



بررسی مقاومت چسبندگی پوشش‌های شفاف آلکیدی و نیتروسلولزی در فرآیندهای مختلف اصلاح گرمایی چوب صنوبر

آیسونا طلائی^{۱*}، محمدهادی رضوانی^۲، حسن دوست محمدی^۲

۱- استادیار، گروه علوم و تکنولوژی صنایع چوب، دانشکده مهندسی مواد و فناوری‌های نوین، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵
۲- کارشناس ارشد، گروه علوم و تکنولوژی صنایع چوب، دانشکده مهندسی مواد و فناوری‌های نوین، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۷/۸/۳۰

چکیده

در این پژوهش مقاومت چسبندگی پوشش‌های شفاف آلکیدی و نیتروسلولزی روی چوب صنوبر اصلاح شده توسط تیمارهای گرمایی در محیط‌های فراگیر مختلف پس از کهنگی تسریع شده بررسی شد. نمونه‌های چوبی با ابعاد $150 \times 100 \times 20$ میلی‌متر تهیه و سپس در محیط‌های فراگیر مختلف تیمار گرمایی (هوا، بخار آب، بخار آب و پرس، روغن بزرک)، در دو سطح دمای ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد تیمار شدند. پوشش‌دهی اولیه نمونه‌های شاهد و اصلاح شده با رنگ سیلر به عنوان پرکننده اعمال شد و در دو فرآیند جداگانه پوشش کیلر و نیم پلی‌استر پایه نیتروسلولز و آلکید تمام سطوح پوشش داده شدند. مقاومت چسبندگی پوشش قبل و بعد از کهنگی با روش Pull Off اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تیمار بخار گرمایی و گرمایی خشک چوب میزان مقاومت چسبندگی پوشش را در هر دو نوع پوشش قبل و بعد از کهنگی افزایش داده است، که بیشترین آن برای تیمار بخار گرمایی در دمای ۱۵۰ سانتی‌گراد مشاهده شد. از طرفی با افزایش دمای تیمارها، چسبندگی سطح نمونه‌ها کاهش یافتند. در مورد نوع پوشش نیز نمونه‌های پوشش داده شده با سیلر- نیم پلی‌استر مقاومت چسبندگی بالاتری داشتند. بر اساس نتایج، چسبندگی رنگ وابسته به ترکیبی از نوع پوشش، تیمارهای گرمایی و کهنگی است. واژه‌های کلیدی: تیمارهای گرمایی، کهنگی تسریع شده، مقاومت چسبندگی پوشش، صنوبر، پوشش‌های شفاف.

Investigation of Adhesion Strength of Alkyd and Nitro Cellulose Transparent Coatings in Different Heat-treated Poplar Wood

A. Talaei*, M. H. Rezvani, H. Doost Mohammadi

Department of Wood Science & Technology, Faculty of Materials Engineering and New Technologies, Shahid Rajaee Teacher Training University, P.O. Box: 16785-163, Tehran, Iran.

Received: 01-06-2017

Accepted: 17-01-2018

Available online: 21-11-2018

Abstract

The main purpose of current research was to investigate the adhesion strength of transparent coatings of thermally modified poplar wood in different mediums before and after accelerated aging. Specimens of $150 \times 100 \times 20$ mm were prepared and thermally modified in different mediums (air, steam, steam and press, linseed oil) in 150 and 180 °C. Untreated and modified specimens were coated with acid catalyzed lacquer and nitrocellulose lacquer. Adhesion strength of coatings were analyzed before and after accelerated aging. The results showed that thermal modification in hot air and hot steam, affect positively on coating adhesion strength before and after aging test. The best results observed in hot steam in 150 °C. As temperature of thermal modification elevated, adhesion strength of coatings decreased. Specimens coated with nitrocellulose lacquer had higher adhesion strength. Based on revealed results, it can be concluded that adhesion strength of thermally modified wood depends on coating type, thermal modification medium and aging process. J. Color Sci. Tech. 12(2018), 171-180©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Thermal modification, Accelerated aging, Adhesion strength, Poplar, Transparent coatings.

۱- مقدمه

چوب ماده‌ای طبیعی است، که به دلیل داشتن ویژگی‌هایی چون زیبایی و سبک بودن و در عین حال مقاومت زیاد و عایقی مناسب در برابر صوت و حرارت از دیرباز کاربردهای بسیار داشته است. اما این ماده از نظر صنعتی معایب مهمی دارد. نپذیری چوب یکی از معایبی است که منجر به تغییر ابعاد آن می‌شود. این مسئله باعث شده، استفاده از این ماده در ساخت سازه‌های خارج از ساختمان محدود باشد. علاوه بر این، نپذیری و رطوبت چوب، آن را به محیطی مناسبی برای فعالیت برخی از عوامل مخرب زیستی تبدیل می‌کند [۱، ۲]. اصلاح چوب^۱ یکی از روش‌های حل این مشکلات است. این علم با تغییر در ساختار فیزیکی و شیمیایی چوب موجب برطرف شدن برخی معایب این ماده می‌شود که از آن یک ماده مهندسی و ساختمانی مفید می‌سازد [۳].

تلاش‌های بسیاری انجام شده تا با روش‌های اصلاحی مختلف، ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و کاربردی چوب به‌ویژه برای فرآورده‌های چوب مورد استفاده در خارج از ساختمان بهبود یابد. یکی از این روش‌های پایه، اصلاح گرمایی^۲ است [۴] که به دلیل اصلاح برخی از خصوصیات چوب مانند بهبود ثبات ابعاد، دوام طبیعی و پایداری در مقابل عوامل زیستی کاربرد یافته‌اند [۵]. اعمال گرما در روش‌های اصلاح گرمایی به وسیله ناقل‌های حرارت، مانند هوای داغ، بخار آب و آب، گاز نیتروژن، روغن داغ و غیره صورت می‌گیرد [۶]. بهبود خواص فیزیکی و افزایش مقاومت در برابر عوامل مخرب از مزایای تیمار حرارتی و کاهش خواص مکانیکی از معایب آن محسوب می‌شود [۷، ۸]. تغییرات شیمیایی که در اثر تیمار گرمایی در دیواره سلول چوب روی می‌دهد، نقش کلیدی را در تغییرات خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام آن ایفا می‌کند. این تغییرات به شرایط تیمار گرمایی وابسته است (شکل ۱) [۹]. خصوصیات مکانیکی چوب تیمار شده بیشتر بستگی به نوع گونه چوب و شرایط تیماردهی دارد [۱۰]. پس از تیمار گرمایی، چوب تا حدی ترد و شکننده می‌شود و مقاومت‌های مکانیکی آن کاهش می‌یابد [۱۱، ۱۲]. بسته به متغیرهای تیمار، بیشینه دمای تیمار، شتاب گرمادهی، زمان ماندن در بیشینه دما، نوع محیط فراگیر تیمار (هوا، بخار آب، نیتروژن)، ترک‌ها می‌توانند در چوب ظاهر شوند و ساختار میکروسکوپی چوب ممکن است، تحت تأثیر قرار گیرد [۷].

