

ارزیابی تأثیر اصلاح شیمیایی با Polycrase ECR بر ویژگی‌های کاربردی چوب پلیمر صنوبر

آیسونا طلایی^{۱*} و محمدهادی رضوانی^۲

۱- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران،

پست الکترونیک: Talaei.srttu@gmail.com

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۵

چکیده

در این پژوهش ارزیابی تأثیر اصلاح شیمیایی با Polycrase ECR بر ویژگی‌های کاربردی چوب صنوبر باهدف استفاده به‌عنوان چوب- پلیمر بررسی شد. فرایند اصلاح شیمیایی چوب به روش آغشته سازی با Polycrase ECR در دو سطح وزنی ۳۰ و ۵۰ درصد، مدت زمان ۲۴ ساعت و درجه حرارت ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام گردید. ویژگی‌های کاربردی شامل درصد افزایش وزن، تورم حجمی، جذب آب و واکنشیدگی حجمی طولانی مدت (۸ هفته)، مقاومت به خمش و مدول الاستیسیته، فشار موازی الیاف، مقاومت برشی و مقاومت انفصالی پیچ موازی الیاف مطابق با استاندارد ASTM اندازه‌گیری شدند. پردازش آماری داده‌ها با روش تحلیل واریانس دوگانه (ANOVA) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقاومت نمونه‌های اصلاح شده با نمونه‌های شاهد مقایسه گردیدند. نتایج نشان داد که اصلاح شیمیایی با Polycrase ECR تأثیر معنی‌داری بر خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه‌های شاهد داشته است. البته میزان مقاومت مکانیکی نمونه‌های شاهد نسبت به نمونه اصلاح شده بیشتر بود. اصلاح شیمیایی در سطح ۳۰ درصد باعث کاهش جذب آب و واکنشیدگی حجمی طولانی مدت شد. کاهش مقاومت‌های مکانیکی قابل ملاحظه نبود. مشاهده شد که اصلاح شیمیایی با Polycrase ECR در سطح ۳۰ درصد در مقایسه با ۵۰ درصد، خواص فیزیکی و مکانیکی بالاتری داشته است. به‌طور کلی، بیشترین تأثیر اصلاح شیمیایی با Polycrase ECR در خواص فیزیکی نمونه‌ها (درصد جذب آب و واکنشیدگی حجمی طولانی مدت) مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: اصلاح شیمیایی، چوب- پلیمر، Polycrase ECR، ویژگی‌های کاربردی، صنوبر.

مقدمه

و این امر موجب کاهش شدید ارزش اقتصادی و کاربردی این ماده با ارزش می‌گردد؛ بنابراین اهمیت و لزوم حفاظت چوب در برابر عوامل مخرب به‌خوبی مشخص می‌گردد (Verma et al., 2009). با توجه به افزایش روزافزون سرانه جمعیت و سهم سرانه مصرف چوب و لزوم کاهش برداشت

چوب ماده‌ای طبیعی و تجدیدشونده با کاربردهای فراوان و بسیار گسترده در زندگی بشر کنونی می‌باشد. این ماده به علت ساختار و ساختمان طبیعی، مستعد تخریب بیولوژیکی است. در اثر تخریب بیولوژیکی، ساختار چوب تغییر می‌کند

است. به طوری که برای اولین بار در سال ۱۹۶۰، استفاده از رزین‌های اصلاح‌کننده، پایداری ابعاد نسبتاً مناسبی را منجر شد؛ بنابراین استفاده از DMDHEU برای بهبودی در پایداری ابعاد چوب تداوم یافت (Hill, 2006). به علت اثر نوسانهای رطوبتی بر ابعاد و خواص مکانیکی، مصرف چوب در مصارف ساختمانی و محیط بیرون محدود می‌باشد. به طوری که افزایش یک درصد رطوبت، مدول خمشی و مقاومت فشاری موازی الیاف را به ترتیب ۴ و ۶ درصد کاهش می‌دهد (Akhtari et al., 2015). در اثر اصلاح شیمیایی با رزین DMDHEU می‌توان مقاومت چوب را در مقابل عوامل بیولوژیک بهبود داد. بهبود در ویژگی‌ها، عمدتاً در اثر پر شدن دیواره سلول توسط مواد آغشته‌گی اتفاق می‌افتد (Hill, 2006). با نفوذ رزین‌های آغشته‌ساز (DMDHEU) به داخل دیواره سلول، عملیات واکنش روی دیواره سلول انجام شده و رزین تثبیت می‌شود (Kaki & Ghorbani, 2013). به طوری که با پلیمر شدن یا جابجایی فضایی لیگنین در جابجایی همی سلولزها، دیواره سلول نرم و واکنشیده می‌شود. بر اثر تیمار چوب با رزین‌های آغشته‌ساز (متیلولی، مونومر)، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی فرآورده‌های چوب- پلیمر در مقایسه با چوب تیمار نشده بهبود می‌یابد و مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی، سختی سطح و ثبات ابعاد افزایش یافت (Kaki & Ghorbani, 2013). چوب - پلیمر حاصل از گونه صنوبر با مونومر متیل متاکریلات نشان داد که پلیمر به خوبی در حفره سلول قرار گرفته و باعث استحکام چوب، بهبود ثبات ابعاد، ثبات حرارتی، مقاومت در برابر پوسیدگی و مقاومت خمشی شده است (Li et al., 2012). Schneider و Phillips (۲۰۰۰) با انجام تحقیقاتی بر روی چوب پلیمر حاصل از گونه‌های مختلف با انواع مونومرهای قطبی و غیر قطبی و فرایندهای مختلف تیمار حفره سلولی، دیواره سلولی و تیمارهای ترکیبی نشان دادند که با توجه به نوع مونومر تیمارکننده، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب پلیمر افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات نشان داد که دانسیته چوب- پلیمر با توجه به نوع گونه، تخلخل و تیمارپذیری آن،

چوب از جنگل‌های طبیعی، صنایع را ملزم به بهره‌برداری از منابع چوبی تند رشدی مانند صنوبر کرده است. چوب صنوبر کاربرد گسترده و فراوانی نسبی در ایران دارد. صنوبر چوبی با دانسیته پایین و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی به نسبت ضعیف است که لزوم روش‌های اصلاحی را به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و کاربردی کردن آن ضروری می‌سازد (Jiang et al., 2014). انواع روش‌های حفاظت و اصلاح چوب در سطح جهان گسترش یافته است؛ به طوری که سالانه ده‌ها ماده شیمیایی برای حفاظت از چوب تولید و به ثبت می‌رسند (Militz & Norton, 2013).

