JARC

اثر نوع الیاف تقویت‌کننده شیشه در ویژگی‌های کششی و ضربه‌پذیری چندسازه‌های بسپاری

مهران دولو[۱و*]، هدی پاسدار[۲] و دلارام سپاهی[۳]

۱- استادیار شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- دانشیار شیمی معدنی، دانشکده شیمی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳- کارشناس ارشد شیمی معدنی، دانشکده شیمی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

دریافت: شهریور ۱۳۹۵، بازنگری: آبان ۱۳۹۵، پذیرش: آذر ۱۳۹۵

چکیده: یکی از مهم‌ترین اهداف در صنعت چندسازه‌ها، دست‌یابی به موادی است که خواص مطلوب را فراهم کند. در این پژوهش اثر ضخامت چندسازه‌ها، کسر حجمی الیاف شیشه تقویت‌کننده با شکل‌های هندسی متفاوت برای تعیین ویژگی‌های کششی و ضربه‌پذیری نمونه‌های چندسازه‌ای مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. نتیجه‌های به‌دست آمده نشان داد ویژگی‌های کششی و ضربه‌پذیری نمونه‌های چندسازه‌ای تابع نوع الیاف تقویت‌کننده و مقدار مصرفی آن است. آزمون کششی نشان داد، در مقایسه با نمونه‌های چندسازه‌ای سوزنی نمدی و دو جهتِ، چندسازه‌های ساخته شده از الیاف یک جهتِ حاوی ۲۰ و ۳۰ درصد کسر حجمی الیاف با ضخامت ۳ و ۵ میلی‌متر بالاترین استحکام، مدول کششی و کمترین کرنش را فراهم کردند. درصورتی‌که نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمون ضربه‌پذیری نشان داد که نمونه‌های چندسازه‌ای حاوی الیاف دو جهتِ دارای درصد کسر حجمی الیاف و ضخامت‌های مشابه، بیشترین مقاومت ضربه‌پذیری و انرژی ضربه را در مقایسه با چندسازه‌های حاوی الیاف سوزنی نمدی و یک جهتِ به نمایش گذاشتند.

واژه‌های کلیدی: الیاف شیشه یک جهتِ، الیاف شیشه سوزنی، الیاف شیشه دو جهتِ، لایه‌گذاری دستی، رزین پلی‌استر غیراشباع

مقدمه

چندسازه‌های تقویت‌شده با الیاف به‌طور عمومی برای ساخت قطعات در صنایع فضایی، اتومبیل، دریایی و ساختمانی و ساختارهای با کارایی بالا به‌دلیل استحکام و سختی ویژه بالا، مقاومت خستگی و دوام بالا در مقایسه با ساختارهای فلزی و قابلیت استفاده برای کاربردهای ویژه به‌کار می‌روند [۱ تا ۴]. با استفاده از الیاف شیشه با شکل‌های هندسی متفاوت می‌توان چندسازه‌هایی با ویژگی‌های موردنظر برای کاربرد بخصوصی تهیه نمود که این یکی از مزیت‌های این‌گونه مواد نسبت به فلزات است [۵ تا ۸]. پژوهش‌های زیادی در زمینه توسعه چنین قطعات در صنایع متفاوت در دهه‌های اخیر انجام گرفته است. چندسازه‌های بر اساس پلی‌استر غیراشباع و الیاف شیشه تقویت‌کننده از پرمصرف‌ترین چندسازه‌ها در کاربردهای متفاوت است [۹ تا ۱۱]. در این پژوهش نقش الیاف تقویت‌کننده شیشه سوزنی، دو جهتِ و یک جهتِ در ساخت چندسازه‌های بر اساس پلی‌استر غیراشباع با ضخامت‌های متفاوت با استفاده از قالب‌گیری دستی تهیه شد و ویژگی‌های کششی و ضربه‌پذیری آن‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند.

