

بررسی ویژگی‌های مکانیکی چندسازه پلی اتیلن سنگین بازیافتی و پسماند تولید فورفورال از باگاس

حسین احمدی^۱، امیرهومن حمصی^۲ و سعید مهدوی^{۳*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- دانشیار، علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- نویسنده مسئول، دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، تهران

پست الکترونیک: smahdavi43@rifr-ac.ir

تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۳

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی ویژگی‌های مکانیکی چندسازه پلی اتیلن سنگین بازیافتی و پسماند حاصل از فرایند تولید فورفورال از باگاس انجام شد. برای این منظور پلی اتیلن بازیافتی در سه سطح ۵۸، ۶۸ و ۷۸ درصد مورد استفاده قرار گرفت و پسماند تولید فورفورال از باگاس در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد به‌عنوان پرکننده استفاده شد. همچنین از مالئیک انیدرید گرفت شده با پلی اتیلن (PE-g-MA) شرکت آریا پلیمر در سطح ثابت ۲ درصد استفاده شد. مواد در یک اکسترودر دو ماردره مخلوط و نمونه‌های آزمونی با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی ساخته شدند. ویژگی‌های مکانیکی چندسازه شامل مقاومت‌کششی، خمشی و ضربه فاق‌دار مطابق با آیین‌نامه استاندارد ASTM اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد با افزایش مقدار پرکننده از ۲۰ به ۳۰ درصد وزنی، مقاومت و مدول کششی و خمشی نسبت به شاهد افزایش می‌یابد و با افزایش ۴۰ درصدی پرکننده کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش مقدار پرکننده از ۲۰ به ۴۰ درصد وزنی، مقاومت به ضربه فاق‌دار چندسازه چوب پلاستیک کاهش می‌یابد. طیف‌سنجی FTIR کامپوزیت ساخته شده از پلی اتیلن سنگین بازیافتی و ۳۰٪ درصد پسماند انجام شد. نتایج طیف‌سنجی FTIR نشان داد که باندهای جذبی گروه‌های کربونیل (C=O) و اتصالات در نواحی $1750-1600\text{ cm}^{-1}$ در حضور عامل سازگارکننده انیدرید مالئیک پلی اتیلنی تا حدود کمی افزایش یافته که این پدیده باعث حداکثر افزایش ویژگی‌های مکانیکی در چندسازه چوب پلاستیک در هنگام استفاده از ۳۰ درصد الیاف پسماند تولید فورفورال از باگاس شده است.

واژه‌های کلیدی: پلی اتیلن سنگین بازیافتی، پسماند تولید فورفورال از باگاس، ویژگی‌های مکانیکی، طیف‌سنجی FTIR

مقدمه

مواد چندسازه به موادی گفته می‌شود که از یک یا چند فاز ناپیوسته^۱ در درون یک فاز پیوسته^۲ تشکیل می‌شود و فاز پیوسته را ماده زمینه یا ماتریس^۳ می‌نامند. فاز ناپیوسته معمولاً سخت‌تر و محکم‌تر از فاز پیوسته بوده و

تقویت‌کننده^۴ خوانده می‌شود (Shokrieh and Sonbolestan, 2008). فاز تقویت‌کننده موجب بهبود خواص مکانیکی می‌گردد و فاز زمینه یا ماتریس در چندسازه‌ها موجب انتقال نیرو به فاز تقویت‌کننده، مقاومت در برابر حرارت و مقاومت در برابر عوامل شیمیایی می‌شود. با توجه به کمبود شدید چوب در صنعت چوب و کاغذ

1- Discontinuous phase

2- Continuous phase

3- Matrix

4 - Reinforcement

لیگنین استخراج شده به وسیله روش اسیدی در رزین های گرمانرم را مشابه با روش ارگانوسل^۳ می دانند. Samal و همکاران (۲۰۱۳) اختلاط ۱۵ و ۳۰ درصد پودر لیگنین ته نشین شده چوب بلوط با روش هیدرولیز اسیدی را در پلی اتیلن سبک به همراه دو نوع سازگارکننده مورد بررسی قرار دادند. البته با افزایش مقدار لیگنین به عنوان پرکننده، مقاومت کششی چندسازه کاهش یافت.

Schorr و همکاران (۲۰۱۴)، بررسی را در مورد استفاده از لیگنین فرایند کرافت با سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد در پلی استایرن بازیافتی انجام دادند. آنان لیگنین را برای استفاده در چندسازه ها به دلیل آنتی اکسیدان بودن، رفتار مناسب حرارتی و نیز زیست تخریب پذیر بودن کاندید خوبی می دانند. البته استفاده از ۳۰٪ لیگنین موجب کاهش مقاومت به ضربه چندسازه نسبت به نمونه شاهد شد.

Fazi (۲۰۱۲)، معتقد است که مقاومت کششی در چندسازه با تقابل اجزای آن در مقیاس مولکولی ارتباط زیادی دارد. وی با افزودن ۱۵ درصد الیاف خمیرکاغذ کرافت به پلی لاکتیک اسید، افزایش مقاومت کششی چندسازه را به دلیل ایجاد پیوند قوی در سطح تماس دو ماده گزارش نموده است، اما با افزودن درصد بیشتر الیاف، تغییرات قابل توجهی در این مقاومت حاصل نشد. نامبرده افزایش مدول کششی چندسازه را با افزودن الیاف خمیرکاغذ کرافت به علت محدودیت قابلیت حرکت زنجیر پلیمری می داند.

Fazi (۲۰۱۲)، افزودن پسماند به جای مانده از اتانول گیری چوب های صنوبر و کاج با لیگنینی در حدود ۵۱ درصد را به اختلاط پلی لاکتیک اسید و الیاف خمیرکاغذ کرافت انجام داد. نتایج آزمون DMA^۴ نشان داد که دمای انتقال شیشه ای^۵ پلیمر خالص و نیز چندسازه بدون پسماند حاوی لیگنین افزایش یافت. افزایش در ثبات ابعادی چندسازه می تواند منجر به امکان استفاده از دمای بیشتر برای ساخت چندسازه شود. البته با افزایش مقدار الیاف از

ایران و سیاست های کلان دولت مبنی بر عدم استفاده از منابع جنگلی به عنوان ماده اولیه در ساخت فرآورده های مختلف چوبی، همواره قسمت عمده ای از چوب و فرآورده های آن از طریق واردات تأمین می شود. به همین دلیل، استفاده از الیاف غیر چوبی حاصل از پسماند گیاهان کشاورزی برای تأمین بخشی از مواد اولیه این صنایع اجتناب ناپذیر است (Yousefi, 2007).