سازوکار اصلاح گرمایی، تغییر شیمی پایه چوب با استفاده از دمای بالا می‌باشد. گرما در درجه‌های بالاتر سبب می‌شود که ماهیت شیمیایی مواد سازنده دیواره سلولی دچار تغییر شود و این تغییرات بیشتر در همی سلولزها و لیگنین روی می‌دهند و سلولز کمتر تحت

تأثیر قرار می‌گیرد (شکل ۱) [۱۳، ۱۴]. نتایج مطالعات گذشته نشان داده‌اند که همی سلولزها در دمای بالاتر از ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد دچار تخریب می‌شوند و لیگنین نیز در دمای ۱۷۰-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به بالا شروع به نرم و روان شدن می‌کند [۱۵]. تیمارهای گرمایی به‌ویژه تیمار گرمایی^۳، سبب کلاپس شدن (چپین خوردگی) چوب می‌گردند [۱۶]. حضور آب یا بخار آب بر شیمی اصلاح گرمایی و انتقال گرما در چوب تأثیر می‌گذارد [۱۷]. در فرآیند تیمار گرمایی خشک، چوب تا حد اصلاح گرمایی خشک می‌شود و رطوبت چوب در یک محیط باز یا بسته حذف می‌شود [۱۷]. استام^۴ دریافت که تخریب حرارتی در حضور بخار آب در مقایسه با شرایط خشک شدیدتر است و نهایتاً منجر به کاهش مقاومت‌های مکانیکی در چوب می‌شود [۱۸]. ترکیب روش‌های اصلاحی گرمایی و مکانیکی^۵ می‌تواند کاهش مقاومت‌های مکانیکی را تا حد زیادی جبران نماید [۱۹].

در تیمار روغن گرمایی^۶ چوب، با وارد شدن روغن، اکسیژن از پیرامون چوب حذف و چوب در دماهای بالا تیمار می‌شود. با حذف اکسیژن از بروز واکنش‌های اکسایشی نامناسب و خطر آتش‌سوزی احتمالی نیز کاسته می‌شود. باید گفت در تیمارهای گرمایی شرایط اعمال گرما بسیار مهم است، به طوری که حضور اکسیژن حین تیمار گرمایی باعث کاهش شدید مقاومت‌های مکانیکی می‌شود [۲۰]. باک^۷ و نمت^۸ به بررسی حرارتی چوب صنوبر در دمای ۱۶۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲، ۴ و ۶ ساعت با روغن آفتابگردان، کلزا و بزرک گیاهی پرداختند که نتایج مؤید کاهش مقاومت‌های مکانیکی با افزایش دما و زمان گرمادهی و تغییر رنگ آن است [۲۱]. بهره‌گیری از پوشش‌های شفاف 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 روی سطح چوب تشکیل می‌دهد. کیفیت پوشش اعمال‌شده روی سطح 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 [۲۲]. چسبندگی مناسب پوشش به زیرآیند خود از ویژگی‌های مهم فیزیک سطح است [۲۳]. تحقیق‌ها نشان داده است که رنگ پوششی نیم پلی‌استر ساختاری صلب، سخت و شکننده دارد و به رغم ترک‌های ریزی که در اثر کهنگی در آن رخ می‌دهد، ولی مقاومت چسبندگی پوشش را بهبود می‌بخشد، که علت

3- Hydrothermal treatment

4- Stamm

5- Combined-Hydro-Thermo-Mechanical (CHTM)

6- Oleothermal treatment

7- Bak

8- Nemeth

1- Wood modification

2- Thermal wood modification or heat treatment

۲- بخش تجربی

۱-۲- مواد

نمونه‌های آزمون برای انجام این تحقیق از گونه چوب صنوبر^۱ و میانگین جرم مخصوص ۰,۴۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. دلیل مهم انتخاب این گونه، سریع‌الرشد بودن و کاربرد بالای آن در سازه‌های چوب ساختمانی و مبلمان‌های شهری است. روغن مورد استفاده در این مطالعه برای تیمار روغن گرمایی نمونه‌های چوب، روغن بزرک بود. روغن بزرک از دانه‌های گیاه *Linum usitatissimum* استخراج می‌شود و ساختار آن به‌طور کلی شامل اسیدهای چرب اشباع پالمیتیک و استئاریک و اسیدهای چرب غیراشباع اولئیک، لینولئیک و لینولنیک می‌باشد. این روغن در تیمار گرمایی چوب و حفاظت سطح چوب در مبلمان‌ها به‌کار گرفته می‌شوند.

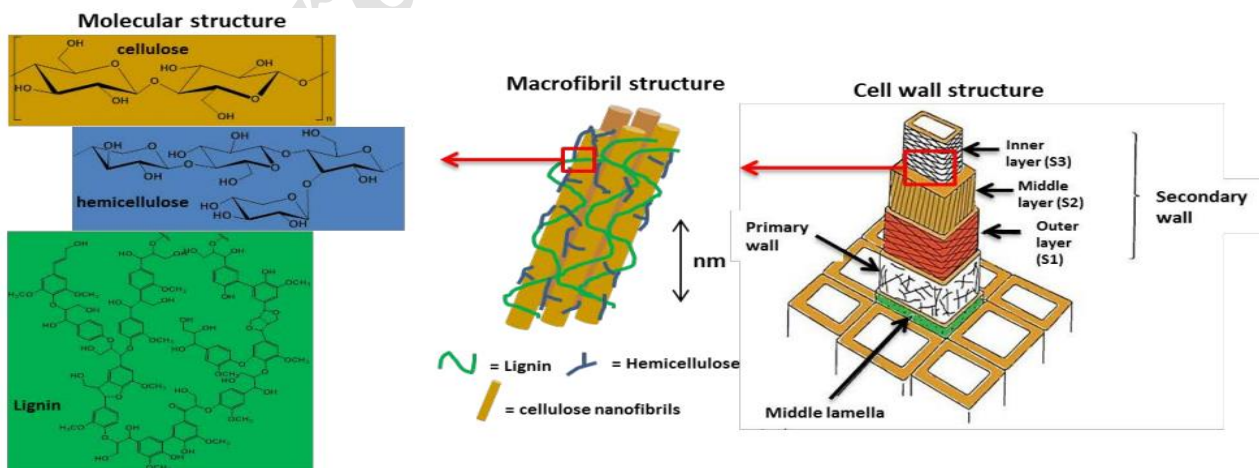
شفاف‌پوشش‌های استفاده شده در این مطالعه، کیلر بر پایه رزین نیتروسولوز و نیم پلی‌استر بر پایه آلکید بود. همچنین از ماده سیلر که نوعی ماده پرکننده بر پایه رزین نیتروسولوز است، برای آماده‌سازی سطوح قبل از اعمال شفاف‌پوشه‌های کیلر و نیم پلی‌استر استفاده شد. مشخصات پوشش‌های مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ ارائه گردیده است.