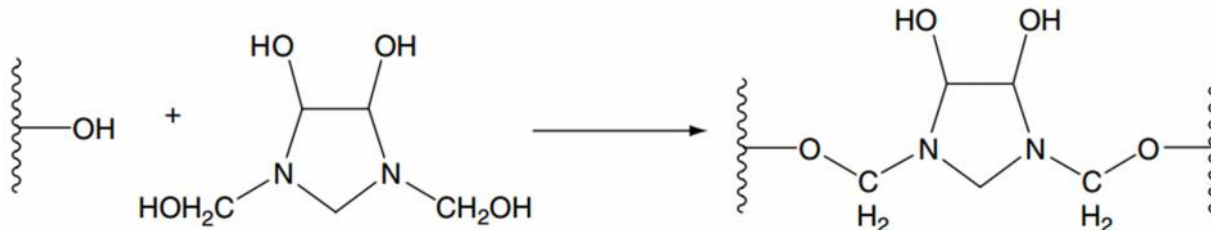
اصلاح شیمیایی چوب، واکنش شیمیایی بین برخی از بخش‌های فعال اجزای تشکیل‌دهنده چوب (سلولز، همی سلولز و لیگنین) با ماده شیمیایی است که در نهایت منجر به ایجاد پیوندهای کووالانسی بین چوب و ماده شیمیایی می‌شود. آغشته سازی^۱ یکی از روش‌های اصلاح شیمیایی است که باعث ایجاد یک پلیمر شیمیایی با منشأ زیست پلیمر می‌شود و می‌تواند ویژگی‌های چوب را به شکل یک چوب پلیمر دیواره‌ای^۲ با ثبات ابعاد مناسب بهبود دهد (Adamopoulos ; Verma et al., 2009 ; Krause et al., 2015 ; Hill, 2006 et al., 2008). چندسازه چوب پلیمر به بهبود خواص فیزیکی و افزایش مقاومت‌های مکانیکی کمک می‌کند (Schneider & Phillips, 1996). با پیشرفت علم پلیمر محققان با گروه جدیدی از مواد شیمیایی اصلاح‌کننده آشنا شدند. از بین مواد شیمیایی پایه اصلاح‌کننده، دی متیلول دی هیدروکسی اتیلن اوره (DMDHEU)^۳، یکی از مواد مؤثر با خاصیت مقاوم به رطوبت مناسب بوده که می‌تواند چوب را در مقابل عوامل بیولوژیک تا حدودی محافظت کند (Hill, 2006). Polycrease ECR، یکی از رزین‌های اصلاح‌شده بر پایه دی متیلول دی هیدروکسی اتیلن اوره (DMDHEU) است که عمدتاً برای منسوجات توسعه یافته و کمتر در صنایع چوب مورد استفاده قرار گرفته

1-Impregnation

2-Cell-Wall WPC

3-Dimethylol dihydroxy ethylene urea

مقدار ۴۰ درصد رسید. در مقدار رزین با ۳۰ درصد وزنی، افزایش دمای گیرا کردن سبب بهبودی در پایداری ابعاد می‌شود (Hill, 2006). نتایج آزمایش‌ها نشان داد که گیرا کردن DMDHEU می‌تواند در شرایط دمایی پایین انجام شود. مشخص شده است که در اثر فرآوری با DMDHEU، اتصالات شبکه‌ای ایجاد می‌گردد (مطابق شکل ۱) (Hill, 2006). وجود اتصالات شبکه‌ای از نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی - دینامیکی نمونه‌های اصلاح شده به دست آمد. با واکنش دی متیلول دی هیدروکسی اتیلن اوره و ایجاد اتصالات شبکه‌ای روی دیواره سلول، بسپارش و افزایش استحکام دیواره سلول و در نهایت بهبود مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی اتفاق می‌افتد (Krause et al., 2008).



شکل ۱- شبکه‌ای شدن بسپارهای دیواره سلول توسط واکنش بادی متیلول دی هیدروکسی اتیلن اوره (Hill, 2006)

به منظور اشباع با Polycrease ECR، نمونه‌ها بر اساس نسبت وزنی حلال در دو سطح ۳۰ و ۵۰ درصد اشباع شد. برای هر سطح تیمار، ۵ تکرار در نظر گرفته شد که در مجموع، ۱۰ نمونه برای هر آزمون تهیه گردید. نمونه‌های آزمونی در دمای 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد، به مدت ۲۴ ساعت در خشک‌کن آزمایشگاهی به رطوبت کمتر از ۶ درصد برای انجام پلیمریزاسیون بهتر خشک و با ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند (Jani et al., 2007 ; Lopes et al., 2015).

همچنین نوع رزین آغشته‌ساز و مونومر و فرایند پلیمریزاسیون تا ۱۷۰ درصد در مقایسه با دانسیته چوب تیمار نشده افزایش یافته است. دانسیته نمونه‌های چوب-پلیمر گونه صنوبر دلتوئیدس، با استفاده از مونومر متیل متاکریلات تا ۸۳ درصد افزایش یافت (Kaki & Ghorbani, 2013). Hill (2006) بیان کرد که رزین‌های آغشته‌ساز، کارایی بهتری در افزایش ASE^1 نشان داده است. در اثر تیمار با DMDHEU و درصد افزایش وزن (WPG) حدود ۱۰ درصد، ویژگی‌های چوب بهبود یافت. فرآوری چوب با DMDHEU، ASE حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد را منجر شد که این میزان با افزایش دمای گیرایی کمی بهبود یافته و در مورد سوزنی‌برگان بیشتر بود. ASE، نمونه‌های چوبی که با ۲۰ درصد رزین اصلاح شده بودند، به

با توجه به اینکه خصوصیات نهایی چندسازه چوب پلیمر تحت تأثیر اجزای سازنده آنهاست؛ بنابراین این پژوهش به ارزیابی و مقایسه تأثیر اصلاح شیمیایی با Polycrease ECR بر ویژگی‌های کاربردی (خواص فیزیکی و مکانیکی) چوب پلیمر صنوبر می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

در این بررسی آزمونه‌های چوب صنوبر به ابعاد مورد نیاز آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی تهیه گردیدند (جدول ۲).

1-Anti-swelling efficiency

آماده‌سازی رزین Polycrease ECR

رزین Polycrease ECR اصلاح‌شده با رزین دی متیل دی هیدروکسی اتیلن اوره (DMDHEU) تهیه گردید. از آب به‌عنوان حلال در واکنش پلیمریزاسیون استفاده شد.

آماده‌سازی رزین Polycrease ECR بدون حضور کاتالیزور انجام شد. مشخصات رزین Polycrease ECR در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات رزین Polycrease ECR

رنگ	نوع رزین	مدت زمان ژله‌ای شدن (sec)	مدت زمان خشک شدن (min)	درجه حرارت پلیمریزاسیون (گرماده) (C)	درجه حرارت خشک شدن (C)
زرد شفاف	مایع	۳۰-۴۰	۳-۴	۱۴۵-۱۵۵	۱۱۰-۱۳۰

تیمار نمونه‌ها

نمونه‌ها با رزین Polycrease ECR اصلاح‌شده پایه رزین دی متیل‌ول دی هیدروکسی اتیلن اوره (DMDHEU) در سیلندر تحت فشار به روش سلول تهی اصلاح شده، اشباع شدند. پس از انجام پیش تیمار، اشباع نمونه‌ها با فشاری برابر ۴ بار و برای مدت زمان یک ساعت اعمال و در پایان نمونه‌ها از داخل سیلندر خارج شدند. به‌منظور پلیمریزاسیون رزین Polycrease ECR، نمونه‌های چوبی صنوبر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در خشک‌کن آزمایشگاهی قرار گرفتند (Lopes et al., 2015).

WPG^۱: افزایش وزن (درصد)؛ W₂: وزن نمونه بعد از تیمار؛

و W₁: وزن نمونه قبل از تیمار

$$B = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

B^۲: تورم حجمی (درصد)؛ V₂: حجم نمونه بعد از تیمار (R*L*T)؛ و V₁: حجم نمونه قبل از تیمار (R*L*T) (Hill, 2006).