نیشکر، یکی از باارزش ترین منابع گیاهی در جهان محسوب می گردد. این ارزش نه فقط به علت تولید شکر از نیشکر، بلکه تا حدود زیادی به سبب اهمیت روزافزون محصولات فرعی و صنایع متعدد جانبی آن است؛ که با پیشرفت علم و فناوری، هر روز ابعاد آن وسیع تر و دامنه آن گسترده تر می گردد.

فورفورال به عنوان یکی از مشتقات شیمیایی تهیه شده از باگاس، کاربردهای فراوانی در صنایع شیمیایی، رنگ و رزین دارد. در حال حاضر، پسماند به جای مانده از باگاس فورفورال گیری شده که به عنوان ضایعات کارخانه محسوب می شود باید از یارد خارج شده و مدفون گردد.

فورفورال به عنوان یکی از فرآورده های جانبی باگاس کاربردهای فراوانی در صنایع شیمیایی، رنگ و رزین داشته که در حال حاضر پسماند آن نیز به عنوان ضایعات کارخانه باید از یارد خارج شده و مدفون گردد.

فرایند تولید فورفورال به وسیله هیدرولیز اسیدی قندهای باگاس (عمدتاً زایلوز) در برج تقطیر کارخانه انجام می شود. پسماند هیدرولیز شده باگاس که به رنگ قهوه ای تیره است، حاوی حدود ۵۷ درصد لیگنین غیر قابل حل در اسید است. لیگنین، کوپلیمری ناهمگن و بی شکل^۱ با شبکه ای قطبی متشکل از واحدهای فنیل پروپان است (Jadidian, 2015).

Samal و همکاران (۲۰۱۳) استفاده از لیگنین به عنوان فراوان ترین ماده زیست تخریب پذیر^۲ پس از سلولز را به دلیل قابل تجدید بودن، دسترسی آسان، هزینه کم و امکان نسبتاً آسان اصلاح شیمیایی قابل توجه می دانند. آنان اختلاط

3 -Organocell

4 -Dynamic mechanical properties

5 -Glass transition temperature

1- Amorphous

2 -Biodegradable

Singleton و همکاران (۲۰۰۳)، مقاومت مکانیکی چندسازه ساخته شده از پلی اتیلن بازیافتی با دانسیته زیاد و الیاف کتان را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که خواص مکانیکی اندازه‌گیری شده تابعی از مقدار الیاف است. اگرچه در این تحقیق مقایسه‌ای بین مواد ساخته شده از پلی اتیلن بازیافتی و خام انجام نشده است، ولی آنها بیان داشتند که خام یا بازیافتی بودن پلی اتیلن نمی‌تواند تأثیر زیادی داشته باشد.

Tong و همکاران (۲۰۱۳) اثر اختلاط پوسته برنج بر پلی اتیلن بازیافتی سنگین را مورد بررسی قرار دادند. با افزایش ۱۰ تا ۴۰ درصد میزان پرکننده، مدول کششی و خمشی چندسازه افزایش یافت اما مقاومت خمشی تا افزودن ۳۰ درصد پرکننده افزایش و بعد کاهش یافت. البته مقاومت به ضربه چندسازه با افزایش درصد پرکننده کاهش یافت. در منابع تابحال تولید چندسازه چوب پلاستیک از پسماند تولید فورفورال از باگاس مورد بررسی و تحقیق قرار نگرفته است؛ بنابراین، این تحقیق با هدف بررسی ویژگی‌های مکانیکی چندسازه پلی اتیلن سنگین بازیافتی و پسماند تولید فورفورال از باگاس انجام شد.

مواد و روش‌ها

پلیمر

در این تحقیق از پلی اتیلن بازیافتی سنگین به‌عنوان ماتریس پلیمری استفاده شد. پلی اتیلن بازیافتی از شرکت برادران کوشیار قزوین تهیه شد. پلی اتیلن سنگین به‌صورت پرک شده تهیه شد. مشخصات پلی اتیلن بازیافتی سنگین در جدول ۱ آورده شده است.

۱۵ به ۲۰ درصد، ثبات حرارتی چندسازه همراه با مقاومت‌ها کاهش یافت.

Azeez (۲۰۱۳) در تحقیقی که در مورد اختلاط ۱۰ تا ۳۵ درصد پوسته برنج^۱ به‌عنوان پرکننده به پلی اتیلن سبک بازیافتی و بکر بود نتیجه گرفت که مقاومت کششی چندسازه با افزودن ۱۰ درصد شلتوک ۱۰ درصد افزایش یافت و با افزودن مقدار بیشتر پرکننده کاهش یافت. درحالی‌که مدول مقاومت خمشی آن، با افزایش پرکننده سلولزی افزایش و مقاومت به ضربه کاهش یافتند.

Nourbakhsh و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی اثر گروه‌های شیمیایی به وجود آمده در فرایند کامپوزیت چوب - پلاستیک و ارتباط آن با خواص مکانیکی پرداختند. نتایج طیف‌سنجی نشان داد که باندهای جذبی گروه‌های کربونیل C=O و اتصالات در نواحی $1755-1688 \text{ cm}^{-1}$ در حضور عامل جفت‌کننده انیدرید مالئیک پلی پروپیلنی افزایش یافته و این پدیده باعث افزایش ویژگی‌های مکانیکی در فرآورده مرکب الیاف چوب - پلیمر در محدوده ۳۰ درصد الیاف شده است. همچنین نتایج طیف‌سنجی نشان داده است که باندهای جذبی گروه کربونیل C=O در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد در محدوده $1725-1704 \text{ cm}^{-1}$ به‌دست آمده که منطقه مناسب برای تشکیل اتصالات بوده است.