آن نفوذ سیلر به درون حفرات سلولی و منافذ دیواره‌ای و مسدود کردن آنهاست [۲۴]. با نفوذ و جذب سیلر در چوب، کیلر در سطح حالت شیشه‌ای و صلب ایجاد می‌کند و با ایجاد یک لایه، از نفوذ رطوبت جلوگیری می‌کند [۲۵]. بنابراین پوشش‌های آلکیدی، مقاومت به جذب آب و انتشار بخار آب را در چوب افزایش می‌دهند [۲۶]. در همین راستا تیمار گرمایی چوب با ایجاد تغییرات در سلولز، همی سلولز و لیگنین، در خواص فیزیکی و مکانیکی چوب تغییر ایجاد کرده که می‌تواند بر دوام و چسبندگی پوشش در سطح چوب و در نتیجه بر دوام نهایی محصول ساخته‌شده تأثیر داشته باشد [۲۷]. ویژگی‌های مکانیکی چوب‌های تیمار شده، به دلیل اعمال روش‌های گوناگون تیمار گرمایی و شرایط اعمال شده، متفاوت‌اند. از آنجا که گزارش‌ها درباره ویژگی مقاومت چسبندگی پوشش در چوب‌های تیمار گرمایی شده کمتر صورت گرفته‌است، این پژوهش درصدد بررسی تأثیر فرآیندهای تیمار گرمایی چوب بر مقاومت چسبندگی پوشش بود تا بتوان علاوه بر بررسی تأثیر تیمار گرمایی چوب در فرآیندهای مختلف بر مقاومت چسبندگی پوشش، شرایط بهینه تیمارهای مختلف را انتخاب کرده و یا با بکار بستن آن از هدر رفت سرمایه برای انجام تیمار گرمایی در درجات دمایی جلوگیری به‌عمل آید.

۱- *Populus alba*

جدول ۱: مشخصات شفاف‌پوشه‌های مورد استفاده.

| پوشش | pH | چگالی (g/cm ³) | درصد جامد (%) | گرانروی (cP) | حلال | میزان استفاده از حلال (نسبت به جرم پوشش) |
|--------------|-----|-------------------------------|------------------|-----------------|------------|---|
| سیلر | ۲,۹ | ۰,۹۵ | ۲۶,۵۸ | ۱۴۰ | تینر ۱۰۰۰۰ | ۲ برابر |
| کیلر | ۳,۴ | ۰,۹۹ | ۲۷,۵۹ | ۲۰۰ | تینر ۱۰۰۰۰ | ۱,۵۰ برابر |
| نیم پلی‌استر | ۳,۸ | ۰,۹۶ | ۳۷,۶۸ | ۱۳۲ | تینر ۱۰۰۰۰ | ۰,۵۰ برابر |



شکل ۱: ریزساختارهای دیواره سلول و ساختمان میکروسکوپی چوب در شرایط اصلاح گرمایی [۳].

۲-۲- روش کار

برای تهیه نمونه‌های چوب صنوبر، ابتدا پایه‌های قطع شده به محل برش منتقل گردید. سپس به وسیله اره نواری برش‌های اولیه و با اره گرد برش‌های ثانویه انجام شد. از دستگاه گندگی برای صافی سطح نمونه‌ها نیز استفاده شد. برای رسیدن به حد مطلوب رطوبتی در هوای آزاد، نمونه‌ها با رعایت اصول چوب خشک‌کنی تا رطوبت ۸ درصد خشک شدند [۲۸]. الوارها پس از خشک شدن به نمونه‌هایی به ابعاد $150 \times 100 \times 20$ میلی‌متر (طولی \times شعاعی \times مماسی) از قسمت برون چوب با سطوح مماسی تهیه شدند (شکل ۲). با توجه به اهمیت استفاده از نمونه‌های سالم در آزمایش از بین نمونه‌های دارای شرایط رشد عادی و عاری از هرگونه ترک، شکاف، چوب واکنشی، کج تازی، پوسیدگی و بیماری‌های قارچی انتخاب شدند [۲۹]. شمایی از اصول اولیه طی مراحل آماده‌سازی پوشش سطح چوب در شکل ۲ نشان داده شده است. سپس نمونه‌ها در محیط‌های فراگیر مختلف اصلاح حرارتی مطابق جدول ۲ تیمار شدند.

لازم به ذکر است که قبل از عملیات تیمار گرمایی- مکانیکی بلوک‌های چوب صنوبر در داخل مخزن حاوی آب داغ (مخزن بخار ساز) مطابق با دما و زمان ماندگاری در بالا تیمار شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت، در پرس گرم آزمایشگاهی و تحت دمای 190°C درجه سانتی‌گراد در جهت شعاعی فشرده شدند. برای انجام تیمار روغن گرمایی نمونه‌ها با روغن بزرک از روش سلول تهی اصلاح شده (روپینگ)، مرحله آغشتگی و مرحله فشار ۴ بار به مدت ۳۰ دقیقه در دو سطح دمای 150°C و 180°C درجه سانتی‌گراد، همانند جدول ۲ استفاده شد. تیمار گرمایی خشک در این مطالعه به وسیله آون آزمایشگاهی تحت شرایط دمایی و زمانی ذکر شده در بالا انجام گرفت. پس از تیمار حرارتی، تمامی نمونه‌های تهیه شده برای متعادل شدن و رسیدن به یک شرایط رطوبتی در محیط آزمایشگاهی قرار گرفتند.

