



دانشگاه گوارن کورنی و ساینس بیوتکنالوجی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵

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

تأثیر اصلاح شیمیایی آرد چوب بر جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت طولانی مدت و ریخت‌شناسی چندسازه چوب پلاستیک

*سعید اسمعیلی مقدم

باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۹/۹

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. با توجه به این که قسمت عمده‌ای از ترکیب این چندسازه‌ها را آرد چوب تشکیل می‌دهد، می‌توان دریافت که این چندسازه‌ها همانند چوب دارای خاصیت جذب رطوبت باشند، بنابراین، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر اصلاح شیمیایی آرد چوب بر جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت طولانی مدت، ضریب انتشار رطوبت، نرخ واکنش‌پذیری ضخامت و ریخت‌شناسی چندسازه چوب پلاستیک انجام گردید.

مواد و روش‌ها: برای این منظور ابتدا آرد چوب توسط اسید استیک، بنزین کلرید و هیدروکسید سدیم به صورت جداگانه اصلاح شدند. به منظور اطمینان از انجام اصلاح شیمیایی آرد چوب، از طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون‌قرمز (FTIR) استفاده گردید. آرد چوب (۶۰ درصد وزن کل)، پلی‌پروپیلن و ۴ phc ماده جفت‌کننده انیدرید مالئیک پلی‌پروپیلنی در داخل دستگاه اکسترودر مخلوط شد سپس نمونه‌های آزمون با استفاده از دستگاه قالب‌گیری تزریقی ساخته شدند. سپس جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت طولانی مدت نمونه‌ها طی ۱۵۱۲ ساعت غوطه‌وری در آب مطابق با استاندارد ASTM D

*مسئول مکاتبه: Saeed.am17358@gmail.com

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۴) ۱۳۹۵

7031-04 اندازه‌گیری شد. جهت مطالعه ریخت‌شناسی چندسازه چوب پلاستیک از میکروسکوپ الکترونی پویشی استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت طولانی مدت، ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکنشیدگی ضخامت در چندسازه چوب پلاستیک کاهش یافت. نتایج طیف‌سنجی مادون‌قرمز نشان داد که در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب پیک مربوط به گروه‌های هیدروکسیل کاهش پیدا کرده است و تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی نشان داد که در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب، فصل مشترک بین چوب و پلاستیک بهبود یافت. همچنین بیشترین درصد تغییرات وزن آرد چوب مربوط به تیمار بنزیلاسیون بود.

نتیجه‌گیری: به‌عنوان یک اصل می‌توان گفت که امروزه، اصلاح شیمیایی آرد چوب برای بهبود فصل مشترک بین دو فاز چوب و پلاستیک یک تفکر تحسین برانگیز به‌نظر می‌رسد. با استفاده از اصلاح شیمیایی آرد چوب می‌توان از یک طرف شعاع لوله‌های مویین نامنظم موجود در چندسازه چوب پلاستیک را کاهش داد و از سوی دیگر از میزان گروه‌های هیدروکسیل در دسترس برای ایجاد پیوند هیدروژنی با مولکول‌های آب کاست. این عوامل باعث می‌گردد تا خواص فیزیکی چندسازه چوب پلاستیک بهبود یابد، به طوری که هم جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در این فرآورده‌ها کاهش می‌یابد و هم از سرعت آن‌ها کاسته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ضریب انتشار رطوبت، نرخ واکنشیدگی ضخامت، طیف‌سنجی مادون‌قرمز، اصلاح شیمیایی

مقدمه

در طی سالیان اخیر، در اماکن شهری، نمای ساختمان‌ها و مجتمع‌های تجاری، حاشیه استخرهای آب در ویلاها و به طور کلی در اماکن مرطوب، استفاده از چندسازه‌های چوب پلاستیک مورد توجه طراحان قرار گرفته است. در ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک از مقادیر زیادی چوب و مواد لیگنوسلولزی استفاده می‌شود. به‌دلیل قطبی بودن چوب و عدم قطبی بودن پلیمرهای ترموپلاستیک، سطح مشترک ضعیفی بین این دو فاز تشکیل می‌شود که این سطح مشترک ضعیف، بسیاری از خواص

کاربردی چندسازه‌های چوب پلاستیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۱). از طریق اعمال سه روش می‌توان این سطح مشترک ضعیف را تقویت نمود. نخست، استفاده از مواد جفت‌کننده شامل سازگارکننده‌ها، عوامل پل‌ساز و پراکنده‌سازها که از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی و پیوندهای عرضی باعث تقویت فصل مشترک بین دو فاز چوب و پلاستیک می‌شوند، استفاده از ترکیباتی برای اصلاح فاز زمینه پلیمری و در نهایت اصلاح شیمیایی آرد چوب (۱۱). اصلاح شیمیایی چوب و مواد لیگنوسولوزی فن‌آوری نوینی است که اصولاً به تغییر ساختار اساسی آن‌ها می‌پردازد (۲۴). در اثر اصلاح شیمیایی الیاف چوبی چندین ویژگی برتر به‌طور همزمان با یک تیمار به‌دست می‌آیند، مانند کاهش جذب آب (۲۲، ۳۰، ۳۱)، افزایش دوام زیستی (۷) و افزایش خواص مکانیکی (۱۷). بهتر شدن چندین ویژگی در الیاف باعث می‌شود که چوب به قابلیت‌های کاربردی جدیدی برسد. برخی از مهمترین تیمارهای شیمیایی عبارتند از: مرسیزاسیون^۱، تیمار ایزوسیانات^۲، استیلاسیون^۳، تیمار پرمنگنات^۴، تیمار سیلانی^۵، بنزیلاسیون^۶ و تیمار پروکسید^۷ که باعث بهتر شدن ویژگی‌های الیاف و چندسازه‌های ساخته شده با آن می‌شود. پژوهشگران دریافته‌اند که با استفاده از اصلاح شیمیایی آرد چوب می‌توان ویژگی جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت را در چندسازه‌های چوب پلاستیک کاهش داد (۱). در طی سالیان اخیر پژوهشگران زیادی بر روی تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت چندسازه‌های چوب پلاستیک مطالعه کرده‌اند.

مسعودی‌فر و همکاران (۲۰۱۵)، تأثیر نوع تیمار ماده چوبی بر خواص چندسازه‌های هیبریدی آرد چوب/ پلی‌پروپیلن را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها در تحقیق خود آرد چوب را به‌صورت جداگانه تحت تیمارهای استیلاسیون، مرسیزاسیون و تیمار آب گرم قرار دادند و تأثیر این تیمارها را بر روی جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت چندسازه‌های چوب پلاستیک بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت در اثر تیمار شیمیایی کاهش یافت که کمترین این مقادیر مربوط به تیمار مرسیزاسیون بود. آن‌ها همچنین جهت اطمینان از انجام تیمار شیمیایی از

-
- 1- Mercerization
 - 2- Isocyanate treatment
 - 3- Acetylation
 - 4- Permanganate treatment
 - 5- Silane treatment
 - 6- Peroxide treatment
 - 7- Benzoylation

