Available in: http://jips.ippi.ac.ir

Iranian Journal of Polymer Science and Technology
Vol. 22, No. 5, 363-371
December 2009-January 2010
ISSN: 1016-3255

A Comparative Study on Creep Behavior of Wood Flour-Polypropylene Composite, Medium Density Fiberboard (MDF) and Particleboard

J. Nikrai[1], S. Kazemi Najafi*[1], and Gh. Ebrahimi[2]

1. Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, P.O. Box: 46414-356, Tehran, Iran
2. Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Tehran University, P.O.Box:11365-4563, Tehran, Iran

Received 2 May 2009, accepted 3 January 2010

ABSTRACT

The creep/recovery behavior of wood flour-polypropylene was compared with medium density fiberboard (MDF) and particleboard. For this purpose, wood flour-polypropylene composites (with and without compatibilizer) were manufactured by using a laboratory twin-screw extruder. The MDF and particleboard panels were obtained from local producers. Short term flexural creep tests at 30% of ultimate bending load were performed by using flexural creep equipment. The total time to complete every test was 120 min (60 min creep and 60 min recovery). Also Findley creep model was used for the prediction of creep behavior of the materials under study. The results showed that fractional deflection and relative creep in wood flour-polypropylene composites are higher than MDF and particleboard whereas MDF and particleboard exhibited higher percent recovery rather than wood flour-polypropylene composite. Creep modulus at the first phase of creep in wood flour-polypropylene composite was higher than MDF and particleboard but more decreases were observed for creep modulus of wood-plastic composite at the end of creep phase. Coupling agent (MAPP) improved creep/recovery behavior of wood flour-polypropylene composite. Also Findley creep model predicted the creep behavior of studied materials very well.

Key Words:
wood flour-polypropylene composite,
medium density fiberboard,
particleboard,
creep,
Findley model

(*)To whom correspondence should be addressed.
E-mail: skazemi@modares.ac.ir

قابل دسترس در نشانی: http://jips.ippi.ac.ir

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر،
سال بیست و دوم، شماره ۵،
صفحه ۳۷۱-۳۶۳، ۱۳۸۸
ISSN : 1016-3255

بررسی مقایسه‌ای رفتار خزش کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن با تخته فیبر نیمه‌سنگین و تخته خرده چوب

سید جلال نیک رای[۱]، سعید کاظمی نجفی[۱]*، قنبر ابراهیمی[۲]

۱- تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، صندوق پستی ۳۵۶-۴۶۴۱۴

۲- تهران، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، صندوق پستی۴۵۶۳-۱۱۳۶۵

دریافت:۸۸/۲/۱۲، پذیرش: ۸۸/۱۰/۱۳

چکیده

در این پژوهش، رفتار خزش - بازگشت کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن با تخته فیبر نیمه سنگین (MDF) و تخته خرده چوب مقایسه شده است. برای این منظور، کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن (با سازگارکننده و بدون آن) با روش اکستروژن و به کمک اکسترودر دوپیچی ناهم‌سوگرد ساخته شد. MDF و تخته خرده چوب از تولید کنندگان داخلی تهیه شد. آزمون خزش خمشی کوتاه مدت به مدت ۲ h (۱ h خزش و ۱ h بازگشت) انجام شده است. مقدار بارگذاری در آزمون خزش بر اساس ۳۰ درصد از بار شکست نمونه‌ها (به دست آمده از آزمون خمش ایستا) انتخاب شده است. برای پیش‌بینی رفتار خزش مواد مورد مطالعه در این پژوهش از مدل Findley استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد، کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن نسبت به MDF و تخته خرده چوب ضریب خزش و خزش نسبی بیشتری دارد، در حالی که درصد بازگشت تغییر شکل در این مواد کمتر است. هم‌چنین، مدول خزش در آغاز خزش در کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن نسبت به MDF و تخته خرده چوب بیشتر است. اما، درصد کاهش مدول خزش در پایان خزش در کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن بیشتر از MDF و تخته خرده چوب است. سازگارکننده رفتار خزش - بازگشت کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن را بهبود می‌بخشد. به کمک مدل Findley می‌توان رفتار خزشی مواد آزمونی را با دقت بسیار زیاد پیش‌بینی کرد.

واژه‌های کلیدی

کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن،
تخته فیبر نیمه‌سنگین،
تخته خرده چوب،
خزش،
مدل Findley

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:
skazemi@modares.ac.ir

مقدمه

کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک محصولات نسبتاً جدیدی هستند که از مخلوط گرمانرم‌ها نظیر پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، پلی‌استیرن با آرد و الیاف انواع مواد لیگنوسلولوزی ساخته می‌شوند. این نوع کامپوزیت‌ها طی سالیان اخیر رشد و توسعه چشم‌گیری داشته‌اند. شباهت‌های نسبتاً زیاد کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک با کامپوزیت‌های چوبی رایج یعنی تخته فیبر نیمه‌سنگین(MDF) و تخته خرده چوب (نئوپان) از یک طرف و برخی از مزیت‌های کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک نظیر مقاومت به جذب رطوبت و مقاومت در برابر ریزموجودات از طرف دیگر، سبب شده است تا امکان جای‌گزینی کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک با چوب و کامپوزیت‌های رایج چوبی در ساخت انواع محصولات مطرح و مورد توجه قرار گیرد.

