

## افزایش مقاومت به ضربه کامپوزیت پلی پروپیلن-باگاس با استفاده از نانوکربن کروی (GNPR) برای کاربرد در صنعت خودرو

امین ملکانی<sup>۱</sup>، محراب مدهوشی<sup>۲\*</sup>، قنبر ابراهیمی<sup>۳</sup>، علیمراد رشیدی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری فرآورده‌های چندسازه چوبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. استاد گروه صنایع چوب، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴. استاد مرکز تحقیقات نانو تکنولوژی، پژوهشگاه صنعت نفت ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۱

### چکیده

تحقیق حاضر با هدف بهبود خواص مقاومتی به خصوص مقاومت به ضربه کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک پلی پروپیلن-باگاس با افزودن نانوذرات کربن کروی به منظور کاربرد در صنعت خودروسازی انجام گرفت. نانوکامپوزیت ساخته شده باید دانسیته کم و مقاومت زیاد به ضربه داشته باشد. در این تحقیق از دو سطح ۴۰ و ۵۵ درصد آرد باگاس با مش ۴۰، چهار سطح نانوذره کربن کروی در مقادیر صفر، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد، پلیمر پلی پروپیلن و ۲ درصد مالئیک انیدرید پلی پروپیلن شده به عنوان جفت کننده استفاده شد. نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از دستگاه مخلوط کن داخلی تولید شدند و سپس با استفاده از پرس دو مرحله‌ای گرم و سرد، نمونه‌های آزمون برای دانسیته، مقاومت به ضربه فاق دار و مقاومت خمشی تهیه شد. بعد از بررسی نتایج آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی، مشخص شد که افزایش مقدار آرد باگاس، مقادیر دانسیته، مدول الاستیسیته خمشی و جذب آب محصول را افزایش می‌دهد، ولی مقاومت به ضربه فاق دار و مقاومت خمشی آن را کاهش می‌دهد. در مقابل، افزایش مقدار نانوذره کربن سبب افزایش مقاومت به ضربه و مقاومت خمشی نانوکامپوزیت می‌شود. بررسی تصاویر میکروسکوپی SEM نیز توزیع یکنواخت نانوذره کربن کروی شکل را در سطح شکست نمونه‌های ضربه نشان داد و بهبود اتصال بین آرد باگاس و پلیمر پلی پروپیلن را با افزایش مصرف نانوکربن تأیید کرد. همچنین، افزایش مقدار مصرف نانوکربن دمای انتقال شیشه نانوکامپوزیت‌ها را افزایش داد. بررسی مدول ماده در آزمون DMTA مشخص کرد که با افزایش مقدار باگاس مقدار مدول افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: خواص فیزیکی و مکانیکی، مقاومت به ضربه، نانوکامپوزیت، نانوکربن کروی (GNPR).

### مقدمه

حفظ ایمنی سرنشینان خودرو (مقاومت به ضربه)، خواص آکوستیک مطلوب، مقاومت به هوازگی در شرایط سرویس، صرفه اقتصادی و سازگاری با محیط زیست (نظیر زیست تخریب پذیر بودن) باشند [۱]. استفاده از الیاف طبیعی (ناشی از ضایعات صنایع) با کم کردن مقدار مصرف فاز پلیمری، به تولید محصولی با وزن کمتر و

کامپوزیت مورد نیاز در صنعت خودروسازی به منظور استفاده در فضای داخلی کابین خودرو باید دارای ویژگی‌هایی همچون ساختار سبک، مقاومت زیاد برای

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۷۵۷۹۶۴

Email: madhoushi@gau.ac.ir

تأثیر استفاده از نانومواد در مقاومت به ضربه فرآورده‌های مورد نظر را محققان زیادی بررسی و بر آن تأکید کرده‌اند. در نانوکامپوزیت‌های تقویت‌شده پلی‌پروپیلن با نانولوله‌های کربنی چندجداره (MWNT<sup>۱</sup>)، افزایش نانوذرات تا ۲ درصد [۶] و حتی ۴ درصد [۷]، سبب افزایش مقاومت به ضربه شد، ولی در مقادیر بیشتر از آن مقاومت به ضربه روند کاهشی داشت که علت آن را تراکم توده‌ای نانوذرات در درصد‌های زیاد اعلام کردند. افزودن مقادیر کمی گرافن به پلی‌پروپیلن خالص و کامپوزیت پلی‌پروپیلن-تالک، به دلیل اثر تقویت‌کنندگی، می‌تواند مقاومت به ضربه را بهبود دهد، اما در مقادیر بیشتر گرافن، کاهش مقاومت اتفاق می‌افتد [۸]. همچنین بررسی خصوصیات مکانیکی و رئولوژی کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن و نانولوله‌های چندجداره کربنی تولیدشده از مخلوط ذوب با درصد‌های وزنی ۰/۲۵ تا ۸ درصد نشان داد که با افزایش نانومواد تا آستانه ۱/۵ درصد، مدول کششی و پیچشی و مقاومت به ضربه فاق‌دار نانوکامپوزیت افزایش می‌یابد [۹].

مرور منابع مشخص کرد که بیشتر تقویت‌کننده‌های افزوده‌شده به کامپوزیت‌ها همه خواص مقاومتی به‌جز مقاومت به ضربه را بهبود می‌بخشد و در بین نانوذرات نیز برخی از انواع نانوکربن تأثیر اندکی بر این خاصیت دارند. از این‌رو این تحقیق در پی بهبود این مقاومت با استفاده از نانوکربن کروی متشکل از ذرات گرافن خردشده (GNPR<sup>۲</sup>) است که با هزینه بسیار کم در داخل کشور تولید می‌شود. هدف اصلی تولید کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک سبز با مقاومت زیاد در برابر ضربه با استفاده از نانوذرات کربنی برای کاربرد در صنعت خودروسازی است.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق دو عامل مقدار ماده لیگنوسولوزی و مقدار نانوذرات کربن کروی به‌عنوان متغیر در نظر گرفته شدند.

