

## بررسی تأثیر تیمار حرارتی و نانو ذرات بر ترشوندگی و مقاومت چسبندگی شفاف پوشه لاک الکل

محمد غفرانی<sup>۱</sup>، صمد حسین پور<sup>۲\*</sup> و علیرضا عشوری<sup>۳</sup>

۱- استاد، گروه علوم و تکنولوژی صنایع چوب، دانشکده مواد و فناوری‌های نوین، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران  
 ۲- \* کارشناس ارشد، گروه علوم و تکنولوژی صنایع چوب، مواد و فناوری‌های نوین، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران،

پست الکترونیک: s.hosseinpour73@yahoo.com

۳- استاد، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: آذر ۱۴۰۰

### چکیده

در این پژوهش تأثیر نانو ذرات سیلیس و تیمار حرارتی گونه‌های چوبی راش، گردو و نوئل بر بهبود مقاومت چسبندگی، زاویه تماس قطره و شفاف پوشه لاک الکل مطالعه شد. برای همین منظور نمونه‌هایی با رطوبت ۸ درصد و ابعاد  $20 \times 100 \times 200$  میلی‌متر (عرضی  $\times$  مماسی  $\times$  شعاعی) از گونه‌های ذکر شده تهیه شد. نمونه‌های چوبی در دماهای متفاوت ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سلسیوس در داخل آون به مدت ۳ ساعت تحت تیمار حرارتی قرار گرفتند. بعد از انجام تیمار، عملیات پرداخت سطح نمونه‌های چوبی به ترتیب با درجه سنباده‌های ۱۲۰ و ۱۸۰ انجام شد. برای پوشش‌دهی نمونه‌ها از شفاف پوشه لاک الکل حاوی ۰، ۵/۵، ۱ و ۱/۵ درصد نانو ذرات سیلیس استفاده شد. نتایج نشان داد که تیمار حرارتی موجب افزایش زاویه تماس قطره و مقاومت چسبندگی پوشش شده و با افزایش دمای تیمار زاویه تماس قطره و مقاومت چسبندگی نیز افزایش می‌یابد. همچنین با افزودن نانو ذرات به پوشش زاویه تماس، مقاومت چسبندگی افزایش یافت و بیشترین زاویه تماس قطره در نمونه‌های تیمار حرارتی شده در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس با پوشش حاوی ۱ درصد نانو و کمترین زاویه تماس قطره نیز در نمونه‌های شاهد مشاهده شد. نمونه‌های چوبی گونه گردو تیمار شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و حاوی ۱ درصد نانو پوشش بیشترین مقاومت چسبندگی را داشتند.

واژه‌های کلیدی: تیمار حرارتی، نانو ذرات سیلیس، لاک الکل، راش، گردو، نوئل.

### مقدمه

زمانی که با کار هنری همراه باشد دارای ارزش افزوده بسیار زیادی است. برای محافظت از این قبیل محصولات باید از پوشش‌های مناسبی استفاده کرد. حفاظت و پایداری یک محصول چوبی متأثر از انتخاب پوشش مناسب برای محافظت و ارائه جلوه و زیبایی آن است. پوشش و روش اعمال آن، آماده‌سازی زیرآیند، اعمال آستری مناسب و سایر اقدامات لازم سهم زیادی را در زیبایی و دوام مصنوعات چوبی دارد. مقاومت پوشش و چسبندگی آن بر روی سطوح چوب ارتباط

چوب یکی از منابع بسیار مهم طبیعی بوده و حفاظت از آن برای افزایش طول عمر محصولات ساخته شده موضوعی اجتناب‌ناپذیر است. چوب ماده‌ای ناهمگن، هرسونایکسان و نهم‌پذیر بوده و در اثر جذب رطوبت دچار واکنش‌دهی شده و به محیطی مناسب برای حمله عوامل مخرب بیولوژیکی تبدیل می‌شود (Sjostrom, 1993). چوب یکی از فراورده‌های پرکاربرد بوده و محصولات آن ارزش افزوده بالایی دارد و

Kaygin و Akgun (۲۰۱۲) خصوصیات پوشش پایه آب UV را با نانو کریستال‌های سلولزی مورد بررسی قرار دادند. آنان بیان کردند که این نانو ذرات توان بهبود قابل توجه مقاومت به سایش و خراش پوشش را دارند ولی تأثیر معنی‌داری روی مقاومت چسبندگی پوشش و همچنین تغییر کیفیت ظاهری پوشش نداشته‌اند. به‌طورکلی نانو ذرات متفاوتی مورد توجه محققان در پوشش‌ها بوده و تحقیقاتی روی آنها انجام شده است که در میان آنها نانو ذرات اکسید روی (ZnO) یکی از مهمترین نانو ذرات بوده که مطالعات فراوانی روی تأثیر آن بر خواص پوشش‌ها انجام شده است (Clausen *et al.*, 2010). در بررسی تأثیر نانو ذرات آلومینا و سیلیکا روی خواص پوشش پلی‌اورتان UV پایه آب نشان دادند که افزودن نانو ذرات سیلیکا باعث افزایش قابل توجه چسبندگی پوشش به زیرآیند خود می‌شود اما نانو آلومینا تأثیر معنی‌داری روی بهبود این خاصیت ندارد. Sow و همکاران (۲۰۱۱) همچنین بیان کردند که تفاوت بین نانو ذرات سیلیکا و آلومینا ارتباط مستقیمی با نحوه پراکنش این نانو ذرات دارد. در همین راستا و به‌طوری‌که از مطالعات انجام شده در مورد شفاف‌پوشه‌ها در پوشش‌ها نیز مشخص است، تاکنون مطالعه‌ای بر روی مقاومت چسبندگی پوشش شفاف‌پوشه لاک‌الکل به سطح چوب انجام نشده است؛ همچنین به دلیل اینکه این شفاف‌پوشه در صنایع دستی چوبی از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین جهت و به دلیل اهمیت بررسی عوامل موثر بر بهبود مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب، این مطالعه به بررسی تأثیر تیمار حرارتی و افزودن نانو ذرات سیلیس بر مقاومت چسبندگی و ترشوندگی پوشش می‌پردازد.

## مواد و روش‌ها

### مواد

گونه‌های چوبی مورد استفاده در این مطالعه سه گونه گردو (*Juglans regia*)، راش (*Fagus orientalis*) و نوئل (*Picea abies*) بودند که از بازار چوب‌فروشان به‌صورت الوار تهیه و به کارگاه صنایع چوب منتقل شدند؛ جرم

