

بررسی رفتار خزشی چندسازه هیبریدی ساخته شده از آرد چوب- پلی پروپیلن- نانورس

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر مقدار ذرات نانورس بر رفتار خزشی چندسازه حاصل از آرد چوب و پلی پروپیلن انجام شد. برای این منظور، آرد چوب با نسبت وزنی ۶۰ درصد با پلی پروپیلن مخلوط شد و نانورس نیز در سه سطح ۰، ۳ و ۵ phc استفاده گردید، همچنین ماده سازگارکننده مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی پروپیلن به میزان ۲ phc در تمام ترکیبها بکار رفت. در نهایت نمونه‌های آزمونی با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی ساخته شد. قبل از انجام آزمون خزش، مدول الاستیسیته و مقاومت مکانیکی چندسازه در حالت خمش و کشش اندازه‌گیری شده و سپس آزمون خزشی خمشی و کششی کوتاه‌مدت در مدت‌زمان ۱۲۰ دقیقه براساس ۲۰ درصد بار شکست نمونه‌ها تعیین شد. همچنین به منظور مطالعه نحوه پراکنش ذرات نانورس در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن از دستگاه تفرق اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی انتقالی استفاده شد. نتایج نشان داد با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳ phc، تغییر شکل خزشی، خزش نسبی و فاکتور خزش در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن کاهش یافته و سپس با افزایش مقدار نانورس تا ۵ phc، افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از ذرات نانورس سبب بهبود استحکام مکانیکی نمونه‌ها می‌گردد. مطالعات ریخت‌شناسی نانوجندسازه به کمک روش پراش اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی انتقالی نشان داد که توزیع ذرات نانورس در زمینه پلیمری از نوع ساختار بین لایه‌ای است.

واژگان کلیدی: چندسازه، نانورس، خزش، استحکام مکانیکی، ریخت‌شناسی.

بهزاد کرد^{۱*}

امین شیخ‌الاسلامی^۲

عبدالله نجفی^۳

^۱ استادیار گروه سلولزی و بسته‌بندی، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی، پژوهشگاه استاندارد، کرج، ایران.

^۲ کارشناس ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران.

^۳ دانشیار علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران.

مسئول مکاتبات:

b.kord@standard.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۰۸

مقدمه

بازمانده‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تقویت‌کننده‌های لیگنوسلولزی در مقایسه با دیگر تقویت‌کننده‌های رقیب خود مانند الیاف شیشه و پرکننده‌های معدنی دارای مزیت‌های فراوانی از جمله دانسیته کمتر، مقاومت و مدول ویژه بالاتر، ساینده‌گی نسبی کم و سهولت اصلاح سطح الیاف بوده و ضمناً به‌طور گسترده‌ای در دسترس می‌باشند. همچنین این الیاف ارزان‌تر از الیاف مصنوعی بوده و می‌توانند در بسیاری از

چندسازه‌های چوب پلاستیک^۱ گروه جدیدی از مواد هستند که در طی سالیان اخیر مورد توجه بسیاری از محققین و نیز بخش عمده‌ای از صنعت قرار گرفته‌اند. در ساخت این مواد مرکب محدوده وسیعی از پلیمرهای گرمانرم از قبیل: پلی پروپیلن، پلی اتیلن، پلی وینیل کلراید، پلی استایرن، پلی استر به همراه مواد لیگنوسلولزی یا

ویژگی‌های مکانیکی و حرارتی چندسازه‌های حاصل از الیاف بامبو- پلی‌اتیلن سنگین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که به هنگام افزودن ۱٪ نانورس مدول الاستیسیته خمشی، مدول الاستیسیته دینامیک و درجه کریستالیت افزایش یافت، در حالی که مقاومت به ضربه نمونه‌ها کاهش یافت [۷]. Hemmasi و همکاران در بررسی خواص نانو چندسازه چوب پلاستیک دریافت که با افزایش مقدار نانورس تا ۳ phc، مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی چندسازه به علت ضریب ظاهری بالای ذرات نانورس و افزایش فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی رس افزایش یافته و سپس با افزودن مقدار ۶ phc نانورس، این خواص به علت تجمع و تراکم ذرات نانورس و همچنین تشکیل توده‌های درهم‌رفته کاهش می‌یابند. از طرفی با افزایش مقدار نانورس تا ۶ phc مقاومت به ضربه فاق‌دار، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه کاهش یافت [۸].

یکی از ویژگی‌های مهم و کاربردی چندسازه‌های چوب پلاستیک رفتار وابسته به زمان (خزش) آن‌ها است. به‌طور کلی، تغییر شکل وابسته به زمان ماده تحت یک بار ثابت و 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 چندسازه‌های چوب پلاستیک است که منجر به عملکرد ضعیف در بعضی از کاربردها می‌شود. در بارگذاری کوتاه‌مدت و بلندمدت، در نظر گرفتن خزش و گسیختگی خزش (رفتار استمرار بار) چندسازه‌های چوب پلاستیک، امری اجتناب‌ناپذیر است. همچنین رفتار خزشی می‌تواند در فیزیک و نمای ظاهری چندسازه نیز اثرگذار باشد [۹]. با توجه به ساختار چندسازه چوب پلاستیک، عوامل مختلفی بر رفتار خزشی آن‌ها تأثیر می‌گذارند که از جمله آن می‌توان به شدت بار، میزان و نوع پرکننده، نوع پلاستیک و دست‌اول یا بازیافتی بودن آن، استفاده از سازگارکننده، رطوبت و دما اشاره کرد [۱۰-۱۲]. Mostafazadeh و همکاران اثر مقدار پرکننده و زمان غوطه‌ورسازی در آب را

کاربردهایی که در آن‌ها صرفه‌جویی در هزینه بر خواص مقاومتی محصول ارجح است، جایگزین الیاف مصنوعی کردند. از این رو در طی سال‌های اخیر استفاده از الیاف طبیعی به‌عنوان تقویت‌کننده و یا پرکننده در ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است و تحقیقات بنیادی و کاربردی در زمینه پلاستیک‌های تقویت‌شده با مواد لیگنوسلولزی به‌سرعت در حال رشد است [۱-۲].