Chen و همکاران (۲۰۰۵)، خواص چندسازه ساخته شده از پلی پروپیلن خام و پلاستیک بازیافتی (پلی اتیلن سبک) را به همراه الیاف کنف مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که مواد ساخته شده با پلی اتیلن سبک و ۴۰٪ کنف پست‌ترین خواص و مواد ساخته شده از پلی پروپیلن خام و ۴۰٪ کنف بهترین خواص را بروز دادند.

جدول ۱- مشخصات پلی اتیلن سنگین بازیافتی مورد استفاده

شکل کاربرد	مواد تشکیل‌دهنده	دمای انتقال شیشه‌ای	درصد کریستالینته	شاخص جریان مذاب	نقطه ذوب (°C)	گرید
پرک شده	پلاستیک‌های نوشابه، لوله پولیکا، ناپلون	۸۰ تا ۱۲۵	۴۵ تا ۹۰	۰/۶۱ g/10min	۱۳۵ تا ۱۴۵	FV۰۰۰ مهر

1- Rice husk

پرکننده

می شود که مشخصات آن در جدول ۲ آورده شده است.

آماده سازی الیاف سلولزی

پسماند باگاس (باگاس هیدرولیز شده) در آن تا رطوبت زیر ۳ درصد خشک شده و در دسیکاتور تا زمان انجام فرایند اختلاط با پلیمر نگه داری شد.

فرایند اختلاط (مخلوط سازی)

عملیات توزین عوامل متغیر شامل دو ماده بازیافتی پسماند فورفورال و پلی اتیلن سنگین بودند و عامل ثابت مالئیک انیدرید و نسبت های وزنی، دقیقاً قبل از فرایند اختلاط مواد انجام شد. درصد وزنی اجزای کامپوزیت های ساخته شده با ذکر علائم اختصاری بکار رفته برای هر تیمار در جدول ۳ آورده شده است.

در این تحقیق از پسماند تولید فورفورال از باگاس (تهیه شده از شرکت نفت بهران) به عنوان پرکننده در ترکیب چندسازه استفاده شد. پس از آسیاب کردن پسماند، ذرات عبور کرده از مش ۴۰ و باقی مانده روی مش ۶۰ به عنوان پرکننده سلولزی مورد استفاده قرار گرفت.

عامل سازگار کننده

مالئیک انیدرید گرافت شده (پیوند شده) با پلی اتیلن (PE-g-MA) توسط شرکت آریا پلیمر پیشگام (واقع در شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان) ساخته شده بود. از این عامل سازگارکننده به منظور بهبود چسبندگی بین پلی اتیلن آب گریز (غیر قطبی) و پسماند سلولزی آب دوست (قطبی) استفاده

جدول ۲- مشخصات عامل سازگار کننده

نام تجاری محصول	درصد مالئیک	درصد میزان استفاده	شاخص جریان مذاب
PEGW 220	۲-۲/۵	۱/۵-۲/۵	gr/ ۱۰ min (۲۳۰ °C, ۲/۱۶ kg)
			۶±۱

جدول ۳- درصد اجزای تشکیل دهنده چندسازه در تیمارهای مختلف

شماره تیمار	پسماند باگاس (%)	پلی اتیلن سنگین بازیافتی (%)	عامل چفت کننده (%)
۱	۲۰	۷۸	۲
۲	۳۰	۶۸	۲
۳	۴۰	۵۸	۲

آماده سازی مواد قبل از ساخت نمونه ها

عمل اختلاط نمونه ها توسط دستگاه کولین^۱ واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران انجام شد. این دستگاه یک اکسترودر دو مارپیچه همسوگرد ساخت کشور آلمان است. اکسترودر دارای پنج نقطه حرارتی با دماهای

۱۴۵، ۱۵۰، ۱۵۵، ۱۶۰ و ۱۶۵ درجه سانتی گراد است. این دستگاه ظرفیت مخلوط سازی ۴۰۰ گرم مواد در هر نوبت را دارد و با سرعت گردش ۶۰ دور بر دقیقه کار می کند.

پس از اختلاط، مواد خروجی از اکسترودر به صورت مفتولی ضخیم از دستگاه خارج می شوند که پس از خنک و سخت شدن، به منظور تهیه گرانول برای استفاده در دستگاه تزریق، از دستگاه خردکن نیمه صنعتی Wieser مدل WG-

1-Collin

جدول ۴ ذکر شده است.

Ls 200 ساخت کشور آلمان واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران استفاده شد.

ساخت نمونه‌ها

برای ساخت نمونه‌ها از دستگاه قالب‌گیری تزریقی نیمه‌صنعتی مدل EM80 ساخت شرکت ایمن ماشین در سال ۱۳۷۶ استفاده شد. طراحی قالب تزریق به‌گونه‌ای است که در هر بار تزریق، نمونه‌های استاندارد آزمون کششی (نمونه‌های دمبلی)، خمشی (نمونه‌های ساده) و آزمون ضربه (نمونه‌های فاق‌دار) به‌دست آمدند. دمای سیلندر تزریق 180°C ، فشار تزریق ۱۰۰ بار و زمان دوره تزریق کمتر از ۲۰ ثانیه در نظر گرفته شد و نمونه‌ها پس از ۳-۲ دقیقه از قالب بیرون آورده شدند.

جدول ۴- آزمون‌های مکانیکی و استانداردهای مربوطه

نوع آزمون	تعداد تکرار در هر تیمار	استاندارد مورد استفاده
خمش	۳	ASTM D - 790
کشش	۳	ASTM D - 638
ضربه	۳	ASTM D - 256

آزمون‌های مکانیکی

آزمون‌های انجام شده به همراه استاندارد مربوطه در

طیف‌سنجی FTIR: طیف‌ها با استفاده از دستگاه طیف-سنج مدل FTIR Equinox 55 ساخت شرکت Bruker آلمان مورد بررسی قرار گرفت. لازم به توضیح است با توجه به حداکثر بودن مقاومت و مدول کششی و خمشی چندسازه، با افزودن ۳۰ درصد پسماند فورفورال، طیف FTIR فقط برای این چندسازه بررسی شد.

مقایسه آماری

برای مقایسه اختلاف آماری بین میانگین نتایج به‌دست آمده از روش تجزیه واریانس یک‌طرفه با کمک نرم‌افزار SPSS استفاده شد. البته گروه‌بندی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

نتایج

در جدول ۵، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل خصوصیات مکانیکی چندسازه تهیه شده ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که اثر افزودن پرکننده در سه سطح مورد بررسی بر میانگین همه مقاومت‌های چندسازه معنی‌دار است.