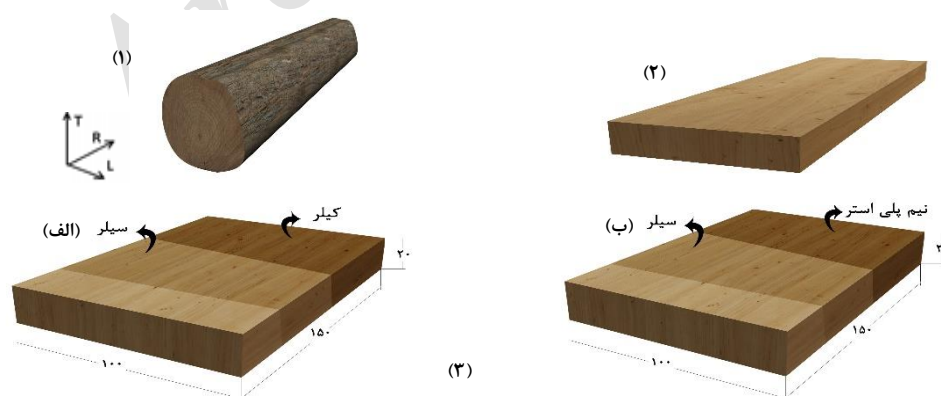
۲-۲-۱- آماده‌سازی و پوشش‌دهی سطح چوب

آماده‌سازی و عملیات پرداخت سطح چوب، برای یکنواخت کردن سطوح نمونه‌های چوب و از بین بردن ناهمواری‌های سطحی آن‌ها می‌باشد. برای این منظور قبل از پوشش‌دهی سطح نمونه‌ها با شفاف‌پوشه‌ها، ابتدا سطوح آن‌ها طی مراحل از سنباده زبر به نرم در جهت الیاف چوب با درجه سنباده‌های 120° و 180° به‌طور یکنواخت پرداخت شدند. سپس شفاف‌پوشه‌های مورد استفاده در دو سیستم پوششی سیلر- کیلر و سیلر- نیم پلی‌استر به وسیله پیستوله و به‌طور یکنواخت در جهت الیاف بر روی سطح نمونه‌ها اعمال شدند. سیلر در پوشش‌های مورد استفاده به‌عنوان پرکننده منافذ چوب و دو پوشش کیلر و نیم پلی‌استر به‌عنوان پوشش نهایی بودند.

جدول ۲: برنامه اصلاح گرمایی در محیط‌های فراگیر گوناگون.

| زمان ماندگاری [*] (h) | دمای تیمار ($^\circ\text{C}$) | مدیوم |
|--------------------------------|---------------------------------|--|
| ۳ | ۱۵۰ | تیمار گرمایی خشک |
| ۳ | ۱۸۰ | تیمار گرمایی خشک |
| ۳ | ۱۵۰ | تیمار بخار گرمایی |
| ۳ | ۱۵۰ | تیمار بخار گرمایی و فشرده‌سازی (تیمار گرمایی- مکانیکی) |
| ۱ | ۱۹۰ | تیمار روغن گرمایی |
| ۳ | ۱۵۰ | تیمار روغن گرمایی |
| ۳ | ۱۸۰ | تیمار روغن گرمایی |
| - | - | شاهد |

* زمان ماندگاری مدت زمان ماندن چوب در دمای ثابت تیمار است.



شکل ۲: شمایی از مراحل آماده‌سازی نمونه‌های آزمون (۱): برش‌دهی (شعاعی و مماسی)، (۲): مقطع‌گیری، (۳): پوشش‌دهی سطح (الف): سیلر- کیلر و (ب) سیلر- نیم پلی‌استر (ابعاد به میلی‌متر) [۲۹].

۳-۲- آزمون چسبندگی پوشش‌ها

برای بررسی تأثیر اصلاح گرمایی در مدیوم‌های گوناگون بر چسبندگی پوشش‌ها روی چوب صنوبر قبل و بعد از کهنگی، از دستگاه اندازه‌گیری (اتوماتیک) چسبندگی به روش Pull-Off مدل Defelsko بر طبق استاندارد ASTM D-4541 استفاده شد [۳۰].

۴-۲- آزمون کهنگی تسریع‌شده

برای ارزیابی عملکرد تیمارهای حرارتی و کهنگی تسریع‌شده^۲ پوشش‌ها، نمونه‌ها قبل از پوشش به دو گروه تقسیم شدند، یک گروه از نمونه‌ها بدون تغییر و گروه دوم تحت آزمون کهنگی طبق استاندارد ASTM D-1037 قرار گرفتند [۳۱]. بر اساس این استاندارد آزمون کهنگی طی شش مرحله طبق جدول ۳ انجام شد. تیمار کهنگی تسریع‌شده برای بررسی طول عمر و دوام محصول در هوای آزاد بوده و شرایط شدیدی را (شامل غوطه‌وری در آب، بخاردهی با آب‌جوش، یخ‌زدگی و خشک‌کردن با هوای خشک و داغ و تکرار این روند) به نمونه‌ها تحمیل می‌کند.

جدول ۳: مراحل آزمون کهنگی تسریع‌شده.

| مرحله | زمان (h) | محیط | دما (°C) |
|-------|----------|-------|----------|
| ۱ | ۱ | آب | ۴۵ |
| ۲ | ۳ | بخار | ۹۳ |
| ۳ | ۲۰ | فریزر | -۲۰ |
| ۴ | ۳ | آون | ۹۹ |
| ۵ | ۳ | بخار | ۹۳ |
| ۶ | ۱۸ | اتو | ۹۹ |

جدول ۴: گروه‌بندی دانکن و انحراف معیار خواص مکانیکی چوب اصلاح گرمایی‌شده در محیط‌های فراگیر مختلف.

| شاهد | روغن گرمایی ۱۸۰ | روغن گرمایی ۱۵۰ | بخار گرمایی و فشرده‌سازی ۱۵۰ و ۱۹۰ | بخار گرمایی ۱۵۰ | گرمایی خشک ۱۸۰ | گرمایی خشک ۱۵۰ | تیمار (°C) |
|---------|--------------------|--------------------|--|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|
| | | | | | | | چسبندگی پوشش (MPa) |
| a(۱,۱۱) | e(۰,۵۱) | d(۰,۷۷) | c(۰,۹۴) | b(۰,۵۰) | a(۰,۷۵) | a(۰,۶۵) | سیلر - کیلر قبل از کهنگی |
| a(۰,۴۵) | e(۰,۳۲) | d(۰,۶۰) | c(۰,۶۵) | b(۰,۸۵) | a(۰,۸۲) | a(۰,۵۹) | سیلر - نیم پلی‌استر قبل از کهنگی |
| b(۰,۱۹) | c(۰,۴۳) | b(۰,۷۹) | c(۰,۳۸) | b(۰,۳۰) | b(۰,۵۱) | a(۱,۲۹) | سیلر - کیلر بعد از کهنگی |
| b(۰,۲۷) | c(۰,۸۶) | b(۰,۸۱) | c(۰,۲۶) | b(۰,۴۷) | b(۰,۴۶) | a(۰,۶۷) | سیلر - نیم پلی‌استر بعد از کهنگی |

حروف انگلیسی معرف گروه‌بندی دانکن و اعداد داخل پرانتز معرف انحراف معیار است.

