

## تأثیر فورفوریل‌اسیون بر مقاومت برشی خط چسب و توان نگهداری پیچ در چوب دو گونه راش و نراد

آیسونا طلایی<sup>۱</sup>، محمد صالح زارع<sup>۲</sup> و حمیده عبدالزاده<sup>۳\*</sup>

- ۱- استادیار، گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران  
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران  
۳- نویسنده مسئول، دکتری علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران، پست الکترونیک: [h\\_abdolzadeh@ut.ac.ir](mailto:h_abdolzadeh@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۵

### چکیده

تحقیق حاضر باهدف بررسی اثر تیمار فورفوریل‌اسیون بر مقاومت برشی خط چسب و توان نگهداری پیچ در دو گونه راش (*Fagus orientalis*) و نراد (*Abies alba*) انجام شد. در این راستا نمونه‌ها با دو میزان متفاوت فورفوریل‌اسیون در قالب سطح پایین (نراد ۱۴٪ و راش ۲۰٪) و سطح بالا (نراد ۳۸٪ و راش ۶۵٪)، اشباع و با نمونه‌های شاهد مقایسه شده‌اند. بعدازاینکه اشباع نمونه‌ها با فورفوریل‌الکل در شرایط خلأ انجام شد، فورفوریل‌اسیون با حرارت‌دهی در طی پلیمریزاسیون و با ایجاد پیوندهای عرضی تکمیل شد. نمونه‌های مقاومت برشی خط چسب با سه نوع چسب پلی‌یورتان تک جزء، پلی‌وینیل استات و اوره فرم‌آلدئید طبق استاندارد ASTM D905 آماده شدند. همچنین میزان توان نگهداری پیچ چوب پلیمرها در جهت عمود بر الیاف و موازی الیاف مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش سطح فورفوریل‌اسیون، مقاومت برشی خط چسب کاهش و توان نگهداری پیچ افزایش یافت. بررسی سازوکار چسبندگی نشان داد که چسب‌های محلول در آب برای ایجاد سطح مشترک مناسب بین چسب و چوب پلیمر باید در دیواره سلولی نفوذ کنند و سطح مشترک چسب و ماده عامل تعیین‌کننده در مقاومت اتصال چسبی است. از آنجاکه چوب-فورفوریل‌الکل یک چوب پلیمر دیواره است، امکان ایجاد سطح مشترک مناسب با افزایش سطح فورفوریل‌اسیون کاهش می‌یابد. سازوکار چسبندگی چسب پلی‌یورتان نسبت به چسب‌های محلول در آب مانند پلی‌وینیل استات و اوره فرم‌آلدئید متفاوت بوده، بنابراین مقاومت بیشتری را نشان داد. به‌دلیل تغییر ماهیت چوب با فورفوریل‌اسیون و افزایش مقاومت برشی چوب پلیمر با افزایش سطح فورفوریل‌اسیون توان نگهداری پیچ افزایش می‌یابد که در گونه نراد مشهودتر است. نتایج نشان داد که توان نگهداری پیچ در جهت عمود بر الیاف بیشتر از موازی الیاف است. البته فورفوریل‌اسیون باعث افزایش دانسیته فرآورده حاصل می‌شود که می‌تواند بر توان نگهداری پیچ مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت برشی، خط چسب، فورفوریل‌اسیون، توان نگهداری پیچ، راش و نراد.

### مقدمه

سازه‌های متعدد دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرد. کمبود منابع تأمین این ماده ارزشمند از جدی‌ترین چالش‌های مصرف‌کنندگان در سراسر جهان به‌شمار می‌رود. یکی از

چوب یک ماده طبیعی است که سال‌هاست برای ساخت سازه‌های مهندسی از قبیل ساختمان‌ها، پل‌ها، مبلمان و

نسبت به چوب ماسیو را تأیید کرده است (Neyestani, 1986). تحقیقات در زمینه خواص فیزیکی و مکانیکی چوب-پلیمر تهیه شده از مونومر استایرن نشان داد که کلیه مقاومت‌های مکانیکی چوب-پلیمر نسبت به نمونه‌های شاهد بهبود یافته و در این میان بیشترین افزایش مربوط به مقاومت فشار عمود بر الیاف با ۳۴۵ درصد و کمترین افزایش مربوط به مقاومت به ضربه با ۱۶ درصد بود (Schneider, Omidvarand Abdolmaleki, 2002). همکاران (۱۹۹۵) با تحقیقات بر روی چوب-پلیمر حاصل از گونه‌های مختلف با انواع مونومرهای قطبی و غیرقطبی و فرآورده‌های مرکب چوب-پلیمر حفره سلولی، دیواره‌ای و ترکیبی با روش‌های مختلف پلیمریزاسیون نشان دادند که خصوصیات مواد مرکب چوب-پلیمر از قبیل ثبات ابعاد، مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی، دانسیته، سختی و سفتی آن نسبت به چوب ماسیو و با توجه به نوع مونومر تیمارکننده افزایش داشته است. برخی از محققان با بررسی فرآورده مرکب چوب-پلیمر تولید شده با استفاده از فنل فرمالدهید، فورفوریل الکل، پلی‌اتیلن گلیکول، استایرن و متیل متا‌اکریلات برای تهیه روکش و لایه‌های چوبی نتیجه گرفتند که دانسیته فرآورده حاصل افزایش یافته و چوب پلیمرهای حفره‌ای و یا دیواره حاصل دارای ثبات ابعاد مناسب بوده و قابلیت ماشین‌خوری و تبدیل به محصولات مختلف را دارند (Stamm, 1964). تولید فرآورده مرکب چوب-پلیمر از گونه نمدار و متیل متا‌اکریلات نشان داد که دانسیته ۱۷۰ درصد، ثبات ابعاد ۵۶/۸ درصد، مقاومت به فشار موازی الیاف ۱۵۰ درصد و مدول گسیختگی ۵۴ درصد افزایش می‌یابد (Langwig, et al., 1969).

