

مطالعه خستگی دمایی بر خواص ترک پذیری، چسبندگی و براقیت پوشش‌های چوب

هادی غلامیان^{۱*} و احمد جاوید^۲

^{۱*} - نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران،

پست الکترونیک: Hadi_gholamiyan@ut.ac.ir

^۲ - کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۴۰۰

چکیده

در این تحقیق تأثیر چرخه حرارتی بر تخریب سطحی و ترک‌پذیری انواع پوشش‌های چوب تقویت شده با نانو ذرات رس و تغییرات خواص چسبندگی و براقیت بررسی گردید. از پوشش‌های پایه حلال (آلکیدی، پلی‌یورتان)، پایه آب (کروم و فسفرسانس) و پایه روغنی (پوشش روغنی) در گونه چوبی نراد (*Abies alba*) استفاده شد. همچنین از تکنیک‌ها و آزمون‌های اندازه‌گیری ترک‌های سطحی، چسبندگی کششی و براقیت‌سنج برای آنالیز نتایج قبل و بعد از تیمار خستگی دمایی استفاده گردید. نتایج نشان داد، بهترین عملکرد پوشش در هر سه آزمون چسبندگی کششی، براقیت سطح و ترک سطحی مربوط به پوشش کروم و نامناسب‌ترین مربوط به پوشش آلکیدی بود. همچنین نتایج نشان داد، استفاده از نانو ذرات رس قبل از چرخه حرارتی تفاوت چندانی در خواص پوشش نداشت اما بعد از چرخه حرارتی باعث افزایش مقاومت پوشش‌ها شده است. افزایش مقاومت به چسبندگی در پوشش‌های کروم، فسفرسانس، روغنی، پلی‌یورتان و آلکیدی به میزان نزدیک به دو برابر مشاهده شد. به‌علاوه استفاده از نانو ذرات رس توانست میزان ترک‌پذیری پوشش را در اثر خستگی دمایی کاهش و عملکرد پوشش‌ها را بهبود ببخشد.

واژه‌های کلیدی: ترک سطحی، چوب، چسبندگی، براقیت، چرخه حرارتی.

مقدمه

چوبی و سایر موارد دیگر مورد استفاده قرار گرفته است (Lowden & Hull, 2013). از جمله بیماری‌هایی که باعث افزایش مقاومت چوب و فراورده‌های آن شده است، استفاده از پوشش رنگی بر سطوح چوب می‌باشد. امروزه استفاده از انواع پوشش‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است، از دیگر علل استفاده از پوشش علاوه بر افزایش زیبایی، سبب کاهش تخریب فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی می‌شود و در نهایت باعث افزایش کاربرد این ماده طبیعی شده است (Khojasteh Khosro & Ghofrani, 2015). به‌طوری‌که با قرار گرفتن سازه‌های چوبی در شرایط سرویس ممکن است

چوب یکی از مواد طبیعی پرکاربرد در صنایع مختلف می‌باشد. می‌توان گفت از جمله مباحثی که از گذشته تاکنون مورد توجه سازه‌های چوبی قرار گرفته است، افزایش مقاومت چوب در برابر عوامل مخرب است. از مهمترین عواملی که باعث محدودیت استفاده چوب به‌عنوان یک سازه چوبی می‌شود شامل: تغییر ابعاد، جذب رطوبت، تخریب در برابر عوامل مخرب جوی، آتش و همچنین عوامل بیولوژیکی می‌باشد (Chin et al., 2005). چوب از قرن‌ها پیش تاکنون برای مصارف مختلف خانه‌سازی، مبلمان، دکوراسیون، کف‌پوش‌های

داد، در اثر تیمار حرارتی تفاوت معناداری در مقاومت به چسبندگی پوشش‌های پلی‌یورتان و لاک مشاهده می‌شود، همچنین میزان براقیت پس از چرخه حرارتی متفاوت بود و اختلاف معناداری میان گونه‌های چوبی مشاهده شد. همچنین نتایج بررسی انجام شده توسط Lung Chou و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که استفاده از پوشش‌های پلی‌یورتان توانایی جلوگیری از تغییر رنگ و افزایش براقیت سطح چوب را دارد که استفاده از پلی‌یورتان آلیفاتیک نسبت به آروماتیک از عملکرد مطلوب‌تری برخوردار است. تحقیقات Gupta و همکاران (۲۰۱۶) بر تغییرات میزان براقیت پوشش‌های پلی‌یورتان، ملامین، نیتروسولوز و لاک الکل در اثر تغییرات حرارتی و رطوبتی نشان داد که در اثر تیمار حرارتی از میزان براقیت نمونه‌ها کاسته شده است. به‌عنوان مثال در نمونه پوشش‌خورده با ملامین به میزان ۱۲ تا ۱۶ درصد افت براقیت و در پوشش پلی‌یورتان و نیتروسولوز در حدود ۴۰ درصد میزان افت براقیت مشاهده شده است. مطالعات Ghosh و همکاران (۲۰۱۵) در مورد تأثیر همزمان حرارت و رطوبت بر کیفیت سطح پوشش‌های پلی‌استر و پلی‌یورتان نشان داد که تیمار حرارتی باعث کاهش میزان براقیت نمونه اکالیپتوس پوشش‌خورده به میزان ۶ تا ۱۵ درصد می‌شود. استفاده از پوشش سطحی پلی‌یورتان اکریلیک و تثبیت‌کننده‌های لیگنینی بر تغییرات براقیت و ترک‌پذیری سطحی گونه کاج، صنوبر و توس تحت نوسانهای حرارتی نشان داد که استفاده از تثبیت‌کننده‌های لیگنینی مانع ایجاد ترک‌های ریز سطحی و تغییر شدید در براقیت پوشش اکریلیکی می‌شود (Kocaefe & Saha, 2012). استفاده از نانو فناوری در صنعت چوب دارای کاربردهای فراوانی در تقویت خاصیت و ویژگی‌های پوشش‌های مختلف چوب از جمله مواردی همانند چسبندگی، مقاومت در برابر حرارت، پایداری در برابر رطوبت، سایش و همچنین مقاومت در مقابل هوازندگی است (Kaygin & Akgun, 2008-2009). امروزه کاربرد نانو ذرات در تحقیقات و صنعت چوب افزایش یافته است و استفاده از نانو ذرات در پوشش‌ها، باعث تشکیل یک لایه محافظ در سطح چوب می‌شود که این پوشش‌ها علاوه بر حفاظت از