طیف‌سنجی مادون‌قرمز استفاده کردند و دریافتند که در اثر تیمار شیمیایی میزان جذب گروه‌های هیدروکسیل کاهش یافت (۲۰). اسمعیلی‌مقدم (۲۰۱۴)، تأثیر اصلاح شیمیایی آرد چوب بر روی خواص نانو چندسازه‌های هیبریدی پلی‌پروپیلن-نانوسیلیس^۱ را مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق آرد چوب توسط فرآیندهای بنزیلاسیون، مرسیزاسیون، هیدروکسید کلسیم و هیدروکسید منیزیم تحت تیمار شیمیایی قرار گرفت. جهت اطمینان از انجام اصلاح شیمیایی طیف‌سنجی مادون‌قرمز و جهت مطالعه ریخت‌شناسی از میکروسکوپ الکترونی پویشی استفاده گردید. نتایج نشان داد که اصلاح شیمیایی آرد چوب باعث کاهش جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت در چندسازه چوب پلاستیک می‌شود. به طوری که کمترین مقادیر جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت مربوط به تیمار بنزیلاسیون بود. نتایج طیف‌سنجی مادون‌قرمز انجام اصلاح شیمیایی آرد چوب را تأیید نمود. تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی نیز نشان داد که فصل مشترک بین چوب و پلاستیک در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب بهبود یافته به طوری که بیرون زدگی الیاف از ماده زمینه در نمونه‌های اصلاح‌شده مشاهده نگردید (۱۲). کرد و تقی‌زاده هراتبر (۲۰۱۴)، به بررسی تأثیر اصلاح شیمیایی آرد چوب توسط مکانیسم‌های استیلاسیون، بنزیلاسیون و مرسیزاسیون پرداختند و از آرد چوب اصلاح‌شده مذکور در ساخت نانو چندسازه‌های چوب پلاستیک استفاده کردند. همچنین از طیف‌سنجی مادون‌قرمز جهت اطمینان از انجام اصلاح شیمیایی استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که اصلاح شیمیایی آرد چوب باعث کاهش جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت شد. نتایج حاصل از طیف‌سنجی مادون‌قرمز نیز حاکی از کاهش مقدار جذب گروه‌های هیدروکسیل در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب بود (۱۷). کلاگر و همکاران (۲۰۱۵)، از تری اتوکسی متیل سیلان برای اصلاح سطحی الیاف کاه گندم استفاده کردند و از این الیاف اصلاح‌شده برای ساخت چندسازه چوب پلاستیک استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که چندسازه ساخته شده با الیاف اصلاح‌شده جذب آب کمتری در مقایسه با چندسازه ساخته شده با الیاف بدون تیمار داشتند. نتایج میکروسکوپ الکترونی پویشی نشان داد که در اثر غوطه‌وری چندسازه ساخته شده با الیاف بدون تیمار در آب، ترک‌های عمیقی در چندسازه تشکیل شد، در حالی که در نمونه‌های تیمار شده این ترک و شکاف‌ها وجود نداشت. نتایج طیف‌سنجی مادون‌قرمز بر روی آرد چوب نیز نشان داد که در اثر تیمار سیلانی از میزان جذب گروه‌های

1- SiO₂

هیدروکسیل کاسته شد (۱۴). قاسمی و فارسی (۲۰۱۰)، تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر خواص چندسازه‌های چوب پلاستیک را مورد بررسی قرار دادند. عامل متغیر در این تحقیق نوع تیمار شیمیایی در ۵ سطح بدون تیمار، تیمار قلیایی، اسیدی، بنزینی و سیلانی بود. نتایج طیف‌سنجی مادون‌قرمز نشان داد که در اثر اصلاح شیمیایی میزان جذب گروه‌های هیدروکسیل در نواحی 1700 cm^{-1} و cm^{-1} ۳۴۰۰ کاهش یافت که این موضوع نشان دهنده انجام اصلاح شیمیایی آرد چوب می‌باشد. همچنین نتایج میکروسکوپ الکترونی پویشی نشان داد که در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب بیرون زدگی الیاف از ماده زمینه کاهش یافت (۸).

تیمار شیمیایی آرد چوب برای بهبود خصوصیات چندسازه‌های چوب پلاستیک تفکر برتری است و در طی چند سال اخیر، پژوهش‌های گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته است. اما یک تحقیق جامع در خصوص مطالعه رفتار جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت طولانی مدت و تعیین مشخصه‌های آن‌ها که همان ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکنش‌پذیری ضخامت باشد وجود ندارد، لذا انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از پلی‌پروپیلن درجه Pi 0800 با شاخص جریان مذاب $g/10\text{ min}$ ۸ از محصولات شرکت پتروشیمی اراک به‌عنوان ماده زمینه، و از آرد چوب مخلوط پهن‌برگان شمال ایران با اندازه ابعاد ۶۰ مش (۴۲۵ میکرومتر) تهیه شده از شرکت آریا سلولز ایران به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده گردید. همچنین از انیدرید مالئیک پلی‌پروپیلنی تهیه شده از شرکت Slovay کشور بلژیک و نام تجاری Priex 20070 با شاخص جریان مذاب $g/10\text{ min}$ ۶۴ و میزان انیدرید مالئیک ۰/۱ درصد به‌عنوان عامل سازگارکننده استفاده گردید. جهت اصلاح آرد چوب، از هیدروکسید سدیم، با جرم مولی ۴۰ گرم بر مول، اسید استیک با جرم مولی ۶۰/۰۵ گرم بر مول و بنزین کلرید، با جرم مولی ۱۲۶/۵۹ گرم بر مول ساخت شرکت تیتراکم (ایران) استفاده شد.

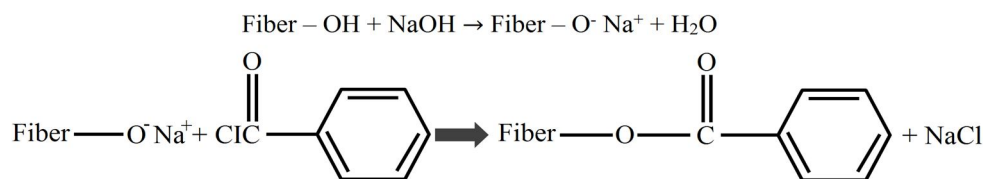
پیش تیمار قلیایی: برای این منظور، ابتدا محلولی با غلظت ۱۵ درصد هیدروکسید سدیم تهیه گردید. سپس آرد چوب به‌مدت ۲۴ ساعت در این محلول غوطه‌ور شد و در پایان ۲۴ ساعت برای خارج کردن هیدروکسید سدیم اضافی، آرد چوب با آب مقطر شستشو داده شد. آرد چوب شستشو داده شده به‌مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه (دمای 20 ± 3 درجه سانتی‌گراد) و سپس در آون در دمای ۱۰۳

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۴) ۱۳۹۵

درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا خشک شود. به این ترتیب آرد چوب پیش تیمار شد و برای تیمارهای بنزیلی و اسیدی آماده شد. نسبت وزنی محلول به الیاف ۱:۲۰ بود. استیل‌اسیون: ابتدا محلول اسید استیک گلاسیال با غلظت ۵۵ درصد تهیه شد. بخشی از آرد چوب پیش تیمار شده در داخل اسید استیک به مدت ۱ ساعت غوطه‌ور شد. بعد از ۱ ساعت آرد چوب زه‌کشی و در فویل آلومینیومی قرار داده شد و سپس به مدت ۵ ساعت در داخل آون با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بعد از گذشت ۵ ساعت نمونه‌ها از آون خارج و پس از خنک شدن با آب مقطر شستشو شدند. پس از آن آرد چوب به مدت ۱ ساعت در اتانول غوطه‌ور شد و مجدداً با آب مقطر شست و شو گردید. در نهایت به مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه (دمای 20 ± 3 درجه سانتی‌گراد) و بعد به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا خشک شود. فرآیند استیل‌اسیون مطابق با واکنش زیر انجام می‌شود (۱۹، ۳۳).

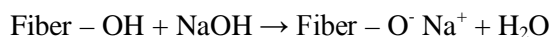


بنزیلاسیون: ابتدا محلولی با غلظت ۵ درصد هیدروکسید سدیم آماده شد. سپس به ازای هر یک لیتر محلول ۵۰ میلی‌لیتر بنزیل کلرید به آرامی به آن اضافه گردید. سپس آرد چوب پیش تیمار شده به مدت ۳۰ دقیقه در این محلول قرار گرفت و بعد از آن به وسیله آب مقطر شستشو گردید. سپس به مدت یک ساعت در اتانول غوطه‌ور شد و مجدداً با آب مقطر شستشو داده شد. در مرحله بعد، آرد چوب تیمار شده به مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه (دمای 20 ± 3 درجه سانتی‌گراد) و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا خشک شود. فرآیند بنزیلاسیون مطابق با واکنش زیر انجام می‌شود (۱۳، ۱۹، ۳۳).



