فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۰، شماره ۴، صفحه ۷۰۴-۶۹۰، (۱۳۹۴)

تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر تغییر رنگ و مقاومت چسبندگی پوشش پلی‌اورتان به سطح چوب

سعید خجسته خسرو[۱]، محمد غفرانی[۲*] و مرتضی گنجایی ساری[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و تکنولوژی صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و تکنولوژی صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

پست الکترونیک: ghofrani@srttu.edu

۳- استادیار، گروه نانو مواد، پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ، تهران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۹۴

چکیده

در این مطالعه تأثیر افزودن نانو ذرات اکسید روی (ZnO) بر تغییر رنگ کلی و مقاومت چسبندگی شفاف‌پوشه پلی‌اورتان در گونه چوبی ملچ (*Ulmus glabra*) مورد بررسی قرار گرفت. نانو ذرات اکسید روی با غلظت‌های ۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۱، ۱/۵۰ و ۲ درصد وزنی پوشش با آن ترکیب شدند. برای بررسی پراکندگی نانو ذرات در بستر پوشش از تصاویر TEM (میکروسکوپ الکترونی عبوری) استفاده شد. نتایج بررسی پراکندگی نانو ذرات در شفاف‌پوشه پلی‌اورتان بیانگر این بود که مناسب‌ترین پراکنش نانو ذرات در پوشش حاوی ۱ درصد وزنی نانو به‌دست آمد. به‌طوری‌که با افزایش میزان نانو ذرات تا ۲ درصد وزنی پراکنش نانو ذرات کم شده و توده‌هایی از تجمع نانو ذرات در پوشش مشاهده شد. در بررسی مقاومت چسبندگی پوشش، نتایج نشان داد که بالاترین میزان چسبندگی در نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو ذرات اکسید روی بوده و افزودن بیش از این مقدار، تأثیر منفی بر چسبندگی پوشش داشت. در مورد تغییر رنگ کلی نیز افزودن نانو ذرات اکسید روی باعث تغییر رنگ نمونه‌های پوشش داده شده با نانو پوشش‌ها شد اما در مقادیر کم نانو ذرات، تغییر رنگ ایجاد شده و کاهش روشنایی پوشش چشم‌گیر و معنی‌دار نبود.

واژه‌های کلیدی: نانو ذرات اکسید روی، شفاف‌پوشه پلی‌اورتان، گونه چوبی ملچ، مقاومت چسبندگی پوشش، تغییر رنگ کلی، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM).

مقدمه

مقاوم کردن چوب در مقابل عوامل مخرب ازجمله مباحثی است که از گذشته تاکنون مورد توجه بوده است. دلیل این امر کاربرد فراوان و نقش مهمی است که چوب در زندگی بشر ایفا می‌کند. چوب ماده‌ای طبیعی است که از قرن ها پیش برای ساخت خانه، دکوراسیون داخلی منزل، مبلمان، در و پنجره، آثار هنری چوبی، کف‌پوش‌های چوبی و بسیاری از موارد دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lowden and Hull, 2013). پیشرفت فناوری و امکان فرآوری چوب، کاربردهای چوب را در صنایع مختلف افزایش داده است و با توجه به نیاز هر صنعت، می توان از ویژگی های منحصربه فرد چوب استفاده کرد. چوب خصوصیاتی مانند ناهمگنی، هرسونایکسانی[۱] و بخصوص نم‌پذیری را دارا می‌باشد. جذب رطوبت چوب را به

1 - Anisotropic

محیطی مناسب برای رشد عوامل بیولوژیک تبدیل کرده است که علاوه بر کاهش زیبایی آن، باعث تخریب سازه‌های ساخته شده از چوب نیز می‌شود (Korkut & Budakci, 2010; Sjöström, 2010). ایجاد شرایطی مناسب برای بالا بردن مقاومت چوب در برابر تأثیر عوامل فیزیکی و مکانیکی (نور خورشید، آب و رطوبت، حرارت، سائیدگی و ...) باعث افزایش طول عمر مفید، بهبود ویژگی‌های مختلف چوب و استفاده مناسب و بهینه از آن می‌شود. در دهه‌های اخیر با عرضه رنگ‌ها و پوشش‌های جدید که قابلیت حفاظتی بالایی دارند، انتظارات بیشتری در خصوص افزایش عمر مفید مواد طبیعی مانند چوب ایجاد شده است. با اعمال پوشش های مناسب روی سطوح چوب، جذب رطوبت کاهش یافته، دوام و پایداری چوب باثبات شده و عمر مفید چوب افزایش پیدا می‌کند. درنتیجه می توان با افزایش مقاومت نهایی، کاربرد چوب را توسعه و بهبود بخشید.

از طرف دیگر، بر اساس مطالعات انجام شده استفاده از نانو ذرات مناسب می‌تواند در بهبود خواص چوب نقش بسزایی داشته باشد. با استفاده از نانو ذرات می‌توان خواص حفاظتی و چسبندگی پوشش ها را بهبود بخشید. نانو ذرات درصورتی‌که به صورت یکنواخت در محل پوشش پراکنده شوند و یک پراکنه پایدار تشکیل دهند، این قابلیت را دارند که ویژگی‌هایی مانند چسبندگی، پایداری در مقابل رطوبت، سایش و حرارت و همین‌طور مقاومت در برابر عوامل جوی را در پوشش‌ها به نحو چشمگیری بهبود دهند (Kaygin and Akgun, 2008; Kaygin and Akgun, 2009). در این صورت پوشش‌های بهبود یافته با فناوری نانو می‌توانند به‌عنوان یک لایه حفاظتی مناسب در سطح چوب استفاده شوند. در بسیاری از موارد این پوشش‌ها علاوه بر نقش حفاظتی، باعث عدم تغییر رنگ زیاد و کیفیت ظاهری پوشش به دلیل اندازه کوچک نانو ذرات می‌شوند (Chen *et al*., 2004; Silivane and Ocheane 2008). به‌عنوان مثال Sow و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی تأثیر نانو ذرات آلومینا و سیلیکا روی خواص پوشش پلی اورتان UV پایه آب نشان دادند که افزودن نانو ذرات سیلیکا باعث افزایش قابل توجه چسبندگی پوشش به زیرآیند خود می شود اما نانو آلومینا تأثیر معنی داری روی بهبود این خاصیت ندارد. آنان همچنین بیان کردند که تفاوت بین نانو ذرات سیلیکا و آلومینا ارتباط مستقیمی با نحوه پراکنش این نانو ذرات دارد. Vardanyan و همکاران (۲۰۱۴) تقویت خصوصیات پوشش پایه آب UV را با نانو کریستال‌های سلولزی مورد بررسی قرار دادند. آنان بیان کردند که این نانو ذرات توان بهبود قابل توجه مقاومت به سایش و خراش پوشش را داشتند ولی تأثیر معنی‌داری روی مقاومت چسبندگی پوشش و همچنین تغییر کیفیت ظاهری پوشش نداشته‌اند. به‌طورکلی نانو ذرات متفاوتی مورد توجه محققان در پوشش‌ها بوده و تحقیقاتی روی آنها انجام شده است که در میان آنها نانو ذرات اکسید روی (ZnO) یکی از مهمترین نانو ذرات بوده که مطالعات فراوانی روی تأثیر آن بر خواص پوشش‌ها انجام شده است (Clausen *et al*., 2010). یکی از زمینه‌هایی که مطالعات زیادی پیرامون آن انجام شده است، تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر ویژگی‌های محافظتی شفاف‌پوشه‌ها در برابر امواج فرابنفش خورشید می‌باشد. به‌طوری که این مطالعات نشان داده‌اند، استفاده از نانو ذرات اکسید روی در پوشش‌های بر پایه رزین پلی‌اورتان، آکریلیک، پایه آب پلی‌اورتان/ آکریلیک، پایه آب سیلیکون قلیایی و دیگر پوشش‌های شفاف، باعث بهبود قابل توجه مقاومت این پوشش‌ها در برابر امواج UV شده و از تخریب و تغییر رنگ این پوشش‌ها به‌طور چشمگیری جلوگیری می‌کند (Lowry *et al*., 2008; Hang *et al*., 2015; Lei *et al*., 2010; Blanchard and Blanchet, 2011; Cristea *et al*., 2011; Dhoke *et al*., 2009a). همچنین مطالعات زیادی در زمینه تأثیر افزودن نانو ذرات اکسید روی به شفاف‌پوشه‌ها بر خواص مکانیکی و سایشی این پوشش‌ها تمرکز کرده و به نتایج چشمگیری دست یافته‌اند. در همین زمینه مطالعه انجام