ترک‌های ریز و درشت و تغییر ابعاد چوب در اثر جذب و دفع رطوبت ایجاد شود که باعث ایجاد شرایط مناسبی برای بروز عوامل مخرب زیستی مانند حشرات چوب‌خوار و قارچ‌ها می‌شود. همچنین با اعمال پوشش‌های رنگی می‌توان از روند افزایش تخریب جلوگیری کرد (Latibari, 2007). طبق مطالعات انجام شده توسط محققان، دو عامل اصلی رطوبت و حرارت، جزء بنیادی‌ترین عوامل تخریب چوب و پوشش می‌باشد. در میان انواع آزمون‌های سنجش مقاومت پوشش‌ها در سطح چوب، اندازه‌گیری مقاومت به چسبندگی پوشش‌ها یکی از مهمترین پارامترهای سنجش در مقالات علمی می‌باشد که مطالعات بسیاری در این زمینه انجام شده است. همچنین، تحقیقات انجام شده در سال ۲۰۱۱ بر تأثیر رطوبت چوب در عملکرد پوشش‌های پایه آب بر روی دو گونه راش شرقی و کاج اسکاتلندی که دارای رطوبت ۸، ۱۰ و ۱۲ درصد بودند نشان داد که تغییرات رطوبت تأثیر زیادی در مقاومت چسبندگی و سختی رنگ اعمال شده در سطح چوب دارد (Sonmez et al., 2011). مطالعات Miszczyk و Schauer (۲۰۰۵) نشان داد که میزان چسبندگی پوشش از خصوصیات حفاظتی مهم پوشش به‌شمار می‌آید. به‌علاوه، بررسی سایر محققان بر روی علت کاهش چسبندگی پوشش‌های آب پایه بر روی سطح چوب نشان داد، با کاهش میزان نفوذ پوشش به داخل بافت چوب (De Meijer & Militz, 1998) و یا به دلیل تغییر در انرژی سطح و احتمال جذب زیاد رطوبت یا واکنش سطحی سطح از میزان چسبندگی پوشش کاسته می‌شود (Perera, 1996). مطالعات Talaei و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد، استفاده از اصلاح گرمایی بر روی چوب صنوبر می‌تواند چسبندگی پوشش‌های آلکیدی و نیتروسولوزی را قبل و بعد از کهنگی افزایش دهد، ولی با افزایش دمای تیمارهای پارامترهای مهم و تأثیرگذار در سنجش خواص سطحی پوشش، بررسی میزان براقیت و ترک سطحی می‌باشد که بررسی آن مهم و با اهمیت است که مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است. تحقیقات Chang و همکاران (۲۰۱۹) بر روی تأثیر چرخه حرارتی سرد و گرم بر سطح پوشش نشان

می‌شود از پوشش‌های نوآورانه کروم، فسفرسانس، روغنی و پایه آب به دلیل جذابیت بیشتر و سازگار بودن با محیط زیست بیشتر در صنعت استفاده گردد. بنابراین در این مطالعه تلاش شده است علاوه بر استفاده از پوشش‌های نوین از نانو ذرات رس برای افزایش مقاومت به تغییرات حرارتی و خستگی دمایی استفاده شود که علاوه بر تقویت پوشش‌های پایه، انواع مقاومت‌های دیگر مانند مقاومت به چسبندگی، براقیت و ترک-پذیری پوشش بهبود یابد.

مواد و روش کار

نمونه‌های مورد استفاده در این پژوهش از الوارهای گونه چوب نراد (*Abies alba*) به ابعاد $۱۰ \times ۲۰ \times ۴۰$ سانتی‌متر تهیه شد. این الوارها از بازار چوب‌فروشان خریداری شده و به مدت یکسال در انبار سرپوشیده نگهداری شده بود. از دلایل استفاده از این گونه چوبی، کاربرد فراوان این گونه در صنعت مبلمان چوبی فضای باز می‌باشد. این الوارها برای استفاده به تخته‌های ۱۰۰ سانتی‌متری تبدیل و بعد برای متعادل کردن میزان رطوبت نمونه‌ها و انجام آزمون، تخته‌ها را مطابق با استاندارد به ابعاد $۱۵ \times ۱۰ \times ۲$ سانتی‌متر برش داده و به مدت زمان دو هفته در اتاق کلیما برای رسیدن به رطوبت تعادل ۱۲ درصد قرار داده شد.

آماده‌سازی سطح چوب برای اعمال پوشش

پس از متعادل شدن رطوبت نمونه‌های چوبی مورد استفاده سطح نمونه‌ها پرداخت گردید. سطح نمونه‌های آزمونه با استفاده از سنباده ۲۸۰ مورد پرداخت‌کاری قرار گرفت. سپس با استفاده از پیستوله با نسبت ۹۰ میلی‌گرم بر مترمربع به صورت تک مرحله‌ای پوشش‌های مورد استفاده بر روی نمونه‌های چوبی اعمال شد و به مدت سه هفته در اتاق کلیما قرار داده شد تا کاملاً خشک شوند. همچنین در انتخاب حد بهینه نانو ذرات رس، از ۵ درصد نانو ذرات رس در این تحقیق استفاده شد. یادآوری می‌شود برای مخلوط کردن نانو ذرات در پوشش رنگی از دستگاه همزن آلتراسونیک استفاده شد و به سرعت پوشش‌ها بر سطح چوب اعمال و پاشیده شدند. یادآوری می‌شود مطابق محاسبه انجام شده ضخامت فیلم تر

چوب، باعث مقاومت در برابر تغییرات رنگی پوشش و همچنین حفظ کیفیت ظاهری پوشش می‌شود (Li *et al.*, 2004) (Silivane & Ocheane, 2008). چوب به‌عنوان ماده‌ای که در مکان‌های مختلفی که شرایط سرویس و تغییرات دمایی متفاوتی دارند استفاده می‌شود، به‌عنوان مثال ممکن است به‌عنوان پارکت و یا لمبه‌کوبی دیوار در اطراف شومینه و یا بخاری قرار گیرد. همچنین استفاده از چوب در ساخت دیواره‌های بیرونی خانه‌های چوبی که در مناطق گرمسیری که تغییرات دمایی روز و شب آنها گاهی به ۵۰ درجه هم می‌رسد باعث آن می‌شود که مقاومت حرارتی و تحمل گرمایی پوشش را بهبود بدهیم. مطالعات انجام شده توسط Moosavi و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد، استفاده از نانو ذرات سیلیکا باعث کاهش میزان براقیت پوشش در زاویه ۶۰ درجه می‌گردد که در درصد‌های بالاتر این میزان کاهش براقیت نیز افزایش پیدا می‌کند. در سال ۲۰۱۴ برای افزایش مقاومت به آتش پوشش‌ها از نانو ذرات دی‌اکسید روی استفاده گردید که نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که استفاده از نانو پوشش‌ها در کاهش زمان اشتعال و کاهش سطح کربونیزه و همچنین کاهش تغییر جرم در مقابل نمونه شاهد مؤثر و معنادار می‌باشد (Khojasteh Khosro, 2014). مطالعات انجام شده توسط محققان گوناگون بر روی تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر روی پوشش‌های پلی‌یورتان، آکرلیک و سایر پوشش‌ها نشان داد، نانو ذرات باعث جلوگیری از تغییر رنگ و همچنین افزایش مقاومت پوشش‌ها در برابر امواج ماوراءبنفش شده است (Cristea *et al.*, 2011; Lei *et al.*, 2010; Blanchard & Blanchet, 2011; Hang *et al.*, 2015; Lowry *et al.*, 2008). مطالعات Harandi و همکاران (۲۰۱۵) در مورد استفاده از نانو ذرات نشان داد که استفاده از نانو ذرات دی-اکسید تیتانیوم به نسبت نانو ذرات اکسید روی از مقاومت کمتری در برابر هوازدگی و حرارت برخوردار است و نانو ذرات اکسید روی دارای کارایی و مقاومت بیشتری در حفظ چوب در برابر پرتو اشعه ماورای بنفش می‌باشد. با توجه به گستردگی پوشش‌های رنگی و همچنین ایجاد نوآوری و خلاقیت در رنگ‌کاری سازه‌های چوبی و مبلمان امروزه تلاش