مستقیم با مقاومت نهایی محصول دارد. از این رو دانش و تجربه استفاده از یک پوشش، حلال مناسب و روش‌های مناسب اعمال پوشش روی محصول چوبی باعث افزایش دوام و محافظت بیشتر محصول نهایی می‌شود (Manavi *et al.*, 2012). استفاده از پوشش‌های شفاف (شفاف‌پوشه‌ها) در سطح چوب، یکی از روش‌های افزایش کیفیت و زیبایی چوب و محصولات چوبی است. البته استفاده از شفاف‌پوشه‌ها در سطح چوب علاوه بر افزایش زیبایی آن، یک لایه محافظ نیز بر روی سطح چوب تشکیل می‌دهد. کیفیت پوشش‌های اعمال شده روی سطوح چوب و همچنین چسبندگی مناسب آن به سطح چوب به‌طور مستقیم تحت تأثیر آماده‌سازی سطح چوب و عملیاتی که قبل از اعمال پوشش نهایی روی سطح آن اعمال می‌شود، قرار می‌گیرند (ghofrani & Khojasteh, 2014). پژوهش‌های زیادی انجام شده تا با روش‌های اصلاحی مختلف، ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و کاربردی چوب به‌ویژه برای فراورده‌های چوب مورد استفاده در خارج از ساختمان بهبود یابد. یکی از این روش‌های پایه، اصلاح گرمایی است. Weiland و Guyonnet (۲۰۰۳) که به دلیل اصلاح برخی از خصوصیات چوب مانند بهبود ثبات ابعاد، دوام طبیعی و پایداری در مقابل عوام زیستی کاربردی شده‌اند (Hakkou *et al.*, 2005). مطالعات انجام شده در زمینه استفاده از تیمار گرمایی نشان داده‌اند که با انجام تیمار گرمایی، سرعت پخش شدن و تحلیل رفتن قطره آب کاهش می‌یابد. این موضوع سبب کاهش میزان جذب آب و ترشوندگی چوب‌های تیمار شده و افزایش ویژگی آبگریزی آنها می‌شود (Mirzaei *et al.*, 2012). بر اساس مطالعات انجام شده استفاده از نانو ذرات مناسب می‌تواند در بهبود خواص چوب نقش بسزایی داشته باشد. البته با استفاده از نانو ذرات می‌توان خواص حفاظتی و چسبندگی پوشش‌ها را بهبود بخشید. نانو ذرات در صورتی که به‌صورت یکنواخت در محل پوشش پراکنده شوند و یک پراکنش پایدار تشکیل دهند، این قابلیت را دارند که ویژگی‌هایی مانند چسبندگی، پایداری در مقابل رطوبت، سایش و حرارت و همین‌طور مقاومت در برابر عوامل جوی را در پوشش‌ها به نحو چشمگیری بهبود دهند.

تولید می‌شود به لاک هندی نیز معروف است. از این شفاف‌پوشه برای پوشش سطوح مصنوعات چوبی استفاده می‌شود و به دلیل سازگاری بیشتر با محیط‌زیست حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به شکل ۱ برای تهیه لاک‌الکل از لاک (جامد) و الکل صنعتی به‌عنوان حلال استفاده شد. برای این کار از الکل اتیلیک صنعتی ۹۰ درصد ساخت شرکت کیمیا الکل زنجان استفاده شد.

مخصوص گونه‌های چوبی در رطوبت نسبی ۱۲ درصد (به ترتیب ۰/۶۶، ۰/۶۱ و ۰/۳۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود. دلیل انتخاب این سه گونه گستردگی موارد استفاده این چوب‌ها در صنعت چوب کشور به‌ویژه در زمینه مبلمان و همچنین ساختار متفاوت آناتومیکی مختلف این گونه‌ها نسبت بهم بود.

شفاف‌پوشه مورد استفاده در این پژوهش (جدول ۱) لاک‌الکل (لاک + الکل) بود. با توجه به اینکه در کشور هند



شکل ۱- لاک (جامد)

**Figur1. Lacquer (solid)**

جدول ۱- مشخصات پوشش مورد استفاده

**Table 1. Specifications of the coating used**

ویسکوزیته (cp)	حلال	درصد جامد (%)	دانسیته (g/cm <sup>3</sup> )	پوشش
Viscosity (cp)	solvent	Solid percentage (%)	Density (g / cm <sup>3</sup> )	coating
125	الکل صنعتی industrial alcohol	25	0/89	لاک الکل lacquer

جدول ۲- مشخصات نانو ذرات سیلیس مورد استفاده

**Table 2. Specifications of silica nanoparticles used**

اندازه نانو ذرات	سطح ویژه (m <sup>2</sup> /g)	رنگ	درصد خلوص (%)	نانو ذره
Nanoparticle size	Specialarea(m <sup>2</sup> /g)	color	Purity(%)	Nanoparticles
15-20	210	سفید White	99/5	نانوسیلیس Nanosilica

## روش‌ها

برای تهیه نمونه‌های چوبی، ابتدا الوارهای تهیه شده از سه گونه گردو، راش و نوئل برای رسیدن به حد مطلوب رطوبتی، در کوره چوب خشک‌کنی و با رعایت اصول چوب خشک‌کنی تا رطوبت ۸ درصد خشک شدند. الوارها پس از خشک شدن به نمونه‌هایی به ابعاد  $20 \times 10 \times 20$  میلی‌متر (عرضی  $\times$  مماسی  $\times$  شعاعی) از قسمت برون‌چوب با سطوح مماسی تبدیل گردیدند. با توجه به اهمیت استفاده از نمونه‌های سالم در آزمایش‌ها، نمونه‌های مورد آزمایش از بین نمونه‌های دارای شرایط رشد عادی و عاری از هر گونه ترک، شکاف، چوب‌های واکنشی، کج تار، پوسیدگی و بیماری‌های قارچی انتخاب شدند.

### تیمار حرارتی

برای افزایش مقاومت چسبندگی و نیز زاویه تماس قطره از تیمار حرارتی استفاده شد. به همین منظور برای تیمار حرارتی نمونه‌ها در شرایط خشک، نمونه‌های تهیه شده با ابعاد  $20 \times 10 \times 20$  میلی‌متر به دو دسته تقسیم شدند؛ سپس برای انجام تیمار حرارتی نمونه‌ها در دو دسته جداگانه در دمای  $160$  و  $180$  درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار گرفتند و مدت تیمار برای همه نمونه‌ها یکسان بوده و ۳ ساعت در نظر گرفته شد.

### آماده‌سازی نمونه‌ها

قبل از عملیات پوشش‌دهی سطح تمامی نمونه‌ها توسط دستگاه سنباده لرزان دستی\_ برقی کارگاهی با وزن  $2500$  گرم و تعداد نوسان  $20000$  دور بر دقیقه به‌طور یکنواخت پرداخت شد (شکل ۳-۴). پرداخت نمونه‌ها به این صورت بود که ابتدا سطح نمونه‌ها به وسیله سنباده زبر درجه  $120$  پرداخت شد تا گام‌های ناشی از دستگاه گندگی از بین برود. سپس از سنباده نرم درجه  $180$  برای پرداخت نهایی نمونه‌ها استفاده شد تا سطح نمونه کاملاً صاف و برای پوشش نهایی آماده شود. مدت سنباده‌زنی نمونه‌ها به دلیل تفاوت‌هایی که در گونه‌های مورد استفاده مانند نرمی الیاف و دانسیته بود متفاوت در نظر گرفته شد، همچنین پرداخت نمونه‌ها در

راستای جهت الیاف چوب انجام شد.

