تکنولوژی نساجی

بررسی اثر یکپارچگی بر ثابت‌های سفتی ساختار ساندویچی با هسته موج‌دار

حمید عابدزاده[1]/ محمد ذره‌بینی[1]/حسین حسنی[1]/ جلیل رضایی[2]

چکیده

در این مقاله رفتار خمشی ساختار ساندویچی با هسته موج‌دار یکپارچه و غیریکپارچه با هندسه هسته مستطیلی در وزن مشابه به صورت تجربی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ساختار ساندویچی یکپارچه با پارچه سه‌بعدی حلقوی پودی تقویت شده است در حالی که در تقویت ساختار غیریکپارچه از پارچه‌های دوبعدی معمول استفاده شده است.

نتایج نشان داد قدرت تحمل بار در فاصله بلند بین دو تکیه‌گاه و سفتی خمشی ساختار یکپارچه در جهت عمود بر راستای موج به صورت معنی‌داری بیشتر از ساختار غیریکپارچه است. در جهت موازی با راستای موج ساختار غیریکپارچه قدرت تحمل بار و صلبیت برشی عرضی بیشتری نسبت به ساختار یکپارچه دارد.

۱- مقدمه

کامپوزیت‌های ساندویچی با هسته موجدار اغلب از دو پوسته و یک صفحه موج‌دار بین آنها به عنوان هسته تشکیل شده‌اند.

یکی از مهم‌ترین مزایای این ساختارها نسبت سفتی و استحکام خمشی به وزن بالا است.پوسته‌ها نیروهای خمشی و بارهای درون صفحه‌ای را تحمل می‌نمایند. هسته وظیفه بسیار مهم تثبیت پوسته‌ها در یک فاصله معین از یکدیگر را دارد و در مقابل نیروهای برشی عرضی مقاومت می‌کند.

در انواع کامپوزیتی این ساختارها اغلب هسته و پوسته به وسیله چسب به هم متصل می‌شوند. با توجه به خواص مکانیکی ضعیف چسب اتصال هسته به پوسته می‌تواند یکی از نقاط ضعف این ساختارها باشد. یک اتصال ضعیف سبب کاهش خواص مکانیکی و بروز پدیده لایه لایه شدن هسته و پوسته به‌واسطه اعمال نیرو می‌شود.

با استفاده از فناوری تولید پارچه‌های سه‌بعدی می‌توان ضعف اتصال لایه‌ها در ساختارهای چندلایه را برطرف نمود. پارچه‌های سه بعدی منسوجاتی هستند که ضخامت آنها در راستای Z قابل توجه است و در هر سه راستای اصلی X ،Y و ی‌اراد Z یک یا چند گروه نخ هستند.

در این پژوهش، با استفاده از فناوری بافندگی حلقوی پودی، تقویت‌کننده سه‌بعدی ساختار ساندویچی با هسته موج‌دار یکپارچه با شکل سطح مقطع مستطیلی تولید شد. تقویت‌کننده ساختار غیریکپارچه پارچه‌های دوبعدی متداول هستندکه روی یکدیگر لایه‌گذاری می‌شوند.

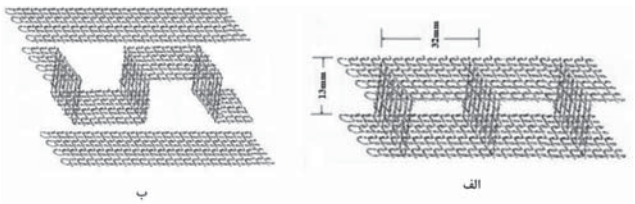
از روش تزریق رزین به کمک خلأ برای تولید ساختارها استفاده شد. در ساختار یکپارچه نخ و رزین دیواره‌های هسته را به پوسته‌ها متصل می‌کند در صورتی که در ساختار غیریکپارچه رزین اتصال هسته را به پوسته‌ها انجام می‌دهد.

از آزمون خمش تجربی برای مقایسه خواص خمشی این ساختارها و تعیین سفتی خمشی و صلبیت برشی عرضی در دو راستای عمود بر موج و موازی با آن در ناحیه الاستیک نمونه‌ها استفاده شد.

