

## تأثیر استفاده از الیاف ضایعات پارچه و نانورس بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت حاصل از آرد چوب و پلی پروپیلن

### چکیده

این پژوهش با هدف بررسی امکان استفاده از الیاف ضایعات پارچه و اثر مقدار ذرات نانورس بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت حاصل از آرد چوب و پلی پروپیلن انجام شد. بدین منظور، آرد چوب و پلی پروپیلن با نسبت‌های وزنی ۵۰ به ۵۰ به همراه الیاف ضایعات پارچه در دو سطح (۰ و ۱۵ درصد)، نانورس در سه سطح (۰، ۲ و ۴ درصد) و سازگارکننده به میزان ۳ درصد، توسط دستگاه اکسترودر در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد مخلوط گردید. سپس نمونه‌های آزمونی استاندارد با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی ساخته شدند. خواص مکانیکی نظیر مقاومت‌های کششی و خمشی و مقاومت به ضربه فاق‌دار و خواص فیزیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت، اندازه‌گیری شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد، افزودن الیاف ضایعات پارچه به‌طور معنی‌داری سبب بهبود خواص مکانیکی و تضعیف خواص فیزیکی در کامپوزیت چوب‌پلاستیک شد. همچنین نتایج حاکی از آن بود که خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت چوب‌پلاستیک به‌استثنای مقاومت به ضربه فاق‌دار، با افزایش مقدار نانورس بهبود یافته است. نتایج مطالعات ریخت‌شناسی کامپوزیت نیز به‌منظور بررسی نحوه پراکنش ذرات نانورس با استفاده از طیف پراش اشعه ایکس (XRD) نشان داد که توزیع ذرات در زمینه پلیمری از نوع بین‌لایه‌ای بوده و با افزایش مقدار ذرات نانورس فاصله بین لایه‌ها افزایش یافته است.

**واژگان کلیدی:** الیاف پارچه، خواص فیزیکی و مکانیکی، سازگارکننده، کامپوزیت چوب‌پلاستیک، نانورس.

محمد حق‌بناه<sup>۱</sup>

بابک نصرتی ششکل<sup>۲\*</sup>

سعیدرضا فرخ‌پیام<sup>۳</sup>

رحیم محبی‌گرگری<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، <sup>۲،۳</sup> استادیار، <sup>۴</sup> مربی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

مسئول مکاتبات:

nosrati.babak@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۶

### مقدمه

کامپوزیت‌های حاصل از پلیمرهای گرمانرم و الیاف طبیعی که چوب‌پلاستیک نامیده می‌شوند، به‌دلیل برخورداری از ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود موردعلاقه

بسیاری از محققان و تولیدکنندگان قرار گرفته‌اند. انعطاف‌پذیری کامپوزیت چوب‌پلاستیک در استفاده از ماده پرکننده موجب شده است که دامنه وسیعی از مواد چوبی، لیگنوسلولزی و فیبری در تولید این محصول قابل کاربرد

باشد [۱]. بدون شک، هدف از تولید کامپوزیت‌های پلیمری و افزودن الیاف به پلاستیک‌ها، کاهش قیمت اولیه و به‌ویژه افزایش مقاومت‌های مکانیکی آن در مقایسه با پلاستیک خالص بوده است. همان‌گونه که انتظار می‌رود، ویژگی‌های مواد پرکننده نظیر اندازه ذرات، طول، مقدار و ضریب کشیدگی الیاف بر روی ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت چوب‌پلاستیک تأثیر به‌سزایی دارد [۲]. به‌طوری‌که استفاده از الیاف به علت بالا بودن ضریب ظاهری در مقایسه با آرد چوب باعث افزایش ویژگی‌های مکانیکی در کامپوزیت چوب‌پلاستیک می‌شود [۳]. یکی از منابع مهم الیاف بلند که می‌تواند در ساخت کامپوزیت‌های چوب‌پلاستیک مورد استفاده قرار گیرد ضایعات پارچه است که در حال حاضر پسماند حاصل از تولید آن در اکثر موارد بدون کاربرد خاصی از بین می‌رود. طبق گزارش سازمان محیط‌زیست آمریکا (EPA) حدوداً ۴ تا ۶ درصد کل زباله‌های شهری را منسوجات پارچه تشکیل می‌دهند که به‌صورت زباله خشک خانگی یا به‌صورت ضایعات در کارخانه‌های ریسندگی، بافندگی و کارگاه‌های تولید البسه دور ریخته می‌شود که در حدود ۹۰ درصد این ضایعات قابل بازیافت است اما کارخانه‌های تولیدکننده منسوجات، ضایعات حاصله را اغلب می‌سوزانند یا دفن می‌کنند [۴].

Stark و Rowlands (۲۰۰۳) در تحقیق خود برخی از عوامل تأثیرگذار بر خواص مکانیکی کامپوزیت آرد چوب/ پلی‌پروپیلن را مورد بررسی قرار دادند. آنان بیان داشتند با افزایش ضریب لاغری و طول الیاف، اکثر مقاومت‌های مکانیکی به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند [۱]. نتایج مطالعه اثر اندازه ذرات مواد لیگنوسلولزی و مقدار ماده سازگارکننده بر خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت توسط Kargarfard (۲۰۱۱) نشان داد، مقاومت‌های خمشی و کششی نمونه‌های ساخته‌شده از الیاف بلند نسبت به آرد چوب بالاتر بوده است، زیرا الیاف به‌دلیل ضریب لاغری بالاتر در مقایسه با آرد چوب، ظرفیت تحمل تنش بیش‌تری داشته و باعث افزایش مقاومت‌های کامپوزیت می‌شود [۵]. Basiji و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی اثر طول الیاف بر روی ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت چوب‌پلاستیک اعلام کردند که افزایش طول یا ضریب کشیدگی و مقدار الیاف باعث افزایش ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌ها به‌استثنای مقاومت به ضربه می‌شود [۶].