یکی از مشخصه‌های مهم و اصلی کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک که کاربرد آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهد، رفتار وابسته به زمان (خزش) آنهاست. به طور کلی، تغییر شکل وابسته به زمان محصول زیر بار ثابت و دمای ثابت به عنوان خزش شناخته می‌شود. وقتی مواد به مدت طولانی زیر بار قرار می‌گیرند، با گذشت زمان تغییر شکل می‌یابند. اگر این تغییر شکل شدید باشد، نه تنها سازه از نظر ظاهری دچار مشکل می‌شود، بلکه ممکن است باعث شکست در آن شده و منجر به حادثه شود. بنابراین، در بارگذاری کوتاه و بلند مدت، در نظر گرفتن خزش و گسیختگی خزش (رفتار استمرار بار) کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک، امری اجتناب‌ناپذیر است و طراحی مهندسی باید براساس حد گسیختگی در خزش همراه با پیش‌بینی دقیق آن انجام شود.

به طور کلی، رفتار وابسته به زمان در زنجیرهای پلیمر خطی زمینه گرمانرم شدید است [۱] و در پلیمرها خزش ترکیبی از تغییر شکل کشسان و جریان گرانروست، که عموماً تغییر شکل ویسکوالاستیک شناخته می‌شود [۲]. نتایج پژوهش‌های معدود گذشته نشان می‌دهد، افزودن پرکننده‌ها و تقویت‌کننده‌های لیگنوسلولوزی به گرمانرم‌ها باعث کاهش خزش در کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک می‌شود. با توجه به ساختار کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک، عوامل مختلفی بر رفتار خزشی آنها اثر می‌گذارند که از جمله آنها می‌توان به مقدار و نوع بارگذاری، مقدار و نوع پرکننده یا تقویت‌کننده، نوع پلاستیک، خام یا ضایعاتی بودن آنها، سازگارکننده، نوع فرایند ساخت، رطوبت و دما اشاره کرد [۳،۴].

چوب و کامپوزیت‌های چوبی نظیر MDF و تخته خرده چوب نیز مانند گرمانرم‌ها و کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک، رفتار ویسکوالاستیک نشان می‌دهند [۵]. بنابراین، مقایسه نسبی رفتار خزش این سه ماده (کامپوزیت چوب - پلاستیک، MDF و تخته خرده چوب) می‌تواند حدود تفاوت بین آنها را برای در نظر گرفتن در فاز محاسبات طراحی به دست دهد که تاکنون پژوهشی در این زمینه مشاهده نشده است. با این هدف، بررسی رفتار خزش - بازگشت کامپوزیت چوب - پلاستیک و اثر سازگارکننده بر آن، مقایسه رفتار خزش - بازگشت کامپوزیت چوب - پلاستیک با MDF و تخته خرده چوب و پیش‌بینی رفتارخزش مواد مورد بررسی با استفاده از مدل Findley در این مطالعه مد نظر قرار گرفته است.

تجربی

مواد

پلی‌پروپیلن از شرکت پلی‌نار تبریز با درجه SI-060 و شاخص جریان مذاب ۳/۲g/۱۰min تهیه شد. این شاخص در شرایط دمای ۱۹۰°C و با وزنه ۲/۱۶۴ kg معین شد. از پلی‌پروپیلن پیوندشده با مالئیک‌انیدرید (MAPP) ساخت شرکت کیمیا جاوید با شاخص جریان مذاب ۱۰۰g/۱۰ min و ۱/۱ درصد مالئیک‌انیدرید پیوند خورده به عنوان سازگارکننده استفاده شده است. آرد چوب سوزنی برگ وارداتی (معروف به چوب روسی) به عنوان پرکننده استفاده شد. برای این منظور ابتدا خاک اره حاصل از اره نواری از کارخانه چوب‌بری تهیه و به کمک الک‌های شماره ۴۰ و ۶۰، آرد چوب با مش ۶۰+/۴۰- تهیه شد. از اسید استئاریک به عنوان روان‌کننده استفاده شد. MDF از کارخانه خزر چوب و تخته خرده چوب از کارخانه شموشک تهیه شد. تخته‌های استفاده شده دارای ضخامت ۱۶ mm بودند و در ساخت آنها از مخلوط گونه‌های پهن برگ و چسب اوره - فرمالدهید استفاده شده است.

دستگاه‌ها

اکسترودر دوپیچی ناهم‌سوگرد مدل WPC-4815 ساخت شرکت برنا پارس مهر، ماشین آزمون مکانیکی DARTEC با ظرفیت سلول بارگذاری ۵۰ kN و تجهیزات اندازه‌گیری خزش خمشی شامل یک قاب فلزی با طول دهانه قابل تغییر به کار گرفته شده است.

