منسوجات فنی

بررسی ظرفیت جذب انرژی در کامپوزیت‌های تقویت شده با پارچه‌های حلقوی پودی سه‌بعدی

مهندس رضا حسامی*[1و3]، دکتر حسین حسنی[2]، دکترسعید آجلی

چکیده:

ظرفیت جذب انرژی یکی از مهمترین گزینه‌ها در انتخاب مواد برای بسیاری از کاربردهای مهندسی مانند قطعات ضربه‌گیر در اتومبیل‌ها، کلاه‌های ایمنی مورد استفاده در دوچرخه و موتورسواری، محوطه‌های ساختمان‌سازی و نیز بسته‌بندی برای کالاهای شکننده، می‌باشد. مواد مورد استفاده در جاذب‌های انرژی باید تغییر شکل پلاستیک را به عنوان مکانیزم اصلی جذب انرژی بکار گیرند، ضمن اینکه سبکی وزن در این مواد بسیار مورد توجه می‌باشد. بافندگی حلقوی بسیار مناسب برای تولید سریع اجزای تقویت‌کننده کامپوزیت با اشکال پیچیده می‌باشد که دلیل آن نیز مقاومت کم به تغییر شکل پارچه‌های حلقوی می‌باشد. بر این اساس و هدف تقویت کامپوزیت‌های پلیمری در راستای ضخامت، این پارچه‌ها با ابزار مناسب و عملیات گرما شکل‌دهی، سه‌بعدی گردیدند. از طرفی دیگر با توجه به کاربرد زیاد و ارزان بودن پلیمر پی‌وی‌سی نسبت به پلیمرهای دیگر، از پلیمر پی‌وی‌سی به عنوان ماتریس در این پروژه استفاده گردید و با افزودنی‌ها و فراورش مناسب، این پلیمر به صورت قطعه انعطاف‌پذیر صنعتی، تبدیل گشت که با تقویت درون ضخامت آن توسط پارچه‌های مذکور، ویژگی‌های مکانیکی بالا مانند مقاومت، سختی و جذب انرژی حاصل گردید.

مقدمه

برای بسیاری از کاربردهای مهندسی، ظرفیت جذب انرژی یکی از موارد مهم در انتخاب و طراحی سازه‌ها می‌باشد و این برای مواد و سازه‌هایی که در معرض نیروهای ضربه‌ایی یا تصادم در طول مدت کارکرد خود هستند، بسیار مهم است. علیرغم استفاده فراوان از کامپوزیت‌های تقویت شده با منسوجهای دوبعدی (چندلایی‌ها)، استفاده از آنها در بسیاری از کاربردهای ساختمانی محدود شده است که این محدودیت‌ها ناشی از مشکلات تولیدی مانند زمان و هزینه بالای لایه چینی دستی و ویژگی‌های ضعیف مکانیکی از جمله آویزش ضعیف لایه‌های پیش آغشته و عدم رسیدن به شکل‌های پیچیده در قالب‌گیری است. در تلاشی گسترده برای غلبه بر بسیاری از این مشکلات در طول چند دهه گذشته توجه زیادی به کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با سازه‌های لیفی سه‌بعدی شده است چراکه هزینه تولید این کامپوزیت‌ها نسبت به چند لایی‌ها پایین‌تر و مقاومت درون ضخامت بهتری را ارایه می‌کنند. جذابیت ویژه پیش ساخته‌های منسوج سه‌بعدی بدلیل بهبود مقاومت در برابر آسیب ناشی از ضربه و حالت تقریباً توری شکل (سلولی) آنها می‌باشد که موجب افزایش ظرفیت جذب انرژی در آنها می‌گردد. بیشترین توجه به فرایندهای نساجی از قبیل بافندگی تاری پودی، بریدینگ، بخیه‌زنی و بافندگی حلقوی برای تولید این کامپوزیت‌ها شده است. در میان این فرایندها، بافندگی حلقوی به موجب قابلیت تولید سریع اجزا و همچنین قابلیت دستیابی به شکل‌های پیچیده در قالب‌گیری به دلیل مقاومت پایین آنها در برابر تغییر شکل و ساختار سلولی یکی از مناسب‌ترین فرآیندها می‌باشد.

