

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران  
دوره ۶۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۲۵

ص ۷۸۵-۷۹۸

## ارزیابی اثرگذاری اصلاح‌کننده ضربه اتیلن وینیل استات بر رفتار

### خزشی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی

- ❖ **سامان قهری\***؛ دانشجوی دکتری فرآورده‌های چندسازه چوب گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
- ❖ **بهبود محبی**؛ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
- ❖ **سعید کاظمی نجفی**؛ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

#### چکیده

در این پژوهش اثر اصلاح‌کننده ضربه بر رفتار خزشی چندسازه آرد چوب - پلی پروپیلن بازیافتی بررسی شد. برای این منظور پلی پروپیلن بازیافتی و آرد چوب با نسبت ۵۰ درصد وزنی ماده چوبی و اصلاح‌کننده ضربه اتیلن وینیل استات در مقادیر ۳، ۶ و ۹ درصد برای بهبود مقاومت به ضربه چندسازه‌های ساخته‌شده از پلی پروپیلن بازیافتی مخلوط شد و نمونه‌های آزمایش، با استفاده از روش اختلاط مذاب، به وسیله دستگاه اکسترودر دوماریچ، ساخته شدند. میزان بارگذاری در آزمون خزش بر پایه ۳۰ درصد از بار شکست نمونه‌ها (حاصل از آزمون خمش ایستا) تعیین شد. آزمون خزش خمشی کوتاه‌مدت در ۱۲۰ دقیقه (۶۰ دقیقه خزش و ۶۰ دقیقه بازگشت) انجام شد. نتایج نشان داد بازیافت پلی پروپیلن سبب افت مقاومت خزشی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن می‌شود. همچنین اصلاح‌کننده ضربه سبب افزایش تغییر شکل، خزش آنی، خزش نهایی، و خزش نسبی و کاهش مدول خزش چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی شد. در این تحقیق چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن (دست اول) بکر (بدون اصلاح‌کننده ضربه) نسبت به سایر چندسازه‌ها مقاومت به خزش بیشتری نشان داد.

واژگان کلیدی: اصلاح‌کننده ضربه، بازیافت پلی پروپیلن، خزش، چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی.

## مقدمه

رشد و توسعه صنعت پلاستیک سبب مصرف بیشتر این ماده نفتی و تجدیدناپذیر شده است. در نتیجه، میزان ضایعات آن نیز در حال افزایش است. این مسئله سبب شده جوامع مختلف روش‌های متفاوتی برای کاهش مقدار ضایعات پلاستیکی و کنترل آلودگی‌های زیست‌محیطی به کار گیرند. آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده چهار راهبرد را برای مدیریت یکپارچه ضایعات مطرح کرد که عبارت‌اند از کاهش منابع تولید، بازیافت و تولید کمپوست، تبدیل ضایعات به انرژی، و دفن کردن. در روشی دیگر، که به اصول R<sup>۳</sup> معروف است، سه راهبرد اصلی وجود دارد که عبارت‌اند از کاهش منبع تولید ضایعات، استفاده مجدد از ضایعات، و بازیافت ضایعات [۱]. بنابراین، یکی از راه‌های مدیریت و کاهش ضایعات پلاستیکی بازیافت و تولید محصولات جدید است. به این ترتیب میزان تولید پلاستیک و هزینه‌های آن و نیز میزان تولید ضایعات پلاستیکی و آلودگی‌های زیست‌محیطی آن کاهش می‌یابد. یکی از راه‌های بازیافت پلاستیک و استفاده مجدد از این مواد ساخت چندسازه‌های چوب-پلاستیک و ایجاد ارزش افزوده برای این مواد ضایعاتی است. البته این کار مزایا و معایبی دارد.

به‌رغم فواید استفاده از پلاستیک‌های بازیافتی در ساخت چندسازه‌های چوب-پلاستیک، مانند صرفه‌جویی در هزینه‌ها به سبب استفاده از ضایعات (پلاستیک بازیافتی و آرد چوب) و تولید محصولاتی با خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب و کاهش حجم ضایعات، مطالعات اخیر نشان می‌دهد استفاده از

پلاستیک‌های بازیافتی در ساخت چندسازه‌های چوب-پلاستیک در برخی موارد با افت شدید خواص مکانیکی چندسازه، مانند مقاومت به ضربه، همراه است. همچنین خواص خزشی چندسازه‌ها تحت تأثیر نوع پلاستیک‌ها (دست اول یا بازیافتی) قرار می‌گیرد [۲-۴]. برای بهبود و اصلاح مقاومت به ضربه روش‌های مختلف بررسی و راه‌های گوناگون برای افزایش یا کاهش این ویژگی مکانیکی گزارش شده است؛ که از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده از مخلوط پلاستیک‌های دست اول با بازیافتی [۵]، استفاده از نانوذرات اکسید سیلیس [۶]، استفاده از الیاف سنتزی [۷]، و استفاده از الاستومرها یا اصلاح‌کننده‌های ضربه [۳، ۴، ۸] اشاره کرد. یکی از روش‌های معمول بهبود مقاومت به ضربه چندسازه چوب-پلاستیک استفاده از اصلاح‌کننده ضربه<sup>۱</sup> است [۳، ۴، ۸، ۹]. اصلاح‌کننده‌های ضربه به دلیل ماهیت الاستومری، یعنی مدول الاستیسیته پایین و قابلیت کشسانی بالا، طی مکانیسم‌هایی، با جذب انرژی ضربه، از ایجاد و گسترش ترک‌ها در ساختار چندسازه جلوگیری می‌کنند و سبب افزایش مقاومت به ضربه چندسازه‌های پلیمری و چوب-پلاستیک می‌شوند. ولی باید این نکته را در نظر داشت که در صورت استفاده از اصلاح‌کننده ضربه، علاوه بر مقاومت به ضربه، سایر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب-پلاستیک نیز تحت تأثیر نوع و مقدار اصلاح‌کننده ضربه قرار می‌گیرد. قهری و همکاران [۳] استفاده از اصلاح‌کننده ضربه برای بهبود مقاومت به ضربه چندسازه چوب-پلاستیک را