### نحوه آماده کردن نانو پوشش

برای ساخت پوشش لاک‌الکل، ابتدا لاک (جامد) را با نسبت ۱ به ۳ (لاک به الکل) در داخل الکل ریخته شد تا ورقه‌های لاک در داخل الکل حل شود، البته ناگفته نماند که مدت زمان حل شدن لاک چند ساعت بیشتر طول نمی‌کشد ولی برای کارایی بهتر می‌توان یک یا دو هفته آن را در داخل الکل حل کرد. برای اینکه لاک بهتر و با سرعت بیشتری حل شود، باید بطری محلول را هر چند ساعت یکبار (۲ ساعت) تکان داد تا محلول هم زده شود و یا از حرارت غیرمستقیم نیز می‌توان برای حل شدن سریع لاک استفاده کرد. در این تحقیق بعد از ریختن لاک در داخل الکل به مدت ۱۲ روز کارهای ذکر شده انجام تا پوشش در بهترین حالت ممکن آماده شد. بعد از آماده‌سازی پوشش لاک‌الکل، برای ساخت نانو پوشش از نانو سیلیس استفاده شد، به طوری که نانو سیلیس با نسبت درصدهای مختلف ۰،  $0/5$ ، ۱ و  $1/5$  درصد در این پوشش استفاده شد. نسبت درصد نانو سیلیس برحسب ماده خشک پوشش به محلول اضافه شد و به مدت نیم ساعت به وسیله همزن مکانیکی با سرعت  $500$  دور در دقیقه برای پخش نانو ذرات به صورت یکنواخت در داخل محلول هم زده شد و برای پخش بهتر و تثبیت نانو ذرات در داخل پوشش از دستگاه اولتراسونیک استفاده گردید. پوشش حاوی نانو ذرات در داخل دستگاه اولتراسونیک به مدت  $30$  دقیقه با سیکل (Cycle 0/6) و قدرت (Amplitude 70) درصد قرار داده شد.

### پوشش‌دهی سطح

پوشش‌دهی نمونه‌های چوبی با دست و به وسیله پنبه انجام شد. برای این کار، ابتدا سطوح نمونه‌های چوبی یکدست با لاک‌الکل پوشش داده شدند (پر کردن منافذ)، سپس بعد از گذشت زمان ۱ ساعت به وسیله سنباده درجه  $220$  سنباده‌کاری شدند تا ناهمواری به وجود آمده از پوشش به دلیل ساختار متفاوت بافت چوبی از بین برود. البته،

قطره‌گذاری آب دیونیزه استفاده شد. برای این منظور، ترشوندگی سطح نمونه‌ها بعد از عمل پوشش‌دهی با روش اندازه‌گیری زاویه تماس دینامیک به مدت ۲۰ ثانیه و با حجم قطره ۴ میلی‌لیتر و تکرار ۳ بار محاسبه شد. دستگاه مورد استفاده برای اندازه‌گیری زاویه تماس در این پژوهش، دستگاه زاویه تماس مدل PG-X ساخت کشور سوئیس بود.

### طراحی آزمایش

نتایج به دست آمده از آزمون‌های زاویه تماس قطره و مقاومت چسبندگی پوشش با نرم‌افزار آماری SPSS آنالیز شد، برای بررسی اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر، نتایج با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل آماری گردید. برای مقایسه میانگین گروه‌ها از آزمون چند دامنه دانکن استفاده شد.

### نتایج

#### چسبندگی بین الیاف

برای ارزیابی میزان پیوستگی سطحی (چسبندگی بین الیاف) گونه‌های گردو، راش و نوئل، دالی‌هایی روی سطح نمونه‌های بدون پوشش این گونه‌ها چسبانده شد و عمل کشش آنها توسط دستگاه آزمون چسبندگی کششی انجام شد. نتایج حاصل از ارزیابی چسبندگی بین الیاف گونه‌های مورد بررسی در شکل ۲ آورده شده است. نتایج به دست آمده بیانگر این بود که نمونه‌های تهیه شده از گونه گردو چسبندگی بین الیاف بیشتری را نسبت به گونه‌های راش و نوئل داشت و بیشترین مقاومت در این گونه مشاهده شد. در واقع، گونه گردو دارای پیوستگی بین الیاف بالایی بوده و ساختار مستحکم‌تری نسبت به گونه‌های دیگر داشت. همچنین در بررسی تأثیر مستقل گونه چوبی بر میزان مقاومت چسبندگی پوشش نیز مشخص شد (شکل ۳) که گونه گردو مقاومت چسبندگی بیشتری دارد و گروه‌بندی دانکن نیز مؤید این موضوع می‌باشد (شکل ۳).

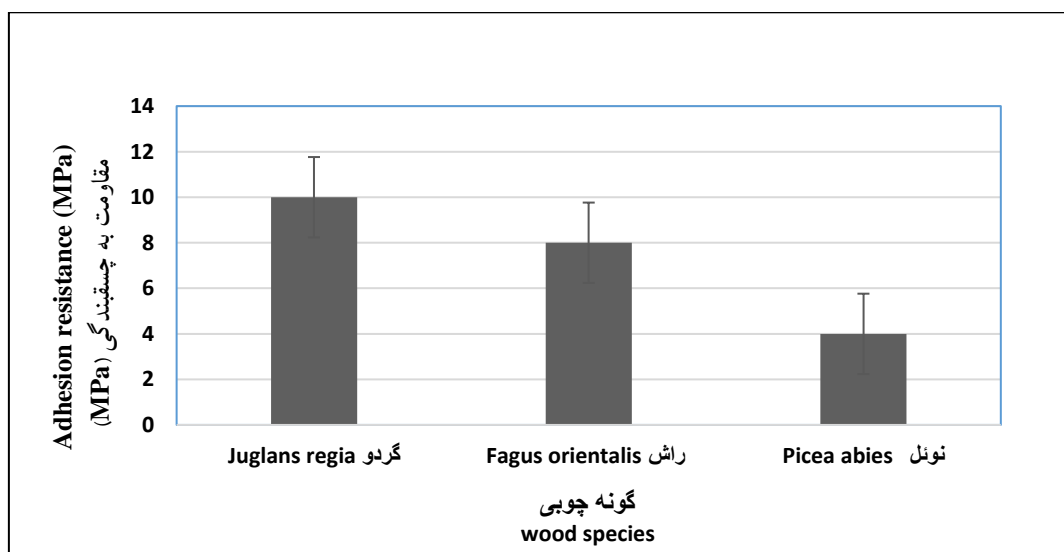
سنباده‌کاری گونه‌ها با زمان‌های متفاوت برحسب نرمی الیاف گونه مورد نظر انجام شد. با اتمام سنباده‌کاری و از بین بردن گردوغبار از سطح نمونه‌های چوبی، سطح نمونه‌ها چوبی دو مرتبه به وسیله پنبه پوشش داده شدند و برای اعمال پوشش در دست‌های بعد ۱۵-۱۰ دقیقه زمان برای خشک شدن نمونه‌ها در نظر گرفته شد.

