

## تأثیر فورفوریل‌اسیون بر خواص فیزیکی و کیفیت سطح دو گونه راش و نراد

## چکیده

تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر فورفوریل‌اسیون بر جذب آب، واکنشیدگی ضخامت، زاویه تماس و زبری سطح در دو گونه راش (*Fagus orientalis*) و نراد (*Abies alba*) انجام گرفت. بدین منظور فورفوریل‌اسیون نمونه‌های چوب راش و نراد با دو مقدار متفاوت در دو سطح انجام شده و با نمونه‌های شاهد مقایسه شدند. فورفوریل‌اسیون نمونه‌ها با اشباع تحت فشار و پلیمریزاسیون منومر فورفوریل‌الکل با کاتالیزور حرارت انجام شد. جهت بررسی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌های آزمون تحت غوطه‌وری طولانی مدت قرار گرفته و مقادیر تغییرات ابعادی آن‌ها در زمان‌های مختلف تعیین گردید. همچنین آزمون‌های زبری سطح و زاویه تماس قطره انجام شد. نتایج نشان دادند که با افزایش سطح فورفوریل‌اسیون میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاهش یافت. همچنین نتایج نشان دادند با فورفوریل‌اسیون و افزایش سطح آن زاویه تماس قطره کاهش و زبری سطح افزایش یافتند.

**واژگان کلیدی:** فورفوریل‌اسیون، زاویه تماس، زبری سطح، جذب آب، واکنشیدگی ضخامت.

آیسونا طلایی<sup>۱</sup>

محمد صالح زارع<sup>۲</sup>

حمیده عبدالزاده<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> دانش‌آموخته دکتری، علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران

مسئول مکاتبات:

[h\\_abdolzadeh@ut.ac.ir](mailto:h_abdolzadeh@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲۱

## مقدمه

چوب یک ماده تجدید پذیر طبیعی و دارای ساختار متخلخل و منحصربه‌فردی است که سالیان متمادی به‌عنوان ماده اولیه برای ساخت فرآورده‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. ترکیبات اصلی و عمده آن بیوپلیمرهایی با گروه‌های هیدروکسیل فراوان مانند کربوهیدرات‌های سلولز و همی‌سلولز و پلیمرهای فنولی لیگنین هستند. گروه‌های هیدروکسیل موجود در آن‌ها مکان‌هایی برای جذب رطوبت به شمار می‌روند و کاهش مقاومت چوب را در پی دارند. در نتیجه زمانی که چوب در فضای بیرونی مورد استفاده قرار می‌گیرد به راحتی با جذب و دفع رطوبت محیط واکنشیده و هم کشیده شده و مستعد تغییر ابعاد و تخریب توسط میکروارگانیسم‌ها است. در سال‌های اخیر بهبود ویژگی‌های چوب با کمک مواد

شیمیایی گوناگون یکی از زمینه‌های بسیار مهمی است که در این صنعت مورد توجه قرار گرفته است. در طول سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۶۰ تحقیقات و تلاش‌های زیادی انجام شد تا بتوان به کمک مواد و روش‌های مختلف، معایب طبیعی چوب همچون ناپایداری ابعاد و پوسیدگی را برطرف و اصطلاحاً آن را اصلاح نمود. همراه با پیشرفت صنعت پلیمرهای مصنوعی، این پلیمرها به صورت گسترده‌ای برای اصلاح چوب مورد استفاده قرار گرفتند [۱]. به طوری که چوب به وسیله مونومرها-عمدتاً مونومرهای وینیلی اشباع‌شده و بعد مونومر به کاررفته پلیمر می‌شود و منجر به تولید فرآورده مرکب چوب-پلیمر می‌شود. نخستین مقاله در مورد فرایند کاتالیزور حرارتی برای ساخت چوب-پلیمر در سال ۱۹۶۵ در همایش سالانه انجمن تحقیقات تولیدات فرآورده‌های جنگل در شهر

افزایش ثبات و پایداری چوب و افزایش برخی ویژگی‌های مقاومتی آن بدون کاهش قابل‌ملاحظه ویژگی‌های مکانیکی دیگر موردنیاز برای کاربردهای سازه‌ای است [۸].

فورفوریل الکل ماده شیمیایی تجدیدشونده و از مشتقات فورفورال است که از هیدرولیز پسماند زیست‌توده<sup>۱</sup> تولید می‌شود. فرایندهای فورفوریل‌اسیون بر پایه سازوکارهای کاتالیزوری و مواد افزودنی فرایندی جدید، پایه‌گذاری شده‌اند. فرایند Goldstein با کاتالیزور کلریدروی و بر روی روکش‌های چوبی انجام گرفته است.

در فورفوریل‌اسیون سطوح تیمار بر پایه قرارداد با درصد افزایش وزن (WPG<sup>۲</sup>) بیان می‌شود. با رقیق‌سازی مناسب محلول اشباع، امکان به دست آوردن WPG در دامنه‌ای از ۱۰ تا بیش از ۱۰۰ درصد در چوب‌هایی با چگالی کم وجود دارد. در واقع غلظت فورفوریل الکل و چگالی چوب، میزان WPG را تحت تأثیر قرار می‌دهند. چوب‌هایی با چگالی کم، حجم فضاهای خالی به نسبت بزرگ‌تری داشته و در نتیجه درصد افزایش وزن بیشتری در مقایسه با چوب متراکم‌تر (دارای دانسیته بیشتر) خواهند داشت.