برای ساخت هر سازه چوبی نیاز به بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن، شناخت انواع اتصال‌ها و بررسی مقاومت‌های آنها در برابر نیروهای فشاری، کششی، خمشی و برشی می‌باشد. تحقیقات بسیاری بر روی تأثیر نوع گونه و شرایط اتصال انجام شده است (Do anay, 1995). برای سرهم کردن اجزای سازه چوبی از اتصال‌دهنده‌های مختلف استفاده می‌شود. از رایج‌ترین اتصال‌دهنده‌های مکانیکی که

اقدامات راهبردی در این زمینه، حفاظت چوب است که موجب افزایش عمر مفید فرآورده‌های چوبی شده و نیاز به تأمین ماده اولیه را کاهش می‌دهد. البته تاکنون روش‌های مختلف حفاظت و اصلاح چوب در جهان با کمک مواد شیمیایی مختلف ابداع و در ابعاد صنعتی به‌کار گرفته شده‌اند. در طول سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۶۰ تحقیقات و تلاش‌های زیادی انجام شده تا بتوان به کمک مواد و روش‌های مختلف، معایب طبیعی چوب همانند ناپایداری ابعاد و پوسیدگی را برطرف و اصطلاحاً آن را اصلاح کرد. در این راستا تغییراتی در ساختار ماده تولیدشده رخ می‌دهد. البته توجه به این تغییرات و تأثیر آنها بر خواص مکانیکی در مصارف ساختمانی ضروریست. فورفوریل الکل یک پلیمر شیمیایی با منشأ گیاهی است که باعث واکنش‌پذیری چوب شده و اغلب واکنش‌پذیری حاصل به وسیله هوموپلیمریزاسیون به صورت پایدار باقی می‌ماند و می‌تواند ویژگی‌های چوب را به شکل یک چوب پلیمر دیواره‌ای با ثبات ابعادی خوب و مقاوم به اسید و باز بهبود دهد (Goldstein and Dreher, 1960). هدف از تیمار فورفوریل‌اسیون افزایش ثبات و پایداری چوب و افزایش برخی ویژگی‌های مقاومتی آن بدون کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در ویژگی‌های مکانیکی موردنیاز برای کاربردهای سازه‌ای است (Esteves, et al., 2011). البته فرایند فورفوریل‌اسیون به مرحله تجاری رسیده است، به طوری که کمپانی WPT در سال ۱۹۹۷ در نروژ تأسیس و تولیدات آن با نام‌های تجاری ۱۰۰ VisorWood و Kebony ۳۰ عرضه می‌شود.

تحقیقات انجام شده بر روی چوب پلیمرها تأثیر مواد پلیمری مختلف را بر خواص مکانیکی چوب نشان داده است. Abdolzadeh و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی خواص مکانیکی چوب پلیمر راش- فورفوریل الکل نتیجه گرفتند که بیشتر خواص مکانیکی فرآورده به‌غیر از مقاومت کشش عمود بر الیاف با فورفوریل‌اسیون و افزایش سطح آن بهبود می‌یابد. از طرفی تحقیق بر روی فرآورده چوب-پلیمر حاصل از چوب‌های مختلف و مونومر متیل متا‌اکریلات بهبود قابل‌ملاحظه خواص فیزیکی و مکانیکی ترکیب حاصل

شد. سپس به مدت ۲ ساعت آزمون‌های غوطه‌ور در مایع تحت فشار ۶ بار قرار گرفتند. با زدودن مایع از سطح نمونه‌های اشباع شده نمونه‌ها داخل فویل آلومینیومی پیچیده شده و عملیات پخت در دمای ۱۰۶ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶ ساعت انجام شد. بعد از خارج کردن نمونه‌ها از داخل فویل آلومینیومی آزمون‌ها به منظور پخت تکمیلی به مدت یک هفته در داخل آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت.

برای تهیه محلول اشباع با فورفوریل الکل، این ماده با نسبت‌های مختلف با اتانول یا آب رقیق می‌شود که برای به دست آوردن دو میزان متفاوت فورفوریل‌اسیون ۲۰٪ و ۶۵٪ برای گونه راش و ۱۴٪ و ۳۸٪ برای گونه نراد، فورفوریل الکل و اتانول به ترتیب با نسبت حجمی ۳۰:۷۰ و ۷۰:۳۰ باهم ترکیب شدند.

میزان درصد افزایش وزنی آزمون‌ها از رابطه زیر محاسبه شد.

$$WPG(\%) = \frac{M_p - M_0}{M_0} \times 100$$

که در آن ( $M_0$ ) وزن خشک آزمون قبل از اشباع، ( $M_p$ ) وزن خشک آزمون فورفوریل‌دار شده پس از تکمیل پلیمریزاسیون و پخت است.

چسب‌های مورد استفاده در این تحقیق نیز عبارتند از: پلی‌یورتان تک جزئی<sup>۱</sup> (PUR)، پلی‌وینیل استات<sup>۲</sup> (PVA) و اوره فرمالدهید<sup>۳</sup> (UF). خصوصیات چسب‌های مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. کاتالیزور مورد استفاده چسب اوره فرمالدهید و سولفات آمونیوم  $SO_4(NH_4)_2$  بود که به میزان ۱٪ وزن خشک چسب استفاده شد. سولفات آمونیوم مورد استفاده دارای ۳۵٪ ماده خشک از شرکت پارس ماکیان تهیه شد.