تعیین خصوصیات مکانیکی

در آزمون‌های مکانیکی، مقاومت فشاری موازی الیاف، مقاومت برشی، مقاومت خمشی و مدول الاستیسته و مقاومت انفصالی موازی با الیاف، مطابق با استاندارد ذکر شده در جدول ۲، اندازه‌گیری شد. سرعت بارگذاری در تمام آزمون‌های مکانیکی، ۵ میلی‌متر بر دقیقه بود. به‌منظور تعیین مقاومت برشی نمونه‌های آزمون از چسب پلی وینیل استات (PVA) استفاده گردید. اندازه‌گیری‌ها با دستگاه Model Tensile Tester STT- Sanaf انجام شد.

تعیین خصوصیات فیزیکی

در آزمون‌های فیزیکی، درصد افزایش وزن (WPG)، درصد تورم حجمی، درصد جذب آب و واکنشیدگی حجمی طولانی مدت در زمان‌های مختلف تا رسیدن به نقطه اشباع در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (جدول ۲). برای تعیین درصد افزایش وزن و درصد تورم حجمی از روابط ۱ و ۲ استفاده گردید.

$$WPG = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

1-Weight percentage gain (WPG)

2-Bulking (B)

جدول ۲- اندازه و تعداد نمونه‌های آزمونی استاندارد در تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی

تکرار	استاندارد	تعداد	اندازه (mm ³)	خصوصیات مقاومت
۵	ASTM D-1037	۱۰	۲۰×۲۰×۲۰	جذب آب و واکنشیدگی حجمی
۵	ASTM D-143	۱۰	۱۰۰×۱۰۰×۲۰	مقاومت فشاری موازی الیاف
۵	ASTM D-905	۱۰	۵۰×۵۰×۲۰	مقاومت برشی
۵	ASTM D-143	۱۰	۳۰۰×۲۰×۲۰	مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته
۵	ASTM D-1761	۱۰	۱۵۰×۵۰×۵۰	مقاومت انفصالی موازی الیاف

طراحی آزمایش

نتایج به دست آمده با نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ (۲۰۱۳) مورد سنجش آماری قرار گرفتند. در تجزیه و تحلیل اطلاعات اثر عوامل متغیر از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید. برای مقایسه میانگین گروه‌ها از آزمون چند دامنه دانکن استفاده شد.

نتایج

خصوصیات فیزیکی

آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که بین مقادیر مربوط به نسبت وزنی ترکیب Polycrase ECR بر درصد افزایش وزن، درصد تورم حجمی، درصد جذب آب و واکنشیدگی حجمی ۲، ۲۴، ۷۲ ساعت، یک هفته، سه هفته، چهار هفته و هشت هفته چوب صنوبر در سطح اطمینان ۹۵ درصد

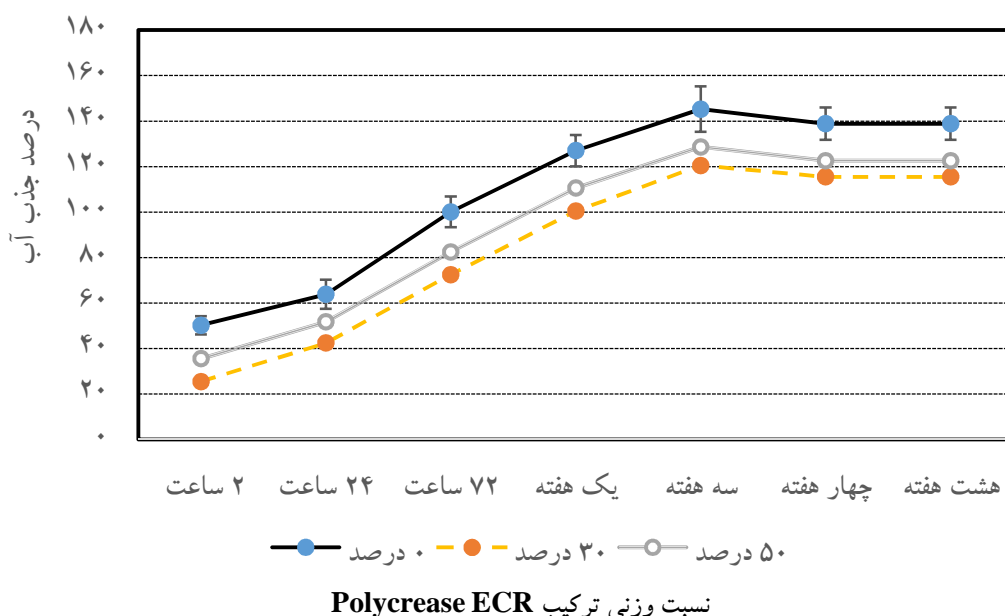
اختلاف معنی داری وجود دارد. با توجه به جدول ۳، نتایج بررسی خصوصیات فیزیکی چوب صنوبر تیمار شده با Polycrase ECR نشان داد که نمونه‌های با نسبت وزنی ترکیب ۵۰ و ۳۰ درصد به ترتیب با ۱۰/۸۴ و ۸/۴۱ درصد، از بیشترین مقدار افزایش وزن و تورم حجمی برخوردار بودند. درصد تورم حجمی نمونه‌های شاهد در مقایسه با نمونه‌های تیمار شده صفر بود. نمونه‌های تیمار شده با ۵۰ درصد وزنی Polycrase ECR در مقایسه با تیمار ۳۰ درصد، مقدار افزایش وزن آن ۴۶/۵۰ درصد بیشتر است. همچنین نمونه‌های تیمار شده با ۳۰ درصد وزنی Polycrase ECR در مقایسه با تیمار ۵۰ درصد، مقدار تورم حجمی را ۱۵/۵۰ درصد افزایش داده است. به طور کلی، نسبت وزنی Polycrase ECR روی خواص فیزیکی نمونه‌های چوب صنوبر (درصد افزایش وزن و تورم حجمی) تأثیر معنی داری داشت.

جدول ۳- درصد افزایش وزن (WPG) و درصد تورم حجمی (B) در سطوح وزنی ۳۰ و ۵۰ درصد Polycrase ECR (اعداد درون پرانتز معرف انحراف معیار است)

نسبت وزنی ترکیب Polycrase ECR (درصد)		صفت اندازه گیری شده
۳۰ درصد	۵۰ درصد	
۷/۴۰	۱۰/۸۴	درصد افزایش وزن (WPG)
(۰/۲۲)	(۱/۹۶)	
۸/۴۱	۷/۲۸	درصد تورم حجمی (B)
(۰/۳۶)	(۰/۳۹)	

بر اساس شکل ۲ و ۳، نتایج بررسی خصوصیات فیزیکی چوب صنوبر تیمار شده با Polycrease ECR نشان داد که میزان جذب آب و واکنشیدگی حجمی نمونه‌های با نسبت وزنی ترکیب ۵۰ و ۳۰ درصد، به ترتیب ۱۲۸/۶۱، ۱۲۰/۴۷، ۱۷/۲۳ و ۱۵/۳۴ درصد، در زمان‌های مختلف غوطه‌وری در آب بود. درصد جذب آب و واکنشیدگی حجمی طولانی‌مدت نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد پایین‌تر بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش سرعت جذب آب در ساعات اولیه بر اثر پدیده انتشار انجام شده است. به‌طور کلی، نسبت وزنی

