



مجله علمی فناوری و صنایع چوب و جنگل

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۸

۱۷-۲۹

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

DOI: 10.22069/jwfst.2020.16731.1813

اثر استفاده از دو نوع جفت‌کننده در ساخت تخته خرده‌چوب صنوبر- پلی‌پروپیلن بر خواص فیزیکی و مکانیکی آن

امیرمحمد شربتی^۱، * وحید وزیری^۲، فرشید فرجی^۲ و فرامرز رستمی چراتی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد فرآورده‌های چندسازه چوبی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

^۲ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

^۳ دانشیار گروه شیمی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۳

چکیده

سابقه و هدف: فرآورده‌های چندسازه چوب پلاستیک در طی سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. قسمت عمده‌ای از ترکیب این چندسازه را مواد لیگنوسلولزی تشکیل می‌دهد. یکی از معایب الیاف طبیعی، ناسازگاری بین الیاف طبیعی آب‌دوست و پلیمرهای آب‌گریز می‌باشد. این مشکل را می‌توان با افزودن ماده سازگارکننده به ترکیب کاهش داد؛ زیرا در اثر افزودن جفت‌کننده، فصل مشترک بین دو فاز الیاف سلولزی و ماتریس پلیمری بهبود می‌یابد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر دو نوع جفت‌کننده بر خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌خرده حاصل از پلی‌پروپیلن- صنوبر انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، از نسبت اختلاط خرده‌چوب صنوبر به پلی‌پروپیلن در سطح ۱۰:۹۰ و از رزین فنول فرمالدهید به میزان ۸ درصد وزن خشک ماده اولیه استفاده شد. از دو نوع جفت‌کننده تری اتوکسی متیل سیلان و مالئیک انیدرید پیوند شده به پلی‌پروپیلن به میزان ۶ درصد وزن خشک پلی‌پروپیلن استفاده شد. در ضمن جفت‌کننده‌ها به دو روش مختلف (درون رزین و بر روی ذرات پلی‌پروپیلن) مورد استفاده قرار گرفتند. پس از فرآیند مخلوط کردن مواد اولیه با یکدیگر، کیک خرده‌چوب در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان ۷ دقیقه تحت پرس گرم قرار گرفت. برای انجام آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی از استانداردهای اروپایی مجموعه EN استفاده شد. خصوصیات فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها با استفاده از آزمون فاکتوریل در سطح معنی‌داری ۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزودن هر دو نوع جفت‌کننده سیلان و MAPP سبب بهبود مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی و کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته‌ها در مقایسه با نمونه شاهد (بدون جفت‌کننده) گردید. جفت‌کننده MAPP در مقایسه با جفت‌کننده تری اتوکسی متیل سیلان خواص مطلوب‌تری را در تخته‌ها ایجاد کرد. روش افزودن جفت‌کننده بر روی ذرات پلی‌پروپیلن نسبت به درون رزین، باعث بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها شد؛ زیرا در روش افزودن جفت‌کننده بر روی ذرات پلی‌پروپیلن، همه مقادیر جفت‌کننده روی ذرات پلی‌پروپیلن قرار گرفته و بنابراین احتمال حضور جفت‌کننده در سطح مشترک بین فاز پلیمر و فاز تقویت‌کننده افزایش می‌یابد.

* مسئول مکاتبه: vahidvaziri@gmail.com

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، استفاده از جفت‌کننده به‌طور معنی‌داری پایداری ابعاد تخته‌ها را افزایش داد. با افزودن جفت‌کننده، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی تخته‌ها افزایش یافت. در مقایسه با خواص تخته‌های تولید شده با استاندارد EN، با روش افزودن MAPP بر روی پلی‌پروپیلن می‌توان تخته‌خرده‌چوبی با خواص مطلوب به‌منظور استفاده در شرایط مرطوب (تیپ ۳) تولید نمود.

واژه‌های کلیدی: تری اتوکسی متیل سیلان، جفت‌کننده، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی، مالٹیک انیدرید پیوندشده به پلی‌پروپیلن

مقدمه

با نگاهی به وضعیت جنگل‌های شمال کشور که تنها ۷/۵ درصد از مساحت کشور را در برمی‌گیرد و با همین وضعیت اصلی‌ترین منبع داخلی تأمین چوب‌آلات و مواد اولیه مصنوعات چوبی و کاغذی است. حساسیت و آسیب‌پذیری آن به‌وضوح نمایان شده و لزوم یافتن جایگزینی مناسب و اتکا به سایر منابع و مواد برای صنعت چوب خودنمایی می‌کند. امروزه جنس صنوبر با توجه به تند رشد بودن در کشورهای مختلف توسعه زیادی یافته و به‌خصوص در زراعت چوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرعت رشد زیاد این درختان سبب شده است تا بتوانند در دوره‌های زمانی کوتاه ۱۰ تا ۲۰ ساله چوب فراوانی تولید نمایند (۸). این گونه‌ها با تولید بیش از دو میلیون مترمکعب چوب در سال، نقش ارزنده‌ای در تأمین منابع سلولزی و کاهش فشار بر جنگل‌های طبیعی ایفا می‌کنند (۳).

با توجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیازها، احتیاج به طیف گسترده و منابع عظیمی از مواد به‌شدت احساس می‌شود، در این میان مواد مرکب (کامپوزیت‌ها) معرف قدم‌های بزرگی هستند که در راه تکامل مواد مهندسی برداشته شده است. با ترکیب مواد لیگنوسلولزی یا بازمانده‌های کشاورزی با پلیمرها گروه جدیدی از کامپوزیت‌ها با خصوصیات بهتری می‌توان ایجاد نمود که سرانجام این امر منجر به تولید کامپوزیت‌های چوب پلاستیک شده است که امروزه

به‌دلیل خواص خوبی که دارند دامنه کاربرد آن‌ها رو به گسترش است (۷). در ساخت این فرآورده از پلیمرهایی مانند پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن و مواد سلولزی مانند آرد و الیاف چوب، مواد لیگنوسلولزی مانند کتان، کنف، بامبو، کاه و کلش و ... استفاده می‌شود. بسیاری از مواد پرکننده معدنی یا آلی با فاز پلیمری سازگاری نداشته و نمی‌توانند با آن اتصال برقرار کنند. بنابراین برای بهبود چسبندگی در سطح مشترک بین فاز تقویت‌کننده و فاز پلیمر از موادی به نام جفت‌کننده استفاده می‌شود. این مواد با تشکیل پیوندهای بین مولکولی در سطح تماس ماده پرکننده و شبکه پلیمری، باعث چسبندگی در سطح مشترک می‌شوند. به‌این‌ترتیب تنش وارده به کامپوزیت به‌نحوی بهتر به فاز تقویت‌کننده انتقال می‌یابد و در نتیجه استحکام کامپوزیت بهبود می‌یابد (۱۰).

هان و همکاران (۱۹۹۸) در پژوهشی خواص تخته‌خرده‌های نی و کاه گندم ساخته‌شده با چسب اوره فرمالدهید و با استفاده از عوامل جفت‌کننده سیلان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که ذرات ریز برای ساخت تخته مناسب‌تر از ذرات درشت هستند. هم‌چنین از سه نوع عامل جفت‌کننده سیلان به میزان ۲ درصد (وزن خشک چسب) استفاده شد. نتیجه‌گیری‌ها نشان داد که افزودن ۲ درصد عامل جفت‌کننده سیلان باعث بهبود تمام ویژگی‌های تخته می‌شود و برای تخته‌خرده کاه عامل جفت‌کننده آمینوسیلان مناسب‌ترین گزینه است (۵).

حافظی و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر استفاده از عامل جفت‌کننده آمینوسیلان^۱ در بهبود اتصالات چسب اوره فرمالدهید در تخته‌خرده کاه گندم پرداختند. نتایج نشان داد که با افزودن عامل جفت‌کننده آمینوسیلان به تخته کاه گندم مقدار چسبندگی داخلی، مدول الاستیسیته و مدول خمشی تخته‌ها افزایش و میزان پایداری ابعاد آن‌ها بهبود می‌یابد. مقدار بهینه عامل جفت‌کننده آمینوسیلان برای بهبود چسبندگی داخلی، مدول الاستیسیته و واکنشیدگی ضخامت تخته‌های مورد مطالعه ۱۰ درصد و این مقدار برای بهبود مدول خمشی ۵ درصد بود (۴).

صنوبرها از جمله گونه‌های درختی هستند که با سرعت رشد قابل ملاحظه خود، توانایی تولید محصول زیادی را در دوره‌های کوتاه‌مدت دارا می‌باشند. چوب این درختان از ویژگی‌ها و خصوصیات منحصر به فردی برخوردار است که امکان استفاده از آن را در صنایع متعددی هم‌چون تخته‌خرده‌چوب، کاغذسازی، کبریت‌سازی و تخته لایه فراهم کرده است. در این پژوهش سعی شده است به منظور ارتقاء قابلیت‌های کاربردی تخته‌خرده‌چوب با جایگزینی بخشی از خرده‌چوب نم‌پذیر و کم‌دوام صنوبر با ماده پلی‌پروپیلن با توجه به آب‌گریز بودن ذرات پلیمر، خواص جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته را کاهش داد و هم‌چنین برای بهبود چسبندگی در سطح مشترک بین فاز تقویت‌کننده و فاز پلیمر از دو نوع جفت‌کننده سیلان و مالئیک انیدرید به روش‌های مختلفی استفاده شد و تأثیر آن بر خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌خرده‌چوب حاصل از صنوبر- پلی‌پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت. البته لازم به ذکر است از این نوع روش‌های اختلاط در هیچ کجای دنیا استفاده نشده است و جزء نوآوری این پژوهش می‌باشد.

هیسرو و همکاران (۲۰۰۴) اثر افزودن سازگارکننده‌ها بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن و آرد چوب را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ضعف خواص مکانیکی کامپوزیت‌های اصلاح‌نشده به علت اتصال ضعیف میان ماتریس پلیمری و الیاف چوب است و مدول کششی، مقاومت کششی و مقاومت به ضربه با افزودن مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی‌پروپیلن بهبود می‌یابد (۶).

ادیکاری و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند با افزودن مالئیک انیدرید پلی‌پروپیلن به میزان ۳ تا ۵ درصد وزنی به کامپوزیت بهبود معنی‌داری در ثبات ابعادی و خصوصیات مکانیکی ایجاد شد (۱).

عنایتی و همکاران (۲۰۰۹) امکان استفاده از پودر پلی‌پروپیلن به عنوان چسب جهت ساخت تخته سه لایه با استفاده از لایه‌های صنوبر (*Populus alba*) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اثر مقدار عامل جفت‌کننده بر مدول گسیختگی در جهت موازی الیاف لایه‌های سطحی تخته‌ها معنی‌دار بوده به طوری که با افزایش مقدار عامل جفت‌کننده، مدول گسیختگی افزایش یافت. مقدار پلی‌پروپیلن بر واکنشیدگی ضخامت و جذب آب تخته‌ها بعد از ۲ و ۲۴ ساعت اثر معنی‌دار داشت و با افزایش مقدار پلی‌پروپیلن واکنشیدگی ضخامت و جذب آب تخته‌ها کاهش یافت (۲).

نوربخش و عشوری (۲۰۱۳) تأثیر سازگارکننده انیدرید مالئیک را بر خواص کاربردی چندسازه پلی‌پروپیلن را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش میزان سازگارکننده خواص حرارتی در جریان مخلوط سازی در فاز درون سطحی بهبود یافت و همین موضوع سبب اتصال مناسب‌تر ماتریس پلیمری و پرکننده لیگنوسلولزی گردید. از سوی دیگر با افزایش سازگارکننده خواص کششی بهبود یافت (۹).

