



اثر مقدار پرکننده و جذب آب بر رفتار خزشی کامپوزیت های ساخته شده از ضایعات پلی اتیلن سنگین و آرد MDF

سعید کاظمی نجفی^{۱*}، مرتضی مصطفی زاده^۱، مجید چهارمحالی^۱، مهدی تجویدی^۲

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

۲ - تهران، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، صندوق پستی ۱۱۳۶۵/۴۵۶۳

دریافت: ۸۶/۴/۳۱، پذیرش: ۸۶/۱۰/۲۲

چکیده

در این پژوهش، اثر مقدار پرکننده و زمان غوطه ورسازی در آب بر رفتار خزشی کامپوزیت های چوب - پلاستیک ساخته شده از پلی اتیلن سنگین ضایعاتی و آرد تخته فیبر نیمه سنگین (MDF) بررسی شد. اختلاط به وسیله اکسترودر دوما ریچی انجام شد و نمونه ها به کمک پرس گرم مسطح ساخته شدند. قبل از انجام آزمون خزش، مدول کشسان و استحکام خمشی کامپوزیت اندازه گیری شد. بررسی نتایج نشان داد که با افزایش مقدار آرد MDF از ۶۰ به ۷۰ درصد مدول کشسان افزایش یافته و پس از آن با افزایش مقدار آرد به ۸۰ درصد مدول کشسان کاهش می یابد. همچنین، با افزایش مقدار آرد از ۶۰ به ۸۰ درصد استحکام خمشی به طور خطی کاهش پیدا کرد. نتایج مطالعه خزش نشان داد که با افزایش مقدار آرد MDF مقاومت به خزش افزایش یافته و جذب آب روی رفتار خزشی کامپوزیت آرد چوب پلی اتیلن سنگین اثر منفی دارد. در تمام سطوح پرکننده، با افزایش زمان غوطه ورسازی نمونه ها در آب خزش نیز افزایش یافت.

واژه های کلیدی

کامپوزیت چوب - پلاستیک، آرد MDF، پلی اتیلن سنگین ضایعاتی، جذب آب، خزش

* مسئول مکاتبات، پیام نگار:

skazemi@modares.ac.ir

The Effects of Filler Content and Water Absorption on Creep Behavior of HDPE Waste/MDF Flour Composites

S. Kazemi Najafi^{1*}, M. Mostafazadeh¹, M. Chaharmahali¹ and M. Tajvidi²

1. Faculty of Natural Resource and Marine Sciences, Department of Wood and Paper Sciences, Tarbiat Modares University, P.O. Box: 46414/356, Tehran, Iran

2. Faculty of Natural Resource, Department of Wood and Paper Sciences, Tehran University, P.O. Box: 11365/4563, Tehran, Iran

Received 22 July 2007; accepted 12 January 2008

Abstract

The influence of flour content and immersion time in water on the creep behavior of composites made from high density polyethylene (HDPE) waste and MDF (medium density fiberboard) flour was investigated. Mixing was carried out by a twin screw extruder and the sample was manufactured by flat hot press. Firstly, the modulus of elasticity and bending strength of various MDF flour-polyethylene composites (WPCs) were measured before performing the creep test. It was shown that the modulus of WPCs increases with an increase in MDF flour content from 60 to 70% and then decreases as the flour content reaches 80%. It is found that the bending strengths of WPCs significantly and linearly decrease with the increase in flour content from 60 to 80%. The results showed that, the creep strain decreases as the lignocellulosic flour level increases. Water absorption has negative effect on creep behavior of MDF flour/HDPE composites. For all filler contents, it can be seen that the creep strain increases when the immersion time increases.

Key Words

wood-plastic composite, MDF flour, waste HDPE, water absorption, creep

(*) To whom correspondence should be addressed.