از طرفی امروزه با ورود فناوری نانو در عرصه علم مواد، پلیمرهای تقویت‌شده با پرکننده‌های نانو مورد توجه جوامع علمی و صنعتی قرار گرفته است. از نظر علمی شناخت رفتار و برهم‌کنش مواد در محدوده نانو جزء اولویت‌های پژوهشی مراکز تحقیقاتی است. از دیدگاه صنعتی آنچه باعث جلب توجه بسیاری از صنایع به این موضوع شده، بهبود چشمگیر خواص نانو چندسازه‌ها است. از این رو نانو چندسازه‌ها در واقع طبقه جدیدی از چندسازه‌های پلیمری را تشکیل می‌دهند که در ساختار آن‌ها ذرات با ابعاد نانو مورد استفاده قرار می‌گیرد، که از جمله این نانوذرات می‌توان به ذرات نانورس^۱ اشاره کرد که به علت ابعاد خاص و ضریب ظاهری^۲ بالا در مقایسه با سایر پرکننده‌ها، در مقادیر بسیار اندک موجب بهبود خواص چندسازه‌های پلیمری می‌گردند. به همین خاطر در طی سال‌های اخیر استفاده از خاک رس اصلاح‌شده به عنوان پرکننده نانو در ساخت نانو چندسازه‌های پلیمری در حجم قابل توجهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به طوری که مصرف مقادیر اندکی از آن سبب افزایش مدول، استحکام، مقاومت گرمایی، کاهش نفوذپذیری گاز، مقاومت در برابر اشتعال و بهبود خواص فیزیکی می‌گردند، همچنین این افزایش خواص در اکثر مواقع باعث کاهش خواص در موارد دیگر نمی‌شوند [۳-۵].

Wu و همکاران دریافتند که مقاومت خمشی و کششی چندسازه حاصل از آرد چوب - پلی‌اتیلن سنگین، تنها با افزودن ۲٪ نانورس در مقایسه با نمونه‌های فاقد نانورس به ترتیب به میزان ۴/۴ و ۱/۲ درصد افزایش می‌یابد. آن‌ها گزارش کردند که با اضافه نمودن نانورس به چندسازه مقدار جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها کاهش می‌یابد [۶]. Han و همکاران تأثیر استفاده از نانورس را بر

1- Nanoclay

2- Aspect Ratio

3- Per hundred compounds (phc)

تحقیق با هدف بررسی تأثیر ذرات نانورس بر رفتار خزشی چندسازه ساخته شده از پلی پروپیلن و آرد چوب صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد

در این تحقیق از پلی پروپیلن، تولید شده توسط شرکت پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۱۸ g/10min و چگالی ۰/۹ g/cm³ با نام تجاری V30S به عنوان ماده پلیمری، از مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی پروپیلن (PP-g-MA) از محصولات شرکت بلژیکی Solvay با شاخص جریان مذاب ۶۴ g/10min و نام تجاری Priex 20070 به عنوان عامل سازگار کننده و آرد چوب مخلوط پهن برگان تهیه شده از شرکت آریا سلولز به عنوان ماده پرکننده با اندازه ابعاد ۱۵۰ میکرون استفاده گردید. همچنین از پودر نانورس ساخت شرکت خاک رس جنوبی^۱ کشور آمریکا با نام تجاری کلوزیت A ۱۵ استفاده شد، که مشخصات و ساختار شیمیایی این ماده در جدول ۱ آورده شده است.

بر رفتار خزشی چندسازه‌های چوب پلاستیک از پلی اتیلن سنگین ضایعاتی و آرد تخته فیبر نیمه سنگین (MDF) را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دریافتند که با افزایش مقدار آرد MDF مقاومت به خزش در چندسازه افزایش یافته، در حالی که در تمام سطوح پرکننده، با افزایش زمان غوطه‌وری خزش نمونه‌ها افزایش یافت [۱۳]. Bledzki و Faruk دریافتند که چندسازه‌های چوب پلاستیک تیمار شده با سازگار کننده مدول خزشی بالاتری دارند و با افزایش دما مدول خزشی کاهش می‌یابد [۱۴]. Najafi و Kazemi Najafi با بررسی تأثیر سطح بارگذاری و نوع پلاستیک بر رفتار خزشی چندسازه آرد چوب- پلی اتیلن سنگین این نتیجه رسیدند که تغییر شکل خزشی با افزایش سطح بارگذاری رابطه خطی ندارد و نیز خام یا بازیافتی بودن ماده پلیمری بر رفتار خزش آن مؤثر است [۱۵].

با توجه به اهمیت موضوع و رویکرد جهانی به سوی نانوچندسازه‌ها و ناشناخته بودن سازوکار این مواد، در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری در راستای شناسایی خواص نانوچندسازه‌های پلیمری- خاک رس و توسعه کاربردی این گروه مواد شکل گرفته است. از این رو، این

جدول ۱- مشخصات و ساختار شیمیایی خاک رس اصلاح شده کلوزیت A ۱۵

فاصله بین لایه‌ها (آنگستروم)	غلظت اصلاح کننده (میلی اکی والان/ ۱۰۰)	اصلاح کننده آلی	ساختار شیمیایی
۳۱/۵	۱۲۵	نمک آمونیوم چهار تایی دی متیل، تالو دی هیدروژنه	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 - \text{N}^+ - \text{HT} \\ \\ \text{HT} \end{array}$

در دقیقه انجام شد. پس از اختلاط مواد، چندسازه بی شکل تولید شده پس از سرد شدن دوباره آسیاب شده و به دستگاه قالب گیری تزریقی^۳ منتقل شده و این دستگاه پس از ذوب مجدد، ماده مذاب را به درون قالب‌هایی تزریق نموده و نمونه‌های آزمونی تهیه شدند.

