مجله علوم و تکنولوژی پلیمر ، سال هجدهم،
شماره ۶، صفحه ۳۸۲-۳۷۷، ۱۳۸۴
ISSN : 1016-3255

بررسی خواص مکانیکی کامپوزیتهای پلی استر - کاه ساقه برنج

Investigation of Mechanical Properties of Polyester-Rice Straw Composites

علیرضا شاکری*، تقی طبرسا، علیرضا طبری
گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده علوم، صندوق پستی ۳۸۶

دریافت: ۸۳/۱۲/۱۸، پذیرش: ۸۴/۶/۱۵

چکیده

در این پژوهش، کامپوزیتهای پلی‌استر سیر نشده با ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی ساقه کاه برنج تهیه شد، سپس خواص مکانیکی آنها و اثر جفت‌کننده سیلانی بر این خواص اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد برخی از خواص مکانیکی کامپوزیت نسبت به پلی‌استر بدون الیاف افزایش می‌یابد. همچنین، جفت‌کننده سیلانی اثر معنی‌داری بر خواص مکانیکی کامپوزیت نداشته، کامپوزیت تهیه شده با ۱۵ درصد وزنی الیاف استحکام کششی، خمشی و ضربه‌ای بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها داراست. کامپوزیتهای دارای ۱۰ درصد وزنی الیاف حداکثر مدول کشسان کششی و خمشی را دارند. با افزایش درصد الیاف موجود در نمونه بدست آمده وزن مخصوص آن کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی

پلی استر، کامپوزیت،
کاه ساقه برنج، جفت کننده سیلانی،
خواص مکانیکی

Key Words

polyester, composite,
rice straw, silane coupling,
mechanical properties

مقدمه

استفاده از الیاف طبیعی در تهیه کامپوزیتها طی سالهای گذشته رشد چشمگیری داشته است. این کامپوزیتها نسبت به کامپوزیتهای پر شده با الیاف دیگر مزایای بیشتری دارند. جرم حجمی کم، سازگاری با محیط زیست، قابلیت بازیافت و ارزان بودن از جمله عوامل رشد کاربری این مواد است [۱]. با وجود این مزایا، عدم سازگاری با فاز زمینه پلیمرهای غیرقطبی، تمایل زیاد به جذب رطوبت، تمایل به تجمع حین فرایند تهیه کامپوزیت و مقاومت کم نسبت به گرما از

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار : shakeri@gau.ac.ir

محدودیتهای استفاده از این مواد است. در آمریکا سالانه تا ۵۰ درصد رشد تقاضا برای الیاف طبیعی مورد استفاده در کامپوزیتها وجود دارد. بر اساس تخمینهای سال ۲۰۰۰، الیاف طبیعی مورد استفاده در کامپوزیتهای گرمانرم و گرماسخت سریعترین رشد را به خود اختصاص داده است [۲]. بر اساس گزارشی، تقاضای بازارآمریکا برای الیاف چوبی مورد استفاده در پلیمرها ۲۰ درصد در کاربردهای خودرو و تا ۵۰ درصد در برخی از محصولات ساختمانی رشد داشته است. به عنوان مثال، شرکتی در این تاریخ مبلغ ۵۰۰ میلیون دلار پروژه در دست اجرا داشته است [۳]. بیشترین پژوهشهایی که تاکنون انجام شده مربوط به استفاده از مواد لیگنو سلولوزی به عنوان ماده زمینه به شکل پر کننده یا تقویت کننده در پلاستیکهای گرمانرم بوده است. در حالی که در مورد پلاستیکهای گرماسخت مطالعات کمتری انجام شده است. پلیمرهای گرماسخت نسبت به گرمانرمها برتریهایی دارند. یکی از مزایای کامپوزیتهای تهیه شده از پلیمرهای گرماسخت کم بودن هزینه اولیه برای تولید و ساخت کامپوزیت بدون استفاده از دمای بالاست. مقدار الیاف در کامپوزیتهای تهیه شده به وسیله فرایند شکل دهی محدود می شود و می توان از الیاف بلند طبیعی در ساخت کامپوزیت استفاده کرد. جهت یابی الیاف در کامپوزیتهای تولید شده از این پلیمرها تصادفی نیست، بنابراین، اصلاح خواص بیشتر از پلیمرهای گرمانرم است. رزینهای گرماسخت نسبت به پلیمرهای گرمانرم به علت داشتن گروههای قطبی، سازگاری بهتری با الیاف سلولوزی قطبی دارند.