چسب بکاررفته برای آزمون‌های مقاومت برشی خط چسب با نرخ پراکندگی ثابت  $200 \text{ g/m}^2$  استفاده شد. چسب

در ساخت سازه‌های چوبی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اتصال پیچ می‌باشد (Vassiliou and Barboutis, 2005). توان نگهداری پیچ در گونه‌های مختلف چوبی متفاوت است (Aytekin, 2008). با افزایش جرم ویژه توان نگهداری پیچ افزایش می‌یابد (Noguchi and Sugihara, 1961). بررسی توان نگهداری پیچ چوبی در پنج گونه چوبی پهن‌برگ ایران در دو جهت موازی و عمود بر الیاف نشان داد که بیشترین توان نگهداری در جهت موازی و عمود بر الیاف به ترتیب مربوط به گونه‌های چوبی ممرز، راش، بلوط، چنار و صنوبر است (Maleki et al., 2013).

محققان مختلف سال‌ها به بررسی فرایند فورفوریل‌اسیون، بهبود روش‌های استفاده و بهبود تأثیر آن بر خواص کاربردی چوب ماسیو و به ویژه خواص فیزیکی این محصول پرداخته‌اند. بررسی‌های اولیه نشان داد که مطالعات اندکی بر روی خواص مکانیکی چوب پلیمر حاصل انجام شده است. البته این تحقیق به بررسی خواصی پرداخته است که در تولید چندسازه‌های چوبی برای مصارف سازه‌ای می‌تواند تعیین‌کننده باشد. مطالعات انجام شده با هدف بررسی اثر فورفوریل‌اسیون بر مقاومت برشی خط چسب و توان پیچ‌خوری به بررسی اثر فرایند پلیمریزاسیون فورفوریل الکل در ساخت اتصالات چسبی و مکانیکی پرداخته است.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق از چوب‌های راست تار بدون عیب دو گونه راش و نراد استفاده شده است. عملیات فورفوریل‌اسیون نمونه‌ها بر اساس روش تاپسن و همکاران با اندکی تغییرات مانند تغییر در ابعاد آزمون‌ها، گونه چوبی، درصد مصرف کاتالیزور و دمای در مرحله پخت و پخت تکمیلی انجام شد (Thygesen, et al., 2010). ماده اولیه شامل فورفوریل الکل ۹۸٪ ساخت شرکت مرک و کاتالیزور اسیدسیتریک (برپایه وزن فورفوریل الکل) به مقدار ۱/۵٪ مورد استفاده قرار گرفته است.

بعد از قرار گرفتن آزمون‌ها در درون مخزن اشباع، خلاء به مدت ۴۵ دقیقه به آزمون‌های داخل سیلندر اشباع اعمال

1- Polyurethane

2- Polyvinyl acetate

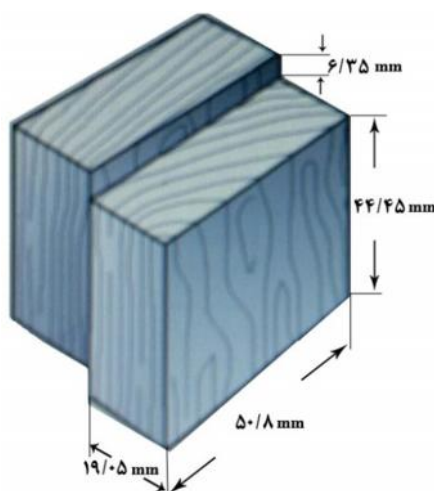
3- Urea formaldehyde

استاندارد ASTM D ۱۷۶۱ با ابعاد ۱۵۰×۵۰×۵۰ میلی‌متر (L×T×R) با ۵ تکرار برای هر آزمون انجام شد (ASTM standard, 1995,1998).

اضافی با استفاده از قلم‌موی مرطوب با دقت از لبه‌ها و سطوح آزمون‌ها پاک شد (Derikvand and Pangh, 2016). آزمون‌های مقاومت برشی خط چسب برابر استاندارد ASTM D ۹۰۵ (شکل ۱) توان نگهداری پیچ طبق

جدول ۱- مشخصات چسب‌های مورد استفاده

نوع چسب	دانسیته (g/cm <sup>3</sup> )	زمان ژله شدن	گرانروی (cp)	مواد جامد (%)
پلی یورتان	۱/۵۰-۱/۱۷	۶۰	۷۰۹	۷۰
پلی وینیل استات	۱/۵۰-۱/۱	۱۰-۲۰	۳۶۰	۶۶
اوره فرمالدهید	۱/۲۶	۶۰	۳۵۰	۶۴



شکل ۱- طرح شماتیک آزمون مقاومت برشی خط چسب برابر استاندارد ASTM D905

## نتایج

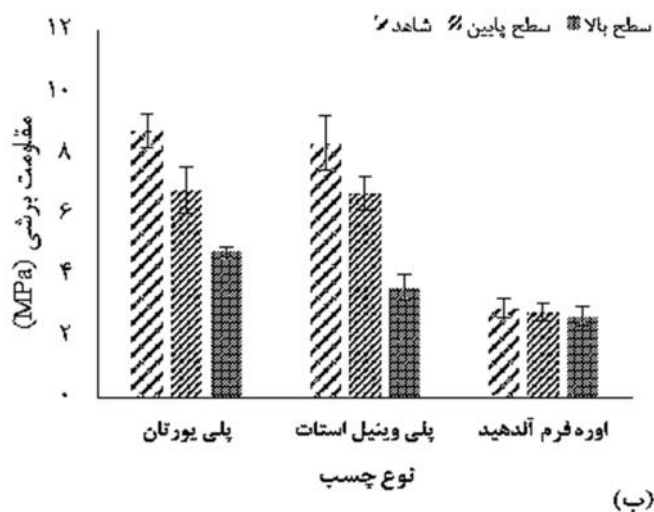
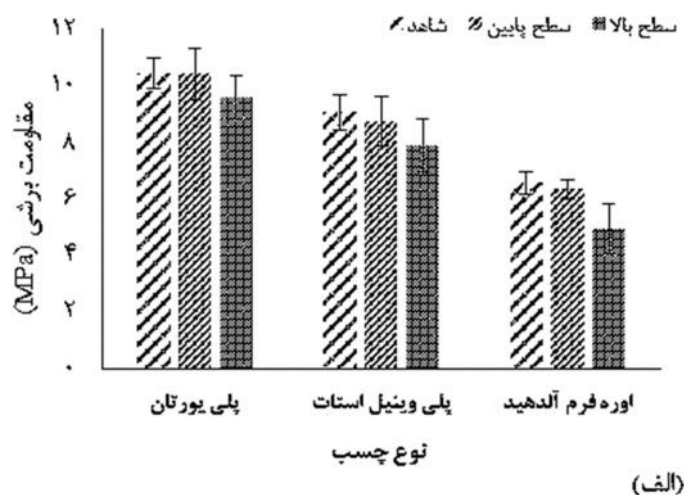
### مقاومت برشی خط چسب