روش‌ها

فرآیند اختلاط و ساخت نمونه

پس از تهیه مواد اولیه و قبل از ساخت نمونه‌ها، ابتدا آرد چوب به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد داخل اتو قرار گرفت تا جهت ساخت نمونه، کاملاً خشک گردد. سپس فرآیند اختلاط مواد مطابق جدول ۲ توسط دستگاه مخلوط کن داخلی^۲ با دمای اختلاط ۱۸۰ درجه سانتی گراد و سرعت اختلاط ۶۰ دور

1- Southern Clay

2 - Hakke Internal Mixer

3 - Injection Molding

جدول ۲- درصد وزنی اجزای تشکیل دهنده ترکیب تیمارهای مختلف نانوجندسازه چوب پلاستیک

شماره تیمار	آرد چوب (%)	پلی پروپیلن (%)	سازگارکننده (phc)	نانورس (phc)
۱	۶۰	۴۰	۲	۰
۲	۶۰	۴۰	۲	۳
۳	۶۰	۴۰	۲	۵

آزمون مکانیکی

آزمون خمش مطابق روش سه نقطه‌ای تعریف شده در استاندارد ASTM آیین نامه D 790 توسط دستگاه آزمون مکانیکی (اینسترون مدل ۱۱۸۶) با نرخ کرنش ۰/۰۱ میلی متر و سرعت بارگذاری ۵ میلی متر بر دقیقه انجام شد. ابعاد اسمی نمونه‌ها ۵ × ۱۳ × ۱۰۰ میلی متر و طول دهانه ۸۰ میلی متر بوده است. همچنین آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM D 638 بر روی نمونه‌های دمبلی شکل با ابعاد ۳ × ۱۰ × ۱۶۷ میلی متر توسط دستگاه آزمون مکانیکی (اینسترون مدل ۱۱۸۶) انجام شد. در آزمون کشش طول دهانه ۱۰۰ میلی متر و سرعت بارگذاری ۲ میلی متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. برای هر تیمار آزمون‌های خمش و کشش با ۵ تکرار انجام شد.

آزمون خزش

نمونه‌های خمشی استاندارد برای آزمون خزش خمشی مورداستفاده قرار گرفت. سطح بارگذاری ۲۰ درصد بیشینه بار شکست نمونه‌ها (به دست آمده از آزمون خمش ایستا) تعیین شد. آزمون خزش خمشی چهار نقطه‌ای (دو نقطه بار و دو نقطه تکیه‌گاه) با اندازه‌گیری پیوسته جابجایی نقطه میانی نمونه‌ها در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه در شرایط آزمایشگاه در دمای 23 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 65 ± 2 درصد با ۵ تکرار انجام شد. میزان جابجایی در زمان‌های مختلف با استفاده از نشانگر رقمی، مدل Alton در وسط طول دهانه با دقت ۰/۰۱ میلی متر اندازه‌گیری شد. ابعاد نمونه‌های آزمون خمش به‌عنوان ابعاد نمونه‌های خزش نیز انتخاب شد.

نمونه‌ها به مدت ۱۲۰ دقیقه به وسیله تجهیزات اندازه‌گیری خزش خمشی (قاب فلزی با طول دهانه قابل تغییر و مجهز به جابجایی سنج) تحت بارگذاری به صورت دستی قرار گرفتند. پس از اعمال بار به نمونه‌ها،

میزان جابجایی از دقیقه ۱ تا ۱۰ هر یک دقیقه، از دقیقه ۱۰ تا ۳۰ هر ۵ دقیقه، از ۳۰ تا ۶۰ هر ۱۰ دقیقه و از ۶۰ تا ۱۲۰ هر ۱۵ دقیقه اندازه‌گیری و ثبت شد. در آزمون خزش خمشی، میزان جابجایی یک دقیقه پس از بارگذاری به‌عنوان خیز آنی و پس از ۱۲۰ دقیقه به‌عنوان خیز بیشینه در نظر گرفته شد.

در آزمون خزش مشخصه‌های زیر محاسبه و گزارش شده است.

خزش نسبی: به‌عنوان درصدی از خیز آنی با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

$$R_c = \frac{J_t - J_o}{J_o} \times 100 \quad (1)$$

که در آن، R_c خزش نسبی (درصد)، J_t خزش در زمان t (میلی متر)، J_o خزش آنی (میلی متر) است.

فاکتور خزش (ضریب خزش): از این فاکتور به‌منظور پیش‌بینی خزش سازه زیر بار ثابت استفاده می‌شود و با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد.

$$K_t = \frac{J_t}{J_o} \quad (2)$$

در آن، K_t فاکتور خزش برای بار ثابت در زمان t ، J_t خزش در زمان t (میلی متر)، J_o خزش آنی (میلی متر) است. آزمون خزش کششی نیز بر روی نمونه‌های استاندارد کشش در سطح بارگذاری ۲۰ درصد بیشینه بار کششی در شرایط آزمایشگاه به مدت ۱۲۰ دقیقه بارگذاری کامل با ۵ تکرار انجام شد. میزان جابجایی در زمان‌های مختلف با استفاده از جابجایی سنج رقمی، مدل Mitutoyo با دقت ۱ میکرومتر اندازه‌گیری شد. ابعاد نمونه‌های آزمون کشش به‌عنوان ابعاد نمونه‌های خزش نیز انتخاب شد. نمونه‌ها به مدت ۱۲۰ دقیقه به وسیله تجهیزات اندازه‌گیری خزش کششی تحت بارگذاری به صورت دستی قرار گرفتند. پس

هند با شدت ولتاژ ۱۰۰ KV استفاده شد. نمونه برداری توسط چاقوی الماسه دستگاه اولترامیکروتوم مدل Leica Ultracut UCT ساخت کشور آلمان با ضخامت ۱۰۰-۶۰ نانومتر از نمونه گرفته شد.