1- Aminosilane

مواد و روش‌ها

خرده‌چوب: خرده‌چوب مورد استفاده در این پژوهش از نوع خرده‌چوب صنوبر است که پس از تهیه دو اصله درخت صنوبر کاشته شده در منطقه شرق استان گلستان و انتقال آن به آزمایشگاه با استفاده از خردکن غلطکی به خرده‌چوب‌های درشت و سپس به وسیله یک آسیاب حلغوی به خرده‌چوب‌های قابل استفاده در ساخت تخته‌خرده‌چوب تبدیل شدند. سپس خرده‌چوب‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رطوبت ۴ درصد خشک شدند.

رزین فنول فرمالدهید: رزین مورد نیاز در این پژوهش فنول فرمالدهید از نوع رزول محلول در الکل (متانول) می‌باشد که از کارخانه عایق الکتریک آق‌قلا تهیه گردید. از رزین فنول فرمالدهید بر اساس ۸ درصد وزن خشک ماده اولیه استفاده شد.

پلی‌پروپیلن: از پلی‌پروپیلن با نام تجاری Z30S از تولیدات شرکت پتروشیمی اراک با مش ۶۰، با مشخصات ذکر شده در جدول ۱ به‌عنوان ماده پلیمری استفاده شده است.

جدول ۱- مشخصات پلی‌پروپیلن.

Table 1. Characteristics of polypropylene.

وزن مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	نقطه ذوب (درجه سانتی‌گراد)	دمای انتقال شیشه‌ای (درجه سانتی‌گراد)	شاخص جریان مذاب (گرم بر ۱۰ دقیقه)
Density (g/cm ³)	Melting point (°C)	Glass transition temperature (°C)	Melt flow index (g/10 minute)
0.9	165	-8	16

جفت‌کننده‌ها: جفت‌کننده‌های مورد استفاده در این پژوهش از شرکت مینا تجهیز آریا تهران تهیه گردید. جفت‌کننده مالئیک انیدرید پیوند شده به پلی‌پروپیلن به صورت پودر سفیدرنگ با دانسیته 0.925 gr/cm^3 و شاخص جریان مذاب ۶۵ گرم در ۱۰ دقیقه و درصد مالئیکی شدن ۲/۵ درصد بود. جفت‌کننده سیلان مورد استفاده در این پژوهش از نوع تری اتوکسی متیل سیلان به صورت مایع بی‌رنگ با نقطه جوش ۱۴۲ درجه سانتی‌گراد و دمای ذوب ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود. جفت‌کننده‌ها بر اساس ۶ درصد وزن خشک پلی‌پروپیلن و به دو صورت الف: درون رزین و ب: بر روی ذرات پلی‌پروپیلن، اسپری شده مورد استفاده قرار گرفتند.

پلی‌پروپیلن) برای انجام مراحل بعدی پژوهش استفاده شد. تخته‌های دارای ۰ درصد پلی‌پروپیلن که همان تخته‌خرده‌چوب صنوبر-رزین فنول می‌باشد بر اساس استاندارد EN 312، فقط برای تخته‌های تیپ ۱ مناسب می‌باشند (دارای مقاومت خمشی ۱۱/۵۴ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته ۱۹۲۴/۵۵ مگاپاسکال، چسبندگی داخلی ۰/۳۵ مگاپاسکال، جذب آب ۲ ساعت ۶۸/۷۵ درصد، جذب آب ۲۴ ساعت ۸۰/۸۹ درصد، واکنشیدگی ضخامت ۲ ساعت ۱۹/۶۰ درصد و واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت ۲۲/۴۴ درصد).

در این پژوهش از دو روش برای ساخت تخته استفاده شد. در روش اول ابتدا خرده‌چوب با پلی‌پروپیلن با درصد اختلاط ۱۰/۹۰ با یکدیگر مخلوط شدند (نمونه شاهد) و سپس توسط دستگاه چسبزن آزمایشگاهی به اختلاط حاصله، رزین حاوی جفت‌کننده شامل سیلان (A) و مالئیک انیدرید

فرآیند ساخت تخته‌خرده‌چوب: قبل از پژوهش فوق، ابتدا تخته‌هایی با مقادیر ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد پلی‌پروپیلن ساخته شد و از تیمار بهینه آن (۱۰ درصد

EN317، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته از استاندارد EN 310 و چسبندگی داخلی از استاندارد EN319 استفاده شد. لازم به ذکر است که از هر تخته ۳ نمونه برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی استفاده شد. نتایج حاصل از این پژوهش با تخته‌های تیپ ۲ (تخته‌هایی برای لوازم داخلی به‌منظور استفاده در شرایط خشک با مقاومت خمشی ۱۳ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته ۱۶۰۰ مگاپاسکال و چسبندگی داخلی ۰/۳۵ مگاپاسکال) و با تخته‌های تیپ ۳ (تخته‌هایی بدون تحمل بار به‌منظور استفاده در شرایط مرطوب با مقاومت خمشی ۱۴ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته ۱۹۵۰ مگاپاسکال، چسبندگی داخلی ۰/۴۵ مگاپاسکال و واکنش‌دهی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت ۱۴ درصد) طبق استاندارد EN312 مورد مقایسه قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری: برای تجزیه و تحلیل نتایج از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. میانگین داده‌ها، با استفاده

از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفت. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر متقابل نوع جفت‌کننده و روش اختلاط بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات مستقل و متقابل عوامل متغیر تأثیر معنی‌داری را در سطح معنی‌داری ۵ درصد بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته داشته است (جدول ۲).

