

تأثیر نانورس و ماده سازگارکننده بر جذب آب طولانی مدت، ضریب انتشار رطوبت و ریخت‌شناسی چندسازه چوب پلاستیک

افسانه شهرکی^{۱*}، بابک نصرتی ششکل^۲، رحیم محبی گرگری^۳ و مجید عبدوس^۴

- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فرآورده‌های چندسازه چوب، دانشگاه زابل، زابل، ایران. * رایانامه نویسنده مسئول: shahreki.afsaneh68@yahoo.com
- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
- مربی گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
- دانشیار گروه شیمی پلیمر، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۲۸

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر نانوذرات رس و سازگارکننده انیدرید مالیک پلی پروپیلنی بر جذب آب طولانی مدت، ضریب انتشار رطوبت و ریخت‌شناسی چندسازه چوب پلاستیک انجام شد. برای این منظور، آرد چوب با نسبت ۵۰ درصد با پلی پروپیلن مخلوط گردید و از نانوذرات رس با نسبت‌های ۰، ۲ و ۴ درصد بر مبنای وزن خشک آرد چوب و ماده سازگارکننده با نسبت‌های ۰ و ۳ درصد بر مبنای وزن پلاستیک استفاده گردید. فرآیند اختلاط مواد داخل دستگاه اکسترودر انجام شد و نمونه‌های آزمونی با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی ساخته شدند. جهت مطالعه تأثیر سازگارکننده انیدریدی از طیف‌سنجی مادون قرمز استفاده گردید. سپس جذب آب طولانی مدت نانوجندسازه چوب پلاستیک طی ۱۵۶۰ ساعت انجام شد. همچنین جهت تعیین سرعت جذب آب در نانوجندسازه چوب پلاستیک، ضریب انتشار رطوبت محاسبه شد. مطالعه ریخت‌شناسی نانوجندسازه‌ها با استفاده از آزمون تفرق اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی پویشی انجام گردید. نتایج نشان داد که با افزایش نانورس و ماده سازگارکننده جذب آب و ضریب انتشار رطوبت در نانوجندسازه چوب پلاستیک کاهش یافت. نتایج حاصل از طیف‌سنجی مادون قرمز نشان داد که در اثر افزایش سازگارکننده انیدریدی میزان جذب گروه‌های هیدروکسیل کاهش یافت. تعیین نوع ساختار کریستالوگرافی نانوجندسازه با استفاده از اشعه ایکس نشان داد که نوع ساختار تشکیل شده در نانوجندسازه از نوع بین لایه‌ای بوده و با افزایش نانورس و ماده سازگارکننده فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی رس افزایش یافته است. نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی پویشی نیز حاکی از بهبود فصل مشترک بین چوب و پلاستیک در اثر افزایش سازگارکننده انیدریدی بود.

واژه‌های کلیدی: ضریب انتشار رطوبت، جذب آب طولانی مدت، نانورس، آزمون تفرق اشعه ایکس، چوب پلاستیک.

مقدمه

گروه فرآورده‌های جدید قرار می‌گیرند. از آنجایی که بخش عمده‌ای از ترکیب این چندسازه‌ها را مواد لیگنوسلولزی قطبی تشکیل می‌دهند و همچنین نظر به این موضوع که بیشترین کاربرد این فرآورده‌ها در اماکن

فرآورده‌های چندسازه چوب پلاستیک گروه جدیدی از مواد مرکب هستند که در مقایسه با محصولاتی از قبیل تخته خرده‌چوب و تخته لایه قدمت چندانی نداشته و در

آب تحلیل شد. پژوهشگران در مورد تاثیر سازگارکننده انیدرید مالئیک پلی پروپیلنی بر رفتار جذب آب بلندمدت چندسازه‌های چوب پلاستیک دریافتند که اضافه کردن سازگارکننده انیدریدی جذب آب طولانی مدت را به دلیل تشکیل پیوند استری با الیاف لیگنوسولوزی و انسداد گروه‌های هیدروکسیل در چندسازه چوب پلاستیک کاهش می‌دهد (فلاح مقدم و محبی، ۱۳۹۰).

یونسی کردخیلی و کاظمی نجفی (۱۳۹۰) نیز تاثیر انیدرید مالئیک پلی پروپیلنی را بر جذب آب و بخار آب طولانی مدت چندسازه‌های چوب پلاستیک مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که بخار آب قابلیت نفوذ بیشتری به داخل چندسازه چوب پلاستیک در مقایسه با آب دارد. همچنین با افزایش ماده سازگارکننده جذب آب و بخار آب در چندسازه چوب پلاستیک کاهش یافت.

همان‌طور که اشاره شد در رابطه با نحوه عملکرد مواد سازگارکننده در مورد رفتار جذب آب چندسازه‌های چوب پلاستیک مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است. با این وجود رویکردهای جدیدی در این زمینه با ورود فناوری نانو مورد توجه قرار گرفت. محققان دریافتند که نانوذرات رس به دلیل دارا بودن ضریب ظاهری بسیار بالا، سطح آب‌گریز (به دلیل اصلاح سطحی ذرات رس) و همچنین خاصیت هسته‌زایی باعث کاهش جذب آب در چندسازه‌های چوب پلاستیک می‌شود (Kord et al., 2010).

ذکر این نکته حایز اهمیت است که تنها مطالعه بر روی روند جذب آب فرآورده‌های مرکب در طولانی مدت نمی‌تواند بسیار سودمند باشد و آنچه که بیش از سایر موارد باید مورد توجه قرار گیرد، پرداختن به این موضوع است که مواد مرکب با چه سرعتی آب جذب می‌نمایند.

ضریب انتشار رطوبت مهمترین مشخصه برای بیان چگونگی جذب آب و مشخص نمودن سرعت جذب آن

مرطوب مثل حاشیه استخرهای آب، نمای ساختمان و آلاچیق‌ها می‌باشد، مطالعه در مورد جذب آب و رفتار این فرآورده‌ها در تماس با رطوبت بسیار ضروری به نظر می‌رسد و از طرفی جذب آب در فرآورده‌های مرکب عامل مهمی در محدود کردن مصارف نهایی آن خواهد شد. جذب آب موجب کاهش بعضی از ویژگی‌های کاربردی مواد مرکب به‌ویژه در مصارف خارج از ساختمان می‌شود، به طوری که جذب آب و اثرگذاری آن بر خواص مکانیکی می‌تواند عامل محدودکننده در کاربرد نهایی آنها باشد (Najafi & Kazemi-Najafi, 2007; Espert et al., 2004).

جذب آب در فرآورده‌های چندسازه چوب توسط دو فرآیند عمده هدایت می‌شود: جذب آب توسط گروه‌های هیدروکسیل الیاف لیگنوسولوزی و دیگری جذب آب از طریق تخلخل موجود در چندسازه که در طی فرآیند ساخت به وجود می‌آید (Espert et al., 2004).

در بین فرآورده‌های چندسازه چوبی، چندسازه‌های چوب پلاستیک نسبت به سایر فرآورده‌ها از یک سو آب کمتری جذب می‌نماید و از سوی دیگر در زمان بسیار طولانی‌تری به رطوبت حداکثر می‌رسند. این ویژگی چندسازه‌های چوب پلاستیک زمینه مناسبی را برای تحقیقات در مورد روند جذب آب طولانی مدت آنها ایجاد کرده است. پژوهشگران طی چند سال اخیر مطالعاتی بر رفتار جذب آب طولانی مدت چندسازه‌های چوب پلاستیک انجام داده‌اند.

