JARC

علمی-پژوهشی

بررسی اثر نانوگرافن و نانوگرافن اکسید بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نانوچندسازه لاستیک طبیعی

باقر محمدی[1و*] و فهیمه نوری[2]

۱. استادیار شیمی آلی گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، ص.پ. ۱۹۳۹۵-۴۶۹۷، تهران، ایران.

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، ص.پ. ۱۹۳۹۵-۴۶۹۷، تهران، ایران.

دریافت: بهمن ۱۴۰۰ بازنگری: اردیبهشت ۱۴۰۱ پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

10.30495/JACR.2022.1951246.2016 20.1001.1.17359937.1401.16.2.4.8

چکیده

دراین پژوهش نانوچندسازه‌های لاستیک طبیعی (لاتکس) با افزودن نانوذره‌های گرافن اکسید کاهش‌یافته و گرافن اکسید به لاتکس، تهیه شدند. سپس برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این نانوچندسازه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این ویژگی‌ها شامل استحکام کششی در نقطه پیک، استحکام کششی در نقطه پاره‌شدن، درصد کشش، یکنواختی سطح و شارش‌سنجی پخت هستند. نتیجه‌های آزمایش‌ها برای این نانوچندسازه‌ها با نمونه لاستیک طبیعی مورد مقایسه قرار گرفت. نتیجه بررسی‌ها نشان دادند که نانوچندسازه حاوی گرافن اکسید از نظر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بسیار مطلوب‌تر از نانوچندسازه حاوی گرافن اکسید کاهش‌یافته است و هر دوی این نانوچندسازه‌ها از نظر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نتیجه‌های بهتری نسبت به لاستیک طبیعی دارند. تصویرهای FESEM نشان دادند که در نمونه‌های حاوی نانوگرافن، سطح نانوچندسازه از یکنواختی و پیوستگی بهتری نسبت به لاتکس اولیه برخوردار بودند. این پیوستگی سطح در مورد نانوچندسازه‌های حاوی نانوگرافن اکسید به مراتب بهتر و مطلوب‌تر بود.

واژه‌های کلیدی: لاستیک طبیعی (لاتکس)، نانوذره‌های گرافن اکسید، گرافن اکسید کاهش‌یافته، نانوچندسازه

مقدمه

لاستیک طبیعی یا کائوچو، بسپاری است که از واحدهای تکرارشونده ایزوپرن تشکیل یافته است و مولکول‌های آن بر اثر کشش در یک راستا قرار می‌گیرند و پس از رهاشدن تنش، مثل یک فنر به شکل کلافی خود بر می‌گردند. لاستیک طبیعی دارای ۶ تا ۸ درصد مواد غیر پلاستیکی است و در برابر گرما مقاومت کمتری دارد. برای بهبود کیفیت لاستیک، پیش از به‌کارگیری آن نیاز به انجام یک سری عملیات آماده‌سازی است. به همین دلیل انواع افزودنی‌های لازم به لاستیک افزوده می‌شود. برخی از این افزودنی‌ها شامل دوده (به‌عنوان پرکن)، گوگرد یا ترکیب‌های گوگردی، تسریع‌کننده‌ها، روغن، پاداکسنده‌ها و محافظ‌ها هستند [۱ و ۲]. لاستیک طبیعی و تهیه‌شده کاربردهای بسیار زیادی در صنایع و زندگی دارد. از مهم‌ترین آن‌ها به‌کارگیری در تهیه دستکش‌های پزشکی و انواع لوله‌ها، تایر اتومبیل،