شده بر تأثیر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی پیوند خورده با سیلیکا بیانگر این مطلب بوده که استفاده از این نانو ذرات در حد ۱ درصد وزنی باعث بهبود قابل توجه مقاومت به سایش، مدول یانگ و سختی در پوشش تجاری آکریلیک پایه آب شده است (Cristea *et al.*, 2011; Cristea *et al.*, 2012). Song و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه ضریب سایشی و همچنین عمر فرسایش پوشش پلی‌اورتان تک جزئی تقویت‌شده با نانو ذرات اکسید روی نشان دادند که افزودن این نانو ذرات تا یک حد معین، باعث بهبود خصوصیات پوشش می‌شود ولی افزایش درصد استفاده از این نانو ذرات تأثیر مثبتی بر خصوصیات ارزیابی شده به دلیل انرژی سطحی بالای نانو ذرات اکسید روی نمی‌گذارد. Dhoke و همکاران (۲۰۰۹a) و همچنین Dhoke و همکاران (۲۰۰۹b) نیز در مطالعه‌ای پیرامون تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر خواص پوشش پایه آب قلیایی بیان کردند که افزودن این نانو ذرات به دلیل برهم‌کنش سطحی قوی بین نانو ذرات اکسید روی و پلیمر باعث بهبود قابل توجه مقاومت به خراش، سایش و خوردگی در پوشش‌ها می‌شود.

یکی از صنایع پرسود بین‌المللی در صنعت چوب و فراورده‌های حاصل از آن، صنعت مبلمان چوبی است. ازجمله زمینه‌های مهم در صنعت مبلمان چوبی کشور، پوشش‌های مورد استفاده در پوشش‌دهی این فراورده‌های چوبی به دلیل عمر کوتاه و دوره‌های کوتاه مدت بازسازی پوشش به لحاظ کیفیت نه‌چندان مطلوب شفاف‌پوشه‌های داخلی مورد استفاده در پوشش‌دهی این محصولات است. به همین دلیل توجه به ارتقای کیفیت شفاف‌پوشه‌های داخلی از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرف دیگر یکی از خواصی که در راستای توجه به عمر محصولات چوبی و افزایش دوام آنها بسیار حائز اهمیت است، مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب می‌باشد. به‌طوری که Ghofrani و Khojasteh Khosro (۲۰۱۴) در مطالعه خود بیان کردند که مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب یکی از عوامل مؤثر و تأثیرگذار بر دوام و طول عمر محصولات چوبی است. Miszczyk و Schauer (۲۰۰۵) نیز چسبندگی پوشش به زیرآیند خود را از ویژگی‌های حفاظتی مهم پوشش دانسته‌اند. این امر نشان‌دهنده اهمیت توجه به تقویت مقاومت چسبندگی پوشش اعمالی روی سطح چوب است. در همین راستا و به‌طوری که از مطالعات انجام شده در مورد تأثیر نانو ذرات اکسید روی در خواص پوشش‌ها نیز مشخص بود، تاکنون مطالعه‌ای بر روی تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب انجام نشده است. به همین جهت و به دلیل اهمیت بررسی عوامل مؤثر بر بهبود مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب، مطالعه حاضر به بررسی تأثیر افزودن نانو ذرات اکسید روی بر مقاومت چسبندگی پوشش و همچنین تغییر رنگ کلی نانو پوشش‌ها نسبت به پوشش شاهد می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

مواد

گونه چوبی مورد مطالعه در این تحقیق، گونه ملچ (*Ulmus glabra*) با جرم مخصوص ۰/۶۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. ابعاد نمونه‌های چوبی تهیه شده از گونه ملچ ۲۰×۱۰۰×۱۷۰ میلی‌متر بود. رطوبت تعادل نهایی نمونه های تهیه شده ۸ درصد در نظر گرفته شد. با توجه به اهمیت استفاده از نمونه‌های سالم در آزمون‌ها، نمونه های انتخاب شده دارای شرایط رشد عادی و عاری از هرگونه ترک، شکاف، گره‌های مرده و زنده، چوب‌های واکنشی، کج تاری، پوسیدگی و ... بودند.

شفاف‌پوشه استفاده شده در این تحقیق بر پایه پوشش پلی‌اورتان (پلی‌یورتان) بود که از شرکت شیمیایی باژاک تهیه شد. این پوشش متشکل از دو جزء پلی ال بر پایه آکریلیک و سخت‌کننده پلی ایزوسیانات بود. ویژگی های فیزیکی این دو جزء پلی‌ال و سخت‌کننده پلی ایزوسیانات که شرکت شیمیایی باژاک ارائه کرده است، به‌ترتیب در جدولهای ۱ و ۲ آورده شده‌اند. برای تنظیم گرانروی پوشش پلی اورتان، از حلال تولوئن با خلوص ۹۹ درصد و جرم مخصوص ۰/۸۵ گرم بر سانتی‌متر مربع استفاده شد.

جدول ۱- خصوصیات رزین پلی‌ال

رزین	pH	جرم مخصوص (g/cm^3)	درصد جامد (٪)	میزان استفاده از سخت‌کننده (٪)	ضریب شکست	حلال
رزین پلی‌ال	۴/۵	۱/۲۰	۶۰	۲۵	۱/۵۶ - ۱/۴۹	تولوئن

جدول ۲- خصوصیات سخت‌کننده ایزوسیانات

سخت‌کننده	نوع	جرم مخصوص (g/cm^3)	درصد جامد (٪)	نقطه اشتعال (C)
پلی ایزوسیانات	دسمودور N75	۱/۰۶	۷۵	۳۳

نانو ذرات استفاده شده در این تحقیق، نانو ذرات اکسید روی (ZnO)، محصول شرکت آمریکایی US Research Nanomaterials بود. در جدول ۳ مشخصات نانو ذرات اکسید روی ارائه شده است.

