

بررسی رفتار خزش چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی

سامان قهری^۱ و سعید کاظمی نجفی^{۲*}

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت مدرس

^۲ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

در این پژوهش، رفتار خزش چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی (با سازگار کننده و بدون آن) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور، پنج مرحله تخریب گرمایی (ترمو مکانیکی مصنوعی پلی پروپیلن با دستگاه تزریق چسب (اکسترودر) دو ماریچ در شرایط کنترل شده با شتاب ۱۰۰ rpm و دمای ۱۹۰ °C صورت گرفت. پلی پروپیلن دست اول (بکر و بازیافتی) و آرد چوب با نسبت ۵۰ درصد وزنی در بود و نبود سازگار کننده (MAPP) با دستگاه تزریق چسب دو ماریچ مخلوط شده و در نهایت باریکه‌هایی با سطح مقطع ۱۰ mm (ضخامت) در ۷۰ mm (پهنا) ساخته شدند. آزمون خزش خمشی کوتاه مدت در ۱۲۰ دقیقه (۶۰ دقیقه خزش و ۶۰ دقیقه بازگشت) انجام شده است. میزان بارگذاری در آزمون خزش بر پایه ۳۰ درصد از بار شکست نمونه‌ها (حاصل از آزمون خمشی ایستا) تعیین شد. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که با افزایش بارهای بازیافت پلی پروپیلن مقاومت به خزش در چندسازه ساخته شده از پلی پروپیلن بازیافتی و آرد چوب کاهش می‌یابد. همچنین نتایج بررسی های اثرگذاری سازگار کننده بر رفتار خزشی نشان داد که در بود سازگار کننده MAPP تغییر شکل خزشی، ضریب خزش و خزش نسبی کاهش و مدول خزش در چندسازه‌های مورد بررسی افزایش می‌یابد. بیشترین مقاومت به خزش در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دست اول در بود سازگار کننده دیده شد.

واژه های کلیدی: بازیافت پلی پروپیلن؛ خزش؛ چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دست اول (بکر)؛ سازگار کننده؛

مقدمه

در سالهای اخیر رشد فزاینده مصرف مواد پلاستیکی و بهره گیری گسترده از این مواد در کاربردهای مختلف سبب افزایش میزان پسماندهای پلاستیکی شده است. از سویی نداشتن زیست تخریب پذیری و تاثیر منفی پسماندهای پلاستیکی بر محیط زیست و منابع طبیعی و از سوی دیگر مسایل اقتصادی مانند افزایش قیمت مواد خام هیدرو کربنی، افزایش هزینه راه اندازی و نگهداری کوره های زباله سوزی، افزایش خطرهای زیست محیطی سوزاندن و دفن پلاستیک ها سبب شده که جامعه های علمی، بهداشتی و صنعتی به دنبال راه حل های مناسبی برای کاهش اثرگذاری های منفی پسماندهای پلاستیکی به وسیله بازیافت آنها باشند. در این راستا امکان سنجی ساخت چندسازه چوب- پلاستیک از پلاستیک های پسماندی، به عنوان یکی از مناسب ترین راه حل های بازیافت و استفاده دوباره پلاستیک های پسماندی مورد توجه محققان و صنایع مربوط قرار گرفته است. نتایج بررسی های آزمون گرمایی پلاستیک های بازیافتی نیز نشان داده است که همانند پلاستیک های دست اول، پلاستیک های بازیافتی که نقطه ذوب زیر دمای تخریب مواد چوبی (حدود 200°C) داشته باشند قابل استفاده در ساخت چندسازه چوب پلاستیک می باشند (۸).

در بسیاری از کاربردها، پایداری مواد پلیمری اهمیت دارد، به طوری که اغلب قطعه های پلیمری سفت باید بتوانند میزان معینی تنش برای مدتی طولانی را بدون تغییر ابعاد تحمل کنند. بر این پایه یکی از ویژگی های مهم و کاربردی چندسازه های پلیمری و همچنین چندسازه چوب- پلاستیک رفتار وابسته به زمان (مانند خزش) آن می باشد. به طور کلی، تغییر شکل وابسته به زمان محصول با یک بار ثابت و دمای ثابت به عنوان خزش شناخته می شود.

اگر چندسازه های چوب- پلاستیک در شرایط بار کوتاه مدت و یا بار بلند مدت قرار گیرند، بررسی خزش (خیز تدریجی) می تواند به عنوان یک مشخصه (پارامتر) اصلی در کاربرد این مواد مورد توجه باشد. همچنین رفتار