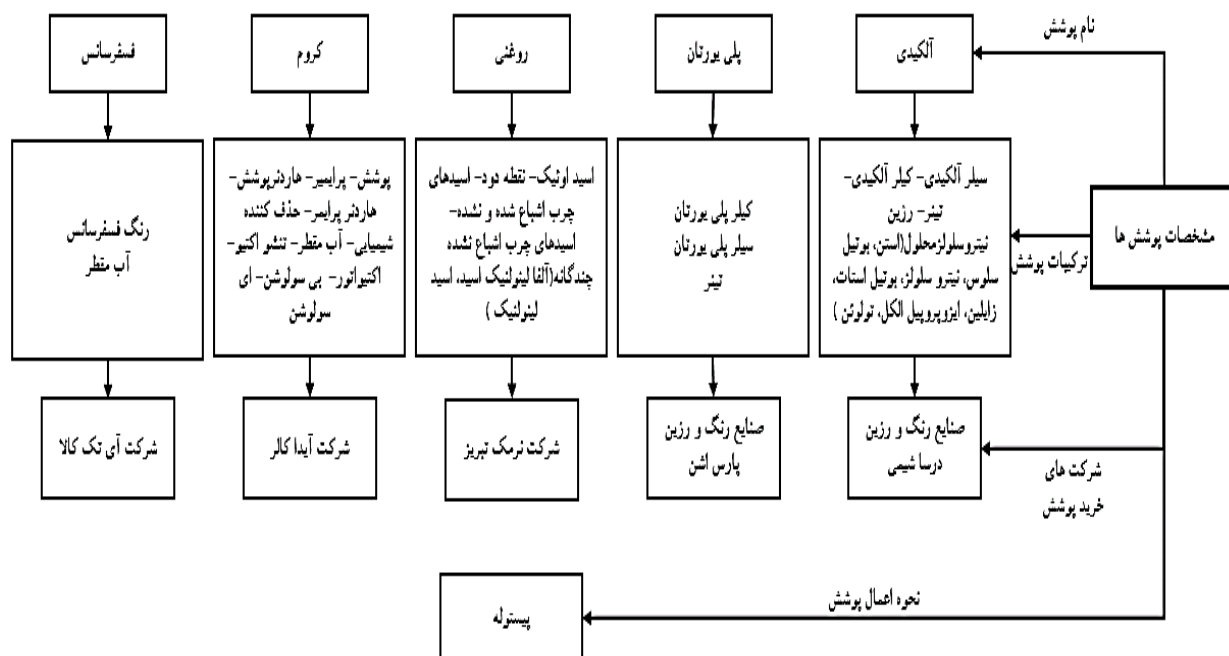
پس از پاشش فیلم رنگی در حدود ۴۰۰ تا ۴۵۰ میکرون و ضخامت نهایی فیلم خشک در سطح چوب در حدود ۸۰ تا ۱۰۰ میکرون مشاهده شد.

پوشش‌ها و مشخصات آنها

در این تحقیق با استفاده از پنج نوع پوشش مختلف که

جدول ۱- تیمارهای مورد استفاده

تیمارهای اول	تیمارهای دوم	تعداد تکرار هر پوشش	نوع چوب مورد استفاده
پوشش آلکیدی	پوشش آلکیدی+نانو رس	۵ تکرار	نراد
پوشش پلی یورتان	پوشش پلی یورتان+نانو رس		
پوشش روغنی	پوشش روغنی+نانو رس		
پوشش کروم	پوشش کروم+نانو رس		
پوشش فسفرسانس	پوشش فسفرسانس+نانو رس		

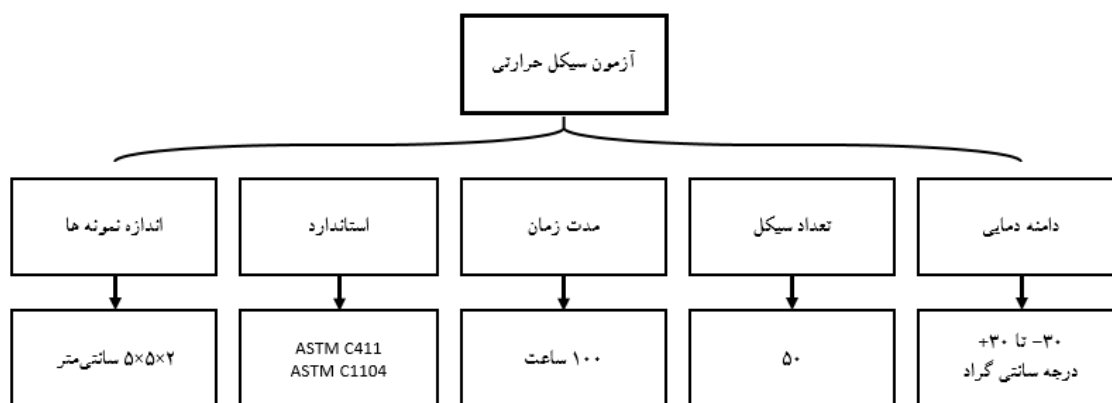


شکل ۱- مشخصات پوشش‌های اعمال شده

آزمون چرخه حرارتی

در این آزمون با استفاده از روش خستگی دمایی و ایجاد فازهای دمایی گرم و سرد مقاومت پوشش‌ها با ایجاد تغییرات دمایی برای نشان دادن میزان تخریب پوشش در برابر دماهای مختلف مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. در این روش تغییرات دمایی از -30 درجه تا $+80$ درجه سانتی‌گراد اعمال شد و خواص پوشش‌ها ارزیابی شد. چرخه انجام شده در این تحقیق در دامنه دمایی -30 درجه تا $+30$ درجه سانتی‌گراد و تعداد چرخه آن ۵۰ و به مدت زمان ۱۰۰ ساعت مورد آزمایش قرار گرفت. به عبارت دیگر به تعداد ۵۰ بار میزان تنش گرمایی از دمای -30 درجه تا $+30$ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان کل ۱۰۰ ساعت اعمال

