

مقایسه الیاف طبیعی سلولزی و الیاف سنتزی آرامید بر ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت بستر

اپوکسی

چکیده

در بسیاری از کاربردهای مهندسی، به تلفیقی از ویژگی‌ها نیازست و یک ماده نمی‌تواند تمامی الزامات را برآورده‌سازد. بنابراین تولید و کاربرد کامپوزیت‌ها در صنایع مختلف از طریق ترکیب مواد، کاربرد وسیعی یافته‌است. بااینحال، مسائل زیست-محیطی کاربرد اجزای دوستدار محیط‌زیست را در ترکیب کامپوزیت‌ها الزام می‌نماید. از این‌رو در این پژوهش، امکان جایگزینی الیاف طبیعی سلولزی با الیاف سنتزی وارداتی آرامید در ترکیب کامپوزیت پایه اپوکسی در حضور و عدم حضور نانوبنتونیت بررسی‌شد. الیاف مزبور در سطوح ۰/۵ و ۰/۲۵ درصد و نانوبنتونیت در سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد در رزین اپوکسی مخلوط و پس از حباب‌زدائی و تکمیل گیرایی کامپوزیت، مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان‌داد که کاهش میزان حباب و نیز بهبود یکنواختی شکل‌گیری ظاهری از طریق کاهش کاربرد الیاف، بیشترین تاثیر را بر ویژگی‌ها دارد. بنحویکه مقاومت کششی کامپوزیت حاوی ۰/۵٪ الیاف کولار کمتر از ۰/۲۵٪ بود. برخلاف الیاف آرامید، افزایش کاربرد منفرد الیاف سلولزی از ۰/۲۵ درصد به ۰/۵ درصد منجر به بهبود چشمگیر مقاومت کششی و مدول‌های الاستیسیته کششی و گسیختگی گردید. بنحویکه در سطح کاربرد ۰/۵٪، ویژگی‌های مذکور و نیز سطح تخریب‌شده کامپوزیت سلولزی بر اثر ضربه بالستیک، حائز برتری بوده که می‌توان علت را به طول کوتاه‌تر الیاف سلولزی (۱/۸mm) در مقایسه با الیاف کولار (۴/۸mm) و توزیع یکنواخت‌تر الیاف در ماده زمینه نسبت داد. لیکن جذب انرژی در الیاف کولار (۵۴ ژول) بیشتر از الیاف سلولزی (۵۰ ژول) بود. کاربرد منفرد الیاف سلولزی و کولار و تلفیق آنها با نانوبنتونیت منجر به تقارن شکست و کاهش چشمگیر سطح تخریب (تا ۴۰ درصد) و ترک‌های بستر کامپوزیت در مقایسه با نمونه شاهد (17 cm^2) رزین اپوکسی گردید.

واژگان کلیدی: الیاف آرامید، الیاف سلولزی، رزین اپوکسی، ضربه بالستیک.

مقدمه

مواد لیگنوسلولزی به‌عنوان زیست توده‌هایی در دسترس و واجد ویژگی‌های مناسب کاربردی، بی‌بدیل است [۱].

به‌کارگیری مواد زیست‌بنیان بجای مواد نفتی گسترش روزافزونی در صنایع مختلف دارد و در این میان، نقش

اشکان کشاورز روبهقانی^۱
حسین جلالی ترشیزی^{۲*}
فرانک محمدکاظمی^۳
مجتبی کوشا^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیراب، ایران
^۲ استادیار دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیراب، ایران
^۳ استادیار دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیراب، ایران
^۴ استادیار دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیراب، ایران

مسئول مکاتبات:

H.Jalali@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۱

کاربرد الیاف لیگنوسلولزی در انواع کامپوزیت‌های با بستر پلیمری، اثرات رضایت‌بخشی نظیر بهبود زیست‌سازگاری و کاهش هزینه و وزن دارد که به‌ویژه در صنایع خودروسازی، مورد استفاده هستند [۲-۷]. کلاه‌های ایمنی و جلیقه‌های ضدگلوله در زمره کامپوزیت‌های ویژه‌ای هستند که برای محافظت از انسان؛ نیازمند وزن سبک، جذب زیاد انرژی ضربه آبی (بالستیک)، مقاومت به سوراخ-شدن و حداقل تخریب هستند و در تولید آنها عموماً از الیاف سنتزی مثل الیاف شیشه، کربن و آرامید استفاده می‌شود [۸]. با این حال حجم و سفتی بالای پوشش‌های محافظتی متداول، راحتی و تحرک را مشکل نموده و از طرفی کاهش انرژی ناشی از ضربه بالستیک و جذب آن توسط مواد سبک در مقایسه با مواد سنگین، بیشتر گزارش شده‌است [۹، ۱۰]. همچنین چالش‌های ناشی از فراوری الیاف آرامید که سطوح صاف و از لحاظ شیمیایی خنثی را بوجود می‌آورد، قابلیت این الیاف برای اتصال به ماتریس‌های پلیمری را محدود می‌سازد [۱۱]. کاربرد نانومواد در بهبود مقاومت‌های ماتریس‌های پلیمری موفق بوده [۱۲] و نانوذرات پراکنده در کامپوزیت‌های پلیمری تقویت‌شده با الیاف، بهبود ویژگی‌های مکانیکی و نیز ایجاد ویژگی‌های الکتریکی، گرمایی یا مغناطیسی را به‌همراه داشته‌است [۱۲]. افزودنی‌هایی با ضریب لاغری بالا نظیر الیاف سلولزی بواسطه نسبت بالای سطح به حجم، موجب بهبود موثر ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت‌های پلیمری، به‌دلیل افزایش پیوندیابی بین ماتریس و افزودنی‌ها می‌شوند [۱۳ و ۱۴]. با این حال، کاربرد مستقیم افزودنی‌ها در مقادیر اندک در رزین و سپس قالب‌گیری مخلوط حاصله، بهترین روش کاربرد معرفی شده‌است. چراکه مصرف بالای افزودنی‌ها موجب ایجاد مخلوطی بسیار ویسکوز شده که توزیع یکنواخت افزودنی‌ها را با مشکل مواجه ساخته و افزایش جذب رطوبت و خیس‌شوندگی کامپوزیت را نیز به‌همراه دارد [۱۱]. الیاف طبیعی علاوه بر ارزان‌تر بودن و دانسیته پایین‌تر نسبت به انواع الیاف مصنوعی، مصرف انرژی و نیز آلاینده‌های به‌مراتب کمتری را در فرآیندهای تولید، مصرف و پس از آن به‌همراه دارند [۲]. لیکن مقایسه مقاومت کششی کامپوزیت‌های پلیمری حاوی الیاف سنتزی و طبیعی (کنف، جوت،