نتایج پژوهش نجفی (۱۳۸۹) بر تاثیر دمای غوطه‌وری بر رفتار جذب آب بلندمدت چندسازه‌های چوب پلاستیک نشان داد که با افزایش دمای آب، جذب آب در چندسازه چوب پلاستیک افزایش یافته و نمونه‌ها بسیار زودتر به شرایط اشباع می‌رسند. نتایج این بررسی همچنین نشان داد که با افزایش دمای آب ضریب انتشار رطوبت به صورت سهمی افزایش می‌یابد که دلیل این افزایش، جذب بیشتر آب در زمان کمتر با افزایش دمای

۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و وزنه ۲/۱۶۴ کیلوگرم) و با نام اختصاصی پلی‌نار تبریز با درجه SI-060 به‌عنوان ماده پلیمری از پلی‌پروپیلن اصلاح شده با انیدرید مالئیک تهیه شده از شرکت کیمیا جاوید (تهران) به‌عنوان سازگارکننده استفاده گردید.

آرد چوب مصرفی در این تحقیق، آرد درختچه تاغ در منطقه سیستان بود که در اندازه ۴۰ مش مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از ذرات نانورس تولید شده توسط شرکت Southern-Clay (آمریکا) با نام تجاری کلوزیت 15A استفاده شده که خصوصیات آن در جدول ۱ آمده است.

در فرآورده‌های مرکب است. مطالعات زیادی طی سالیان اخیر بر روند جذب آب طولانی مدت چندسازه‌های چوب پلاستیک توسط محققین داخلی و خارجی صورت گرفته است، هر چند در رابطه با محاسبه ضریب انتشار رطوبت مطالعات زیادی صورت نگرفته و بر این اساس انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از پلی‌پروپیلن پتروشیمی تبریز با شاخص جریان مذاب ۶ گرم در ۱۰ دقیقه (درجه حرارت

جدول ۱. مشخصات فنی نانو رس مونت موریلونیت ۱۵A

مشخصات	اصلاح‌کننده آلی	غلظت اصلاح‌کننده	دانسیته (gr/cc)	تفرق اشعه ایکس (A°)
کلوزیت 15A	2 M2HT ¹	۱۲۵ meg / ۱۰۰ Clay	۱/۶۶	۳۱/۵

به‌منظور حذف رطوبت به مدت ۴ ساعت در خشک‌کن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و نمونه‌های آزموننی توسط دستگاه تزریق نیمه‌صنعتی ساخت شرکت ایمن ماشین تهران (ایران) با دمای ۱۸۵ سانتی‌گراد و فشار ۳ مگاپاسکال مطابق با استاندارد ASTM D3641-12 ساخته شدند. نمونه‌ها قبل از انجام آزمون در دمای آزمایشگاه (۲۳ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی ۵۰ درصد به مدت ۴۰ ساعت مطابق با استاندارد ASTM D618-13 قرار داده شدند.

آرد چوب قبل از اختلاط مواد به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۵±۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. فرآیند اختلاط مواد مطابق با جدول ۲ توسط دستگاه اکسترودر دو ماردونه ناهمسوی گرد واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران انجام شد. مواد داغ شکل‌پذیر به‌دست آمده از فرآیند اختلاط پس از خارج شدن از اکسترودر جمع‌آوری و پس از سرد شدن به‌منظور تهیه گرانول وارد دستگاه خردکن نیمه‌صنعتی شرکت Wieser مدل WG-LS 200/200 ساخت کشور آلمان شدند. گرانول‌ها

جدول ۲. درصد وزنی اجزای ماده مرکب چوب پلاستیک در تیمارهای مختلف

تیمارها	آرد چوب (درصد)	پلی‌پروپیلن (درصد)	سازگارکننده (درصد)	نانورس (درصد)
WP	۵۰	۵۰	-	-
WP + 3%MAPP	۵۰	۴۷	۳	-
WP + 3%MAPP + 2%NANO	۴۸	۴۷	۳	۲
WP + 3%MAPP + 4%NANO	۴۶	۴۷	۳	۴
WP + 2%NANO	۴۸	۵۰	-	۲
WP + 4%NANO	۴۶	۵۰	-	۴

$$\frac{M_t}{M_{sat}} = K t^n \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{LOG} \left(\frac{M_t}{M_{sat}} \right) = \text{LOG}(K) + n \text{LOG}(t) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\frac{M_t}{M_{sat}} = \frac{4}{L} \left(\frac{D}{\pi} \right)^{0.5} t^{0.5} \quad \text{رابطه (۳)}$$

جهت بررسی نحوه عملکرد انیدرید مالئیک پلی پروپیلنی به عنوان جفت کننده در ساخت چندسازه های چوب پلاستیک از دستگاه طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز، مدل TENSOR 27 ساخت کارخانه BRUKER آلمان واقع در دانشگاه زابل استفاده گردید. برای این منظور ابتدا قسمتی از خرده های گرانول توسط دستگاه اکسترودر با ماده برمیدپتاسیم مخلوط و به وسیله پرس دستی فشرده شد. سپس دیسک تولید شده داخل سلول دستگاه تحت تابش اشعه مادون قرمز در دامنه ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ بر سانتی متر قرار گرفت و در نهایت تجزیه و تحلیل طیف سنجی از طریق شدت طیف و جذب در نواحی مختلف انجام شد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی از دستگاه SEM مدل EM3200، ساخت شرکت KYKY کشور چین با ولتاژ ۲۵ کیلو ولت و محدوده بزرگنمایی صفر تا ۷۵۰۰۰ برابر تهیه شدند. پراش پرتو اشعه ایکس امکان شناخت نوع ساختار کریستالوگرافی (ساختار لایه لایه ای و بین لایه ای) ذرات نانورس در نانوجندسازه های پلیمری و چگونگی توزیع خاک رس را در زمینه ماتریس پلیمری فراهم می کند. محاسبه فاصله بین لایه ها از کاربردهای بسیار مهم این روش می باشد که با استفاده از معادله براگ طبق رابطه (۴) محاسبه شد (کرد، ۱۳۸۹).

بدین منظور از دستگاه XRD مدل Pert MPD X' از شرکت فیلیپس کشور هلند تحت ولتاژ ۳۵ کیلوولت و جریان ۲۵ میلی آمپر با تیوب آهن با طول موج ۱/۵۴ آنگسترم و اندازه گام ۰/۰۲ درجه بر ثانیه استفاده گردید.

جذب آب طولانی مدت مطابق با استاندارد ASTM D 7031-04 انجام گردید. برای این منظور از هر تیمار ۵ نمونه در نظر گرفته شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد خشک گردید. سپس وزن نمونه ها توسط ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه گیری شد. نمونه ها در داخل آب با دمای ۲۱ درجه سانتی گراد قرار گرفتند و در ساعات مورد نظر از داخل آب خارج شدند و وزن آنها دوباره اندازه گیری شد. این کار تا جایی ادامه پیدا کرد که نمونه ها به طور کامل از آب اشباع شده بودند و تغییری در وزن آنها مشاهده نشد. در نهایت میزان جذب آب با استفاده از رابطه مربوطه برای هر ساعت محاسبه گردید.

از دیدگاه نظری ضریب انتشار رطوبت با شیب منحنی جذب آب و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می شود که در آن M_t جذب آب در زمان t ، M_{sat} میزان رطوبت اشباع، K و n نیز ضریب های ثابت هستند. اما قبل از آنکه ضریب انتشار رطوبت محاسبه شود باید مشخص کرد که رفتار جذب آب در ماده مرکب از قانون فیک پیروی می کند. برای این منظور می توان از رابطه (۲) بهره گرفت که لگاریتم رابطه (۱) است. اگر نمودار لگاریتم زمان در برابر لگاریتم نسبت جذب آب در زمان مورد نظر به جذب آب حداکثر رسم شود، ضریب X که از معادله رگرسیون آن حاصل می شود مقدار n خواهد بود. اگر مقدار n در این رابطه کمتر از ۰/۵ باشد نشان دهنده پیروی رفتار جذب آب ماده مرکب با نظریه فیک است. محاسبه ضریب انتشار پس از اطمینان از جذب آب در ماده مرکب طبق قانون فیک و بر اساس رابطه (۳) انجام گرفت که در آن L برابر ضخامت نمونه بر حسب متر و D برابر ضریب انتشار رطوبت بر حسب متر مربع در ثانیه بود. نمودار ضریب پخش با بهره گیری از این رابطه و با استفاده از شیب قسمت خطی منحنی M_t/M_{sat} در برابر $t^{0.5}/L$ رسم و مقدار آن محاسبه گردید.