نتایج حاصل از ارزیابی اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت برشی خط چسب چوب پلیمرهای راش و نراد در شکل ۲ آمده است. نتایج نشان داد که بالاترین مقاومت برشی خط چسب (راش ۱۰/۴۳ و نراد ۸/۷۱ MPa) مربوط به چسب پلی‌یورتان بود. از طرفی مقادیر مقاومت خط چسب با فورفوریل‌سیون و افزایش سطح آن در تمام آزمون‌ها روند نزولی داشته است. کمترین مقدار مقاومت برشی (راش ۶/۵۷

برای بررسی ریزساختار چوب فورفوریل‌شده توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)، نمونه‌های چوب فورفوریل‌دار شده با ابعاد ۵×۱۰×۱۰ میلی‌متر برش داده شد. سطح نمونه‌های مرطوب شده با تیغ تیز میکروتوم لغزشی صاف شده و پس از خشک کردن کامل در هوای آزاد و در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۴۰ درجه با طلا پوشش داده شد. مقاطع با استفاده از VEGA II SEM (TESCAN، جمهوری چک) در ولتاژ ۷ kV تحلیل شدند.

آزمونه‌های شاهد بود. البته حداکثر کاهش مقاومت در دو گونه راش و نراد متفاوت بود. در راش، کمترین مقاومت مربوط به چسب اوره فرمالدهید (۲۴/۴۱٪) و در چوب پلیمر نراد چسب پلی وینیل استات (۵۶/۸۶٪) بود.

و نراد ۲/۹۰ MPa) در آزمون‌هایی با چسب اوره فرمالدهید مشاهده شد. نتایج نشان داد در بیشتر موارد مقادیر کاهش مقاومت در آزمون‌هایی با سطح پایین فورفوریل‌سیون نسبت به آزمون شاهد بسیار اندک بوده و حتی در مورد چسب پلی یورتان با تغییر ۰/۱۱٪ تقریباً برابر با مقدار مقاومت



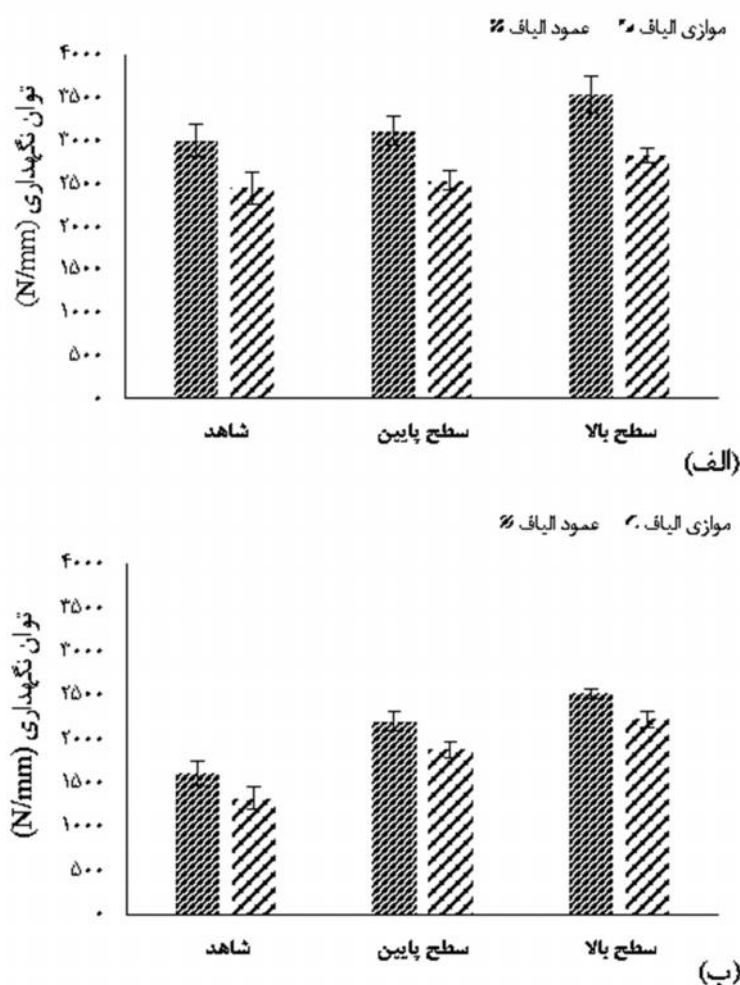
شکل ۲- اثر متقابل میزان فورفوریل‌سیون و نوع چسب بر مقاومت برشی خط چسب در چوب راش (الف) و نراد (ب)

حاصل از آزمون‌های راش و نراد مقادیر تغییرات متفاوتی را نشان دادند (شکل ۳). بررسی آزمون‌ها نشان داد که بالاترین توان پیچ‌خوری مربوط به چوب پلیمر راش فورفوریل الکل در سطح نسبتاً زیاد بوده و کمترین مقدار نیز

توان نگهداری پیچ بررسی نتایج حاصل از آزمون توان نگهداری پیچ در هر دو آزمون نشان داد که با فورفوریل‌سیون و افزایش سطح آن مقادیر توان پیچ‌خوری افزایش یافته است ولی نتایج

و ۴۵/۸۳٪ به ترتیب در جهت عمود بر الیاف و موازی با الیاف کمتر از چوب راش به دست آمد ولی با وجود درصد مقادیر فورفوریل‌اسیون کمتر چوب نراد نسبت به چوب راش، تغییر مقادیر توان پیچ‌خوری آزمون‌های نراد واضح‌تر از چوب راش بود.