Lande و همکاران (۲۰۰۴) گزارش دادند که پایداری ابعادی چوب فورفوریل‌دار شده با افزایش WPG زیادتر می‌شود [۶]. Epmeier و همکاران (۲۰۰۷) به این نتیجه رسیده‌اند که با افزایش ضریب واکسیدگی، میزان رطوبت تعادل و کرنش واکسیدگی فرآورده ۳۰٪ کاهش پیدا می‌کند [۹]. Treu و همکاران (۲۰۰۹) اثبات کردند که جذب آب و واکسیدگی ضخامت چوب فورفوریل‌دار شده کاهش می‌یابد و همچنین 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 FAP<sup>۳</sup> به این نتیجه رسیدند که با وجود این‌که WPG روش متداولی برای نشان دادن میزان پلیمر در چوب اصلاح شده است، ولی غلظت ماده تثبیت‌شده (معادل با FAP٪) بیش از جرم اضافه‌شده به اجزای سازنده (معادل WPG) است. دامنه FAP از ۰ تا ۱۰۰٪ است در حالی‌که WPG دامنه‌ای از صفر تا بی‌نهایت را شامل می‌شود و با غلظت پلیمر در نمونه‌ها همبستگی نخواهد داشت [۱۱].

نیویورک ارائه شد. تحقیقات زیادی توسط پژوهشگران بزرگ دنیا در فاصله سال‌های ۱۹۶۵-۱۹۸۵ انجام شده است. برجسته‌ترین پژوهش‌ها مربوط به دانشمندانی از آمریکا همچون سیو، میر و لانگویگ، کانادا همچون برینر و شنایدر است. البته محققانی از نیوزلند، هلند و ژاپن و برخی کشورهای دیگر نیز تحقیقاتی در زمینه چوب-پلیمر انجام داده‌اند [۲]. در کشور ما نیز در چند سال اخیر تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفته است [۳].

تحقیق درباره اصلاح چوب با فورفوریل الکل به‌وسیله پیشگام اصلاح چوب، دکتر آلفرد استم، در اوایل دهه ۱۹۵۰ آغاز شد [۴، ۵]. Goldstein از کلرید روی به‌عنوان کاتالیزور منتخب استفاده کرد و عمدتاً قطعات چوبی کوچک یا باریک را به کار برد. این تحقیق منجر به تولید چوب فورفوریل‌شده در مقیاس کوچک، در دهه ۱۹۶۰ شد در دهه ۱۹۸۰ Anaya و همکاران روشی مشابه روش Stamm و Goldstein استفاده کردند. این فرایند هرگز به‌صورت تجاری درنیامد. مشکلات عمده مربوط به این روش‌ها به سیستم‌های کاتالیزوری مورد استفاده مربوط می‌شد. استفاده از کاتالیزور کلرید روی باعث تخریب سلولز شده و در درازمدت منجر به کاهش مقاومت‌های مکانیکی در چوب اصلاح‌شده می‌گردد [۶]. در اوایل دهه ۱۹۹۰ Westin و Schneider به‌طور هم‌زمان سیستم‌های کاتالیزوری جدیدی برای فورفوریل‌اسیون چوب ارائه دادند [۷]. آن‌ها از انیدریدهای کربوکسیلیک حلقوی، عمدتاً مالئیک انیدرید، به‌عنوان کاتالیزور کلیدی استفاده کردند. این سیستم‌های جدید، محلول‌های پایدار با خواص اشباع خوب هستند که چوب فورفوریل‌دار شده با خواص برجسته تولید می‌کند. فرایند فورفوریل‌اسیون به مرحله تجاری رسیده است به‌طوری‌که کمپانی WPT در سال ۱۹۹۷ در نروژ تأسیس شده است و تولیدات آن با نام‌های تجاری Visor Wood, Kebony 100 و Kebony 30 عرضه می‌شود.

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 فرایند پلیمریزاسیون با روش‌های مختلفی مانند حرارت‌دهی، استفاده از کاتالیزور و یا نفوذ اشعه تکمیل می‌شود. هدف از تیمار فورفوریل‌اسیون

<sup>۱</sup> -Biomass

<sup>۲</sup> -Weight Percentage Gain

<sup>۳</sup> -Furfuryl Alcohol Polymerization

مرک ۴ و میزان ۱/۱۵٪ اسیدسیتریک (بر پایه وزن فورفوریل الکل) به‌عنوان کاتالیزور استفاده شد

اشباع: قبل از اشباع، نمونه‌های هوا خشک‌شده در داخل اون با دمای ۴۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد تا به رطوبت حدود ۱ درصد برسند. آزمون‌هایی با ابعاد ۳۰×۳۰×۱۳۰ میلی‌متر در سیلندر اشباع ۳۰ لیتری در خلأ (۰/۳ بار) به مدت ۴۵ دقیقه قرار گرفت. سپس مایع به درون سیلندر وارد و فشار ۶ بار به مدت ۲ ساعت اعمال شد. پس از خارج کردن آزمون‌ها از سیلندر، مایع اضافی از آزمون‌ها زدوده شده برای حذف اتانول موجود در چوب پیش از پلیمریزاسیون، آزمون‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای محیط و ۲ ساعت در درون اون 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 اون انجام شده است.

مرحله پخت تکمیلی: پس از عملیات پخت و بیرون آوردن آزمون‌ها از درون فویل، پخت تکمیلی به مدت ۱۶۸ ساعت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس در درون اون انجام شد. آزمون‌ها پیش از متعادل‌سازی توزین شدند. برای به دست آوردن سطوح مختلف فورفوریل‌اسیون از غلظت‌های مختلف فورفوریل الکل در محلول اشباع می‌توان استفاده کرد. به‌طورمعمول 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 کم و نسبتاً زیاد باهم مخلوط شدند.

میزان درصد افزایش وزنی آزمون‌ها با معادله زیر محاسبه شد.

$$\text{WPG}(\%) = \frac{M_p - M_0}{M_0} \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله ( $M_0$ ) وزن خشک آزمون پیش از اشباع ( $M_p$ ) وزن خشک آزمون فورفوریل‌دار شده پس از تکمیل پلیمریزاسیون و پخت است. بر اساس فرمول بالا آزمون‌ها

Esteves و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند که فورفوریل‌اسیون چوب بدون اثر قابل‌توجه بر خواص خمشی می‌تواند باعث کاهش مقدار رطوبت تعادل چوب و افزایش ثبات ابعاد آن و کاهش هرسو نایکسانی، چوب شود. در اثر فورفوریل‌اسیون سختی و دوام طبیعی نمونه‌های تیمار شده به‌صورت قابل‌توجهی افزایش می‌یابد [۸]. Abdolzadeh و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیده‌اند که چوب فورفوریل‌دار می‌تواند در ساخت سازه‌های چوبی، اسکله‌های چوبی، پل‌ها و در مبلمان پارک‌های شهری به‌عنوان جزئی از سازه‌های چوبی استفاده شود [۱۲].