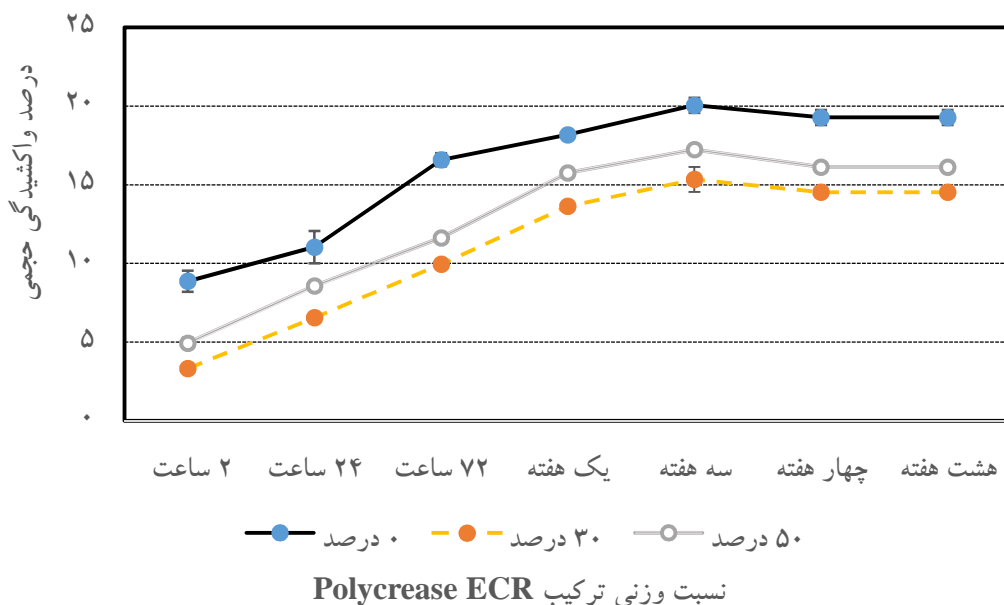
شکل ۲ نشان می‌دهد که پایین‌ترین میزان جذب آب مربوط به نمونه‌های تیمار شده با ۳۰ درصد وزنی Polycrease ECR است. نمونه‌های تیمار شده با ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی Polycrease ECR در مقایسه با نمونه‌های شاهد، مقدار جذب آب را پس از مدت‌زمان ۲ ساعت و ۸ هفته غوطه‌وری به ترتیب ۴۹/۳۰، ۱۶/۹۰، ۲۹/۳۰ و ۱۱/۷۰ درصد کاهش دادند.



شکل ۲- درصد جذب آب چوب صنوبر در نسبت‌های وزنی مختلف

در شکل ۳ مشخص است که پایین‌ترین میزان واکنشیدگی حجمی مربوط به نمونه‌های تیمار شده با ۳۰ درصد وزنی Polycrease ECR است. نمونه‌های تیمار شده با ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی Polycrease ECR در مقایسه با نمونه‌های شاهد، مقدار واکنشیدگی حجمی را پس از مدت‌زمان ۲ ساعت و ۸ هفته به ترتیب ۶۲/۵۰، ۲۴/۶۰، ۴۴/۳۰ و ۱۶/۳۰ درصد کاهش دادند.

در شکل ۳ مشخص است که پایین‌ترین میزان واکنشیدگی حجمی مربوط به نمونه‌های تیمار شده با ۳۰ درصد وزنی Polycrease ECR است. نمونه‌های تیمار شده با ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی Polycrease ECR در مقایسه با نمونه‌های شاهد، مقدار واکنشیدگی حجمی را پس از مدت‌زمان ۲ ساعت و ۸ هفته به ترتیب ۶۲/۵۰، ۲۴/۶۰، ۴۴/۳۰ و ۱۶/۳۰ درصد کاهش دادند.



شکل ۳- درصد واكشیدگی حجمی چوب صنوبر در نسبت‌های وزنی مختلف

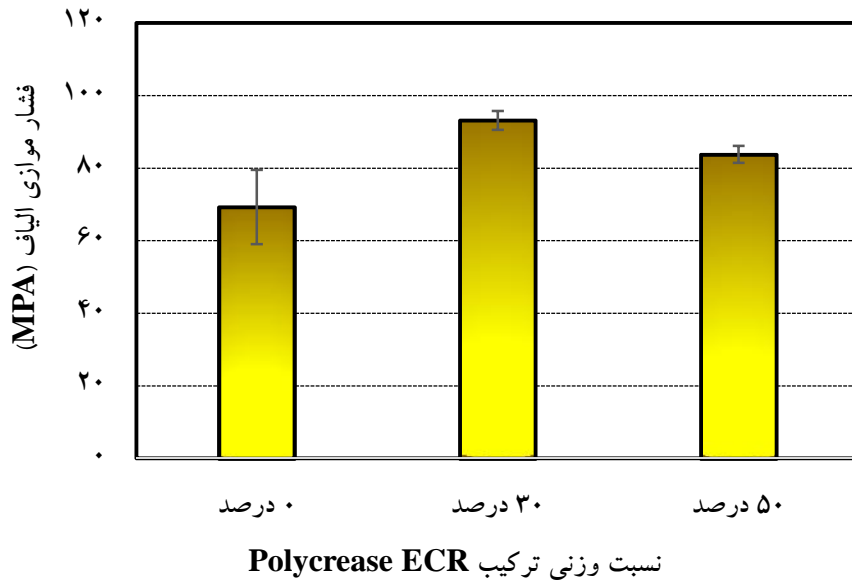
خصوصیات مکانیکی

تحلیل واریانس نشان داد که بین مقادیر مربوط به نسبت وزنی ترکیب Polycrease ECR بر مقاومت فشار موازی الیاف، مقاومت برشی، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته و مقاومت انفصالی پیچ موازی الیاف چوب صنوبر در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. مقدار مقاومت‌های مکانیکی نمونه‌های شاهد در مقایسه با نمونه‌های تیمار شده بالاتر بود و فقط در مقاومت فشار موازی با الیاف، میزان مقاومت نمونه‌های شاهد پایین‌تر بود. به‌طور کلی، نسبت وزنی Polycrease ECR روی خواص مکانیکی نمونه‌های چوب صنوبر تأثیر معنی‌داری داشت. نتایج این مطالعه بیانگر این بود که بالاترین میزان مقاومت فشار موازی الیاف، مقاومت برشی، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته و مقاومت انفصالی پیچ موازی الیاف تحت تأثیر جذب Polycrease ECR با نسبت وزنی ۳۰ درصد در چوب صنوبر بود و با افزایش نسبت وزنی ترکیب ۵۰ درصد این مقاومت‌ها کاهش یافت. بر اساس نتایج، مقدار مقاومت‌های مکانیکی نمونه‌های چوب صنوبر شاهد در مقایسه با نمونه‌های تیمار شده (Polycrease ECR) و

