

ساخت و مشخصه‌یابی نانوکامپوزیت اکسید گرافن کاهش یافته-اکسید روی و بررسی قابلیت آن برای کاربردهای پزشکی

مرضیه حضرتی سعدآبادی^۱، علی خرسند زاک^{۲*}، مجید درودی^۳، مینا حمیدی یادگار^۱

^۱ گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، مشهد، ایران

^۲ آزمایشگاه تحقیقاتی نانو تکنولوژی، مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی اسفراین، اسفراین، ایران

^۳ مرکز تحقیقات پزشکی هسته‌ای، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۳ ویرایش نهایی: ۱۳۹۵/۱۰/۱۳ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵

چکیده

نانوکامپوزیت اکسید گرافن کاهش یافته-اکسید روی ($\text{GO/Zn(Ac)} = 0.18, 0.36, 0.72$) با استفاده از اکسید گرافن و استات روی به روش حمام شیمیایی تهیه شد. مشخصه‌یابی اپتیکی، با استفاده از آنالیزهای FTIR, DRS و مشخصه‌یابی ساختاری، توسط آنالیزهای XRD, SEM و EDS صورت گرفت. طیف DRS نانوکامپوزیت RGO-ZnO لبه جذبی را در ۳۸۶ nm نشان داد. در طیف FTIR قله جذب مربوط به پیوند ZnO و همچنین کاهش اکسید گرافن به خوبی دیده شد و همچنین قله‌های ایجاد شده در الگوی XRD تشکیل ساختار هگزاگونال ZnO را تأیید کرد. تصاویر SEM نشان داد که ذرات ZnO روی صفحات گرافن قرار گرفته‌اند. وجود روی در نانوکامپوزیت RGO-ZnO توسط قله‌های Zn در داده‌های EDS ثابت شد. در نهایت، اثر سمیت (ضد سرطانی) اکسید گرافن و سه نمونه با درصد مختلف ZnO از نانوکامپوزیت بر روی درصد حیات سلول‌های رده نوروبلاستوما (N2A) بررسی شد. نتایج نشان داد که نمونه GO و نانوکامپوزیت‌های RGO-ZnO با نسبت GO/Zn(Ac) برای ۰.۱۸ و ۰.۳۶ دارای اثرات سمیت مشابهی بر روی بقای سلول‌های N2A هستند و در غلظت‌های بالا سبب سمیت بیشتری بر روی این سلول‌ها شدند. اما در مورد نانوکامپوزیت RGO-ZnO با نسبت $\text{GO/Zn(Ac)} = 0.72$ این اثر سمیت در غلظت‌های پایین‌تر مشاهده شد.

کلیدواژگان: گرافن، اکسید گرافن، نانوکامپوزیت، اکسید روی

مقدمه

خارقالعاده، تحرک‌پذیری حامل‌های بار (در دمای اتاق $10000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)، هدایت حرارتی بسیار عالی ($5000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ و ۱۰ برابر بیشتر از مس)، شفافیت نوری بالا (تقریباً ۹۷٪)، مساحت سطحی بالا ($2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$)، مدول یانگ بسیار بالا (تقریباً ۱ TPa)، استحکام ذاتی (۱۳۰ GPa) می‌باشد [۱۳-۱۴]. [۲، ۴، ۸]. روش‌های متعددی برای ساخت گرافن ابداع

امروزه گرافن به یکی از موضوعات جدید و داغ در تحقیقات مرتبط با علوم مواد، فیزیک، شیمی و نانو تکنولوژی تبدیل شده است. گرافن یک ساختار کربنی دو بعدی به ضخامت یک اتم است که ساختاری شبیه به شبکه لانه زنبوری دارد [۵-۱]. این نانو ماده اولین بار در سال ۲۰۰۴ توسط آندره گایم و کاستیا نووسلف کشف شد [۶، ۷]. گرافن دارای خواص

* نویسنده مسئول: alikhorsandzak@gmail.com

شده است، که از میان آنها می‌توان به روش کاهش شیمیایی-حرارتی اکسید گرافن اشاره کرد.

متداول‌ترین روش تولید اکسید گرافن روش شیمیایی هامرز می‌باشد [۱۱،۱۴،۱۵]. روش کاهش اکسید گرافن برای تولید گرافن یا همان اکسید گرافن کاهش یافته به دلیل آسانی پرکاربرد می‌باشد. ترکیب و آرایش سطح اکسید گرافن (GO) یا اکسید گرافن کاهش یافته (RGO) با نانوذرات فلزی و اکسید فلزی (مانند Au، Ag، Pt، Pd، ZnO و SnO₂) و یا نانوذرات اکسیدهای نیم‌رسانا (مانند ZnO و TiO₂) باعث بهبود در عملکرد این مواد برای کاربردهایی مثل موادی با استحکام مکانیکی، سنسورهای زیستی و الکتروشیمیایی، فوتوکاتالیست‌ها، باتری‌های لیتیوم یونی و سلول‌های خورشیدی می‌شود [۱۵،۱۶].

