

## بررسی اثر تنش گرمایی بر ویژگی‌های سطحی پوشش‌های چوب

هادی غلامیان<sup>۱\*</sup>، احمد جاوید<sup>۲</sup>

۱- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، صندوق پستی: ۴۱۱۱

۲- کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، صندوق پستی: ۴۱۱۱

### چکیده

در این پژوهش به بررسی تاثیر استفاده از چرخه حرارتی بر تغییرات مقاومت به ضربه و سختی برخی پوشش‌های مورد استفاده در صنعت چوب و مبلمان پرداخته شده است. از گونه چوب چنار و از سه نوع پوشش آکرلیک، پلی‌یورتان و آلکیدی ساخت کارخانه ریف استفاده شد. همچنین از آزمون‌های سختی خراشی، سختی سنخ آونگی، ضربه و زبری جهت بررسی خواص سطحی نمونه‌ها قبل و بعد از پوشش‌دهی و تیمار حرارتی استفاده شد. نتایج نشان داد در میان پوشش‌ها بیشترین میزان مقاومت در برابر سختی خراشی و سختی آونگی مربوط به پوشش آلکیدی بود. اما در نتایج آزمون ضربه و زبری سطح مشخص گردید که پوشش آکرلیکی دارای مقاومت بیشتری نسبت به سایر پوشش‌های پلی‌یورتان و آلکیدی می‌باشد. در اثر تنش حرارتی میزان مقاومت‌ها به طور کلی در تمامی پوشش‌ها کاهش یافت و بهترین عملکرد مربوط به پوشش آکرلیکی بود. همچنین، نتایج تحلیل آماری نشان داد اختلاف معناداری میان پوشش‌های آکرلیکی و آلکیدی مشاهده می‌شود.

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۵

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۱/۱/۳۰

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۸۷۷۹

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۱۶۹

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.1.3.5

### واژه‌های کلیدی:

چوب چنار

پوشش

تنش گرمایی

آلکید

پلی‌یورتان

آکرلیک

\*Corresponding author: [Hadi\\_gholamiyan@ut.ac.ir](mailto:Hadi_gholamiyan@ut.ac.ir)



## Investigation of the Effect of Heat Stress on the Surface Properties of Wood Coatings

Hadi Gholamiyan\*, Ahmad Javid

Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, P. O. Box: 4111, Karaj, Iran

### ARTICLE INFO

Article history:

Received: 24-01-2021

Accepted: 26-06-2021

Available online: 19-04-2022

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

**DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.1.3.5**

**Keywords:**

Plane Wood

Coating

Thermal stresses

Alkyd

Polyurethane

Acrylic

### ABSTRACT

*This study investigates the effects of the thermal cycles on changes in impact resistance and hardness of some coatings used in the wood and furniture industries. Platanus wood species and three types of acrylic, polyurethane, and alkyd coatings made by the Reef factory were used. Also, scratch hardness, pendulum hardness, impact, and roughness tests were used to evaluate the surface properties of the samples before and after coating and thermal stresses. The results showed that the highest resistance to scratch hardness and pendulum hardness among the coatings were related to alkyd coatings. However, in the impact and surface roughness tests, it was found that Acrylic coating has more resistance than other polyurethane and alkyd coatings. Due to thermal stresses, the resistance generally decreased in all coatings, and the best performance was obtained with Acrylic coating. Also, the statistical analysis results showed a significant difference between Acrylic and alkyd coatings.*

\*Corresponding author: [hadi\\_gholamiyan@ut.ac.ir](mailto:hadi_gholamiyan@ut.ac.ir)



## ۱- مقدمه

چوب یک ماده طبیعی است که از چند زیست بسپار<sup>۱</sup> تشکیل شده است. چوب به دلیل مواجهه با عوامل مخرب خارجی، دچار تخریب و تغییرات زیستی، فیزیکی و مکانیکی می شود. همچنین به عنوان یک سازه مهندسی عواملی نظیر رطوبت، آتش، تغییر ابعاد و هوازگی باعث ایجاد محدودیت در استفاده از آن می گردد [۱]. انجام تیمار سطحی چوب به وسیله انواع پوشش ها می تواند مانع بروز این تغییرات یا کاهش روند تغییرات دوام چوب گردد. از این رو برای افزایش دوام و کاربرد چوب با روش های مناسب می بایست محدودیت های فنی چوب را کاهش داد. امروزه فرآیند پوشش دهی چوب و فرآورده های چوبی از اهمیت بالایی برخوردار است که علاوه بر زیبایی ظاهری باعث کاهش در میزان تخریب مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی می شود [۲]. همچنین، نوع پوشش و کیفیت سطح نیز از مهم ترین عوامل موثر بر کیفیت کلی محصول نهایی است [۳-۶]. روش پوشش دهی و نوع پوشش مصرفی بر سطح سازه های چوبی بسیار حائز اهمیت است، زیرا اگر پوشش مناسبی استفاده نگردد، باعث بروز هزینه های اضافی و یا کاهش عملکرد پوشش می شود [۷-۱۰]. انتخاب پوشش مناسب که در برابر پرتو فرابنفش، سایش، تغییرات سختی مقاوم باشد بسیار مهم است [۱۱-۱۴]. از این رو سطح چوب را باید با انواع پوشش های کاربردی حفاظت نمود تا در مواجهه با تغییرات حاصل از تبادل رطوبت و هوازگی تداوم پیدا کنند چرا که چوب با محدودیت های فنی زیادی روبرو است [۱۵]. با توجه به شرایط سرویس سازه های چوبی، ممکن است این سازه ها در شرایطی قرار گیرند که دچار تنش های گرمایی زیادی شوند، به عنوان مثال سازه های چوبی که مناطق گرمسیری مورد استفاده قرار می گیرند به دلیل شرایط خاص محیطی در طول شبانه روز دچار تغییرات دمایی زیادی می گردند که در طول روز بسیار گرم و در طول شب بسیار سرد می باشد که این اختلاف تا ۴۰ درجه سانتی گراد می باشد. بنابراین شناخت تاثیر نوسانات و تنش های گرمایی بر خواص پوشش های حفاظتی که بر سطح محصولات و سازه های چوبی اهمیت بسزایی دارد. جهت ارزیابی مقاومت به ضربه و سختی پوشش هایی که تحت نوسانات گرمایی قرار می گیرند روش های آزمونی متعددی وجود دارد و تحقیقات گسترده ای بر روی پوشش ها انجام شده است. طبق نتایج بدست آمده توسط چوا و همکارانش (۲۰۰۶) با استفاده از پوشش های سل-زل با درصدهای مختلف سیلیکای کلوئیدی در بستر بی کرنات، میزان مقاومت در برابر آزمون سختی مدادی بررسی گردید که نتایج نشان داد، از دلایل مقاومت در برابر خراش، مقدار مدول الاستیسیته، ضخامت و سفتی<sup>۲</sup> و چقرمگی<sup>۳</sup> نوع