جدول ۳- مشخصات نانو ذرات اکسید روی (US Research Nanomaterials)

نانو ذرات اکسید روی	
اندازه ذرات	۳۰-۱۰ نانومتر
سطح ویژه	۲۰ تا ۶۰ مترمربع بر گرم
رنگ	سفید شیری
جرم ویژه	۵/۶۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب
ضریب شکست	۲/۰۰۸

آماده‌سازی نانو پوشش‌ها

برای ساخت نانو پوشش ها، ابتدا درصد جامد جزء پلی‌ال شفاف پوشه پلی اورتان با افزودن حلال تولوئن تا ۴۰ درصد وزنی کاهش داده شد. کنترل و اندازه‌گیری درصد جامد شفاف‌پوشه پلی‌اورتان بر طبق استاندارد ASTM D-2832 (۲۰۱۴) انجام شد. پس از کاهش درصد جامد جزء پلی‌ال، پودر نانو ذرات اکسید روی با نسبت‌های وزنی ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۱، ۱/۵۰ و ۲ درصد نسبت به درصد جامد پلی‌ال، به آن اضافه شدند. برای اختلاط اولیه نانو ذرات با رزین پلی‌اورتان از همزن مغناطیسی با سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه استفاده شد. برای پراکنش مناسب و تثبیت نانو ذرات در محمل رزین پلی‌ال از دستگاه اولتراسونیک با زمان ۴۵ دقیقه، فرکانس ۰/۶ و توان ۷۰ درصد استفاده گردید. برای بررسی تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر تغییر رنگ و مقاومت چسبندگی پوشش، پوشش بدون نانو (پوشش شاهد) نیز برای پوشش‌دهی سطح نمونه‌ها آماده شد. میزان استفاده از سخت‌کننده پلی ایزوسیانات در پوشش قبل از اعمال آن، ۲۵ درصد جرم پوشش بود.

تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)

برای بررسی نحوه پراکندگی و پراکنش نانو ذرات اکسید روی در بستر پوشش پلی‌اورتان از تصویربرداری به روش میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استفاده شد. برای این منظور، ابتدا از نانو پوشش‌ها فیلم آزاد پوشش (لایه

نازکی از پوشش) تهیه گردید. برای تهیه فیلم آزاد پوشش، پوشش های حاوی ۱ و ۲ درصد نانو ذرات اکسید روی، بر روی سطح شیشه های بدون آلودگی به وسیله فیلم کش با ضخامت ۲۰۰ میکرون اعمال شدند. بعد از خشک شدن کامل پوشش ها، فیلم های آزاد با استفاده از آب گرم از سطح شیشه ها جدا شدند. سپس از فیلم‌های آزاد تهیه شده، لایه هایی به ضخامت حدود ۱۰۰ نانومتر برای تصویربرداری TEM توسط دستگاه اولترامیکروتوم Reichert - OmU-3 تهیه گردید. تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی عبوری در دانشکده هوا و فضای دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی با استفاده از دستگاه TEM با مشخصات Zeiss - EM10C - 80 KV انجام شد.

آماده‌سازی و پوشش‌دهی نمونه‌های چوبی

به‌منظور آماده‌سازی نمونه‌های چوبی برای پوشش‌دهی، ابتدا سطح نمونه‌ها به‌وسیله سنباده درجه ۱۲۰ پرداخت شدند؛ سپس از سنباده نرم درجه ۱۸۰ برای پرداخت نهایی نمونه‌ها استفاده شد. پرداخت سطح تمامی نمونه‌ها در راستای الیاف چوب و در طی یک زمان مشخص انجام شد. برای پوشش‌دهی یکنواخت نمونه‌های چوبی از ابزار فیلم‌کش استفاده گردید. بدین صورت که نانو پوشش‌ها و همچنین پوشش شاهد با ضخامت ۱۵۰ میکرون در راستای الیاف با استفاده از فیلم‌کش روی سطوح نمونه‌های چوبی اعمال شدند. بعد از پوشش‌دهی، نمونه‌های پوشش داده شده برای خشک شدن در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند.

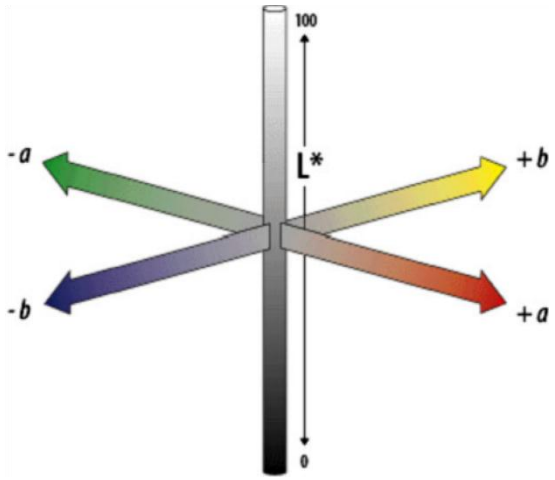
اندازه‌گیری تغییر رنگ

اندازه‌گیری تغییر رنگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مجهز به منبع نوری D65 بر اساس استاندارد ASTM D-2244 (۲۰۱۱) با ۶ تکرار برای هر نمونه انجام شد. شاخص‌های ارائه شده توسط دستگاه، L*، a* و b* بودند که در آن فاکتور L* روشنی نمونه‌ها را نشان می‌دهد و از ۰ (تیرگی) تا ۱۰۰ (سفید) متغیر است. همچنین شاخص‌های a* به‌ترتیب قرمزی (+a*) تا سبزی (–a*) و b* به‌ترتیب زردی (+b*) تا آبی (–b*) بودن نمونه‌ها را نشان می‌دهند (شکل ۱). برای مقایسه شدت تغییر رنگ کلی نمونه‌ها از فاکتور ΔE استفاده شد. این فاکتور از رابطه ۱ از ریشه دوم برآیند ΔL*، Δa* و Δb* به‌دست می‌آید. فاکتور ΔE در دو مرحله و برای مقایسه تغییر رنگ کلی نمونه‌های پوشش داده شده با نمونه بدون پوشش و همچنین تغییر رنگ کلی نمونه‌های پوشیده شده با نانو پوشش‌های حاوی درصدهای مختلف نانو ذرات اکسید روی با پوشش شاهد محاسبه شد.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad (۱$$

ΔE = میزان تغییر رنگ کلی

L*، a*، b* = مختصات رنگی



شکل ۱- مختصات رنگی ترسیم شده برای سه شاخص L*، a* و b* (Akgül et al., 2013)

اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی پوشش

برای اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی پوشش، ابتدا قطعه‌هایی استوانه‌ای (دالی) از جنس آلومینیوم با قطر ۲۰ میلی‌متر و به‌وسیله چسب اپوکسی دو جزئی روی سطوح نمونه های پوشش داده شده، چسبانده شدند. آنگاه نمونه ها برای سخت شدن چسب به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه (۲۰ درجه سلسیوس) قرار گرفتند. نکته‌ای که در اندازه‌گیری

مقاومت چسبندگی پوشش بسیار مهم بوده و باید مورد توجه قرار گرفته شود، این است که سطحی که دالی‌ها روی آن چسبانده می‌شوند کاملاً یکنواخت بوده و ضخامت پوشش اعمالی روی سطح نیز یکسان و یکنواخت باشد. میزان مقاومت چسبندگی پوشش نمونه‌ها با سرعت کشش ۰/۳ مگاپاسکال بر ثانیه به‌وسیله دستگاه آزمون چسبندگی اتوماتیک PosiTest AT اندازه‌گیری شدند. برای اطمینان از دقت نتایج به‌دست آمده، آزمون مقاومت چسبندگی در هر نمونه ۶ بار تکرار شد. روش مورد استفاده برای اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی پوشش در این مطالعه، روش Pull off بر طبق استاندارد ASTM D-4541 (۲۰۰۲) بود.