نتایج و بحث

ریخت‌شناسی

الگوی پراش پرتو اشعه ایکس در کامپوزیت آرد چوب- پلی پروپیلن نشان داد که استفاده از ذرات نانورس موجب تشکیل ساختار بین‌لایه‌ای در نانو کامپوزیت چوب پلاستیک گردیده است (شکل ۱). همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس تا ۳ phc، فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی افزایش یافته و سپس با افزایش مقدار نانورس تا ۵ phc فاصله بین لایه‌ها کاهش می‌یابد. به نحوی که با افزایش مقدار نانورس تا ۳ phc، زاویه پیک تفرق اشعه ایکس در نانوچندسازه تغییر کرده و به سمت زوایای کوچک‌تر حرکت کرده و به تبع آن فاصله بین لایه‌ها افزایش یافته است، در حالی که با افزایش مقدار نانورس تا ۵ phc، زاویه پیک ایجاد شده افزایش یافته و در نتیجه فاصله بین لایه‌ها کاهش می‌یابد. از طرفی ساختار تشکیل شده ذرات رس در ماده زمینه پلیمری از نوع بین‌لایه‌ای است، زیرا زاویه پیک تفرق اشعه ایکس مربوط به ناحیه بلوری نانورس کاملاً از بین نرفته و فقط به سمت زوایای کوچک‌تر کاهش یافته است. به عبارت دیگر فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی نانورس به دلیل نفوذ زنجیره‌های پلیمری افزایش یافته ولی از هم‌گسیختگی کامل لایه‌های رس رخ نداده است، این در حالی است که اگر ساختار نانوچندسازه از نوع ساختار لایه‌لایه‌ای باشد، به دلیل متلاشی شدن ساختار بلوری، زاویه پیک تفرق اشعه ایکس کاملاً از بین خواهد رفت.

به منظور مشاهده ساختار نانوچندسازه و تأیید نتایج آزمون اشعه ایکس، از تصاویر میکروسکوپ الکترونی انتقالی استفاده شد. در شکل ۲، نحوه پراکنش ذرات نانورس در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن نشان داده شده است، که خطوط تاریک مربوط به لایه‌های نانورس و نواحی روشن نشان‌دهنده ماتریس پلیمری است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزودن مقدار ۵ phc نانورس، میزان

از اعمال بار به نمونه‌ها، میزان جابجایی تا ۶۰ دقیقه اول هر ۵ دقیقه و از دقیقه ۶۰ تا ۱۲۰ هر ۱۵ دقیقه اندازه‌گیری و ثبت شد. در این آزمون نیز خیز آنی (۳۰ ثانیه اول)، خیز بیشینه و پارامترهای خزش نسبی و فاکتور خزش محاسبه و گزارش شده است.

آزمون تفرق اشعه ایکس^۱

پراش پرتو اشعه ایکس امکان شناخت نوع ساختار کریستالوگرافی (ساختار لایه‌لایه‌ای^۲ و بین‌لایه‌ای^۳) ذرات نانورس در چندسازه‌های پلیمری و چگونگی توزیع ذرات رس را در زمینه ماتریس پلیمری فراهم می‌کند. از کاربردهای بسیار مهم این روش، محاسبه فاصله بین لایه‌ها است، که با استفاده از معادله ۳ (معادله براگ) به صورت زیر محاسبه شود:

$$d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta} \times 100 \quad (3)$$

که در آن، d فاصله بین لایه‌های رسی، n عدد صحیح، θ زاویه پراکنش پرتو اشعه و λ طول موج اشعه است. و نسبت باز شدن لایه‌ها با استفاده از معادله ۴ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$RI = \frac{d - d_0}{d_0} \times 100 \quad (4)$$

که در آن، d فاصله بین لایه‌ها در نانوچندسازه و d_0 فاصله بین لایه‌ها در نانورس خالص است.

در این تحقیق آزمون اشعه ایکس توسط دستگاه اشعه ایکس با تشعشع لامپ CuK α ، طول موج ۰/۱۵۴ نانومتر، گام ۰/۰۲ درجه، سرعت ۰/۳ درجه بر دقیقه و زاویه تابش 2θ در دامنه ۰-۱۲ درجه انجام شد. نمونه‌ها به صورت ورقه‌ای با ابعاد ۱×۱×۱۰ میلی‌متر جهت انجام این آزمون تهیه شدند.