اکسیدروی ترکیبی نیم‌رساناست که دارای ساختار ورتزیت هگزاگونال می‌باشد [۱۷،۱۸]. این ماده در میان نیم‌رساناهای دیگر دارای خواص متعدد و مفیدی از جمله: گاف نواری گسترده (۳/۳۲ eV)، پایداری شیمیایی بالا، تحرک خوب حامل‌های بار، فراوانی در پوسته زمین، سنتز ارزان و طبیعت غیر سمی می‌باشد [۱۷-۲۰]. جیانجیانگ و همکارانش، پژوهشی را در زمینه ساخت نانو کامپوزیت اکسید گرافن کاهش یافته-اکسید روی (RGO-ZnO) به منظور افزایش فعالیت فوتوکاتالیستی و ویژگی حسگر گازی انجام دادند [۲۱]. همچنین وانگ و همکارانش، فعالیت ضدباکتری نانو کامپوزیت RGO-ZnO با غلظت بالای روی را بررسی کردند [۲۲].

گرافن و نانو کامپوزیت‌های بر پایه آن، به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی که قبلاً عنوان شد به طور گسترده‌ای در سیستم دارو رسانی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند. در نتیجه بررسی مقدار سمیت (ضد سرطانی) این ترکیب در مقادیر متفاوت دارای

اهمیت می‌باشد. در این پژوهش نانو کامپوزیت RGO-ZnO به روش حمام شیمیایی و با استفاده از GO تهیه شده به روش هامرز در غلظت‌های مختلف ساخته شد. پس از بررسی خواص فیزیکی نمونه‌های ساخته شده، سمیت آنها بر روی رده سلولی نوروبلاست (N2A) مورد بررسی قرار گرفت. نوروبلاست عامل نوروبلاستوما بیماری نادری می‌باشد که در آن تومر توپری در اثر رشد سلولی آنورمال و کنترل نشده سلول‌های عصبی خاصی به نام نوروبلاست‌ها تشکیل می‌شود. در حالت عادی این سلول‌ها تبدیل به سلول‌های عصبی عادی می‌شوند ولی در نوروبلاستوما این سلول‌ها تبدیل به سلول‌های سرطانی می‌شوند.

کارهای آزمایشگاهی

مواد مورد استفاده

مواد مورد نیاز شامل: پودر گرافیت، پرمنگنات پتاسیم، اسید سولفوریک ۹۸٪، اسید فسفریک، آب اکسیژنه ۳۰٪، هیدروژن کلراید ۳۷٪، هگزامتیلن تترامین (HMTA)، استات روی دو آبه ۹۹/۵٪ (Zn(CH₃COO)₂.2H₂O) و آب مقطر می‌باشد. تمام این مواد از شرکت Merck تهیه شده‌اند.

ساخت اکسید گرافن

در این پژوهش از روش ارتقا یافته هامرز برای ساخت اکسید گرافن استفاده شد. به طور خلاصه، ابتدا یک محلول از مخلوط کردن اسید فسفریک (۱۳/۴ mL) و اسید سولفوریک (۱۲۰ mL) تهیه می‌شود. پس از مدتی هم‌خوردن محلول، پودر گرافیت (۱ gr) را به آن اضافه کرده و به مدت ۱۵ دقیقه دیگر هم زدن ادامه می‌یابد تا مخلوطی تقریباً همگن به دست آید. در پایان، پرمنگنات پتاسیم (۶ gr) به آرامی به مخلوط که در حال هم خوردن می‌باشد، اضافه می‌شود. در این

روش بررسی اثر سمیت

بررسی اثر سمیت اکسید گرافن و سه نمونه از نانوکامپوزیت‌های RGO-ZnO بر روی درصد حیات سلول‌های رده نوروبلاستوما (N2A) در شکل ۹ نشان داده شده است. پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون سلول‌های N2A با غلظت‌های مختلف ۴ ماده مورد نظر، معرف MTT (دی‌متیل تیازول - ۲ و ۵ دی‌فنیل تترازولیوم برمید) به چاهک‌ها اضافه شد و بعد از ۴ ساعت انکوباسیون مجدد، معرف به وسیله DMSO (دی‌متیل سولفوکسید) خنثی گردید و سنجش رنگ ایجاد شده به وسیله تست MTT در طول موج ۵۴۵ نانومتر مورد سنجش قرار گرفت.

نتایج و بحث

مشخصه‌یابی‌های GO و نانوکامپوزیت

RGO-ZnO

شکل ۱ طیف جذب UV-vis محلول GO را نشان می‌دهد. دو قله جذب در این طیف مشاهده می‌شود، قله‌ای که در ۲۲۸ nm ایجاد شده مربوط به گذار π^* - π از گروه آروماتیک C=C و قله دیگر در حدود ۳۰۲ nm، گذار $n-\pi^*$ از گروه C=O را نمایش می‌دهد [۲۳، ۲۴].

پاسخ نوری نانوکامپوزیت‌های تهیه‌شده با دستگاه اندازه‌گیری طیف بازتاب پخشی (DRS) بررسی شد. شکل (۲-a) و (۲-b) به ترتیب طیف بازتاب DRS نانوکامپوزیت‌های RGO-ZnO و ZnO را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که همانند طیف ZnO، همه طیف‌های ارائه شده لبه جذبی در حدود ۳۸۵ nm دارند. وجود نوسانات در این طیف‌ها بیانگر سطوح بلوری ZnO می‌باشد [۳۵]. درصد بازتاب در نمونه‌های RGO-ZnO کمتر از ZnO می‌باشد که

