

بررسی اثر افزودن نانو ذرات سیلیکا بر روی خصوصیات حفاظتی پوشش‌های اکریلیکی

فرشته محمدی^۱، امیر ارشاد لنگرودی^{۲*}

^۱ کارشناسی ارشد، گروه مرمت اشیاء، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز
^۲ دانشیار، گروه رنگ، رزین و روکش‌های سطح، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۹۲/۶/۱۷، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۹۲/۹/۲۳، تاریخ پذیرش قطعی: ۹۲/۹/۲۴

چکیده در این تحقیق، خصوصیات پوشش‌های اکریلیکی بر پایه پارالوئید B72 در اثر افزودن نانو ذرات سیلیکا بهبود یافته است. ورق‌های فولادی به عنوان زیرلایه استفاده شده است. نانو ذرات سیلیکا، تهیه شده به روش سل-ژل از پیش ماده‌های تترا اتوکسی سیلان (TEOS) و متاکریلوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان (MPTMS)، از طریق همزن داخل پوشش اکریلیکی پخش شدند. پوشش‌های خالص بدون نانو ذرات نیز برای مقایسه تولید شدند. مورفولوژی و توزیع اندازه ذرات پوشش‌ها با استفاده از تکنیک‌های میکروسکوپی الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپی الکترونی عبوری (TEM) بررسی شدند. میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) نیز برای بررسی توپوگرافی و زبری سطح پوشش‌ها مورد استفاده واقع شد. اثر افزودن نانو ذرات سیلیکا بر روی خصوصیات محافظتی پوشش‌های اکریلیکی با استفاده از آزمون‌های ترشوندگی و پیرسازی UV مورد مطالعه قرار گرفت. پوشش اصلاح شده با مقدار بهینه ذرات سیلیکا کارایی بهتری را در مقایسه با پوشش خالص از خود نشان داد که این امر را می‌توان از تغییرات کمتر رنگ آن پس از ۱۰۰۰ ساعت تشعشع UV و همچنین آبریزتر بودن آن در مقایسه با پوشش خالص استنباط کرد. در مجموع، نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهند که خصوصیات حفاظتی (از نقطه نظر ترشوندگی و تغییر رنگ) پوشش اصلاح شده با نانو ذرات سیلیکا نسبت به پوشش اکریلیکی خالص بهبود یافته است که این امر تصدیق کننده اثر مثبت افزودن نانو ذرات سیلیکا به زمینه پلیمری بوده است.

کلمات کلیدی: پارالوئید؛ نانو ذرات سیلیکا؛ ترشوندگی؛ تغییر رنگ

Study of the effect of silica nanoparticles on the conservative properties of acrylic coatings

Fereshteh Mohammadi¹ and Amir Ershad-Langroudi*

¹ Islamic Azad University, Tehran Central Branch

*Color, Resin & Surface Coating (CRSC), Iran Polymer and Petrochemical Institute (IPPI)

Abstract In this work the properties of acrylic coatings based on Paraloid B72 were improved by adding of silica nanoparticles. Pre-formed silica nanoparticles, prepared by sol-gel chemistry from tetraethoxysilane (TEOS) and methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTMS) precursors, were dispersed into acrylic coatings using a homogenizer. Steel sheets were used as substrate. Morphology and the dispersion of nano-silica particles in the coatings were investigated by scanning electron microscopy (SEM), and transmission electron microscopy (TEM). Topography and surface roughness of the coatings were also evaluated using atomic force microscopy (AFM). The effect of incorporation of silica nanoparticles on the conservative behavior of the coatings was investigated using contact angle measurements and UV aging tests. The modified coating with a proper amount of silica particles showed more efficient performance than the net coating which can be mainly inferred from its more less color changes after 1000 hr UV radiation and also its more hydrophobic nature than the net coating. In general, the study shows an improvement in the conservative characteristics (from the wet ability and color change point of view) of the properly nano-particle modified coating, confirming the positive effect of nano silica addition in acrylic coatings.

Keywords: Paraloid; Silica nanoparticles; Wet ability; Color change.