Taghizade Mofitkolayi و همکاران (۲۰۱۰) بر روی زبری سطح چوب صنوبر دلتوئیدس استری شده کار کردند و به این نتایج رسیدند که در استری کردن زبری سطح به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند و با افزایش درصد افزایش وزن (WPG) زبری سطح افزایش می‌یابد [۱۳].

با توجه به رویکرد جدید در استفاده از موادی با منشأ زیستی برای اصلاح چوب و تغییر ویژگی‌های آن، استفاده از فورفوریل‌اسیون به‌منظور بهبود خواص فیزیکی چوب در حال حاضر در بسیاری از کشورها موردتوجه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر تلاش‌هایی برای بهینه‌سازی تیمار فورفوریل‌اسیون و تعیین ویژگی‌های مختلف چوب‌های فورفوریل‌شده انجام گرفته ولی تاکنون تحقیق جامعی مبنی بر تأثیر تیمار فورفوریل‌اسیون بر ویژگی‌های سطحی و رفتار جذب آب در دو گونه راش و نراد گزارش نشده است. با توجه به کاربرد وسیع این دو گونه در صنایع چوبی و مبلمان در ایران، این تحقیق به بررسی کیفیت سطح و میزان ثبات ابعاد در این دو گونه می‌پردازد.

## مواد و روش‌ها

عملیات فورفوریل‌اسیون چوب راش و نراد 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 این گونه‌های چوبی در سه مرحله اشباع، پخت و پخت تکمیلی انجام شده است [۱۵]. برای فورفوریل‌اسیون از فورفوریل الکل ۹۸٪ ساخت شرکت

چند دامنه‌ای دانکن<sup>۶</sup> (DMRT) با سطح معنی‌داری ۰/۹۵ انجام شد. تمام تحلیل‌ها با نرم‌افزار SPSS صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### جذب آب و واکنشیدگی ضخامت

نتایج حاصل از اندازه‌گیری تأثیر فورفوریل‌اسیون بر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چوب به ترتیب در شکل ۱ و ۲ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود کم‌ترین میزان درصد جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در سطح فورفوریل‌اسیون بالای آزمون‌های راش به دست آمد. در تمامی نمونه‌ها با گذشت زمان درصد جذب آب و واکنشیدگی ضخامت افزایش یافت و بیشترین افزایش مربوط به آزمون‌های شاهد بود. نتایج آزمایش و تحلیل داده‌های محققین دیگر نیز با هدف بررسی چندسازه چوب-پلیمر از گونه‌های (پالونیا، سپیدار، افرا پلت و ممرز) افزایش خواص فیزیکی را در هر ۴ گونه نشان داد [۱۸].

در دو سطح با ۲ میزان متفاوت فورفوریل‌اسیون ۰/۲۰ و ۰/۶۵ برای گونه راش و ۰/۱۴ و ۰/۳۸ برای گونه نراد آماده شده و با آزمون‌های شاهد مقایسه شدند.

پس از تیمار میزان زاویه تماس قطره (از ثانیه اول تا دهم) بر روی سطح شعاعی آزمون‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری نم‌پذیری سطح نمونه‌ها از روش قطره‌گذاری آب دیونیزه بر پایه استاندارد ASTM D ۵۹۴۶ استفاده شد. برای این منظور نم‌پذیری سطح نمونه‌ها بعد از عمل فورفوریل‌اسیون توسط دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس دینامیک واقع در پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ ایران، به مدت ۱۰ ثانیه با حجم قطره ۴/۵ میلی‌لیتر و تکرار ۳ بار محاسبه شد [۱۶].