بارگذاری و نوع پلاستیک را بر رفتار خزشی چندسازه آرد چوب- پلی اتیلن بررسی کردند. آن‌ها اعلام کردند در همه سطوح بارگذاری چندسازه ساخته شده از پلی اتیلن بکر جابه‌جایی بیشتری از خود نشان می‌دهد؛ اما با افزودن پلی اتیلن ضایعاتی مقدار این جابه‌جایی کاهش می‌یابد. قهری و کاظمی نجفی [۲] اثر سازگارکننده MAPP را بر خواص خزشی چندسازه چوب- پلاستیک ساخته شده از پلی پروپیلن بازیافتی بررسی کردند و نشان دادند سازگارکننده می‌تواند مدول خزشی چندسازه چوب- پلاستیک ساخته شده از پلی پروپیلن بازیافتی را افزایش و مقدار جابه‌جایی در خزش را کاهش دهد.

نیازمندی‌های کاربردی، که غالباً شامل ترکیبی از خواص متفاوت است، با انتخاب صحیح اصلاح‌کننده‌ها و مقدار مناسب آن‌ها تأمین می‌شود. از این رو، بسته به نوع کاربرد، باید درصد صحیح استفاده از اصلاح‌کننده ضربه برای تأمین مقاومت‌ها و سایر ویژگی‌های مطلوب چندسازه بررسی شود. هدف این تحقیق نیز مشخص کردن اثر اصلاح‌کننده ضربه بر خواص خزشی چندسازه‌های چوب- پلاستیک است تا بتوان درصد مناسب استفاده از اصلاح‌کننده ضربه را با حفظ سایر خواص، از جمله خواص خمشی و خزشی، در حد مطلوب یا حداقل کاهش مشخص کرد. برای این منظور نمونه‌های آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی اصلاح شده با EVA در درصدهای ۳ و ۶ و ۹ انتخاب و آزمایش شدند.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش از پلی پروپیلن با شاخص جریان مذاب ۵/۸ گرم بر ۱۰ دقیقه ساخت شرکت پلی‌نار

بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد اصلاح‌کننده ضربه اتیلن وینیل استات<sup>۱</sup> (EVA) می‌تواند مقاومت به ضربه چندسازه‌های چوب- پلاستیک ساخته شده از پلاستیک بازیافتی را بهبود بخشد؛ ولی خواص خمشی چندسازه و مدول الاستیسیته آن کاهش می‌یابد [۳ و ۴]. با توجه به اینکه خصوصیات نهایی چندسازه‌ها تحت تأثیر ویژگی‌های اجزای سازنده آن‌هاست، خصوصیات الاستیک اصلاح‌کننده‌ها، مثلاً مدول الاستیسیته پایین و تغییر شکل کشسانی بالای آن‌ها در خمش، می‌تواند سایر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن، مانند خواص خمشی و مدول الاستیسیته خمشی آن‌ها، را نیز تحت تأثیر قرار دهد [۱۰ و ۱۱]. نتایج تحقیق قهری و همکاران نشان داد مدول الاستیسیته پایین اصلاح‌کننده ضربه سبب کاهش مدول الاستیسیته چندسازه چوب- پلاستیک می‌شود [۳].

چندسازه‌های چوب- پلاستیک در رده مواد با طبیعت ویسکوالاستیک طبقه‌بندی می‌شوند و در ساخت اعضای مهندسی به کار می‌روند که موضوع بار ثابت وارد بر آن‌ها بسته به نوع کاربرد یکی از موارد حائز اهمیت است. با توجه به ساختار چندسازه چوب- پلاستیک، عوامل مختلفی بر رفتار خزشی آن‌ها تأثیر می‌گذارد که از جمله می‌توان به مقدار بارگذاری [۵ و ۱۲]، مقدار و نوع پرکننده [۱۳ و ۱۴]، نوع پلاستیک و بکر یا بازیافتی بودن آن [۳، ۵، ۱۵]، استفاده از سازگارکننده [۱۶-۱۸]، و رطوبت [۱۷] اشاره کرد. نجفی و کاظمی نجفی [۵] اثر سطوح

1. Ethylene Vinyl Acetate

استفاده شد. آرد چوب از خاک اره چوب گونه راش، پس از غربال کردن با الک چشمه ۴۰-۶۰، به دست آمد. از پلی پروپیلن پیوندخورده با مالئیک انیدرید (MAPP) ساخت شرکت کیمیاچاوید با شاخص جریان مذاب  $10 \text{ g}/10 \text{ min}$  و  $1/1$  درصد مالئیک انیدرید پیوندخورده به منزله سازگارکننده و از اتیلن وینیل استات (EVA) ساخت شرکت LG به مثابه اصلاح کننده ضربه در سه سطح ۳ و ۶ و ۹ درصد استفاده شد.

