

## بررسی اثر تیمار بخار آب آرد چوب بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه ساخته شده از آرد صنوبر و پلی پروپیلن بازیافتی

احمد ثمریها<sup>۱</sup> و حبیب الله خادمی اسلام<sup>۲\*</sup>

۱- دکترای تخصصی صنایع چوب و کاغذ، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- \*استاد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مهندسی صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

پست الکترونیک: hkhademieslam@gmail.com

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۶

### چکیده

اثر افزودن آرد تیمار شده و نشده با بخار آب بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه ساخته شده از پلی پروپیلن بازیافتی بررسی شد. پلی پروپیلن بازیافتی در سطح ۵۷ درصد وزنی و آرد صنوبر به میزان ثابت ۴۰ درصد به دو صورت بخاردهی نشده و بخاردهی شده در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد به مدت یک ساعت استفاده شدند. نسبت آرد بخاردهی شده به نشده در چندسازه ها به ترتیب ۱۰۰:۵۰، ۵۰:۵۰ و ۱۰۰:۰ در نظر گرفته شد. در کلیه ترکیبات ماده سازگارکننده به میزان ۳ درصد وزنی استفاده شد. عمل اختلاط در مخلوطکن داخلی، با دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد و با سرعت ۶۰ دور در دقیقه انجام شد و نمونه ها با روش قالب گیری تزریقی ساخته شدند. به منظور بررسی اثر بخاردهی آرد چوب بر ساختار و بلورینگی، از آزمون تفرق اشعه X و طیف FTIR استفاده شد. نتایج نشان داد که بخاردهی آرد چوب، به لحاظ آماری تأثیر معنی داری بر ویژگی های مکانیکی چندسازه حاصل ندارد. ولی نمونه های حاوی آرد بخاردهی شده از مقاومت های مکانیکی به نسبت بالاتری برخوردار بودند. همچنین نتایج نشان داد که تأثیر بخاردهی بر جذب آب و واکنش پذیری ضخامت معنادار بوده و نمونه های بخاردهی شده خواص فیزیکی بهتری داشته اند.

واژه های کلیدی: چندسازه، پلی پروپیلن بازیافتی، آرد بخاردهی شده، FTIR، XRD

### مقدمه

مواد چندسازه به موادی گفته می شود که از یک یا چند مرحله ناپیوسته<sup>۱</sup> که در درون یک مرحله پیوسته<sup>۲</sup> قرار گرفته اند، تشکیل شده باشد. مرحله ناپیوسته معمولاً سخت تر و محکم تر از مرحله پیوسته بوده و تقویت کننده<sup>۳</sup> خوانده می شود. مرحله پیوسته را ماده زمینه یا ماتریس<sup>۴</sup> می نامند (Shokrieh & sonboleston, 2007). مواد تقویت کننده که به

ماتریس اضافه می شوند، خصوصیات ویژه ای را در چندسازه ایجاد می کنند. در یک چندسازه به طور کلی آرد عضو بارپذیر است، در حالی که ماتریس آنها را در محل و آرایش مطلوب نگه داشته و به عنوان یک محیط منتقل کننده بار بین آرد عمل می کند. پژوهشگران زیادی روی خواص فیزیکی و مکانیکی این مواد مطالعه کرده و سعی کرده اند ارتباط منطقی بین خواص چندسازه و عوامل مؤثر از قبیل شرایط اختلاط، فرمول بندی، نوع و ساختار چوب و غیره به دست آورند. در روش هایی که برای بهبود سازگاری بین آرد طبیعی و پلیمرهای گرمانرم مورد استفاده قرار می گیرند، کاهش

1- Discontinuous phase

2- Continuous phase

3- Reinforcement

4- Matrix

پالایش شده به روش خمیر کاغذسازی گرمایی - مکانیکی (TMP) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که مقاومت به ضربه چندسازه‌های شامل الیاف کنف بیشتر از آرد چوبی پالایش شده است. همچنین جذب آب چندسازه‌های پالایش شده کمی بیشتر از چندسازه‌های کنف می‌باشد (Schirp & Stender, 2010). Angles و همکاران (۱۹۹۹) مطالعاتی بر روی چندسازه‌های پلی پروپیلن پر شده با آرد طبیعی پهن‌برگ و بخاردهی شده انجام دادند. نتایج آزمون‌ها در شدت‌های مختلف بخاردهی نشان داد که انرژی سطحی و سطح ویژه ظاهری افزایش یافته است. همچنین این چندسازه‌ها با افزایش مقدار الیاف میزان جذب رطوبت بالاتری را نشان دادند. درحالی‌که نمونه‌های سازگار شده با انیدریدمالئیک جذب آب کمتری از خود نشان دادند (Angles *et al.*, 2010). عنایتی و همکاران (۱۳۸۸) طی پژوهش‌هایی بر روی پودر چوب کاج و بررسی اثر شدت بخاردهی بر روی خواص گرمایی در سطوح دمایی ۱۴۰، ۱۵۵ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد نشان دادند که حذف همی سلولزها طی عمل بخاردهی منجر به افزایش پایداری گرمایی آرد چوب و همچنین چندسازه ساخته شده از آن به ویژه در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد شد (Enayati *et al.*, 2009). Debzi و همکاران (۱۹۹۱) طی بررسی بر روی افزودن پودر چوب بخاردهی شده به چندسازه‌های چوب پلاستیک به این نتیجه رسیدند که الیاف طبیعی بخاردهی شده موجب کاهش جذب آب و همچنین افزایش مقاومت به شکست کامپوزیت حاصل می‌شود (Debzi *et al.*, 2010). Brugnago و همکاران (۲۰۱۰)، در طی تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که بخاردهی با فشار بالا، یکی از تکنیک‌های مؤثر برای تجزیه مواد لیگنوسلولزی می‌باشد و منجر به حذف همی سلولزها و لیگنین الیاف می‌گردد، درحالی‌که جزء سلولزی، به دلیل هیدرولیز مناطق آمورف به سطح بالایی از بلورینگی می‌رسد. بنابراین بخاردهی منجر به خواص بهتر چندسازه‌ها می‌شود (Brugnago *et al.*, 2010). این تحقیق با هدف بررسی اثر