۲- اصول تجربی

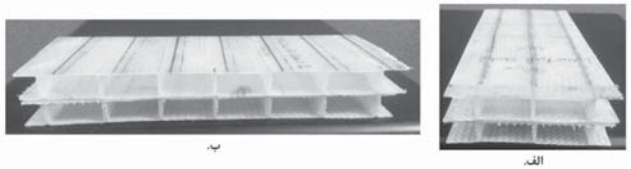
بافت پارچه‌های سه‌بعدی و دوبعدی بوسیله ماشین بافندگی حلقوی پودی تخت‌باف اشتول CMS-۴۰۰ گیج ۵ انجام شد. شکل ۱ الگویی از پارچه سه‌بعدی و پارچه‌های دوبعدی لایه‌گذاری شده را نشان می‌دهد.

بافت تقویت‌کننده ساختارها با استفاده از نخ شیشه کلاس E با نمره ۱۰۰ تکس انجام شد که برای بافت قسمت‌های مختلف به صورت دو، چهار و شش‌لا استفاده شد. پوسته‌های بالا و پایین تقویت‌کننده سه‌بعدی ساختار یکپارچه روی سوزن‌های فرد بستر جلو و عقب ماشین بافندگی در هشت رج و با نخ شیشه نمره ۴۰۰ تکس بافته شدند.



ب الف

شکل۱ - الف. پارچه سه‌بعدی با سطح مقطع هسته مستطیلی، ب. پارچه‌های دوبعدی لایه‌گذاری شده.



شکل۲ - نمونه ساختارهای کامپوزیتی یکپارچه و غیریکپارچه الف. عمود بر راستای موج ب. در راستای موج.

در رج هشتم سوزن‌های زوج بستر جلو نیز در عملیات بافت شرکت کردند و بدین ترتیب اتصال دیواره هسته به پوسته بالایی برقرار شد. سپس سوزن‌های زوج بستر جلو بافت دیواره هسته را در ۴ رج و با نخ ۶۰۰ تکس انجام دادند. بوسیله عملیات انتقال حلقه از بستر جلو به بستر عقب اتصال دیواره هسته به پوسته پایینی نیز برقرار شد. عملیات بافت به ترتیب فوق برای بافت سلول‌های بعدی ادامه یافت.

از روش تزریق رزین به کمک خلأ با استفاده از رزین اپوکسی EPL۱۰۱۲ برای تولید ساختارها استفاده شد.

برای حفظ ابعاد سلول‌های ساختار یکپارچه در شرایط خلا شکل دهنده‌های تفلونی متناسب با اندازه داخلی سلول واحد شکل ۱ الف داخل سلولهای تقویت کننده سه‌بعدی قرار داده شدند.

در ساختار غیر یکپارچه پوسته‌ها و هسته به صورت جداگانه بافته و سپس روی یکدیگر لایه‌گذاری شدند. با توجه به شکل ۱ ب بافت رویه‌ها به صورت یک پارچه دو بعدی در هشت رج با نخ ۴۰۰ تکس برای قسمت‌هایی که رویه با هسته در تماس نیست و در هشت رج با نخ ۲۰۰ تکس برای قسمت‌هایی که هسته با رویه در تماس است انجام شد.

بافت هسته به صورت یک پارچه دو بعدی در هشت رج با نخ ۲۰۰ تکس برای قسمتهایی که هسته با پوسته در تماس است و در چهار رج با نخ ۶۰۰ تکس برای تشکیل دیواره هسته انجام شد.

جهت تولید ساختار غیریکپارچه پارچه بافته شده به عنوان پوسته به دلیل جلوگیری از لول‌شدگی آن و تحت کشش و با تراکم رج و ردیف یکسان با ساختار یکپارچه بروی میز کار چسبانده شد.

سپس پارچه بافته شده هسته به گونه‌ای روی پوسته پایینی قرار داده شد و از بین شکل‌دهنده‌ها عبور داده شد که قسمت‌های بافته شده با نخ ۶۰۰ تکس دیواره هسته را تشکیل دهند و قسمت‌های بافته شده با نخ ۲۰۰ تکس هسته بر روی قسمت‌های بافته شده با نخ ۲۰۰ تکس پوسته پایینی قرار گیرند.

پارچه بافته شده به عنوان پوسته بالایی نیز به گونه‌ای روی هسته قرار گرفت که قسمت‌های بافته شده با نخ ۲۰۰ تکس پوسته بالایی روی قسمت‌های بافته شده با نخ ۲۰۰ تکس هسته قرار گیرند. در پایان عملیات تزریق و پخت رزین، مشابه با ساختارهای یکپارچه انجام شد.