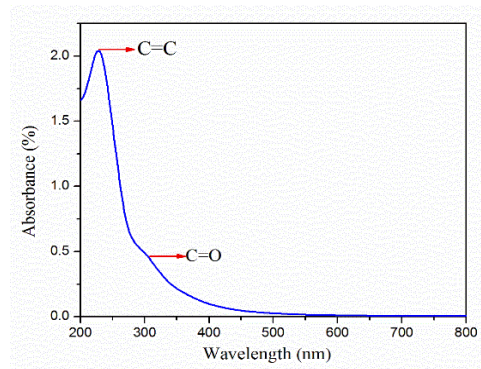
لحظه به‌آرامی رنگ محلول به سبز تیره تبدیل می‌گردد و در همین وضعیت رها می‌شود تا به‌خوبی مواد مخلوط شوند. پس از گذشت ۷۲ ساعت از هم خوردن محلول، آب اکسیژنه ۳۰٪ (۹ mL) را جهت توقف عمل اکسیداسیون به‌آرامی به ترکیب اضافه می‌گردد. در این لحظه دمای محلول به شدت افزایش یافته و برای کنترل دمای آن از مقداری یخ (۱۳۰ gr) استفاده می‌شود. پس از حدود ۳۰ دقیقه محلول یکنواخت و طلایی رنگ می‌گردد (پولک‌های طلایی رنگی به‌وجود آمد). در نهایت، محلول به دست آمده ۴ بار با محلول ۲ مولار HCl و سپس ۷ مرتبه با آب مقطر شستشو داده می‌شود. به این ترتیب اسیدهای اضافه آن با شستشو و سانتریفیوژ از محلول مورد نظر جدا می‌شود.

ساخت نانوکامپوزیت RGO-ZnO

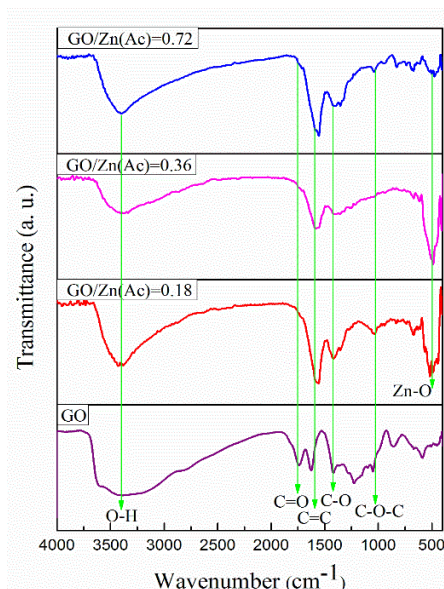
برای ساخت نانوکامپوزیت RGO-ZnO از روش حمام شیمیایی استفاده شد. بدین منظور ابتدا ۳/۷۵ mL از محلول GO (۷/۲ mg/mL) را در ۲۵ mL آب مقطر با استفاده از دستگاه آلتراسونیک حل می‌شود. پس از آن، ۱۲/۵ mL از محلول ۰/۲ مولار هگزامتیلن تترامین را به محلول GO اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق هم زده می‌شود. در ادامه، ۱۲/۵ mL از محلول ۰/۲ مولار استات روی را به محلول قبلی اضافه کرده و مجدداً به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت بالا هم زده می‌شود. محلول نهایی را به یک بالن ته گرد انتقال داده و در دمای ۹۰°C به مدت ۳ ساعت داخل حمام روغن هم‌زده می‌شود. در نهایت، محصول به دست آمده ۳ بار با آب مقطر شستشو و سانتریفیوژ می‌شود. این آزمایش با نسبت‌های متفاوت ۰/۷۲، ۰/۳۶، ۰/۱۸ = GO/Zn(Ac) انجام شد. در تمام این آزمایشات غلظت عامل کاهنده GO (HMTA) ۰/۲ مولار انتخاب شد.

به دلیل وجود صفحات تیره گرافن در کامپوزیت می‌باشد.

۱۰۵۰ و 1741 cm^{-1} را به ترتیب می‌توان به پیوندهای C-O و C=O نسبت داد [۲۷-۲۵]. این دو قله، در طیف FTIR نانو کامپوزیت‌های RGO-ZnO به شدت کاهش و تضعیف یافته‌اند که علت آن را می‌توان در کاهش پیوندهای مذکور و به دلیل کاهش اکسید گرافن دانست. در ادامه قله جذب در حدود 1625 cm^{-1} را می‌توان به پیوند C=C نسبت داد. همه این نتایج کاهش GO به rGO را نشان می‌دهد. در نهایت، قله‌های جذب، در محدوده $580 - 480\text{ cm}^{-1}$ برای نانو کامپوزیت‌های RGO-ZnO را می‌توان به ارتعاش کششی Zn-O اختصاص داد [۲۱، ۲۸-۳۰].

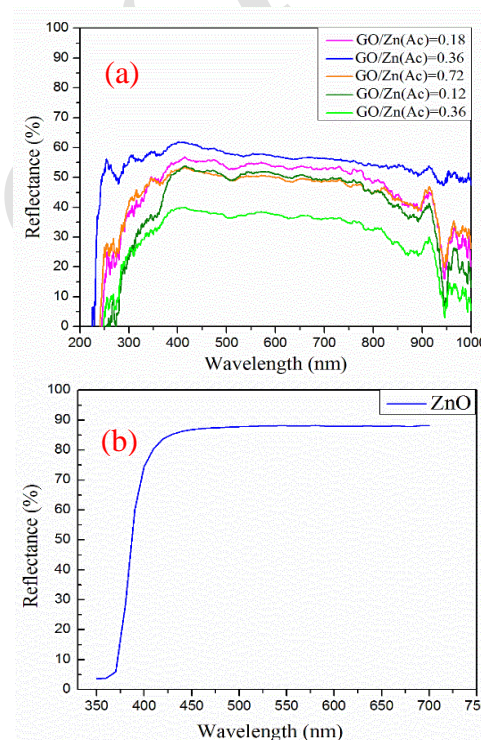


شکل ۱. طیف جذب UV-vis محلول GO.