میکروسکوپ الکترونی عبوری^۴

به منظور مطالعه نحوه پراکنش ذرات نانورس در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن از دستگاه میکروسکوپ الکترونی عبوری مدل EM 208 ساخت شرکت Philips

^۱ - X-ray diffraction

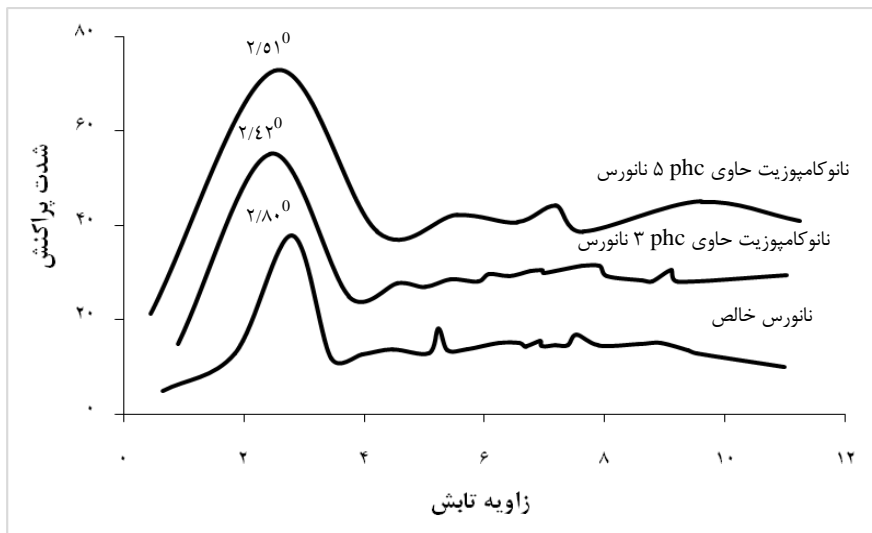
^۲ - Exfoliation

^۳ - Intercalation

^۴ - Transmission electron microscopy

این عدم جدایش کامل لایه‌ها موجب ایجاد ساختار بین لایه‌ای در نانوجندسازه شده است، که صحت این تصاویر توسط نتایج آزمون اشعه ایکس نیز تأیید شد.

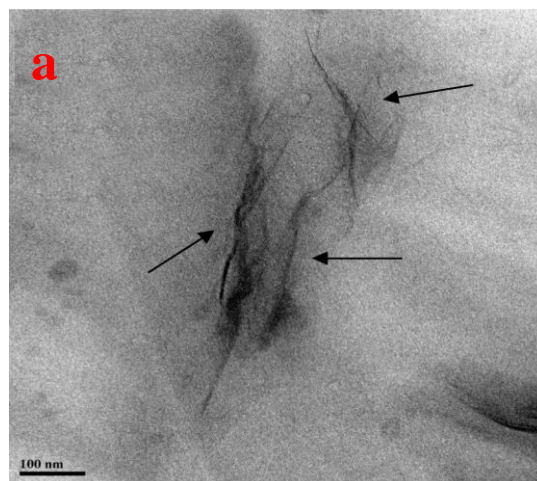
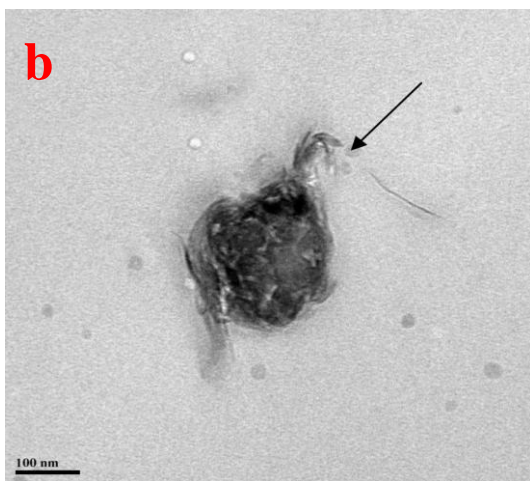
تجمع و درهم‌رفتگی ذرات نانورس افزایش یافته و فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی در مقایسه با چندسازه حاوی phc ۳ نانورس کمتر است. از طرفی در شکل مشاهده می‌شود که لایه‌های رس به‌طور کامل از یکدیگر جدا نشده‌اند و



شکل ۱- الگوی پراش پرتو اشعه ایکس نانورس خالص و نانوجندسازه‌های حاوی درصد‌های مختلف نانورس

جدول ۳- اثر مقدار نانورس بر کیفیت پراکنش لایه‌های سیلیکاتی در کامپوزیت آرد چوب- پلی پروپیلن

نانورس (phc)	زاویه پیک تفرق اشعه (آنگستروم)	فاصله بین لایه‌ها (نانومتر)	شاخص باز شدن لایه‌ها (%)
خالص	2/80	3/15	-
۳	2/42	3/65	15/87
۵	2/51	3/51	11/43



شکل ۲- میکروگراف میکروسکوپ الکترونی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن (a) ۳ phc نانورس (b) ۵ phc نانورس

خواص مکانیکی

پلاستیک مرتبط دانست. ضریب ظاهری بالای ذرات نانورس در قابلیت تقویت‌کنندگی چندسازه نقش دارد و موجب می‌شود تا سطح مشترک بین دو فاز افزایش پیدا کرده و در نتیجه خواص مکانیکی چندسازه افزایش یابد. همچنین که ذرات نانورس به دلیل تشکیل ساختار بین‌لایه‌ای موجب پراکنش بهتر ذرات در ماده زمینه پلیمری شده و از طریق بهبود برهم‌کنش با تعداد بیشتری از زنجیره‌های پلیمر موجب افزایش مقاومت خمشی و کششی چندسازه می‌شود [۸-۱۶، ۱۹]. از طرفی با افزایش مقدار نانورس تا ۵ phc، به علت تجمع و تراکم ذرات نانورس و همچنین تشکیل توده‌های درهم‌رفته (مطابق شکل ۲b) استحکام خمشی و کششی چندسازه کاهش می‌یابد [۸، ۱۸-۱۹].