سازگاری بیشتر با محیط زیست کمک خواهد کرد، همچنین به‌منظور بهبود خواص مکانیکی قطعات از الیاف کربن استفاده می‌شود که در صنعت مدرن خودروسازی پتانسیل زیادی برای بهبود خواص و کاهش وزن قطعات خودرو دارد. بررسی تحقیقات مشابه نشان داده که افزایش الیاف چوبی در کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک می‌تواند تا حدودی برخی از مقاومت‌های چوب-پلاستیک را افزایش دهد، به‌جز مقاومت به ضربه که به‌طور معمول یا تأثیری بر این خاصیت ندارد یا آن را کاهش می‌دهد [۲].

چقرمگی یک ماده براساس توانایی آن در جذب انرژی مکانیکی تعریف می‌شود. آزمایش ضربه‌ای خمشی از جمله آزمون‌های اندازه‌گیری این معیار است. مقدار انرژی لازم برحسب واحد سطح برای ایجاد شکست در ماده، مقاومت ضربه‌ای نامیده می‌شود. برای افزایش مقاومت به ضربه پلیمرها، به‌طور معمول از یک فاز الاستومری استفاده می‌شود که این ذرات با جذب انرژی و جلوگیری از رشد ترک در ماتریس پلیمری سبب افزایش چقرمگی می‌شوند [۳].

کاربرد مواد سبک‌وزن در بدنه خودرو می‌تواند به تولید ماشین‌های سبک منجر شود که کاهش مصرف سوخت و بهبود دیگر ویژگی‌ها مانند ایمنی، عملکرد، قابلیت بازیافت و کاهش هزینه را در پی دارد [۴]. مهم‌ترین چالش در کاربرد مواد سبک بازیافتی برای خودرو، مقاومت به ضربه فرآورده نهایی است، هرچند فرایند تولید می‌تواند تأثیر زیادی در این زمینه داشته باشد. برای نمونه، مقاومت به ضربه کامپوزیت چوب-پلاستیک برپایه الیاف بازیافتی از روزنامه‌های باطله تحت تیمار حرارتی در دماهای ۱۴۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ ثانیه و مقاومت به ضربه نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری با تیمار حرارتی افزایش یافت، اما افزایش این تیمار سبب کاهش این مقاومت شد [۵].

1. Multi-Walled Carbon Nano Tube  
2. Graphene nanoparticle

سرعت چرخش ماردون‌ها ۶۰ rpm و مدت زمان مخلوط شدن مواد ۱۳ دقیقه تنظیم شد.

پس از رسیدن به دمای مورد نظر در دستگاه و فعال کردن ماردون‌ها، ابتدا پلی‌پروپیلن و عامل جفت‌کننده به مدت ۲ دقیقه مخلوط شدند. سپس ذرات باگاس به پلیمر مذاب اضافه و به مدت ۸ دقیقه در همزن با پلیمر ترکیب شدند. در این زمان نانوذره به مخلوط افزوده شد و عمل اختلاط به مدت ۳ دقیقه دیگر ادامه یافت. در نهایت با اتمام مجموع زمان ۱۳ دقیقه، نانوکامپوزیت از دستگاه خارج شد. نانوکامپوزیت‌های تولیدشده خنک و به اندازه‌های کوچک‌تر خرد شدند.

سپس با توجه به وزن هر نمونه مقدار مورد نیاز آن برای آزمون‌های ضربه، کشش و خمش و با توجه به ابعاد قالب مربوط به آن جدا شد. در این مرحله نمونه‌های نانوکامپوزیت بعد از پرس دومارحله‌ای گرم و سرد به مدت تقریبی ۱۰ دقیقه ساخته شد. خواص فرآورده براساس استانداردهای ASTM برای آزمون دانسیته<sup>۱</sup> (D-792)، جذب آب در ۲ و ۲۴ ساعت (D-7031)، مقاومت به ضربه فاق‌دار (D-256)، مقاومت خمشی (D-790)، مدول الاستیسیته<sup>۲</sup> خمشی، خواص دینامیکی-مکانیکی (DMTA) که مدول ماده و مقدار اتلاف انرژی<sup>۳</sup> مواد پلیمری ناشی از ویژگی ویسکو الاستیک آنهاست، در این تحقیق بررسی شد.

### نتایج و بحث

مطابق جدول ۱ مشخص شد که تأثیر مستقل مقدار ماده چوبی بر همه خواص فیزیکی و مکانیکی از نظر آماری معنی‌دار است. تأثیر این عامل بر خواص فیزیکی شامل دانسیته، مقاومت به جذب آب در ۲ و ۲۴ ساعت با سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار است و در بین خواص مکانیکی، تأثیر آن بر مدول الاستیسیته<sup>۲</sup> خمشی با سطح اعتماد ۹۹ درصد و برای مقاومت خمشی با سطح اعتماد ۹۵ درصد

ماده لیگنوسلولزی به‌عنوان پرکننده نانوکامپوزیت از ذرات باگاس و با هدف کاهش وزن و هزینه تولید در دو سطح ۴۰ و ۵۵ درصد وزنی استفاده شد (به ترتیب با کدهای A1 و A2) و نانوذرات کربن در چهار سطح وزنی صفر (نمونه شاهد)، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد (به ترتیب با کدهای C1، C2، C3 و C4) استفاده شد. عوامل ثابت تحقیق شامل پلیمر ترموپلاستیک پلی‌پروپیلن (PP) از نوع ایزوتاکتیک (یکطرفه)، از شرکت صنایع پتروشیمی مارون با کد Z30S و ذرات باگاس با مش ۴۰ و رطوبت ۴ درصد به‌منظور استفاده از ضایعات صنایع نیشکر، از شرکت کشت و صنعت سلمان فارس تهیه شد. ماده جفت‌کننده مورد استفاده مالئیک انیدرید پلی‌پروپیلین‌شده (MAPP) به مقدار ۴ درصد وزنی پلی‌پروپیلن با کد تجاری KARABOND@P از شرکت کرانگین تهیه شد.