* عهده‌دار مکاتبات: bagher.mohammadi@pnu.ac.ir

کامیون و هواپیما، کفش، تسمه و نوارهای نقاله، روکش کابل‌ها و سیم‌ها و بسیاری از وسایل لاستیکی است. همچنین، از این ماده ارزشمند در صنایع پالایش، شیمیایی، رنگ‌سازی، چرم مصنوعی، پوشش نخ و پارچه، نوارهای لاستیکی، پوشش مخازن و لوله‌ها، لاستیک‌های ضربه‌گیر و صداگیر، ساخت قطعه‌های مکانیکی، واشرها و غیره استفاده می‌شود. لاستیک طبیعی یا تهیه‌شده به‌طور معمول به تنهایی قابل استفاده نیست و باید ویژگی‌های نرمینگی، کشسانی، چقرمگی، سختی یا نرمی، مقاومت سایشی، نفوذ ناپذیری و دیگر ویژگی‌های آن بهینه شوند تا بهتر مورد استفاده قرار بگیرند. با توجه به اینکه لاستیک ماده‌ای بسیار چقرمه است، برای تغییر و بهبود ویژگی آن به ماشین آلات سنگین نیاز است [۳]. برای افزایش سرعت ولکانش لاستیک و کاهش زمان از چند ساعت به چند دقیقه، از مواد تسریع‌کننده دارای نیتروژن و گوگرد استفاده می‌شود. مواد پاداکسنده آمینی یا فنلی از دیگر افزودنی‌هایی هستند که برای محافظت از لاستیک در برابر اکسایش توسط اکسیژن و اوزون به‌کار می‌روند. این ترکیب‌ها می‌توانند از پیشرفت واکنش‌های زنجیری رادیکالی جلوگیری کنند و یا آن‌ها را متوقف سازند [۴ و ۵]. نانوگرافن ماده‌ای بسیار پر کاربرد است و ویژگی‌های بی‌همتایی دارد. این ماده در دهه‌های اخیر شناسایی‌شده و در صنایع متفاوت کاربرد دارد [۶]. گرافن تک لایه‌ای به‌صورت صفحه‌ای شکل با اتم‌های کربن متصل بهم به‌صورت شش ضلعی با هیبریداسیون SP^2 است. ضخامت صفحه‌های گرافن به‌تقریب ۱ نانومتر است. از ویژگی‌های نانوگرافن می‌توان به بالابودن رسانندگی الکتریکی و گرمایی [۷]، زیاد بودن نسبت سطح به واحد جرم (۲۶۳۰ مترمربع بر گرم) [۸] و ویژگی‌های متفاوتی که در نانوچندسازه‌ها ایجاد می‌کنند اشاره کرد. این ماده به‌عنوان یکی از بهترین نانوذره‌های پرکننده بسپارها به حساب می‌آید. گرافن اکسید به‌طورمعمول از گرافیت تهیه می‌شود. گرافیت می‌تواند به روش گرمایی و یا شیمی تر اکسیدشده و گرافن اکسید را به‌وجود آورد. روش هامرز–آفمن[1] یکی از روش‌های مرسوم برای تهیه گرافن اکسید است که توسط هامرز[2] و همکاران ابداع شد [۹]. لایه‌های گرافن اکسید دارای گروه‌های عاملی اپوکسید، هیدروکسیل، کربوکسیل، کتون و همچنین، حلقه‌های لاکتونی شش عضوی هستند [۱۰ تا ۱۲]. گرافن اکسید تهیه شده می‌تواند در اثر کاهش، به گرافن اکسید کاهش‌یافته تبدیل شود [۱۳]. ژانگ[3] و همکارانش از نانوذره‌های گرافن اکسید و گرافن اکسید کاهش‌یافته توانستند نانوچندسازه‌های گرافن و گرافن اکسیدی لاستیک طبیعی را به‌دست آورند. آن‌ها با امواج فراصوت توانستند نانوذره‌های گرافن یا گرافن اکسید را در آب پخش کنند و با افزودن آن به لاستیک طبیعی موفق به تهیه نانوچندسازه-های گرافن و گرافن اکسیدی لاستیک طبیعی شوند [۱۴].

برای بهبود ویژگی‌های انواع لاستیک در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی انجام شده است. پژوهش‌های هایلان کانگ[4] و همکارانش در سال ۲۰۱۶ نشان داد که افزایش نانوگرافن به لاستیک طبیعی موجب افزایش استحکام کششی و افزایش ازدیاد طول در نقطه انقطاع شد [۱۵]. افزایش گرافن اکسید به لاستیک استایرن- بوتادی ان موجب افزایش استحکام کششی و همچنین، موجب افزایش مقاومت در برابر پارگی می‌شود [۱۶]. پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۷ نشان داد که افزایش نانوگرافن اکسید به لاستیک نیتریل- بوتادین موجب بهبود ویژگی مکانیکی آن شد [۱۷].

هدف از این پژوهش، افزایش کارایی و بهبود ویژگی لاستیک طبیعی است. با افزودن نانوذره‌های گرافن اکسید و گرافن اکسید کاهش‌یافته به ترکیب لاستیک طبیعی (لاتکس) برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این گروه از نانوچند سازه‌ها از قبیل استحکام کششی در

1. Hummers–Offemann 2. Humers 3. Zhang 4. Hailan Kang

نقطه پیک، استحکام کششی در نقطه پاره‌شدن، درصد کشش، یکنواختی سطح و رئومتری پخت مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه‌های به‌دست آمده از این پژوهش می‌تواند تاثیر قابل‌توجهی در صنایع متفاوت مرتبط با لاستیک از جمله صنایع تولید انواع دستکش، وسایل ورزشی، تایر اتومبیل، تسمه و نوارهای نقاله ایجاد کند.

بخش تجربی

مواد و دستگاه‌ها

لاستیک طبیعی (لاتکس) استفاده‌شده در این پژوهش از شرکت تایلندی .Thai Rubber Latex Co خریداری شد و درصد مواد جامد آن ۶۱٫۶۸ است. مواد شیمیایی دیگر مانند گوگرد، پتاسیم هیدروکسید، پتاسیم لائورات، روی اکسید، دی‌اتیل‌دی‌تیوکاربامات و پلی‌وینیل‌پیرولیدون (PVP[1]) با درصد خلوص بالا از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. دستگاه‌های به‌کاررفته در این پژوهش شامل دستگاه شارش‌سنج کامپیوتری MDR ساخت کمپانی Gotech تایوان مدل GT-M3000، دستگاه یونیورسال STM-50 و دستگاه میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی FESEM با مدل MIRA3TESCAN-XMU بودند.