در سطح پایین نراد فورفوریل‌دار شده مشاهده شد. همچنین نتایج آزمون توان پیچ‌خوری در جهت عمود بر الیاف بیشتر بوده و در آزمون راش با افزایش سطح تغییرات بیشتری نسبت به حالت موازی الیاف نشان داد. توان پیچ‌خوری آزمون‌های شاهد نراد تقریباً ۴۶/۳۳٪



شکل ۳- اثر فورفوریل‌اسیون بر توان نگهداری پیچ در جهت موازی با الیاف و عمود بر الیاف در چوب پلیمرهای راش (الف) و نراد (ب)

## بحث

تشکیل ساختار پایدار از مهمترین ویژگی این گروه از پلیمرهاست (Barikani and Ehsani, 2008). فوران‌ها دارای مونومرهای ریزی هستند که در دیواره سلولی نفوذ کرده و در اثر پلیمریزاسیون چوب پلیمر دیواره‌ای تشکیل می‌دهند.

پلی‌یوتان به پلیمرهایی اطلاق می‌شود که در ساختار آنها پیوند یورتانی وجود داشته باشد. پیوند یورتانی از واکنش افزایشی یک گروه ایزوسیانات با ترکیبی که هیدروژن فعال دارد مانند ترکیباتی با گروه هیدروکسیل تشکیل می‌شود.

جدول ۲- مقادیر تغییر مقاومت برشی خط چسب و پیچ خوری در سطوح مختلف فورفوریلایسیون، نسبت به آزمون شاهد

نوع آزمون	تیمار	شاهد	درصد تغییر سطح فورفوریلایسیون	
			کم	نسبتاً زیاد
مقاومت برشی خط چسب (MPa)	پلی یورتان	۱۰/۴۳	-۰/۱۱	-۷/۷۹
	پلی وینیل استات	۹/۰۶	-۳/۴۸	-۱۳
	اوره فرمالدهید	۶/۵۷	-۳/۴۸	-۲۴/۴۱
	پلی یورتان	۸/۷۱	-۲۲/۶۲	-۴۵/۴۵
	پلی وینیل استات	۸/۳۱	-۱۹/۷۸	-۵۶/۸۶
	اوره فرمالدهید	۲/۹۰	-۴/۰۸	-۹/۲۷
مقاومت به پیچ خوری (N/mm)	عمود بر الیاف	۳۰۰۲	۳/۸۴	۱۷/۸۱
	موازی با الیاف	۲۴۴۹/۲	۳/۶۰	۱۵/۶۴
	عمود بر الیاف	۱۶۱۱	۳۶/۶۷	۵۶/۴۲
	موازی با الیاف	۱۳۲۶/۸۰	۴۱/۸۰	۶۷/۹۸

سطح مشترک<sup>۱</sup> مناسبی بین چسب و چوب پلیمر ایجاد کنند، در واقع سطح مشترک بین دو ماده تعیین کننده خواهد بود (Abdolzadeh et al., 2014). به دلیل اینکه با پلیمریزاسیون فورفوریل الکل در دیواره و باز و کشیده شدن آن امکان نفوذ آب کاهش می یابد (Buchelt et al., 2012). بنابراین سطح مشترک چسب و چوب پلیمر ضعیف تر شده و مقاومت برشی خط چسب با فورفوریلایسیون و افزایش سطح آن روند نزولی پیدا کرده است.

با وجود بالاتر بودن سطح فورفوریلایسیون در آزمون-های راش نسبت به نراد، مقادیر کاهش مقاومت برشی خط چسب در آنها کمتر از آزمونهای نراد است. این تفاوت از ساختار مورفولوژیکی این دو گونه چوبی و تغییرات ایجاد شده در دیواره تراکئیدها در نراد و دیواره فیبرها در راش ناشی می شود. این دو گونه چوبی دارای تخلخل متفاوتی بوده و تخلخل بر نفوذ چسب و ایجاد سطح مشترک قوی تر کمک می کند. گونه راش دارای آوندهای درشتی است که امکان نفوذ آب و به دنبال آن حمل ماده چسبی را فراهم

برخی از محققان بر این باورند که فورفوریل الکل با گروه های هیدروکسیل لیگنین دیواره سلولی پیوند هیدروژنی برقرار می کند (Abdolzadeh, 2014). تشکیل چنین پیوندهایی محل های پیوندهای پلی یورتان با چوب را کاهش داده است ولی بر اساس یافته های محققان، گروه های ایزوسیانات به شدت واکنش پذیرند و حتی با گروه های کربوکسیلیک نیز واکنش می دهند، بنابراین با وجود کاهش امکان ایجاد پیوند در اثر فورفوریلایسیون چوب، چسب های پلی یورتان در سطوح پایین فورفوریلایسیون اتصالی برابر اتصال آزمونهای شاهد تشکیل داده اند. ولی با افزایش سطح فورفوریلایسیون و مسدود شدن گروه های هیدروکسیل بیشتر، مقاومت برشی خط چسب کاهش یافته است. ولی با وجود این حتی این آزمونها نیز مقاومت برشی خط چسب مناسبی داشته اند.