در پژوهشی خواص کامپوزیت پلی استر - کنف هندی بررسی شده است. در این مطالعه خواص مکانیکی کامپوزیت با افزایش مقدار الیاف تا ۶۰ درصد حجمی افزایش و بعد از آن کاهش یافته است که این کاهش به ترشدگی ناکافی الیاف کنف با پلیمر نسبت داده می شود [۴].

اثر دمای سخت شدن روی استحکام خمشی کامپوزیتهای با ماده زمینه پلی استر بررسی و گزارش شده که با افزایش دمای پخت، استحکام خمشی کامپوزیت افزایش می یابد، بیشترین استحکام خمشی را کامپوزیت دارای الیاف abaca در مقایسه با کامپوزیتهای پلی استر - الیاف موز و پلی استر - کلج برنج در یک سطح الیاف داراست [۵]. همچنین، به روش پولتروژن از ۵۹ درصد وزنی الیاف بلند کنف در ساخت کامپوزیتهای بر پایه پلی استر استفاده و مشاهده شد که استحکام کششی کامپوزیت در مقایسه با پلی استر بدون الیاف به مقدار ۲/۷۵ برابر افزایش می یابد که از مقدار پیش بینی شده نظری بسیار کمتر است، برای سازگاری بهتر الیاف با ماده زمینه از جفت کننده استفاده می شود [۶]. در پژوهشی دیگر از الیاف کاغذ روزنامه بازیافتی در ساخت کامپوزیتهای بر پایه پلی استر استفاده و مقدار ۱۵ درصد الیاف کاغذ روزنامه برای تهیه کامپوزیت پیشنهاد شده است [۷].

مقدار پسماند سالانه کاه برنج در دنیا بالغ بر ۶۷۳ تن است که بیش از نیمی از آن به قاره آسیا مربوط می شود. ترکیب شیمیایی کاه برنج و گندم در مقایسه با چوب صنوبر در جدول ۱ نشان داده شده است [۸].

از نظر ترکیب شیمیایی شباهت زیادی بین چوبهای سخت و کاه غلات وجود دارد. از این رو، از کاه غلات به ویژه کاه برنج می توان به عنوان جایگزین الیاف چوب در ساخت کامپوزیت استفاده کرد.

در این مطالعه اثر استفاده از الیاف ساقه برنج با سه سطح متفاوت ۵، ۱۰ و ۱۵درصد وزنی، اختلاط و اثر جفت کننده سیلانی بر خواص مکانیکی کامپوزیت بر پایه پلی استر سیر نشده مطالعه شد و بهترین درصد اختلاط بدست آمد.

تجربی

مواد

در این پژوهش، پلی استر سیر نشده از نوع ایزو فتالیک محصول شرکت صنایع شیمیایی تابا به عنوان ماده زمینه، ساقه های برنج از سه منطقه کشاورزی ساری، محمود آباد و آستانه اشرفیه به شکل مخلوط با چگالی ۰/۲۳ g/cm^3 به عنوان تقویت کننده و پرکننده استفاده شد. همچنین، متیل اتیل کتون پروکسید به عنوان آغازگر واکنش پلیمر شدن، کبالت نفتنات به عنوان شتاب دهنده، وینیل تری اتوکسی سیلان به عنوان جفت کننده و روی استئارات به عنوان کاتالیزور واکنش سیلان با الیاف سلولوزی، همگی محصول شرکت مرک بکار گرفته شدند.

دستگاهها

در این پژوهش، از دستگاه Instron مدل ۸۱۱۲، مطابق استاندارد ASTM D ۶۳۸ برای اندازه گیری مقدار کشش و مطابق با استاندارد ASTM D ۶۷۹۰ برای اندازه گیری مقدار خمش استفاده شد. استحکام ضربه ای نمونه ها بر اساس استاندارد ASTM D ۲۵۶ با دستگاه Izod

جدول ۱ ترکیب شیمیایی کاه برنج، کاه گندم و چوب صنوبر.