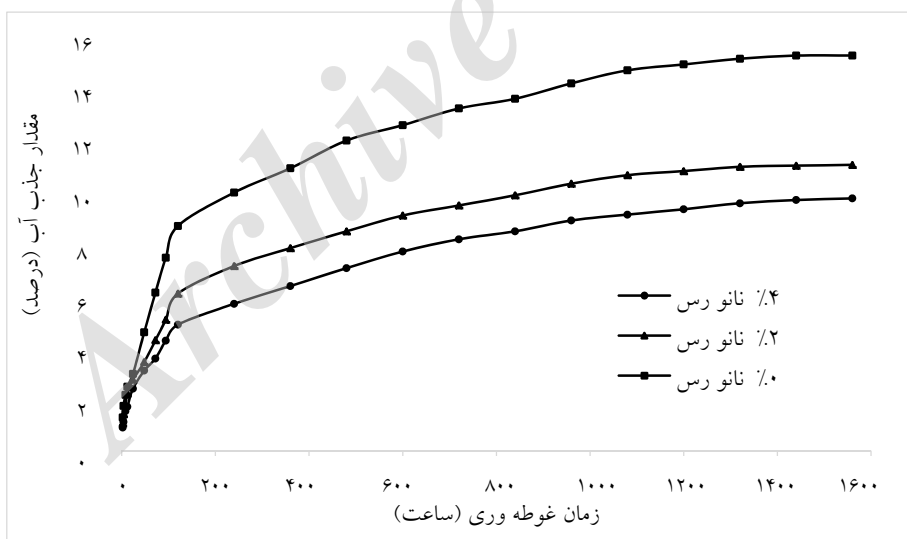
غوطه‌وری ۱۵/۱۳ درصد، نانوچندسازه دارای ۲ درصد نانو رس در زمان ۱۴۴۰ ساعت ۱۰/۹۴ درصد و نانوچندسازه دارای ۴ درصد نانو رس در زمان ۱۵۶۰ ساعت ۹/۶۶ درصد آب جذب کرده و به حداکثر جذب آب خود رسیدند. جذب آب نانوچندسازه چوب-پلاستیک به عبارتی در اثر افزایش نانوذرات رس کاهش یافته و زمان رسیدن به شرایط اشباع طولانی‌تر گشته است. ذکر این نکته حایز اهمیت است که سرعت جذب آب نانوچندسازه چوب پلاستیک در ساعات اولیه غوطه‌وری بسیار زیاد بود، به طوری که بیش از ۵۰ درصد جذب آب حداکثر در ۱۰۰ ساعت اولیه غوطه‌وری جذب شد و به تدریج با افزایش زمان غوطه‌وری از شدت جذب آب توسط نانوچندسازه کاسته شد.

در این رابطه d فاصله صفحات، n عدد صحیح ۱، θ زاویه پراش و λ طول موج اشعه ایکس می‌باشد.

$$d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta} \quad \text{رابطه (۴)}$$

نتایج

تأثیر نانوذرات رس بر روند جذب آب طولانی مدت نانوچندسازه چوب پلاستیک طی ۱۵۶۰ ساعت غوطه‌وری در آب در شکل ۱ نشان داده شده است. چندسازه بدون نانوذرات رس در این پژوهش در زمان کمتر و سرعت بیشتری به مقدار حداکثر جذب رطوبت خود رسید، درحالی که نانو چندسازه‌ها با افزایش میزان نانوذرات در زمان طولانی‌تر و سرعت کمتری به حداکثر جذب آب رسیدند. چندسازه بدون نانورس در زمان ۱۳۲۰ ساعت



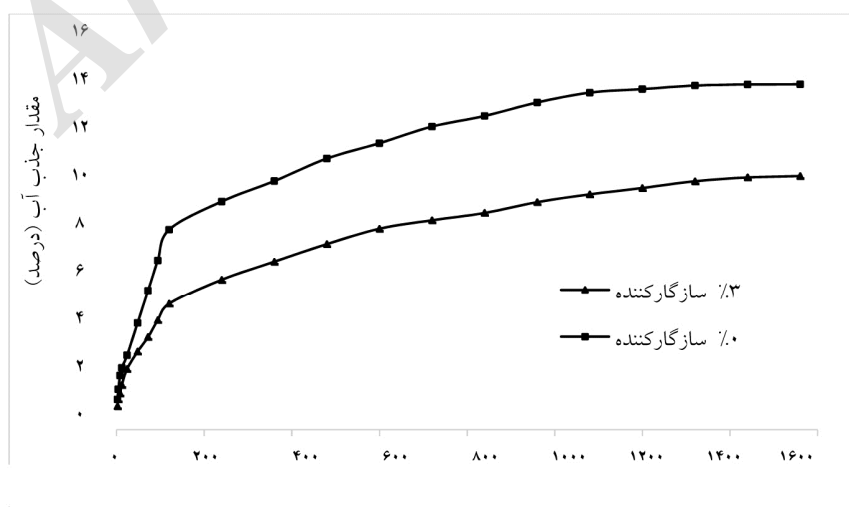
شکل ۱. تأثیر نانوذرات رس بر روند جذب آب طولانی مدت نانوچندسازه چوب پلاستیک

شدن رطوبت در ماتریس پلیمری شده و جذب رطوبت را با تاخیر مواجه می‌سازد (Kord et al., 2010; Nourbakhsh & Ashori, 2009). فرآیند دیگر که به این موضوع مربوط می‌شود اینکه نانوذرات رس به‌عنوان

فرآیندهای مختلفی در رابطه با کاهش درصد جذب آب در نانوچندسازه‌های رسی وجود دارد که یکی از آنها به این موضوع اشاره می‌کند که سطح آب‌گریز نانوذرات رس اصلاح شده با نمک‌های نوع چهارم باعث غیرفعال

با این عمل صعود آب به داخل لوله‌های مویین با مشکل مواجه خواهد شد (اسمعیلی مقدم و همکاران، ۱۳۹۴).
 به نظر می‌رسد که دلیل اصلی برای دیرتر رسیدن چندسازه‌های حاوی نانورس به رطوبت حداکثر همین سازوکار چهارم باشد (Kord et al., 2010).
 سرعت جذب آب در ساعات اولیه غوطه‌وری به دلیل بیشتر بودن فضاهای خالی در نانوجندسازه چوب-پلاستیک بسیار بالا بود، اما با افزایش زمان و اشغال شدن بخشی از این فضاها با آب از سرعت جذب آب کاسته شد (اسمعیلی مقدم و همکاران، ۱۳۹۴). تاثیر سازگارکننده انیدرید مالئیک پلی‌پروپیلنی بر روند جذب آب طولانی-مدت نانوجندسازه چوب‌پلاستیک در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس این شکل، نمونه فاقد سازگارکننده در زمان کمتر (۱۳۲۰ ساعت) به جذب آب بیشتری (۱۳/۷۳ درصد) می‌پردازد، درحالی‌که نمونه حاوی ۳ درصد سازگارکننده در زمان طولانی‌تری (۱۴۴۰ ساعت) به جذب رطوبت کمتری (۱۰/۰۹ درصد) دست پیدا کرده و به رطوبت حداکثر رسیده‌اند.
 به عبارتی می‌توان گفت که در اثر اضافه شدن سازگارکننده، جذب آب نانوجندسازه چوب‌پلاستیک کاهش یافته و زمان رسیدن به شرایط اشباع طولانی‌تر