پوشش مصرفی است [۱۶]. در تحقیق دیگری که به وسیله کایگان و همکارانش (۲۰۰۸) بر روی چوب راش و بلوط پوشش های سلولزی، پلی یورتان، پلی استر، لاک مصنوعی و نوعی پوشش نانو سیلیکا تیمار شده توسط پرتو فرابنفش که پوششی ترکیبی است اعمال گردیده است. نتایج به دست آمده نشان داد که پوشش نانو سیلیکا دارای مقاومت بالایی در برابر خراش آزمون مداد بوده و نسبت به سایر پوشش ها مقاومت بالاتری دارد و کم دوام ترین میزان دوام پوشش مربوط به پوشش لاک مصنوعی می باشد. همچنین، نوع گونه چوبی هیچ تاثیری بر مقاومت در برابر خراش نداشته و متاثر از نوع پوشش است [۱۷]. نتایج مطالعات سانگرمانو و همکارانش (۲۰۰۵) در خصوص اندازه گیری سختی میرایی و آونگی سطح چوب پوشش دار با نانو ذرات نشان داد، دلیل افزایش سختی، افزایش مقدار مدول الاستیسیته و همچنین وجود نانو ذرات سیلیس موجود در پوشش است که میزان زبری سطح را تغییر داده است [۱۸]. در پژوهش دیگری که دشتی زاده و همکارانش (۲۰۱۱) بر روی پوشش اکریلیک با استفاده از کامپوزیت نانو ذرات سیلیس انجام دادند به این نتیجه رسیدند که با اضافه کردن مقداری نانو سیلیس اصلاح شده، میزان سختی افزایش می یابد [۱۹]. بررسی اردینلر و همکارانش (۲۰۱۹) بر روی دو پوشش سلولزی و پلی یورتان با استفاده از آزمون سختی آونگی، مشخص گردید که میزان سختی پوشش سلولزی بیشتر از پوشش پلی یورتان بوده است [۲۰]. در نتایج به دست آمده از مطالعات هرمان و همکارانش (۲۰۲۰) با هدف تاثیر مواد افزودنی بر سختی آونگ به این نتیجه رسیدند که استفاده از مواد افزودنی بور و فسفات باعث کاهش در میزان سختی آونگ (پاندول) گردیده است [۲۱]. تحقیقات گورلین و همکارانش (۲۰۱۷) نیز به این نتیجه رسیدند که میزان سختی آونگی بر روی چوب کاج در اثر پوشش دهی ابتدا افزایش یافته اما پس از اعمال حرارت دچار افت میزان سختی گردید [۲۲]. یکی دیگر از آزمون هایی که مقاومت پوشش را به تغییر شکل ناگهانی نشان می دهد آزمون مقاومت به ضربه می باشد. آزمون ضربه اثرات آسیب ناشی از تماس تصادفی را که ممکن است در محل استفاده رخ دهد ارزیابی می کند. این آزمون با ارزیابی مستقیم اثر سقوط جسم، کره یا جسم دارت مانند که با سختی و ارتفاع مشخصی روی سطح نمونه مورد آزمایش قرار می گیرد انجام می شود و تغییرات حاصل از تغییر شکل سطح بررسی می گردد تا میزان انعطاف پذیری و ترک حاصل از ضربه پوشش مشخص و مقاومت آن ثبت گردد. در تحقیقات انجام پذیرفته توسط اردینلر و همکارانش (۲۰۱۹) بر روی پوشش های سلولزی و پلی یورتان نتایج به دست آمده آن ها نشان داد که میزان اثر ضربه در مقادیر به دست آمده پوشش پلی یورتان بیشتر از پوشش سلولزی بوده است که این مقادیر حاکی از میزان انعطاف پذیری پوشش پلی یورتان می باشد [۲۰]. طبق تحقیقات پاولیک و همکارانش (۲۰۲۰) مشخص گردید که میزان مقاومت به ضربه پوشش، رابطه بسیار زیادی با برهم کنش یا فعل و انفعالات بین

- 1- Biopolymer
- 2- Stiffness
- 3- Toughness

پوشش، سطح تمامی نمونه ها با سنباده ۲۸۰ مورد پرداخت قرار گرفت.

### ۲-۳- نوع پوشش سطحی

از سه نوع پوشش آکرلیکی، پلی یورتان و آلکیدی ساخت کارخانه ریف و با دستگاه فیلم کش با ضخامت فیلم تر ۲۰۰ میکرون این مطالعه صورت پذیرفت.

**الف: پوشش آلکیدی:** این پوشش تک جزئی و بر پایه رزین های آلکیدی می باشد. جهت پوشش دهی با تینر مخصوص Reefsolve-100 رقیق شده و پس از گذشت ۴ الی ۶ ساعت پوشش کامل خشک می شود. مشخصات این پوشش که از شرکت سازنده تهیه شده است، در جدول ۱ نشان داده شده است.

**ب: پوشش پلی یورتان:** این پوشش دو جزئی و بر پایه رزین آکرلیک - ایزوسیانات آلیفاتیک می باشد. جهت پوشش دهی با توجه به نسبت اختلاط کارخانه جزء دوم و جزء اول را با یکدیگر ترکیب کرده و پس از گذشت ۲۴ ساعت پوشش کامل خشک می باشد. مشخصات این پوشش نیز که از شرکت سازنده تهیه شده است، در جدول ۱ نشان داده شده است.

**ج: پوشش آکرلیکی:** این محصول بر پایه امولسیون پلیمر آکرلیک می باشد. جهت پوشش دهی ابتدا شفاف پوشه را با نسبت ۱ به ۲ با آب رقیق کرده و توسط پیستوله روی سطح پاشیده شد. همچنین زمان خشک شدن کامل ۲ الی ۳ ساعت در دمای محیط ۲۰ الی ۳۰ درجه می باشد. مشخصات این پوشش که از شرکت سازنده تهیه شده است، در جدول ۱ نشان داده شده است.

### ۲-۴- روش کار

#### ۲-۵- آزمون چرخه حرارتی

در آزمون اتاقک چرخه حرارتی با فراهم کردن تنش های دمایی گرم و سرد و تحلیل و ارزیابی آن ها شرایط خستگی دمایی مورد بررسی قرار گرفت. دامنه دمایی این آزمون در ناحیه دمایی ۸۰+ الی ۳۰- درجه سانتی گراد است اما دامنه دمایی که در این آزمون به کار رفت در ناحیه ۳۰+ الی ۳۰- درجه سانتی گراد به مدت ۱۰۰ ساعت و تعداد چرخه ۵۰ مورد آزمایش بود. این آزمون در آزمایشگاه نانو مهندسی سطح دانشکده مکانیک دانشگاه تهران با دستگاه Espec مدل VLC-301P و استانداردهای ASTM C1104 و ASTM C411 انجام گرفته است [۳۱-۳۰] (شکل ۱). که آزمون های سختی خراشی تست مداد، سختی سنج آونگی، آزمون ضربه و زبری با قرارگیری در محیط تنش چرخه حرارتی مورد بررسی قرار گرفتند.