روش‌ها

ساخت کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن

ابتدا آرد چوب در گرم خانه و در دمای ۸۰°C به مدت ۲۴ h خشک شد. برای تهیه نمونه‌ها آرد چوب خشک شده، پلی‌پروپیلن و MAPP با نسبت درصد وزنی مورد نظر (مطابق جدول ۱) مخلوط شدند. برای اختلاط بهتر و نسبتاً همگن از مخلوط‌کن آزمایشگاهی با سرعت

۱۵۰۰ rpm به مدت ۵ min استفاده شده است. مواد مخلوط شده مورد نیاز برای هر ترکیب به کمک دستگاه اکسترودر به باریکه‌های با سطح مقطع ۱ cm (ضخامت) در ۷ cm (پهنا) تبدیل شدند. دستگاه مزبور دارای دوبخش اختلاط (مذاب) و قالب است که هر یک از آنها به ترتیب شامل شش و دو منطقه دمایی است. دمای تنظیم شده مناطق مختلف اکسترودر در جدول ۲ آورده شده است. هم چنین، سرعت پیچ ها، ۹۰ rpm تنظیم شد.

آزمون خمش سه نقطه‌ای

مدول کشسان و استحکام خمشی، به وسیله آزمون خمش با سه نقطه بارگذاری مطابق استاندارد DIN 310 EN [۶] اندازه‌گیری شد. این آزمون به وسیله ماشین آزمون مکانیکی با سرعت بارگذاری ۵ mm/min انجام شد. پیش از انجام آزمایش، نمونه ها (۵ عدد برای هر کامپوزیت) به مدت ۲ هفته در آزمایشگاه (دمای ۲۳±۱°C و رطوبت نسبی ۶۵±۲٪) شرایط دهی شدند. ابعاد نمونه های آزمون برای کامپوزیت چوب - پلاستیک ۱۰ mm × ۷۰ × ۲۵۰ و برای MDF و تخته خرده چوب ۱۶ mm × ۷۰ × ۳۷۰ انتخاب شد.

آزمون خزش

خزش خمشی کوتاه مدت مطابق با استاندارد ASTM D7031-04 [۷] انجام شد. زمان انجام آزمون خزش و بازگشت، ۲ h در نظر گرفته شد (۱ h بارگذاری و ۱ h بازگشت). سطح بارگذاری ۳۰ درصد از حداکثر بار شکست مواد (به دست آمده از آزمون خمش ایستا) به کار برده شد. مقدار جا به جایی در زمان های مختلف با استفاده از نشان گر رقمی، مدل Mitutoyo ID-F125E در وسط طول دهانه اندازه‌گیری شد. ابعاد نمونه های آزمون خمش به عنوان ابعاد نمونه‌های خزش نیز انتخاب شد. در آزمون خزش پارامترهای مختلفی اندازه‌گیری و گزارش شده است. این پارامترها به ترتیب زیر است:

درصد بازگشت تغییر شکل: درصد بازگشت تغییر شکل از نسبت تغییر شکل بازگشتی به کل تغییر شکل تعریف می شود.

خزش نسبی: به عنوان درصدی از تغییر شکل آنی و به ترتیب زیر محاسبه شد:

$$R_C = (J_t - J_0)/J_0 \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

R_C خزش نسبی (درصد)، J_t خزش در زمان t (mm) و J_0 خزش آنی (mm) است.

سرعت خزش: تغییر شیب منحنی خزش یا دیفرانسیل تغییر مکان نسبت به زمان را سرعت خزش می گویند که با معادله(۲) محاسبه شده است:

$$V_t = (J_2 - J_1)/J_1 \quad (۲)$$

در این معادله V_t سرعت خزش (mm/min)، J_2 مقدار خزش در زمان t_2، (mm) و J_1 مقدار خزش در زمان t_1(mm) است.

ضریب خزش: اغلب در مسائل طراحی از ضریب خزش استفاده می شود. از حاصل ضرب ضریب خزش در خزش آنی مقدار خزش در زمان t به دست می‌آید. این ضریب به منظور پیش بینی خزش اجزای زیر بار ثابت مناسب است و از معادله (۳) محاسبه می شود:

$$K_t = J_t / J_0 \quad (۳)$$

K_t ضریب خزش برای بار یا تنش ثابت در زمان t، J_t مقدار خزش در زمان t(mm) و J_o خزش آنی (mm) است.

مدول خزش: برای محاسبه مدول خزش که به شکل نسبت بین تنش ثابت و تغییر شکل وابسته به زمان، تعریف می شود [۸]، از معادله (۴) مطابق استاندارد ISO 6602 [۹] استفاده شده است:

$$E_t = (L^3F)/(4bh^3s_t) \quad (۴)$$

E_t مدول خزش در لحظه t(MPa)، L طول دهانه (mm)، F نیرو (N)، b پهنای

جدول ۱ - درصد وزنی اجزای تشکیل دهنده ترکیبات مختلف کامپوزیت چوب - پلاستیک.