عامل هسته‌گذار در رشد بلورها عمل می‌کنند، به طوری که با افزایش نانوذرات رس در ماتریس پلیمری از یک-طرف رشد بلورها تسریع شده و از طرف دیگر تعداد و ابعاد بلورها افزایش خواهد یافت.
 منطقی است که با افزایش میزان بلور در نانوجندسازه، میزان جذب آب در آن کاهش یابد (اسمعیلی مقدم و شهرکی، ۱۳۹۴؛ Ghasemi & Kord, 2009). فرآیند دیگر مربوط به پدیده حرکت مارپیچی^۱ می‌باشد.
 بر اساس این پدیده و با توجه به ضریب ظاهری بالای ذرات نانورس، مسیر حرکت ملکول‌های آب داخل ماتریس پلیمری طولانی‌تر و دارای پیچ و خم بیشتری خواهد بود (Kord et al., 2010; Alexandre et al., 2006; Bharadwaj et al., 2002). در نهایت سازوکار آخر به این موضوع دلالت دارد که با افزایش نانوذرات رس توده‌ای از ذرات آب‌گریز روی مواد لیگنوسولوزی قرار گرفته و دسترسی آب به گروه‌های هیدروکسیل الیاف سلولزی را با مشکل مواجه می‌کند.
 به عبارت دیگر می‌توان گفت که نانوذرات رس تخلخل برون سلولی چندسازه را پوشش داده و شعاع لوله‌های مویین موجود در کامپوزیت را مسدود می‌کند و



شکل ۲. تاثیر سازگارکننده انیدریدی بر روی روند جذب آب طولانی مدت نانوجندسازه چوب پلاستیک

گشته است.

بنابراین ماده سازگارکننده با پوشش دادن دو عامل اصلی جذب رطوبت توسط چندسازه شامل درگیر کردن گروه‌های هیدروکسیل الیاف لیگنوسلولزی و کاهش شعاع لوله‌های موئین باعث کاهش جذب آب نانوجندسازه چوب‌پلاستیک گردید.

یکی از مهمترین مشخصه‌های مدل جذب آب طولانی مدت، محاسبه ضریب انتشار رطوبت در فرآورده مرکب می‌باشد.

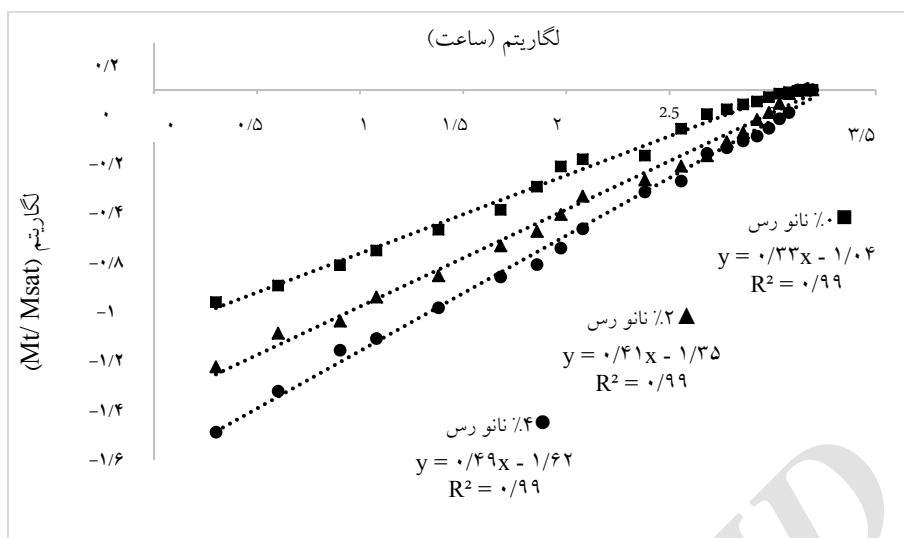
این مدل توانایی انتشار ملکول‌های آب را به درون ماده مرکب مشخص می‌کند (نجفی، ۱۳۸۹). برای محاسبه ضریب انتشار رطوبت ابتدا باید مشخص نمود که روند جذب آب در ماده مرکب از قانون فیک تبعیت می‌کند. این قانون بیان می‌کند که اگر ضریب X در معادله‌ای که از نمودار لگاریتم زمان در برابر لگاریتم نسبت جذب آب در زمان مورد نظر به جذب آب حداکثر رسم می‌شود، کمتر از $0/5$ باشد (مقدار n)، روند جذب آب در آن چندسازه از قانون فیک تبعیت می‌کند. برای این منظور، همخوانی داده‌های تجربی با ضریب انتشار رطوبت نانوجندسازه چوب‌پلاستیک برای سطوح مختلف نانورس و ماده سازگارکننده در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

مقدار n (ضریب X معادله رگرسیون در شکل‌های ۳ و ۴) برای سطوح ۰، ۲ و ۴ درصد نانورس در این پژوهش به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۴۱ و ۰/۴۹ می‌باشد (شکل ۳) که نشان می‌دهد جذب آب در نانوجندسازه چوب‌پلاستیک از قانون فیک تبعیت می‌کند. همچنین مقدار n برای سطوح ۰ و ۳ درصد سازگارکننده انیدرید مالئیک پلی‌پروپیلنی به ترتیب ۰/۳۶ و ۰/۳۷ می‌باشد (شکل ۴).

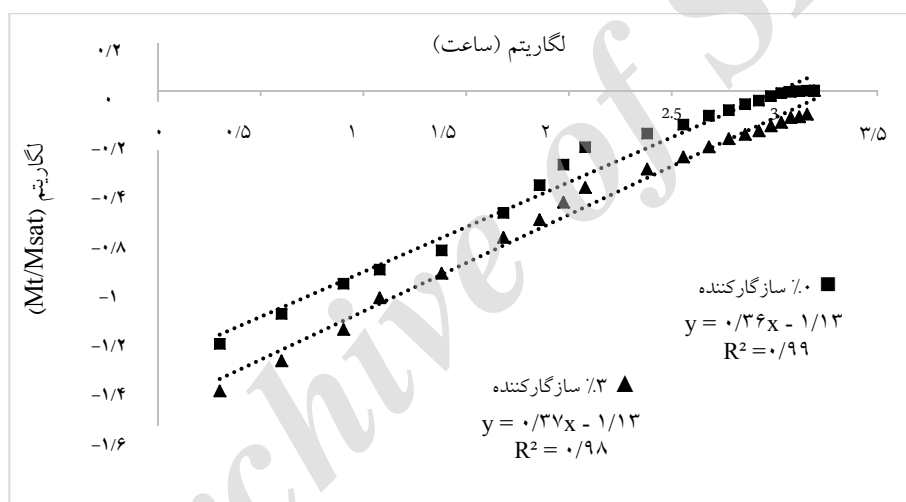
از سوی دیگر در ساعات اولیه غوطه‌وری سرعت جذب آب بسیار شدیدتر از ساعات نهایی غوطه‌وری بود، به طوری که بیش از ۵۰ درصد جذب آب نهایی نانوجندسازه چوب‌پلاستیک در ۱۲۰ ساعت اولیه غوطه‌وری اتفاق افتاده است، هر چند با نزدیک شدن به ساعات پایانی غوطه‌وری از سرعت جذب آب کاسته شد و در نهایت به یک مقدار ثابت رسید.

به‌طور کلی جذب آب در فرآورده‌های چندسازه چوب توسط دو عامل صورت می‌گیرد. عامل اول مربوط به طبیعت آب‌دوست الیاف لیگنوسلولزی بوده که از طریق گروه‌های هیدروکسیل اقدام به جذب رطوبت می‌نمایند.