مرسریزاسیون: ابتدا محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۴ درصد آماده شد. آرد چوب، به مدت ۳۰ دقیقه در این محلول غوطه‌ور شد و در پایان این زمان، برای خارج کردن هیدروکسید سدیم اضافی، آرد چوب با آب مقطر شستشو داده شد. آرد چوب شستشو داده شده به مدت ۴۸ ساعت در محیط

آزمایشگاه (دمای 20 ± 3 درجه سانتی‌گراد) و سپس در آون در دمای 103 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت قرار داده شد تا خشک شود. فرآیند مرسریزاسیون مطابق با واکنش زیر انجام می‌شود (13 ، 17 ، 19 ، 33).



ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک: پس از خشک شدن آرد چوب به مدت 24 ساعت در دمای 65 ± 2 درجه سانتی‌گراد مطابق با استاندارد ASTM D618-13 (3)، فرآیند اختلاط مواد، مطابق با جدول 1 توسط دستگاه اکسترودر دو ماردونه ناهمسوگرد انجام شد. مناطق حرارتی اکسترودر به ترتیب 165 ، 170 ، 175 ، 180 و 185 درجه سانتی‌گراد برای نواحی 1 تا 5 به ترتیب اختصاص یافت. سرعت دورانی ماردون نیز 60 دور بر دقیقه تنظیم گردید. مواد داغ شکل‌پذیر به دست آمده از فرآیند اختلاط، به منظور تهیه گرانول وارد دستگاه خردکن نیمه صنعتی شرکت Wieser مدل WG-LS شدند. به منظور حذف رطوبت، گرانول‌ها به مدت 4 ساعت در خشک‌کن با دمای 105 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و نمونه‌های آزمونی توسط دستگاه تزریق نیمه صنعتی ساخت شرکت ایمن ماشین تهران با دمای 185 درجه سانتی‌گراد و فشار 3 مگاپاسکال، مطابق با استاندارد ASTM D3641-12 (4) ساخته شدند. در نهایت نمونه‌ها قبل از انجام هر گونه آزمون، در دمای آزمایشگاه (23 درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی 50 درصد به مدت 40 ساعت مطابق با استاندارد ASTM D618-13 (3) قرار داده شدند.

جدول ۱- طرح اختلاط مواد.

Table 1. The mix design of materials.

نوع اصلاح شیمیایی Type of chemical modification	آرد چوب (درصد) Wood flour (%)	پلی‌پروپیلن (درصد) Polypropylene (%)	جفت‌کننده* (phc) Coupling agent (phc)
بدون تیمار (Untreated)	60	40	4
استیل‌اسیون (Acetylation)	60	40	4
بنزیلاسیون (Benzoylation)	60	40	4
مرسریزاسیون (Mercerization)	60	40	4

*Per hundred compound

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۴) ۱۳۹۵

اندازه‌گیری خواص: جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت طولانی مدت مطابق با استاندارد ASTM D 7031-04 (۲) انجام گردید. نمونه‌های آزمون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس وزن و ضخامت نمونه‌ها توسط ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم و میکرومتر با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در داخل آب با دمای محیط قرار گرفتند و در ساعات موردنظر از داخل آب خارج شدند و وزن و ضخامت آن‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد. این کار تا جایی ادامه پیدا کرد که نمونه‌ها کاملاً از آب اشباع شده بودند و تغییری در وزن آن‌ها مشاهده نشد. و در نهایت میزان جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت با استفاده از روابط مربوطه برای هر ساعت محاسبه گردید. از هر تیمار ۵ نمونه به ابعاد $80 \times 10 \times 4$ میلی‌متر در نظر گرفته شد. برای محاسبه ضریب انتشار رطوبت از نظریه فیک (۶، ۹، ۲۶، ۲۷) و برای محاسبه نرخ واکنش‌پذیری ضخامت از مدل ریاضی KSR^۱ (۲۶) استفاده گردید.

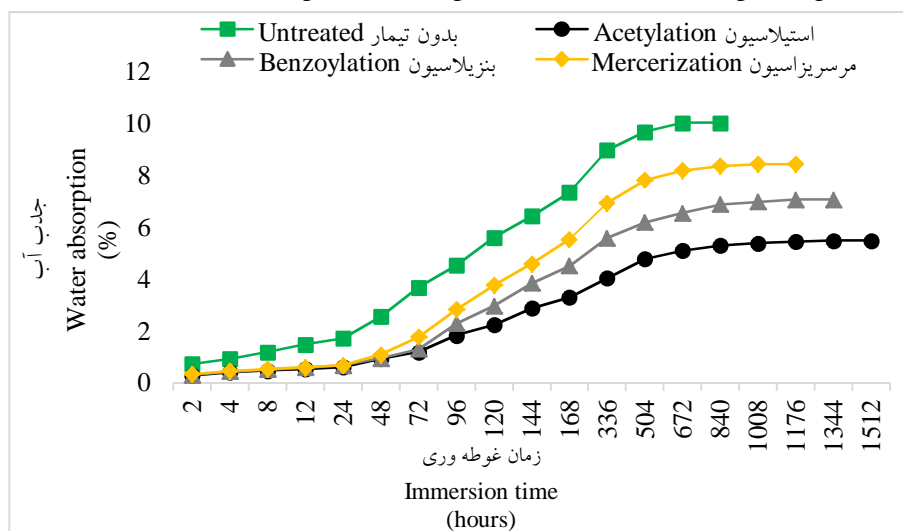
جهت اطمینان از اصلاح شیمیایی آرد چوب از طیف‌سنجی مادون‌قرمز استفاده گردید. برای این منظور از دستگاه طیف‌سنج PUYCOM مدل SP 1100 استفاده گردید. ابتدا آرد چوب با برمد پتاسیم مخلوط و به وسیله پرس دستی فشرده شد. سپس قرص تولید شده در سلول دستگاه تحت تابش طیف مادون‌قرمز در دامنه $4200 - 600 \text{ Cm}^{-1}$ با درجه تفکیک 4 Cm^{-1} قرار گرفت. در نهایت تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی از طریق شدت طیف و جذب در نواحی مختلف انجام شد.

جهت بررسی فصل مشترک چوب و پلیمر، توسط میکروسکوپ الکترونی پوششی عکس‌های میکروسکوپی تهیه گردید. مدل این دستگاه EM3200، مونتاژ شده توسط شرکت KYKY کشور چین می‌باشد که دارای ولتاژ ۲۵ کیلو ولت و محدوده بزرگ‌نمایی ۰ تا ۷۵۰۰۰ برابر می‌باشد. جهت اندازه‌گیری درصد تغییرات وزن آرد چوب (اطلاع از مقدار واکنش)، میزان افزایش وزن آرد چوب پس از انجام تیمار شیمیایی محاسبه شد. برای این منظور، وزن خشک آرد چوب قبل و بعد از هر یک از تیمارهای شیمیایی اندازه‌گیری شد و در نهایت درصد افزایش وزن آرد چوب با استفاده از رابطه مربوطه محاسبه گردید.

۱- این فاکتور، معیاری است جهت مطالعه دقیق‌تر واکنش‌پذیری ضخامت طولانی مدت که نرخ واکنش‌پذیری ضخامت نامیده می‌شود و یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی واکنش‌پذیری ضخامت و مقایسه آن با مقادیر تجربی است که هر چه قدر مقدار آن کم باشد نشان‌دهنده کم بودن خطای آزمایش یا نزدیک بودن مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد.

نتایج و بحث

تأثیر اصلاح شیمیایی آرد چوب بر روی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت طولانی مدت طی ۱۵۱۲ ساعت غوطه‌وری در آب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب جذب آب و واکنشیدگی ضخامت و زمان رسیدن به نقطه اشباع کاهش می‌یابد. جذب آب در چندسازه‌های چوب پلاستیک از طریق سه مکانیسم عمده صورت می‌پذیرد: جذب آب از طریق گروه‌های هیدروکسیل مواد لیگنوسولوزی (۶)، جذب آب از طریق شکاف‌های نانومتری بین زنجیره‌های پلیمری در پلاستیک‌های ترموپلاستیک و جذب آب از طریق شکاف‌ها و لوله‌های مویین بین دو فاز چوب و پلاستیک (۲۸). اصلاح شیمیایی از طریق بهبود دو مکانیسم، باعث کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت می‌شود. انتظار می‌رود که در اثر اصلاح شیمیایی از یک طرف گروه‌های هیدروکسیل مواد لیگنوسولوزی غیرفعال شوند و از طرف دیگر اصلاح شیمیایی باعث کاهش فاصله آنگسترومی بین دو فاز چوب و پلاستیک می‌شود، یا به عبارت دیگر شعاع لوله‌های مویین موجود در چندسازه را کاهش داده و صعود آب به داخل لوله‌های مویین را با مشکل مواجه می‌کند. تیمارهای شیمیایی مختلف، از طریق مکانیسم‌های مختلفی این کار را انجام خواهند داد که بسته به نوع تیمارهای شیمیایی مکانیسم این روش‌ها متفاوت خواهد بود (۱۱، ۲۴). مکانیسم موئینگی به همراه نحوه جایگزینی گروه‌های استیل و بنزیل به جای گروه‌های هیدروکسیل چوب در شکل ۳ نشان داده شده است.