جدول ۵- تجزیه و تحلیل آماری مقاومت‌های چندسازه ساخته شده

مقدار F	سطح معنی‌داری	صفات
۱۰/۳۷۵	۰/۰۱۱*	مقاومت کششی
۱۰/۷۶۳	۰/۰۱۰**	مدول کششی
۴۸/۰۴۱	۰/۰۰۰**	مقاومت خمشی
۸/۳۸۴	۰/۰۱۸*	مدول خمشی
۲۹/۰۴۸	۰/۰۰۱**	مقاومت به ضربه فاق‌دار

**معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹٪

*معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪

اختلاف معنی‌دار بین میانگین این ویژگی‌ها، گروه‌بندی میانگین‌ها توسط آزمون دانکن انجام شد که با حروف

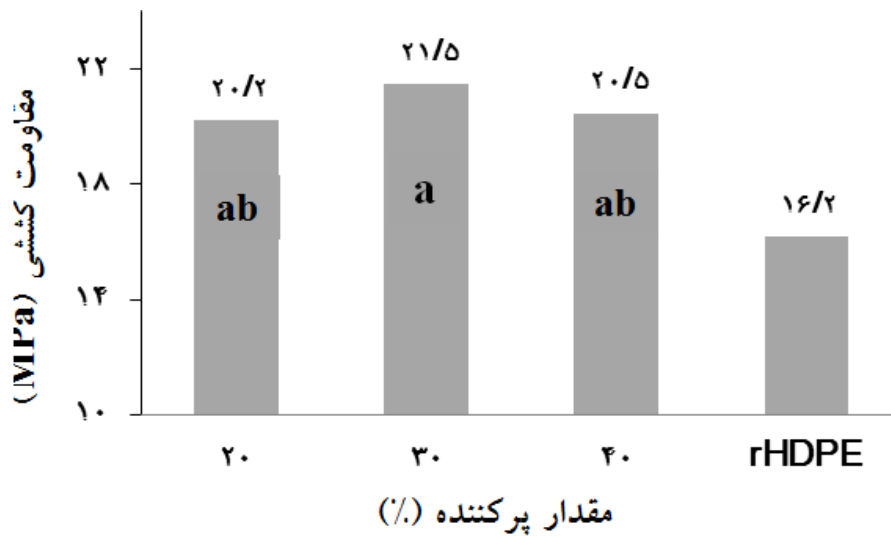
شکل‌های ۱ تا ۵ اثرات مقدار پرکننده بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه را نشان می‌دهد. با توجه به وجود

کوچک در این شکل‌ها مشخص شده است.

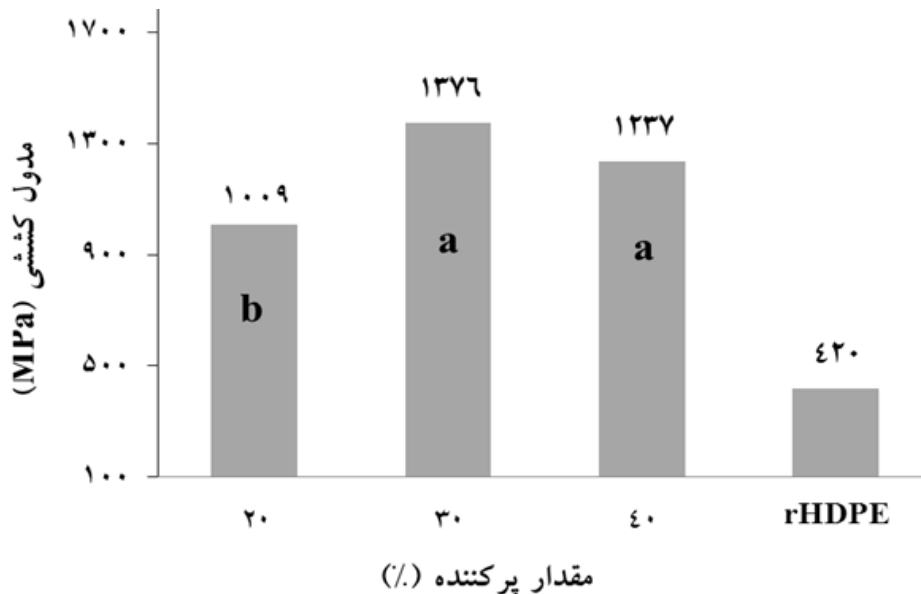
شکل ۱ نشان می‌دهد که با افزودن پرکننده در سطح ۳۰٪، مقاومت کششی چندسازه نسبت به نمونه شاهد (پلی اتیلن سنگین بازیافتی) بیشترین افزایش را داشته است. این در حالیست که میانگین این مقاومت برای دو سطح ۲۰ و ۴۰ درصد در گروه ab و برای سطح ۳۰ درصد در گروه a

قرار گرفته است.

شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزودن پرکننده در سطح ۳۰٪، مدول کششی چندسازه نسبت به نمونه شاهد (پلی اتیلن سنگین) بیشترین افزایش را داشته است. این در حالیست که میانگین مدول کششی برای سطح ۲۰ در گروه b و برای سطح ۳۰ و ۴۰ درصد در گروه a قرار گرفته است.