آب دوستی آرد از طریق کاهش دسترس پذیری گروه‌های هیدروکسیل به عنوان عامل آب دوست در مواد لیگنوسلولزی مورد هدف می‌باشد. تمام ترکیبات اصلی چوب (سلولز، همی سلولز و لیگنین) آب دوست هستند ولی در میان آنها همی سلولز بیشترین و لیگنین کمترین قطبیت را دارند (Mosier *et al.*, 2005). گروه‌های عاملی هیدروکسیل (OH) دلیل آب دوستی این ترکیبات است. صرف نظر از وجود این گروه‌ها، در دسترس بودن آنها نیز عامل مهمی بشمار می‌آید. از بین عوامل اصلی تشکیل دهنده چوب، تمام گروه‌های هیدروکسیل همی سلولز در دسترس بوده، درحالی‌که در سلولز تنها گروه‌های هیدروکسیل بخش‌های غیر بلوری آن (حدود ۴۰ درصد) در دسترس می‌باشند (Mohanty *et al.*, 2005). روش‌های مختلفی برای بهبود سازگاری میان آرد طبیعی و پلیمرهای گرماترم بکار گرفته شده است (Kazayawoko *et al.*, 1999; Albano *et al.*, 2001; Nair *et al.*, 2001; Ibach & Clemons, 2007). به طوری که عمل آوری گرمایی چوب (بخاردهی) یکی از روش‌های متداول برای کاهش جذب آب و بهبود ثبات ابعادی آن از راه کاهش گروه‌های هیدروکسیل (بر اثر تخریب همی سلولزها) می‌باشد (Li *et al.*, 2007). همچنین عمل آوری گرمایی چوب می‌تواند منجر به سازگاری بهتر مواد لیگنوسلولزی با ماتریس پلیمری (به دلیل تخریب همی سلولزها و کاهش آب دوستی چوب) شود (Enayati *et al.*, 2009). تیمار حرارتی به طور گسترده برای بهبود خواص مواد لیگنوسلولزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تیمار حرارتی باعث افزایش ثبات ابعادی، مقاومت به پوسیدگی و کاهش جذب آب و رطوبت تعادل چوب می‌شود. Ibrahim و همکاران در سال ۲۰۱۰، از بخاردهی برای اصلاح الیاف درخت موز در ساخت چندسازه چوب پلاستیک استفاده و مشاهده کردند که گروه هیدروکسیل که در بیک ۳۴۱۵ بود به خوبی در نمودار نمایان بود که این گروه شامل آب جذب شده، الکل اولیه و ثانویه آلیفاتیک موجود در سلولز و همی سلولز و لیگنین است (Ibrahim *et al.*, 2010). Schirp و همکاران (۲۰۱۰) ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده با الیاف کنف و آرد چوبی

Priex Resins Solvay به مقدار ۳ درصد در کلیه تیمارها استفاده شد.

### بخاردهی آرد

فرایند بخاردهی در آزمایشگاه گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ پردیس منابع طبیعی دانشگاه تهران، به مدت ۱ ساعت و در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. در این روش آب و مواد لیگنوسولوزی با نسبت ۲۰ به ۱ در دیگ پخت و تحت فشار ۷۰۰ کیلوپاسکال بخاردهی شد. پس از پایان عمل‌آوری گرمایی، آرد در آن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک گردید.

### ساخت نمونه‌های آزمونی

پلی‌پروپیلن بازیافتی و آرد چوب و سازگارکننده (MAPP) ابتدا مطابق با ترکیب تعیین شده در جدول ۱، توزین شده و بعد در کیسه‌های جداگانه‌ای قرار داده شدند. فرایند اختلاط مواد در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران و با استفاده از دستگاه مخلوط‌کن داخلی HAAKE BUCHLER مدل SYSTEM 90HBI با ظرفیت ۳۰۰<sup>cc</sup> انجام شد. دمای اختلاط ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۶۰ دور بر دقیقه و زمان رسیدن به گشتاور ثابت برای اختلاط ۱۰ دقیقه منظور گردید.

آزمون طیف‌سنجی به منظور بررسی اثر بخاردهی بر روی گروه‌های عاملی ترکیبات اصلی تشکیل‌دهنده چوب (شامل ترکیبات اصلی سلولز، همی‌سلولز و لیگنین) و مشاهده تغییرات این گروه‌های عاملی و بررسی ساختارهای ایجادشده توسط دستگاه FTIR مدل Thermo Nicolet nexus870 ساخت آمریکا انجام شد.

برای بررسی ساختار شیمیایی بلورین آرد چوبی بخاردهی شده از روش پراکنش اشعه X استفاده می‌شود. در این تحقیق آزمون اشعه X توسط دستگاه X-Ray Diffraction مدل STADI MP بر روی نمونه‌ها انجام شد. آزمون در زاویه تابش  $2\theta$  در دامنه ۴۵-۱۵ درجه انجام شد. نمونه‌ها به صورت پودر مورد آزمون قرار گرفتند.

افزودن الیاف صنوبر تیمار نشده و شده با بخار، بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه ساخته‌شده از پلی‌پروپیلن بازیافتی انجام شد.