عامل دوم نیز مربوط به جذب رطوبت از طریق لوله‌های موئین موجود در چندسازه می‌باشد. به‌طور مشخص در اثر اختلاط چوب و پلیمر شکاف‌ها و فضاهایی بین این دو فاز در حین فرآیند تولید و همچنین به دلیل ماهیت متفاوت این دو فاز از نظر قطبیت به وجود خواهد آمد (Espert et al., 2004). ماده سازگارکننده انیدرید مالئیک پلی‌پروپیلنی از یک‌سو با ایجاد پیوند با گروه‌های هیدروکسیل الیاف لیگنوسلولزی و تشکیل گروه‌های استری، گروه‌های هیدروکسیل در دسترس را حذف کرده و خاصیت آب‌دوستی الیاف را به آب‌گریزی تبدیل خواهد کرد (نوربخش و همکاران، ۱۳۸۹). از سوی دیگر در اثر پیوند کووالانسی ماده سازگارکننده با الیاف لیگنوسلولزی و پیوند هیدروژنی با ماتریس پلیمری تخلخل و فضاهای خالی موجود در چندسازه را تا حد زیادی کاهش داده و شعاع لوله‌های موئین چندسازه را کاهش خواهد داد. در این حالت صعود آب به داخل این لوله‌های موئین با مشکل مواجه خواهد شد.



شکل ۳. مقایسه داده‌های تجربی با ضریب انتشار رطوبت برای سطوح مختلف نانورس

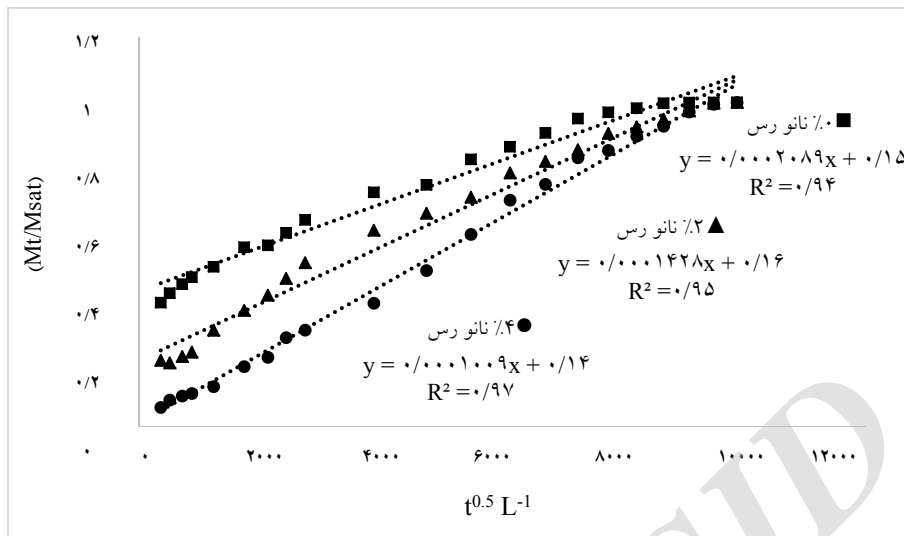


شکل ۴. مقایسه داده‌های تجربی با ضریب انتشار رطوبت برای سطوح مختلف سازگارکننده

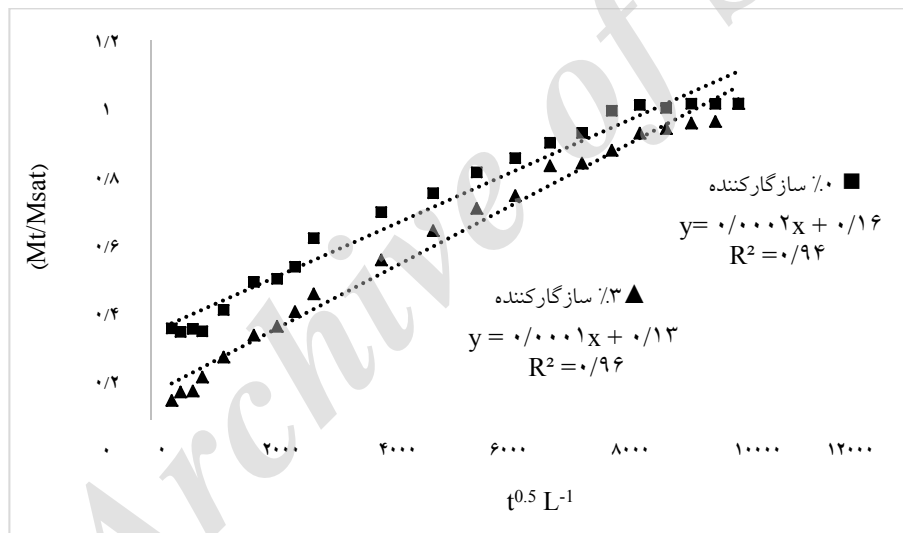
رطوبت محاسبه شود. نحوه محاسبه ضریب انتشار رطوبت نانوجندسازه چوب‌پلاستیک برای سطوح نانورس و ماده سازگارکننده در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است شیب منحنی با افزایش نانوذرات رس و همچنین ماده سازگارکننده ملایم‌تر شده که این موضوع نشان‌دهنده گرایش نانوجندسازه چوب‌پلاستیک به جذب کمتر آب در زمان طولانی‌تر است، زیرا بیشتر از نیمی از جذب آب را در ساعات اولیه غوطه‌وری انجام داده است.

پس از آنکه مشخص گردید روند جذب آب در نانوجندسازه چوب‌پلاستیک از قانون فیک تبعیت می‌کند، می‌توان ضریب انتشار رطوبت را محاسبه نمود. برای محاسبه ضریب انتشار رطوبت، از شیب قسمت خطی منحنی نسبت جذب آب در زمان مورد نظر به جذب آب حداکثر در برابر نسبت توان نیم زمان به ضخامت نمونه استفاده می‌شود.

پس از رسم نمودار، ضریب X در معادله رگرسیون هر کدام از خطوط به توان دو رسیده، در عدد ۳/۱۴ ضرب و بر عدد ۱۶ تقسیم می‌شود تا ضریب انتشار