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳ phc، مقاومت خمشی و کششی، مدول خمشی و کششی چندسازه چوب پلاستیک افزایش یافته و سپس با افزایش مقدار نانورس تا ۵ phc، کاهش می‌یابد. تأثیر ذرات نانورس بر خواص مکانیکی نانوجندسازه‌های پلیمری به شکل، اندازه، ضریب ظاهری، نوع، مقدار، ساختار بلوری، کیفیت و مقدار پراکنش پراکنده شدن ذرات نانورس و نحوه اتصال آن‌ها با پلیمر در سطح اتصال بستگی دارد [۵-۸]. از این‌رو می‌توان افزایش ویژگی‌های خمشی و کششی نانوجندسازه را در هنگام استفاده از ۳ phc نانورس، به ضریب ظاهری بالای ذرات نانورس و تشکیل ساختار بین‌لایه‌ای در نانوجندسازه چوب

جدول ۴- تأثیر مقدار ذرات نانورس بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن

نانورس (phc)	مقاومت خمشی (مگاپاسگال)	مدول خمشی (مگاپاسگال)	مقاومت کششی (مگاپاسگال)	مدول کششی (مگاپاسگال)
۰	۲۰/۶۳	۲۱۴۴/۱۹	۱۷/۴۲	۳۱۵۶/۱۹
۳	۲۳/۷۸	۲۳۰۸/۹۶	۲۱/۹۶	۳۴۱۲/۴۸
۵	۲۲/۱۴	۲۲۶۳/۱۱	۲۰/۷۵	۳۳۵۰/۴۱

آنی و بیشینه چندسازه کاهش یافته و سپس با افزودن مقدار نانورس تا ۵ phc، افزایش می‌یابد. به نحوی که بیشترین تغییر شکل مربوط به چندسازه فاقد نانورس و کمترین مقدار آن مربوط به چندسازه دارای ۳ phc است.

خزش

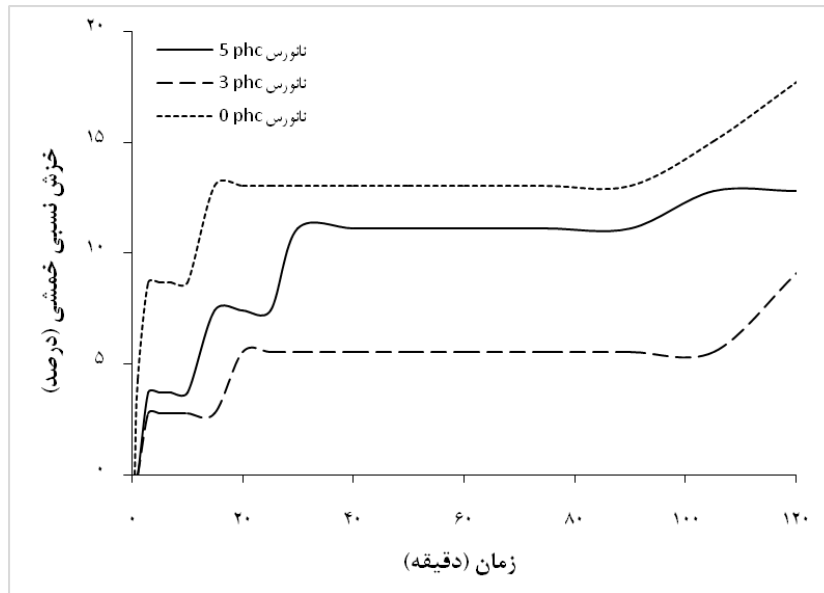
نتایج حاصل از تغییر شکل آنی و بیشینه چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن تحت آزمون خزش خمشی و کششی در جدول ۵ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳ phc تغییر شکل

جدول ۵- تأثیر مقدار ذرات نانورس بر تغییر شکل آنی و بیشینه چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن

نانورس (phc)	خزش خمشی		خزش کششی	
	تغییر شکل آنی (میلی‌متر)	تغییر شکل بیشینه (میلی‌متر)	تغییر شکل آنی (میکرومتر)	تغییر شکل بیشینه (میکرومتر)
۰	۰/۱۱	۰/۲۳	۱/۵	۱۱/۵
۳	۰/۰۸	۰/۱۷	۱	۹
۵	۰/۰۹	۰/۱۹	۱/۲۵	۹/۷۵

نانورس تا ۵ phc، افزایش می‌یابد. به نحوی که بیشترین مقدار خزش نسبی خمشی مربوط به چندسازه فاقد نانورس و کمترین مقدار آن مربوط به چندسازه دارای ۳ phc است.

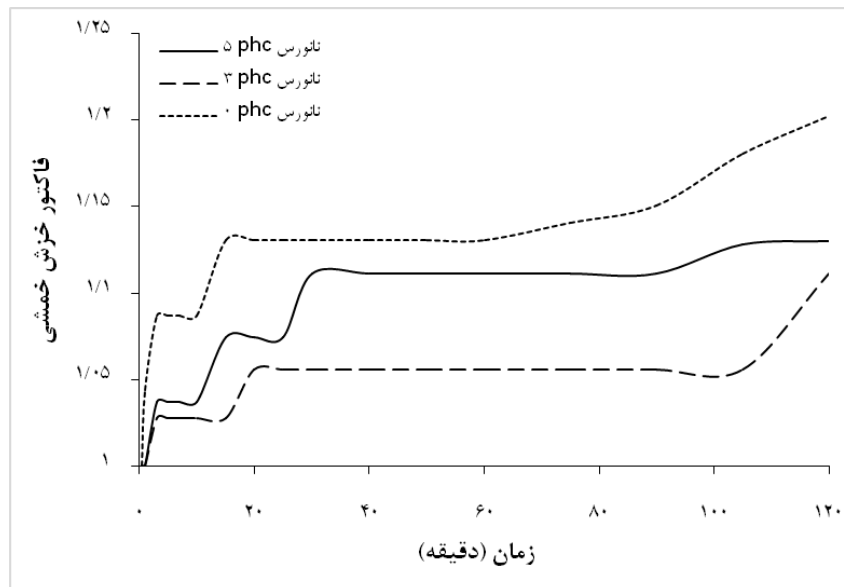
اثر مقدار نانورس بر خزش نسبی خمشی در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳ phc خزش نسبی کاهش یافته و سپس با افزودن مقدار



شکل ۳- اثر مقدار نانورس بر خزش نسبی خمشی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن

مقدار نانورس تا ۵ phc، افزایش می‌یابد. به نحوی که بیشترین مقدار فاکتور خزش خمشی مربوط به چندسازه فاقد نانورس و کمترین مقدار آن مربوط به چندسازه دارای ۳ phc نانورس است.