پوشش و ماده چوبی دارد [۲۳]. در تحقیقات به دست آمده آقاجانی و همکارانش (۲۰۲۰) بر روی تغییرات حاصل از ضربه پذیری و زبری پوشش های نانو با درصد های مختلف نانو الاستومر نشان داد که با افزایش میزان نانو الاستومر میزان مقاومت به ضربه پذیری افزایش و میزان زبری پوشش نیز کاهش می یابد [۲۴]. نتایج تحقیقات انجام شده توسط نوروزی و محبی (۲۰۱۶) بر روی تاثیر پوشش های گوناگون روی چوب درخت راش نشان داد، میزان زبری سطح پس از استفاده از دو پوشش نانو روی و نانو کیتوزان کاهش یافته و باعث شکل گیری سطحی صاف تر می گردد [۲۵]. در بررسی دیگری توسط ژونگ و همکارانش (۲۰۱۳) به این نتیجه رسیدند که چگالی چوب تاثیر به سزایی بر مقدار زبری سطح آن دارد [۲۶]. نوروزی و همکاران (۲۰۲۰) بر روی پوشش پلی اکریلات به این نتیجه رسیدند که در اثر پوشش دهی سطح چوب، میزان زبری کاهش می یابد [۲۷]. نتایج تحقیقات چاکلی سیر و همکارانش (۲۰۱۱) نشان داد، میزان زبری در میان پوشش های گوناگون متفاوت می باشد و زبری سطح در نمونه های پوشش خورده سلولزی نسبت به پوشش پلی یورتان پایه آب بیشتر است [۲۸]. در تحقیقات دیگری که توسط غلامیان و همکارانش (۲۰۱۸) بر روی پوشش های شفاف و تغییرات آن انجام پذیرفت نشان داد که میزان تغییرات زبری پوشش به نوع پوشش بستگی داشته و عامل اصلی بروز زبری پوشش به میزان مقاومت پوشش و درصد جذب آن بستگی دارد [۲۹]. هدف از این مطالعه بررسی اثر تنش گرمایی بر ویژگی های سطحی پوشش های چوب می باشد. همچنین، در این مطالعه تلاش شده است میزان مقاومت به ضربه و سختی پوشش های شرکت ریف که در ایران تولید گسترده ای دارد و بسیاری از واحدهای تولیدی مبلمان از این رنگ ها استفاده می نمایند مورد ارزیابی قرار گیرد و همچنین تاثیر چرخه و تنش های حرارتی را بر روی آنها مورد بررسی قرار گیرد تا در آینده بتوان بر اساس ویژگی های عملیاتی این پوشش ها، کاربردهای مناسب را در صنعت چوب و مبلمان کشور پیشنهاد نمود.

### ۲- بخش تجربی

#### ۲-۱- مواد

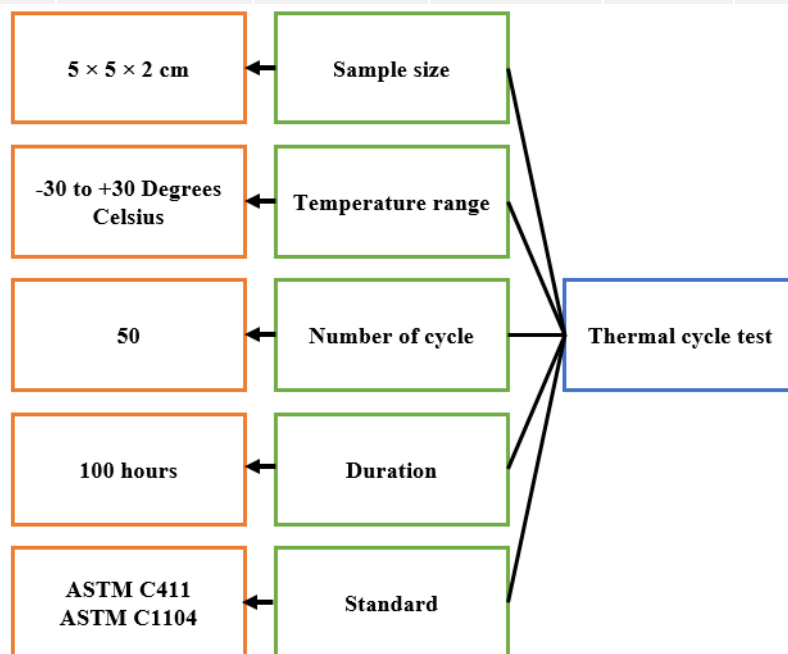
#### ۲-۲- نوع گونه چوبی

در این مطالعه از الوارهای نیمه خشک گونه چوبی چنار (*Platanus orientalis*) که مصرف زیادی در صنعت مبلمان دارد استفاده شد. ابتدا پس از برش کاری اولیه به ابعاد ۲۰×۱۰۰×۲۰ میلی متر (طول×عرض×ضخامت) جهت رسیدن به رطوبت تعادل ۱۲ درصد به مدت ۱ ماه در اتاق کلیما قرار داده شد و سپس طبق استانداردهای ASTM D ۳۳۶۳ و ASTM D-۴۳۶۶-۹۵ آزمون های نمونه های چوبی برش ثانویه داده شد. همچنین، قبل از اعمال

جدول ۱: مشخصات فنی پوشش ها.

Table 1: Technical specifications of coatings.

Alkyd	Clear and transparent	0.95±0.9	Maximum 4	Maximum 168	85-110	120-130	30-40
Polyurethane	White and colorful	0.9±1.2	Maximum 1.5	Maximum 168	90-110	120-130	30-40
Acrylic	Colorless	0.05±1	Maximum 0.5	Maximum 2	80-100	120-130	25-35



شکل ۱: مشخصات شرایط محیط آزمون چرخه حرارتی.

Figure 1: Specifications of thermal cycle test environment conditions.

## ۲-۶- آزمون سختی مدادی (تست مداد)

از دستگاه شرکت *Modern Shanghai* در این مطالعه استفاده شد و در این دستگاه سه نقطه با سطح مورد آزمایش چوب پوشش داده شده تماس داشته و دو نقطه توسط چرخ و یک نقطه توسط هسته مداد لمس می شود، زاویه ۴۵ درجه بین سطح و مداد ثابت می باشد. در شکل ۳ نمونه دستگاه نشان داده شده است.

## ۲-۷- آزمون سختی سنج آونگی

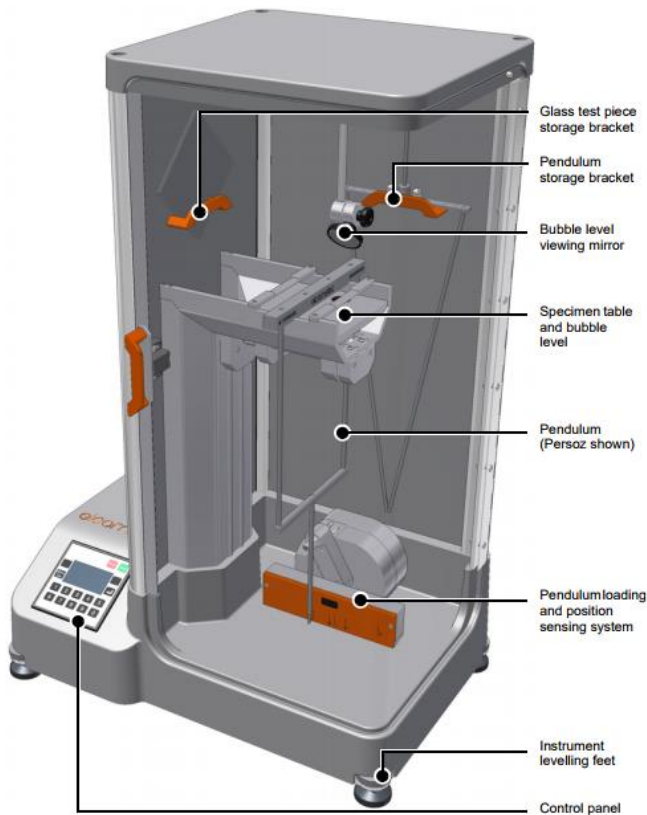
در این مطالعه از دستگاه سختی سنج آونگی (پاندولی) مدل Elcometer ۳۰۴۵ به روش کونینگ (*Koenig*) و با استاندارد ۹۵-۴۳۶۶ ASTM D استفاده شد. این آزمون که به آونگ میراشونده شهرت دارد و با تعیین زمان در دامنه نوسانی زاویه ۶ به ۳ درجه کاهش می یابد اندازه گیری شد. اساس کار این دستگاه به این صورت می باشد که آونگ (ساقچه ها فلزی و سخت) که روی سطح پوشش

آزمون مداد که برای شناسایی میزان خراش ایجاد شده روی سطح مورد بررسی قرار می گیرد، و سپس با استفاده از انواع مدادها با گرافیت های مشخص شده مورد ارزیابی سطح پوشش انجام می شود. این آزمون به روش تست سختی مداد با استفاده از استاندارد ۳۳۶۳ ASTM D انجام شد [۳۲]. سختی سنج مدادی ابزاری کاربری برای تست سختی و مقاومت به خراش فیلم رنگ می باشد. برای بیان اندازه سختی مدادی، از مقیاسی استفاده می کنیم که دامنه ای میان B۶ (سختی کمتر) الی H۹ (سخت ترین) است. (شکل ۲)



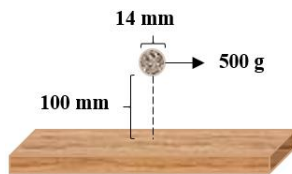
شکل ۲: میزان سختی و نرمی مداد

Figure 2: Hardness and softness of the pencil.



شکل ۴: شمایی از دستگاه اندازه گیری سختی سنج آونگی.

Figure 4: Schematic of pendulum hardness tester.



شکل ۵: شمایی از روش انجام آزمون ضربه

Figure 5: Schematic of the impact test method.

قرار گرفته، نوسان می کند و میزان زمان کاهش دامنه نوسان توسط شمارنده اندازه گیری می شود، هر چه پوشش سخت تر باشد اصطکاک کمتر می شود و زمان نوسان طولانی تر می گردد. در شکل ۴ شمایی از دستگاه اندازه گیری سختی سنج آونگی نشان داده شده است.

## ۸-۲- آزمون ضربه

از آزمون تغییر شکل سریع یا آسیب تصادفی با استاندارد ۴-۴۲۱۱ ISO استفاده شد. در این روش توپ فولادی با قطر ۱۴ میلی متر آزادانه با وزن ۵۰۰ گرم از ارتفاع استاندارد شده ۱۰۰ میلی متر روی سطح نمونه رها شد که به صورت طرحواره در شکل ۵ مشاهده می شود. تغییر شکل سطح با دقت و همچنین یک ذره بین (بزرگنمایی ۱۰ برابر) بررسی شد و مقاومت به ضربه از شماره ۱ (بیشترین تخریب) به ۵ (بدون تخریب) به صورت کیفی تعیین شد.

## ۹-۲- آزمون زبری

جهت اندازه گیری زبری سطح نمونه ها قبل و بعد از پوشش دهی و تیمار سطحی از استاندارد ISO ۴۲۸۷/۱ و دستگاه Mitutoyo مدل ۲۱۰-SJ کشور ژاپن استفاده شد. اندازه گیری کیفیت سطح با روش پروفیلومتری و براساس روش سوزنی و با مشخصات شعاع نوک قلم ۲ میکرون، زاویه تماس ۹۰ درجه، طول سنش پروفایل ۱۰ میلی متر بود. همچنین، از مشخصه Ra (میانگین زبری) مستخرج شده از دستگاه جهت آنالیز و تحلیل نتایج استفاده گردید.

## ۱-۲- آزمون آماری

با توجه به فرض توزیع نرمال داده ها و تصادفی بودن تمامی نمونه های آزمونی روش آماری تجزیه واریانس طبق طرح کاملاً تصادفی و مقایسه بین میانگین ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح اعتماد ۹۵ درصد انجام گرفت.



شکل ۳: دستگاه سختی سنج مداد.

Figure 3: Pencil hardness tester.

## ۳- نتایج و بحث

### ۱-۳- آزمون سختی خراشی (آزمون مداد)

#### الف - قبل از تنش حرارتی

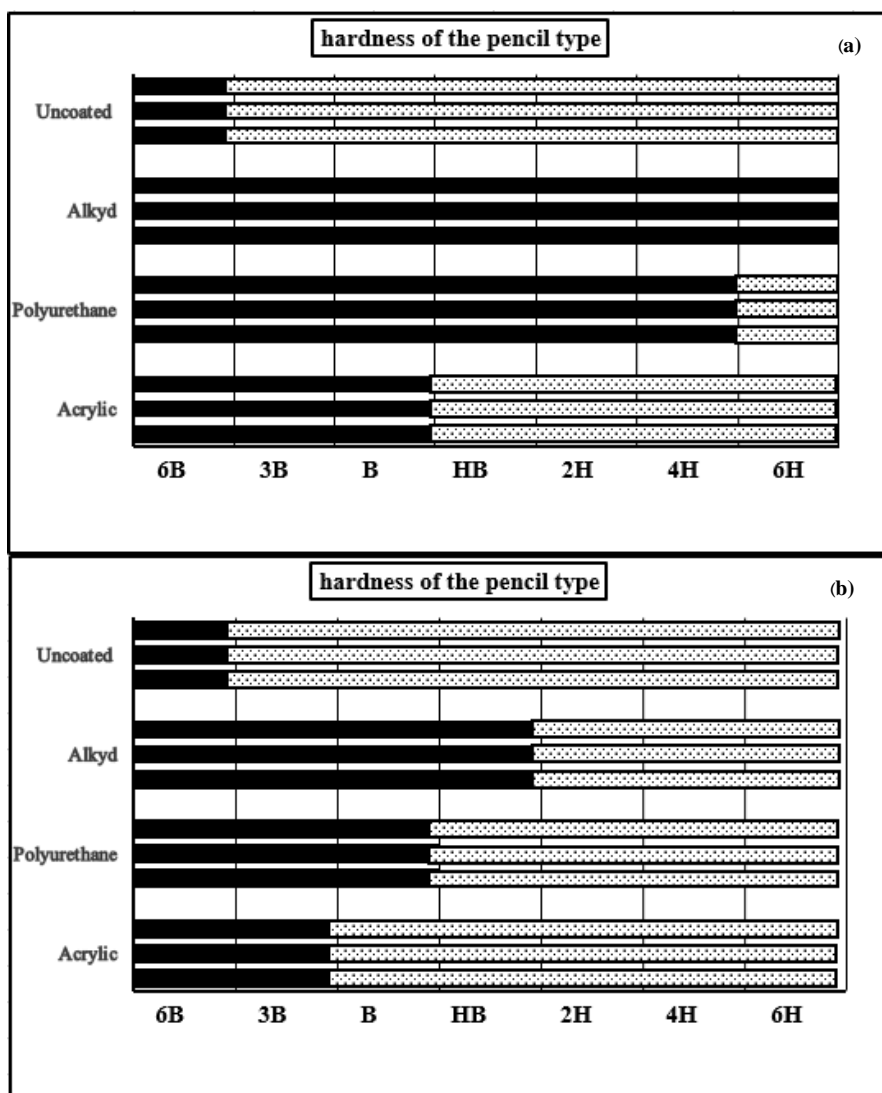
نتایج آزمون سختی خراشی نشان داد، نمونه های بدون پوشش دارای درجه سختی 6B می باشند. اما پس از اعمال پوشش بر روی نمونه ها که در شکل ۶ الف نشان داده شده است، نتایج متفاوت بود، نتایج نشان داد بیشترین میزان مقاومت به سختی خراش مربوط به پوشش آلکیدی به میزان سطح 6H و در رده مداد هفتم می باشد و سپس به ترتیب پوشش پلی یورتان در درجه سختی 4H رده مداد ششم و پوشش آکرلیکی هم در درجه سختی B که در رده مداد سوم قرار دارد. طبق تحقیقات کایگان و همکارانش (۲۰۰۸) مقدار مقاومت به خراش

نشان دهد. در مقایسه نمونه‌ها، نمونه بدون پوشش دارای درجه سختی کمتر نسبت به سایر نمونه‌ها می‌باشد، اما پس از اعمال پوشش مشخص گردید که پوشش آلکیدی مجدد پس از قرارگیری در اتاقک چرخه حرارتی و بروز تغییرات دمایی، به نسبت سایر نمونه‌ها از سختی بیشتری برخوردار است که میزان سختی خراشی مداد در سطح HB که در رده مداد چهارم است. اما دو پوشش دیگر پلی‌یورتان و آکرلیکی کمترین میزان سختی را از خود نشان دادند. در مقایسه نمونه‌ها قبل و بعد از تنش حرارتی مشخص گردید که در اثر تنش حرارتی میزان سختی خراشی آنها به ترتیب برای پوشش های آلکیدی، پلی‌یورتانی و آکرلیکی به میزان ۳، ۳ و ۱ رده مداد کاهش یافته است.

پوشش‌ها متفاوت می‌باشد و انتخاب نوع پوشش مصرفی در سطح چوب از عوامل مهم و تاثیرگذار می‌باشد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد و مشخص گردید نوع پوشش حائز اهمیت می‌باشد [۱۷].

### ب - بعد از تنش حرارتی

نتایج تاثیر تنش حرارتی بر تغییرات سختی خراشی بر سطوح نمونه‌ها در شکل ۶ ب نشان داده شده است. نتایج آزمون سختی مداد نشان داد که اثر گرمادهی بر روی نمونه‌ها به غیر نمونه بدون پوشش، باعث کاهش میزان سختی گردیده است که می‌توان گفت کمترین کاهش مقاومت به سختی در اثر تنش حرارتی در نمونه‌های پوشش داده شده با پوشش آکرلیکی مشاهده شد. به عبارت دیگر پوشش آکرلیکی توانسته است مقاومت بیشتری را از خود در برابر تنش‌های حرارتی



شکل ۶: آزمون سختی مداد در نمونه‌های بدون پوشش و پوشش خورده قبل و بعد از تنش حرارتی.

Figure 6: Pencil hardness test in uncoated and coated samples before and after thermal stress.

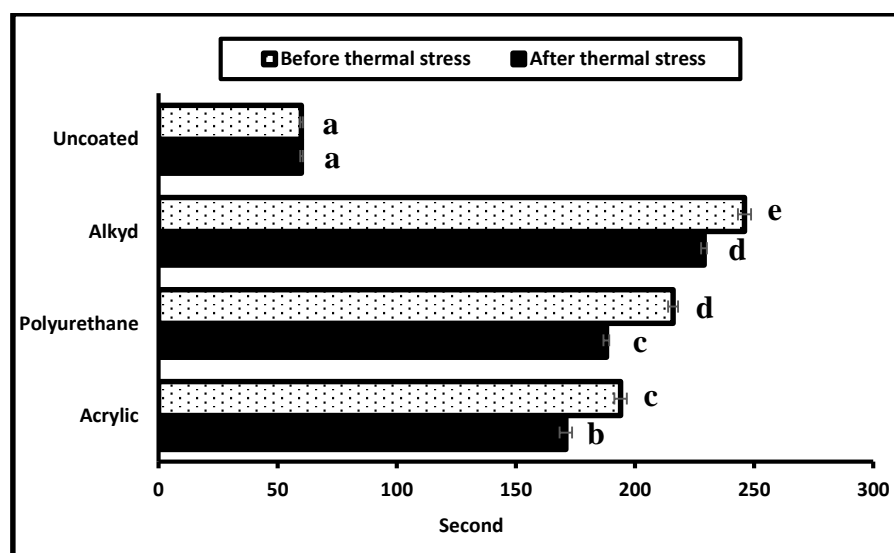
بر روی گونه چوبی کاج نشان داد که میزان سختی آونگی در اثر پوشش دهی افزایش یافت ولی در اثر اعمال تیمار حرارتی میزان سختی کاهش یافته است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد [۲۲]. همچنین نتایج گروه بندی آماری نشان داد، گروه بندی دانکن به ۵ گروه طبقه بندی شده و نتایج تجزیه واریانس نشان می دهد در اثر تنش حرارتی در پوشش های آلکیدی، پلی یورتان و آکرلیکی میزان سختی به صورت معناداری کاهش یافته است که این گروه بندی در شکل ۷ قابل مشاهده می باشد.

### ۳-۳- آزمون ضربه

نتایج آزمون مقاومت به ضربه در شرایط قبل و بعد از تنش حرارتی در شکل ۸ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که، در میان نمونه های پوشش داده شده بیشترین مقاومت مربوط به پوشش پلی یورتان و آکرلیکی بود که با کمترین میزان تخریب در برابر ضربه در سطح ۴ قرار گرفت و به عبارت دیگر از مقاومت بیشتری در برابر ضربه برخوردار بودند. اما پوشش آلکیدی به نسبت دیگر پوشش ها دارای مقاومت کمتری در مقابل ضربه بود و در سطح حدود ۳ قرار گرفته است. همچنین، نتایج پس از قرارگیری نمونه ها در اتاقک چرخه حرارتی و مواجهه با تنش حرارتی نشان داد که در میان پوشش ها، نمونه پوشش خورده آکرلیکی دارای مقاومت به ضربه بیشتری است و در سطح ۳ قرار گرفته است، اما نمونه های دیگر به ترتیب پلی یورتان و آلکیدی با مقادیر ۲ و ۱ به نسبت نمونه پوشش خورده آکرلیکی از مقاومت به ضربه کمتری برخوردار می باشند. در مقایسه نمونه ها

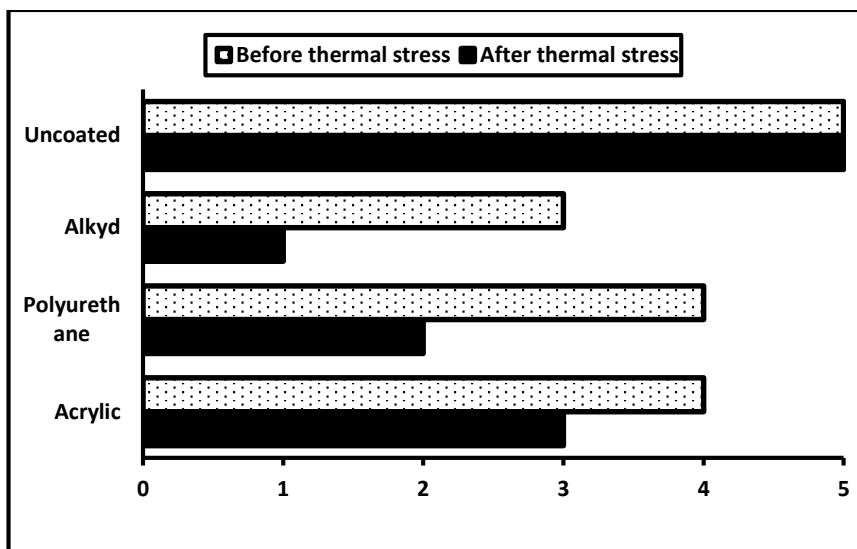
### ۲-۳- آزمون سختی سنج آونگی

نتایج حاصل از آزمون سختی سنج آونگی که در شکل ۷ مشاهده می شود، نشان می دهد که در این آزمون نمونه بدون پوشش دارای بیشترین اصطکاک و کمترین زمان نوسان در حدود ۵۹ ثانیه می باشد و از سختی کمتری نسبت به نمونه های پوشش داده شده برخوردار بود. در بین نمونه های پوشش داده شده مشخص گردید، نمونه پوشش خورده آلکیدی قبل از تنش حرارتی با مقدار اصطکاک کمتر و زمان بیشتر (۲۴۶ ثانیه) از سختی و مقاومت بیشتری برخوردار است و سپس، پوشش پلی یورتان و آکرلیکی بودند که دارای اصطکاک بیشتر و زمان کمتر به ترتیب ۲۱۶ و ۱۹۴ ثانیه بودند. به عبارت دیگر، آزمون سختی سنجی آونگی نشان داد پوشش های آلکیدی، پلی یورتان و آکرلیکی به ترتیب بیشترین میزان سختی را دارا می باشند. اما پس از قرارگیری نمونه ها در اتاقک چرخه حرارتی و ایجاد تنش گرمایی بر سطح آنها مشخص گردید که همچنان نمونه پوشش خورده آلکیدی دارای کمترین اصطکاک و بیشترین زمان در حدود ۲۲۹ ثانیه است. به علاوه، به ترتیب نمونه پوشش خورده پلی یورتان، آکرلیکی و نمونه بدون پوشش، دارای اصطکاک بیشتر و سختی کمتر و زمان در حدود ۱۷۱، ۱۸۸ و ۵۸ ثانیه نسبت به نمونه پوشش خورده آلکیدی قرار گرفته اند. در مقایسه نمونه های قبل و بعد از تنش حرارتی مشخص گردید که نمونه ها با قرارگیری در اتاقک چرخه حرارتی به مقدار قابل توجهی دچار افت میزان سختی آنها شده است. به عبارت دیگر، در اثر چرخه حرارتی میزان سختی پوشش های آلکیدی، پلی یورتان و آکرلیکی به میزان ۱۷، ۲۸ و ۲۳ به ترتیب کاهش یافته است. تحقیقات گورلین و همکارانش (۲۰۱۷)



شکل ۷: آزمون سختی سنج آونگی در نمونه بدون پوشش و نمونه های پوشش خورده قبل و بعد از تنش حرارتی.  
Figure 7: Pendulum hardness test in uncoated samples and coated samples before and after thermal stress





شکل ۸: میزان مقاومت به ضربه در نمونه های بدون پوشش و پوشش خورده قبل و بعد از تنش حرارتی.

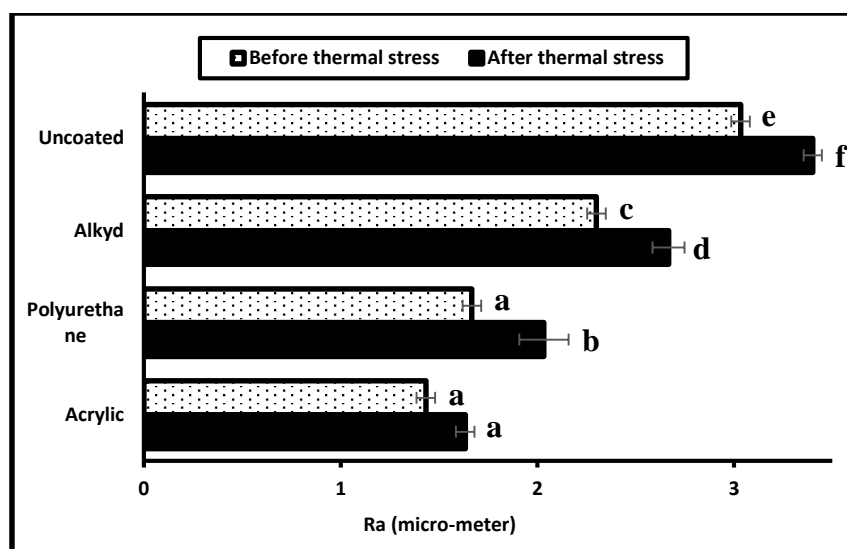
Figure 8: Impact resistance in uncoated and coated samples before and after thermal stress.

قبل و بعد از تنش حرارتی مشخص گردید که فرآیند گرمادهی و تنش حرارتی در اتاقک چرخه حرارتی، باعث کاهش مقاومت پوشش ها در مقابل ضربه شده است. تحقیقات پاولیک و همکارانش (۲۰۲۰) نشان داد که میزان مقاومت به ضربه پوشش، رابطه بسیار زیادی با برهم کنش یا فعل و انفعالات بین پوشش و ماده چوبی دارد و بنابراین پوشش ها با ماهیت رزینی متفاوت عملکرد مختلفی را در برابر ضربه از خود نشان می دهند [۲۳]. همچنین، تحقیقات اردینلر و همکارانش (۲۰۱۹) نشان داد، مقاومت بالا پوشش پلی یورتان نسبت به پوشش آلکیدی در برابر آزمون ضربه، به دلیل بالا بودن میزان انعطاف پذیری این پوشش بوده که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد [۲۰].

نتایج آزمون زبری ۴-۳

نتایج آزمون زبری سطح قبل و بعد از تنش حرارتی در شکل ۹ قابل مشاهده می باشد. نتایج نشان داد که نمونه بدون پوشش دارای بیشترین مقدار زبری سطح می باشد. همچنین قبل از تنش حرارتی نمونه پوشش خورده آلکیدی دارای مقدار زبری کمتری نسبت به سایر پوشش ها می باشد. سپس پوشش های پلی یورتان و آلکیدی به ترتیب به میزان ۱۴ و ۳۸ درصد دارای سطحی زبرتر بیشتری نسبت به پوشش آلکیدی مشاهده گردید. پس از قرارگیری نمونه ها در اتاقک چرخه حرارتی مشخص گردید که میزان زبری نمونه خام

(بدون پوشش) افزایش یافته است که با تحقیقات طلائی و همکارانش (۱۳۹۰) مطابقت دارد [۳۳] و همچنان پوشش آلکیدی دارای زبری سطح کمتری نسبت به سایر پوشش ها می باشد. پوشش پلی یورتان و آلکیدی نسبت به پوشش آلکیدی به نسبت ۲۰ و ۳۹ درصد دارای سطحی زبرتر بیشتری می باشند. به عبارت دیگر، در مقایسه نمونه ها قبل و بعد از تنش حرارتی مشخص گردید که تنش حرارتی باعث افزایش مقدار زبری سطح گردیده است و این میزان به ترتیب برای پوشش های آلکیدی، پلی یورتان و آلکیدی به میزان ۱۲، ۱۸ و ۱۴ می باشد. طبق تحقیقات نوروزی و همکارانش (۲۰۲۰) بر روی پوشش پلی اکریلات به این نتیجه رسیدند که در اثر پوشش دهی سطح چوب، میزان زبری سطح نسبت به نمونه شاهد بدون پوشش، کاهش می یابد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد [۲۸]. در نتایج بدست آمده توسط چاکی سیر و همکارانش (۲۰۱۱) نشان داد، زبری سطح در نمونه های پوشش خورده سلولزی نسبت به پوشش پلی یورتان پایه آب بیشتر است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد [۲۹]. در تحقیق دیگری که توسط غفرانی و خجسته (۲۰۱۳) در خصوص تاثیر زبری بر چسبندگی پوشش سطح بود نتایج نشان داد میزان زبری بسیار مهم و تاثیرگذار می باشد [۳۴]. همچنین نتایج گروه بندی آماری نشان داد، نمونه ها در گروه بندی دانکن به ۶ گروه طبقه بندی شده و میانگین تجزیه واریانس آن ها نیز معنی دار بوده است که در شکل ۹ گروه بندی آنها قابل مشاهده می باشد.



شکل ۹: میزان تغییرات زبری سطح در نمونه بدون پوشش و نمونه های پوشش خورده قبل و بعد از تنش حرارتی

Figure 9: The amount of surface roughness changes in uncoated samples and coated samples before and after thermal stress

#### ۴- نتیجه گیری

سوی دیگر میزان نرمی سطح را نشان می دهد. در پوشش آلکیدی به دلیل صلبیت بیشتر باعث ایجاد سطح مقاوم تر شده که مداد ۶H بر آن اثرگذار باشد ولی پوشش آکرلیکی به دلیل بافت نرم تری که در سطح آن وجود دارد باعث اثرگذاری مداد HB شده است. همچنین تنش حرارتی باعث تخریب سطحی پوشش شده و این تخریب سطحی زبری را افزایش می دهد بنابراین مدادهای نرم تر توانسته است بر سطح آنها اثرگذارتر باشند. نتایج حاصل از آزمون سختی سنج آونگی مشخص گردید که در نمونه ها قبل از تنش حرارتی، نمونه پوشش خورده آلکیدی دارای سختی بیشتر و اصطکاک کمتری نسبت به سایر نمونه ها بوده و نمونه پوشش خورده آکرلیکی کمترین مقدار سختی را دارا است. اما پس از قرارگیری نمونه ها در برابر تنش های حرارتی، نمونه ها دچار افت میزان سختی شده و همچنان نمونه پوشش خورده آلکیدی نسبت به سایر نمونه ها از سختی بیشتری برخوردار بوده و نمونه پوشش خورده آکرلیکی نیز از سختی کمتری برخوردار بوده است. که در این آزمون هم به دلیل خاصیت صلبی پوشش آلکیدی، دلیل بر سختی بالاتر این پوشش است. به عبارت دیگر می توان گفت، نتایج آزمون سختی سنج آونگی مشابه نتایج آزمون سختی سنج مداد مشاهده گردید. از نتایج آزمون ضربه می توان نتیجه گیری نمود، نمونه های پوشش خورده آکرلیکی و پلی یورتان دارای مقاومت بیشتری نسبت به نمونه پوشش خورده آلکیدی می باشد. اما پس از قرارگیری نمونه ها در اتاقک چرخه حرارتی، میزان مقاومت پوشش ها در برابر ضربه کاهش یافت. به عبارت دیگر، مقایسه قبل و بعد از تنش حرارتی پوشش ها نشان می دهد، نمونه پوشش خورده آکرلیکی ۱ رده، پوشش پلی یورتان و آلکیدی ۲ رده دچار افت میزان مقاومت به ضربه شدند. که علت مقاومت بالای پوشش

می توان نتیجه گیری نمود که در اثر پوشش دهی میزان زبری چوب کاهش یافت و با قرارگیری نمونه های پوشش خورده در مقابل تنش حرارتی، مقاومت آنها کاهش یافته و باعث تخریب سطحی پوشش می گردد. اساساً تنش گرمایی اعمال شده و اثرات آن با میزان ضریب انبساط گرمایی پلیمرهای پوشش رنگ ارتباط تنگاتنگی دارند. از سوی دیگر نیز تفاوت اساسی در ضریب انبساط حرارتی سطح چوب و پوشش عامل بسیار مهمی در حفظ پیوند بین پوشش و سطح چوب می باشد که باعث این تغییرات شده است. هم چنین بروز ترک های ریز ناشی از گرمادهی نیز عامل بعدی می باشد. در بخش نتایج بدست آمده آزمون سختی خراشی (آزمون مداد) قبل از تنش حرارتی مشخص گردید که نمونه پوشش خورده آلکیدی دارای سختی بیشتری نسبت به سایر نمونه ها بوده و پوشش پلی یورتان در رده میانه و پوشش آکرلیکی و نمونه بدون پوشش نیز جزو کمترین میزان سختی قرار گرفتند. که می توان علت آن را در خاصیت صلبی و سخت تر بودن پوشش آلکیدی نسبت به سایر پوشش ها دانست که این ویژگی ذاتی پوشش باعث این پدیده شده است. اما پس از قرارگیری در برابر تنش های حرارتی مشخص شد که نمونه های پوشش خورده در حدود دو الی سه درجه دچار کاهش سختی آزمون مداد شدند که همواره پوشش آلکیدی دارای سختی بیشتری بوده و نمونه های پوشش خورده پلی یورتان و آکرلیکی به ترتیب جزو نمونه های با درجه سختی کمتر درجه بندی نمود. لازم به ذکر است این افزایش درجه مداد (۶B) یا کاهش درجه مداد (۶H) نشان دهنده بهتر بودن و یا بدتر بودن نیست و فقط میزان سختی را از یک سو و از

پوشش دهی شده باعث افت مقاومت و تخریب در آنها شده و به طور کلی نمونه پوشش خورده آکرلیکی نسبت به سایر نمونه ها از مطلوبیت بیشتری برخوردار می باشد. با توجه به گستردگی صنعت چوب و استفاده فراوان انواع پوشش ها بر سطح آنها پیشنهاد می شود مطالعات بیشتری در خصوص استفاده از انواع پوشش های نانویی و پوشش های گیاهی صورت پذیرد تا صنعت بتواند از نتایج این تحقیقات استفاده نماید.

#### تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از همکاری و حمایت دانشگاه تهران در انجام امور پژوهشی این تحقیق علمی تقدیر و تشکر می نماید.

آکرلیکی به دلیل خاصیت انعطاف پذیری بالا می باشد. نتایج حاصل از آزمون زبری سنجی نشان داد، نمونه پوشش خورده آکرلیکی نسبت به سایر نمونه ها از زبری سطح کمتری برخوردار بوده که می تواند به دلیل نفوذپذیری بهتر این پوشش به درون خلل و فرج چوب بوده که باعث ایجاد سطحی صاف تر در چوب می گردد و بیشترین مقدار زبری مربوط به نمونه بدون پوشش بود. تنش حرارتی موجب افزایش مقدار زبری سطح نمونه ها گردید که دلیل افزایش زبری سطح می تواند بر اثر ایجاد و افزایش ترک های میکروسکوپی در سطح پوشش باشد. به گونه ای که پوشش آکرلیکی به مقدار ۱۳ درصد، پوشش پلی یورتان به مقدار ۲۸ درصد و پوشش آلکیدی نیز به مقدار ۱۵ درصد بعد از تنش های حرارتی دچار افزایش مقدار زبری سطح آنها گردید. به طور کلی می توان گفت، تنش های حرارتی در سطح نمونه های

#### ۵- مراجع

- J. Chin, E. Byrd, J. Martin, T. Nguyen, Validation of the Reciprocity law for coating photo degradation, *J. Coat. Technol. Res.* 2 (2005), 499-508.
- S. Khojasteh Khosro, M. Ghofrani, M. Ganjaee Sari, The effect of adding zinc oxide nanoparticles on color change and adhesion strength of polyurethane coating on wood surface. *Iranian J. Wood Paper Sci. Res.* 4(2015), 690-704.
- P. Ahola, Adhesion between paint and wood substrate. *Surf. Coat. Int.* 74(1991), 173-176.
- L. F. de Moura, R. E. Hernandez, Effects of abrasive mineral, grit size and feed speed on the quality of sanded surfaces of sugar maple wood. *Wood Sci Technol* 40(2006), 517-530.
- T. Ramanantoandro, F. Eyma, C. Belloncle, S. Rince, M. Irlle, Effect of machining parameters on raised grain occurring after the application of water-based finishes. *Eur. J. Wood Wood Products.* 76(2018), 1323-1333.
- E. A. Salca, T. Krystofiak, B. Lis, Evaluation of selected properties of Alder wood as functions of sanding and coating. *Coat.* 7(2017), 176-186.
- M. N. Acda, E. E. Devera, R. J. Cabangon, H. J. Ramos, Effects of plasma modification on adhesion properties of wood. *Int. J. Adhes. Adhes.* 32(2012), 70-75.
- T. Dilik, S. Erdinler, E. Hazir, H. Koç, S. Hiziroglu, Adhesion strength of wood based composites coated with cellulosic and polyurethane paints. *Adv. Mater. Sci. Eng.* (2015), 1-5.
- L. Gurleyen, U. Ayata, N. Cakicier, Effect of heat treatment on the adhesion strength, pendulum hardness, surface roughness, color and glossiness of Scot pine laminated parquet with two different types of varnish application. *Maderas-Cienc Tecnol.* 19(2017), 213-224.
- M. Nejad, T. Ung, P. Cooper, Effect of coatings on ACQ preservative component distribution and solubility after natural weathering exposure. *Wood Sci Technol.* 46(2012):1169-1180.
- E. A. Salca, T. Krystofiak, B. Lis, B. Mazela, S. Prozyk, Some coating properties of Black Alder wood as a function of varnish type and application method. *Bioresources.* 11(2016), 7580-7594.
- M. Nejad, P. Cooper, Exterior wood coatings. Part-2: modeling correlation between coating properties and their weathering performance. *J. Coat. Technol. Res.* 8(2011), 459-467.
- W. Darmawan, D. Nandika, E. Noviyanti, I. Alipraja, D. Lumongga, D. Gardnes, P. Gerardin, Wettability and bonding quality of exterior coatings on jaban and sengon wood surfaces. *J. Coat. Technol Res.* 15(2018), 95-104.
- C. Sogutlu, P. Nzokou, I. Koc, R. Tutgun, N. Dönges, The effect of surface roughness on varnish adhesion strength of wood materials. *J. Coat. Technol. Res.* 13(2016), 863-870.
- P. Hayoz, W. Peter, D. Roges, A new innovative stabilization method for the protection of natural wood. *Prog. Org. Coat.* 48(2003), 297-309.
- E. Chwa, L. Wu, Z. Chen, Factors towards pencil scratch resistance of protective sol-gel coatings on polycarbonate substrate. *Key Eng. Mater.* 312(2006), 339-344.
- B. Kaygın, E. Akgün, A nano-technological product: An innovative varnish type for wooden surfaces. *Sci. Res. Essay.* 4(2008), 1-7.
- M. Sangermano, G. Malucelli, E. Amerio, A. Priola, E. Billi, G. Rizza, Photo polymerization of epoxy coatings containing silica nano-particles, *Prog. Org. Coat.* 54 (2005), 134-138.
- A. Dashtizadeh, M. Abdouss, H. Mahdavi, M. Khorassani, Acrylic coatings exhibiting improved hardness, solvent resistance and glossiness by using silica nano-composites. *Appl. Surf. Sci.* 257(2011), 2118-2125.
- E. S. Erdinler, K. H. Koc, T. Dilik, E. Hazir, Layer thickness performances of coatings on MDF: Polyurethane and cellulosic paints. *Maderas. Ciencia y tecnología.* 21(2019), 317-326.
- A. Hermann, D. Burr, V. Landry, Comparative study of the impact of additives against oxygen inhibition additives pendulum hardness and abrasion resistance for UV-curable wood finishes. *Prog. Org. Coat.* 148, (2020), 105879.
- L. Gurleyen, U. Ayata, B. Esteves, N. Cakicier, Effects of heat treatment on the adhesion strength, pendulum hardness, surface roughness, color and glossiness of Scots pine laminated parquet with two different types of UV varnish application. *Maderas. Cienc. y Tecnol.* 19(2017), 213-224.
- M. Pavlič, J. Žigon, M. Petrič, Wood Surface Finishing of Selected Invasive Tree Species. *Wood industry/drvna industrija,* 71(2020).
- A. Aghajani, M. Kalae, S. Mazinani, Physical, mechanical and thermal properties of epoxy coatings modified with nitrile-

- butadiene nano-rubber. *Adv. Mater. New Coat.* 7(2019), 2036-2047
25. E. Nowrouzi, B. Mohebbi, The effects of different coatings on some surface properties of beech wood. *For. Wood Prod.* 69(2016), 173-184.
26. Z. W. Zhong, S.Hiziroglu, C. T. M. Chan, Measurement of the surface roughness of wood based materials used in furniture manufacture. *Meas.* 46(2013), 1482-1487.
27. Z. Nowrouzi, B. Mohebbi, M. Ebrahimi, M. Petrič, The role of olive leaf extract and nanoparticles incorporation in polyacrylate coating structure on surface properties of heat treated wood during natural weathering. *Forest and Wood Products*, 73(2020), 1-12.
28. N. Çakicier, S. Korkut, F. D. Güler, Effects of heating treatment on some of the physical properties of varnish layers applied on various wood species. *African J. Biotechnol.* 10(2011), 1578-1585.
29. H. Gholamiyan, A. Tarmina, The effect of layers made off clear coats on the color changes and surface quality of wood after accelerated weathering in urban furniture. *Iranian J. Wood Paper Ind.* 9(2019), 561-574.
30. ASTM C1104 / C1104M-19, Standard Test Method for Determining the water vapor sorption of unfaced mineral fiber insulation, ASTM International, 2019.
31. ASTM C411-19, Standard Test Method for hot-surface performance of high-temperature thermal insulation, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
32. Standard Test Method for film hardness by pencil test, ASTM International, West Conshohocken, PA. ASTM Standard, D3363-05, 2005.
33. A. Talae, A. Karimi, G. Ebrahimi, A. Mirshokrai, Comparative Study of Heat Treated Beech Wood in Hot Water and Steam Mediums. *Iranian J. Wood Paper Ind.* 2(2012), 27-38.
34. M. Ghofrani, S. Khojasteh khosro, The effect of wood surface finishing quality on the adhesion strength of clear coats. *J. Color Sci. Tech.* 7(42013) 339-345.

**How to cite this article:**

H. Gholamiyan, A. Javid, Investigation of the effect of heat stress on the surface properties of wood coatings. *J. Color Sci. Tech.* 16, 1(2022), 27-38.

**DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.1.3.5**