محلول در این دما ماند. سپس به محلول ۷۵۰ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۲ درصد با دمای ۱۰ درجه سانتیگراد افزوده شد. همچنین مخلوط فوق به مدت ۱ ساعت داخل حمام اولتراسونیک به منظور جلوگیری از چسبیدن ذرات، قرار گرفت. حال ابتدا با استفاده از سانتریفیوژ ۱۵۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه و سپس با استفاده از میکروکاغذ صافی (میکروفیلتر از جنس

ساختارهای ورق مانند و لایه نازک را می‌دهد [۶] بلکه می‌توان براحتی اکسید گرافن را داخل زمینه پلیمری کرد که باعث ساده کردن ساخت کامپوزیت‌های پلیمری می‌شود. مرسوم‌ترین روش برای سنتز اکسید گرافیت ورقه‌ای توسط روش شیمیایی استفاده از یک یا چند اسید غلیظ در حضور اکسید کننده‌های قوی است. برای اولین بار Brodie در سال ۱۸۵۹ از این روش استفاده کرد [۷]. تقریباً ۴۰ سال بعد این روش توسط Staudenmaier [۸] اصلاح شد. چندی بعد Hummers [۹]، روشی را گزارش کرد که سمیت کمتر و بازده بالاتری داشت. این روش مبنای روش‌های مرسوم می‌باشد که امروزه استفاده می‌شود. اگر چه روش‌های شیمیایی عملاً برای بیش از یک قرن است که برای تولید اکسید گرافن استفاده می‌شود [۱۰]، اما برخی مسائل مانند اندازه کوچک اکسیدهای گرافن وجود دارد، که کاربرد آن را برای استفاده در قطعات الکترونیکی، سنسورها و کامپوزیت‌ها با مشکل مواجه می‌کند. در این راستا تحقیقاتی توسط Loh [۱۱]، Dong [۱۲] و همکارانشان انجام شده است، اما همچنان نیاز به تولید اکسید گرافن با اندازه‌های بزرگتر وجود دارد. در حقیقت، در حال حاضر، ورقه کردن اکسید گرافیت تنها راه برای تولید سوسپانسیون پایدار ورقه‌های شبه دو بعدی کربن است و نقطه شروعی برای تولید در مقیاس بالای ورقه‌های گرافنی است. از اینرو، اکسید گرافن اخیراً به عنوان پرکننده نانوکامپوزیت‌های پلیمری مورد توجه قرار گرفته است. از آنجائیکه خواص اکسید گرافن و متیل متاکریلات به تنهایی نمی‌تواند مشکلات آنها را برطرف سازد، در این تحقیق افزایش خواص فیزیکی و شیمیایی نانوکامپوزیت بر پایه این دو ماده شیمیایی دنبال می‌شود.

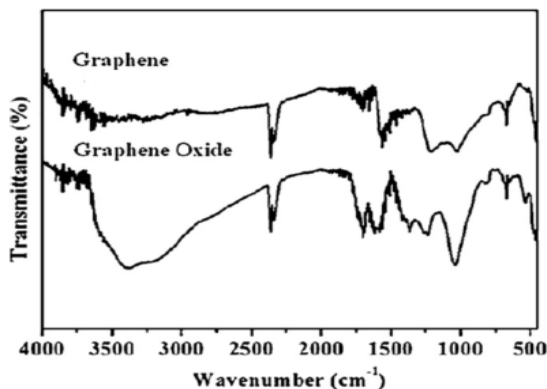
۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد و دستگاه‌ها

ماده AIBN (Azobisisobutyronitrile) به عنوان آغازگر، پرمنگنات پتاسیم به عنوان عامل اکسیداسیون، سدیم دی‌سولفیت (SDS)، اسید سولفوریک، اسید هیدروکلریک و هیدروژن پراکسید با خلوص P.a. (Pure analysis) از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. همچنین گرافن، هیدرازین

در این شکل نشان داده شده است، گرافن دارای پیکی در ناحیه 1610 cm^{-1} بوده که مربوط به ارتعاشات آروماتیک $C=C$ می‌باشد. پیک اکسید گرافن دارای چند پیک در نواحی زیر است:

1715 cm^{-1} مربوط به گروه کربونیل ($C=O$) است، پیک در محدوده 3000 cm^{-1} تا 3600 cm^{-1} مربوط به گروه الکل (OH) است، پیک 1700 cm^{-1} مربوط به گروه عاملی کربوکسیلیک ($COOH$) است و ارتعاشات بین 1000 cm^{-1} تا 1400 cm^{-1} مربوط به گروه‌های عاملی COH و COC می‌باشد که این نتایج از مراجع علمی بدست آمده است [۱۵].



