



دانشگاه گوارز، نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و سوم، ویژه‌نامه ۱، ۱۳۹۵

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## بررسی خواص فیزیکی، حرارتی و ریخت‌شناسی نانوکامپوزیت‌های آرد نی / نانو رس / پلی‌پروپیلن اکسید شده

\*فاطمه دهدست<sup>۱</sup>، بابک نصرتی ششکل<sup>۲</sup> و سعید اسمعیلی مقدم<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فرآورده‌های چندسازه چوب، دانشگاه زابل، زابل، ایران،

<sup>۲</sup>استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران،

<sup>۳</sup>باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۰۳

### چکیده

**سابقه و هدف:** فرآورده‌های چندسازه چوب پلاستیک که به اختصار (WPC) نامیده می‌شوند گروه جدیدی از مواد مرکب هستند که در طی سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین و بخش عمده‌ای از صنعت قرار گرفته‌اند. جهت بهبود برخی از خواص کامپوزیت‌های چوب پلاستیک، از نانو ذرات مختلفی استفاده می‌شود که یکی از آن‌ها نانو رس می‌باشد که به دلیل سطح ویژه بالا و منشأ معدنی باعث بهبود خواص کامپوزیت‌های حاصل خواهد شد. از این‌رو این تحقیق با هدف بررسی تأثیر نانو رس و سازگارکننده پلی‌پروپیلن اکسید شده (OPP) بر خواص نانوکامپوزیت‌های آرد نی / پلی‌پروپیلن ضایعاتی انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** برای این منظور ابتدا پلی‌پروپیلن در فاز مذاب و در حضور اکسیژن هوا و الکل، اکسید شد. سپس آرد نی و پلی‌پروپیلن با نسبت ۵۰ درصد در داخل دستگاه مخلوط‌کن داخلی مخلوط شدند. نانو رس در ۳ سطح صفر، ۲ و ۴ درصد و سازگارکننده در ۲ سطح صفر و ۳ درصد استفاده شدند. تخته‌های آزمونی با استفاده از پرس گرم ساخته شدند. خواص فیزیکی شامل جذب آب و

\*مسئول مکاتبه: [Fatima.dehdast61@gmail.com](mailto:Fatima.dehdast61@gmail.com)

### نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

واکشیدگی ضخامت طولانی مدت، ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکشیدگی ضخامت، خواص حرارتی شامل آنالیز حرارتی (TGA) و خواص ریخت‌شناسی شامل پراش اشعه ایکس، میکروسکوپ‌های الکترونی پویشی گسیل میدانی و انتقالی بر روی نمونه‌ها انجام گردید. جهت اطمینان از اکسیداسیون پلی‌پروپیلن نیز از طیف‌سنجی مادون قرمز استفاده گردید.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد با افزایش نانو رس و سازگارکننده جذب آب و واکشیدگی ضخامت طولانی مدت، ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکشیدگی ضخامت کاهش یافت. با افزایش نانو رس و سازگارکننده، خواص حرارتی نانوکامپوزیت‌ها بهبود یافت. نتایج میکروسکوپ الکترونی پویشی گسیل میدانی نشان داد که در اثر افزودن سازگارکننده، فصل مشترک بین دو فاز الیاف لیگنوسلولزی و ماتریس پلیمری بهبود یافت. نتایج پراش اشعه ایکس نشان داد که با افزایش نانو رس تا ۲ درصد فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی رس افزایش یافت اما در اثر افزودن ۴ درصد نانو رس فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی به مقدار ناچیزی کاهش یافت و نوع ساختار تشکیل شده در نانوکامپوزیت از نوع بین‌لایه‌ای است، میکروسکوپ الکترونی انتقالی نیز این موضوع را تأیید نمود. نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز حاکی از اکسیداسیون پلی‌پروپیلن در مجاورت اکسیژن بود.

**نتیجه‌گیری:** به‌عنوان یک نتیجه کلی می‌توان گفت که استفاده از نانو رس و سازگارکننده پلی‌پروپیلن اکسید شده باعث بهبود خصوصیات نانوکامپوزیت‌های آرد نی / پلی‌پروپیلن خواهد شد. بنابراین استفاده از ۲ درصد نانو رس (برای مقرون به صرفه بودن) به‌همراه ۳ درصد سازگارکننده OPP برای ساخت کامپوزیت‌هایی با ویژگی‌های مطلوب پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** پلی‌پروپیلن اکسید شده، آرد نی، نانو رس، ریخت‌شناسی، خواص حرارتی

#### مقدمه

در ساخت کامپوزیت‌های چوب پلاستیک محدوده وسیعی از پلی‌مرها مثل پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌ونیل کلراید و پلی‌استر به‌همراه پرکننده‌های سلولزی شامل الیاف چوب، الیاف حاصل از ضایعات کشاورزی و الیاف دانه یا میوه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از الیاف لیگنوسلولزی موجب کاهش دانسیته، فرآوری و قیمت ارزان‌تر چوب پلاستیک می‌شوند ضمن این‌که این محصولات قابلیت

بازیابی مجدد را دارند که از لحاظ زیست‌محیطی بسیار مهم می‌باشند (۸). الیاف حاصل از ضایعات کشاورزی شامل الیافی مانند الیاف نی، کاه گندم، کاه برنج، باگاس، جوت، شاهدانه، کنف هندی، کنف، سیسال، نخل، و الیاف دانه یا میوه مانند کتان و نارگیل می‌باشند. نی به دلیل داشتن خواص جالب توجه نظیر تکثیر آسان، رشد سریع و میزان تولید زیاد، دوره بهره‌برداری کوتاه، تداوم داشتن موجودی و امکان کشت در اراضی باتلاقی می‌تواند به‌عنوان یک ماده لیگنوسلولزی غیرچوبی ارزان، مناسب و تجدیدشونده در صنایع سلولزی مورد استفاده قرار گیرد (۱۶). استفاده مجدد پلاستیک‌های ضایعاتی به‌طور قابل ملاحظه‌ای مورد توجه محققان و صنایع قرار گرفته است. ساخت کامپوزیت‌های چوب پلاستیک از پلاستیک‌های ضایعاتی هم به لحاظ اقتصادی و هم به لحاظ زیست‌محیطی حائز اهمیت می‌باشند. در این زمینه پلاستیک‌های که نقطه ذوب آن‌ها کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد (کمتر از دوام تجزیه حرارتی چوب) باشد قابل استفاده در ساخت چند سازه چوب پلاستیک می‌باشند (۱۵). نقش اصلی مواد سازگارکننده بهبود سازگارکنندگی و توسعه چسبندگی بین مواد سلولزی و پلاستیک می‌باشد. علی‌رغم پیشرفت‌های قابل توجه در سازگاری بین پلیمر و پرکننده‌های طبیعی، یافتن مواد جدیدی که بتوانند سازگاری بیشتری بین چوب و پلاستیک به‌وجود آورد و یا با میزان و هزینه کم‌تری استفاده شود، مورد توجه محققان و همچنین صنعت چوب پلاستیک می‌باشد. از جمله روش‌هایی که می‌توان از آن برای سازگاری پلی‌مر و پرکننده‌های طبیعی استفاده نمود اکسیداسیون پلی‌مر است که به‌روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد (۱، ۴). اکسیداسیون سبب تشکیل گروه‌های قطبی و بهبود در خواص فیزیکی و مکانیکی پلیمر نظیر قطبیت سطح، کشش سطحی و چسبندگی می‌گردد (۱۱). اکسیداسیون پلی‌پروپیلن باعث ایجاد گروه‌های عاملی قطبی نظیر کتون، کربوکسیلیک اسید و استر می‌شود که این گروه‌ها قابلیت چسبندگی این ماده را افزایش می‌دهد و سبب بهبود خواص سازگارکنندگی آن می‌شود (۱). اما امروزه در صنعت چوب پلاستیک رویکردهای جدیدی مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این رویکردها می‌توان به استفاده از ذرات در مقیاس نانو اشاره کرد. در این بین نانو ذرات رس به‌علت ابعاد خاص و ضریب لاغری بالا در مقایسه با سایر پرکننده‌ها در مقادیر بسیار اندک (۵-۴ درصد) موجب بهبود خواص فیزیکی، مکانیکی، حرارتی چندسازه‌های چوب پلاستیک می‌گردد، که علت این مسئله آن است که این ذرات شاخص ساختارهای متفاوتی نظیر ساختارهای پراکنشی، ساختار لایه‌ای، ساختار بینابینی را در کامپوزیت تشکیل می‌دهند که موجب جهت‌گیری منظم پلی‌مر و اتصال مؤثر با الیاف سلولزی می‌گردند که به‌تبع آن ویژگی‌های چندسازه

### نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

مورد تأثیر قرار می‌گیرد (۳). در طی سالیان اخیر مطالعاتی در خصوص ساخت کامپوزیت‌های چوب پلاستیک با الیاف کشاورزی و پرکننده‌های نانو رس صورت گرفته است که به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود.

عشوری و نوربخش (۲۰۰۹) ساخت چوب پلاستیک با استفاده از پلی پروپیلن و آرد باگاس و نانو رس را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزودن نانورس تا مقدار وزنی ۳ درصد استحکام کششی افزایش می‌یابد، اما با افزایش آن تا ۴ درصد کاهش جزئی در استحکام کششی مشاهده می‌شود. در مورد مقاومت به ضربه، افزودن نانورس باعث کاهش ۶ درصد در مقاومت به ضربه شد و کاهش جذب آب را نیز به همراه داشت. این محققان نتیجه گرفتند که با اضافه کردن جفت‌کننده مالئیکی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب افزایش می‌یابد. در ضمن، افزودن نانو رس موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک نیز می‌شود (۲). قاسمی و کرد (۲۰۰۹) جذب آب طولانی مدت نانوکامپوزیت‌های هیبریدی پلی پروپیلن / آرد چوب / نانو رس را مورد مطالعه قرار دادند و اظهار داشتند که جذب آب طولانی مدت با افزایش نانو رس کاهش می‌یابد. از سوی دیگر با افزایش سازگارکننده مالئیک انیدرید تا ۴ درصد، جذب آب طولانی مدت و ضریب انتشار رطوبت در نانوکامپوزیت چوب پلاستیک کاهش یافت (۷). لشگری و عشقی (۲۰۱۲) به بررسی تأثیر نانو رس و پوست بادام بر خواص فیزیکی و مکانیکی نانوکامپوزیت‌های چوب پلاستیک پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با افزایش نانو رس سختی افزایش در حالی که جذب آب کاهش یافت (۱۴). کاریان و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که افزودن نانو رس تا ۳ درصد باعث بهبود خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های چوب پلاستیک می‌شود اما افزودن مقادیر بیشتر نانو رس تا ۵ درصد باعث کاهش خواص مکانیکی خواهد شد. جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت نیز با افزایش نانو رس کاهش یافت (۱۰). نوربخش و عشوری (۲۰۱۳) تأثیر سازگارکننده انیدرید مالئیک را بر خواص کاربردی چندسازه پلی پروپیلن را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با افزایش میزان سازگارکننده خواص حرارتی در جریان مخلوط‌سازی در فاز درون سطحی بهبود یافت و همین موضوع سبب اتصال مناسب‌تر ماتریس پلیمری و پرکننده لیگنوسلولزی گردید. از سوی دیگر با افزایش سازگارکننده خواص کششی بهبود یافت (۲۰). همان‌طور که مشاهده می‌شود، پژوهش‌های گسترده‌ای در خصوص ساخت کامپوزیت‌های چوب پلاستیک با استفاده از پرکننده‌های نانو رس صورت گرفته است. اما یک تحقیق جامع و کامل که خواص حرارتی، ریخت‌شناسی و فیزیکی را در

## فاطمه دهدست و همکاران

کنار هم و با استفاده از ضایعات ارزان قیمت کشاورزی و ضایعات پلاستیکی پوشش دهد، وجود ندارد. لذا هدف از انجام این تحقیق بررسی خواص نانوکامپوزیت‌های آرد نی / پلی‌پروپیلن و با استفاده از سازگارکننده پلی‌پروپیلن اکسید شده (OPP) و ذرات نانو رس می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق از پلی‌پروپیلن ضایعاتی تهیه شده از شرکت آذرمهر هونام با دانسیته ۰/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب و شاخص جریان مذاب ۸ gr/۱۰ min به عنوان ماتریس پلیمری استفاده شد. همچنین از ساقه‌های نی (*Phragmites australis*) تهیه شده از تالاب هامون سیستان به عنوان الیاف لیگنوسلولزی (فاز طبیعی) استفاده گردید. ذرات نانورس تهیه شده از سری DK بر مبنای مونت‌موریلونیت بوده و رُس استفاده شده شامل  $\text{Ca}^{++}$ ،  $\text{Na}^{+}$ ،  $\text{Mg}^{++}$ -MMT در ساختار خود می‌باشد و دارای بیش از ۹۸ درصد نانو مونت‌موریلونیت است که خواص توزیعی بسیار مناسبی دارد. از پلی پروپیلن اکسید شده در فاز مذاب نیز به‌عنوان سازگارکننده استفاده شد که در ادامه نحوه تولید آن در آزمایشگاه شرح داده خواهد شد.

### روش‌ها

اکسیداسیون پلی‌پروپیلن: از اکسیداسیون در فاز مذاب و در حضور اکسیژن هوا مطابق با روش ابدیوس<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۹)، برای تهیه پلی‌پروپیلن اکسید شده<sup>۲</sup> استفاده شده است. در این روش ابتدا ابتدا پلی‌پروپیلن و الکل ۱- دودکانول<sup>۳</sup> در دستگاه مخلوط‌کن داخلی تحت درجه حرارت ۱۸۵ سانتی‌گراد و دور موتور ۶۰ دور بر دقیقه قرار داده شد و سپس از اکسیژن هوا به منظور اکسیداسیون این ماده استفاده گردید. زمان اکسیداسیون ۲ ساعت در نظر گرفته شد. البته قابل ذکر است که از الکل ۱- دودکانول به‌عنوان تسریع کننده در تمامی مراحل به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم استفاده گردید، ماده حاصل پس از اتمام اکسیداسیون یک ماده شکننده و ترد است که دارای رنگ سفید متمایل به کرم می‌باشد (۱).

1- Abdouss

2- Oxidize Polypropylene (OPP).

3- Dodecanol-1.

