

طراحی استحکام و مدول خمشی پسماند پس از ضربه با سرعت کم در کامپوزیت‌های هیبرید جوت- پلی استراپوکسی

Residual Flexural Strength and Modulus after Low-Velocity Impact in Hybrid Jute-Polyester/Epoxy Composites

توحید داستان، محمد صالح احمدی*

یزد، دانشگاه یزد، مجتمع فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵

چکیده

در سال‌های اخیر کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف جوت به دلیل هزینه کم، خواص مکانیکی قابل قبول و زیست‌تخریب پذیر بودن این الیاف، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. از آنجا که یکی از عیوب این کامپوزیت‌ها، رفتار ترد و شکننده آن‌ها زیر بارهای مکانیکی است، در این مطالعه، عمل هیبرید کردن جوت با الیاف پلی استر با جوت به عنوان راه حلی برای غلبه بر مشکل مزبور در کامپوزیت‌های حاصل بررسی شده است. نمونه‌های کامپوزیتی هیبرید با درصدهای وزنی متفاوت الیاف پلی استر با روش لایه گذاری دستی تولید شدند و در بارگذاری ضربه‌ای با سرعت کم قرار گرفتند. سپس رفتارهای خمشی نمونه‌های ضربه خورده و ضربه نخورده، با آزمون خمش سه نقطه‌ای اندازه گیری شد. نتایج نشان می‌دهد، با افزایش درصد وزنی الیاف پلی استر با مقاومت زیاد، استحکام و مدول خمشی کامپوزیت هیبرید کاهش می‌یابد، اما با این عمل، مقدار کاهش خواص خمشی پس از اعمال ضربه به شکل قابل ملاحظه‌ای کمتر است. در واقع اضافه کردن الیاف پلی استر به نمونه‌های کامپوزیتی، به افزایش قابلیت جذب انرژی آن‌ها زیر بارهای ضربه‌ای منجر می‌شود.

مقدمه

کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف به دلیل داشتن خواص منحصر به فرد از قبیل مقاومت ویژه زیاد، مقاومت در برابر خوردگی و وزن کم و قابلیت طراحی برای دستیابی به خواص مدنظر در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه بوده‌اند. از این میان کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف طبیعی به دلیل سازگاری با محیط زیست، زیست‌تخریب پذیری، قیمت مناسب و خواص مکانیکی قابل قبول توجه بسیاری از پژوهشگران و تولیدکنندگان را به خود جلب کرده‌اند. از سوی دیگر عیوب این نوع الیاف در مقاومت گرمایی کم، خاصیت آبدوستی که به تورم الیاف، تغییرات بخشی یا موضعی در کیفیت آن و

نیز چسبندگی کم با اکثر ماتریس‌ها منجر می‌شود [۱]. الیاف طبیعی فراوانی تاکنون توسط پژوهشگران در تولید کامپوزیت‌ها استفاده شده‌اند. برخی از خواص الیاف طبیعی مرسوم در جدول ۱ آمده است [۲]. از میان الیاف طبیعی الیاف جوت با الیاف طبیعی به دلیل خواص مکانیکی مطلوب و قیمت کم مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. این الیاف که از الیاف ساقه‌ای به‌شمار می‌رود، دارای طول بلند، سطحی نرم و ظاهری براق با استحکام کششی مناسب است. کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف جوت بیشتر در صنایع خودروسازی به‌عنوان قاب‌های درب، داشبورد و سندلی‌های عقب و در صنایع ساختمان‌سازی در تولید

جدول ۱- برخی از از خواص الیاف طبیعی مرسوم [۲].