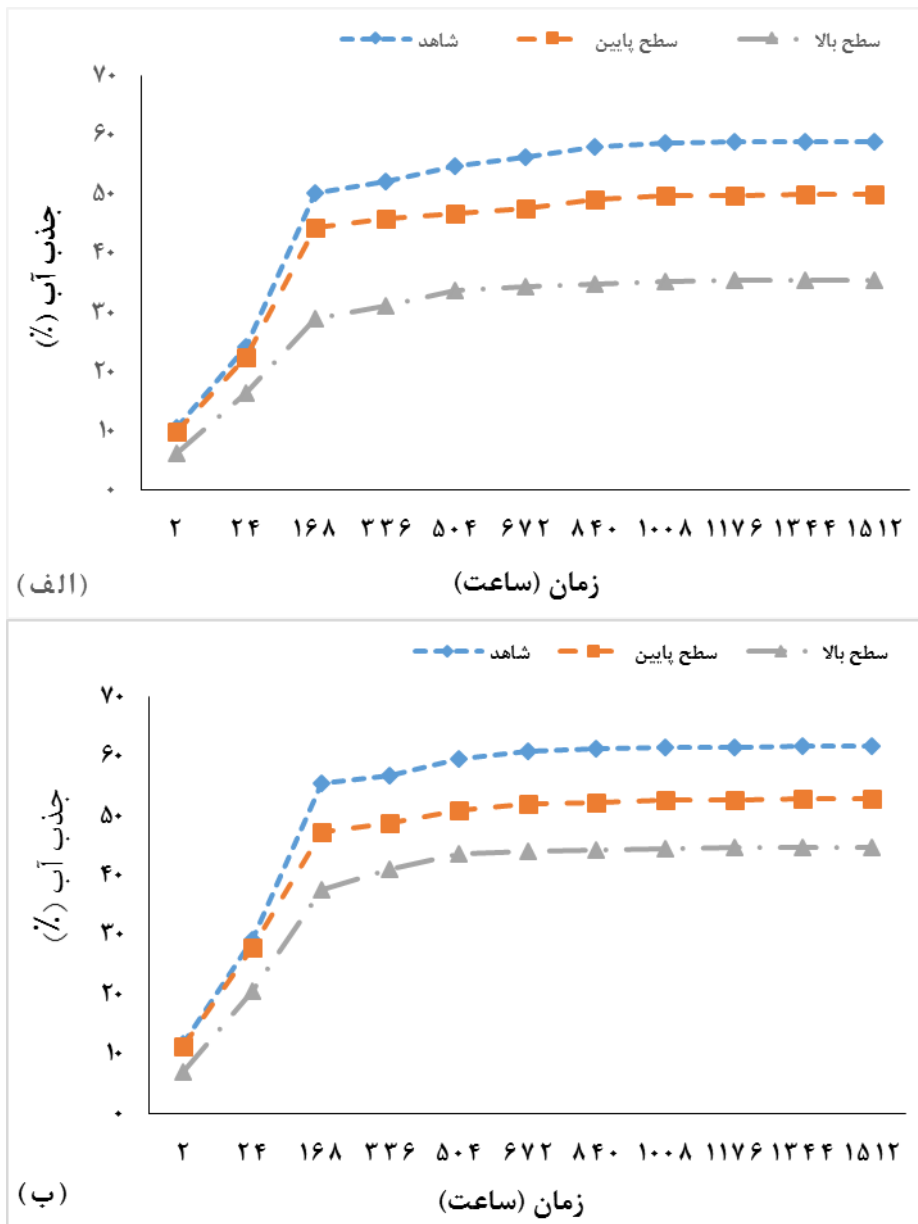
برای ارزیابی تأثیر فورفوریل‌اسیون بر روی ناهمواری سطح گونه‌های راش و نراد، آزمون‌های زبری با برش توسط اره گرد تهیه شد و مقادیر زبری سطح شعاعی، بعد از قرار گرفتن در شرایط کلیما بعد از ۲ هفته توسط دستگاه زبری سنج<sup>۵</sup> مدل SRT-TR100 اندازه‌گیری شد. دو عامل  $R_a$  و  $R_z$  توسط دستگاه اندازه‌گیری شد. برای حصول اطمینان از دقت نتایج، آزمون زبری سنجی بر روی هر نمونه ۳ بار تکرار شد. مشخصات فنی این دستگاه که ساخت شرکت تایم چین است عبارت است از: محدوده اندازه‌گیری وسیع قابل‌استفاده برای اکثر مواد، پارامترهای اندازه‌گیری،  $R_a$ ،  $R_z$ ، محدوده اندازه‌گیری،  $\mu\text{m}$  ۰/۱۰-۰/۵۰ و  $R_a$ : ۰/۰۵-۰/۱۵، دقت اندازه‌گیری،  $\pm$  ۰/۱۵.

آزمون‌های شعاعی-مماسی از آزمون‌های چوب پلیمر تهیه شده برش داده شد. واکنشیدگی سطح مماسی بر اساس استاندارد ISO ۳۱۳۰ در ابعاد  $3 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$  (به ترتیب شعاعی، مماسی و طولی) با تعداد تکرار ۵ برای هر تیمار انجام شد [۱۷]. درصد جذب آب و واکنشیدگی پس از خشک شدن آزمون‌ها با غوطه‌ور کردن در آب مقطر پس از ۲، ۲۴، ۱۶۸، ۳۳۶، ۵۰۴، ۶۷۲، ۸۴۰، ۱۰۰۸، ۱۱۷۶، ۱۳۴۴ و ۱۵۱۲ ساعت اندازه‌گیری شد.

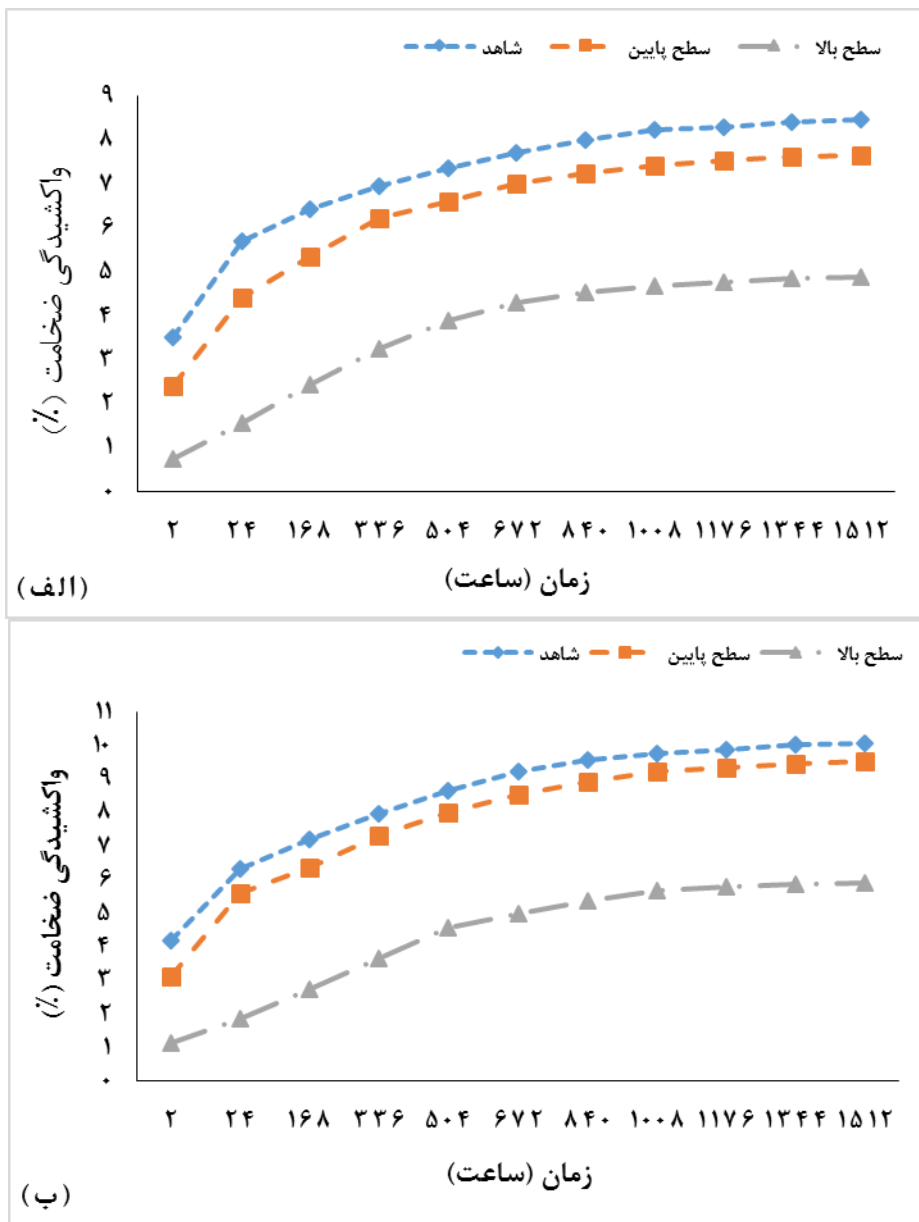
تحلیل نتایج با آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون

<sup>۶</sup>-Duncan multiple range test

<sup>۵</sup>-Surface Roughness Tester



شکل ۱- تأثیر میزان فورفوریل‌اسیون بر درصد جذب آب گونه راش (الف) و نراد (ب)



شکل ۲- تأثیر میزان فورفوریل‌سیون بر درصد واکشیدگی ضخامت چوب راش (الف) و نراد (ب)

توسط فورفوریل الکل در دیواره سلولی نراد کمتر است، گروه‌های هیدروکسیل بیشتری نسبت به گونه راش امکان جذب آب را خواهند داشت؛ بنابراین جذب آب و واکشیدگی ضخامت بیشتری خواهیم داشت. تغییرات دانسیته نیز بر مقادیر جذب آب و واکشیدگی ضخامت مؤثر است. Stamm (۱۹۶۴) با بررسی فرآورده مرکب چوب-پلیمر با استفاده از فنل فرم آلدئید، فورفوریل الکل، پلی‌اتیلن گلیکول، استایرن، متیل متا اکریلات جهت تهیه روکش‌های چوبی و لایه‌ای نتیجه گرفت که فرآورده حاصله دارای دانسیته بیشتر بوده و محصولات تولیدشده هرکدام

نتایج حاصل از اندازه‌گیری تأثیر فورفوریل‌سیون بر جذب آب و واکشیدگی ضخامت بر روی نمونه‌های مختلف نشان داد که در شرایط یکسان فرایند فورفوریل‌سیون، گونه نراد درصد آب بیشتری نسبت به راش جذب کرده و واکشیدگی ضخامت بیشتری نیز داشته است. سوزنی‌برگان در شرایط مساوی نفوذپذیری کمتری نسبت به پهن‌برگان دارند [۱۹]، بنابراین امکان نفوذ منومر فورفوریل الکل به داخل چوب نراد کمتر بوده است و در نتیجه درصد پلیمریزاسیون کمتری در مقایسه با گونه راش داشته است. به دلیل اینکه مقدار فضای اشغال‌شده

بیشترین کاهش جذب آب و واکسیدگی ضخامت در سطح بالا فورفوریل‌اسیون گونه راش به ترتیب با مقادیر ۳۹/۵۷٪ و ۴۹/۵۸٪ گزارش شد که با نتایج به‌دست‌آمده از Goldstein (۱۹۵۵) که کارایی ضد واکسیدگی با درصد افزایش وزن از ۱۷ به ۱۲۰ درصد در محدوده ۴۱ تا ۷۰ درصد به دست آورده بود، مطابقت دارد [۴].

از دو فرایند حفره سلولی و دیواره سلولی به‌طور مناسبی دارای ثبات ابعاد و قابلیت ماشین‌خوری و تبدیل به محصولات مختلف هستند [۲۰].

نتایج بررسی تأثیر میزان فورفوریل‌اسیون بر درصد کاهش جذب آب و واکسیدگی ضخامت نشان داد که با افزایش سطح فورفوریل‌اسیون، میزان درصد کاهش جذب آب و واکسیدگی ضخامت نیز افزایش می‌یابد (جدول ۱).

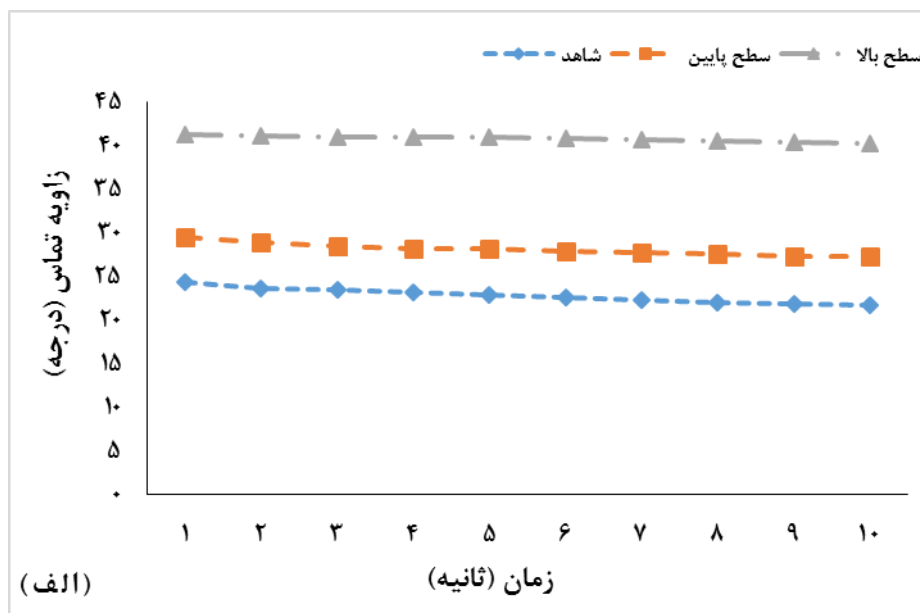
جدول ۱- تأثیر میزان فورفوریل‌اسیون بر درصد کاهش جذب آب و واکسیدگی ضخامت در گونه‌های راش و نراد