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

فرآیند اختلاط و ساخت تخته‌های آزمونی: فرآیند اختلاط مواد مطابق با جدول ۱ در داخل دستگاه مخلوط‌کن داخلی با درجه حرارت ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد و دور موتور ۶۰ دور بر دقیقه انجام گردید. زمان هر اختلاط در حدود ۶ دقیقه بود. مواد داغ شکل‌پذیر به‌دست آمده از فرآیند اختلاط، ابتدا در بین دو صفحه فلزی قرار گرفت تا خنک شود و سپس جهت تهیه گرانول، وارد دستگاه خردکن نیمه استوانه‌ای شرکت Wieser مدل WG-LS 200/200 واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران (تهران) شدند. به منظور حذف رطوبت، گرانول‌ها به مدت ۴ ساعت در خشک‌کن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. گرانول‌ها در داخل قالب به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۲ میلی‌متر ریخته شدند و تخته‌های چوب پلاستیک با استفاده از پرس گرم آزمایشگاهی هیدرولیکی واقع در دانشگاه زابل با دمای ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد، فشار ۱۵ بار و زمان ۱۲ دقیقه ساخته شدند. پس از انجام پرس گرم، جهت سرد شدن قالب‌ها از پرس سرد به مدت ۱۵ دقیقه استفاده شد. در نهایت تخته‌ها با استفاده از اره گرد آزمایشگاهی به نمونه‌های آزمونی تبدیل شدند.

جدول ۱- طرح اختلاط مواد.

Table 1. The mix design of materials.

نانورس (درصد)	سازگارکننده (درصد)	پلی‌پروپیلن (درصد)	آرد نی (درصد)
Nano clay (%)	Coupling agent (%)	Polypropylene (%)	<i>Phragmites australis</i> flour (%)
0	0	50	50
2	3	47	48
4	0	50	46
0	3	47	50
2	0	50	48
4	3	47	46

اندازه‌گیری خواص: آزمون جذب آب و واکنشیدگی ضخامت طولانی مدت (۱۴۱۶ ساعت) مطابق با استاندارد ASTM D 7013-04 بر روی نمونه‌هایی به ابعاد ۲۰×۲۰×۲ میلی‌متر انجام گردید. نمونه‌ها در آب معمولی در دمای آزمایشگاه غوطه‌ور شدند و در زمان‌های معین از داخل آب خارج شدند، وزن و ضخامت آن‌ها توسط ترازو و میکرومتر اندازه‌گیری شد و در نهایت جذب آب و واکنشیدگی ضخامت برای هر ساعت مطابق با روابط مربوطه محاسبه شدند. از هر تیمار ۵ تکرار در نظر گرفته شد. برای مطالعه دقیق‌تر رفتار آب‌دوستی نانوکامپوزیت‌های آرد نی / پلی‌پروپیلن، ضریب انتشار

رطوبت مطابق با نظریه فیک<sup>۱</sup> (۶، ۷، ۱۷، ۱۹) و نرخ واکسیدگی ضخامت مطابق با یک روش ریاضی (۱۹) انجام شد.

آنالیز حرارتی (TGA) با استفاده از آنالیزگر حرارتی Perkin Elmer برای ۸ میلی گرم نمونه آزمونی در دامنه دمایی ۵۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی گراد با نرخ گرمایی ۱۰ درجه سانتی گراد بر دقیقه انجام شد. این آنالیز با کیفیت بالا (۹۹/۵ درصد نیتروژن و ۰/۵ درصد اکسیژن) در شرایط اتمسفر با نرخ جریان ۲۰ میلی لیتر بر دقیقه برای جلوگیری از جذب اکسیژن صورت گرفت. همچنین به منظور نشان دادن اثر اکسیداسیون بر پلی پروپیلن و اطمینان از تشکیل گروه‌های قطبی در پلیمر اکسید شده، از دستگاه طیف‌سنجی مادون قرمز مدل Nicole IR-100 استفاده گردید.

آزمون تفرق اشعه ایکس توسط دستگاه XRD با تشعشع لامپ Cu Ka، طول موج  $\lambda=1.78$  نانومتر، گام ۰/۰۲ درجه، سرعت ۱ درجه بر دقیقه و زاویه تابش  $2\theta$  در دامنه ۱۲-۰ درجه انجام شد. نمونه‌ها به صورت صفحه با ابعاد  $10 \times 10 \times 1$  میلی متر جهت انجام این آزمون تهیه شدند. فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی رس با استفاده از معادله براگ<sup>۲</sup> تعیین گردید (۱۲).

به منظور تحلیل بهتر نتایج و مطالعه ریخت‌شناسی سطوح شکست، از مقاطع شکست آزمون خمش، تصاویر الکترونی با استفاده از دستگاه FESEM ساخت شرکت Hitachi و مدل S-4160 تحت ولتاژ ۱۵ KV تهیه گردید. به منظور مشاهده دقیق‌تر ساختار نانوکامپوزیت و تأیید نتایج آزمون تفرق اشعه ایکس دستگاه میکروسکوپ الکترونی انتقالی (TEM) ساخت کشور هلند مدل CM 3 با ولتاژ ۳۰۰ KW مورد استفاده قرار گرفت به این ترتیب که ابتدا نانوکامپوزیت تهیه شده در درون رزین اپوکسی قالب‌گیری شد، و توسط دستگاه پیرایشگر چاقوی الماسی الترامیکروتوم REICHERT مدل OM-U3 ساخت کشور اتریش و از طریق برش‌های با ضخامت ۱۰۰-۶۰ نانومتر، نمونه‌هایی تهیه شد. در نهایت برش‌های تهیه شده روی یک توری مسی قرار داده شدند و با کمک فلزات سنگین رنگ شده و برای عکس‌برداری با دستگاه آماده گردید.

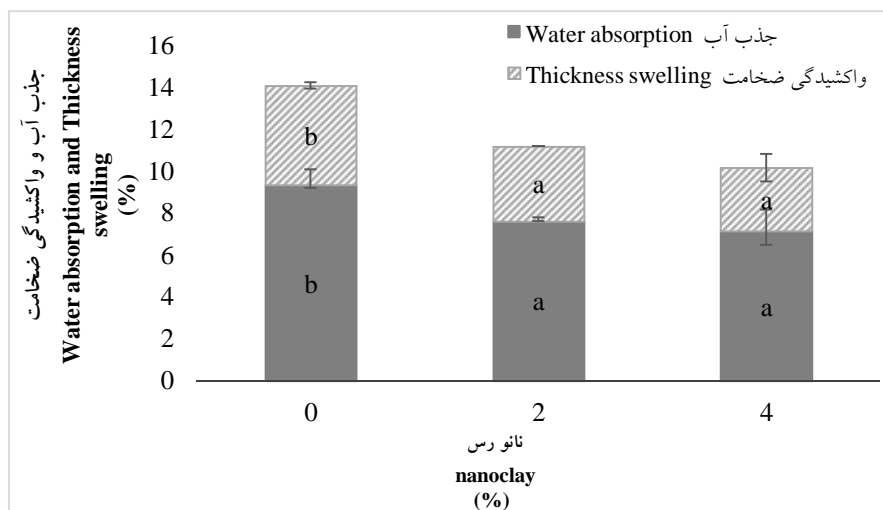
تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS و با استفاده از طرح فاکتوریل انجام شد و پس از مشاهده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها و سطوح از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید.

1- Fick's theory.

2- Bragg.