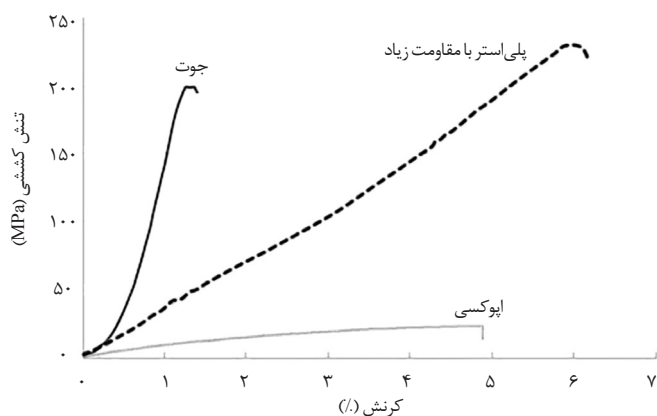
الیاف	چگالی (g/cm^3)	تنش کششی (MPa)	مدول یانگ (GPa)	ازدیاد طول تا پارگی (%)
کتان	۱/۵۴	۳۴۵-۲۰۰۰	۲۷/۵-۸۰	۱-۴
رامی	۱/۵-۱/۵۶	۴۰۰-۱۰۰۰	۲۷-۱۲۸	۱/۲-۳/۸
همپ	۱/۴۷	۳۶۸-۸۰۰	۱۷-۷۰	۱/۶
جوت	۱/۴۴	۳۹۳-۷۷۳	۱۰-۳۰	۱/۵-۱/۸
سیسل	۱/۴۵-۱/۵	۳۵۰-۷۰۰	۹-۲۲	۲-۷
نارگیل	۱/۱۵	۱۳۱-۱۷۵	۵/۵-۱۲/۶	۷-۸
کنف	۱/۲	۲۴۰-۹۳۰	۱۴-۵۳	۱/۶
بلمبو	۰/۶-۱/۱	۱۴۰-۲۳۰	۱۱-۱۷	-

از هیبریدها به بهبودی شسایان توجهی در خواص جذب ضربه منجر نشده است [۱۱-۱۳]. در کامپوزیت های تقویت شده با الیاف جوت و شیشه خواص مکانیکی بهبود قابل ملاحظه ای پیدا می کند، اما با توجه به اینکه شیشه نیز رفتاری ترد و شکننده دارد، ماهیت رفتار کامپوزیت همچنان ترد است [۱۱-۱۳]. گفتنی است، با وجود جست و جوی زیاد مؤلفان، مقاله ای درباره هیبرید کردن الیاف جوت با الیاف انعطاف پذیر که دارای قابلیت جذب انرژی زیاد یا به عبارتی چقرمگی شکست زیاد باشند، مشاهده نشد. بنابراین هدف از این پژوهش هیبرید کردن الیاف جوت با الیاف پلی استر با مقاومت زیاد (high tenacity polyester fibers) به عنوان الیافی انعطاف پذیر با خواص مکانیکی مطلوب برای تقویت ماتریس اپوکسی و سپس بررسی خواص خمشی کامپوزیت حاصل پیش و پس از بارگذاری ضربه ای با سرعت کم است.

تجربی

مواد و روش ها

در این مطالعه از نخ های جوت و پلی استر با مقاومت زیاد به شکل پارچه بافته شده به عنوان فاز تقویت کننده و از رزین اپوکسی به عنوان



شکل ۱- منحنی تنش-کرنش الیاف جوت و پلی استر با مقاومت زیاد.

درب، پنجره، سقف و کف استفاده می شوند [۳، ۴]. Vazquez و همکاران [۱] نشان دادند، کامپوزیت جوت خواص خمشی بهتری نسبت به کامپوزیت الیاف سیسال و کتان دارند، اما مقاومت آن ها در برابر بارهای ضربه ای مناسب نیست.

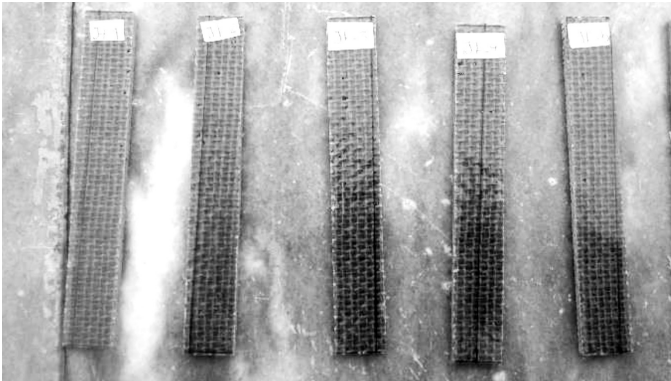
Ramesh و همکاران [۵] در مطالعه ای که روی کامپوزیت های هیبرید الیاف شیشه با الیاف جوت و سیسال انجام دادند، نشان دادند، کامپوزیت هیبریدی شیشه-جوت استحکام کششی و فشاری بیشتری نسبت به کامپوزیت هیبریدی شیشه-سیسال دارند. همچنین، Sa-manta و همکاران [۶] نتیجه گرفتند، کامپوزیت جوت خواص خمشی بهتری نسبت به کامپوزیت بامبو دارد. Ramnath و همکاران [۷] نیز مشاهده کردند، کامپوزیت هیبریدی شیشه-جوت استحکام کششی بیشتری نسبت به کامپوزیت هیبریدی شیشه-آباکا دارد.