آماده سازی مواد اولیه و ساخت نمونه های آزمونی طبق روش ارائه شده در پژوهش قهری و همکاران صورت گرفت [۳]. از آزمون مشخصه ای تجزیه واریانس یک سویه برای بررسی امکان وجود اختلاف آماری معنادار بین مقادیر ویژگی های مکانیکی و خزش چندسازه چوب-پلاستیک استفاده شد و پس از اثبات وجود چنین تفاوتی از آزمون چنددامنه دانکن برای گروه بندی میانگین ها استفاده شد.

### آزمون خمش سه نقطه ای

مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی به وسیله آزمون خمش سه نقطه ای مطابق آیین نامه ۰۴-۷۰۳۱ D استاندارد ASTM اندازه گیری شد. این آزمون با استفاده از ماشین آزمون مکانیکی Dartec با سرعت بارگذاری  $5 \text{ mm}/\text{min}$  و ظرفیت سلول  $50 \text{ KN}$  انجام شد.

### آزمون خزش

نمونه های خمشی استاندارد برای آزمون خزش استفاده شد. سطح بارگذاری ۳۰ درصد حداکثر بار شکست خمشی تعیین شد (جدول ۱) و طبق

استاندارد ASTM D ۷۰۳۱-۰۴ با اندازه گیری مداوم جابه جایی نقطه میانی نمونه ها به طول دهانه ۲۰ و ضخامت ۱ سانتی متر تحت بارگذاری یک چهارم دهانه، به کمک تجهیزات تست خزش، در مدت ۱۲۰ دقیقه (۶۰ دقیقه خزش و ۶۰ دقیقه بازگشت) و دمای  $23 \pm 2$  درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی  $75 \pm 2$  درصد، به وسیله نشانگر رقمی مدل Mitutoyo ID-F125E انجام شد. هشت تیمار با سه تکرار برای هر یک از نمونه ها انتخاب شد. همچنین، برای تعیین مدول الاستیسیته خمشی و مقاومت خمشی برای هر تیمار پنج تکرار در نظر گرفته شد. در این آزمون پارامترهای مختلف خزش محاسبه شد؛ که از آن جمله می توان به خزش نسبی و مدول خزش اشاره کرد.

خزش نسبی، به منزله درصدی از تغییر شکل آنی، با رابطه ۱ محاسبه شد:

$$RC = (J_t - J_0) / J_0 \times 100 \quad (1)$$

RC خزش نسبی (درصد)،  $J_t$  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 می شود [۵]، با استفاده از رابطه ۲ مطابق استاندارد ISO ۶۶۰۲ به دست آمد:

$$Et = (L^3 F) / (4bh^3 St) \quad (2)$$

Et مدول خزش در لحظه t (MPa)، L طول دهانه (mm)، F نیرو (N)، b پهناي نمونه (mm)، h ضخامت نمونه (mm)، و St خیز در زمان t (mm) است.

جدول ۱. تعیین بار آزمون خزش

مواد	حداکثر* بار (N)	۳۰٪ بار حداکثر
WVPP	۹۲۹	۲۷۹
WR2PP	۷۵۹	۲۲۸
WR5PP	۴۸۴	۱۴۵
WR2PPE3	۵۹۹	۱۸۰
WR2PPE6	۵۸۳	۱۷۵
WR2PPE9	۴۱۱	۱۲۴
WR5PPE3	۴۴۴	۱۳۳
WR5PPE6	۴۳۴	۱۳۰
WR5PPE9	۳۲۱	۹۶

آرد چوب (W)، پلی پروپیلن بکر (VPP)، پلی پروپیلن دوبار بازیافتی (R2PP)، پلی پروپیلن پنج‌بار بازیافتی (R5PP)، اصلاح‌کننده ضربه (E)

اعداد مقابل E نشان‌دهنده درصد استفاده از اصلاح‌کننده ضربه است.

\* بار حداکثر به وسیله آزمون خمش محاسبه شده است.

جابه‌جایی را نشان می‌دهند.

## یافته‌ها و بحث

### رفتار بار- جابه‌جایی در خمش

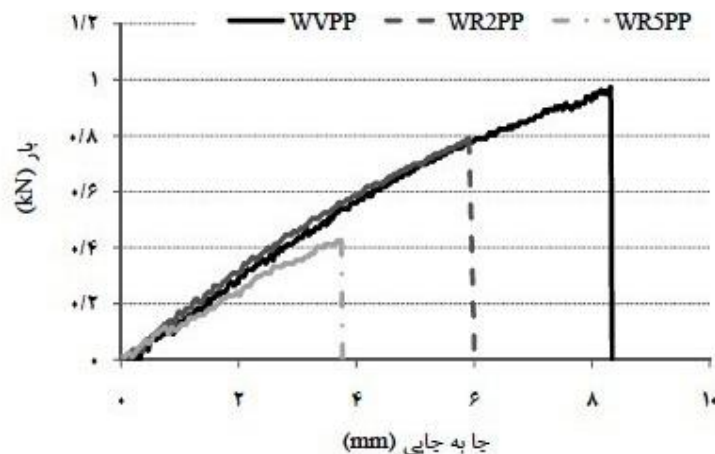
اثر بازیافت پلی پروپیلن بر رفتار بار- جابه‌جایی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن زیر بارگذاری خمشی در شکل ۱ می‌آید. همان‌طور که مشاهده می‌شود زیربارگذاری خمشی با افزایش دفعات بازیافت پلی پروپیلن، مقادیر بار، و جابه‌جایی نمونه‌های چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن روی نمودار بار- جابه‌جایی (شکل ۱) کاهش نشان می‌دهد؛ طوری که چندسازه ساخته‌شده از آرد چوب و پلی پروپیلن دست اول (بکر) بیشترین مقدار بار و جابه‌جایی و چندسازه ساخته‌شده از آرد چوب و پلی پروپیلن پنج‌بار بازیافتی کمترین مقدار بار و