*عهده‌دار مکاتبات

نشانی: پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

تلفن: -، دورنگار: -، پیام‌نگار: A.Ershad@ippi.ac.ir

۱- مقدمه

پلیمرهای اکریلیک/متاکریلیک به طور وسیعی در بسیاری از صنایع، برای مثال به عنوان واسط در فرمولاسیون رنگها و پوششهای سطحی و همچنین به عنوان پایه چسبها، مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از مهمترین و خاصترین کاربردهای آن در رنگهای هنری و حفاظت از میراث فرهنگی است [۱]. عملیات حفاظتی با رزینهای اکریلیکی برای چوب، کاغذ، موزائیک، رنگدانه، ظروف جلادار، کهربا، فسفیلها، سرامیکها، شیشه، سنگها و فلزات گزارش شده‌اند [۲-۵]. خصوصیات چسبندگی خوب و دافع آب بودن رزینهای اکریلیکی منجر به استفاده از آنها در کاربردهای فوق شده است، جاییکه در آن واحد پایداری محیطی کافی نیز مد نظر است بخصوص در مواردی که رزینها به عنوان پوششهای محافظ بناهای قدیمی و کارهای هنری که در معرض محیط بیرونی قرار دارند استفاده می‌شوند. راندمان طولانی مدت پوششهای محافظ اساساً تحت تأثیر مستقیم نور خورشید در تحریک واکنشهای اکسیداسیون است. این اثر ممکن است در اثر دما، رطوبت و بخصوص در حضور آلاینده‌های هوا تشدید شود. پیچیدگی پیرسازی طبیعی مواد می‌تواند در آزمایشگاه و تنها با استفاده از یک رویکرد تسهیل شده از طریق شبیه‌سازی با آزمایشهای کوتاه مدت امکان پذیر شود. مطالعات پیش‌بینی طول عمر مواد معمولاً از طریق آزمایشهای پیرسازی تسریع شده شامل دما و یا نور انجام می‌گیرند. منبع نوری که برای چنین اهدافی مورد استفاده قرار می‌گیرد باید توان خروجی بالا و نزدیک به طیف نور خورشید، بخصوص در محدوده UV، داشته باشد. تابشهای با طول موج کوتاه‌تر بایستی حذف شوند چرا که تحقیقات نشان داده‌اند که آنها می‌توانند منجر به واکنش‌هایی شوند که عملاً در محیط طبیعی رخ نمی‌دهند [۶].

با افزایش توجه روز افزون به مواد با ابعاد نانو، نانو ذرات گوناگونی مانند TiO_2 [۷]، ZnO [۸]، Al_2O_3 [۹]، CeO_2 [۱۰]، Fe_2O_3 [۱۱ و ۱۲] و SiO_2 [۱۳ و ۱۴] به زمینه‌های پلیمری افزوده می‌شوند تا اینکه خصوصیات مختلف آنها

اصلاح شود. اندازه بسیار کوچک نانو ذرات، کمتر از ۱۰۰ نانومتر، باعث نامرئی بودن آنها پس از تزریق به زمینه پلیمری شفاف

می‌شود و بنابراین هیچ اثر نامطلوبی را بر روی خصوصیات نوری پلیمرها بر جای نمی‌گذارد. در برخی موارد حتی افزایش شفافیت نیز گزارش شده است. سطح فعال بسیار بزرگ نانو ذرات باعث شده است تا آنها برای استفاده در عملیات سطحی گوناگونی مناسب باشند. تحقیقات نشان داده‌اند که افزودن نانو ذرات سیلیکا منجر به تغییر چشمگیر رفتار پوشش و ارتقاء خصوصیات مکانیکی، شیمیایی و نوری زمینه پلیمری شده‌اند [۱۵-۱۹]. در سایر مطالعات نیز اثر افزودن نانو ذرات Zn ، SiO_2 و Fe_2O_3 به عنوان عوامل ضد خوردگی و همچنین اصلاح کنندگان خصوصیات مکانیکی برای پوشش‌های اپوکسی [۲۰] و سل-ژل پایه سیلانی [۱۰] بررسی شده‌اند. این خصوصیات منحصراً به فرد نانو ذرات منجر به استفاده از آنها در صنایع پوشش‌دهی به منظور بهبود رفتار فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی پوشش‌های آلی شده است.

در این تحقیق رزین پارالوئید B72 به عنوان پوشش اصلی استفاده شد و در ادامه پوشش نانو کامپوزیتی با استفاده از افزودن نانو ذرات سیلیکا ایجاد شد. هدف این مطالعه، بررسی اثر افزودن نانو ذرات سیلیکا بر روی خصوصیات حفاظتی پوشش‌های اکریلیکی است. پوشش نانو کامپوزیتی از طریق افزودن دو عامل سیلانی مختلف به رزین پارالوئید B72 به دست آمد و بر روی زمینه فولادی اعمال شد. سپس خصوصیات حفاظتی این پوشش‌ها از نقطه نظر ترشوندگی و مقاومت در برابر هوازدگی مورد بررسی قرار گرفتند.

۲- کارهای تجربی

۱-۲- مواد

تترا اتوکسی سیلان^۱، با فرمول شیمیایی $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ ، و متاکریلوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان^۲، با فرمول شیمیایی $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COO}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$ ، و استون، با فرمول شیمیایی $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ، همگی از شرکت مرک خریداری شده و بدون هیچ گونه خالص سازی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. رزین پارالوئید B72، همسپار^۳ دوتائی از متیل اکریلات (MA)^۴ و اتیل متاکریلات (EMA)^۵ با نسبت مولی تقریبی ۳۰:۷۰ از شرکت Lascaux Restauro خریداری شد. ورق فولادی CK60 (خریداری شده از کارخانه سینا) به عنوان زیرلایه استفاده شد. این ورق به قطعات کوچک تر با ابعاد $4\text{cm} * 4\text{cm}$ بریده شد. به منظور حصول سطوح آینه‌ای، ورق‌های فولادی ابتدا با استفاده از کاغذهای ساینده SiC سنباده زنی شده و سپس توسط سوسپانسیون شامل نانو ذرات آلومینا پولیش شدند. قبل از اعمال پوشش‌های پلیمری، نمونه‌ها در استون و با استفاده از لرنانده فراصوتی چربی‌گیری شدند.