### مواد و روش‌ها

#### تقویت‌کننده

گونه صنوبر پس از تهیه از جنگل آموزشی دانشگاه تهران، ابتدا توسط دستگاه آسیاب آزمایشگاهی به ابعاد کوچک‌تر تبدیل شد و در ادامه ذرات عبور کرده از الک با مش ۴۰ و باقیمانده بر روی مش ۶۰ جمع‌آوری و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

#### پلیمر

از آنجاکه در کشور ایران هنوز مواد زائد شهری با برنامه مدون از هم تفکیک نمی‌شوند. همچنین فروشندگان ظروف یکبارمصرف هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد مواد اولیه تشکیل‌دهنده این ظروف نداشتند و به دلیل امکان وجود ناخالصی در مواد اولیه این ظروف، از این رو در این تحقیق به منظور جلوگیری از هرگونه خطا و دقت عمل بیشتر، تصمیم گرفته شد، این ماده (پلی‌پروپیلن بازیافتی) به روش آزمایشگاهی تهیه شود. به همین منظور پلی‌پروپیلن از شرکت Hyundai Petrochemical Co. و با نام تجاری Seetec و شاخص جریان مذاب (MFI)  $10\text{min}^{-1} / 230^{\circ}\text{C}$  تهیه شد. به منظور مشابه‌سازی اثر بازیافت، پلی‌پروپیلن تحت تأثیر دو مرحله تخریب ترمومکانیکی با استفاده از اکسترودر دو مارپیچ همسوگرد Brabender قرار گرفت. بعد از هر بار اکسترودر کردن، مواد خروجی به وسیله خردکن به گرانول تبدیل شد.

#### سازگارکننده

برای ایجاد سازگاری میان الیاف سلولزی (قطبی) و پلی‌اتیلن بازیافتی (غیر قطبی) از مالئیک انیدرید پیوند شده (Graf) با پلی‌پروپیلن (MAPP) با شاخص جریان مذاب برابر  $10\text{min}^{-1} / 230^{\circ}\text{C}$  و با نام تجاری Solvay ساخت شرکت

جدول ۱- اجزای تشکیل دهنده ترکیبات مختلف (wt%)

sWF%	WF%	MAPP%	rPP%	Formulation	شماره تیمار
۰	۴۰	۳	۵۷	rPP+WF+MAPP	۱
۴۰	۰	۳	۵۷	rPP+sWF+MAPP	۲
۲۰	۲۰	۳	۵۷	rPP+WF+sWF+MAPP	۳

rPP= Recycled Polypropylene  
MAPP= Maleic anhydride polypropylene  
WF= wood flour  
sWF= Steamed wood flour

شده و نشده آرد چوب صنوبر را در دامنه ۴۰۰ تا ۴۰۰۰  $\text{cm}^{-1}$  نشان می‌دهد. در این طیف دو محدوده عمده قابل شناسایی است. محدوده ۱۴۰۰-۶۰۰  $\text{cm}^{-1}$  به دلیل کمتر بودن میزان انرژی جذب شده و ارتعاش خمشی بیشتر پیوندهای موجود در مولکول، ناحیه‌ای پیچیده و شلوغ است و به این ناحیه، ناحیه اثر انگشت می‌گویند و تشخیص همه باندهای جذب در این ناحیه مشکل می‌باشد. محدوده ۴۰۰۰-۱۴۵۰  $\text{cm}^{-1}$  به دلیل بالاتر بودن میزان انرژی جذب شده که ناشی از ارتعاش کششی پیوندهای قوی‌تر است، به ناحیه فرکانس گروهی معروف است. با مقایسه بین طیف‌های به‌دست آمده نمونه‌های بخاردهی شده و نشده مشاهده شد که در نمونه‌های بخاردهی شده در محدوده ۳۴۵۰-۳۳۰۰  $\text{cm}^{-1}$  پیوند کششی قوی O-H از نظر شدت و پهنا کاهش یافته است. به عبارت دیگر در نمونه‌های بخاردهی شده شدت پیوند کششی قوی O-H مشاهده شد. البته یک جذب دوتایی از ارتعاشات کششی C-H در محدوده ۳۰۰۰-۲۸۰۰  $\text{cm}^{-1}$  متمرکز شده است، در نمونه‌های بخاردهی شده در محدوده ۳۰۰۰-۲۸۰۰  $\text{cm}^{-1}$  پیوند کششی C-H از نظر شدت و پهنا نسبت به نمونه‌های بخاردهی نشده کاهش یافته است. محدوده ۱۷۵۰-۱۶۰۰  $\text{cm}^{-1}$  کشش C=O غیر مزدوج و مرتبط با گروه‌های کربونیل، آلدهید و کتون موجود در لیگنین و همی سلولزها (زایلان) می‌باشد. در نمونه بخاردهی نشده کشش C=O در محدوده ۱۷۵۰-۱۷۰۰  $\text{cm}^{-1}$  پیوند کربونیل شدیدتری ایجاد شده است. البته شدت جذب پیوند C=C در محدوده ۱۶۶۰-۱۶۱۸  $\text{cm}^{-1}$  که مربوط به ساختار

برای ساخت نمونه‌های نهایی توسط دستگاه قالب‌گیری تزریقی، مخلوط چندسازه تولیدشده به وسیله دستگاه خردکن نیمه‌صنعتی شرکت WIESER مدل WG-LS 200/ 200 تبدیل به گرانول گردید. گرانول‌های ساخته شده در آون آزمایشگاهی خشک شده و آماده مرحله تزریق شدند. ساخت نمونه‌های آزمایشی توسط دستگاه اکسترودر تک ماردون مجهز به سیستم قالب‌گیری فشاری در دمای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد و فشار تزریق ۳ مگا پاسکال انجام شد. پس از عملیات قالب‌گیری نمونه‌های دمبلی شکل (برای آزمون کشش)، ساده (برای آزمون خمش)، شکاف‌دار (برای آزمون ضربه) و خواص فیزیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۷ هفته به ترتیب مطابق استانداردهای ASTM D-790-10، ASTM D-638-10، ASTM D7031-04 و 256-10 مورد آزمون قرار گرفتند. برای هر یک از آزمون‌ها سه تکرار در نظر گرفته شد.