E-mail: skazemi@modares.ac.ir

مقدمه

پرکننده‌های لیگنوسلولوزی (آلی) به شکل آرد یا الیاف به دلیل ارزان‌ی و فراوانی زیاد جایگزین بسیار خوبی برای پرکننده‌های معدنی نظیر شیشه، تالک، میکا و گرافیت در تولید فرآورده‌های کامپوزیتی گرمانرم هستند. به طور کلی، پرکننده اعم از آلی یا معدنی سبب بهبود کاربری پلاستیک‌ها و کاهش هزینه تولید می‌شوند. در سال‌های اخیر، استفاده از پرکننده‌های لیگنوسلولوزی برای تولید گروه جدیدی از مواد به نام کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک (گرمانرم) که به اختصار WPC نامیده می‌شوند، مورد توجه قرار گرفته است و دامنه کاربرد آنها رو به فزونی است. یادآور می‌شود، قبلاً از آرد چوب و مواد لیگنوسلولوزی به عنوان پرکننده یا بسط دهنده در پلیمرهای گرماسخت استفاده می‌شده است. به طور کلی، خواص مکانیکی کامپوزیت چوب - پلاستیک با افزایش مقدار پرکننده سلولوزی افزایش می‌یابد. مقاومت و مدول (کششی و خمشی) کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک به شکل معنی داری از گرمانرم‌های تقویت نشده بیشتر است [۱]. البته باید مد نظر داشت که با افزایش مقدار پرکننده سلولوزی مقاومت به ضربه کاهش می‌یابد [۲،۳]. به عبارت دیگر، مقاومت و مدول زیاد پرکننده سلولوزی سبب افزایش تردی یا شکنندگی کامپوزیت‌ها می‌شود.

با وجود تمام مزیت‌های پرکننده سلولوزی، باید اذعان داشت که ماهیت آب دوست پرکننده‌های طبیعی موجب جذب رطوبت و آب در کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک می‌شود، در حالی که ماده زمینه یا همان گرمانرم جذب آب ناچیزی دارد. این ویژگی در کاربردهای جدید کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک و استفاده از آنها برای مصارف بیرونی که مستلزم تماس آنها با شرایط جوی و محیط‌های آبی و مرطوب است، بسیار اهمیت دارد. جذب رطوبت و آب به وسیله کامپوزیت چوب - پلاستیک از عوامل مهم محدودکننده است که روی بسیاری از خواص مکانیکی و همچنین دوام طبیعی و در نهایت کاربرد نهایی آنها اثر می‌گذارد.

روند و مقدار جذب آب در کامپوزیت‌های چوب توسط پژوهشگران مختلفی مطالعه شده است [۴-۶]. نتایج نشان می‌دهد که روند و مقدار جذب آب در کامپوزیت‌های چوبی تحت تأثیر نوع، مقدار و ابعاد پرکننده، نوع پلیمر و بازیافتی یا خام بودن آن، دما و استفاده یا عدم استفاده از سازگارکننده است.

یکی از خواص مهم و کاربردی کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک که تحت تأثیر رطوبت قرار می‌گیرد، رفتار وابسته به زمان (خزش) آنهاست. با وجود پیشرفت‌های اخیر در روش‌های فرآوری و بهبود خواص مکانیکی کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک، گزارش‌های محدودی

درباره خزش این مواد و اثر عوامل مختلف روی آن وجود دارد [۷-۱۰]. به طور کلی، تغییر شکل وابسته به زمان محصول زیر یک بار و در دمای ثابت به عنوان خزش شناخته می‌شود. با گذشت زمان ممکن است تغییر شکل خزشی از مقدار معینی در سازه‌ها بیشتر شده و سبب شکست شود. بنابراین، خزش یکی از مشخصه‌های اصلی کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک است که منجر به کاربری ضعیف در بعضی از کاربردهای آنها می‌شود. در بارگذاری کوتاه و بلند مدت، در نظر گرفتن خزش و گسیختگی خزش (رفتار استمرار بار) کامپوزیت چوب - پلاستیک، امری اجتناب‌ناپذیر است و طراحی مهندسی باید براساس حد گسیختگی در خزش همراه با پیش بینی دقیق آن انجام شود.

چوب و گرمانرم‌ها به عنوان مواد ویسکوالاستیک تحت تأثیر رفتار خزشی هستند [۱۱،۱۲]. خزش این مواد ترکیبی از تغییر شکل کشسان و جریان گرانروست، که به طور عمومی به عنوان تغییر شکل ویسکوالاستیک شناخته می‌شود [۱۳]. با پیشرفت‌های اخیر در دانش و فناوری کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک و همچنین علاقه فزاینده به استفاده از کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک در کاربردهای سازه‌ای و در محوطه‌های بیرونی، مطالعه خزش این مواد و اثر عوامل مختلف محیطی مانند جذب آب، رطوبت و دما روی آن بسیار مهم است. بنابراین، با توجه به این که در ساخت کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک از دامنه گسترده‌ای از پرکننده‌های سلولوزی و پلیمرها (خام یا بازیافتی) می‌توان استفاده کرد، این پژوهش با هدف ارزیابی خزش کامپوزیت ساخته شده از پلی اتیلن سنگین ضایعاتی و آرد تخته فیبر نیمه سنگین (medium density fiberboard, MDF) بدون سازگارکننده و اثر جذب آب بر خزش کامپوزیت چوب - پلاستیک انجام شده است.