نتایج نشان داد بازیافت پلی پروپیلن روی مقدار بار- جابه‌جایی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن مؤثر است. افزایش دفعات بازیافت پلی پروپیلن در نتیجه تغییر ویژگی‌های پلی پروپیلن سبب افزایش تمرکز تنش در سطح مشترک آرد چوب و پلی پروپیلن بازیافتی شد و از طرف دیگر کاهش مقدار بار و جابه‌جایی حداکثر را در مواد مرکب آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی در پی داشت. همچنین، با کاهش بلورینگی و وزن مولکولی پلی پروپیلن بازیافتی تنش نهایی پلی پروپیلن بازیافتی کاهش یافت [۳]. شجاعی و همکاران [۱۹] نیز نتایج مشابهی در زمینه کاهش بلورینگی و وزن مولکولی پلی اتیلن

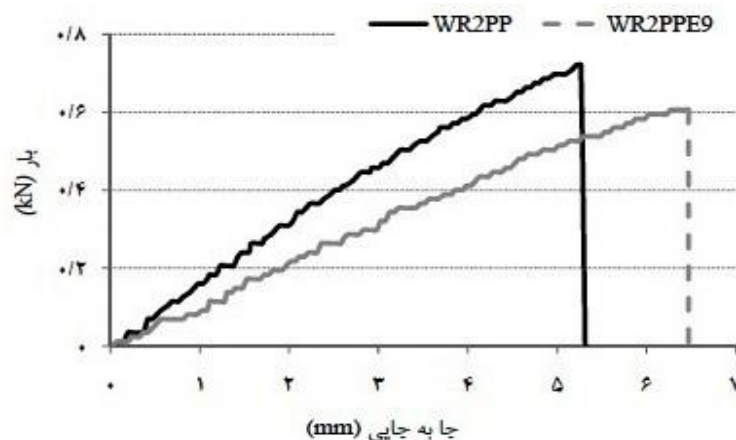
مقاومت به ضربه چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن اصلاح شده با اصلاح کننده ضربه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اصلاح کننده ضربه، به‌رغم افزایش مقاومت به ضربه، مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی را کاهش می‌دهد. استفاده از ۹ درصد اصلاح کننده ضربه در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دوبار بازیافتی و چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن پنج‌بار بازیافتی به ترتیب ۲۹ و ۲۲ درصد مدول الاستیسیته و ۴۵ و ۳۴ درصد مقاومت خمشی چندسازه‌ها را در مقایسه با چندسازه‌های مشابه بدون اصلاح کننده ضربه کاهش داد [۳].

بازیافتی گزارش کردند. این عوامل باعث کاهش مدول الاستیسیته خمشی و مقاومت خمشی مواد مرکب آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی شد.

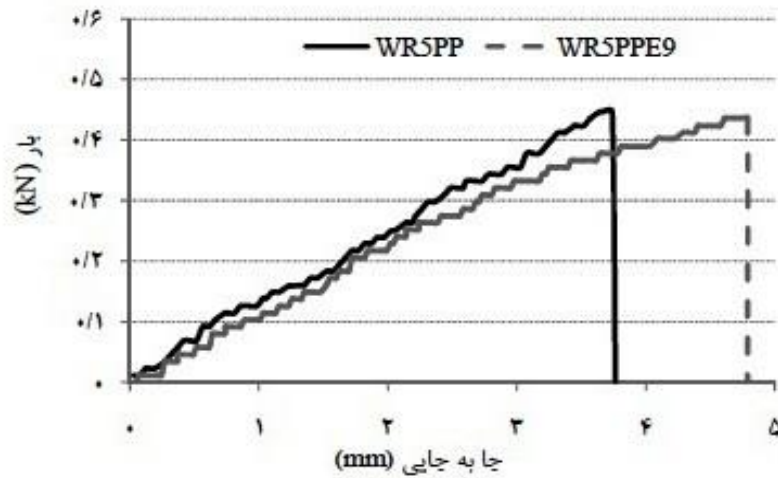
شکل‌های ۲ و ۳ اثر اصلاح کننده ضربه بر رفتار بار- جابه‌جایی مواد مرکب آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی را نشان می‌دهند. افزودن اصلاح کننده ضربه باعث کاهش مقدار بار حداکثر و افزایش مقدار جابه‌جایی در نتیجه افزایش خاصیت ارتجاعی در مواد مرکب آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی اصلاح شده شد. این عوامل در نهایت موجب کاهش مقادیر مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی شدند. جدول ۲ مقادیر مدول الاستیسیته، مقاومت خمشی، و