شکل ۱- تأثیر مقدار پرکننده بر مقاومت کششی

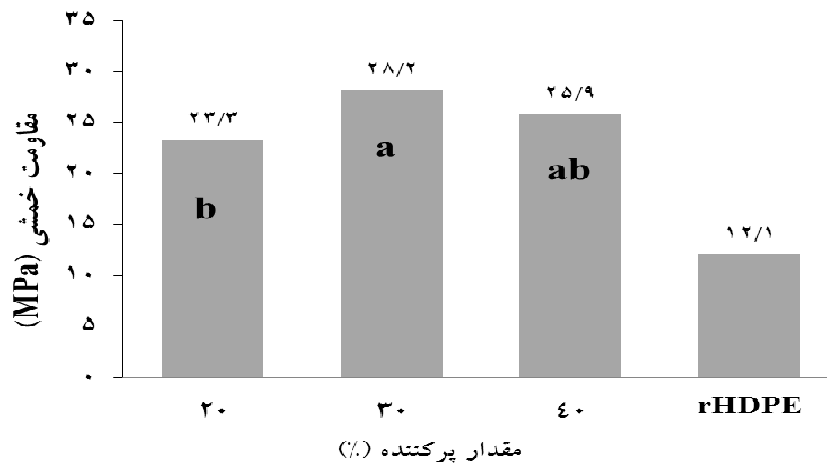


شکل ۲- تأثیر مقدار پرکننده بر مدول کششی

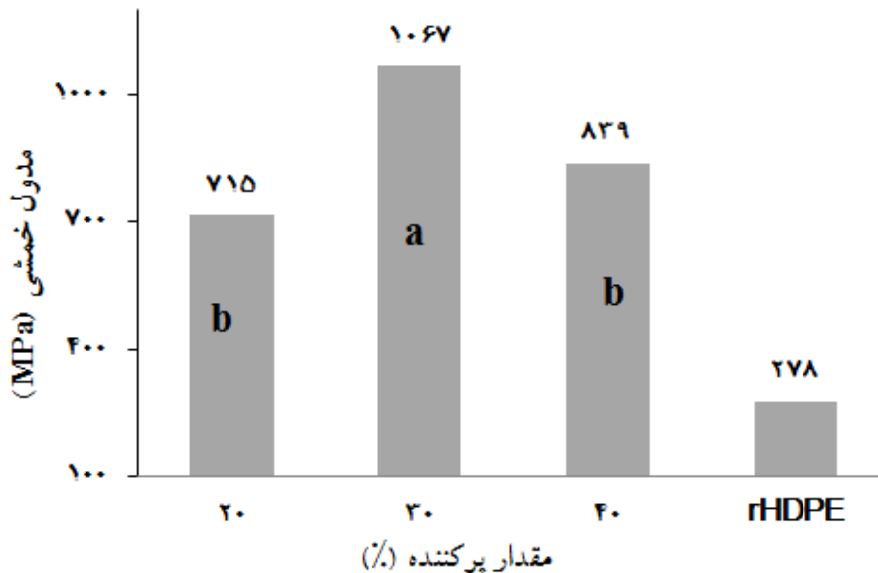
1- Recycled high density polyethylene (rHDPE)

شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزودن پرکننده در سطح ۳۰٪، مدول خمشی چندسازه نسبت به نمونه شاهد (پلی اتیلن سنگین) بیشترین افزایش را داشته است. این در حالیست که میانگین این مقاومت برای دو سطح ۲۰ و ۴۰ درصد در گروه b و برای سطح ۳۰ درصد در گروه a قرار گرفته است.

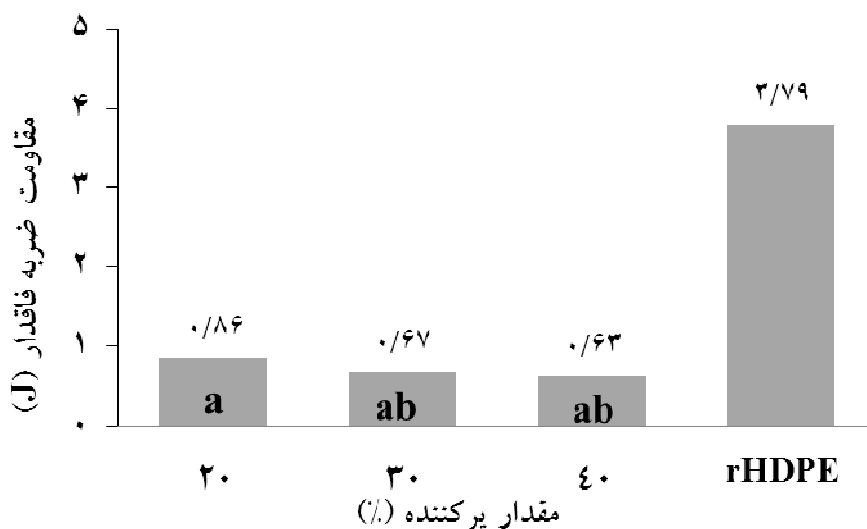
شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزودن پرکننده در سطح ۳۰٪، مقاومت خمشی چندسازه نسبت به نمونه شاهد (پلی اتیلن سنگین) بیشترین افزایش را داشته است. این در حالیست که میانگین مقاومت خمشی برای سطح ۲۰ درصد گروه b، ۴۰ درصد در گروه ab و برای سطح ۳۰ درصد در گروه a قرار گرفته است.