تجربی

مواد

پلی اتیلن ضایعاتی

استفاده از ضایعات پلاستیک‌ها و چرخه مجدد آنها از نظر ملاحظات زیست محیطی اهمیت ویژه‌ای دارد. به همین منظور از خرده‌های پلی اتیلن سنگین (HDPE) ضایعاتی به دست آمده از بطری‌های شیر به عنوان گرمانرم استفاده شده است. شاخص جریان مذاب پلی اتیلن سنگین ضایعاتی مورد استفاده $10 \text{ min} / 1 \text{ g} / 18$ بوده است. این شاخص در شرایط دمای 190°C و با وزنه $2/164 \text{ kg}$ معین شد.

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

ترکیب	مقدار HDPE ضایعاتی (%)	مقدار آرد MDF (%)
۱	۱۰۰	۰
۲	۴۰	۶۰
۳	۳۰	۷۰
۴	۲۰	۸۰

آزمون به وسیله ماشین آزمون مکانیکی با سرعت بار گذاری 5 mm/min انجام شد. قبل از انجام آزمایش نمونه‌ها به مدت ۲ هفته در آزمایشگاه شرایط دهی شدند.

جذب آب

برای ارزیابی اثر جذب آب روی رفتار خزشی کامپوزیت چوب - پلاستیک، مطابق استاندارد ASTM D7031-04 [۱۵] چهار نمونه از هر اختلاط انتخاب شد و به مدت ۲۴h در دمای ۱۰۵°C داخل گرم‌خانه خشک شدند. سپس، نمونه‌های خشک شده با ترازوی رقمی با دقت زیاد توزین و در آب مقطر به مدت ۱۵ و ۳۰ روز و در دمای محیط قرار داده شدند. بعد از غوطه‌ورسازی، نمونه‌ها از آب خارج و سطح آنها به وسیله دستمال کاغذی خشک شد، مجدداً مقدار وزن آنها اندازه‌گیری شد. مقدار جذب آب طبق معادله (۱) محاسبه شد:

$$(1) \quad \text{جذب آب} = \frac{(\text{وزن خشک} - \text{وزن بعد از غوطه‌ورسازی})}{\text{وزن خشک}} \times 100$$

آزمون خزش

نمونه‌های خمشی استاندارد برای آزمون خزش مورد استفاده قرار گرفت. سطح بارگذاری ۲۰ درصد حداکثر بار خمشی (معادل ۱۷۵۴ kg) معین شد. آزمون خزش خمشی سه نقطه با اندازه‌گیری مداوم جا به جایی نقطه میانی نمونه‌ها در مدت زمان ۶۰ min (۳۰ min خزش و ۳۰ min بازگشت) در دمای ۲۵±۱°C و رطوبت نسبی ۷۰±۵ درصد به وسیله کرنش‌سنج انجام شد. برای ارزیابی اثر مقدار جذب آب بر خزش، آزمون خزش در سه وضعیت شامل شرایط تعادل با محیط (بدون غوطه‌ورسازی) و ۱۵ و ۳۰ روز غوطه‌ورسازی در آب انجام شد. با توجه به خاصیت آب‌گریزی پلی‌اتیلن و عدم جذب آب به وسیله آن، آزمون خزش برای پلی‌اتیلن انجام نشده است.

ضایعات تخته فیبر نیمه سنگین (MDF)

با توجه به حجم زیاد MDF در ساخت انواع مصنوعات چوبی هر ساله مقدار زیادی خاک ااره MDF و ضایعات ناشی از اندازه‌بری آنها تولید می‌شود که استفاده از آنها در ساخت کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. بنابراین در این پژوهش، دو نوع ضایعات MDF از کارخانه خزر چوب واقع در شمال ایران تهیه شدند: ۱- خاک ااره حاصل از برش تخته‌ها و ۲- قطعات حاصل از کناره‌بری تخته‌ها که این قطعات پس از تبدیل خرده‌های کوچک به وسیله آسیاب تیغه‌ای، به کمک آسیاب چکشی آزمایشگاهی به پودر با مش ۲۰ تبدیل شدند. دو بخش مزبور با نسبت‌های مساوی با هم مخلوط شدند.

دستگاه‌ها

اکسترودر دو ماریچی مدل WPC-4815 ساخت شرکت برنا پارس مهر، پرس گرم هیدرولیک، ماشین آزمون مکانیکی DARTEC و تجهیزات اندازه‌گیری خزش به کار گرفته شد.