شکل ۱: طیف FT-IR مربوط به گرافن و اکسید آن.

۳-۲- روش طیف‌سنجی XRD

شکل ۲ مربوط به گرافن و اکسید آن با دستگاه XRD با استفاده از منبع تابش CuK_{α} ($\lambda=1.54\text{ \AA}$) می‌باشد. گرافن دارای پیک قوی و شارپی در موقعیت $2\theta=26/5$ می‌باشد. این پیک مربوط به تفرق اتم گرافن (002) بوده که صفحه مسطح گرافن تشکیل شده در بین لایه‌های سطوح گرافن است. درباره اکسید گرافن در موقعیت $2\theta=26/5$ پیکی دیده نمی‌شود و یک پیک جدیدی در موقعیت $2\theta=11$ که بیانگر ساختار گرافن با گروه‌های حاوی اکسیژن است و به صورت موفقیت‌آمیزی بر روی سطح گرافن قرار گرفته است تشکیل شده است که در اثر واکنش اکسیداسیون قوی گرافن ایجاد شده است [۱۶]. با استفاده از معادله ۱ می‌توان ابعاد کریستال را بدست آورد [۴]:

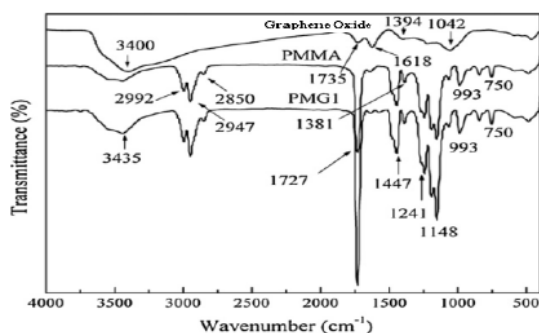
$$d(nm) = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

سلولوزی با قطر میانگین $0/2$ میکرومتر) اکسید گرافن (GO) از فاز محلول جدا گشته و با استفاده از شستشو با آب دوبار تقطیر شده بطوریکه pH آب خروجی خنثی شود، رسوب GO بر روی کاغذ صافی تهیه شد. رسوب بدست آمده پس از فیلتر شدن با استفاده از آون خلاء در 40 درجه سانتیگراد و به مدت 24 ساعت خشک شد. بعد از تهیه رسوب GO، جهت کنترل و بررسی به بخش دستگاهی ارسال شد. برای تهیه نانوکامپوزیت مقدار $0/1$ گرم اکسید گرافن را در 100 میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده در حمام اولتراسونیک به مدت 1 ساعت قرار داده تا ذرات GO به صورت یکنواخت در محلول پراکنده شود. سپس 2 گرم SDS که در 500 میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده حل شده است، به محلول GO اضافه کرده و به مدت 1 ساعت در دمای 80 درجه سانتیگراد در همزن مغناطیسی قرار داده شد. آنگاه مقدار 30 گرم مونومر خالص شده MMA و $0/1$ گرم AIBN به مخلوط اضافه کرده و مدت 30 دقیقه توسط همزن مغناطیسی همزده شد و مدت 6 ساعت رفلکس شد. سپس هیدرازین مقدار 10 گرم منوهیدرات هیدرازین اضافه شد و مدت 16 ساعت دیگر رفلکس شد. بعد از خنک شدن محصولات و رسیدن به دمای اتاق، رسوب با افزودن HCl رقیق $0/1$ مولار بدست آمد. محصولات چندین بار توسط آب دوبار تقطیر شده به منظور از بین بردن SDS شستشو داده شد و نانوکامپوزیت تهیه شده به مدت 72 ساعت در 60 درجه سانتیگراد خشک شد. به منظور شناسایی بهتر نانوکامپوزیت با مقادیر مختلف از اکسید گرافن با غلظت معین (یکی با $0/1$ گرم و دیگری با $0/2$ گرم GO که به ترتیب PMG1 و PMG2 نامیده می‌شود) تهیه و با PMMA مانند روش بیان شده وارد واکنش شد. در نهایت سطح فوق را در یک ظرف نمونه پتریدش (Petri dish) ریخته و به مدت 24 ساعت در آون قرار داده شد [۱۴].