شکل ۵. محاسبه ضریب انتشار رطوبت برای سطوح مختلف نانو رس

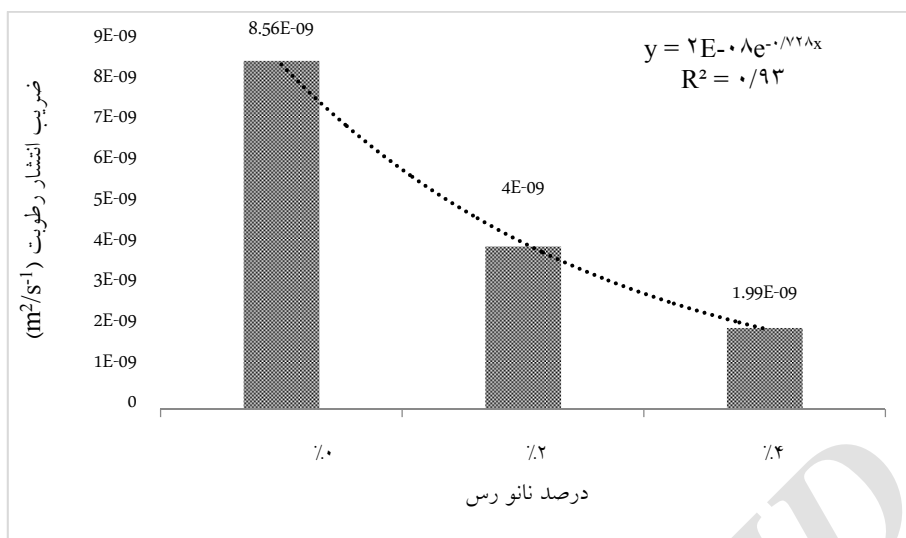


شکل ۶. محاسبه ضریب انتشار رطوبت برای سطوح مختلف سازگارکننده

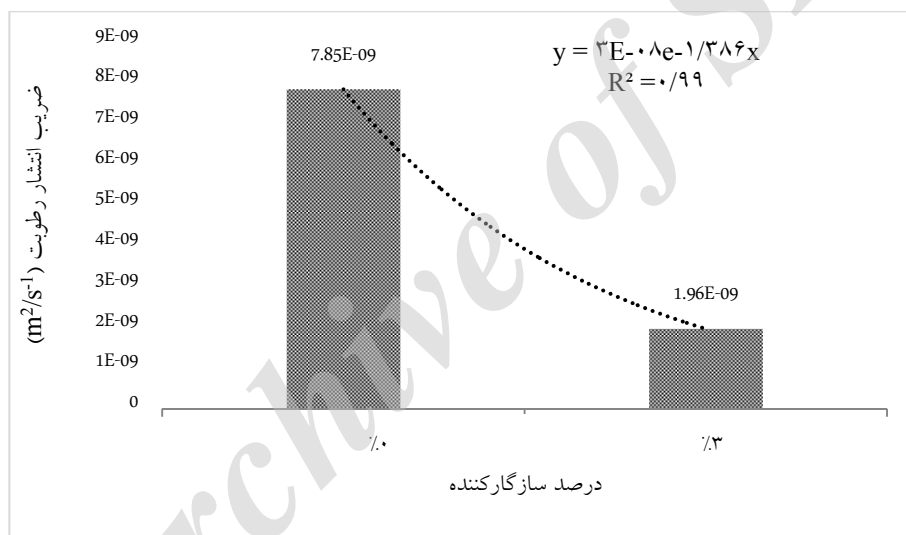
افزایش آنها ضریب انتشار به شدت کاهش می‌یابد. همان‌طور که بیان شد نانورس و ماده سازگارکننده باعث شدند تا نانوجندسازه چوب پلاستیک با سرعت کمتر و زمان طولانی‌تری به جذب آب حداکثر خود برسد، بنابراین می‌توان انتظار داشت که ضریب انتشار رطوبت در این تحقیق با افزایش این مواد در ترکیب چندسازه کاهش یابد.

ضریب انتشار رطوبت با افزایش نانوذرات رس و همچنین ماده سازگارکننده در نانوجندسازه چوب پلاستیک به صورت سهمی شکل کاهش یافت (شکل ۷ و ۸).

این موضوع نشان‌دهنده آن است که ضریب انتشار رطوبت به شدت وابسته به مقدار نانوذرات رس و ماده سازگارکننده ایندیرید مالئیک پلی‌پروپیلنی می‌باشد و با



شکل ۷. تاثیر ذرات نانو رس بر ضریب انتشار رطوبت



شکل ۸. تاثیر سازگارکننده بر ضریب انتشار رطوبت

است. وجود پیک در باند جذبی ۱۴۵۹/۳۵ در سانتی متر مربوط به زنجیر CH₂ در لیگنین است. پیک محدوده ۱۲۵۶ در سانتی متر نیز مربوط به C-O کششی در گروه‌های استیل لیگنین است.

همچنین وجود پیک در دامنه ۸۹۹/۳۳ در سانتی متر مربوط به اتصال‌های بتا کلوکوزید^۱ بین یک واحد قندی در سلولز و همی سلولز می‌شود (Kord & Taghizadeh-

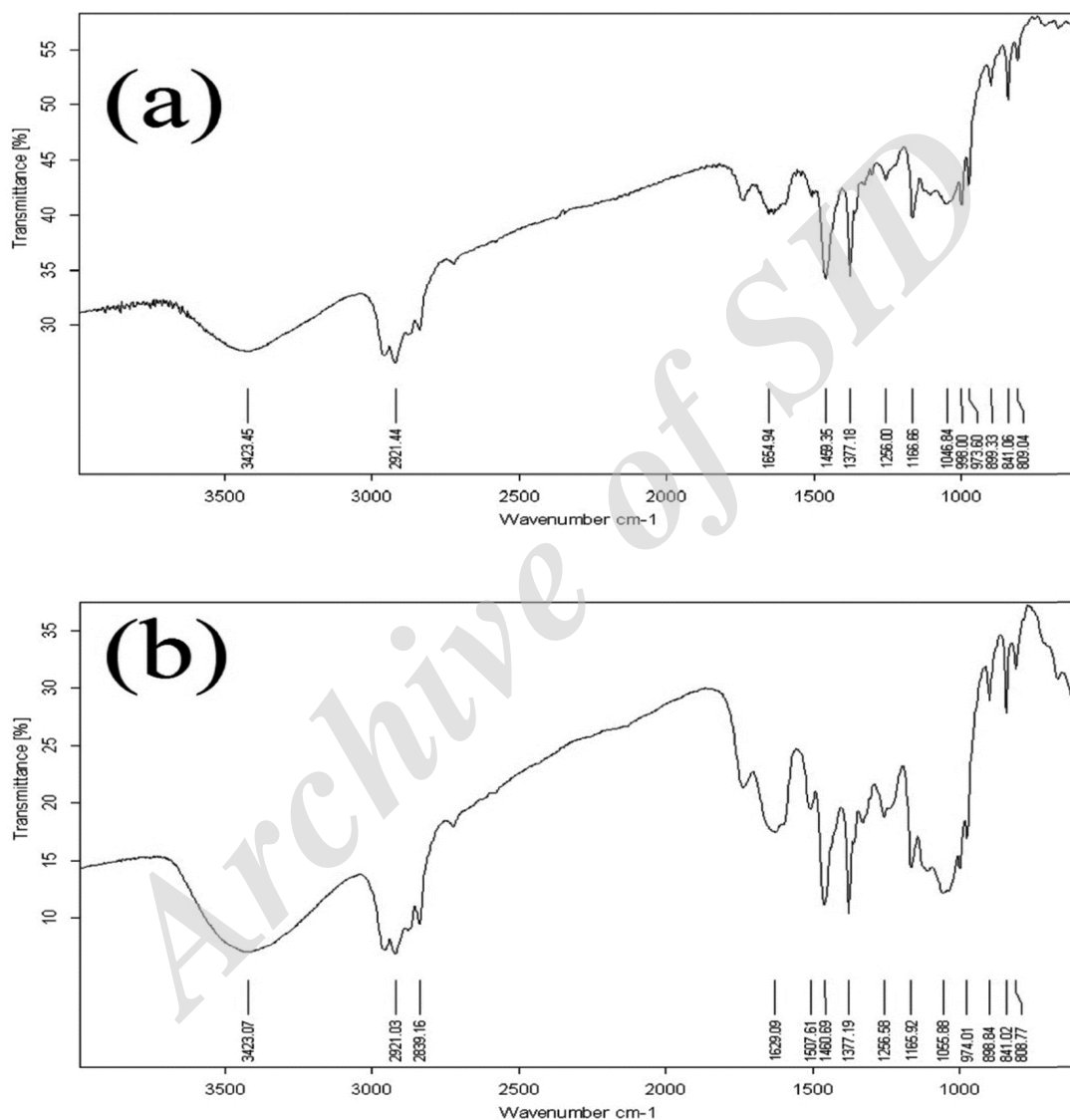
طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز مربوط به تاثیر سازگارکننده انیدریدی بر چندسازه چوب پلاستیک در شکل ۶ نشان داده شده است.

وجود پیک در باند جذبی ۳۴۲۳/۴۵ در سانتی متر نمونه چندسازه فاقد مالئیک انیدرید پلی پروپیلنی مربوط به ارتعاش کششی گروه‌های هیدروکسیل (OH) است (شکل ۹- الف). پیک دامنه ۱۶۵۴/۹۴ در سانتی متر مربوط به جذب آب در گروه‌های CH است. وجود پیک در باند ۱۷۴۰ نیز مربوط به وجود گروه‌های هیدروکسیل

¹ B-glucosidic

نکته قابل توجه آن است که میزان جذب موجود در باند ۱۶۵۴/۹۴ در سانتی‌متر به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و به باند ۱۶۲۹/۰۹ در سانتی‌متر رسیده است. این ویژگی احتمالاً به دلیل C=C است که با استر

در مقابل، باند جذبی ۳۴۲۳/۴۵ در سانتی‌متر نمونه حاوی ۳ درصد مالئیک‌انیدرید پلی‌پروپیلنی اثر پیوند با مالئیک‌انیدرید پلی‌پروپیلنی کاهش یافته است (شکل ۹-ب).



