بررسی مقاومت چسبندگی شفاف‌پوشه‌ها در چوب پلیمر راش- فورفوریل الکل

آیسونا طلایی[۱*]
محمد صالح زارع[۲]
حمیده عبدل زاده[۳]

[۱] استادیار گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

[۳] دکتری علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

مسئول مکاتبات:
talaei.srttu@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۱۶
تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۷/۲۶

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثر تیمار فورفوریلاسیون بر مقاومت چسبندگی شفاف‌پوشه‌ها و زبری سطح در چوب راش (*Fagus orientalis*) انجام گرفت. بدین منظور نمونه‌ها با دو سطح متفاوت فورفوریلاسیون ۲۰٪ و ۶۵٪ اشباع و با نمونه‌های شاهد مقایسه شدند. نمونه‌ها تحت فشار اشباع‌شده و پلیمریزاسیون منومر فورفوریل الکل با کاتالیزور حرارت انجام شد. نمونه‌ها در دو فرایند جداگانه با سیلر- نیم‌پلی‌استر و پلی‌اورتان پوشش داده شدند. زبری سطح و مقاومت چسبندگی کششی Pull-off و مقاومت چسبندگی خراش Cross-Cut اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مقاومت چسبندگی و زبری سطح آزمونه‌هایی با ۲۰٪ فورفوریلاسیون تفاوت معناداری با آزمونه‌های شاهد نداشتند ولی در آزمونه‌هایی با ۶۵٪ فورفوریلاسیون، مقاومت چسبندگی کاهش و زبری سطح افزایش یافته است. همچنین مقاومت چسبندگی رنگ پلی‌یورتان نسبت به رنگ سیلر- نیم‌پلی‌استر عملکرد بهتری داشت. آزمونه‌هایی با ۲۰٪ فورفوریلاسیون و پوشش پلی‌یورتان بیشترین مقدار و آزمونه‌هایی با ۶۵٪ فورفوریلاسیون و با پوشش سیلر- نیم‌پلی‌استر کمترین مقدار مقاومت چسبندگی رنگ را نشان دادند.

واژگان کلیدی: مقاومت چسبندگی، زبری سطح، شفاف‌پوشه، فورفوریلاسیون، راش.

مقدمه

چوب یک ماده تجدیدپذیر طبیعی است که ساختار متخلخل منحصربه‌فرد دارد و ماده‌ای ضروری برای بقای بشر به شمار می‌رود. ترکیبات اصلی و عمده آن بیوپلیمرهایی با گروه‌های هیدروکسیل فراوان مانند کربوهیدرات‌های سلولز، همی‌سلوز و پلیمرهای فنولی لیگنین هستند. گروه‌های هیدروکسیل موجود در چوب مکان‌های جذب آب هستند که سبب کاهش مقاومت چوب می‌شوند، در نتیجه چوب به‌راحتی با جذب و دفع آب واکشیده و هم‌کشیده می‌شود و زمانی که در محیط بیرون قرار می‌گیرد مستعد تغییر ابعاد بوده و به‌وسیله میکروارگانیسم‌ها تخریب می‌شود. با توجه به معایب ذکرشده چوب ماده مؤثری برای استفاده طولانی‌مدت نیست. بررسی روش‌های بهبود ویژگی‌های چوب با کمک مواد شیمیایی گوناگون، در سال‌های اخیر یکی از لزومات بسیار مهم در تحقیقات این صنعت به شمار می‌رود. در فرایندهای تولید چوب پلیمر مانند فورفوریلاسیون، برخلاف استیلاسیون که به تجهیزات ویژه‌ای برای اصلاح نیاز دارد، چوب از طریق تجهیزات سنتی با منومر موردنظر اشباع شده و به دنبال آن فرآیند پلیمریزاسیون با روش‌های

مختلفی مانند حرارت دهی، استفاده از کاتالیزور و یا نفوذ اشعه تکمیل می‌شود. هدف از تیمار فورفوریلاسیون افزایش ثبات و پایداری چوب و افزایش برخی ویژگی‌های مقاومتی آن بدون کاهش قابل‌ملاحظه ویژگی‌های مکانیکی موردنیاز برای کاربردهای سازه‌ای است [۱].

تحقیقات در رابطه با اصلاح چوب با فورفوریل الکل با عنوان فورفوریلاسیون چوب برای اولین بار توسط استم، پیشگام اصلاح چوب، در اوایل دهه ۱۹۵۰ آغاز شده است. علاوه بر تجربه Stamm تلاش‌های دیگری هم در این زمینه توسط Goldstein انجام شده است [۳-۲]. فورفوریل الکل ماده شیمیایی تجدیدشونده و از مشتقات فورفورال است که از هیدرولیز پسماند زیست‌توده[1] تولید می‌شود. فرایندهای جدید فورفوریلاسیون بر پایه سازوکارهای کاتالیزوری و مواد افزودنی پایه‌گذاری شده‌اند. فرایند Goldstein با کاتالیزور کلریدروی و بر روی روکش‌های چوبی انجام گرفته است. وی گزارش داده که تیمار با محلول فورفوریل الکل ٪۹۰، باعث پایداری ابعادی فراورده شده و پایداری در برابر قارچ و باز و اسید را افزایش می‌دهد. این تحقیق به تولید چوب فورفوریل‌دار شده در ابعاد کوچک در دهه ۱۹۶۰ توسط شرکت Koppers انجامیده است. Anaya فرایند بسیار نزدیکی به روش Stamm/Goldstein ارائه داد [۵-۴]، اما این فرایند هرگز صنعتی نشد. مشکل اصلی این فرایند، استفاده از کلرید روی بود که باعث شکستن زنجیره سلولز شده و مقاومت چوب اصلاح‌شده را کاهش می‌داد. در اوایل دهه ۱۹۹۰ Schneider و Westin به‌طور جداگانه و تقریباً هم‌زمان برای فرایند فورفوریلاسیون کاتالیزورهای دیگری ارائه داده‌اند. هر دو روش بر پایه فرایند پلیمریزاسیون با روش شیمیایی و با استفاده از انیدریدهای کربوکسیلیک حلقوی به عنوان کاتالیزور انجام شد [۶-۷]. روندهای جدید منتهی به محلولی شد که ازنظر شیمیایی در دمای اتاق ثبات داشته و با توجه به فرایند اشباع، ویژگی‌های خوبی حاصل می‌کرد. درنتیجه فرآورده‌های نهایی چوب فورفوریل‌دار کیفیت بالای مورد انتظار را داشتند. ویژگی‌های چوب فورفوریل‌دار شده با این روش به‌طورکلی از روش اولیه‌ای که توسط Stamm و Goldstein ارائه شده بود، بهتر بود. در مرحله اصلاح شیمیایی، مواد شیمیایی با یک و یا هر سه جزء عمده چوب (سلولز، همی‌سلولز و لیگنین) با نسبت‌های مختلفی واکنش می‌دهند. این مواد می‌توانند بر اکثر ویژگی‌های چوب تأثیر بگذارند.