شکل ۱. رفتار بار- جابه‌جایی مواد مرکب آرد چوب- پلی پروپیلن



شکل ۲. رفتار بار- جابه‌جایی مواد مرکب آرد چوب- پلی پروپیلن دوبار بازیافتی

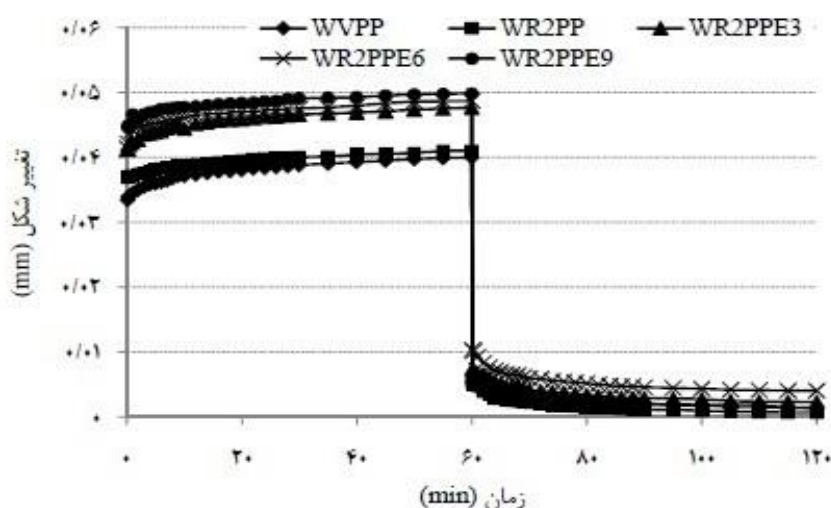


شکل ۳. رفتار بار-جاب‌جایی مواد مرکب آرد چوب- پلی پروپیلن پنج‌بار بازیافتی

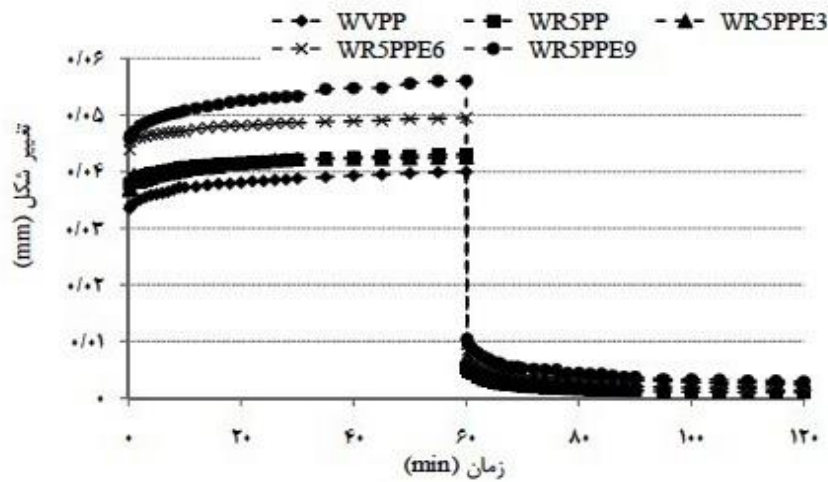
انجام شد و چون بار شکست نمونه‌ها با یکدیگر متفاوت است، مقدار بارگذاری در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن ساخته شده از پلاستیک بکر، دوبار بازیافتی، و پنج‌بار بازیافتی اصلاح شده با اصلاح‌کننده ضربه متفاوت است.

### خزش

شکل‌های ۴ و ۵ منحنی خزش- بازگشت چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی را نشان می‌دهند. در این تحقیق، بارگذاری بر اساس ۳۰ درصد از بار شکست مواد (به دست آمده از آزمون خمش ایستا)



شکل ۴. منحنی خزش- بازگشت چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دوبار بازیافتی



شکل ۵. منحنی خزش- بازگشت چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن پنج بار با زیافتی

جدول ۲. مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن [۳]

مواد	مدول الاستیسیته خمشی (MPa)	مقاومت خمشی (MPa)	مقاومت به ضربه ( $J/m^2$ )
WVPP	۳۸۱۶ (۷۱)*	۳۸ (۰٫۶)	۴۰۷۳ (۲۱۶)
WR2PP	۴۳۸۲ (۵۰)	۳۳ (۰٫۷)	۲۱۷۱ (۱۷۶)
WR2PPE3	۴۲۳۴ (۱۶۸)	۲۶ (۳٫۲)	۲۹۸۷ (۱۳۰)
WR2PPE6	۳۷۸۶ (۱۵۵)	۲۰ (۴٫۵)	۳۰۳۸ (۱۷۲)
WR2PPE9	۳۱۲۰ (۱۴۵)	۱۸ (۰٫۹)	۳۵۳۲ (۱۳۲)
WR5PP	۳۴۵۵ (۲۴۱)	۲۰ (۰٫۶)	۱۸۳۹ (۲۱۷)
WR5PPE3	۳۰۷۴ (۱۵۲)	۱۸ (۰٫۶)	۱۹۵۶ (۱۳۶)
WR5PPE6	۲۷۱۶ (۲۰۲)	۱۸ (۰٫۹)	۲۳۹۱ (۲۰۱)
WR5PPE9	۲۹۹۲ (۲۱۱)	۱۳ (۰٫۷)	۲۵۹۵ (۲۳۴)

\* اعداد داخل پرانتز معرف اشتباه معیار است.