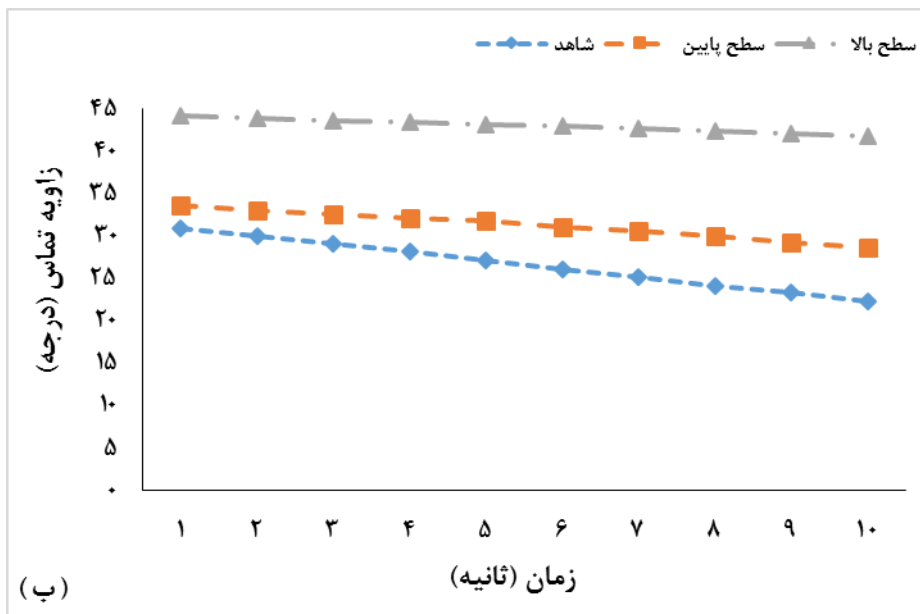
گونه	سطح فورفوریل‌اسیون	جذب آب	واکسیدگی ضخامت
راش	سطح پایین	۱۴,۰۴	۱۲,۱
	سطح بالا	۳۹,۵۷	۴۹,۵۸
نراد	سطح پایین	۱۳,۸۷	۷,۸۴
	سطح بالا	۲۸,۳۱	۴۳,۷

سطح فورفوریل‌اسیون زاویه تماس قطره نیز افزایش یافت و بیشترین زاویه تماس و یا به‌عبارت‌دیگر کمترین میزان تر شونده‌گی سطح در سطح فورفوریل‌اسیون نسبتاً بالا در آزمونه‌های راش به دست آمد.

### زاویه تماس قطره

نتایج حاصل از اندازه‌گیری تأثیر فورفوریل‌اسیون بر زاویه تماس در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین میزان زاویه تماس قطره اندازه‌گیری شده مربوط به آزمونه‌های شاهد بود. با افزایش

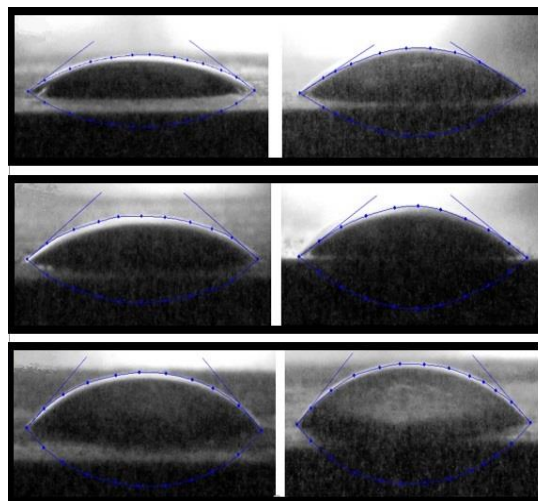




شکل ۳- تأثیر میزان فورفوریل‌اسیون بر زاویه تماس قطره در آزمون‌های چوب راش (الف) و نراد (ب)

افزایش یافته است. کاهش مقادیر تر شوندگی نشان‌دهنده ایجاد خاصیت آب‌گریزی در چوب پلیمرهای حاصل است. تحقیق بر روی چوب‌های اصلاح‌شده نیز نتایج مشابهی در بر داشته است. Jonoobi و همکاران نیز با اندازه‌گیری زاویه تماس نشان دادند، استری کردن با استیک انیدرید به مدت ۴ ساعت، ویژگی‌های سطحی آن را از آب‌دوستی کامل به حالت شدیداً آب‌گریز تبدیل می‌کند [۲۱] Ifuku و همکاران نیز کاهش شدید آب‌دوستی نانو الیاف سلولوز باکتریایی را پس از ۱ ساعت واکنش با استیک انیدرید اثبات کردند [۲۲].

در تمامی نمونه‌ها با گذشت زمان از لحظه رها نمودن قطره تا زمان ۱۰ ثانیه، زاویه تماس قطره کاهش یافت. شکل ۴ میزان زاویه تماس قطره در سطوح مختلف فورفوریل‌اسیون در ثانیه اول در دو گونه را نشان می‌دهد. زاویه تماس قطره در چوب پلیمرهای راش بیشتر از نراد است. این امر به این دلیل است که با پرسیدن دیواره سلولی و مسدود شدن فیزیکی گروه‌های هیدروکسیل، امکان نفوذ مولکول‌های آب درون آن کاهش یافته و از آنجایی که میزان فورفوریل‌اسیون در چوب راش بیشتر بوده است، میزان تر شوندگی کاهش و زاویه تماس قطره



