

اصلاح خواص مکانیکی کامپوزیت‌های الیاف سلولوزی - پلیمر گرمانرم

Improvement in Mechanical Properties of Cellulose Fibers-Thermoplastic Polymer Composites

علیرضا شاکری^{۱*}، سید کاظم حسینی^۲، قنبر ابراهیمی^۲

۱- گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده علوم، صندوق پستی ۶۱۹

۲- کرج، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، صندوق پستی ۳۱۵۸۵/۱۱۹

دریافت: ۸۳/۷/۲۰، پذیرش: ۸۴/۲/۱۰

چکیده

در این پژوهش، اثر دو نوع الاستومر روی خواص مکانیکی پلی اتیلن سنگین و پلی پروپیلن پر شده با الیاف سلولوزی بررسی شد. اصلاح کننده مقاوم به ضربه مورد استفاده اتیلن وینیل استات و اتیلن پروپیلن دی‌ان مونومر همچنین، الیاف سلولوزی شامل آلفاسلولوز و الیاف بازیافتی کاغذ باطله بود. الاستومر (اصلاح کننده) در سه مقدار ۷/۵، ۱۰ و ۱۰ درصد وزنی با کامپوزیت مخلوط شد و مقدار پر کننده به ترتیب برای پلی اتیلن سنگین و پلی پروپیلن ۳۰ و ۳۵ درصد وزنی بود. نتایج نشان می‌دهد که با افزودن الاستومر استحکام ضربه ای شکافدار، کرنش خمشی و ازدیاد طول تا پارگی افزایش اما استحکام کششی، استحکام خمشی و مدول کشسانی کاهش می‌یابند. همچنین پرکننده‌ها بدون الاستومر باعث بهبود استحکام کششی و خمشی شده، مدول کشسانی را افزایش می‌دهند اما سبب کاهش استحکام ضربه‌ای شکافدار و ازدیاد طول تا پارگی و کرنش خمشی می‌شوند. در واقع با افزودن ۱۰ درصد الاستومر به کامپوزیت بیشترین استحکام ضربه ای بدست آمد در حالی که برای مقاومتهای دیگر و مدول کشسانی بیشترین مقادیر مربوط به نمونه هایی با صفر درصد الاستومر (به جز پلیمرهای خالص) بود.

واژه‌های کلیدی

آلفاسلولوز، الیاف کاغذ باطله،
الاستومر، پلی پروپیلن،
پلی اتیلن سنگین

مقدمه

سهولت فرآورش، اثر ساینندگی کم روی تجهیزات فرآورش در مقایسه با الیاف دیگر، مقدار زیاد نسبت استحکام به وزن، تجدید شونده، قابلیت تخریب زیستی و در دسترس بودن منابع آنها اشاره کرد [۱]. بیشترین پژوهش، روی سازگارکننده‌هایی تمرکز یافته است که

طی دو دهه اخیر امکان استفاده از مواد لیگنوسلولوزی مانند الیاف چوب، کنف، باگاس، نارگیل و سایر مواد با منشأ طبیعی به عنوان تقویت کننده پلاستیکها مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. از جمله فواید این مواد می‌توان به قیمت ارزان،

Key Words

alpha cellulose, wastepaper,
elastomer, polypropylene,
high density polyethylene

شده با استیرن - اتیلن/بوتیلن - استیرن (SEBS) پیوند خورده با مالئیک انیدرید و اصلاح کننده EPDM به مقدار ۱۰ درصد را در کامپوزیت گزارش کردند، آنها نتیجه گرفتند که کامپوزیتی که از ترکیب (SEBS-MA) بدست آمده استحکام ضربه‌ای شکافدار آن ۱۰۰ درصد و بدون شکاف ۹۵ درصد، ازدیاد طول تا پارگی ۳۵ درصد، استحکام کششی ۹ درصد افزایش و مدول کششی ۳۵ درصد کاهش یافته است. استام هویس [۱۴] از استیرن/بوتادیان/استیرن (SBS)، NBR، استیرن - اتیلن/بوتیلن - استیرن (SEBS)، EVA و EPDM به عنوان اصلاح کننده مقاوم به ضربه در پلی پروپیلن پر شده با تالک استفاده کرد. او بهبود استحکام ضربه‌ای را در مورد همه مواد یاد شده گزارش نمود به خصوص وقتی که سطوح پرکننده به کمک این مواد پوشش داده شده بودند. برنت انگلیش [۱۵] و همکاران با مطالعه جامع روی فرایند تولید کامپوزیت پلی پروپیلن و آرد چوب به وسیله اکسترودر دو پیچه همسوگرد در دمای 204°C ، از ۵/۵ درصد EPDM برای تقویت استحکام ضربه‌ای کامپوزیت استفاده کردند. صفارزاده و همکارش [۱۶] سه نوع الیاف آلفا سلولوزخالص، الیاف خام چوب و الیاف کاغذ باطله را در چهار مقدار ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد وزنی در تهیه کامپوزیت با زمینه پلی اتیلن سنگین در مجاورت جفت کننده مالئیک انیدرید و شروع کننده دی کومیل پروکسید بررسی و نتیجه گیری کردند که استحکام کششی و سختی در اثر افزایش الیاف افزایش ولی استحکام ضربه‌ای و ازدیاد طول تا پارگی نسبت به پلیمر خالص کاهش می‌یابد. آنها استفاده از مقدار ۳۰ درصد دونوع الیاف آلفا سلولوز و یا کاغذ باطله و ۲ درصد مالئیک انیدرید را برای تهیه کامپوزیت توصیه کردند. تجویدی و همکارش [۱۷] سه نوع الیاف یاد شده را در ساخت کامپوزیت‌های با زمینه پلی پروپیلن در مجاورت مالئیک انیدرید در سه مقدار وزنی بکار بردند و استفاده از ۳۵ درصد الیاف کاغذ باطله را در ساخت کامپوزیت در مجاورت ۲ درصد جفت کننده مالئیک انیدرید توصیه کردند.