شد. این دستگاه شبیه‌سازی دمایی فصول سال را انجام داده است تا میزان تخریب و تغییرات سطح پوشش‌های چوبی را ارزیابی نماید. این آزمون به وسیله دستگاه اتا تک آزمون چرخه حرارتی در آزمایشگاه نانو مهندسی سطح دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تهران انجام شده که استاندارد انجام این آزمون مطابق با استاندارد آمریکایی ASTM C411 و ASTM C1104 انجام شده است. در این آزمون اندازه نمونه‌های پوشش‌خورده دارای ابعاد $5 \times 5 \times 2$ سانتی متر بودند که سه آزمون چسبندگی کششی، براقیت‌سنجی و ترک سطحی قبل و بعد از قرارگیری در این محیط انجام شدند. در شکل ۲ نمایی از فرایند دستگاه نشان داده شده است.



شکل ۲- مشخصات شرایط محیط آزمون چرخه حرارتی

آزمون چسبندگی کششی (Pull-off)

در بررسی میزان چسبندگی پوشش‌ها بر روی سطح نمونه، ابتدا نمونه‌های دارای پوشش در حدود ۱۴ روز در محیط آزمایشگاه قرار گرفته و بعد با استفاده از دالی‌های با قطر ۲۰ میلی‌متر به وسیله چسب اپوکسی دوجزئی بر روی سطح نمونه چسبانده شد و ۲۴ ساعت برای خشک شدن کامل آنها در آزمایشگاه نگهداری گردید. تعداد تکرار آزمون برای هر پوشش ۵ نمونه بود. همچنین از استاندارد ASTM D-4541 برای انجام آزمون استفاده شد. به منظور بررسی میزان چسبندگی کششی نمونه‌های پوشش‌خورده، آنها با

استفاده از آزمون چرخه حرارتی در دو مرحله قبل و بعد از چرخه حرارتی مورد ارزیابی قرار گرفتند تا میزان مقاومت پوشش اعمال شده در آزمون چسبندگی کششی مشخص گردد.

آزمون براقیت‌سنجی

دستگاه اندازه‌گیری براقیت‌سنج از زاویه‌های مشخصی پرتوی نوری را به سطح نمونه می‌تاباند و از محاسبه میزان جذب نور برحسب درصد نسبت تابش به انعکاس، مقدار براقیت سطح را اندازه می‌گیرد. در این آزمون از دستگاه

چرخه حرارتی، بیشترین میزان چسبندگی مربوط به پوشش کروم می‌باشد که به ترتیب نسبت به نمونه‌های پوشش‌خورده پلی‌یورتان، فسفرسانس، روغنی و آلکیدی به ترتیب به میزان ۱۵۳، ۱۵۵، ۱۶۰ و ۱۹۷ درصد بیشتر است. پس از قرارگیری نمونه‌ها در اتاقک چرخه حرارتی، پوشش فسفرسانس نسبت به سایر پوشش‌ها دچار کاهش میزان چسبندگی کششی گردید و مقدار چسبندگی کششی آن ۳۸ درصد کاسته شد اما سایر پوشش‌های روغنی، کروم، پلی-یورتان و آلکیدی به ترتیب به میزان ۴۵، ۴۸، ۵۳ و ۵۹ درصد از میزان مقاومت چسبندگی آنها کاسته است. در مقایسه قرارگیری پوشش‌ها در حالت‌های قبل و بعد از قرارگیری در اتاقک چرخه حرارتی، با قرارگیری در اتاقک، باعث بروز تغییرات زیادی در روند افت میزان چسبندگی کششی نمونه‌ها گردید. این مقایسه نشان داد که پوشش کروم قبل از قرارگیری در اتاقک چرخه حرارتی از چسبندگی بهتری برخوردار بود اما پس از قرارگیری در اتاقک چرخه حرارتی، کمترین کاهش مقاومت به چسبندگی مربوط به پوشش فسفرسانس بود که کمتر از سایر پوشش‌ها دچار کاهش مقاومت چسبندگی شد. اما بر اساس نتایج می‌توان گفت مطلوبترین پوشش، پوشش کروم می‌باشد که از مقاومت چسبندگی بیشتری برخوردار بود. همچنین نتایج آزمون آماری نشان داد که پوشش‌ها در گروه‌بندی دانکن به ۷ گروه طبقه‌بندی شده و میانگین تجزیه واریانس آنها نیز معنی‌دار بوده است که در شکل ۳ این گروه‌بندی‌ها نشان داده شده است.

ب- پوشش‌های تقویت شده با نانو ذرات رس

در نمونه‌های حاوی نانو ذرات رس نتایج نشان داد که نمونه پوشش‌خورده کروم از میزان چسبندگی بیشتری نسبت به سایر پوشش‌ها برخوردار بوده است. همچنین پوشش کروم نسبت به سایر پوشش‌های پلی‌یورتان، فسفرسانس، روغنی و آلکیدی به ترتیب به میزان ۱۵۲، ۱۵۷، ۱۷۳ و ۲۰۳ درصد مقاومت به چسبندگی بیشتری داشته است. پس از قرارگیری در اتاقک چرخه حرارتی مشخص شد که دو

مدل نووا^۱ استفاده گردید که دارای استاندارد ASTM 430 E بود که از زاویه ۶۰ درجه شده است. این آزمون در دو مرحله قبل و بعد از چرخه حرارتی مورد سنجش و بررسی قرار گرفته است.

آزمون ترک سطحی (Surface cracking)

در این آزمون میزان ترک خوردگی سطح مطابق با استاندارد ISO 4628-4 که در سال ۱۹۸۲ تصویب شد انجام گردید. روش محاسبه به وسیله این آزمون، با استفاده از میزان تغییرات ترک سطح پوشش که از ۰ تا ۵ متغیر است انجام می‌شود (۰ = بدون ترک و ۵ = بیشترین ترک). برای بررسی میزان ترک سطحی پوشش، نمونه‌ها با استفاده از قرارگیری در اتاقک چرخه حرارتی، میزان تغییرات در ترک سطحی قبل و بعد از آزمون چرخه حرارتی با استفاده از ایجاد تغییرات دمایی مختلف ذکر شده قرار گرفته و میزان ترک سطحی پوشش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند.

طراحی آزمایش

با استفاده از نرم‌افزار آماری spss نتایج حاصل مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته که با استفاده از آزمون واریانس به صورت طرح کاملاً تصادفی به منظور بررسی معنی‌دار بودن میانگین نمونه‌ها انجام شده و با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن نیز عمل مقایسه میانگین داده‌ها انجام گردیده است.