سازوکار چسب های اوره فرمالدهید و پلی وینیل استات با پلی یورتان متفاوت است. این چسب ها محلول در آب هستند و برای ایجاد اتصال مناسب باید در ماده نفوذ کرده و

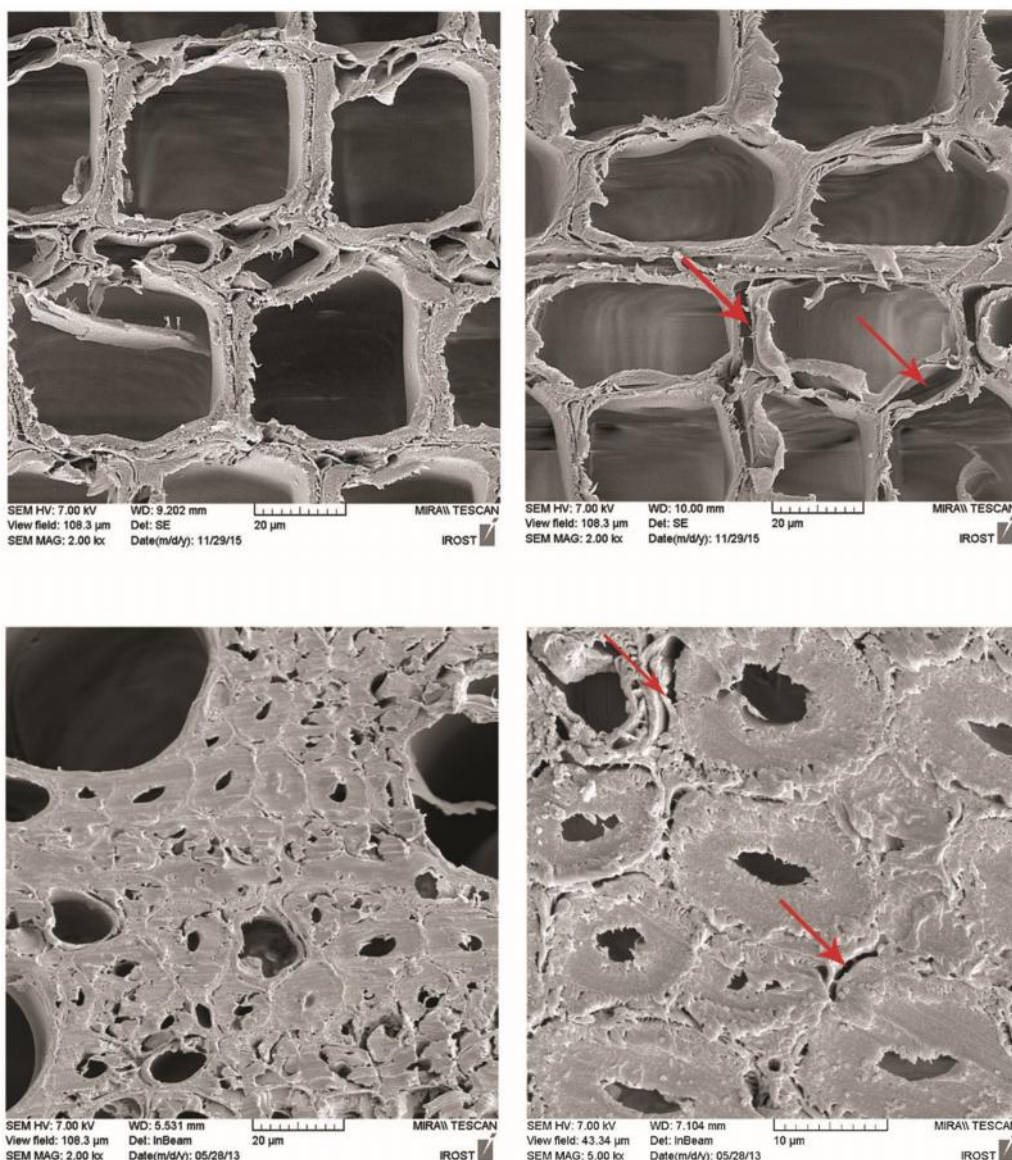
نشان داده شده است، با وجود تراکم و دانسیته بالاتر، مقادیر افزایش مقاومت به پیچ‌خوری در چوب پلیمر راش کمتر از چوب نراد است. این چوب پلیمرها در مقدار فورفوریل‌اسیون دیواره نیز با هم تفاوت‌هایی دارند. بنابراین با توجه به نتایج تحقیقات قبلی مبنی بر افزایش مقاومت برشی موازی الیاف، انتظار می‌رفت که این مقاومت در چوب راش با سطح بالاتر فورفوریل‌اسیون مقادیر افزایش بالاتری را به خود اختصاص دهد. ولی به دلیل مقادیر پایین‌تر مقاومت آزمون‌های شاهد چوب نراد، چوب پلیمرهای آن دامنه تغییرات بیشتری نسبت به آزمون‌های چوب راش نشان داده‌اند. علاوه بر آن، به دلیل تفاوت ویژگی‌های آناتومیکی و مقادیر متفاوت دانسیته چوب ماسیو، دو گونه سازوکارهای شکست متفاوتی داشته‌اند. بررسی ریزنگارهای میکروسکوپ الکترونی پویشی نشان دادند با فورفوریل‌اسیون، ریزترک‌هایی در دیواره و لایه بین سلولی ایجاد می‌شوند، تحقیقات نشان داده است که در چوب دانسیته کم، شکست توسط گسیختگی دیواره سلولی انتشار می‌یابد، درحالی‌که در گونه‌های چوبی با دانسیته زیاد، شکست بین دیواره‌های سلولی با کنده شدن لایه بین سلولی مشاهده شده است (Bucur, 2009). تحت سازوکارهای شکست مختلف دو گونه، چقرمگی شکست چوب پلیمر تحت مد I به‌طور متفاوتی کاهش می‌یابد و شکست آن در حالت بارگذاری موازی الیاف افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، به دلیل باز و کشیده شدن دیواره سلولی در اثر فورفوریل‌اسیون و تشدید ایجاد ریزترک‌ها در ساختار چوب پلیمرها، مقاومت کشش عمود بر الیاف با فورفوریل‌اسیون و افزایش سطح آن کاهش می‌یابد (Abdolzadeh, et al. 2014). این عوامل تأثیرگذار منفی در کنار افزایش مقاومت برشی موازی الیاف، تغییر ماهیت ماده چوبی و افزایش چقرمگی شکست چوب پلیمر تحت سایر مدها تغییر مقادیر مقاومت به پیچ‌خوری آزمون‌های چوب پلیمر و افزایش آن نسبت به آزمون‌های شاهد را در دو جهت مختلف باعث می‌شود.