خزش بر باری که ایجادکننده خزش بود تقسیم شد و مقدار خزش بر اساس واحد بار به دست آمد [۲]. نتایج نشان داد در صورت استفاده از اصلاح‌کننده ضربه مقدار تغییر شکل آنی واحد بار و تغییر شکل

بنابراین، در این تحقیق، برای مقایسه تغییر شکل آنی و تغییر شکل بیشینه چندسازه‌های مختلف، که تحت بارگذاری متفاوت بودند، از مقادیر خزش بر اساس واحد بار استفاده شد. با این هدف مقدار



پلاستیک بکر (دست اول) و نمونه‌های ساخته‌شده از پلاستیک‌های بازیافتی بدون اصلاح‌کننده ضربه بیشتر است (جدول ۳).

بیشینه واحد بار در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دوبار بازیافتی و چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن پنج‌بار بازیافتی نسبت به چندسازه ساخته‌شده از

جدول ۳. خزش آنی، خزش نهایی، و خزش نسبی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن

مواد	خزش آنی واحد بار (mm)	خزش نهایی واحد بار (mm)	خزش نسبی (%)
WVPP	۰٫۰۳۴	۰٫۰۳۹	۰٫۱۳۹
WR2PP	۰٫۰۴۱	۰٫۰۴۵	۰٫۱۱۴
WR2PPE3	۰٫۰۴۲	۰٫۰۴۸	۰٫۱۳۶
WR2PPE6	۰٫۰۴۵	۰٫۰۵۱	۰٫۱۳۱
WR2PPE9	۰٫۰۴۴	۰٫۰۵۰	۰٫۱۴۳
WR5PP	۰٫۰۴۰	۰٫۰۵۰	۰٫۱۷۰
WR5PPE3	۰٫۰۴۱	۰٫۰۴۶	۰٫۱۳۳
WR5PPE6	۰٫۰۴۶	۰٫۰۵۱	۰٫۱۳۳
WR5PPE9	۰٫۰۴۷	۰٫۰۵۶	۰٫۱۷۸

پلی پروپیلن پنج‌بار بازیافتی نیز خزش آنی، خزش نهایی، و خزش نسبی را به ترتیب ۱۵، ۱۱، و ۴ درصد افزایش می‌دهد. به طور کلی، اصلاح‌کننده ضربه سبب افزایش تغییر شکل چندسازه تحت بار در آزمون خزش می‌شود. تغییر شکل خزشی چندسازه چوب- پلاستیک تا حدود زیادی تحت تأثیر مدول الاستیسیته اجزای آن است و اغلب مواد با مدول بالا تغییر شکل خزشی کمتری دارند [۲ و ۱۳]. اصلاح‌کننده‌های ضربه به دلیل آمورف بودن و تغییر شکل زیاد در برابر اعمال نیرو و خاصیت الاستومری و تغییر شکل کشسانی بالا قابلیت جذب انرژی ضربه را دارند و به این دلیل مقاومت به ضربه را در چندسازه‌های اصلاح‌شده افزایش می‌دهند [۳ و ۴]. ولی از طرف دیگر استفاده از اصلاح‌کننده ضربه با

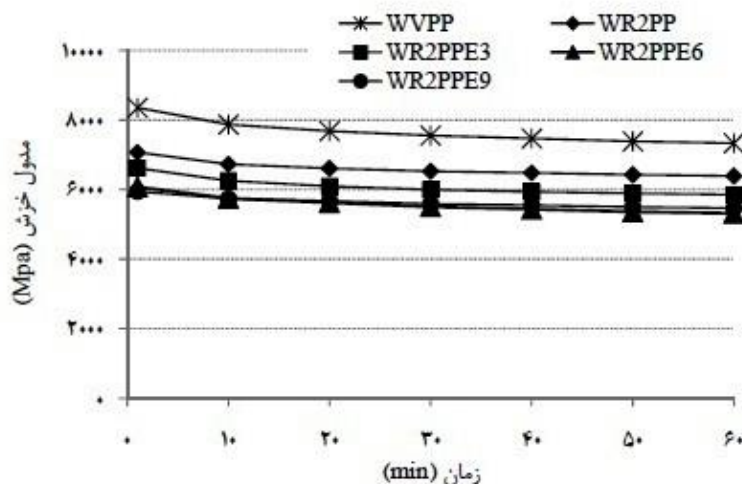
جدول ۳ مقادیر عددی خزش آنی، خزش نهایی، و خزش نسبی (۶۰ دقیقه بعد از بارگذاری) چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی را نشان می‌دهد. خزش آنی مقدار خزش در دقیقه اول و خزش نهایی مقدار خزش بعد از ۶۰ دقیقه بارگذاری را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش مواد اصلاح‌کننده ضربه به چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی مؤلفه‌های خزش آنی، خزش نهایی، و خزش نسبی افزایش می‌یابند. نتایج نشان می‌دهد افزودن ۹ درصد اصلاح‌کننده ضربه به چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن دوبار بازیافتی خزش آنی، خزش نهایی، و خزش نسبی را به ترتیب ۷، ۱۰، و ۲۰ درصد افزایش می‌دهد. همچنین افزودن ۹ درصد اصلاح‌کننده ضربه به چندسازه آرد چوب-