کتان) حاکی از برتری الیاف سنتزی داشته که با روش‌های همچون تیمار شیمیایی، جهت‌یابی الیاف و دمای فراوری امکان بهبود در مقاومت کششی کامپوزیت‌های الیاف طبیعی گزارش گردیده‌است [۱۵]. احتمالاً اولین بار Wambua و همکاران (۲۰۰۷) خواص بالستیک کامپوزیت‌های پلیمری حاوی الیاف طبیعی را بررسی و نشان‌دادند که نتایج ضربه بالستیک و جذب انرژی ماتریس پلی‌پروپیلن با الیاف کتان، کنف و جوت؛ در محدوده جلیقه‌های ضدگلوله نبوده‌است [۱۶]. Monteiro و همکاران (۲۰۱۵) الیاف طبیعی کوروا (بومی آمازون) را در کامپوزیت‌های اپوکسی و پلی‌استر جایگزین الیاف متداول آرامید کرده و نشان‌دادند که کامپوزیت‌های حاوی ۳۰٪ الیاف طبیعی می‌توانند جایگزین خوبی برای پارچه‌های آرامید در زره‌های چندلایه بالستیک باشند [۲]. به‌طوری که بعضاً انرژی ضربه آبی بیش از ۱۵۰ ژول را نشان داده‌است [۴]. کاربرد افزودن همزمان الیاف باگاس و الیاف کولار در ماتریس پلیمر اپوکسی منجر به افزایش مقاومت‌های مکانیکی دینامیکی (کشش، خمش و ضربه) در مقایسه با کاربردهای منفرد و تیمار شاهد گردید [۱۷]. البته کامپوزیت‌های پلیمری حاوی الیاف طبیعی از معایبی ذاتی نظیر لایه‌ای شدن و ترک خوردن برخوردار هستند. از این‌رو کاربرد نانومواد پراکنده شده در ماتریس‌های پلیمری، مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند [۱۸]. در این زمینه، Ngo و همکاران (۲۰۰۸) اثر نانوذرات رس بر خواص مکانیکی رزین‌های اپوکسی را بررسی و نشان‌دادند که استحکام کششی، مدول و چقرمگی اپوکسی بطور چشمگیری بهبود می‌یابد [۱۹]. همچنین افزایش درصد نانورس بیش از حد بهینه، منجر به کاهش خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های اپوکسی/نانورس می‌شود که این پدیده به عدم حذف کامل حلال و وجود حباب در بین توده‌های نانورس و احیاناً تجمع و کلوخه شدن نانوذرات نسبت‌داده می‌شود [۲۰]. بنابراین و با توجه به نیاز روزافزون به الیاف ویژه، گران‌قیمت و وارداتی کولار و نیز کاربردهای نظامی کامپوزیت‌های بالستیک، مقایسه الیاف مصنوعی کولار با الیاف طبیعی سوزنی‌برگ در کامپوزیت‌های بستر اپوکسی در حضور و عدم حضور نانوبنتونیت بر ویژگی‌های متداول

۰/۵ و ۰/۲۵ درصد و نانوبنتونیت (NB) در سطوح ۰/۱ و ۰/۲ درصد به رزین اپوکسی اضافه شده و به وسیله همزن مکانیکی با شدت ۵۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه مخلوط گردید. بنابراین ارائه تیمارها در نمودارها توسط علائم اختصاری K، S، W، Blank و NB به ترتیب معرف تیمارهای حاوی الیاف سوزنی برگ، الیاف کولار، نانوبنتونیت و فاقد افزودنی (شاهد) می باشد که مقادیر مصرف متناظر نیز برای هر افزودنی، قید گردیده است. انتخاب سطوح افزودنی، مبتنی بر انجام پیش آزمون‌ها و نیز مرور منابع صورت گرفت. در پایان و پس از کاهش شدت همزن به ۲۵۰ دور بر دقیقه، سخت کننده به رزین در حال اختلاط افزوده و پس از ۳ دقیقه متوقف گردید. مخلوط سیال به قالب‌های تفلونی صیقلی مسطح با ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ میلی متر منتقل و به منظور خروج حباب‌های هوای ایجاد شده حین اختلاط، از لرزاننده استفاده شد. لازم به ذکر است که در ابتدا برای این منظور دسیکاتور خلاء نیز بکاررفت که به دلیل تجمع الیاف در سطح کامپوزیت، در سراسر پژوهش استفاده نگردید. پس از نگهداری نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق، قالب‌ها از کامپوزیت شکل گرفته جدا گردید و برای تکمیل گیرائی و پرورده شدن رزین، به مدت یک هفته نگهداری شد. ضخامت و دانسیته تمامی نمونه‌ها با یکدیگر برابر و به ترتیب ۵ میلی متر و 0.1 ± 1.0 گرم بر سانتی متر مکعب تنظیم گردید و به دلیل ماهیت ضد آب بودن رزین، میزان رطوبت نمونه‌ها صفر درصد اندازه گیری شد. پس از برش آزمون‌ها با اهر ظریف، آزمون‌های خمش سه نقطه و کشش به ترتیب بر اساس استانداردهای ASTM D 638-02a و ASTM D790-03 توسط دستگاه دستگاه آزمون مقاومت صورت گرفت. از دستگاه تفنگ گازی (نیتروزن) پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران (شکل ۲) دارای لوله با جدار داخلی صاف (بدون خان)، برای آزمون ضربه بالستیک استفاده شد. بدین منظور نمونه‌هایی به ابعاد 125×125 میلی متر تهیه و از تفاوت سرعت اولیه $(V_1 = 220 \text{ m/s})$ گلوله کروی با جرم (m) $2/71$ گرم با سرعت ثانویه (V_2) ، میزان جذب انرژی محاسبه گردید (رابطه ۱) [۲۳].

مکانیکی و نیز مقاومت ضربه آنی سرعت بالا، در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد: رزین بی رنگ اپوکسی E20 با ویسکوزیته ۹۴۵ سانتی پواز و سخت کننده (هاردنر) زرد رنگ پلی آمینی H205 با ویسکوزیته ۱۵۸-۱۴۸ و با دانسیته‌های به ترتیب ۱ و $1/02 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$ از شرکت پارس گوهر تهیه شد و بر اساس دستورالعمل سازنده، نسبت اختلاط هاردنر به رزین ۳۱ به ۶۹ استفاده گردید. الیاف سلولزی سوزنی برگ (شکل ۱ راست) با میانگین طول $1/8$ میلی متر از موجودی کارخانه چوب و کاغذ مازندران، الیاف آرامید با نام تجاری کولار (شکل ۱ چپ) با میانگین طولی $4/8$ میلی متر از شرکت دوپونت^۱ آمریکا و نانوبنتونیت با دانده بندی مش ۱۵۰۰ از شرکت فرزنان پودر (مشهد) تهیه شد.