از طرف دیگر با ورود فناوری نانو در علم مواد، پلیمرهای تقویت‌شده با پرکننده‌های نانو بیش‌ازپیش مورد توجه جوامع علمی و صنعتی قرار گرفته‌اند. از دیدگاه صنعتی آنچه باعث جلب توجه بسیاری از صنایع به این موضوع شده، بهبود چشم‌گیر خواص کامپوزیت‌ها است؛ بنابراین کامپوزیت‌های پلیمری تقویت‌شده با نانوذرات در واقع طبقه جدیدی از کامپوزیت‌های پلیمری را تشکیل می‌دهند که در ساختار آن‌ها ذرات با ابعاد نانو مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله این نانوذرات می‌توان به ذرات نانورس اشاره کرد که به علت ابعاد خاص و ضریب ظاهری بالا در مقایسه با سایر پرکننده‌ها، در مقادیر بسیار اندک موجب بهبود خواص کامپوزیت‌های پلیمری می‌شود [۸ و ۹].

تأثیر ذرات نانورس بر خصوصیات کامپوزیت‌ها به شکل، اندازه، ضریب ظاهری، نوع، مقدار و کیفیت پراکنده شدن ذرات و چسبندگی آن‌ها در سطح اتصال بستگی دارد. همچنین افزودن مقادیر اندک ذرات نانورس موجبات بهبود خواص مکانیکی و ثبات ابعادی مطلوب را در کامپوزیت چوب‌پلاستیک فراهم می‌سازد [۱۰]. Guo و همکاران (۲۰۰۷) طی بررسی‌های خود اظهار داشتند که اضافه کردن ذرات نانورس به کامپوزیت حاصل از آرد چوب کاج و پلی‌اتیلن سنگین، مقاومت مکانیکی و فیزیکی را به‌طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد [۱۱]. در تحقیقی دیگر Kord و همکاران (۲۰۱۱) اثر مقدار ذرات نانورس را بر ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت چوب‌پلاستیک حاصل از پلی‌اتیلن سنگین و آرد چوب مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که با افزایش مقدار ذرات نانورس مقاومت‌ها و مدول الاستیسیته خمشی و کششی کامپوزیت افزایش و مقاومت به ضربه کاهش یافته است [۸]. این پژوهش با هدف تأثیر استفاده از ضایعات پارچه و ذرات نانورس بر

## فرآیند آماده‌سازی، اختلاط و تهیه نمونه‌های آزمونی

بافت پارچه به‌وسیله یک برس سیمی گرد مجهز به الکتروموتور با نیروی محرکه ۲۵۰ وات از هم‌گسیخته و پس از حلاجی، به رشته‌های باریک با میانگین ضریب لاغری ۷۶/۶۳ تبدیل شد. چوب‌ها نیز توسط آسیاب چکشی مدل Retsch SK100 Gusseiesh ساخت کشور آلمان، واقع در دانشگاه زابل، خردشده و توسط الک آزمایشگاهی به اندازه ذرات بین ۴۰ تا ۶۰ مش با میانگین ضریب لاغری ۵/۸۲ تبدیل شد. آرد چوب قبل از اختلاط توسط دستگاه اتو به مدت ۲۴ ساعت تحت دمای  $103 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد خشک شد. سپس مواد مطابق جدول (۱) توسط دستگاه مخلوط‌کن کولین دو مارپیچه ناهم‌سورگد (اکسترودر)، در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۶۰ دور بر دقیقه مخلوط شده و پس از سرد شدن توسط دستگاه خردکن نیمه‌صنعتی شرکت WIESER مدل WG-LS 200/200 ساخت آلمان، آسیاب شد. درنهایت گرانول تهیه شده به دستگاه قالب‌گیری تزریقی نیمه‌صنعتی مدل PAYA ساخت شرکت ایمن ماشین منتقل شده و پس از ذوب مجدد و تزریق مواد به درون قالب، نمونه‌های موردنظر برای آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی تهیه شدند. درنهایت نمونه‌ها قبل از انجام هرگونه آزمون، در محیط کلیماتیزه با دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰٪ به مدت ۴۰ ساعت مطابق با استاندارد ASTM آیین‌نامه D618-99 قرار داده شدند.

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت بر پایه پلی-پروپیلن مورد مطالعه قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق از آرد چوب گونه گزشاهی تهیه‌شده از منطقه زابل به‌عنوان تقویت‌کننده و پلی‌پروپیلن با نام تجاری Moplen 30S، محصول شرکت پتروشیمی مارون با شاخص جریان مذاب ۲۵gr/۱۰min و چگالی ۰/۹۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌عنوان ماتریس پلیمری استفاده شد. الیاف ضایعات پارچه مورد استفاده در این پژوهش از جنس پنبه خالص و از کارخانه تولید لباس واقع در شهر اصفهان تهیه گردید. همچنین مالئیک انیدرید پیوند خورده با پلی‌پروپیلن (MAPP<sup>۱</sup>) با نام تجاری PP-G 101 محصول شرکت کیمیا جاوید سپاهان با شاخص جریان مذاب ۱۰gr/۱۰min و چگالی ۰/۸۴۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌عنوان سازگارکننده و نانورس از نوع مونتموریلونیت اصلاح‌شده ساخت شرکت آمریکایی Southern-Clay با نام تجاری کلوزیت A ۱۵، فاصله بین لایه‌ها ۳/۱۵ نانومتر، چگالی ۱/۶۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ماده اصلاح‌کننده 2M2HT<sup>۲</sup> و غلظت اصلاح‌کننده ۱۲۵meq/۱۰۰gr استفاده گردید.