نانوذرات کربن کروی (GNPR) با فرایند رسوب بخار شیمیایی<sup>۱</sup> (CVD) از پسماندهای گیاهان و میوه‌ها در پژوهشگاه صنعت نفت تولید شد. در این روش، نانوذرات کروی کربنی از ذرات خردشده گرافن (GNPR) که کروی هستند، با روش هیدروترمال سنتز شده و در نهایت ذرات با گروه عاملی هیدروکسیل برای عملکرد هرچه بهتر عامل‌دار شده [۱۰] و با ابعاد ۱۵ تا ۲۵ نانومتر استفاده شدند.

### روش ساخت نانوکامپوزیت‌ها

با توجه به نوع مواد اولیه و مقادیر جزئی نانوکربن کروی، برای مخلوط کردن مواد از دستگاه همزن داخلی و قالب‌گیری با پرس سرد و گرم استفاده شد. در آغاز به‌منظور کنترل رطوبت و خشک کردن ذرات قبل از مخلوط کردن، ذرات لیگنوسلولزی و مواد پلیمری در خشک‌کن آزمایشگاهی پژوهشگاه پلیمر با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت خشک شدند. مخلوط‌کن داخلی با دمای قسمت داخلی ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد،

معنی دار شده است. همچنین بررسی آماری داده‌های مربوط به تأثیر مقدار نانوذره کربن، نشان‌دهنده اثر معنی دار آن فقط بر مقاومت به ضربه و مقاومت به خمشی با سطح اعتماد ۹۹ درصد بود و اثر آن بر دیگر خواص معنی دار نبود. همچنین تحلیل آماری مشخص کرد که عوامل متغیر بر همه خواص بررسی شده اثر متقابل معنی داری نداشتند و به همین دلیل نتایج آن در جدول تجزیه واریانس آورده نشد.

#### دانشیته

با توجه به شکل ۱، دانشیته نانوکامپوزیت‌های تولیدشده با افزایش مقدار ماده باگاس از ۴۰ به ۵۵ درصد به‌طور معنی داری افزایش یافت، چنانکه به‌طور میانگین نانوکامپوزیت‌های با ۴۰ درصد ماده باگاس در حدود ۱۲ درصد سبک‌تر از نانوکامپوزیت‌های با ۵۵ درصد ماده باگاس بودند.

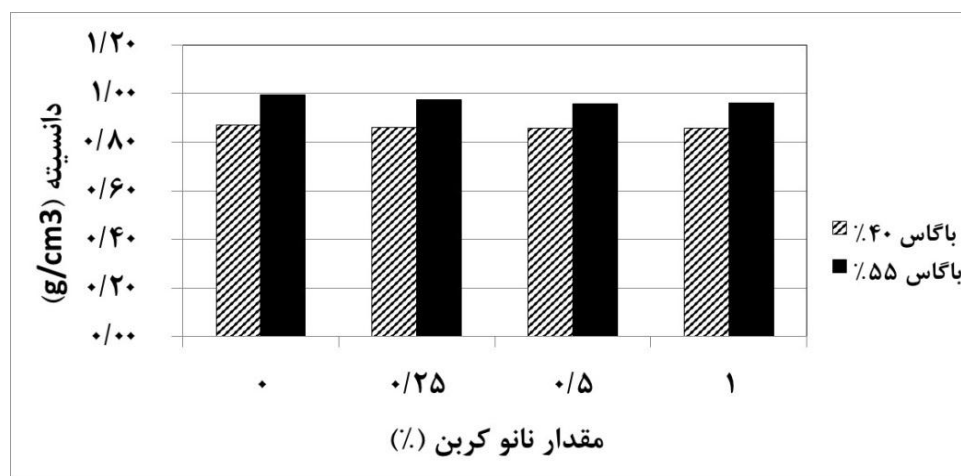
جدول ۱. جدول تجزیه واریانس حاصل از مقایسه داده‌ها

عامل متغیر	ویژگی	مجموع میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F محاسبه شده
درصد چوب	دانشیته	۰/۰۷۳	۱	۰/۰۷۳	۱۶۵/۰۴۸**
	مقاومت به ضربه	۲۵/۹۳۸	۱	۲۵/۹۳۸	۲/۸۹۹ n.s
	مقاومت خمشی (MOR)	۲۱/۵۰۸	۱	۲۱/۵۰۸	۵/۲۴۲ *
	مدول الاستیسیته خمشی (MOE)	۵۰۶۳۱۷۶/۲۲۶	۱	۵۰۶۳۱۷۶/۲۲۶	۲۸/۵۱۴**
درصد نانو ذره	جذب آب ۲ ساعت	۲/۰۰۳	۱	۲/۰۰۳	۱۲/۴۲۵**
	جذب آب ۲۴ ساعت	۱۸/۱۳۶	۱	۱۸/۱۳۶	۱۷/۶۶۳**
	دانشیته	۰/۰۰۳	۳	۰/۰۰۱	۲/۰۲۵ n.s
	مقاومت به ضربه	۱۵۰/۳۴۷	۳	۵۰/۱۱۶	۵/۶۰۳**
درصد نانو ذره	مقاومت خمشی (MOR)	۵۹/۴۳۷	۳	۱۹/۸۱۲	۴/۸۲۸ **
	مدول الاستیسیته خمشی (MOE)	۱۱۱۴۳۷/۹۲۴	۳	۳۷۱۴۷۹/۳۰۸	۲/۰۹۲ n.s
	جذب آب ۲ ساعت	۰/۶۶۵	۳	۰/۲۲۲	۱/۳۷۶ n.s
	جذب آب ۲۴ ساعت	۳/۴۸۳	۳	۱/۱۶۱	۱/۱۳۱ n.s

n.s: معنی دار نشده است.