#### اندازه‌گیری چسبندگی بین الیاف و مقاومت چسبندگی پوشش

برای اندازه‌گیری چسبندگی بین الیاف و مقاومت چسبندگی پوشش از آزمون مقاومت چسبندگی پوشش به روش کششی طبق استاندارد ASTM-4541 استفاده شد. قبل از اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی پوشش، نمونه‌های پوشش داده شده به مدت ۳ روز برای تثبیت بهتر رنگ در آزمایشگاه نگهداری شدند تا به طور کامل خشک شوند. سپس دالی‌های با قطر ۲۰ میلی‌متر به وسیله چسب اپوکسی دو جزئی ساخت کشور آلمان در شرایط دمایی ۲۰ درجه سلسیوس بر روی نمونه‌های پوشش داده شده چسبانده شد، در چسباندن دالی‌ها باید توجه داشت تا سطحی که دالی‌ها چسبانده می‌شود دارای یکنواختی مناسبی باشد و دالی‌ها به صورت کامل بر روی سطح بچسبند، در غیر این صورت عدد به دست آمده واقعی نخواهد بود. همچنین بعد چسباندن، دالی‌ها به وسیله چسب کاغذی ثابت نگه داشته شدند و برای سخت شدن چسب، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه (دمای ۲۰ درجه) قرار گرفتند و پس از خشک شدن کامل چسب، به وسیله مته گرد مخصوص دور دالی برداشته شد تا به زیر آیند برسد. سپس میزان مقاومت چسبندگی نمونه‌ها به وسیله دستگاه آزمون چسبندگی خودکار PosiTest AT ساخت کشور آمریکا با سرعت کشش ۰/۳ مگاپاسکال در ثانیه اندازه‌گیری شد.

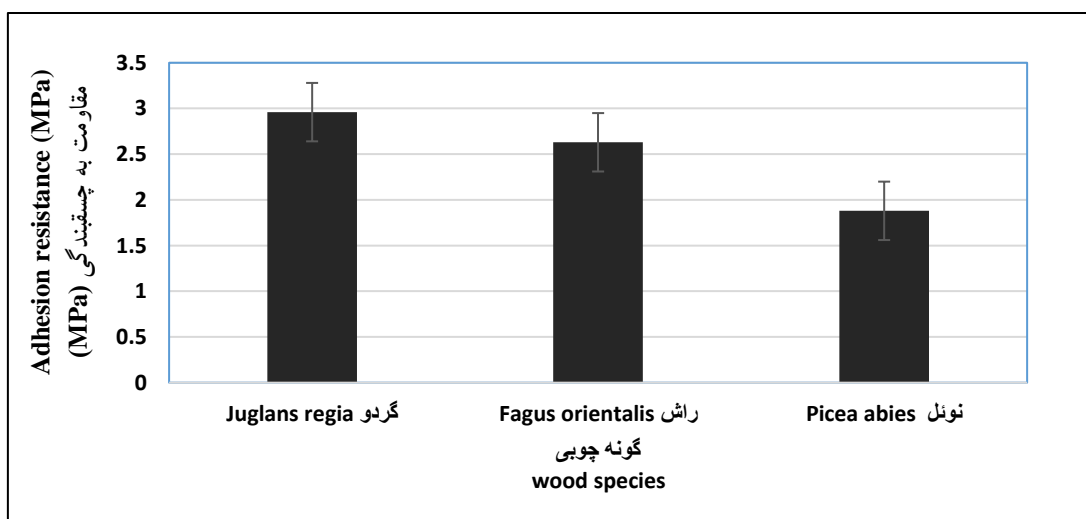
#### اندازه‌گیری ترشوندگی سطح

برای اندازه‌گیری میزان ترشوندگی سطح نمونه‌ها از روش



شکل ۲- چسبندگی بین الیاف گونه های چوبی گردو، راش و نوتل

Figure 2. Adhesion between the fibers of walnut, beech and spruce wood species



شکل ۳- تأثیر مستقل گونه های چوبی بر مقاومت چسبندگی پوشش

Figure 3. Independent effect of wood species on the adhesion resistance of the coating

### پوشش

#### مقاومت چسبندگی پوشش

نیز در دسته بندی خود، گونه گردو را با بالاترین میزان مقاومت چسبندگی نسبت به گونه های دیگر در گروه A قرار داد. همچنین کمترین میزان مقاومت چسبندگی در گونه نوتل با گروه C به دست آمد. در اثر مستقل تیمار گرمایی بر مقاومت چسبندگی، بالاترین میزان این مقاومت در نمونه های تیمار شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و کمترین میزان مقاومت چسبندگی در نمونه های شاهد به دست آمد. در گروه بندی

نتایج تأثیر مستقل عوامل متغیر بر مقاومت چسبندگی در جدول ۳ بیان شده است. همان طور که مشاهده می شود در تأثیر مستقل نوع گونه بر مقاومت چسبندگی بالاترین میزان مقاومت چسبندگی پوشش در گونه گردو بوده و کمترین میزان در گونه نوتل به دست آمده است. گروه بندی دانکن انجام شده

پوشش حاوی ۱ درصد نانو ذرات سیلیس به دست آمد. به طوری که گروه بندی دانکن انجام شده نیز مقاومت چسبندگی نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو را در گروه A قرار داده است. البته، افزودن ۰/۵ درصد نانو سیلیس به پوشش باعث افزایش مقاومت چسبندگی پوشش نسبت به نمونه های شاهد شد. از سویی افزودن ۱/۵ درصد نانو سیلیس به پوشش موجب کاهش مقاومت چسبندگی پوشش نسبت به پوشش حاوی ۱ درصد نانو شد.

دانکن انجام شده نیز بالاترین میزان مقاومت با گروه A در نمونه تیمار شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و کمترین میزان مقاومت چسبندگی کششی با گروه C در نمونه های شاهد مشاهده شد (جدول ۳). در بررسی مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب، نمونه های پوشش داده شده با نانو پوشش های حاوی مقادیر مختلف نانو ذرات و پوشش شاهد مشاهده شد که افزودن نانو ذرات سیلیس به پوشش لاک الکل باعث بهبود قابل توجه مقاومت چسبندگی پوشش می شود. به نحوی که بالاترین مقدار مقاومت چسبندگی پوشش در نانو

جدول ۳- نتایج مقایسه اثر مستقل گونه چوبی، تیمار گرمایی و نانو ذرات بر مقاومت چسبندگی پوشش

**Table 3. Results of comparing the independent effect of wood species, heat treatment and nanoparticles on the adhesion resistance of the coating**