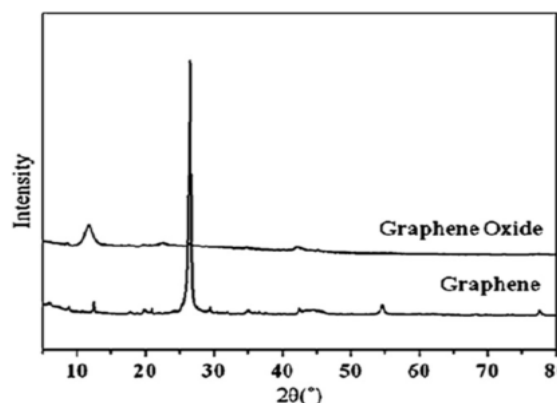
۳- نتایج و بحث

۳-۱- شناسایی سطح GO به روش FT-IR

دستگاه FT-IR استفاده شده دارای فاکتور جداسازی (Resolution) 4 cm^{-1} می‌باشد. طیف مربوط به گرافن و اکسید آن (GO) در شکل ۱ آورده شده است. همانطوریکه



شکل ۳: طیف FT-IR مربوط به GO، پلی متیل متاکریلات و نانوکامپوزیت پلی متیل متاکریلات-اکسید گرافن.



شکل ۲: تفرق اشعه ایکس برای گرافن و اکسید گرافن.

در این نانوکامپوزیت، پیک OH در 3435 cm^{-1} بصورت قوی ملاحظه می شود که مربوط به حضور گروه های هیدروکسیل در گرافن است. مشخص است که شدت فرکانس خمشی کربونیل در نانوکامپوزیت PMG1 در مقایسه با اکسید گرافن و پلی متیل متاکریلات افزایش یافته است که مربوط به برهمکنش قطبی-قطبی میان گروه عاملی متیل اکریلات ($-\text{COOCH}_3$) در پلی متیل متاکریلات و گروه عاملی کربنیل گرافن اکسید می باشد. همچنین پیک اپکسی در اکسید گرافن دیده نمی شود و علت آن هیدرازین منوهیدرات استفاده شده برای احیاء اکسید گرافن بطور کامل از سطح گرافن حذف شده است [۲۰].

۴-۳- مطالعه XRD نمونه ها

شکل ۴ طیف XRD مربوط به اکسید گرافن، پلی متیل متاکریلات، PMG1 و PMG2 می باشد. پیک حاصل از تفرق اشعه X برای پلی متیل متاکریلات، PMG1 و PMG2 شباهت زیادی باهم دارند. اکسید گرافن خالص در موقعیت $2\theta=11$ پیک بزرگ و مشخصی دارد که بیانگر تخریب ساختاری (Destruction) اکسید گرافن و تشکیل نانوکامپوزیت را دارد. اگر چه نتایج XRD همیشه نمی تواند بهبود ساختاری تک لایه را نشان دهد. هیچگونه پیک جدیدی تا زمانی که گرافن چند لایه در حضور ماتریس پلیمری قرار نگیرد، بدست نمی آید. البته اگر فضاهای خالی میان لایه ها بقدر کافی بزرگ باشد که برهمکنش با مولکول های پلیمر به راحتی صورت گیرد که می تواند منجر به جابجایی زاویه کوچکتر نسبت به محدوده XRD شود [۲۱].

در این معادله ابعاد کریستال بر حسب نانومتر، k عدد ثابت Scherrer که مقدار آن 0.91 می باشد، λ طول موج تابیده شده است که مقدار آن 0.154 نانومتر (با توجه به اینکه از تشعشع اشعه $K\alpha$ مس استفاده شده است)، β پهناي کامل در نیمه پیک ماکزیمم است. بنابراین اندازه کریستال اکسید گرافن $12/8$ نانومتر و گرافن $5/01$ نانومتر بدست می آید.