با توجه به پژوهش های گذشته، یکی از عیوب مطرح در زمینه خواص مکانیکی این الیاف به عنوان تقویت کننده کامپوزیت ها، رفتار کششی ترد آن هاست [۷-۱۰]. الیاف جوت دارای منحنی تنش-کرنش نسبتاً خطی با کرنش شکست بسیار کم و رفتاری ترد هستند که در نتیجه کامپوزیت تقویت شده با این الیاف نیز رفتاری ترد خواهد داشت. بنابراین نحوه شکست این کامپوزیت ها به طور ناگهانی و بدون اختار قبلی است. از این رو، هیبرید کردن الیاف جوت با سایر الیاف می تواند به عنوان روشی برای فائق آمدن بر این مشکلات در نظر گرفته شود.

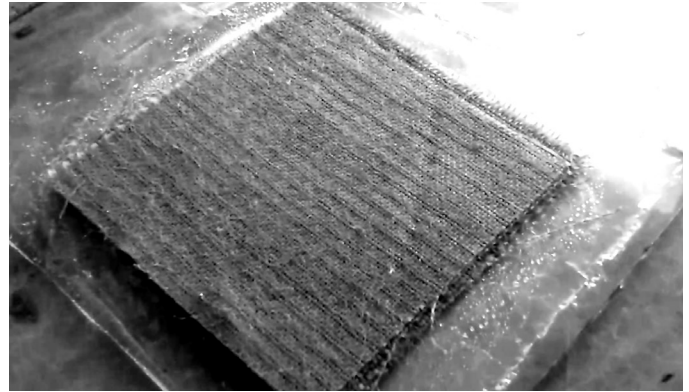
برخی از پژوهشگران خواص مکانیکی کامپوزیت های هیبریدی تقویت شده با الیاف جوت و سایر الیاف را بررسی کردند. در برخی از پژوهش ها الیاف جوت با سایر الیاف طبیعی هیبرید شده است، هر چند این نوع

جدول ۲- برخی از خواص الیاف جوت و پلی استر.

خاصیت	جوت	پلی استر	ماتریس
چگالی (g/cm^3)	۱/۳۲	۱/۳۸	۱/۲۵
تنش کششی (MPa)	۱۹۸/۰۶	۲۳۰/۱۳	۲۳/۴۴
کرنش تا پارگی (%)	۲/۱۴	۶/۹۷	۴/۸۷
مدول یانگ (GPa)	۲۴/۳	۳/۵۶	۰/۶۵



شکل ۳- تصویر برخی از نمونه‌های برش خورده.



شکل ۲- تصویری از لایه‌های آغشته شده به رزین.

از هر نمونه پنج آزمون برای آزمون خمشی پیش از ضربه و پنج نمونه نیز برای آزمون خمشی پس از ضربه با ابعاد 16×120 mm برش داده شدند. شکل ۲ تصویر برخی نمونه‌های برش خورده را نشان می‌دهد. برای انجام آزمون ضربه با سرعت کم، پس از نگاه داشتن نمونه داخل یک جفت گیره ویژه (مطابق شکل ۳) یک گوی آهنی به جرم 500 گرم به عنوان ضربه‌زن از ارتفاع 200 mm، از درون لوله راهنما با سرعت اولیه صفر رها شد که به اعمال ضربه با انرژی 981 mJ به نمونه منجر شد. مقدار انرژی ضربه‌ای مزبور با سعی و خطا به گونه‌ای انتخاب شد که حداکثر انرژی قابل تحمل به وسیله ضعیف‌ترین نمونه باشد تا در عین ایجاد آسیب‌های ساختاری در نمونه، به شکست آن منجر نشود. در این آزمون به محض برخورد گوی با نمونه و برخاستن آن یک صفحه مانع در مسیر گوی قرار می‌گیرد تا از برخورد مجدد آن با نمونه جلوگیری کند. آزمون خمش براساس روش استاندارد ASTM D790 جلویی روی نمونه‌های کامپوزیتی پیش و پس از ضربه انجام شد. این آزمون خمش با دستگاه استحکام‌سنج Shirly Testometric-Micro 350