خزشی می تواند در فیزیک و نمای ظاهری چندسازه نیز اثر گذار باشد. با توجه به ساختار چندسازه چوب پلاستیک، عامل های مختلفی بر رفتار خزشی آنها تاثیر می گذارند که از آن جمله می توان به میزان بارگذاری (۱۱،۷)، میزان و نوع پرکننده (۱۰ و ۱۳)، نوع پلاستیک و دست اول یا بازیافتی بودن آن (۱۱ و ۱۸)، استفاده از سازگار کننده (۲ و ۱۲)، رطوبت (۹) و دما (۳) اشاره کرد. Sain و همکاران (۲۰۰۰) خواص خزشی چندسازه چوب پلاستیک ساخته شده از چند نوع پلاستیک را باهم مقایسه کردند. این محققان بیان کردند که چندسازه هایی که پایه پلیمری آنها پلی پروپیلن، پلی اتیلن و پلی وینیل کلراید می باشد خزش به شدت به میزان بار، زمان و دما بستگی دارد (۱۶). Najafi و Kazemi Najafi (۲۰۰۹) اثرگذاری سطوح بارگزاری و نوع پلاستیک بر رفتار خزشی چندسازه آرد چوب- پلی اتیلن را مورد بررسی قرار دادند. آنان بیان کردند که در همه سطوح بارگزاری چندسازه ساخته شده از پلی اتیلن دست اول جابجایی بیشتری از خود نشان می دهد، اما با افزودن پلی اتیلن پسماندی میزان این جابجایی کاهش می یابد (۱۱). Bledzki و Faruk (۲۰۰۴) نیز اثرگذاری دما، طول الیاف و سازگارکننده (MAPP) بر رفتار خزشی مواد مرکب چوب- پلاستیک تولیدی از الیاف چوب و پلی پروپیلن را بررسی کردند. نتایج نشان دادند که نمونه های تیمار شده با سازگارکننده مدول خزشی بالاتری دارند و با افزایش دما مدول خزشی کاهش می یابد (۳). چندسازه های چوب- پلاستیک، جزو مواد با طبیعت گرانیوی کشسانی (ویسکوالاستیک) طبقه بندی می شوند (۱) و در ساخت اعضای سازه های مهندسی شده به کار می روند که مسئله بار ثابت وارد بر آنها بسته به نوع کاربرد، اهمیت دارد. بنابراین با توجه به اهمیت قابل توجه (زیست محیطی و اقتصادی) بازیافت پلاستیک ها و استفاده دوباره و سودمند از آنها برای تولید چندسازه چوب- پلاستیک با ویژگی های بهینه (اپتیمم)؛ این پژوهش با هدف ارزیابی اثرگذاری های پلی پروپیلن بازیافتی و سازگار کننده بر رفتار خزش چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش از پلی‌پروپیلن با شاخص جریان مذاب $5/8g/10min$ ساخت شرکت پلی‌نار استفاده شد. آرد چوب مورد استفاده در این تحقیق از خاک اره چوب گونه راش پس از غربال کردن با الک چشمه $40/-+60$ تهیه شد. از پلی‌پروپیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید (MAPP) ساخت شرکت کیمیا جاوید با شاخص جریان مذاب $100g/10min$ و $1/1$ درصد مالئیک انیدرید پیوند خورده به عنوان سازگار کننده استفاده شد.

آماده سازی پلی‌پروپیلن باز یافتی

پنج مرحله تخریب گرمایی مکانیکی روی پلی‌پروپیلن دست اول به عنوان شاخصی از بارهای باز یافت در دستگاه تزریق چسب دومار دونه (پیچ) نا همسوگرد (مدل ۴۸۱۵ WPC- ساخت شرکت برنا پارس مهر) در دمای $190^{\circ}C$ و شتاب $100rpm$ انجام گرفت. به منظور بررسی رفتار مذاب پلی‌پروپیلن در مراحل باز یافت شاخص جریان مذاب همه پلاستیک‌ها در هر مرحله برابر آیین نامه ۹۸-ASTM D ۱۲۳۸ در دمای $230^{\circ}C$ و با وزنه $2/164 kg$ با ماشین اندازه‌گیری شاخص جریان مذاب مدل D-20 SIT تعیین شد (۱۹). پلی‌پروپیلن دست اول در دستگاه تزریق چسب ریخته شد و پس از خروج از دستگاه تزریق چسب با دستگاه آسیاب آزمایشگاهی به دانه (گرانول) تبدیل (دانه بندی) شد. این عمل تا پنج بار تکرار شد و دانه‌های به دست آمده از مراحل دوم و پنجم برای ساخت چندسازه گزینش شدند.

فرآیند اختلاط و ساخت نمونه

پلی‌پروپیلن (دست اول و باز یافتی)، آرد چوب خشک شده (در آون با دمای $80^{\circ}C$ به مدت ۲۴ ساعت) و سازگار کننده (MAPP) برابر جدول ۱ در یک مخلوط کن آزمایشگاهی با شتاب $1500 rpm$ به منظور دستیابی به یک اختلاط به نسبت همگن پیش مخلوط شدند. آنگاه

اختلاط حاصل با دستگاه تزریق چسب دو ماردونه ناهمسوگرد به باریکه‌های با سطح مقطع $10 mm$ (ضخامت) در $70 mm$ (پهنا) تبدیل شدند. شتاب و دمای تزریق چسب برای تولید رخ نما (پروفیل) برابر با جدول ۲ تنظیم شد. نمونه‌ها در دمای $2 \pm 23^{\circ}C$ و رطوبت نسبی $3\% \pm 65\%$ به مدت دوهفته پیش از انجام آزمون‌ها شرایط دهی شدند. و سپس برای تهیه نمونه‌های آزمون برای آزمون‌های پیش‌بینی شده برابر استانداردها برش داده شدند. برای هر تیمار ۵ تکرار در نظر گرفته شد. از آزمون مشخصه ای تجزیه واریانس یک سویه (ANOVA) برای بررسی امکان وجود اختلاف آماری معنی‌دار بین مقادیر ویژگی‌های مکانیکی و خزش چندسازه چوب-پلاستیک استفاده شد و پس از اثبات وجود چنین تفاوتی، از آزمون چند دامنه دانکن (Duncan) برای گروه بندی میانگین‌ها استفاده شد.