می‌سازد و با وجود سطح فورفوریل‌اسیون بالا سطح مشترک قوی‌تری را ایجاد خواهد کرد.

نتایج حاصل از آزمون مقاومت به پیچ‌خوری نشان داد که با فورفوریل‌اسیون و افزایش سطح آن این مقاومت افزایش چشمگیری داشته است. البته تحقیق بر روی خواص مکانیکی و مکانیک شکست چوب پلیمرها کمک مؤثری در تشریح این نتایج می‌تواند داشته باشد. نتایج تحقیق بر روی خواص مکانیکی چوب پلیمرهای فورانی نشان داده است که مقاومت برش موازی الیاف با فورفوریل‌اسیون تا حدود ۸۵٪ افزایش می‌یابد (Abdolzadeh et al., 2013). افزایش این مقاومت تأثیر مستقیمی بر مقادیر مقاومت به پیچ‌خوری مخصوصاً در جهت عمود بر الیاف می‌گذارد. علاوه بر این، آزمون‌های مکانیک شکست چوب پلیمرها نشان داده است که فورفوریل‌اسیون در سطوح بالا باعث تغییر در ماهیت چوب شده و رفتار شکست آن را تحت بارهای استاتیکی تغییر می‌دهد. بررسی‌های انجام شده بر نحوه شکست چوب پلیمر راش فورفوریل‌الکل تحت مد ترکیبی II/I نشان داده است که تغییر در چقرمگی شکست چوب پلیمر تحت مد II باعث تغییر در ماهیت ماده شده و پلاستیسیته ماده چندسازه را افزایش داده است. بنابراین رفتار شکست چوب را از حالت ترد به حالت نرم تغییر می‌دهد (Abdolzadeh 2014). علاوه بر این، به دلیل اینکه افزایش میزان جرم ویژه میزان توان نگهداری پیچ افزایش پیدا می‌کند (Noguchi and Sugihara 1961). البته با افزایش دانسیته چوب پلیمر نسبت به چوب ماسیو در اثر پلیمریزاسیون این مقاومت نیز روند افزایشی داشته است.

اصولاً به دلیل ضعف چوب تحت کشش عمود برالیاف مقاومت به پیچ‌خوری در جهت موازی الیاف کمتر از عمود بر الیاف است. نتایج این آزمون نشان داد که مقادیر مقاومت به پیچ‌خوری در چوب پلیمرها نیز از قوانین مربوط به چوب ماسیو پیروی می‌کند. این مقاومت تحت تأثیر تغییرات خواص مکانیکی چوب پلیمر و تغییر رفتار شکست ماده تحت مد I نیز قرار گرفته است. همان‌طور که در جدول ۳





آزمونه شاهد

چوب پلیمر فورانی

شکل ۴- تأثیر فورفوریلایسیون در ایجاد ریزترک‌های دیواره در چوب پلیمرهای نراد (ردیف بالا) و راش (ردیف پایین) فلش‌ها محل شکست را نشان می‌دهند، در نمونه‌های نراد شکست با گسیختگی دیواره سلولی و در راش شکست بین دیواره‌های سلولی با کنده شدن لایه بین سلولی است.

داد که استفاده از چسب‌های محلول در آب مانند اوره فرمالدهید و پلی وینیل استات برای ساخت اتصالات چسبی مناسب نیستند و چسب پلی‌یورتان مقادیر مقاومت برشی خط چسب معقولی را نشان داد. نتایج این تحقیق نشان داد در سازه‌هایی با اتصال پیچ، فورفوریلایسیون نه تنها با افزایش

در این تحقیق، به منظور تهیه اطلاعات فنی مورد نیاز برای استفاده بهتر از مواد اولیه در صنعت مبلمان و افزایش کیفیت و عمر سودمند سازه، مقاومت برشی خط چسب و توان نگهداری پیچ بر روی نمونه‌های چوب پلیمر تهیه شده از گونه‌های راش و نراد بررسی شد. نتایج این بررسی نشان