روش تهیه نمونه

در ابتدا مخلوط مناسبی از مواد لازم حاوی لاستیک طبیعی (لاتکس)، پتاسیم هیدروکسید، پتاسیم لائورات، روی اکسید، دی‌اتیل‌دی‌تیو کاربامات، گوگرد و آب مقطر آماده شد. و سپس نانوگرافن و نانوگرافن اکسید به‌طورجداگانه در ۱۰ نمونه با درصدهای۰٫۰، ۰٫۱، ۰٫۲، ۰٫۳، ۰٫۴، ۰٫۵ تا ۱ درصد با لاتکس اولیه تهیه شدند. برای توزیع بهتر نانوگرافن اکسید به نمونه‌های ۷ تا ۱۲ مقدار ۰٫۱ درصد ماده پلی‌وینیل-پیرولیدون (PVP) افزوده شد. نمونه‌های شماره ۱ و ۷ به‌عنوان نمونه شاهد درنظرگرفته شدند (جدول ۱). سپس قالب‌های نمونه‌ها آماده‌شده و به‌مدت ۲۰ ثانیه به‌طور ثابت نگه داشته شدند. سپس قالب‌ها در داخل آون با دمای C° ۱۰۰ به مدت ۵ دقیقه قرارداده شدند تا لایه لاتکس به حالت ژله‌ای در آید (شکل ۱). برای بار دوم قالب‌ها در داخل مخلوط‌های ساخته‌شده به‌مدت ۲۰ ثانیه غوطه‌ور شدند. قالب‌ها پس از تکمیل مراحل در داخل آون با دمای C° ۱۰۰ به مدت ۴۵ دقیقه قرارداده شدند. سپس این نمونه‌ها در داخل دستگاه خشک‌کن به مدت ۳۰ دقیقه در دمای C°۶۰ قرارگرفتند تا خشک شوند.

جدول ۱ ویژگی‌های نمونه‌های متفاوت آماده‌شده از لاستیک طبیعی (لاتکس)

نمونه	مواد پرکننده و افزودنی (گرم)	گرافن (٪)	گرافن اکسید (٪)	PVP (٪)
۱	۱۶۷	–	–	–
۲	۱۶۷	۰٫۱	–	–
۳	۱۶۷	۰٫۲	–	–
۴	۱۶۷	۰٫۳	–	–
۵	۱۶۷	۰٫۴	–	–
۶	۱۶۷	۰٫۵	–	–
۷	۱۶۷	–	–	۰٫۱
۸	۱۶۷	–	۰٫۱	۰٫۱
۹	۱۶۷	–	۰٫۲	۰٫۱
۱۰	۱۶۷	–	۰٫۳	۰٫۱
۱۱	۱۶۷	–	۰٫۴	۰٫۱
۱۲	۱۶۷	–	۰٫۵	۰٫۱

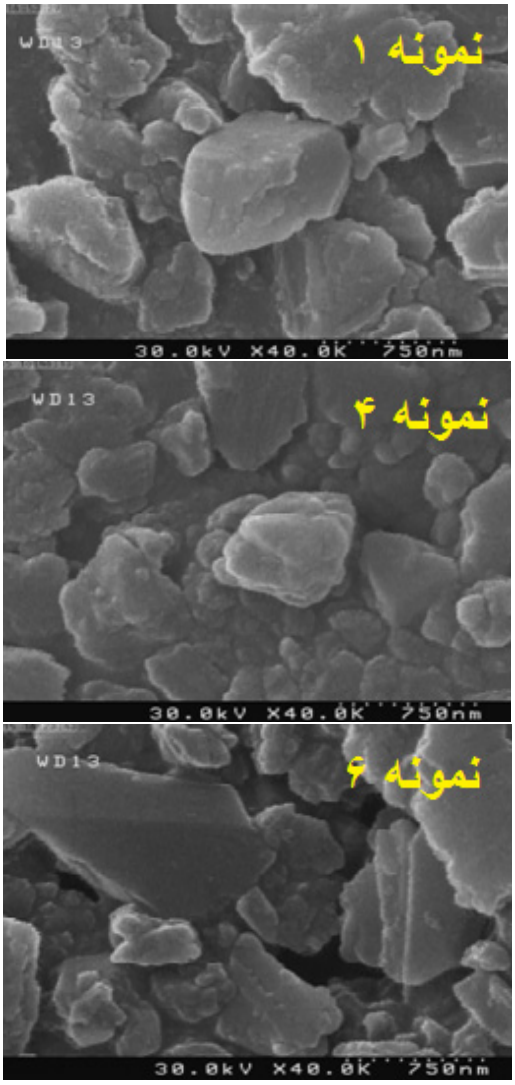
1. Polyvinylpyrrolidone (PVP)