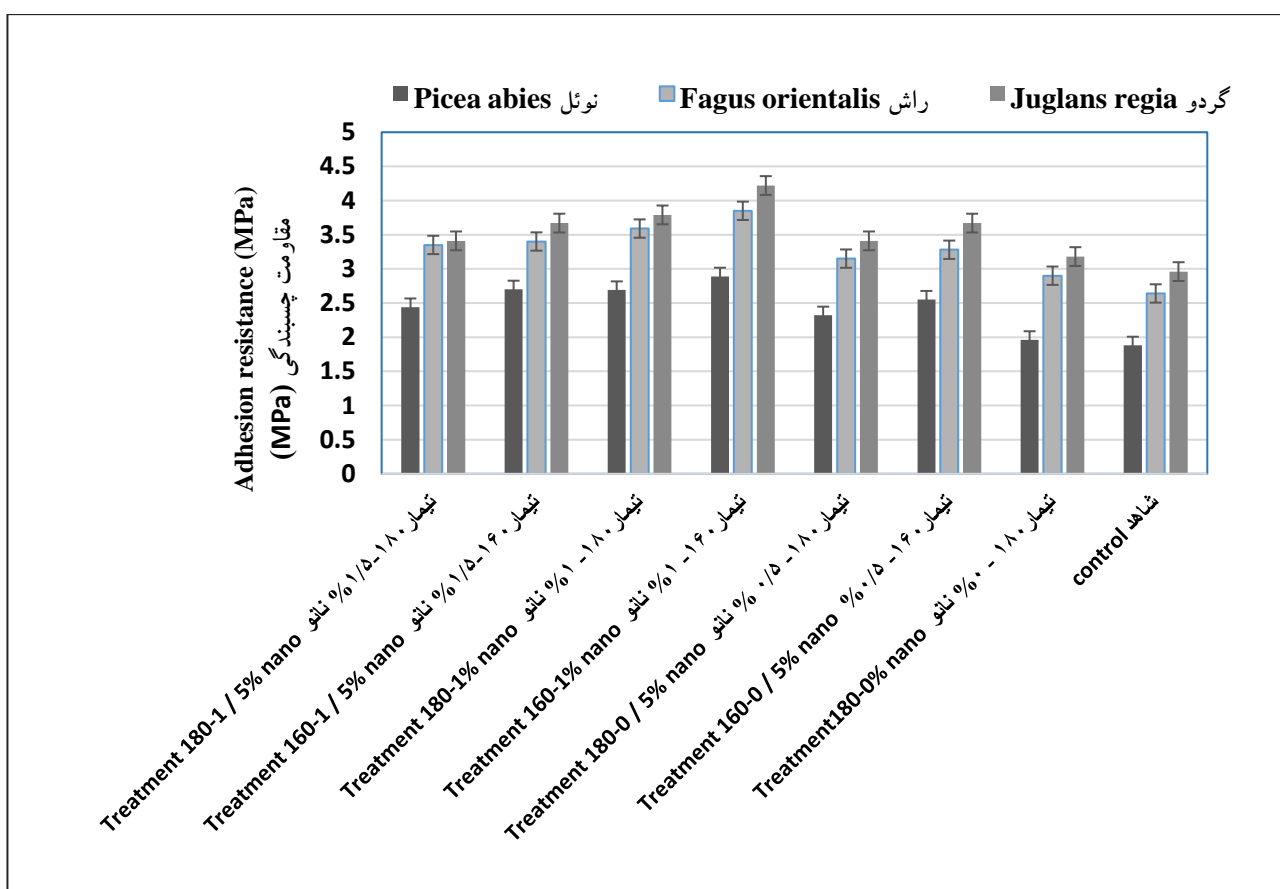
عوامل متغیر Variable factors	سطوح متغیر Variable levels	مقاومت چسبندگی (Mpa) Adhesion resistance (Mpa)	انحراف معیار Standard deviation	گروه بندی دانکن Duncan Grouping
گونه چوبی Wood species	نوئل Picea abies	2/39	0/721	C
	راش Fagus orientalis	3/25	0/847	A
	گردو Juglans regia	3/50	0/847	A
تیمار گرمایی Heat treatment	شاهد control	2/49	0/870	C
	160	3/23	0/941	A
	180	3/01	0/601	B
پوشش حاوی نانو ذرات Coating containing nanoparticles	0 %	2/76	1/001	D
	0/5 %	3/06	0/918	C
	1 %	3/50	0/755	A
	1/5 %	3/16	0/771	B

بهبود مقاومت چسبندگی کششی شد، به طوری که بالاترین میزان مقاومت چسبندگی پوشش در گونه های چوبی مورد

در بررسی تأثیر متقابل گونه چوبی، تیمار حرارتی و نانو ذرات سیلیس نشان داد که به طور کلی تیمار حرارتی موجب

شده و بدون تیمار بالاترین مقاومت چسبندگی را داشت. به‌طورکلی با افزودن نانو ذرات سیلیس به پوشش مقاومت چسبندگی افزایش یافت. به‌طوری‌که افزودن نانو ذرات به پوشش تا ۱ درصد مقاومت چسبندگی را افزایش داد و مقاومت چسبندگی پوشش حاوی ۱/۵ درصد نانو سیلیس در مقایسه با پوشش حاوی ۱ درصد نانو کاهش یافت ولی نسبت به نمونه‌های شاهد و ۰/۵ درصد نانو سیلیس بهبودیافته‌تر بود (شکل ۴).

بررسی (گونه‌های گردو، راش و نوئل)، در نمونه‌هایی که در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس تیمار حرارتی شده بودند مشاهده شد. همچنین با افزایش دمای تیمار تا ۱۸۰ درجه سلسیوس، مقاومت چسبندگی کششی پوشش نسبت نمونه‌های شاهد بهبودیافته‌تر بود ولی در هر سه گونه چوبی مقاومت چسبندگی پوشش در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس نسبت به نمونه‌های تیمار شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس کاهش داشت. در بین نمونه‌های پوشش داده شده با شفاف‌پوشه لاک‌الکل، پوشش حاوی ۱ درصد نانو ذرات سیلیس در نمونه‌های تیمار



شکل ۴- تأثیر متقابل گونه چوبی، تیمار حرارتی و نانو ذرات بر مقاومت چسبندگی کششی

Figure 4. Interaction of wood species, heat treatment and nanoparticles on tensile strength

تماس قطره بوده است. به‌طوری‌که در جدول ۴ مشخص است، در بین گونه‌های مورد بررسی بالاترین میزان زاویه تماس قطره در گونه نوئل بوده که گروه‌بندی دانکن نیز آنرا در گروه

زاویه تماس قطره نتایج به‌دست آمده از بررسی تأثیر مستقل نوع گونه چوبی بر زاویه تماس قطره بیانگر تأثیر قابل توجه این عامل بر زاویه



بوده است و گروه بندی دانکن نیز آنها را به ترتیب در گروه C و A قرار داده است. همچنین افزودن نانو ذرات سیلیس به پوشش زاویه تماس قطره را افزایش داد. به طوری که با افزودن نانو ذرات به پوشش باعث افزایش زاویه تماس قطره شد و بالاترین میزان زاویه تماس قطره در پوشش حاوی ۱ درصد نانو سیلیس به دست آمد و در پوشش حاوی ۱/۵ درصد نانو زاویه تماس قطره نسبت به پوشش ۱ درصد کاهش پیدا کرد.

A قرار داده است. از سوی دیگر کمترین میزان زاویه تماس قطره و به عبارت دیگر بالاترین میزان ترشوندگی سطح در گونه گردو به دست آمده است. در تأثیر مستقل تیمار گرمایی بر زاویه تماس، به طوری که در جدول ۴ نیز مشخص است این فرایند باعث افزایش قابل توجه زاویه تماس قطره نمونه های تیمار شده در مقایسه با نمونه شاهد شده است. به طوری که کمترین زاویه تماس قطره در نمونه شاهد بوده و بالاترین میزان در نمونه های تیمار شده در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس

جدول ۴- نتایج مقایسه اثر مستقل گونه چوبی، تیمار گرمایی و نانو ذرات بر زاویه تماس قطره

**Table 4. Results of comparing the independent effect of wood species, heat treatment and nanoparticles on the drop contact angle**