مشاهده می‌شود افزودن اصلاح‌کننده ضربه به ترکیب چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن بازیافتی سبب کاهش مدول الاستیسیته می‌شود. افزودن ۹ درصد اصلاح‌کننده ضربه به چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن دوبار بازیافتی و چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن پنج‌بار بازیافتی به ترتیب ۱۰ و ۱۳ درصد مدول خزش آن‌ها را نسبت به چندسازه‌های ساخته‌شده از آرد چوب- پلی‌پروپیلن دوبار بازیافتی و آرد چوب پنج‌بار بازیافتی بدون اصلاح‌کننده ضربه کاهش داد. همچنین، بازیافت پلی‌پروپیلن هم سبب کاهش مدول خزش چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن بازیافتی نسبت به چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن بکر شد [۲].

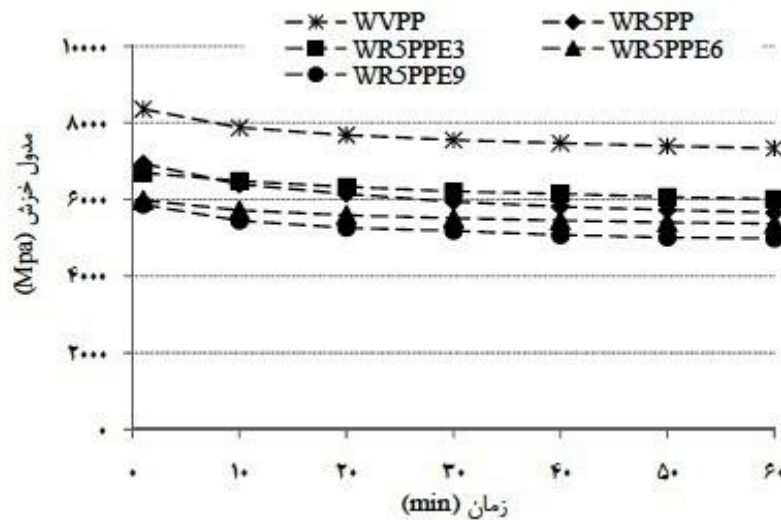
مدول الاستیسیته پایین در ساخت چندسازه سبب کاهش مقاومت به خزش چندسازه‌های اصلاح‌شده می‌شود. همچنین، با افزایش مقدار استفاده از اصلاح‌کننده ضربه به ۹ درصد، مقاومت به خزش چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن بازیافتی بیشتر کاهش یافت. نتایجی مشابه، مبنی بر اثر اصلاح‌کننده ضربه بر مدول الاستیسیته خمشی چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن، گزارش شده است [۳ و ۴]. اثر دفعات بازیافت پلی‌پروپیلن بر رفتار خزشی چندسازه ساخته‌شده از پلی‌پروپیلن بازیافتی نیز در تحقیقات اخیر مطالعه شده است. مطالعات قهری و کاظمی نشان داده بود بازیافت پلی‌پروپیلن سبب افزایش مؤلفه‌های خزش می‌شود [۲].

## مدول خزش

شکل‌های ۶ و ۷ مدول خزش چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن بازیافتی را نشان می‌دهند. همان‌طور که



شکل ۶. منحنی مدول خزش چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن دوبار بازیافتی



شکل ۷. منحنی مدول خزش چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن پنج بار بازیافتی

تخریب گرمایی- مکانیکی آن می‌شود و کاهش درازای زنجیره‌های پلیمری و کاهش وزن مولکولی (افزایش شاخص جریان مذاب) پلی پروپیلن رخ می‌دهد [۳، ۱۹، ۲۰] و در نتیجه مدول خزشی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی نیز کاهش می‌یابد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، هم بازیافت پلی پروپیلن و هم استفاده از اصلاح‌کننده ضربه سبب کاهش مدول خزشی چندسازه چوب- پلاستیک در مدت زمان مورد بررسی شد.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثرگذاری اصلاح‌کننده ضربه بر رفتار خزشی- خمشی کوتاه‌مدت چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی بررسی شد. نتایج نشان داد در صورت استفاده از ۹ درصد اصلاح‌کننده ضربه نمودار بار- جابه‌جایی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن تغییر می‌کند؛ طوری که در مقایسه با نمونه‌های ساخته‌شده بدون اصلاح‌کننده ضربه مقدار جابه‌جایی افزایش و

همان‌طور که شکل‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهند، اصلاح‌کننده ضربه در ساختار چندسازه به دلیل ماهیت الاستومری (کشسانی) اصلاح‌کننده ضربه و مدول الاستیسیته پایین‌تر از پلی پروپیلن و آرد چوب سبب کاهش بار حداکثر و افزایش جابه‌جایی در نمودار بار- جابه‌جایی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن بازیافتی می‌شود. در نتیجه افزایش میزان جابه‌جایی نمونه‌های اصلاح‌شده با اصلاح‌کننده ضربه تغییر شکل نمونه تحت بار (خزش) نیز افزایش نشان داد. افزایش خیز و کاهش بار طبق رابطه مدول خزشی (رابطه ۲) سبب کاهش مدول خزشی می‌شود. به همین دلیل، با افزایش درصد اصلاح‌کننده ضربه در ترکیب چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن به دلیل افزایش خاصیت کشسانی چندسازه مدول خزشی آن کاهش یافت. کاهش مدول الاستیسیته خمشی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن در اثر افزودن اصلاح‌کننده ضربه را محققان دیگر نیز گزارش کرده‌اند. همچنین، دفعات بازیافت پلی پروپیلن سبب

