

افزایش مقاومت به هوازدگی پوشش آکرلیکی مورد استفاده بر روی چوب راش بوسیله نانو اکسید روی و نانوسلولز

چکیده

پوشش‌های شفاف استفاده شده در محیط‌های بیرونی مانند رنگ‌های شفاف آکرلیکی معمولاً دارای عمر کوتاهی هستند زیرا امواج نور خورشید به راحتی از این نوع پوشش‌ها عبور کرده و به سطح چوب می‌رسند و موجب تخریب دیواره سلولی بافت چوب می‌شوند. با استفاده از مواد جاذب نور فرابنفش مناسب در ساختار رنگ‌ها می‌توان این پدیده را کاهش داد. به همین منظور در این تحقیق، ساختار رنگ آکرلیکی شفاف بوسیله نانوسلولز (۱ درصد) و نانو اکسیدروی (۰ و ۰/۵ درصد) اصلاح و به کمک قلم‌مو روی نمونه‌های چوب راش اعمال گردید. سپس این نمونه‌ها به مدت شش ماه در معرض هوازدگی طبیعی قرار داده شدند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی رنگ، زاویه تماس، رنگ‌سنجی، طیف‌سنجی ATR-FTIR و تصاویر میکروسکوپی نشان داد که استفاده از نانو سلولز در کنار نانو اکسید روی توانسته مقاومت به هوازدگی چوب‌های پوشش داده شده را افزایش دهد به طوری که این نمونه‌ها تخریب کمتری را در طی هوازدگی از خود نشان دادند.

واژگان کلیدی: نانو سلولز، نانو اکسید روی، آکرلیک شفاف، هوازدگی، چوب راش.

داود رسولی^{۱*}

مهناز اکبر نژاد^۲

حسین یوسفی^۳

مهدی مشکور^۴

^۱ استادیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته حفاظت و اصلاح چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۳ استادیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۴ استادیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:

Rasouli@gau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۹

مقدمه

چوب به دلیل داشتن ظاهر زیبا، مقاومت مکانیکی مناسب و دانسیته پایین به طور گسترده جهت ساخت خانه و محصولات مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از چوب در محیط‌های بیرونی مانند نمای خارجی ساختمان، درب‌ها و پنجره‌ها، مبلمان شهری، قایق و... باعث می‌شود که آنها در معرض پدیده هوازدگی قرار گیرند [۱]. اشعه فرابنفش خورشید از جمله عواملی است که سبب تخریب سطح چوب شده و در کنار سایر شرایط

آب و هوایی پدیده هوازدگی را ایجاد می‌نماید. این فرآیند مخرب، اغلب موجب تغییر رنگ و تخریب فیزیکی در سطح چوب شده و شکاف و ترک‌هایی در سطح آن ایجاد می‌نماید. طی پدیده هوازدگی، در اثر تجزیه فتوشیمیایی لیگنین، رنگ چوب تغییر یافته و سطح چوب، از نظر مقدار سلولز غنی‌تر می‌گردد. در ادامه و به مرور زمان در اثر بارندگی، سلولز نیز از سطح چوب شسته می‌شود. امواج فرابنفش قادرند تنها تا عمق ۷۵ میکرومتری چوب نفوذ نمایند، به همین دلیل هوازدگی را پدیده‌ای سطحی

نانو اکسید روی بتواند با تثبیت و پراکنده‌سازی بهتر نانو اکسید روی موجب افزایش کارایی این ماده در برابر هوازدگی پوشش‌های مربوطه گردد.

با توجه به توضیحات داده شده مبنی بر امکان تولید پوشش‌های شفاف با استفاده از نانو اکسید روی بعنوان جاذب نور فرابنفش و نانو سلولز بعنوان عامل تثبیت‌کننده و تقویت‌کننده فاز پلیمری، در این مطالعه مقاومت به هوازدگی چوب راش پوشش داده شده با رنگ شفاف آکرلیکی تقویت شده با نانو اکسید روی و نانو سلولز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، سه اصله درخت راش از جنگل شصت کلاته قطع و پس از تبدیل و خشک شدن، نمونه‌های مماسی عاری از هر گونه عیب از ناحیه برون‌چوب آنها با ابعاد $12 \times 10 \times 1$ سانتی‌متر ($R \times T \times L$) تهیه گردید.

در این بررسی از رنگ شفاف آکرلیکی (کوپلیمر متیل متاآکریلات-استایرن) بر پایه آب (شرکت نیوکالر، ایران)، نانو اکسید روی با اندازه متوسط ذرات ۶۰ نانومتر (آلفا ایسرا، آمریکا) و نانو سلولز (شرکت نانو نوین پلیمر) استفاده گردید. جهت اصلاح رنگ با نانو سلولز، نیم درصد نانو سلولز (بر مبنای وزن خشک رنگ) به ۱۰۰ گرم رنگ (با غلظت ۴۲ درصد) اضافه و سپس بمدت ۲ ساعت تحت همزن مغناطیسی قرار گرفت. برای اصلاح رنگ با نانو اکسیدروی و نانو سلولز، ابتدا سوسپانسیون ۵ درصدی نانو اکسیدروی در آب مقطر به‌وسیله دستگاه التراسونیک (مدت ۵ دقیقه با توان ۳۰۰ وات) تهیه شد. سپس مقداری از سوسپانسیون فوق که محتوی ۰/۵ درصد نانو اکسید روی (براساس وزن خشک رنگ) به رنگ اصلاح‌شده با نانو سلولز اضافه و در ادامه به مدت ۳۰ دقیقه تحت همزن مغناطیسی قرار گرفت.