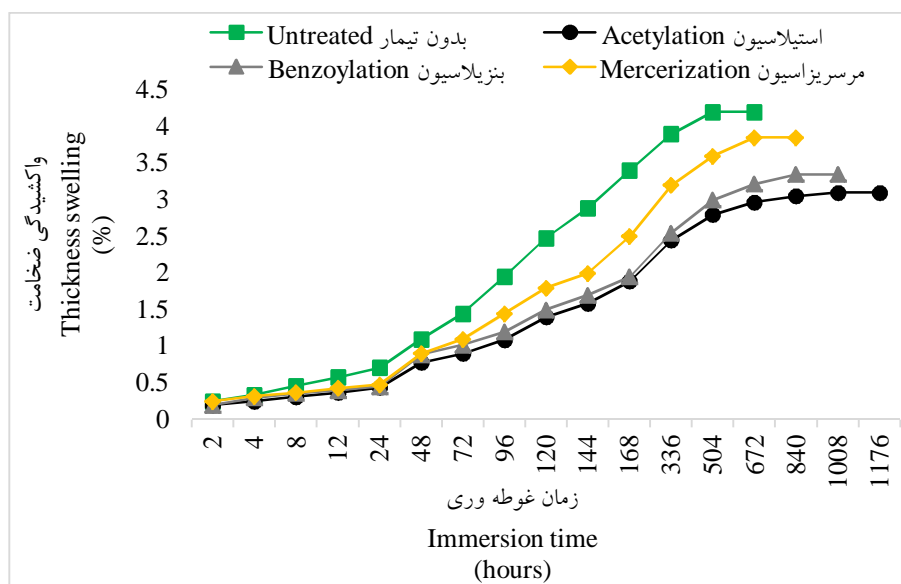


شکل ۱- تأثیر اصلاح شیمیایی آرد چوب بر روی جذب آب طولانی مدت چندسازه چوب پلاستیک.

Figure 1. Effect of chemical modification of wood flour on long-term water absorption of wood plastic composite.

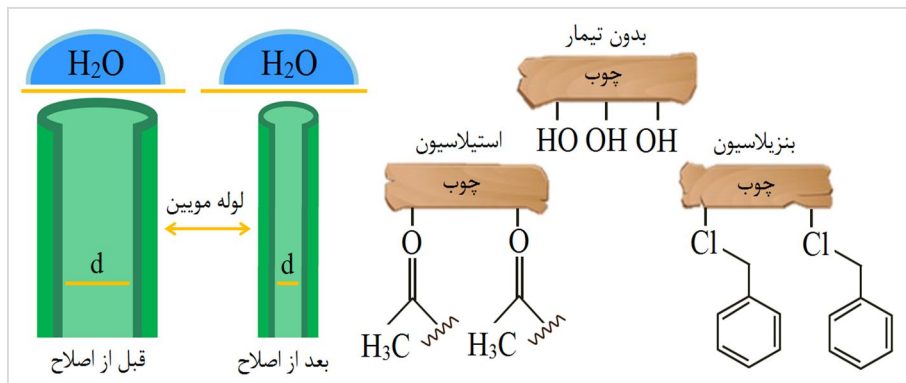
نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۴) ۱۳۹۵

به‌نظر می‌رسد که در اثر استیلاسیون، گروه‌های آب‌گریز استیل جایگزین گروه‌های آب‌دوست هیدروکسیل می‌شوند و انتظار می‌رود که این جایگزینی باعث می‌شود تا ماهیت آرد چوب از حالت قطبی تغییر کرده و به ماهیت غیر قطبی پلاستیک نزدیک‌تر شود. بنابراین می‌توان انتظار داشت که تیمار استیلاسیون از یک طرف منجر به نزدیک‌تر شدن فاز چوب و پلاستیک و به تبع آن کاهش شعاع لوله‌های مویین موجود در چندسازه چوب پلاستیک برای صعود آب می‌شود و از طرف دیگر جایگزینی گروه‌های استیل به جای گروه‌های هیدروکسیل، تا حد زیادی از تشکیل پیوند هیدروژنی مولکول‌های آب با آرد چوب جلوگیری می‌کند (۱۰، ۲۰، ۲۹). در اثر بنزیلاسیون نیز عقیده بر این است که گروه‌های آب‌گریز بنزیلی جایگزین گروه‌های هیدروکسیل می‌شوند، تیمار بنزیلاسیون نیز همانند تیمار استیلاسیون از جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه چوب پلاستیک می‌کاهد (۵، ۱۲، ۱۳، ۱۷). در اثر تیمار قلیایی خروج ناخالصی‌های طبیعی مثل موم، لیگنین، چربی و پکتین‌ها تسهیل می‌گردد و این خود منجر به بهبود فصل مشترک بین چوب و پلاستیک می‌شود و در این حالت علاوه بر حذف گروه‌های هیدروکسیل، تخلخل موجود در چندسازه را کاهش داده و در نهایت ویژگی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاهش می‌یابد (۱۳، ۲۰، ۲۳).



شکل ۲- تأثیر اصلاح شیمیایی آرد چوب بر روی واکنشیدگی ضخامت طولانی مدت چندسازه چوب پلاستیک.

Figure 2. Effect of chemical modification of wood flour on long-term thickness swelling of wood plastic composite.

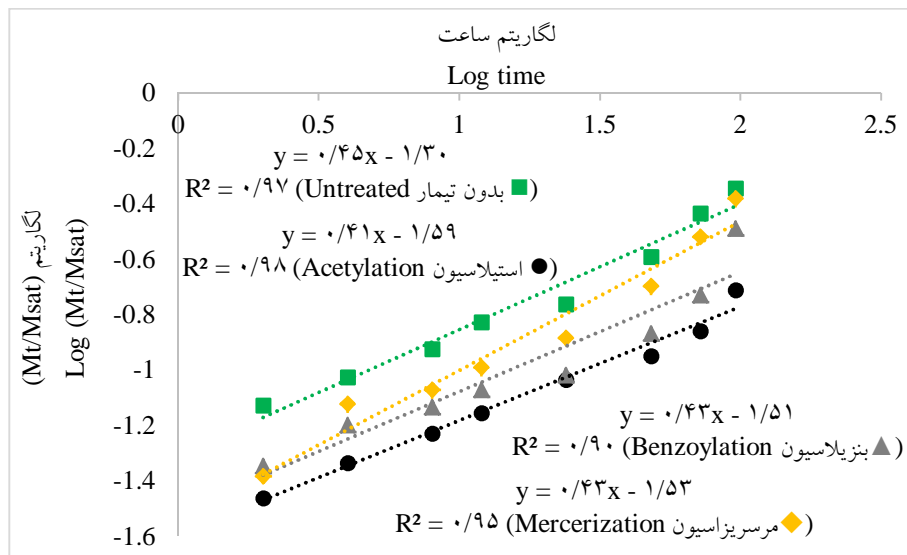


شکل ۳- مکانیسم موئینگی (سمت چپ) و مکانیسم اصلاح شیمیایی (سمت راست).

Figure 3. Capillary mechanism (left side) and chemical modification mechanism (right side).