در فورفوریلاسیون سطوح تیمار با درصد افزایش وزنی[2] (WPG) بیان می‌شود. با رقیق‌سازی مناسب محلول اشباع، امکان به دست آوردن WPG از ۱۰ تا بیش از ٪۱۰۰ در چوب‌های با چگالی کم وجود دارد. درواقع غلظت فوورفوریل الکل و چگالی چوب، میزان WPG را تحت تأثیر قرار می‌دهند. چوب‌هایی با چگالی کم، حجم فضاهای خالی بزرگ‌تری داشته و درنتیجه درصد افزایش وزن بیشتری در مقایسه با چوب متراکم‌تر (دارای دانسیته بیشتر) خواهند داشت.

Lande و همکاران (۲۰۰۴) بر این باورند که پایداری ابعادی چوب فورفوریل‌دار شده با افزایش WPG زیادتر می‌شود [۸]. Epmeier و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقات خود به این نتایج رسیدند که با افزایش ضریب واکشیدگی، میزان رطوبت تعادل و کرنش واکشیدگی فرآورده تا ٪۳۰ کاهش می‌یابد. همچنین در اثر پلیمریزاسیون فوورفوریل الکل در چوب تغییرات معنی‌داری در مدول الاستیسیته[3] دینامیکی دیده نشد [۹]. Treu و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقات خود به این نتایج رسیدند که جذب آب و واکشیدگی ضخامت چوب فورفوریل‌دار شده کاهش می‌یابد و چوب‌های تیمار شده مقاومت بالایی در برابر حمله قارچ از خود نشان دادند [۱۰]. Lande و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیق دیگری با مقایسه WPG و پلیمریزاسیون فورفوریل‌الکل[4] (FAP) دریافتند که باوجوداینکه WPG روش متداولی برای نشان دادن میزان پلیمر در چوب اصلاح شده است، ولی غلظت ماده تثبیت شده (معادل با درصد FAP) بیش از جرم اضافه شده به اجزای سازنده (معادل WPG) است. دامنه FAP از ۰ تا ٪۱۰۰ است درحالی که WPG می‌تواند دامنه‌ای از صفرتا بی‌نهایت را شامل شود و با غلظت پلیمر در نمونه‌ها همبستگی ندارد [۱۱].

Esteves و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند که فورفوریلاسیون چوب بدون اثر قابل‌توجهی بر خواص

[1] Biomass
[2] Weight Percentage Gain
[3] Modulus of Elasticity
[4] Furfuryl Alcohol Polymerization

خمشی، باعث کاهش رطوبت تعادل چوب و افزایش ثبات ابعادی آن شده و ناهمسانی چوب را کاهش می‌دهد. سختی و دوام نمونه‌های تیمار شده به‌صورت قابل‌توجهی افزایش می‌یابد [۱]. Abdolzadeh و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی‌های خود به این نتایج رسیدند که چوب فورفوریل‌دار می‌تواند در ساخت سازه‌ها و اسکله‌های چوبی، پل‌ها و در مبلمان پارک‌های شهری به‌عنوان جزئی از سازه‌های چوبی استفاده شود [۱۲].