۵-۲- طراحی آزمایش

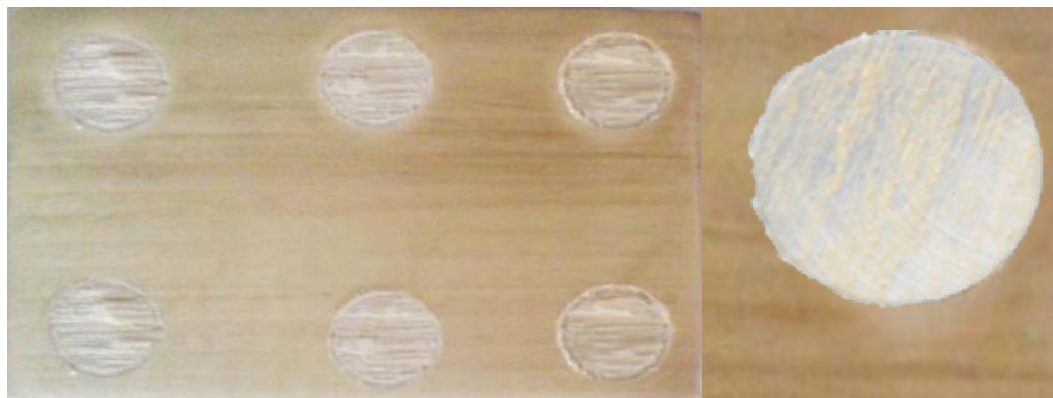
نتایج به‌دست‌آمده با نرم‌افزار آماری SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای بررسی اثر عوامل متغیر، نتایج با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین گروه‌ها از آزمون چند دامنه دانکن استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

در تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از تأثیر تیمارهای گرمایی بر مقاومت چسبندگی پوشش قبل و بعد از کهنگی تسریع‌شده از تجزیه و تحلیل واریانس دوگانه (ANOVA) استفاده گردید. کهنگی و تیمارهای گرمایی تأثیر معنی‌داری را بر مقاومت چسبندگی پوشش در سطح $\alpha < 0.05$ نشان دادند. مقادیر انحراف معیار و گروه‌بندی دانکن چسبندگی پوشش‌ها قبل و بعد از کهنگی در سطوح اصلاح‌شده با فرآیندهای مختلف، در جدول ۴ آمده است. آزمون چسبندگی پوشش نمونه‌ها نیز در شکل ۳ نشان داده شده است. در مورد نتایج آزمون دانکن نوع پوشش، بیشترین مقدار چسبندگی پوشش برای سیلر - نیم پلی‌استر (a) و کمترین میزان در کیلر (b) به‌دست‌آمد.

۱- PosiTest AT

۲- Accelerated aging



شکل ۳: تصویر سطح نمونه‌ها پس از آزمون چسبندگی pull off در سمت چپ و سطح دالی به همراه رنگی که از چوب جدا شده در سمت راست.

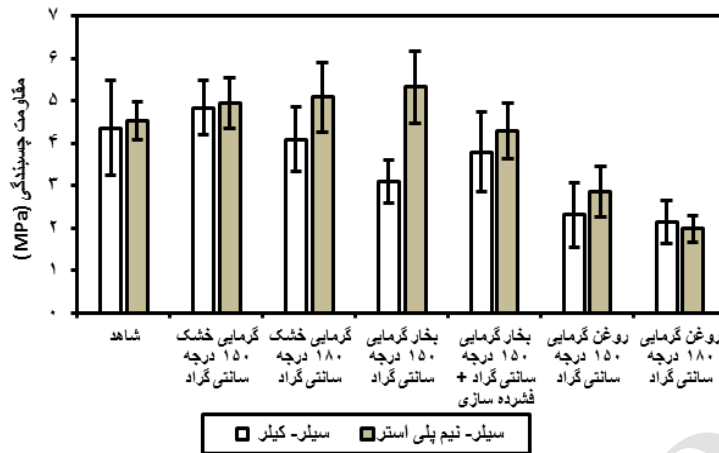
وجود دارد [۱۷]. بک و نمت و ساهنیکل^۲ کاهش خواص مکانیکی را به دلیل تخریب ساختار شیمیایی و کاهش ماده چوبی را به علت تیمار گرمایی گزارش کردند، (شکل ۶) [۲۱، ۳۳]. یکی از عوامل مهمی که در مقاومت چسبندگی پوشش نقش مؤثری دارد، ترشوندگی مناسب سطح چوب و عمق نفوذ پوشش در چوب می‌باشد [۳۴]. تیمار روغن گرمایی چوب، ترشوندگی سطح را کاهش می‌دهد و کاهش ترشوندگی سطح چوب، مانع نفوذ مناسب پوشش به سطح چوب و در نتیجه کاهش مقاومت چسبندگی پوشش می‌شود [۲۸]. از طرف دیگر، در اثر خروج مواد دیواره سلولی، که حین تیمار گرمایی با هوای گرم و خشک حجم چوب دچار دگرگونی می‌شود، میزان خلل و فرج افزایش یافته و به دنبال آن نفوذپذیری چوب بیشتر شده [۳۷] و در نتیجه مقاومت چسبندگی پوشش و کیفیت سطح افزایش پیدا می‌کند. با توجه به نتایج بررسی تقی‌یاری^۳ و سمندرپور^۴ 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 جریان آب داخل منافذ دیواره سلول بود، به خصوص این‌که با کشیده شدن زنجیره مولکول‌های آب در دیواره سلول و گرمای ناشی از حرارت دهی، پیوند هیدروژنی تشکیل یافته دیواره سلول فعال و در نهایت سازوکار چسبندگی افزایش پیدا کرد [۳۸]. 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 و در نتیجه مقاومت‌های مکانیکی چوب را تقویت می‌کند (شکل ۶) [۳۹].

۳-۱- تأثیر متغیرهای فرآیند

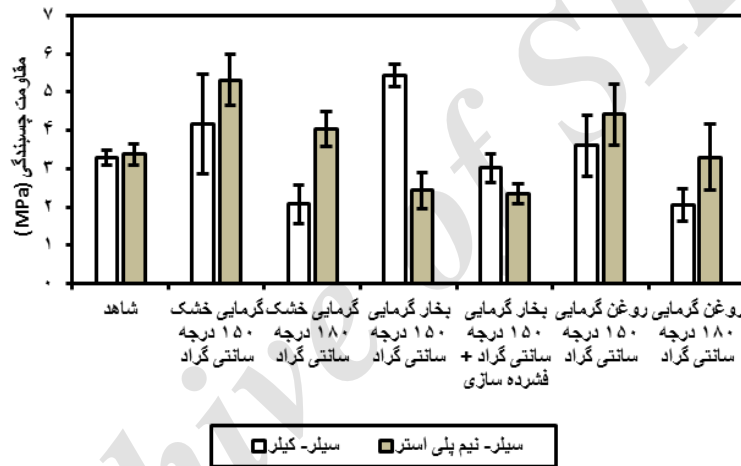
میانگین چسبندگی پوشش‌ها قبل و بعد از کهنگی تسریع شده بر روی نمونه‌های تیمار شده و شاهد در شکل‌های ۴ و ۵ آمده است. بر اساس نتایج، تغییر فرآیند گرمایی از محیط خشک به محیط فراگیر بخار گرمایی - مکانیکی^۱ و روغنی تأثیر قابل ملاحظه‌ای را در مقاومت چسبندگی پوشش چوب صنوبر قبل و بعد از کهنگی سبب نگردید؛ ولی در فرآیند (محیط) فراگیر بخار گرمایی با دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، میزان چسبندگی پوشش‌ها کمی نسبت به نمونه‌های شاهد بهبود نشان داد. بررسی متغیرهای فرآیند نشان داد که صرفاً گرمادهی و افزایش دمای تیمار به بیش از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد در فرآیند اصلاح گرمایی خشک و بخار گرمایی با دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش چسبندگی پوشش به سطح چوب صنوبر گردید؛ ولی برای سایر تیمارهای گرمایی از جمله روغن گرمایی اساساً تغییر محسوسی نداشت، به طوری که به دلیل ماهیت چربی موجود، میزان چسبندگی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داده است. این حالت برای چسبندگی پوشش‌ها بعد از کهنگی نیز به‌دست آمد. کمترین کاهش اختلاف آماری در بین نمونه‌های تیمار شده با نمونه‌های شاهد، در تیمار گرمایی خشک نمونه‌ها در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد؛ اما با تغییر محیط فرآیند و همچنین افزایش دمای تیمار (روغن گرمایی)، مقاومت چسبندگی کششی به‌طور قابل توجهی نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش یافت، ولی بعد از کهنگی متفاوت بود. تیمار گرمایی باعث ایجاد تغییرات در ویژگی‌های ساختاری چوب می‌شود و تغییر در این ویژگی‌ها، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی و دوام چوب را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکل ۶). تخریب همی سلولزها مهم‌ترین نتیجه تیمار گرمایی چوب است که کاهش قابل توجه مقدار آن در این تحقیق برای برخی از عوامل مؤثر تأیید شد و با نتایج سایر محققان هم‌خوانی دارد [۳، ۳۲]. بنابراین رابطه مستقیمی بین تجزیه همی سلولزها و کاهش مقاومت در دماهای بالا