*عهده‌دار مکاتبات: m_davallo@iau-tnb.ac.ir

بخش تجربی

برای ساخت نمونه‌های چندسازه‌ای از قالب شیشه‌ای و محلول پلی وینیل الکل به‌عنوان عامل جداکننده برای جدا کردن آسان‌تر نمونه‌ها از سطح قالب استفاده شد. از برس به‌منظور آغشته سازی الیاف به رزین استفاده شد. از غلتک چوبی که دورتادور آن با ورق تفلونی پوشیده شده بود برای از بین بردن حفره‌های ایجادشده در زمان آغشته سازی الیاف به رزین استفاده شد، تا قطعه چندسازه‌ای عاری از هرگونه حفره و منافذ در ساختار خود باشد.

مواد

برای ساخت نمونه‌های چندسازه‌ای از رزین پلی‌استر غیراشباع UP-973ST70 بر پایه ارتوفتالیک تولیدی مجتمع صنایع شیمیایی اصفهان، کبالت آکتوات به‌عنوان شتاب‌دهنده و تسریع‌کننده زمان پخت رزین و متیل اتیل کتون پراکساید (MEKP) به‌عنوان کاتالیست تولیدی شرکت پاموکاله ترکیه استفاده شد. الیاف شیشه به‌عنوان تقویت‌کننده در نمونه‌های چندسازه‌ای از نوع E-glass و در ۳ نوع هندسی متفاوت یک جهتِ[1]، دو جهتِ[2] و نمدی یا سوزنی[3] به ترتیب با وزن واحد سطح ۳۲۰، ۴۲۰ و ۴۰۰ $g.m^{-2}$، تولیدی کشور چین استفاده شد. مشخصات مواد فوق در جدول‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. فرمول رزین مصرفی در نمونه‌های چندسازه‌ای در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۱ مشخصات رزین مصرفی

نقطه اشتعال	چگالی (g/ml)	عدد اسیدی (mg/g)	درصد غیر فرار	نوع حلال
۲۰-۳۵	۱٫۲	۲۰-۳۰	۷۰±۱	استایرن

جدول ۲ مشخصات شتاب‌دهنده مصرفی

درصد وزنی فلز	چگالی (g/cm^3)	مقدار مواد جامد (٪)	رنگ
۱۲	۱٫۰۵	۷۶(±۰٫۵)	آبی تیره

جدول ۳ مشخصات کاتالیست مصرفی

وضعیت ظاهری	مایع بی‌رنگ و شفاف
مقدار نرم‌کننده (فتالات)	حداقل (۵۰٪)
چگالی (*g/ml*)	۱٫۱۲-۱٫۱۴

جدول ۴ فرمول رزین مصرفی در نمونه‌های چندسازه‌ای

زمان ژل شدن (min)	دمای رزین در زمان ژل شدن (°C)	مقدار کاتالیست (g)	مقدار شتاب‌دهنده (g)	مقدار رزین (g)
۲۵	۳۰	۲	۰٫۰۳	۱۰۰

در این پژوهش نمونه‌های چندسازه‌ای با درصد حجمی ۲۰ و ۳۰ درصد الیاف یک جهتِ، دو جهتِ و سوزنی نمدی و با ضخامت ۳ و ۵ میلی‌متر با قالب‌گیری دستی تهیه شد و ویژگی‌های کششی و ضربه‌پذیری نمونه‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند.

روش‌ها

تعیین تعداد لایه‌های الیاف و درصد حجمی الیاف به روش نظری

برای ساخت نمونه‌های چندسازه‌ای، مبنای درصد حجمی برای هر نوع از الیاف (یک‌سویه، دوسویه و نمدی) ۲۰ درصد و ۳۰ درصد در نظر گرفته شد، به‌طوری‌که برای درصد حجمی ۲۰ درصد، ضخامت اسمی ۳ و ۵ میلی‌متر و برای درصد حجمی ۳۰ درصد ضخامت اسمی ۳ و ۵ میلی‌متر برای ساخت هر قطعه منظور شده است. برای به‌دست آوردن تعداد الیاف برای هر ضخامت نمونه با توجه به درصد حجمی موردنظر از روابط زیر استفاده شده است:

الف) محاسبه تعداد الیاف و درصد حجمی نظری نمونه چندسازه‌ای با الیاف یک‌سویه با توجه به درصد حجمی اسمی الیاف ۲۰ درصد و ضخامت ۳ میلی‌متر. با توجه به این‌که قالب طراحی شده به ابعاد ۲۵ cm × ۲۵ m و وزن هر لایه از الیاف یک‌سویه به مساحت ۲۵ cm × ۲۵ m برابر با ۳۴٫۱۶ گرم است محاسبه

1. Unidirectional 2. Bidirectional 3. Chopped strand mat

تعداد لایه‌های یک‌سویه قطعه ساخته شده و درصد حجمی نظری از روش زیر محاسبه شده است. برای مثال، ضخامت اسمی ۳ میلی‌متر با درصد حجمی الیاف ۲۰ درصد:

حجم قالب(cm^3)=۲۵(cm)×۲۵(cm)×۰/۳=۱۸۷/۵(cm^3)

برای به‌دست آمدن حجم الیاف موردنیاز در قالب باید کسر حجمی الیاف که بر اساس درصد حجمی اسمی ۲۰ درصد از الیاف در نظر گرفته شده است در حجم قالب ضرب شود.

حجم الیاف موردنظر در قالب =۱۸۷/۵×۰/۲=۳۷/۵ cm^3

برای به‌دست آمدن وزن کل الیاف در این حجم از قالب در نظر گرفته شده، کافی است که حجم الیاف موردنیاز در قالب ضرب در چگالی الیاف شیشه شود.

وزن الیاف در قالب =

=v_f (cm^3)×P_f (g/cm^3)=۳۷/۵×۲/۵۴=۹۵/۲۵(g)

حال با توجه به داشتن وزن کل الیاف موردنیاز در قالب و وزن هر لایه از الیاف شیشه یک‌سویه به وزن ۳۴/۱۶ گرم. لایه‌های موردنیاز برای ساخت نمونه‌ها براساس معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$\text{تعداد لایه‌های الیاف موردنیاز در قالب} = \frac{۹۵/۲۵}{۳۴/۱۶} = ۲/۷۸ \approx ۳$$

و درصد حجمی الیاف به‌صورت نظری برابر است با:

$$\frac{۳}{۲/۷۸} \times ۲۰ = ۲۱/۵۸$$

در جدول‌های ۵ تا ۷ مربوط به نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف سوزنی نمدی، دو جهتِ و یک جهتِ با درصد حجمی اسمی الیاف و درصد حجمی نظری الیاف با توجه به ضخامت اسمی نمونه‌ها، آورده شده است.

جدول ۵ درصد حجمی الیاف با ضخامت اسمی نمونه‌های چندسازه‌ای سوزنی

نمونه	تعداد لایه‌های الیاف در نمونه‌های چندسازه‌ای	درصد حجمی الیاف در نمونه‌های چندسازه‌ای (نظری)	درصد حجمی اسمی الیاف در نمونه‌های چندسازه‌ای	ضخامت اسمی نمونه‌های چندسازه‌ای (میلی‌متر)
۱	۵	۲۰/۰۴	۲۰	۳
۲	۸	۱۹/۲۳	۲۰	۵
۳	۷	۲۸/۰۰	۳۰	۳
۴	۱۲	۲۸/۸۲	۳۰	۵

جدول ۶ درصد حجمی الیاف با ضخامت اسمی نمونه‌های چندسازه‌ای دو جهتِ

نمونه	تعداد لایه‌های الیاف در نمونه‌های چندسازه‌ای	درصد حجمی الیاف در نمونه‌های چندسازه‌ای (نظری)	درصد حجمی اسمی الیاف در نمونه‌های چندسازه‌ای	ضخامت اسمی نمونه‌های چندسازه‌ای (میلی‌متر)
۱	۳	۲۱/۵۸	۲۰	۳
۲	۵	۲۱/۵۵	۲۰	۵
۳	۴	۲۸/۷۷	۳۰	۳
۴	۷	۳۰/۱۷	۳۰	۵