شکل ۳- تأثیر مقدار پرکننده بر مقاومت خمشی



شکل ۴- تأثیر مقدار پرکننده بر مدول خمشی



شکل ۵- تأثیر مقدار پرکننده بر مقاومت به ضربه فاقدار

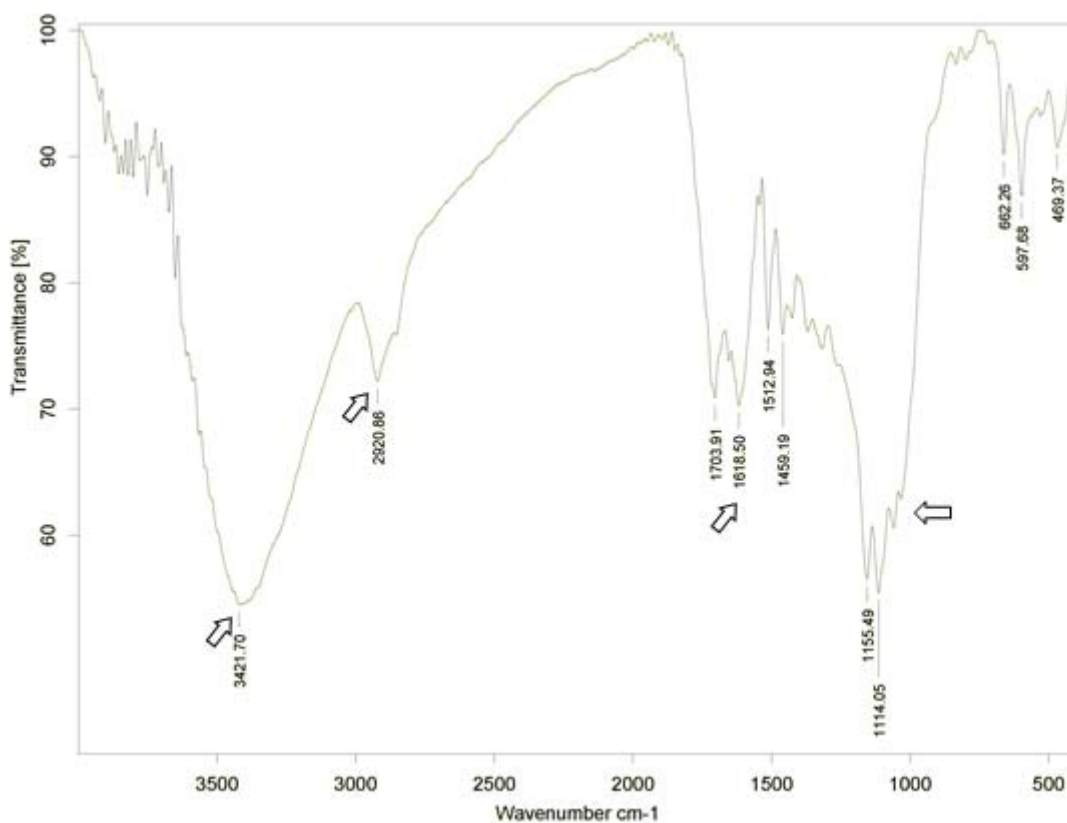
آروماتیکی در لیگنین است. شدت جذب در محدوده $1200-1280 \text{ cm}^{-1}$ به گروه‌های C-O-C است. در نمونه پسماند تولید فورفورال از باگاس شدت جذب پیوند کشش C-O در سلولز و همی سلولز در محدوده $1000-1050 \text{ cm}^{-1}$ را نشان می‌دهد.

شکل ۷ طیف به دست آمده از چندسازه حاوی ۳۰ درصد پسماند تولید فورفورال از باگاس را نشان می‌دهد. در محدوده $2800-3000 \text{ cm}^{-1}$ پیوند کششی C-H متمرکز شده است که شدت آن در محدوده 2915 cm^{-1} نسبت به دو محدوده 2848 cm^{-1} و 2960 cm^{-1} بیشتر است. علاوه بر آن، در محدوده $1750-1600 \text{ cm}^{-1}$ پیوند کشش ضعیف کربونیل (C=O) قابل مشاهده است. شدت جذب در محدوده $1200-1280 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به گروه‌های C-O-C است که در محدوده 1260 cm^{-1} شدت جذب بیشتر است. شدت جذب پیوند کشش C-O در محدوده $1000-1050 \text{ cm}^{-1}$ مشاهده شد. همچنین شدت جذب پیوند کشش C-O در سلولز و همی سلولز در محدوده $1000-1050 \text{ cm}^{-1}$ قابل مشاهده است.

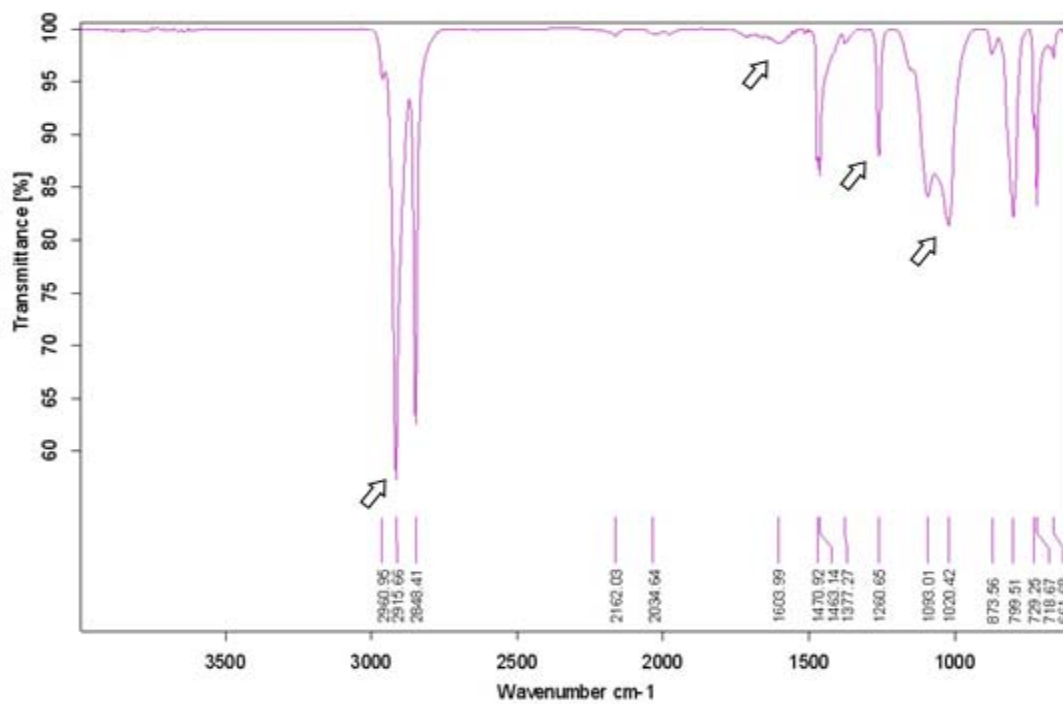
شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزودن پرکننده در سطح ۴۰٪، مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه نسبت به نمونه شاهد (پلی اتیلن سنگین) بیشترین کاهش را داشته است. این در حالیست که میانگین این مقاومت برای دو سطح ۳۰ و ۴۰ درصد در گروه ab و برای سطح ۲۰ درصد در گروه a قرار گرفته است.