## نتایج و بحث

خواص فیزیکی: تاثیر مستقل نانو ذرات رس بر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت طولانی مدت نانوکامپوزیت‌های آرد نی/ پلی‌پروپیلن بعد از ۱۴۱۶ ساعت غوطه‌وری در آب در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش نانو ذرات رس تا ۲ درصد جذب آب و واکنشیدگی ضخامت طولانی مدت نانوکامپوزیت‌های ساخته شده کاهش یافت، اما افزودن بیشتر نانو رس تا ۴ درصد، تغییر معنی‌داری نسبت به سطح ۲ درصد در میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ایجاد نکرد. انتظار می‌رود ویژگی نفوذناپذیری نانو رس مانع از نفوذ آب به درون ماتریس پلیمری می‌گردد. برای این منظور سه مکانیسم مختلف وجود دارد: مکانیسم اول مرتبط با طبیعت آبگریز سطح رس می‌باشد که این ویژگی موجب غیر فعال شدن رطوبت می‌شود (۲۴). مکانیسم دوم مربوط به پدیده حرکت زیگزاگی<sup>۱</sup> می‌باشد، به‌طوری که لایه‌های سیلیکاتی ذرات رس به دلیل داشتن ضریب ظاهری بالا باعث طولانی‌تر و پریچ و خم شدن مسیر عبور مولکول‌ها در ماتریس پلیمری می‌شود که موجب به تعویق انداختن نفوذ آب به داخل کامپوزیت می‌شود (۱۰، ۱۳). مکانیسم سوم مربوط به خاصیت هسته‌زایی نانو رس می‌باشد که موجب تشکیل ساختار بلوری در کامپوزیت می‌شود (۱۳). در ضمن می‌توان انتظار داشت که نانو رس از طریق کاهش تخلخل موجود در کامپوزیت به کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کمک کند (۹، ۱۰).



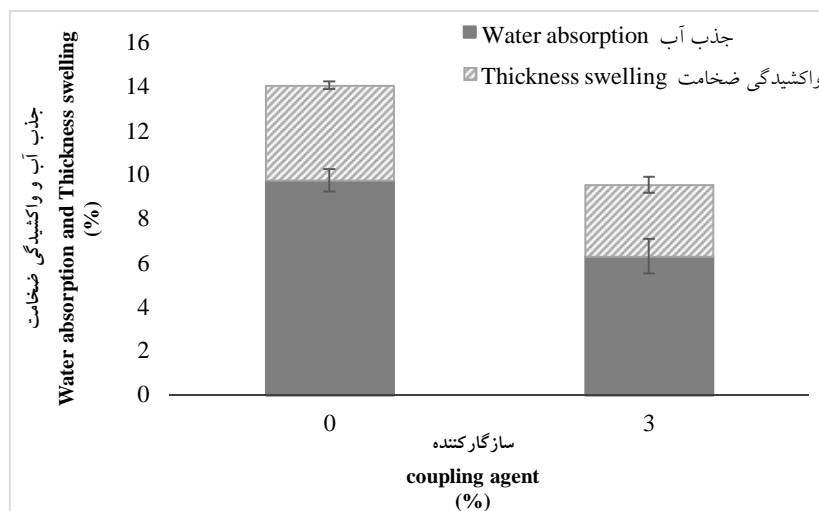
شکل ۱- تأثیر مستقل نانو رس بر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت طولانی مدت نانوکامپوزیت آرد نی/ پلی‌پروپیلن.

Figure 1. Independent effect of nanoclay on long term water absorption and thickness swelling of *Phragmites australis* flour/polypropylene nanocomposite.

1- Zigzag effect.



شکل ۲، تأثیر مستقل سازگارکننده پلی پروپیلن اکسید شده (OPP) را بر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت طولانی مدت نانوکامپوزیت آرد نی / پلی پروپیلن را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش سازگارکننده تا ۳ درصد جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در نانوکامپوزیت ساخته شده کاهش می یابد. در کامپوزیت های چوب پلاستیک، جذب آب با مکانیسم های مختلفی انجام می شود: الف) جذب آب از طریق دیواره سلولی آرد چوب که ناشی از طبیعت آب دوست آن است و منجر به واکنشیدگی ضخامت کامپوزیت می شود. ب) جذب آب با فرآیند موئینگی که از طریق لوله های موئین (فواصل و شکاف ها) موجود در کامپوزیت. ج) جذب آب از طریق شکاف های نانومتری بین زنجیره های پلیمری (۱۸، ۲۱، ۲۲). از این رو افزایش سازگارکننده پلی پروپیلن اکسید شده از یک سو با تشکیل پیوند با گروه های هیدروکسیل چوب، از خاصیت آب دوستی آن می کاهد و از سوی دیگر باعث کاهش فاصله بین چوب و پلاستیک شده و منجر به کاهش تخلخل و به تبع آن کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت خواهد شد (۵).



شکل ۲- تأثیر مستقل سازگارکننده بر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت طولانی مدت نانوکامپوزیت آرد نی / پلی پروپیلن.

Figure 2. Independent effect of coupling agent on long term water absorption and thickness swelling of *Phragmites australis* flour/polypropylene nanocomposite.

ضریب انتشار رطوبت به همراه مشخصه های آن در جدول ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود با افزایش سازگارکننده و نانو رس جذب آب کاهش می یابد اما زمان رسیدن به نقطه

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

اشباع افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که نانو رس و سازگارکننده سرعت جذب آب در نانوکامپوزیت را کاهش می‌دهد. همچنین با افزایش نانو رس و ماده سازگارکننده ضریب انتشار رطوبت کاهش یافت. مقدار  $n$  نیز در همه تیمارها کمتر از ۰/۵ بود که این موضوع نشان دهنده این مطلب است که رفتار جذب آب نانوکامپوزیت‌ها مطابق با قانون فیک<sup>۱</sup> است. ضریب انتشار رطوبت یکی از مهمترین مشخصه‌های مدل جذب آب طولانی مدت و مشخص نمودن سرعت جذب آب در فرآورده‌های مرکب است. این مدل توانایی انتشار ملکول‌های آب را به درون ماده مرکب مشخص می‌کند (۱۷، ۱۹). نانو رس و ماده سازگارکننده از طریق کاهش تخلخل، باعث کاهش جذب آب و همچنین کاهش سرعت جذب نانوکامپوزیت آب گردید. بنابراین کاهش ضریب انتشار رطوبت در اثر افزایش نانو رس و سازگارکننده را می‌توان به همین موضوع نسبت داد (۷).

جدول ۲- ضریب انتشار رطوبت و مشخصه‌های آن.

Table 2. Coefficient of moisture diffusion and its characteristics.