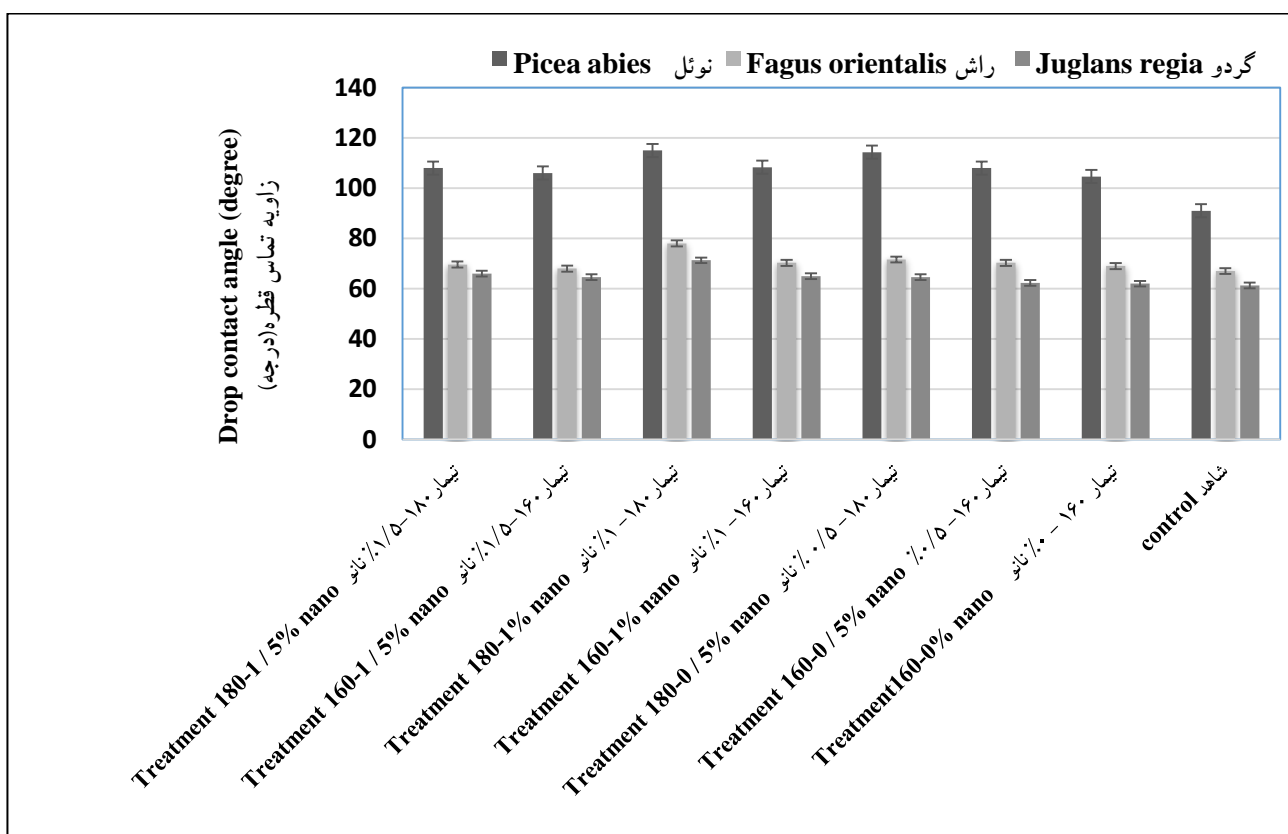
عوامل متغیر Variable factors	سطوح متغیر Variable levels	زاویه تماس قطره (درجه) Drop contact angle (degree)	نحراف معیار Standard deviation	گروه بندی دانکن Duncan Grouping
	نوئل Picea abies	106/86	8/56	A
گونه چوبی Wood species	راش Fagus orientalis	70/03	5/78	B
	گردو Juglans regia	52/52	33/3	C
	شاهد control	73/1	6/23	C
تیمار حرارتی Heat treatment	160	79/86	10/53	B
	180	83/18	13/84	A
	0%	79/23	8/01	D
پوشش حاوی نانو ذرات Coating containing nanoparticles	0/5 %	81/85	7/29	B
	1 %	84/6	5/42	A
	1/5 %	80/36	7/11	C

تماس قطره شده است. بالاترین میزان زاویه تماس قطره (کمترین میزان ترشوندگی سطح) در هر سه گونه چوبی گردو، راش و نوئل در نمونه های تیمار حرارتی شده بود و با افزایش

نتایج حاصل از بررسی زاویه تماس قطره در تأثیر متقابل گونه چوبی و تیمار حرارتی و نانو ذرات در شکل ۵ آورده شده است. به طور کلی تیمار حرارتی باعث افزایش زاویه

ذرات به پوشش باعث افزایش زاویه تماس قطره شد ولی اختلاف چشمگیری بین نانو پوشش‌ها مشاهده نشد. همچنین بالاترین میزان ترشوندگی سطح نیز در نمونه‌های شاهد حاصل از گونه گردو به دست آمد. همچنین در نمونه‌هایی که با پوشش محتوای نانو ذرات پوشش داده شده بودند بیشترین زاویه تماس قطره در پوشش حاوی ۱ درصد نانو ذرات سیلیس به دست آمد و پوشش حاوی ۱/۵ درصد نانو نسبت به پوشش حاوی ۱ درصد نانو کاهش داشت اما نسبت به نمونه‌های شاهد بهبود یافته‌تر بود.

دمای تیمار تا ۱۸۰ درجه سلسیوس بیشترین افزایش در زاویه تماس قطره به دست آمد. به عبارت دیگر، ترشوندگی سطح نمونه‌ها با تیمار حرارتی کاهش قابل توجهی نسبت به نمونه‌های شاهد داشت. البته میزان افزایش زاویه تماس قطره در نمونه‌های چوبی تیمار شده در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس نسبت به نمونه‌های تیمار شده در ۱۶۰ درجه سلسیوس بسیار چشمگیر نبود. در حالت کلی نیز بیشترین کاهش در ترشوندگی گونه نوئل بود، به طوری که کمترین میزان ترشوندگی در نمونه‌های تهیه شده از گونه نوئل که با دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس تیمار شده بودند، دیده شد. افزودن نانو



شکل ۵- تأثیر متقابل گونه چوبی، تیمار حرارتی و نانو ذرات بر زاویه تماس قطره

Figure 5. Interaction of wood species, heat treatment and nanoparticles on the contact angle of the droplet

گونه‌های چوبی راش، گردو و نوئل می‌توان بیان کرد که در بین این گونه‌ها، بیشترین میزان ترشوندگی سطح در گونه گردو بوده و کمترین میزان ترشوندگی سطح در گونه نوئل بود،