## روش‌ها

جدول ۱- درصد وزنی هر یک از مواد تشکیل‌دهنده تیمارهای مورد مطالعه

شماره تیمار	کد تیمار	آرد چوب (%)	الیاف پارچه (%)	پلی‌پروپیلن (%)	نانورس (%)	انیدرید مالئیک (%)
۱	W.PP.MA	۵۰	۰	۴۷	۰	۳
۲	W.PP.MA.N2%	۵۰	۰	۴۵	۲	۳
۳	W.PP.MA.N4%	۵۰	۰	۴۳	۴	۳
۴	W.F15%.PP.MA	۳۵	۱۵	۴۷	۰	۳
۵	W.F15%.PP.MA.N2%	۳۵	۱۵	۴۵	۲	۳
۶	W.F15%.PP.MA.N4%	۳۵	۱۵	۴۳	۴	۳

<sup>۱</sup> Maleic Anhydride Polypropylene (MAPP)

<sup>۲</sup> Dimethyl, dehydrogenated tallow, quaternary ammonium

از نوع KYKY مدل EM3200 با ولتاژ ۲۵ کیلووات و بزرگنمایی ۵۰۰ برابر تهیه گردید. آزمون اشعه ایکس (-XRD) نیز توسط دستگاه تفرق اشعه ایکس با تشعشع لامپ CuK $\alpha$ ، طول موج ۰/۱۵۴ nm،  $\lambda = 0.154$  nm، گام ۰/۰۲ درجه و زاویه تابش ۲θ در دامنه ۱۰-۰ درجه انجام شد.

### آنالیز آماری داده‌ها

داده‌های این بررسی توسط نرم‌افزار SPSS با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شد و در صورت معنی داری تیمارها در سطح اطمینان ۹۵ درصد، اختلاف بین میانگین‌ها با استفاده از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن بررسی شد.

### نتایج و بحث

#### مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی

اثر استفاده از مقادیر مختلف نانورس و الیاف پارچه بر مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی نمونه‌های آزمون در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد، نمونه‌های فاقد الیاف پارچه و نانورس دارای کم‌ترین میزان مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی و نمونه‌های حاوی ۱۵ درصد الیاف پارچه و ۴ درصد نانورس دارای بیش‌ترین میزان مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی می‌باشند. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی کامپوزیت‌ها با افزودن الیاف پارچه، افزایش معنی‌داری داشته است که دلیل این امر را می‌توان ضریب لاغری بالای الیاف پارچه (نسبت طول به قطر الیاف) در مقایسه با آرد چوب دانست که در نتیجه چنگ زدگی الیاف در ماتریس پلیمری بهتر صورت گرفته و به تبع آن انتقال تنش به ماتریس پلیمری و ظرفیت تحمل تنش توسط کامپوزیت افزایش یافته است [۵]. Ghasemi و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه مقایسه‌ای مقاومت‌های مکانیکی کامپوزیت حاصل از الیاف کتان و آرد چوب به نتایج مشابه با این پژوهش اشاره داشتند [۱۲]. همچنین ملاحظه می‌شود، حضور ذرات نانورس در کامپوزیت و افزایش آن از ۰ به ۴ درصد موجب افزایش معنی‌داری در مقادیر مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی شده است. لذا این‌گونه می‌توان استدلال کرد که ضریب ظاهری بالای ذرات نانورس در قابلیت تقویت‌کنندگی

#### اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی

اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی بر اساس آیین‌نامه‌های مربوطه در استاندارد ASTM و با چهار تکرار انجام شد. اندازه‌گیری مقاومت و مدول الاستیسیته کششی طبق آیین‌نامه ASTM-D638 با سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه و آزمون خمش طبق آیین‌نامه استاندارد ASTM-D790 با سرعت بارگذاری ۲ میلی‌متر بر دقیقه با استفاده از دستگاه HOUNS مدل H-25-KS انجام شد. برای اندازه‌گیری مقاومت به ضربه فاق‌دار نیز با دستگاه Santam-sit-20D طبق آیین‌نامه ASTM-D256 اندازه‌گیری گردید. آزمون جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نیز مطابق با استاندارد ASTM-D7031 انجام شد. بدین منظور نمونه‌ها با ابعاد استاندارد تهیه و به مدت ۲۴ ساعت در آون تحت دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و بلافاصله وزن و ابعاد نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال و میکرومتر اندازه‌گیری شد. سپس در فواصل زمانی ۲ و ۲۴ ساعت در آب مقطر تحت دمای اتاق ۲۳ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شده و وزن و ابعاد آن‌ها بعد از غوطه‌وری اندازه‌گیری گردید. درنهایت با توجه به معادله‌های زیر به ترتیب مقادیر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت محاسبه شده‌اند:

$$WA(t) = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

WA (t) = مقدار جذب آب در زمان غوطه‌وری t (٪)،  
Wt = وزن نمونه‌ها در زمان غوطه‌وری t (gr)، W0 = وزن خشک نمونه‌ها قبل از غوطه‌وری (gr)

$$TS(t) = \frac{T_t - T_0}{T_0} \times 100 \quad (2)$$

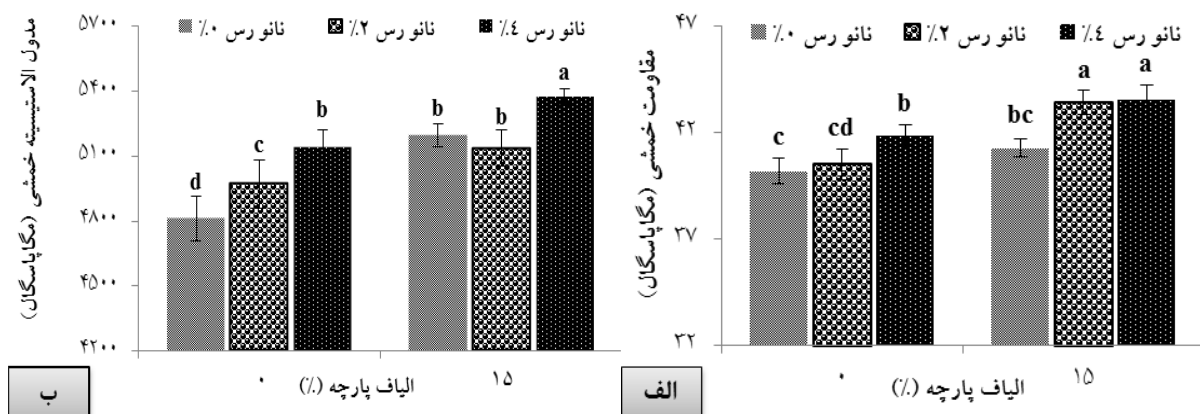
TS (t) = واکنشیدگی ضخامت در زمان غوطه‌وری t (٪)،  
Tt = ضخامت نمونه‌ها در زمان غوطه‌وری t (mm)،  
T0 = ضخامت نمونه در حالت خشک (mm)