همچنین کامپوزیت‌های پارچه حلقوی مقاومت بهتری در برابر ورقه‌ورقه شدن و جذب انرژی بیشتری در مقایسه با کامپوزیت‌های پارچه تاری پودی از خود نشان می‌دهند. در این تحقیق قابلیت جذب انرژی کامپوزیت‌های تقویت شده با پارچه‌های حلقوی پودی سه‌بعدی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

روش تحقیق

پارچه‌های حلقوی پودی بکار رفته

در این پروژه برای تهیهٔ پارچه‌های حلقوی پودی از نخ نایلون مولتی‌فیلامنت تکسچره شده با نمره ۱۵۰ دنیر استفاده گردید. دو ساختار مختلف یکروسیلندر ساده و دو رو سیلندر ریب بر روی ماشین‌های گردباف یکرو سیلندر و دورو سیلندر تولید گردید. برای بررسی اثر تراکم حلقه‌ها بر روی خصوصیات مکانیکی کامپوزیت تهیه شده، ساختارهای ریب و یکرو سیلندر ساده با تراکم حلقه‌های کم

جدول (۱) مشخصات فنی پارچه‌ها

ساختار	تراکم پارچه	WPC	CPC	SD	وزن g/m^2	ضخامت mm
ریب	تراکم بالا	۱۰	۱۶	۱۶۰	۱۳۰	۰/۵۹
	تراکم پایین	۷	۸	۵۶	۱۲۰	۰/۵۶
یکروسیلندر ساده	تراکم بالا	۱۶	۱۸	۲۸۸	۸۸	۰/۲۵
	تراکم پایین	۱۱	۱۲	۱۳۲	۵۶	۰/۲

و زیاد، تولید گردید. مشخصات فیزیکی پارچه‌های تولید شده در جدول (۲-۱) نشان داده شده است.

۲-۲- عملیات گرما شکل‌دهی:

پارچه‌های آماده شده می‌بایست به صورت یکنواخت با تراکم و اشکال هندسی مختلف، سه‌بعدی گردند. برای این کار ابزاری در نظر گرفته شد که شامل یک صفحه فلزی به ابعاد ۱۷۰×۲۳۰ میلیمتر و ضخامت ۲ میلیمتر بوده و در روی آن اشکال هندسی مورد نظر قرار گرفت که در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. همچنین صفحه فلزی دیگری با ابعاد برابر با صفحه ذکر شده با سوراخهایی به قطر ۱۰ میلیمتر و هم‌مرکز با اشکال هندسی مورد استفاده قرار گرفت. این دو صفحه برای در میان گرفتن پارچه بر روی هم به وسیله پیچهایی در اطراف خود محکم می‌گردد. پارچه حلقوی پودی تهیه شده از الیاف ترمو پلاست با قرار گرفتن در بین دو صفحهٔ مذکور در حین فرایند گرما شکل‌دهی، سه‌بعدی شده و شکل برجستگی‌های موجود بر روی صفحهٔ تحتانی را به خود خواهد گرفت. برای بررسی اثر شکل هندسی برجستگی‌های ایجاد شده بر روی پارچه در اثر فرایند گرما شکل‌دهی، از دو شکل هندسی مخروطی سر صاف با قطر ۱۰ میلیمتر در پایین و ۵ میلیمتر در بالا و ارتفاع ۷ میلیمتر و شکل هندسی نیم‌کره‌ایی با قطر ۱۰ میلیمتر استفاده گردید.

