

اثر نوع الیاف تقویت کننده شیشه در ویژگی های کششی و ضربه پذیری چندسازه های بسپاری

مهران دولو^{۱*}، هدی پاسدار^۲ و دلارام سپاهی^۳

۱- دانشیار شیمی پلیمر، 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 کاربردی، دانشکده شیمی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

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

چکیده: یکی از مهم ترین اهداف در صنعت چندسازه ها، دستیابی به موادی است که خواص مطلوب را فراهم کند. در این پژوهش اثر ضخامت چندسازه ها، کسر حجمی الیاف شیشه تقویت کننده با شکل های هندسی متفاوت برای تعیین ویژگی های کششی و ضربه پذیری نمونه های چندسازه ای مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. نتیجه های به دست آمده نشان داد ویژگی های کششی و ضربه پذیری نمونه های چندسازه ای تابع نوع الیاف تقویت کننده و مقدار مصرفی آن است. آزمون کششی نشان داد، در مقایسه با نمونه های چندسازه ای سوزنی نمدی و دو جهت، چندسازه های ساخته شده از الیاف یک جهت حاوی ۲۰ و ۳۰ درصد کسر حجمی الیاف با ضخامت ۳ و ۵ میلی متر بالاترین استحکام، مدول کششی و کمترین کرنش را فراهم کردند. در صورتی که نتیجه های به دست آمده از آزمون ضربه پذیری نشان داد که نمونه های چندسازه ای حاوی الیاف دو جهت دارای درصد کسر حجمی الیاف و ضخامت های مشابه، بیشترین مقاومت ضربه پذیری و انرژی ضربه را در مقایسه با چندسازه های حاوی الیاف سوزنی نمدی و یک جهت به نمایش گذاشتند.

واژه های کلیدی: الیاف شیشه یک جهت، الیاف شیشه سوزنی، الیاف شیشه دو جهت، لایه گذاری دستی، رزین پلی استر غیراشباع

مقدمه

است [۵ تا ۸]. پژوهش های زیادی در زمینه توسعه چنین قطعات در صنایع متفاوت در دهه های اخیر انجام گرفته است. چندسازه های بر اساس پلی استر غیراشباع و الیاف شیشه تقویت کننده از پرمصرف ترین چندسازه ها در کاربردهای متفاوت است [۹ تا ۱۱]. در این پژوهش نقش الیاف تقویت کننده شیشه سوزنی، دو جهت و یک جهت در ساخت چندسازه های بر اساس پلی استر غیراشباع با ضخامت های متفاوت با استفاده از قالب گیری دستی تهیه شد و ویژگی های کششی و ضربه پذیری آن ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند.

چندسازه های تقویت شده با الیاف به طور عمومی برای ساخت قطعات در صنایع فضایی، اتومبیل، دریایی و ساختمانی و ساختارهای با کارایی بالا به دلیل استحکام و سختی ویژه بالا، مقاومت خستگی و دوام بالا در مقایسه با ساختارهای فلزی و قابلیت استفاده برای کاربردهای ویژه به کار می روند [۱ تا ۴]. با استفاده از الیاف شیشه با شکل های هندسی متفاوت می توان چندسازه هایی با ویژگی های مورد نظر برای کاربرد بخصوصی تهیه نمود که این یکی از مزیت های این گونه مواد نسبت به فلزات

بخش تجربی

جدول ۳ مشخصات کاتالیست مصرفی

وضعیت ظاهری	مایع بی‌رنگ و شفاف
مقدار نرم‌کننده (فتالات)	حداقل (۰/۵۰)
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 جهت، دو جهت 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، به طوری که 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 به دست 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 این که 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

برای ساخت نمونه‌های چندسازه‌ای از قالب شیشه‌ای و محلول پلی‌وینیل 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 جهت^۱، دو جهت^۲ و نمدی یا سوزنی^۳ 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

1. Unidirectional

2. Bidirectional

3. Chopped strand mat

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

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 جهت

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 25 ± 2 و با استفاده از دستگاه آزمون کشش Santam Universal و با سرعت کشش برابر با 2 mm.min^{-1} ، مطابق با استاندارد ASTM-D3039 [۱۲] انجام شد و نتیجه‌های به‌دست آمده از میانگین ۵ بار آزمون برای تعیین عامل‌های 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 $1/2$ ضخامت نمونه‌ها انجام شد و نتیجه‌های

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:

$(\text{cm}^3) = 187.5 = 0.3 \times 25(\text{cm}) \times 25(\text{cm})$ حجم قالب 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.