در این پژوهش، اثر الاستومرهای EVA و EPDM به ترتیب روی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های HDPE - الیاف سلولوزی و PP - الیاف سلولوزی به همراه عامل جفت کننده بررسی شده است.

تجربی

مواد

در این پژوهش، از پلی پروپیلن محصول بندر امام با شاخص مذاب $1.0 \text{ g}/16 \text{ min}$ ، پلی اتیلن سنگین ساخت مجتمع پتروشیمی اراک با شاخص مذاب $1.0 \text{ g}/20 \text{ min}$ به عنوان فاز زمینه، مالئیک انیدرید (۹۸ درصد)

باعث پیوند بهتر پلاستیک‌های آبزدا و الیاف آبدوست می‌شوند. در همه پژوهش‌های گذشته نیز مشخص شده است که وجود الیاف سلولوزی به عنوان پرکننده و تقویت کننده باعث کاهش چقرمگی کامپوزیت حاصل می‌شود [۲]. براین اساس پژوهشگران کوشیده‌اند تا با استفاده از انواع اصلاح کننده، چقرمگی این گونه مواد را افزایش دهند.

چقرمگی پلیمرهای پر شده به چندین روش از جمله افزایش چقرمگی ماده زمینه، اصلاح ناحیه بین فازی ماده زمینه و پرکننده با استفاده از مواد جفت کننده و سازگار کننده، بهینه کردن مقدار، اندازه و توزیع ذرات پرکننده و نسبت طول به قطر و آرایش یافتگی الیاف بهبود می‌یابد [۳]. این پژوهش بر اساس دو روش اول و دوم است.

یکی از روش‌های بهبود استحکام ضربه‌ای مواد پلاستیکی، افزودن ذرات لاستیکی به پلاستیک است. استفاده از اصلاح کننده مقاوم به ضربه لاستیکی، منجر به سامانه‌ای دو فازی می‌شود. از طرف دیگر باید بین اصلاح کننده مقاوم به ضربه و پلیمر وجه تشابه کافی وجود داشته باشد تا سازگاری و چسبندگی کافی بین ذرات لاستیکی موجود در مرز مشترک با پلاستیک به وجود آید. برای اینکه اصلاح کننده‌های مقاوم به ضربه به بهترین شکل عمل کنند باید مقدار بکار برده شده، اندازه ذرات و حالت پراکندگی ذرات بهینه شود [۴].

اصلاح کننده مقاوم به ضربه (الاستومر) به سه روش می‌تواند در شکل شناسی پلیمر پر شده مؤثر باشد: الاستومر می‌تواند مانند فاز مستقل سوم در زمینه پلیمری وجود داشته باشد، به طور کامل یا جزئی سطح پرکننده را پوشش دهد (تشکیل فاز میانی) و یا ترکیبی از دو حالت اول و دوم داشته باشد [۵،۶].

متداولترین اصلاح کننده‌های مقاوم به ضربه برای پلی پروپیلن، کوپلیمراتیلن - پروپیلن (EPM) یا اتیلن - پروپیلن - دی ان مونومر (EPDM) و برای پلی اتیلن، اتیلن وینیل استات (EVA) است [۷،۸]. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که برهمکنش بین پلی پروپیلن و پلی اتیلن با پرکننده‌های سلولوزی را می‌توان با مالئیک انیدرید بهبود بخشید [۹-۱۱]. دالوج و همکارانش [۱۲] در کامپوزیت پلی پروپیلن - آرد چوب (۳۰ درصد) از الاستومرهای اتیلن وینیل استات (EVA)، پلی اتیلن کلر دار شده (CPE)، پلی ایزوبوتیلن (PIB)، بوتادیان/آکریلونیتریل (NBR) و پلی اتیلن یونیزه شده (Seyr Lin) برای اصلاح استحکام ضربه‌ای در دو مقدار (۵ و ۱۰ درصد) استفاده و مشاهده کردند که NBR با مقدار ده درصد، بهترین استحکام ضربه‌ای را نسبت به سایر الاستومرهای بکار برده شده ایجاد می‌کند.