نتایج

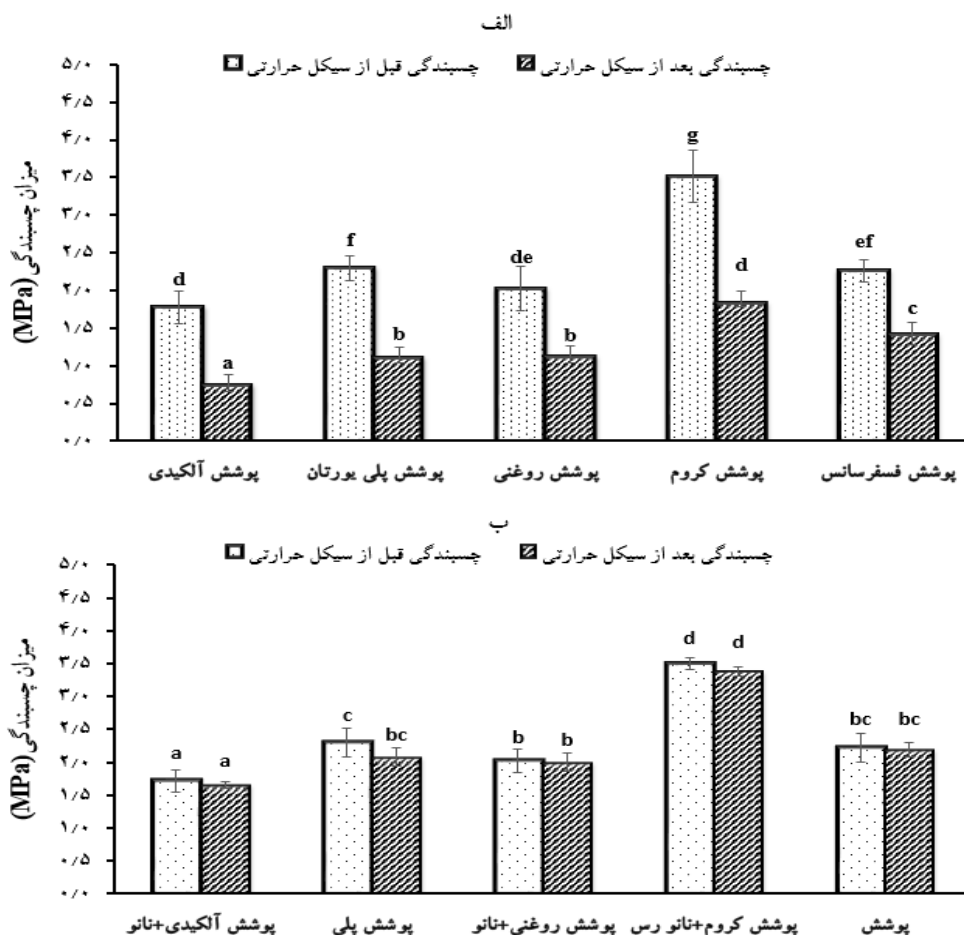
آزمون چسبندگی پوشش و تأثیر چرخه حرارتی

الف- پوشش‌های فاقد نانو ذرات

نتایج به دست آمده میزان تغییرات را در چسبندگی کششی در اتاقک چرخه حرارتی در شکل ۴ الف نشان داده است. در نمونه‌های پوشش‌خورده، قبل از قرارگیری در اتاقک

پوشش کروم از سایر پوشش‌ها مطلوب‌تر و پوشش آلکیدی از نامطلوبیت بیشتری برخوردار بوده است. همچنین نتایج نشان داد که قبل از چرخه حرارتی پوشش پلی‌یورتان از مقاومت به چسبندگی بیشتری نسبت به پوشش فسفرسانس برخوردار بوده است، ولی پس از چرخه حرارتی شاهد عکس این فرایند بود. نتایج آزمون آماری نشان داد، پوشش‌ها به ۴ گروه طبقه‌بندی شده و میانگین تجزیه واریانس آنها معنی‌دار بوده است که در شکل ۳ ب نشان داده شده است.

پوششی که از چسبندگی کششی بیشتری برخوردار بودند، پوشش فسفرسانس و روغنی می‌باشند که از چسبندگی کششی آنها به مقدار ۱ درصد کاسته شده است. بعد از آن پوشش‌ها، پوشش کروم و آلکیدی بود که از میزان مقاومت چسبندگی آنها بیشتر کاسته شد که مقدار آنها نیز به میزان ۳/۵ درصد بود. به علاوه، آخرین پوششی که بیشترین کاهش مقاومت چسبندگی را دارا بود پوشش پلی‌یورتان به میزان ۱۰ درصد بود. در مقایسه بین دو حالت قبل و بعد از قرارگیری در محیط چرخه حرارتی، مشخص گردید که میزان تغییرات چسبندگی به مقدار ناچیز و اندک بوده و



شکل ۳- میزان چسبندگی کششی در نمونه‌های فاقد و حاوی نانو ذرات رس قبل و بعد از چرخه حرارتی

آزمون براقیت‌سنجی پوشش و تأثیر چرخه حرارتی

الف- پوشش‌های خام

نتایج حاصل از تغییرات در میزان براقیت نمونه‌های مختلف پوشش‌خورده قبل و بعد از قرارگیری در اتاقک چرخه حرارتی نشان داد که نمونه‌های فاقد نانو ذرات رس و قبل از چرخه حرارتی، میزان براقیت پوشش کروم به مقدار قابل توجهی در حدود سه برابر نسبت به دیگر پوشش‌ها بالا است و میزان براقیت آن در حدود ۱۴۰ درصد می‌باشد که نسبت به سایر پوشش‌ها به ترتیب در پوشش پلی‌یورتان ۲۵۴ درصد، پوشش فسفرسانس ۲۷۷ درصد، پوشش روغنی ۲۸۳ درصد و پوشش آلکیدی با کمترین میزان براقیت، ۲۹۳ درصد بیشتر است. پس از قرارگیری نمونه‌ها در اتاقک چرخه حرارتی، با ایجاد تغییرات دمایی در نمونه‌ها نتایج نشان داد که پوشش پلی‌یورتان به میزان ۳۵ درصد از میزان براقیت آن کاسته شد و پس از آن پوشش فسفرسانس به مقدار ۳۷ درصد، پوشش روغنی ۳۹ درصد، پوشش کروم ۴۰ درصد و بیشترین میزان کاهش براقیت متعلق به پوشش آلکیدی در حدود ۴۵ درصد کاهش بوده است. در مقایسه دو حالت قبل و بعد از چرخه حرارتی، مشخص گردید که با قرارگیری نمونه‌ها در اتاقک چرخه حرارتی، شاهد کاهش حدود یک‌سوم از میزان براقیت پوشش‌ها بودیم. همچنین مشخص گردید به‌طورکلی میزان مقاومت پوشش پلی‌یورتان در حفظ میزان براقیت بیشتر از سایر پوشش‌ها بوده است و نامطلوب‌ترین پوشش مربوط به پوشش آلکیدی می‌باشد. طبق نتایج آماری به‌دست‌آمده، پوشش‌ها به ۸ گروه آماری تقسیم شده و نتایج تجزیه واریانس آنها معنی‌دار بوده است که در شکل ۴ الف نشان داده شده است.