شکل (۲-۱) صفحه تحتانی حاوی اشکال هندسی

برای بررسی اثر تراکم سلول‌ها یا اشکال هندسی بر روی صفحهٔ تحتانی، از دو نوع تراکم، یک شکل هندسی در ابعاد ۱۵×۱۵ میلیمتر و نیز یک شکل هندسی در هر ۱۵×۳۰ میلیمتر استفاده گردید. سپس پارچه‌های سه‌بعدی شده به وسیله رزین اپکسی سخت گردیدند. در این پروژه از پودر میکرو سوسپانسیون پی‌وی‌سی، نرم‌کننده DOP[1]، پایدارکننده حرارتی استئارات روی و نیز از عامل پف‌زا با نام تجاری فوکو برای تهیه خمیر پی‌وی‌سی یا پلاستیسول استفاده گردید سپس یک قالب دوبخشی با ابعاد برابر ۱۴×۳۰×۲۰۰ میلیمتر برای هرکدام از دو بخش از ورق آهن با ضخامت ۰/۵ میلیمتر طی عملیات ورق‌کاری و جوش برنج ساخته شد.

نحوهٔ تهیه قطعه کامپوزیت:

پارچه سه‌بعدی در میان قالب دوبخشی قرار داده می‌شود، این دو بخش به یکدیگر توسط پیچ‌های قرار گرفته در اطراف خود، محکم می‌شوند. بعد از آن رزین پی‌وی‌سی آماده شده به مقدار برابر در دو طرف پارچه ذکر شده درون قالب تزریق می‌گردد. قالب به همراه پارچه سه‌بعدی در وسط خود با رزین پی‌وی‌سی به منظور تهیه نمونه کامپوزیت ساندویچی درون آون با دما و زمان مشخص قرار گرفت که طی فرآیند پخت رزین ذکر شده پف کرده و پارچه سه‌بعدی را در میان خود محبوس یا به عبارت دیگر ساندویچ می‌کند. در نهایت قطعه کامپوزیت با ماتریس پی‌وی‌سی منعطف و در عین حال سخت، تقویت شده با پارچه حلقوی پودی سه‌بعدی حاصل گردید. شکل (۲-۳) نمای جانبی از کامپوزیت تهیه شده را نشان می‌دهد. این قطعه کامپوزیتی دارای ابعادی با طول ۱۶۰ mm، عرض ۳۰ mm و ضخامت ۲۰ mm می‌باشد.

شکل (۲-۳) نمای واقعی جانبی از کامپوزیت تهیه شده

طراحی روش تهیه نمونه‌های کامپوزیت:

بدلیل آنکه چهار عامل هر کدام با دو سطح مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد، ماتریس L۸ تاگوچی برای تحقیق مناسب خواهد بود، براین اساس اثر چهار عامل ساختار پارچه با تراکم بالا و پایین حلقه‌ها بر روی پارچه، نوع ساختار سه‌بعدی ایجاد شده و تراکم هریک از ساختارهای سه‌بعدی ایجاد شده مد نظر قرار گرفت. بنابراین هشت نمونهٔ کامپوزیت بعلاوه یک نمونه دیگر با استفاده از فوم پی‌وی‌سی بدون پارچه برای بررسی اثر حضور پارچه به عنوان یک عامل تقویت‌کننده تهیه شد. برای تعیین میزان اثر هریک از عوامل مورد نظر بر خواص مکانیکی کامپوزیت تهیه شده و نیز بهینه‌سازی مقدار این عوامل برای حصول بهترین نتیجه، از نرم‌افزار Mini-tab استفاده گردید.

آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌های کامپوزیت:

در حالتی که ضربه با سرعت کمی بر روی نمونه اعمال گردد، نحوهٔ اعمال نیرو بسیار مشابه فرایند بارگذاری شبه- استاتیکی خواهد بود. بنابراین آزمون فشاری شبه- استاتیکی با استفاده از فکهای مسطح بر روی دستگاه زوئیک با سرعت ۵ mm/min استفاده گردید. برای ضربه با سرعت زیاد از آزمون ضربه وزنه ثقلی استفاده گردید.