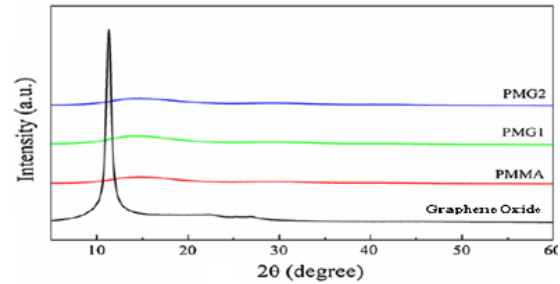
۳-۳- بررسی ساختار نانوکامپوزیت پلی متیل

متاکریلات-اکسید گرافن: مطالعه آنالیز FT-IR

شکل ۳ طیف FT-IR مربوط به اکسید گرافن، پلی متیل متاکریلات و نانوکامپوزیت پلی متیل متاکریلات-اکسید گرافن آورده شده است. پیک اکسید گرافن دارای پیک قوی 3400 cm^{-1} که مربوط به گروه عاملی OH بوده، گروه C-O که عاملدار شده و تولید گروه کربوکسیلیک نموده است (COOH) دارای پیک 1735 cm^{-1} است و پیوند COC و COH در نواحی 1394 cm^{-1} و 1042 cm^{-1} به وضوح دیده می شود [۱۷]. طیف گروه C=C در ناحیه 1618 cm^{-1} نشان می دهد که مربوط به هیبرید sp^2 گرافن است [۱۸].

پیک های واضح درباره PMMA در نواحی 2947 cm^{-1} ، 2850 cm^{-1} و 1381 cm^{-1} ملاحظه می شود که مربوط به ارتعاشات خمشی C-H در گروه ای متیلن و متیل می باشد [۱۹]. این پیک ها در اثر واکنش با گرافن تغییری نیافته است. فرکانس ارتعاشی کربونیل در ناحیه 1727 cm^{-1} دیده می شود. در نانوکامپوزیت PMG1 پلیمر متیل متاکریلات شامل کاهش اکسید گرافن یا گرافن است.

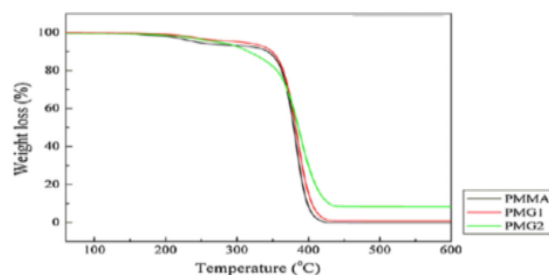
همچنین دور از انتظار نخواهد بود. بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده، موقعیت 2θ در سه ترکیب PMG1، PMG2 و PMMA یکسان است و در این شکل بر راحتی تئوری و فرضیه آن اثبات خواهد شد.



شکل ۴: طیف XRD مربوط به اکسید گرافن، پلی متااکریلات، PMG1 و PMG2.

۳-۶- مطالعه TGA و بررسی خواص الکتریکی

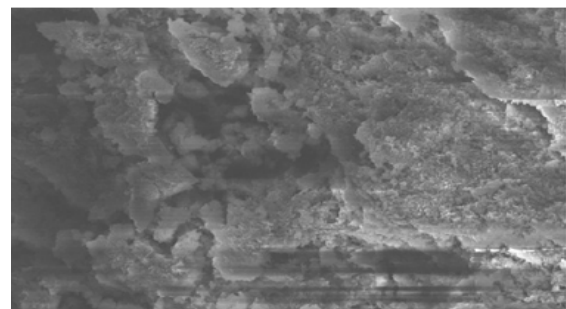
شکل ۶ تجزیه حرارتی پلی متیل متااکریلات، PMG1 و PMG2 را نشان می دهد. این شکل بیانگر مقاومت حرارتی پلیمر تهیه شده و نانو کامپوزیت های آن از اکسید گرافن با غلظت های مختلف است. اما در کل و مقایسه با سایر نانو کامپوزیت ها، می توان نتیجه گرفت که پلیمر و نانو کامپوزیت تهیه شده در این تحقیق از مقاومت بالایی برخوردار نیست که مهمترین دلیل ضعیف بودن نانو کامپوزیت تهیه شده در این تحقیق، مربوط به حضور اکسید گرافن در ماتریس پلیمر است. لایه های یکنواخت گرافن از نشر حرارتی مولکول های گاز جلوگیری می نماید و در نتیجه می تواند کاهش مقاومت حرارتی را نسبت به پلیمر منجر شود. مهمترین دلیل مقادیر زیاد گرافن می تواند به عنوان یک منبع گرما عمل نماید و در نتیجه از تجزیه حرارتی جلوگیری نماید. احیاء ناقص اکسید گرافن می تواند منجر به تجزیه گرمایی ابتدایی شده و در نتیجه کاهش وزن نانو کامپوزیت را در بر خواهد داشت. همچنین تجزیه حرارتی نهایی PMG2 افزایش یافته است (به خاطر حضور بیشتر گرافن در ماتریس پلیمری). مقدار گرافن تجزیه شده در نانو کامپوزیت PMG1 متناسب با درصد گرافن بوده اما در نانو کامپوزیت دوم PMG2 مقدار تجزیه شده بیشتر از مقدار گرافن حضور یافته در ماتریس پلیمری است که علت آن حضور بار الکتریکی گرافن در لایه های آن است که باعث تجزیه بیشتر PMMA در بستر پلیمری خواهد شد [۲۲].