پیوند شده با پلی‌پروپیلن (B) اسپری گردید. در روش دوم ابتدا آغشته‌سازی پلی‌پروپیلن با جفت‌کننده سیلان (C) و مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی‌پروپیلن (D) به‌صورت جداگانه صورت پذیرفت. برای این منظور از کیسه‌های نایلونی زیپ‌دار استفاده گردید و مقدار وزنی مناسب هر یک از دو ماده جفت‌کننده به درون کیسه‌های مربوطه ریخته شد و با هم‌زدن حداکثر اختلاط ممکن جفت‌کننده‌ها با پلی‌پروپیلن انجام شد. با توجه به جامد بودن جفت‌کننده MAPP به کمک افزودن حلال تولوئن و سایش ذرات در پتری‌دیش جفت‌کننده مذکور به حالت نیمه محلول و قابل اسپری درآمد. سپس پلی‌پروپیلن با خرده‌چوب (با درصد اختلاط ۹۰/۱۰) را داخل چسبزن آزمایشگاهی ریخته و پس از افزودن رزین به مدت ۵ دقیقه جهت دستیابی به آغشتگی یکنواخت عمل هم‌زدن انجام شد. به‌منظور ساخت تخته‌هایی با دانسیته ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، ذرات چسب خورده توسط قالب چوبی با ابعاد ۴۵*۴۵ سانتی‌متر، فرم‌دهی شده و پس از تشکیل کیک با استفاده از پرس آزمایشگاهی، کیک‌های خرده‌چوب با استفاده از دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، فشار ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و زمان ۷ دقیقه پرس شدند. تعداد ۳ تکرار برای هر تیمار در نظر گرفته شد و در مجموع ۱۵ عدد تخته ساخته شد. تخته‌های ساخته‌شده به مدت ۱۵ روز در شرایط آزمایشگاهی (دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد) نگهداری شده تا به رطوبت تعادل با محیط برسند. سپس برش تخته‌ها جهت تهیه نمونه‌های آزمون بر اساس استاندارد EN326-1 انجام گرفت.

اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی: برای تعیین جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت از استاندارد

جدول ۲- آنالیز واریانس اثر عوامل متغیر بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته.

Table 2. Analysis of variance of the effect of the variables on modulus of elasticity and bending strength.

معنی داری P	F	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation	فاکتورهای اندازه‌گیری Measurement factors
0.002**	16.02	4.55	1	نوع جفت‌کننده Coupling agent type	
0.000**	16.06	4.56	1	روش اختلاط Mixing method	
0.001**	13.05	3.71	1	نوع جفت‌کننده * روش اختلاط Coupling agent type * Mixing method	مقاومت خمشی Bending strength
		0.284	32	خطا Error	
			35	کل Total	
0.009**	7.62	350844.2	1	نوع جفت‌کننده Coupling agent type	
0.0001*	24.46	1126261.2	1	روش اختلاط Mixing method	
0.014*	6.76	311491.6	1	نوع جفت‌کننده * روش اختلاط Coupling agent type * Mixing method	مدول الاستیسیته Modulus of elasticity
		46039.88	32	خطا Error	
			35	کل Total	

** معنی داری در سطح ۱ درصد، * معنی داری در سطح ۵ درصد.

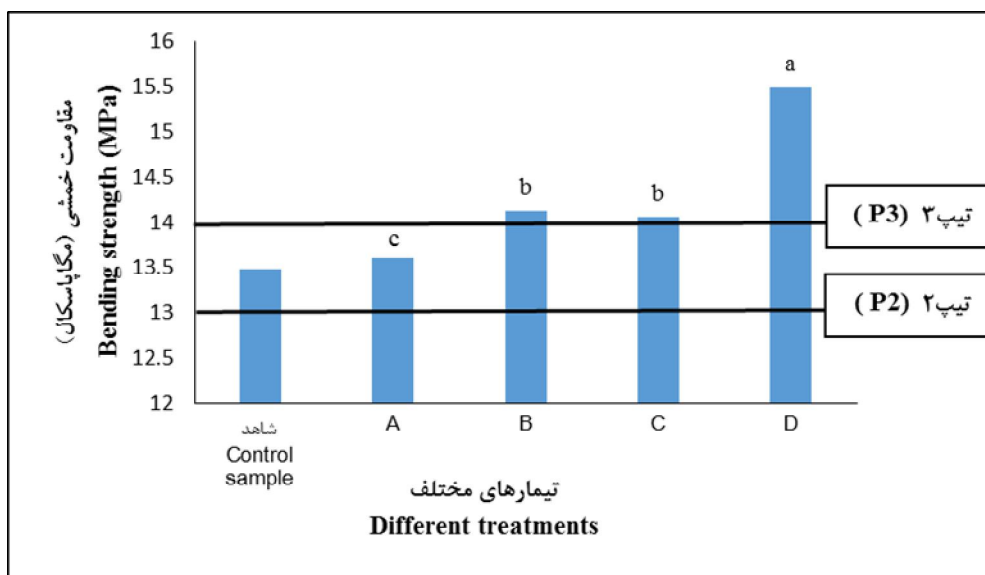
**Significant differences in level 1%, *Significant differences in level 5%.

و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. روش افزودن جفت‌کننده در حالت پیش‌تیمار روی ذرات پلی‌پروپیلن در مقایسه با افزودن جفت‌کننده به درون رزین منجر به بهبود مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته گردیده است. در روش اسپری جفت‌کننده بر روی ذرات پلی‌پروپیلن، همه مقادیر جفت‌کننده روی ذرات پلی‌پروپیلن اسپری می‌گردد. بنابراین احتمال حضور جفت‌کننده در سطح مشترک بین فاز پلیمر و فاز تقویت‌کننده افزایش یافته و ماده جفت‌کننده در محل‌هایی که پلیمر حضور ندارد مصرف نمی‌گردد. بنابراین با این استدلال دست‌یابی به مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته بالاتر در روش اسپری جفت‌کننده بر روی پلی‌پروپیلن منطقی به نظر می‌رسد. اما در