شکل ۹. طیف FTIR نمونه فاقد سازگارکننده (a)، طیف FTIR نمونه حاوی ۳ درصد انیدریدمالئیک پلی پروپیلنی (b)

مالئیکی در نواحی جذب ۱۶۰۰ در سانتی‌متر ممکن است مربوط به حضور کربوکسیلات باشد (نوربخش و همکاران، ۱۳۸۹؛ Banks et al., 1995).

دلیل این امر را می‌توان به خاطر کاهش مقدار گروه‌های هیدروکسیل در اثر پیوند با مالئیک‌انیدرید و تشکیل گروه‌های استری نسبت داد.

شده در نانوجندسازه از نوع بین لایه‌ای می‌باشد، زیرا زاویه پیک تفرق اشعه ایکس مربوط به ناحیه بلوری نانو رس به‌طور کامل از بین نرفته و فقط به سمت زوایای کوچک‌تر حرکت کرده است.

به عبارت دیگر فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی نانورس به‌دلیل نفوذ زنجیره‌های پلیمر در داخل آنها افزایش یافته، ولی از هم‌گسیختگی کامل لایه‌های رس رخ نداده است. در صورتی که اگر ساختار نانوجندسازه از نوع ساختار لایه لایه باشد، به‌دلیل متلاشی شدن ساختار بلوری رس، زاویه پیک تفرق اشعه ایکس به‌طور کامل از بین می‌رفت.

در نهایت باند ۸۹۹/۳۳ در سانتی‌متر در اثر حضور مالئیک انیدرید در بافت چندسازه کاهش یافته که دلیل این امر را نیز می‌توان به خاطر کاهش در میزان گروه‌های هیدروکسیل سلولز و همی سلولز دانست.

نتایج طیف‌های پراش اشعه ایکس نشان داد که استفاده از ذرات نانورس موجب تشکیل ساختار بین لایه‌ای در نانوجندسازه چوب‌پلاستیک گردیده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس تا ۴ درصد، زاویه پیک تفرق اشعه ایکس در نانوجندسازه تغییر کرده و به سمت زوایای کوچک‌تر حرکت کرده و به تبع آن فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی رس افزایش یافته است. به همین دلیل ساختار تشکیل

جدول ۳. خلاصه ای از داده‌های XRD اثر پراش و نانورس در چندسازه ساخته شده از آرد چوب تاغ/ پلی پروپیلن

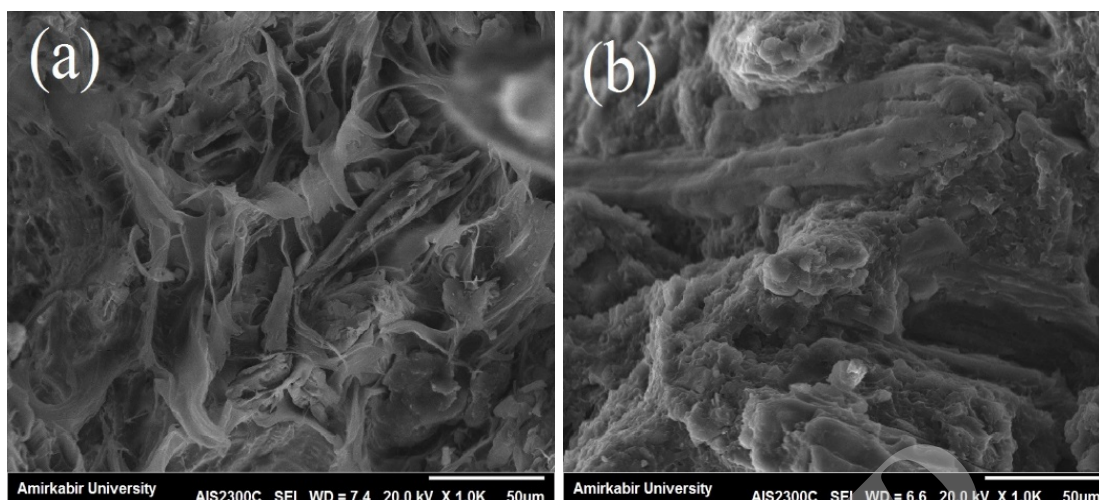
۲θ	d-spacing	سطوح نانورس (Clay)
۶/۶۸	۱۳/۲۳	نانورس خالص
۵/۹۲	۱۴/۹۲	٪۲
۵/۸۹	۱۴/۹۸	٪۴

صفر به ۳ درصد زوایای پیک ۲θ کاهش پیدا کرده و به تبع آن فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی رس افزایش یافته است.

همچنین هنگام استفاده از جفت‌کننده مالئیکی فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی افزایش یافته و نشان می‌دهد که ساختار چندسازه تشکیل شده از نوع بین لایه‌ای می‌باشد (جدول ۴). چرا که با افزایش جفت‌کننده مالئیکی از

جدول ۴. خلاصه ای از داده‌های XRD اثر پراش و سازگارکننده در چندسازه ساخته شده از آرد چوب تاغ/ پلی پروپیلن

۲θ	d-spacing	سطوح سازگارکننده (MAPP)
۵/۹۳	۱۴/۸۹	٪۰
۵/۸۹	۱۴/۹۸	٪۳



شکل ۱۰. مواد مرکب الیاف چوب پلی پروپیلن بدون سازگارکننده (a)، مواد مرکب الیاف چوب پلی پروپیلن با سازگارکننده MAPP (b)

چوب پلاستیک به صورت سهمی وار کاهش یافت. نتایج حاصل از طیف‌سنجی مادون قرمز حاکی از کاهش مقدار جذب گروه‌های هیدروکسیل در اثر اضافه شدن انیدرید مالئیک پلی پروپیلنی بود. نتایج پراش اشعه ایکس نشان داد که ساختار تشکیل شده در نانوجندسازه چوب پلاستیک از نوع بین لایه‌ای بوده و با افزایش نانوذرات رس و ماده سازگارکننده، فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی رس افزایش یافت. نتایج میکروسکوپ الکترونی پوشی حاکی از بهبود فصل مشترک بین چوب و پلاستیک در اثر اضافه شدن ماده سازگارکننده بود.

سیاسگزاری و قدردانی

از جناب آقای مهندس سعید اسمعیلی مقدم که در مراحل اجرا و نگارش این مقاله کمک‌های شایانی را انجام دادند، سپاسگزاری می‌شود.

منابع

اسمعیلی مقدم، س. و شمسیان، م. (۱۳۹۳) تاثیر اندازه و درصد ماده SiO_2 بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های هیبریدی پلی-پروپیلن-آرد چوب. دومین همایش ملی فن‌آوری‌های نوین در صنایع چوب و کاغذ، چالوس، مهر و آبان، ۱۵۷ صفحه.
اسمعیلی مقدم، س. و شهرکی، ا. (۱۳۹۴) تاثیر دمای غوطه‌وری بر روی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نانو کامپوزیت چوب

بر اساس بررسی میکروسکوپ الکترونی (شکل ۱۰- الف) الیاف چوب دارای کمترین میزان چسبندگی با ماتریس بوده و سطح شکست چندسازه بدون سازگارکننده دارای ناهمگنی‌های نسبتاً زیادی است که در تصاویر میکروسکوپی به صورت پرز مانند دیده می‌شود و نشان‌دهنده شکست در ناحیه پلاستیک است (اتصال ضعیف با چوب). به عبارت دیگر دو فاز بدون استفاده از سازگارکننده تمایلی به اختلاط با یکدیگر ندارند و به شکل مجزا مشاهده می‌شوند.