با توجه به اینکه یکی دیگر از راه‌کارهای افزایش دوام و پایداری یک محصول چوبی متأثر از انتخاب پوششی مناسب برای حفاظت و ارائه جلوه‌ای زیبا از سطح چوبی است و مقاومت پوشش و چسبندگی آن بر روی سطوح چوب ارتباط مستقیم با مقاومت نهایی محصول دارد، لذا با اعمال پوششی مناسب بر روی سطح چوب جذب رطوبت کاهش‌یافته و دوام و پایداری سازه افزایش می‌یابد. درنتیجه می‌توان کاربرد چوب را توسعه و بهبود بخشید. به‌عنوان‌مثال در صنعت مبلمان برای پوشش‌دهی سطوح مبلمان ساخته‌شده از چوب‌های جنگلی و داری نقش‌های زیبا از پوشش‌هایی متنوعی استفاده می‌شود. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده نیز بیشترین پوشش مورد مصرف در سطوح مبلمان چوبی پوشش نیم‌پلی‌استر است. یکی از معیارهای مهم برای سنجش پایداری پوش‌رنگ، چسبندگی مناسب آن به زیرآیند (مقاومت چسبندگی پوشش) است [۱۳]. نتایج بررسی تأثیر رطوبت چوب بر چسبندگی پوشش‌های سلولزی (نیتروسلولز)، پلی‌یورتان دوجزئیدوجزئی و پایه آب بر روی سه گونه کاج اسکات، راش شرقی و بلوط با رطوبت ۸، ۲۱ و ۵۱ درصد بیانگر این بود که درصد رطوبت بالای چوب اثر منفی روی چسبندگی پوشش اعمال‌شده بر سطح چوب دارد. به‌طوری‌که بالاترین مقاومت چسبندگی در پوشش دوجزئیدوجزئی پلی‌یورتان، اعمال‌شده بر روی نمونه‌های بلوط با رطوبت ۸ درصد دیده شد [۱۴]. همچنین بررسی تأثیر رطوبت بر مقاومت چسبندگی پوشش‌های سیلر-کیلر و سیلر- نیم‌پلی‌استر حاکی از آن بود که بیشترین میزان مقاومت چسبندگی پوشش سیلر- نیم‌پلی‌استر در رطوبت ۸ درصد به دست آمد و با افزایش رطوبت مقاومت چسبندگی کاهش می‌یابد [۱۴]. بررسی‌ها نشان داده است که پیوندهای عرضی امولسون اکریلیک، مقاومت پوشش را افزایش داده و کیفیت آن را بهبود می‌بخشد. با پلی‌یورتان‌های فاقد جذب آب، مقاومت به خراش، سختی و سایش بهبود می‌یابد. نتایج آماده‌سازی زیرآیند چهار گونه صنوبر، کاج زرد، راش و شاه‌بلوط با مواد شیمیایی محلول آمونیاک، آب‌اکسیژنه و محلول آلکالین مس (ACQ) نشان داد که آماده‌سازی سطح چوب با مواد شیمیایی ذکرشده باعث افزایش مقاومت چسبندگی در مقایسه با نمونه‌های شاهد می‌شود [۱۵].

فورفوریلاسیون باعث تغییر ویژگی‌های چوب ماسیو می‌شود. از سویی دیگر کیفیت و ویژگی‌های زیرآیند نقش بسزایی در مقاومت چسبندگی پوشش دارد. بررسی تأثیر روش‌های اصلاحی بر کیفیت چسبندگی برخی از پوشش‌های متداول شفاف نظیر پوشش پلی‌یورتان و سیلر- نیم پلی‌استر برای فراهم ساختن زیرآیند مناسبی که با وجود ثبات ابعادی بهتر نسبت به چوب ماسیو، زیبایی ظاهری چوب را نیز حفظ کند، می‌تواند مفید باشد. در این راستا تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر فورفوریلاسیون چوب راش بر مقاومت چسبندگی پوشش‌های پلی‌یورتان و سیلر- نیم پلی‌استر انجام شده است که به نظر می‌رسد نوآوری بسیار مطلوبی درزمینه استفاده از چوب پلیمرها در صنعت مبلمان را در برداشته باشد.

مواد و روش‌ها

عملیات فورفوریلاسیون چوب راش بر اساس روش Thygesen و همکاران (۲۰۱۰) با اندکی تغییرات مانند تغییر در ابعاد، گونه چوبی، درصد مصرف کاتالیزور و دمای خشک‌کردن چوب راش پیش از آغاز تیمار به خاطر حساسیت بالاتر این‌گونه چوبی در سه مرحله اشباع، پخت و پخت تکمیلی انجام شده است [۱۶]. برای فورفوریلاسیون، فورفوریل الکل ٪۹۸ شرکت مرک (Merck) و ٪۱/۵ اسیدسیتریک (بر پایه وزن فورفوریل الکل) به‌عنوان کاتالیزور مورد استفاده قرار گرفت.

اشباع: آزمونه‌ها در سیلندر اشباع ۳۰ لیتری در خلأ (۰/۳ بار) به مدت ۴۵ دقیقه قرار گرفتند. سپس مایع به درون سیلندر وارد و فشار ۶ بار به مدت ۲ ساعت اعمال

شد. پس از خارج کردن آزمونه‌ها از سیلندر، مایع اضافی از آزمونه‌ها زدوده شده برای حذف اتانول موجود در چوب پیش از پلیمریزاسیون، آزمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای محیط و ۲ ساعت در درون آون با دمای ۴۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس در درون فویل آلومینیومی پیچیده شدند و عملیات پخت به مدت ۱۶ ساعت در دمای ۱۰۶ درجه سلسیوس در درون آون انجام شد.

مرحله پخت تکمیلی: پس از عملیات پخت و بیرون آوردن آزمونه‌ها از درون فویل، پخت تکمیلی به مدت ۱۶۸ ساعت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس در درون آون انجام شد. آزمونه‌ها پیش از متعادل‌سازی توزین شده‌اند. برای به دست آوردن سطوح مختلف فورفوریلاسیون از غلظت‌های مختلف فورفوریل الکل در محلول اشباع می‌توان استفاده کرد. به طورمعمول غلظت‌های مختلف را از راه انحلال فورفوریل الکل در آب یا اتانول به دست می‌آید که در این تحقیق برای این منظور از اتانول ٪۹۶ استفاده شده است. برای دستیابی به سطوح مختلف فورفوریلاسیون، فورفوریل الکل با اتانول با نسبت حجمی ۷۰:۳۰ و ۳۰:۷۰ به ترتیب برای سطوح کم‌وزیاد باهم مخلوط شدند.