در رابطه با مطالعه رفتار جذب آب طولانی مدت چندسازه‌های چوب پلاستیک، آنچه بیش از مقدار جذب آب حداکثر این فرآورده‌ها باید مورد توجه قرار گیرد، ضریب انتشار رطوبت می‌باشد. 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 مولکول‌های آب را به درون ماده مرکب مشخص می‌کند (۲۶، ۲۷). در این راستا، قانون فیک^۱ بهترین نظریه برای مشخص کردن رفتار جذب آب طولانی مدت فرآورده‌های مرکب می‌باشد. 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 بیشینه جذب آب رسم می‌شود، کمتر از $0/5$ باشد (مقدار n)، روند جذب آب در آن فرآورده مرکب از قانون فیک تبعیت می‌کند. همخوانی داده‌های تجربی با ضریب انتشار رطوبت در چندسازه‌های چوب پلاستیک در شکل ۴ نشان داده شده است. مطابق با شکل، مقدار n برای تیمارهای استیلاسیون، بنزیلاسیون، مرسریزاسیون و نمونه بدون تیمار به ترتیب $0/۴۱$ ، $0/۴۳$ و $0/۴۵$ می‌باشد. با توجه به مقدار n که برای تمامی تیمارها کمتر از $0/5$ می‌باشد، می‌توان دریافت که رفتار جذب آب در چندسازه چوب پلاستیک از نظریه فیک تبعیت می‌کند.

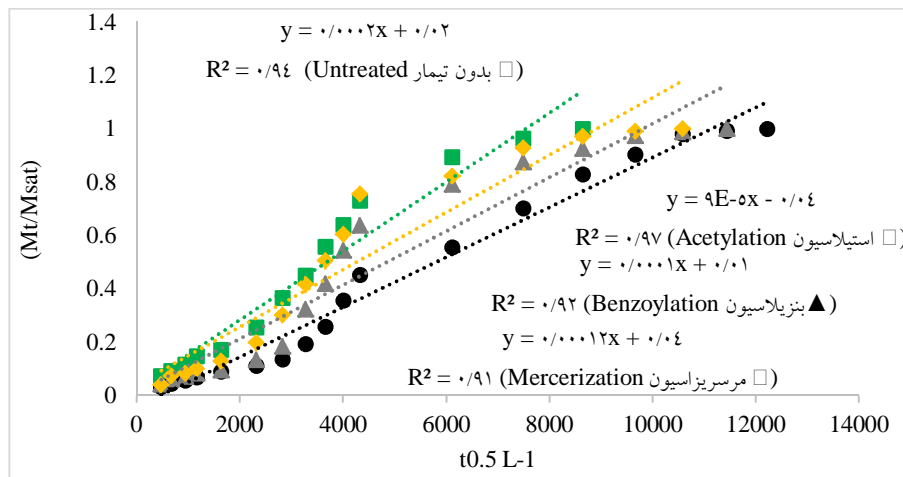
1- Fick's law



شکل ۴- همخوانی داده‌های تجربی با ضریب انتشار رطوبت در چندسازه چوب پلاستیک.

Figure 4. Consistent experimental data with humidity coefficient diffusion in wood plastic composite.

حال که داده‌های تجربی با ضریب انتشار رطوبت همخوانی دارد یا به عبارت دیگر رفتار جذب آب در چندسازه چوب پلاستیک تابع قانون فیک است، نوبت به محاسبه ضریب انتشار رطوبت می‌رسد. برای محاسبه ضریب انتشار رطوبت، از شیب قسمت خطی منحنی نسبت جذب آب در زمان مورد نظر به بیشینه جذب آب در برابر نسبت توان نیم زمان به ضخامت نمونه ($Mt/Msat; t^{0.5} L^{-1}$) استفاده می‌شود (۶، ۱۵، ۲۶، ۲۷). پس از رسم نمودار، ضریب X در معادله رگرسیون هر کدام از خطوط به توان ۲ رسیده، در عدد ۳/۱۴ ضرب شده و بر عدد ۱۶ تقسیم می‌شود تا ضریب انتشار رطوبت محاسبه شود. شکل ۵، نحوه محاسبه ضریب انتشار رطوبت در چندسازه چوب پلاستیک را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب، شیب منحنی نمودار تندتر شده است که این موضوع نشان دهنده این است که در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب، چندسازه چوب پلاستیک آب کمتری در زمان طولانی‌تر جذب می‌کند (۹).



شکل ۵- نحوه محاسبه ضریب انتشار رطوبت در چندسازه چوب پلاستیک.

Figure 5. Calculation method humidity coefficient diffusion in wood plastic composite.

ضریب انتشار رطوبت چندسازه چوب پلاستیک در جدول ۲ نشان داده شده است. مطابق با جدول، در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب ضریب انتشار رطوبت در چندسازه چوب پلاستیک کاهش می‌یابد. محققان معتقدند که هر عاملی که باعث شود تا سرعت جذب آب توسط فرآورده مرکب کاهش یابد، ضریب انتشار رطوبت نیز در آن فرآورده کاهش خواهد یافت (۲۶، ۲۷). انتظار می‌رود که اصلاح شیمیایی آرد چوب باعث کاهش سرعت جذب آب توسط چندسازه چوب پلاستیک شود و به نظر می‌رسد که دلیل کاهش ضریب انتشار در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب نیز همین عامل است.

جدول ۲- ضریب انتشار رطوبت و مشخصه‌های آن برای کامپوزیت چوب پلاستیک.

Table 2. Humidity coefficient diffusion and their characteristics for wood plastic composite.

اصلاح شیمیایی Chemical modification	مقدار n Amount (n)	زمان رسیدن به نقطه اشباع (ساعت) Time to reach saturation point (hours)	بیشینه جذب آب (درصد) Maximum of water absorption (%)	ضریب انتشار رطوبت (m ² /s) Humidity coefficient diffusion (m ² /s)
بدون تیمار (Untreated)	0.45	672	10.05	7.85×10 ⁻⁹
مرسریزاسیون (Mercerization)	0.43	1008	8.45	2.82×10 ⁻⁹
بنزیلاسیون (Benzoylation)	0.43	1176	7.08	1.96×10 ⁻⁹
استیلاسیون (Acetylation)	0.41	1344	5.5	1.58×10 ⁻⁹

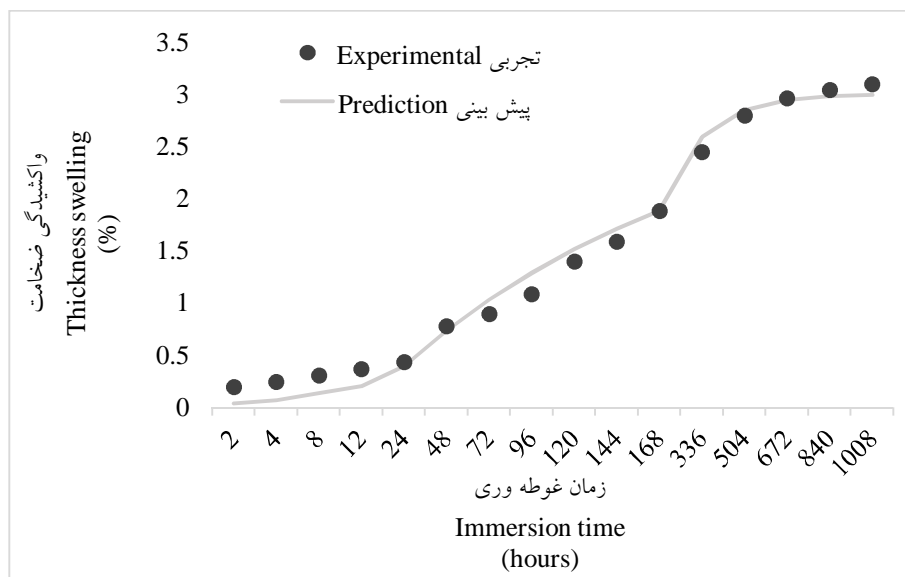
نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۴) ۱۳۹۵

نرخ واکشیدگی ضخامت (Ksr) به‌همراه مشخصه‌های مربوط به آن در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب میزان نرخ واکشیدگی ضخامت کاهش می‌یابد. کم بودن نرخ واکشیدگی ضخامت بیانگر این موضوع است که سرعت واکشیدگی ضخامت در چندسازه چوب پلاستیک کم می‌باشد (۱۶، ۳۲، ۳۴). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب، نمونه‌ها بسیار دیرتر به نقطه تعادل واکشیدگی ضخامت می‌رسند. در جدول ۳ همچنین میزان مجموع مربعات (ss) مشاهده می‌شود که در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب میزان این کمیت کاهش می‌یابد و کمترین میزان آن مربوط به تیمار استیلاسیون و بیشترین مقدار آن مربوط به نمونه بدون تیمار می‌باشد. محققان بیان کردند که هر چه میزان این فاکتور کم باشد اختلاف بین مقدار پیش‌بینی شده و مقدار محاسبه شده واکشیدگی ضخامت بسیار ناچیز خواهد بود، یا به عبارت دیگر خطای اندازه‌گیری آزمون واکشیدگی ضخامت در صورت کم بودن مجموع مربعات (ss) در حداقل ممکن خواهد بود (۲۶). بنابراین تیمار استیلاسیون دارای کمترین خطای اندازه‌گیری می‌باشد و مقادیر پیش‌بینی شده در آن با مقادیر اندازه‌گیری شده اختلاف چندانی ندارند. شکل ۶، اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده برای این تیمار را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اختلاف بسیار اندکی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده وجود دارد.