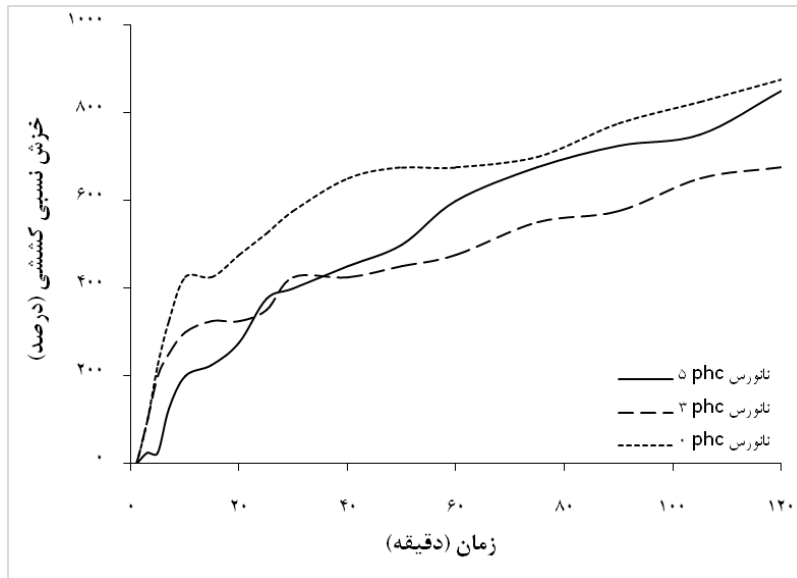
اثر مقدار نانورس بر فاکتور خزش خمشی در چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳ phc فاکتور خزش کاهش یافته و سپس با افزودن



شکل ۴- اثر مقدار نانورس بر فاکتور خزش خمشی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن

نانورس تا ۵ phc، افزایش می‌یابد. به‌نحوی که بیشترین مقدار خزش نسبی کششی مربوط به چندسازه فاقد نانورس کمترین مقدار آن مربوط به چندسازه دارای ۳ phc است.

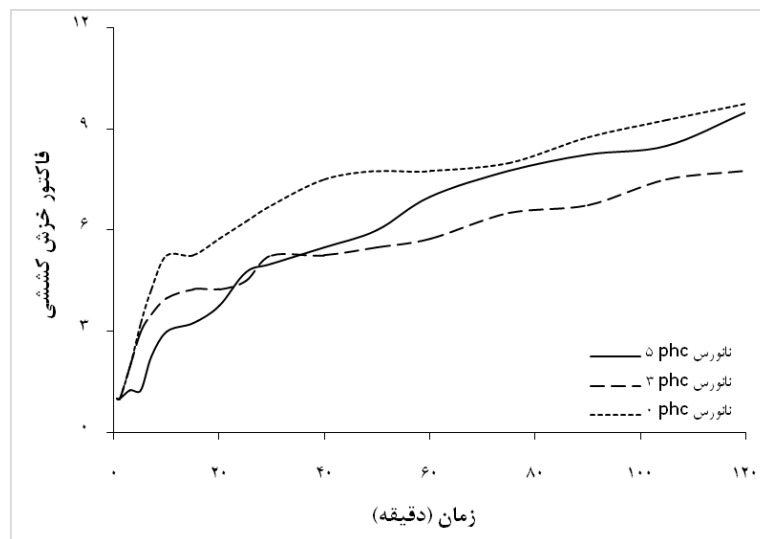
اثر مقدار نانورس بر خزش نسبی کششی در چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳ phc خزش نسبی کاهش یافته و سپس با افزودن مقدار



شکل ۵- اثر مقدار نانورس بر خزش نسبی کششی چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن

بیشترین مقدار فاکتور خزش کششی مربوط به چندسازه فاقد نانورس و کمترین مقدار آن مربوط به چندسازه دارای ۳ phc نانورس است.

اثر مقدار نانورس بر فاکتور خزش کششی در چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳ phc فاکتور خزش کاهش یافته و سپس با افزودن مقدار نانورس تا ۵ phc، افزایش می‌یابد. به‌نحوی که



شکل ۶- اثر مقدار نانورس بر فاکتور خزش کششی چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن

درهم‌رفته، مقاومت‌های مکانیکی و به تبع آن مقاومت به خزش در چندسازه چوب پلاستیک کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

۱- با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳ phc، تغییر شکل خزشی، خزش نسبی و فاکتور خزش در چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن کاهش یافته و سپس با افزایش مقدار نانورس تا ۵ phc، افزایش می‌یابد.

۲- استفاده از ذرات نانورس سبب بهبود استحکام مکانیکی نمونه‌ها می‌گردد.

۳- مطالعات ریخت‌شناسی نانوجندسازه به کمک روش پراش اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی انتقالی نشان داد که توزیع ذرات نانورس در زمینه پلیمری از نوع ساختار بین لایه‌ای است.