جدول ۷ درصد حجمی الیاف با ضخامت اسمی نمونه‌های چندسازه‌ای یک جهتِ

نمونه	تعداد لایه‌های الیاف در نمونه‌های چندسازه‌ای	درصد حجمی الیاف در نمونه‌های چندسازه‌ای (نظری)	درصد حجمی اسمی الیاف در نمونه‌های چندسازه‌ای	ضخامت اسمی نمونه‌های چندسازه‌ای (میلی‌متر)
۱	۳	۲۱/۵۸	۲۰	۳
۲	۵	۲۱/۵۵	۲۰	۵
۳	۴	۲۸/۷۰	۳۰	۳
۴	۷	۳۰/۱۲	۳۰	۵

ویژگی‌های مکانیکی

آزمون کشش

آزمون کشش در دمای ۲±۲۵ و با استفاده از دستگاه آزمون کشش Santam Universal و با سرعت کشش برابر با ۲ $mm.min^{-1}$، مطابق با استاندارد ASTM-D3039 [۱۲] انجام شد و نتیجه‌های به‌دست آمده از میانگین ۵ بار آزمون برای تعیین پارامترهای آزمون کشش در نقطه نهایی، مدول و کرنش نمونه‌ها به‌دست آمد.

آزمون ضربه

برای تعیین مقامت ضربه‌پذیری نمونه‌ها از روش آیزود استفاده شد. آزمون ضربه طبق استاندارد ASTM-D256 [۱۳] با ایجاد شکاف به میزان ½ ضخامت نمونه‌ها انجام شد و نتیجه‌های

به‌دست آمده از میانگین ۵ بار آزمون ضربه برای نمونه‌ها به‌دست آمد.

نتیجه‌ها و بحث

برای نمونه، نمودارهای تنش و کرنش به‌دست آمده از آزمون کشش فقط برای نمونه‌های چندسازه‌ای با الیاف سوزنی نمدی و الیاف دوسویه و الیاف یک‌سویه با ۳۰ درصد حجمی الیاف و ضخامت ۵ میلی‌متر در شکل‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. میانگین ویژگی‌های مکانیکی به‌دست آمده از نمودارهای تنش–کرنش نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف سوزنی نمدی، دو جهتِ و یک جهتِ با کسر حجمی و ضخامت متفاوت به ترتیب در جدول‌های ۸ تا ۱۰ نشان داده شده است. میانگین ویژگی‌های ضربه‌پذیری به‌دست آمده از آزمون ضربه نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف سوزنی نمدی، دو جهتِ و یک جهتِ با کسر حجمی و ضخامت متفاوت به ترتیب در جدول‌های ۱۱ تا ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۸ میانگین عامل‌های ویژگی‌های مکانیکی برای نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف سوزنی با کسر حجمی و ضخامت‌های متفاوت

کد نمونه*	کرنش (٪)	مدول (Gpa)	استحکام کششی (Mpa)	ضخامت اسمی الیاف (mm)	درصد حجمی اسمی الیاف
Sg_1	۱٫۷	۱۰	۱۷۵	۳	۲۰
Sg_2	۱٫۴	۱۱	۱۸۰	۵	۲۰
Sg_3	۱٫۲	۱۳	۲۲۰	۳	۳۰
Sg_4	۰٫۸	۱۴	۲۲۸	۵	۳۰

* حرف S به‌اختصار به کلمه Strand (سوزنی) و حرف g به‌اختصار به کلمه Glass (شیشه) و عدد ۱ الی ۴ به تعداد نمونه‌ها اشاره دارد.

همان‌طوری‌که در جدول ۸ مشاهده می‌شود با توجه به کسر حجمی و ضخامت متفاوت نمونه‌های چندسازه‌ای، بیشترین استحکام کششی در نقطه شکست برای نمونه‌های ۳۰ درصد حجمی الیاف با ضخامت‌های ۳ و ۵ میلی‌متر به ترتیب با ۲۲۰ و ۲۲۸ Mpa به‌دست آمده است. این نتیجه نشان می‌دهد که ویژگی‌های کششی نمونه‌های چندسازه‌ای تابع درصد حجمی الیاف است. همچنین با توجه به مقادیر مدول کششی و کرنش می‌توان مشاهده کرد که مدول با افزایش درصد حجمی الیاف افزایش می‌یابد، بر عکس با افزایش درصد حجمی الیاف در نمونه، کرنش یک روند رو به کاهش را نشان می‌دهد. بنابراین، با توجه به نتیجه‌های به‌دست آمده، مقدار مدول و کرنش نمونه‌های چندسازه‌ای ۳ و ۵ میلی‌متر با ۳۰ و ۲۰ درصد کسر حجمی الیاف به ترتیب (۱۳ تا GPa ۱۴) و ۰٫۸ تا ۱٫۲ درصد و (۱۰ تا GPa ۱۱) و ۱٫۴ تا ۱٫۷ درصد است.