آماده سازی الیاف: به منظور افزایش سازگاری الیاف

ذاتاً آبدوست سوزنی برگ با رزین غیر آبدوست اپوکسی، از روش تبادل حلال با استفاده از الکل‌های اتانول و استون استفاده شد. بدین منظور ابتدا میزان مشخص الیاف به ترتیب در اتانول ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد غوطه ور و سپس به محیط استون (۹۸٪) منتقل شد. در نهایت الیاف در محیط آزمایشگاه قرار گرفت تا استون خارج شود [۲۱]. به منظور اصلاح سطح الیاف کولار توسط اسید فسفوریک، ابتدا الیاف کولار توسط استون شستشو یافته و سپس در دمای محیط نگهداری شد تا استون کاملاً خارج شود. سپس الیاف کولار به محلول ۲۰ درصد اسید فسفوریک منتقل و به مدت ۲ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد تحت تیمار قرار گرفت. پس از آن الیاف با استفاده از آب مقطر تا رسیدن به pH خنثی شستشو و در نهایت در دمای 105°C و در طی مدت زمان ۵ ساعت خشک گردید [۲۲].

ساخت کامپوزیت: الیاف سلولزی (SW) (شکل

۱-چپ) و کولار (K) (شکل ۱-راست) در سطوح

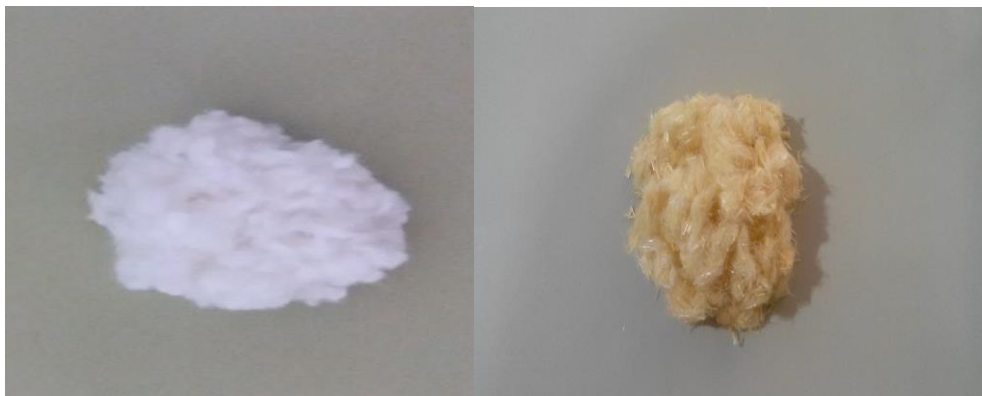
¹ Dupont

که در آن K_{absorb} انرژی جنبشی جذب شده توسط کامپوزیت، K_1 انرژی جنبشی اولیه گلوله و K_2 انرژی جنبشی ثانویه گلوله (محاسبه شده توسط رابطه ۲) پس از تخریب و خروج از نمونه کامپوزیتی می‌باشد.

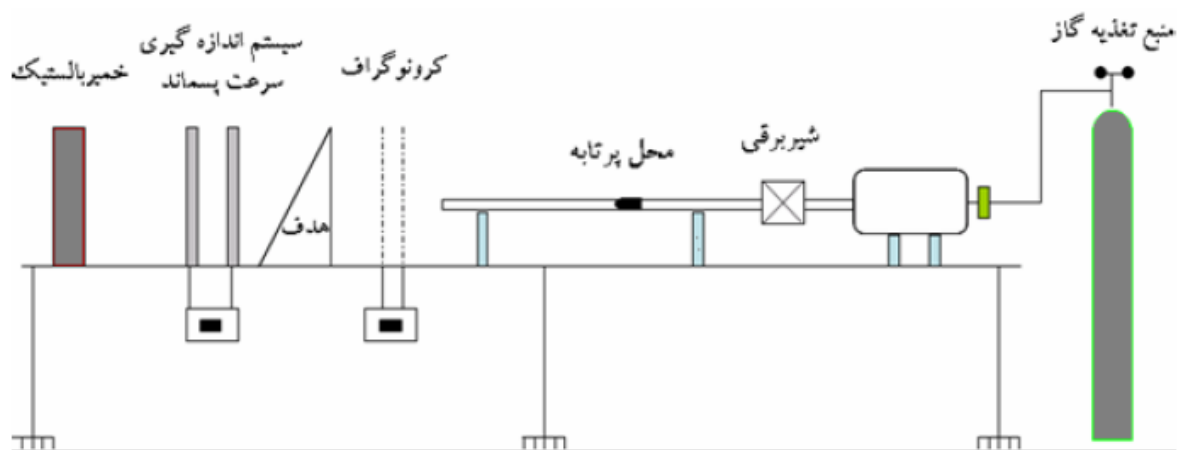
رابطه (۲) m : جرم گلوله، x : اولیه یا ثانویه $K_x = \frac{1}{2} m \cdot V_x^2$

برای این منظور سرعت‌سنج نوری به‌همراه میکروکنترلر برای اندازه‌گیری سرعت گلوله استفاده شد. ارزیابی شدت آسیب و تخریب وارده به نمونه‌های کامپوزیتی ناشی از اصابت و عبور گلوله تفنگ گازی نیز از طریق اسکنر سامسونگ مدل SCX و اندازه‌گیری مساحت سطح تخریب شده صورت گرفت.