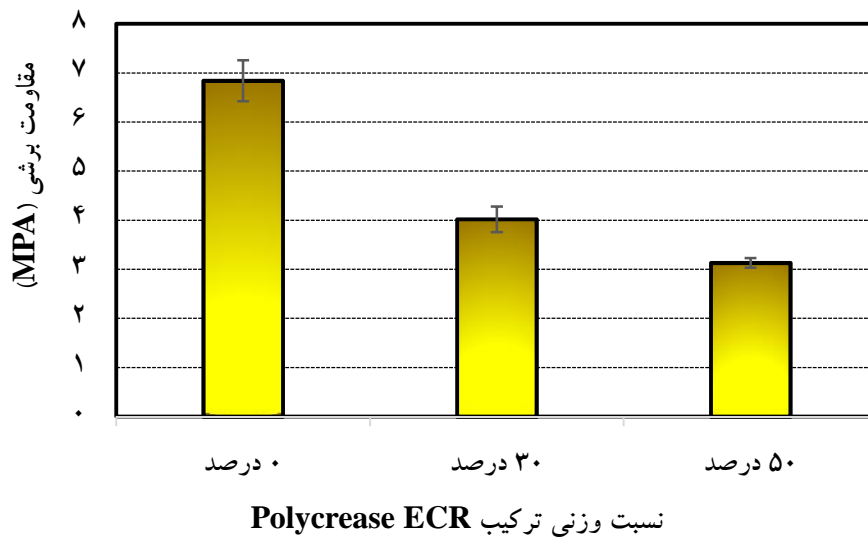
نسبت وزنی ۳۰ و ۵۰ درصد افزایش نشان داد و فقط در مقاومت فشار موازی الیاف نمونه‌های شاهد، کاهش نشان داد. به‌طور کلی، نسبت وزنی Polycrease ECR روی خواص فیزیکی نمونه‌های چوب صنوبر تأثیر معنی‌داری داشت (شکل ۴، ۵، ۶، ۷، ۸).

همان‌طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، بیشترین میزان مقاومت فشاری موازی الیاف مربوط به نمونه‌های تیمار شده با ۳۰ درصد وزنی Polycrease ECR است. نمونه‌های تیمار شده با ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی Polycrease ECR نسبت به نمونه‌های شاهد، مقدار فشار موازی با الیاف را به ترتیب ۳۴/۵۰ و ۲۰/۹۰ درصد افزایش داده است.

در شکل ۵ مشاهده می‌شود که بیشترین میزان مقاومت برشی در نمونه‌های تیمار شده مربوط به نمونه‌های آزمون ۳۰ درصد وزنی Polycrease ECR است. مقدار مقاومت برشی نمونه‌های شاهد نسبت به نمونه‌های تیمار شده با ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی Polycrease ECR به ترتیب ۷۰/۱۰ و ۱۱۸/۵۰ درصد بیشتر است.



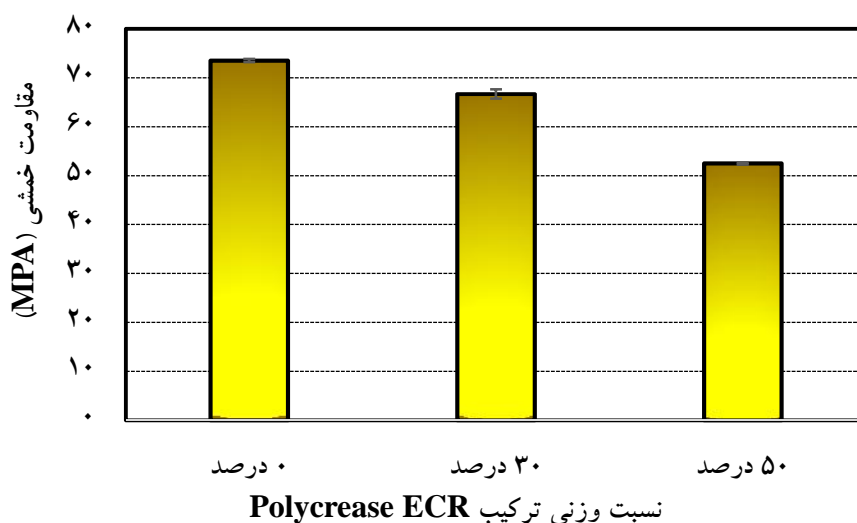
شکل ۴- مقاومت فشاری موازی الیاف چوب صنوبر در نسبت‌های وزنی مختلف



شکل ۵- مقاومت برشی چوب صنوبر در نسبت‌های وزنی مختلف

نمونه‌های شاهد نسبت به نمونه‌های تیمار شده با ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی ECR Polycrease به ترتیب ۲۰/۱۰ و ۴۰ درصد بیشتر است.

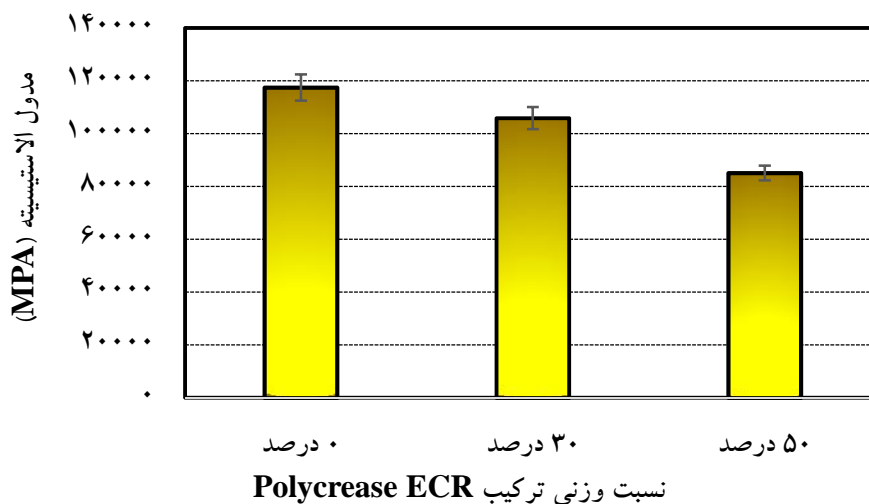
شکل ۶ نشان می‌دهد که بیشترین میزان مقاومت خمشی در نمونه‌های تیمار شده مربوط به نمونه‌های آزمون ۳۰ درصد وزنی ECR Polycrease است. مقدار مقاومت خمشی



شکل ۶- مقاومت خمشی چوب صنوبر در نسبت‌های وزنی مختلف

مدول الاستیسیته نمونه‌های شاهد نسبت به نمونه‌های تیمار شده با ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی Polycrase ECR به ترتیب ۱۰/۹۰ و ۳۸ درصد بیشتر است.