آزمون خمش سه نقطه‌ای

مدول کشسانی و مقاومت خمشی با آزمون خمش سه نقطه‌ای برابر با آیین نامه ۰۴-۷۰۳۱ D استاندارد ASTM اندازه‌گیری شدند (۲۰). این آزمون با استفاده از ماشین آزمون مکانیکی Dartec با شتاب بارگذاری $5 mm/min$ و ظرفیت یافته (سلول) $50 KN$ انجام شد.

جدول ۱- درصد اجزای تشکیل دهنده ترکیب تیمارهای مختلف چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن

ترکیب تیمار	پلی پروپیلن بکر (%)	پلی پروپیلن دوبار بازیافتی (%)	پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی (%)	آرد چوب (%)	سازگار کننده MAPP (%)
WVPP	۵۰	-	-	۵۰	۰
WVPPMA	۴۸	-	-	۵۰	۲
WR2PP	-	۵۰	-	۵۰	۰
WR2PPMA	-	۴۸	-	۵۰	۲
WR5PP	-	-	۵۰	۵۰	۰
WR5PPMA	-	-	۴۸	۵۰	۲

آرد چوب (W)، پلی پروپیلن بکر (VPP)، پلی پروپیلن دوبار بازیافتی (R2PP)، پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی (R5PP) سازگار کننده (MAPP).

جدول ۲- شرایط مورد استفاده در دستگاه اکسترودر برای ساخت چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن

دما (C°)						
بخش اختلاط		بخش قالب		سرعت مارپیچها (rpm)		
۱۶۵	۱۸۰	۱۸۰	۱۷۷	۱۷۵	۱۶۵	۱۲۰

آزمون خزش

نمونه‌های خمشی استاندارد برای آزمون خزش مورد استفاده قرار گرفت. سطح بارگذاری ۳۰ درصد بیشینه بار شکست تعیین شد (جدول ۳). آزمون خزش خمشی کوتاه مدت برابر آیین نامه ۷۰۳۱-۰۴ D استاندارد ASTM با اندازه‌گیری پیوسته جابجایی نقطه میانی نمونه‌ها در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه (۶۰ دقیقه خزش و ۶۰ دقیقه بازگشت) در دمای 23 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 65 ± 2 ٪ با نشانگر رقمی مدل Mitutoyo ID-F125E انجام شد. در آزمون خزش مشخصه‌های زیر محاسبه و گزارش شده است. خزش نسبی: به عنوان درصدی از تغییر شکل آنی با رابطه ۱ محاسبه شد:

$$R_C = (J_t - J_0) / J_0 * 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن، R_C خزش نسبی (درصد)، J_t خزش در زمان t (mm) و J_0 خزش آنی (mm) می‌باشد. ضریب خزش: به

منظور پیش‌بینی خزش سازه زیر بار ثابت با رابطه ۲ محاسبه شد:

$$K_t = J_t / J_0 \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آن، K_t ضریب خزش برای بار ثابت در زمان t ، J_t خزش در زمان t (mm) و J_0 خزش آنی (mm) است. مدول خزش: که به صورت نسبت تنش ثابت به تغییر شکل وابسته به زمان تعریف می‌شود (۱۴) با استفاده از رابطه ۳ برابر با استاندارد ISO ۶۶۰۲ (۲۱) به دست آمد:

$$E_t = (L^3 F) / (4bh^3 S_t) \quad \text{رابطه ۳:}$$

که در آن، E_t مدول خزش در لحظه t (MPa)، L طول دهانه (mm)، F نیرو (N)، b پهناي نمونه (mm)، h ضخامت نمونه (mm) و S_t خزش در زمان t (mm) می‌باشد.

جدول ۳- تعیین بار آزمون خزش

بار (N)	حداکثر*	۳۰ درصد بار حداکثر	مواد
۱۸۸/۷	۶۲۹		WVPP
۲۷۸/۴	۹۲۸		WVPPMA
۱۴۲/۸	۴۷۶		WR2PP
۲۲۷/۷	۷۵۹		WR2PPMA
۹۵/۴	۳۱۸		WR5PP
۱۴۵/۲	۴۸۴		WR5PPMA