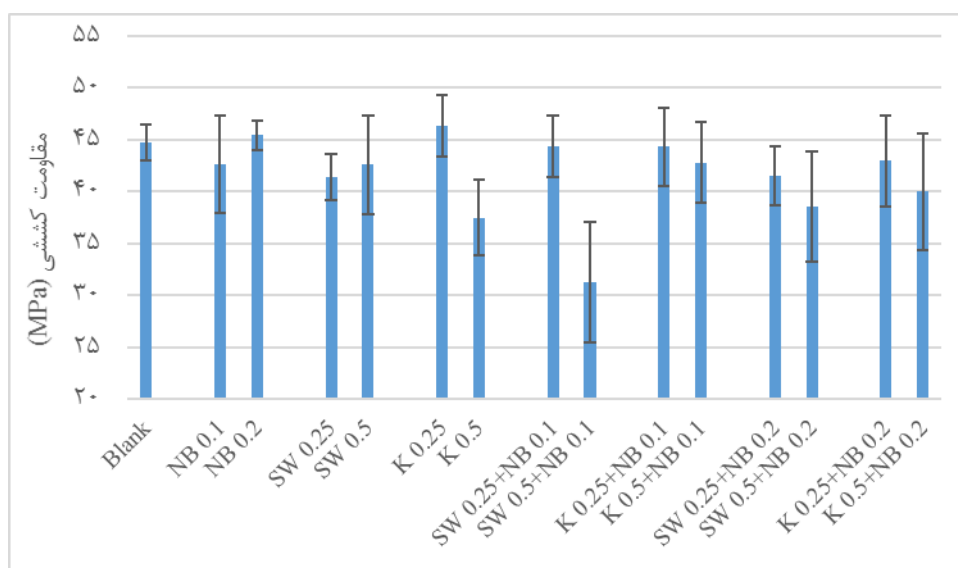
$$K_{\text{absorb}} = K_1 - K_2 \quad \text{رابطه (۱)}$$



شکل ۱- توده الیاف سوزنی‌برگ (راست) و الیاف کولار (چپ)



شکل ۲- تصویر نمادین تفنگ گازی مورد استفاده در آزمون ضربه بالستیک



شکل ۳- مقایسه تاثیر الیاف سلولزی با الیاف کولار در حضور و عدم حضور نانوبنتونیت بر مقاومت کششی کامپوزیت

نتایج و بحث

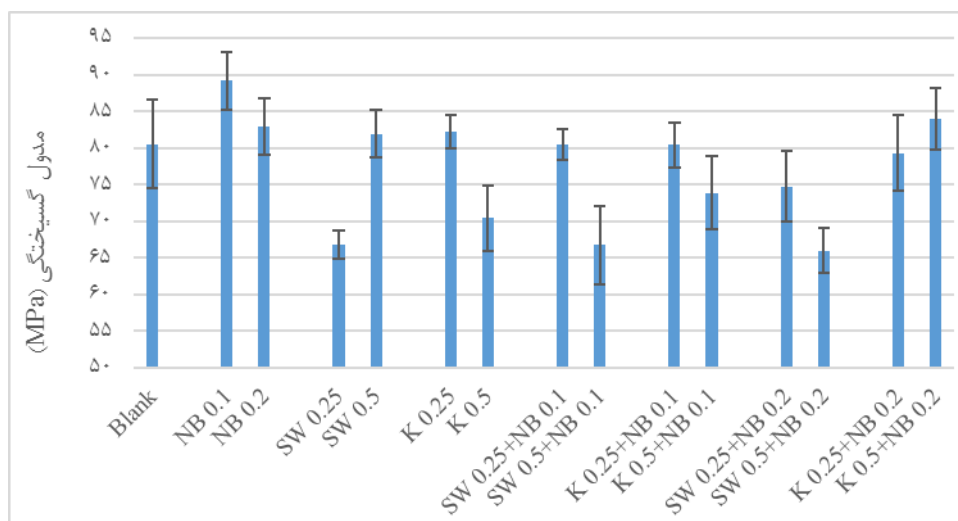
مقاومت کششی: نتایج آزمون مقاومت کششی کامپوزیت‌های مورد بررسی در شکل (۳) آمده‌است. بطور کلی، بجز سطح افزودن ۰/۲۵ درصد الیاف کولار (مقاومت ۴۶/۳۷ مگاپاسکال) در مابقی تیمارهای افزودن مواد به رزین اپوکسی، منجر به افزایش مقاومت کششی کامپوزیت نشده‌است. بنابراین کاربرد الیاف کولار بطور منفرد و در میزان افزودن ۰/۲۵ درصد مقاومت کششی بهتری را از خود نشان داده که این امر را می‌توان به توزیع یکنواخت الیاف در ماتریس اپوکسی و واکنش سطح الیاف کولار با گروه‌های عاملی اپوکسی نسبت داد. با افزایش کاربرد الیاف سنتزی کولار به سطح ۰/۵ درصد، مقاومت کششی به شدت کاهش یافت و به میزانی کمتر از تیمار شاهد و نیز کاربردهای منفرد الیاف سلولزی و نانوبنتونیت تنزل یافت که دلیل آن را می‌توان به درهم‌رفتگی بالای الیاف بلند کولار (طول حدود ۵ میلیمتر) که موجب کلوخه شدن و تمرکز تنش می‌شود، مربوط دانست [۲۰، ۲۳]. در حالیکه نتایج افزایش سطح افزودن الیاف سلولزی و نانوبنتونیت برعکس بوده و افزایش مقاومت کامپوزیت در برابر کشش را سبب گردیده‌است که دلیل این تفاوت را می‌توان به ابعاد کوچک‌تر و توزیع یکنواخت در حالت‌های کاربرد بنتونیت و سلولز نسبت داد. شدت افزایش در تیمار بنتونیت بیشتر از الیاف سلولزی بوده‌است. با این حال،

تاثیر همزمان الیاف/ نانوبنتونیت بر مقاومت کششی کامپوزیت متفاوت بوده و بسته به میزان و نوع افزودنی داشته‌است. لیکن بطور کلی و برخلاف کاربرد منفرد الیاف سوزنی‌برگ و بنتونیت، افزایش سطح مصرف آن از ۰/۲۵ به ۰/۵ درصد جرم کامپوزیت در حضور نانوبنتونیت منجر به کاهش مقاومت کششی گردیده که می‌توان علت این امر را به شکل‌گیری نامناسب و دلمه‌شدگی الیاف [۱] در سطوح کاربردی بالا در بستر پلیمر مرتبط دانست. با این حال کامپوزیت بنتونیت/کولار در مقایسه با بنتونیت/سلولزی حائز برتری مقاومت کششی بوده‌است.