مقدار سازگارکننده (درصد)	مقدار نانو رس (درصد)	مقدار $n$	زمان رسیدن به نقطه اشباع (ساعت)	بیشینه جذب آب (درصد)	ضریب انتشار رطوبت ( $m^2/s$ )
Coupling agent (%)	Nano clay (%)	$n$	Time to reach the saturation point (h)	Maximum of water absorption (%)	Coefficient of moisture diffusion ( $m^2/s$ )
0	-	0.22	912	9.77	$3.14 \times 10^{-10}$
3	-	0.15	1248	6.31	$1.76 \times 10^{-10}$
-	0	0.19	1080	9.35	$4.71 \times 10^{-10}$
-	2	0.19	1080	7.62	$3.79 \times 10^{-10}$
-	4	0.19	1248	7.15	$3.29 \times 10^{-10}$

نرخ واکنش‌دهی ضخامت به همراه مشخصه‌های مربوط به آن در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش نانو رس و سازگارکننده، بیشینه واکنش‌دهی ضخامت و نرخ واکنش‌دهی ضخامت کاهش می‌یابد. کم بودن نرخ واکنش‌دهی ضخامت بیانگر این موضوع است که سرعت واکنش‌دهی شدن نانوکامپوزیت کم می‌باشد (۱۹). واکنش‌دهی ضخامت در کامپوزیت‌های چوبی بسیار پیچیده است و تأثیر مخربی بر خواص فیزیکی و مکانیکی دارد. واکنش‌دهی ضخامت در کامپوزیت‌ها ابتدا به علت واکنش‌دهی عناصر چوبی که آن را می‌سازند به وجود می‌آید. قسمتی از این واکنش‌دهی در اثر آزادسازی تنش‌هایی است که در هنگام ساخت در داخل کامپوزیت محبوس شده‌اند

1- Fick's law.

## فاطمه دهدست و همکاران

و نفوذ رطوبت موجب آزاد کردن آن می‌شود. هنگامی که کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در شرایطی قرار گیرد که آب جذب نماید، ابتدا واکنشیدگی آهسته است زیرا تخلخل موجود در مواد مرکب چوب پلاستیک موجب آزادی حرکت الیافی که واکنشیده شدند می‌شود. با گذشت زمان واکنشیدگی با نرخ معین ادامه پیدا می‌کند، زیرا واکنشیدگی بعضی از عناصر چوبی کامل شده است. در زمان مشخص و در یک نقطه معلوم واکنشیدگی کامل می‌گردد (۱۸). از پارامترهای مهم در این زمینه می‌توان به نرخ واکنشیدگی ضخامت اشاره کرد (۲۳). ماده سازگارکننده و نانو رس باعث می‌شوند تا واکنشیدگی ضخامت در زمان طولانی‌تری کامل شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت که با افزایش نانو رس و سازگارکننده سرعت واکنشیدگی در نانوکامپوزیت کاهش می‌یابد و می‌توان انتظار داشت که کاهش نرخ واکنشیدگی ضخامت در نانوکامپوزیت آرد نی / پلی‌پروپیلن در اثر افزایش نانو رس و سازگارکننده به همین دلیل باشد.

جدول ۳- نرخ واکنشیدگی ضخامت به همراه مشخصه‌های مربوط به آن.

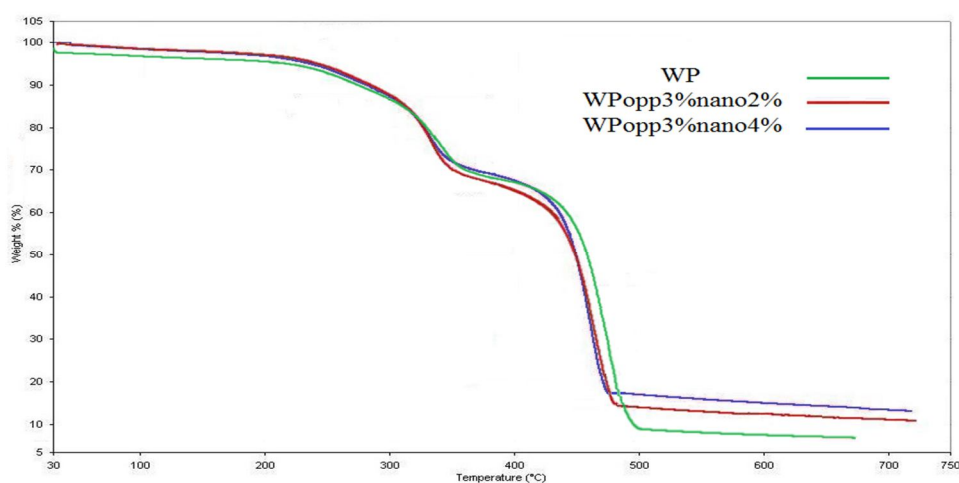
Table 3. Thickness swelling rate along with its characteristics.

مجموع مربعات SS	نرخ واکنشیدگی ضخامت $\times 10^{-3}$ ( $h^{-1}$ )	ضخامت نهایی (mm)	ضخامت اولیه (mm)	بیشینه واکنشیدگی ضخامت (درصد)	مقدار نانو رس (درصد)	مقدار سازگارکننده (درصد)
	Thickness swelling rate ( $h^{-1}$ )	Final thickness (mm)	First thickness (mm)	Maximum of thickness swelling (%)	Nano clay (%)	Coupling agent (%)
2.39	60	2.08	2	4.32	-	0
2.01	45	2.06	2	3.25	-	3
2.89	55	2.09	2	4.72	0	-
1.46	40	2.07	2	3.58	2	-
2.58	35	2.06	2	3.03	4	-

خواص حرارتی: خواص گرمایی نانوکامپوزیت آرد نی / پلی‌پروپیلن در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش نانو رس و سازگارکننده (OPP) دمای تجزیه اولیه نانوکامپوزیت ساخته شده افزایش می‌یابد. به طوری که دمای تخریب اولیه برای کامپوزیت فاقد سازگارکننده و نانو رس در حدود ۲۹۴ درجه سانتی‌گراد، برای نانوکامپوزیت حاوی ۳ درصد سازگارکننده و ۲ درصد نانو رس در حدود ۲۹۹ درجه سانتی‌گراد و برای نانوکامپوزیت حاوی ۳ درصد سازگارکننده و ۴ درصد نانو رس در حدود ۳۰۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از سوی دیگر، میزان خاکستر باقی مانده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، با افزایش نانو رس و سازگارکننده از ۶ درصد به ۱۹ درصد افزایش یافت. افزایش دمای تجزیه اولیه و میزان خاکستر باقی مانده در اثر افزایش

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

سازگارکننده و نانو رس حاکی از مقاومت گرمایی بالاتر این نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد است. افزایش نانو رس که یک ماده معدنی است باعث افزایش مقاومت حرارتی کامپوزیت‌ها شده و از سوی دیگر حضور سازگارکننده باعث واکنش داخلی قوی‌تری بین نانو رس و ماتریس پلیمری شده است (۲۰). بنابراین می‌توان انتظار داشت که در اثر افزایش نانو رس و سازگارکننده مقاومت گرمایی نانوکامپوزیت‌های ساخته شده افزایش یابد.