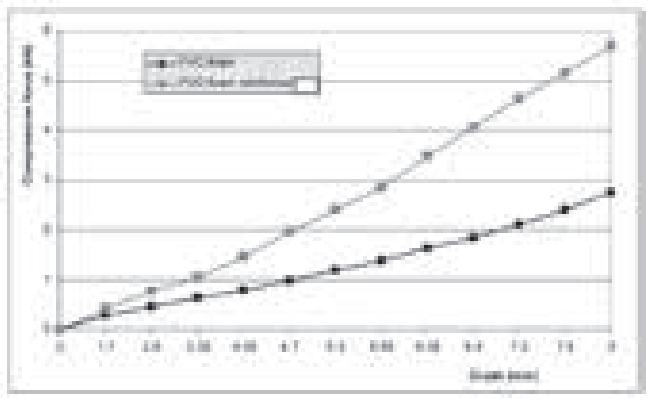
برای این منظور پرتابه‌ای به جرم ۱۶/۷۵ گرم از ارتفاع ۷۸ سانتیمتری بر روی نمونه‌ها سقوط داده شد. ارتفاع برگشت گوی یا پرتابه معیاری برای جذب انرژی توسط نمونهٔ مورد نظر خواهد بود و از یک دوربین دیجیتالی با سرعت ۲۵ عکس در ثانیه و به کمک نرم‌افزار Mat Lab، برای ثبت دقیق ارتفاع برگشت استفاده شد.

1 Dioctylphetalate

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمایشات فشار جانبی:

در هنگام اعمال نیروی فشاری، قسمتی از نیروی اعمالی صرف تغییر شکل پلاستیک سلولها خواهد شد، لذا در طی این فرایند مقداری انرژی جذب خواهد شد. برای بررسی ویژگی‌های فشاری کامپوزیت‌ها، از هر کامپوزیت تهیه شده بر مبنای جدول تاگوچی، سه نمونه آماده گردید و آزمایش فشار جانبی روی آنها انجام گرفت. براساس نتایج استخراج شده از نرم‌افزار mini tab، نمونهٔ کامپوزیتی تقویت شده با پارچه ریب تراکم بالا و ساختار هندسی مخروطی شکل با تراکم بالا، بالاترین نیروی فشاری را در حین آزمون فشاری ایجاد می‌کند که طبیعتاً نمونهٔ مطلوب‌تری نسبت به بقیه خواهد بود. در یک ساختار دورو سیلندر ریب که حلقه‌ها در پارچه بصورت یک در میان قرار گرفته‌اند، حلقه‌ها براحتی جابجا شده و تغییر شکل می‌دهندکه خود منجر به جذب انرژی خواهد شد. بر همین اساس ساختار ریب اصولاً ساختاری ایده‌آل برای جذب انرژی خواهد بود. با افزایش تراکم حلقه در پارچه ضخامت پارچه افزایش می‌یابد و از جهت اینکه تغییر شکل دیواره سلول به عنوان مکانیزم اصلی جذب انرژی عمل می‌کند، دیواره ضخیم‌تر به معنی نیاز به نیروی زیادتر برای تغییر شکل و افزایش ظرفیت جذب انرژی می‌باشد. ساختار سلول‌ها یا اشکال سه‌بعدی ایجاد شده بر روی پارچه‌ها از نقطه نظر مقاومت در برابر تغییر شکل و توزیع نیروی فشاری وارده از اهمیت زیادی برخوردارند. در مورد سلول مخروطی سر صاف مکانیزم جذب انرژی تنها مربوط به دیواره سلول می‌گردد و تغییر شکل دیواره بسیار جدی‌تر از حالت نیم کره‌ای می‌باشد و بنابراین شکل هندسی مخروطی سر صاف جذب انرژی بیشتری را در مقایسه شکل کروی از خود نشان می‌دهد. افزایش تعداد سلول‌ها باعث توزیع نیروی فشاری بر روی تعداد بیشتری از سلولها خواهد شد. لذا برای ایجاد تغییر شکل بر روی سلولها برای رسیدن به کرنش فشاری مورد نظر، به نیروی فشاری به مراتب بیشتری نیاز خواهد بود. برای بررسی اثر پارچهٔ سه‌بعدی بر ویژگی‌های فشاری کامپوزیت تهیه شده، منحنی نیرو- میزان فشردگی نمونهٔ کامپوزیت که شرایط بهینه را در نیروی فشاری کسب کرده بود با منحنی حاصله از آزمون فشاری فوم پی‌وی‌سی مقایسه گردید. نمودار (۳-۱) نمودار حاصل از آزمون فشاری نمونهٔ کامپوزیت مذکور و فوم پی‌وی‌سی را نشان می‌دهد.