ترکیب	کد ترکیب*	مقدار پلی پروپیلن (٪)	مقدار آرد چوب (٪)	مقدار سازگار کننده (٪)
۱	WP	۳۰	۷۰	-
۲	WPM	۲۸	۷۰	۲

*WP بدون سازگارکننده و WPM با سازگارکننده است.

جدول ۲ - دما در مناطق مختلف دمایی در اکسترودر.

منطقه دمایی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	دمای قالب ۱	دمای قالب ۲
دما (°C)	۱۷۰	۱۷۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۵۵	۱۵۰	۱۳۰	۱۰۰

نمونه (mm)، h ضخامت نمونه (mm) و s_t خزش در زمان t (mm) است.

ارزیابی رفتارخزش مواد با استفاده از مدل Findley

برای پیش‌بینی رفتارخزش مواد ویسکوالاستیک مدل‌های مختلفی ارائه شده است [۵]. دراین مطالعه از مدل Findley کمک گرفته شده که توسط Findley در سال ۱۹۶۰ پیشنهاد شد. این مدل نسبتاً ساده و برای پیش‌بینی رفتارخزش مواد ویسکوالاستیک در سطوح بارگذاری متوسط بسیار کارآمد است [۱۰]. معادله عمومی مدل به ترتیب زیر است:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + at^m \qquad (۵)$$

ε تغییر طول نسبی در زمان t، ε_0 تغییر طول نسبی آنی است و a و m مقادیر ثابت هستند. با رسم $\log(\varepsilon - \varepsilon_0)$ به شکل تابعی از log (t) پارامترهای a و m معین می‌شوند. شیب خط راستی که از نقاط این ترسیم می‌گذرد m و تقاطع آن با محور عمودی loga است. برای تبدیل مقادیر خزش به تغییر طول نسبی از معادله(۶) مطابق استاندارد ASTM D 790-96a [۱۱] استفاده شده است:

$$\varepsilon = 6Dd/L^2 \qquad (۶)$$

که در آن ε تغییر طول نسبی، D خزش (mm)، d ضخامت نمونه (mm) و L طول دهانه (mm) است.

نتایج و بحث

مدول کشسان خمشی و استحکام خمشی

جدول ۳ مدول کشسان خمشی و استحکام خمشی مواد آزمون را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود، مدول کشسان کامپوزیت آردچوب - پلی‌پروپیلن بدون سازگارکننده، ۴ درصد کمتر از MDF (از نظر آماری عدم اختلاف معنی‌دار) و ۱۹ درصد بیشتر از تخته خرده چوب مورد مطالعه (اختلاف معنی‌دار) است. با افزودن ۲ درصد سازگارکننده در ترکیب کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن، مدول کشسان به طور معنی داری(۵۶ درصد) افزایش یافته است، مدول کشسان کامپوزیت‌های حاوی سازگارکننده به شکل معنی‌داری بیشتر از MDF (۵۰ درصد) و تخته خرده چوب (۸۶ درصد) است.

مطابق جدول ۳، استحکام خمشی کامپوزیت آردچوب - پلی‌پروپیلن بدون سازگارکننده، ۶۰ درصد کمتر از MDF و ۱۱ درصد بیشتر از تخته

جدول۳ - مدول کشسان خمشی و استحکام خمشی مواد آزمون.

مواد	مدول کشسان (MPa)	استحکام خمشی (MPa)
WP	۳۳۱۵ (۲۰۸/۶)	۱۵/۶ (۱/۲)
WPM	۵۱۷۶ (۳۵۴/۸)	۳۲/۱ (۲/۶)
MDF	۳۴۵۹ (۲۰۷/۸)	۳۸/۸ (۱/۴)
PB	۲۷۷۷ (۳۹۸/۵)	۱۴/۱ (۲/۰)

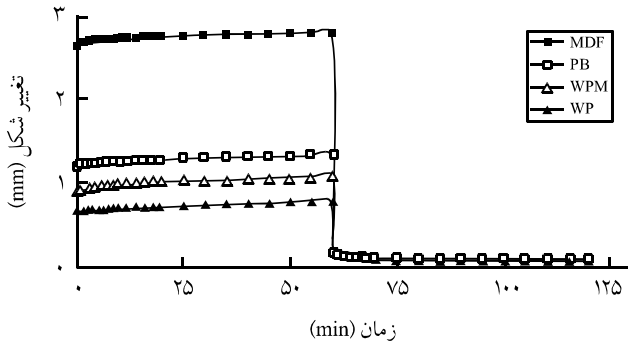
اعداد داخل پرانتز مقدار انحراف معیار را نشان می‌دهد.
PB تخته خرده چوب است.

خرده چوب است. این اختلاف‌ها از نظر آماری برای MDF معنی‌دار است، اما برای تخته خرده چوب معنی‌دار نیست. افزودن ۲ درصد سازگارکننده در ترکیب این مواد، استحکام خمشی را به طور معنی‌دار و بیش از ۱۰۰ درصد افزایش داده است. استحکام خمشی کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن حاوی سازگارکننده، ۱۷ درصد کمتر از MDF و ۱۲۸ درصد بیشتر از تخته خرده چوب است که در هر دو حالت این اختلاف معنی‌دار است.