بدین صورت قسمتی از پوسته ساختار غیریکپارچه که از لایه‌گذاری دو پارچه بافته شده با نخ ۲۰۰ تکس تشکیل شده‌اند حداکثر شباهت را از نظر وزن با پوسته ساختار یکپارچه بافته شده با نخ ۴۰۰ تکس دارد. کسر حجمی الیاف در ساختار یکپارچه و غیریکپارچه اختلاف قابل توجهی با هم ندارند و به ترتیب۱۷/۵۲ و ۱۷/۱۳ است.

در ساختار غیریکپارچه رزین سبب اتصال هسته به پوسته می‌شود. این اتصال در ساختار یکپارچه، توسط نخ و رزین انجام می‌شود. مقایسه این دو ساختار می‌تواند مبین اثر یکپارچگی بر ثابت‌های الاستیک ساختارهای ساندویچی باشد. نمونه ساختارهای یکپارچه و غیریکپارچه که برای آزمون خمش در دو راستای عمود بر موج و موازی با آن بریده شده‌اند در شکل ۲ الف و ب نشان داده شده‌اند.

۳-روش تحلیل

برای محاسبه سفتی خمشی و صلبیت برشی عرضی از روش ارائه شده توسط نوردسترند کارلسون استفاده شد.

نوردسترند کارلسون با فرض تیر ساندویچی تحت خمش سهن قطه به عنوان تیر تیموشنکو از رابطه ۱ برای تعیین ثابتهای الاستیک ساختار ساندویچی استفاده کردند.

$$\Delta=\frac{WL^3}{48bD_i}+\frac{WL}{4AG_{c,iz}}$$

در رابطه ۱، W نیروی وارده به وسط تیر، L فاصله بین دو تکیه‌گاه، b عرض ساختار، bDi سفتی خمشی و $AG_{c,iz}$ صلبیت برشی عرضی ساختار ساندویچی است.

در رابطه ۱، سطح برشی موثر سطح مقطع تیر به صورت $A=bh^2/c$ در نظر گرفته شده و h بیانگر فاصله بین مرکز تا مرکز پوسته بالا و پایین است. نوردسترند و کارلسون چند آزمون خمش با فاصله تکیه‌گاه‌های متفاوت انجام دادند؛ سپس با تقسیم رابطه۱ بر WL ۳ نمودار $\frac{\Delta}{WL^3}$ را بر حسب $\frac{1}{L^2}$ را برای نتایج آزمون خمش سه نقطه با فاصله تکیه‌گاه‌های متفاوت رسم کردند.

عرض از مبدأ نمودار بیانگر $\frac{1}{48bD_i}$ و شیب آن بیانگر $\frac{1}{4AG}$ است. مقدار $\frac{\Delta}{W}$ از محاسبه شیب خط در ناحیه خطی نمودار نیرو- تغییر شکل در آزمون‌های خمش تجربی انجام شده تعیین می‌شود.

با هدف تعیین تاثیر یکپارچگی بر سفتی خمشی و صلبیت برشی عرضی در راستای عمود بر موج، آزمون‌های خمش سه‌نقطه با فاصله تکیه‌گاه‌های ۱۵۰ و ۲۲۰ میلیمتر انجام شد.

جهت تعیین ثابتهای الاستیک ساختارها در راستای موج دو آزمون خمش طول کوتاه با فاصله تکیه‌گاه ۱۵۰ میلیمتر و طول بلند با فاصله تکیه‌گاه ۵۰۰ میلی‌متر انجام شد. ابعاد و وزن نمونه‌های خمش طولی و عرضی نشان داد هدف ابعاد و وزن مشابه ساختارها با طراحی انجام شده و استفاده از قابلیت‌های فناوری بافندگی حلقوی پودی تا حد مطلوبی برآورده شده است.

٤. نتایج و بحث

شکل ۳ الف و ب به ترتیب نشان‌دهنده میانگین نمودار نیرو- تغییر شکل عمود بر راستای موج سه تکرار ساختار غیریکپارچه در مقایسه با ساختار یکپارچه با سطح مقطع هسته مستطیلی با فاصله تکیه‌گاه ۱۵۰ و ۲۲۰ میلی‌متر است.