### تجزیه و تحلیل آماری

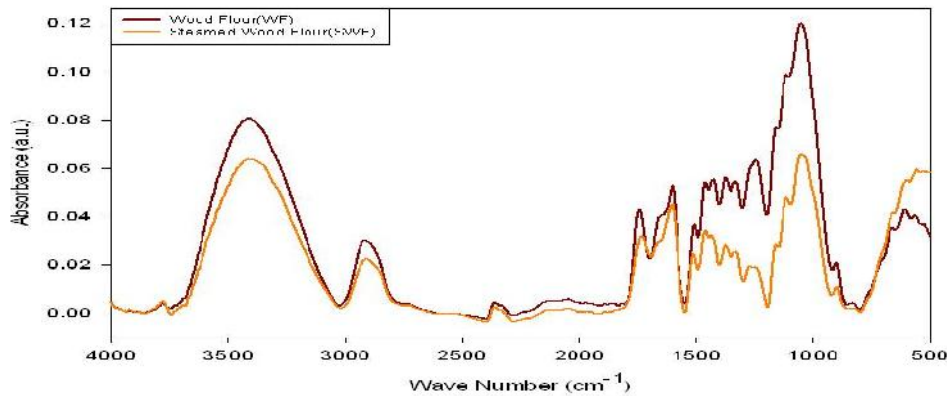
تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و در نهایت مقایسه و گروه‌بندی به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

### نتایج FTIR

برای بررسی تأثیر فرایند بخاردهی آرد چوب، از نمونه‌ها طیف FTIR تهیه شد. شکل ۱، طیف جذب در آرد بخاردهی

نشان می‌دهد. در نمونه بخاردهی شده شدت جذب پیوند کشش C-O در سلولز و همی سلولز در محدوده  $1050-1000$   $cm^{-1}$  کاهش داشته است.

آروماتیکی در لیگنین است کاهش داشته است. شدت جذب در محدوده  $1280-1200$   $cm^{-1}$  مربوط گروه‌های C-O-C می‌باشد که پیوند ضعیف‌تری را در نمونه‌های بخاردهی شده

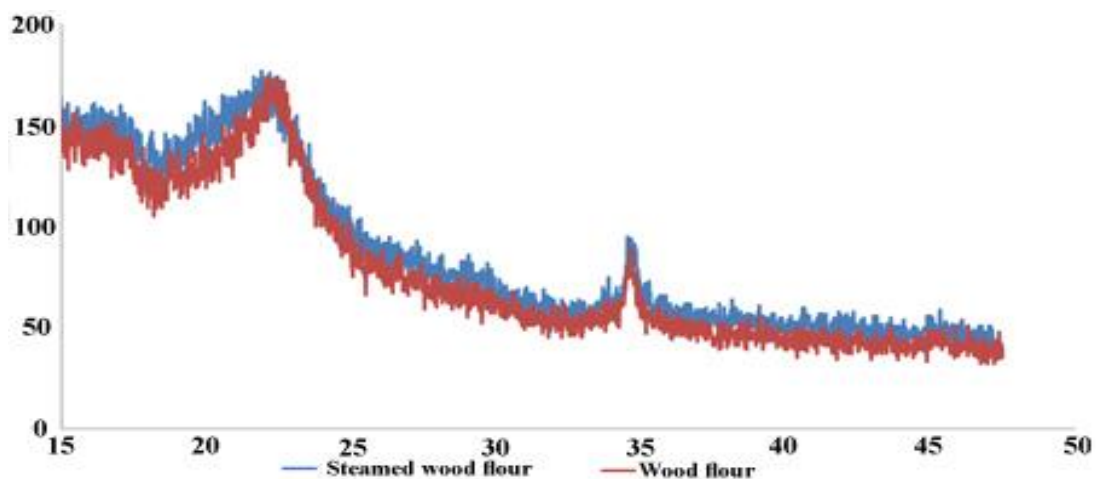


شکل ۱- طیف FTIR مربوط به آرد چوب بخاردهی شده و نشده

۲ نشان داده شده است. تغییرات پراش XRD آرد در  $2\theta = 22/5$  درجه، مربوط به سلولز می‌باشد.

آزمون تفرق اشعه X (XRD)

ترکیبات آرد چوبی بخاردهی شده و نشده به وسیله تکنیک پراش اشعه X، بررسی شد. پراش XRD، در شکل



شکل ۲- طیف XRD در آرد چوبی بخاردهی شده و نشده با درجه بین ۱۵ تا ۵۰ درجه

ضخامت ۷ هفته، در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار شد، درحالی‌که بر مقاومت و مدول کشش، مقاومت و مدول خمش و مقاومت به ضربه فاق دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار نیست. شکل‌های ۳ تا ۹ اثرات مقدار آرد