#### ریخت‌شناسی

به‌منظور بررسی دقیق‌تر نتایج، تصاویر میکروسکوپی با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)

Deshmane و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که ذرات نانورس به علت تشکیل اتصالات قوی با ماتریس پلیمری، موجب افزایش مدول و مقاومت‌های کامپوزیت پلیمری می‌گردد [۱۴]. همچنین در بررسی دیگری Kord و همکاران (۲۰۱۴) بیان داشتند افزودن نانورس موجب افزایش خواص مکانیکی کامپوزیت می‌شود که با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق هم‌خوانی دارد [۱۵].

کامپوزیت نقش داشته و موجب شده تا سطح مشترک بین دو فاز و در نتیجه مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی کامپوزیت افزایش یابد. همچنین تشکیل ساختار بین-لایه‌ای و افزایش فاصله لایه‌های سیلیکاتی در کامپوزیت موجب بهبود مقاومت خمشی کامپوزیت می‌گردد [۹ و ۱۳]. نتایج بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و مکانیکی کامپوزیت پلیمری تقویت‌شده با ذرات نانورس توسط

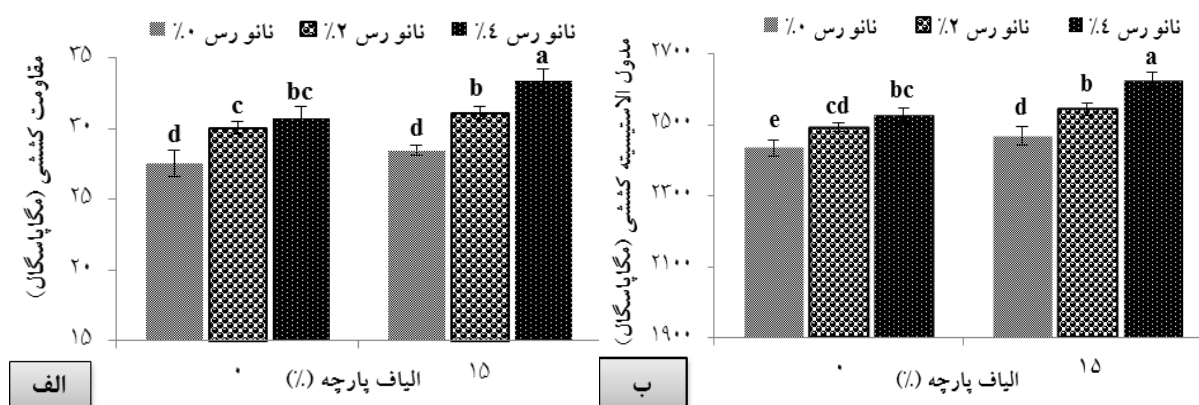


شکل ۱- تأثیر مقدار نانورس و الیاف پارچه بر مقاومت خمشی (الف) و مدول الاستیسیته خمشی (ب)

افزایش قابل توجهی در مقاومت کششی کامپوزیت چوب پلاستیک می‌شود [۱۶]. همچنین با مقایسه تیمارها مشاهده می‌شود، حضور ذرات نانورس در کامپوزیت و افزایش میزان آن از ۰ به ۴ درصد موجب افزایش معنی‌داری در مدول الاستیسیته و مقاومت کششی شده است. به‌نحوی- که این افزایش میزان مدول الاستیسیته در کامپوزیت‌های حاوی ذرات نانورس مستقیماً به طول متوسط ذرات رس و در نتیجه نسبت ابعادی آن‌ها وابسته است. همچنین عوامل ساختاری مختلفی نظیر نسبت حجم، ضریب ظاهری نانورس، فاصله افقی بین ذرات و مقدار درهم‌رفتگی ذرات نانورس نیز بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های حاوی ذرات نانورس تأثیر فراوانی دارد [۱۷]. نتایج به‌دست‌آمده با مطالعات انجام‌شده توسط Zahedi و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد [۱۸].

### مدول الاستیسیته و مقاومت کششی

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، مدول الاستیسیته و مقاومت کششی نمونه‌های فاقد الیاف پارچه و نانورس دارای کم‌ترین میزان و نمونه‌های حاوی ۱۵ درصد الیاف پارچه و ۴ درصد نانورس دارای بیش‌ترین میزان می‌باشند. طبق نتایج به‌دست‌آمده، مدول الاستیسیته و مقاومت کششی کامپوزیت ساخته‌شده با افزودن ۱۵ درصد الیاف پارچه، افزایش معنی‌داری داشته است. با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد، کامپوزیت ساخته‌شده به‌دلیل دارا بودن الیاف بلند پارچه و به‌تبع آن افزایش مناطق اتصال با ماتریس و در نتیجه ایجاد چقرمگی بالا در کامپوزیت، تنش‌های وارده در هنگام اعمال نیرو را کنترل کرده و از خود عبور می‌دهد، در نتیجه مقاومت و مدول الاستیسیته کششی افزایش می‌یابد [۱۲]. نتایج تحقیقات Razavi-Nouri و همکاران‌شان در سال ۲۰۰۶ نشان داده است که استفاده از الیاف بلند موجب