ب- پوشش‌های تقویت شده با نانوذره رس

نتایج نمونه‌های تقویت شده با نانو ذرات رس قبل از قرارگیری در اتاقک چرخه حرارتی نشان داد که پوشش کروم با فاصله بسیار زیادی نسبت به سایر پوشش‌ها از

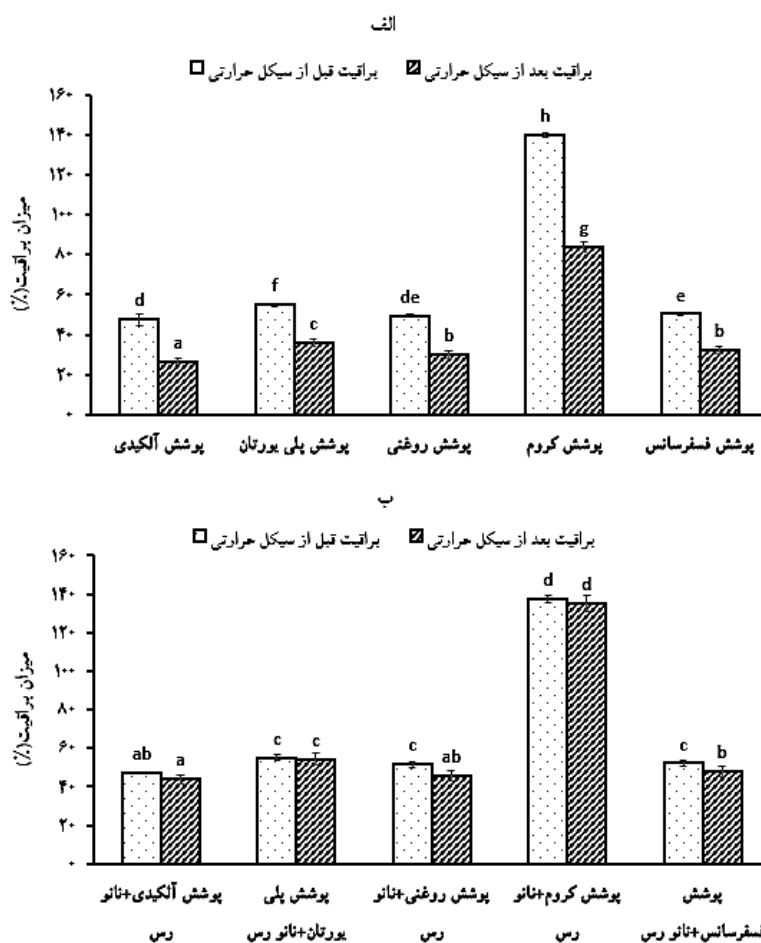
براقیت بالایی در حدود ۱۳۷/۴ درصد قرار دارد که نزدیک به سه برابر سایر پوشش‌ها می‌باشد. اما چهار پوشش دیگر با مقدار اندک فاصله از یکدیگر، میزان براقیت آنها به نسبت پوشش کروم به ترتیب برای پوشش‌های پلی‌یورتان، فسفرسانس، روغنی و آلکیدی به میزان ۲۴۸، ۲۶۳، ۲۶۶ و ۲۸۹ است. پس از قرار دادن نمونه‌ها در داخل دستگاه اتاقک چرخه حرارتی نتایج حکایت از آن داشت که پوشش پلی‌یورتان نسبت به سایر پوشش‌ها از میزان براقیت آن در حدود ۱/۵ درصد کاسته شده است؛ اما چهار پوشش دیگر بیشتر از پوشش پلی‌یورتان دچار کاهش میزان براقیت شدند. به گونه‌ای که به ترتیب نسبت به پوشش پلی‌یورتان، پوشش کروم به میزان ۲ درصد، پوشش آلکیدی به میزان ۷ درصد، پوشش فسفرسانس به میزان ۸ درصد و پوشش روغنی به میزان ۱۱ درصد می‌باشد. نتایج مقایسه قبل و بعد از چرخه حرارتی نشان داد که تغییرات اندکی در میزان براقیت پوشش‌ها حاصل شده است. استفاده از نانو ذرات از کاهش مقدار براقیت پوشش کاسته است. در میان تمامی نمونه‌ها پوشش کروم بیشترین براقیت و پوشش آلکیدی دارای کمترین براقیت بوده است. نتایج مطالعه آماری نشان داد اختلاف معناداری میان تیمارها مشاهده می‌شود و به ۴ گروه اصلی تقسیم شده‌اند (شکل ۵ ب).

آزمون سنجش ترک سطحی

نتایج حاصل از تغییرات میزان ترک سطحی در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد، قبل از قرارگیری در اتاقک چرخه حرارتی، در هیچ‌یک از پوشش‌ها ترک سطحی مشاهده نشد. پس از قرارگیری در دستگاه چرخه حرارتی، نمونه‌های فاقد نانو ذرات به ۴ گروه طبقه‌بندی گردید. به ترتیب کمترین و بیشترین میزان ترک سطحی در پوشش‌های کروم، روغنی، فسفرسانس، آلکیدی و پلی‌یورتان مشاهده شد. به عبارت دیگر بهترین عملکرد مربوط به پوشش کروم بود و بدترین عملکرد مربوط به پوشش آلکیدی و پلی‌یورتان می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد، در نمونه‌های پوششی تقویت شده با نانو ذرات عملکرد متفاوت بود. قبل

بیشترین میزان ترک سطحی در پوشش‌های روغنی، فسفرسانس، آلکیدی و پلی‌یورتان مشاهده شد. به عبارت دیگر عملکرد پوشش‌های روغنی و فسفرسانس مشابه هم مشاهده شد و ضعیف‌ترین پوشش مربوط به پوشش‌های آلکیدی و پلی‌یورتان بود. یادآوری می‌شود که استفاده از نانو ذرات رس باعث شد به‌طور کلی مقاومت نمونه‌ها نسبت به ترک افزایش یابد.