میزان درصد افزایش وزنی آزمونه ها از راه معادله زیر محاسبه شد.

$$WPG(\%) = \frac{M_p - M_0}{M_0} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

در معادله (۱)، (M_0) وزن خشک آزمونه پیش از اشباع و (M_p) وزن خشک آزمونه فورفوریل‌دار شده پس از تکمیل پلیمریزاسیون و پخت است. بر اساس فرمول بالا آزمونه‌ها در دو سطح با ۲ میزان متفاوت فورفوریلاسیون ۲۰٪ و ۶۵٪ آماده‌شده و با آزمونه‌های شاهد مقایسه شدند. پوشش‌های استفاده‌شده در این تحقیق نیز عبارت‌اند از سیلر، نیم‌پلی‌استر و پلی‌یورتان. خصوصیات پوشش‌های مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱، ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات پوشش سیلر- نیم پلی‌استر

پوشش	pH	چگالی (g/cm^3)	درصد جامد (٪)	گرانروی (Centipoise)
سیلر	۲/۹	۰/۹۵	۲۶/۵۸	۱۴۰
نیم پلی‌استر	۳/۸	۰/۹۶	۳۷/۶۸	۱۳۲

جدول ۲- خصوصیات پوشش پلی یورتان (رزین پلی‌اول)

پوشش	pH	جرم مخصوص (g/cm^3)	درصد جامد (٪)	میزان سخت‌کننده (٪)	حلال	سخت‌کننده
رزین پلی‌اول	۴/۵	۱/۲۰	۶۰	۲۵	تولوئن	پلی ایزوسیانات

جدول ۳- ویژگی‌های سخت‌کننده‌یسخت‌کننده پلی ایزوسیانات

سخت‌کننده	نوع	وزن مخصوص (g/cm^3)	درصد جامد (٪)	نقطه اشتعال (درجه سانتی‌گراد)
پلی ایزوسیانات	دسمودور N75	۱/۰۶	۷۵	۳۳

آماده‌سازی و رنگ‌کاری آزمونه‌ها

مبلمان چوبی که در داخل اماکن مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرند باید دارای درصد رطوبت تعادل ۶-۸ درصد باشند [۱۷]. لذا آزمونه‌های تیمار شده به مدت ۲ هفته در شرایط رطوبت نسبی ۸ درصد قرار گرفت. نمونه‌ها در اتاق کلیما با دمای ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۲۴۵٪ قرار داده شدند [۱۸]. بعد از آماده‌سازی نمونه‌های چوبی، سطوح آن‌ها طی مراحلی از سنباده زبر به نرم در درجه سنباده‌های ۱۸۰-۱۵۰-۱۰۰ در جهت الیاف چوب توسط سنباده لرزان دستی برقی کارگاهی با وزن ۲۵۰۰ گرم و تعداد نوسان ۲۰۰۰۰ دور بر دقیقه به‌طور یکنواخت پرداخت شدند [۱۹]. سطوح نمونه‌های پوشش سیلر- نیم‌پلی‌استر ابتدا به‌وسیله‌ی پوشش سیلر که به‌عنوان پرکننده منافذ چوب مورد استفاده قرار می‌گیرد، پوشش داده شد. پوشش دهی نیم‌پلی‌استر و پلی‌یورتان با فیلم کش ۱۵۰ میکرون انجام شد.

اندازه‌گیری زبری سطح

تأثیر فورفوریلاسیون بر روی ناهمواری سطح آزمونه‌های شاهد فورفوریله شده قبل و بعد از پوشش‌دهی در نمونه‌های یکسان با ۳ بار تکرار با کمک دستگاه زبری‌سنج HUATEC- SRT- 6200 اندازه‌گیری شد. طی این آزمون دو عامل R_a و R_z زبری سطح آزمونه‌ها به دست آمد.

اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی Pull-Off

برای اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی ابتدا نمونه‌های پوشش داده‌شده به مدت دو هفته در فضای آزمایشگاه قرار داده شدند. سپس دالی‌هایی[1] از جنس آلومینیم با قطر ۲۰ میلی‌متر و به‌وسیله چسب اپوکسی دوجزئی[2] بر روی سطح نمونه‌های پوشش داده‌شده چسبانده شدند. نسبت چسب استفاده‌شده ۱۰±۱۵۰ گرم در مترمربع در نظر گرفته شد. نمونه‌ها برای خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. میزان مقاومت چسبندگی نمونه‌ها با سرعت کشش ۰/۳ مگا پاسکال در ثانیه به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری چسبندگی خودکار[3] اندازه‌گیری شدند. از استاندارد ASTM D-4541 برای اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی استفاده شد [۲۰]. برای بررسی اطمینان از دقت نتایج به‌دست‌آمده تعداد تکرار آزمون چسبندگی بر روی هر نمونه ۵ بار تعیین شد.

اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی Cross-Cut

برای اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی Cross-Cut نیز ابتدا نمونه‌های پوشش داده‌شده به مدت دو هفته در فضای آزمایشگاه قرار داده شدند. آزمون بر طبق دستورالعمل ASTM D 3359 به‌وسیله دستگاه مخصوص انجام شد. در این روش خطوط موازی روی سطح رنگ‌شده ایجاد می‌شود. به‌طوری‌که سطح زیرآیند دیده شود. شش خط عمود بر خطوط اصلی نیز رسم می‌شود که شبکه متشکل از ۲۵ مربع ایجاد می‌شود. سپس چسب نواری مخصوص آزمون بر روی این مربع‌ها چسبانیده و با استفاده از یک پاک‌کن مخصوص فشرده می‌شود، سپس نوارچسب با یک حرکت محکم پیوسته کنده می‌شود (شکل ۱) [۲۱]. وضعیت محل آزمایش به کمک ذره‌بین موردبررسی قرار گرفت و با جدول استاندارد ASTM D 3359 (جدول ۴) مقایسه و میزان از دست دادن چسبندگی مشخص شد. آزمون چسبندگی بر روی هر نمونه ۵ بار تکرار شد. برای کمی بودن نتایج این آزمایش، درصد از دست دادن چسبندگی را می‌توان به‌صورت زیر گزارش کرد [۲۵].