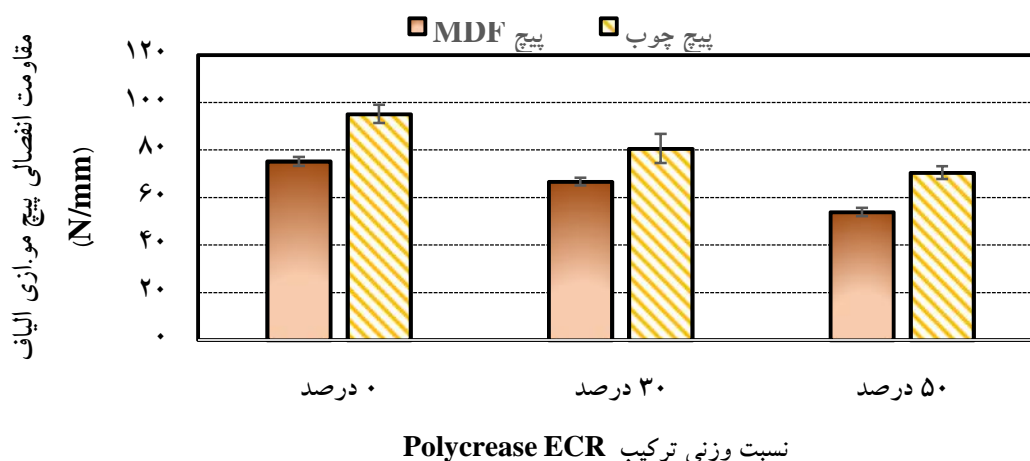
در شکل ۷ مشخص است که بیشترین میزان مدول الاستیسیته در نمونه‌های تیمار شده مربوط به نمونه‌های آزمون ۳۰ درصد وزنی Polycrase ECR است. مقدار



شکل ۷- مدول الاستیسیته چوب صنوبر در نسبت‌های وزنی مختلف

چوب، مقدار مقاومت انفصالی پیچ موازی الیاف نمونه‌های تیمار شده با ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی Polycrase ECR نسبت به نمونه‌های شاهد به ترتیب ۱۱/۳۵، ۲۸/۳۸، ۱۵/۲۸ و ۲۵/۹۵ درصد کاهش نشان دادند.

همان‌طور که شکل ۸ نشان می‌دهد، در حالت کلی بیشترین میزان مقاومت انفصالی پیچ موازی الیاف در نمونه‌های تیمار شده مربوط به نمونه‌های آزمون ۳۰ درصد وزنی Polycrase ECR است. با توجه به نوع اتصال‌دهنده پیچ MDF و پیچ



شکل ۸- مقاومت انفصالی پیچ موازی الیاف چوب صنوبر در نسبت‌های وزنی مختلف

بحث

اصلاح چوب

اصلاح چوب به دو روش اصلاح فعال^۱ که به تغییر در طبیعت شیمیایی ماده و دیگر اصلاح انفعالی^۲ که به تغییر در یک ویژگی چوب بدون تغییر در شیمی ماده می‌انجامد. در فرایند اصلاح شیمیایی چوب، به‌طور معمول خواص فیزیکی از عوامل مؤثر در شناخت رفتار مواد و خواص مکانیکی به‌عنوان شاخصی در تغییر ساختار مواد به‌حساب می‌آیند (Hill, 2006 Lopes et al., 2015).

خصوصیات فیزیکی

جذب آب و واکنشیدگی حجمی

این بررسی نشان داد که در اثر اصلاح شیمیایی (اتصال عرضی با مواد شیمیایی واکنشی)، ساختار و ترکیب شیمیایی چوب، خواص مرتبط با رطوبت چوب از قبیل رطوبت تعادل و رفتار واکنشیدگی چوب تغییر می‌کند. رطوبت توسط گروه‌های هیدروکسیل موجود در دیواره سلول از طریق اتصال هیدروژنی جذب ماده می‌شود. مشاهده می‌شود که رزین‌های متیلولی و وینیلی به بهبود دوام و ثبات ابعاد چوب می‌انجامد، به‌طوری‌که پس از طولانی‌ترین زمان، جذب آب، تورم حجمی و واکنشیدگی حجمی چوب‌های اصلاح‌شده در

مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش یافت (Hill, 2005 a,b ; 2006 ; Li et al., 2012; Lopes et al., 2013; Kaki & Ghorbani, 2013 Rowell). بنابراین به نظر می‌رسد که با نفوذ رزین‌های اصلاح‌کننده از جمله وینیل و متیلول به داخل دیواره سلولی، مسدود شدن حفره‌ها و دیواره، تورم دیواره و پیوند عرضی پس از پلیمریزاسیون و بهبود پایداری ابعاد چوب (مقاومت به جذب آب و واکنشیدگی حجمی) انجام شود. از طرفی نفوذ نامناسب رزین در داخل ریز دیواره‌های سلولی و خارج شدن بخشی از آن طی فرایند اشباع و فشرده‌سازی می‌تواند منجر به شکستگی دیواره‌های سلولی، افزایش تورم حجمی و کاهش ثبات ابعاد (مقاومت به جذب آب و واکنشیدگی حجمی) در چندسازه چوب پلیمر شود (Omidvar, 2009).

دانسیته و درصد افزایش وزن

با افزایش غلظت رزین‌های وینیلی (مونومر وینیلی) و رزین‌های مشابه (DMDHEU)، درصد جذب پلیمر افزایش می‌یابد. رزین متیلولی با ساختاری مشابه رزین وینیلی، یک رزین غیر قطبی است که به دلیل جایگزینی و پلیمر شدن داخل خلل و فرج چوب، مقدار ماده جامد در واحد حجم آن افزایش می‌یابد (Talaeepour & Omidvar, 2008). رزین‌های متیلولی، حفره‌های سلولی را اشغال می‌کند و تنها مقدار کمی از آن در دیواره سلول پلیمریزه می‌شود (Baysal et al., 2007). دانسیته

1-Active modifications

2-Passive modifications

اصلاح چوب با رزین DMDHEU، کاهش ۲۰ درصد مقاومت خمشی را ایجاد کرد (Lopes et al., 2015). اتصال عرضی رزین‌های متیلولی تشکیل شده روی دیواره سلول باعث افزایش استحکام دیواره سلول می‌شود (Xie et al., 2010; Xie et al., 2007). بنابراین به نظر می‌رسد که در کاهش مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته، تخریب اسیدی دیواره سلول، واکنش هیدرولیزی رزین DMDHEU، ساختار فیزیکی دیواره سلول و بافت چوب بسیار تأثیرگذار بوده است (Hill, 2006; Adamopoulos et al., 2015). در چوب پلیمر به دلیل آنکه نخست چون پلیمرهای موجود در حفره سلولی اکثراً مجزا و بی‌ارتباط با یکدیگر هستند، درثانی پلیمرهای متیلولی بطور ذاتی ترد و شکننده و در مقابل نیروی کشش ضعیف می‌باشند، از این رو بهبود ویژگی‌هایی همانند خمش استاتیک و مدول الاستیسیته بسیار کم و ناچیز است (Lopes et al., 2015).

مقاومت فشاری موازی الیاف

اثر افزایشی مقاومت فشاری موازی الیاف در چوب پلیمر بیشتر از مقاومت‌های دیگر است، زیرا پلیمر در حفره‌های سلولی موجب نگهداری و استحکام دیواره سلولی و مقاومت آن در مقابل کمانش ناشی از فشار می‌گردد. این خاصیت در محدوده بار الاستیک بیشتر نمایان است (Schneider et al., 1990). چوب تیمار نشده به دلیل نازک و خالی بودن حفره سلولی، در مقابل فشاری موازی الیاف دچار کمانش می‌شود (Yildiz et al., 2005). رزین DMDHEU با غلظت‌های متفاوت، مقدار مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد. در مقدار مقاومت‌های فشاری، مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی و جذب آب، برای الیاف تأثیرگذار است. بالاترین مقدار مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی در جهت طولی الیاف مشاهده می‌شود (Zahedi & Omidvar, 2007; Trinh et al., 2012; Kong et al., 2015). با توجه به نتایج، با نفوذ رزین به داخل حفره‌های چوب و پوشانده شدن سطح دیواره‌ها، مقدار سختی افزایش می‌یابد (Hill, 2006; Lopes et al., 2015). اصلاح چوب