شکل ۳. طیف FTIR اکسید گرافن و نانو کامپوزیت‌های RGO-ZnO با سه نسبت متفاوت GO/Zn(Ac).

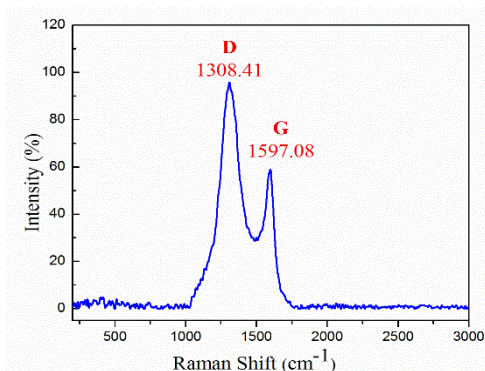
شکل ۴ الگوهای XRD گرافیت استفاده شده، GO، ZnO و نانو کامپوزیت‌های RGO-ZnO تولید شده را با سه نسبت متفاوت GO/Zn(Ac) نشان می‌دهد. قله پراش گرافیت در 26.5° مربوط به صفحات (۰۰۲) و قله پراش GO در 9.7° مربوط به صفحات (۰۰۱) می‌باشند [۳۱، ۳۲]. الگوی XRD نانو کامپوزیت‌های RGO-ZnO بیان کننده این است که همه قله‌های



شکل ۲. طیف بازتاب DRS (a) نانو کامپوزیت‌های RGO-ZnO با نسبت متفاوت GO/Zn(Ac) و (b) ZnO

طیف FTIR نمونه‌های GO و نانو کامپوزیت‌های RGO-ZnO، با سه نسبت متفاوت GO/Zn(Ac) در شکل ۳ نشان داده شده است. در طیف FTIR اکسید گرافن، جذب واقع در 3387 cm^{-1} را می‌توان به پیوند O-H اختصاص داد. قله جذب پهن در حدود cm^{-1}

طیف رامان اکسید گرافن توسط دو ویژگی اصلی مشخص می‌شود، حالت G ناشی از پراکندگی مرتبه اول فونون E_{2g} اتم‌های کربن sp^2 و حالت D ناشی از حالت تنفس فونون‌ها از تقارن A_{1g} می‌باشد. طیف رامان اکسید گرافن تهیه شده در شکل ۵ نشان داده شده است، باند ارتعاشی G در 1597.08 cm^{-1} و باند D در 1308.41 cm^{-1} مشاهده می‌شود، که باند D نشان دهنده کاهش در اندازه دامنه sp^2 در صفحات است و احتمالاً به علت اکسیداسیون، پهن شده است [۳۶]. نسبت شدت باند D (I_D) به شدت باند G (I_G) سطح اختلال گرافن را بیان می‌کند که نسبت شدت I_D/I_G برای اکسید گرافن حدود ۱/۶۶ گزارش شده است [۲۶].



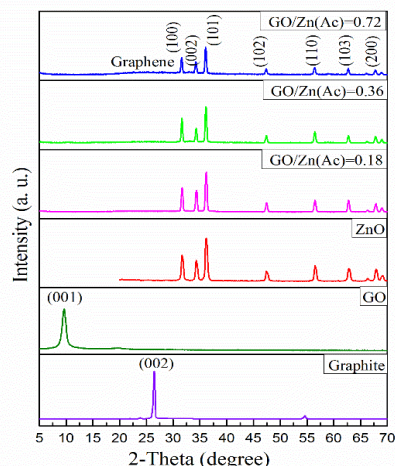
شکل ۵. طیف Raman اکسید گرافن.

شکل (۶-ا) تصویر TEM اکسید گرافن را نشان می‌دهد که بیانگر آن است که صفحات تولید شده دارای سطح وسیعی می‌باشند. این صفحات شفاف بوده و مشابه پرده ابریشمی بر روی شبکه قرار گرفته‌اند. که علت این است که دسته صفحات کربن گرافیت به صفحات GO به ورقه‌های تک لایه تبدیل شده است. تصویر میکروسکوپ الکترونی رویشی (SEM)، نیز بیانگر همین موضوع می‌باشد. شکل (۶-ب) تصویر SEM اکسید گرافن را نشان می‌دهد که مورفولوژی آن شبیه پرده نازک است و چین‌خوردگی‌های صفحات GO را در معرض نمایش

پراش با داده‌های استاندارد برای یک ساختار هگزاگونال ZnO مطابقت می‌کند.