شکل ۱ قالب‌های حاوی نمونه‌های آماده‌شده در داخل آون

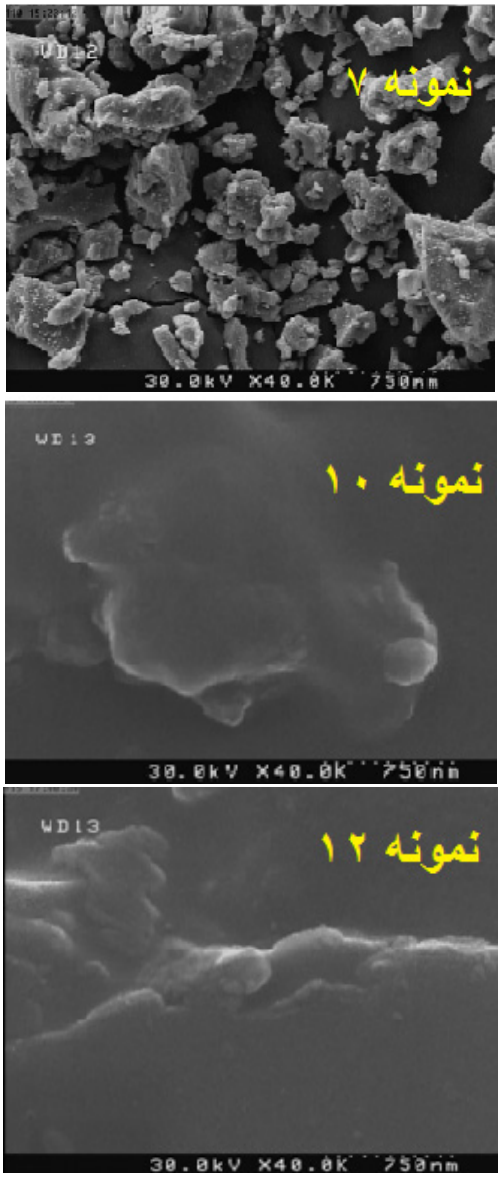
نتیجه‌ها و بحث

تصویرهای میکروسکوپ الکترونی FESEM

تصویرهای میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه‌های مورد مطالعه تهیه شدند. همان‌طور در شکل ۲ مشاهده می‌شود، سطح نمونه‌های حاوی نانوگرافن در مقایسه با نمونه شاهد ۱، پیوستگی بیشتری دارد و نانوگرافن تا حدودی توانسته منافذ سطوح بین ذره‌ها را پر کند ولی همچنان منافذ وجود دارند. در نمونه شماره ۶ که محتوی ۰/۵ درصد نانوگرافن است، سطح مربوط وضعیت پیوستگی بهتری دارد. در شکل ۳ تصویرهای میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌های حاوی نانوگرافن اکسید و شاهد ۷ آورده شده است. مشاهده‌ها و بررسی‌ها نشان می‌دهند که سطح این نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های حاوی نانوگرافن، سطحی به‌طورکامل یکنواخت و پیوسته دارند.



شکل ۲ تصویرهای FESEM نمونه‌های نانوگرافن ۱، ۴ و ۶

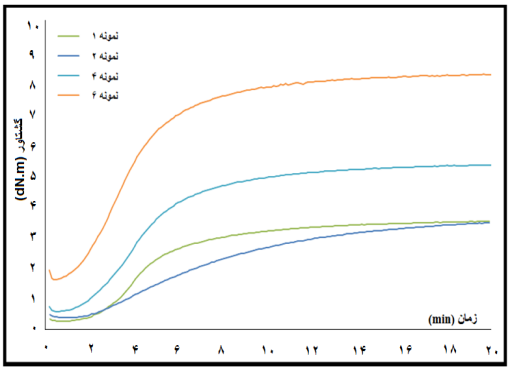


شکل ۳ تصویرهای FESEM نمونه‌های نانوگرافن اکسید ۷، ۱۰ و ۱۲

شارش‌سنجی پخت نانوچندسازه‌ها

هدف از این آزمون به‌دست آوردن اطلاعات مربوط به پخت و بررسی سازوکار پخت لاستیک طبیعی و نانوچندسازه‌ها است. در این آزمون اطلاعات مفیدی مانند زمان پخت، دمای پخت و چگونگی پخت می‌توان به‌دست آورد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از این آزمون در نمودارهای شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده‌اند. این نتیجه‌ها مربوط به نمونه‌هایی شامل نانوچند سازه‌های حاوی نانوگرافن، نانوگرافن اکسید و لاستیک طبیعی هستند.

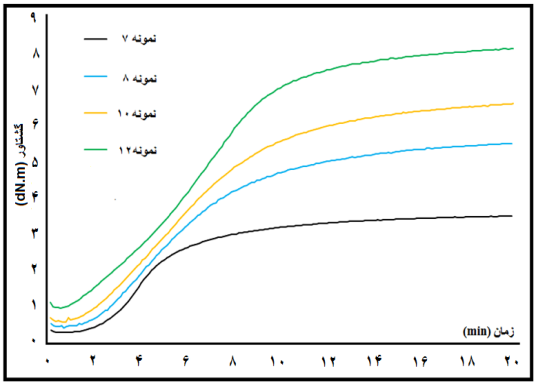
شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش درصد نانوگرافن در نانوچندسازه‌ها، سرعت پخت افزایش می‌یابد و نمونه‌ها سریعتر به گشتاور مناسب می‌رسند. نمونه ۶ با ۰/۵ درصد نانوگرافن بهترین نتیجه را به‌دست داد. نانوگرافن موجود در اجزاء این نانوچندسازه موجب افزایش رسانندگی گرمایی آن می‌شود. این افزایش موجب تسریع ذوب و فعال‌شدن سامانه گوگردی می‌شود، که در نهایت منجر به افزایش سرعت پخت و افزایش چگالی پیوندهای عرضی می‌شود [۱۸]. این دلیل در مورد نانوگرافن اکسید درست نیست زیرا این ترکیب‌ها با داشتن گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار از رسانندگی گرمایی خوبی برخوردار نیستند [۱۹].