$$\text{درصد از دست دادن چسبندگی} = \frac{X}{۲۵} \times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

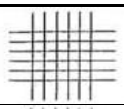
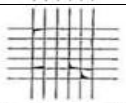
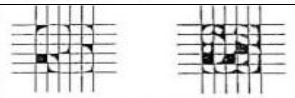
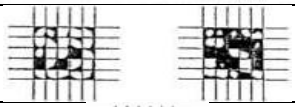
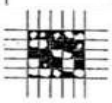
X - تعداد متوسط مربع‌هایی است که پوشش آن‌ها جدا شده است.

در این بررسی برای تجزیه‌وتحلیل آماری نتایج از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. اطلاعات به‌دست‌آمده با نرم‌افزار SPSS در سطح اطمینان ۹۹ درصد مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند و برای مقایسه میانگین گروه‌ها از آزمون چند دامنه دانکن استفاده شد.

[1] Dolly
[2] Epoxy-2 component
[3] PosiTest AT

شکل ۱- مراحل آزمون Cross-Cut از راست به چپ

جدول ۴- میزان از دست دادن چسبندگی Cross-Cut

طبقه‌بندی نتایج آزمون چسبندگی		
سطح cross-cut که نشان‌دهنده میزان کنده شدن پوشش در شش خراش متقاطع و میزان از دادن چسبندگی برحسب درصد است	درصد مساحت حذف‌شده	طبقه‌بندی
	٪۰ بدن تغییر	۵B
	کمتر از ٪۵	۴B
	٪۱۵-۵	۳B
	٪۳۵-۱۵	۲B
	٪۶۵-۳۵	۱B
	بیشتر از ٪۶۵	۰B

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل آماری برای ارزیابی اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت چسبندگی با سطح اعتماد ۹۹ درصد در جدول ۵ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر مستقل رنگ، میزان فورفوریلاسیون و اثر متقابل رنگ و فورفوریلاسیون در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. نتایج تأثیر مستقل سطح فورفوریلاسیون و نوع پوشش بر مقاومت چسبندگی در جدول ۶ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تأثیر مستقل فورفوریلاسیون بر مقاومت چسبندگی بیشترین مقدار مربوط به سطح کم فورفوریلاسیون بوده است. در اثر مستقل نوع پوشش بیشترین میزان چسبندگی در پوشش پلی‌یورتان و کمترین میزان در سیلر- نیم‌پلی‌استر به‌دست آمد.

نتایج ارزیابی اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت به خراش Cross Cut با سطح اعتماد ۹۹ درصد در جدول ۷ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر مستقل رنگ، فورفوریلاسیون و اثر متقابل رنگ و فورفوریلاسیون در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار نبوده است. نتایج تأثیر مستقل سطح فورفوریلاسیون و نوع پوشش بر مقاومت چسبندگی در جدول ۸ آمده است. کمترین مقدار از دست دادن چسبندگی در سطح کم

فورفوریلاسیون مشاهده شد. در اثر مستقل نوع پوشش کمترین مقدار از دست دادن چسبندگی در پوشش پلی‌یورتان و بیشترین میزان در سیلر- نیم‌پلی‌استر به دست آمد.

جدول ۵- تحلیل واریانس چندگانه اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت چسبندگی Pull-off

عوامل متغیر	درجه آزادی DF	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	F	Sig
رنگ	۱	۱۴۰/۶۲	۱۴۰/۶۲	۳۱۷/۷۳	۰/۰۰۰**
فورفوریلاسیون	۲	۶/۵۱	۳/۲۶	۷/۳۶	۰/۰۰۳**
رنگ × فورفوریلاسیون	۲	۳/۰۸	۹/۵۴	۳/۴۸	۰/۰۴۴**

** تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

جدول ۶- نتایج مقایسه اثر مستقل سطح فورفوریل شده و نوع پوشش رنگی

عوامل متغیر	سطوح متغیر	مقاومت چسبندگی (MPa)	انحراف معیار	گروه‌بندی دانکن
فورفوریلاسیون	شاهد	۷/۳۳	۰/۴۴	B
	کم	۷/۴۶	۰/۴۰	B
	نسبتاً زیاد	۶/۵۰	۰/۴۴۳	A
نوع پوشش رنگی	سیلر- نیم پلی‌استر	۵/۱۲	۰/۰۳	A
	پلی یورتان	۹/۰۷	۰/۰۳	B

جدول ۷- تحلیل واریانس چندگانه اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت چسبندگی Cross-Cut

عوامل متغیر	درجه آزادی DF	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	F	Sig
رنگ	۱	۴	۴	۰/۸۱۸	۰/۳۷۳ ns
فورفوریلاسیون	۲	۲۴/۸۹	۱۲/۴۴	۲/۵۵	۰/۰۹۵ns
(رنگ × میزان فورفوریلاسیون)	۲	۰	۰	۰	۱/۰۰ ns

ns عدم معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

جدول ۸- نتایج مقایسه اثر مستقل سطح فورفوریل شده و نوع پوشش رنگی

عوامل متغیر	سطوح متغیر	درصد از دست دادن چسبندگی (٪)	انحراف معیار	گروه‌بندی دانکن
فورفوریلاسیون	شاهد	۵/۶۷	۰/۶۴	A
	کم	۵/۰۰	۰/۶۴	A
	نسبتاً زیاد	۷/۰۰	۰/۶۴	A
نوع پوشش رنگی	سیلر- نیم پلی‌استر	۶/۲۲	۰/۵۲	A
	پلی یورتان	۵/۵۶	۰/۵۲	B