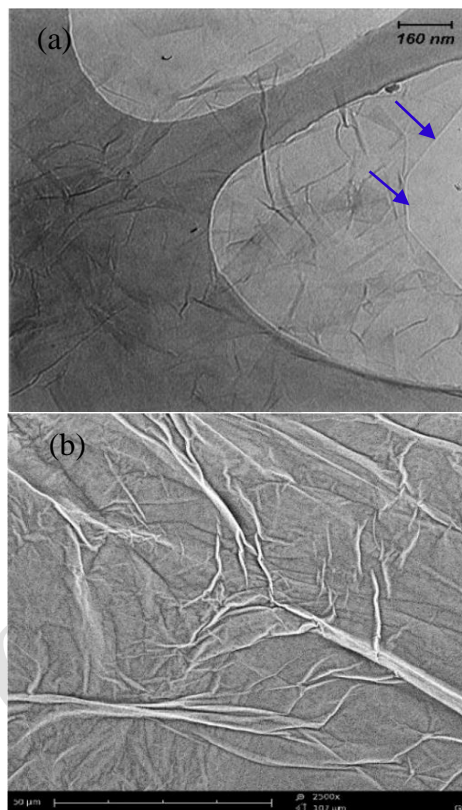
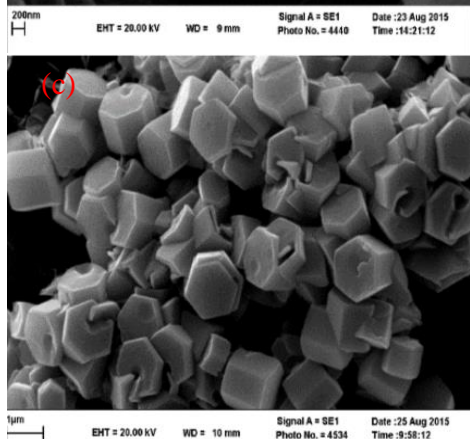
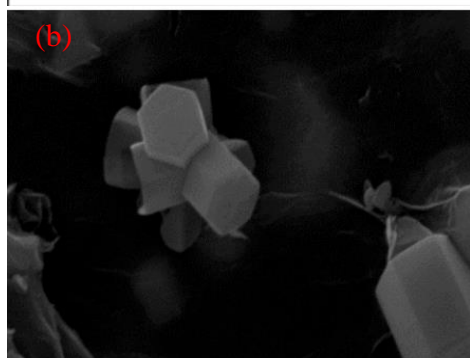
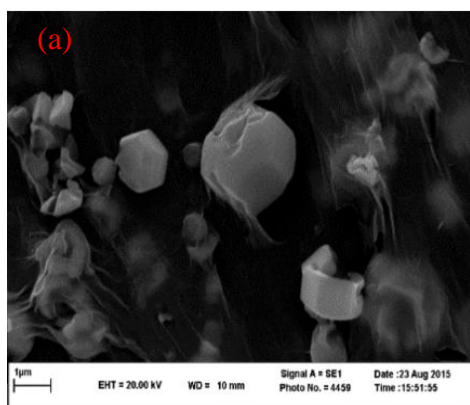
بر طبق اطلاعات پایه‌ای [۳۳،۳۴] قله‌ها در 31.7° ، 34.4° ، 36.2° ، 47.5° ، 56.5° ، 62.8° ، 66.3° ، 67.9° و 69.1° و به ترتیب به دسته صفحات (۱۰۰)، (۰۰۲)، (۱۰۱)، (۱۰۲)، (۱۱۰)، (۱۰۳)، (۲۰۰)، (۱۱۲) و (۲۰۱) اختصاص داده می‌شود و مربوط به فاز هگزاگونال ZnO می‌باشد. این نتایج نشان دهنده تشکیل نانوکامپوزیت RGO-ZnO می‌باشد.

پیک مربوط به گرافن در محدوده $20-30^\circ$ درجه واقع شده است که به علت شدت پیک‌های پراش مربوط به ZnO به سادگی قابل رؤیت نمی‌باشد و همان‌طور که مشاهده می‌شود در نمونه نانوکامپوزیت RGO-ZnO با نسبت $GO/Zn(Ac) = 0.72$ در محدوده $20-30^\circ$ درجه برجستگی‌ای ظاهر شده است که مربوط به وجود گرافن می‌باشد و نشان می‌دهد که نانوذرات ZnO روی صفحه گرافن متصل شده‌اند [۳۵]. عدم وضوح برجستگی گرافن در دو نمونه دیگر نانوکامپوزیت‌های RGO-ZnO با توجه به غلظت‌های بالاتر از پیش ماده ZnO است و لذا، اکثر سطح گرافن توسط ZnO پوشیده شده است.



شکل ۴. الگوی XRD گرافیت استفاده شده، GO، ZnO و نانوکامپوزیت‌های RGO-ZnO تولید شده با سه نسبت متفاوت GO/Zn(Ac).

قرار داده است و در توافق با نتایج تصویر برداری TEM می‌باشد.



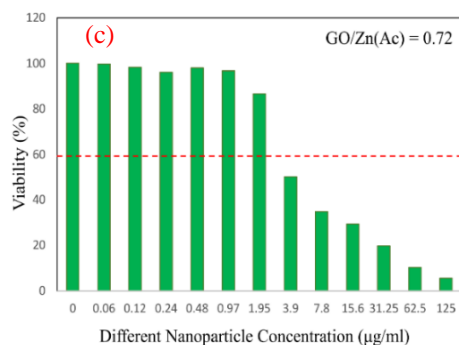
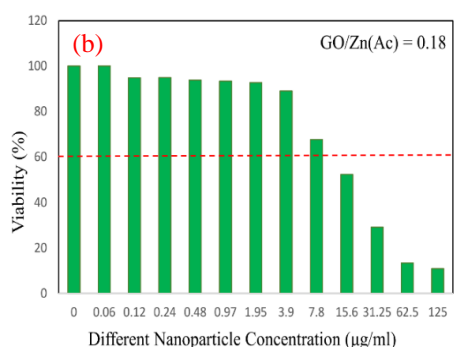
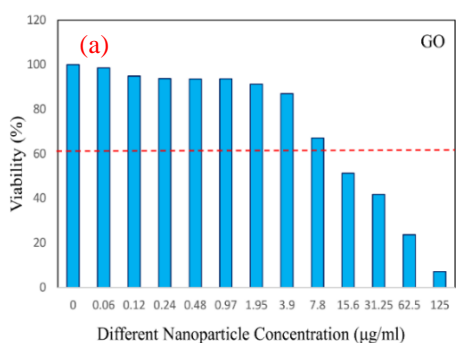
شکل ۶. (a) تصویر TEM اکسید گرافن و (b) تصویر SEM اکسید گرافن. نوک پیکان لبه صفحات GO را نشان می‌دهد.