ماده خام گیاهی	موم (٪)	همی سلولوز (٪)	سلولوز (٪)	لیگنین (٪)	خاکستر (٪)	سیلیکا (٪)
کاه برنج	۳/۷	۳۵/۵	۳۹/۶	۱۳/۹	۱۲/۵	۹/۷
کاه گندم	۱/۶	۳۴	۳۸/۱	۱۴/۳	۶/۴	۳/۲
چوب صنوبر	۱/۸	۲۳/۴	۵۴/۱	۳۰/۱	۰/۲	۱<

و آزمایشهای فیزیکی نیز در آزمایشگاه به کمک کولیس و ترازوهای آزمایشگاهی انجام شد.

روشها

ساقه های برنج سه منطقه (ساری، محمودآباد و آستانه اشرفیه) با یگدیگر مخلوط و در ابعاد تقریبی cm ۵ قطع و به مدت یک هفته در گرمخانه در دمای $۹۰^{o}C$ کاملاً خشک شدند. سپس، با آسیاب چکشی آزمایشگاهی آسیاب و از الک الکتریکی (shaker) با مش ۴۰ عبور داده شدند. کامپوزیتهای پلی استر - الیاف ساقه برنج به نسبتهای ۹۵/۵، ۹۰/۱۰ و ۸۵/۱۵ و با ۲ درصد وزنی نسبت به وزن الیاف جفت کننده سیلانی تهیه شدند. به این منظور الیاف ساقه برنج توزین سپس، ضمن مخلوط کردن روی آن سیلان به مقدار لازم پاشیده شد. پس از افزودن سیلان، مقدار ۰/۵ درصد وزن الیاف روی استئارات به مخلوط الیاف و سیلان اضافه و مخلوط پس از همزدن به مدت h ۳ در دمای $۹۰^{o}C$ درون گرمخانه قرار داده شد.

برای بررسی اثر الیاف و همچنین ماده جفت کننده بر خواص مکانیکی کامپوزیت در مجموع ۵ نمونه مختلف بر اساس جدول ۲ تهیه شد. ۴ نمونه به منظور اثر درصد الیاف و ۱ نمونه برای مطالعه اثر سیلان به عنوان جفت کننده در نظر گرفته شد.

برای ساخت کامپوزیتها ابتدا به مقدار لازم پلی استر توزین و به آن مقدار ۱ تا ۳ درصد وزنی پروکسید اضافه و به خوبی مخلوط شد، آنگاه به مخلوط یاد شده مقدار ۰/۳ تا ۰/۷ درصد وزن پلی استر، کبالت نفتانات اضافه شد. حین همزدن به مخلوط یاد شده با همزن آزمایشگاهی بتدریج الیاف بر اساس جدول ۲ اضافه شد. پس از افزون الیاف ماده خمیری شکل به مدت min ۳ همزده شد و در قالبهای فلزی از جنس آهن گالوانیزه به ابعاد اسمی $cm^{۳}$ ۳۰×۵×۲ ریخته شد، به کمک ابزاردستی ماده خمیری در سطح قالب کاملاً پخش و به وسیله نوعی پرس و با اعمال فشاردر سطح کامپوزیت موجود در قالب، ضخامت آن به mm ۳ در قالبهای مربوط به کشش و خمش و mm ۵ در قالب ضربه رسانده شد. با گذشت زمان حدود h ۱ فرایند پخت کامپوزیت موجود در قالب کامل و ماده سخت شد، نمونه از قالب خارج و به مدت یک هفته قبل از آزمونهای مکانیکی در آون به منظور پخت کامل نگهداری شد. نمونه های بدون الیاف هم تهیه شد. از آنجا که برای هر نمونه، آزمون ۳ مرتبه تکرار شد، در مجموع ۱۵ ورق برای آزمون کششی، ۱۵ ورق برای آزمون خمشی و ۱۵ ورق برای آزمون ضربه تهیه شد.

جدول ۲ درصد وزنی اجزا در نمونه های کامپوزیتی.