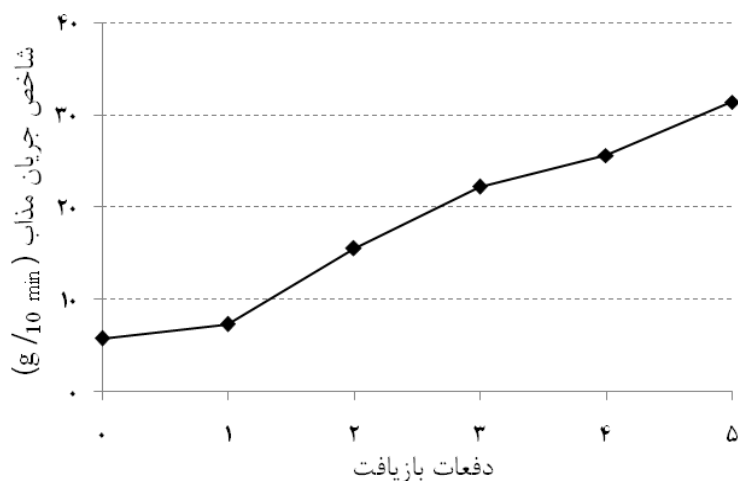
آرد چوب (W)، پلی پروپیلن بکر (VPP)، پلی پروپیلن دوبار بازیافتی (R2PP)، پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی (R5PP)، سازگار کننده (MAPP).
* بار حداکثر بوسیله آزمون خمش محاسبه شده است.

نتایج و بحث

رفتار مذاب پلی پروپیلن

شاخص جریان مذاب پلی پروپیلن‌های دست اول و بازیافتی در شکل ۱ نشان داده شده است. همان طور که دیده می‌شود با افزایش بارهای بازیافت، شاخص جریان

مذاب پلی پروپیلن افزایش می‌یابد. افزایش شاخص جریان مذاب نشان دهنده کاهش در وزن مولکولی و گرانیوی (ویسکوزیته) مذاب پلیمر در نتیجه تخریب زنجیرهای پلیمری پلی پروپیلن طی چرخه‌های شدید گرما و تنش با فرآیند اکستروژن می‌باشد (۱۵و۵).



شکل ۱- شاخص جریان مذاب پلی پروپیلن

خواص مکانیکی

شاخص جریان مذاب عنوان شد کاهش در وزن مولکولی و کاهش طول زنجیره پلیمری در اثر افزایش شدت تخریب گرمایی مکانیکی باعث کاهش مدول کشسانی و مقاومت خمشی پلی پروپیلن بازیافتی می شود (۱۵). همچنین اثرگذاری سازگار کننده بر ویژگی های مکانیکی چندسازه های مورد بررسی در جدول ۴ نشان داده شده است. در حضور ۲ درصد سازگار کننده مدول کشسانی و مقاومت خمشی چندسازه های ساخته شده از آرد چوب و پلی پروپیلن بازیافتی به طور معنی داری نسبت به مواد همانند بدون سازگار کننده افزایش نشان می دهند. در بود MAPP به دلیل افزایش سطح اتصال بین پلاستیک و آرد چوب، انتقال تنش از ماتریس به پرکننده بهینه می شود و ویژگی های مکانیکی مورد بررسی به طور معنی داری افزایش می یابند.

مدول کشسانی و مقاومت خمشی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن در جدول ۴ ارائه شده است. دیده می شود که در نبود سازگار کننده با افزایش بارهای بازیافت پلی- پروپیلن، مقاومت خمشی چندسازه ساخته شده از پلی- پروپیلن دوبار بازیافتی حدود ۲۹ درصد و چندسازه ساخته شده از پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی حدود ۴۶ درصد نسبت به چندسازه ساخته شده از پلی پروپیلن دست اول کمتر است. اما با افزایش بارهای بازیافت پلی- پروپیلن به دوبار مدول کشسانی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دوبار بازیافتی نسبت به چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دست اول افزایش می یابد که میزان این افزایش معنی دار نیست. با افزایش بارهای بازیافت به پنج بار مدول کشسانی به طور معنی داری در چندسازه مورد بررسی کاهش می یابد. همان طور که در مبحث

جدول ۴- مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی آرد چوب- پلی پروپیلن

مواد	مدول الاستیسیته (MPa)		مقاومت خمشی (MPa)	
	بدون سازگار کننده	با سازگار کننده	بدون سازگار کننده	با سازگار کننده
WVPP	۳۴۱۸ ^a (۲۱۸)**	۳۸۱۶ ^b (۷۱)	۲۷ ^c (۱/۳)	۳۸ ^a (۰/۶)
WR2PP	۳۸۲۹ ^b (۲۲۷)	۴۳۸۲ ^a (۵۰)	۱۹ ^d (۱/۹)	۳۳ ^b (۰/۷)
WR5PP	۲۷۳۳ ^c (۱۲۷)	۳۴۵۵ ^b (۲۴۱)	۱۵ ^e (۰/۹)	۲۰ ^d (۰/۵)

آرد چوب (W)، پلی پروپیلن بکر (VPP)، پلی پروپیلن دوبار بازیافتی (R2PP)، پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی (R5PP)