تصاویر SEM از نانوکامپوزیت‌های RGO-ZnO ساختار هگزاگونال استوانه‌ای شکل ZnO را نشان می‌دهد. در شکل (V-a) و (V-b) به علت غلظت پایین پیش ماده ZnO به وضوح مشاهده می‌گردد که ذرات ZnO روی صفحات گرافن قرار گرفته‌اند. اما در شکل (V-c) غلظت پیش ماده ZnO بالاست و صفحات گرافن را کاملاً پوشانده است.

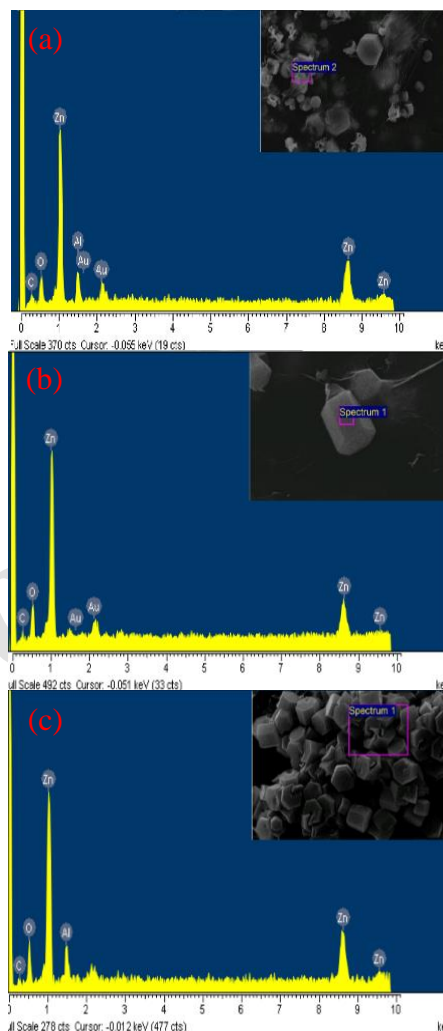
شکل ۷. تصاویر SEM نانوکامپوزیت RGO-ZnO با نسبت‌های GO/Zn(Ac) (a) ۰٫۷۲ (b) ۰٫۳۶ و (c) ۰٫۱۸.

آنالیز EDS جهت تشخیص ترکیب عناصر موجود در نمونه استفاده می‌شود. طیف انرژی پراکنده (EDS) برای سه نمونه از نانوکامپوزیت‌های RGO-ZnO با نسبت غلظت‌های متفاوت در شکل‌های زیر نشان داده شده است. وجود روی و کربن در نانوکامپوزیت‌ها به ترتیب توسط قله‌های Zn و C در داده‌های EDS شکل‌های زیر ثابت شده است. نمایش عنصر Au را

بالا (بالاتر از $15.6 \mu\text{g/mL}$) سبب سمیت بیشتری بر روی این سلول‌ها شدند. اما در مورد نانوکامپوزیت RGO-ZnO با نسبت $\text{GO/Zn(Ac)} = 0.72$ این اثر سمیت در غلظت‌های پایین‌تر ($3.9 \mu\text{g/mL}$) مشاهده شد.



می‌توان به پوشش طلائی که برای انجام SEM و EDS استفاده می‌شود، اختصاص داد.



شکل ۸ طیف EDS و تصاویر SEM نانوکامپوزیت RGO-ZnO با بزرگ‌نمایی متفاوت و با نسبت‌های (a) $\text{GO/Zn(Ac)} = 0.72$ ، (b) 0.36 و (c) 0.18

نتایج تست سمیت

نتایج حاصل از این نمودارها نشان داد که GO و نانوکامپوزیت‌های RGO-ZnO با نسبت‌های 0.18 و 0.36 دارای اثرات سمیت مشابهی بر روی بقای سلول‌های N2A می‌باشند، به عبارت دیگر این ۳ نمونه پاسخ وابسته به دوزی را نشان دادند که در غلظت‌های

and few-layered pristine graphene, *Journal of Materials Chemistry A* 1 (2013) 10592.

[3] G. Liu, W. Jin, N. Xu, Graphene-based membranes, *Chemical Society reviews*, 44 (2015) 5016-5030.

[4] Y. Wang, Z. Li, J. Wang, J. Li, Y. Lin, Graphene and graphene oxide: biofunctionalization and applications in biotechnology, *Trends in biotechnology*, 29 (2011) 205-212.

[5] س.س. توسلمند، م. هاشمی، طراحی فرامواد گرافینی با قابلیت تنظیم خواص اپتیکی، پژوهش سیستم‌های بس‌ذره‌ای، ۶ (۲۰۱۶) ۱۲۷-۱۳۴.