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی

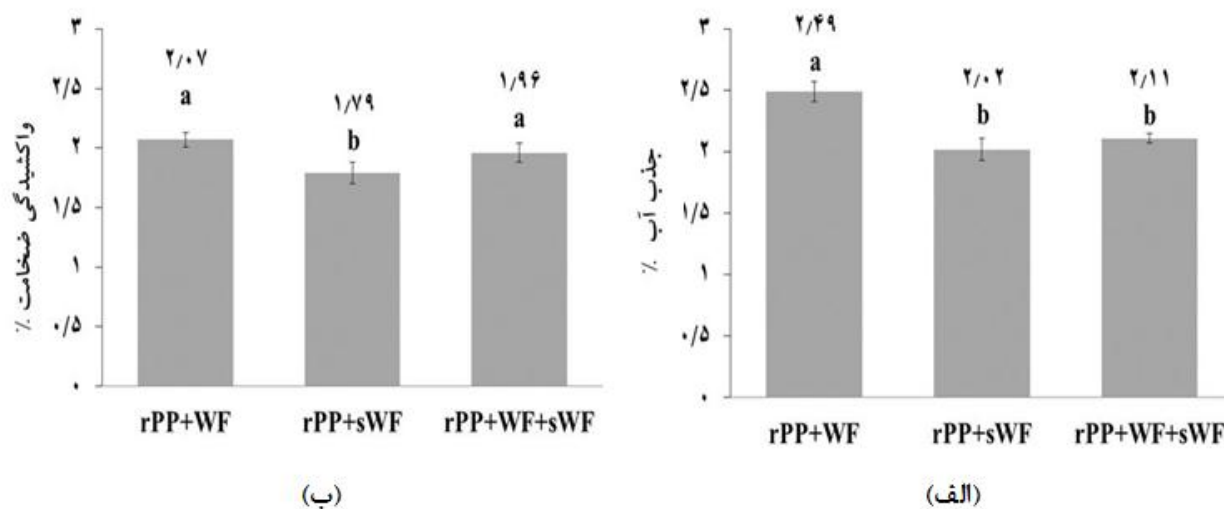
در جدول ۲، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازه ارائه شده است. اثر مقدار آرد صنوبر تیمار نشده و شده با بخار بر جذب آب و واکنشیدگی

صنوبر تیمار نشده و شده با بخار بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه را نشان می‌دهد. با توجه به وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین این ویژگی‌ها، گروه‌بندی میانگین‌ها توسط آزمون دانکن انجام شد که با حروف کوچک در این شکل‌ها مشخص شده است.

جدول ۲- آنالیز واریانس (مقدار F و سطح معنی‌دار) آرد صنوبر تیمار نشده و شده با بخار در چندسازه

سطح معنی‌داری	مقدار F	صفات
۰/۰۰۰	۳۷/۴۲۰	جذب آب ۷ هفته
۰/۰۱۳	۹/۶۸۸	واکسیدگی ضخامت ۷ هفته
۰/۴۵۷	۰/۸۹۴	مقاومت کششی
۰/۱۵۵	۳/۲۹۴	مدول کششی
۰/۱۰۸	۲/۵۸۲	مقاومت خمشی
۰/۳۱۲	۱/۴۲۲	مدول خمشی
۰/۶۶۳	۰/۴۴۱	مقاومت به ضربه فاق‌دار

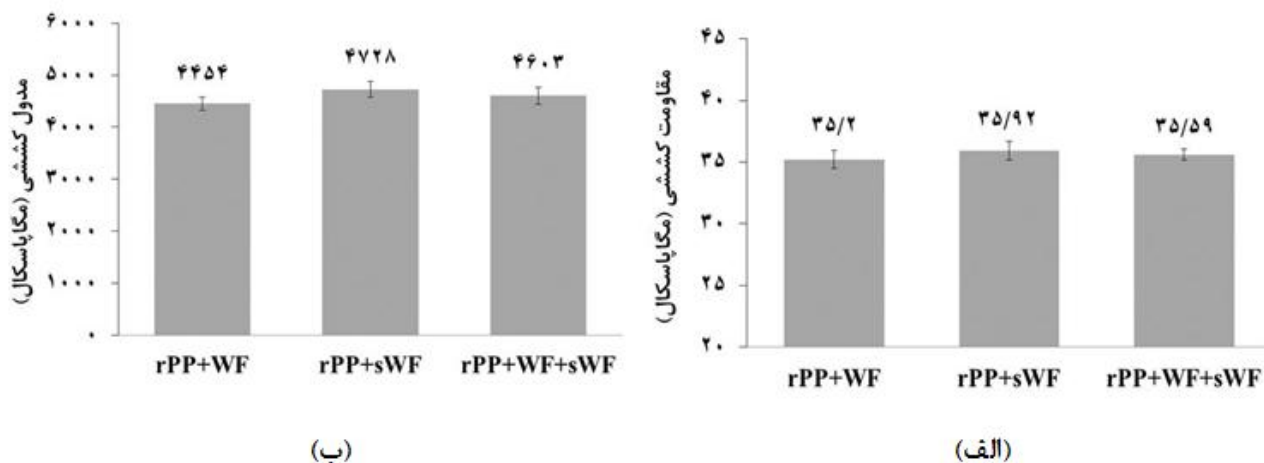
شکل ۳ (الف و ب) نشان می‌دهد با افزودن ۴۰ درصد آرد صنوبر تیمار شده با بخار به چندسازه، جذب آب و واکسیدگی ضخامت ۷ هفته، بیشترین کاهش را داشته است. این کاهش جذب آب و واکسیدگی ضخامت به ترتیب برابر با ۲۳/۳ و ۱۵/۶ درصد می‌باشد.