چوب- پلیمر با توجه به نوع گونه، تخلخل و تیمارپذیری، همچنین نوع رزین و فرایند پلیمریزاسیون در مقایسه با چوب شاهد افزایش می‌یابد (Kaki & Ghorbani, 2013; Talaeepour & Omidvar, 2008). با افزایش غلظت رزین، واکنشیدگی حجمی چوب‌های تیمار شده کمتر می‌شود. به دلیل اینکه رزین DMDHEU، بعد از پلیمر شدن به‌عنوان مانع فیزیکی در داخل چوب، از جذب آب جلوگیری می‌کند. جریان کند رطوبت، سرعت انتشار آب در دیواره سلول را کاهش می‌دهد و در نتیجه ثبات ابعاد چوب‌های تیمار شده را در مقایسه با نمونه‌های شاهد افزایش می‌دهد (Chao & Lee, 2003; Dieste, 2009). با نفوذ و تثبیت رزین‌های شیمیایی (DMDHEU) با غلظت‌های بالا در سلول‌های چوب، درصد افزایش وزن تغییر محسوسی پیدا نمی‌کند (Krause et al., 2008; Dieste et al., 2008). سازوکار تثبیت رزین در اتصال عرضی با دیواره سلول چوب، تراکم گروه‌های NH یا گروه‌های OH در زنجیره اتصال می‌باشد که با نتایج Krause و همکاران (۲۰۰۸) و Kong و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. اصلاح دیواره سلول چوب با رزین DMDHEU و غلظت‌های پایین در حدود ۳۰ درصد از تأثیر قابل توجه و همبستگی معنی‌داری برخوردار است. رزین DMDHEU، بیشترین تغییر را در رفتار تورم حجمی، واکنشیدگی حجمی و درصد افزایش وزن چوب ایجاد می‌کند (Lande et al., 2004; Lopes et al., 2015).

خصوصیات مکانیکی

خمش استاتیک و مدول الاستیسیته

اصلاح دیواره سلول چوب با رزین‌های شیمیایی تأثیر بالایی در افزایش مقاومت‌های خمشی و فشاری دارد. اصلاح با رزین‌های شیمیایی در غلظت‌های پایین (۳۰ درصد)، عدم تردی و شکنندگی، دوام بالا در مقابل ارگانسیم‌های قارچی و بهبود نسبی خواص استاتیک (خمش و مدول الاستیسیته) را منجر می‌شود (Lopes et al., 2015). اصلاح با رزین DMDHEU، تغییر قابل توجهی را در مقدار مدول الاستیسیته نداشت (Esteves et al., 2009; Bollmus, 2011). فرایند

فرصت انجام این پژوهش را در قالب طرح فراهم کردند، سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

- Adamopoulos, S., Hosseinpourpia, R., & Mai, C., 2015. Tensile strength of handsheets prepared with macerated fibres from solid wood modified with cross-linking agents. *Holzforschung*, 69(8), 959-966.
 - Akhtari, M., Ghorbani Kokandeh, M., Taghiyari, H.R., 2015. Study on the physical and mechanical properties of paulownia wood impregnated with nanosilver and nanocopper. *J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 21 (4), 147-159.
 - Baysal, E., Yalinkilik, M. K., Altinok, M., Sonmez, A., Peker. H., and Colak, M., 2007. Some physical, biological, mechanical, and fire properties of wood polymer composite (WPC) pretreated with boric acid and borax mixture. *Construction and Building Materials*, (21): 1879-1885.
 - Bollmus, S., 2011. Biologische und technologische Eigenschaften von Buchenholz nach einer Modifizierung mit 1, 3-dimethylol-4, 5-dihydroxyethyleneurea (DMDHEU). PhD dissertation, Georg-August-Universität Goettingen, Germany.
 - Chao, W.Y., and Lee, A.W., 2003. Properties of Southern pine wood impregnated with styrene. *Holzforschung*, 57(3): 333-336.
 - Dieste, A., 2009. Wood-water relationships in wood modified with 1, 3-dimethylol-4, 5-dihydroxy ethylene urea (DMDHEU). PhD dissertation, Georg-August-Universität Goettingen, Germany.
 - Dieste, A., Krause, A., Bollmus, S., & Militz, H., 2008. Physical and mechanical properties of plywood produced with 1.3-dimethylol-4.5-dihydroxyethyleneurea (DMDHEU)-modified veneers of *Betula sp.* and *Fagus sylvatica*. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 66(4), 281-287.
 - Esteves, B.; Nunes, L.; Pereira, H., 2009. Furfurylation of *Pinus pinaster* Wood. In: Englund F, Hill CAS, Militz H, Segerholm BK (Hg.) *The Fourth European Conference on Wood Modification*. 4th European Conference on Wood Modification, Stockholm, 415-418.
 - Hill CAS., 2006 *Wood modification*. Chemical, thermal and other processes. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, pp 239.
 - Jani, M., Rozman, D., and Rahim., 2007. Rubber wood-polymer Composites: The Effect of Chemical impregnation on the Mechanical and Physical Properties. *Malaysian Polymer Journal*, 2(2): 1-11.
 - Jiang, T., Gao, H., Sun, J., Xie, Y., & Li, X., 2014. Impact of DMDHEU resin treatment on the
- با رزین DMDHEU، بهبود ۴۰ درصد مقاومت فشاری را نشان داد (Lopes *et al.*, 2015; Bollmus, 2011).
- مقاومت برشی و مقاومت انفصالی پیچ موازی الیاف در اثر تیمار با رزین‌های متیلولی مقدار مقاومت برشی کاهش یافت. دلیل این کاهش مقاومت را می‌توان به ترد و شکننده بودن رزین‌های متیلولی نسبت داد که حالت شکننده‌ای به دو سطح اتصال می‌دهد. نتایج این مطالعه با بررسی‌های Bollmus (۲۰۱۱)، Rowell b (۲۰۰۵) و Lopes و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. چوب‌های تیمار شده با رزین DMDHEU انرژی داخلی چوب را تا زمان شکست کاهش می‌دهد (Winandy & Rowell; 2005 ;Xie *et al.*, 2007 ;Dieste *et al.*, 2008). در چسبندگی اتصال چوب‌های اصلاح شده با رزین‌های متیلولی، درجه حرارت و زمان حرارت‌دهی برای خشک کردن و پلیمر شدن و همچنین تشکیل پیوندهای کووالانسی رزین‌های متیلولی با گروه‌های هیدروکسیل چوب تأثیرگذار است (Kong *et al.*, 2015). کاهش در مقاومت انفصالی پیچ موازی الیاف و سایر مقاومت‌های مکانیکی دیگر را می‌توان به واکنش هیدرولیزی رزین‌های متیلولی، عدم ارتباط پیوسته رزین در دیواره سلولی، ترد و شکننده بودن و نیروی کششی ضعیف رزین‌های متیلولی نسبت داد (Adamopoulos *et al.*, 2015; Hill, 2006; Xie *et al.*, 2007; Omidvar, 2009). با توجه به بهبود ثبات ابعاد و عدم کاهش قابل ملاحظه در خواص مکانیکی آزمون‌های تیمار شده با Polycrase ECR می‌توان کاربردهایی مانند پروفیل در و پنجره در محیط‌های مرطوب، مبلمان باغی و شهری، محوطه‌سازی و نماسازی را پیشنهاد کرد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران مطابق قرارداد شماره ۲۹۰۴ مورخ ۹۵/۲/۱۲ مستخرج گردید. بدین وسیله نویسندگان از حمایت‌های مالی دانشگاه تشکر و قدردانی می‌نمایند. همچنین از حمایت‌های ریاست محترم و معاونت پژوهشی که