بررسی طیف‌های FTIR

شکل ۶ طیف به دست آمده از پسماند تولید فورفورال از باگاس را نشان می‌دهد. در محدوده 3450 cm^{-1} - 3300 cm^{-1} پیوند کششی قوی O-H متمرکز شده است و یک جذب دوتایی از ارتعاشات کششی C-H در محدوده 2920 cm^{-1} متمرکز شده است. محدوده $1750-1700 \text{ cm}^{-1}$ کشش C=O غیر مزدوج و مرتبط با گروه‌های کربونیل، آلدهید و کتون موجود در لیگنین و همی سلولزها (زایلان) است. جذب در حدود 1618 cm^{-1} احتمالاً مربوط به دیگر ترکیبات دارای گروه‌های کربونیل در چوب و H_2O جذب شده در سلولز را نشان می‌دهد. شدت جذب پیوند C=C در محدوده $1660-1618 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ساختار



شکل ۶- طیف FTIR نمونه خام پسماند تولید فورفورال از باگاس



شکل ۷- طیف FTIR نمونه حاوی ۳۰ درصد پسماند تولید فورفورال از باگاس

بحث

تأثیر مقدار پرکننده بر مقاومت و مدول کششی و خمشی در این تحقیق ملاحظه گردید که با افزایش مقدار پرکننده از ۲۰ به ۳۰ درصد وزنی، میزان تنش قابل تحمل ماده مرکب بر اثر وجود فاز تقویت کننده افزایش می یابد که باعث افزایش مقاومت کشش و خمشی، مدول کششی و خمشی چندسازه چوب پلاستیک شده که این با نتایج George *et al.*, 2001; Kokta and Maladas, 1990; Nourbakhsh *et al.*, 2005 مطابقت دارد. با افزایش ۴۰ درصدی پرکننده به واسطه مترکم شدن ذرات و عدم یکنواختی توزیع آنها در ماده زمینه با افزایش مقدار پرکننده، میزان چسبندگی ذرات به پلیمر کاهش یافته و انتقال تنش وارده در اثر ساختار متخلخل لیگنین محدود می شود. حفرات موجود در چندسازه موجب تراکم تنش های وارده شده و شکست در این نقاط اتفاق می افتد. از طرف دیگر، سطح تماس بین دو فاز (پرکننده و ماده زمینه) با وجود حفرات بین دو ماده کاهش خواهد یافت (Schorr و همکاران، ۲۰۱۴).

همچنین Samal و همکاران (۲۰۱۳) عدم سازگاری بخش قطبی و آب دوست لیگنین با پلی اتیلن و نیز عدم پراکندگی یکنواخت ذرات پرکننده و در نتیجه چسبندگی ضعیف بین سطوح دو ماده را علت کاهش مقاومت کششی با افزایش بیشتر لیگنین از ۱۵ تا ۳۰ درصد عنوان نموده اند.

از طرف دیگر Fazi (۲۰۱۲) افت مدول کششی چندسازه با استفاده از الیاف بیشتر را به علت وجود حد آستانه ای^۱ برای افزودن الیاف سلولزی می داند که خود به دلیل توزیع ضعیف الیاف در ماده زمینه و تشکیل فاز غیر پیوسته با افزودن الیاف بیشتر از ۱۵ درصد است.

در این تحقیق ملاحظه گردید که با افزایش مقدار پرکننده از ۲۰ به ۴۰ درصد وزنی، مقاومت به ضربه فاق دار چندسازه چوب پلاستیک کمی کاهش می یابد. یعنی افزودن پرکننده به پلیمر تا حدودی موجب کاهش مقاومت به ضربه فاق دار شده است. در آزمون ضربه، توانایی چندسازه به

جذب بار ناگهانی در نقطه شکست اندازه گیری می شود. تقابل بین ذرات سلولزی نزدیک به هم موجب افزایش شکنندگی ماده زمینه (پلیمر) شده و موجب شکل گیری ترک هایی در آن می شود (Tong و همکاران، ۲۰۱۳). از طرف دیگر، کاهش انعطاف پذیری ماده زمینه با افزایش نسبت پرکننده می تواند موجب کاهش مقاومت به ضربه چندسازه شود (Nourbakhsh & Ashori, 2009).

با افزایش درصد پرکننده عدم سازگاری بین پرکننده و ماده زمینه بیشتر شده و فرآورده در مقابل ضربه ضعیف تر می شود. در واقع به دلیل کاهش چقرمگی (ضربه پذیری) و افزایش تردی نمونه ها، مقاومت به ضربه کاهش پیدا می کند (Klyosov, 2007; Razavi-Nouri *et al.*, 2006). همچنین حضور ماده لیگنوسلولزی، انرژی جذب شده توسط چندسازه چوب پلاستیک را افزایش می دهد، از این رو افزودن پرکننده لیگنوسلولزی مناطقی را در شبکه پلیمری به وجود می آورد که موجب تمرکز بیشتر تنش در ماتریس پلیمری شده و نقاط شروع شکست را ایجاد می کند و رشد ترک را از آن ناحیه آغاز می کند (Nourbakhsh *et al.*, 2004; Tajvidi, 2005). البته کاهش مقاومت به ضربه چندسازه با افزایش پرکننده سلولزی، با نتایج به دست آمده توسط Cui *et al.*, Yang *et al.*, 2004; Kord, 2009 و Azeez, 2013 هم خوانی دارد.

طیف سنجی

نتایج طیف سنجی FTIR نشان داد که باندهای جذبی گروه های کربونیل C=O و اتصالات در نواحی 1750 cm^{-1} - 1600 در حضور عامل سازگار کننده انیدرید مالئیک پلی-اتیلنی تا حدود کمی افزایش یافته و این پدیده باعث افزایش ویژگی های مکانیکی در چندسازه چوب پلاستیک در هنگام استفاده از ۳۰ درصد الیاف پسماند تولید فورفورال از باگاس شده است. در واقع، باندهای جذبی اتصالات در نواحی مختلف با حضور عامل جفت کننده تشکیل شده است. میزان جذب گروه های کربونیل در باندهای جذبی 1750 cm^{-1} - 1600 در فرآورده چندسازه مرکب نشان دهنده به وجود

1- Threshold

آمدن اتصالات شیمیایی در چندسازه است.