جدول ۹ میانگین پارامترهای ویژگی‌های مکانیکی برای نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف دو جهتِ (۰°/۹۰°) با کسر حجمی و ضخامت‌های متفاوت

کد نمونه*	کرنش (٪)	مدول (Gpa)	استحکام کششی (Mpa)	ضخامت اسمی الیاف (mm)	درصد حجمی اسمی الیاف
Bg_1	۲٫۵	۱۱٫۵	۲۴۰	۳	۲۰
Bg_2	۲٫۱	۱۲٫۰	۲۴۶	۵	۲۰
Bg_3	۱٫۸	۱۴٫۶	۲۷۸	۳	۳۰
Bg_4	۱٫۴	۱۵٫۰	۲۸۲	۵	۳۰

* حرف B به‌اختصار به کلمه Bidirectional (دو جهتِ) و حرف g به‌اختصار به کلمه Glass (شیشه) و عدد ۱ الی ۴ به تعداد نمونه‌ها اشاره دارد.

جدول ۹ روند مشابه به نتیجه‌های نمونه‌های چندسازه‌ای سوزنی را نشان می‌دهد. بدین معنی که هر قدر درصد حجمی الیاف در نمونه‌های چندسازه افزایش می‌یابد، استحکام و مدول کششی افزایش و بر عکس کرنش نمونه‌ها روند رو به کاهش را نشان می‌دهند. دوباره، نمونه‌های دارای ۳۰ درصد حجمی الیاف با ضخامت ۳ و ۵ میلی‌متر استحکام کششی و مدول کششی بیشتر اما کرنش کمتری را نسبت به نمونه‌های دارای ۲۰ درصد الیاف نشان می‌دهند.

با نتیجه‌های به‌دست آمده از جدول ۱۰ می‌توان مشاهده نمود که بیشترین استحکام، مدول کششی و کمترین کرنش از نمونه‌های چندسازه‌ای با ضخامت ۳ و ۵ میلی‌متر دارای ۳۰ درصد حجمی الیاف به‌دست آمده است. در مقایسه با نمونه‌های چندسازه‌ای سوزنی

و دو جهتِ، چندسازه‌های ساخته شده از الیاف یک جهتِ بالاترین استحکام، مدول کششی اما کمترین کرنش را در یک جهت (در جهت محور الیاف) فراهم می‌کنند. بر عکس چندسازه‌های دو جهتِ که این ویژگی‌ها را در دو جهت (در دو جهت محور الیاف) ایجاد می‌کنند، استحکام و مدول کمتری در مقایسه با چندسازه‌های دارای الیاف یک جهتِ دارند (جدول‌های ۹ و ۱۰).

جدول ۱۰ میانگین پارامترهای ویژگی‌های مکانیکی برای نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف یک جهتِ (۰°) با کسر حجمی و ضخامت‌های متفاوت

کد نمونه*	کرنش (٪)	مدول (Gpa)	تنش (Mpa)	ضخامت اسمی الیاف (mm)	درصد حجمی اسمی الیاف
Ug_1	۱٫۵	۱۹٫۰	۳۱۵	۳	۲۰
Ug_2	۱٫۲	۱۹٫۷	۳۲۲	۵	۲۰
Ug_3	۰٫۹۷	۲۲٫۰	۳۶۸	۳	۳۰
Ug_4	۰٫۷۵	۲۴٫۰	۳۷۵	۵	۳۰

* حرف U به‌اختصار به کلمه Unidirectional (دو جهتِ) و حرف g به‌اختصار به کلمه Glass (شیشه) و عدد ۱ الی ۴ به تعداد نمونه‌ها اشاره دارد.