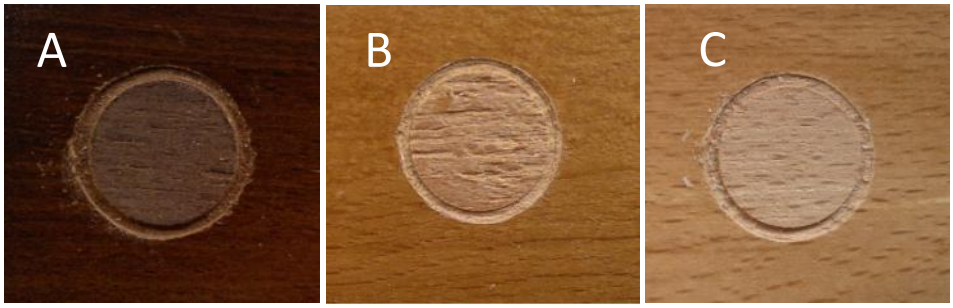
نتایج اثر متقابل فورفوریلاسیون و نوع رنگ بر مقاومت چسبندگی با آزمون‌های Pull-Off و Cross-Cut به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ آمده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود پوشش پلی‌یورتان نسبت به پوشش سیلر- نیم‌پلی‌استر از مقاومت چسبندگی بالاتری برخوردار است. تحقیق بر روی تأثیر چهار پوشش سلولزی، سیلر-

کیلر، سیلر-نیم‌پلی‌استر، پلی-یورتان و نانولاک نیز نشان داده است که چسبندگی پوشش پلی‌یورتان بیشتر از سیلر-نیم پلی‌استر است [۲۲]. در آزمون Pull-Off مشاهده می‌شود که آزمونه‌هایی با سطح فورفوریلاسیون زیاد کمترین مقاومت چسبندگی را دارا بودند، البته تفاوت معنی‌داری بین آزمونه‌های شاهد و سطح کم فورفوریلاسیون مشاهده نشد. در آزمون Cross-Cut نیز در سطح نسبتاً زیاد فورفوریلاسیون بیشترین میزان از دست دادن چسبندگی مشاهده شد. تحقیقات نشان داده است که فورفوریلاسیون، چوب پلیمر دیواره‌ای تولید می‌کند که در اثر آن دیواره حجیم شده و از نفوذ مواد دیگر مخصوصاً مواد محلول در آب یا هر حلال قطبی دیگری در چوب جلوگیری می‌کند. پوشش برای ایجاد چسبندگی مناسب باید در دیواره نفوذ کند که فورفوریلاسیون از نفوذ پوشش جلوگیری کرده و باعث جدا شدن راحت‌تر پوشش از سطح چوب تیمار شده می‌شود.

نتایج نشان داد بیشترین مقاومت سطح در آزمونه‌هایی با سطح کم فورفوریلاسیون قابل‌مشاهده است. پلیمریزاسیون فورفوریل الکل باعث کاهش نم پذیری و تر شوندگی سطح چوب می‌شود که باعث کاهش نفوذ پوشش شده و به دنبال آن مقاومت چسبندگی رنگ در سطوح بالاتر فورفوریلاسیون کاهش می‌یابد.

شکل ۲- اثر متقابل میزان فورفوریلاسیون و نوع رنگ بر مقاومت چسبندگی پوشش در چوب راش (Pull-Off)

شکل ۳- اثر متقابل میزان فورفوریلاسیون و نوع رنگ بر مقاومت چسبندگی پوشش در چوب راش (Cross-Cut)



شکل ۴- نمایی از نمونه‌های آزمون مقاومت چسبندگی در سطوح مختلف فورفوریلاسیون؛ A (سطح زیاد)، B (سطح کم)، C (شاهد)

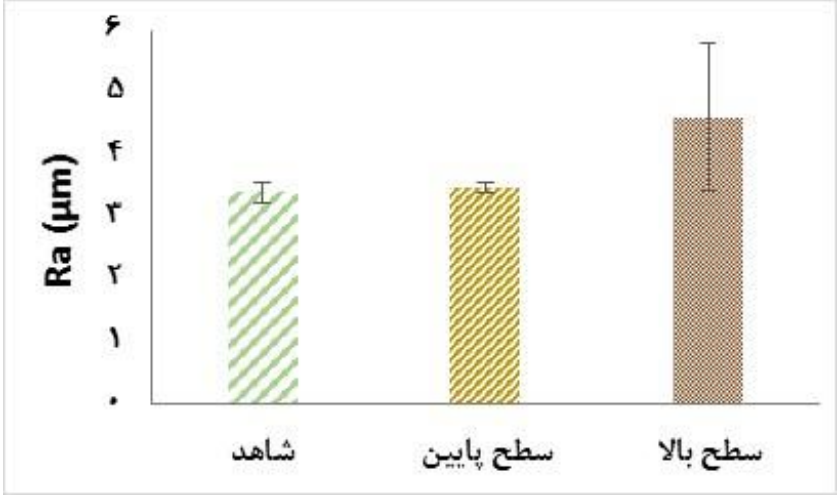
نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل آماری ارزیابی اثر مستقل فورفوریلاسیون بر فاکتور R_a و R_z زبری سطح با سطح اعتماد ۹۵ درصد به ترتیب در جدول ۹ آمده است.