نمودار (۳-۱) نیرو – میزان فشردگی فوم پی‌وی‌سی و کامپوزیت تهیه شده از آن

آزمون ANOVA یکطرفه برای بررسی معنی‌دار بودن تفاوت نیروی فشاری مابین نمونهٔ پی‌وی‌سی و پی‌وی‌سی تقویت شده با پارچه‌های سه‌بعدی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این آزمون نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اثر تقویتی پارچهٔ سه‌بعدی شده بر روی جذب انرژی در کامپوزیت تهیه شده است.

نتایج حاصل از آزمایشات ضربه با وزنه ثقلی

یکی از آزمون‌های اندازه‌گیری میزان جذب انرژی توسط کامپوزیت‌ها استفاده از پرتابه است. در این آزمون معیار جذب انرژی، ارتفاع برگشت نمونه خواهد بود. هر چقدر ارتفاع برگشت نمونه کمتر باشد، انرژی بیشتری از پرتابه جذب شده است. نیروی ضربه در واقع نیروی نفوذکننده دینامیکی می‌باشد. نیروی تماسی ناشی از ضربه به وسیله جرم و سرعت پرتابه مشخص می‌گردد. سرعت پرتابه در برگشت بتدریج کاهش می‌یابد و علت آن جذب انرژی جنبشی توسط نمونه مورد ضربه قرار گرفته، می‌باشد.

$$\text{انرژی ثقلی} = mgh$$ رابطه (۳-۱)

h ارتفاع پرتاب، m جرم پرتابه و g شتاب جاذبه زمین می‌باشد. در ابتدای عمل ضربه، انرژی ضربه (Eimpact) و یا به عبارتی انرژی جنبشی برخورد پرتابه به نمونه منتقل می‌گردد، در نتیجه کاهش سرعت پرتابه تا صفر جایی که تمام انرژی ضربه منتقل گردد، ادامه می‌یابد. برای آزمون ضربه که موجب ایجاد سوراخ در نمونه نمی‌گردد، کسری از انرژی جنبشی به عنوان انرژی الاستیک نگه داشته می‌شود که به پرتابه برگشت خورده منتقل می‌گردد. کسر دیگر انرژی جنبشی، انرژی جذب شده می‌باشد که مربوط به انرژی که باعث آسیب در نمونه و انرژی جذب شده توسط پرتابه و نمونه در شکل نوسان، حرارت و رفتار غیرالاستیک، می‌باشد.

$$E_{impact} = E_{absorbed} + E_{elastic}$$ رابطه (۳-۲)

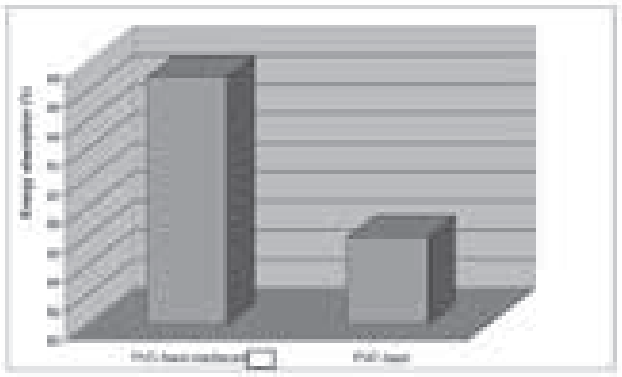
در آزمایش ضربه با وزنه ثقلی، به علت سبک بودن وزنه پرتابی، تغییر شکل بزرگ در نمونه‌ها و در نتیجه سلول‌های سه‌بعدی وجود نخواهد داشت. درصد انرژی جذب شدهٔ پرتابه توسط نمونه براساس ارتفاع اولیهٔ پرتابه h۱ و ارتفاع برگشت پرتاب h۲ بصورت زیر محاسبه گردید:

$$\text{Energy absorption}(\%) = (h_1-h_2)/h_1 * 100$$ رابطه (۳-۳)