مقدار بار حداکثر کاهش می‌یابد. همچنین، با افزایش زمان بارگذاری و استفاده از اصلاح‌کننده ضربه تغییر شکل خزشی، خزش آنی، خزش نهایی، و خزش نسبی افزایش و مدول خزشی کاهش یافت. بازیافت پلی‌پروپیلن نیز سبب کاهش مقاومت خزشی شد. افزایش مقدار استفاده از اصلاح‌کننده ضربه نیز سبب کاهش بیشتر مقاومت خزشی در مقایسه با نمونه‌های بدون اصلاح‌کننده ضربه شد. به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت اصلاح‌کننده ضربه و فرایند بازیافت

پلی‌پروپیلن سبب کاهش مقاومت خزشی چندسازه‌های ساخته‌شده از پلی‌پروپیلن بازیافتی اصلاح‌شده می‌شود. بیشترین مقاومت خزشی مربوط به چندسازه‌های ساخته‌شده از آرد چوب- پلی‌پروپیلن دست اول (بکر) بدون اصلاح‌کننده ضربه و کمترین مقاومت خزشی مربوط به چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن پنج‌بار بازیافتی اصلاح‌شده با ۹ درصد اصلاح‌کننده ضربه است.

## References

- [1]. Sakai, S., Yoshida, H., Hirai, Y., Asari, M., Takigami, H., Takahashi, S., Tomoda, K., Peeler, M. K., Wejchert, J., Schmid-Unterseh, T., Douvan, A. R., Hathaway, R., Hylander, L. D., Fischer, C., Oh, G. J., Jinhui, Li., and Chi, N. K. (2011). International comparative study of 3R and waste management policy developments. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 13:86–102.
- [2]. Ghahri, S. and Kazemi Najafi, S. (2013). A study on creep behavior of wood flour- recycled polypropylene composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 3 (2): 1-12.
- [3]. Ghahri, S., Kazemi-Najafi, S., Mohebbi, B., and Tajvidi, M. (2012). Impact strength improvement of wood flour–recycled polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 124: 1074–1080.
- [4]. Ghahri, S., Kazemi-Najafi, S., and Mohebbi, B. (2012). The Effect of impact modifier on impact strength of recycled polypropylene–wood flour composites. *Journal of Forest and Wood Products*, 64: 419–433.
- [5]. 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.
- [6]. Nourbakhsh, A., Baghlani, F. F., and Ashori, A. (2011). Nano-SiO<sub>2</sub> filled rice husk polypropylene composites: Physico-mechanical properties. *Industrial Crops and Products*, 33: 183–187.
- [7]. Haihong Jiang', D., Kamdem, P., Bezubic, B., and Ruede, P. (2003). Mechanical properties of poly (vinyl chloride)/ wood flour/glass fiber hybrid composites. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 9 (3): 138-145.
- [8]. Oksman, K. and Clemons, C. (1998). Mechanical properties and morphology of impact modified polypropylene-wood flour composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 67:1503-1513.
- [9]. Hristov V. N. and Vasileva S. T. (2004). Deformation mechanisms and mechanical properties of modified polypropylene/wood fiber composites. *Polymer Composite*, 25, (5): 521-526.
- [10]. Ghahri, S., Kazemi-Najafi, S., and Mohebbi, B. (2012). Effect of impact modifier type on water absorption and thickness swelling parameters of wood flour- recycled polypropylene composites. *Journal of Wood and Paper Industries*, 2, (2): 15-25.
- [11]. Xu, Y., Wu, Q., Lei, Y., Yao, F., and Zhang, Q. (2008). Natural fiber reinforced poly (vinyl chloride) composites: effect of fiber type and impact modifier. *Journal of Polymer Environment*, 16: 250–257.
- [12]. 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*, 65:459-469.
- [13]. 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.
- [14]. Park, B. D. and Balatinecz, J. (1998). Short term flexural creep behavior of wood fiber/polypropylene composites. *Polymer Composites*, 19(4): 377-382.
- [15]. Xu, Y., Wu, Q., Lei, Y., and Yao, F. (2010). Creep behavior of bagasse fiber reinforced polymer composites. *Bioresource Technology*, 101: 3280–3286.
- [16]. 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*, 64: 693-700.

- [17]. Kazemi Najafi, S., Sharifinia, H., and Tajvidi, M. (2008). Effects of water absorption on creep behavior of wood-plastic composites. *Journal of Composite Materials*, 42(10): 993-1002.
- [18]. 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.
- [19]. Shojaei, A., Yousefian, H., and Saharkhiz, S. (2007). Performance characterization of composite materials based on recycled high-density polyethylene and ground tire rubber reinforced with short glass fibers for structural applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 104:1-8.
- [20]. Canevarolo, S. V. (2000). Chain scission function for polypropylene degradation during multiple extrusions. *Polymer Degradation and Stability*, 709: 71-76.