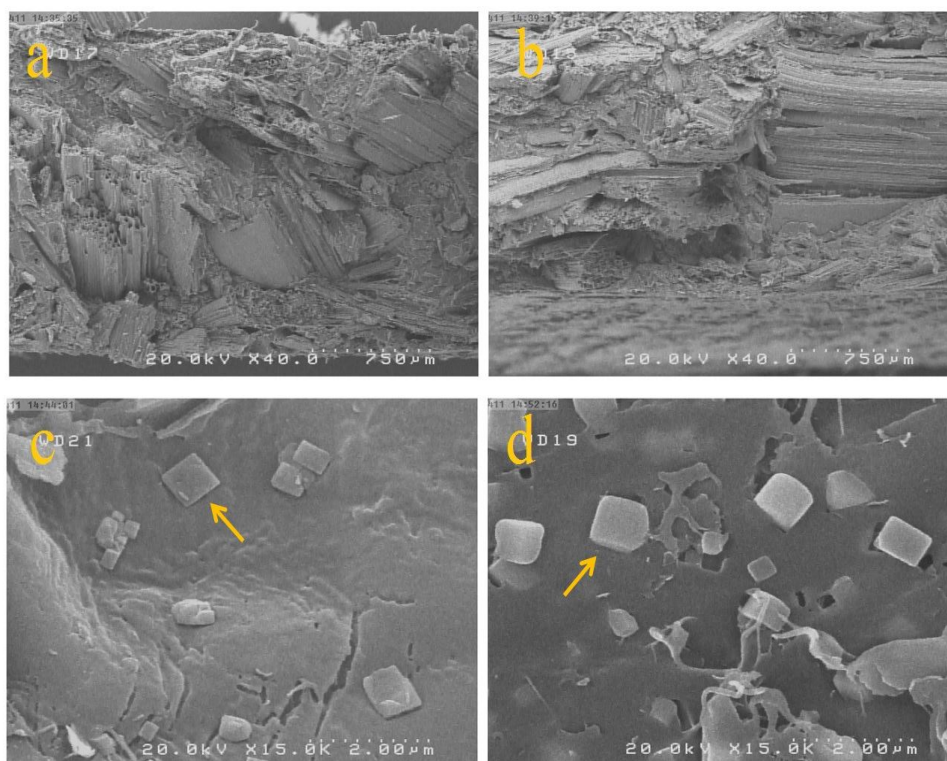


شکل ۳- آنالیز گرمایی (TGA) نانوکامپوزیت آرد نی / پلی پروپیلن.

Figure 3. Thermo gravimetric analysis (TGA) of *Phragmites australis* flour/polypropylene nanocomposite.

خواص ریخت‌شناسی: در شکل ۴، تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی گسیل میدانی نشان داده است. شکل ۴a تصویر میکروسکوپی نمونه فاقد سازگارکننده را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل چسبندگی ضعیف بین آرد نی و پلی پروپیلن کاملاً مشخص است. چسبندگی ضعیف بین این دو فاز منجر به پرزدار شدن سطوح شکست شده است. این چسبندگی ضعیف در شکل ۴b در اثر افزودن ۳ درصد سازگارکننده به مقدار قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته است. افزودن سازگارکننده باعث انتقال بهتر تنش شده و باعث می‌شود الیاف و پلاستیک در اثر بارهای مکانیکی شکست همزمان داشته باشند و این موضوع به بهبود فصل مشترک بین این دو فاز کمک شایانی کرده است. تصاویر مربوط به نمونه حاوی ۲ و ۴ درصد نانو رس به ترتیب در شکل‌های ۴c و ۴d نشان داده شده است. همان‌طور که

مشاهده می‌شود نحوه پراکنش نانو ذرات رس در هر دو سطح ۲ و ۴ درصد کاملاً مناسب است و پدیده کلوخه شدن ذرات رسی اتفاق نیفتاده است.

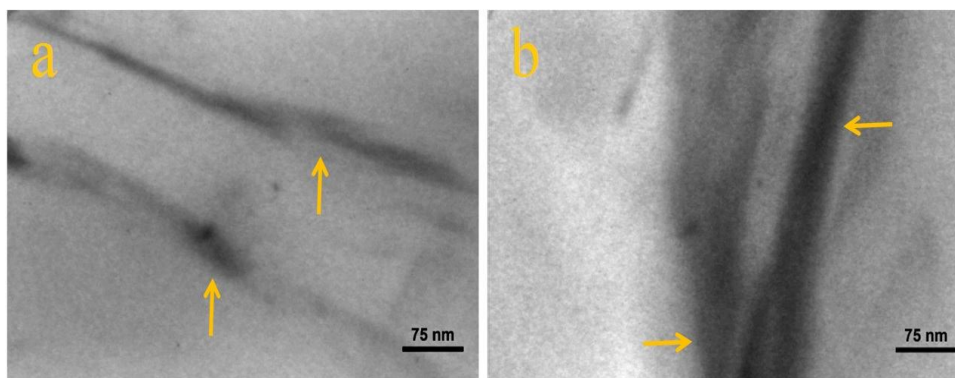


شکل ۴- میکروسکوپ الکترونی پوشی گسیل میدانی (FESEM).

Figure 4. The field emission scanning electron microscopy (FESEM).

شکل ۵، تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی انتقالی را نشان می‌دهد. شکل a مربوط به کامپوزیت حاوی ۲ درصد نانو رس و شکل b مربوط به کامپوزیت حاوی ۴ درصد نانو رس می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود خطوط تاریک مربوط به لایه‌های نانو رس و نواحی روشن‌تر مربوط به فاز ماتریس پلی‌مر می‌باشد، که نشان‌دهنده این مطلب است که لایه‌های نانو رس به‌طور کامل از همدیگر جدا نشده‌اند و این عدم جدایش کامل لایه‌های نانورس موجب ایجاد ساختار بین‌لایه‌ای در چندسازه‌ها شده است که این نتایج توسط نتایج آزمون XRD نیز تأیید شده است.

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵



شکل ۵- میکروسکوپ الکترونی انتقالی (TEM).

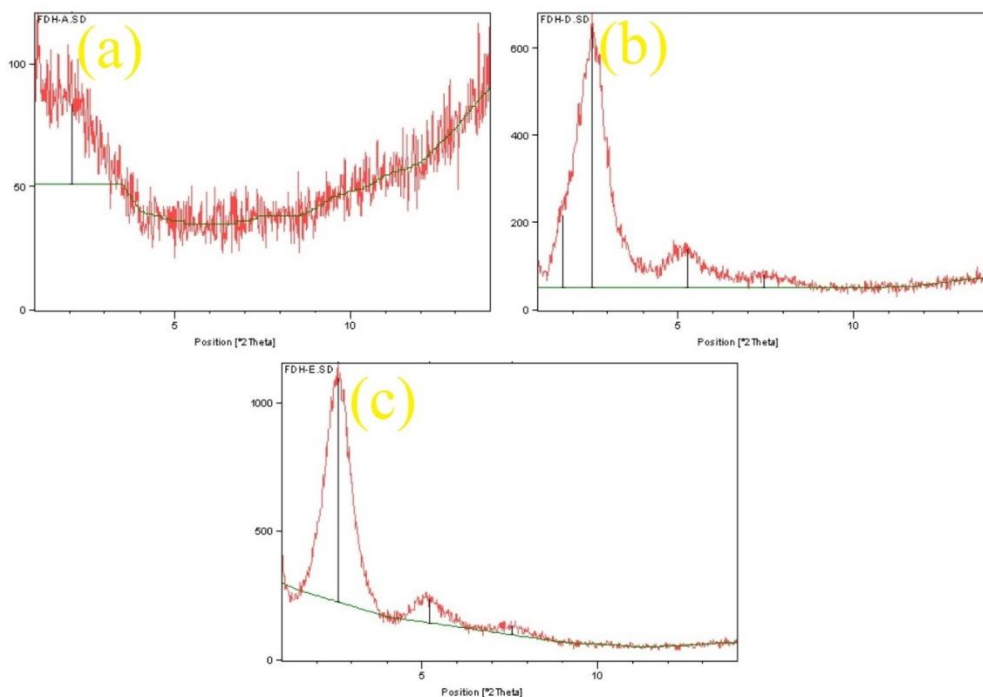
Figure 5. Transmission electron microscopy (TEM).