به‌طورکلی شکل‌های ۱ و ۲، نمایانگر اثر مثبت افزودن جفت‌کننده بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته تخته‌خرده‌چوب در مقایسه با نمونه شاهد (بدون جفت‌کننده) می‌باشد. مقاومت خمشی نمونه شاهد (۱۳/۴۹ MPa) بر اساس استاندارد EN 312 در طبقه‌بندی استاندارد تیپ ۲ قرار گرفت اما مدول الاستیسیته نمونه شاهد بالاتر از حد استاندارد تیپ ۲ و ۳ بود. با افزودن ماده جفت‌کننده و قرار گرفتن آن در سطح مشترک بین دو فاز پلیمر و تقویت‌کننده و ایجاد اتصالات شیمیایی علاوه بر اتصالات مکانیکی ناشی از ذوب شدن پلی‌پروپیلن منجر به بهبود کیفیت اتصالات و در نتیجه منجر به بهبود مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته گردیده است که با نتایج حافظی

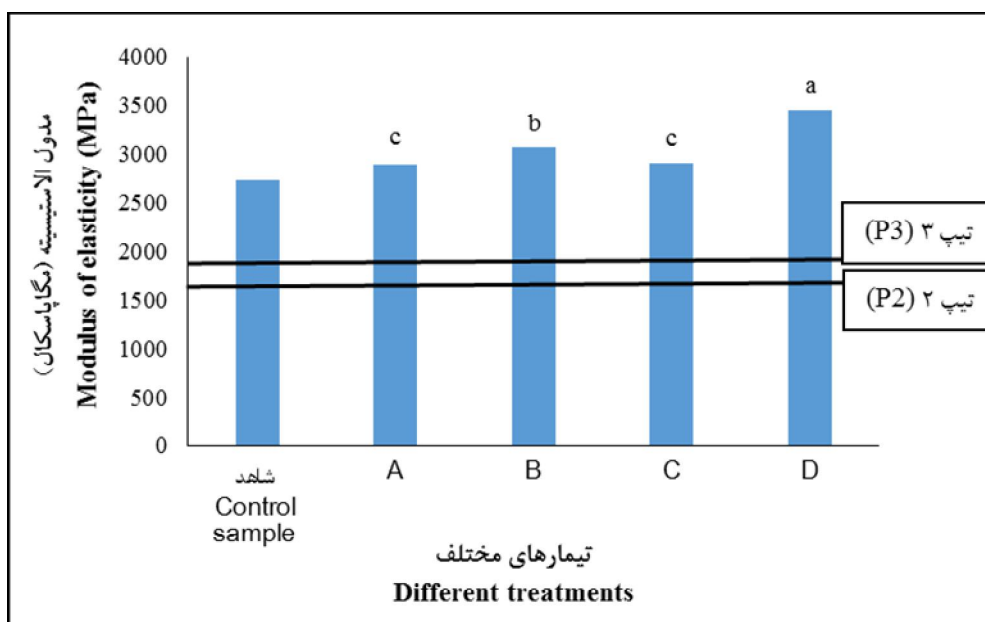
می‌گردد. بر اساس استاندارد EN 312، به‌استثنای تیمار A (اسپری سیلان بر روی رزین) و نمونه شاهد (بدون جفت‌کننده) بقیه تیمارها در طبقه‌بندی استاندارد تیپ ۳ قرار گرفتند.

روش افزودن جفت‌کننده درون رزین، جفت‌کننده افزوده‌شده به تخته در این حالت در درون تخته توزیع یکنواخت می‌گردد و حتی در محلهایی که ذرات پلی‌پروپیلن در تخته حضور ندارد نیز مصرف



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت خمشی.

Figure 1. The effect of different treatments on bending strength.



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف بر مدول الاستیسیته.

Figure 2. The effect of different treatments on modulus of elasticity.

چسبندگی داخلی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات مستقل و متقابل عوامل متغیر تأثیر معنی‌داری را در سطح معنی‌داری ۵ درصد بر چسبندگی داخلی داشته است (جدول ۳).

جدول ۳- آنالیز واریانس اثر عوامل متغیر بر چسبندگی داخلی.

Table 3. Analysis of variance of the effect of the variables on internal bonding.

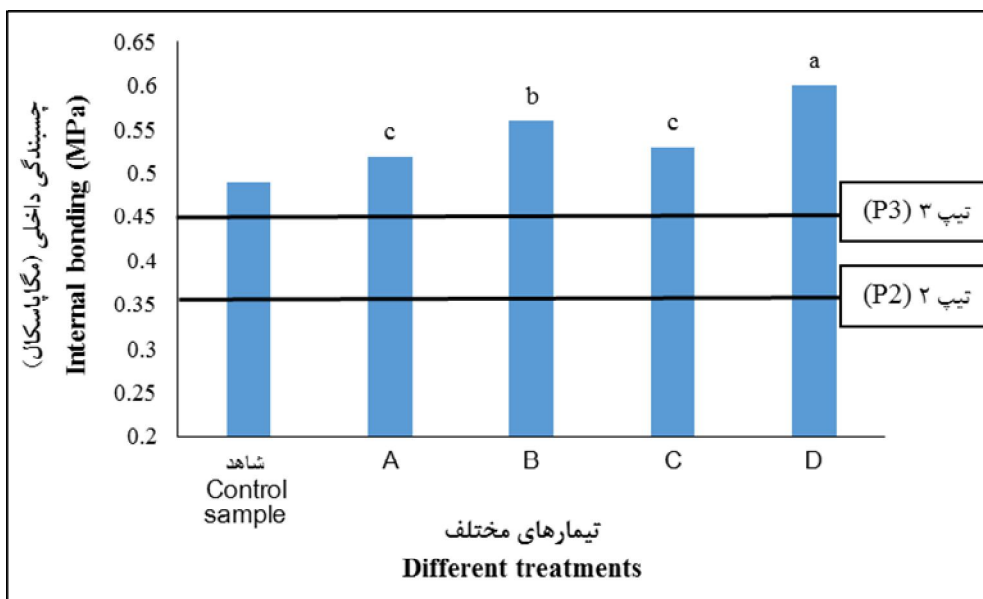
معنی‌داری P	F	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
0.0001**	38.65	0.0143	1	نوع جفت‌کننده Coupling agent type
0.000**	48.64	0.018	1	روش اختلاط Mixing method
0.001**	43.24	0.0162	1	نوع جفت‌کننده * روش اختلاط Coupling agent type * Mixing method
		0.00037	32	خطا Error
			35	کل Total