براساس نتایج استخراج شده، چنانچه نمونهٔ کامپوزیت با پارچه بافت ریب تراکم بالا و ساختار سلول یا اشکال هندسی نیمکره با تراکم بالا تهیه گردد، کمترین مقدار ارتفاع بازگشت را در حین آزمون ضربه ایجاد می‌کند. این بدان معناست که این نمونه بیشترین جذب انرژی را در اثر برخورد با آن را ایجاد می‌کند که مطلوب‌ترین نمونه نسبت به بقیه خواهد بود. مطلوب‌تر بودن ساختار ریب نسبت به بافت یکرو سیلندر ساده بدین دلیل است که در ساختار ریب، دو سری حلقه در هر رج به

WWW.ITMA.CO
پرمخاطب‌ترین رسانه نساجی ایران

صورت یکی در میان قرار گرفته است. در هنگام اعمال ضربه، نیروی اعمال شده از طریق ماتریس به پارچهٔ تقویت‌کننده منتقل می‌شود. حلقه‌های یک در میان موجود در ساختار ریب نسبت به یکدیگر جابجا شده که این امر باعث جذب انرژی بیشتر نسبت به پارچه یکروسیلندر که در هر ردیف خود یک سری حلقه دارد، می‌گردد و افزایش تراکم ساختار پارچه موجب افزایش اثر پدیده مذکور می‌گردد. در آزمون ضربه، اعمال نیرو بر نمونه بصورت سریع و ناگهانی اتفاق می‌افتد و موجب تغییر شکل سلول نخواهد شد از این روی مکانیزم جذب انرژی از طریق توزیع نیرو در سطح سلول‌ها توجیه‌پذیر خواهد بود. هرچه تراکم سلولهای سه‌بعدی سطح پارچه بیشتر باشد، توزیع بیشتری روی سطح تقویت‌کننده انجام می‌گیرد. لذا انرژی جذب شده را افزایش می‌دهد. برخلاف آزمون فشاری شبه‌استاتیکی که ساختار مخروطی سر صاف به عنوان شکل هندسی بهینه معرفی گردید. نتایج این آزمون نشان‌دهندهٔ آن است که در اعمال ضربه ساختار کروی انرژی بیشتری را جذب خواهد نمود. علت آن است که در شکل هندسی نیمکره توزیع نیرو نسبت به مخروطی سر صاف بهتر انجام می‌گیرد. لذا جذب انرژی بیشتری از کامپوزیت‌های تهیه شده از پارچه‌های سلولی نیمکره‌ای مشاهده می‌شود. نمودار ستونی (۳-۲) مقایسه آزمون ضربهٔ نمونهٔ کامپوزیت بهینه و فوم پی‌وی‌سی را نشان می‌دهد.



نمودار (۳-۲) مقدار انرژی جذب شده برای نمونه با بالاترین جذب انرژی و فوم پی‌وی‌سی

آزمون ANOVA یکطرفه برای بررسی معنی‌دار بودن تفاوت ضربه وزنه ثقلی مابین نمونهٔ پی‌وی‌سی و پی‌وی‌سی تقویت شده با پارچه‌های سه‌بعدی مورد استفاده قرار گرفت که نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن اثر تقویتی پارچهٔ سه‌بعدی شده بر روی جذب انرژی درکامپوزیت تهیه شده است.