شکل ۶: تجزیه حرارتی پلی متیل متااکریلات، PMG1 و PMG2.

۳-۵- مطالعه میکروسکوپ الکترونی روبشی

شکل ۵ میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو کامپوزیت پلی متیل متااکریلات- اکسید گرافن را نشان می دهد. همانطوریکه در شکل مشخص است، ماتریس پلیمری پلی متیل متااکریلات به صورت یکنواخت بر روی سطح اکسید گرافن قرار گرفته است. شکل ۵ بیانگر حضور زیری سطح است که مربوط به قرار گرفتن ماتریس PMMA بر روی سطح گرافن است که علت آن، چسبندگی قوی میان ماتریس پلیمری PMMA و سطح اکسید گرافن است. با توجه به ساختار شیمیایی PMG1 و PMG2 انتظار بر این است که محل تشکیل پیوند جدید در هر دو یکسان باشد که این تئوری با توجه به ساختار شیمیایی و طیف XRD آن که در شکل ۴ نشان داده شده است، تأیید می گردد. با توجه به ساختار اولیه اکسید گرافن موقعیت 2θ آن متفاوت از سایر ساختارهای آن خواهد بود. همچنین ساختار شیمیایی MMA موقعیت و تشکیل پیوندهای جدید هم غیر قابل انکار و هم مورد نظر است.



شکل ۵: میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو کامپوزیت پلی متیل متااکریلات- اکسید گرافن.

زیرا با توجه به تئوری و فرضیه این تحقیق موقعیت ساختاری پیوندهای جدید به راحتی قابل پیش بینی و

نانوکامپوزیت در این است که اولاً محدودده انتخاب مونومرها بسیار پایین بوده و ثانیاً در غلظت‌های بالا بویژه برای برخی دیگر از پلیمرها، نانوکامپوزیت قابلیت تشکیل را نداشته و یا مقدار آن به قدری در نانوکامپوزیت پایین بوده که قابلیت شناسایی و بررسی را ندارد. بنابراین نمی‌توان درصد پلیمر در نانوکامپوزیت را بدون منطق و دلیل علمی مورد استفاده قرار داد.

سیاسگزاری

بدینوسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از راهنمایی‌ها و مساعدت محمد ربانی در سازمان انرژی اتمی ایران و دانشکده علوم و فنون دریایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال و از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال در خصوص حمایت مالی طرح پژوهشی فوق اعلام می‌دارد.

مراجع

- [1] H. Teymourian, A. Salimi, S. Khezrian, *Biosensors and Bioelectronics*, **49**, 2013, 1.
- [2] A. Elsagh, M. Tahernejad, *Journal of Nanomaterials*, **7**, 2012, 50.
- [3] J. An, L. Zhu, N. Wang, Z. Song, Z. Yang, D. Du, H. Tang, *Chemical Engineering Journal*, **219**, 2013, 225.
- [4] K.S. Kim, *Nature*, **457**, 2009, 706.
- [5] J. Liu, L. Cui, D. Losic, *Acta Biomaterialia*, **9**, 2013, 9243.
- [6] N.V. Medhekar, *ACS Nano*, **4**, 2010, 2300.
- [7] B.C. Brodie, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, **149**, 1859, 249.
- [8] L. Staudenmaier, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, **31**, 1898, 1481.
- [9] W.S. Hummers, R.E. Offerman, *Journal of the American Chemical Society*, **80**, 1958, 1339.
- [10] A. Elsagh, *E-Journal of Chemistry*, **9**, 2012, 659.
- [11] S. Wang, *Nano-Letters*, **10**, 2009, 92.
- [12] X. Dong, *Physical Chemistry Chemical Physics*, **12**, 2010, 2164.
- [13] C. Wu, F. Li, T. Guo, *Vacuum*, **101**, 2014, 246.
- [14] T. Alizadeh, L. Hamed Soltan, *Journal of Hazardous Materials*, **284**, 2013, 401.
- [15] J.T. Robinson, F.K. Perkins, E.S. Snow, Z.Q. Wei, P.E. Sheehan, *Nano-Letters*, **8**, 2008, 3137.
- [16] S. Stankovich, D.A. Dikin, G.H.B. Dommett, K.M. Kohlhaas, E.J. Zimney, E.A. Stach, *Nature*, **442**, 2006, 282.
- [17] T. Ramanathan, A.A. Abdala, S. Stankovich, D.A. Dikin, M. Herrera-Alonso, R.D. Piner, *Nat Nanotechnol*, **6**, 2010, 327.
- [18] J. Liang, Y. Huang, L. Zhang, Y. Wang, Y.F. Ma, T. Guo, *Adv. Funct. Mater.*, **14**, 2009, 2297.
- [19] N. Liu, F. Luo, H. Wu, Y. Liu, C. Zhang, J. Chen, *Adv. Funct. Mater.*, **10**, 2008, 1518.
- [20] L.M. Matuana, C.B. Park, J.J. Balatinecz, *Polym. Eng. Sci.*, **11**, 1998, 1862.
- [21] Y. Matsuo, T. Tabata, T. Fukunaga, T. Fukutsuka, Y. Sugie, *Carbon*, **43**, 2005, 2875.