روش‌ها

فرایند اختلاط

آرد MDF در گرم‌خانه و در دمای ۸۰°C به مدت ۲۴ h خشک شد و برای جلوگیری از جذب رطوبت داخل کیسه‌های پلاستیکی نگه‌داری شد. آرد MDF خشک شده و پلی‌اتیلن ضایعاتی با نسبت درصد وزنی مورد نظر (مطابق جدول ۱) به وسیله اکسترودر دو ماریچی در دمای ۱۷۵°C و با سرعت ۱۰ rpm با هم مخلوط شدند و پس از اختلاط، با آسیاب تیغه‌ای به حبه (pellet) تبدیل شدند. دانه‌ها قبل از مرحله پرس گرم در گرم‌خانه با دمای ۸۰°C به مدت ۲۴ h خشک شدند.

ساخت تخته‌ها

از اختلاط‌های انجام شده با استفاده از قالب و به وسیله دستگاه پرس گرم هیدرولیک، صفحاتی (کامپوزیت چوب - پلاستیک) به ضخامت اسمی ۱ cm و ابعاد اسمی ۳۵×۳۵ cm تهیه شد. زمان و دمای پرس گرم به ترتیب ۲۵ min و ۱۹۵°C بوده است. پس از اتمام زمان پرس گرم، تخته‌ها به مدت ۵ min داخل پرس سرد قرار داده شدند تا زیر فشار سرد شوند.

آزمون خمش سه نقطه‌ای

برای اندازه‌گیری مدول کشسان و استحکام خمشی، آزمون خمش با سه نقطه بارگذاری مطابق استاندارد DIN 310 EN [۱۴] انجام شد. این

نتایج و بحث

مواد غیرقطبی (آب‌گریز) هستند که با پرکننده‌های سلولوزی که قطبی‌اند (آب‌دوست) سازگار نیستند، به همین منظور معمولاً از سازگارکننده برای ایجاد اتصال بین این دو استفاده می‌شود.

جذب آب

شکل ۲ جذب آب کامپوزیت آرد MDF و پلی اتیلن سنگین را در شرایط تعادل با محیط و بعد از ۱۵ و ۳۰ روز غوطه‌ورسازی در آب نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار آرد MDF از ۶۰ به ۸۰ درصد مقدار جذب آب به طور خطی افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار آرد از یک طرف بر مقدار ماده آب‌دوست یعنی آرد MDF افزوده می‌شود و از طرف دیگر از مقدار پلاستیک که ماده‌ای آب‌گریز است، کاسته می‌شود. از طرفی، پلی اتیلن در اثر گرما ذوب شده و علاوه بر متصل کردن ذرات به هم، پوششی ضدآب را در سطح آنها ایجاد می‌کند، در نتیجه با کاهش مقدار آن از پوشیدگی سطح الیاف با پلاستیک کاسته می‌شود که منجر به جذب بیشتر آب می‌شود.

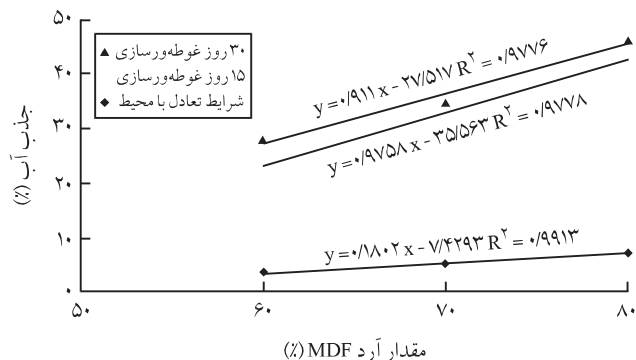
خزش

منحنی خزش - بازگشت حاصل از بارگذاری خمشی پلی اتیلن بازیافتی و کامپوزیت چوب - پلاستیک ساخته شده از آن در شرایط تعادل با محیط در شکل ۳ نشان داده شده است. جدول ۲ نیز پارامترهای مختلف خزش بازگشت نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به طور کلی، با افزایش درصد آرد MDF خزش کاهش یافته است، طوری که حداکثر خزش در پلی اتیلن بازیافتی (بدون آرد) و حداقل آن در ۸۰ درصد آرد مشاهده می‌شود. با افزایش آرد، مقدار مواد پلیمری (که در آنها تغییر شکل وابسته به زمان شدید است) کاهش می‌یابد. بنابراین، کاهش در خزش ناشی از اضافه کردن پرکننده به آن است. در واقع کاهش در تغییر