نتیجه‌گیری

همچنان که میله گرد و کاه تقویت‌کننده‌های مناسبی برای بتون و گل به ترتیب می‌باشند، پارچه یا هر سازه لیفی دیگر نیز تقویت‌کننده مناسبی برای سازه‌های پلیمری می‌باشند. از این روی بررسی ویژگی‌های مکانیکی این سازه‌ها بخصوص ویژگی جذب انرژی و اثر تقویت‌کننده روی آنها بسیار مهم است. در این میان پارچه حلقوی پودی هم با دارا بودن ساختار سلولی و ویژگی ذاتی جذب انرژی و هم آویزش بالا به علت مقاومت کم در برابر تغییر شکل، مناسب می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایشات به قرار زیر می‌باشد.

نتایج حاصل از آزمایش فشار جانبی:

نتایج حاصل از این آزمایش نیز حاکی از معنی‌دار بودن اثر تقویت‌کننده در کامپوزیت مورد آزمایش فشار جانبی، می‌باشد. به دلیل تغییر شکل‌های پلاستیک و الاستیک، حرارت، ترک و نوسانات ناشی از فشار جانبی بر روی نمونه کامپوزیتی و به تبع آن پارچه سه‌بعدی درون آن، به نیروی بیشتری در هنگام اعمال فشار بر روی کامپوزیت تقویت شده برای فشردگی یکسان نسبت به کامپوزیت تقویت نشده، نیاز می‌باشد که این عامل موجب افزایش جذب انرژی می‌گردد.

نتایج حاصل از آرمایش ضربه وزنه ثقلی:

نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر تقویت‌کننده روی ویژگی جذب انرژی کامپوزیت می‌باشد. در آزمایش ضربه وزنه ثقلی شاهد تغییر شکل‌های بزرگ در نمونه نیستیم و بیشتر با توزیع نیرو و تغییر شکل‌های کوچک، ترک، ایجاد حرارت و نوسان روبرو هستیم که تمام این عوامل موجب افزایش جذب انرژی در کامپوزیت تقویت شده نسبت به نمونه تقویت نشده، می‌گردد.

پی نوشت:

۱دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

۲دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

* ایمیل نویسنده مسئول: r.hessami@tx.iut.ac.ir

مراجع

[۱] Mouritz, A.P, Bannister, M.K, Falzon, P.J, Leong, K.H, 'Review of applications for advanced three-dimensional fiber textile composites', composite: part A ۱۹۹۹ ,۱۴۶۱-۳۰۱۴۴۵.

[۲] Mohamed, M, Zhang, Z, Dickinson, L, 'Manufacture of multilayer woven preforms', Advanced composites and processing technology, MD۱۹۸۸ ,۸۹-۸۱ ,۵.

[۳] Bannister, M, Herszberg, I, 'Resin transfer moulding for aerospace structures', Advanced reinforcements, London, Chapman and Hall, ۱۹۹۸.

[۴] Verpoest, I, Ivens, I, Van Vuure, A.W, Gonmers, B, Vendeurzen, P, Efstratiou,V, Phillips, D, 'New
developments in advanced textiles for composites', Proceeding of the fourth Japan international SAMPE
symposium, ۱۹۹۵ .۶۴۴ ,۲۸-۲۵

[۵] Phillips, D, Verpoest, I, Van Raemdonk, J, '۳D-knitted fabrics for sandwich panels', Proceeding of Texcomp۳-, paper ۱۹۹۶ ,۱۸.

[۶] Yiping, Q, Wei, X, Youjiang, W, Mohammed, A.Z, Mansour, H.M, 'Fabrication and characterization of threedimensional cellular-matrix composites reinforced with woven carbon fabric', Composites science and technology۲۰۰۱ ,۲۴۳۵-۲۴۲۵ ,۶۱.

[۷] Yu, T, Tao, X, Wu, K, 'Energy absorption of cellular textile composite under impact' In: ICCE/۴, Hawai, USA, p.۱۰۹,۱۹۹۷-۱۰۰.

[۸] Lam, S.W, Tao, X.M, Yu, T.X, 'Cellular textile composites with Non-Woven Fabric Reinforcement', institute of textile and clothing, The Hong kong polytechnic university, Hong Kong, ۲۰۰۴.