مدول گسیختگی: نتایج مدول گسیختگی کامپوزیت‌ها که در شکل (۴) آمده‌است، برتری کاربرد منفرد ۰/۱ درصد نانوبنتونیت (۸۹/۲ مگاپاسکال) نسبت به دیگر تیمارها و نیز تیمار شاهد (۸۰/۵ مگاپاسکال) را نشان می‌دهد. لیکن کاربرد نانوبنتونیت در حضور الیاف سلولزی و کولار، عمدتاً منجر به کاهش مدول گسیختگی کامپوزیت گردید. زیاد شدن نقاط تمرکز تنش و نیز تضعیف شکل‌گیری و توزیع نیروی گسیختگی وارده، دلیلی بر افت مدول گسیختگی کامپوزیت می‌تواند باشد. تا جائیکه افزایش میزان کاربرد الیاف سلولزی و کولار در حضور نانوبنتونیت، عمدتاً کاهش مدول گسیختگی را به همراه داشته‌است. همچنین در مقایسه با کاربرد منفرد

افزایش میزان کاربرد الیاف سلولزی منجر به افزایش مدول گسیختگی کامپوزیت اپوکسی شد. تلفیق الیاف کولار با نانوبنتونیت منجر به کاهش افت مدول گسیختگی و حتی در سطح کاربرد ۰/۲ درصد نانوبنتونیت، برتری مدول گسیختگی با افزودن ۰/۵ درصد الیاف کولار نسبت به ۰/۲۵ درصد آن شد. به عبارتی دیگر بیشترین مدول گسیختگی مشاهده شده در تیمارهای حاوی الیاف کولار، مربوط به تیمار ترکیبی K0.5+NB0.2 بوده که افزایش مدول گسیختگی به ۸۴ مگاپاسکال را موجب گردید.

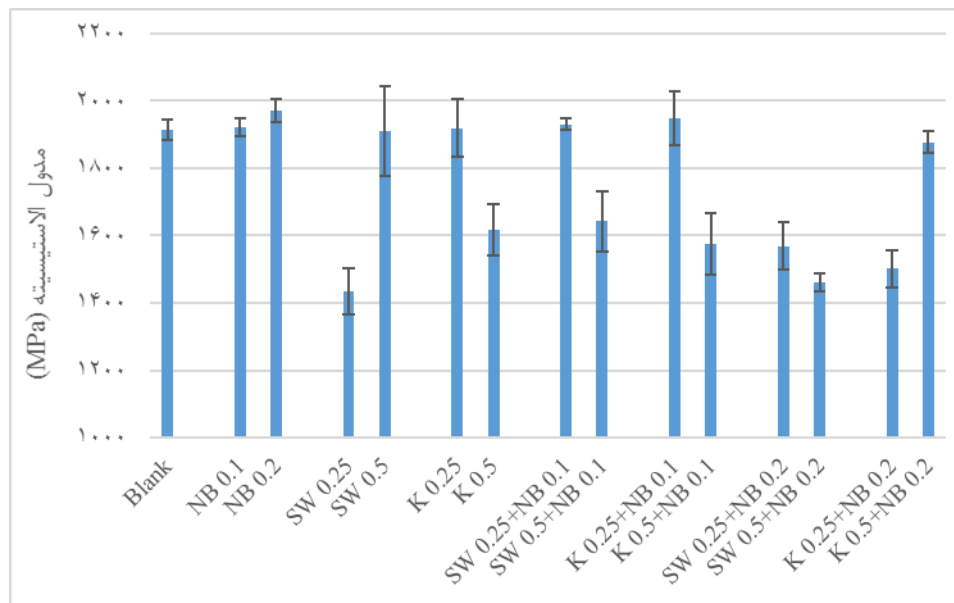
نانوبنتونیت، تلفیق آن با الیاف منجر به کاهش مدول گسیختگی گردید. این نتایج در سازگاری با نتایج آزمون کششی است. بطور کلی کاربرد منفرد سطوح ۰/۵ درصد الیاف گیاهی (۸۲ مگاپاسکال) و ۰/۲۵ الیاف سنتزی کولار (۸۲/۳ مگاپاسکال) افزایش ملموس مدول گسیختگی را در مقایسه با نمونه شاهد منجر گردید. همانند مقاومت کششی و برخلاف رفتار الیاف سلولزی، افزایش کاربرد منفرد الیاف کولار منجر به کاهش مدول گسیختگی گردید، در حالیکه همانند مقاومت کششی،



شکل ۴- مقایسه تاثیر الیاف سلولزی با الیاف کولار در حضور و عدم حضور نانوبنتونیت بر مدول گسیختگی

تضعیف کیفیت شکل‌گیری ساختار کامپوزیت معطوف-گردد. نکته جالب توجه، بهبود مدول الاستیسیته کامپوزیت با افزایش میزان کاربرد منفرد الیاف سلولزی است، در حالیکه در حضور نانوبنتونیت کاهش الاستیسیته با افزایش کاربرد الیاف سلولزی مشهود است. این نتیجه با ویژگی‌های کششی و مدول گسیختگی کامپوزیت نیز در سازگاری کامل می‌باشد. با این حال، افزایش کاربرد منفرد الیاف کولار، برخلاف الیاف سلولزی منجر به کاهش مدول الاستیسیته کامپوزیت اپوکسی گردید.

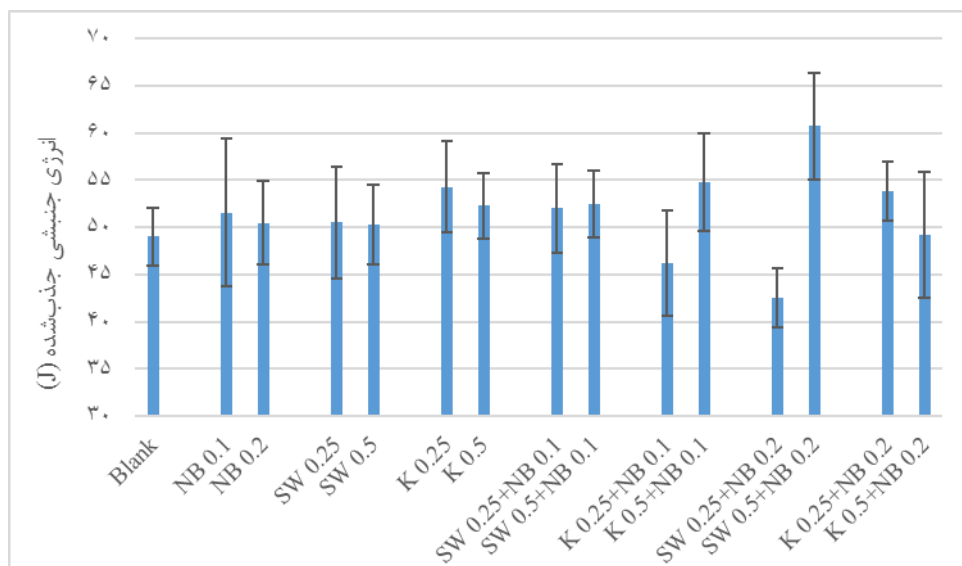
مدول الاستیسیته کششی: همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، در مدول الاستیسیته کامپوزیت اپوکسی نیز کاربرد منفرد نانوبنتونیت برتر از کاربردهای منفرد الیاف کولار، الیاف سوزنی‌برگ و نیز حالت‌های ترکیبی الیاف با بنتونیت بوده‌است. افزایش کاربرد منفرد الیاف سلولزی منتج به افزایش مدول الاستیسیته گردید، لیکن در حالت‌های تلفیقی الیاف سلولزی/بنتونیت، افزایش میزان کاربرد الیاف سلولزی منجر به کاهش مدول الاستیسیته شد که همانند مدول گسیختگی، می‌تواند به