شکل ۴ نمودارهای گشتاور بر حسب زمان پخت نانوچندسازه‌های حاوی نانوگرافن و لاستیک طبیعی

نمودارهای شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش درصد نانوگرافن اکسید در نانوچندسازه‌ها سرعت پخت افزایش می‌یابد و نمونه‌ها سریعتر گشتاور مطلوب را به‌دست می‌آورند. در این بررسی نمونه ۱۲ نتیجه مطلوب‌تری را نشان داد. این نتیجه می‌تواند به دلیل وجود گروه‌های اکسیژنی موجود در روی سطح گرافن اکسید باشد. این گروه‌های عاملی می‌توانند

در واکنش‌های پخت شرکت کنند و موجب ایجاد پیوندهای عرضی بین نانوصفحه‌های گرافنی شوند [۲۰ و ۲۱].

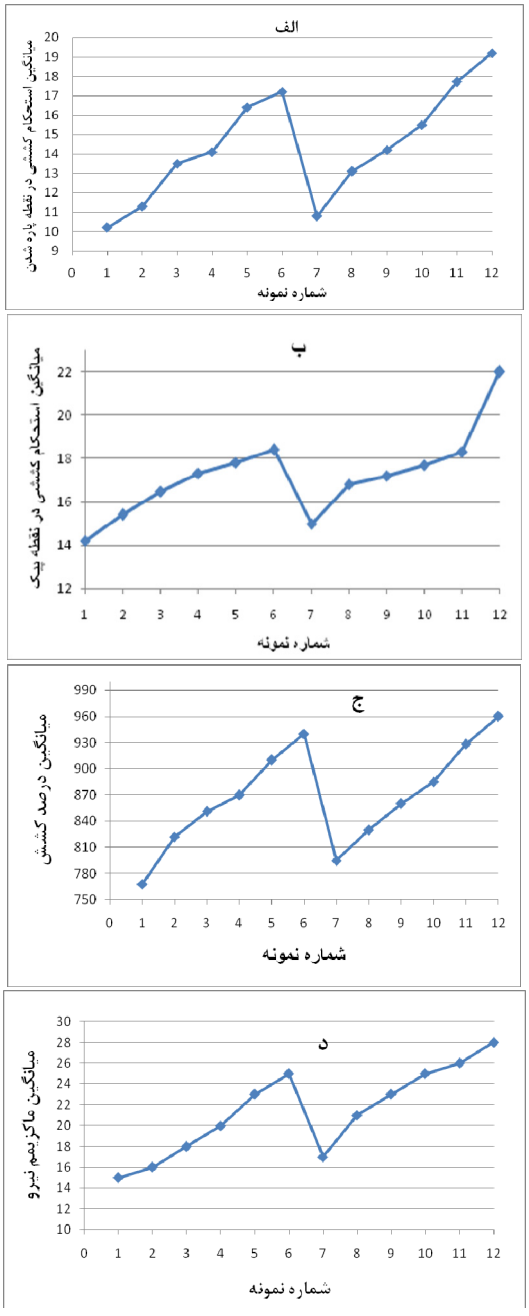


شکل ۵ نمودارهای گشتاور بر حسب زمان پخت نانوچندسازه‌های حاوی نانوگرافن اکسید و لاستیک طبیعی

بررسی ویژگی‌های مکانیکی

ویژگی‌های مکانیکی موردبررسی شامل استحکام کششی در نقطه پاره‌شدن، استحکام کششی در نقطه پیک، درصد کشش و بیشینه نیرو هستند. این آزمون‌ها با نمونه‌های دمبلی شکل انجام گرفت. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی مورد نظر و به‌دست‌آوردن نتیجه‌های مطلوب‌تر، از هر نمونه ۱۰ عدد مشابه تهیه شدند. به‌بیان‌دیگر، نتیجه‌های به‌دست آمده میانگین ۱۰ اندازه‌گیری هستند.

شکل ۶ به‌روشنی نشان می‌دهد که ویژگی‌های مکانیکی نانوچندسازه‌ها رابطه مستقیم با مقدار نانوذره‌های به‌کار رفته دارند. هر چه مقدار نانوذره‌های به‌کاررفته افزایش یابد، ویژگی‌های مکانیکی ذکر شده بهبود می‌یابند. در یک نگاه کلی، تاثیر نانوذره‌های گرافن اکسید در بهبود ویژگی‌های مکانیکی این چندسازه‌ها از تاثیر نانوذره‌های گرافن بیشتر است.