2- Sahinkol
3- Taghiyari
4- Samandarpour

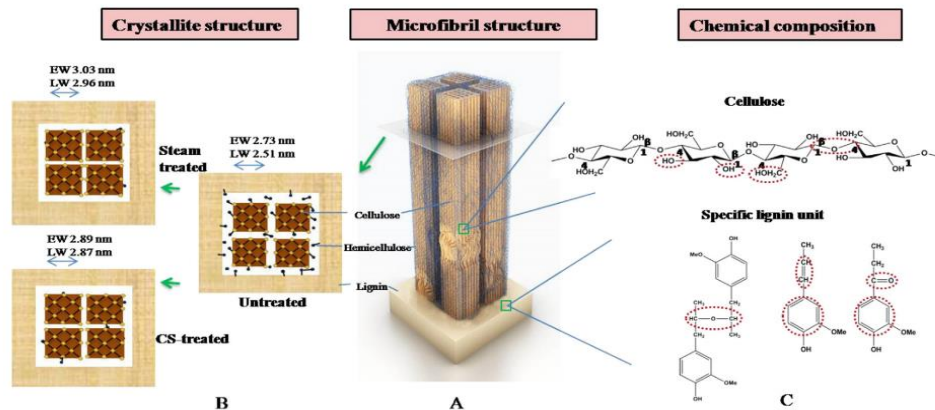
1- Thermo-Hygro-Mechanical (THM)



شکل ۴: مقاومت چسبندگی pull off چوب صنوبر پوشش داده با شفاف‌پوشه‌ها قبل از کهنگی تسریع‌شده.



شکل ۵: مقاومت چسبندگی pull off چوب صنوبر پوشش داده با شفاف‌پوشه‌ها بعد از کهنگی تسریع‌شده.



شکل ۶: ساختار میکروفیبریل دیواره سلول چوب (A)، مقطع عرضی ساختار کریستالی سلولزی بعد از تیمار ترکیبی بخار آب با فشرده‌سازی (cs-treated) و تیمار بخار آب (Steam treated) (B) و ساختار اصلی و یکنواخت سلولزی و لیگنین (C)، $EW^2 =$ چوب آغاز؛ $LW^3 =$ چوب پایان [۴۹].

1- Compression combined with steam treatment (cs-treated); 2- Early Wood; 3- Late Wood

پیوندهای ضعیف‌تری با سطح چوب (زیرآیند^۱) ایجاد می‌کند [۴۵]. تیمار گرمایی، کیفیت سطح زیرآیند پوشش به چوب را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۴۶]. به طوری که با پرداخت و حذف یک لایه نازک از پوشش اولیه، رنگ از سطح زیرآیند عبور می‌کند و مقاومت چسبندگی افزایش می‌یابد [۲۸]. بنابراین در مقایسه بین چسبندگی پوشش‌ها بعد از کهنگی، نفوذ عمیق‌تر پوشش‌ها و سازگاری آن‌ها با سطح و شرایط کهنگی امکان چسبندگی مناسب را ایجاد کرده است [۴۷]. افزایش در چسبندگی پوشش‌ها (شفاف‌پوشه‌ها) در برخی از پارامترهای فرآیند پس از کهنگی، همچون اشباع نمونه‌ها با روغن مربوط به تأثیر تیمار گرمایی با روغن در میزان ترشوندگی سطح با آن می‌باشد. نتایج به دست آمده توسط پادگرسکی^۲ و همکارانش، با نتایج این بررسی توافق دارد [۴۸].

۴- نتیجه‌گیری

چوب ماسیو صنوبر به طور گسترده در صنایع چوب و مبلمان به کار می‌رود. بهره‌گیری از تیمارهای گرمایی در جهان به منظور بهبود ویژگی‌های کاربردی مانند بهبود رنگ، پایداری ابعاد و افزایش دوام طبیعی به وسیله حفاظت و طول عمر پوشش امکان‌پذیر می‌گردد. بررسی مقایسه‌ای تیمار گرمایی چوب صنوبر در فرآیندهای گوناگون نشان داد در محیط روغن گرمایی کاهش چسبندگی پوشش‌ها قبل از کهنگی بیشتر بوده است. چوب‌های تیمار شده به روش بخار گرمایی و گرمای خشک، مقاومت چسبندگی بیشتری نسبت به روش‌های دیگر تیمار گرمایی قبل و بعد از کهنگی تسریع شده داشته‌اند. از دلایل بارز آن شاید تغییر ویژگی‌های ساختاری چوب در اثر تیمار گرمایی شامل؛ ترک‌های ریز میکروسکوپی، جاری شدن مواد استخراجی موجود در چوب، مسدود کردن منافذ دیواره سلول، چین خوردگی سلول‌های چوبی و در نهایت افزایش نفوذپذیری چوب بوده‌اند. بهبود مقاومت چسبندگی پوشش‌ها بعد از کهنگی در اثر تیمار روغن گرمایی مشاهده گردید. به طور کلی پژوهش‌های محققان تأثیر مثبت تیمارهای گرمایی به عنوان روش اصلاحی دوست‌دار محیط‌زیست را بر ویژگی‌های کاربردی چوب اثبات نموده است. با توجه به نتایج به دست آمده در این بررسی تیمار بخار گرمایی و تیمار گرمایی خشک با دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل تأثیر مثبت بر بهبود مقاومت چسبندگی پوشش‌ها قبل و بعد از کهنگی چوب صنوبر نسبت به سایر تیمارهای گرمایی پیشنهاد می‌گردد.