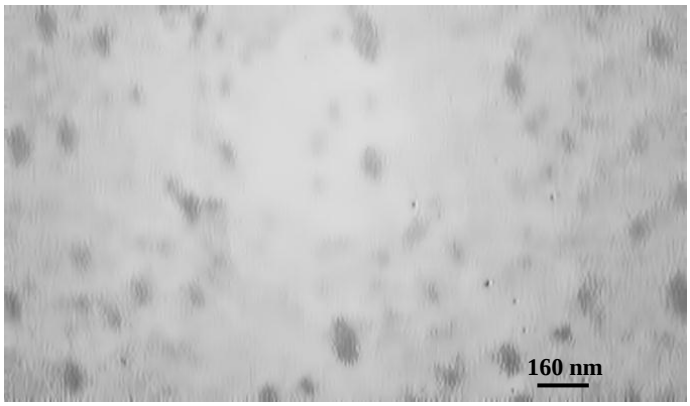
طرح آماری

برای تجزیه‌وتحلیل نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ (۲۰۱۳) استفاده شد. برای بررسی تأثیر مقدار نانو ذرات اکسید روی بر تغییر رنگ کلی و مقاومت چسبندگی پوشش، نتایج با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین گروه‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. از نرم‌افزار آنالیز تصویر ImajeJ نسخه ۱/۴۸ برای به‌دست آوردن میزان سطح جدا شده چوب به همراه پوشش از سطح چوب (سطح شکست چوب) و یا همان میزان cohesion استفاده شد.

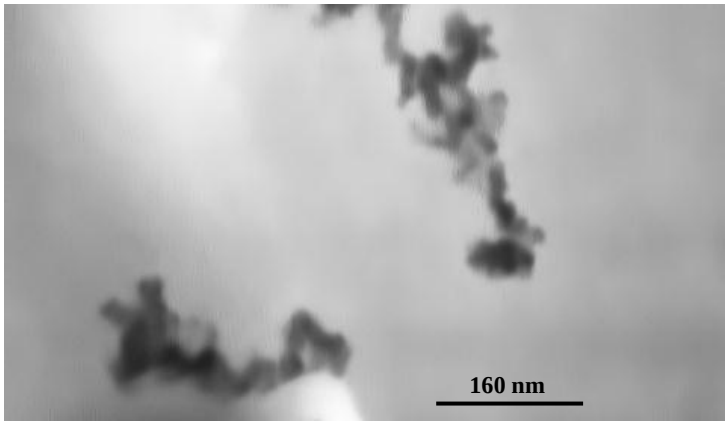
نتایج

تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)

پراکنش نانو ذرات اکسید روی با میزان ۱ و ۲ درصد وزنی نانو نسبت به درصد جامد پلی‌ال با استفاده از تصویربرداری توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) بررسی شد. در شکل ۲ تصویر TEM حاصل از بررسی پراکنش نانو ذرات اکسید روی در نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو ارائه شده است. به‌طوری که در این شکل مشاهده می‌شود، ذرات نانو توانسته‌اند به خوبی در بستر پوشش پلی‌اورتان پراکنده شده و ساختار یکنواختی را در این پوشش ایجاد کنند. میانگین اندازه ذرات نانو در نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو، ۱۱۷±۴۰/۱ نانومتر می‌باشد؛ اما افزایش میزان نانو ذرات اکسید روی تا ۲ درصد، باعث عدم اختلاط مناسب ذرات نانو در پوشش شده است (شکل ۳). همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است با افزودن ۲ درصد نانو ذرات به پوشش، این ذرات به صورت توده‌هایی از تجمعات نانو در بستر پوشش مشخص بوده و ذرات نانو پراکندگی مناسبی در پوشش نداشته‌اند. به‌طوری‌که میانگین اندازه ذرات نانو اکسید روی در نانو پوشش حاوی ۲ درصد نانو ۲۶۵±۸۶/۱ نانومتر بود که افزایش حدود ۱۲۶ درصدی نسبت به نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو را نشان می‌دهد.



شکل ۲- تصویر TEM تهیه شده از پوشش حاوی ۱ درصد نانو ذرات اکسید روی
لکه‌های تیره نانو ذرات اکسید روی در بستر روشن پوشش پلی‌اورتان هستند (بزرگ‌نمایی ۱۱۰۰۰ برابر)

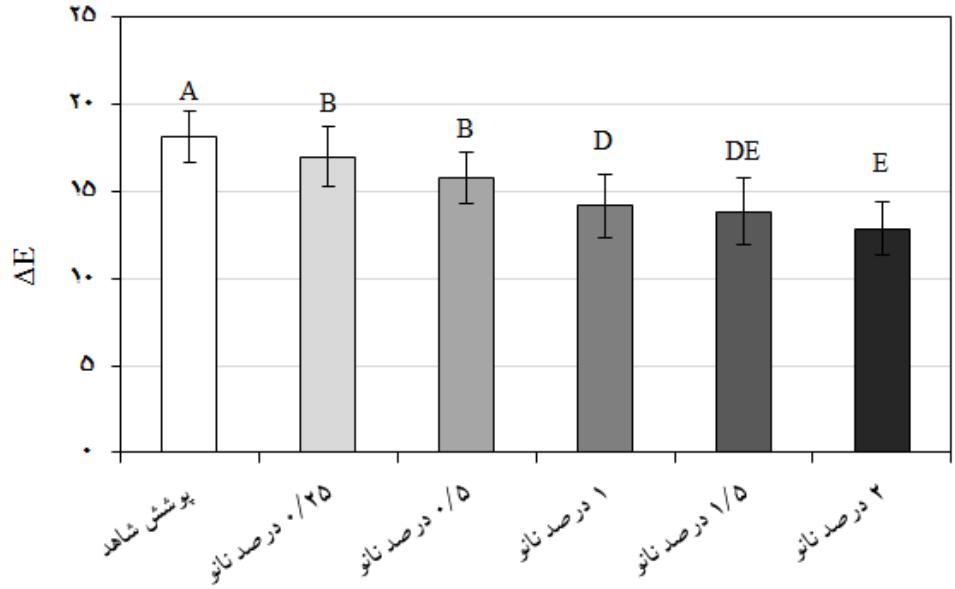


شکل ۳- تصویر TEM تهیه شده از پوشش حاوی ۲ درصد نانو ذرات اکسید روی

بخش‌های تیره تجمعات نانو ذرات اکسید روی در بستر روشن پوشش پلی‌اورتان هستند (بزرگ‌نمایی ۴۰۰۰۰ برابر)