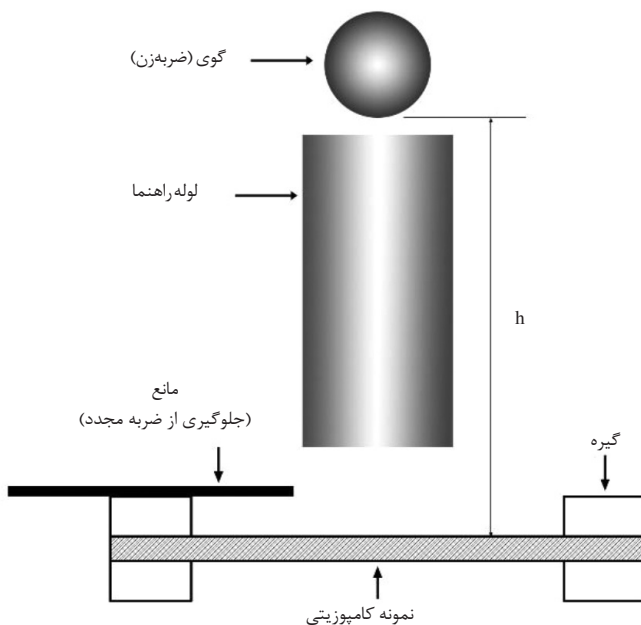
فاز ماتریس، استفاده شده است. نخ‌های جوت و پلی‌استر به ترتیب از شرکت فرش باستان و Zhejiang Guxiandao Industrial Fibre چین تهیه شده‌اند. همچنین، ماتریس اپوکسی 8128-E و سخت‌کننده 3895-H از شرکت A.C.R Tech تایوان استفاده شد. برخی از خواص الیاف و رزین در جدول ۲ و نمودار تنش-کرنش این مواد در شکل ۱ نشان شده است.

پارچه‌های هیبریدی با دستگاه بافندگی ماکویی با ترتیب قرارگیری متفاوت نخ‌های جوت و پلی‌استر در راستای طولی (تار) بافته شدند. نمرات نخ‌های جوت و پلی‌استر تقریباً همسان و به ترتیب 327 و 336 تکس ($g/1000m$) انتخاب شد. تمام پارچه‌ها با طرح بافته و با تراکم تاری و پودی به ترتیب 5 و 7 نخ در سانتی‌متر بافته شدند. با توجه به جهت بارگذاری خمشی که در راستای طولی است، هیبر کردن فقط در این راستا از کامپوزیت انجام شد و راستای عرضی پارچه‌ها تمام از نخ جوت بافته شد. نمونه‌های کامپوزیتی هیبریدی به روش لایه‌گذاری دستی (hand lay-up) به شکل چهارلایه و با آرایش لایه‌بندی $[0/0/0/0]$ تولید شدند. تصویری از نمونه آغشته شده به رزین در شکل ۲ نشان داده شده است. مشخصات نمونه‌های تولیدی در جدول ۳ آمده است. نمونه (ج) نمونه کامپوزیتی جوت-اپوکسی است که در آن الیاف پلی‌استر به کار نرفته است. همچنین، در نمونه (پ) تمام الیاف در راستای طولی کامپوزیت از جنس پلی‌استر است. در نمونه‌های (ج۱) و (ج۲) و (ج۳) در راستای طولی پارچه‌های تقویت‌کننده نخ‌های جوت به ترتیب با نسبت ۲ جوت ۱ پلی‌استر و ۱ جوت ۱ پلی‌استر در کنار هم بافته شده‌اند.

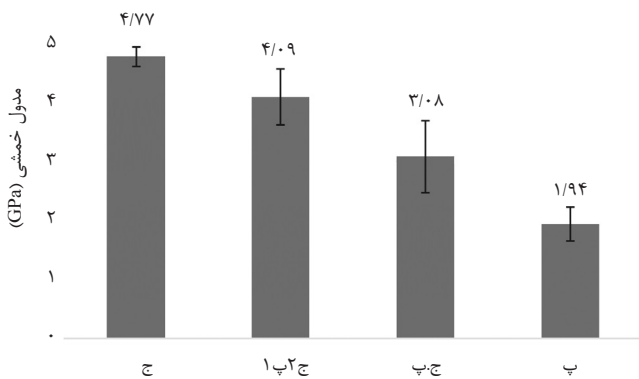
جدول ۳- مشخصات نمونه‌های کامپوزیتی.