شماره	نمونه	پلی استر (٪)	الیاف (٪)	مواد افزودنی به پلیمر*	مواد افزودنی به الیاف**
۱	۰	۹۸/۷	۰	۱/۳	۰
۲	۵	۹۲/۳۵	۵	۲/۵	۰/۱۵
۳	۱۰	۸۶/۷	۱۰	۳	۰/۳
۴	۱۵	۸۰/۸۵	۱۵	۳/۷	۰/۴۵
۵	۱۰u	۸۷/۵	۱۰	۲/۵	۰

* پروکسید و کبالت نفتانات

** وینیل تری اتوکسی سیلان و روی استئارات

نتایج و بحث

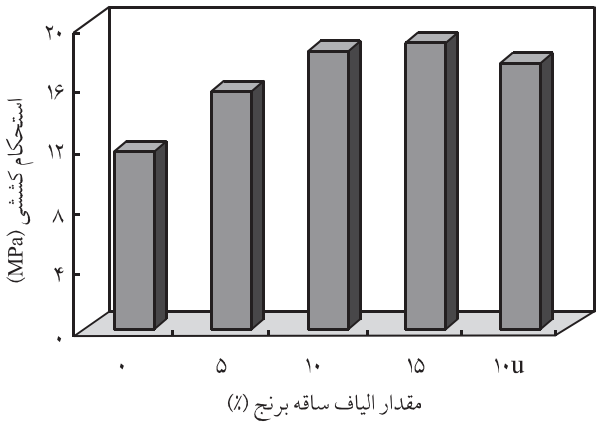
در جدول ۳ خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیتها آمده است. داده های بدست آمده از اندازه گیری خواص مکانیکی تجزیه و تحلیل آماری شد ودر سطح اطمینان آماری ۹۵ درصد نتایج زیر بدست آمد.

در استحکام کششی اختلاف معنی داری بین کامپوزیتهای دارای ۰، ۵ و ۱۰ درصد الیاف مشاهده شد. کامپوزیت با ۱۰ درصد الیاف به طور معنی دار استحکام کششی بیشتری نسبت به پلی استر بدون الیاف و کامپوزیت دارای ۵ درصد الیاف دارد، ولی بین کامپوزیتهای با ۱۰ و ۱۵ درصد الیاف تفاوت معنی داری مشاهده نشد. برای تعیین اثر سیلان بر استحکام کششی کامپوزیت روی نتایج نمونه های دارای ۱۰ درصد الیاف سیلان دار و بدون سیلان آزمون آماری (t-student) انجام شد. نتایج

جدول ۳ خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیتهای پلی استر الیاف ساقه برنج.

خواص اندازه گیری شده	درصد وزنی الیاف ساقه برنج				
	۰	۵	۱۰	۱۵	۱۰ u*
چگالی ($g/cm^{۳}$)	۱/۱	۱/۰۴	۱/۰۲	۰/۹۶	۱/۰۱
استحکام کششی (MPa)	۱۱/۶۷	۱۵/۶۷	۱۸/۲۱	۱۸/۷۳	۱۷/۵۳
مدول کششی (GPa)	۱/۰۷	۱/۱۲	۱/۱۹	۱/۳۳	۱/۱۹
استحکام خمشی (MPa)	۲۹/۲	۴۰/۸	۴۷/۷	۴۸/۲	۴۷/۳
مدول خمشی (GPa)	۲/۳۸	۲/۷	۲/۹۳	۲/۵۵	۲/۷۶
استحکام ضربه ($J/m^{۲}$)	۱/۹۱	۲/۵	۲/۴۴	۲/۶۴	۲/۴۵

* بدون جفت کننده



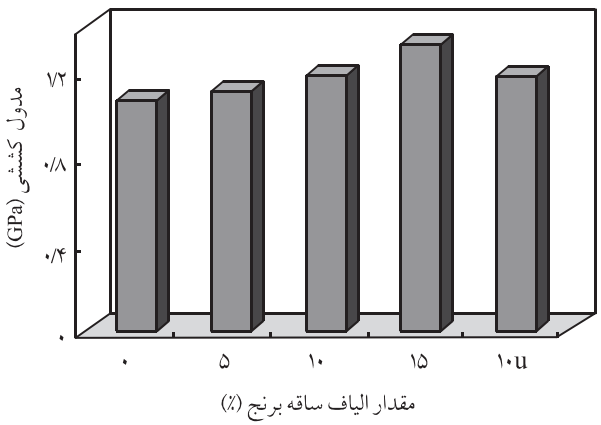
شکل ۱ نمودار تغییرات استحکام کششی کامپوزیت بر حسب درصد الیاف (u ۱۰ نمونه بدون جفت کننده است).