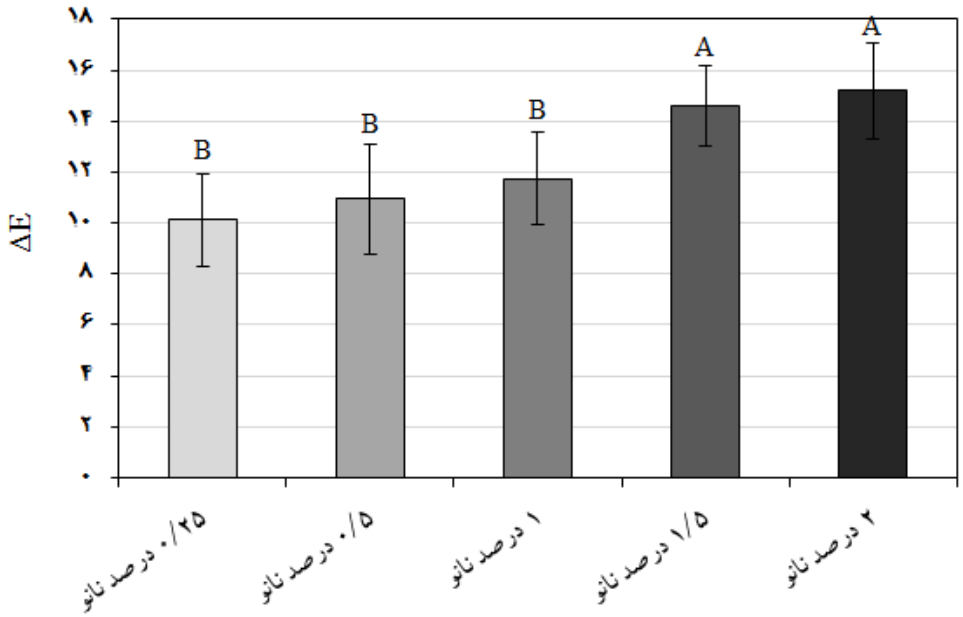
تغییر رنگ کلی

نتایج حاصل از اندازه‌گیری تغییر رنگ کلی در نمونه‌های با پوشش نسبت به نمونه‌های بدون پوشش بیانگر این بود که افزودن نانو ذرات اکسید روی به پوشش پلی‌اورتان باعث کاهش اختلاف رنگ نمونه‌های پوشش داده شده نسبت به نمونه‌های بدون پوشش شد، به‌طوری که کمترین اختلاف رنگ نسبت به نمونه‌های چوبی بدون پوشش در نانو پوشش حاوی ۲ درصد نانو مشاهده گردید. گروه‌بندی دانکن انجام شده نیز نشان داد که پوشش شاهد با بیشترین اختلاف رنگ نسبت به نمونه بدون پوشش در گروه A جای گرفته و پوشش حاوی ۲ درصد نانو ذرات اکسید روی با کمترین تغییر رنگ نسبت به نمونه بدون پوشش در گروه E قرار گرفته است (شکل ۴).



شکل ۴- تغییر رنگ کلی در نمونه‌های با پوشش نسبت به نمونه‌های بدون پوشش

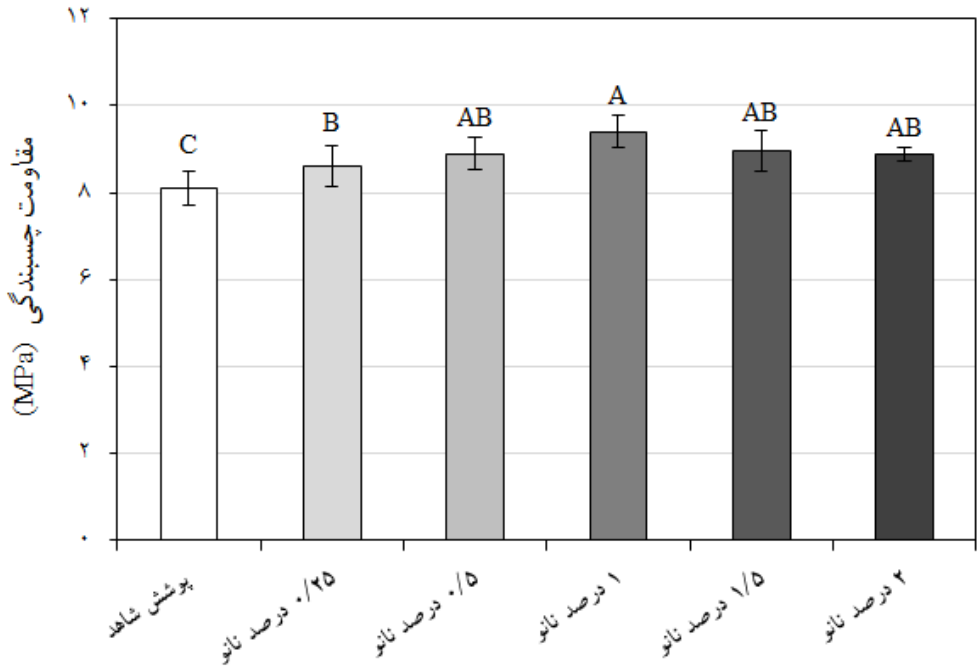
نتایج حاصل از تأثیر افزودن نانو ذرات اکسید روی بر میزان تغییر رنگ کلی نمونه‌های پوشیده شده با نانو پوشش‌ها نسبت به نمونه‌های با پوشش شاهد نشان داد که افزودن نانو ذرات به پوشش پلی‌اورتان باعث تغییر رنگ نانو پوشش‌ها نسبت به نمونه‌های با پوشش شاهد می‌شود. به‌طوری‌که بیشترین تغییر رنگ در نانو پوشش‌های حاوی ۱/۵۰ و ۲ درصد نانو مشاهده گردید که گروه‌بندی دانکن نیز این نانو پوشش‌ها را با بیشترین تغییر رنگ نسبت به پوشش شاهد در گروه A قرار داده است (شکل ۵)؛ اما در حالت کلی تغییر رنگ ایجاد شده در نمونه‌های پوشیده شده با نانو پوشش‌های حاوی نانو ذرات تا ۱ درصد قابل توجه نیست که گروه‌بندی دانکن ارائه شده در شکل ۵ نیز بیانگر این مطلب است.



شکل ۵- تغییر رنگ کلی در نمونه‌های پوشیده شده با نانو پوشش‌ها نسبت به نمونه‌های با پوشش شاهد

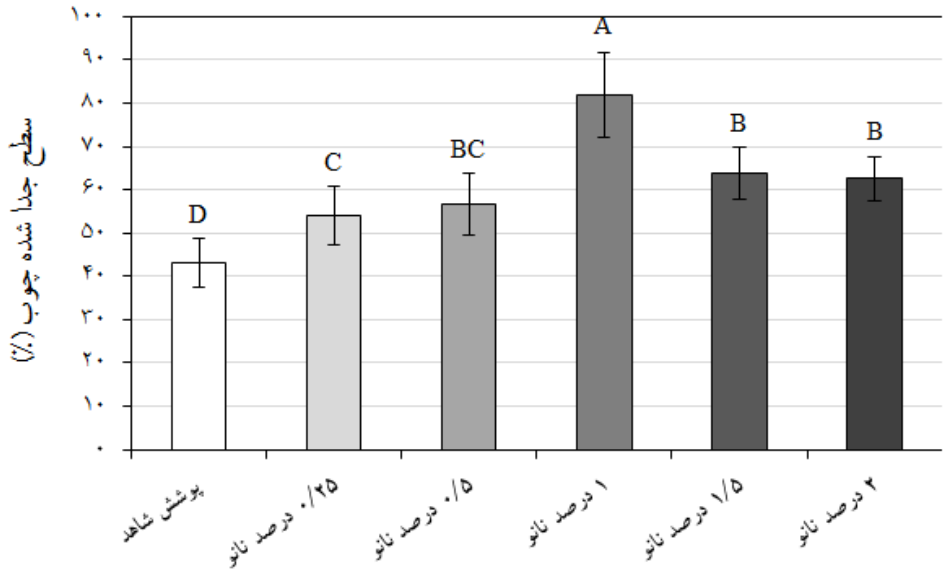
مقاومت چسبندگی پوشش

در بررسی مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب نمونه‌های پوشش داده شده با نانو پوشش‌های حاوی مقادیر مختلف نانو ذرات و پوشش شاهد مشاهده شد که افزودن نانو ذرات اکسید روی به پوشش پلی‌اورتان باعث بهبود قابل توجه مقاومت چسبندگی پوشش می‌شود. بالاترین مقدار مقاومت چسبندگی پوشش در نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو ذرات اکسید روی به‌دست آمد به‌طوری که در این نانو پوشش، افزایش ۱۶ درصدی مقاومت چسبندگی نسبت به پوشش شاهد مشاهده گردید. گروه‌بندی دانکن انجام شده نیز این مقاومت چسبندگی نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو را در گروه A قرار داده است (شکل ۶). البته به‌طوری که از شکل ۶ و گروه‌بندی دانکن انجام شده نیز مشخص است افزودن نانو ذرات اکسید روی با میزان ۰/۵۰ درصد نانو نیز تأثیر زیادی بر افزایش مقاومت چسبندگی (افزایش ۱۰ درصدی) نسبت به پوشش شاهد داشته و در گروه AB جای گرفته است. از طرف دیگر افزایش میزان نانو ذرات اکسید روی از ۱ درصد تا ۲ درصد، باعث کاهش مقاومت چسبندگی پوشش در مقایسه با نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو شده است (شکل ۶).



شکل ۶- تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر مقاومت چسبندگی پوشش به سطح گونه ملچ

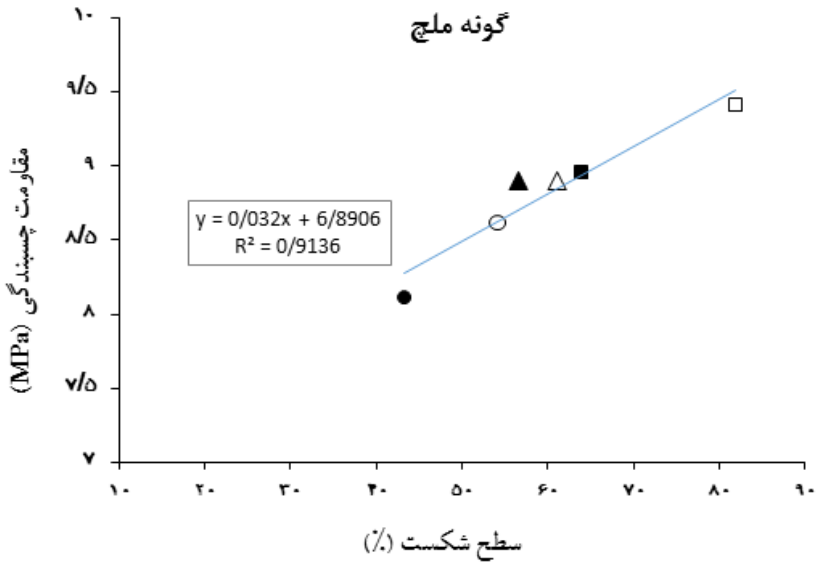
بررسی میزان سطح جدا شده چوب همراه با پوشش (سطح شکست چوب) در نمونه‌های با پوشش شاهد و نانو پوشش‌ها نشان می‌دهد که بیشترین درصد سطح شکست به‌دست آمده در نانو پوشش‌ها بوده است. در بین نانو پوشش‌ها، بالاترین مقدار سطح شکست در نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو مشاهده شد؛ به عبارت دیگر، در طی فرایند اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی پوشش، نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو، چسبندگی بالاتری به زیرایند خود نشان داده و به همین دلیل سطح قابل توجه‌تری از چوب به همراه پوشش از سطح چوب جدا شده است. گروه‌بندی دانکن انجام شده نیز بالاترین درصد جداشدگی چوب همراه با پوشش را در نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو ذرات با گروه A و کمترین درصد جداشدگی را با گروه C در پوشش شاهد نشان داد (شکل ۷). در شکل ۸ نمایی از سطح شکست به‌دست آمده در نمونه‌های پوشش داده شده با پوشش شاهد و نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو ذرات روی آورده شده است. به‌طوری که در این شکل نیز مشخص است، سطح شکست به‌دست آمده در نانو پوشش ۱ درصد به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از سطح شکست رخ داده در نمونه پوشیده شده با پوشش شاهد است.



شکل ۷- تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر سطح شکست چوب در آزمون مقاومت چسبندگی پوشش

شکل ۸- سطح شکست چوب به همراه پوشش در گونه ملچ طی آزمون مقاومت چسبندگی پوشش

بررسی انجام شده در مقایسه مقادیر مقاومت چسبندگی و درصد جداشدگی چوب به همراه پوشش و همبستگی بین مقاومت چسبندگی پوشش و سطح شکست چوب نیز نشان داد که رابطه مستقیمی بین مقاومت چسبندگی پوشش و سطح شکست چوب در گونه ملچ وجود دارد. به‌طوری که با بالا رفتن میزان مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب، بیشترین میزان سطح شکست و جداشدگی در چوب رخ می‌دهد (شکل ۹).



شکل ۹- همبستگی بین مقاومت چسبندگی پوشش و سطح شکست چوب در گونه ملچ

● پوشش شاهد، ○ نانو پوشش حاوی ۰/۲۵ درصد نانو، ▲ نانو پوشش حاوی ۰/۵۰ نانو، □ نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو، Δ نانو پوشش حاوی ۱/۵۰ درصد نانو و ■ نانو پوشش حاوی ۲ درصد نانو