اکسمان و همکارش [۱۳] با مطالعه روی مواد اصلاح کننده مقاوم به ضربه، خواص کامپوزیت‌های حاصل از پلی پروپیلن و پودر چوب اصلاح

جدول ۱ درصد وزنی اجزای PP در نمونه کامپوزیت‌های مختلف*.

شماره	نمونه	PP (%)	الیاف (%)	EPDM (%)
۱	PP	۱۰۰	۰	۰
۲	CF	۶۲/۴	۳۵	۰
۳	CF/%۵E	۵۷/۴	۳۵	۵
۴	CF/%۷/۵E	۵۴/۹	۳۵	۷/۵
۵	CF/%۱۰E	۵۳/۴	۳۵	۱۰
۶	WP	۶۲/۹	۳۵	۰
۷	WP/%۵E	۵۷/۴	۳۵	۵
۸	WP/%۷/۵E	۵۴/۹	۳۵	۷/۵
۹	WP/%۱۰E	۵۳/۴	۳۵	۱۰

PP = پلی پروپیلن، WP = الیاف بازیافتی روزنامه، CF = آلفا سلولوز و E = EPDM است.

* به همه نمونه‌ها ۲ درصد MA، ۵ درصد TQM و ۱ درصد دی کومیل پروکسید اضافه شد.

تزریقی در نیم رخ دمایی ۱۸۰، ۱۹۰ و ۲۰۰°C ساخته شدند.

نتایج و بحث

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تجزیه و تحلیل و در سطح اطمینان آماری (statistical confidence) ۹۵ درصد نتایج بدست آمد.

جدول ۲ درصد وزنی اجزای کامپوزیت HDPE در نمونه‌های مختلف*.

شماره	نمونه	EPDM (%)	الیاف (%)	EVA (%)
۱	HDPE	۱۰۰	۰	۰
۲	CF	۶۷/۴	۳۰	۰
۳	CF/%۵E	۶۲/۴	۳۰	۵
۴	CF/%۷/۵E	۵۹/۹	۳۰	۷/۵
۵	CF/%۱۰E	۵۷/۴	۳۰	۱۰
۶	WP	۶۷/۴	۳۰	۰
۷	WP/%۵E	۶۲/۴	۳۰	۵
۸	WP/%۷/۵E	۵۹/۹	۳۰	۷/۵
۹	WP/%۱۰E	۵۷/۴	۳۰	۱۰

HDPE = پلی اتیلن سنگین، WP = الیاف بازیافتی روزنامه، CF = آلفا سلولوز و E = EVA است.

* به همه نمونه‌ها ۲ درصد MA، ۵ درصد TQM و ۱ درصد دی کومیل پروکسید اضافه شد.

به عنوان ماده سازگار کننده و جفت کننده، دی کومیل پروکسید (۹۸ درصد) ساخت شرکت Merck به عنوان آغازگر، ضد اکسنده نوع آمینی با نام تجاری TMQ محصول شرکت Westco به عنوان پایدار کننده گرمایی پلیمر، اتیلن پروپیلن دی ان مونومر Vistalon ۵۰۰ و اتیلن وینیل استات (۱۸ درصد) ساخت شرکت Exxon به عنوان الاستومر استفاده شد. الیاف سلولوزی مورد استفاده شامل آلفا سلولوز (CF) لیتربنه محصول کارخانه لیترب پاک بهشهر با ۹۸ درصد سلولوز و الیاف بازیافتی (WF) از کاغذ روزنامه‌های موجود در کشور بود.

دستگاهها

در این پژوهش، برای اختلاط مواد از مخلوط کن داخلی هکه مدل Sis ۹۰ و برای ساخت نمونه‌های آزمایش از دستگاه قالبگیری تزریقی ساخت شرکت ایمن ماشین با فشار ۱۱۰ MPa استفاده شد. برای اندازه‌گیری استحکام ضربه‌ای نمونه‌های شکافدار مطابق استاندارد ASTM D2۵۶ دستگاه پاندولی ساخت شرکت Zwick مدل ۵۱۰۲، برای تعیین سختی نمونه‌های کامپوزیتی مطابق استاندارد ASTM D۲۲۴۰ دستگاه Zwick مدل ۳۱۰۰، برای اندازه‌گیری میزان کشش مطابق استاندارد ASTM D۶۳۸ دستگاه Instron مدل ۶۰۲۵ و برای آزمون خمش مطابق با استاندارد ASTM DV۹۰ و به روش سه نقطه‌ای دستگاه Instron مدل ۶۰۲۵ بکار برده شد. حداقل ۵ نمونه آزمایش و نتایج از لحاظ آماری تجزیه و تحلیل شدند.

روشها

ابتدا الیاف سلولوزی در گرمخانه با دمای ۱۰۰°C به مدت ۲۴ h خشک و پس از آسیاب کردن و عبور از الک با مش ۵۰ (۳۰۰ μ) استفاده شدند که در مورد الیاف روزنامه یک مرحله اضافی جدا سازی الیاف در آب به وسیله همزن آزمایشگاهی نیز بکار رفت. قبل از اختلاط مواد مجدداً الیاف در گرمخانه با دمای ۱۰۰°C ± ۳ به مدت ۲۴ h قرار داده شدند.