نشان می دهد که جفت کننده سیلانی اثری بر استحکام کششی ندارد (شکل ۱). بنظر می رسد این امر ناشی از چسبندگی بین فاز زمینه پلی استر با مواد سلولوزی باشد، به طوری که بررسی سطوح شکست پلی استر - کاغذ روزنامه و پلی استر - الیاف کنف با استفاده از میکروسکوپ الکترون پویشی (SEM) نشان می دهد که چسبندگی خوبی بین ماده زمینه پلی استر و الیاف سلولوزی، بدون جفت کننده وجود دارد [۹،۱۰].

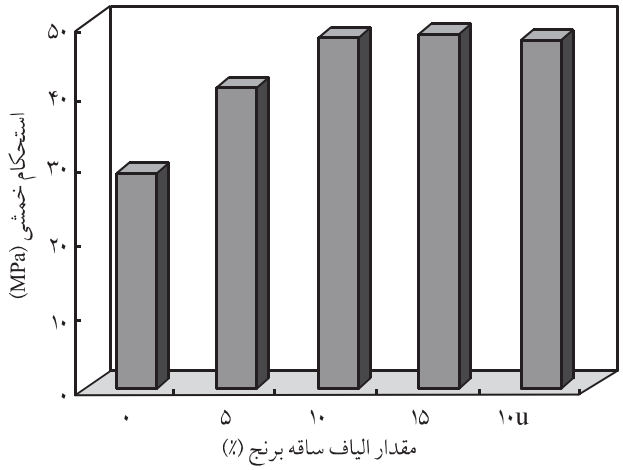
در مدول کشسان کششی با افزودن الیاف به پلی استر مدول کششی افزایش ولی بین کامپوزیتهای با درصد متفاوت الیاف اختلاف معنی داری مشاهده نشد. به عبارت دیگر تغییر درصد الیاف موجود در فراورده، اثر قابل ملاحظه ای بر مدول کشسان کششی آن ندارد. برای تعیین اثر سیلان برمدول کشسان کششی کامپوزیت روی نتایج نمونه های دارای ۱۰ درصد الیاف سیلان دار و بدون سیلان آزمون t-student انجام شد. نتایج نشان می دهد که جفت کننده سیلانی اثری بر مدول کشسان کششی ندارد (شکل ۲).

در مقدار تنش خمشی اختلاف معنی دار بین نمونه های مختلف کامپوزیت با درصد متفاوت الیاف وجود دارد، به عبارت دیگر از نظر آماری مقدار درصد الیاف موجود در کامپوزیت بر مقدار استحکام خمشی آن مؤثر است. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود با افزودن الیاف به پلی استر استحکام خمشی تا ۱۰ درصد افزایش یافته است، ولی با افزایش الیاف از ۱۰ به ۱۵ درصد، استحکام خمشی فراورده کاهش می یابد. برای تعیین اثر سیلان بر استحکام خمشی کامپوزیت روی نتایج نمونه های دارای ۱۰ درصد الیاف سیلان دار و بدون سیلان آزمون t-student انجام شد. نتایج نشان می دهد که جفت کننده سیلانی اثری بر استحکام خمشی ندارد.

در مدول کشسان خمشی، تفاوت معنی دار بین کامپوزیتهای با درصد متفاوت الیاف مشاهده شد، این موضوع با استفاده از جدول تجزیه واریانس و مقایسه میانگینها با آزمون دانکن در سطح ۱ درصد بدست آمده است. نتایج تجزیه واریانس نشان می دهد که مقدار الیاف در کامپوزیت روی مدول خمشی فراورده اثر معنی داری دارد. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۴ آمده است. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود با افزایش الیاف از ۰ به ۵ درصد و از ۵ به ۱۰ درصد مدول خمشی کامپوزیت افزایش ولی با افزایش الیاف از ۱۰ به ۱۵ درصد مدول خمشی کاهش می یابد. برای تعیین اثر سیلان برمدول کشسان خمشی کامپوزیت روی نتایج نمونه های دارای ۱۰ درصد الیاف سیلان دار و بدون سیلان آزمون t-student انجام شد. نتایج نشان می دهد که



شکل ۲ نمودار تغییرات مدول کشسان کششی کامپوزیت بر حسب درصد الیاف.