برای پوشش دهی نمونه‌ها، از مقدار رنگ ۱۲۰ گرم بر مترمربع (بر اساس وزن خشک رنگ) استفاده گردید که توزیع و پخش آن در سطح نمونه‌ها به‌وسیله قلم‌مو انجام شد. به منظور سهولت در بررسی نتایج، نمونه‌های فاقد

می‌نامند که بیشتر خواص ظاهری و زیبایی چوب، نظیر تغییر رنگ، ترک‌خوردگی، آب‌شویی مواد استخراجی قابل‌حل در آب و تغییرات شیمیایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که همین امر سبب محدود شدن کاربردهای چوب در محیط‌های بیرونی می‌گردد. برای کاهش این پدیده می‌توان از پوشش‌های مناسب در این زمینه استفاده کرد [۲].

پوشش‌های شفاف عمدتاً برای محصولات چوبی برای حفظ رنگ و بافت طبیعی چوب مورد استفاده قرار می‌گیرند. از پوشش‌های شفاف می‌توان به لاک‌های نیترو سلولزی، آکرلیکی، پلی اورتانی و... نام برد. پوشش‌های شفاف استفاده شده در محیط‌های بیرونی معمولاً دارای عمر کوتاهی هستند زیرا امواج نور خورشید به راحتی از این نوع پوشش‌ها عبور کرده و به سطح چوب می‌رسند و با تخریب دیواره سلولی موجب تخریب سطح چوب می‌شوند [۲، ۳]. راهکار مناسب جهت افزایش مقاومت به هوازدگی در این‌گونه پوشش‌ها، استفاده از جاذب‌های نوری مناسب می‌باشد. رنگ‌دانه‌های دی‌اکسید تیتانیوم و اکسیدروی مثالی از این مواد می‌باشند. این ذرات، به دلیل جذب گسترده طیف فرابنفش، باعث جلوگیری از نفوذ نور فرابنفش خورشید به درون پوشش شده و در نتیجه می‌توانند موجب کاهش تخریب نوری گردند. اما در صورت استفاده از این رنگ‌دانه، پوشش ایجاد شده شفاف نخواهد بود [۴]. راهکار مناسب برای حل این مشکل، کوچک‌سازی ابعاد این ذرات به مقیاس نانو می‌باشد که علاوه بر افزایش جذب پرتو فرابنفش، امکان تولید پوشش‌های شفاف را نیز فراهم می‌آورد [۵]. البته برای رسیدن به این مهم، پراکنده‌سازی مناسب و جلوگیری از کلوخه شدن این نانو مواد بوسیله پایدارکننده‌های مناسب از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد مطالعات صورت گرفته نشان داده که نانو سلولز می‌تواند باعث تثبیت نانو اکسیدروی در پوشش آکرلیک شده و از رسوب این نانو ذرات جلوگیری نماید [۶]. همچنین این نانو ماده می‌تواند با تقویت ساختار پلیمرها و پوشش‌ها، موجب بهبود ویژگی‌های مکانیکی شده و کنار آن، امکان تولید محصولات و پوشش‌های شفاف را نیز فراهم می‌سازد [۷]. [۸]. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از نانو سلولز در کنار

¹ Alfa Aeser

به سمت جنوب تحت زاویه ۴۵ درجه و با ارتفاع ۵۵ سانتی‌متری از سطح زمین به مدت ۱۸۰ روز (فصل بهار و تابستان) در جنگل شصت کلاته گرگان قرار داده شدند. داده‌های هواشنایی این منطقه در طی دوره هوازدهی در جدول ۱ ارائه شده است.

پوشش با علامت W، پوشش داده شده با رنگ آکرلیک با علامت P، رنگ آکرلیک اصلاح شده با نانو سلولز با علامت PC و رنگ آکرلیک اصلاح شده با نانو سلولز و نانو اکسید روی با علامت PCN نشان داده شده است. برای انجام آزمون هوازدهی طبیعی، نمونه‌های آزمونی

جدول ۱- میانگین رطوبت، دمای هوا و بارش روزانه منطقه در طی ۱۸۰ روز هوازدهی طبیعی

میانگین ساعت آفتابی (h)	میزان بارش (mm)	حداکثر رطوبت (%)	حداقل رطوبت (%)	حداکثر دمای روزانه (°C)	حداقل دمای روزانه (°C)
۲۷۳/۳	۱۹/۱	۹۳/۸	۲۶/۸	۳۵/۶	۱۱/۴

و میانگین زاویه تماس آنها با تکرار ۵ قطره برای هر نمونه برای آنالیز آماری و ارائه نتایج استفاده گردید. به منظور بررسی تغییرات شیمی سطح نمونه‌های رنگ شده از طیف‌سنجی ATR-FTIR (Bruker مدل Vertex 80) در محدوده $4000-600 \text{ cm}^{-1}$ ، با تعداد ۳۲ اسکن و قدرت تفکیک 4 cm^{-1} استفاده گردید. برای اینکه بتوان تغییرات گروه‌های عاملی را در اثر هوازدهی مقایسه کرد، تمامی نمودارها در پیک ۱۴۵۰ نرمال گردیدند. دلیل انتخاب این پیک برای نرمال کردن، تغییرات جزئی آن در طی دوره هوازدهی بود [۱۱]. آزمون زاویه تماس قطره آب بر روی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه PGX (سوئیس) و تصاویر سطح نمونه‌ها با استفاده از استریو میکروسکوپ OLYMPUS 8ZX16 اندازه‌گیری شد.