جدول ۹- تحلیل واریانس اثر مستقل فورفوریلاسیون بر فاکتور R_a و R_z زبری سطح

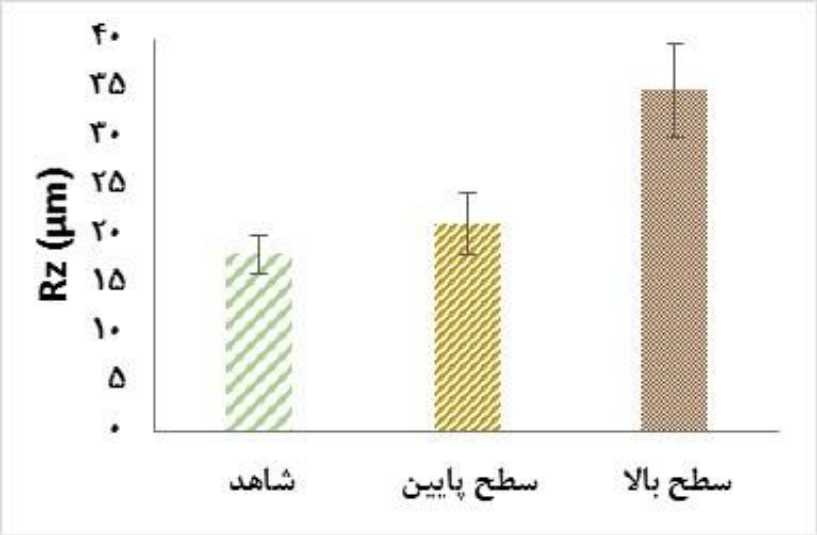
عوامل متغیر	درجه آزادی DF	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	F	Sig
R_a	۲	۷/۲۸	۳/۶۴	۷/۶۰	۰/۰۲۳*
R_z	۲	۳۷۹/۰۴	۱۸۹/۵۲	۱۰/۲۹	۰/۰۱۲*

* تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

بررسی زبری سطح نمونه‌های فورفوریل‌دار شده (شکل‌های ۵ و ۶) نشان داد که زبری سطح با فورفوریلاسیون افزایش‌یافته و کیفیت سطح به‌طور معناداری کاهش می‌یابد. کمترین میزان فاکتورهای R_a و R_z زبری سطح در آزمونه‌هایی با سطح کم فورفوریلاسیون به دست آمد که به دلیل باز و کشیده شدن دیواره‌های سلول در اثر فورفوریلاسیون رخ داده است [۲۳]. بیشترین میزان R_a و R_z زبری سطح نمونه‌ها در سطح زیادتر فورفوریلاسیون به دست آمد. به دلیل این‌که فرآیند پلیمریزاسیون فورفوریل الکل در دیواره طی حرارت دهی چوب تکمیل می‌شود باعث ایجاد ریزترک ها در دیواره سلولی شده و با افزایش سطح فورفوریلاسیون تعداد و عمق این ریزترک‌ها نیز افزایش می‌یابد [۲۴]. این عامل باعث افزایش زبری سطح با افزایش سطح فورفوریلاسیون می‌شود.



شکل ۵- تأثیر فورفوریلاسیون بر فاکتور R_a زبری سطح



شکل ۶- تأثیر فورفوریلاسیون بر فاکتور R_z زبری سطح

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر تأثیر فورفوریلاسیون چسب راش بر چسبندگی پوشش و زبری سطح موردمطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقاومت چسبندگی و زبری سطح آزمونه‌های فورفوریل‌دار شده در سطح کم تفاوت معناداری با آزمونه‌های شاهد نداشتند. افزایش سطح فورفوریلاسیون باعث کاهش معنادار مقاومت چسبندگی و افزایش زبری سطح شد.

فورفوریلاسیون چوب باعث افزایش ثبات و پایداری ابعاد چوب و افزایش دوام آن در برابر عوامل مخرب می‌شود. ازآنجاکه کیفیت و ویژگی‌های زیرآیند نقش بسزایی در مقاومت چسبندگی پوشش دارد، برای فراهم ساختن زیرآیند مناسبی که باوجود ثبات ابعادی بهتر نسبت به چوب ماسیو، زیبایی ظاهری چوب را نیز حفظ کند، بررسی تأثیر روش‌های اصلاحی بر کیفیت چسبندگی برخی از پوشش‌های متداول شفاف نظیر پوشش پلی‌یورتان و سیلر- نیم پلی‌استر می‌تواند مفید باشد. نتایج تحقیق نشان داد که مقاومت چسبندگی رنگ پلی‌یورتان نسبت به رنگ سیلر- نیم‌پلی‌استر در آزمونه‌های فورفوریل‌دار شده بهتر بود که می‌تواند به دلیل ساختار شیمیایی این رنگ و خواص فنی آن باشد. مبلمان چوبی از ارزش‌افزوده بالایی برخوردارند، امروزه فرآیند اعمال پوشش روی چوب در بیشتر کارخانه‌های تولید محصولات چوبی تجربی بوده و از پشتوانه علمی کافی برخوردار نیست. استفاده از نتایج تحقیق حاضر می‌تواند در کنار افزایش ثبات ابعادی چوب ماسیو منجر به افزایش مقاومت و دوام پوشش و طول عمر سازه مورد استفاده شود.

مراجع

[1] Esteves, B., Nunes, L. and Pereira, H., 2011. Properties of furfurylated wood (*Pinus pinaster*). European Journal Wood Product, 69:521–525.

[2] Goldstein, I.S., 1955. The impregnation of wood to impart resistance to alkali and acid. Forest product journal, 5(4):265–267.

[3] Goldstein, I.S. and Dreher, W.A., 1960. Stable furfuryl alcohol impregnating solution. Industrial & Engineering Chemistry Research, 52(1): 57–58.