* حروف انگلیسی معرف گروه بندی دانکن می باشند

** اعداد داخل پرانتز معرف اشتباه معیار می باشند

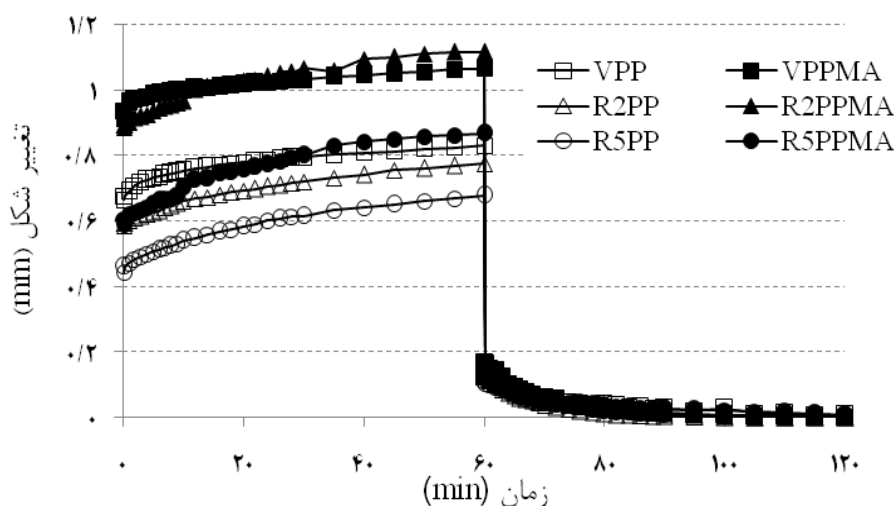
خزش

تحقیق، برای مقایسه تغییر شکل آنی و تغییر شکل بیشینه چندسازه های مختلف که زیر بارگذاری متفاوت بوده اند، از مقادیر خزش بر پایه واحد بار استفاده شده است. با این هدف میزان خزش (تغییر شکل) بر باری که ایجاد کننده خزش بوده است، تقسیم شده و میزان خزش بر پایه واحد بار به دست آمد. نتایج نشان می دهند که در نبود سازگار کننده میزان تغییر شکل آنی واحد بار در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دوبار بازیافتی و چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی به ترتیب ۱۸ و ۳۰ درصد نسبت چندسازه ساخته شده از

منحنی خزش- بازگشت چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن در شکل ۲ نشان داده شده است. مشخصه های مختلف خزش- بازگشت این مواد نیز در جدول ۵ آورده شده است. در این تحقیق، بارگذاری بر پایه ۳۰ درصد از بار شکست مواد (به دست آمده از آزمون خمش ایستا) بوده است و چون بار شکست نمونه ها با یکدیگر متفاوت است، بر این پایه میزان بارگذاری در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن ساخته شده از پلاستیک دست اول، دوبار بازیافتی و پنج بار بازیافتی متفاوت است. بنابراین در این

چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی بطور معنی داری کاهش می یابد. در نتیجه دیده می شود که تغییر شکل خزشی بطور قابل توجهی کاهش می یابد. همین طور در جدول ۵ دیده می شود که در بود ۲ درصد سازگار کننده تغییر شکل آبی واحد بار و هم تغییر شکل بیشینه واحد بار در چند سازه چوب- پلاستیک ساخته شده از پلی پروپیلن دست اول و بازیافتی کاهش نشان می دهد. همچنین در صورت استفاده از ۲ درصد سازگار کننده ضریب خزش نیز کم می شود. سازگار کننده با بهبود سطح مشترک بین ماده زمینه و پرکننده باعث انتقال بهتر تنش از پلی پروپیلن به آرد چوب می شود و در نتیجه تغییر شکل خزشی چندسازه چوب پلاستیک کاهش می یابد (۴).

پلاستیک دست اول بیشتر است. همچنین نتایج نشان می دهند، تغییر شکل بیشینه واحد بار چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دوبار بازیافتی و چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی نیز به ترتیب ۲۶ و ۵۵ درصد نسبت چندسازه ساخته شده از پلاستیک دست اول بیشتر است. جدول ۵ نشان می دهد که با افزایش بارهای بازیافت به دو و پنج بار ضریب خزش نیز افزایش می یابد. تغییر شکل خزشی چندسازه چوب- پلاستیک تا حدودی تحت تأثیر مدول کشسانی آن است و اغلب مواد با مدول بالا تغییر شکل خزشی کمتری دارند (۶). افزایش بارهای بازیافت به دو بار تأثیر معنی داری بر مدول کشسانی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی ندارد. اما با افزایش بارهای بازیافت به پنج بار مدول کشسانی



شکل ۲- منحنی خزش- بازگشت چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن

آرد چوب (W)، پلی پروپیلن بکر (VPP)، پلی پروپیلن دوبار بازیافتی (R2PP)، پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی (R5PP)، سازگار کننده (MA).