- Fakirov, Debes Bhattacharyya, ISBN 978-3-446-40591-2.
- Schneider, M.H., & Phillips., J.G., 1996. Wood polymer composites improving woods' natural virtues by polymer impregnation. *Wood and fiber science* 26(1), pp: 142-151.
 - Schneider, M.H., & Phillips, J.G., 2000. Physical properties of wood polymer composites. *J. Forest Engineering* 11:1, 83- 89.
 - Schneider, M.H., & Phillips, J.G., Tingley, D.A., & Brebner, K.L., 1990. Mechanical properties of polymer impregnated maple. *For. Prod. J.* 40(1): 37- 41.
 - Talaeepour, S., and Omidvare, A., 2008. Investigation of physical properties wood polymer composites from palownia, aspen, maple, hornbeam speiec. *Journal of Pajouhesh and sazandegi*, (77): 85-91.
 - Trinh, H. M., Militz, H., & Mai, C., 2012. Modification of beech veneers with N-methylol-melamine compounds for the production of plywood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(4), 421-432.
 - Verma, P., Junga, U., Militz, H., & Mai, C., 2009. Protection mechanisms of DMDHEU treated wood against white and brown rot fungi. *Holzforschung*, 63(3), 371-378.
 - Winandy JE, Rowell R., 2005. Chemistry of wood strength. In: Rowell R (ed) *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Taylor & Francis, Boca Raton London New York Singapore, pp 303-347.
 - Xie Y, Krause A, Militz H, Turkulin H, Richter K, Mai C., 2007. Effect of treatments with 1,3-dimethylol-4,5 dihydroxyethyleneurea (DMDHEU) on the tensile properties of wood. *Holzforschung* 61(1):43-50.
 - Xie, Y., Xiao, Z., Grüneberg, T., Militz, H., Hill, C. A., Steuernagel, L., & Mai, C., 2010. Effects of chemical modification of wood particles with glutaraldehyde and 1, 3-dimethylol-4, 5-dihydroxyethyleneurea on properties of the resulting polypropylene composites. *Composites Science and Technology*, 70(13), 2003-2011.
 - Yildiz, Ü. C., Yildiz, S., & Gezer, E. D., 2005. Mechanical properties and decay resistance of wood-polymer composites prepared from fast growing species in Turkey. *Bioresource technology*, 96(9), 1003-1011.
 - Zahedi tajrishi, A., and Omidvar, A., 2007. Resistance of Poplar wood polymer composites against *Coriolus versicolor* fungus. *Journal of Agricultural Science and Natural Resource*. 14(1): 81-90.
 - mechanical properties of poplar. *Polymers & Polymer Composites*, 22(8), 669.
 - Kaki, R., & Ghorbani, M., 2013. Investigation of Water Absorption and Dimensional Stability of Beech Impregnated With Methylmethacrylate. *Journal of Forest and Wood Products (JFWP) (Iranian Journal of Natural Resources)*, 329-338.
 - Kong, M. T., Lim, T. W., Król, P., Auriga, R., & Mami ski, M. Ł., 2015. 1, 3-Dimethylol-4, 5-dihydroxyethyleneurea as a Potential Alternative Binder for Plywood. *The Journal of Adhesion*, (just-accepted).
 - Krause A, Wepner F, Xie Y, Militz H., 2008. Wood protection with dimethyloldihydroxy-ethyleneurea and its derivatives. In: Schultz TP, Militz H, Freeman MH, Goodell B, Nicholas DD (eds) *Development of commercial wood preservatives. Efficacy, environmental, and health issues*. American Chemical Society, Washington DC, pp 356-371.
 - Lande, S.; Westin, M.; Schneider, M., 2004. Properties of furfurylated wood. *Scandinavian Journal Forest Research* 19(5): 22-30.
 - Li, Y.; Dong, X.; Lu, Z.; Jia, W., and Liu, Y., 2012. Effect of polymer in situ synthesized from methyl methacrylate and styrene on morphology, thermal behavior and durability of wood. *Journal of Applied Polymer Science*, 128(1), 13-20.
 - Lopes, D. B., Mai, C., & Militz, H., 2015. Mechanical properties of chemically modified portuguese pinewood. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 17(1), 179-194.
 - Lopes, D. B., May, C., & Militz, H., 2013. Physical properties of Portuguese pinewood chemically modified. *Ciência & Tecnologia dos Materials*, 25(2), 121-128.
 - Militz, H., & Norton, J., 2013. Performance testing of DMDHEU-modified wood in Australia. *International Research Group on Wood Protection IRG/WP 13-30613*, Stockholm, Sweden.
 - Omidvar, A., 2009. Wood-polymer composite. *Gorgan University of Agricultural sciences and Natural Resources*, 127p.
 - Rowell, R.M., 2005 a. Chemical modification of lingo-cellulosic materials. *Marcel Dekker*, New York, pp 77-98.
 - Rowell, R.M., 2005 b. *Handbook of wood chemistry and wood composites: blends and composites*, Chapter 14 *Chemical Modification Wood*. Edited by Stoyko

Evaluation of the influence of chemical modification with polycrase ECR on the functional performance of poplar wood/polymer

A. Talaei^{1*} and M.H. Rezvani²

1*- Corresponding author, Assistant Professor at Department of Wood Science and Technology, Faculty of Civil Engineering, University of Shahid Rajaei Teacher Training, Tehran, Iran, Email: talaei.srttu@gmail.com

2- Graduated MSc at Department of Wood Science and Technology, Faculty of Civil Engineering, University of Shahid Rajaei Teacher Training, Tehran, Iran

Received: Aug., 2016

Accepted: Dec., 2016

Abstract

In this research the effect of chemical modification with Polycrase ECR on the functional performance of poplar wood to be used as wood/polymer were investigated. Polycrase ECR the modified dimethyloldihydroxy-ethyleneurea (DMDHEU) was used for chemical modification of wood by impregnation method. Specimens were prepared according to the ASTM standard test methods and treated applying two levels of 30 and 50%. Modification process of specimens were performed for 24 hours in temperature of 120°C. Functional performance including Weight percent gain (WPG), bulking, long term water absorption and volumetric swelling in 8 weeks, bending strength (MOR) and modulus of elasticity (MOE), compression strength parallel to the grain, shear strength and withdrawal resistance of screw parallel to the grain was measured. Two-way analysis of variance (ANOVA) was used for statistical analysis. The results of modified specimens were compared with untreated control samples. Results showed that modification with Polycrase ECR had significant effects on physical and mechanical properties in treated specimens. Chemical modification in 30% level, lead to reduce the long term water absorption and volumetric swelling. Reduction in mechanical properties were not considerable. Chemical modification with Polycrase ECR in 30% level compared to 50% level, showed better physical and mechanical properties. Generally, the influence of chemical modification on the physical properties (long term water absorption and volumetric swelling) were dominant.

Keywords: Chemical modification, wood/polymer, polycrase ECR, functional performance, poplar.