1- Substrate
2- Podgorski

در برخی بررسی‌ها افزایش مقاومت‌های مکانیکی در سطوح دمایی بالا (۲۰۰-۱۵۰ درجه سانتی‌گراد)، گزارش شده است. همچنین در ارزیابی فرآیندهای اصلاح گرمایی چوب، کاهش حجم یا پدیده فروریزش ساختاری چوب یا کلاپس و شکستگی دیواره سلول از دلایل بهبود مقاومت‌های مکانیکی بوده است [۴۰]. میزان چسبندگی پوشش قبل از کهنگی در مقایسه با بعد از آن کمی افزایش داشته است، ولی قابل ملاحظه نبود. نتایج آزمایش و تحلیل داده‌های محققین دیگر نیز با هدف بررسی ویژگی‌های سطحی و عملکرد پوشش‌های چوب، کاهش چسبندگی پوشش‌ها را بعد از کهنگی نشان دادند [۴۱]. در حالت کلی، نتایج در مورد متغیرهای فرآیند نشان داد که، کاهش گروه‌های استیل و تجزیه همی سلول‌ها مهمترین اثر تیمارهای گرمایی روی چوب می‌باشد که سریع اتفاق می‌افتد، ضمن اینکه تغییرات اندکی هم در سلولز و لیگنین رخ می‌دهد که افزایش شدت تیمار منجر به ایجاد تغییرات بیشتری در آن‌ها می‌شود (شکل ۶). مقاومت چسبندگی پوشش در برخی از فرآیندهای اصلاح گرمایی چوب پس از کهنگی افزایش یافت. علت آن، تیمار گرمایی و سپس اعمال پوشش و لایه محافظ (پلیمر) روی سطح است که به دوام و طول عمر نهایی چوب در مجاورت هوای آزاد برای محیط‌های بیرون می‌افزاید [۴۲]. علاوه بر این افزایش جزئی بلورینگی چوب در اثر بخاردهی، دلیل دیگر افزایش نسبی مقاومت‌های مکانیکی پس از کهنه شدن آن می‌باشد. بر اثر تیمار گرمایی، در کنار حذف همی سلول‌ها، بخشی از مناطق بی شکل سلولز، آبکافت شده و در نتیجه آن مقاومت‌های مکانیکی افزایش پیدا می‌کند (شکل ۶) [۴۳].

۳-۲- تأثیر نوع پوشش رنگ

چسبندگی پوشش‌های مورد مطالعه تحت تأثیر ترکیبی از نوع پوشش، تیمار حرارتی و کهنگی می‌باشد (شکل‌های ۴، ۵). در اثر اصلاح گرمایی در برخی از فرآیندها، ترشوندگی چوب و به تبع آن نفوذ پوشش‌ها در چوب نیز کاهش پیدا می‌کند [۴۴]. در مقایسه بین چسبندگی پوشش‌ها، نتایج نشان داد که قبل از کهنگی، پوشش سیلر- نیم پلی‌استر عملکرد بهتری را نسبت به سیلر- کیلر داشته و مقاومت چسبندگی پوشش در سیلر- نیم پلی‌استر بالاتر از پوشش سیلر- کیلر بود. به دلیل استفاده از سخت‌کننده در پوشش نیم پلی‌استر، واکنش‌های پلیمریزاسیون این پوشش روی سطح چوب تشکیل شده و کامل می‌شود، در نتیجه پیوندهای قوی‌تری با چوب ایجاد می‌کند. مقاومت چسبندگی بالای پوشش نیم پلی‌استر ناشی از ساختار شیمیایی آن و خصوصیات فنی این پوشش است [۴۵]. پوشش کیلر در مجاورت هوا خشک شده و به نوعی یک پوشش تک جزئی است و واکنش آن در فرآیند تولید تشکیل می‌شود. در نتیجه