شکل ۶ نمودار اثر نانوگرافن و نانوگرافن اکسید بر استحکام کششی در نقطه پاره شدن (الف)، استحکام کششی در نقطه پیک (ب)، درصد کشش (ج) و بیشینه نیرو، در نانوچندسازه‌های لاستیک طبیعی (د)

بحث کلی در باره نتیجه‌ها

فاکتورهای متعددی در تقویت ویژگی‌های مکانیکی نانوچندسازه‌های بسپارش موثر هستند. علاوه بر تاثیر هیدرودینامیک ناشی از حضور ذره‌های جامد، تشکیل سطح تماس مشترک مناسب بین فاز بسپاری و تقویت‌کننده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. درنتیجه، بهبود ویژگی‌های مکانیکی به‌صورت مستقیم وابسته به استحکام سطح تماس مشترک است، که خود در ارتباط مستقیم با بازده فرایند پراکندگی است. پراکندگی یکنواخت تک لایه‌های گرافنی تامین‌کننده سطح تماس مشترک وسیع است که می‌تواند به‌عنوان حدواسط برای انتقال تنش اعمالی بر ذره‌های تقویت‌کننده عمل کند.

حفظ ساختار نانوذره‌ها و جلوگیری از تخریب و شکست صفحه‌ها نیز می‌بایست در حین توزیع نانوذره‌ها مدنظر قرار گیرد. عامل‌هایی مانند اکسایش، عامل‌دارسازی تحت شرایط مخرب و فراصوت شدید و طولانی ممکن است منجر به تخریب ساختار نانوذره‌ها شوند. در این پژوهش، در تهیه نانوچندسازه الاستومری به‌منظور حفظ ساختار نانوذره‌های افزوده‌شده برپایه روش غوطه‌وری نامیزه، مرحله فراصوت حذف شد و مدت زمان اختلاط مکانیکی به کمینه ممکن تقلیل یافت.

نمودارهای به‌دست‌آمده از آزمون‌های ویژگی‌های مکانیکی در شکل ۶ نشان می‌دهند که افزودن نانوذره‌ها منجر به بهبود ویژگی‌های مکانیکی مانند استحکام کششی در نقطه پاره‌شدن، استحکام کششی در نقطه پیک، درصد کشش و بیشینه نیرو می‌شوند. نمودار الف در شکل ۶ مربوط به اندازه‌گیری میانگین استحکام کششی در نقطه پاره‌شدن برای نمونه‌های شماره ۱ تا ۱۲ است. در نمونه‌های ۱ تا ۶ (قسمت اول نمودار که صعودی است) با افزایش مقدار نانوگرافن در نانوچندسازه‌ها، میانگین استحکام کششی در نقطه پاره‌شدن نیز افزایش می‌یابد. قسمت دوم نمودار از شماره ۷ تا ۱۲ مربوط به تاثیر مقدار نانوگرافن اکسید در میانگین استحکام کششی در نقطه پاره‌شدن است و نشان می‌دهد که با افزایش مقدار نانوگرافن اکسید در نانوچند سازه‌ها، میانگین استحکام کششی در نقطه پاره‌شدن نیز افزایش می‌یابد. همان‌طور که دیده می‌شود تاثیر نانوگرافن اکسید در افزایش میانگین استحکام کششی در نقطه پاره‌شدن، بیشتر از تاثیر نانوگرافن است. نمودار ب در شکل ۶ مربوط به اندازه‌گیری میانگین استحکام کششی در نقطه پیک برای نمونه-های شماره ۱ تا ۱۲ است. با افزایش مقدار نانوگرافن در نانوچندسازه‌ها یعنی در نمونه‌های ۱ تا ۶ میانگین استحکام کششی در نقطه پیک افزایش می‌یابد. قسمت دوم نمودار ب در شکل ۶ یعنی از شماره ۷ تا ۱۲ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار نانوگرافن اکسید در نانوچندسازه‌ها، میانگین استحکام کششی در نقطه پیک افزایش می‌یابد. در این نمودار مقادیر به‌دست‌آمده برای نانوگرافن اکسید کمی بیشتر از مقادیر مربوط به نانوگرافن است، به‌جز نمونه ۱۲ که استحکام کششی در نقطه پیک در آن خیلی بیشتر از نمونه متناظرش (نمونه ۶) است. نمودار ج و نمودار د در شکل ۶ به‌ترتیب مربوط به اندازه‌گیری میانگین درصد کشش و میانگین بیشینه نیرو برای نمونه‌های شماره ۱ تا ۱۲ هستند. در هر دو نمودار با افزایش مقدار نانوگرافن و نانوگرافن اکسید در نانوچندسازه‌ها، کمیت مورد اندازه‌گیری نیز افزایش می‌یابد. همان‌طور که در نمودارها دیده می‌شود این افزایش در مورد تاثیر نانوگرافن اکسید (نمونه‌های ۷ تا ۱۲) کمی بیشتر از تاثیر نانوگرافن است (نمونه‌های ۱ تا ۶). برپایه این نمودارها، افزودن ۰/۵ درصد وزنی نانوذره‌های گرافن به نانوچندسازه لاستیک طبیعی منجر به افزایش ۷۰ درصدی درصد استحکام کششی در نقطه پاره‌شدن، ۲۹ درصدی در استحکام کششی در نقطه پیک، افزایش ۲۳ درصدی در درصد کشش و افزایش ۶۷ درصدی در بیشینه نیرو می‌شود. در مورد افزودن نانوگرافن اکسید، افزودن ۰/۵ درصد وزنی نانوذره‌های گرافن

اکسید به نانوچندسازه لاستیک طبیعی منجر به افزایش ۷۳ درصدی در درصد استحکام کششی در نقطه پاره‌شدن، ۴۷ درصدی در استحکام کششی در نقطه پیک، افزایش ۲۲ درصدی در درصد کشش و افزایش ۶۵ درصدی در بیشینه نیرو می‌شود.