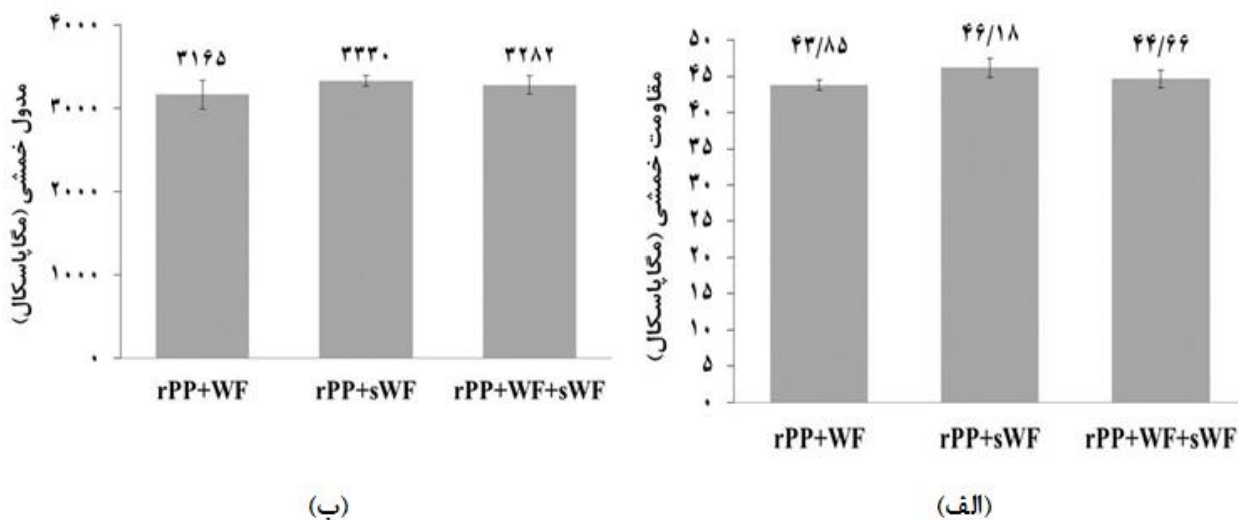
شکل ۳- اثر مقدار آرد صنوبر تیمار نشده و شده با بخار بر (الف) جذب آب و (ب) واکسیدگی ضخامت ۷ هفته

مقاومت در مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی و مقاومت به ضربه فاق‌دار به ترتیب برابر با ۲، ۵/۲، ۵/۳، ۵/۲ و ۳/۴ درصد می‌باشد.

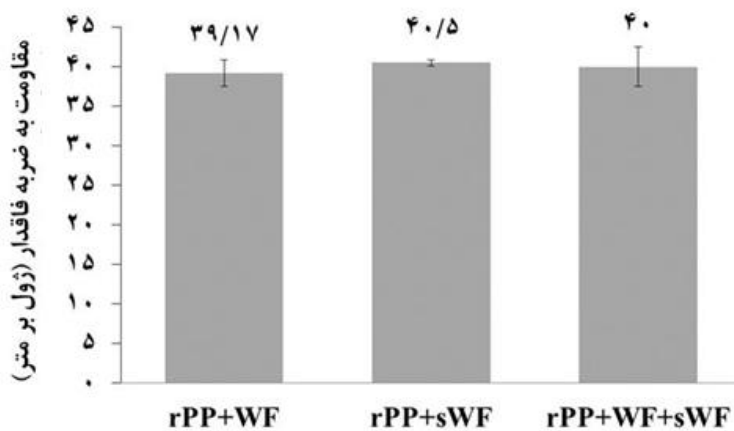
شکل‌های ۴ تا ۶ نشان می‌دهد با افزودن ۴۰ درصد آرد صنوبر تیمار شده با بخار به چندسازه، مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی و مقاومت به ضربه فاق‌دار بیشترین افزایش را داشته است. این افزایش



شکل ۴- اثر مقدار آرد صنوبر تیمار نشده و شده با بخار بر (الف) مقاومت کششی و (ب) مدول کششی



شکل ۵- اثر مقدار آرد صنوبر تیمار نشده و شده با بخار بر (الف) مقاومت خمشی و (ب) مدول خمشی



شکل ۶- اثر مقدار آرد صنوبر تیمار نشده و شده با بخار بر مقاومت به ضربه فاقدار

## بحث

فرایند بخاردهی تحت فشار و دمای بالا منجر به جدا شدن گروه‌های استیل همی سلولز و تشکیل اسید استیک و سایر اسیدهای آلی می‌شود (Mosier *et al.*, 2005). اسیدهای تشکیل شده و همچنین آب که در دمای بالا مانند اسید عمل می‌کند، به عنوان کاتالیزور عمل کرده و باعث افزایش آبکافت همی سلولز از راه شکستن پیوندهای گلیکوزیدی در همی سلولز، تشکیل قندهای منومر و تولیدات جانبی می‌شوند (Wyman *et al.*, 2005). دماهای بالاتر باعث افزایش فشار و در نتیجه افزایش نفوذ آب داغ و اسیدهای آلی به داخل دیواره سلولها و افزایش آبکافت و تخریب همی سلولز می‌شود. همی سلولز کمترین پایداری را در برابر گرما دارد و تجزیه آن از دمای ۲۲۵ درجه شروع می‌شود. پس از همی سلولز، به ترتیب سلولز و لیگنین تخریب می‌شوند (Rowell, 2012). تجزیه لیگنین از سلولز زودتر آغاز می‌شود (دمای شروع تجزیه لیگنین ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و برای سلولز حدود ۳۷۵ درجه سانتی‌گراد است) اما چون لیگنین مقاومت بیشتری در برابر گرما نشان می‌دهد (Sjostrom, 2013)، سرعت تخریب آن کمتر از سلولز است. دلیل این رفتار در لیگنین، تخریب برخی پیوندهای نسبتاً ضعیف گروه‌های آلکیلی متصل به حلقه‌های آروماتیک آن در دماهای پایین است. درحالی‌که پیوندهای قوی در حلقه‌های آروماتیک آن در دماهای بالاتر تخریب می‌شوند و این دلیل، آن را مقاوم‌ترین ترکیب چوب می‌سازد (Caballero *et al.*, 1997; Kozłowski & Władyka-Przybylak, 2008). تجزیه سلولز منجر به تولید گازهای فرار می‌شود ولی تجزیه لیگنین منجر به تولید قطران و زغال می‌شود (Sjostrom, 2013).

طیف تفرق اشعه X نشان داد، تیمارهای آرد بخاردهی شده و نشده تقریباً مشابه هم هستند، در واقع بخاردهی تأثیری بر روی بلورینگی گذاشته ولی تغییرات آن بسیار جزئی هستند و این نشان می‌دهد که تیمار بخاردهی اثر چندان زیادی روی ساختار کریستالین یا بلورین سلولز نداشته است (Ziaei *et al.*, 2011).