**معنی‌داری در سطح ۱ درصد.

**Significant differences in level 1%.

جفت‌کننده سیلان در تخته‌های حاوی ۱۰ درصد پلی‌پروپیلن ایجاد نمود (۵). شکل ۳ نشان می‌دهد روش افزودن جفت‌کننده در حالت پیش‌تیمار روی ذرات پلی‌پروپیلن در مقایسه با افزودن جفت‌کننده به رزین منجر به بهبود چسبندگی داخلی گردیده است؛ زیرا در پیش‌تیمار اسپری جفت‌کننده روی ذرات پلی‌پروپیلن احتمال حضور جفت‌کننده در سطح مشترک بین فاز پلیمر و فاز تقویت‌کننده افزایش یافته است. بر اساس استاندارد EN 312، چسبندگی داخلی تمامی تخته‌ها بالاتر از حد استاندارد تیپ ۲ و ۳ بودند.

با توجه به این‌که پلیمر مورد استفاده در این پژوهش از نوع پلی‌پروپیلن بود بنابراین استفاده از جفت‌کننده MAPP به دلیل تناسب و همگنی آن با پلی‌پروپیلن و ادغام آن در فاز ماتریس (حداقل در لایه‌های رویی و زیرین تخته به دلیل ذوب شدن کامل پلی‌پروپیلن) چسبندگی داخلی بالاتری در تخته‌ها نسبت به جفت‌کننده سیلان در تخته‌های حاوی ۱۰ درصد پلی‌پروپیلن ایجاد نموده است؛ زیرا وجود پلیمر پلی‌پروپیلن و جفت‌کننده MAPP و پیوند با بخش پلی‌پروپیلنی باعث اتصالات قوی‌تر به سبب همگنی بیشتر شده و خواص مطلوب‌تری از



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف بر چسبندگی داخلی.

Figure 3. The effect of different treatments on internal bonding.

پیش تیمار روی ذرات پلی پروپیلن در مقایسه با افزودن جفت کننده به رزین منجر به مقاومت بهتری در جذب آب در تخته ها گردیده است. در نتیجه میزان تخلخل در تخته های دارای جفت کننده MAPP کمتر بوده که این عمل منجر به کاهش بیش تر جذب آب و واكشیدگی ضخامت تخته ها شده است (۴). بر اساس استاندارد EN312، تخته هایی که جفت کننده MAPP بر روی پلی پروپیلن اسپری شده است (تیمار D) می توانند برای تخته های بدون تحمل بار به منظور استفاده در شرایط مرطوب (تیپ ۳) مورد استفاده قرار گیرند.

جذب آب و واكشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات مستقل و متقابل عوامل متغیر تأثیر معنی داری را در سطح معنی داری ۵ درصد بر جذب آب و واكشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب داشته است (جدول ۴).

همان طور که مشاهده می گردد تخته های دارای جفت کننده MAPP، جذب آب و واكشیدگی ضخامت کمتری نسبت به تخته های دارای جفت کننده سیلان دارند (شکل های ۴ و ۵)؛ زیرا تخته های دارای جفت کننده MAPP از چسبندگی داخلی بیشتری نسبت به تخته های دارای جفت کننده سیلان برخوردار بودند. هم چنین روش افزودن جفت کننده در حالت

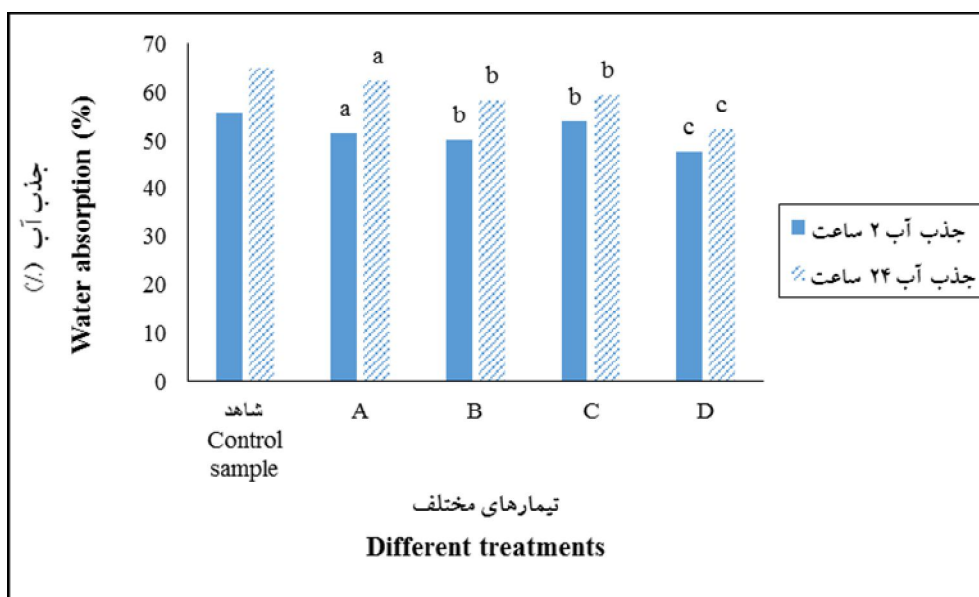
جدول ۴- آنالیز واریانس اثر عوامل متغیر بر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت.

Table 4. Analysis of variance of the effect of the variables on water absorption and thickness swelling after 2h and 24h immersion in water.