همان‌طور که ملاحظه شد، استفاده از ۲ درصد سازگارکننده سبب افزایش قابل ملاحظه و معنی‌دار مدول کشسان خمشی و استحکام خمشی کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن شده است. وجود سازگارکننده در ترکیب کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک، سازگاری بین مواد سلولوزی(قطبی) و پلیمر(غیر قطبی) را افزایش می‌دهد و با ایجاد پیوندهای کووالانسی با گروه‌های هیدروکسیل سطوح مواد سلولوزی (آرد چوب) برهم‌کنش و چسبندگی بین مواد سلولوزی و پلیمر را افزایش می‌دهد. در نتیجه، تنش از ماده زمینه (پلیمر) به مواد سلولوزی بهتر انتقال می‌یابد و مدول کشسان و استحکام خمشی افزایش می‌یابد [۱۲].

خزش

منحنی خزش - بازگشت مواد آزمون در شکل ۱ نشان داده شده است. پارامترهای مختلف خزش - بازگشت این مواد نیز در جدول ۴ آورده شده است. در این پژوهش، بارگذاری بر اساس ۳۰ درصد از بار شکست مواد (به دست آمده از آزمون خمش ایستا) بوده است و چون بار شکست مواد با یک‌دیگر تفاوت دارد، بنابراین مقدار بارگذاری در آزمون خزش نیز متفاوت بوده است، به طوری که مقدار بارگذاری در کامپوزیت آرد چوب - پلی پروپیلن با سازگارکننده و بدون آن به ترتیب ۱۲ و kg ۲۳ و در MDF و تخته خرده چوب به ترتیب ۴۴ و kg ۱۷ بوده است. بنابراین در پژوهش حاضر، برای مقایسه مقدار تغییر شکل آنی و تغییر شکل بیشینه مواد مختلفی که زیر بارگذاری متفاوت بوده‌اند، از مقادیر خزش



شکل ۱ - منحنی خزش - بازگشت مواد آزمونی.

بر اساس واحد بار استفاده شده است. برای این منظور مقدار خزش (تغییر شکل) بر باری که ایجادکننده خزش بوده است، تقسیم شد و مقدار خزش بر اساس واحد بار به دست آمد.

نتایج نشان می‌دهد که مقدار تغییر شکل آنی واحد بار در کامپوزیت آردچوب - پلی‌پروپیلن، تقریباً ۱۲ درصد کمتر از MDF و ۲۵ درصد کمتر از تخته خرده چوب است. افزودن سازگارکننده در ترکیب این کامپوزیت، تغییر شکل آنی را کاهش داده است (۲۴ درصد) طوری که تغییر شکل آنی کامپوزیت حاوی سازگارکننده، ۳۳ درصد کمتر از MDF و ۴۳ درصد کمتر از تخته خرده چوب است.

هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد، تغییر شکل بیشینه واحد بار کامپوزیت‌های مطالعه شده تقریباً ۶ درصد بیشتر از MDF است. در مقایسه با تخته خرده چوب این کامپوزیت ۲۱ درصد تغییر شکل بیشینه کمتری دارند. استفاده از سازگارکننده تغییر شکل بیشینه واحد بار را در این کامپوزیت‌ها کاهش می‌دهد (۲۷ درصد) به طوری که تغییر شکل بیشینه کامپوزیت حاوی سازگارکننده حدود ۲۲ درصد کمتر از MDF و ۴۲ درصد کمتر از تخته خرده چوب است. نتایج Lee و همکاران نیز نشان داد که افزودن ۳ درصد سازگارکننده مقدار خزش ناشی از بارگذاری کششی کامپوزیت آرد - چوب پلی‌پروپیلن را به نصف کاهش می‌دهد [۱۳]. نتایج مشابهی توسط Bengtsson برای کامپوزیت‌های آرد چوب - پلی‌اتیلن سنگین دارای سازگارکننده سیلان گزارش شده است. کاهش خزش در این کامپوزیت‌ها، به ایجاد پیوندهای عرضی بین چوب و پلیمر در اثر سازگارکننده نسبت داده شده است [۱۴].

درصد بازگشت تغییر شکل در کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن اندکی کمتر از MDF و تخته خرده چوب است که در کامپوزیت حاوی سازگارکننده، درصد بازگشت افزایش یافته و تقریباً با MDF و تخته خرده چوب برابر است (جدول ۴).

مطابق جدول ۴، ضریب خزش در کامپوزیت آردچوب - پلی پروپیلن بدون سازگارکننده به ترتیب ۱۴ و ۹ درصد بیشتر از MDF و تخته خرده چوب است و همین ضریب در کامپوزیت حاوی سازگارکننده، به ترتیب ۱۱ و ۶ درصد از MDF و تخته خرده چوب بیشتر است.