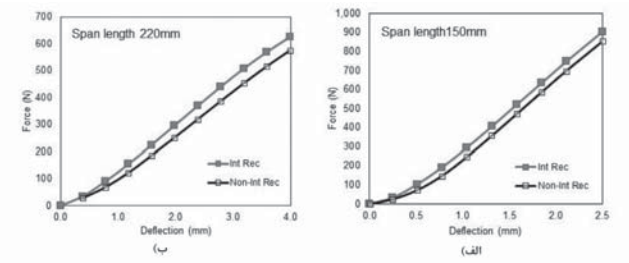
نتایج آزمونT برای میانگین نیرو تاکید بر معنی‌دار بودن اختلاف بین دو ساختار در فاصله تکیه‌گاه ۲۲۰ میلی متر دارد لذا ساختار یکپارچه نسبت به ساختار غیریکپارچه در راستای عمود بر موج و در فاصله بلند تکیه‌گاه‌ها به صورت معنی‌دار قادر به تحمل نیرو بالاتری در ازدیاد طول مشخص است.

جدول ۱ بیانگر میانگین سفتی خمشی و صلبیت برشی عرضی ساختارها در راستای عمود بر راستای موج است. نتایج آزمونT موید زیادتر بودن سفتی خمشی ساختار

یکپارچه از ساختار غیریکپارچه و کمتر بودن صلبیت برشی عرضی ساختار یکپارچه از مقادیر مشابه مرتبط با ساختار غیریکپارچه است.

تحمل نیروی زیادتر توسط ساختار یکپارچه به ویژه برای فاصله بلند بین دو تکیه‌گاه در مقایسه با ساختار غیریکپارچه را می‌توان به تغییر شکل بیشتر تیر تحت خمش، به‌واسطه نیروهای خمشی در مقابل نیروهای برشی به خصوص با افزایش طول تیر نسبت داد.

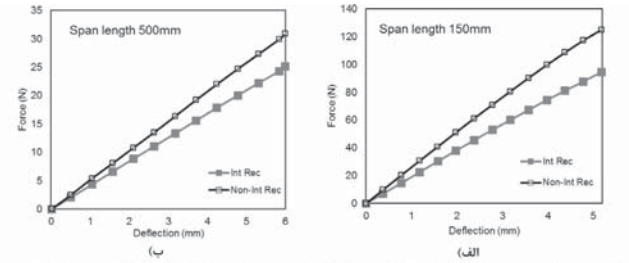
بنابراین تیر یکپارچه دارای سفتی خمشی بالاتر نسبت به تیر غیریکپارچه، علیرغم صلبیت برشی عرضی کمتر، قادر به تحمل نیروی بیشتری در تغییر شکل یکسان به خصوص در طول‌های بلند تیر است. لذا می‌توان نتیجه‌گیری نمود استفاده از ساختارهای یکپارچه در ساختارهای ساندویچی مورد استفاده به عنوان تیرهای بلند دارای مزیت است.



شکل ۳. نمودار نیرو- تغییر شکل ساختارهای یکپارچه و غیریکپارچه عمود بر راستای موج با فاصله تکیه‌گاه الف) ۱۵۰، ب) ۲۲۰ میلی‌متر.

شکل ۴ الف و ب نمودار نیرو– تغییر شکل خمش سه نقطه در راستای موج ساختارهای ساندویچی یکپارچه و غیریکپارچه را با فاصله تکیه‌گاه ۱۵۰ و ۵۰۰ میلیمتر در مقایسه با یکدیگر نشان می‌دهد. نتایج آزمون آماری T جهت‌مقایسه میانگین‌ها بیانگر تحمل نیروی بیشتر توسط ساختار غیریکپارچه در جابجایی‌های معین است.