[4] Anaya, M., Alvarez, A., Novoa, J., Gonzalez, M. and Mora, M., 1984. Modification of wood with furfuryl alcohol. Revista sobre los Derivados de la Cana de Azucar, 18(1): 49–53.

[5] Anaya, M., 1987. Impregnation procedure based on furfuryl alcohol monomer into wood and other materials, Cuban patent CU21453.

[6] Schneider, M.H., 1995. New cell wall and cell lumen wood polymer composites. Journal Wood Science Technology, 29:135–158.

[7] Westin, M., 1996. Development and evaluation of new alternative wood preservation treatments. Final report to the Swedish Council for the Forestry and Agricultural Research (SJFR), pp. 25.

[8] Lande, S., Westin, M. and Schneider, M., 2004. Properties of furfurylated wood. Scandinavian Journal of Forest Research, 19(5):22–30.

[9] Epmeier, H., Johansson, M., Kliger, R. and Westin, M., 2007. Bending creep performance of modified timber. Holz als Roh-und Werkstoff, 65:343–351.

[10] Treu, A., Lückers, J. and Militz, H., 2009. Screening of modified linseed oils on their applicability in wood protection. In The International Research Group on Wood Protection, 35th Annual Meeting, Ljubljana, Slovenia. IRG/WP, pp. 04-30346.

[11] Lande, S., Riel, S., Hoibo, O.A. and Schneider, M.H., 2011. Development of chemometric models based on near infrared spectroscopy and thermogravimetric analysis for predicting the treatment level of furfurylated Scots pine. Wood Science and Technology, 44:189–203.

[12] Abdolzadeh, H. Ebrahimi, G. Layeghi, M. Ghassemieh, M. and Mirshokrai, S.A., 2013. Mechanical properties of Beech -Furfuryl alcohol wood polymer. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 4(2): 143-155. (In Persian).

[13] Manavi, G.H. Ghofrani, M., and Mirshokraei, S.A., 2012. Effects of wood type, moisture content and paint type on adhesion strength of conventional clear paints used in furniture manufacture. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 27(4): 743-753. (In Persian).

[14] Sonmez, A., Budakc, M. and Bayram, M., 2009. Effect of wood moisture content on adhesion of varnish coatings. Scientific Research and Essay, 4(12): 1432-1437.

[15] Ozdemir, T. and Hiziroglu, S., 2007. Evaluation of surface quality and adhesion strength of treated solid wood. Journal of Materials Processing Technology. 186(1-3): 311-314.

[16] Thygesen, L.G., Barsberg, S. and Venas, T.M., 2010. The fluorescence characteristics of furfurylated wood studied by fluorescence spectroscopy and confocal laser scanning microscopy, Wood Science Technology, 44:51–65.

[17] Sonmez, A., 2000. Preparation and coloring, finishing on wood working I, Gazi University Technical Education Faculty, Ankara.3-26.

[18] Wood - Determination of moisture content for physical and mechanical tests, TSE: Ankara, Turkey, TS2471, 1976.

[19] Ghofrani. M. and Khojasteh Khosro. S., 2013. The Effect of Wood Surface Finishing Quality on the Adhesion Strength of Clear Coats. Journal of Color Science and Technology, 7: 339-345. (In Persian).

[20] Standard test method for Pull-Off strength of coatings using portable adhesion testers. Annual Book of ASTM Standard D4541 Standard, 2002.

[21] Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test. Annual Book of ASTM Standard, D 3359, 1997.

[22] Kaygin, B. and Akgun, E., 2008. Comparison of conventional varnishes with Nanolake UV varnish with respect to hardness and adhesion durability. International Journal of Molecular Sciences, 9(4): 476-485.

[23] Buchelt, B., Dietrich, T. and Wagenfuhr, A., 2012. Macroscopic and microscopic monitoring of swelling of beech wood after impregnation with furfuryl alcohol. European Journal of Wood and Wood Products, 70(6): 865-869.

[24] Abdolzadeh, H., Ebrahimi, Gh., Layeghi, M., Ghassemieh, M. and Mirshokraie, S.A., 2015. Fracture behavior of beech-furan wood/polymer under mode I. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 29(4): 605-618. (In Persian).

Study on adhesion strength of clear coatings in beech -furfuryl alcohol wood polymer

Abstract

The objective of this study was to determine the influence of Furfurylation treatment on adhesion strength of clear coatings and surface roughness of Beech *(Fagus orientalis)* wood. Furfurylation of specimens were performed by impregnation and heat catalyze up to 20% and 65% weight percent gain. Half of the specimens were coated with acid catalyst paint and the rest were coated with polyurethane based paint. Surface roughness and adhesion strength (Pull-off) and cross-cut test were analyzed and compared to untreated specimens. Results revealed that 20% furfurylated specimens did not show significant difference in roughness and adhesion strength, compared to untreated control but 65% furfurylation of the specimens caused a decline in adhesion strength and raised surface roughness. Polyurethane based paint had better efficiency and adhesion strength than acid catalyst paint. The highest adhesion strength was observed in 20% furfurylated specimens coated with polyurethane and the least was obtained in 65% furfurylated wood coated with acid catalyst paint.

Keywords: adhesion strength, roughness, clear coating, furfurylation, beech.

A. Talaei[1*]
M. Saleh Zare[2]
H. Abdolzadeh[3]

[1]Assistant Professor, Department of Wood science & Technology, Civil Engineering Faculty, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

[2] MSc Student, Department of Wood science & Technology, Civil Engineering Faculty, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

[3]PhD. Department of Wood science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Corresponding author:
talaei.srttu@gmail.com

Received: 2015.07.07
Accepted: 2015.10.18