از قرارگیری در اتاقک چرخه حرارتی، در هیچ‌یک از پوشش‌ها ترک سطحی مشاهده نشد و همه پوشش‌ها در یک گروه طبقه‌بندی گردید. پس از چرخه حرارتی نمونه‌های پوششی تقویت شده با نانو ذرات به ۲ گروه طبقه‌بندی گردید. در نمونه پوشش داده شده با کروم که بهترین عملکرد را می‌توان مشاهده نمود حتی پس از چرخه حرارتی ترک سطحی در سطح پوشش مشاهده نشد. به ترتیب کمترین و



شکل ۴- میزان برآقیت پوشش در نمونه‌های فاقد و حاوی نانو ذرات رس قبل و بعد از چرخه حرارتی

جدول ۲- میزان ترک سطحی پوشش در نمونه‌های فاقد و حاوی نانو ذرات رس قبل و بعد از چرخه حرارتی

نوع پوشش	پوشش آلکیدی	پوشش پلی‌یورتان	پوشش روغنی	پوشش کروم	پوشش فسفرسانس
قبل از چرخه حرارتی	۰	۰	۰	۰	۰
بعد از چرخه حرارتی	۴	۴	۲	۱	۳
نوع پوشش	پوشش آلکیدی+	پوشش پلی یورتان+نانو رس	پوشش روغنی+نانو رس	پوشش کروم+نانو رس	پوشش فسفرسانس+
قبل از چرخه حرارتی	۰	۰	۰	۰	۰
بعد از چرخه حرارتی	۲	۲	۱	۰	۱

بحث

در تحقیق انجام شده نتایج کلی حاصل نشان داد که استفاده از پوشش‌های مذکور به تنهایی توانایی حفظ پوشش را ندارند که با استفاده از نانو ذرات رس، باعث افزایش مقاومت و حفظ پوشش‌ها گردید. در قسمت نتایج آزمون چسبندگی کششی قبل از چرخه حرارتی نشان داد که پوشش کروم از چسبندگی بیشتر و پوشش آلکیدی از چسبندگی کمتری نسبت به سایر پوشش‌ها برخوردار بودند که می‌توان علت آن را مقاومت ذاتی بیشتر پوشش‌های کروم نسبت به پوشش‌های پایه حلال آلکیدی ذکر نمود. همچنین به دلیل پایه آب بودن پوشش کروم مورد استفاده احتمال جذب و نفوذ بیشتر پوشش به بافت چوبی نسبت به پوشش پایه حلال آلکیدی وجود دارد. نتایج تحقیقات در سال‌های اخیر نیز بر روی پوشش‌های پایه آب نشان داد که علت کاهش مقاومت چسبندگی پوشش و تغییرات در مقاومت پوشش، وجود تغییرات رطوبتی و کاهش در میزان جذب و نفوذ پوشش است که با تحقیقات De Meijer و Militz (۱۹۹۸) مطابقت دارد. حتی پس از استفاده از نانو ذرات رس شاهد تغییرات زیادی در چسبندگی پوشش نبودیم اما با ورود به اتاقک چرخه حرارتی نشان داد که تغییرات دمایی تأثیر منفی زیادی در نمونه‌های فاقد نانو ذرات رس گذاشته ولی در نمونه‌های حاوی نانو ذرات روند تخریب کاهش یافته و به شدت به مقاومت پوشش در برابر تغییرات

چسبندگی کششی کمک کرده است. استفاده از نانو ذرات رس به دلیل مقاومت بالای این نانو ذره باعث گردید که سایر خواص‌های پوشش تا حد زیادی حفظ گردد. نتایج مطالعات Khojasteh Khosro (۲۰۱۴) نشان داد که استفاده از نانو ذرات بر روی پوشش‌ها باعث افزایش مقاومت پوشش می‌شود که با این نتایج همخوانی و مطابقت دارد. به علاوه، از نتایج آزمون براقیت‌سنج می‌توان نتیجه‌گیری نمود که پوشش کروم دارای بیشترین میزان براقیت بوده و کمترین براقیت سطح پوشش مربوط به پوشش آلکیدی می‌باشد. پس از قرارگیری در دستگاه اتاقک چرخه حرارتی، در نمونه‌های فاقد نانو رس، میزان براقیت پوشش‌ها به حدود نصف کاهش یافت که در مقایسه با بررسی‌های انجام شده توسط Chang و همکاران (۲۰۱۹) بر تأثیر چرخه حرارتی سرد و گرم بر تغییرات سطح پوشش نشان‌دهنده وجود تغییرات در براقیت پوشش بعد از چرخه حرارتی می‌باشد که با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق مطابقت دارد. ولی در نمونه‌های دارای نانو ذرات رس از بروز تغییرات و تخریب زیاد جلوگیری شد و کاهش میزان براقیت افت زیادی نسبت به نمونه‌های فاقد نانو ذرات نداشته است که این خود نشان‌دهنده عملکرد مثبت نانو ذرات در پوشش می‌باشد. در مقایسه با مطالعات انجام شده توسط Moosavi و همکاران (۲۰۱۲) به این نتیجه رسیدند که استفاده از نانو ذرات سیلیکا باعث کاهش افت میزان براقیت پوشش می‌-