نتایج آزمون‌های چسبندگی، رنگ‌سنجی و زاویه تماس در قالب طرح‌های کاملاً تصادفی بررسی و میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد. در این مطالعه برای هر تیمار، تعداد ۳ نمونه آزمونی تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس ویژگی‌های مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. همانگونه که مشخص است اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح اطمینان ۹۹ درصد برای مقاومت چسبندگی و شاخص‌های رنگ-سنجی وجود دارد. همچنین اختلاف معنی‌داری بین تیمارها برای زاویه تماس در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده می‌گردد.

به منظور بررسی شدت هوازدهی بر روی نمونه‌ها، آزمون‌های زیر قبل و بعد از هوازدهی بر روی آنها انجام گردید:

مقاومت چسبندگی رنگ به سطح چوب توسط آزمون pull off با استفاده از دستگاه (DeFelsko) Posi Test (آمریکا) مطابق استاندارد ASTM D4541 انجام شد [۹]. برای این منظور قطعات آلومینیومی مخصوص به نام دالی، به قطر ۲۰ میلی‌متر بوسیله چسب اپوکسی بر روی سطح نمونه‌های پوشش داده شده چسبانده شدند. سپس به کمک دستگاه مربوطه مقاومت چسبندگی آنها تعیین گردید. خصوصیات رنگی سطح نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASTM D2244 به وسیله دستگاه LAVIBAND (آلمان) بر اساس سیستم CIE-lab، مورد ارزیابی قرار گرفت و تغییرات رنگی (ΔE) بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید [۱۰].

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

در اندازه‌گیری رنگ‌سنجی، مشخصات رنگ نمونه‌ها بر اساس پارامترهای L ، a و b بیان می‌شود که L نشان‌دهنده میزان روشنایی است و مقادیر آن از صفر تا ۱۰۰ (سیاه تا سفید) متغیر است. شاخص قرمزی (a) از مقدار قرمز (+) تا سبز (-) تغییر می‌کند. همچنین شاخص زردی (b) از مقدار زرد (+) تا آبی (-) تغییر می‌کند.

برای اندازه‌گیری زاویه تماس از روش استاتیکی استفاده شد برای این منظور، آب دو بار تقطیر شده به میزان ۳ میکرو لیتر بر روی سطح نمونه‌ها قرار گرفت و زاویه تماس از بازه ۰ تا ۱۰ ثانیه برای هر ثانیه اندازه‌گیری

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس یکطرفه ویژگیهای مورد بررسی

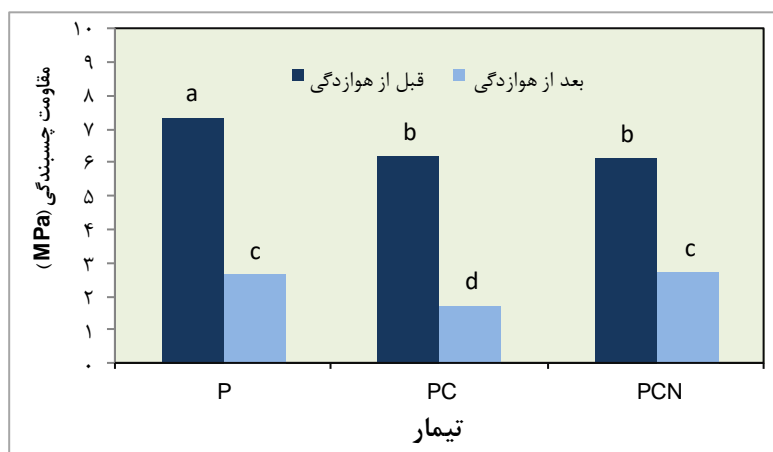
متغیر وابسته	عامل تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
مقاومت چسبندگی	تیمار	۵	۴۴۸۷/۳۹	۸۹۷/۴۷	** ۲۲/۹۴
	خطا	۲۹	۱۱۳۴/۱۸	۳۹/۱	
	کل	۳۴	۵۶۲۱/۵۷		
زاویه تماس	تیمار	۵	۸/۷۶	۱/۷۵	* ۳/۲۷
	خطا	۲۳	۱۲/۲۹	۰/۵۳۵	
	کل	۲۸	۲۱/۰۶		
شاخص روشنایی	تیمار	۷	۲۲۹۹/۱	۳۲۸/۴۴	** ۵۰/۹
	خطا	۳۱	۲۰۰	۶/۴۵	
	کل	۳۸	۲۴۹۹/۱		
شاخص قرمزی	تیمار	۷	۷۸/۴۵	۱۱/۲	** ۱۵/۳۹
	خطا	۳۱	۲۲/۵۷	۰/۷۲۸	
	کل	۳۸	۱۰۱		
شاخص زردی	تیمار	۷	۲۴۸/۱۲	۳۵/۴۴	** ۱۱۵/۶۳
	خطا	۳۱	۹/۵	۰/۳۰۷	
	کل	۳۸	۲۵۷/۶۲		

** سطح ۹۹ درصد معنی دار * سطح ۹۵ درصد معنی دار

مقاومت چسبندگی

یکی از معیارهای مهم برای سنجش پایداری پوشش، چسبندگی مناسب آن به سطح کار می‌باشد. عوامل زیادی می‌توانند چسبندگی پوشش به چوب را تحت تأثیر قرار دهند که از جمله می‌توان به نوع پوشش، گونه چوبی، نسبت چوب آغاز به پایان، درصد رطوبت، نوع پرداخت سطح چوب و ... اشاره نمود [۱۲]. بررسی نتایج مقاومت چسبندگی قبل از هوازدگی در چوب‌های پوشش داده شده، نشان داد که استفاده از نانو سلولز در ساختار پوشش (PC, PCN) باعث کاهش معنی‌دار در مقاومت چسبندگی شده است. دلیل این امر ناشی از افزایش ویسکوزیته رنگ در اثر استفاده از نانو سلولز و در نتیجه نفوذ کمتر در بافت چوب می‌باشد که منجر به کاهش درگیری مکانیکی رنگ

با چوب شده است. چنین نتیجه‌ای توسط Grüneberger و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش گردیده است [۱۳]. نتایج بعد از هوازدگی نشان می‌دهد که مقاومت چسبندگی در تیمارها به طور معنی‌داری کاهش یافته است (شکل ۱). این امر به خاطر نفوذ نور فرابنفش خورشید از پوشش شفاف به سطح چوب و تخریب نوری در آن بخش که در نهایت منجر به کاهش مقاومت چسبندگی می‌گردد [۱۴]. کاهش مقاومت چسبندگی در پوشش حاوی نانو اکسید روی و نانوسلولز (PCN) از میزان کمتری نسبت به سایر پوشش‌ها برخوردار می‌باشد. حضور نانو اکسید روی در ساختار پوشش باعث جذب بخشی از امواج فرابنفش خورشید شده و در نتیجه تخریب سطح چوب کمتر اتفاق افتاده است.

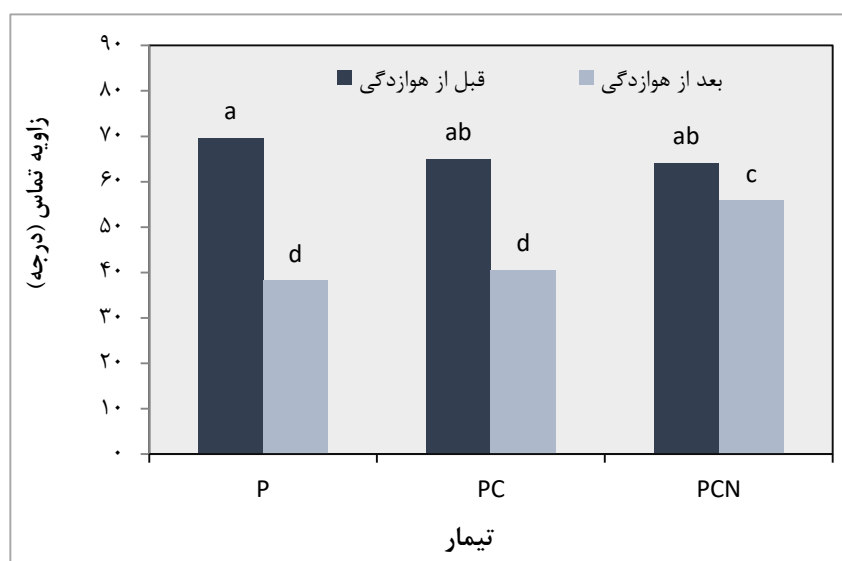


شکل ۱- مقاومت چسبندگی نمونه‌ها قبل و بعد از هوازدگی (حروف روی ستون‌ها نشان‌دهنده گروه‌بندی دانکن می‌باشد)

کمتری می‌باشند نتایج همچنین نشان می‌دهد هوازدگی باعث کاهش معنی‌دار زاویه تماس در نمونه‌ها شده است. علت این امر می‌تواند ناشی از تشکیل گروه‌های کربونیل و افزایش ناهمواری سطح در طی هوازدگی باشد که باعث کاهش زاویه تماس گردیده است [۱۶، ۱۵] تغییرات کمتر زاویه تماس در تیمار PCN در طی دوره هوازدگی حاکی از آن است که حضور نانو اکسیدروی به طور موثری توانسته از تخریب پوشش در طی این دوره جلوگیری نماید. لازم به ذکر است در نمونه‌های چوبی فاقد پوشش، به دلیل پخش شدن قطره آب در سطح چوب هوازده، امکان اندازه‌گیری زاویه تماس وجود نداشت.

زاویه تماس

زاویه تماس فاکتوری برای نشان دادن میزان ترشوندگی یک ماده می‌باشد که عبارت است از زاویه‌ای که قطره آب بر روی سطح ماده تشکیل می‌دهد. میزان این زاویه بسته ویژگی‌های شیمیایی و زبری سطح می‌باشد [۱۵]. نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد که قبل از هوازدگی در پوشش‌های PC و PCN شاهد کاهش جزئی در زاویه تماس هستیم هرچند که این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. دلیل این کاهش می‌تواند ناشی از وجود نانو سلولز در این پوشش‌ها باشد که به دلیل خاصیت آبدوستی آن، این پوشش‌ها دارای زاویه تماس

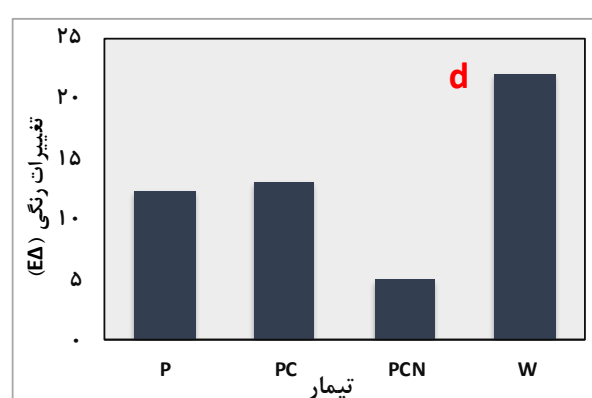
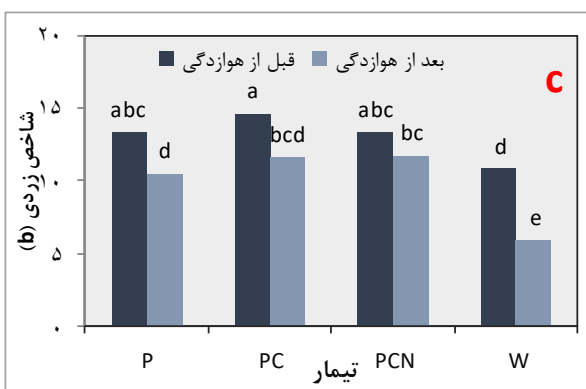
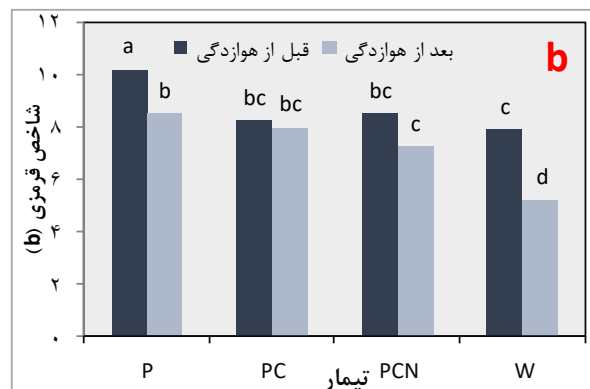
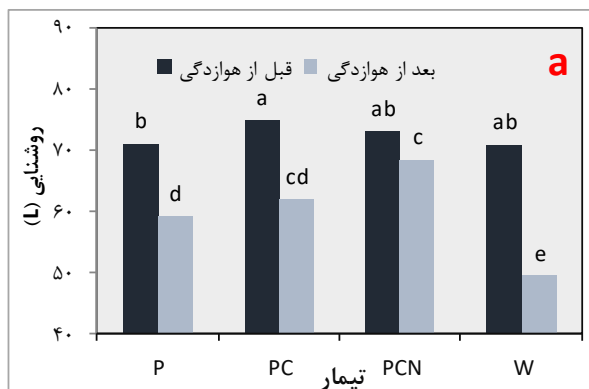


شکل ۲- میزان زاویه تماس نمونه‌ها قبل و بعد از هوازدگی (حروف روی ستون‌ها نشان‌دهنده گروه‌بندی دانکن می‌باشد)

رنگ سنجی

نتایج به دست آمده از تغییرات شاخص روشنایی (شکل ۳a) نشان می‌دهد استفاده از نانو سلولز در ساختار پوشش موجب روشن‌تر شدن جزئی اما معنی‌دار در روشنایی نمونه‌ها قبل از هوازدگی شده است. افزودن نانو سلولز به ساختار پوشش به تنهایی تأثیری در کاهش روشنایی بعد از هوازدگی از خود نشان نداد در حالی که کمترین کاهش روشنایی در نمونه‌های پوشش داده شده با رنگ حاوی نانو نانو اکسید روی و نانو سلولز (PCN) مشاهده شد. در طی دوره هوازدگی، بیشترین کاهش شاخص قرمزی و زردی (شکل ۳b و ۳c) مربوط به نمونه‌های بدون پوشش (W) بود در حالی که کمترین کاهش شاخص قرمزی مربوط به نمونه‌های PC و در شاخص زردی مربوط به نمونه‌های PCN می‌باشد. بررسی نتایج تغییرات رنگی بعد از هوازدگی نشان می‌دهد که استفاده از پوشش بر روی

نمونه‌های چوبی توانسته تا حدودی تغییرات رنگی نمونه‌ها را در طی هوازدگی کاهش دهد. همچنین اصلاح ساختار پوشش با نانو اکسید روی و نانو سلولز توانست به طور موثرتری از تغییر رنگ نمونه‌ها در طی هوازدگی جلوگیری نماید. در واقع استفاده از نانو اکسید روی در ساختار رنگ موجب جذب اشعه فرابنفش خورشید شده و توانسته از تخریب سطح چوب جلوگیری نماید [۱۷]. به‌طور کلی تخریب نوری و تغییر در ترکیب شیمیایی، بخصوص در لیگنین چوب، عامل اصلی تغییر رنگ محسوب می‌شود. هرچند نفوذ پرتو فرابنفش در چوب چندان زیاد نیست ولی موجب تخریب لیگنین در سطح شده و محصولات حاصل از تخریب به‌عنوان عوامل رنگ‌زا عمل می‌نمایند. از میان این عوامل می‌توان به ترکیباتی چون: ارتو، پاراکینون و همچنین افزایش گروه‌های کربونیل و کینوئید مشتق شده از لیگنین اشاره نمود [۱۸].

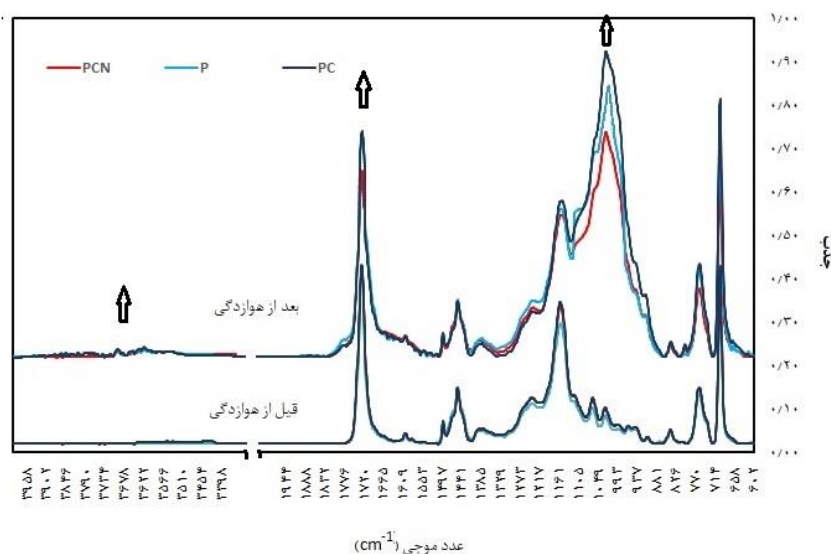


شکل ۳- تغییرات شاخص روشنایی (a) قرمزی (b) و زردی (c) تغییرات رنگی نمونه‌ها (d) نمونه‌ها قبل و بعد از هوازدگی (حروف روی ستون‌ها نشان‌دهنده گروه‌بندی دانکن می‌باشد)

رزین آکرلیک می‌باشد. مطالعات قبلی نیز افزایش غلظت این گروه عاملی در اثر هوازدهی را نشان داده است [۱۹ و ۲۰]. پیک جذبی $1730-1700 \text{ cm}^{-1}$ به گروه‌های کربونیل موجود در آکرلیک نسبت داده شده است [۴ و ۱۸]. افزایش شدت پیک در این ناحیه را می‌توان به تشکیل گروه‌های کربونیل آزاد از طریق شکستن زنجیره پلیمر به صورت مستقیم و یا به واسطه رادیکال‌های آزاد در اثر هوازدهی نسبت داد [۲۱]. از بین پوشش‌ها، کمترین میزان افزایش در پیک کربونیل در رنگ حاوی نانو اکسید روی و سلولز مشاهده گردید. افزایش جزئی در محدوده پیک $3700-3500 \text{ cm}^{-1}$ بعد از هوازدهی نمونه‌ها ناشی از تشکیل رادیکال‌های هیدروپروکسید در مرحله تخریب نوری رزین رنگ می‌باشد [۲۲].

طیف‌سنجی ATR-FTIR

نتایج طیف‌سنجی ATR-FTIR نمونه‌ها در شکل ۴ ارائه شده است. برای بررسی شدت هوازدهی رنگ‌های آکرلیک می‌توان به بررسی تغییرات پیک‌های 1040 cm^{-1} و 1700 در طی هوازدهی پرداخت [۱۹]. نتایج بدست آمده نشان داد استفاده از نانو سلولز تأثیری در ساختار شیمیایی رنگ اصلاح شده نداشته و تنها شاهد افزایش جزئی در پیک‌های مربوط به سلولز (مانند $1030, 1070, 1160$ و 3400) هستیم. بررسی نتایج بعد از هوازدهی نشان می‌دهد که در همه تیمارها پیک محدوده 1040 cm^{-1} به شدت افزایش یافته است. به طوری که بیشترین افزایش در این پیک مربوط به نمونه‌های PC و کمتر میزان افزایش در نمونه‌های PCN اتفاق افتاده است. پیک مورد بحث مربوط به ارتعاش کششی C-O



شکل ۴- منحنی طیف‌سنجی ATR-FTIR نمونه‌های رنگ شده قبل و بعد از هوازدهی

نمونه‌ها (شکل ۵) حاکی از تخریب گسترده در نمونه‌های بدون پوشش می‌باشد به طوری که سطح این نمونه‌ها بعد از هوازدهی تیره‌تر شده که می‌تواند ناشی از رشد کپک و یا قارچ‌های عامل باختگی در سطح این نمونه‌ها باشد. استفاده از رنگ آکرلیک و آکرلیک حاوی نانو سلولز تا حدودی از تخریب نمونه‌ها جلوگیری کرده است اما در بخش‌هایی از سطح این نمونه‌ها تخریب مرز مشترک رنگ، چوب و رشد کپک و یا قارچ‌های عامل

تصاویر استریو میکروسکوپ

تغییرات به وجود آمده در سطح نمونه‌ها با استفاده از استریو میکروسکوپ مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. تغییرات سطح چوب لزوماً به تنهایی توسط پرتو ماوراءبنفش ایجاد نمی‌شود. ممکن است در شرایط رطوبتی بالاتر، تحت تأثیر فعالیت کپک *Aurobasium pullulans* و قارچ‌های مشابهی که از محصولات تجزیه‌ای تغذیه می‌کنند قرار گیرد [۲۳، ۲۴]. نتایج تصاویر سطح

مشاهده نمی‌گردد. نانو اکسید روی به دلیل قابلیت جذب نور فرابنفش و خاصیت ضد قارچی [۲۵] توانسته در حضور نانو سلولز به طور موثری سطح نمونه‌ها را در برابر هوازدهی و رشد عوامل قارچی حفاظت کند.

باختگی مشاهده می‌گردد. تصاویر نمونه‌های حاوی نانو اکسیدروی و نانو سلولز (PCN) نشان می‌دهد که سطح نمونه‌ها بعد از ۶ ماه هوازدهی بدون تغییر باقی مانده و نشانه‌ای از تخریب سطح و رشد عوامل قارچی در آنها



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپی از سطح نمونه‌ها قبل و بعد از هوازدهی

چسبندگی و تصاویر میکروسکوپی حاکی از آن بود که اصلاح ساختار رنگ با نانو اکسید روی و نانو سلولز به خوبی توانسته نمونه‌های چوبی پوشش داده شده را در برابر تخریب ناشی از هوازدهی محافظت نماید. همچنین نتایج زاویه تماس و طیف سنجی ATR-FTIR نشان داد که اصلاح ساختار رنگ توانسته اکسیداسیون نوری زرین آکرلیک در اثر هوازدهی کاهش دهد.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش، اصلاح ساختار رنگ شفاف آکرلیکی با انگیزه افزایش مقاومت به هوازدهی نمونه‌های چوبی پوشش داده شده با این رنگ بوده است. برای این منظور از نانو ذرات اکسید روی بعنوان جاذب نور فرابنفش استفاده گردید. همچنین جهت پراکنده‌سازی بهتر این نانو ذرات در ساختار رنگ، از نانو سلولز استفاده شد. بررسی نتایج بدست آمده از آزمون‌های رنگ‌سنجی، مقاومت

منابع

- [1] Forsythe, P., 2007. Improving timber cladding for builders and designers. forest and wood products research and developments corporation, 21:1-22
- [2] Macleod, I., Scully, A., Ghiggino, K., Ritchie, P., Paravagna, O. and Leary, B., 1995. Photodegradation at the wood-clearcoat interface. Wood science and technology, 29 (3): 183-189.
- [3] Dawson, B. S., Singh, A. P., Kroese, H. W., Schwitzer, M. A., Gallagher, S., Riddiough, S. J. and Wu, S., 2008. Enhancing exterior performance of clear coatings through photostabilization of wood. Part 2: coating and weathering performance. Journal of Coatings Technology and Research, 5 (2):207.
- [4] Fufa, S. M., Jelle, B. P. and Hovde, P. J., 2013. Weathering performance of spruce coated with water based acrylic paint modified with TiO₂ and clay nanoparticles. Progress in Organic Coatings, 76 (11): 1543-1548.
- [5] Allen, N., Regan, C., McIntyre, R., Johnson, B. and Dunk, W., 1997. The photooxidation and stabilisation of water-borne acrylic emulsions. Progress in organic coatings, 32 (1-4):9-16.
- [6] Grüneberger, F., Künniger, T., Huch, A., Zimmermann, T. and Arnold, M., 2015. Nanofibrillated cellulose in wood coatings: dispersion and stabilization of ZnO as UV absorber. Progress in Organic Coatings, 87: 112-121.
- [7] Poaty, B., Vardanyan, V., Wilczak, L., Chauve, G. and Riedl, B., 2014. Modification of cellulose nanocrystals as reinforcement derivatives for wood coatings. Progress in Organic Coatings, 77 (4):813-820,
- [8] Juntaro, J., Ummartyotin, S., Sain, M. and Manuspiya, H., 2012. Bacterial cellulose reinforced polyurethane-based resin nanocomposite: a study of how ethanol and processing pressure affect physical, mechanical and dielectric properties. Carbohydrate polymers, 87 (4):2464-2469.
- [9] Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers., ASTM International, 2009.
- [10] Testing, A. S. f., Materials, Standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates. ASTM International, 2014.
- [11] Forsthuber, B., Müller, U., Teischinger, A. and Grüll, G., 2013. Chemical and mechanical changes during photooxidation of an acrylic clear wood coat and its prevention using UV absorber and micronized TiO₂. Polymer degradation and stability, 98:1329-1338.
- [12] de Meijer, M., 2004. In A review of interfacial aspects in wood coatings: wetting., surface energy, substrate penetration and adhesion. COST E18 Final Seminar, pp 26-27.
- [13] Grüneberger, F., Künniger, T., Zimmermann, T. and Arnold, M., 2014. Rheology of nanofibrillated cellulose/acrylate systems for coating applications. Cellulose, 21 (3): 1313-1326.
- [14] Evans, P., Chowdhury, M. J., Mathews, B., Schmalzl, K., Ayer, S., Kiguchi, M. and Kataoka, Y., 2005. Weathering and surface protection of wood. In Handbook of environmental degradation of materials, Elsevier: pp 277-297.