[6] R. Heyrovská, Atomic structures of graphene, benzene and methane with bond lengths as sums of the single, double and resonance bond radii of carbon, *arXiv preprint arXiv 0804.4086* (2008).

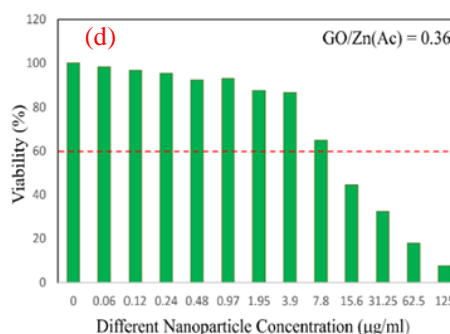
[7] K.S. Novoselov, A.K. Geim, S. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S.a. Dubonos, I. Grigorieva, A. Firsov, Electric field effect in atomically thin carbon films, *Science* 306 (2004) 666-669.

[8] C.K. Chua, M. Pumera, Chemical reduction of graphene oxide: a synthetic chemistry viewpoint, *Chemical Society reviews* 43 (2014) 291-312.

[9] W. Jie, J. Hao, Graphene-based hybrid structures combined with functional materials of ferroelectrics and semiconductors, *Nanoscale* 6 (2014) 6346-6362.

[10] K.S. Mali, J. Greenwood, J. Adisojoso, R. Phillipson, S. De Feyter, Nanostructuring graphene for controlled and reproducible functionalization, *Nanoscale* 7 (2015) 1566-1585.

[11] J. Wei, T. Vo, F. Inam, Epoxy/graphene nanocomposites – processing and properties: a review, *RSC Adv.* 5 (2015) 73510-73524.



شکل ۹. بررسی اثر سمیت (a) اکسید گرافن و نانوکامپوزیت RGO-ZnO با نسبت‌های متفاوت (b) GO/Zn(Ac) ۰٫۱۸، (c) ۰٫۳۶ و (d) ۰٫۷۲ بر روی درصد حیات سلول‌های رده نوروبلاستوما (N2A).

با توجه به درصد حیات محاسبه شده برای هر نمونه در هر غلظت، می‌توان دریافت که نانوکامپوزیت RGO-ZnO با نسبت $GO/Zn(Ac) = 0.72$ دارای بیشترین اثر سمیت است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق GO و RGO-ZnO با درصدهای مختلف ZnO ساخته شد. نتایج مشخصه‌یابی‌های اپتیکی و ساختاری به‌دست آمدن نمونه‌هایی با کیفیت و ساختار مناسب را تأیید نمود. در نهایت تست سمیت بر روی نمونه‌های خالص و ناخالص انجام شد که نتایج به‌دست آمده نشان داد که سمیت نمونه‌های GO با افزودن مقدار ZnO افزایش می‌یابد که می‌توان از آنها در درمان تومورهای سرطانی استفاده کرد.

مرجع‌ها

- [1] W. Choi, J.-w. Lee, *Graphene: synthesis and applications*, CRC Press (2011).
- [2] W. Du, X. Jiang, L. Zhu, From graphite to graphene: direct liquid-phase exfoliation of graphite to produce single-

- properties, *RSC Advances* 4 (2014) 60253-60259.
- [22] Y.W. Wang, A. Cao, Y. Jiang, X. Zhang, J.H. Liu, Y. Liu, H. Wang, Superior antibacterial activity of zinc oxide/graphene oxide composites originating from high zinc concentration localized around bacteria, *ACS applied materials & interfaces* 6 (2014) 2791-2798.
- [23] G. Eda, Y.Y. Lin, C. Mattevi, H. Yamaguchi, H.A. Chen, I.S. Chen, C.W. Chen, M. Chhowalla, Blue photoluminescence from chemically derived graphene oxide, *Advanced materials* 22 (2010) 505-509.
- [24] S.K. Singh, M.K. Singh, P.P. Kulkarni, V.K. Sonkar, J.J. Gracio, D. Dash, Amine-modified graphene: thrombo-protective safer alternative to graphene oxide for biomedical applications, *ACS nano* 6 (2012) 2731-2740.
- [25] C. Bosch-Navarro, E. Coronado, C. Marti-Gastaldo, J.F. Sanchez-Royo, M.G. Gomez, Influence of the pH on the synthesis of reduced graphene oxide under hydrothermal conditions, *Nanoscale* 4 (2012) 3977-3982.
- [26] C. Gao, X.Y. Yu, R.X. Xu, J.H. Liu, X.J. Huang, ALOOH-reduced graphene oxide nanocomposites: one-pot hydrothermal synthesis and their enhanced electrochemical activity for heavy metal ions, *ACS applied materials & interfaces* 4 (2012) 4672-4682.
- [27] C. Nethravathi, M. Rajamathi, Chemically modified graphene sheets produced by the solvothermal reduction of colloidal dispersions of graphite oxide, *Carbon* 46 (2008) 1994-1988.
- [28] Y. Feng, N. Feng, Y. Wei, G. Zhang, An in situ gelatin-assisted hydrothermal synthesis of ZnO-reduced graphene oxide composites with enhanced photocatalytic performance under ultraviolet and visible light, *RSC Advances*, 4, (2014) 7933-7943.
- [12] E.L. Wolf, Applications of Graphene: An Overview, *Springer* (2014).
- [13] G. Zhao, T. Wen, C. Chen, X. Wang, Synthesis of graphene-based nanomaterials and their application in energy-related and environmental-related areas, *RSC Advances* 2 (2012) 9286.
- [14] V. Skákalová, A.B. Kaiser, Graphene: properties, preparation, characterisation and devices, *Elsevier* (2014).
- [15] X. Zhou, T. Shi, H. Zhou, Hydrothermal preparation of ZnO-reduced graphene oxide hybrid with high performance in photocatalytic degradation, *Applied Surface Science* 258 (2012) 6204-6211.
- [16] J. Zhao, L. Liu, F. Li, Graphene oxide: Physics and applications, *Springer* (2015).
- [17] B. Bhushan, D. Luo, S.R. Schrickler, W. Sigmund, S. Zauscher, Handbook of nanomaterials properties, *Springer Science & Business Media* (2014).
- [18] R. Sharma, F. Alam, A.K. Sharma, V. Dutta, S.K. Dhawan, ZnO anchored graphene hydrophobic nanocomposite-based bulk heterojunction solar cells showing enhanced short-circuit current, *Journal of Materials Chemistry C* 2 (2014) 8142-8151.
- [19] Z.C. Feng, Handbook of Zinc Oxide and Related Materials: Volume Two, Devices and Nano-Engineering, *CRC Press* (2012).
- [20] M.K. Kavitha, S.C. Pillai, P. Gopinath, H. John, Hydrothermal synthesis of ZnO decorated reduced graphene oxide: Understanding the mechanism of photocatalysis, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 3 (2015) 1194-1199.
- [21] J. He, C. Niu, C. Yang, J. Wang, X. Su, Reduced graphene oxide anchored with zinc oxide nanoparticles with enhanced photocatalytic activity and gas sensing