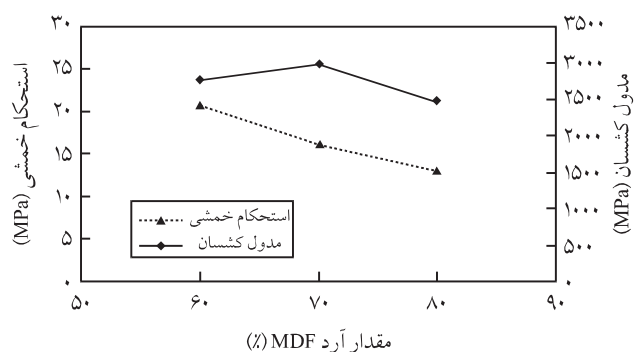
مدول کشسان خمشی و استحکام خمشی

شکل ۱ اثر درصد آرد MDF را روی مدول کشسان نمونه‌های چوب - پلاستیک نشان می‌دهد. همچنین، مدول کشسان پلی اتیلن ضایعاتی (۱۰۰٪) 961 MPa اندازه‌گیری شده است. با افزایش مقدار آرد از ۶۰ به ۷۰ درصد مدول کشسان افزایش می‌یابد و پس از آن با ازدیاد مقدار آرد به ۸۰ درصد مدول کشسان کاهش یافته به طوری که از سطح ۶۰ درصد آرد هم کمتر می‌شود. مدول کشسان الیاف طبیعی از پلی اتیلن بیشتر است [۱۲]. بنابراین با افزودن آرد، مدول کشسان نمونه‌ها افزایش می‌یابد. اما، در سطح ۸۰ درصد به دلیل افزایش مقدار آرد و کاهش مقدار پلاستیک، پلاستیک نقش یک چسب را ایفا می‌کند و چون مقدار کافی پلاستیک برای چسباندن مناسب آرد وجود ندارد، کامپوزیت حاصل به خوبی قابلیت تحمل نیروهای تغییر شکل را ندارد که این امر سبب کاهش مدول کشسان می‌شود. Sanadi و همکاران [۱۶] نیز گزارش کردند که با افزایش مقدار الیاف از ۶۰ به ۸۰ درصد، مدول کشسان کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک کاهش می‌یابد.

شکل ۱ اثر درصد آرد MDF را روی استحکام خمشی نمونه‌های چوب - پلاستیک نشان می‌دهد. استحکام خمشی پلی اتیلن ضایعاتی نیز (۱۰۰٪) $22/5 \text{ MPa}$ اندازه‌گیری شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار آرد از ۶۰ به ۸۰ درصد استحکام خمشی به شکل خطی کاهش می‌یابد. در درصد‌های زیاد پرکننده سلولوزی، پلاستیک نقش چسب (اتصال از نوع مکانیکی) را برای چسباندن ذرات ایفا می‌کند. بنابراین، با افزایش مقدار پرکننده از مقدار چسب (پلاستیک) کاسته شده و در نتیجه استحکام خمشی کاهش می‌یابد. البته این چسبندگی از نوع شیمیایی نیست، زیرا پلاستیک‌ها (در این جا پلی اتیلن)



شکل ۲- رابطه بین درصد جذب آب و مقدار آرد MDF در کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک.

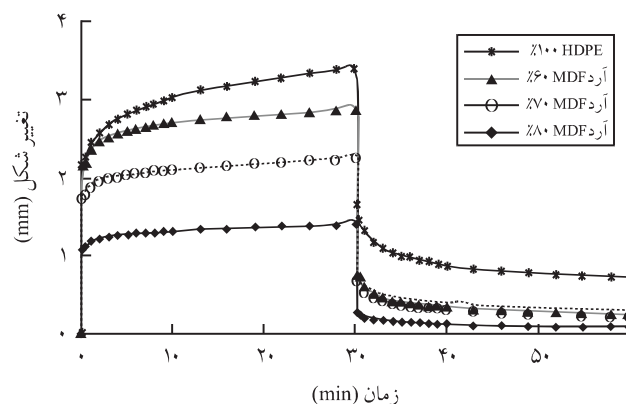


شکل ۱- اثر مقدار آرد MDF بر مدول کشسان و استحکام خمشی کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک.