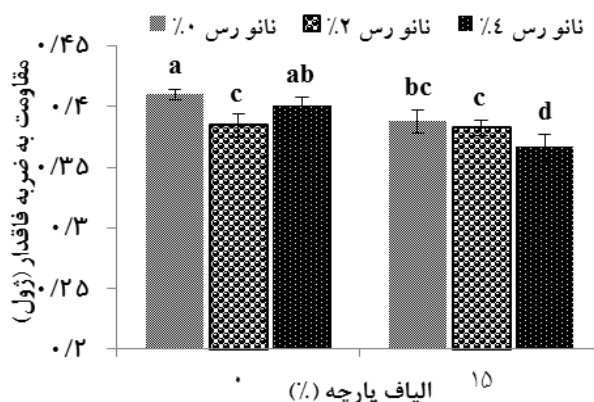


شکل ۲- تأثیر مقدار نانورس و الیاف پارچه بر مقاومت کششی (الف) و مدول الاستیسیته کششی (ب)

پراکندگی یکنواخت تر و مناسب تری خواهند داشت [۶]. همچنین با افزایش نانورس از ۰ به ۴ درصد، کاهش معنی داری در مقاومت به ضربه فاق دار کامپوزیت مشاهده شده است [۱۹]. در این تحقیق ساختار به دست آمده از آزمون تفرق اشعه ایکس از نوع بین لایه ای یا Intercalation است. به نظر می رسد که عدم تشکیل ساختار متورق لایه لایه ای یا Exfoliation باعث کاهش مقاومت به ضربه فاق دار شده است. از طرف دیگر با ریزتر شدن اجزای موجود در کامپوزیت ایجاد نواحی با تمرکز تنش بالا تشدید خواهد شد و نواحی شروع ترک در هنگام آزمون ضربه بیشتر خواهد شد [۹]. این عوامل از جمله دلایل کاهش مقاومت به ضربه است که با نتایج به دست آمده توسط دیگر محققان مطابقت دارد [۲۰].

### مقاومت به ضربه فاق دار

اثر استفاده از مقادیر مختلف نانورس و الیاف پارچه بر مقاومت به ضربه فاق دار نمونه های آزمونی در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طوری که ملاحظه می گردد، نمونه های فاقد الیاف پارچه و نانورس دارای بیشترین مقدار و نمونه های حاوی ۱۵ درصد الیاف پارچه و ۴ درصد نانورس دارای کمترین مقدار مقاومت به ضربه فاق دار می باشند. طبق نتایج به دست آمده، با افزودن الیاف بلند پارچه، مقاومت به ضربه فاق دار در کامپوزیت چوب پلاستیک کاهش می یابد به گونه ای که کامپوزیت های ساخته شده از الیاف کوتاه دارای مقاومت به ضربه بیشتری نسبت به الیاف متوسط و بلند می باشند. علت این امر را می توان این گونه بیان کرد که الیاف کوتاه به سبب فراوانی بیشتر، از سطح ویژه بیشتری برخوردارند و در نتیجه

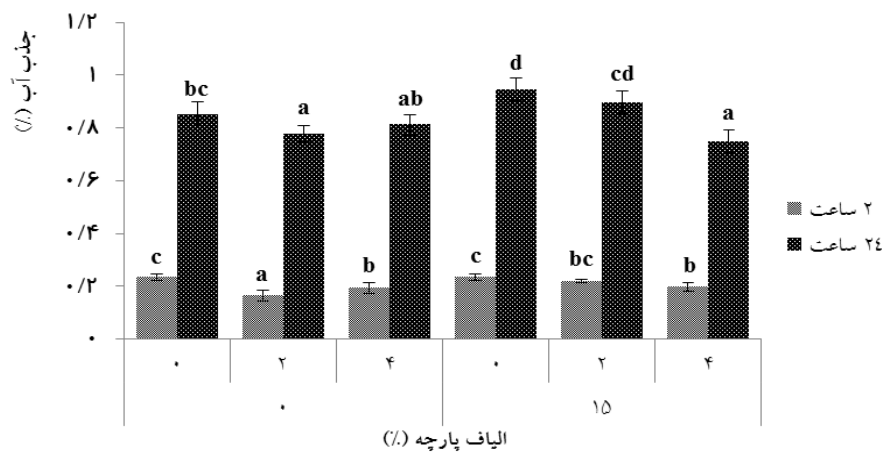


شکل ۳- تأثیر مقدار نانورس و الیاف پارچه بر مقاومت به ضربه فاق دار

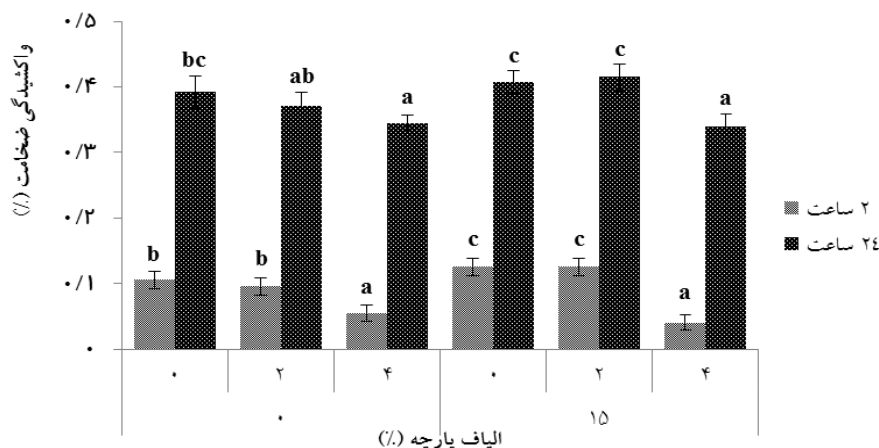
معنی داری موجب کاهش واکنشیدگی ضخامت شده است. با توجه به نتایج به دست آمده می توان بیان داشت که از یک طرف الیاف پارچه به دلیل ضریب لاغری بیش تر نسبت به آرد چوب، دارای گروه های هیدروکسیل در دسترس بیش تری بوده و جذب آب و واکنشیدگی ضخامت را کاهش می دهند [۵]. از طرف دیگر نیز ذرات نانورس به واسطه اندازه کوچک خود، فواصل و شکاف های ریز بین الیاف و پلیمر و همچنین حفرات سلولی را پر کرده و مانع نفوذ آب به کامپوزیت می گردد [۲۱]. به طوری که افزودن ذرات نانورس در کامپوزیت به علت طبیعت آب گریز سطح رس، ایجاد دالان های رسی و همچنین خاصیت هسته زایی نانورس موجب تشکیل ساختارهای بلوری در کامپوزیت می گردند و این مسئله در کاهش روند جذب آب کامپوزیت نقش مهمی دارد [۸ و ۱۰]. بررسی نتایج تحقیقات Liu و همکارانشان (۲۰۰۵) و Kord و همکارانشان (۲۰۱۱) نشان داد که با افزایش درصد ذرات نانورس در کامپوزیت چوب پلاستیک، کلیه خواص فیزیکی به طور فراوانی بهبود می یابد [۸ و ۲۱]. همچنین نتایج به دست آمده در این تحقیق با بررسی های انجام شده توسط Reddy و همکاران (۲۰۱۰)، Tabari و همکاران (۲۰۱۱) و Zahedi و Tabarsa (۲۰۱۴) مطابقت دارد [۲۲، ۲۳ و ۲۴].

### جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت

شکل ۴ و ۵ نشان می دهند که نمونه فاقد الیاف پارچه و ۲٪ نانورس کمترین مقدار جذب آب طی ۲ ساعت غوطه وری و نمونه دارای ۱۵٪ الیاف پارچه و ۴٪ نانورس کمترین مقدار جذب آب طی ۲۴ ساعت غوطه وری و کمترین مقدار واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت را به خود اختصاص داده است. از طرفی دیگر نمونه های فاقد ذرات نانورس همراه با ۰ و ۱۵٪ الیاف پارچه بیشترین میزان جذب آب طی ۲ ساعت غوطه وری و نمونه فاقد ذرات نانورس همراه با ۱۵٪ الیاف پارچه بیشترین میزان جذب آب طی ۲۴ ساعت غوطه وری را داشته است. همچنین نمونه دارای ۱۵٪ الیاف پارچه و فاقد نانورس و نمونه دارای ۱۵٪ الیاف پارچه و ۲٪ نانورس بیشترین مقدار واکنشیدگی ضخامت را طی ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری نشان می دهند. بررسی جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت نمونه های ساخته شده نشان داد که استفاده از الیاف پارچه و ذرات نانورس هر دو تأثیر معنی داری داشته است این در حالی است که استفاده از الیاف پارچه سبب افزایش واکنشیدگی ضخامت کامپوزیت شده است ولی تأثیر معنی داری بر روی آن ها نداشته است. در صورتی که افزایش ذرات نانورس در کامپوزیت از ۰ به ۴ درصد به صورت



شکل ۴- تأثیر مقدار نانورس و الیاف پارچه بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت

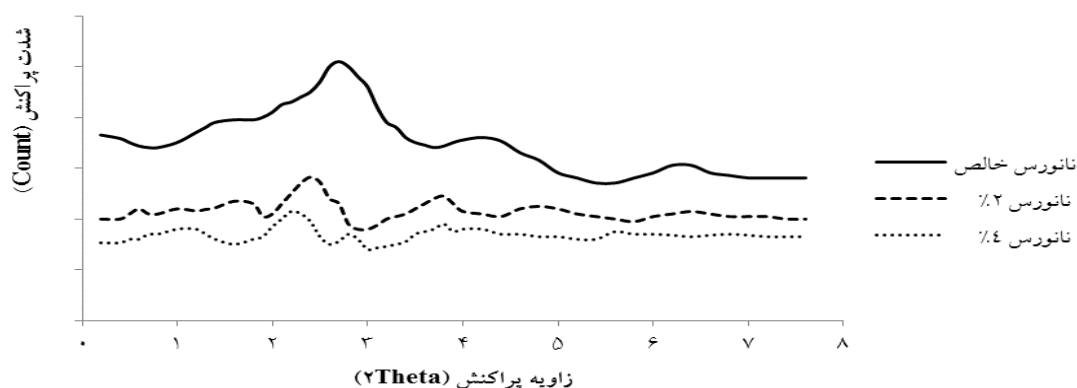


شکل ۵- تأثیر مقدار نانورس و الیاف پارچه بر واكسیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت

۳/۸۳ نانومتر افزایش یافته است؛ بنابراین با توجه به نتایج آزمون اشعه ایکس این گونه می‌توان استدلال کرد که با افزایش ذرات نانورس در کامپوزیت، فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی افزایش یافته ولی به گونه‌ای که پیک‌های نمودار از بین نرفته و صرفاً به  $2\theta$  های عقب‌تر کشیده شده است که نشان از ساختار بین‌لایه‌ای در کامپوزیت دارد. به عبارت دیگر فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی نانورس به دلیل نفوذ زنجیره‌های پلیمری افزایش یافته ولی کاملاً از هم گسیخته نشده‌اند. این در حالی است که اگر ساختار کامپوزیت از نوع ساختار لایه‌لایه‌ای باشد به دلیل متلاشی شدن ساختار بلوری، پیک نانورس در منحنی نمودار باقی نمی‌ماند. به عبارت دیگر فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی نانورس به دلیل بهبود سطح مشترک افزایش یافته، ولی از هم گسیختگی کامل رخ نداده است [۸ و ۲۲].