در نبود سازگار کننده خزش نسبی بیشتری نسبت به چندسازه ساخته شده از پلاستیک دست اول نشان می دهند. در پایان خزش، چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دوبار بازیافتی و چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی به ترتیب ۴۳ و ۱۱۸ درصد خزش نسبی بیشتری نسبت به چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دست اول تولید می کند. بطور کلی خزش نسبی، شاخصی از رفتار مهندسی وابسته به زمان در چندسازه های چوبی

خزش نسبی

شکل ۳ خزش نسبی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن را نشان می دهد. همان طور که دیده می شود با افزایش زمان بار گذاری خزش نسبی در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن افزایش می یابد. همچنین با افزایش بارهای بازیافت پلی پروپیلن خزش نسبی مواد مورد بررسی نیز افزایش نشان می دهد. به طوری که چندسازه های آرد چوب- پلی پروپیلن ساخته شده از پلی پروپیلن بازیافتی

پلی پروپیلن بکر، چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دوبار بازیافتی و چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی در بود سازگار کننده به ترتیب ۴۷، ۱۷ و ۴۲ درصد نسبت به چندسازه های همانند بدون سازگار کننده خزش نسبی کمتری نشان می دهند. ایجاد اتصال های عرضی بین پلیمر و پرکننده و بهبود دربرگیری و چسبندگی آرد چوب با پلاستیک می تواند سبب کاهش خزش نسبی چندسازه چوب- پلاستیک در بود سازگار کننده باشد (۴).

است و به طور معمول برای مقایسه رفتار خزش مواد مختلف با مدول کشسانی مختلف به کار برده می شود (۱۴و). علت افزایش خزش نسبی چندسازه ساخته شده از پلی پروپیلن بازیافتی را می توان به تخریب پلی پروپیلن طی مراحل بازیافت نسبت داد. شکل ۳ نشان می دهد که در صورت استفاده از ۲ درصد سازگار کننده خزش نسبی در چندسازه های آرد چوب- پلی پروپیلن دست اول و آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی کاهش می یابد. در پایان خزش، چندسازه آرد چوب-

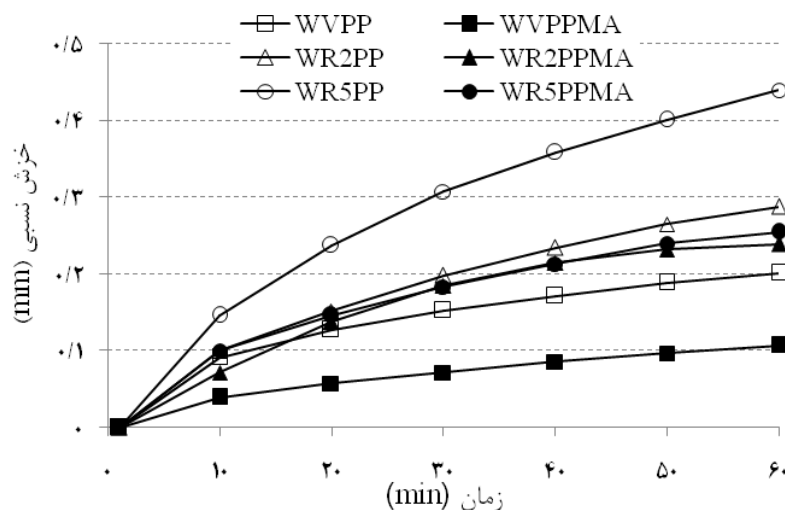
جدول ۵- پارامترهای خزش- بازگشت چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن

مواد	تغییر شکل آنی (mm)	بیشینه تغییر شکل (mm)	بازگشت آنی (mm)	تغییر شکل دائمی (mm)	ضریب خزش
WVPP	۰/۶۹۱ (۰/۰۳۶)*	۰/۸۳ (۰/۰۴۴)**	۰/۱۲۴	۰/۰۰۸	۱/۲۰
WVPPMA	۰/۹۶۳ (۰/۰۳۰)	۱/۰۶۶ (۰/۰۴۱)	۰/۲۵۷	۰/۱۰۳	۱/۱۱
WR2PP	۰/۶۰۲ (۰/۰۴۳)	۰/۷۷۵ (۰/۰۵۵)	۰/۱۱۷	۰/۰۰۰	۱/۲۹
WR2PPMA	۰/۹۰۲ (۰/۰۳۹)	۱/۱۱۷ (۰/۰۴۹)	۰/۱۲۸	۰/۰۰۰	۱/۲۴
WR5PP	۰/۴۷۲ (۰/۰۴۷)	۰/۶۷۹ (۰/۰۶۸)	۰/۰۹۹	۰/۰۰۱	۱/۴۴
WR5PPMA	۰/۶۲۱ (۰/۰۴۱)	۰/۸۶۹ (۰/۰۵۸)	۰/۱۱۳	۰/۰۰۹	۱/۲۵

آرد چوب (W)، پلی پروپیلن بکر (VPP)، پلی پروپیلن دوبار بازیافتی (R2PP)، پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی (R5PP)، سازگار کننده (MA).

* مقادیر داخل پرانتز تغییر شکل آنی واحد بار می باشند.