جدول ۳- نرخ واکشیدگی ضخامت به‌همراه مشخصه‌های مربوط به آن برای نوع اصلاح شیمیایی.

Table 3. Thickness swelling rate with its related characteristics for type of chemical modification.

اصلاح شیمیایی chemical modification	بیشینه واکشیدگی ضخامت (درصد) Maximum of thickness swelling (%)	ضخامت اولیه (mm) Primary thickness (mm)	ضخامت نهایی (mm) Final thickness (mm)	$Ksr \times 10^{-3} (h^{-1})$	ss
بدون تیمار (Untreated)	4.2	3	3.126	8	0.66
مرسریزاسیون (Mercerization)	3.85	3	3.115	6	0.34
بنزیلاسیون (Benzoylation)	3.35	3	3.1	5	0.26
استیلاسیون (Acetylation)	3.1	3	3.09	6	0.24



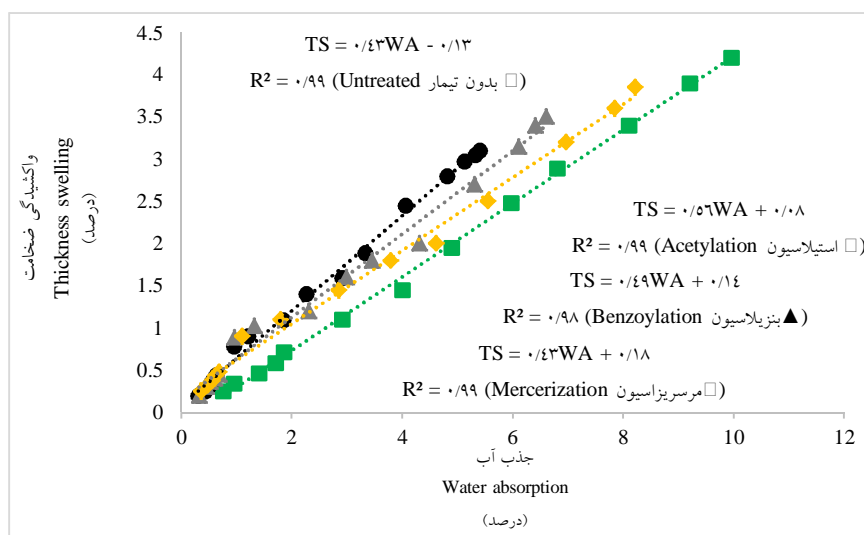
شکل ۶- اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در آزمون واکنش‌پذیری ضخامت طولانی مدت برای تیمار استیلاسیون.

Figure 6. The difference between predicted and measured values in long-term thickness swelling test for acetylation.

رابطه بین جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت در چندسازه چوب پلاستیک در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش جذب آب در چندسازه‌های چوب پلاستیک باعث افزایش واکنش‌پذیری ضخامت شده است که نشان دهنده وابستگی واکنش‌پذیری ضخامت نمونه‌ها به مقادیر جذب آب می‌باشد. اما این وابستگی در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب بسیار شدیدتر شده است. به طوری که با افزایش جذب آب، مقادیر واکنش‌پذیری ضخامت در نمونه‌های اصلاح شده بیشتر از نمونه بدون تیمار است. آنچه که مشخص است، در نمونه بدون تیمار به دلیل عدم چسبندگی مناسب بین چوب و پلاستیک سطح مشترک ضعیفی بین این دو فاز تشکیل می‌شود و این سطح مشترک ضعیف زمینه را برای ورود آب به داخل چندسازه فراهم می‌آورد. اما در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب، سطح مشترک بین دو فاز مذکور تقویت شده و از شعاع لوله‌های موئین موجود در چندسازه کاسته خواهد شد. می‌توان انتظار داشت که در نمونه بدون تیمار آبی که جذب چندسازه می‌شود بیشتر در فضاهای خالی قرار گرفته باشد و تأثیر کمتری بر واکنش‌پذیری ضخامت چندسازه داشته باشد،

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۴) ۱۳۹۵

حال آن‌که در نمونه‌های اصلاح شده فضای خالی کمتری در چندسازه وجود دارد و آبی که جذب چندسازه حاوی آرد چوب اصلاح شده می‌شود تأثیر بیشتری بر واکنشیدگی ضخامت داشته باشد (۲۵).

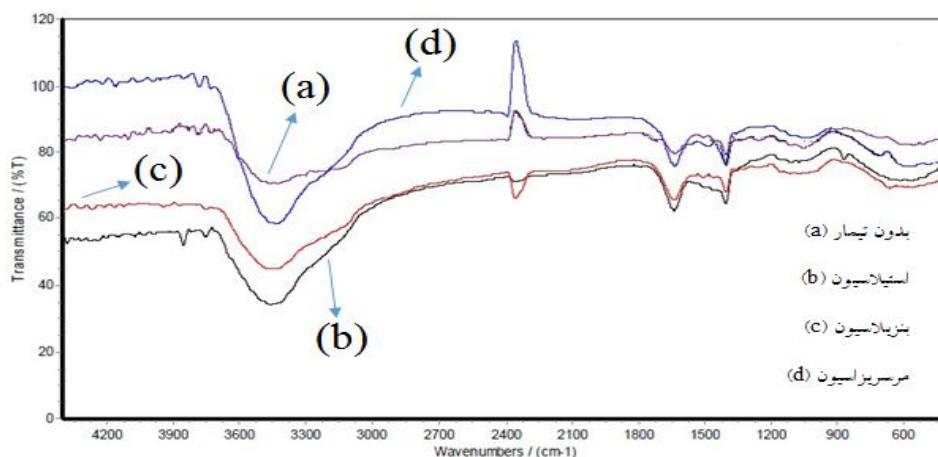


شکل ۷- رابطه بین جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در چندسازه چوب پلاستیک.

Figure 7. Relation between water absorption and thickness swelling in wood plastic composite.

طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز برای آرد چوب بدون تیمار و آرد چوب اصلاح شده در شکل ۸ نشان داده شده است. بر اساس این طیف‌ها، در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب، میزان جذب گروه‌های هیدروکسیل در باند جذبی $3463/5 \text{ cm}^{-1}$ کاهش یافته است. به نظر می‌رسد که این موضوع نشان دهنده اصلاح شیمیایی آرد چوب و جایگزینی گروه‌های شیمیایی آن به جای گروه‌های هیدروکسیل است (۵، ۸، ۱۴). در تیمار مرسریزاسیون نیز پیک مربوط به گروه‌های هیدروکسیل به شدت کاهش پیدا کرده است که انتظار می‌رود این موضوع به دلیل توسعه منطقه آمورف سلولزی در اثر انجام تیمار قلیایی باشد (۱۸). پیک $3162/7 \text{ cm}^{-1}$ در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب به طور کامل حذف شده است که به نظر می‌رسد دلیل آن حذف مواد اضافی از آرد چوب در اثر تیمارهای بنزیلی، اسیدی و قلیایی می‌باشد. در اثر انجام تیمار بنزیلاسیون پیک جدیدی در باند $663/4 \text{ cm}^{-1}$ و در اثر انجام تیمار استیلاسیون پیک جدیدی در باند $665/3 \text{ cm}^{-1}$ تشکیل شده است. وجود پیک در چنین

نواحی از وجود گروه‌های بنزنی و استیلی که در اثر کشش گروه‌های کربونیل ($C=O$) از گروه‌های استیل و بنزیل به وجود می‌آید، حکایت می‌کند (۵).