[29] X. Li, Q. Wang, Y. Zhao, W. Wu, J. Chen, H. Meng, Green synthesis and photocatalytic performances for ZnO-reduced graphene oxide nanocomposites, *Journal of colloid and interface science*, 411 (2013) 69-75.

[30] M. Nasrollahzadeh, B. Jaleh, A. Jabbari, Synthesis, characterization and catalytic activity of graphene oxide/ZnO nanocomposites, *RSC Advance* 4 (2014) 36713.

[31] K. Babitha, J.J. Matilda, A.P. Mohamed, S. Ananthakumar, Catalytically engineered reduced graphene oxide/ZnO hybrid nanocomposites for the adsorption, photoactivity and selective oil pick-up from aqueous media, *RSC Advances* 5 (2015) 50223-50233.

[32] F. Ban, S.R. Majid, N.M. Huang, H.N. Lim, Graphene oxide and its electrochemical performance, *International Journal of Electrochemical Science* 7 (2012) 4345-4351.

[33] M.K. Kavitha, H. John, P. Gopinath, R. Philip, Synthesis of reduced graphene oxide-ZnO hybrid with enhanced optical limiting properties, *Journal of Materials Chemistry C* 1 (2013) 3669.

[34] F. Wu, Y. Xia, Y. Wang, M. Wang, Two-step reduction of self-assembled three-dimensional (3D) reduced graphene oxide (RGO)/zinc oxide (ZnO) nanocomposites for electromagnetic absorption, *Journal of Materials Chemistry A* 2 (2014) 20307-20315.

[35] S. Gayathri, P. Jayabal, M. Kottaisamy, V. Ramakrishnan, Synthesis of ZnO decorated graphene nanocomposite for enhanced photocatalytic properties, *Journal of Applied Physics*, 115 (2014) 173504.

[36] Z.-J. Fan, W. Kai, J. Yan, T. Wei, L.-J. Zhi, J. Feng, Y.-m. Ren, L.-P. Song, F. Wei, Facile synthesis of graphene nanosheets via Fe reduction of exfoliated graphite oxide, *ACS nano* 5 (2010) 191-198.

Synthesis and characterization of rGO-ZnO nanocomposites and investigating their potential for medical applications

Marzie Hazrati Saedabadi ¹, Ali Khorsand Zak ^{2,*}, Majid Darroudi ³, Mina Hamidi Yadegar¹

¹Physics Department, Paiam-e-Noor University, Mashhad, Iran

²Nanotechnology Laboratory, Esfarayen University of Technology, North Khorasan, Iran

³Department of Modern Sciences and Technologies, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Received: 02.06.2016

Final revised: 02.01.2017

Accepted: 13.02.2017

Abstract

Reduced graphene oxide-ZnO (72/0, 36/0, 18/0= GO/Zn(Ac)) was synthesized using GO and Zn(Ac) by a chemical bath route. The optical properties were performed by FTIR and DRS spectroscopies and the structural properties by XRD, SEM and EDS observations. The DRS spectra of rGO-ZnO show an absorption edge at about 389 nm. The vibration modes related to ZnO bonds and also reduction of GO were observed by FTIR spectra. The XRD, EDS and SEM results showed that ZnO was formed in a hexagonal structure on the rGO surfaces. The toxicity of the prepared samples was studied on (N2A) cellulose. It was shown that GO and rGO-ZnO with 0.18 and 0.36 GO/Zn(Ac) ratio have similar toxicity behaviors in higher concentration compared to the 0.72 which shows toxicity in lower concentrations.

Keywords: Graphene, Graphene oxide, Nanocomposite, Zinc oxide.

* Corresponding Author: alikhorsandzak@gmail.com