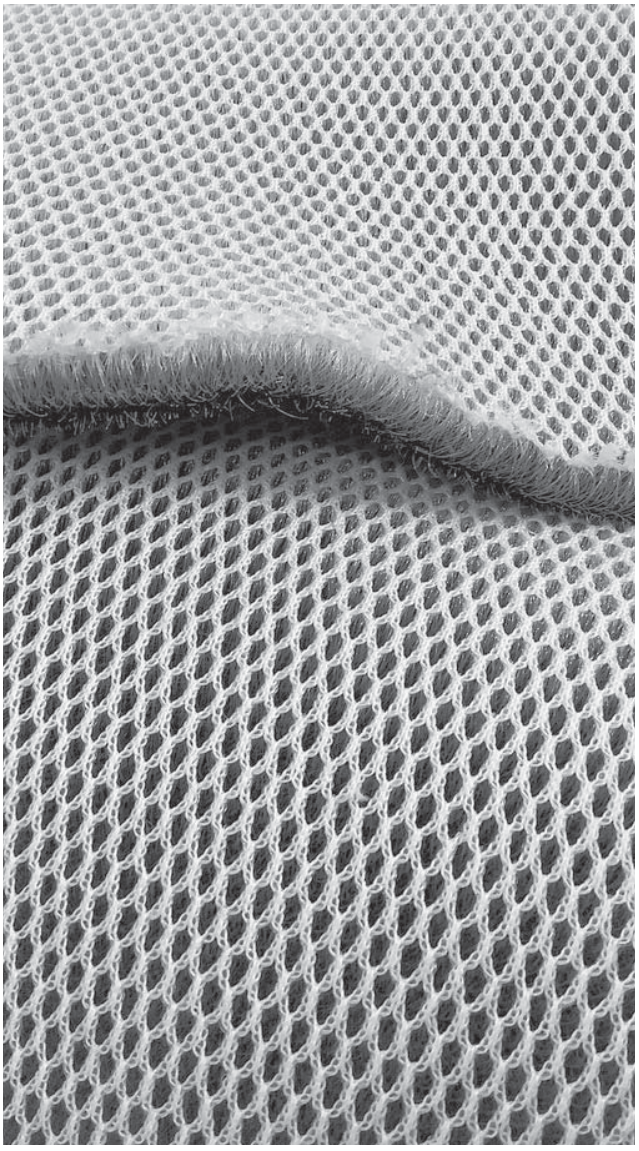
جدول ۱ نشان دهنده سفتی خمشی و صلبیت برشی عرضی در راستای موج ساختار یکپارچه و غیریکپارچه است. بین صلبیت برشی عرضی دو ساختار یکپارچه و غیریکپارچه تفاوت معنی‌دار آماری وجود دارد.



شکل ۴. نمودار نیرو- تغییر شکل ساختارهای یکپارچه و غیریکپارچه در راستای موج با فاصله تکیه‌گاه الف) ۱۵۰، ب) ۵۰۰ میلی‌متر.

جدول ۱. میانگین ثابت‌های الاستیک موازی با راستای موج ساختارهای یکپارچه و غیر یکپارچه

	عمود برراستای موج		موازی با راستای موج	
ساختار	سفتی خمشی ($N.m^2$)	صلبیت برشی عرضی (N)	سفتی خمشی ($N.m^2$)	صلبیت برشی عرضی (N)
یکپارچه	۵۰/۱۸	۳۹۵۹۴/۹۴	۳۴/۳۵	۷۱۴/۲۰
غیر یکپارچه	۴۴/۷۵	۴۷۸۶۴/۴۴	۴۰/۰۹	۹۷۹/۰۹



روش ارائه شده در این پژوهش توانایی آشکارسازی مزیتهای استفاده از تقویت‌کننده‌های سه‌بعدی بر خواص مکانیکی ساختار ساندویچی با هسته موج‌دار را به صورت تجربی دارد.

قدرت تحمل بار، سفتی خمشی و صلبیت برشی عرضی در دو راستای عمود و موازی با راستای موج این ساختارها به صورت تجربی و بوسیله آزمون خمش سه‌نقطه اندازه‌گیری شد.

نتایج تجربی نشان داد که قدرت تحمل بار و سفتی خمشی ساختار یکپارچه در راستای عمود بر موج بیشتر از ساختار غیریکپارچه است در حالیکه صلبیت برشی عرضی آن کمتر است. اما در راستای موازی با موج ساختار غیریکپارچه قدرت تحمل بار و صلبیت برشی عرضی بالاتری نسبت به ساختار یکپارچه دارد.

۷-نتیجه‌گیری

با استفاده از فناوری بافندگی حلقوی پودی تقویت‌کننده‌های دوبعدی و سه‌بعدی جهت تولید ساختارهای ساندویچی با هسته موج‌دار یکپارچه و غیریکپارچه مشابه از نظر ابعاد، وزن و خواص مکانیکی صفحات تشکیل‌دهنده آنها تولید شدند.

پی‌نوشت

۱–دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان

۲–دانشکده فنی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد