

مقاله پذیرفته شده

عنوان مقاله: بهبود چسبندگی پوشش‌های رنگی به چوب با استفاده از آمایش سطحی پلاسما

نویسندگان: هادی غلامیان

شماره مقاله: JCST-1903-1039

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷-۱۲-۲۰

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸-۴-۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸-۴-۱۷

خواهشمند است این مقاله به صورت زیر در مراجع قید شود:

ه. غلامیان، بهبود چسبندگی پوشش‌های رنگی به چوب با استفاده از آمایش سطحی پلاسما. نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ، (۱۳۹۸)،

JCST-1903-1039

این فایل pdf مقاله ویرایش نشده است که برای چاپ پذیرفته شده است. ماکت مقاله توسط دفتر نشریه علوم و فناوری رنگ تهیه شده و قبل از چاپ برای ویرایش نهایی به نویسنده مسئول مقاله ارسال می‌شود.

Accepted Manuscript

Title: Plasma modification to improve the adhesion resistance of the wood coating

Authors: H. Gholamiyan

To appear in: Journal of Color Science and Technology

Receives date: 11-03-2019

Revises date: 30-06-2019

Accepted date: 08-07-2019

Please cite this article as:

H. Gholamiyan. Plasma modification to improve the adhesion resistance of the wood coating. *J. Color. Sci. Tech.* (2019), JCST-1903-1039.

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form.



بهبود چسبندگی پوشش‌های رنگی به چوب با استفاده از آمایش سطحی پلاسما

هادی غلامیان

استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

Hadi_gholamiyan@ut.ac.ir

چکیده

در این تحقیق تاثیر استفاده از آمایش سطحی پلاسما در بهبود چسبندگی پوشش پایه آب و پوشش پایه حلال پلی‌یورتان در چوب مورد ارزیابی قرار گرفت. به همین منظور نمونه‌های چوبی از گونه صنوبر با رطوبت ۸ درصد به ابعاد $15 \times 10 \times 2$ (L×R×T) میلی‌متر تهیه و سطوح آنها با استفاده از پلاسما به مدت ۶۰، ۱۲۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ ثانیه آمایش گردید. سپس، سطوح نمونه‌ها با پوشش پلی‌یورتان پایه حلال و پوشش پایه آب پوشش داده شد و پس از خشک شدن آن توسط دستگاه چسبندگی کششی (Pull off) میزان مقاومت به چسبندگی آنها اندازه‌گیری گردید. نتایج آزمون زاویه تماس نشان داد که تیمار پلاسما باعث کاهش زاویه تماس و افزایش خواص ترشوندگی سطح چوب شده است. همچنین، نتایج مطالعات چسبندگی کششی نشان دهنده آن است که کمترین و بیشترین میزان چسبندگی پس از آمایش پلاسما به ترتیب مربوط به پوشش پایه حلال با نسبت میانگین ۲/۹ (Mpa) و پوشش پایه آب با نسبت میانگین ۳/۴ (Mpa) بود، که می‌توان یکی از عوامل موثر آن را آبدوستی سطح چوب در اثر تیمار پلاسما دانست. تیمار با پلاسما اثر قابل توجهی بر افزایش چسبندگی پوشش داشته، به طوری که با افزایش زمان تیمار میزان چسبندگی بهبود یافته است و همچنین، بیشترین میزان تغییرات تاثیر پلاسما در واحد زمان مربوط به نمونه ۶۰ ثانیه پلاسما شده بود. بنابراین، می‌توان گفت؛ توانایی تیمار پلاسما برای افزایش چسبندگی پوشش‌ها بستگی به نوع رزین پوشش و زمان تیمار پلاسما دارد.

کلمات کلیدی: پلاسما، چوب، چسبندگی، پوشش پایه آب، پوشش پایه حلال.

Plasma modification to improve the adhesion resistance of the wood coating

Hadi Gholamiyan

Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Abstract

In this study, the effect of plasma modification on improving the adhesion resistance of solvent-borne and waterborne polyurethane coatings in wood was evaluated. For this purpose, wood samples of poplar with a moisture content of 8% and dimensions of $2 \times 10 \times 15$ (L×R×T) mm were prepared and their surfaces treated with plasma for 60, 120, 300 and 600 seconds. Then, the surfaces were coated with a solvent and waterborne polyurethane coatings and they were measured by a Pull-off adhesive strength. The results of the contact angle test indicate that the plasma treatment reduced the contact angle and increase the wettability of wood surface. Also, the results of adhesion test after plasma treatment showed that the lowest and highest parameter were related to the solvent-borne (2.9 Mpa) and waterborne (3.4 Mpa) coating respectively, one of the effective factors is increase the surface hydrophilicity of wood by plasma treatment. Plasma treatment had a significant effect on increasing adhesion, so that the adhesion is improved with increasing treatment time, and the highest change in the plasma's effect per unit time was the 60-second. Thus, it can be claimed that the ability of plasma treatment to improve the adhesion of coatings depends on the type of coating resin and plasma treatment time.

Keywords: Plasma, wood, adhesion, waterborne coating, solvent-borne coating.

۱- مقدمه

چوب یکی از منابع تجدیدپذیر بر روی کره زمین می‌باشد که به طور وسیع در صنایع مختلف نظیر کاغذسازی، کارتن‌سازی، ساخت انواع کامپوزیت‌های چوب، صنایع مبلمان و سازه‌های چوبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. چوب با توجه به خصوصیات ویژه مانند هرسونایکسانی، ناهمگن بودن، نم‌پذیری و تغییر ابعاد در شرایط خاص تخریب می‌شود [۱]. یکی از روش‌هایی که می‌توان دوام و

مقاله پذیرفته شده

طول عمر سازه‌های چوبی و مبلمانی را در فضای داخلی و حتی خارج از منزل افزایش داد، استفاده از پوشش‌های رنگی می‌باشد [۲]. امروزه در کشورهای دنیا از پوشش‌های مختلفی جهت حفاظت چوب در برابر عوامل مخرب فیزیکی، مکانیکی و بیولوژیکی استفاده می‌شود که بیشتر در کشورهای کمتر توسعه یافته از پوشش‌های پایه حلال و در کشورهای توسعه یافته از پوشش‌های پایه آب استفاده می‌شود [۳]. پوشش‌های پایه آب به دلیل کمتر بودن مشکلات زیست محیطی آن بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و کاربردهای صنعتی بیشتری دارد [۴]. یکی از مشکلات رایجی که در پوشش‌های مورد مصرف صنایع مبلمان در شرایط سرویس ایجاد می‌شود، بلندشدن و جداشدن سطح پوشش از سطح چوب می‌باشد [۵]. تحقیقات زیادی در خصوص بهبود و افزایش مقاومت پوشش‌ها در سازه‌های چوبی صورت پذیرفته است و محققین همیشه تلاش نموده‌اند راه کارهای نوین و جدیدتری برای این افزایش راندمان در پوشش‌ها بیابند. مطالعات تاثیر نوع گونه چوبی بر مقاومت چسبندگی پوشش نشان می‌دهد عوامل متعددی نظیر سختی، ساختار سلولی، ترکیبات شیمیایی و مواد استخراجی می‌تواند مقاومت به چسبندگی را تغییر دهد [۶،۷]. همچنین، می‌توان گفت کم بودن میزان چسبندگی از دلایل مهم در دوام و طول عمر پوشش‌های رنگی می‌باشد. مطالعات غلامیان و همکاران [۸]، نشان داد بعد از نوع رزین مصرفی، مهمترین عامل در طول عمر پوشش‌ها میزان مقاومت به چسبندگی آنها می‌باشد. همچنین تحقیقات زیادی در خصوص بهبود مقاومت به چسبندگی در پوشش‌های رنگی صورت پذیرفته است که تحقیقات غفرانی و خجسته خسرو [۹]، نشان داد، اگر در اثر پرداخت، میزان زبری سطح افزایش یابد در نتیجه میزان مقاومت چسبندگی پوشش افزایش می‌یابد. همچنین، بررسی معنوی و همکاران [۱۰]، نشان داد بیشترین میزان مقاومت چسبندگی در رطوبت ۸٪ است و با افزایش رطوبت مقاومت چسبندگی کاهش می‌یابد. در سال‌های اخیر برای بهبود خواص پوشش‌های چوبی تحقیقات زیادی در خصوص استفاده از تیمارهای گرمایی [۱۱]، نانو پوشش‌ها [۱۲]، اصلاح‌های شیمیایی فرآیندهای سل ژل [۱۳] صورت پذیرفته است. بنابراین، می‌توان گفت در صورت افزایش مقاومت به چسبندگی در پوشش‌ها می‌توان دوام و عمر مفید آنها را در شرایط سرویس و مصرف افزایش داد. یکی از روش‌های نوینی که در بهبود چسبندگی پوشش می‌توان از آن استفاده کرد تیمارهای گازی یونیزه شده پلاسما می‌باشد. پلاسما یک گاز یونیزه است که گاهی اوقات به عنوان "ماده چهارم ماده" شناخته می‌شود که شامل اتم‌ها، مولکول‌ها، یون‌ها و الکترون‌هایی است که می‌توانند خواص سطحی مواد را تغییر دهند [۱۴]. یون‌های پلاسما بشدت تحت تاثیر نیروهای الکتریکی و مغناطیسی قرار می‌گیرند و در نتیجه باعث تغییراتی در خواص سطحی مواد می‌گردند. تیمار پلاسما یکی از ساده ترین روش‌هایی است که با شکستن سطحی ترین لایه مولکولی در پلیمر و ایجاد رادیکال‌های آزاد و متعاقباً ایجاد گروه‌های عاملی در سطح چوب به خوبی می‌تواند ویژگی‌های آبگریزی یا آبدوستی را در سطح چوب ایجاد نماید [۱۵]. فرآیند پلاسما به لحاظ فشار مورد استفاده به دو نوع خلأ و اتمسفری و به لحاظ دمای کاربرد به دو نوع داغ و سرد طبقه بندی می‌شود [۱۶]. از تیمار پلاسما برای بهبود چسبندگی و عملکرد انواع چسب‌ها و پوشش‌های رنگی بر روی چوب خام و انواع کامپوزیت‌های چوبی استفاده شده است [۱۷،۱۸]. مطالعات ریدل و همکاران [۱۹]، نشان می‌دهد افزایش میزان چسبندگی پوشش به سطح چوب بعد از تیمار پلاسما، ارتباط زیادی با قدرت و مدت زمان آن دارد. همچنین تغییرات رطوبتی سطح چوب و نفوذ بیشتر پوشش به داخل حفرات چوبی از عوامل موثر در تغییرات میزان چسبندگی می‌باشد [۲۰،۲۱]. تحقیقات لوکووسکی و هورا [۲۲]، نشان دادند که تیمار پلاسما باعث افزایش مقاومت به چسبندگی پوشش‌های آکریلیک پایه آبی و پایه حلال شده است ولی این افزایش مقاومت در پوشش پایه آب بسیار بیشتر بوده است. همچنین، عوامل و متغیرهای دیگری نظیر، نوع گونه چوبی و نوع رزین پوشش بر میزان تاثیر تیمار پلاسما بر چسبندگی پوشش موثر می‌باشد [۲۳]. تحقیقات ایوتنس و همکاران [۲۴]، نشان می‌دهد تیمار پلاسما به طور کلی باعث افزایش کشش سطحی چوب شده و میزان جذب پوشش‌رنگی در چوب را افزایش داده و در پوشش‌های پایه آب این بهبود چسبندگی بیشتر از پوشش‌های پایه حلال می‌تواند باشد [۲۵]. با توجه به کاربرد وسیع چوب در کشورهای اروپایی، امریکایی و حتی کشورهای شرق آسیا در ساخت انواع خانه‌ها و سازه‌های عظیم چوبی، تحقیقات زیادی در خصوص استفاده از فرآیند پلاسما در بهبود چسبندگی پوشش‌های چوب صورت پذیرفته است که به تعدادی از آنها اشاره شد و همچنین، مطالعات هاسه و همکاران [۲۶] که نشان دادند می‌توان با پیش تیمار پلاسما میزان مقاومت به هوازدگی پوشش‌ها را در گونه چوبی نوئل سیاه افزایش داد. ولی تا امروز مطالعات بسیار اندکی بر روی بررسی اثر تیمار پلاسما بر روی پوشش‌ها رایج و گونه‌های چوبی

مقاله پذیرفته شده

بومی ایران صورت پذیرفته است. در این پژوهش تلاش شده است تاثیر تیمار پلاسما بر بهبود چسبندگی پوشش‌های پلی‌یورتان پایه آب و پایه حلال بر روی گونه چوبی صنوبر (سپیدار) مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد تا بتوان در سازه‌های چوبی که در کشور استفاده می‌شود از این تکنیک در آینده بهره گرفت و مقاومت آنها را افزایش داد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

نمونه‌های آزمایشی برای انجام این پژوهش گونه چوبی صنوبر (*Populus nigra L.*) با رطوبت نسبی ۸ درصد و دانسیته 0.48 gr/cm^3 انتخاب شد و سپس تیمار پلاسما و پوشش‌دهی با پوشش‌های شفاف انجام گردید. در این پژوهش از پوشش‌های شفاف پلی‌یورتان پایه حلال دو جزئی و پوشش پلی‌یورتان پایه آب تک جزئی با کدهای و مشخصات جدول ۱ استفاده شد. همچنین، پوشش پلی‌یورتان پایه حلال دو جزئی دارای خشک‌کن (هاردنر) بوده ولی پوشش پلی‌یورتان پایه آب، هوا خشک می‌باشد.

جدول ۱- کدگذاری انواع پوشش‌ها

کد	زمان تیمار پلاسما	مواد تشکیل دهنده پوشش
Sample	چوب ماسیو صنوبر به عنوان شاهد
CS	۶۰	پوشش پلی‌یورتان پایه حلال ۱- درصد مواد جامد ۳۱٪
	۱۲۰	۲- رقیق کننده: تینر فوری ۱۰ هزار ۳- میزان رقیق شدن: به نسبت ۳ قسمت تینر فوری و ۱ قسمت رزین
	۳۰۰	۴- زمان خشک شدن: الف: برای پرداخت کاری ۲ الی ۳ ساعت
	۶۰۰	ب: خشک کامل: ۲۴ ساعت
	۶۰۰	۵- دمای نگه داری: ۵ الی ۲۵ درجه سانتیگراد
CW	۶۰	پوشش پلی‌یورتان پایه آب ۱- درصد ماده جامد: ۳۲٪
	۱۲۰	۲- رقیق کننده: آب ۳- میزان رقیق شدن: به نسبت ۱ قسمت آب و ۲ قسمت رزین
	۳۰۰	۴- زمان خشک شدن: الف: برای پرداخت کاری ۳ ساعت
	۶۰۰	ب: خشک کامل: ۲۴ ساعت
	۶۰۰	۵- دمای نگه داری: ۵ الی ۲۵ درجه سانتیگراد

۲-۲- روش کار

پس از برش چوب به ابعاد $15 \times 10 \times 2$ (L×R×T) میلی‌متر، سطح آن به وسیله سنباده لرزان با زبری شماره ۲۸۰ به مدت ۳ دقیقه پرداخت شد. سپس سطح چوب توسط تیمار پلاسما در زمان‌های ۶۰، ۱۲۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ ثانیه تیمار و پوشش‌دهی انجام شد.

۲-۳- آزمون تیمار پلاسما و فرایند پوشش‌دهی

در این پژوهش از دستگاه پلاسما مدل Palas (RBG 2000) که دارای منبع تغذیه با ولتاژ بالا و یک اسپری نازل اصلی است استفاده شد. همچنین، با توجه به گرادین‌های شدید دما در داخل جریان خروجی پلاسما، فاصله نازل تا سطح چوب ۲ سانتیمتر و دمای سطح چوب در فرآیند تیمار حداکثر در حدود ۷۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. سپس با استفاده از دستگاه فیلم‌کش ساخت شرکت TQC، پوششی به ضخامت ۲۰۰ میکرون و سرعت ۱۵ میلیمتر در ثانیه بر سطوح نمونه‌ها اعمال شد. مشخصات دستگاه پلاسما در

جدول ۲ - مشخصات دستگاه پلاسما

مشخصات	عنوان
هوای فشرده	ماده انتقال
۱۵ کیلو ولت	ولتاژ پالس
۲-۳ کیلوولت	ولتاژ موثر
۵۰ کیلو هرتز	فرکانس تکرار پالس
۵-۱۰ μs	طول پالس

۲-۴- اندازه گیری زاویه تماس آب

میزان زاویه تماس آب بر اساس روش قطره‌گذاری به صورت استاتیک و بعد از گذشت ۵ ثانیه و توسط دستگاه کارخانه دیتا فیزیک^۱ کشور آلمان محاسبه شد.

۲-۵- آزمون چسبندگی کششی

از آزمون چسبندگی کششی^۲ (ASTM D ۴۵۴۱) برای ارزیابی میزان چسبندگی پوشش‌ها بر روی سطح نمونه‌های چوبی استفاده شد. برای این منظور از دستگاه PosiTest AT استفاده گردید. ابتدا دالی‌های (قطعاتی استوانه ای شکل) با قطر ۲۰ میلی متر توسط چسب اپوکسی دوجزئی بر سطح پوشش‌ها چسبانده شد و پس از گذشت ۲۴ ساعت توسط مته گردبر اطراف دالی‌ها تا رسیدن به سطح چوب برش داده و سپس توسط دستگاه پول آف دالی‌ها از سطح چوب جدا گردید و میزان نیرو جداسازی محاسبه و مورد آنالیز قرار گرفت.

۲-۶- آزمون آماری

از طرح کاملاً تصادفی برای نمونه‌برداری استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS، معنی‌داری میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه دانکن در سطح ۵ درصد تجزیه و تحلیل شد. برای تمامی آزمون‌ها از ۵ تکرار استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- میزان زاویه تماس

در جدول ۳ میزان زاویه تماس اندازه‌گیری شده بعد از ۵ ثانیه از گذشت زمان قطره‌گذاری در نمونه‌های شاهد، تیمار پلاسما و پس از پوشش‌دهی ارائه شده است. نتایج نشان داد که در اثر تیمار پلاسما میزان زاویه تماس بسیار کاهش یافته است. می‌توان گفت با افزایش میزان زمان پلاسما زاویه تماس آنها روند کاهشی داشته است و به ترتیب بعد از ۶۰، ۱۲۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ ثانیه تیمار پلاسما میزان زاویه تماس ۵۳، ۷۱، ۸۶ و ۹۰ درصد کاهش یافته است. تحقیقات ریادل و همکاران [۱۹]، نیز نشان داد که با تیمار پلاسما می‌توان زاویه تماس را کاهش و میزان کشش سطحی را افزایش دهد. همچنین، پس از پوشش‌دهی میزان زاویه تماس افزایش داشت و بیشترین میزان زاویه تماس مربوط به پوشش پلی‌یورتان پایه حلال بود. در اثر پوشش‌دهی، میزان زاویه تماس در پوشش‌های پایه حلال و پایه آب نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۵۳ و ۴۱ درصد افزایش داشته است. نتایج بررسی آماری نشان داد، اختلاف معنی داری در سطح اعتماد ۹۹ درصد بین نمونه‌های تیمار پلاسما شده و پس از پوشش‌دهی با نمونه شاهد وجود داشت ولی اختلاف معناداری میان پوشش‌های پایه حلال و پایه آب مشاهده نشد.

^۱ - Dataphysics

^۲ - Pull off

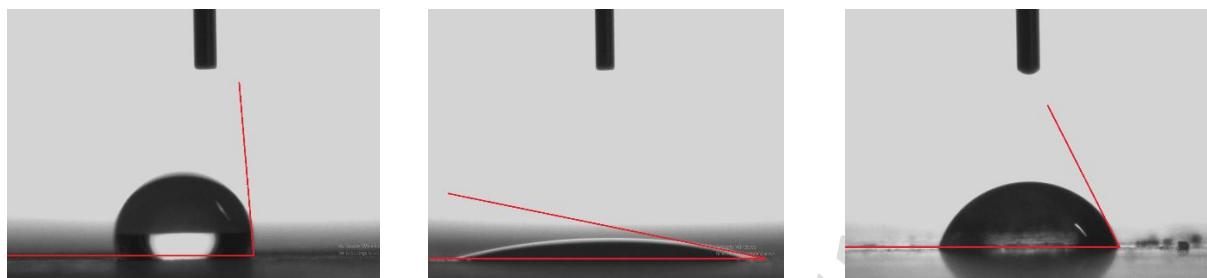
مقاله پذیرفته شده

جدول ۳ - میزان زاویه تماس پس از تیمار پلاسما

آزمون	نمونه شاهد	زمان تیمار پلاسما			
		۶۰	۱۲۰	۳۰۰	۶۰۰
زاویه تماس	۵۳** ^b	۲۵** ^c	۱۵** ^d	۷** ^e	۵** ^e
پوشش پلی یورتان پایه حلال				۸۱** ^a	۷۵** ^a

* معرف معناداری و گروه بندی آزمون می باشد. (حروف انگلیسی نشان دهنده گروه بندی آماری تیمارها می باشد)

شکل ۱ تصاویر محاسبه زاویه تماس نمونه های آزمون را نشان می دهد. همانطور که در جدول ۳ بیان شده است میزان تغییرات زاویه تماس که در نمونه های تیمار پلاسما شده کاهش و در نمونه های پوشش داده شده افزایش یافته است قابل مشاهده می باشد.



پوشش پلی یورتان پایه حلال

تیمار پلاسما (۶۰۰ ثانیه)

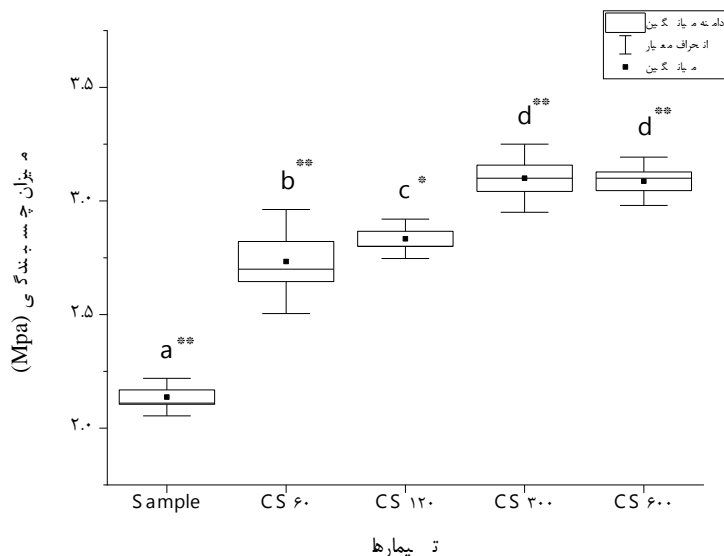
نمونه شاهد

شکل ۱- زاویه تماس اندازه گیری شده بر روی نمونه شاهد، پلاسما و پوشش داده شده

۳-۲- مقاومت چسبندگی

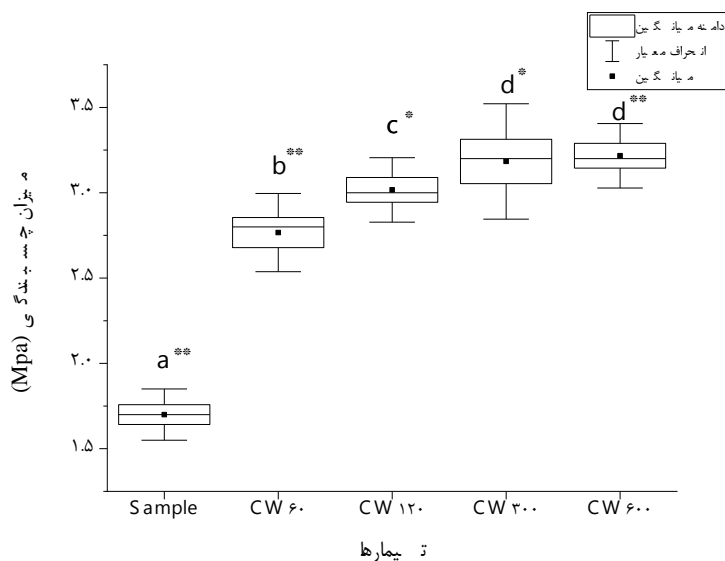
شکل ۲ میزان تغییرات مقاومت چسبندگی پوشش پلی یورتان پایه حلال قبل از تیمار پلاسما (نمونه شاهد) و بعد از ۶۰، ۱۲۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ ثانیه تیمار پلاسما را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد پس از تیمار پلاسما میزان مقاومت چسبندگی پوشش پلی یورتان پایه حلال افزایش یافته است. بیشترین میزان مقاومت به چسبندگی در تیمار پلاسما در ۶۰۰ ثانیه مشاهده شد. به عبارت دیگر در اثر تیمار پلاسما به مدت ۶۰، ۱۲۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ ثانیه به ترتیب ۲۹، ۳۳، ۴۳ و ۴۸ درصد میزان مقاومت به چسبندگی در پوشش پلی یورتان پایه حلال افزایش یافته است. نتایج تحقیقات هیس و همکاران [۲۵] نشان داد که با افزایش زمان تیمار پلاسما میزان چسبندگی پوشش های رنگی بهبود می یابد. همچنین، نتایج آزمون آماری نشان می دهد اختلاف معناداری در سطح اعتماد ۹۵ درصد میان نمونه های تیمار شده و تیمار نشده وجود دارد ولی اختلاف معناداری میان تیمار پلاسما ۳۰۰ و ۶۰۰ ثانیه مشاهده نمی شود. بیشترین میزان تغییرات بر اساس زمان تیمار پلاسما مربوط به تیمار پلاسما ۶۰ ثانیه می باشد که بیشترین تاثیر را در واحد زمان بر میزان چسبندگی پوشش داشته است. ولکنهور و همکاران [۱۷] به نتایج مشابهی دست یافتند. استفاده از تیمار پلاسما باعث کاهش زاویه تماس در سطح چوب شد و به عبارت دیگر می توان گفت، در نتیجه آبدوستی و کشش سطحی چوب افزایش و میزان جذب پوشش پلی یورتان پایه حلال در چوب افزایش یافته و از دلایل مهم در افزایش مقاومت چسبندگی پس از تیمار پلاسما پوشش ها می باشد. تحقیقات ریهن و همکاران [۱۸] نشان داد، کاهش زاویه تماس و افزایش کشش سطحی چوب، از مهمترین پارامترهای افزایش میزان چسبندگی پوشش ها می باشد.

مقاله پذیرفته شده



شکل ۲- میزان مقاومت چسبندگی پوشش پلی یورتان پایه حلال

همچنین، در شکل ۳ میانگین مقاومت چسبندگی پوشش پلی یورتان پایه آب قبل و بعد از تیمار پلاسما نشان داده شده. به ترتیب بیشترین میزان چسبندگی مربوط به تیمارهای ۶۰، ۱۲۰، ۳۰۰، ۶۰۰ و شاهد بود. نتایج نشان داد تیمار پلاسما باعث افزایش مقاومت چسبندگی پوشش‌ها شد و می‌توان گفت به ترتیب در اثر تیمار پلاسما ۶۰، ۱۲۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ ثانیه میزان چسبندگی پوشش پلی یورتان پایه آب ۵۶، ۶۷، ۷۷ و ۷۸ درصد افزایش یافت. همچنین، نتایج آزمون آماری نشان می‌دهد اختلاف معناداری در سطح اعتماد ۹۵ درصد میان نمونه‌های تیمار شده و تیمار نشده وجود دارد. همچنین، مشابه پوشش پلی یورتان پایه حلال، اختلاف معناداری میان تیمار پلاسما ۳۰۰ و ۶۰۰ ثانیه در پوشش پلی یورتان پایه آب مشاهده نمی‌شود. میزان افزایش مقاومت به چسبندگی پوشش‌های پلی یورتان پایه آب نسبت به پلی یورتان پایه حلال در اثر تیمار پلاسما بهتر بوده است. به عبارت دیگر در اثر استفاده از تیمار پلاسما برای پوشش پایه آب نسبت به پوشش پایه حلال به ترتیب برای تیمارهای ۶۰، ۱۲۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ ثانیه به میزان ۲۷، ۳۴، ۳۴ و ۳۰ درصد افزایش یافته است. همچنین، با توجه به میزان مقاومت چسبندگی کمتر پوشش پلی یورتان پایه آب (۱/۸ Mpa) نسبت به پوشش پلی یورتان پایه حلال (۲/۱ Mpa) در شرایط بدون تیمار، ولی پس از تیمار پلاسما مقاومت پوشش پلی یورتان پایه آب بهبود یافت و حتی بهتر از پوشش پلی یورتان پایه حلال گردید. بنابراین می‌توان گفت که پوشش‌های پلی یورتان پایه آب نسبت به پوشش‌های پلی یورتان پایه حلال توانسته است پیوند مناسب‌تری با سطح چوب داشته باشد. تحقیقات لوکووسکی و هورا [۲۲] به نتایج مشابهی دست یافتند و نشان دادند تیمار پلاسما مقاومت به چسبندگی پوشش‌های آکرلیک پایه آبی را بهتر از پایه حلال آکرلیکی بهبود می‌بخشد. بر اساس نتایج آزمون زاویه تماس می‌توان گفت یکی از دلایل اصلی افزایش میزان مقاومت به چسبندگی پوشش‌ها پس از تیمار پلاسما، کاهش میزان زاویه تماس در اثر پلاسما و آبدوستی و کشش سطحی بهتر سطح چوب می‌باشد. که با تحقیقات ایوتنس و همکاران [۲۴] همخوانی دارد.



شکل ۳- میزان مقاومت چسبندگی پوشش پلی یورتان پایه آب

نتیجه گیری

در این تحقیق، تأثیر تیمار پلاسما بر میزان چسبندگی پوشش‌های پایه آب و پایه حلال پلی یورتان با کمک تکنیک‌های زاویه تماس و چسبندگی کششی مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان مقاومت چسبندگی پوشش پلی یورتان پایه حلال به طور معمول از مقاومت چسبندگی پوشش پلی یورتان پایه آب بیشتر می‌باشد که می‌توان علت آن را، ماهیت رزینی و صلبی پوشش پلی یورتان پایه حلال و همچنین نفوذ بیشتر آن در بافت، خلل و فرج چوب دانست. نتایج نشان داد که تیمار پلاسما در اثر کاهش زاویه تماس و افزایش آبدوستی سطح چوب توانسته است میزان مقاومت پوشش‌های پایه حلال و پایه آب را بهبود دهد، ولی این افزایش مقاومت در پوشش پلی یورتان پایه آب بیشتر از پایه حلال مشاهده شد. همانطور که نتایج نشان داد با ۶۰ ثانیه تیمار پلاسما میزان مقاومت به چسبندگی پوشش تقریباً ۳۰ درصد افزایش داشته است ولی با افزایش ۱۰ برابری زمان پلاسما (۶۰۰ ثانیه)، این میزان چسبندگی ۳۰۰ برابر نشده است که نشان دهنده آن است که با توجه به هزینه بر بودن این تیمار، افزایش ۶۰۰ ثانیه‌ای برای تیمار پلاسمایی جهت کاربرد در صنعت مقرون به صرفه و اقتصادی نمی‌باشد. علاوه بر این، با توجه به اینکه میزان چسبندگی پوشش پلی یورتان پایه آب قبل از تیمار پلاسما کمتر از پوشش پلی یورتان پایه حلال بود ولی پس از تیمار پلاسما نتایج تغییر کرده و چسبندگی پوشش پایه آب بیشتر از پایه حلال مشاهده شد که می‌توان علت آن را افزایش کشش پذیری گروه‌های هیدروکسی سلولز و همی سلولز سطح چوب و افزایش خاصیت آبدوستی آنها دانست که باعث واکنش بهتر با پوشش پایه آب و تشکیل پیوندهای مناسب‌تر با سطح چوب شده و در نهایت مقاومت پوشش پایه آب را بهبود بخشیده است. همچنین، می‌توان نتیجه‌گیری نمود تیمار پلاسما باعث بهبود عملکرد پوشش‌های پایه آب و پایه حلال بر روی گونه چوبی صنوبر شده که بستگی به نوع پوشش و زمان تیمار پلاسما متغیر می‌باشد. بعلاوه می‌توان گفت، فرآیند پلاسما یک تکنولوژی توانمند در بهبود دوام و افزایش مقاومت پوشش‌های چوبی می‌باشد که می‌تواند بر سطوح چوب خام و فرآورده‌های چوبی مورد استفاده قرار داد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، تیمار پلاسما بر روی گونه‌های دیگر چوبی بومی صورت پذیرد و تأثیر تیمار پلاسما در مقاومت به هوازدگی پوشش‌های رایج و نانو پوشش‌ها مورد ارزیابی و بررسی بیشتر قرار گیرد.

منابع

1. L. Tolvaj, L. Persze, L. Albert, Thermal degradation of wood during photodegradation. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 105 (2011), 90-93.
2. R. Herrera, J. Sandak, E. Robles, T. Krystofiak, J. Labidi, Weathering resistance of thermally modified wood finished with