### آزمون تفرق اشعه ایکس (XRD)

نتایج بررسی طیف‌های XRD نشان داد که استفاده از نانورس باعث افزایش فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی و تشکیل ساختار بین‌لایه‌ای در کامپوزیت شده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۴ درصد فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی افزایش یافته است. پیک پراش اشعه ایکس نانورس خالص در زاویه  $2\theta = 2/8$  دارای فاصله بین لایه‌های ۳/۱۵ نانومتر است که با افزودن نانورس به کامپوزیت تا ۲ درصد، پیک پراش اشعه ایکس به سمت عقب کشیده شده است به طوری که پیک تند در زاویه  $2\theta = 2/393$  با فاصله بین-لایه‌ای ۳/۶۸ نانومتر ایجاد شده است. همچنین با افزایش ذرات نانورس تا ۴ درصد، پیک پراش اشعه ایکس در زاویه  $2\theta = 2/304$  کم‌تر شده و فاصله بین لایه‌های رسی به



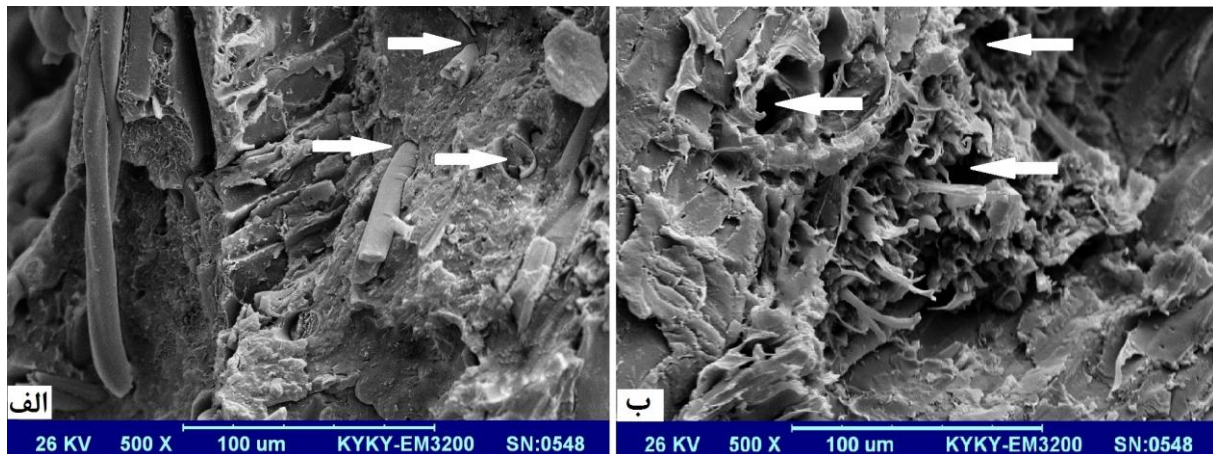
شکل ۶- طیف‌سنجی آزمون تفرق اشعه ایکس



**میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)**

بررسی تصویر میکروسکوپی نمونه فاقد الیاف پارچه (شکل ۷-ب) نشان می‌دهد که آرد چوب توانایی لازم برای اتصال با ماتریس پلیمری را نداشته است. به طوری که فضاهای خالی موجود در داخل ماتریس نشان‌دهنده برهمکنش ضعیف بین دو فاز چوب و پلیمر است.

در صورتی که تصویر میکروسکوپی نمونه حاوی الیاف پارچه (شکل ۷-الف) نشان می‌دهد که الیاف پارچه برهمکنش مناسبی با ماتریس پلیمری داشته و با ایجاد چقرمگی در ماتریس از ایجاد حفره و فضاهای خالی در کامپوزیت جلوگیری کرده است و باعث به هم پیوستگی بیش‌تر بین پرکننده و ماتریس پلیمری شده است.



شکل ۷- تصاویر سطوح شکست نمونه کامپوزیتی دارای ۱۵ درصد الیاف پارچه (الف) و نمونه فاقد الیاف پارچه (ب)

**نتیجه‌گیری**

در این تحقیق اثر افزودن الیاف ضایعات پارچه و ذرات نانورس بر خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت حاصل از آرد چوب و پلی‌پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، به‌طور کلی استفاده از الیاف پارچه سبب بهبود مقاومت‌های مکانیکی (به جز مقاومت به ضربه فاق‌دار) کامپوزیت چوب‌پلاستیک می‌گردد در صورتی که بر روی خواص فیزیکی کامپوزیت چوب‌پلاستیک تأثیر منفی خواهد داشت. همچنین نتایج نشان داد حضور ذرات نانورس موجب

بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی شده است. نتایج اشعه ایکس نیز حاکی از آن بود که ساختار کامپوزیت از نوع بین- لایه‌ای (Intercalation) است. همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی نشان داد که الیاف پارچه به دلیل دارا بودن ضریب لاغری بالاتر برهمکنش مناسب‌تری با ماتریس پلیمری داشته و به تبع آن کامپوزیت ساخته‌شده با ۱۵ درصد الیاف ضایعات پارچه بافت یکپارچه‌تری را نسبت به کامپوزیت ساخته‌شده با آرد چوب داشته است.

**مراجع**

- [1] Staik, N.M. and Rowlands, R.E., 2003. Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Journal of Wood and Fiber Science*, 35(2):167-174.
- [2] Migeneault, S., Koubaa, A., Erchiqui, F., Chaala, A., Englund, K., Krause, C. and Wolcott, M., 2008. Effect of fiber length on processing and properties of extruded wood-fiber / HDPE composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 110(2): 1085-1092.
- [3] Caulfield, D.F., Clemons, C., Jacobson, R.E. and Rowell, R.M., 2005. Wood thermoplastic composites, *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, Boca Raton, 365-378.