کد نمونه	ضخامت (mm)	کسر حجمی کل الیاف [*]	کسر حجمی پلی‌استر با مقاومت زیاد
ج	۴/۰۴	۰/۳۰۰	۰/۰
ج۱	۳/۹۵	۰/۲۹۹	۰/۰۲۴
ج۲	۴/۰۲	۰/۲۹۸	۰/۰۷۷
پ	۳/۹۲	۰/۲۹۵	۰/۱۲۳۹

* کسر حجمی کلی الیاف مشخص‌کننده نسبت حجم کل الیاف به حجم کل کامپوزیت است.



شکل ۴- نمایی از روش آزمون ضربه با سرعت کم.

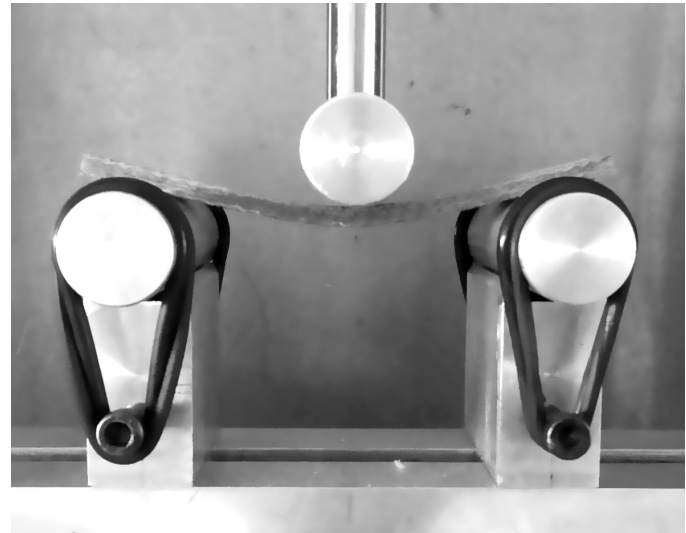


شکل ۷- مدول خمشی نمونه‌های کامپوزیتی پیش از ضربه.

به طوری که P نیروی بیشینه خمشی، L فاصله بین تکیه‌گاه، b عرض نمونه، d ضخامت نمونه و m شیب قسمت اولیه منحنی نیرو-جابجایی است. مقادیر میانگین مقاومت بیشینه خمشی و مدول خمشی نمونه‌ها پیش و پس از ضربه به ترتیب در شکل‌های ۶ تا ۹ نشان داده شده است. گفتنی است، برای مشخص شدن نمونه‌های ضربه خورده، به انتهای کد آن‌ها حرف "ض" اضافه شده است. همچنین، میله‌های خطا در نمودارها براساس انحراف معیار رسم شده‌اند. با توجه به شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌شود، در حالت ضربه نخورده، استحکام بیشینه خمشی و مدول خمشی با افزایش درصد حجمی الیاف پلی‌استر، کاهش پیدا می‌کند.

همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، کرنش شکست الیاف جوت بسیار کمتر از کرنش شکست الیاف پلی‌استر است. بنابراین، در کامپوزیت‌های هیبرید جوت و پلی‌استر، ابتدا الیاف جوت دچار شکست می‌شوند و موجب شکست کامپوزیت می‌شوند. از آنجا که در لحظه شکست جوت بار تحمل شده به وسیله الیاف پلی‌استر بسیار کمتر از بار تحمل شده به وسیله الیاف جوت است، در نتیجه با افزایش درصد الیاف پلی‌استر استحکام خمشی کامپوزیت کاهش می‌یابد. کاهش مدول خمشی نیز با توجه به تفاوت مقادیر مدول کشسانی دو لیف جوت و پلی‌استر قابل توجیه است.

شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب مقادیر میانگین استحکام بیشینه خمشی و مدول خمشی نمونه‌ها را پس از ضربه نشان می‌دهد. مقدار کاهش



شکل ۵- تصویری از نمونه کامپوزیتی در آزمون خمش.