- coatings on photo degradation of wood. *Bioresource technology*, 99(5), 1073-1079.
- 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.
- De Meijer, M. and Miltz, H., 1998. Wet adhesion measurements of wood coatings. *Holz als Roh und Werkstoff*, 56, 306-306.
- Ghosh, M., Gupta, S. and Kumar, V.S., 2015. Studies on the loss of gloss of shellac and polyurethane finishes exposed to UV. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 17(1), 39-44.
- Gupta, S., Singh, C.P. and Kumar, V.K., 2016. Gloss of four common wood coatings measured before and after their exposure to high humidity. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, 7(2).
- Hang, T.T.X., Dung, N.T., Truc, T.A., Duong, N.T., Van Truoc, B., Vu, P.G., Hoang, T., Thanh, D.T.M. and Olivier, M.G., 2015. Effect of silane modified nano ZnO on UV degradation of polyurethane coatings. *Progress in Organic Coatings*, 79, 68-74.
- Harandi, D., Ahmadi, H. and Mohammadi Achachluei, M., 2015. Evaluation of Color and Structural Changes in Wood Modified Nano-TiO₂ and Nano-ZnO as UV Protection. *Color. Technol. Journal of Color Science and Technology*, 9, 207-216.
- ISO 4628-4 (1982) Paints and vanishes—evaluation of degradation of paint coatings—designation of intensity, quantity and size of common types of defect. Part 4: designation of degree of cracking.
- Kaygin, B. and Akgün, E., 2008. A nano-technological product: An innovative varnish type for wooden surfaces.
- Kaygin, B. and Akgun, E., 2008. Comparison of conventional varnishes with Nanolack UV varnish with respect to hardness and adhesion durability. *International Journal of Molecular Sciences*, 9(4), 476-485.
- Khojasteh Khosro, S. 2014. Investigation on the effect of nano Zinc Oxide on physical properties of polyurethane clear coat in wooden furniture surfaces, degree of M.Sc, Shahid Rajae Teacher Training University, Iran. 31(2), 362-373.
- Khojasteh Khosro, S.K., 2015. The effect of adding zinc oxide nanoparticles on color change and adhesion strength of polyurethane coating on wood surface. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30(4), 690-704.
- Kocafe, D. and Saha, S., 2012. Comparison of the protection effectiveness of acrylic polyurethane coatings on photo degradation of wood. *Bioresource technology*, 99(5), 1073-1079.
- شود که با نتایج این تحقیق مطابقت داشته است. همچنین از نتایج ترک سطحی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تمامی نمونه‌ها قبل از چرخه حرارتی فاقد ترک سطحی می‌باشد، ولی پس از ورود به اتاقک چرخه حرارتی به یکباره پوشش‌ها دچار ترک سطحی اندکی شدند. به گونه‌ای که بیشترین مربوط به دو پوشش آلکیدی و پلی‌یورتان بوده و کمترین میزان ترک مربوط به پوشش کروم بوده است. اما در نمونه‌های حاوی نانو ذرات رس میزان تغییرات ترک سطحی به دلیل وجود نانو ذرات رس به صورت معناداری کاهش یافت و عملکرد پوشش را ارتقاء داده است. تحقیقات Kocafe و Saha (۲۰۱۲) نشان داد که استفاده از تقویت‌کننده‌های لیگنی در پوشش سطحی باعث کاهش ترک‌پذیری سطح پوشش می‌شود که با این تحقیقات مطابقت دارد. بنابراین با توجه به ارزیابی نتایج می‌توان گفت که استفاده از پوشش کروم مناسب‌تر از سایر پوشش‌ها می‌باشد و می‌توان با مصرف نانو ذرات رس مقاومت‌های این پوشش را افزایش داد. همچنین می‌توان برای افزایش مقاومت و حفظ خواص ظاهری سایر پوشش‌ها، نانو ذرات رس را به آنها افزود تا از مطلوبیت بیشتری برخوردار شوند. بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده تأثیر استفاده از سایر نانو ذرات در بهبود مقاومت به شعله و حرارت پوشش‌های رایج در صنعت مبلمان مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد تا بتوان از نتایج آن در صنعت چوب و مبلمان بهره بیشتری برد.

منابع مورد استفاده

- Blanchard, V. and Blanchet, P., 2011. Color stability for wood products during use: Effects of inorganic nanoparticles. *Bio Resources*, 6(2), 1219-1229.
- Chang, C.W., Kuo, W.L. and Lu, K.T., 2019. On the effect of heat treatments on the adhesion, finishing and decay resistance of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) and Formosa acacia (*Acacia confuse* Merr. (Leguminosae) Forests, 10(7), 586.
- Chin, J., Nguyen, T., Byrd, E. and Martin, J., 2005. Validation of the reciprocity law for coating photo degradation. *JCT research*, 2(7), 499-508.
- Chou, P.L., Chang, H.T., Yeh, T.F. and Chang, S.T., 2008. Characterizing the conservation effect of clear

- approach to evaluate the interlayer adhesion of organic coatings. *Progress in Organic Coatings*, 52(4), 298-305.
- Moosavi, M., Moradian, S., Bastani, S. and Jalili, M., 2012. The use of experimental design for optimizing the photo stabilization of a substrate printed by a water-based overprint clear coat. *Journal of Color Science and Technology*. Hand, 2, 2.
- Perera, D.Y., 1996. On adhesion and stress in organic coatings. *Progress in organic coatings*, 28(1), 21-23.
- Silivane, A. and Ocheane, M., 2008. Wood protection coatings and reservatives,. [http://www.Freedoniagroup.com/wood protection](http://www.Freedoniagroup.com/wood%20protection).
- Sönmez, A., Budakçı, M. and Pelit, H., 2011. The effect of moisture content of the wood on layer performance of water borne varnishes. *Bio Resources*, 6(3), 3166-3177.
- Standard test method for Pull-Off strength of coatings using portable adhesion testers, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, D4541, 2002.
- Talaie, A., Rezvani, M. and Dust, M.H., 2018. Investigation of Adhesion Strength of Alkyd and Nitro Cellulose Transparent Coatings in Different Heat-treated Poplar Wood. *Journal of Color Science and Technology*, 171-180.
- coatings containing bark extracts on three heat-treated North American wood species: Surface degradation. *Applied surface science*, 258(13), 5283-5290.
- Latibari, A.J., 2007. Science and technology of lignocellulose materials adhesion. Islamic Azad University, Karaj Branch, Publications.
- Lei, H., Xu, T. and Gao, C., 2010. Characterization of the dispersion of tetrapod-like nano-ZnO whiskers in acrylic resin and properties of the nano-composite coating system. *Journal of coatings technology and research*, 7(1), 91.
- Li, T., Chen, Q., Schalder, L.S., Siegel, R.W., Mendel, J. and Ervin, G.C., 2004. The glass transition behavior of an acrylic nano composite, 109-112.
- Lowden, L.A. and Hull, T.R., 2013. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire science reviews*, 2(1), 4.
- Lowry, M.S., Hubble, D.R., Wressell, A.L., Vratsanos, M.S., Pepe, F.R. and Hegedus, C.R., 2008. Assessment of UV-permeability in nano-ZnO filled coatings via high throughput experimentation. *Journal of Coatings Technology and Research*, 5(2), 233-239.
- Miszczczyk, A. and Schauer, T., 2005. Electrochemical

Study of thermal fatigue on the cracking, adhesion and gloss properties of wood coatings

H. Gholamiyan^{1*} and A. Javid²

1*-Corresponding author, Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: Hadi_gholamiyan@ut.ac.ir

2 -MSc., Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: Nov., 2020 Accepted: April, 2021

Abstract

In this study, the effect of thermal cycle on surface degradation and cracking of wood coatings reinforced with clay nanoparticles and changes in its adhesion and gloss properties were investigated. Solvent-based coatings (alkyd, polyurethane), water-based coatings (chromium and phosphorescence) and oil-based coatings (oil-based coatings) were applied on *Abies alba* wood. Techniques and tests for measuring surface cracks, tensile adhesion and gloss meter were used to analyze the results before and after thermal fatigue. The results showed that the best coating performance in all three tests of tensile adhesion, surface gloss and surface crack is chrome coating and the most unsuitable coating is alkyd coating. Moreover, the results showed that the addition of clay nanoparticles before the thermal cycle did not differ much in the properties of the coating, but after the thermal cycle the strength of the coatings was increased. This increase in adhesion strength in chromium, phosphorescence, oil, polyurethane and alkyd coatings was nearly doubled. In addition, the use of clay nanoparticles could reduce the cracking of the coating due to thermal fatigue and improve the performance of the coatings.

Keywords: Surface cracking, wood, adhesion, gloss, thermal cycle.