پلی اتیلن (۱۰۰ درصد) بیشتر از بازگشت آنی است، در حالی که با افزودن آرد و افزایش آن تا ۸۰ درصد بازگشت آنی بیشتر از تغییر شکل آنی می‌شود. به طور کلی این نتایج نشان می‌دهد که اضافه کردن آرد MDF اثر مثبتی بر رفتار خزشی دارد و باعث کاهش آن می‌شود. هر دو ماده تشکیل دهنده کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک (یعنی پرکننده سلولوزی و پلاستیک) رفتار ویسکوالاستیک دارند، اما رفتار کشسان پرکننده سلولوزی بیشتر از بخش پلاستیک است [۵]. بنابراین، انتظار می‌رود با افزایش بخش سلولوزی خزش کامپوزیت چوب - پلاستیک کاهش یابد.

اثر جذب آب بر رفتار خزشی

شکل‌های ۴ تا ۶ اثر جذب آب بر منحنی خزش - بازگشت کامپوزیت ساخته شده از پلی اتیلن سنگین ضایعاتی و آرد MDF را در مقایسه با پلی اتیلن سنگین بدون پرکننده نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها در تمام سطوح مقدار آرد MDF (۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد)، با افزایش زمان غوطه‌ورسازی در آب مقدار خزش افزایش یافته است. مطابق جدول ۲ بیشترین مقدار خزش مربوط به ۶۰ درصد آرد MDF در زمان ۳۰ روز غوطه‌ورسازی در آب و کمترین مقدار آن مربوط به ۸۰ درصد آرد MDF در شرایط تعادل با محیط است. همچنین، جدول ۲ نشان می‌دهد که با افزایش زمان غوطه‌ورسازی هر سه پارامتر تغییر شکل آنی، بیشینه خزش و خزش برگشت ناپذیر برای هر سه سطح مقدار پرکننده (۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد) افزایش یافته است.



شکل ۳- اثر مقدار آرد MDF بر خزش کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک.

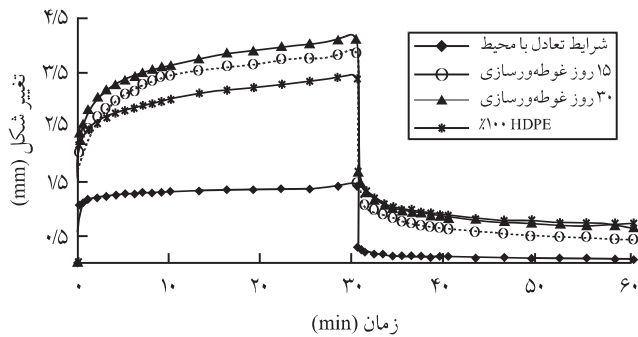
شکل خزشی با شکنندگی که ناشی از افزودن آرد چوب است، رابطه معکوس دارد. Lee و همکاران [۸] نتایج مشابهی را برای کامپوزیت‌های پروپیلن - آرد چوب گزارش کردند.

در شرایط تعادل با محیط، تغییر شکل آنی و حداکثر خزش با افزودن آرد MDF و افزایش مقدار آن از ۶۰ به ۸۰ درصد بیش از ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (جدول ۲) و در کامپوزیت‌های دارای ۸۰ درصد آرد تقریباً تمام خزش برگشت پذیر است. خزش بازگشت ناپذیر در پلی اتیلن بدون پرکننده بیش از سه برابر پلی اتیلن دارای پرکننده است. Sain و همکاران [۱۰] نیز خزش پلی اتیلن را بیشتر از کامپوزیت‌های پلی اتیلن - چوب گزارش کردند. همچنین، جدول ۲ نشان می‌دهد که تغییر شکل آنی

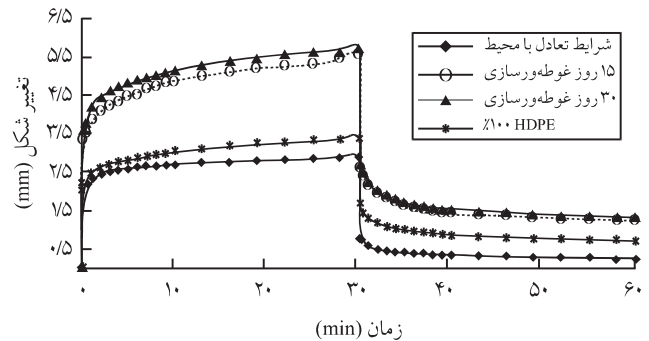
جدول ۲- داده‌های تغییر شکل خزش برای نمونه‌های مختلف کامپوزیت چوب - پلاستیک.