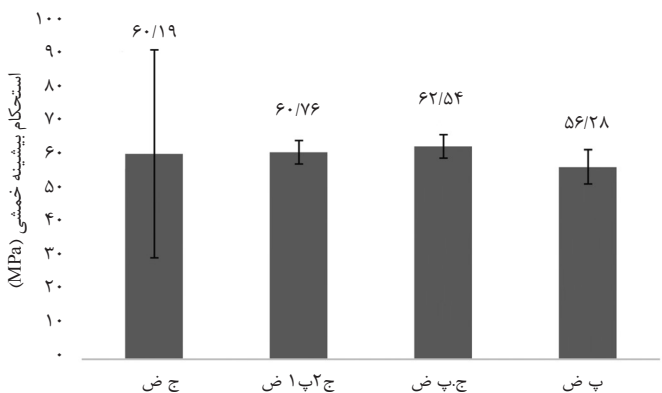
مجهز به نیروسنج ۲۵۰ کیلوگرم نیرو و با سرعت ۳ mm/mim انجام شد. تصویری از نمونه کامپوزیتی قرار گرفته در دستگاه آزمون خمش سه‌نقطه‌ای در شکل ۴ آورده شده است.

نتایج و بحث

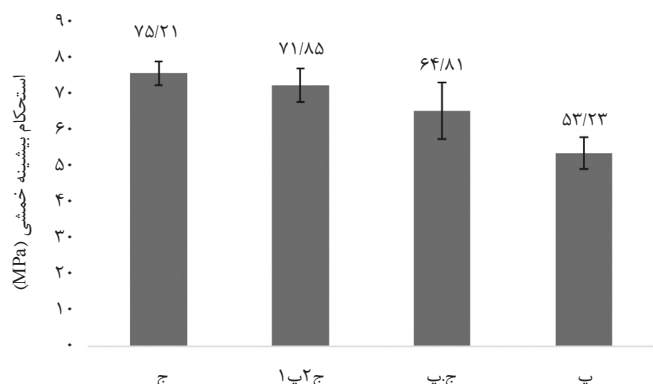
استحکام بیشینه خمشی و مدول خمشی نمونه‌های آزمون شده، براساس استاندارد ASTM D790، به ترتیب از معادله‌های (۱) و (۲) محاسبه شدند:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

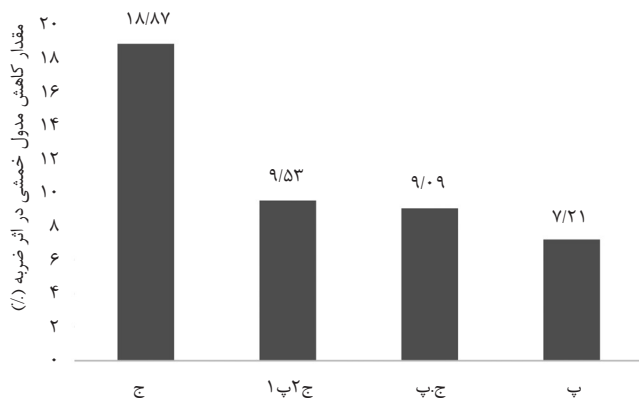
$$E_B = \frac{mL^3}{4bd^3} \quad (2)$$



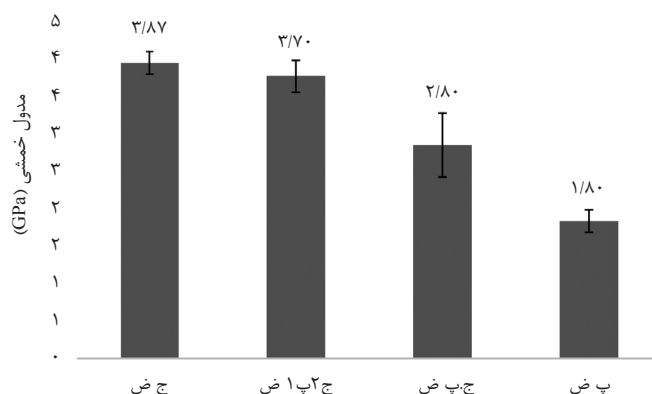
شکل ۸- استحکام بیشینه خمشی نمونه‌های کامپوزیتی پس از ضربه.



شکل ۹- استحکام بیشینه خمشی نمونه‌های کامپوزیتی پیش از ضربه.



شکل ۱۱- مقایسه مقدار کاهش مدول خمشی نمونه‌های کامپوزیت در اثر ضربه.



شکل ۹- مدول خمشی نمونه‌های کامپوزیتی پس از ضربه.