کامپوزیتها به کمک مخلوط کن داخلی هکه به شکل نمونه‌های ۲۰۰ گرمی در دمای ۱۹۰°C و سرعت ۳۰ rpm در مدت زمان حدود ۱۰ min تهیه شدند. بدین منظور ابتدا پلیمر به همراه ۵ درصد وزنی ضد اکسنده TMQ به مخلوط کن اضافه شد. بعد از ذوب شدن، ۲ درصد وزنی مالئیک انیدرید و ۱ درصد وزنی دی کومیل پروکسید به آن افزوده شد. پس از ۲ min الاستومر به مقدار تعیین شده (طبق جدولهای ۱ و ۲) به ماده مذاب حاصل اضافه و در آخرین مرحله الیاف سلولوزی به ترتیب با مقادیر ۳۵ و ۳۰ درصد وزنی به مذاب PP و HDPE در مخلوط کن وارد شدند. در مراحل بعدی، نمونه‌های بدون الاستومر هم تهیه شد. نمونه‌های مورد نیاز برای آزمون خواص مکانیکی به وسیله قالبگیری

استحکام ضربه ای

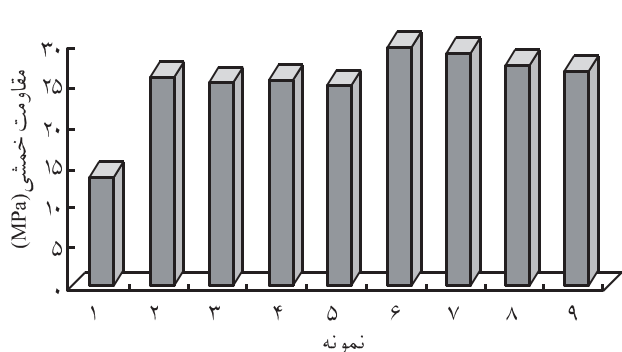
شکل ۱ (الف) و (ب) نشان می‌دهد که افزودن الیاف سلولوزی و الاستومر به پلیمر به ترتیب موجب کاهش (نمونه‌های ۲ و ۶) و افزایش استحکام ضربه‌ای می‌شود اما با همه این تغییرات فقط نمونه‌های با ده درصد الاستومر (نمونه‌های ۵ و ۹) دارای تفاوت معنی‌داری با سایر نمونه‌ها هستند.

الیاف سلولوزی به علت عدم چسبندگی با فاز زمینه، نقاطی با تمرکز تنش زیاد ایجاد می‌کنند که ترکها درست از همین نقاط (دقیقاً درونوک الیاف) که ضعیف‌ترند شروع می‌شوند در نتیجه استحکام ضربه‌ای کاهش می‌یابد. اما الاستومرهای پراکنده در کامپوزیت اولاً مانع ایجاد ترکهای بزرگ می‌شوند ثانیاً ترکهای ریز در الاستومر شروع و در آن نیز پایان می‌پذیرند بنابراین، استحکام ضربه‌ای کامپوزیت افزایش پیدا می‌کند [۴]. همچنین، ذرات الاستومر که در فاز زمینه پراکنده شده‌اند به عنوان جاذب انرژی عمل می‌کنند و باعث اصلاح استحکام ضربه‌ای کامپوزیت می‌شوند.

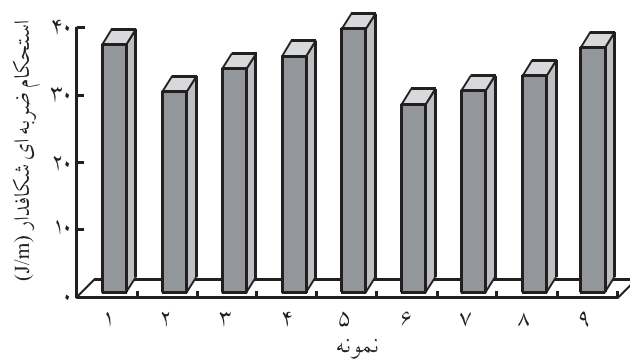
استحکام خمشی

در شکل ۲ (الف) و (ب) مقایسه بین مقادیر میانگین استحکام خمشی در نمونه‌های مختلف نشان داده شده است. استفاده از الیاف سلولوزی به طور معنی‌داری باعث افزایش استحکام خمشی نمونه در مقایسه با پلیمر خالص می‌شود و با افزایش مقدار الاستومر استحکام خمشی کاهش می‌یابد. اما فقط نمونه‌های دارای ده درصد الاستومر تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد خود دارند.