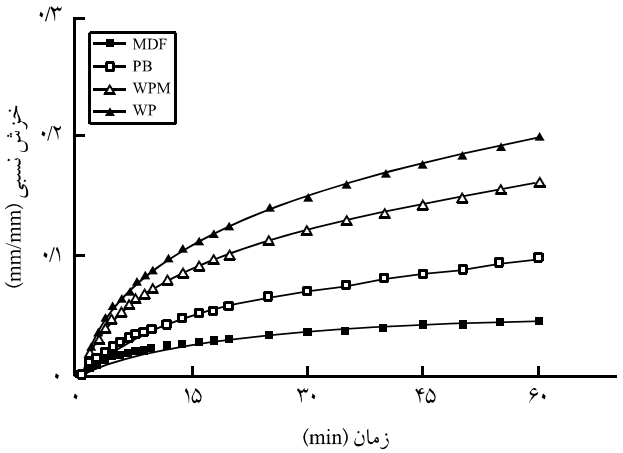
خزش نسبی

شکل ۲ خزش نسبی مواد آزمونی را نشان می‌دهد. کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن نسبت به MDF و تخته خرده چوب خزش نسبی بیشتری دارند، به طوری که در پایان خزش، کامپوزیت چوب - پلاستیک با سازگارکننده و بدون آن به ترتیب ۲۰ و ۱۶ درصد خزش نسبی تولید می‌کند، در حالی که این مقدار در MDF و تخته خرده چوب به ترتیب ۵ و ۱۰ درصد است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، سازگارکننده خزش نسبی را در کامپوزیت آردچوب - پلی‌پروپیلن اندکی (۴ درصد) کاهش داده است. به طور کلی خزش نسبی، شاخصی از رفتار مهندسی وابسته به زمان در کامپوزیت‌های چوبی است و معمولاً برای مقایسه رفتار خزش مواد مختلف با مدول کشسان متفاوت به کار برده می‌شود [۱۵،۱۶]. خزش نسبی بیشتر کامپوزیت‌های آرد چوب - پلی‌پروپیلن نسبت به MDF و تخته خرده چوب را می‌توان به وجود پلی‌پروپیلن نسبت داد. اگرچه هر دو بخش تشکیل‌دهنده کامپوزیت چوب - پلاستیک مورد مطالعه (یعنی پلی‌پروپیلن وچوب) رفتار

جدول ۴ - پارامترهای خزش مواد آزمونی.

مواد	پارامترهای خزش					
	تغییر شکل آنی (mm)	بیشینه تغییر شکل (mm)	بازگشت آنی (mm)	تغییر شکل دائمی (mm)	درصد بازگشت (٪)	ضریب خزش
WP	۰/۶۳۴ (۰/۰۵۳)	۰/۷۶۱ (۰/۰۶۳)	۰/۶۱۲	۰/۰۶۶	۹۱	۱/۲۰
WPM	۰/۹۲۲ (۰/۰۴۰)	۱/۰۷۲ (۰/۰۴۷)	۰/۹۱۵	۰/۰۵۴	۹۵	۱/۱۶
MDF	۲/۶۵۹ (۰/۰۶۰)	۲/۷۸۰ (۰/۰۶۳)	۲/۶۵۱	۰/۰۵۲	۹۸	۱/۰۵
PB	۱/۲۱۰ (۰/۰۷۱)	۱/۳۳ (۰/۰۷۸)	۱/۲۰۲	۰/۰۷۸	۹۴	۱/۱۰

اعداد داخل پرانتز بر اساس واحد بار اعمال شده هستند.



شکل ۲ ـ خزش نسبی مواد مورد مطالعه.

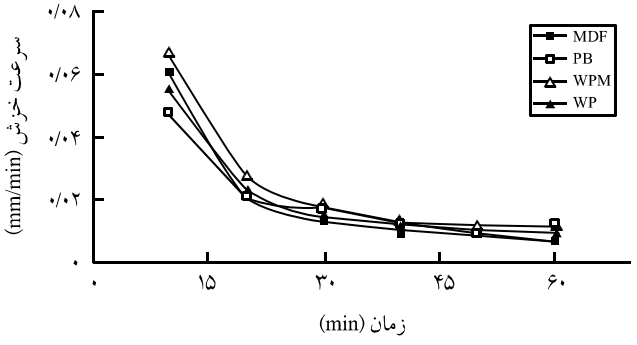
ویسکوالاستیک دارند، اما رفتار کشسان چوب بیشتر از پلی‌پروپیلن است. در مواد پلیمری تغییر شکل وابسته به زمان شدید است، به طوری که خزش نسبی پلی‌پروپیلن به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از چوب است [۲]، به همین دلیل، با افزایش درصد پلیمر در کامپوزیت‌های چوب ـ پلاستیک مقاومت به خزش کاهش می‌یابد [۲،۴].

سرعت خزش

سرعت خزش در مواد مختلف آزمون در شکل ۳ نشان داده شده است. سرعت خزش در آغاز خزش بیشتر بوده است که به تدریج و با گذشت زمان کاهش یافته به طوری که تقریباً از ۴۰ تا ۶۰ min ثابت است. سرعت خزش در کامپوزیت آردچوب ـ پلی‌پروپیلن، MDF و تخته خرده چوب تقریباً یکسان بوده و تفاوت‌ها ناچیز است.