- [4] Divita, L. and Dillard, B.G., 1999. Recycling textile waste: an issue of interest to sewn products manufacturers. *Journal of the Textile Institute*, 90(1): 14-26.
- [5] Kargarfard, A., 2011. The effect of wood particles type and coupling agent content on properties of composites from recycled polypropylene and eucalyptus wood. *Journal of Forest and Wood Products. Iranian Journal of Natural Resources*, 64(1): 55-64. (In Persian).
- [6] Basiji, F., Safdari, V., latibari, A.J. and Nourbaksh, A., 2010. Effect of fiber length on mechanical properties of wood composite plastic. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 25(2): 187-200. (In Persian).
- [7] Lima, A.C., Monteiro, S.N. and Satyanarayana, K.G., 2011. Recycled polyethylene composites reinforced with jute fabric from sackcloth: Part II-Impact strength evaluation. *Journal of Polymer and the Environment*, 19(4): 957-965.
- [8] Kord, B., Hemmasi, A.H. and Ghasemi, I., 2011. Properties of PP/wood flour/organ modified montmorillonite nanocomposites. *Journal of Wood Science and Technology*, 45(1): 111-119.
- [9] Kord, B., 2010. Investigation on the effects of nanoclay particles on mechanical properties of wood polymer composites made of high density polyethylene-wood flour. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 25(1): 91-101. (In Persian).
- [10] Zahedi, M., Tabarsa, T., Madhoushi, M. and Shakeri, A.R., 2013. Effect of nanoclay (Montmorillonite) on the physical-mechanical properties of polypropylene/wood flour composites. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 20(3): 95-110. (In Persian).
- [11] Guo, G., Park, C.B., Lee, Y.H., Kim, Y.S. and Sain, M., 2007. Flame retarding effects of nanoclay on wood-fiber composites. *Journal of polymer Engineering Science*, 47(3): 330-336.
- [12] Ghasemi, I., Azizi, H. and Naeimian, N., 2008. Rheological behavior of polypropylene/kenaf fibre/wood flour hybrid composite. *Iranian Polymer Journal*, 17(3): 191-198. (In Persian).
- [13] Kraby, M., Ghasemi, A. and Mohammadi, M., 2007. Optimization and use of nano fillers in plastic compounds. Final report of the research committee of the ministry of science and nanotechnology. Iran Polymer and Petrochemical Institute, Iran, 191p. (In Persian).
- [14] Deshmane, C., Yuan, Q. and Misra, R.D.K., 2007. High strength-toughness combination of melt intercalated nanoclay-reinforced thermoplastic olefins. *Journal of Material Science Engineering: A*, 460(7): 277-287.
- [15] Kord, B., Ekrami, M. and Roohani, M., 2014. Effect of nanoclay particles content on the mechanical properties of wood flour-polypropylene composites using dynamic mechanic thermal analysis. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 5(2):15-26. (In Persian).
- [16] Razavi-Nouri, M., Jafarzadeh, F., Oromiehie, A. and Langroudi, A.E., 2006. Mechanical properties and water absorption behavior of chopped rice husk filled polypropylene composites. *Iranian Polymer Journal*, 15(9): 757-766. (In Persian).
- [17] Shokrieh, M. and Sonbolestan, A., 2007. Effects of structural parameters on mechanical properties polymer/clay nanocomposites. *Journal of Polymer Science and Technology*, 20(2):187-195.
- [18] Zaheddi, M., Tabarsa, T., Madhoushi, M. and Shakeri, A.R., 2013. Effect of nanoclay (Montmorillonite) on the physical-mechanical properties of polypropylene/wood flour composites. *Journal of wood & Forest Science and Technology*, 20(3): 96-110. (In Persian).

- [19] Sun, Q., Schork, J. and Deng, Y., 2007. Water-based polymer/clay nano composite suspension for improving water and moisture barrier in coating. *Journal of composites Science and Technology*, 67(9): 1823-1829.
- [20] Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y. and Suzuki, S., 2008. Bamboo-fiber filled high density polyethylene composites; effect of coupling treatment and nano clay. *Journal of Polymer and the Environment*, 16(2): 123-130.
- [21] Liu, Q., Lv, C., Yang, Y., He, F. and Ling, L., 2005. Study on the pyrolysis of wood-derived rayon fiber by thermogravimetry-mass spectrometry. *Journal of Molecular Structure*, 733(1-3): 193-202.
- [22] Zahedi, M. and Tabarsa, T., 2014. Physico-mechanical and morphological properties of nano composite made from Canola stalk. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 28(4): 742-754. (In Persian).
- [23] Reddy, C.R., Sardashti, A.P. and Simon, L.C., 2010. Preparation and characterization of polypropylene-wheat straw-clay composites. *Composites Science and Technology*, 70(12): 1674-1680.
- [24] Tabari, H.Z., Nourbakhsh, A. and Ashori, A., 2011. Effects of nanoclay and coupling agent on the physico-mechanical, morphological, and thermal properties of wood flour/polypropylene composites. *Polymer Engineering & Science*, 51(2): 272-277.

## The effect of using the textile waste fibers and nanoclay particles on physical and mechanical properties of composite made from wood flour/polypropylene

### Abstract

This study was conducted to investigate the feasibility of using waste textile fibers and the effect of nanoclay content on the physical and mechanical properties of a composite made from wood flour and polypropylene. Therefore, wood flour and polypropylene (50:50 weight ratio) were mixed in an extruder at 160°C with textile waste fibers in two levels (0 and 15%), nanoclay in three levels (0, 2 and 4%), and 3% compatibilizer. Afterwards, the specimens were made with injection molding technology. Mechanical properties including tensile, flexural, and notched impact strengths and also physical properties such as water absorption and thickness swelling were measured. The overall results showed that addition of textile fibers significantly improved the mechanical properties of the studied composites while the physical properties were reduced. The results indicated that the physical and mechanical properties of wood plastic composites, except for notched impact strength, improved with increasing nanoclay content. The results of morphological studies aimed at evaluating the distribution of nanoclay using a range of X-ray diffraction (XRD) showed that the distribution of particles in the polymer matrix is the type of intercalation, and by increasing nanoclay content, layer to layer distance was increased.

**Keywords:** textile fibers, physical and mechanical properties, compatibilizer, wood plastic composite, nanoclay.

**M. Haghpanah**<sup>1</sup>  
**B. Nosrati Sheshkal**<sup>2\*</sup>  
**S.R. Farrokhpayam**<sup>3</sup>  
**R. Mohebbi Gargari**<sup>4</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. Student, <sup>2,3</sup> Assistant Professor, <sup>4</sup> Lecturer, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol

Corresponding author:  
nosrati.babak@uoz.ac.ir

Received: 2015.01.09  
Accepted: 2015.06.06