جدول ۱۱ میانگین ویژگی‌های ضربه‌پذیری نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف سوزنی با کسر حجمی و ضخامت‌های متفاوت

کد نمونه*	مقاومت ضربه‌پذیری ($KJ.m^{-2}$)	انرژی ضربه (J)	پهنای نمونه (mm)	ضخامت (mm)	درصد حجمی الیاف
Sg_1	۷۰	۰٫۷۴۱	۷	۳	۲۰
Sg_2	۷۵	۱٫۳۲۵	۷	۵	۲۰
Sg_3	۱۱۰	۱٫۱۶۵	۷	۳	۳۰
Sg_4	۱۲۱	۲٫۱۳۰	۷	۵	۳۰

* حرف S به‌اختصار به کلمه Strand (سوزنی) و حرف g به‌اختصار به کلمه Glass (شیشه) و عدد ۱ الی ۴ به تعداد نمونه‌ها اشاره دارد.

با توجه به جدول ۱۱ و نتیجه‌های به‌دست آمده، نمونه‌های دارای ضخامت یکسان و با درصد الیاف بیشتر، مقاومت ضربه‌پذیری بالاتری را نشان می‌دهند. همانند نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمون کششی، نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمون ضربه‌پذیری نشان می‌دهد که ویژگی‌های ضربه‌پذیری تابع درصد الیاف مصرفی در نمونه‌ها است. با توجه به جدول ۱۱، نمونه چندسازه‌ای با ضخامت ۳ و ۵ میلی‌متر و دارای ۳۰ درصد حجمی الیاف سوزنی بیشترین مقدار مقاومت ضربه‌پذیری (به ترتیب ۱۱۰ و kJ/m^2 ۱۲۱) را نشان می‌دهد.

جدول ۱۲ میانگین ویژگی‌های ضربه‌پذیری نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف دو جهتِ با کسر حجمی و ضخامت‌های متفاوت

کد نمونه*	مقاومت ضربه‌پذیری ($KJ.m^{-2}$)	انرژی ضربه (J)	پهنای نمونه (mm)	ضخامت (mm)	درصد حجمی الیاف
Bg_1	۹۱	۰٫۹۶۰	۷	۳	۲۰
Bg_2	۱۳۱	۱٫۳۰۵	۷	۵	۲۰
Bg_3	۱۴۲	۱٫۴۹۶	۷	۳	۳۰
Bg_4	۱۶۷	۲٫۹۳۶	۷	۵	۳۰

* حرف B به‌اختصار به کلمه Bidirectional (دو جهتِ) و حرف g به‌اختصار به کلمه Glass (شیشه) و عدد ۱ الی ۴ به تعداد نمونه‌ها اشاره دارد.

جدول ۱۲ ویژگی‌های نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف دو جهتِ را نشان می‌دهد. در مقایسه با نمونه‌های دارای الیاف سوزنی، نمونه‌های دارای الیاف دو جهتِ بیشترین مقاومت ضربه‌پذیری را از خود نشان می‌دهند. دوباره، با توجه به جدول ۱۲، نمونه چندسازه‌ای با ضخامت ۳ و ۵ میلی‌متر و دارای ۳۰ درصد حجمی الیاف دو جهتِ، بیشترین مقدار مقاومت ضربه‌پذیری (به ترتیب ۱۴۲ و kJ/m^2 ۱۶۷) را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳ میانگین ویژگی‌های ضربه‌پذیری نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف یک جهتِ با کسر حجمی و ضخامت‌های متفاوت

کد نمونه*	مقاومت ضربه‌پذیری ($KJ.m^{-2}$)	انرژی ضربه (J)	پهنای نمونه (mm)	ضخامت (mm)	درصد حجمی الیاف
Ug_1	۵۱	۰٫۵۴	۷	۳	۲۰
Ug_2	۹۱	۱٫۶۰	۷	۵	۲۰
Ug_3	۹۷	۱٫۰۲	۷	۳	۳۰
Ug_4	۱۲۰	۲٫۴۰	۷	۵	۳۰

* حرف U به‌اختصار به کلمه Unidirectional (دو جهتِ) و حرف g به‌اختصار به کلمه Glass (شیشه) و عدد ۱ الی ۴ به تعداد نمونه‌ها اشاره دارد.