- [15] Meiron, T. S., Marmur, A. and Saguy, I. S., 2004. Contact angle measurement on rough surfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, 274 (2): 637-644.
- [16] Matuana, L. M. and Kamdem, D. P., 2002. Accelerated ultraviolet weathering of PVC/wood-flour composites. *Polymer Engineering & Science*, 42 (8): 1657-1666.
- [17] Rasouli, D., Dintcheva, N. T., Faezipour, M., La Mantia, F. P., Farahani, M. R. M. and Tajvidi, M., 2016. Effect of nano zinc oxide as UV stabilizer on the weathering performance of wood-polyethylene composite. *Polymer Degradation and Stability*, 133: 85-91.
- [18] Forsthuber, B. and Gröll, G., 2010. The effects of HALS in the prevention of photo-degradation of acrylic clear topcoats and wooden surfaces. *Polymer degradation and stability*, 95 (5): 746-755.
- [19] Wojciechowski, K., Zukowska, G. Z., Korczagin, I. and Malanowski, P., 2015. Effect of TiO₂ on UV stability of polymeric binder films used in waterborne facade paints. *Progress in Organic Coatings*, 85: 123-130.
- [20] Allen, N., Regan, C., McIntyre, R., Johnson, B. and Dunk, W., 1997. The photooxidation and stabilisation of water-borne acrylic emulsions. *Progress in organic coatings*, 32:9-16.
- [21] Hu, J., Xiaogang, L., Gao, J. and Zhao, Q., 2009. Ageing behavior of acrylic polyurethane varnish coating in artificial weathering environments. *Progress in organic Coatings* 65: 504 –509.
- [22] Nguyen, T. V., Tri, P. N., Nguyen, T. D., EL Aidani, R., Trinh, V. T. and Decker, C., 2016. Accelerated degradation of water borne acrylic nanocomposites used in outdoor protective coatings. *Polymer Degradation and Stability*, 128: 65-76.
- [23] Gobakken, L. R. and Westin, M., 2008. Surface mould growth on five modified wood substrates coated with three different coating systems when exposed outdoors. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62 (4): 397-402,
- [24] Rowell, R. M., 2012. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC press.
- [25] Terzi, E., Kartal, S. N., Yılğör, N., Rautkari, L. and Yoshimura, T., 2016. Role of various nano-particles in prevention of fungal decay, mold growth and termite attack in wood, and their effect on weathering properties and water repellency. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 107: 77-87.

Improving weathering performance of beech wood coated with acrylic paint by nano zinc oxide and nano cellulose

Abstract

Clear coatings, such as transparent acrylic paint have a relatively short life in outdoor exposure because solar radiation can readily penetrate through such coatings and reach the wood surfaces and cause degradation in cell walls of wood tissues. This phenomenon can be reduced by using suitable UV absorbers in the structure of coatings. Therefore, in this study, the transparent acrylic coatings were modified with nano cellulose (1 wt%) and nano zinc oxide (0 and 0.5 wt%) and then applied on beech wood specimens by brush. Subsequently, these specimens were exposed to natural weathering for six months. The results of pull-off adhesion, contact angle, colorimeter, ATR-FTIR spectroscopy and microscopy images showed that the use of nano zinc oxide and nano cellulose increased weathering resistance of coated samples where the weathering degradations of these samples were minimum, compare to others.

Keywords: nano cellulose, nano zinc dioxide, transparent acrylic paint, weathering, beech wood.

D. Rasouli^{1*}
M. Akbarnejad²
M. Mashkour³
H. Yousefi⁴

¹ Associate Prof, Department of wood engineering and technology, Gorgan university of agricultural sciences and natural resources, Gorgan, Iran

² M.Sc. graduated, Wood preservation and modification, Gorgan university of agricultural sciences and natural resources, Gorgan, Iran

³ Associate Prof., Department of wood engineering and technology, Gorgan university of agricultural sciences and natural resources, Gorgan, Iran

⁴ Associate Prof., Department of wood engineering and technology, Gorgan university of agricultural sciences and natural resources, Gorgan, Iran

Corresponding author:
Rasouli@gau.ac.ir

Received: 2019/06/12
Accepted: 2019/07/10