** مقادیر داخل پرانتز بیشینه تغییر شکل واحد بار می باشند



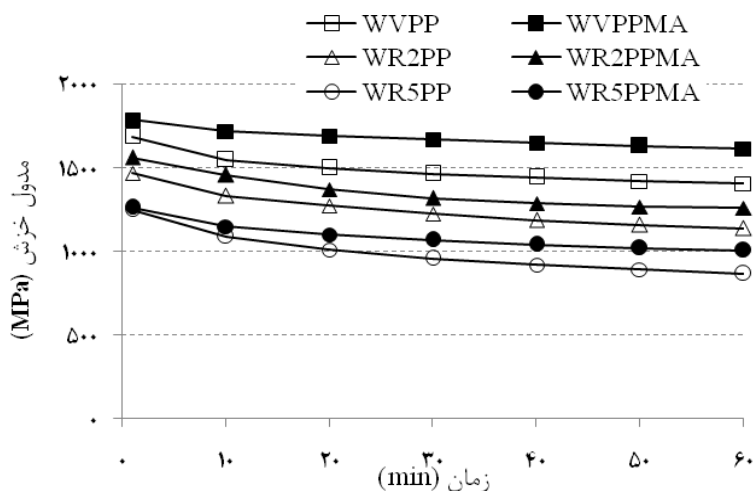
شکل ۳- خزش نسبی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن

آرد چوب (W)، پلی پروپیلن بکر (VPP)، پلی پروپیلن دوبار بازیافتی (R2PP)، پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی (R5PP)، سازگارکننده (MA).

می‌شود. نتایج همانندی توسط Faruk و Bledzki برای چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دارای سازگار کننده MAPP گزارش شده است (۳). در بود سازگار کننده پراکندگی آرد چوب در ماده زمینه پلیمری بهینه می‌شود و در نتیجه افزایش کیفیت چسبندگی در سطح مشترک بین دو فاز ناهمگن آرد چوب و پلی پروپیلن و افزایش انتقال انرژی از ماده زمینه به پرکننده مدول خزش در چندسازه چوب- پلاستیک افزایش می‌یابد.

مدول خزش

مدول خزش چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن در شکل ۴ نشان داده شده است. همان طور که دیده می‌شود مدول خزش با افزایش زمان کاهش می‌یابد. افزایش بارهای بازیافت نیز سبب کاهش مدول خزش در مواد مورد بررسی می‌شود به طوری که در نبود سازگار کننده مدول خزش در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دوبار بازیافتی و چندسازه آرد چوب- پنج بار بازیافتی در پایان خزش، به ترتیب ۱۹ و ۳۸ درصد نسبت به چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دست اول کاهش نشان می‌دهد. تخریب گرمایی مکانیکی پلی پروپیلن، کاهش درازای زنجیره‌های پلیمری و کاهش وزن مولکولی (افزایش شاخص جریان مذاب) (۵، ۱۵ و ۱۷) می‌تواند از دلایل اصلی کاهش مدول خزش در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی نسبت به چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دست اول باشد. همچنین در شکل ۴ دیده می‌شود که استفاده از سازگار کننده باعث افزایش مدول خزش می‌شود. استفاده از ۲ درصد سازگار کننده به ترتیب ۱۵، ۱۰ و ۱۵ درصد سبب افزایش مدول خزش نسبت به چندسازه‌های همانند بدون سازگار کننده



شکل ۴- مدول خزش چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن

آرد چوب (W)، پلی پروپیلن بکر (VPP)، پلی پروپیلن دوبار بازیافتی (R2PP)، پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی (R5PP)، سازگار کننده (MA).

چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی بدست آمد. نتایج بررسی های اثرگذاری سازگار کننده بر رفتار خزشی نشان داد که در ۲ درصد سازگار کننده MAPP تغییر شکل خزشی، ضریب خزش و خزش نسبی کاهش و مدول خزش در چندسازه های مورد بررسی افزایش می یابد. به طور کلی می توان چنین بیان کرد که بازیافت پلی پروپیلن سبب کاهش مقاومت به خزش چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی می شود و با استفاده از ۲ درصد سازگار کننده می توان تا حدود زیادی اثرگذاری منفی بازیافت پلی پروپیلن بر مقاومت به خزش چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی را جبران نمود.

نتیجه گیری

در این پژوهش، اثرگذاری بازیافت پلی پروپیلن بر رفتار خزش خمشی کوتاه مدت چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی با سازگار کننده و بدون آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که با افزایش زمان بارگذاری تغییر شکل خزشی و خزش نسبی افزایش و مدول خزش کاهش می یابد. همچنین با افزایش بارهای بازیافت پلی پروپیلن مقاومت به خزش در چندسازه ساخته شده از پلی پروپیلن بازیافتی و آرد چوب کاهش نشان می دهد به طوری که کمترین خزش نسبی و بیشترین مدول خزش برای چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دست اول و بیشترین خزش نسبی و کمترین مدول خزش برای

منابع

- 1- Bodig J. and Jayne B.A., 1982. Mechanics of Wood and Wood Composites, Van Nostrand Reinhold, New York, 712.
- 2- Bledzki, A.K, and Gassan, J, 1999: Influence of Fiber Surface Treatment on the Creep Behavior of Jute Fiber-Reinforced Polypropylene, Journal of Thermoplastic Composite Materials: vol (12): 388-398.