هنگامی که آب به داخل مواد مرکب نفوذ می‌کند، سبب واکنشیدگی و تخریب آرد می‌شود و ساختار پلیمر نیز به وسیله فرایندهایی مانند تغییر جهت گیری زنجیره‌های پلیمر و هم‌کشیده شدن آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. علاوه بر این، جذب آب سبب از دست رفتن سازگاری بین آرد و ماتریس می‌شود که سبب جدا شدن اتصالات و ضعیف شدن چسبندگی در محل اتصال می‌شود (Ghasemi & Kord, 2009). حضور گروه‌های هیدروکسیل و گروه‌های قطبی دیگر در فیبرها باعث سازگاری ضعیف بین پرکننده و پلیمر می‌شود. این امر سبب به وجود آمدن ترک و شکاف و چسبندگی ضعیف سطح مشترک می‌شود (Razavi *et al.*, 2006). کاهش گروه‌های هیدروکسیل و خاصیت آب‌دوستی آرد در تیمارهای حرارتی - رطوبتی چوب اثبات شده است (Tjeerdsmā & Militz, 2005). تخریب گروه‌های هیدروکسیل همی سلولز موجب کاهش آب‌دوستی آن می‌شود. از آنجاکه با بخاردهی، گروه‌های هیدروکسیل حذف می‌شوند، در نتیجه جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاهش می‌یابد.

بخاردهی سبب کاهش گروه‌های هیدروکسیل آزاد می‌شود که در نتایج مشخص است. تیمار آرد بخاردهی نشده بیشترین جذب آب و واکنشیدگی ضخامت و تیمار شامل آرد بخاردهی شده کمترین جذب آب و واکنشیدگی ضخامت را دارند که این پدیده به علت بخاردهی آرد می‌باشد که با نتایج (Renneckar *et al.*, 2006) مطابقت دارد.

حضور گروه‌های هیدروکسیل و گروه‌های قطبی دیگر در آرد باعث سازگاری ضعیف بین پرکننده و پلیمر می‌شود. این امر سبب به وجود آمدن ترک و شکاف و چسبندگی ضعیف سطح مشترک می‌شود. در واقع تیمار حرارتی منجر به بهبود خواص مواد لیگنوسلولزی در محصولات چندسازه چوبی می‌شود که علت این امر، کاهش گروه‌های هیدروکسیل در مواد لیگنوسلولزی به دلیل تخریب بخشی از همی سلولز در اثر این تیمار حرارتی می‌باشد. تخریب گروه‌های هیدروکسیل همی سلولز، موجب کاهش آب‌دوستی آن می‌شود و کاهش آب‌دوستی آرد چوب موجب سازگاری



کششی، مقاومت و مدول خمشی و مقاومت به ضربه فاق‌دار هرچند از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی ترکیب شامل آرد بخاردهی نشده مقاومت کمتری را به خود اختصاص داد. با عمل بخاردهی مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی و مقاومت به ضربه فاق‌دار به ترتیب ۲، ۵/۲، ۵/۳، ۵/۲ و ۳/۴ درصد افزایش یافت. هرچند که این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود.

### منابع مورد استفاده

- 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. *Material Research Innovations*, 4(5-6): 284-293.
- Angles, M. N., Salvado, J., and Dufresne, A., 1999. Steam-exploded residual softwood-filled polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 74(8): 1962-1977.
- Brugnago, R. J., Satyanarayana, K. G., Wypych, F., and Ramos, L. P., 2010. The effect of steam explosion on the production of sugarcane bagasse/polyester composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(4): 364-370.
- Caballero, J. A., Font, R., and Marcilla, A., 1997. Pyrolysis of Kraft lignin: yields and correlations. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 39(2): 161-183.
- Debzi, E., Excoffier, G., Toussaint, B., and Vignon, M. R., 1991. Steam-explosion treatment of wood: effects of pressure and time on cellulose behavior. *Steam-Explosion Techniques—Fundamental and Industrial Applications*. Gordon and Beach Science, Philadelphia, PA, 141-161.
- Enayati, A. A., Hosseinaei, O., Wang, S., Mirshokraie, S. A., and Tajvidi, M., 2009. Thermal properties of wood-plastic composites prepared from hemicellulose-extracted wood flour. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 22(3): 171-181. (In Persian)
- Ghasemi, I., and Kord, B., 2009. Long-term water absorption behaviour of polypropylene/wood flour/organoclay hybrid nanocomposite. *Iranian Polymer Journal*, 18(9): 683-691.
- Ibach, R. E., and Clemons, C. M., 2007. Effect of acetylated wood flour or coupling agent on moisture, UV, and biological resistance of extruded woodfiber-plastic composites. *Wood Protection, Forest Products Society, Madison, WI*, 139-147.
- Ibrahim, M. M., Dufresne, A., El-Zawawy, W. K., and Agblevor, F. A., 2010. Banana fibers and

بهتر آن با پلیمرهای غیر قطبی مانند پلی‌پروپیلن بازیافتی می‌شود و این باعث چسبندگی بهتر و افزایش خواص مکانیکی می‌شود. علاوه بر این افزایش جزئی بلورینگی آرد چوبی در اثر بخاردهی دلیل دیگر افزایش محدود مقاومت‌های مکانیکی می‌باشد. بر اثر تیمار حرارتی، در کنار حذف همی سلولز، احتمال هیدرولیز بخشی از مناطق آمرف سلولز وجود دارد (احتمال تخریب و هیدرولیز در مناطق کریستالی سلولز با توجه به ساختار مقاوم آن در برابر حرارت و اسیدهای آلی ضعیف تا متوسط، بسیار کمتر می‌باشد). حذف بخشی از مناطق آمرف سلولز باعث افزایش درجه بلورینگی آرد و در نتیجه افزایش مقاومت آنها می‌شود (Youngquist *et al.*, 1995; Yildiz & Güümü kaya, 2007). در این تحقیق، نمونه‌های حاوی آرد بخاردهی شده دارای مقاومت مکانیکی کمی بیشتر نسبت به نمونه‌های حاوی آرد بخاردهی نشده است که با نتایج (Brugnago *et al.*, 2010) مطابقت دارد.