خواص هدایت الکتریکی نانوکامپوزیت‌های تهیه شده در این تحقیق در دمای اتاق اندازه‌گیری شد و مقدار آن S/m ۰/۹۹ برای PMG1 و ۰/۱۵ S/m برای PMG2 بدست آمد. هدایت الکتریکی PMMA در حالت خالص در شرایط فوق، S/m 10^{-14} بدست آمد که نزدیک به مراجع در این زمینه است [۲۳]. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حضور جزئی گرافن می‌تواند باعث افزایش خواص الکتریکی نانوکامپوزیت‌ها در بستر شبکه گردد.

۴- نتیجه‌گیری

از آنجائیکه در این پژوهش هدف تهیه نانوکامپوزیت بر پایه اکسید گرافن و پلیمر است، پس از مطالعات صورت گرفته از مونومری که در بازار ایران نسبتاً راحت در دسترس بود، یعنی متیل متاکریلات با درصد‌های مختلف جهت تهیه نانوکامپوزیت بر پایه اکسید گرافن و پلیمر استفاده شد. سپس به منظور بررسی حالت بهینه در سنتز، با استفاده از روش‌های دستگاهی از قبیل FT-IR، SEM، XRD و TGA ساختار شیمیایی آنها آنالیز و مورد تأیید قرار گرفت. ملاحظه می‌گردد که افزودن اکسید گرافن به متیل متاکریلات باعث افزایش مقاومت حرارتی این پلیمر می‌گردد. گروه عاملی کربوکسیل در اکسید گرافن، باعث ساختاری می‌گردد که براحتی مونومرها وارد واکنش شیمیایی بشوند که این مورد نیز با استفاده از مطالعه ساختار FT-IR شناسایی شده است. همچنین با مطالعه تصویر میکروسکوپ الکترونی مشاهده شد که زبری سطوح پلیمر در اثر افزودن اکسید گرافن به حداقل خود رسیده است که این عامل می‌تواند خواص مکانیکی پلیمرها را بهبود دهد. بنابراین با توجه به خواص سطحی نانوکامپوزیت مورد آزمایش و بررسی انواع خواص فیزیکی- مکانیکی آن، از قبیل هدایت الکتریکی، رفتار حرارتی و غیره انتظار بر این است که خواص نانوکامپوزیت مورد مطالعه بهبود و در واکنش‌های بعدی به عنوان یک بستر مناسب برای سایر واکنش‌های شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد یا همچنین به عنوان یک دارو (حامل دارو) یا کاربرد آن در محیط زیست در حذف ترکیبات سمی موجود در آب مورد بررسی و مطالعه بیشتر قرار گیرد. یکی از علت انتخاب مقادیر جزئی از پلیمر در تهیه

[23] J. Choi, K.J. Kim, B. Kim, H. Lee, S. Kim, *Journal Phys. Chem. C*, **113**, 2009, 9433.

[22] Y. Zhang, L. Ren, S. Wang, A. Marathe, J. Chaudhuri, G. Li, *Journal Mater. Chem.*, **21**, 2011, 5386.