مدول خزش

شکل ۴ مدول خزش کامپوزیت‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدول خزش با گذشت زمان کاهش



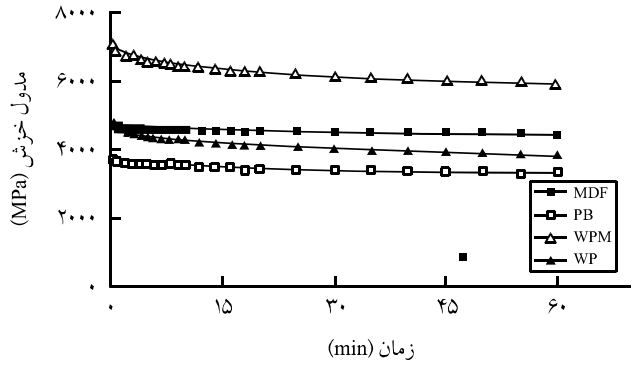
شکل ۳ ـ سرعت خزش در مواد مختلف آزمون.

می‌یابد. در آغاز خزش، مدول خزش در کامپوزیت آرد چوب ـ پلی‌پروپیلن بدون سازگارکننده در حد MDF و بیشتر از تخته خرده چوب است، اما مدول خزش در کامپوزیت حاوی سازگارکننده به طور محسوسی بیشتر از MDF و تخته خرده چوب است. Bledzki و Faruk [۱۷] نیز نشان دادند که مدول خزش کامپوزیت‌های الیاف چوب ـ پلی‌پروپیلن دارای سازگارکننده بیشتر از کامپوزیت‌های بدون سازگارکننده است.

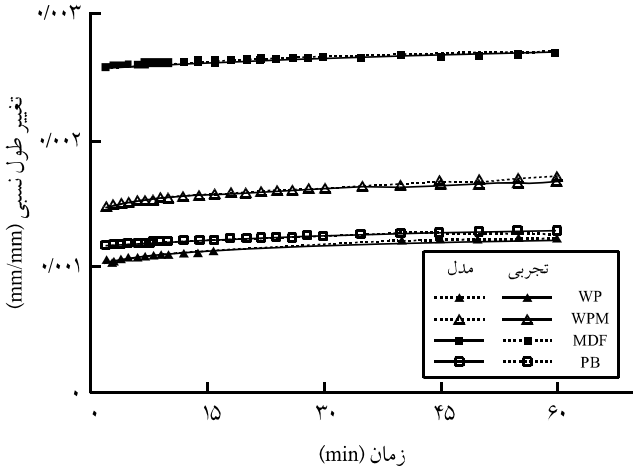
همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، شیب منحنی مدول خزش کامپوزیت آردچوب ـ پلی‌پروپیلن بیشتر از MDF و تخته خرده چوب است. این بدان معنی است که مقدار کاهش مدول خزش در کامپوزیت آردچوب ـ پلی‌پروپیلن بیشتر از MDF و تخته خرده چوب است، به طوری که مقدار این کاهش در کامپوزیت آردچوب ـ پلی‌پروپیلن با سازگارکننده و بدون آن در پایان خزش به ترتیب ۲۰ و ۲۵ درصد و در MDF و تخته خرده چوب به ترتیب ۶ و ۱۲ درصد است.

نتایج حاصل از پیش‌بینی رفتار خزش مواد آزمون با مدل Findley

شکل ۵ تغییر طول نسبی اندازه‌گیری شده (تجربی) مواد مورد مطالعه را در مقایسه با مقادیر پیش‌بینی شده با مدل Findley نشان می‌دهد. هم‌چنین، متغیرهای مدل Findley و درصد تفاوت مقادیر تغییر طول نسبی حاصل از دو روش تجربی و مدل Findley در مواد آزمون در جدول ۵ آورده شده است. نتایج حاصل از پیش‌بینی رفتار خزش مواد آزمون با استفاده از مدل Findley نشان می‌دهد که این مدل می‌تواند با دقت قابل قبول برای پیش‌بینی رفتار خزش مواد آزمون دراین پژوهش، درسطح بارگذاری ۳۰ درصد از حداکثر بار خمشی، استفاده شود. حداکثر اختلاف بین روش تجربی و مدل Findley در کامپوزیت آردچوب ـ پلی‌پروپیلن بدون سازگارکننده، ۲/۱ درصد و حداقل اختلاف بین روش تجربی و مدل Findley در MDF، ۰/۳ درصد مشاهده شده است. Kobbe [۱۰] نیز دقت مدل Findley را برای ارزیابی



شکل ۴ ـ مدول خزش مواد مورد مطالعه.



شکل ۵ - تغییر طول نسبی تجربی و پیش بینی شده با مدل Findley در مواد مورد مطالعه.