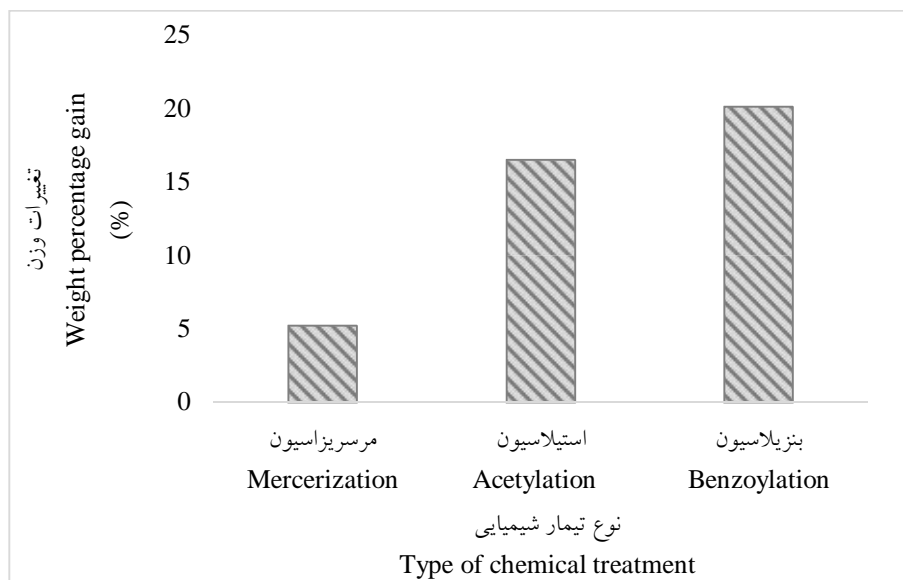


شکل ۸- طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون‌فرمز (FTIR).

Figure 8. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).

درصد تغییرات وزن آرد چوب در اثر اصلاح شیمیایی در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، درصد تغییرات وزن آرد چوب در تیمارهای بنزیلاسیون و استیلاسیون در مقایسه با تیمار مرسیزاسیون بیشتر می‌باشد. در هنگام واکنش آرد چوب با هیدروکسید سدیم در تیمار مرسیزاسیون، به‌طور همزمان یک افزایش وزن در اثر جذب ماده شیمیایی و یک کاهش وزن در اثر خروج مواد استخراجی به وجود خواهد آمد (۲۰). اما در تیمارهای استیلاسیون و بنزیلاسیون به دلیل این که قبل از تیمار اصلی، آرد چوب به مدت ۲۴ ساعت پیش تیمار قلیایی شد، مقادیر زیادی از مواد استخراجی در پیش تیمار قلیایی خارج شد و در هنگام تیمار اصلی فقط جذب ماده شیمیایی صورت گرفت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که درصد تغییرات وزن در تیمارهای استیلاسیون و بنزیلاسیون در مقایسه با تیمار مرسیزاسیون بیشتر باشد.

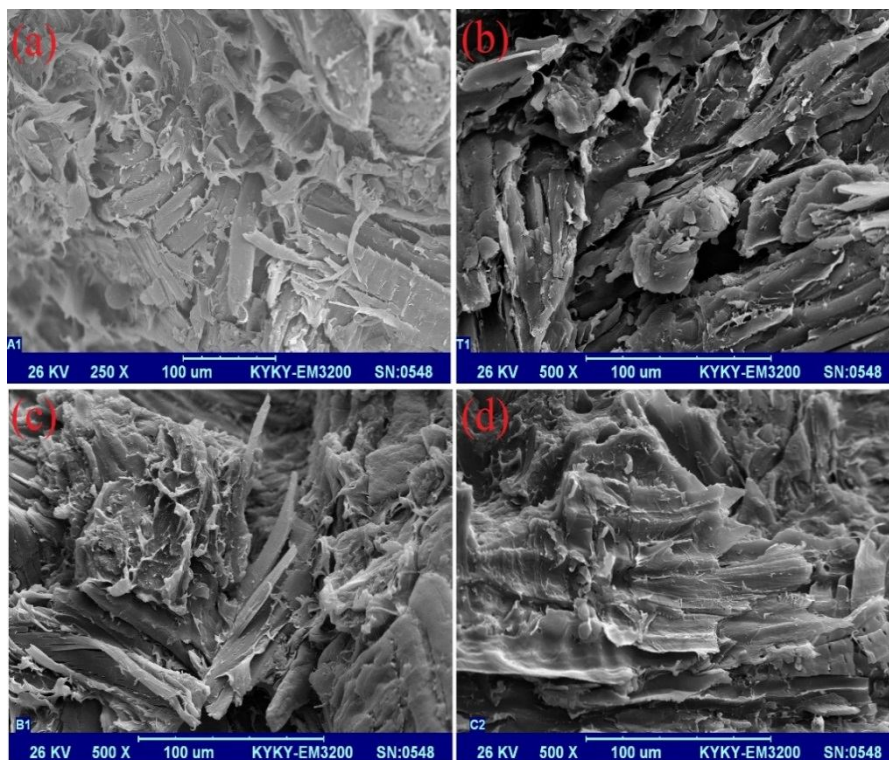
نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، شماره (۴) ۱۳۹۵



شکل ۹- درصد تغییرات وزن آرد چوب در اثر اصلاح شیمیایی.

Figure 9. Weight percentage gain of wood flour by chemical modification.

شکل ۱۰، تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی را نشان می‌دهد. بر اساس (شکل a ۱۰) مربوط به آرد چوب بدون تیمار، بیرون زدگی آرد چوب از داخل ماده زمینه مشاهده می‌شود. این بیرون زدگی آرد چوب بیان کننده این مطلب است که سطح مشترک ضعیفی بین چوب و پلاستیک به دلیل عدم سازگاری بین آنها وجود دارد. اما در اثر اصلاح شیمیایی این سطح مشترک تقویت می‌شود و همان‌طور که مشاهده می‌شود بیرون زدگی آرد چوب از داخل ماده زمینه مشاهده نمی‌شود. تصاویر مربوط به استیلاسیون، بنزیلاسیون و مرسریزاسیون به ترتیب در شکل‌های ۱۰b، ۱۰c و ۱۰d نشان داده شده است.



شکل ۱۰- میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM).

Figure 10. Scanning electron microscopy (SEM).

نتیجه گیری

در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت طولانی مدت، ضریب انتشار رطوبت و نرخ واکنشیدگی ضخامت کاهش یافتند. همچنین طیفسنجی تبدیل فوریه مادون قرمز انجام اصلاح شیمیایی آرد چوب را تأیید نمود. نتایج میکروسکوپ الکترونی پوششی نیز نشان داد که فصل مشترک بین آرد چوب و ماده زمینه در اثر اصلاح شیمیایی بهبود یافت. بنابراین به عنوان یک نتیجه گیری کلی می توان گفت که اصلاح شیمیایی به خصوص تیمار استیلایسیون، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه های چوب پلاستیک را کاهش داده و همچنین منجر به کاهش سرعت جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نیز می شود. بنابراین انجام تیمار استیلایسیون برای چندسازه هایی که در اماکن مرطوب مورد استفاده قرار می گیرند پیشنهاد می شود.

سپاس‌گذاری

از سرکار خانم مهندس افسانه شهرکی جهت همکاری بی‌دریغ و راهنمایی جهت به انجام رساندن این پروژه تحقیقاتی صمیمانه قدردانی می‌شود.