- 3- Bledzki, A.K, and Faruk, O, 2004: Creep and impact properties of wood fiber- polypropylene composite: influence of temperature and moisture content, *Composite Science and Technology*: vol (64): 693-700
- 4- Bengtsson, M and Oksman, K, 2006. Silan cross linked wood plastic composite; process and properties: *Composites Science and Technology*; 66(2006), 2177-2186.
- 5- Canevarolo, S.V. 2000. Chain scission function for polypropylene degradation during multiple extrusions, *Polymer Degradation and Stability*, 709, 71-76.
- 6- Ebrahimi, G.H., Falk, R.H. and Tajvidi, M. 2003. Short-term creep behavior of natural fiber / polypropylene composites, In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Wood Mechanics*, STFI, Stockholm, Sweden.
- 7- Lee, S.Y, Yang, H. S, kim, H.I, Jong, C.S, Lim, B.S, and Lee, J.N, 2004. Creep behavior and manufacturing parameters of wood flour filled polypropylene composite, *Composite Structures*: Vol (65):459-469.
- 8- Kazemi Najafi S., Hamidinia E., Tajvidi M., 2006. Mechanical properties of composites from sawdust and recycled plastics, *Journal of Applied Polymer Science* 100:3641–3645.
- 9- Kazemi Najafi S., Sharifinia H., Tajvidi M., 2008. Effects of water absorption on creep behavior of wood–plastic composites, *Journal of Composite Materials*, 42 (10), 993-1002.
- 10- Kazemi Najafi S., Mostafazadeh M., Chaharmahali M., and Tajvidi M., 2008. The effects of filler content and water absorption on creep behavior of HDPE waste/MDF flour composites, *Journal of Iranian Polymer Science and Technology*, 21(1), 53-59. (In Persian)
- 11- Najafi A., and Kazemi Najafi S., 2009. Effect of load levels and plastic types on creep behavior of wood sawdust/ HDPE composite, *Journal of Reinforced Plastic Composites*, 28, 2645-2653.
- 12- Nikrai J., Kazemi Najafi S., and Ebrahimi Gh., 2009. A comparative study on creep behavior of wood flour-polypropylene composite, medium density fiberboard (MDF) and particle board, *Journal of Iranian Polymer Science and Technology*, 21, 53-59. (In Persian)
- 13- Park, B.D. and Balatinecz, J., 1998. Short term flexural creep behavior of wood fiber/polypropylene composites, *Polymer Composites*, 19(4): 377-382.
- 14- Perez C.J., Alvarez V.A., and Vazquez A., Creep Behavior of Layered Silicate/Starch-Poly caprolactone Blends Nano composites, *Mater. Sci. Eng. Part: A*, 480, 259-265, 2008.
- 15- Rust N., Ferg E, E. and Masalova I., 2006. A degradation study of isotactic virgin and recycled polypropylene used in lead acid battery casings, *Polymer Testing.*, 25, 130–139.
- 16- Sain, M. M., Balatinecz, J., and Law, S., 2000. Creep fatigue in engineered wood fiber and plastic composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 77(2): 260-268.
- 17- Shojaei, A., Yousefian, H. and Saharkhiz, S., 2006. Performance characterization of composite materials based on recycled high-density polyethylene and ground tire rubber reinforced with short glass fibers for structural applications. *J Apple polym Sci.* 104:1-8
- 18- Xu, Y, Wu, Q, Lei, Y, Yao, F., 2010. Creep behavior of bagasse fiber reinforced polymer composites, *Bioresource Technology*, 101, 3280–3286.
- 19- American Society for Testing and Materials, 2002. ASTM D1238- 98, West Conshohocken, PA USA.
- 20- American Society for Testing and Material., 2004. ASTM D 7031-04, West Conshohocken, Pa.
- 21- International Organization for Standardization., 2003. *Plastics: Determination of Creep Behavior - Part 2: Flexural Creep by Three Point Loading*, ISO 899-2.

A Study on Creep Behavior of Wood Flour- Recycled Polypropylene Composite

S. Ghahri¹ and S. Kazemi Najafi^{*2}

Abstract

The creep behavior of wood flour- recycled polypropylene composites (with and without compatibilizer) has been evaluated in this study. For this purpose, virgin polypropylene (PP) was thermo-mechanically degraded by five times of extrusion under controlled conditions in a twin-screw extruder at a rotor speed of 100 rpm and at temperature of 190⁰C. The virgin and recycled polypropylene were mixed with the wood flour (50/50% ^{W/W}) as well as the compatibilizer (0, 2% W/W) by a counter-rotating twin-screw extruder to manufacture the wood flour-PP composites (WPCs) samples. The nominal cross section of the manufactured composites was 70×10 mm². Short term flexural creep test at 30% of ultimate bending load was performed by using flexural creep equipment. The total time to complete every test was 120 min (60 min creep and 60 min recovery). Results revealed that recycling of the PP reduced the creep resistance in composites containing recycled polypropylene. Also results have shown that with the presence of compatibilizer (MAPP) creep deflection, creep factor and relative creep decrease and creep modulus increase. The composites containing virgin PP and MAPP exhibited higher creep resistance than those containing recycled PP.

Keywords: Recycling of polypropylene, Creep, Wood flour- Recycled polypropylene composite, Compatibilizer

* Corresponding author:

Email: skazemi@modares.ac.ir