۵- مراجع

1. L. A. Lowden, T. R. Hull, Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire Sci. Rev.* 2(2013), 1-19.
 2. S. Korkut, M. Budakci, The effects of high-temperature heat-treatment on physical properties and surface roughness of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) wood. *Wood Res.* 55(2010), 67-78.
 3. C. Hill, Wood modification chemical, thermal and other process. Wiley Series in Resources, England. 2006, 99-127.
 4. J. J. Weiland, R. Guyonnet, Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. *Holz Roh. Werkst.* 61(2003), 216-221.
 5. M. Hakkou, M. Petrisans, A. Zoulalin, P. Gerardin, Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. *Polym. Degrad. Stab.* 89(2005), 1-5.
 6. W. J. Homan, A. J. Jorissen, Wood modification developments. *J. Heron.* 49(2004), 360-369.
 7. A. Talaei, K. Yaghoobi, Physical and mechanical properties of hydrothermally modified mulberry wood, The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 9, Beijing, China, (2009), 24-28.
 8. B. F. Tjeerdsma, M. Stevens, H. Militz, Durability of (hydro)thermal treated wood, The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 5, Kona, Hawaii, USA, (2000), 14-19.
 9. H. Hatefnia, A. A. Enayati, K. DoostHoseini, M. AzadFallah, Effect of steam treatment on chemical changes of wood components. *Iranian. J. Wood Paper Sci. Res.* 26(2012), 682-698.
 10. M. Dahmardeh Ghaleno, M. Nazerian, The effects of heat treatment on the mechanical properties of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) wood and changes in physical properties. *Iranian. J. Wood Forest Sci. Technol.* 20 (2013), 1-17.
 11. S. Korkut, M. S. Kök, D. Sevim Korkut, T. Gürleyen, The effects of heat treatment on technological properties in Red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. *Bioresour. Technol.* 99(2008), 1538-1543.
 12. S. Korkut, I. Bektas, The effects of heat treatment on physical properties of Uludağ fir (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. *For. Prod. J.* 58(2008), 95-99.
 13. B. F. Tjeerdsma, H. Militz, Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydro thermal and dry heat-treated wood. *Holz Roh. Werkst.* 63(2005), 102-111.
 14. B. Sundqvist, U. Westermark, G. Eriksson, Degradation of cellulose during hydrothermal treatment of wood (*Betula pubescens* Enrh.). *Cellul. Chem. Technol.* 40(2006a), 217-221.
 15. B. Sundqvist, O. Karlsson, U. Westermark, Determination of formic acid concentrations formed during hydrothermal treatment of Birch wood and its relation to colour, strength and hardness. *Wood Sci. Technol.* 40(2006b), 549-561.
 16. M. J. Boonstra, J. F. Rijsdijk, C. Sander, E. Kegel, B. Tjeerdsma, H. Militz, J. Van Acker, M. Stevens, Microstructural and physical aspects of heat treated wood. Part 1. Softwoods. *Maderas. Cienc. Tecnol.* 8(2006), 193-208.
 17. A. Talaei, A. N. Karimi, G. Ebrahimi, S. A. Mirshokraee, Comparative study of heat treated beech wood in hot water and steam mediums. *Iranian. J. Wood Paper. Ind.* 2(2011), 27-38.
 18. A. J. Stamm, Thermal degradation of wood and cellulose. *Ind. Eng. Chem.* 48(1956), 413-417.
 19. H. Sharifnia-Dizboni, B. Mohebbi, Enhanced mechanical properties of poplar wood by a combined hydro-thermo-mechanical (CHTM) modification. *Iranian. J. Wood and Paper. Ind.* 1(2008), 57-66.
 20. A. R. Tanaomi, B. Mohebbi, S. Ghahri, The Effect of oleothermal treatment on physical and mechanical properties of beech wood. *Iranian. J. Wood Forest Sci. Technol.* 19(2012), 111-126.
 21. M. Bak, M. Nemeth, Modification of wood by oil heat treatment, International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint, ISSD/EF 4, Sopron, Hungary, (2012), 1-5.
 22. A. Sonmez, M. Budakci, H. Pelit, The effect of the moisture content of wood on the layer performance of water-borne varnishes. *BioResources.* 6(2011), 3166-3178.
 23. A. Miszczyk, T. Schauer, Electrochemical approach to evaluate the interlayer adhesion of organic coatings. *Prog. Org. Coat.* 52(2005), 298-305.
 24. M. Ghofrani, G. H. Manavi, S. A. Mirshokraei, Investigation on the scratch strength of clear paints used in furniture industries on the wood species Beech, Elm, Alder and Spruce. *Iranian. J. Wood Paper. Ind.* 5(2014), 33-44.
 25. H. Gholamiyan, Improvement of water and weathering resistance of wood using nanozycosil, nanozycofil and clear coatings, MSc. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran, 2010.
 26. H. Gholamiyan, A. Tarmian, K. Doost Hosseini, M. Azadfallah, The effect of nano particles and common furniture paints on water resistance behavior of poplar wood (*P.nigra*). *Iranian. J. Wood Paper. Ind.* 2(2011), 16-26.
 27. J. P. Jimenez Jr, M.N. Acda, R. A. Razal, P. S. Madamba, Physico-Mechanical properties and durability of thermally modified malapapaya (*polyscias nodosa* (blume) seem.) wood. *Philipp J. Sci.* 140(2011), 13-23.
۲۸. م. غفرانی، س. خجسته خسرو، اثر کیفیت پرداخت سطح چوب بر مقاومت چسبندگی در شفاف پوشه‌ها. نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ. ۷(۱۳۹۲)، ۳۳۹-۳۴۵.
29. M. Nejad, P. Cooper. Performance Characterization of Coatings on Treated-Wood. *Prog. Color Colorants Coat.* 6(2013), 61-65.
 30. Standard test method for Pull-Off strength of coatings using portable adhesion testers, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, D4541, 2002.
 31. Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, D1037, 2001.
 32. T. Ding, L. Gu, X. Liu, Influence of steam pressure on chemical changes of heat-treated Mongolian pine wood. *BioResources.* 6(2011), 1880-1889.
 33. H. Sahinkol, Characteristics of heat treatment Turkish Pine and Fir wood after thermo wood processing. *Environ. Biol.* 31(2010), 1007-1011.
 34. M. V. Cristea, B. Riedl, P. Blanchet, Effect of addition of nanosized UV absorbers on the physico-mechanical and thermal properties of an exterior waterborne stain for wood. *Prog. Org. Coat.* 72(2011), 755-762.
 35. M. J. Boonstra, J. Van Acker, B. F. Tjeerdsma, E. V. Kegel, Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Ann. For. Sci.* 64(2007), 679-690.

36. R. D. Manalo, M. N. Acda, Effects of hot oil treatment on physical and mechanical properties of three species of Philippine Bamboo. *J. Trop. For. Sci.* 21(2009), 19-24.
37. S. Hietala, S. L. Maunu, F. Sundholm, S. Jämsä, P. Viitaniemi, Structure of thermally modified wood studied by liquid state NMR measurements. *Holzforschung.* 56(2002), 522-528.
38. H. R. Taghiyari, A. Samandarpour, Effects of nanosilver-impregnation and heat treatment on coating pull-off adhesion strength on solid wood. *Drvna Ind.* 66(2016), 321-327.
39. B. F. Tjeerdsma, M. Boonstra, A. Pizzi, P. Tekely, H. Militz, Characterization of thermal modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. *cpmas 13 c nmr characterization of thermal modified wood. Holz Roh. Werkst.* 56(1998), 149-153.
40. G. Mirzaei, M. Mohebbi, M. Tasooji, The effect of hydrothermal treatment on bond shear strength of beech wood. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 70(2012), 705-709.
41. B. Ugolino, R. E. Hernández, Assessment of surface properties and solvent-borne coating performance of red oak wood produced by peripheral planing. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 10(2016), 1-13.
42. N. Çakıcıer, S. Korkut, D. S. Korkut, Varnish layer hardness, scratch resistance, and glossiness of various wood species as affected by heat treatment. *BioResources.* 6(2011), 1648-1658.
43. S. Yildiz, E. Gümüşkaya, The effects of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwood. *Build. Environ.* 42(2007), 62-67.
44. M. Nejad, R. Shafaghi, H. Ali, P. Cooper, Coating performance on oil-heat treated wood for flooring. *BioResources.* 8(2013), 1881-1892.
45. G. H. Manavi, M. Ghofrani, S. A. Mirshokraei, Effects of wood type, moisture content and paint type on adhesion strength of conventional clear paints used in furniture manufacture. *Iranian. J. Wood Paper Sci. Res.* 27(2012), 743-753.
46. G. P. De Moura Palermo, J. V. De Figueiredo Latorraca, L. F. De Moura, A. M. Nolasco, A. Monteiro de Carvalho, R. A. Garcia, Surface roughness of heat treated Eucalyptus grandis wood. *Maderas. Cienc. Tecnol.* 16(2014), 3 12.
47. A. zamani, M. R. Mastari Farahani, An investigation on paintability of heat treated wood. *Iranian. J. Wood Paper Sci. Res.* 30(2015), 717-727.
48. L. Podgorski, G. Grull, M. Truskaller, J. D. Lanvin, V. Gerorges, S. Bollmus, Wet and dry adhesion of coatings on modified and unmodified wood. The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 10, Conference Biarritz, France, (2010) 9-13.
49. J. Yin, T. Yuan, Y. Lu, K. Song, H. Li, G. Zhao, Y. Yin, Effect of compression combined with steam treatment on the porosity, chemical composition and cellulose crystalline structure of wood cell walls. *Carbohydr. Polym.* 155(2017), 163-172.