تغییر شکل دائمی (mm)	بازگشت آنی (mm)	بیشینه تغییر شکل (mm)	تغییر شکل آنی (mm)	شرایط جذب آب	مقدار آرد MDF (%)
۰/۷۱۵	۱/۷۲۵	۳/۳۸۵	۲/۱۷	تعادل با محیط	*
۰/۲۵۵	۲/۱۰۹	۲/۸۷۳	۲/۱۵		۶۰
۰/۲۱۶	۱/۵۷۱	۲/۲۲۱	۱/۷۳۸		۷۰
۰/۰۸۳	۱/۱۲۵	۱/۳۹۵	۱/۰۸۵		۸۰
۱/۲۲۳	۲/۹۲۸	۵/۵۴۳	۳/۳۶۲	۱۵ روز غوطه‌ورسازی	۶۰
۰/۸۰۶	۲/۷۹۲	۴/۸۸۸	۲/۷۸۹		۷۰
۰/۴۲۶	۲/۳۸۶	۳/۸۷۲	۲/۰۲۸		۸۰
۱/۳۱۲	۲/۹۶۴	۵/۷۱۴	۳/۶۷	۳۰ روز غوطه‌ورسازی	۶۰
۰/۹۷۴	۲/۸۹۵	۵/۱۳	۳/۰۲		۷۰
۰/۶۶۷	۲/۴۶	۴/۱۲۳	۲/۴۳۳		۸۰

* ۱۰۰ درصد پلی اتیلن بازیافتی بدون پرکننده



شکل ۶- اثر زمان غوطه‌ورسازی بر خزش کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک (مقدار ۸۰٪ آرد MDF).



شکل ۴- اثر زمان غوطه‌ورسازی بر خزش کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک (مقدار ۶۰٪ آرد MDF).

می‌رسد چون در این جا اتصالی بین زمینه (غیرقطبی) و پرکننده (قطبی) وجود ندارد که تخریب شود.

منحنی خزش - بازگشت مواد ساخته شده در زمان غوطه‌ورسازی ۱۵ و ۳۰ روز بسیار به هم نزدیک‌اند. دلیل امر این است که افزایش زمان غوطه‌ورسازی از ۱۵ به ۳۰ روز اثر کمی بر مقدار جذب آب نمونه‌ها دارد و بخش عمده آب در همان ۱۵ روز اول جذب شده است. بنابراین، مقدار تغییر خزش از ۱۵ روز غوطه‌ورسازی به ۳۰ روز هماهنگ و منطبق بر مقدار تغییر جذب آب طی این مدت است.

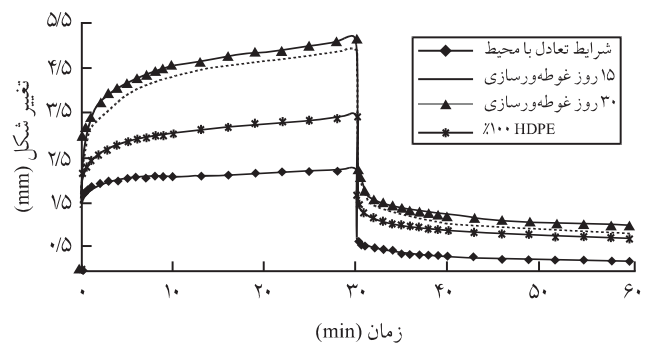
نتیجه‌گیری

اثر مقدار پرکننده و زمان غوطه‌ورسازی در آب بر رفتار خزشی و برگشت کامپوزیت‌های ساخته شده از پلی اتیلن سنگین ضایعاتی و آرد MDF مورد مطالعه قرار گرفته و با توجه به نتایج به دست آمده نتیجه‌گیری‌های زیر حاصل شده است:

- خزش کلی و تغییر شکل دائمی در کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک کمتر از پلی اتیلن است.
- افزایش مقدار آرد MDF، مقاومت به خزش را به طور قابل ملاحظه‌ای در کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک مورد مطالعه افزایش می‌دهد.
- جذب آب کامپوزیت ناشی از غوطه‌ورسازی آن در آب سبب کاهش مقاومت به خزش در تمام سطوح آرد MDF می‌شود، طوری که از مقاومت به خزش پلی اتیلن ضایعاتی (۱۰۰٪) نیز کمتر می‌شود.
- تمام مولفه‌های خزش شامل خزش آنی، بیشینه خزش و خزش برگشت‌ناپذیر با افزایش زمان غوطه‌ورسازی در آب افزایش می‌یابند.