بحث

تغییر رنگ کلی

در بررسی تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر تغییر رنگ کلی پوشش مشاهده گردید که افزودن این نانو ذرات باعث تغییر رنگ پوشش نسبت به پوشش شاهد شده و کاهش روشنایی پوشش در این پوشش‌ها (نانو پوشش‌ها) را درپی داشته است. یکی از دلایل اصلی تغییر رنگ ایجاد شده در نانو پوشش‌های حاوی نانو ذرات اکسید روی نسبت به پوشش شاهد را می‌توان اثر اختلاف ۰/۵۰ واحدی در ضریب شکست بین نانو ذرات (۱/۴۹ – ۱/۵۶) و پوشش پلی‌اورتان (۲/۰۰۸) دانست؛ اما از طرف دیگر با توجه به نتایج به‌دست آمده مشاهده شد که به‌طورکلی تأثیر مقادیر کم نانو ذرات بر تغییر رنگ پوشش کم بوده است. دلیل این امر را می توان پراکنش مناسب و پراکنده شدن نسبتاً کامل نانو ذرات در بستر پوشش پلی‌اورتان و ایجاد ساختاری یکنواخت با این پوشش دانست. با پراکنده شدن مناسب نانو ذرات در پوشش و با توجه به اندازه کوچک نانو ذرات (کوچک تر از ۲۰۰ نانومتر)، نور مرئی بدون اینکه انتشار یابد و پراکنده شود، می‌تواند از پوشش عبور کرده و تغییرات رنگی کمی در پوشش مشاهده شود (Kashani and Moradian, 2010). مطالعه انجام شده در بررسی پراکندگی نانو ذرات توسط تصویر TEM در نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو نیز نشان داد که در این نانو پوشش، نانو ذرات به خوبی در بستر پوشش پراکنده می‌شود و اندازه ذرات آنها کمتر از ۲۰۰ نانومتر (۴۰/۱±۱۱۷ نانومتر) است؛ اما با افزایش میزان نانو ذرات در پوشش، بیشترین تغییر رنگ ایجاد شده در پوشش مشاهده شد. یکی از دلایل اصلی افزایش تغییر رنگ در پوشش های حاوی مقادیر زیاد نانو ذرات (۱/۵۰ و ۲ درصد نانو ذرات اکسید روی) را می توان تجمع نانو ذرات در بستر پوشش پلی اورتان دانست. با تجمع نانو ذرات در پوشش، توده هایی از نانو ذرات با ابعاد بالاتر از ۲۰۰ نانومتر در پوشش ایجاد می شود که این تجمعات توانایی انتشار و پراکنده نمودن نور مرئی را داشته که باعث کدری و سفید شدگی پوشش شده و روشنایی پوشش در این نانو پوشش‌ها را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج تصویر TEM نیز مؤید عدم پراکنش مناسب نانو ذرات در

نانو پوشش حاوی ۲ درصد نانو (اندازه ذرات نانو ۲۶۵±۸۶/۱ نانومتر) بود.Kashani و Moradian (۲۰۱۰) نیز در مطالعه خود روی تأثیر نانو ذرات آلومینا بر تغییر رنگ پوشش بیان کردند که در مقادیر کم این مواد، نانو ذرات به دلیل کوچک‌تر بودن ابعاد آنها از ۰/۲ میکرومتر (۲۰۰ نانومتر)، تغییر رنگ ایجاد شده در نانو پوشش‌ها نسبت به مقادیر بالای این مواد کم است. Ajayan و همکاران (۲۰۰۶) نیز بیان کردند، از دلایل اصلی ایجاد تغییر رنگ و کاهش شفافیت در اثر افزودن نانو ذرات در بستری پلیمری، اختلاف ضریب شکست نانو ذرات و رزین و همچنین تشکیل توده‌هایی از تجمع ذرات نانو در بستر پلیمری است.

مقاومت چسبندگی پوشش

نتایج به‌دست آمده از تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر مقاومت چسبندگی پوشش نشان داد که افزودن این نانو ذرات باعث بهبود مقاومت چسبندگی پوشش شد. به‌طورکلی می توان بیان نمود که پیوستگی پوشش رابطه مستقیمی با چسبندگی پوشش در روش Pull-off دارد. بر همین اساس در مورد بهبود مقاومت چسبندگی با افزودن نانو ذرات اکسید روی می توان بیان کرد که با افزودن نانو ذرات به پوشش، پیوستگی پوشش نیز افزایش یافته که نتیجه آن بهبود مقاومت چسبندگی پوشش است. در مورد میزان افزودن نانو ذرات اکسید روی مشخص شد که با افزودن ۱ درصد نانو، بالاترین مقدار مقاومت چسبندگی پوشش به‌دست می آید و افزودن بیش از این مقدار، کاهش مقاومت چسبندگی را درپی دارد. دلیل این امر را می توان به نحوه پراکنش نانو ذرات در ماتریس پوشش پلی‌اورتان نسبت داد. همان‌طور که در بررسی میکروسکوپی نیز مشخص گردید، پوشش حاوی ۱ درصد نانو ذرات روی از پراکنش مناسب و یکنواختی برخوردار است و اندازه نانو ذرات در این پوشش از ۲۰۰ نانومتر تجاوز نمی‌کند. چنین پراکنش یکنواختی باعث افزایش استحکام مکانیکی نانو پوشش و درنتیجه پیوستگی آن می‌شود. ازآنجایی‌که در روش اندازه‌گیری چسبندگی به روش Pull-off پیوستگی پوشش به صورت مستقیم در نتایج تأثیرگذار است، بنابراین مشاهده می‌شود که نمونه نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو بالاترین مقادیر چسبندگی را به خود اختصاص داده است؛ اما با افزایش میزان نانو ذرات تا ۲ درصد، پراکندگی نانو ذرات کاهش یافت، به‌طوری که در میزان ۲ درصد نانو، ذرات فقط به صورت توده هایی از تجمع نانو ذرات در پوشش مشاهده می‌شود که تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش پیوستگی پوشش داشته که نتیجه مستقیم آن کاهش مقادیر مقاومت چسبندگی در این نانو پوشش‌هاست. Sow و همکاران (۲۰۱۱) نیز در مطالعه خود بیان کردند که پراکنش نانو ذرات و تجمعات آنها تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب دارند.

یکی از عوامل دیگری که در بررسی مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب اهمیت فراوانی دارد، بررسی نوع جدایش پوشش از سطح زیرایند (جدا شدن چوب به همراه پوشش و یا فقط جداشدگی در حد فاصل بین پوشش و سطح چوب) است. به‌طوری که در یک شرایط یکسان، بالاترین میزان سطح شکست چوب (سطح جدا شده چوب همراه با پوشش هنگام آزمون مقاومت چسبندگی پوشش) طی فرایند اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی پوشش در بالاترین میزان مقاومت چسبندگی مشاهده می‌شود؛ به عبارت دیگر، در نمونه‌هایی که در شرایط یکسان علاوه بر چسبندگی (Adhesion)، cohesion نیز رخ دهد، مقاومت چسبندگی بالاتری وجود دارد (Cristea *et al.*, 2011). در مطالعه حاضر نیز بررسی میزان سطح جدا شده چوب همراه با پوشش در نمونه‌های پوشیده شده با پوشش شاهد و نانو پوشش‌ها نشان داد که بیشترین درصد سطح شکست به‌دست آمده در نانو پوشش‌ها بوده است. در بین نانو پوشش‌ها، بالاترین مقدار سطح شکست در نانو پوشش حاوی ۱ درصد نانو مشاهده گردید که با نتایج به‌دست آمده در بررسی مقاومت چسبندگی پوشش همسویی دارد. همچنین بررسی همبستگی بین مقاومت چسبندگی پوشش و سطح شکست چوب نیز نشان داد که رابطه مستقیمی بین مقاومت

چسبندگی پوشش و سطح شکست چوب در گونه ملچ وجود داشته، به‌طوری که با افزایش مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب، سطح شکست رخ داده در چوب نیز افزایش می‌یابد.