نتایج مربوط به پراش اشعه ایکس در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش نانو ذرات رس تا ۲ درصد، زاویه پیک  $2\theta$  کاهش یافته و به تبع آن فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی رس افزایش یافته است. اما در اثر افزودن ۴ درصد نانو رس زاویه پیک تفرق اشعه ایکس افزایش یافت و فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی رس به مقدار ناچیزی کاهش یافت. بنابراین می‌توان انتظار داشت که ساختار تشکیل شده در نانوکامپوزیت الیاف نی / پلی پروپیلن از نوع ساختار بین‌لایه‌ای باشد. زیرا با افزایش نانو رس زاویه پیک اشعه ایکس کاملاً از بین نرفته است و فقط به سمت زوایای کوچکتر حرکت کرده است. در صورتی که اگر ساختار تشکیل شده در نانوکامپوزیت از نوع ساختار لایه‌لایه‌ای بود توسط از هم گسیختگی کامل لایه‌های سیلیکاتی زاویه پیک تفرق اشعه ایکس کاملاً از بین می‌رفت. شکل ۶، طیف‌های پراش اشعه ایکس مربوط به سطوح مختلف نانو رس را نشان می‌دهد.

جدول ۴- پراش اشعه ایکس (XRD).

Table 4. X-ray diffraction (XRD).

فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی رس (نانومتر) The distance between the silicate layers of clay (nm)	زاویه پیک تفرق اشعه ایکس (درجه) 2 theta (°)	نانو رس (درصد) Amount of nanoclay (%)
21.44	4.81	0
40.45	2.56	2
39.55	2.59	4

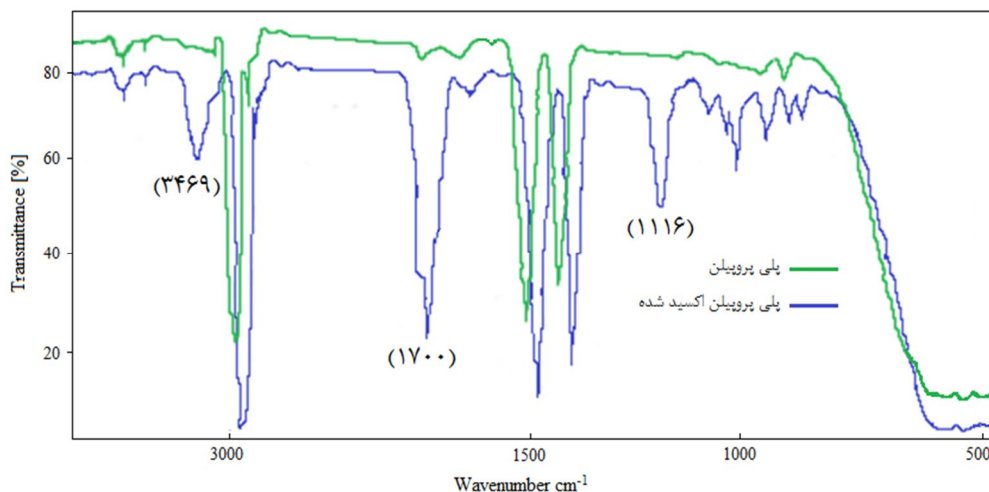


شکل ۶- طیف‌های پراش اشعه ایکس، نانو رس خالص (a)، ۲ درصد نانو رس (b)، ۴ درصد نانو رس (c).

Figure 6. X-ray diffraction spectra, pure nano clay (a), 2% nanoclay (b), 4% nanoclay (c).

طیف جذبی FTIR پلی‌پروپیلن اکسید نشده و اکسید شده در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به این که پلی‌پروپیلن در حالت طبیعی فاقد گروه‌های قطبی می‌باشد، طی فرآیند اکسیداسیون دسته‌ای از عوامل قطبی نظیر گروه‌های کتونی، کربوکسیلیک اسید و استری در پلی‌پروپیلن ایجاد می‌شود، که باعث افزایش چسبندگی بین دو بخش طبیعی و پلیمر کامپوزیت‌های حاصل می‌گردد (۱). در طیف FTIR مربوط به پلی‌پروپیلن اکسید شده در مقایسه با پلی‌پروپیلن، در ناحیه  $1116 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1700 \text{ cm}^{-1}$  و  $3469 \text{ cm}^{-1}$  پیک‌های نسبتاً تندی مشاهده می‌شود که باند جذبی در ناحیه  $3469 \text{ cm}^{-1}$  را می‌توان به مُد کششی پیوند هیدروژنی هیدروکسیل الکل نسبت داد و مُد کششی در ناحیه  $1700 \text{ cm}^{-1}$  به گروه‌های کربونیل انیدریدی، کتون و آلدئیدی و مُد کششی در ناحیه  $1116 \text{ cm}^{-1}$  به گروه‌های استری مربوط می‌شود (۱).

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵



شکل ۷- طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون‌قرمز (FTIR).

Figure 7. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر ذرات نانو رس و سازگارکننده پلی‌پروپیلن اکسید شده بر خواص نانوکامپوزیت‌های آرد نی / پلی‌پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد: با افزایش نانو رس و سازگارکننده جذب آب و واکنشیدگی ضخامت طولانی مدت، ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکنشیدگی ضخامت کاهش یافت. با افزایش نانو رس و سازگارکننده، خواص حرارتی نانوکامپوزیت‌ها بهبود یافت. نتایج میکروسکوپ الکترونی پوششی گسیل میدانی نشان داد که در اثر افزودن سازگارکننده، فصل مشترک بین دو فاز الیاف لیگنوسولوزی و ماتریس پلیمری بهبود یافت. نتایج پراش اشعه ایکس نشان داد که با افزایش نانو رس تا ۲ درصد فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی رس افزایش یافت اما در اثر افزودن ۴ درصد نانو رس فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی به مقدار ناچیزی کاهش یافت و نوع ساختار تشکیل شده در نانوکامپوزیت از نوع بین‌لایه‌ای است، میکروسکوپ الکترونی انتقالی نیز این موضوع را تأیید نمود. نتایج طیف‌سنجی مادون‌قرمز حاکی از اکسیداسیون پلی‌پروپیلن در مجاورت اکسیژن بود.