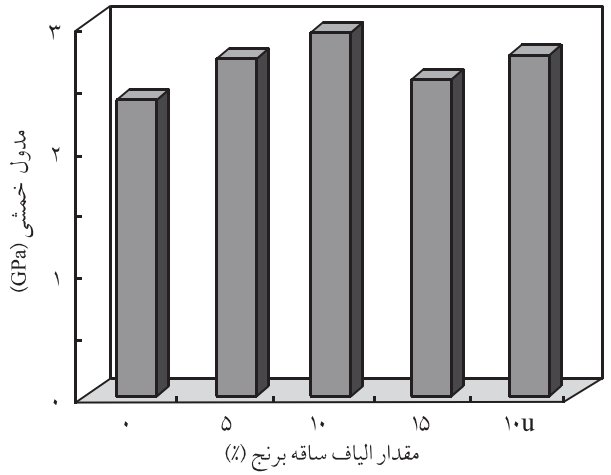


شکل ۳ نمودار تغییرات استحکام خمشی کامپوزیت بر حسب درصد الیاف.

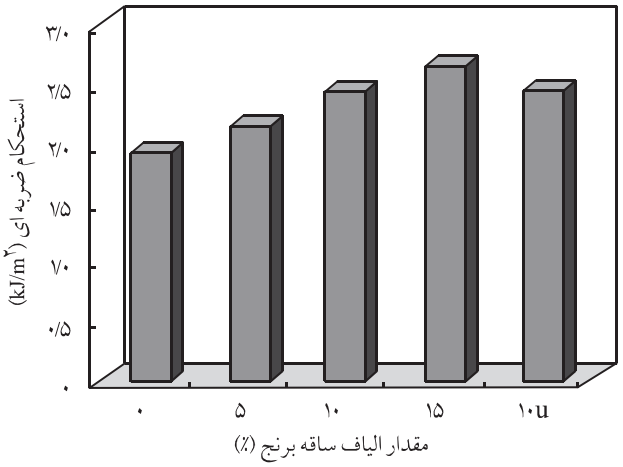
جدول ۴ داده‌های تجزیه واریانس برای عوامل مختلف.

عامل	منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
استحکام کششی	مقدار الیاف	۳(۲۰)*	۶۴/۱۳(۱/۷۹)*	۰/۰۰۰۱
استحکام خمشی	مقدار الیاف	۳(۲۰)	۴۷۰/۱(۶/۹)	۰/۰۰۰۱
مدول خمشی	مقدار الیاف	۳(۲۰)	۳۲۹۸۱/۰۴(۲۵۰۸۹)	۰/۰۰۰۱

* اعداد داخل پرانتز مقادیر خطای داده‌ها را نشان می‌دهد.



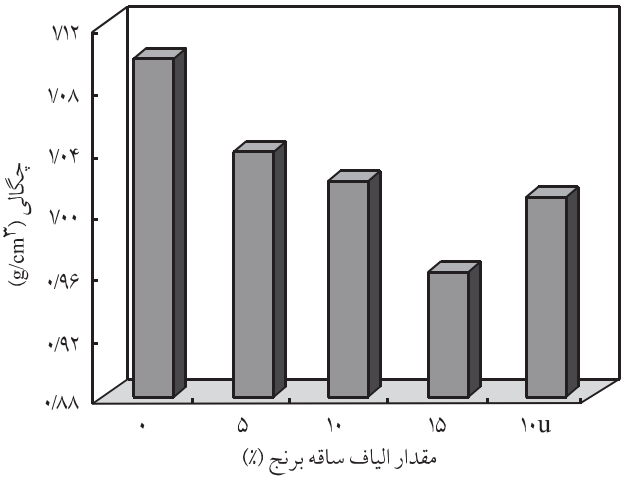
شکل ۴ نمودار تغییرات مدول خمشی کامپوزیت بر حسب درصد الیاف.



شکل ۵ نمودار تغییرات استحکام ضربه‌ای کامپوزیت بر حسب درصد الیاف.

جفت‌کننده سیلانی اثری بر مدول خمشی ندارد.

در آزمون استحکام ضربه‌ای بین کامپوزیتهای دارای درصد متفاوت



شکل ۶ نمودار تغییرات چگالی کامپوزیت بر حسب درصد الیاف.

الیاف تفاوت معنی‌دار مشاهده شد و درصد الیاف موجود در فراورده به طور معنی داری بر استحکام ضربه‌ای اثر می‌گذارد. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار الیاف در کامپوزیت، استحکام ضربه‌ای کامپوزیت افزایش می‌یابد. برای تعیین اثر سیلان بر استحکام ضربه‌ای کامپوزیت روی نتایج نمونه‌های دارای ۱۰ درصد الیاف سیلان‌دار و بدون سیلان آزمون t-student انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که جفت‌کننده سیلانی اثری بر استحکام ضربه‌ای کامپوزیت ندارد.

شکل ۶ نمودار ستونی تغییرات مقدار میانگین چگالی کامپوزیت را برحسب درصد الیاف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش درصد الیاف، چگالی فراورده کاهش می‌یابد که با توجه به چگالی کمتر الیاف این نتیجه طبیعی است. بیشترین چگالی مربوط به نمونه صفر درصد الیاف برابر ۱/۱ g/cm^3 و کمترین آن متعلق به نمونه دارای ۱۵ درصد الیاف برابر ۰/۹۶ g/cm^3 است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استحکام مکانیکی پلی‌استر پرشده با الیاف ساقه برنج نسبت به پلی‌استر خالص به شکل مؤثری بهبود یافته است. کامپوزیتهای با درصد متفاوت الیاف ساقه برنج در ویژگیهای مکانیکی تفاوت معنی‌دار داشتند. حداکثر استحکام ومدول کششی مربوط به کامپوزیت دارای ۱۵ درصد الیاف است. حداکثر استحکام

خمشی و استحکام ضربه‌ای متعلق به کامپوزیت دارای ۱۵ درصد الیاف و حداکثر مدول خمشی مربوط به کامپوزیت دارای ۱۰ درصد الیاف است. این نتایج بیانگر آن است که تنش از فاز زمینه پلی استر به الیاف انتقال یافته است، الیاف ساقه برنج به علت داشتن لیگنین می توانند سبب افزایش مقاومت ضربه‌ای پلی استر شوند. همچنین، نتایج نشان می دهد که جفت کننده سیلانی هیچ نوع اختلاف معنی داری را در هیچ یک از آزمونهای مکانیکی بوجود نیاورده است. این امر ناشی از این است که بر خلاف پلیمرهای گرمانرم که غیر قطبی اند، پلی استرها به علت داشتن گروههای استری پلیمرهای نسبتاً قطبی هستند که می توانند با الیاف سلولوزی اثر متقابل داشته باشند. بنابراین، سیلان نمی تواند تفاوت معنی داری را در مقاومتهای مکانیکی کامپوزیت ایجاد کند. با افزایش درصد الیاف در کامپوزیت وزن مخصوص آن کاهش می یابد.

مراجع

1. Nabi Saheb D. and Jog J.P., Natural Fiber Polymer Composites: A Review, *Adva. Polym. Technol.,* **18**, 351-363, 1999.
2. www.klinengroup.com, Kline Company Website, 2000.
3. www.kafus.com, Kafus Enviromental Industries Ltd Press Release, 1999.
4. Roe P.J. and Ansell M.P., Jute - Reinforced Polyester Composites, *J. Mater. Sci.,* **20**, 4015-4020, 1985.
5. Tobias B. C. and Ibarra T., Influence of Cure Temperature on the Flexural Strength of Natural Based Composites, *J. Mater. Sci. Lett.,* **14**, 508-517, 1995.
6. Esfandeh M., Rezadoust A.M., and Alavi S.M., Fabrication and Study of Unsaturated Polyester-Jute Fiber, *The First Congress on Cellulosic Processing and Utilizations,* University of Tehran, 1-2 October, 437-441, 2003.
7. Omidvar A. and Sabetraftar H., An Investigation of Manufacture Wood Fiber/Polyester Composite Using Recycled Newspaper, *Iran. J. Nat. Resour.,* **53**, 187-198, 2001.
8. www.ricestraw.org/library/absteract
9. Omidvar A. and Sabetraftar H., Interfacial Studies of Wood Fiber-Polyester Composite, Using Scanning Electron Microscopy, *J. Agricul. Sci. Nat. Resour.,* **6**, 49-57, 1999.
10. Hodzic A. and Leork M., Polypropylene and Aliphatic Polyester Flax Fiber Composites, *Polym. Polym. Compos.,* **10**, 281-290, 2002.