#### بحث

زاویه تماس قطره

با توجه به نتایج حاصل از بررسی زاویه تماس قطره در

همچنین گونه گردو با کمترین میزان زاویه تماس قطره بیشترین ترشوندگی را داشت که می‌توان به دانسیته بالای این گونه نسبت داد. از دلایل پایین بودن ترشوندگی سطحی در گونه نوئل، می‌توان به مواد استخراجی به‌ویژه مواد رزینی این گونه اشاره کرد که باعث کاهش قابل توجه ترشوندگی سطح چوب شده است (latibari, 2007). چوب یک ماده قطبی بوده و قطبیت آن به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل است (Hatefnia et al., 2012). تیمار گرمایی با کاهش تعداد گروه‌های هیدروکسیل باعث کاهش میزان پیوندهای هیدروژنی بین الیاف و کاهش قطبیت چوب می‌شود، بنابراین با کاهش قطبیت، خاصیت ترشوندگی چوب کاهش می‌یابد، به‌طورکلی نمونه‌های تیمار حرارتی شده قطبیت کمتری نسبت به نمونه‌های بدون تیمار دارند که نتیجه آن کاهش ترشوندگی است (Candan et al., 2012). از دلایل دیگر کاهش ترشوندگی، می‌توان به صورت‌بندی زیست‌بسپارهای چوب اشاره کرد، به‌طوری‌که طی مطالعه‌ای در آنالیز شیمیایی چوب‌های تیمار گرمایی شده، بیان کردند که تیمار گرمایی چوب باعث تأثیر بر صورت‌بندی زیست‌بسپارهای چوب به‌ویژه پلاستیکی شدن لیگنین می‌شود که نتیجه آن کاهش ترشوندگی است (Hakkou et al., 2005). همچنین تیمار گرمایی باعث تخریب محل‌های جذب رطوبت (گروه‌های OH) در ترکیبات چوب مانند همی سلولز و کاهش بخش‌های آمورف سلولز و افزایش کریستالیت سلولز چوب در این فرایند می‌شود (Nazerian et al., 2011) که در نتیجه آن خاصیت ترشوندگی سطح کاهش می‌یابد (Petrisans et al., 2003). بررسی زاویه تماس قطره با پوشش نشان داد که بالاترین مقادیر زاویه تماس قطره در نمونه‌های پوشش داده شده با نانو ذرات به‌دست آمد و کمترین میزان نیز در پوشش شاهد بود و با کاهش زبری سطح، زاویه تماس قطره افزایش می‌یابد که در این مطالعه پوشش حاوی ۱ درصد نانو بیشترین زاویه تماس قطره و به‌عبارتی کمترین میزان ترشوندگی را داشت.

مقاومت چسبندگی در مورد تأثیر نوع گونه، از دلایل بالا بودن مقاومت

چسبندگی پوشش در گونه گردو را می‌توان به دانسیته و به‌ویژه ساختار سلولی این‌گونه نسبت داد. به‌طورکلی گونه‌هایی که دارای جرم مخصوص بالایی بوده و از آنجاکه چسبندگی بین الیاف (پیوستگی) مقاومت بالاتری دارند، در طی فرایند اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی، مقاومت بیشتری در مقابل نیروی وارده تحمل کرده و شکست در آنها ایجاد نمی‌شود؛ اما گونه‌های با چسبندگی بین الیاف و بافت ضعیف تحمل نیروی کمتری را در مقابل نیروی کششی وارده طی آزمون چسبندگی داشته و به‌راحتی شکست در آنها ایجاد می‌شود. همچنین، در بسیاری از موارد، قسمت‌هایی از چوب همراه با پوشش از سطح چوب جدا می‌شود (Khojasteh Khosro, 2014). نتایج حاصل از این مطالعه نیز نشان داد که چسبندگی بین الیاف بالا و ساختار مستحکم‌تر گونه گردو نسبت به گونه‌های راش و نوئل بود که یکی از دلایل بالا بودن مقاومت چسبندگی پوشش در این گونه است. از سوی دیگر، به‌طوری‌که از نتایج به‌دست آمده از بررسی زاویه تماس قطره روی نمونه‌های بدون پوشش مشخص بود، در بین گونه‌های مورد بررسی، گردو کمترین میزان زاویه تماس قطره را داشت که نشان‌دهنده ترشوندگی بهتر سطح این گونه به‌وسیله پوشش بود که در پی آن نفوذ مناسب‌تر پوشش در این گونه انجام شده و چسبندگی بهتری به‌دست آمد. علت پایین بودن مقاومت چسبندگی پوشش در گونه نوئل نیز به دلیل چسبندگی ضعیف مولکول‌های پوشش با مواد چوبی، همچنین نفوذپذیری کم پوشش است که این موضوع را می‌توان به نوع مواد استخراجی سوزنی‌برگان و نیز نفوذپذیری کم آنان نسبت داد (Manavi et al., 2012). در بررسی تأثیر تیمار گرمایی بر مقاومت چسبندگی پوشش، مشخص شد که تیمار گرمایی چوب در محیط خشک باعث افزایش معنی‌دار مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب می‌شود. با توجه به نتایج بررسی تقی‌یاری و همکاران از بهبود چسبندگی پوشش نمونه‌ها در اثر تیمار گرمایی خشک، می‌توان گفت که در نتیجه تیمار گرمایی بخش گسترده‌ای از مواد پوششی اعمال شده در چوب نفوذ می‌کند و سبب بالا رفتن میزان چسبندگی پوشش به سطح می‌شود و دلیل آن کاهش رطوبت و مسدود شدن

پوشش هنگام آزمون مقاومت چسبندگی پوشش) طی فرایند اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی پوشش در بالاترین میزان مقاومت چسبندگی مشاهده می‌شود؛ به عبارت دیگر، در نمونه‌هایی که در شرایط یکسان علاوه بر چسبندگی نیز رخ دهد، مقاومت چسبندگی بالاتری وجود دارد (Cristea *et al.*, 2011). در این مطالعه نیز بررسی میزان سطح جدا شده چوب همراه با پوشش در نمونه‌های پوشیده شده با پوشش شاهد و نانو پوشش‌ها نشان داد که بیشترین درصد سطح شکست به دست آمده در نانو پوشش‌ها بوده است. در بین نانو پوشش‌ها، بالاترین مقدار سطح شکست در نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو مشاهده شد که بیشترین میزان مقاومت چسبندگی نیز در این پوشش به دست آمد.

#### نتیجه‌گیری

در این مطالعه تأثیر تیمار حرارتی و نانو ذرات سیلیس بر زاویه تماس قطره و مقاومت چسبندگی شفاف پوشه لاک‌الکل ارزیابی شد. نتایج به دست آمده حکایت از تأثیر معنی‌دار تیمار حرارتی و نانو ذرات سیلیس بر خواص بررسی شده داشت. به‌طور کلی در مورد نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از نانو ذرات سیلیس و تیمار حرارتی، توان بهبود تمام خواص فیزیکی بررسی شده را دارد. همچنین با توجه به اینکه لاک‌الکل نسبت به پوشش‌های دیگر سازگاری بیشتری داشته و آسیب زیادی به محیط زیست وارد نمی‌کند با مطالعات بیشتر و دقیق‌تر و همچنین تقویت تحقیقات با استفاده از نانو ذرات می‌تواند جایگزین بهتر و کامل‌تری برای سایر شفاف‌پوشه‌ها در صنعت چوب، به‌ویژه صنایع دستی چوبی در کشور باشد.