شکل ۵- مقایسه تاثیر الیاف سلولزی با الیاف کولار در حضور و عدم حضور نانوبنتونیت بر مدول الاستیسیته کامپوزیت

اپوکسی، میزان جذب انرژی کامپوزیت کولار بطور بارزی بیشتر از کامپوزیت سلولزی بوده، لیکن تقریباً با نانوبنتونیت برابر بوده است. بطور کلی، کاربرد هر یک از سه ماده افزودنی مورد مطالعه منجر به افزایش جذب انرژی جنبشی در مقایسه با تیمار شاهد گردید که افزایش انعطاف ساختار کامپوزیت را برای جذب انرژی نشان می-دهد [۲۳].

آزمون ضربه بالستیک: نتایج میزان انرژی جنبشی جذب شده توسط کامپوزیت‌های مختلف حاوی الیاف طبیعی سلولزی، الیاف سنتزی کولار و نانوبنتونیت در شکل (۶) آمده است. بیشترین مقدار جذب انرژی (۶۰/۷ ژول) در کامپوزیت اپوکسی حاوی ۰/۵ درصد الیاف سلولزی/۰/۲ درصد نانوبنتونیت مشاهده شد. در مقایسه کاربرد منفرد الیاف سلولزی و الیاف کولار در ماتریس



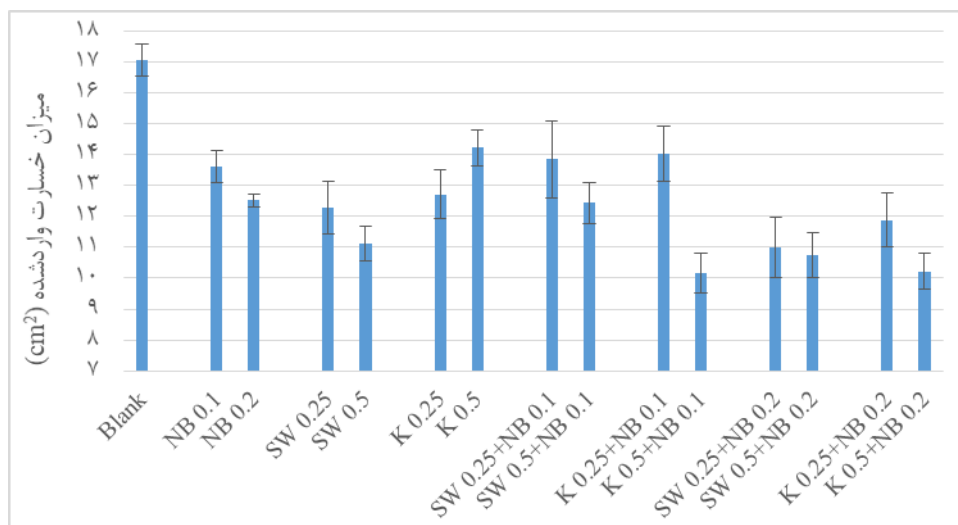
شکل ۶-مقایسه تاثیر الیاف سلولزی با الیاف کولار در حضور و عدم حضور نانوبنتونیت بر انرژی جذب شده کامپوزیت

سطح تخریب شده نمونه شاهد (۱۷ سانتیمتر مربع) بطور جالب توجهی (شکل ۸ بالا) در مقایسه با دیگر نمونه‌ها

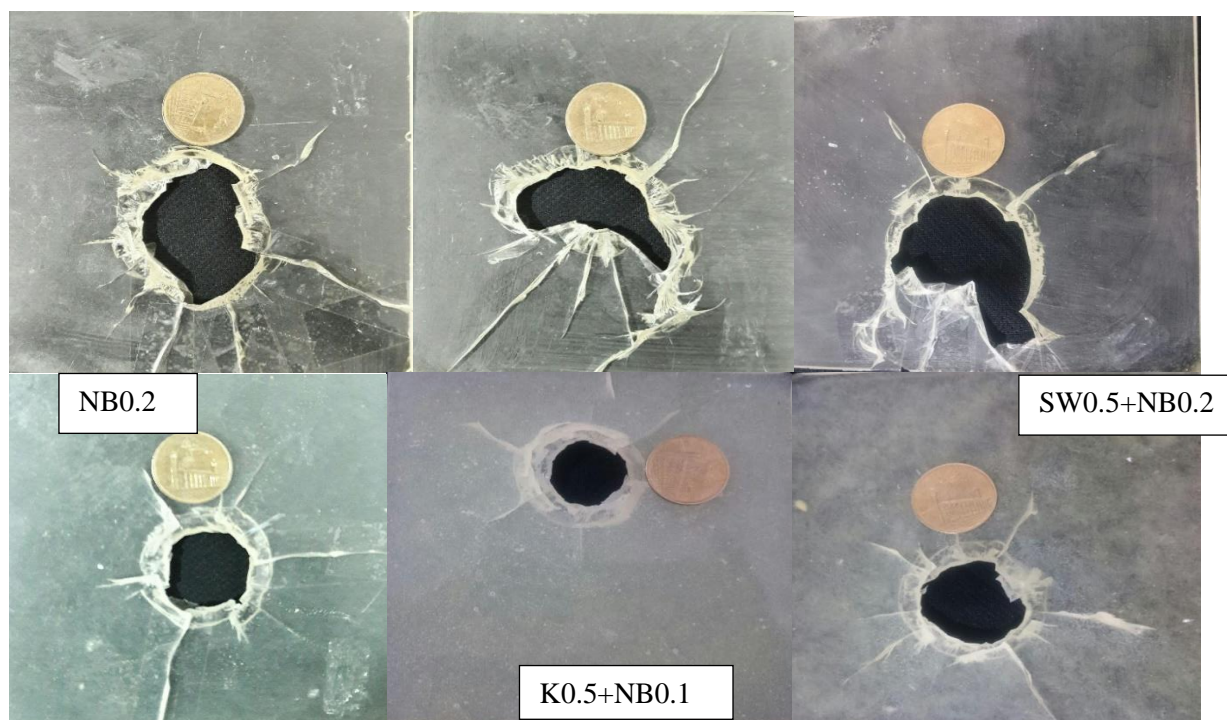
ارزیابی شدت تخریب ضربه بالستیک: همانطور که در شکل ۷ و تصاویر شکل ۸ مشاهده می‌شود مساحت

در رزین اپوکسی، به دلایل احتمالی شبکه‌سازی افزودنی‌ها و میرانمودن ضربه آبی وارده و نیز تقویت اتصالات میان گروه‌های عاملی افزودنی‌ها و رزین اپوکسی [۲۴، ۲۵]؛ تخریب و خرد شدن مساحت کمتری در نقطه اصابت گلوله روی می‌دهد. در کاربردهای پارچه‌های کولار آغشته به رزین‌ها نیز تاثیر تقویت‌کنندگی الیاف پارچه بر ماتریس پلیمری تأیید شده است که به هنگام برخورد گلوله به چنین کامپوزیت‌هایی، الیاف از شکسته و تکه‌تکه شدن ماتریس پلیمری جلوگیری می‌کنند [۲۶].