- furfuryl alcohol. *European Journal of wood and Wood Product*, 70(6): 865-869.
- Bucur, V., 2011. *Delamination in Wood, Wood Products and Wood-Based Composites*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 416p.
- Do any, S., 1995. *Determination of Screw Withdrawal Resistance of Wood Using in Furniture Industry*. M. Sc. Thesis, Gazi University, Ankara. 85p.
- Derikvand, M. and Pangh, H., 2016. A modified method for shear strength measurement of adhesive bond in solid wood. *Bioresources*, 11(1): 354-364.
- Esteves, B., Nunes, L., and Pereira, H., 2011. Properties of furfurylated wood (*Pinus pinaster*). *European Journal of Wood and Wood Products*, 69: 521-525.
- Goldstein, I. S. and Dreher, W. A., 1960. Stable furfuryl alcohol impregnation solutions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(1): 57-58.
- Langwig, J. E., Meyer, J. A. and Davidson, R. W., 1969. New monomers used in making wood-plastics. *Forest Product Journal*, 19(11): 57-61.
- Maleki, S., Dalvand, M. and Gholamiyan, H., 2013. Determination of Screw and Nail Withdrawal Strengths in Parallel and Perpendicular to Grain of some Hardwoods of Iran. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 3(2): 171-180.
- Noguchi, M. and Sugihara, H., 1961. Studies on Static Withdrawal Resistance of Nail. Effect of Driving Method and Time after Driving. *Wood Research*, 25: 1-13.
- Neyestani, F., 1986. Study of quality improvement methods of domestic species for textile industry. MSc, University of Tehran, Karaj. 88p.
- Omidvar, A. and Abdolmaleki, A. A. V. J., 2002. Study of manufacturing WPC of *Populus nigra* with direct heating. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of Gorgan*, 9(4): 215-221.
- Schneider, M. H., 1995. New cell wall and cell lumen wood polymer composites. *Wood Science and Technology*, 29: 121-127.
- Stamm, A. J., 1964. *Wood and cellulose science*. Ronald Press, New York, 550p.
- Thygesen, L. G., Barsberg, S. and Venas, T., 2010. The fluorescence characteristics of furfurylated wood studied by fluorescence spectroscopy and confocal laser scanning microscopy. *Wood Science and Technology*, 44: 51-65.
- Vassiliou, V. and Barboutis, I., 2005. Screw withdrawal capacity used in the eccentric joints of cabinet furniture connectors in particleboard and MDF. *Journal of Wood Science*, 51: 572-576.
- ثبات ابعادی می‌تواند در ساخت و استفاده از سازه در فضاهای بیرونی کمک مؤثری داشته باشد، بلکه می‌تواند مقاومت به پیچ‌خوری را در جهت‌های عمود و موازی الیاف افزایش دهد. البته با تلاش مؤثر در طراحی سازه و با توجه به سازوکارهای شکست این فرآورده‌ها می‌توان با بهره‌گیری از اثرات مثبت فورفوریل‌سیون مانند افزایش مقاومت برشی و افزایش پلاستیسیته و تغییر سازوکار شکست تحت مدهای مختلف، از فرآورده مذکور در فضاهای بیرونی بهینه‌ترین استفاده را به عمل آورد.

### منابع مورد استفاده

- Abdolzadeh, H., 2014. *Structural Performance of Joints with Wood-Polymer Members and Reinforced with FRP Composites under Combined Stresses at Furniture Structure*. Ph.D. thesis, University of Tehran, Karaj. 208p.
- Abdolzadeh, H., Ebrahimi, G., Layeghi, M., Ghassemieh, M. and Mirshokraie, S. A., 2013. Mechanical properties of Beech -Furfuryl alcohol wood polymer. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 4(2): 143-155.
- Abdolzadeh, H., Layeghi, M., Ebrahimi, G. and Ghassemieh, M., 2014. Fracture behavior of beech-furan wood/polymer under mode I. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 29(4): 609-622.
- Abdolzadeh, H., Layeghi, M., Ebrahimi, G. and Ghassemieh, M., 2014. Study of Stress Capacity Improvement of L-type Joint by Chemical Modification of Wood. *BioResources*, 9(3): 5302-5310.
- ASTM D 905-98. Standard, 1998. Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading. ASTM International.
- ASTM-D 1761-88, 1995. Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood; ASTM, 1995.
- Aytekin, A., 2008. Determination of Screw and Nail Withdrawal Resistance of Some Important Wood Species. *International Journal of Molecular Sciences*, 9: 626-637.
- Barikani, M. and Ehsani, M., 2008. Chemistry and technology of polyurethane, Gylzan enterprise development industry, Iran, 385p.
- Buchelt, B., Dietrich, T. and Wagenfuhr, A., 2012. Macroscopic and microscopic monitoring of swelling of beech wood after impregnation with

## Effect of furfurylation on glueline shear strength of and screw withdrawal resistance of beech and fir wood

A. Talaei<sup>1</sup>, M.S. Zare<sup>2</sup> and H. Abdolzadeh<sup>3\*</sup>

1- Assistant Professor, Wood science & Technology Department, Civil Engineering Faculty, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

2- MSc Student, Wood science & Technology Department, Civil Engineering Faculty, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

3- \*Corresponding author, PhD. Wood science & Technology Department, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: h\_abdolzadeh@ut.ac.ir

Received: Aug., 2015

Accepted: April, 2016

### Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of furfurylation on glueline shear strength and screw withdrawal resistance of beech (*Fagus orientalis*) and fir (*Abies alba*) woods. Specimens with two different degrees of furfurylation i.e. low (fir 14% and beech 20%) and high (fir 38% and beech 65%) were prepared and evaluated in comparison with untreated specimens. The furfurylation was performed after by impregnating the specimens by furfuryl alcohol under vacuum condition followed by heating to complete polymerization and crosslinking. Test specimens were prepared according to ASTM D 905 to assess shear strength of glueline formed with three different types of adhesives, single-component polyurethane, polyvinyl acetate and urea-formaldehyde. Also screw withdrawal resistance of wood polymer specimens was measured perpendicular to grain and parallel to grain. The results indicated that the shear strength of the glueline decreased and screw withdrawal resistance increased by furfurylation level. Examination of adhesion mechanism demonstrated that formation of an appropriate interface between water-soluble adhesives and wood-polymer involves effective penetration of adhesive into cell wall. Hence, the interface of adhesives and material would be the determining factor in developing strength of adhesive joints. Since the wood-furfuryl alcohol polymer is formed in cell-wall, the possibility of creating an appropriate interface by increasing of furfurylation level was impaired. On the other hand, the adhesion mechanism of polyurethane glue compared to water-soluble adhesives such as polyvinyl acetate and urea-formaldehyde is significantly different. The screw withdrawal resistance of furfurylated wood was increased by furfurylation level due to changing the nature of wood and increased shear strength of wood-polymer. This was also more evident in fir than beech wood. The results showed that screw withdrawal resistance perpendicular to grain was higher than parallel to grain.

**Key words:** Shear strength, glueline, furfurylation, screw withdrawal resistance, beech, fir.