از طرفی حضور ماده سازگارکننده سبب بهبود همبستگی بین آرد چوب تاغ و پلی پروپیلن گردید (شکل ۱۰- ب) و سطح شکست نمونه‌ها نسبت به تیمار بدون سازگارکننده هموارتر و یکنواخت‌تر شد و سطوح پرز مانند کمتری در آنها دیده و شکست در چوب و پلیمر به صورت همزمان دیده شد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد چندسازه‌های حاوی نانورس و سازگارکننده در زمان طولانی‌تری به جذب رطوبت کمتری دست پیدا کردند. رفتار جذب آب در نانوجندسازه چوب پلاستیک از نظریه فیک پیروی می‌کرد، به طوری که ضریب انتشار رطوبت با افزایش نانوذرات رس و ماده سازگارکننده در نانوجندسازه

- Annual book of ASTM standards, Philadelphia, ASTM D3641-12. American Society for Testing and Materials. ASTM. (2013) Standard practice for conditioning plastics for testing. ASTM D618-13, for testing, annual book of ASTM standards, Philadelphia, ASTM D618-13.
- Banks, W. B., Din, R. H. and Owen, N. L. (1995) Fiber activation and subsequent CO-polymerization. *Holzforchung Journal*, 79(2): 104-107.
- Bharadwaj, R.K., Mehrabi, A.R, Hamilton, C., Trujillo, C., Murga, M., Fan, R., Chavira, A. and Thompson, A.K. (2002) Structure-property relationships in cross-linked polyester-clay nanocomposites. *Polymer*, 43(13): 3699-3705.
- 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, *Composites. Part A.*, 35(11): 1267-1276.
- Ghasemi, I. and Kord, B. (2009) Long-term water absorption behaviour of polypropylene /wood flour /organoclay hybrid Nano composite. *Iranian Polymer Journal*, 18(9): 683-693.
- Kord, B. and Taghizadeh-Haratbar, D. (2014) Influence of fiber surface treatment on the physical and mechanical properties of wood flour-reinforced polypropylene bionanocomposites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, doi: 10.1177/0892705714551592/
- Kord, B., Ismaeilimoghadam, S. and Malekian, B. (2010) Effect of immersion temperature on the water uptake of polypropylene/wood flour/ organoclay hybrid Nano composite. *Journal of Bio Resources*, 6: 584-593.
- Najafi, A. and Kazemi-Najafi, S. (2007) Influence of water absorption on mechanical properties of Lignocellulosic /HDPE composites. In: *Proceeding of 2th International Conference on Recent Advances in Composites Materials*. New Delhi, India, pp. 213-218.
- Nourbakhsh, A. and Ashori, A.R. (2009) Influence of nanoclay and coupling agent on the physical and mechanical properties of polypropylene/bagasse nanocomposite. *Journal of Applied Polymer Science*, 112(3): 1386-1390.
- پلاستیک. نخستین همایش ملی چوب و فرآورده‌های لیگنوسلولزی، گنبد کاووس، اردیبهشت، ۲۵۰ صفحه.
- اسمعیلی مقدم، س.، شمسیان، م.، بیات کشکولی، ع. و کرد، ب. (۱۳۹۴) بررسی تاثیر نانو سیلیس بر خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخت‌شناسی نانو کامپوزیت‌های هیبریدی پلی پروپیلن-آرد چوب. *مجله تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران*، ۳۰(۲): ۲۶۶-۲۷۷.
- فلاح مقدم، پ. و محبی، ب. (۱۳۹۰) جذب آب و ثبات ابعاد چندسازه پلی پروپیلن/الیاف چوب استتیل شده. *مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۱۸(۴): ۲۹-۴۴.
- کرد، ب. (۱۳۸۹) بررسی تاثیر ذرات نانورس بر خواص مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک حاصل از پلی اتیلن سنگین-آرد چوب. *دوفصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران*، ۱(۲۵): ۹۱-۱۰۱.
- نجفی، ا. (۱۳۸۹) ارزیابی اثر دمای غوطه‌وری بر رفتار جذب آب طولانی مدت ماده مرکب پلی اتیلن سنگین/خاک اره چوب. *مجله صنایع چوب و کاغذ ایران*، ۱(۱): ۳۷-۴۴.
- نوربخش، ا.، حاجی حسینی، ر.، گلبابایی، ف. و کوهپایه‌زاده، م. (۱۳۸۹) فرآورده‌های مرکب چوب-پلاستیک، رابطه واکنش-های شیمیایی با خواص مکانیکی. *مجله تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران*، ۱(۲۷): ۲۷-۳۷.
- یونسی کردخیلی، ح. و کاظمی نجفی، س. (۱۳۹۰) مقایسه بین روند جذب آب و بخار آب در چندسازه پلی پروپیلن-الیاف چوب. *فصلنامه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۱۸(۲): ۱۲۹-۱۳۴.
- Alexandre, B., Marais, S., langevin, S., Mederic, P. and Aubry, T. (2006) Nano composite based polyamide 12/montmorillonite: Relationships between structures and transport properties. *Journal of Desalination*, 199(1-3): 164-166.
- American Society for Testing and Materials. ASTM. (2011) Standard guide for evaluating mechanical and physical properties of wood-plastic composite products. Annual book of ASTM standards, Philadelphia, ASTM D7031-11.
- American Society for Testing and Materials. ASTM. (2012) Standard practice for injection molding test specimens of thermoplastic molding and materials.

Effect of Nano Clay and Compatibilizer Material on the Long Term Water Absorption, Moisture Diffusion Coefficient and Morphology of Wood Plastic Composite

Afsaneh Shahraki^{1*}, Babak Nosrati², Rahim Mohebbi Gargari³ and Majid Abdouss⁴

- 1) Master Degree Graduate, Wood Composite Products, University of Zabol, Zabol, Iran. *Corresponding Author Email Address: shahreki.afsaneh68@yahoo.com.
- 2) Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran.
- 3) Lecturer, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran.
- 4) Associate Professor, Department of Polymer Chemical, Faculty of Chemical, Amirkabir University, Tehran, Iran.

Date of submission: 2014/10/20

Date of Acceptance: 2016/03/16

Abstract

This study aimed at investigating the effect of Nano clay and compatibilizer of maleic anhydride polypropylene on the long term water absorption, moisture diffusion coefficient and morphology of wood plastic composite. For this purpose, wood flour with 50% ratio was mixed with polypropylene and Nano clay particles with 0, 2 and 4% ratio by dry weight of wood flour and compatibilizer material with 0 and 3% ratio by weight of plastic were used. Mixing process of materials into the extruding machine was done and test samples were fabricated through injection molding technique. Fourier Transfer Infrared spectroscopy (FTIR) was used to study the effect of anhydrate compatibilizer. Then, long term water absorption of Nano wood plastic composite for 1560 hours was done. Also moisture diffusion coefficient was calculated to determine the speed of water absorption in Nano wood plastic composite. X-ray diffraction and scanning electron microscopy was utilized to study morphology of Nano composites. The result showed that by increasing Nano clay and compatibilizer material, water absorption and moisture diffusion coefficient in wood plastic Nano composite were decreased. The obtained results of Infrared spectroscopy showed that on the effect of increase the anhydrate compatibilizer, amount of absorption of hydroxyl groups (OH) were decreased. Determining the type of crystallographic structure of Nano composites by using the XRD showed that the fabricated structure in Nano composite was intercalation and with increasing Nano clay and compatibilizer material, the distance between the silicate layers of clay were increased. The results of scanning electron microscopy also showed that the improvement in interface between wood and plastic was in effect of increasing the anhydride compatibilizer.

Keywords: Moisture diffusion coefficient, Long term water absorption, Nano clay, X-ray diffraction test, Wood plastic.