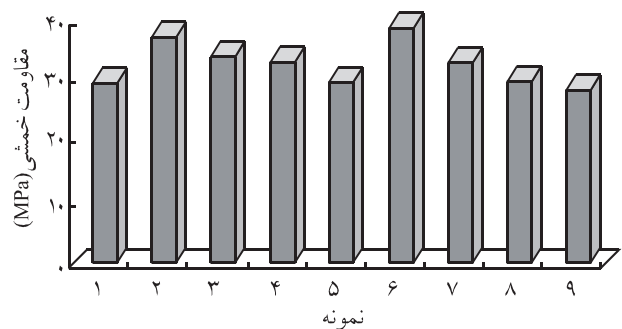
چنین به نظر می‌رسد که بهبود پیوندها در ناحیه بین فازی به دلیل وجود جفت‌کننده مالئیک‌انیدرید است و نیز استحکام خمشی مناسب الیاف سلولوزی باعث افزایش استحکام خمشی کامپوزیت می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ (الف) مربوط به کامپوزیت با ماده زمینه HDPE مشخص است الیاف کاغذ روزنامه در مقایسه با همان مقدار الیاف آلفا سلولوز، استحکام خمشی را افزایش می‌دهند که این امر ناشی از سازگاری بهتر این الیاف (داشتن مقداری لیگنین که ماده‌ای غیر قطبی است) با فاز زمینه است.



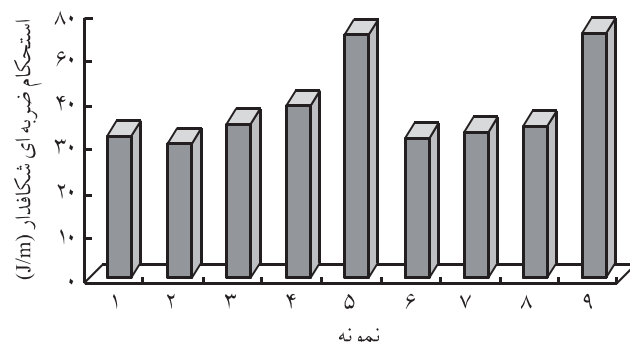
(الف)



(الف)



(ب)



(ب)

شکل ۲ تغییرات مقاومت خمشی در نمونه‌های مختلف:

(الف) HDPE و (ب) PP.

شکل ۱ تغییرات استحکام ضربه‌ای در نمونه‌های مختلف:

(الف) HDPE و (ب) PP.

می‌دهد که افزودن الیاف سلولوزی به پلیمر باعث افزایش مدول کشسانی و وجود الاستومر سبب کاهش آن می‌شود اما با همه این تغییرات نمونه شماره ۵ نسبت به نمونه شاهد خود (نمونه ۲) و نمونه‌های ۷، ۸ و ۹ نسبت به نمونه ۶ دارای تفاوت معنی دارند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار مدول کشسانی مربوط به کامپوزیت بدون الاستومر است. اختلاف بین این نمونه‌ها (۲ و ۶) با سایر نمونه‌ها معنی دار است. کمترین مقدار مدول در کامپوزیت‌های PP نمونه ۹ دارای ۱۰ درصد EPDM با الیاف روزنامه و در کامپوزیت‌های PE نمونه ۶ با مقدار ۱۰ درصد EVA با الیاف آلفا سلولوز است. مدول کشسانی کامپوزیت به شدت تحت تأثیر مدول اجزای تشکیل دهنده آن قرار دارد. از آنجا که الیاف آلفا سلولوز و کاغذ روزنامه دارای مدول نسبتاً زیادی هستند به طور طبیعی مدول کشسانی کامپوزیت را بهبود می‌بخشند. این رفتار در کامپوزیت‌های بدون الاستومر نشان می‌دهد که کامپوزیت از ویژگی‌های پلیمر خالص دور شده، به خواص الیاف سلولوزی نزدیک شده است (صلبیت زیادتر شده) که مطابق قانون مخلوطها قابل توجیه است. در کامپوزیت‌های دارای الاستومر مدول کاهش می‌یابد که این امر ناشی از ماهیت انعطاف پذیر ذرات الاستومر است که هنگام کشش کامپوزیت رفتاری نزدیک به پلیمر خالص به آن

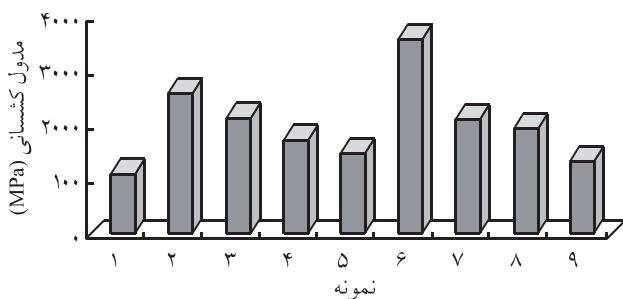
استحکام کششی

نتایج حاصل از استحکام کششی نمونه‌های مختلف در شکل ۳ (الف) و (ب) نشان داده شده است.