معنی‌داری P	F	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation	فاکتورهای اندازه‌گیری Measurement factors
0.0007**	14.21	75.06	1	نوع جفت‌کننده Coupling agent type	
0.0001**	20.5	108.25	1	روش اختلاط Mixing method	
0.016*	2.06	10.90	1	نوع جفت‌کننده * روش اختلاط Coupling agent type * Mixing method	جذب آب بعد از ۲ ساعت Water absorption after 2h
		5.28	32	خطا Error	
			35	کل Total	
0.001**	11.56	189.23	1	نوع جفت‌کننده Coupling agent type	
0.0004**	15.39	251.86	1	روش اختلاط Mixing method	
0.035*	3.07	50.34	1	نوع جفت‌کننده * روش اختلاط Coupling agent type * Mixing method	جذب آب بعد از ۲۴ ساعت Water absorption after 24h
		16.36	32	خطا Error	
			35	کل Total	
0.019*	8.18	5.32	1	نوع جفت‌کننده Coupling agent type	
0.0076**	10.93	7.11	1	روش اختلاط Mixing method	
0.012*	3.35	2.18	1	نوع جفت‌کننده * روش اختلاط Coupling agent type * Mixing method	واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ ساعت Thickness swelling after 2h
		0.65	32	خطا Error	
			35	کل Total	
	8.58	6.09	1	نوع جفت‌کننده Coupling agent type	
	13.87	9.85	1	روش اختلاط Mixing method	
	3.11	2.207	1	نوع جفت‌کننده * روش اختلاط Coupling agent type * Mixing method	واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت Thickness swelling after 24h
		0.71	32	خطا Error	
			35	کل Total	

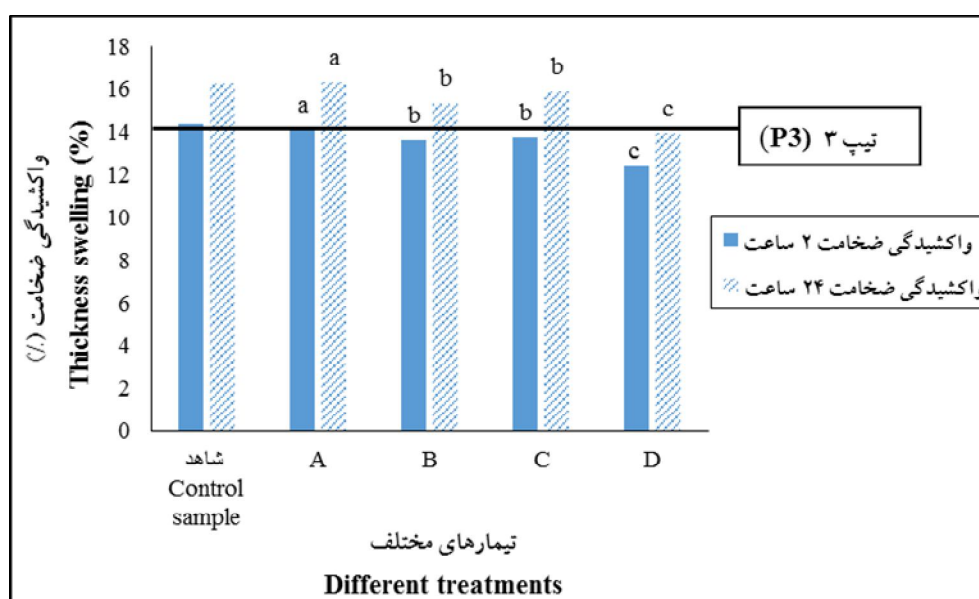
**معنی‌داری در سطح ۱ درصد، *معنی‌داری در سطح ۵ درصد.

**Significant differences in level 1%, *Significant differences in level 5%.



شکل ۴- اثر تیمارهای مختلف بر جذب آب بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب.

Figure 4. The effect of different treatments on water absorption after 2h and 24h immersion in water.



شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف بر واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب.

Figure 5. The effect of different treatments on thickness swelling after 2h and 24h immersion in water.

شد. بر اساس نتایج حاصله می‌توان نتیجه گرفت که بالاتر بودن دمای پرس در زمان پرس داغ از دمای ذوب پلی‌پروپیلن همراه با فشار، سبب تغییر شکل پلی‌پروپیلن و بخش پلی‌پروپیلنی مالئیک اندرید، متناسب با تخلخل موجود بین ذرات صنوبر در محل استقرار می‌گردد. با بهبود سطح مشترک بین

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که جفت‌کننده MAPP نسبت به سیلان در جذب آب و واکنشیدگی ضخامت سبب کاهش بیش‌تری شده و روش اسپری جفت‌کننده بر روی پلی‌پروپیلن نسبت به درون رزین در جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نیز سبب کاهش بیش‌تر

تنش در ناحیه‌ای از محصول کم‌تر اتفاق افتاده و در نتیجه تحمل تنش و مقاومت خمشی افزایش می‌یابد. بنابراین با استفاده از نتایج حاصل از این پژوهش و با توجه به استاندارد EN ۳۱۲ که مربوط به طبقه‌بندی تخته‌خرده‌چوب بر اساس ویژگی‌های مقاومتی است می‌توان نتیجه گرفت که تخته‌های حاوی اسپری سیلان درون رزین (تیمار A) و اسپری سیلان بر روی پلی‌پروپیلن (تیمار C) و اسپری MAPP درون رزین (تیمار B) می‌توانند برای تخته‌های استاندارد از نوع تیپ ۲ و تخته‌های حاوی اسپری MAPP بر روی پلی‌پروپیلن (تیمار D) می‌توانند برای تخته‌های استاندارد از نوع تیپ ۳ مورد استفاده قرار گیرند.