## منابع

1. Abdouss, M., SHarifi-Sanjani, N., and Bataille, P. 1999. Oxidation of Polypropylene in a Solution of Monochlorobenzene. *Journal of Applied Polymer Science*. 47: 14.3417-3427.
2. Ashori, A., and Nourbakhsh, A. 2009. Characteristics of wood-fiber plastic composites made of recycled materials: *Waste Management*. 29: 4.1291-1295.
3. Broysiak, S., Paukszta, D., and Helwig, M. 2006. Flammability of Wood-Polypropylene Nano composites. *Journal of Polymer Degradation Stability*. 91: 3339-3343.
4. Dang, V., Fezza, R., Shu, C., Phan, T., and Sang, C. 2007. Preparation of Grafted Copolymers Via Oxidized Polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*. 104: 30180-3027
5. Dehdast, F. 2013. Effect of Nano clay and oxidize polypropylene on properties of wood plastic composite made from *Phragmites australis* and urban plastic, The Thesis Submitted for the Degree of Master of science in composite wood products. Zabol University. 87p. (In Persian)
6. Espert, A., Vilaplana, F., and Karlsson, S. 2004. Comparison of water absorption in natural cellulosic fibers from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties. *Journal of composites part A*. 35: 1267-1276.
7. Ghasemi, I., and Kord, B. 2009. Long-term Water Absorption Behavior of Polypropylene/Wood Flour/ Organoclay Hybrid Nano composite. *Iranian Polymer Journal*. 18: 9.683-691.
8. Ghofrani, M. 2009. Study on the Possibility of WPC Production with Sawdust and Poly Ethylene Terephthalate Residues. *Environmental sciences*. 6: 2.133-153. (In Persian)
9. Ismaeilimoghadam, S., and Shahraki, A. 2015. Effect of immersion temperature on the water uptake and Thickness swelling of wood plastic Nano composite, 1st National Conference of Wood and Lignocellulose Products, 7 may, 5, Gonbad, Iran, 250. (In Persian)
10. Karian, I., Tabei, A., and Farajpoor Roodsari, A. 2014. Investigation on physical and mechanical properties of Nano composites made from pistachio shell flour/ corn starch/ Nano clay. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 29: 1.142-155. (In Persian)
11. Klason, C., Kuhat, J., and Stkomvall, H.E. 1984. The Efficiency of Cellulosic Fillers in Common Thermoplastics, Part I. Filling Without Processing Aids or Coupling Agent, *Polymer-Mater*. 10: 159-187.
12. Kord, B. 2009. Investigation on The Effects of Nano clay 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)

- 13.Kord, B., Ismaeilimoghadam, S., and Malekian, B. 2011. Effect of immersion temperature on the water uptake of polypropylene/ wood flour/ organoclay hybrid Nano composite. *Journal of bioresources*. 6: 584-593.
- 14.Lashgari, A., and Eshghi, A. 2012. Study on physical and morphological properties of almond shell powder/ Nano clay/ polypropylene. *Journal of renewable natural resources*. 3: 3.9-20. (In Persian)
- 15.Mali, J., Sarsama, P., Lindberg, L.S., Peltonen, J., Vilkki, M., Koto, T., and Tiisala, S. 2003. Wood fiber – plastic composites, A research report published 31.12.2003 by VTT Technical Research Centre of Finland.
- 16.Mohebbi Gargari, R., Dehdast, F., and Nosrati Sheshkal, B. 2015. Study the Effect of Oxidized Polypropylene in Melted Phase on Physical Properties of Wood-Plastics Composite made of HDPE-Wood Flour, 1st National Conference of Wood and Lignocellulose Products, 7 may, 5, Gonbad, Iran, 250. (In Persian)
- 17.Najafi, A. 2010. Effect of immersion temperature on long-term water uptake behavior of HDPE/wood sawdust composite. *Iranian journal of wood and paper industries*. 1: 1.37-44. (In Persian)
- 18.Najafi, A., and Bei, M.A. 2015. Study on physical and mechanical properties of wood flour/ABS composites. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*. 6: 1.79-93. (In Persian)
- 19.Najafi, A., and Khademi-Eslam, H. 2011. Lignocellulose filler/recycled HDPE composites: effect of filler type on physical and flexural properties. *Bioresources.com*. 6: 3.2411-2424.
- 20.Nourbakhsh, A., and Ashori, A. 2013. Effects of Nano clay and Microcrystalline Cellulose on Wood Plastics Composites Properties. *Journal Of Forest And Wood Products*. 66: 2.215-232. (In Persian)
- 21.Roohani, M., Kord, B., Motie, N., and Sharari, M. 2014. Biodegradation behaviors off cellulose Nano crystals --PVA Nano composites. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*. 5: 2.1-13. (In Persian)
- 22.Shi, S.Q., and Gardner, D.J. 2005. Hygroscopic thickness swelling rate of compression mold wood fiberboard and wood fiber/polymer composite. *Composites Part A, Applied Science and Manufacturing*. 37: 9.1276-1285.
- 23.Stark, N. 2001. Influence of Moisture Absorption on Mechanical Properties of Wood Flour-polypropylene Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 14: 5.421-432.
- 24.Ziaei Tabari, H., Nourbakhsh, A., Khademieslam, H., Nazar Nezhad, N., and Bazayr, B. 2012. Investigation on the effect of Nano clay on physical and tensile properties of Nano composite made from reed residues. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 27: 2.202-211. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

J. of Wood &amp; Forest Science and Technology, Vol. 23 (1), 2016

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## Investigate of physical, thermal and morphological study of *Phragmites australis* flour/nanoclay/polypropylene oxide

\*F. Dehdast<sup>1</sup>, B. Nosrati Sheshkal<sup>2</sup> and S. Ismaeili Moghadam<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduated, Dept., of Wood Composite Product, University of Zabol, Zabol, Iran,  
<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept., of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural  
Resources, University of Zabol, Zabol, Iran, <sup>3</sup>Young Researchers and Elite Club, Chalous  
Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran

Recived: 12/05/2015 ; Accepted: 02/22/2016

### Abstract

**Background and objectives:** Wood plastic composites (WPCs) are a new class of composite materials that in recent years have been the attention of many researchers and a major part of the industry. For improve some properties of wood plastic composite, various nanoparticles were used that one of them is clay that due to the high specific surface and mineral source, improves properties of nanocomposite. Therefore this study with aim of investigation the effect of nanoclay and polypropylene oxide coupling agent (OPP) on *Phragmites australis* flour/waste polypropylene was done.

**Materials and methods:** For this purpose, First polypropylene was oxidized in molding phase and in the presence of atmospheric oxygen and alcohol. Then *Phragmites australis* flour and polypropylene with were mixed weight ratio of 50% in an internal mixer. Nanoclay with three levels (0, 2 and 4%) and coupling agent of two levels (0 and 3%) were used. Test boards were made using a hot press. Physical properties such as long-term water absorption and thickness swelling, humidity coefficient diffusion and thickness swelling rate, thermal properties such as thermal analysis (TGA) and morphological properties such as X-ray diffraction (XRD), the field emission scanning electron microscopy (FESEM) and transmission electron microscopy (TEM) were done. Infrared spectroscopy (FTIR) were used to ensure the oxidation of polypropylene.

**Results:** The results showed that the long-term water absorption and thickness swelling, humidity coefficient diffusion and thickness swelling rate were decreased with increasing of nanoclay and coupling agent (OPP). Thermal properties of nanocomposite improved with increasing of nanoclay and coupling agent. The

---

\*Corresponding author: Fatima.dehdast61@gmail.com

result of field emission scanning electron microscopy (SEM) showed that by addition of coupling agent, the interface between two phases' lignocellulosic fiber and polymeric matrix improvement. The result of X-ray diffraction (XRD) showed that with increasing of nanoclay to 2%, the distance between the silicate layers of clay increased but by addition 4% nanoclay, the distance between the silicate layers slightly decreased and type in nanocomposite structure is intercalation. The transmission electron microscopy (TEM) as well as approved this. The result of infrared spectroscopy (FTIR) indicates the oxidation of polypropylene in the presence of oxygen. Conclusion: As a general conclusion can be said that the use of nanoclay and compatibility oxidized polypropylene (OPP), improved properties of *Phragmites australis* flour/polypropylene nanocomposite. Therefore, the use of 2% nanoclay (for cost-effectiveness) with 3% OPP for the manufacture of composites with desirable features is recommended.

**Keywords:** Oxidized polypropylene, *Phragmites australis* flour, Nanoclay, Morphology, Thermal properties