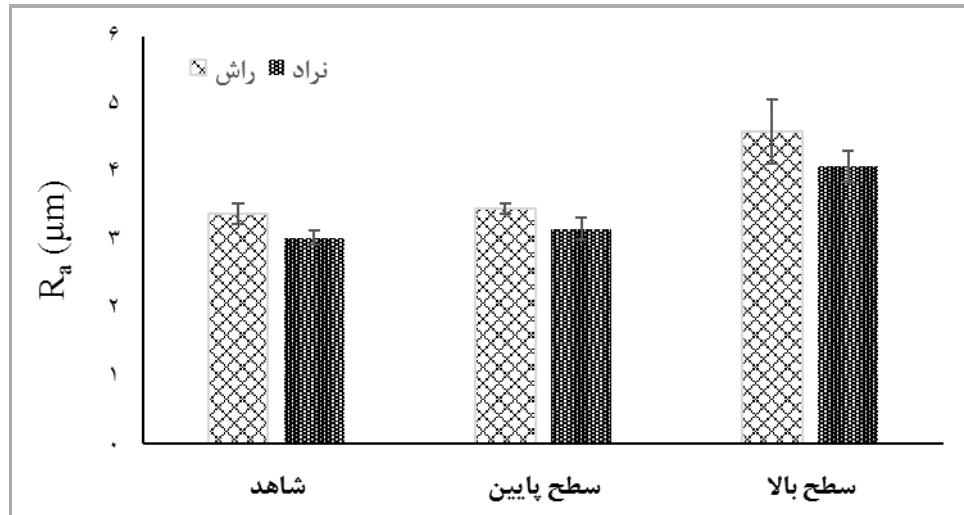
شکل ۴- زاویه تماس قطره در سطوح مختلف فورفوریل‌اسیون در ثانیه اول (سمت راست گونه راش و چپ گونه نراد، ردیف اول تا سوم به ترتیب آزمون‌های شاهد، سطح پایین و سطح نسبتاً بالای فورفوریل‌اسیون)



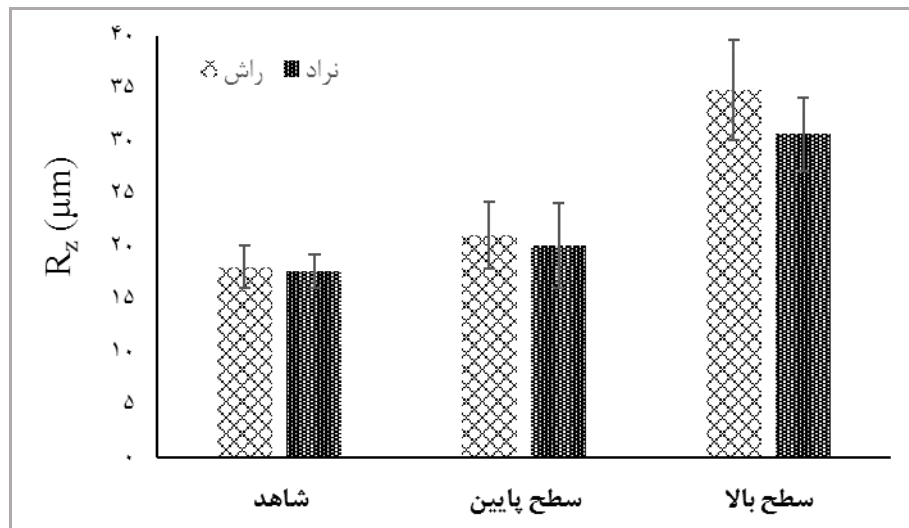
## زبری سطح

از آنجاکه کیفیت سطح چوب و فرآورده‌های چوبی مختلف در کیفیت نتایج حاصل از اندازه‌گیری تأثیر فورفوریل‌اسیون بر زبری سطح گونه‌های راش و نراد در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است. نتایج نشان داد بیشترین میزان فاکتورهای  $R_a$  و  $R_z$  زبری سطح مربوط به نمونه

هایی با سطح بالای فورفوریل‌اسیون در هر دو گونه است. علاوه بر این، فاکتورهای زبری سطح در آزمون‌های راش مقادیر بالاتری را به خود اختصاص دادند که به دلیل وجود حفرات آوندی بزرگ در ساختار چوب راش و ناهمگنی بیشتر ساختار آن نسبت به نراد چندان دور از انتظار نبود.



شکل ۵- تأثیر فورفوریل‌اسیون بر فاکتورهای  $R_a$  زبری سطح گونه راش و نراد



شکل ۶- تأثیر فورفوریل‌اسیون بر فاکتورهای  $R_z$  زبری سطح گونه راش و نراد

پلیمریزاسیون منومر فورفوریل الکل در دیواره سلولی، دیواره با افزایش حجم مواجه می‌شود [۲۴] و در اثر واکنش شدن چوب، شکل و ابعاد سلول‌های چوبی تغییر می‌یابد، اصلاح چوب از این طریق می‌تواند باعث افزایش زبری سطح آزمون‌های چوبی شود. علاوه بر واکنش‌دهی

پژوهش‌های انجام‌شده توسط Togay و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد، تیمار چوب با مواد حفاظتی بوراکس، بوریک اسید، مونوآمونیم فسفات، زبری سطح چوب را به علت حجیم شدن دیواره سلولی و افزایش زبری الیاف چوب، افزایش می‌دهد [۲۳] از آنجاکه پس از

در نتیجه استفاده از این فرایند در کشور می‌تواند مفید واقع شود و تا حد زیادی از هدر رفتن گونه‌های چوبی بارزش به‌عنوان ماده فاقد ثبات ابعادی، جلوگیری کند. نتایج نشان داد فورفوریل‌اسیون ماهیت آب‌گریزی به فراورده حاصل می‌دهد و از سویی دیگر می‌تواند زبری سطح را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار دهد. لذا می‌توان نتیجه گرفت در صورت استفاده از برخی از پوشش‌های غیرآبی که نیاز به نفوذ و تر شوندگی بالایی ندارند، فورفوریل‌اسیون به دلیل بالا بردن زبری سطح می‌تواند مفید واقع شده و نتیجه حاصل از تقویت ثبات ابعادی را تقویت نماید.

چوب، عوامل دیگری مانند به وجود آمدن معایبی نظیر ترک‌های ریز در دیواره سلولی و به‌خصوص لایه بین سلولی در اثر فرایند پلیمریزاسیون و حرارت دهی نیز می‌توانند در این افزایش زبری، نقش داشته باشند [۲۶، ۲۵].

### نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر تأثیر فورفوریل‌اسیون بر خواص فیزیکی چوب پلیمرهای راش و نراد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت فراورده‌های حاصل بهبود چشمگیر ثبات ابعادی گونه‌ی چوبی بومی ایران را در مقایسه با چوب نراد نشان داد.

### منابع

- [1] Baysal, E., Ozaki, S.K. and Yalinkilik, M.K., 2004. Dimensional stabilization of wood treated with furfuryl alcohol catalysed by borates. *Wood Science and Technology*, 38:405-415.
- [2] Omidvar, A., 2009. *Wood Polymer Composite*. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources Press, Gorgan, Iran, 127. (In Persian).
- [3] Revzvani, R., 2010. The effect of furfurylation on physical & mechanical properties of Poplar wood, in *Forestry and wood Technology*, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan. (In Persian).
- [4] Goldstein, I.S., 1955. The impregnation of wood to impart resistance to alkali and acid. *Forest Product Journal*, 5(4):265-267.
- [5] Goldstein, I.S. and Dreher W.A., 1960. Stable furfuryl alcohol impregnation solutions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(1):57-58.
- [6] Lande, S., Westin, M. and Schneider, M., 2004. Properties of furfurylated wood. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(Suppl 5):22-30.
- [7] Schneider, M.H., 1995. New cell wall and cell lumen wood polymer composites. *Wood Science and Technology*, 29:121-127.
- [8] Esteves, B., Nunes, L. and Pereira, H., 2011. Properties of furfurylated wood (*Pinus pinaster*). *European Journal of Wood and Wood Products*, 69:521-525.
- [9] Epmeier, H., Johansson, M., Klinger, 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: *Proceedings of 35th Annual Meeting of the International Research Group on Wood Protection*. Ljubljana, Slovenia. IRG/WP, p 30304-30346.
- [11] Lande, S., Riel, S., Hoibo, O.A. and Schneider, M.H., 2010. 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 Mirshokraie, S.A., 2013. Mechanical properties of Beech -Furfuryl alcohol wood polymer. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 4(2):143-

155. (In Persian).
- [13] Taghizade Moftikolayi, F., Masteri Farahani, M.R. and Khazayian, A., 2010. Surface Roughness of Linear Chain Carboxylic Acid Anhydride Modified Wood. *Iranian Journal of Wood & Forest Science*, 17(2):143-155. (In Persian).
- [14] Ayrimis, N., 2005. Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish rirred gum (*Eucalyptus Camaldulensis*) wood. *Science links Japan*, 4:405- 409.
- [15] 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.
- [16] Hadi Gholamiyan, H., Tarmian, A., Doost Hosseini, K. and Azadfallah, M., 2011. The effect of clear paints, nanozycofil and nanozycosil on water absorption and contact angle of poplar wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 2(1):17-25. (In Persian).
- [17] ISO standard, Wood- Determination of moisture content for physical and mechanical tests, 3130, Editor 1975, ISO standard, Switzerland.
- [18] Tallaipour, S., 2006. Study of moisture content effect on styrene distribution in Poplar wood polymer composites, In *Forestry and wood Technology.*, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, p. 102. (In Persian).
- [19] Panshin, A.J. and Zeeuw, C.D., 1970. *Textbook of Wood Technology: Structure, identification, uses, and properties of the commercial woods of the United States and Canada*, McGraw-Hill, the University of Michigan.
- [20] Stamm, A.J., 1964. *wood and cellulose science.*, Ronald Press. New York.
- [21] Jonoobi, M., Harun, J., Mathew, A.P., Hussein, M.B. and Oksman K., 2010. Preparation of cellulose nanofibers with hydrophobic surface characteristics. *Cellulose*, 17:299-307.
- [22] Ifuku, S., Nogi, M., Abe, K., Handa, K., Nakatsubo, F. and Yano, H., 2007. Surface modification of bacterial cellulose nanofibers for property enhancement of optically transparent composites: Dependence on acetyl-group DS. *Biomacromolecules*, 8:1973-1978.
- [23] Togay, A., Kilic, Y. and Colakoglu, G., 2009. Effect of impregnation with Timbercare Aque to surface roughness of some varnishes. *Journal of Applied Science*, 9(9):1719-1725.
- [24] 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 Product*, 70(6):865-869.
- [25] Abdolzadeh, H., Layeghi, M., Ebrahimi, Gh. 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. (In Persian).
- [26] Hill, C., 2006. *Wood modification: chemical, thermal and other processes*. John Wiley and Sons Press.

## Effect furfurylation on physical properties and surface quality of two woody species (beech and silver fir)

### Abstract

The objective of this study was to investigate the effect of furfurylation on water absorption, thickness swelling, contact angle, and surface roughness of wood in two species i.e. beech (*Fagus orientalis*) and silver fir (*Abies alba*). In this regard, two different values of furfurylation of beech and silver fir wood specimens were carried out in the form of low level and high level and compared with control specimens. The furfurylation and polymerization of furfuryl alcohol monomers were carried out, respectively, using impregnation under pressure and heat catalyst. For evaluating the water absorption and thickness swelling, specimens were subjected to long-term water immersion, and their dimensional changes were determined at different times. The surface roughness and contact angle testes were also carried out. The results indicated that the water absorption and thickness swelling were reduced. The results also indicated that the drop contact angles were decreased and surface roughness were increased by increasing of furfurylation level.

**Keywords:** furfurylation, contact angle, surface roughness, water absorption, thickness swelling.

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

<sup>1</sup> Assistant Professor, Wood science & Technology Department, Civil Engineering Faculty, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> M.Sc. Student, Wood science & Technology Department, Civil Engineering Faculty, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Ph.D., Wood science & Technology Department, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:  
[h\\_abdolzadeh@ut.ac.ir](mailto:h_abdolzadeh@ut.ac.ir)

Received: 2015/11/04  
Accepted: 2016/02/10