منابع مورد استفاده

- Nourbakhsh, A., Karegarfard, A. and Ashori, A., 2010. Effects of Particle Size and Coupling Agent Concentration on Mechanical Properties of Particulate-filled Polymer Composites, *Thermoplastic Composites Material*, 23(2), 169-174.
- Nourbakhsh, A., Karegarfard, A. Gholbabaie, F. and Hajihassani, R., 2011. Effect of chemical processes occurring in the composite wood - plastic and its relation to mechanical properties, In: *Proceeding of the first national conference on forest and wood and paper industry*, Islamic Azad University, Astara, 545-555.
- Klyosov, A.A., 2007. *Wood Plastic Composites*. Wiley Publishing, 726p.
- Kokta, B.V., and Maladas, D., 1990. Composites of Polyvinyl Chloride wood fibers. *Journal of Polymer Plastic Technology*, 20 (1-2), 87-118.
- Razavi Nouri, M., Jafar Zadeh, F., Oromiehei, A., and Ershad Langroudi, A., 2006. Mechanical Properties and Water Absorption Behavior of Chopped Rice Husk Filled Polypropylene Composites. *Iranian Polymer Journal*, 15, 9(75), 757-766.
- Samal, S.K., Fernandes, E.G., Corti, A., and Chiellini, E. 2013. Bio-based Polyethylene-Lignin Composites Containing a Pro-oxidant/Pro-degradant Additive: Preparation and Characterization, *J Polym Environ*, 22(1), 52-68.
- Schorr, D., Rodrigue, D., Diouf, P.N., and Stevanovic, T., 2014. Recycled Polystyrene Composites Reinforced With Esterified and Non-Esterified Kraft Lignins, *Journal of Materials Science Research*, 4(1), 63-74.
- Shokrieh, M., M., and Sonbolestan, S., E., 2008. Effects of Structural Parameters on Mechanical Properties Polymer/Clay Nanocomposites, *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 20(2), 187-195.
- Tajvidi, M., 2004. Engineering and viscoelastic properties of thermoplastic polymers and composite materials made from natural fibers using dynamic analysis - mechanical (DMA), Ph.D Thesis, Department Wood and Paper, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, Karaj, 178p.
- Tong, J.Y., Royan, N.R.R., Ng, Y.C., Ghani, M.H.A., and Ahmad, S., 2013. Study of the mechanical and morphology properties of recycled HDPE composite using rice husk filler, *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 938961, 6 p.
- Yang, H.S., H.J. Kim, J. Son, H.J. Park, B.J. Lee, and Hwang, T.S., 2004. Rice-husk flour filled polypropylene composites: mechanical and morphological study. *Journal composites structures*, 63, 305-312.
- Yousefi, H., 2007. The possibility of using canola straw medium density fiberboard production (MDF). Master's thesis. College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, Karaj, 132p.
- Ashori, A. and Nourbakhsh, A., 2009. Mechanical behavior of agro-residue-reinforced polypropylene composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 111(5), 2616-2620.
- Azeez, T.O., 2013. Effect of rice husk filler on mechanical properties of polyethylene matrix composite, Federal University of Technology Owerri. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 5(15):111-118.
- Basiji, F., Safdari, V., Nourbakhsh, A. and Pilla, S., 2009. The effect of fiber Length Loading on the mechanical properties of Wood-Plastic (Polypropylene) Composites. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34, 191-196.
- Chen, H.C., Chen, T.Y., and Hsu, C.H., 2005. Effects of Wood Plastic Size and Mixing Ratios of HDPE on the Properties of the Composites. *Springer-Verlog*, 64, 172-177.
- Cui, Y. S., Lee, B., Noruzian, M. Cheung, and Tao, J., 2008. Fabrication and interfacial modification of wood/recycled plastic composite materials, *Composites Part A*, 39 (4), 655-661.
- Fazi, M., 2012. A Study of Fibre-Matrix Interactions in Biodegradable Kraft Pulp Fibre-Reinforced Polylactic Acid Composites, *Masters of Applied Science, Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry University of Toronto*, 85p.
- George, J., Sreekala, M.S. and Thomas, S., 2001. A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites, *Polymer engineering and Science*, 41(9), 1471-1485.
- Jadidian, F., 2015. Study of thermal energy and activated carbon from waste bagasse. Master's thesis, Department Wood and Paper, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, 73p.
- Kord, B., 2009. Characterization of physical, mechanical and morphological hybrid composite wood flour - polypropylene and nano-filler, Ph.D thesis, Department Wood and Paper, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, 198p.
- Nourbakhsh, A., Dusthosseini, K., Jahanlatibari, A., and Hosseinzadeh, A., 2005. Effect of the type, quantity and temperature of the mixture of cellulose fibers on mechanical properties of wood fiber polymer composites, *Journal of Forest and Wood Products*, 57(4), 765-775.
- Nourbakhsh, A., and Ashori, A., 2009. Preparation and Properties of Wood Plastic Composites Made of Recycled High-density Polyethylene, *Journal of Composite Materials*, 43(8). 877-883.

Investigation on mechanical properties of composite from recycled HDPE filled by furfural residue produced from bagasse

H. Ahmadi¹, H. Hamassi² and S. Mahdavi^{3*}

1- M.Sc., Student of wood and paper science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Associated Prof., Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3*- Corresponding author, Associated Prof., Wood and forest product, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran, Email: smahdavi43@rifr-ac.ir

Received: Feb., 2014 Accepted: April, 2015

Abstract

The aim of this study was to investigate the mechanical properties of composite produced using recycled HDPE (high-density polyethylene) filled by furfural residue produced from bagasse. For this purpose, rHDPE was used at three levels 58, 68 and 78% and furfural residue as a filler was added at levels of 20, 30 and 40%. The grafted maleic anhydride with polyethylene (PE-g-MA) was used at constant amount of 2% as compatibilizer which was purchased from Arya polymer Co. The ingredients were mixed using two screw extruder and test pieces were made using injection molding method. Composite properties such as tensile strength, flexural and V-notch impact were measured according to ASTM test methods. The results showed that with increasing the filler content from 20 to 30% by weight, tensile modulus and flexural strength increased compared to the control and then reduced at 40 percent of filler. FTIR spectroscopy of the furfural residue and composite filled by 30% was carried out. Also, by increasing the filler content from 20 to 40% by weight, V-notch impact strength of composite decreased. FTIR spectroscopy revealed that the absorption bands of carbonyl groups (C=O) in 1750-1600 cm^{-1} wavelength was slightly increased if maleic anhydride compatibilizer was used. The maximum increases on mechanical properties of composite were achieved using 30% residual furfural as filler.

Keywords: rHDPE, furfural residue, mechanical properties, FTIR spectroscopy.