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش شامل موارد ذیل است:

- ۱- بخاردهی سبب کاهش گروه‌های هیدروکسیل همی سلولز و افزایش گروه کربونیل ساختار آروماتیکی لیگنین شد.
  - ۲- بخاردهی تأثیر جزئی بر بلورینگی آرد داشت و این نشان می‌دهد که تیمار بخاردهی اثر چندانی روی ساختار کریستالین یا بلورین سلولز نداشته است
  - ۳- بخاردهی آرد سلولزی، منجر به تجزیه همی سلولز شده که موجب کاهش آب‌دوستی آن می‌شود.
  - ۴- کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی آرد بخاردهی نشده بیشترین جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۷ هفته غوطه‌وری را از خود نشان داد. با عمل بخاردهی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت به ترتیب ۲۳/۳ و ۱۵/۶ درصد کاهش یافت.
- در بررسی خواص مکانیکی شامل مقاومت و مدول

- Rowell, R. M. (Ed.). 2012. Handbook of wood chemistry and wood composites. CRC press. 703p
- Schirp, A., and Stender, J., 2010. Properties of extruded wood-plastic composites based on refiner wood fibres (TMP fibres) and hemp fibres. *European Journal of Wood and Wood Products*, 68, 219-231.
- Sjostrom, E., 2013. Wood chemistry: fundamentals and applications. Elsevier. 293p
- Shokrieh, M., and Sonbolestan, S. E., 2007. Effects of Structural Parameters on Mechanical Properties of Polymer/Clay Nanocomposites. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 20, 187-195. (In Persian)
- Tjeerdma, B.F., and Militz, H., 2005. Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 63(2): 102-111.
- Wyman, C. E., Dale, B. E., Elander, R. T., Holtzapple, M., Ladisch, M. R., and Lee, Y. Y., 2005. Coordinated development of leading biomass pretreatment technologies. *Bioresource technology*, 96(18): 1959-1966.
- Youngquist, J. A., Myers, G. E., Muehl, J. H., Krzysik, A. M., and Clemons, C. M., 1995. Composites from recycled wood and plastics. US Environmental Protection Agency, Risk Reduction Engineering Laboratory. 127p
- Yildiz, S., and Gümü kaya, E., 2007. The effects of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwood. *Building and Environment*, 42(1): 62-67.
- Ziaei, H., Khademi Eslam, H., Bazyar, B., and Nazarnezhad, N., 2011. Thermal Properties and X-Ray Diffraction of Wood Plastic Nanocomposite (Effect of Coupling Agent and Nanoclay Content). *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 26(1): 151-160. (In Persian)
- microfibrils as lignocellulosic reinforcements in polymer composites. *Carbohydrate polymers*, 81(4): 811-819.
- Kazayawoko, M., Balatinecs, J. J., and Matuana, L. M., 1999. Surface modification and adhesion mechanisms in woodfiber-polypropylene composites. *Journal of Materials Science*, 34(24): 6189-6199.
- Kozłowski, R., and Władyska-Przybylak, M., 2008. Flammability and fire resistance of composites reinforced by natural fibers. *Polymers for Advanced Technologies*, 19(6): 446-453.
- Li X., Tabi L. G., and Panigrahi S., 2007. Chemical Treatment of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: A Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1): 25-33.
- Mohanty, A. K., Misra, M. and Drzal, L. T., 2005. *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL. 896p.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M., and Ladisch, M., 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 96(6): 673-686.
- Nair, K. M., Thomas, S., and Groeninckx, G., 2001. Thermal and dynamic mechanical analysis of polystyrene composites reinforced with short sisal fibres. *Composites Science and Technology*, 61(16), 2519-2529.
- Razavi, N., Jafarzadeh, F., Oromiehie, A., Langroudi, A. E., 2006. Mechanical properties and water absorption behavior of chopped rice-husk filled polypropylene composite. *Iranian Polymer Journal*, 4(9): 757-766.
- Rennekar, S., Zink-Sharp, A., and Glasser, W. G., 2006. Fiber surface modification by steam-explosion: sorption studies with co-refined wood and polyolefins, *Wood and Fiber Science*, 38(3): 427-438.

## The effect of water vapor treatment of wood flour on physical and mechanical properties of hybrid composite made of poplar wood and recycled polypropylene

A. Samariha<sup>1</sup>, and H. Khademi Eslam<sup>2\*</sup>

1-Young Researchers and Elites Club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2\*- Corresponding author, Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email:hkhademieslam@gmail.com

Received: Dec., 2017

Accepted: Aug., 2017

### Abstract

The effect of adding steamed and non-steamed wood flour on physical and mechanical properties of the composites made of recycled polypropylene was investigated. Recycled polypropylene was used as a basic matrix at a 57% level, and poplar wood flour non treated and treated at 180 °C for 1 h were used at a constant level of 40%. The ratio of steamed wood flour to non-steamed wood flour in composites was 100:0, 50:50, and 0:100, respectively. For all components, the coupling agent was maleic anhydride at a level of 3%. Mixing was done using an internal mixer at 180 °C and 60 rpm, and the samples were fabricated by injection molding method. To investigate the effect of steam treatment on the wood flour structure and crystallization, X-ray diffraction analysis and FTIR spectra were used. The results showed that the steaming had no significant effect on strength properties. But steaming increased mechanical properties and physical properties of composites.

**Keywords:** Composites, recycled polypropylene, steamed fiber, XRD, FTIR.