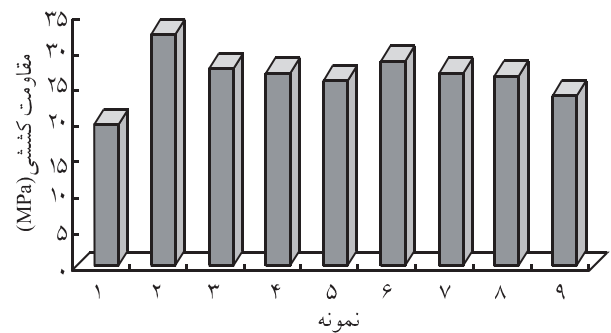
تحلیل آماری نتایج نشان می‌دهد که استفاده از الیاف سلولوزی در ماده زمینه پلیمر باعث افزایش معنی دار استحکام کششی نسبت به پلیمر بدون الیاف می‌شود که افزایش استحکام کششی مؤید آن است که تنش از فاز زمینه به ذرات سلولوزی منتقل شده است. با افزایش الاستومر از مقدار استحکام کششی به طور معنی داری کاسته می‌شود که در مورد نمونه‌های دارای الیاف روزنامه فقط نمونه شماره ۹ (دارای ۱۰ درصد الاستومر) نسبت به نمونه شماره ۲ (بدون الاستومر) معنی دار شده است. کامپوزیت‌های دارای عامل جفت کننده مالئیک انیدرید استحکام کششی بیشتری را نشان می‌دهند. علت آن تشکیل پیوندهای کووالانسی به وسیله گروه‌های عاملی کربونیل مالئیک پیوند خورده روی پلیمر و عامل هیدروکسیل الیاف سلولوزی است [۱۱].

مدول کشسانی

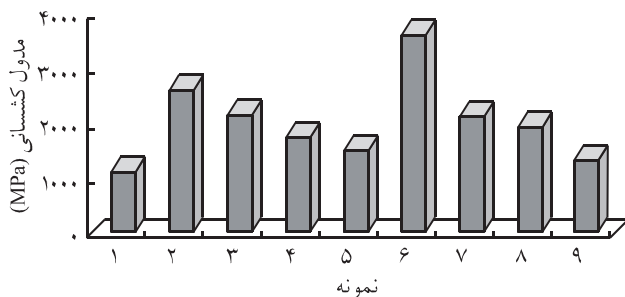
مقایسه بین مقادیر میانگین در نمونه‌ها (شکل ۴ (الف) و (ب)) نشان



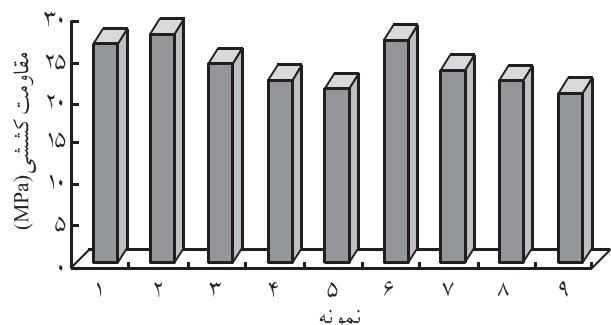
(الف)



(الف)



(ب)



(ب)

شکل ۴ تغییرات مدول کشسانی در نمونه‌های مختلف: (الف) HDPE و (ب) PP.

شکل ۳ تغییرات استحکام کششی در نمونه‌های مختلف: (الف) HDPE و (ب) PP.

داده است و مدول کشسانی کامپوزیت کاهش می‌یابد.

کشسان ماده کاهش می‌یابد در نتیجه باعث افزایش ازدیاد طول تا پارگی در کامپوزیت شده است.

ازدیاد طول تا پارگی

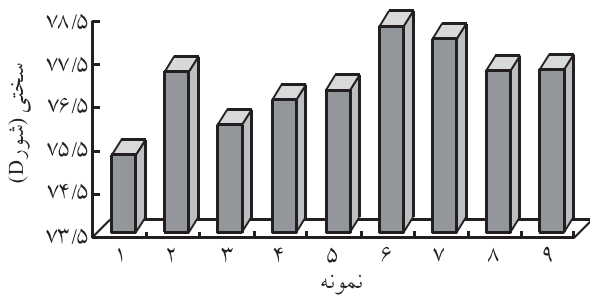
مقایسه بین مقادیر میانگین در نمونه‌ها نشان می‌دهد که استفاده از الیاف سلولوزی در پلیمر باعث کاهش معنی‌دار در کرنش کششی نمونه‌ها نسبت به پلیمر خالص شده است که ناشی از تبدیل ماده گرمانرم (دارای ازدیاد طول تا پارگی کم) به ماده کشسان (دارای ازدیاد طول تا پارگی زیاد) است. افزودن الیاف آلفا سلولوز و الیاف کاغذ روزنامه مانع از ازدیاد طول زیاد ترکیب در معرض کشش شده، مقاومت حاصل، ازدیاد طول تا پارگی را در ترکیب‌های دارای الیاف به شدت کاهش می‌دهد. بنابراین، طبیعی است که کامپوزیت‌های دارای الیاف، برخلاف پلیمر PP و HDPE خالص، نقطه تسلیم نداشته، مستقیماً نقطه شکست داشته باشند. اما وجود الاستومر علی‌رغم افزودن میزان کرنش تفاوت معنی‌داری نسبت به نمونه‌های شاهد ۲ و ۶ ایجاد نکرده است. در مجاورت الاستومر، انعطاف‌پذیری کامپوزیت بیشتر شده، خواص