در مورد آزمون رئومتری پخت برپایه نمودارهای شکل ۴، با افزودن ۰/۱ درصد نانوگرافن به نانوچندسازه لاستیک طبیعی، مدت لازم برای رسیدن به گشتاور لازم برابر یک سوم مدت لازم برای نمونه شاهد است. با افزودن مقادیر بیشتر نانوگرافن تا ۰/۵ درصد مشاهده می‌شود که افزون‌بر کاهش در زمان پخت نانوچندسازه، مقادیر گشتاور به‌دست‌آمده افزایش چشمگیری دارد. بیشینه گشتاوری که برای نمونه‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود به‌تقریب برابر هستند (۳/۳ dN.m) ولی تغییرهای منحنی و شیب مشاهده‌شده برای نمونه ۲ بیشتر از نمونه ۱ است. نمونه ۱ حدود ۹۰ درصد بیشینه گشتاور را در یک سوم زمان لازم (۶ دقیقه) کسب کرده است. ولی نمونه شاهد (نمونه ۱) با شیب کمتری این افزایش را طی می‌کند یعنی ۹۰ درصد گشتاور ممکن را در حدود ۱۰ دقیقه به‌دست می‌آورد و ۱۰ درصد باقی‌مانده نیز حدود ۱۰ دقیقه طول می‌کشد. بیشینه گشتاور مشاهده‌شده برای نمونه ۴، برابر ۵/۲ dN.m و برای نمونه ۶ برابر ۸/۲ dN.m است و شیب منحنی تغییرهای هر دو نسبت به زمان به‌تقریب مشابه منحنی نمونه ۲ است.

نتیجه‌های آزمون شارش‌سنجی پخت مربوط به افزودن نانوگرافن اکسید به نانوچندسازه لاستیک طبیعی در نمودارهای شکل ۵ مشاهده می‌شود. با توجه به این نمودارها با افزودن ۰/۱ درصد نانوگرافن اکسید به نانوچندسازه لاستیک طبیعی (نمونه ۸)، مدت لازم برای رسیدن به گشتاور مطلوب، یک سوم مدت لازم برای نمونه شاهد است (مقدار گشتاور در نمونه ۷ پس از ۱۸ دقیقه برابر مقدار گشتاور در نمونه ۸ پس از ۶ دقیقه است). با افزودن مقادیر بیشتر نانوگرافن اکسید تا ۰/۵ درصد (نمونه ۱۲) مشاهده می‌شود که افزون‌بر کاهش در زمان پخت نانوچندسازه، مقادیر گشتاور به‌دست‌آمده افزایش چشمگیری دارد (۸/۲ dN.m). بیشینه گشتاوری که برای نمونه‌های ۷، ۸، ۱۰ و ۱۲ مشاهده می‌شود به ترتیب برابر ۳/۴، ۵/۶، ۶/۸ و ۸/۲ dN.m است. نتیجه‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش با نتیجه‌های گزارش‌شده مشابه در نشریه‌ها، همخوانی دارد [۱۵ تا ۱۷].

نتیجه‌گیری

بررسی نتیجه‌های آزمون‌های ویژگی‌های مکانیکی انجام‌شده نشان دادند که افزودن ذره‌های نانوگرافن و نانوگرافن اکسید به لاستیک طبیعی (لاتکس) موجب بهبود ویژگی‌های مکانیکی چندسازه لاستیک طبیعی می‌شود. ویژگی‌های بررسی‌شده در این پژوهش شامل استحکام کششی در نقطه پاره‌شدن، استحکام کششی در نقطه پیک، درصد کشش و مقدار نیروی قابل تحمل و رئومتری پخت است. نتیجه‌های آزمون‌ها نشان دادند که نانوچندسازه‌های حاوی نانوگرافن اکسید عملکرد مطلوب‌تری نسبت به نانوچندسازه‌های نانوگرافنی داشتند. تصویرهای SEM نشان دادند که نمونه‌های نانوچندسازه دارای ذره‌های نانوگرافن نسبت به لاتکس اولیه از سطحی یکنواخت و پیوستگی بهتری برخوردار بودند. این پیوستکی سطح در مورد نانوچندسازه‌های حاوی نانوگرافن اکسید به مراتب بهتر و مطلوب‌تر بود. آزمون رئومتری نشان داد که با افزایش نانوگرافن و نانوگرافن اکسید به لاستیک طبیعی (لاتکس)، سرعت پخت افزایش می‌یابد و نمونه‌ها سریع‌تر گشتاور مطلوب را به‌دست می‌آورند.