$\text{cm}^3 = 37.5 = 187.5 \times 0.2$ حجم الیاف موردنظر در قالب 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
 $(\text{g}) = 95.25 = 37.5 \times 2.54 = P_f (\text{g/cm}^3) \times V_f (\text{cm}^3) = 3$
 حال با توجه به داشتن وزن کل الیاف موردنیاز در قالب و وزن هر لایه از الیاف شیشه یک‌سویه به وزن 34.16 گرم. لایه‌های موردنیاز برای ساخت نمونه‌ها براساس معادله زیر به‌دست می‌آید.
 $3 \approx 2.78 = \frac{95.25}{34.16} =$ تعداد لایه‌های الیاف موردنیاز در قالب
 و درصد حجمی الیاف به‌صورت نظری برابر است با:

$$\frac{3}{2.78} \times 20 = 21.58$$

در جدول‌های ۵ تا ۷ مربوط به نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف سوزنی نمدی، دو جهت و یک جهت 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

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 است. میانگین ویژگی‌های مکانیکی به‌دست آمده از نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف سوزنی نمدی، دو جهت و یک جهت 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 جهت و یک جهت 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.

همان‌طوری که 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 ۱۴ GPa) و ۰,۸ تا ۱,۲ درصد و (۱۰ تا ۱۱ GPa) و ۱,۴ تا ۱,۷ درصد است.

جدول ۹ میانگین عامل‌های ویژگی‌های مکانیکی برای نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف دو جهت (۹۰/۰) 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 جهت) 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 چندسازه‌ای 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

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) را نشان می‌دهد.

جدول ۱۲ میانگین ویژگی‌های ضربه‌پذیری نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف دو جهت 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 به اختصار به کلمه Bidirectional (دو جهت) و حرف g به اختصار به کلمه Glass (شیشه) و عدد ۱ الی ۴ به تعداد نمونه‌ها اشاره دارد.

جدول ۱۲ ویژگی‌های نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف دو جهت را نشان می‌دهد. در مقایسه با نمونه‌های دارای الیاف سوزنی، نمونه‌های دارای الیاف دو جهت 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 جهت، بیشترین مقدار مقاومت ضربه‌پذیری (به ترتیب ۱۴۲ و kJ/m^2) را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳ میانگین ویژگی‌های ضربه‌پذیری نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف یک جهت 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 به اختصار به کلمه Unidirectional (دو جهت) و حرف g به اختصار به کلمه Glass (شیشه) و عدد ۱ الی ۴ به تعداد نمونه‌ها اشاره دارد.

و دو جهت، چندسازه‌های ساخته شده از الیاف یک جهت بالاترین استحکام، مدول کششی اما کمترین کرنش را در یک جهت (در جهت محور الیاف) فراهم می‌کنند. بر عکس چندسازه‌های دو جهت 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 جهت دارند (جدول‌های ۹ و ۱۰).

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

کد نمونه*	کرنش (%)	مدول (Gpa)	تنش (Mpa)	ضخامت اسمی الیاف (mm)	درصد حجمی 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 به اختصار به کلمه Unidirectional (دو جهت) و حرف g به اختصار 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 به اختصار به کلمه Strand (سوزنی) و حرف g به اختصار 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

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

با توجه به نتیجه‌های به‌دست آمده از جدول ۱۳، نمونه‌های چندسازه‌ای دارای الیاف یک جهت نسبت به نمونه‌های دارای الیاف نمدی و دو جهت، کمترین مقاومت ضربه‌پذیری را نشان می‌دهند. برخلاف نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمون کششی که بیشترین مقادیر استحکام و مدول کششی از نمونه‌های چندسازه‌ای یک جهت 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 جهت، بیشترین مقدار مقاومت ضربه‌پذیری به ترتیب ۹۷ و 120 kJ/m^2 را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

۱- در آزمون کششی، نمونه‌های چندسازه‌ای سوزنی، دو جهت و یک جهت (۰°/۹۰°) دارای ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی الیاف

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-Benya-hiab, 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.