کرنش خمشی

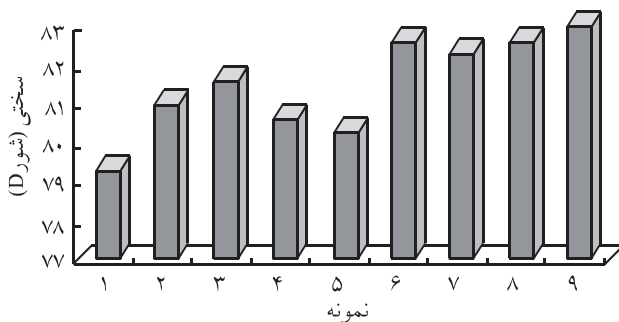
شکل ۵ (الف) و (ب) نشان می‌دهد که افزودن الیاف سلولوزی به پلیمر باعث کاهش کرنش کامپوزیت‌ها می‌شود. اما افزودن الاستومر کرنش خمشی را افزایش داده به طوری که در نمونه‌های بدون الاستومر تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود. این امر نیز به دلیل امکان جابه‌جایی زنجیرهای پلیمری و زیاد شدن تحرک آنها در اثر افزایش مقدار الاستومر است.

سختی

آزمون سختی نشان می‌دهد که وجود الیاف سلولوزی باعث افزایش سختی کامپوزیت‌ها نسبت به پلیمر خالص شده است اما این افزایش فقط در مورد الیاف روزنامه معنی‌دار است همچنین، افزودن الاستومر هیچ‌گونه افزایش یا کاهش منظم و معنی‌داری در سختی به وجود نیاورده است. همان‌طور که در شکل ۶ (الف) و (ب) مشاهده می‌شود

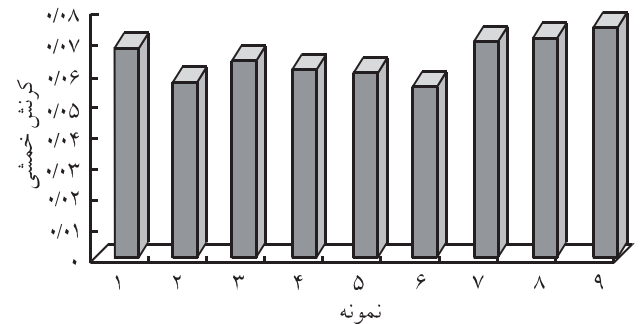


(الف)

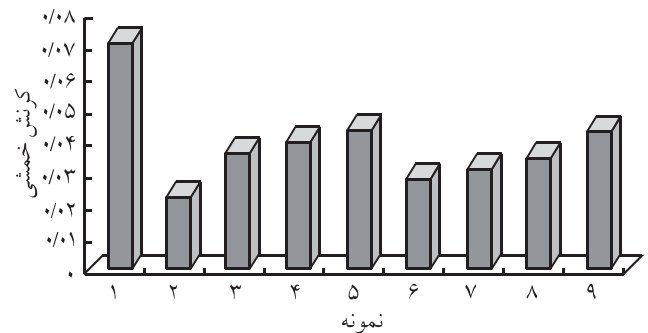


(ب)

شکل ۶ نمودار تغییرات سختی در نمونه‌های مختلف: (الف) HDPE و (ب) PP.



(الف)



(ب)

شکل ۵ تغییرات کرنش خمشی در نمونه‌های مختلف: (الف) HDPE و (ب) PP.

مدول کشسانی را افزایش و استحکام ضربه‌ای شکافدار، ازدیاد طول تا پارگی و کرنش خمشی در مقایسه با پلیمر خالص را کاهش دادند. در واقع افزودن ۱۰ درصد الاستومر به کامپوزیت بیشترین استحکام ضربه‌ای را ایجاد کرد در حالی که برای مقاومتهای دیگر و مدول کشسانی بیشترین مقادیر مربوط به نمونه‌هایی با صفر درصد الاستومر (به جز پلیمرهای خالص) بود.

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که الیاف سلولوزی و الاستومر درست عکس هم عمل می‌کنند و بهبود مقاومتهای در یکی باعث کاهش برخی از مقاومتهای دیگر می‌شود به جز در مورد کرنش خمشی که الیاف و الاستومر هیچ کدام در آن تغییری ایجاد نکرده است. بنابراین، با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت برای مقاصد عملی آنجا که هدف افزایش استحکام کششی، استحکام خمشی و یا مدول کشسانی باشد و در عین حال کاهش هزینه‌های تهیه ماده گرمانرم نیز مدنظر قرار گیرد تنها استفاده از الیاف سلولوزی به عنوان پرکننده و تقویت کننده مطلوب است، یعنی نمونه‌هایی که فاقد الاستومرند. آنگاه که بهبود استحکام ضربه‌ای به همراه کم کردن هزینه‌ها مورد نظر است باید کامپوزیت تقویت شده با الیاف سلولوزی که در آن الاستومر بکار رفته است مورد توجه قرار گیرد.