\*: معنی دار در سطح ۵ درصد

\*\* : معنی دار در سطح ۱ درصد



شکل ۱. روند تغییرات دانشیته نانوکامپوزیت با افزایش مقدار نانو کربن

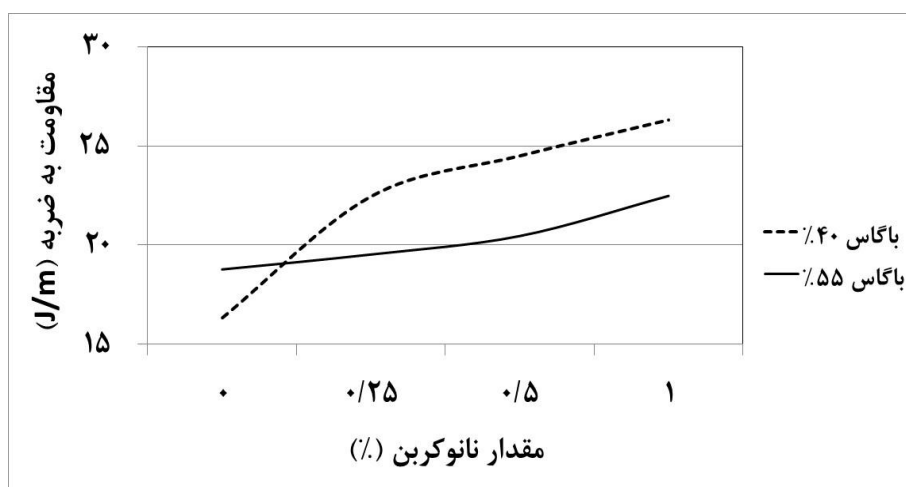
بیشتر از نمونه‌های با ۴۰ درصد باگاس ثبت شد، اما با توجه به تیمارهای بعدی علت این را می‌توان مخلوط نشدن مناسب دو فاز در این تیمار دانست. مطابق شکل ۲ با افزایش مقدار نانوذره کربن، مقدار مقاومت به ضربه در سطح اعتماد ۹۹ درصد افزایش یافت (جدول ۱)، اما روند افزایش برای نانوکامپوزیت‌های با ۴۰ درصد باگاس بیشتر است. از این رو، بهترین تیمار از نظر مقاومت به ضربه، نانوکامپوزیت‌های با ۴۰ درصد ماده باگاس و ۱ درصد نانوذره کربن است که مقدار مقاومت به ضربه  $26/31 \text{ J/m}$  را ثبت کردند. بررسی‌های قبلی نیز مشخص کرد با افزایش درصد الیاف، مقاومت به ضربه فاق دار چوب-پلاستیک به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد [۱۲، ۱۳].

آزمون دانکن تأثیر مقدار نانوکربن بر مقاومت به ضربه را در دو گروه مختلف دسته‌بندی کرد. شکست در اثر ضربه و شروع ترک‌خوردگی در نقاط ضعیف کامپوزیت آغاز می‌شود که به احتمال زیاد در محل اتصال باگاس و پلیمر اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه نانوذره کربن کروی با گروه عاملی هیدروکسیل عامل‌دار شده است، امکان ایجاد پیوندهای شیمیایی بین این عامل و گروه‌های آب‌دوست چوب وجود دارد و همچنین این نانوذره به‌علت شکل هندسی کروی و سطح تماس بسیار زیاد، با ایجاد اتصالات

نتایج تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که با افزایش آرد چوب از ۳۰ به ۵۰ درصد، دانسیته چندسازه‌های چوب-پلاستیک فوم‌شده افزایش یافت [۱۱]. بنابراین با توجه به نیاز و تأکید صنایع خودروسازی مبنی بر سبک‌سازی کامپوزیت‌ها برای استفاده در این صنعت، نانوکامپوزیت‌های با ۴۰ درصد ماده باگاس دانسیته کمتری دارند و از این نظر مناسب‌اند، اما از آنجا که با کاهش دانسیته، خواص مقاومتی محصول تضعیف می‌شود، با استفاده از ماده تقویت‌کننده باید خواص مقاومتی بهبود یابد تا شرایط استفاده در صنعت خودرو برای این مواد فراهم شود.

#### مقاومت به ضربه فاق‌دار

با افزایش مقدار ماده باگاس، مقاومت به ضربه فاق‌دار نانوکامپوزیت کاهش یافت و نانوکامپوزیت‌های با ۴۰ درصد ماده باگاس مقاومت به ضربه بیشتری از خود نشان دادند (شکل ۲). با زیاد شدن مقدار ماده باگاس، سهم فاز پلیمری نانوکامپوزیت کاهش می‌یابد و در نتیجه توانایی پلیمر برای خیس کردن (Wetting) ذرات باگاس کمتر می‌شود. این موضوع سبب مخلوط شدن غیریکنواخت دو فاز ماده و در نتیجه کاهش قدرت اتصال ذرات و مقاومت به ضربه محصول می‌شود. در تیمار شاهد (بدون نانوذره) مقدار این مقاومت برای نمونه‌های با ۵۵ درصد ماده باگاس،



شکل ۲. روند تغییرات مقاومت به ضربه نانوکامپوزیت با افزایش مقدار نانوکربن

منظور از عامل جفت‌کننده برای ایجاد پیوند شیمیایی بین این دو فاز استفاده می‌شود). بنابراین در درصد‌های کمتر پلاستیک، تعداد این اتصالات کاهش خواهد یافت که نتیجه آن کاهش مقاومت‌های مکانیکی نهایی محصول است.