مراجع

[1] Turjanmaa, K.; Alenius, H.; Mäkinen-Kiljunen, S.; Reunala, T.; Palosuo, T.; "Natural-rubber-latex allergy Chap." in: "Handbook of Occupational Dermatology", Edited by Kanerva, L.; Wahlberg, J.E.; Maibach, H.I.; Springer, Berlin, Heidelberg, 2000.

[2] Tanaka, Y.; Rubber Chem. Technol. 74, 355-375, 2001.

[3] Rose, K.; Tenberge, K.B.; Steinbüchel, A.; Biomacromolecules 6, 180-188, 2005.

[4] Zhang, L.; Li, H.; Lai, X.; Liao, X.; Wang, J.; Su, X.; Liu, H.; Wu, W.; Zeng, X.; Composites, Part A 107, 47-54, 2018.

[5] Hosseinmardi, A.; Amiralian, N.; Hayati, A.N.; Martin, D.J.; Annamalai, P.K.; Ind. Crops Prod. 159, 113063, 2021.

[6] Shahidi, S.; Mohammadi, B.; Mohammadi, S.; Vessally, E.; Plast., Rubber Compos. 51, 13-34, 2022.

[7] Phiri, J.; Gane, P.; Maloney, T.C.; Mater. Sci. Eng. B 215, 9-28, 2017.

[8] Singh, V.; Joung, D.; Zhai, L.; Das, S.; Khondaker, S.I.; Seal, S.; Prog. Mater. Sci. 56, 1178-1271, 2011.

[9] William, S.; Hummers, J.; Offeman, R.E.; J. Am. Chem. Soc. 80, 1339-1339, 1958.

[10] Du, X.; Skachko, I.; Barker, A.; Andrei, E.Y.; Nat. Nanotechnol. 3, 491-495, 2008.

[11] Lerf, A.; He, H.; Forster, M.; Klinowski, J.; J. Phys. Chem. B 102, 4477-4482, 1998.

[12] Berki, P.; László, K.; Tung, N.T.; Karger-Kocsis, J.; J. Reinf. Plast. Compos. 36, 808-817, 2017.

[13] Potts, J. R.; Shankar, O.; Du, L.; Ruoff, R.S.; Macromolecules 45, 6045-6055, 2012.

[14] Zhang, C.; Zhai, T.; Dan, Y.; Turng, L.S.; Polym. Compos. 38, E199-E207, 2017.

[15] Kang, H.; Tang, Y.; Yao, L.; Yang, F.; Fang, Q.; Hui, D.; Composites Part B 112, 1-7, 2017.

[16] Zhang, X.; Xue, X.; Yin ,Q.; Jia, H.; Wang, J.; Ji, Q.; Xu, Z.; Composites Part B 111, 243-250, 2017.

[17] Zhang, Y.; Cho, U.R.; Polym. Compos. 39, 3227-3235, 2018.

[18] Kim, J.S.; Yun, J.H.; Kim, I.; Shim, S.E.; J. Ind. Eng. Chem. 17, 325-330, 2011.

[19] Mao, Y.; Wen, S.; Chen, Y.; Zhang, F.; Panine, P.; Chan, T.W.; Zhang, L.; Liang, Y.; Liu, L.; Sci. Rep. 3, 1-7, 2013.

[20] Kim, J.S.; Hong, S.; Park, D.W.; Shim, S. E.; Macromol. Res. 18, 558-565, 2010.

[21] Wu, J.; Huang ,G.; Li, H.; Wu, S.; Liu, Y.; Zheng, J.; Polymer 54, 1930-1937, 2013.

[22] Aswathy, T.; Dash, B.; Dey, P ;.Nair, S.; Naskar, K.; J. Appl. Polym. Sci. 138, e50746, 2021.

[23] Srivastava, S.K.; Mishra, Y.K.; Nanomaterials 8, 945, 2018.

JARC

Investigation of the effect of nanographene and nanographene oxide on physical and mechanical properties of natural rubber nanocomposites

B. Mohammadi[1,*], F. Nori[2]

1. Assistant Prof. of Department of Chemistry, Payame Noor University (PNU), P.O.Box 19395-4697, Tehran, Iran.
2. M.Sc. Student of Department of Chemistry, Payame Noor University (PNU), P.O.Box 19395-4697, Tehran, Iran.

Abstract: In this work, natural rubber (latex) nanocomposites were prepared by adding reduced graphene oxide and graphene oxide nanoparticles to the pristine latex. Then some physical and mechanical properties of these nanocomposites were investigated. These properties included tensile strength at peak point, tensile strength at breaking point, tensile percentage, surface cohesion, and rheometry. The experimental results of these nanocomposites were compared with those of natural rubber. The results showed that nanocomposites containing graphene oxide were much more desirable in terms of physical and mechanical properties than nanocomposites containing reduced graphene oxide. Both of these nanocomposites had better results in terms of physical and mechanical properties than pristine natural rubber. The FESEM images showed that the surface of samples which containing nanographene, had better uniformity and adhesion than those of the original latex. The surface adhesion of nanocomposites, containing nanographene oxide was much better and more desirable comparing to the others.

Keywords: Natural rubber (latex), Graphene oxide nanoparticles, Reduced graphene oxide, Nanocomposite

*** Corresponding author Email:** bagher.mohammadi@pnu.ac.ir