مراجع

1. Nabi Saheb D. and Jog J.P., Natural Fiber Polymer Composites: A Review, *Adv. Polym. Technol.* **18**, 351-363, 1999.
2. Shakeri A. and Hashemi S.A., Investigation of Silane Coupling Agent on Physical and Mechanical Properties of PVC/Cellulose (PVC/Pulp Paper) Fiber Composite, *Iran. J. Polym. Sci. Technol.*, **16**, 71-78, 2003.
3. Utraki L.A. and Khanh T.V., Multicomponent Polymer System, Miles I.S. and Rostami S. (Eds.), *Polym. Sci. Technol.*, 191-245, 1992.
4. Hoseinnia K., *Improvement of Impact Properties of Polypropylene/Ethylene Propylene Rubber*, MSc Thesis, Tehran University and Iran Polymer and Petrochemical Institute, 1997.
5. Chen X.H. and Mai Y.M., Micromechanics of Rubber-Toughened Polymers, *J. Mater. Sci.*, **33**, 3529-3539, 1998.
6. Kesari J. and Saloveri R. Polymer Blend and Composites in Multiphase System, Han C.D. (Ed.), American Chemical Society, Washington, 105-110, 1994.
7. Inoue T. and Suzuki T., Selective Cross-linking Reaction in Polymer Blend III, The Effect of the Cross-linking of Dispersed EPDM Particles on the Impact Behavior of PP / EPDM Blends, *J. Appl. Polym. Sci.*, **56**, 1113-1125, 1995.
8. John B., Varaghese K.T., Oommen Z., Potschke P. and Thomas S., Dynamic Mechanical Behavior of HDPE/EVA Copolymer Blend, Effect of the Blend Ratio, Reactive Compatibilization and Dynamic Vulcanization., *J. Appl. Polym. Sci.*, **87**, 2083-2099, 2004.
9. Oksman K. and Clemons C., Mechanical Properties and Morphology of Impact Modified Polypropylene-Wood Fiber Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **76**, 1503-1513, 1998.
10. Lu Z. J., Qinglin W. and McNabb H.S., Chemical Coupling in Wood Fiber and Polymer Composite, *Wood Fiber Sci. J.*, **32**, 88-104, 2000.
11. Shakeri A. and Hashemi S.A., Effect of Variation Coupling Agent on Mechanical Properties HDPE/Wheat Straw Composites, *Polym. Polym. Compos.*, **12**, 449-453, 2004.
12. Dalvalge H., Klason C. and Stromvall H.E., Effect of Elastomer

بیشترین مقدار سختی مربوط به کامپوزیت‌های بدون الاستومر (نمونه شماره ۲ و ۶) و کمترین آن مربوط به پلیمر خالص است (نمونه ۱). از آنجا که سختی الیاف سلولوزی بیشتر از پلیمر خالص است می‌توان گفت که افزایش سختی هنگام افزودن الیاف سلولوزی به دلیل ماهیت سخت تر الیاف است اما، افزودن ماده الاستومر که ذاتاً ماده‌ای نرم با تحرک زیاد زنجیرهای پلیمری است سبب کاهش سختی نمونه‌ها می‌شود. به نظر می‌رسد که دامنه ۵ درصد تغییر در مقدار الاستومر بسیار کمتر از آن است که تغییر مشهودی در مقدار سختی به وجود آورد.

نتیجه گیری

با توجه به پژوهشهای انجام شده نتایج زیر را می‌توان به شکل خلاصه بیان کرد:

افزودن الاستومر به کامپوزیت‌های گرمانرم - الیاف سلولوزی سبب افزایش استحکام ضربه‌ای شکافدار، کرنش خمشی و ازدیاد طول تا پارگی شدند اما استحکام کششی، استحکام خمشی و مدول کشسانی در مقایسه با کامپوزیت‌های بدون الاستومر کاهش یافتند. کامپوزیت‌های بدون الاستومر باعث بهبود در استحکام کششی و خمشی شدند و

- on Mechanical Properties of Thermoplastic-wood Fiber Composites, *Int. J. Polym. Mater.*, **11**, 9-16, 1985.
13. Oksman K. and Clemons C., Mechanical Properties and Morphology of Impact Modified Polypropylene Wood Flour Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **76**, 1503-1513, 1998.
14. Stamhuis J.E., Mechanical Property and Morphology of Propylene Composites. IV The Effect of Polar Compound in Talc-Filled Polypropylene, *Polym. Compos.*, **79**, 72-79, 1988.
15. English B., Clemons C., Stark N. and Schnider J.P., Waste-Wood-Derived Fillers for Plastics, USA Forest Service, Forest Product Laboratory, General Technical Report FPL-GTR- 91, USA, 7-11, 1996.
16. Saffarzadeh S. and Ebrahimi Gh., A Study of Cellulosic Fibers/High Density Polyethylene Composites and their Mechanical Properties, *Iran. J. Nat. Res.*, **53**, 217-224, 2000.
17. Tajvidi M. and Ebrahimi Gh., Study of Feasibility of Used Cellulosic, Paper and Wood Fibers in the Manufacturing Fibers/Polypropylene Composites, *Iran. J. Nat. Res.*, **51**, 35-45, 1998.