- coatings of diverse formulations, *Progress in Organic Coatings*. 119 (2018), 145-154.
3. J. Profili, O. Levasseur, A. Koronai, L. Stafford, N. Gherardi, Deposition of nanocomposite coatings on wood using cold discharges at atmospheric pressure. *Surface & Coatings Technology*. 309 (2017), 729-737.
4. J.E. Custodio, M.I. Eusebio, Waterborne acrylic varnishes durability on wood surfaces for exterior exposure. *Progress in Organic Coatings*. 56 (2006), 59-67.
5. N. Tuck, *Waterborne and Solvent Based Alkyds and Their End User Applications*. John Wiley & Sons in Association with SITA Technology Ltd., London. 2000. 150.
6. B. Kaygin, E. Akgun, Comparison of conventional varnishes with nanolake UV varnish with respect to hardness and adhesion durability. *International Journal of Molecular Sciences*. 9 (2008), 476-485.
7. J. Cool, R.E. Hernández, Improving the sanding process of black spruce wood for surface quality and water-based coating adhesion. *Forest Products Journal*, 61(2011), 372-380.
- ۸- ه. غلامیان، ا. طارمیان، ک. پورطهماسی، بررسی میکروسکوپی اثرات اصلاح سطح چوب با فرایند سل زل بر کیفیت پوشش دهی آن با پوشش های آلکیدی و پلی اورتان. *مجله صنایع چوب و کاغذ ایران*، ۸ (۱۳۹۶)، ۵۰۹-۵۲۰.
- ۹- م. غفرانی، س. خجسته، اثر کیفیت پرداخت سطح چوب بر مقاومت چسبندگی در شفاف پوشه‌ها. *نشریه علمی-پژوهشی علوم و فناوری رنگ*، ۷ (۱۳۹۲)، ۳۳۹-۳۴۵.
- ۱۰- غ. معنوی، م. غفرانی، س. میرشکرایبی، بررسی تاثیر نوع، درصد رطوبت چوب و نوع رنگ بر روی مقاومت چسبندگی کششی رنگ های شفاف رایج در صنایع مبلمان. *تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران*، ۲۷ (۱۳۹۱)، ۷۴۳-۷۵۳.
- ۱۱- آ. طلائی، م. رضوانی، ه. دوست محمدی، بررسی مقاومت چسبندگی پوشش‌های شفاف آلکیدی و نیتروسولوزی در فرآیندهای مختلف اصلاح گرمایی چوب صنوبر، *نشریه علمی-پژوهشی علوم و فناوری رنگ*، ۱۲ (۱۳۹۷)، ۱۷۱-۱۸۰.
12. H. Taghiyari, Nano-zycosil in MDF: gas and liquid permeability. *Eur J Wood Prod*, 71(2013), 353-360.
13. S. Wang, C. Liu, G. Liu, M. Zhang, J. Li, C. Wang, Fabrication of superhydrophobic wood surface by a sol-gel process. *Applied Surface Science*, 258 (2011), 806-810.
14. H. Ma, D. Li, Ch. Liua, Zh. Huang, D. He, Q. Yan, P. Liua, Ph. Nash, D. Shena, An investigation of (NaPO₃)₆ effects and mechanisms during micro-arc oxidation of AZ31 magnesium alloy, *Surf. Coat. Tech.* 266 (2015), 151-159.
15. A. Fahmy, J. Friedrich, F. Poncin-Epaillard, D. Debarnot, Plasma polymerized allyl alcohol/O₂ thin films embedded with silver nanoparticles, *Thin Solid Films* 616 (2016), 339-347.
16. A.Y. Nikiforov, X. Deng, I. Onyshchenko, D. Vujosevic, V. Vuksanovic, U. Cvelbar, N. De Geyter, R. Morent, C. Leys, Atmospheric pressure plasma deposition of antimicrobial coatings on non-woven textiles, *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* 75 (2016), 24710.
17. A. Wolkenhauer, G. Avramidis, E. Hauswald, H. Militz, W. Viöl, Plasma treatment of wood-plastic composites to enhance their adhesion properties. *J. Adhes. Sci. Technol.* 22 (2008), 2025-2037.
18. P. Rehn, A. Wolkenhauer, M. Bente, S. Förster, W. Viöl, Wood surface modification in dielectric barrier discharges at atmospheric pressure. *Surf. Coat. Technol.* 174 (2003), 515-518.
19. B. Riedl, C. Angel, J. Prégent, P. Blanchet, L. Stafford, Effect of wood surface modification by atmospheric-pressure plasma on waterborne coating adhesion. *BioResources*. 9 (2014), 4908-4923.
20. V. Blanchard, P. Blanchet, B. Riedl, Surface energy modification by radiofrequency inductive and capacitive plasma at low pressures on sugar maple: An exploratory study. *Wood Fiber Sci.* 41 (2009), 245-254.
21. M.N. Acda, E.E. Devera, R.J. Cabangon, H.J. Ramos. Effect of plasma on adhesion properties of wood. *Int. J. Adhes. Adhes.* 32 (2012), 70-75.
22. D. Lukowsky, G. Hora, Pretreatments of wood to enhance the performance of outdoor coatings. *Macromol. Symp.* 187 (2002), 77-85.
23. M.D. Meijer, Review on the durability of exterior wood coatings with reduced VOC-content. *Prog. Org. Coat.* 43 (2001), 217-225.
24. P.D. Evans, S. Vollmer, J.D.W. Kim, G. Chan, S. Kraushaar Gibson, Improving the performance of clear coatings on wood through the aggregation of marginal gains. *Coatings*. 6 (2016), 66-75.
25. V. Rijckaert, M. Stevens, J. Van Acker, Effect of some formulation parameters on the penetration and adhesion of waterborne primers into wood. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 59 (2001), 344-350.
26. J. G. Haase, L. H. Leung, P. D. Evans, Plasma Pre-treatments to Improve the Weather Resistance of Polyurethane Coatings on Black Spruce Wood. *Coatings*. 9 (2019), 1-14.