تغییر شکل وابسته به زمان کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک قابل قبول خواند و مقدار اختلاف بین روش تجربی و مدل Findley را برای برخی از کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک تا ۷ درصد گزارش کرده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، رفتار خزش - بازگشت کامپوزیت آرد چوب - پلی‌پروپیلن با سازگارکننده و بدون آن حاصل از فرایند اکستروژن با صفحات رایج چوبی (MDF و تخته خرده چوب) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد، به طور کلی مقاومت به خزش کامپوزیت آردچوب - پلی‌پروپیلن کمتر از MDF و تخته خرده چوب است و با استفاده از سازگارکننده می‌توان رفتار خزش کامپوزیت آردچوب - پلی‌پروپیلن را بهبود بخشید. ضریب خزش و خزش نسبی بیشتری برای کامپوزیت پلی‌پروپیلن - آرد چوب نسبت به MDF و تخته خرده چوب به دست آمد، ضمن این که در پایان مدت بارگذاری کاهش مدول خمش بیشتری برای کامپوزیت آردچوب - پلی‌پروپیلن حاصل شد. در مجموع سازگارکننده سبب بهبود و اصلاح پارامترهای مربوط به خزش شده است. مدل Findley با دقت بسیار زیاد مقدار تغییر شکل وابسته به زمان مواد آزمون را پیش‌بینی می‌کند.

جدول ۵ - متغیرهای مدل Findley در مواد مختلف مورد مطالعه.

مواد	a	m	ε_o(mm)	مقدار اختلاف (٪)
WP	۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۵۷۲	۰/۰۰۱۰۱۱	۲/۱
WPM	۰/۰۰۰۰۲۶	۰/۵۶۵	۰/۰۰۱۴۴۲	۱/۲
MDF	۰/۰۰۰۰۱۷	۰/۴۸۳	۰/۰۰۲۵۵۴	۰/۳
PB	۰/۰۰۰۰۱۰	۰/۶۳۰	۰/۰۰۱۱۵۳	۱/۴

مراجع

1. Findley W.N., Mechanisms and Mechanics of Creep of Plastics, *Soc. Plast. Eng. J.,* **16,** 57-65, 1960.
2. Park B.D. and Balatinez J.J., Short Term Flexural Creep Behavior of Wood Fiber/Polypropylene Composite, *Polym. Compos.,* **19**, 377-82, 1998.
3. Najafi A., and Kazemi Najafi S., Effect of Load Levels and Plastic Types on Creep Behavior of Wood Sawdust/HDPE Composite, *J. Reinforc. Plast. Compos.,* **28**, 2645-2653, 2009.
4. Kazemi Najafi S., Mostafazadeh Marzenaki M., Chaharmahali M., and Tajvidi M., The Effects of Filler Content and Water Absorption on Creep Behavior of HDPE Waste/MDF Flour Composites, *Iran. J.Polym. Sci. Technol. (in Persion),* **21**, 53-59, 2008.
5. Bodig J. and Jayne B.A., *Mechanics of Wood and Wood Composites,* Van Nostrand Reinhold, New York, 712, 1982.
6. European Standard for Determination of Modulus of Elasticity in Bending and Bending Strength, DIN EN 310, 1993 .
7. American Society for Testing and Materials, Standard Guide for Evaluating Mechanical and Physical Properties of Wood - Plastic Composite Products ASTM D 7031- 04, West Conshohocken, PA, USA, 2004.
8. Perez C.J., Alvarez V.A., and Vazquez A., Creep Behavior of Layered Silicate/Starch-Polycaprolactone Blendes Nanocomposites, *Mater. Sci. Eng. Part: A,* **480**, 259-265, 2008.
9. International Organization for Standardization, Plastics: Determination of Creep Behavior - Part 2: Flexural Creep by Three-Point Loading, ISO 899-2, 2003.
10. Kobbe R.G., *Creep Behavior of a Wood - Polypropylene Composite,* MSc Thesis, Washington State University, 2005.
11. American Society for Testing and Materials, Standard Test

Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, West Conshohocken, PA, 19428, 1996.

12. Rowell R.M., Young R.A., and Rowell J.K., *Paper and Composites from Agro-based Resources,* CRC/Lewis, USA, 446, 1996.
13. Lee S.Y., Yang H.S., Kim H.I., Jong C.S., Lim B.S., and Lee J.N., Creep Behavior and Manufacturing Parameters of Wood Flour Filled Polypropylene Composite, *Compos. Struct.*, **65**, 459-469, 2004.
14. Bengtsson M. and Oksman K., Silan Crosslinked Wood Plastic Composite, Process and Properties, *Compos. Sci. Technol.,* **66**, 2177-2186, 2006.
15. Pu J.H., Tang R.C., and Hse C.Y., Creep Behavior of Sweet Gum OSB: Effect of Load Level and Relative Humidity, *Forest Product J.,* **44**, 45-50, 1994.
16. Bodig J. and Jayne BA., *Mechanics of Wood and Wood Composites,* Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1982.
17. Bledzki A.K. and Faruk O., Creep and Impact Properties of Wood Fiber-Polypropylene Composite: Influence of Temperature and Moisture Content, *Compos. Sci. Technol.,* **64**, 693-700, 2004.