منابع

1. Albano, C., Ichazo, M., Gonzalez, J., Delgado, M., and Poleo, R. 2001. Effects of filler treatments on the mechanical and morphological behavior of PP+wood flour and PP+sisal fiber. *J. Mat. Res. Innovat.* 4: 284-293.
2. 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 D7031-04.
3. American society for testing and materials. ASTM. 2013. Standard practice for conditioning plastics for testing. ASTM D618-13. For testing. ASTM D618-13. Annual book of ASTM standards. Philadelphia.
4. American society for testing and materials. ASTM. 2012. Standard practice for injection molding test specimens of thermoplastic molding and materials. ASTM D3641-12. Annual book of ASTM standards. Philadelphia.
5. Dominkovics, Z., Danyadi, L., and puka'nszky, B. 2007. Surface modification of wood flour and its effect on the properties of PP/wood composites. *Composites Part A.* 38: 8.1893-1901.
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. Evans, P.D., Wallis, A.F.A., and Owen, N.L. 2000. Weathering of chemically modified of scote pine acetylated to different weight gains. *Wood science and technology.* 34: 2.151-165.
8. Ghasemi, I., and Farsi, M. 2010. Interfacial behavior of wood plastic composite: effect of chemical treatment on wood fibers. *Iran polymer journal.* 19: 10.811-818.
9. Ghasemi, I., and Kord, B. 2009. Long-term water absorption behavior of polypropylene/wood flour/organoclay hybrid nanocomposite. *Iranian polymer journal.* 18: 9.683-691.
10. Hajihassani, R., Mohebby, B., and Kargarfard, A. 2008. Influences of poplar fibers acetylation on mechanical properties of medium density fiberboard (MDF). *Pajouhesh and Sazandegi.* 78: 3.108-113. (In persian)
11. Hill, C. 2006. *Wood modification, chemical, termal and other process john wiley and sons, Ltd., 260p.*

12. Ismaeilimoghadam, S. 2014. Effect of chemical modification of wood flour on the properties of polypropylene- nano SiO₂ hybrid nano composite. Master thesis wood and paper science and technology, Zabol University, 201p. (In persian)
13. Ismaeilimoghadam, S., Shamsian, M., Bayat Kashkoli, A., and Kord, B. 2015. Effect of chemical modification of wood flour on properties of polypropylene-nano SiO₂ hybrid nanocomposite. Iranian journal of wood and paper science research. (Online). (In persian)
14. Kalagar, M., Baziyar, B., Khademi eslam, H., Ghasmi, E., and Hemmasi, A.H., 2015. The investigation on composites produced using polylactic acid/wheat straw fibers treated with silane. Iranian journal of wood and paper science research. 30(2): 207-219. (In persian)
15. Kazemi, S., Kiaeifar, A., Tajvidi, M., and Hamidinia, E. 2007. Water absorption behavior and thickness swelling rate of composites from sawdust and recycled plastics. Journal of reinforced plastic and composites. 26: 3.341-348.
16. Kazemi, S., Kiaeifar, A., Tajvidi, M., and Hamidinia, E. 2007. Hygroscopic thickness swelling rate of composites from sawdust and recycled plastics. Journal of wood science and technology. 42: 161-168.
17. 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.
18. Li, X., Tabil, L.G., and Panigrahi, S. 2007. Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber reinforced composites: a review. Journal of polymers and the environment. 15: 1.25-33.
19. Lu, Z., Wu, Q., and Mc Nabb, S. 2000. Chemical coupling in wood fiber and polymer composites: A review of coupling agents and treatments. Wood and fiber science. 32: 1.88-104.
20. Masoudifar, M., Nosrati sheshkel, B., Mansouri, H.R., and Mohebbi Gargari, R. 2015. The effect type of chemical treatment of wood material on physical, mechanical and morphological properties of wood flour/polypropylene hybrid composite. Iranian journal of wood and paper science research. 30: 1.121-131. (In persian)
21. Matuana, L.M., Park, C.B., and Balatinecz, J.J. 1998. Cell morphology and property relationships of microcellular foamed PVC/wood fiber composites. Polym Eng Sci. 38: 1862-1872.
22. Militis, H., and Beckers, E.P.J. 1994. Process for acetylating solid wood: European patent application. DOI: 85850268.5.
23. Mishra, S., Tripathy, S.K., and Mohanty, A.K. 2001. Graft copolymerization of acrylonitrile on chemically modified sisal fibers. Macromolecular material and engineering. 286: 2.107-113.

24. Mohebbi, B. 2003. Biological attack of acetylated wood: Ph.D. Thesis: Gottingen University: Gottingen: 147p.
25. Najafi, A., and Kazemi-kalhodashti, M.T. 2009. Effect of density of panels on long term Water Absorption of Sanding of MDF/HDPE Composites. 9th International Seminar on Polymer Science and Technology, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, Iran, 17-21.
26. Najafi, A., and Khademi-Eslam, H. 2011. Lignocellulosic filler/recycled HDPE composites: effect of filler type on physical and flexural properties. *Bioresources.com*. 6: 3.2411-2424.
27. 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)
28. Roohani, M., Kord, B., Motie, N., and Sharari, M. 2014. Biodegradation behaviors of cellulose nanocrystals-PVA nanocomposites. *Iranian journal of wood and paper industries*. 5: 2.1-13. (In Persian)
29. Rowell, R.M. 2006. Chemical modification of wood: A short review. *Wood material science and engineering*. 1: 1.29-33.
30. Rowell, R.M., Sandi, A.R., and Gatenholm, D.F. 1997. Utilization of natural fibers in plastic composites problem and opportunities in lignocellulose composites. *J. compos.* 18: 23–51.
31. Rowell, R.M., Simonson, R., and Tilman, A.M. 1990. Acetyl balance for the acetylation of wood particles by a simplified procedure. *Holzforschung*. 44: 4.263-269.
32. Shi, Q.S., and Gardner, D.J. 2006. Hygroscopic thickness swelling rate of compression molded wood fiberboard and wood fiber/polymer composite. *Journal of composites part. A*. 37: 1276–1285.
33. Susheel, K., Kaith, B.S., and Inderjeet, K. 2009. Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites: a review. *Polymer engineering and science*. 49: 7.1253–1272.
34. Yang, H.S., Kim, H.J., Park, H.J., Lee, B.J., and Hawang, T.S. 2006. Water absorption behavior and mechanical properties of lignocellulosic filler-polyolefin bio-composites. *Journal of composite structures*. 72: 429-437.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 23 (4), 2016
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Effect of chemical modification of wood flour on long-term water absorption and thickness swelling and morphological study of wood plastic composite

***S. Ismaeili Moghadam**

Young Researchers and Elite Club, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran
Received: 07/23/2015 ; Accepted: 11/30/2015

Abstract

Background and objectives: Wood plastic composite that briefly (WPC) are called are a new class of composite materials that in recent years have been attended by many researchers and industries. Since, the major part of these composites is the wood flour, these composites such as wood are moisture absorbent. So, this research with aim of evaluation the effect of chemical modification of wood flour on long-term water absorption and thickness swelling, humidity coefficient diffusion, thickness swelling rate and morphological study of wood plastic composite was done.

Materials and methods: For this purpose first, wood flour with acetic acid, benzyl chloride and sodium hydroxide were modified separately. For ensure the chemical modification, Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy tests was done. Wood flour (60 wt %), polypropylene and MAPP (4 phc) were mixed by extruder and the test specimens were fabricated using the injection molding machine. According to the ASTM D 7031-04 standard, the long-term water absorption and thickness swelling were measured. Morphological study of wood plastic composite was done by scanning electron microscopy.

Results: The result showed that long-term water absorption and thickness swelling, humidity coefficient diffusion and thickness swelling rate decreased by chemical modification of wood flour. The Result of infrared spectroscopy revealed that the chemical modification of wood flour caused to decrease the intensity peak of hydroxyl groups. Scanning electron microscopy images showed that chemical modification of wood flour led to improve the interface between wood and plastic. The highest weight percentage gain of wood flour was observed for modification by benzoylation.

*Corresponded author: Saeed.am17358@gmail.com

Conclusion: The chemical modification of wood flour for improvement of the interface between two phases of wood and plastic is a good idea. This modification reduces the radius of irregularly capillary tubes in wood plastic composite and decreases the available hydroxyl groups for creating hydrogen bonds with water molecules. These factors improve the physical properties of wood plastic composite, such as water absorption, thickness swelling.

Keywords: Humidity coefficient diffusion, Thickness swelling rate, Infrared spectroscopy, Chemical modification