افزایش مقدار نانوکربن از صفر به ۱ درصد سبب افزایش معنی‌دار مقدار مقاومت خمشی نانوکامپوزیت‌های حاصله شد. آزمون دانکن تأثیر نانوکربن بر مقاومت خمشی فرآورده، میانگین‌ها را در سه گروه مختلف دسته‌بندی کرد و بهترین گروه برای تیمار ۰/۵ و ۱ درصد نانوذره مشخص شد. مقاومت خمشی برای نانوکامپوزیت با ۴۰ و ۵۵ درصد ماده باگاس به ترتیب حدود ۱۱ و ۱۳/۵ درصد افزایش یافت. در تحقیقات قبلی نیز به‌طور مشابه، افزایش مقاومت خمشی نانوکامپوزیت‌های فوم‌شده با افزایش نانوکربن از ۰ تا ۲ درصد وزنی تا میزان ۱۶ درصد گزارش شده است [۱۵].

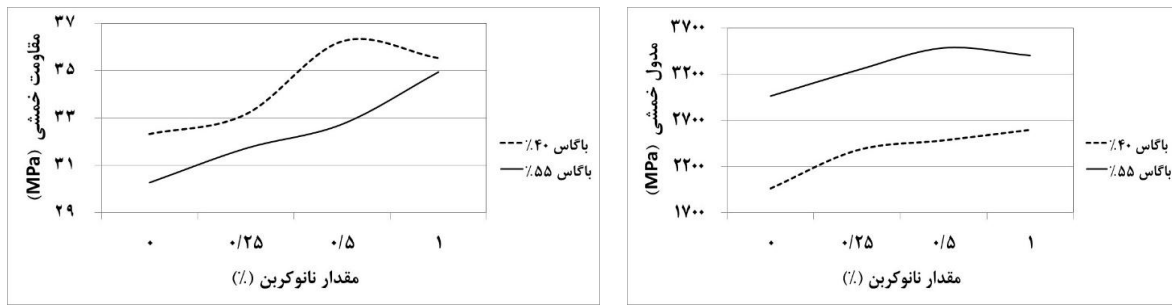
#### مدول خمشی

شکل ۳ اثر مستقل مقدار نانوکربن و آگاس را بر مدول (مدول الاستیسیته) خمشی نانوکامپوزیت نشان می‌دهد. نتایج مشخص کرد که با افزایش مقدار ماده باگاس، مدول خمشی نانوکامپوزیت‌ها روند افزایشی از خود نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، نانوکامپوزیت‌های تولیدشده با ۵۵ درصد آرد باگاس مدول خمشی بزرگ‌تری نسبت به نانوکامپوزیت‌های با ۴۰ درصد آرد باگاس داشتند. نتایج این تحقیق با یافته‌های تحقیقات قبلی مطابقت دارد که مدول الاستیسیته با افزایش مقدار الیاف روند صعودی و سپس کاهش نشان داد [۱۲]. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مدول خمشی مواد مرکب، مدول الاستیسیته اجزای تشکیل‌دهنده آن است. از آنجا که مدول الاستیسیته الیاف چوب از پلی‌پروپیلن بیشتر است، با افزایش آرد باگاس از ۴۰ به ۵۵ درصد مدول خمشی نانوکامپوزیت‌ها افزایش می‌یابد.

فیزیکی در بین دو فاز و توزیع یکنواخت و مناسب خود بستر مناسبی را برای هسته‌زایی ایجاد می‌کند که زمینه‌ساز بهبود خواص مقاومتی می‌شود. افزودن ذرات گرافن ( $GNP^1$ ) به ماتریس پلیمر و چوب با مقاوم کردن نقطه اتصال، سبب بهبود مقاومت به ضربه می‌شود. همچنین با افزودن مقاوم‌ساز نانوذره کربن در آزمون  $DMTA^2$  که در بخش‌های بعدی نتایج آن آورده می‌شود، نسبت مدول اتلاف به مدول ذخیره ماده افزایش می‌یابد که در نتیجه خاصیت ضربه‌پذیری (Damping) ماده زیاد می‌شود. تحقیقات قبلی نیز تأییدکننده این یافته است، به طوری که با افزایش مصرف ذرات  $GNP$  از ۰/۲ تا ۵ درصد وزنی، مقاومت به ضربه محصول به‌طور معنی‌داری تا ۳۳ درصد افزایش یافت و بیشترین مقاومت به ضربه در ۰/۸ درصد وزنی مشاهده شد [۱۴]. بررسی و مقایسه نتایج این آزمون با تحقیقات مشابه نشان داد که استفاده از نانوذره کربن کروی در سطح ۰/۵ تا ۱ درصد وزنی نتایج قابل قبولی را برای آزمون مقاومت به ضربه ثبت کرده است.