و ۸۰ درصد) افزایش یافته است، به طوری که در بیشتر موارد مقادیر این سه پارامتر بیشتر از پارامترهای مشاهده شده برای پلی اتیلن بدون پرکننده است. مانند شرایط تعادل با محیط، بازگشت آنی کامپوزیت‌های دارای ۸۰ درصد آرد در ۱۵ و ۳۰ روز غوطه‌ورسازی بیشتر از تغییر شکل آنی است. این تغییرات بیانگر اهمیت اثر جذب آب بر خزش کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک به عنوان یک خاصیت کاربردی بسیار مهم است که لزوم کنترل و کاهش جذب آب را در کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک می‌طلبد.

افزایش خزش در اثر جذب آب را می‌توان به دو شکل زیر توضیح داد:
 ۱- رطوبت سبب کاهش صلبیت (مدول کشسان) و افزایش انعطاف پذیری نمونه‌ها می‌شود. در کامپوزیت‌های چوب نظیر تخته فیبر نیز افزایش رطوبت باعث افزایش قابل توجه خزش می‌شود [۱۷].
 ۲- تخریب ساختار درونی نمونه‌ها به دلیل جذب آب، در واقع جذب آب می‌تواند منجر به تخریب اتصالات بین زمینه (پلاستیک) و پرکننده سلولوزی و افزایش مقدار خزش شود. علت دوم بعید به نظر



شکل ۵- اثر زمان غوطه‌ورسازی بر خزش کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک (مقدار ۷۰٪ آرد MDF).

مراجع

- Jayaraman K. and Bhattacharyya D., Mechanical Performance of Wood Fibre-waste Plastic Composite Materials, *Resources Conservation and Recycling*, **41**, 307-319, 2004.
- Li T.Q., Ng C.N. and Li R.K.Y., Impact Behavior of Sawdust/Recycled-PP Composites., *J. Appl. Polym. Sci.*, **81**, 1420-1428, 2001.
- Tajvidi M., Chaharmahali M. and Kazemi Najafi S., Mechanical Properties of Wood Plastic Composite Panels Made from Waste Fiberboard and Particleboard, *Polym. Compos.*, In Press 2007.
- Kazemi Najafi S., Kiaefar A., Tajvidi M. and Hamidina E., Water Absorption Behavior of Composites from Sawdust and Recycled Plastics, *J. Reinforc. Plast. Compos.*, **26**, 341-348, 2007.
- Merdas I., Thominette A., Tcharkhtchi A. and Verdu J., Factors Governing Water Absorption by Composite Matrices, *Compos. Sci. Technol.*, **62**, 487-492, 2001.
- Yang H.S., Kim H.J., Park H.J., Lee B.J. and Hwang T.S., Water Absorption Behavior and Mechanical Properties of Lignocellulosic Filler-Polyolefin Bio-composites, *Compos. Struct.*, **72**, 429-437, 2006.
- Kobbe R.G., *Creep Behavior of a Wood-Polypropylene Composite*, MSc Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Washington State University, USA, 96, 2005.
- Lee S.Y., Yang H.S., Kim H.J., Jeong C.S., Lim B.S. and Lee J.N., Creep Behavior and Manufacturing Parameters of Wood Flour Filled Polypropylene Composites, *Compos. Struct.*, **65**, 459-469, 2004.
- Park B.D. and Balatinecz J., Short Term Flexural Creep Behavior of Wood-Fiber/Polypropylene Composites, *Polym. Compos.*, **19**, 377-382, 1998.
- Sain M.M., Balatinecz J. and Law S., Creep Fatigue in Engineered Wood Fiber and Plastic Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **77**, 260-268, 2000.
- Fridley K.J., Design for Creep in Wood Structures, *Forest Product J.*, **42**, 23-28, 1992.
- Fridley K.J., Creep Rupture Behavior of Wood, Department of Forestry and Natural Resources Agricultural Experiment Station, Bulletin No. 637, Purdue University, 1992.
- Tajvidi M., *Study on the Engineering and Viscoelastic Properties of Natural Fiber Thermoplastic Composites Using Dynamic Mechanical Analysis (DMA)*, PhD Dissertation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran, 202, 2003.
- European Standard for Determination of Modulus of Elasticity in Bending and Bending Strength, DIN EN 310, 1993.
- Standard Testing Method for Evaluating Mechanical and Physical Properties of Wood-Plastic Composite Products, Annual Book of ASTM Standard, D 7031-04, 2004.
- Sanadi A.R., Hunt J.F., Caulfield D.F., Kovacsvolgyi G. and Destree B., High Fiber-low Matrix Composites: Kenaf Fiber/Polypropylene, *Proceedings of 6th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites*, Forest Product Society, Madison, WI, 121-124, 2001.
- Bodig J. and Jayne B.A., *Mechanics of Wood and Wood Composites*, Van Nostrand Reinhold, New York, 712, 1982.