(شکل ۸ پائین) بیشتر بوده و در نقطه مقابل، کمترین خسارت و مساحت تخریب شده در کاربردهای منفرد، مربوط به الیاف سلولزی (۱۱/۱ سانتیمترمربع) و در کاربردهای ترکیبی مربوط به کولار/نانوبنتونیت (۱۰/۱) سانتیمترمربع) قابل گزارش است. همچنین و مستند به تصاویر شکل (۸)، عمق ترک‌ها و نیز نایکنواختی سطح تخریب شده در نمونه‌های شاهد (شکل ۸ بالا) بیشتر از نمونه‌های حاوی افزودنی‌ها (شکل ۸ پائین) بوده است. این نتیجه بیانگر آنست که با کاربرد افزودنی‌های مورد مطالعه



شکل ۷- مقایسه تاثیر الیاف سلولزی با الیاف کولار در حضور و عدم حضور نانوبنتونیت بر سطح تخریب شده کامپوزیت



شکل ۸- تصاویر خسارت ضربه بالستیک به کامپوزیت‌های حاوی افزودنی (پائین) و شاهد (بالا).

نتیجه‌گیری

الیاف سلولزی بطور معکوسی، روند افزایشی چشمگیری را نشان داد. برتری نسبی مقاومت کششی و مدول‌های گسیختگی و الاستیسیته کششی در کامپوزیت‌های صرفاً حاوی نانوبنتونیت در مقایسه با الیاف مورد مطالعه سلولزی و کولار نیز تأییدکننده لزوم یکنواختی شکل‌گیری و توزیع یکنواخت افزودنی‌ها می‌باشد. با توجه به برتری مقاومت کششی و مدول‌های الاستیسیته و گسیختگی در حالت‌های کاربرد منفرد نانوبنتونیت در مقایسه با الیاف کولار و سلولزی، و نیز مقادیر افزودن کمتر نانوبنتونیت (۰/۱٪ و ۰/۲٪) در مقایسه با الیاف سلولزی و کولار (۰/۲۵٪ و ۰/۵۰٪)، می‌توان نتیجه‌گرفت که ذرات ریزتر و با قابلیت پراکنش یکنواخت‌تر، احتمالاً بهبود بیشتر ویژگی‌ها را سبب می‌گردند.

سیاسگزاری

دینوسیه از پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران و جناب آقایان دکتر علیرضا ثابت، دکتر مرتضی ناظریان و دکتر علی پرتوی‌نیا تشکر می‌گردد.

با توجه به گسترش پژوهش‌های بومی پیرامون تولیدات مبتنی بر منابع داخلی و نیز رویکرد جهانی به فرآورده‌های زیستی، در پژوهش حاضر مقایسه الیاف سلولزی با الیاف سنتزی- وارداتی کولار در حضور و عدم- حضور نانوبنتونیت در کامپوزیت‌های اپوکسی بررسی گردید. بطور کلی فراوانی و اندازه حباب‌ها در ماتریس از تاثیر بسیار کاهنده‌ای بر ویژگی‌ها برخوردار بوده که نهایت تلاش در به‌حداقل رسانیدن تعداد و ابعاد حباب‌ها صورت- گرفت. با این حال بسته به سطح اختلاط، نوسان مقادیر ویژگی‌ها مشهود است، لیکن بنابه تفاوت شدید قیمت و دسترسی الیاف طبیعی سلولزی در مقایسه با الیاف سنتزی کولار، قابلیت تامین ویژگی‌ها- البته در مقادیر کاربرد غیربرابر- توسط الیاف سوزنی‌برگ مقدورست. در عین حالیکه ماهیت ذاتی طول‌تر الیاف کولار تجاری (حداقل ۵ میلیمتر) در مقایسه با الیاف سلولزی (حداکثر ۳ میلیمتر)، یکنواختی شکل‌گیری و تامین سهل‌تر کیفیت‌های مورد نیاز را برای کامپوزیت‌های سلولزی فراهم می‌آورد. تاجائیکه افزایش سهم الیاف کولار عمدتاً منجر به کاهش ویژگی‌های مقاومتی گردید، لیکن تاثیر

منابع

- [1] Pourkarim Dodangeh, H. and Jalali Torshizi, H., 2018. The effect of cellulose nanofibres on cationic starch efficiency in pulp and paper recycled from packaging waste paper. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 9(2):187-197.
- [2] Monteiro, S.N., Louro, L.H.L., Elias, W.T.C.N., Ferreira, C.L., Lima, E.D.S., Weber, R.P., Suarez, J.C.M., Figueiredo, A.B.S., Pinheiro, W.A., Da Silva, L.C. and Lima Jr, E.D.P., 2015. Natural Curaua Fiber-Reinforced Composites in Multilayered Ballistic Armor. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 46(10): 4567-4577. DOI: 10.1007/s11661-015-3032-z.
- [3] Kalia, S., Kaith, B. and Kaur, I., 2011. *Cellulose fibers: bio-and nano-polymer composites: green chemistry and technology*. Springer Science & Business Media.
- [4] Zah, R., Hischer, R., Leão, A.L. and Braunc, I., 2007. Curauá fibers in the automobile industry—a sustainability assessment. *Journal of Cleaner Production*, 15(11-12): 1032-1040.
- [5] Thakur, V. K., Thakur, M. K. and Gupta, R. K., 2014. Review: Raw Natural Fiber-Based Polymer Composites. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 19(3):256-271.
- [6] Shah, D. U., 2013. Developing plant fiber composites for structural applications by optimizing composite parameters: a critical review. *Journal of Materials Science*, 48(18):6083-6107.
- [7] Faruk O., Bledzki, A.K., Fink, H.P. and Sain, M., 2012. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11): 1552-1596.
- [8] Børvik, T., Langseth, M., Hopperstad, O.S. and Malo, K.A., 1999. Ballistic penetration of steel plates. *International Journal of Impact Engineering*, 22(9): 855-886.