#### مقاومت خمشی

با افزایش مقدار ماده باگاس، مقاومت خمشی فرآورده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به طوری که نانوکامپوزیت‌های با ۴۰ درصد ماده باگاس به‌طور میانگین در حدود ۱۰ درصد مقاومت خمشی بیشتر نسبت به نانوکامپوزیت‌های با ۵۵ درصد ماده باگاس را نشان دادند (شکل ۳). در تحقیق مشابه نیز با افزایش آرد چوب از ۶۰ به ۸۰ درصد، مقاومت خمشی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت [۱۲]. اصولاً در مواد مرکب چوب-پلاستیک با مقادیر زیاد الیاف، پلاستیک نقش چسب را برای اتصال ذرات چوبی به هم که از نوع اتصال مکانیکی است انجام می‌دهد (ایجاد نشدن پیوندهای شیمیایی به دلیل طبیعت غیرقطبی پلاستیک و قطبی الیاف چوب است که به همین



شکل ۳. روند تغییرات مقاومت و مدول خمشی نانوکامپوزیت با افزایش مقدار نانوکربن

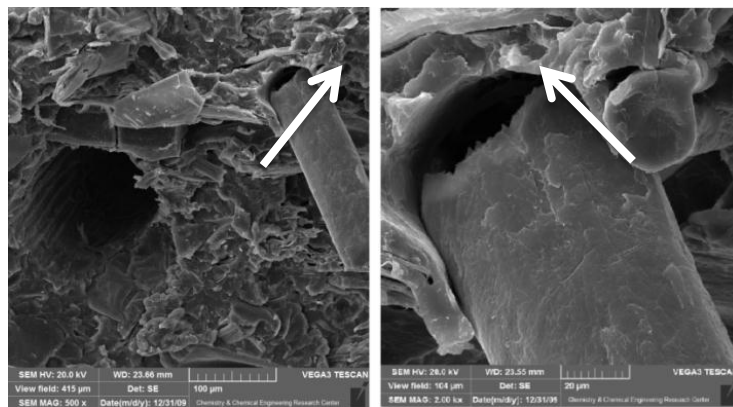
این پدیده می‌تواند دلیل محکمی برای مقاومت کمتر در برابر ضربه در نمونه‌های شاهد نسبت به نمونه‌های دارای نانوذره کربن باشد. به‌طور معمول، پدیده شکست در آزمون‌های ضربه نیز در همین نقاط ضعیف اتفاق می‌افتد که در سطح شکست این نمونه‌ها مشهود است. میزان اثربخشی مقاوم‌سازی نانوذره در ماتریس پلیمر و ماده چوبی توسط مقدار توزیع و پراکندگی آنها در ماتریس ارزیابی می‌شوند. تصاویر شکل ۵ از سطح شکست نمونه‌های آزمون ضربه نانوکامپوزیت با ۴۰ درصد ماده باگاس در بزرگنمایی ۳۵۰۰ برابر تهیه شده است و در آن توزیع یکنواخت نانوذره کربن کروی دیده می‌شود. ساختار سلولی نانوکامپوزیت در مجاورت نانوذره کربن کروی مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار نانوذره، مورفولوژی سلولی بهبود یافته و اتصالات قوی‌تری بین آرد باگاس و پلی پروپیلن ایجاد شده است.

### جذب آب

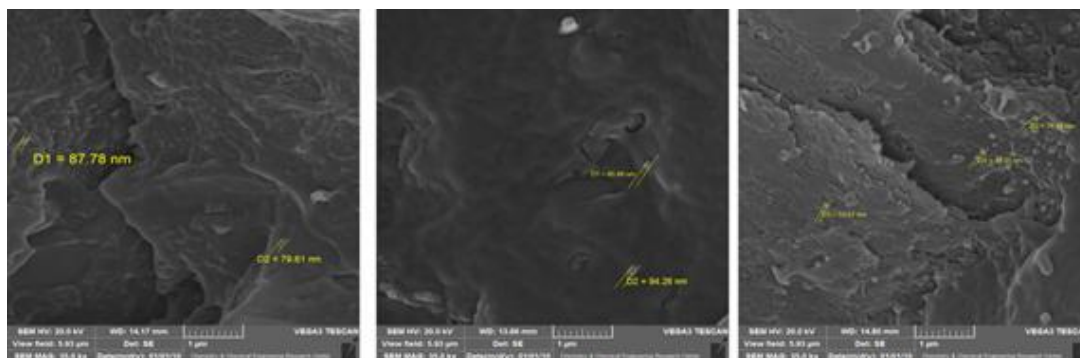
با بررسی مقدار جذب آب نمونه‌ها پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب مشخص شد که تأثیر مقدار ماده چوبی در این خصوصیت معنی‌دار است، ولی مقدار نانوذره کربن تأثیر معنی‌داری بر میزان جذب آب ندارد. بدیهی است که با زیاد شدن مقدار ماده چوبی آب‌دوست در ماتریس پلیمر و ماده چوبی، سهم اجزای آب‌دوست در محصول بیشتر خواهد شد و جذب آب نیز به همان اندازه افزایش خواهد یافت [۱۶].

### تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM

شکل ۴ تصویر SEM با بزرگنمایی ۵۰۰ و ۲۰۰۰ برابر از سطح شکست نمونه‌های آزمون ضربه برای دو نوع چوب-پلاستیک با ۴۰ و ۵۵ درصد باگاس و بدون حضور نانوذره کربن است. در این نمونه‌ها به دلیل نبود نانوذره، اتصال ضعیف بین ماده لیگنوسلولزی و پلیمر به وجود می‌آید که



شکل ۴. تصویر SEM سطح شکست نمونه‌های ضربه با ۴۰ درصد باگاس و بدون نانوذره کربن با بزرگنمایی ۵۰۰ و ۲۰۰۰ برابر

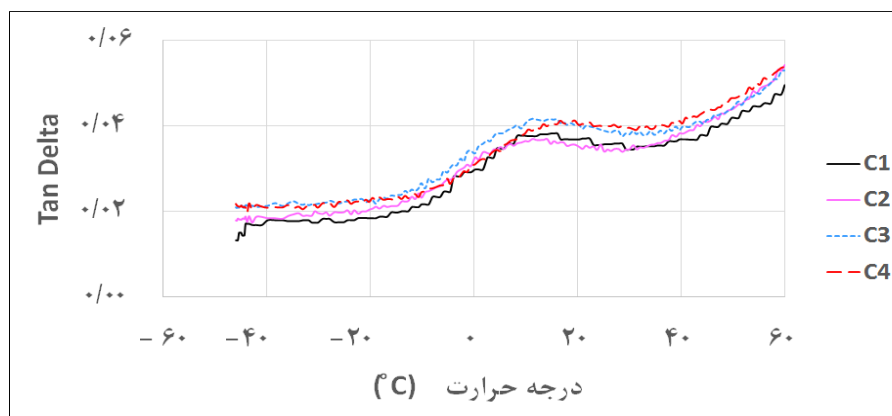


شکل ۵. تصاویر SEM از پراکنش نانوذره کربن کروی در نانوکامپوزیت با ۴۰ درصد باگاس با بزرگنمایی ۳۵۰۰ برابر

ذرات نانوکربن در آن نمونه باشد که اثر منفی در خواص محصول داشت. بررسی مدول ماده در آزمون DMTA برای دو نوع نانوکامپوزیت در دو سطح ماده چوبی ۴۰ و ۵۵ درصد در حالت بدون استفاده از نانوذره مشخص کرد که در ناحیه دماهای کم، هرچه مقدار مدول الاستیسیته بیشتر باشد، خواص مقاومتی بیشتری برای آن ماده انتظار می‌رود. بنابراین با افزایش مقدار باگاس، مقدار مدول نیز افزایش یافته است. نمودار مشخص کرد که با افزایش مقدار نانوکربن، مقدار هر دو مدول ذخیره ( $G'$ ) و مدول اتلاف ( $G''$ ) نیز افزایش می‌یابد که سهم افزایش برای مدول اتلاف بیشتر است. در نتیجه، مقدار  $\tan \delta$  که نسبت مدول اتلاف به مدول ذخیره را نشان می‌دهد بزرگ‌تر می‌شود. این امر سبب بهبود خاصیت ضربه‌پذیری و مقاومت به ضربه محصول شده است.

### بررسی رفتار دینامیکی - مکانیکی DMTA

شکل ۶ نمودارهای تغییرات مقدار  $\tan \delta$  برای مقایسه تأثیر نانوذره کربن کروی بر نانوکامپوزیت‌های با ۴۰ درصد ماده باگاس در چهار سطح مختلف در دامنه دمایی ۵۰- درجه تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. با افزایش مقدار نانوکربن، پیک نمودار  $\tan \delta$  به سمت دماهای بیشتر انتقال یافت که دلیل آن، برهمکنش بیشتر نانوذره کربن کروی با ماتریس پلیمر و آرد باگاس است که به بهبود اتصالات بین دو فاز پلیمر و باگاس انجامید. همچنین مقایسه مقادیر دمای انتقال شیشه‌ای برای دو نوع نانوکامپوزیت مشخص کرد که افزایش مصرف نانوکربن، دمای انتقال شیشه‌ای نانوکامپوزیت‌ها را در ماده باگاس ۴۰ درصد، از ۱۲/۵ به ۱۹/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش داد. کاهش مقدار این عدد در بعضی از نتایج ممکن است ناشی از اثر کلوخه شدن



شکل ۶. مقادیر  $\tan \delta$  در آزمون DMTA نانوکامپوزیت با باگاس ۴۰ درصد در مقادیر مختلف نانوکربن



## نتیجه گیری

به‌طور کلی نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش مصرف ماده باگاس از ۴۰ به ۵۵ درصد، دانسیته محصول نهایی افزایش یافت. به همین دلیل نانوکامپوزیت‌های با ۴۰ درصد باگاس با وزن سبک‌تر برای صنعت خودرو مناسب‌ترند. در مقابل، افزایش مقدار باگاس، سبب کاهش مقاومت به ضربه و مقاومت خمشی محصول شد. همچنین با افزایش مقدار آن، مقدار مدول خمشی و جذب آب محصول افزایش پیدا کرد. همچنین افزودن ذرات نانوکربن کروی، خود سبب کاهش دانسیته محصول نهایی شد، ولی تأثیر آن از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. افزایش مقدار نانوکربن نیز، مقاومت به ضربه و مقاومت خمشی فرآورده را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد، ولی تأثیر این عامل بر مدول الاستیسیته خمشی معنی‌دار نیست. تصاویر میکروسکوپ الکترونی توزیع یکنواخت

نانوذره کربن کروی در محصول را نشان داد و مشخص کرد که حضور نانوذره سبب بهبود مقاومت اتصال بین مواد ماتریس شده است. افزایش استفاده از نانوذره کربن سبب بهبود برهمکنش بین نانوذره کربن با ماتریس پلیمر و باگاس شده که به ایجاد اتصالات قوی‌تر بین دو فاز پلیمر و باگاس انجامیده است. همچنین مقایسه مقادیر دمای انتقال شیشه‌ای برای دو نوع نانوکامپوزیت مشخص کرد که با افزایش مصرف نانوذره کربن، دمای انتقال شیشه نمونه افزایش یافت.

## سپاسگزاری

بیشتر بخش‌های این تحقیق در قالب فرصت مطالعاتی برگرفته از رساله دکتری با حمایت مالی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در پژوهشگاه پلیمر زیر نظر دکتر اسماعیل قاسمی انجام گرفت که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

## References

- [1]. Ashori, A.R. (2008). Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industry. *Bioresource technology*, 99(11): 4661-4667.
- [2]. Kada, D., Migneault, S., Tabak, G., and Koubaa, A. (2016). Physical and mechanical properties of polypropylene-wood carbon fiber hybrid composites. *Bioresources*, 11(1): 1393-1406.
- [3]. Ashori, A., Shahrehabak, A.B., and Madhoushi, M. (2015). Effects of nanoclay and coupling agent on fungal degradation and water absorption of sanding dust/high density polyethylene composites. *Journal of composite materials* 49(9): 1107-1114.
- [4]. Makhmale, S.A., Patil, S.B., Kale, V.G., and Ravishankar, S. (2016). Automobile bodies by advance material with light weight. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(4): 970-975.
- [5]. Rafie Keshtli, F., Siaie Tiri, H., and Shams Nateri, M. (2014). Investigating the water absorption and resistance impact resistance of wood-plastic composite based on recycled materials. 2<sup>nd</sup> National Conference on Modern Technologies in Wood and Paper Industries.
- [6]. Prashantha, K., Soulestin, J., Lacrampe, M.F., Claes, M., Dupin, G., and Krawczak, P. (2008). Multi-walled carbon nanotube filled polypropylene nanocomposites based on masterbatch route: Improvement of dispersion and mechanical properties through PP-g-MA addition. *Express Polymer Letters*, 2(10): 735-745.
- [7]. Petchwattana, N., Covavisaruch, S., and Phetsang, K. (2015). Multi-walled carbon nanotube filled polypropylene nanocomposites: electrical, mechanical, rheological, thermal and morphological investigation. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Industrial Application Engineering*.
- [8]. Menbari, S., Ashenai Ghasemi, F., and Ghasemi, I. (2015). Comparison of mechanical properties of hybrid nanocomposites of Polypropylen/Talc/Graphene with Polypropylene/ Graphene. *Modares Mechanical Engineering*, 15(7): 329-335.
- [9]. Hemmati, M., Rahimi, G.H., Kaganj, A.B., Sepehri, S., and Rashidi, A.M. (2008). rheological and mechanical characterization of multi-walled carbon nanotubes /polypropylene nanocomposites. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 47(6):1176-1187.

- [10]. Rashidi, A.M., Hajjar, Z., Ghosatllo, A., Rashtchi, M. (2012). Highly-ordered nanostructure arrays and methods of preparation thereof. US Patent 20120204890.
- [11]. Pourabbasi, S., and Kord, B. (2011). Investigation on the effect of chemical foaming agent and wood flour content on mechanical properties, density and cell morphology of HDPE/EVA/ wood flour hybrid foamed composites. *Journal of Wood and Paper Industries of Iran*, 2(1): 63-80.
- [12]. Chaharmahali, M., Kazemi Najafi, S., and Tajvidi, M. (2006). The effect of producing method on the mechanical properties of wood plastic composites made from particleboard waste. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 21(1). 33-42.
- [13]. Ghanbari, A., Madhoushi, M., and Ashori, A. (2014). Wood plastic composite panels: Influence of the species, formulation variables and blending process on the density and withdrawal strength of fasteners. *Journal of Polymers and the Environment*, 22(2): 260-266.
- [14]. Sheshmani, Sh., Ashori, A., and Arab Fashapoyeh, M. (2013). Wood plastic composite using graphene nanoplatelets. *International Journal of Biological Macromolecules*, 58: 1– 6.
- [15]. Tavasoli Farsheh, A., Talaeipour, M., Hemasi, A.H., Khademieslam, H., Ghasemi, I., and Masoomi, Z. (2011). Development of fine-celled wood fiber/PVC Composite foams using multi-walled carbon nanotubes. *World Applied sciences journal*, 13(2): 269-276.
- [16]. Chavooshi, A., Madhoushi, M., Navi, M., and Abareshi, M.Y. (2014). MDF dust/PP composites reinforced with nanoclay: Morphology, long-term physical properties and withdrawal strength of fasteners in dry and saturated conditions. *Construction and Building materials*, 52: 324-330.

## Improving of impact strength of composite PP/bagasse by using of nano carbon (GNPR) for application in automotive industry

**A. Malakani**; Ph.D. Student of Wood Composites, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I.R. Iran

**M. Madhoushi\***; Assoc. Prof., Department of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I.R. Iran

**Gh. Ebrahimi**; Prof., Department of Wood Industries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

**A. Rashidi**; Prof., Nanotechnology Research Center, Research Institute of Petroleum Industry, I.R. Iran

(Received: 17 October 2018, Accepted: 02 March 2019)

### ABSTRACT

The current study was carried out to investigate the possibility of improving the strength properties, especially the impact resistance of plastic wood composites (bagasse/polypropylene) by adding the carbon nanoparticles (GNPR) for using in the automotive industry. For this purpose, the nanocomposite must have a low density and high impact resistance. In this research, the 40% and 55 wt% of bagasse particles with 40 meshes, four GNPR content (0, 0.25, 0.5 1%), polypropylene (PP), and 2% maleic anhydride polypropylene were used. The nanocomposites were produced by using an internal mixer and then samples were produced for density, impact, and flexural strength test by two-stage hot and cold press. The physical and mechanical results showed that by increasing the bagasse particles content in the obtained nanocomposite, the density, flexural modulus, and water absorption of the product were increased while the impact resistance and bending strength were decreased. In addition, by increasing the carbon nanoparticles content the impact strength and flexural strength of the nanocomposite were improved. The SEM microscopic images revealed the uniform distribution of the carbon nanoparticles (GNPR) at the fracture surface of the impact specimens and improved bonding between bagasse and PP particles. Furthermore, by increasing the use of carbon nanoparticles (GNPR), the glass transition temperature of nanocomposites improved. The DMTA results indicated that the modulus of resulting nanocomposite was increases with increasing the bagasse quantity.

**Keywords:** GNPR, Impact strength, Nano-composite, Physical and mechanical Properties.

---

\* Corresponding Author, Email: madhoushi@gau.ac.ir, Tel: +989111757964