#### منابع مورد استفاده

- Akkou, M., Petrissans, M., Zoulalin, A. and Gerardin P., 2005. Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 89: 1-5.
- Candan, Z., Buyuksarı, U., Korkut, S., Unsal, O. and

جریان آب داغ منافذ دیواره سلول بود، به‌ویژه اینکه با کشیده شدن زنجیره مولکول‌های آب در دیواره سلول و گرمای ناشی از حرارت‌دهی، پیوند هیدروژنی تشکیل شده دیواره سلول فعال و در نهایت سازوکار چسبندگی افزایش پیدا کرد (Manalo & acda, 2009). همبستگی بین چگالی و مقاومت‌های مکانیکی باعث شد تا افزایش چگالی، میزان مقاومت‌های مکانیکی را بهبود دهد. از سوی دیگر، واکنش‌های تراکمی در لیگنین نیز سبب ایجاد پیوند عرضی بین بسپارهای دیواره سلولی در چوب می‌شود، در نتیجه مقاومت‌های مکانیکی چوب را تقویت می‌کند Tjeerdsma (*et al.*, 1998). همچنین در این مطالعه، با توجه به اینکه تیمار حرارتی باعث ایجاد ترک‌های ریز بر روی سطوح چوبی شد و نیز یکی از عوامل مهمی که در مقاومت چسبندگی پوشش نقش مؤثری دارد، ترشوندگی مناسب سطح چوب و عمق نفوذ پوشش در چوب است (Cristea *et al.*, 2011). با نفوذ پوشش به این منافذ باعث افزایش مقاومت چسبندگی پوشش می‌شود. نتایج به دست آمده از تأثیر نانو ذرات سیلیس بر مقاومت چسبندگی پوشش نشان داد که افزودن این نانو ذرات باعث بهبود مقاومت چسبندگی پوشش می‌گردد. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که پیوستگی پوشش رابطه مستقیمی با چسبندگی پوشش در روش *Pull-off* دارد. بر همین اساس، در مورد بهبود مقاومت چسبندگی بالا افزودن نانو ذرات سیلیس می‌توان بیان کرد که با افزودن نانو ذرات به پوشش، پیوستگی پوشش نیز افزایش یافته که نتیجه آن باعث بهبود مقاومت چسبندگی پوشش شده است. در مورد میزان افزودن نانو ذرات سیلیس مشخص شد که با افزودن ۱ درصد نانو، بالاترین مقدار مقاومت چسبندگی پوشش به دست می‌آید و افزودن بیش از این مقدار، کاهش مقاومت چسبندگی را در پی دارد. یکی از عوامل دیگری که در بررسی مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب اهمیت فراوانی دارد، بررسی نوع جدایی پوشش از سطح زیرآیند (جدا شدن چوب به همراه پوشش و یا فقط جداشدگی در حدفاصل بین پوشش و سطح چوب) است. به‌طوری‌که در یک شرایط یکسان، بالاترین میزان سطح شکست چوب (سطح جدا شده چوب همراه با

- polyurethane clear coat in wooden furniture surfaces, degree of M.Sc, Shahid Rajae Teacher Training University, Iran.
- Manavi, G. H. Ghofrani, M. Mirshokraei, S. A., 2015. Effects of wood type, moisture content and paint type on adhesion strength of conventional clear paints used in furniture manufacture. *Iran. J. Wood Sci. Res.* 27: 743-753.
- Manavi, Gh., 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: 743-753.
- Manalo, R. D., Acda, M. 2009. NEffects of hot oil treatment on physical and mechanical properties of three species of Philippine Bamboo. *J. Trop. For. Sci.* 21: 19-24.
- Mirzaei, Gh., Mohebbi, B. and Tabarsa, T., 2012. Collapsibility and Wettability of Hydrothermally Treated Wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 3: 1-11.
- Petrisans, M., Gerardin, P. and Serraj, M., 2003. Wettability of heat-treated wood. *Holzforchung*, 57(3): 301-307.
- Sjostrom, E., 1993. *Wood Chemistry Fundamentals*.
- Tjeerdsma, B. F., Boonstra, M. A., Pizzi, P. Tekely, H. 1998. Militz, Characterization of thermal modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. *cpmas 13 cnmr characterization of thermal modified wood. Holz Roh. Werkst.* 56: 149-153.
- Weiland, J.J. Guyonnet, R., 2003. Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. *Holz Roh. Werkst.* 61: 216-221.
- Cakicier, N., 2012. Wettability and surface roughness of thermally modified plywood panels. *Industrial Crops and Products*, 36(1): 434-436.
- Clausen, C. A., Green, F. and Kartal, S. N., 2010. Weatherability and leach resistance of wood impregnated with nano-zinc oxide. *Nanoscale Res Lett.* 5(9): 1464-1467.
- Cristea, M.V., Riedl, B. and Blanchet, P., 2011. Effect of addition of nanosized UV absorbers on the physico-mechanical and thermal properties of an exterior waterborne stain for wood. *Progress in Organic Coatings*, 72(4): 755-762.
- Dahmardeh-Ghalehno, M. and Nazerian, M., 2011. Changes in the Physical and Mechanical Properties of Iranian Hornbeam Wood (*carpinus betulus*) with Heat Treatment. *Europ. J. Sci. Res.* 51(4): 490-498.
- Ghofrani, M. and Khojasteh Khosro, S., 2014. The effect of wood surface finishing quality on the adhesion strength of clear coat. *Journal of color Science technology* 7: 339-345.
- Hatefnia, H., Enayati, A., Doost Hoseini, K. and Azad Fallah, M., 2012. Effect of steam treatment on chemical changes of wood components. *Irania Journal of Wood and Paper Science Research*, 26: (4) 682-698.
- Hakkou, M.M. Petrisans, A. Zoulalin, P. Gerardin., 2015. Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. *Polym. Degrad. Stab.* 89: 1-5.
- Kaygin, B. and Akgun, E., 2008. Comparison of conventional varnishes with nanolake UV varnish with respect to hardness and adhesion durability. *Int. J. Mol. Sci.* 9: 476-485.
- Khojasteh Khosro, S., 2014. Investigation on the effect of nano Zinc Oxide on physical properties of

## Investigation of the effect of heat treatment and nanoparticles on wettability and transparent adhesion resistance of lacquer coating

M. Ghofrani<sup>1</sup>, S. Hoscainpour<sup>2\*</sup> and A. Ashori<sup>3</sup>

1-Professor, Department of Wood Industries Science and Technology, Faculty of New Materials and Technologies, Shahid Rajaei teacher training University, Tehran, Iran

2\*-Corresponding author, M.Sc., Department of Wood Industries Science and Technology, Faculty of New Materials and Technologies, Shahid Rajaei teacher training University, Tehran, Iran, Email: s.hosseinpour73@yahoo.com

3-Professor of Chemical Technologies Research Institute, Iran Scientific and Industrial Research Organization, Tehran, Iran

Received: Sep., 2021

Accepted: Dec., 2021

### Abstract

In this study, the effect of silica nanoparticles and heat treatment of beech (*Fagus orientalis*), walnut (*Juglans regia*) and spruce (*Picea abies*) woods on adhesion strength and drop contact angle of clear coating lacquer were studied. For this purpose, samples with 8% moisture and 200 × 100 × 20 mm dimension were prepared. The wood samples were heat treated in oven at different temperatures of 160 and 180 °C for 3 hours. After treatment, the surface of the specimens was finished using 120 and 180, sand papers. Transparent lacquer folders containing 0, 0.5, 1 and 1.5% silica nanoparticles were used to cover the samples. The results showed that heat treatment increased the drop contact angle and the adhesion strength of the coating and increased the temperature of the drop contact angle treatment and the adhesion strength as well. Thermal treatment at 180 °C with coating containing 1% nano and lowest drop contact angle was observed in control samples. Wood samples treated with walnut at 160 °C and containing 1% nano coating had the highest adhesion resistance. The water uptake of treated wood samples decreased compared to the untreated samples in all three species and this trend continued with the increase of nanoparticles in the coating so that the walnut control samples had the highest water uptake at 180 °C. and 1% nano coatings were the lowest water absorption in spruce.

**Keywords:** Heat treatment, silica nanoparticles, lacquer, beech, walnut, spruce.