در نمونه (ج) به شکست آنی برخی نمونه‌ها در اثر ضربه منجر شد. اما در نمونه‌های حاوی الیاف پلی‌استر، به علت مقاومت زیاد این الیاف در برابر ضربه، مقدار کاهش خواص خمشی پس از ضربه نیز کمتر است. البته با توجه به شکل ۱۰ مقدار کاهش استحکام خمشی در نمونه (پ) منفی است، چرا که استحکام خمشی میانگین نمونه پس از ضربه در این نمونه بیش از استحکام آن پیش از ضربه به دست آمده است. البته واضح است، افزایش استحکام خمشی پس از اعمال ضربه در این نمونه منطقی و قابل قبول نیست. بنابراین مسئله مزبور را می‌توان با توجه به پراکندگی طبیعی داده‌ها توجیه کرد که در نمونه‌های تولید شده با روش لایه‌گذاری دستی اجتناب‌ناپذیر است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، بار ضربه‌ای استفاده شده در این پژوهش، اثر کاهشی بر استحکام خمشی این نمونه که در راستای طولی تمام از الیاف پلی‌استر تشکیل شده است، نداشته است.

بر اساس نتایج به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت، عمل هیبرید کردن کامپوزیت الیاف پلی‌استر با جوت، گرچه به کاهش خواص خمشی نمونه منجر می‌شود، اما پس از اعمال بار ضربه‌ای به کامپوزیت، مقدار کاهش خواص خمشی در این کامپوزیت‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. بنابراین، عمل هیبرید کردن باید با دقت و با توجه به کاربرد نهایی قطعه و احتمال اعمال بارهای ضربه‌ای به قطعه در طول عمر کاری آن انجام شود.

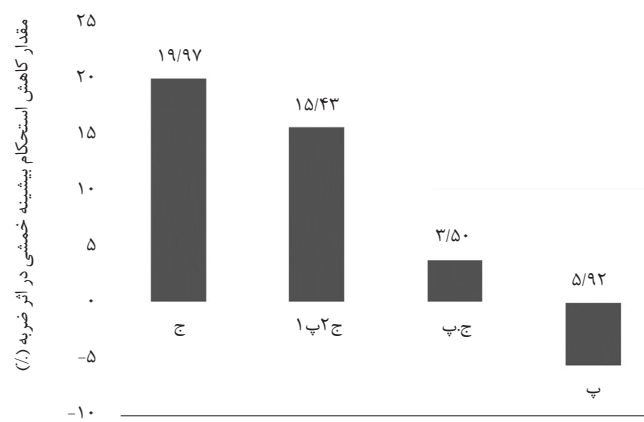
نتیجه‌گیری

در این مطالعه، خواص خمشی پس از ضربه با سرعت کم در نمونه‌های کامپوزیتی هیبریدی جوت-پلی‌استر با چهار درصد ترکیب مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد، با افزایش درصد الیاف پلی‌استر در کامپوزیت، استحکام خمشی و مدول خمشی نمونه کاهش می‌یابد. اما به علت بیشتر بودن قابلیت جذب انرژی الیاف پلی‌استر نسبت به جوت کامپوزیت‌های هیبریدی در برابر ضربه رفتار بهتری نشان می‌دهند و در واقع با افزایش درصد الیاف پلی‌استر مقدار کاهش خواص خمشی پس از اعمال ضربه در این کامپوزیت‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

استحکام بیشینه خمشی و مدول خمشی در اثر ضربه بر حسب درصد، طبق معادله (۳) محاسبه شد:

$$d = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100 \quad (3)$$

در این معادله، d کاهش استحکام بیشینه خمشی یا مدول خمشی استحکام بیشینه خمشی یا مدول خمشی مربوط به حالت ضربه نخورده و A_2 استحکام بیشینه خمشی یا مدول خمشی مربوط به حالت پس از ضربه است. مقادیر کاهش استحکام بیشینه خمشی و مدول خمشی که برای نمونه‌های مختلف براساس معادله (۳) محاسبه شد، در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ با هم مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش درصد الیاف پلی‌استر مقدار کاهش استحکام بیشینه خمشی و نیز مدول خمشی پس از ضربه، کاهش پیدا کرده است. در واقع با افزایش درصد حجمی الیاف پلی‌استر، قابلیت جذب انرژی ضربه‌ای به وسیله کامپوزیت افزایش یافته و در نهایت مقدار کاهش استحکام بیشینه خمشی و مدول خمشی کاهش یافته است. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، قابلیت جذب ضربه لیف جوت بسیار کمتر از این قابلیت در لیف پلی‌استر است. بنابراین، در اثر اعمال بار ضربه‌ای بخش قابل توجهی از الیاف جوت در کامپوزیت آسیب می‌بینند. این مسئله حتی



شکل ۱۰- مقایسه مقدار کاهش استحکام بیشینه خمشی نمونه‌های کامپوزیت در اثر ضربه.