به‌طور کلی نتایج حاصل از آزمون خزش نشان داد که با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳ phc، رفتار خزشی در چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش مقدار آرد چوب از ۰ به ۳ phc، مقاومت خزشی در چندسازه چوب پلاستیک افزایش می‌یابد. رفتار خزشی چندسازه چوب پلاستیک تا حدود زیادی تحت تأثیر مدول کشسانی و مقاومت مکانیکی آن است و اغلب مواد با مدول بالا تغییر شکل خزشی کمتری دارند [۹-۱۵]، لذا می‌توان انتظار داشت مقاومت خزشی در چندسازه آرد چوب- پلی‌پروپیلن مطابق با نتایج به‌دست‌آمده از ویژگی‌های مکانیکی در این تحقیق، به هنگام استفاده از ۳ phc نانورس به دلیل ضریب ظاهری بالای ذرات نانورس و تشکیل ساختار بین لایه‌ای از میزان بالاتری برخوردار باشد. از طرفی با افزایش مقدار نانورس تا ۵ phc به علت تجمع ذرات نانورس و تشکیل توده‌های

مراجع

- [1] Rowell, R.M., Sandi, A.R., Gatenholm, D.F. and Jacobson, R.E., 1997. Utilization of natural fibers in plastic composites: Problem and opportunities in lignocellulosic composites. *Journal of Composite*, 18: 23-51.
- [2] Oksman, K. and Sain, M., 2008. *Wood-Polymer Composites*, Woodhead Publishing Ltd, Great Abington, Cambridge, UK, 366 p.
- [3] Tjong, S.C., (2006). Structural and mechanical properties of polymer nanocomposites; A review, *Journal of Material Science Engineering*, 53: 73-197.
- [4] Utracki, L.A., Sepehr, M. and Boccaleri, E., 2007. Synthetic layered nanoparticles for polymeric nanocomposites (PNCs); A review, *Journal of Polymer Additives Technology*, 8: 1-37.
- [5] Alexandre, M. and Dubois, P., 2008. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and use of a new class of materials; A review. *Journal of Material Science Engineering*, 28: 1-63.
- [6] Wu, Q., Lei, Y., Clemons, C.M., Yao, F., Xu, Y. and Lian, K., 2007. Properties of HDPE/Clay/Wood Nanocomposites. *Journal of Plastic Technology*, 27(2): 108-115.
- [7] Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y. and Suzuki, S., 2008. Bamboo-fiber filled high density polyethylene composites; Effect of coupling treatment and nanoclay. *Journal of Polymer Environment*, 21: 1567-1582.
- [8] Hemmasi, A., Khademislam, H., Talaiepoor, M., Kord, B. and Ghasemi, I., 2010. Effect of nanoclay on the mechanical and morphological properties of wood polymer nanocomposite. *Journal of Reinforced Plastic and Composites*, 29(7): 964-971.
- [9] 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. (In Persian).

- [10] Lee, S., Yang, H., Kim, H., Jong, C., Lim, B. and Lee, J., 2004. Creep behavior and manufacturing parameters of wood flour filled polypropylene composite. *Composite Structures*, (65): 459-469.
- [11] Sain, 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.
- [12] Xu, Y., Wu, Q., Lei, Y. and Yao, F., 2010. Creep behavior of bagasse fiber reinforced polymer composites. *Bioresource Technology*, 101: 3280–3286.
- [13] Mostafazadeh, M., Kazemi Najafi, S., Chaharmahali M. and Hajihassani, R., 2009. Study behavior creep composites made mixes particle board and medium density fiber board-recycled from HDPE waste and effect water fiber board absorption on Composites. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 24(2): 194-205. (In Persian).
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Lei, Y., Wu, Q., Clemons, C.M., Yao, F. and Xu Y., 2007. Influence of nanoclay on properties of HDPE/wood composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 18: 1425-1433.
- [17] Zhao, Y., Wang, K., Zhu, F., Xue, P. and Jia, M., 2006. Properties of poly (vinylchloride)/ woodflour/montmorillonite composites: effects of coupling agents and layered silicate. *Journal of Polymer Degradation Stability*, 91: 2874-2883.
- [18] Kord, B., Hemmasi, A. and Ghasemi, I., 2011. Properties of PP/wood flour/ organomodified montmorillonite nanocomposite. *Wood Science and Technology*, 45: 111-119.

A study on creep behavior of a wood flour-polypropylene-nanoclay hybrid composite

Abstract

In this study, the effect of nanoclay particles content on creep behavior of the wood flour-polypropylene composite was investigated. To meet this objective, wood flour was mixed with polypropylene at the weight ratio of 60:40. The concentration was varied as 0, 3 and 5 per hundred compounds (phc) for nanoclay. The amount of coupling agent (PP-g-MA) was fixed at 2 phc for all formulations. The samples were made by melt compounding and injection molding. First, the modulus of elasticity, flexural and tensile strength of composites were measured before performing the creep test. Then, the short term flexural and tensile creep tests were performed at 20% of ultimate load in 12 minutes. The morphology of the nanocomposites was examined by using x-ray diffraction (XRD) and transmission electron microscopy (TEM). Results indicated that the creep deflection, relative creep and creep factor increases with the increase of nanoclay up to 3 phc and then decreases with addition of 5 phc nanoclay. Also, the effect of nanoclay was positive in terms of enhancing the mechanical properties of the composites. The morphological studies with XRD and TEM revealed that nanoclay was distributed as intercalation structure in polymer matrix.

Key words: composite, nanoclay, creep, mechanical strength, morphology.

B. Kord^{1*}
A. Sheikholeslami²
A. Najafi³

¹Assistant Professor, Department of Paper and Packaging Technology, Faculty of Chemistry and Petrochemical Engineering, Standard Research Institute (SRI), Karaj, Iran.

²MSc Graduate, Department of Wood Science and Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalos, Iran.

³Associate Professor, Department of Wood Science and Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalos, Iran.

Corresponding author:
b.kord@standard.ac.ir

Received: 2015.02.17
Accepted: 2015.04.28