- [9] Abrate, S., 1998. *Ballistic Impact on Composite Structures*. 1st ed., Cambridge University Press, Cambridge.
- [10] Tasdemirci, A., Tunusoglu, G. and Güden, M., 2012. The effect of the interlayer on the ballistic performance of ceramic/composite armors: Experimental and numerical study. *International Journal of Impact Engineering*, 44:1-9.
- [11] Patterson, B.A., Malakooti, M.H., Linc, J., Okoromd, A. and Sodano, H.A., 2018. Aramid nanofibers for multiscale fiber reinforcement of polymer composites. *Composites Science and Technology*, 161: 92-99.
- [12] Caldwell, K.B. and Berg, J.C., 2017. Nanoparticles as interphase modifiers in fiber reinforced polymeric composites: a critical review. *Progress in Adhesion and Adhesives*. 5(1): 1-54.
- [13] Juntaro, J., Pommet, M., Mantalaris, A., Shaffer, M. and Bismarck, A., 2007. Nanocellulose enhanced interfaces in truly green unidirectional fiber reinforced composites. *Composite Interfaces*, 14(7-9): 753-762.
- [14] Lee, K., Aitomäki, Y., Berglund, L.A., Oksman, K. and Bismarck, A., 2014. On the use of nanocellulose as reinforcement in polymer matrix composites, *Composites Science and Technology*, 105: 15-27.
- [15] Rahman, R. and Putra, SZFS., 2019. Tensile properties of natural and synthetic fiber-reinforced polymer composites. *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, 81-102.
- [16] Wambua, P., Vangrimde, B., Lomov, S. and Verpoest, I., 2007. The response of natural fiber composites to ballistic impact by fragment simulating projectiles. *Composite Structures*, 77(2): 232-240.
- [17] Anidha, S., Latha, N. and Muthukkumar, M., 2019. Reinforcement of Aramid fiber with bagasse epoxy bio-degradable composite: investigations on mechanical properties and surface morphology. *Journal of Materials Research and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.05.008>.
- [18] Rana, S. and Fanguero, R., 2016. *Advanced composite materials for aerospace engineering: Processing, properties and applications*. Wood head publishing.
- [19] Ngo, T.D., Ton-That, M.T., Hoa, S. and Cole, K., 2008. Reinforcing effect of organoclay in rubbery and glassy epoxy resins, part 1: Dispersion and properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 107(2): 1154-1162.
- [20] Mirabedini, S., Behzadnasab, M. and Kabiri, K., 2012. Effect of various combinations of zirconia and organoclay nanoparticles on mechanical and thermal properties of an epoxy nanocomposite coating. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(11): 2095-2106.
- [21] Lui, A., Fouda, A., Matsuura, T. and Sourirajan S., 1988. Studies on the solvent exchange technique for making dry cellulose acetate membranes for the separation of gaseous mixtures. *Journal of Applied Polymer Science*, 36(8): 1809-1820.
- [22] Park, S.J., Seo, M.K., Ma, T.J. and Lee D.R., 2002. Effect of chemical treatment of Kevlar fibers on mechanical interfacial properties of composites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 252(1): 249-255.
- [23] Moallemzadeh, A.R., Sabet, A.R. and Abedini, H., 2017. Mechanical and morphological study of polymer composite plates having different fiber surface treatments with particular response to high velocity projectile impact. *Iranian Polymer Journal*, 26(3): 229-238.
- [24] Saba, N., Mohammad, F., Pervaiz, M., Jawaid, M., Alothman, O.Y. and Sain, M., 2017. Mechanical, morphological and structural properties of cellulose nanofibers reinforced epoxy composites. *International journal of biological macromolecules*, 97: 190-200.
- [25] Madhoushi, M., Mehdinia, M. and Yousefi, H., 2016. Study of physical and mechanical properties of cellulosic and lignocellulosic nanofibers reinforced epoxy resin. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 23(2): 279-295.
- [26] Talib, A., Abu Abbud, L.H., Ali, A. and Mustapha, F., 2012. Ballistic impact performance of Kevlar-29 and Al₂O₃ powder/epoxy targets under high velocity impact. *Materials & Design*, 35: 12-19.

Comparative study on natural cellulosic and synthesized aramid fibers on mechanical properties of epoxy composite

Abstract

Most of engineering applications require a series of properties which is not provided by a certain material. Therefore, composites production and utilization have extensively developed in various industries by materials combining. On the other hand, environmental concerns compel environmentally friendly components in the composites manipulation. Then in this study, substitutability of imported synthesized Kevlar fiber by natural cellulosic fiber in epoxy resin matrix were investigated at presence and absence of nano bentonite. Dosages of 0.25 and 0.5 of fibers and 0.1 and 0.2 of nano bentonite were mixed into the epoxy resin and after bubble removal and complete curing, the composite panels were tested. The results showed that bubble removal and formation evenness mostly influenced the mechanical properties. So, tensile strength of 0.5% Kevlar composites was lower than its 0.25%. But opposite to the Kevlar, cellulose fiber increasing addition improved tensile strength and elasticity and rupture moduli properties, significantly. Consequently, 0.5% cellulosic fiber composite revealed higher the properties with lesser surface area demolished by the ballistic impact, which all attributed to shorter length of cellulosic fiber (1.8mm) compared to Kevlar (4.8mm), resulted in better composite formation. But Kevlar composite energy absorption (54 J) was higher than cellulosic composite (50 J). Individual incorporation of Kevlar and cellulose fiber into epoxy resin and their combinations with nano bentonite drastically reduced the demolished surface area (up to 10 cm²) and matrix cracks propagation with symmetrically pinned hole compared to the solely epoxy panels (10 cm²).

Keywords: aramid fiber, cellulose fiber, ballistic impact, epoxy resin.

A. Keshaavarz Rubehghani¹
H. Jalali Torshizi^{2*}
F. MohamadKazemi³
M. Koosha⁴

¹ M.Sc. Graduated, Faculty of new technologies Engenering., Shahid Beheshti university, Zirab, Iran

² Assistant Prof., Faculty of new technologies Engenering., Shahid Beheshti university, Zirab, Iran

³ Assistant Prof., Faculty of new technologies Engenering., Shahid Beheshti university, Zirab, Iran

⁴ Assistant Prof., Faculty of new technologies Engenering., Shahid Beheshti university, Zirab, Iran

Corresponding author:

H.Jalali@sbu.ac.ir

Received: 2019/03/17

Accepted: 2019/06/22