با توجه به نتیجه‌های به‌دست آمده از جدول ۱۳، نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف یک جهتِ نسبت به نمونه‌های دارای الیاف نمدی و دو جهتِ، کمترین مقاومت ضربه‌پذیری را نشان می‌دهند. برخلاف نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمون کششی که بیشترین مقادیر استحکام و مدول کششی از نمونه‌های چندسازه‌ای یک جهتِ به‌دست آمد. مشابه آن‌چه که در جدول ۱۲ مشاهده شد، جدول ۱۳، نمونه چندسازه‌ای با ضخامت ۳ و ۵ میلی‌متر و دارای ۳۰ درصد حجمی الیاف یک جهتِ، بیشترین مقدار مقاومت ضربه‌پذیری به (ترتیب ۹۷ و ۱۲۰ kJ/m^2) را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

۱- در آزمون کششی، نمونه‌های چندسازه‌ای سوزنی، دو جهتِ و یک جهتِ (۰°/۹۰°) دارای ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی الیاف و ضخامت‌های متفاوت، نمونه چندسازه‌ای یک جهتِ دارای ۳۰ درصد حجمی الیاف با ضخامت‌های ۳ و ۵ میلی‌متر، بیشترین استحکام و مدول و نمونه چندسازه‌ای سوزنی دارای درصد حجمی الیاف و ضخامت مشابه، کمترین استحکام و مدول را نشان دادند.

۲- در آزمون ضربه، نمونه‌های چندسازه‌ای سوزنی، دو جهتِ و یک جهتِ (۰°) دارای ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی الیاف و ضخامت متفاوت، نمونه چندسازه‌ای دو جهتِ دارای ۳۰ درصد حجمی الیاف با ضخامت‌های ۳ و ۵ میلی‌متر، بیشترین انرژی ضربه و مقاومت ضربه‌پذیری و نمونه چندسازه‌ای یک جهتِ دارای درصد حجمی الیاف و ضخامت مشابه، کمترین انرژی ضربه و مقاومت ضربه‌پذیری را نشان دادند.

مراجع

[1] Sathishkuma, T.P.; Satheeshkumar, R. S.; Naveen, J: J Reinf Plast Comp.; 33, 1258-1265, 2014.

[2] Etcheverry, M.S.; Barbosa, M.S.; Mater.; 5, 1084-1092, 2015.

[3] Abdullah, H.; Al-Araimi, S.; Siddiqui, R.A.; Mater.; 1, 134-142, 2000.

[4] Sampath-Rao, P.; Manzoor-Hus.; Ravi Shankar, D.V.; Int J Compos Mate.; 4, 48-55, 2014.

[5] Shokry, K.M.; World Appl Sci J.; 31, 1341-1351, 2014.

[6] Abdel-Magida, B.S.; Ziaeea, K.; Schneiderc, G.M.; Compo Struct.; 71, 320-329, 2005.

[7] Laoubia, K.; Hamadia, Z.; Ahmed-Benyahiab, A.; Seriera, A.; Azari, Z.; Compos Part B-Eng.; 56, 520-528-2014.

[8] Bisht, D.; Chauhan, H.; Int J Eng.; 4, 145-155, 2014.

[9] Dhakal, H.N.; Dhakal, Z.Y.; Richardson, M.O.; Richardson, W.; Compos Sci Technol.; 67, 1674-1684, 2007.

[10] Kim, J.K.; Sham, M.L.; Compos Sci Technol.; 60, 745-754, 2000.

[11] Vargas, C. N.; Miskolczi, L.; Bartha, G.; Mater Design.; 31, 185-192, 2010.

[12] Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials, 2008.

[13] Standard test method for impact properties of unreinforced and reinforced plastics materials, 2007.