به‌طورکلی با توجه به نتایج مطالعه حاضر می‌توان بیان کرد که با افزودن نانو ذرات اکسید روی به پوشش و کنترل میزان آن تا یک حد بهینه، علاوه بر بهبود مقاومت چسبندگی پوشش می‌توان تا حد زیادی از تغییر رنگ ایجاد شده در پوشش و روشنایی آن جلوگیری کرد؛ اما با افزودن بیش از حد نانو ذرات در پوشش علاوه بر اینکه به دلیل عدم پراکنش مناسب نانو ذرات در بستر پوشش مقاومت چسبندگی پوشش به سطح چوب کاهش یافته و تغییر رنگ ایجاد شده در پوشش افزایش می‌یابد، بلکه هزینه تولید نانو پوشش نیز تحت تأثیر قرار گرفته و افزایش می‌یابد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند، از مسئولان محترم شرکت شیمیایی باژاک به دلیل تأمین شفاف‌پوشه پلی‌اورتان مورد استفاده در این مطالعه تشکر و قدردانی کنند. همچنین جا دارد از آقای مهندس حسین‌پور (مسئول بخش میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی) نیز سپاسگزاری شود.

منابع مورد استفاده

-Ajayan, P. M., Schadler, L. S. and Braun, P. V., 2006. Nanocomposite science and technology. John Wiley & Sons.
-Akgül, M., Ayrilmis, N., Çamlıbel, O. and Korkut, S., 2013. Potential utilization of burned wood in manufacture of medium density fiberboard. Journal of Material Cycles and Waste Management 15(2): 195-201.
-ASTM D- 2244-14., 2014. Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates. ASTM International, West Conshohocken.
-ASTM D- 4541-02., 2002. Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers. ASTM International, West Conshohocken.
-ASTM D-2832-92., 2011. Standard Guide for Determining Volatile and Nonvolatile Content of Paint and Related Coatings. ASTM International, West Conshohocken.
-Blanchard, V. and Blanchet, P., 2011. Color stability for wood products during use: Effects of inorganic nanoparticles. BioResources 6(2): 1219-1229.
-Clausen, C. A., Green, F. and Kartal, S. N., 2010. Weatherability and leach resistance of wood impregnated with nano-zinc oxide. Nanoscale Res Lett. 5(9): 1464-1467.
-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.
-Cristea, M., Riedl, B., Blanchet, P. and Jimenez-Pique, E., 2012. Nanocharacterization techniques for - investigating the durability of wood coatings. European Polymer Journal 48(3): 441-453.
-Dhoke, S. K., Bhandari, R. and Khanna, A. S. 2009b. Effect of nano-ZnO addition on the silicone-modified alkyd-based waterborne coatings on its mechanical and heat-resistance properties. Progress in Organic Coatings 64(1): 39-46.
-Dhoke, S. K., Khanna, A. S. and Sinha, T., 2009a. Effect of nano-ZnO particles on the corrosion behavior of alkyd-based waterborne coatings. Progress in Organic Coatings 64(4): 371-382.
-Ghofrani, M. and Khojasteh Khosro, S., 2014. The effect of wood surface finishing quality on the adhesion strength of clear coat. Journal of Color Science technology 7: 339-345.
-Hang, T. T. X., Dung, N. T., Truc, T. A., Duong, N. T., Van Truoc, B., Vu, P. G., ... and Olivier, M. G., 2015. Effect of silane modified nano ZnO on UV degradation of polyurethane coatings. Progress in Organic Coatings 79: 68-74.
-Kashani, A. S. and Moradian, S., 2010, Effects of nano alumina on some physical and mechanical properties of an acrylic water based clear coat. J. Color Sci. and Technol. 4: 169-174.
-Kaygin, B. and Akgun, E., 2008. Comparison of conventional varnishes with nanolake UV varnish with respect to hardness and adhesion durability. Int. J. Mol. Sci. 9: 476-485.
-Kaygin, B. and Akgun, E., 2009. A nano-technological product: An innovative varnish type for wooden surfaces. Scientific Rese. Essay. 4: 1-7.
-Korkut, S., &and Budakci, M., (2010). The effects of high-temperature heat-treatment on physical

properties and surface roughness of rowan (Sorbus aucuparia L.) wood. Wood Research, 55(1), 67-78.

-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): 91-97.

-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. Polym. Compos. 54: 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),: 1-19.

-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.

-Miszczyk, A. and Schauer, T., 2005. Electrochemical approach to evaluate the interlayer adhesion of organic coatings. Progress in Organic Coatings 52(4): 298-305.

-Silivane, A. Ocheane M., Wood protection coatings and reservatives,. http://www. Freedoniagroup .com /woodprotecti on. 2008.

-Sjostrom, E., 2010. Wood Chemistry Fundamentals and Applications, Translate by Mirshokraei, S.A., Ayeigh press, Tehran.

-Song, H. J., Zhang, Z. Z., Men, X. H. and Luo, Z. Z., 2010. A study of the tribological behavior of nano-ZnO-filled polyurethane composite coatings. Wear 269(1): 79-85.

-Sow, C., Riedl, B. and Blanchet, P., 2011. UV-waterborne polyurethane-acrylate nanocomposite coatings containing alumina and silica nanoparticles for wood: mechanical, optical, and thermal properties assessment. Journal of Coatings Technology and Research 8(2): 211-221.

-Stamm, A. J., 1956. Thermal degradation of wood and cellulose. Industrial & Engineering Chemistry 48(3): 413-417.

-US Research Nanomaterials , Zinc Oxide Nanoparticles / Nanopowder (ZnO, 99+%, 10-30 nm) information, http://s.b5z.net/i/u/10091461/f/USResearchNano/US3590.pdf.

-Vardanyan, V., Poaty, B., Chauve, G., Landry, V., Galstian, T. and Riedl, B., 2014. Mechanical properties of UV-waterborne varnishes reinforced by cellulose nanocrystals. Journal of Coatings Technology and Research 11(6): 841-852.

The effect of adding zinc oxide nanoparticles on color change and adhesion strength of polyurethane coating on wood surface

S. Khojasteh Khosro[1], M. Ghofrani[2*] and M. Ganjaee Sari[3]

1- M.Sc. Student, Department of Wood Science and Technology, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

*2- CorrespondingAuthor, Associate Professor of Wood Science and Technology Department, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran, Email: Ghofrani@srttu.edu.

3- Assistant Professor of Nanotechnology and Nanomaterials Department, Institute for Color Science and Trchnology, Tehran, Iran

Received: Feb., 2015 Accepted: Oct., 2015

Abstract

In this study, the effect of adding zinc oxide nanoparticles (ZnO) on color change and adhesion strength of polyurethane clear coat in elm (*Ulmus glabra*) wood was investigated. ZnO nanoparticles at the dosage of 0, 0.25, 0.50, 1, 1.50 and 2 wt% were dispersed in coating. TEM (Transmission electron microscopy) images were used to investigate the dispersion of nanoparticles in coatings matrix. Results of investigation showed the dispersion of nanoparticles in polyurethane coating indicating that the best dispersion of nanoparticles was obtained in coating containing 1 wt% nano. Increasing the dosage of nanoparticles to 2 wt%, reduced dispersion of nanoparticles and aggregates of nanoparticles were observed in coating. Investigating the adhesion strength of coating showed that the highest value of adhesion was in nanocomposite coating with 1 wt% nano but higher ratios of nanoparticles had negative effect on coating adhesion. Results also revealed that adding ZnO nanoparticles, changed color of samples coated with nanocomposite coating but it was not significant in low content of nanoparticles.

Keywords: Zinc oxide nanoparticles, polyurethane clear coat, Elm wood species, adhesion strength of coating, color change, transmission electron microscopy (TEM).