مراجع

1. Vazquez A., Kenny J., Puglia D., Petrucci R., and Rodriguez E., Characterization of composites based on natural and glass fibers obtained by vacuum infusion, *J. Compos. Mater.*, 39, 265-282, 2005.
2. Celino A., Freour S., Jacquemin F., and Casari P., The hygroscopic behavior of plant fibers: A review, *J. Front. Chem.*, 1, 1-12, 2014.
3. Khonker O.A., Ishiaku U.S., Nakai A., and Hamada H., Fabrication mechanical properties of unidirectional jute/PP composites using jute yarns by film stacking method, *J. Polym. Environ.*, 13, 115-126, 2005.
4. Gopinath A., Senthil Kumar M., and Elayaperumal A., Experimental investigations on mechanical properties of jute fiber reinforced composites with polyester and epoxy resin matrices, *Procedia Eng.*, 97, 2052-2063, 2014.
5. Ramesh M., Palanikumar K., and Hemachandra Reddy K., Mechanical property evaluation of sisal-jute-glass fiber reinforced polyester composite, *Compos. Part B-Eng.*, 48, 1-9, 2013.
6. Samanta S., Characterization of mechanical properties of hybrid bamboo/GFRP and jute/GFRP composites, 4th International Conference on Materials Processing and Characterization, *Mater. Today*, 2015.
7. Ramnath B., Kokan S., Raja R., Sathyanarayanan R., Elanchezhian C., Prasad A., and Manickavasagam V., Evaluation of mechanical properties of abaca-jute-glass fiber reinforced epoxy composite, *Mater. Des.*, 51, 357-366, 2013.
8. Jawaaid M., Abdul Khalil H.P.S., and Abu Bakar A., Hybrid composites of oil palm empty fruit bunches/woven jute fiber: chemical resistance, physical, and impact properties, *J. Compos. Mater.*, 45, 2515-2522, 2011.
9. Gujjala R., Ojha S., Acharya S.K., and Pal S.K., Mechanical properties of woven jute-glass hybrid-reinforced epoxy composite, *J. Compos. Mater.*, 48, 3445-3455, 2014.
10. Rashed H.M.M.A., Isslam M.A, and Rizvi F.B., Effects of process parameters on tensile strength of jute fiber reinforced thermoplastic composites, *J. Nav. Archit. Mar. Eng.*, 3, 1-6, 2006.
11. Miah M.J., Khan M.A., and Khan R.A., Fabrication and characterization of jute fiber reinforced low density polyethylene based composites: Effects of chemical treatment, *J. Sci. Res.*, 3, 249-259, 2011.
12. Boopalan M., Niranjanaa M., and Umapathy M.J., Study on the mechanical properties and thermal properties of jute and banana fiber reinforced epoxy hybrid composites, *Compos. Part B-Eng.*, 51, 54-57, 2013.
13. Mishra V. and Biswas S., Physical and mechanical properties of bi-directional jute fiber epoxy composite, *Procedia Eng.*, 51, 561-566, 2013.

Residual Flexural Strength and Modulus after Low-Velocity Impact in Hybrid Jute-Polyester/Epoxy Composites

Tohid Dastan and Mohamad Saleh Ahmadi*

Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, P.O. Box: 89195-741, Yazd, Iran

Abstract

In recent years, jute fiber reinforced composites have gained attention of many researchers due to their low cost, acceptable mechanical properties and biodegradability. To overcome the brittleness of these composite under mechanical loads, hybridization of jute with high tenacity polyester fibers has been investigated in this study. Hybrid composite samples with various weight percentages of polyester fibers were fabricated using hand lay-up method and subjected to low-velocity impact loading. The flexural behavior of the composites was then measured using three-point bending test for both the impacted and the non-impacted samples. The results showed that with increasing the weight percentage of polyester fibers, the flexural strength and modulus of the hybrid composites decreased. However, the extent of drop in flexural properties after impact was considerably lower. In fact, adding high tenacity polyester fibers to the composites increased their energy absorption capabilities under low-velocity impact loads.

Keywords

composite,
jute,
polyester,
flexural properties,
low-velocity impact

(*) Address Correspondence to M. Saleh Ahmadi, Email: ms.ahmadi@yazd.ac.ir