پلی‌پروپیلن و خرده‌چوب‌های صنوبر، فضاهای خالی توسط عوامل غیرقطبی جفت‌کننده پوشش داده‌شده و در نتیجه از میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاسته شده است. تیماری که جفت‌کننده MAPP به‌صورت اسپری بر روی پلی‌پروپیلن پخش شده دارای مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی بالاتری بود؛ زیرا در روش اسپری جفت‌کننده بر روی ذرات پلی‌پروپیلن، همه مقادیر جفت‌کننده روی ذرات پلی‌پروپیلن اسپری می‌گردد. استفاده از جفت‌کننده باعث ایجاد ساختار همگن‌تر در ماده مرکب می‌گردد و هرچه ساختار یک ماده همگن‌تر باشد، توزیع تنش در هنگام وارد کردن بار استاتیک بهبود یافته و تمرکز

منابع

- Adhikary, K., Pang, S., and Staiger, M. 2008. Dimensional stability and mechanical behavior of wood-plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE). *Composites: Part B*. 39: 807-815.
- Enayati, A., Rasouli, D., and Yousefi, H. 2009. Feasibility of utilizing polypropylene as a binder for plywood manufacture. *Iranian J. of Wood and Paper Science Research*. 24: 1. 91-98. (In Persian)
- Ghasemi, I., Azizi, H., and Ehsani Namin, P. 2009. Investigating the effect of wood particle size on the rheology and physical-mechanical properties of wood-polypropylene composite. *Iranian J. of Polymer Science and Technology*. 21: 1. 45-52. (In Persian)
- Hafezi, S.M., Enayati, A., Doosthosseiny, K., Tarmian, A., and Mirshokraee, S.A. 2014. Effect of silane coupling agent on bond improvement of urea formaldehyde resin in wheat straw particleboard. *Iranian J. of Wood and Paper Science Research*. 29: 2. 183-189. (In Persian)
- Han, G., Zhang, C., Zhang, D., Umemura, K., and Kawai, S. 1998. Upgrading of urea formaldehyde-bonded reed and wheat straw particleboard using silane coupling agents. *J. of Wood Science*. 44: 282-286.
- Hisrove, V.N., Vasileva, S.T., Krumova, M., and Michler, L.R. 2004. Deformation mechanisms and mechanical properties of modified polypropylene-wood fiber composites. *Polymer Composites*. 25: 5. 35-47.
- Kord, B. 2009. Investigation on the effects of nano clay particles on mechanical properties of wood polymer composites made of high density polyethylene- wood flour. *Iranian J. of Wood and Paper Science Research*. 25: 1. 91-101. (In Persian)
- Modir Rahmati, A., and Bagheri, R. 2004. Determination of suitable poplar clones in the short-term exploitation system of three years. *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 11: 4. 613-637. (In Persian)
- Nourbakhsh, A., and Ashori, A. 2013. Effects of nano clay and microcrystalline cellulose on wood plastics composites properties. *J. of Forest and Wood Products*. 66: 2. 215-232. (In Persian)
- Shakeri, A., and Hashemi, A. 2004. Investigating of silane coupling agent on physical and mechanical properties of PVC/Cellulose fiber composite. *Iranian J. of Polymer Science and Technology*. 16: 2. 71-78. (In Persian)



Effect of using two types of coupling agent in the poplar-polypropylene particleboard manufacturing on its mechanical and physical properties

A.M. Sharbati¹, *V. Vaziri², F. Faraji² and F. Rostami Charati³

¹M.Sc. Student of Wood Composite Products, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran,

²Assistant Prof. of Wood and Paper Science and Technology, Kavous Gonbad University, Gonbad, Iran,

³Associate Prof., Dept. of Chemistry, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran

Received: 06.03.2019; Accepted: 03.03.2020

Abstract

Background and Objectives: Wood plastic composite products have received many researches' attention in recent years. A major part of the composite combination is lignocellulosic materials. One disadvantage of natural fibers is the incompatibility between hydrophilic natural fibers and hydrophobic polymers. This problem can be reduced by incorporation of coupling agent into the compound. Because of the adding of coupling agent, the interface between two phases of lignocellulosic fiber and polymeric matrix improve. This study was carried out with the aim of investigating the effect of two types of coupling agent on the mechanical and physical properties of the particleboard made of polypropylene- poplar.

Materials and Methods: In this research, the mixing ratio of poplar wood to polypropylene at level of 90:10 was used. Phenol formaldehyde resin used as 8% of dry weight of raw material. Two types of coupling agents of triethoxymethylsilane and maleic anhydride grafted to polypropylene in level of 6 percent based on dry weight of polypropylene were used. Coupling agents were used in two different methods including inside the resin and on the polypropylene particles. After the mixing process raw material together, mat at temperature of 180 °C for 5 minutes under hot press was placed. The physical and mechanical properties were evaluated according to European standards set of EN. Physical and mechanical properties of panels analyzed using factorial analysis in 5% probability level.

Results: The results showed that the adding of both types of silane and MAPP coupling agents improved the bending strength, modulus of elasticity and internal bonding, while decreased water absorption and thickness swelling of the boards compared to the control sample (without coupling agent). MAPP coupling agent created more favorable properties in the boards compared to the silane coupling agent. The adding method of coupling agent on the polypropylene particles in comparison with inside resin improved the physical and mechanical properties of the boards. Because in the adding method of coupling agent on the polypropylene, all of the coupling contents are placed on the polypropylene particles, and therefore, the presence of the coupling agent on the interface between the polymer phase and the reinforcement phase increases.

Conclusion: According to the results of this research, the use of coupling agent increased significantly the dimensional stability of the boards. The adding of coupling agents increased bending strength, modulus of elasticity and internal bonding of boards. Compared to the properties of the boards produced by EN standard, with adding method of MAPP on the polypropylene can be produced particleboards with favorable properties for use in wet conditions (Type P3).

Keywords: Coupling agent, Maleic anhydride grafted to polypropylene, Physical and mechanical properties, Triethoxy methyl silane

*Corresponding author: vahidvaziri@gmail.com

Arci