۲-۲- ایجاد پوشش‌ها

در این تحقیق سه پوشش با ترکیب مختلف بر روی نمونه فولادی اعمال شدند: پوشش A که شامل رزین پارالوئید B72 بدون افزودن ترکیبات سیلانی است، پوشش B که شامل رزین پارالوئید B72 با افزودن ۳ درصد حجمی تترا اتوکسی سیلان به دست آمده است، و پوشش C که از افزودن ۳ درصد حجمی متاکریلوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان به پوشش B حاصل شده است. پوشش‌ها با استفاده از دستگاه فیلم‌کش (BYK-Gardner, Germany) بر روی زمینه فولادی اعمال شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در معرض هوای آزاد قرار داده

شدند و پس از آن به داخل کوره انتقال داده شده و به مدت یک ساعت در دمای ۱۱۵ درجه سانتی گراد عملیات حرارتی شدند.

۲-۳- بررسی خصوصیات

۲-۳-۱- خصوصیات ساختاری پوشش‌ها

به منظور بررسی چگونگی نحوه توزیع ذرات سیلیکا در زمینه پلیمری، شکل و اندازه آن‌ها از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM, Philips EM208, H-7100)^۶ و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM, Philips-XL30)^۷ استفاده شد. جهت تعیین ضخامت پوشش‌ها، تصاویر SEM مقطع عرضی نمونه‌ها بررسی شدند. توپوگرافی و زبری سطح پوشش‌ها نیز با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM, Dual Scope 95-200)^۸ ساخت کشور دانمارک مورد مطالعه قرار گرفتند.

۲-۳-۲- اندازه‌گیری زاویه تماس

به منظور تعیین آبگریزی و آبدوستی پوشش‌های حاصل از دستگاه زاویه تماس مدل KRUSS G10 ساخت کشور آلمان با استفاده از آب مقطر به عنوان مایع تست استفاده شد. زاویه تماس با استفاده از تکنیک تحلیل نیمرخ قطره، تحت شرایط کنترل شده رطوبت و دمای محیط، به دست می‌آید. برای حصول اطمینان از تکرار پذیری نتایج، تمامی آزمایش‌ها بر روی نمونه‌ها سه بار تکرار شد و میانگین اعداد گزارش شده است.

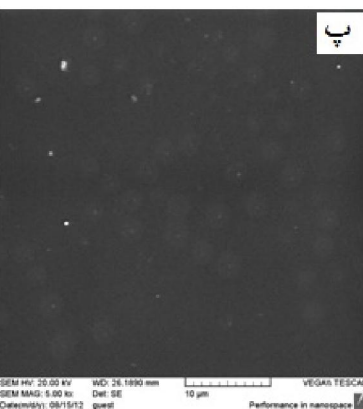
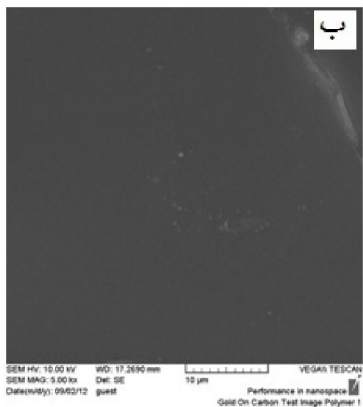
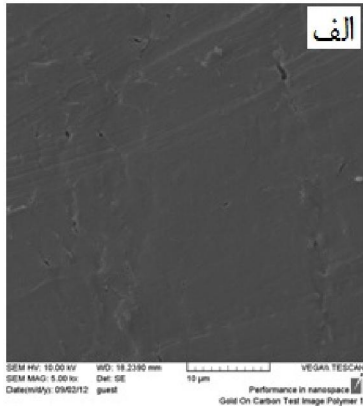
۲-۳-۳- آزمون پیرسازی UV

اثر افزودن نانو ذرات سیلیکا به رزین پارالوئید B72 بر روی تغییرات رنگ آن‌ها در طول آزمون UV با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری رنگ مدل Hitachi بررسی شد. در این آزمون نمونه‌ها داخل محفظه UV (با ابعاد $47 \times 49 \times 42$ سانتی متر) به

6- Transmission Electron Microscope
7- Scanning Electron Microscope
8- Atomic Force Microscope

1- Tetraethoxysilane
2- Methacryloxypropyltrimethoxysilane
3- Copolymer
4- Methyl Acrylate
5- Ethyl Methacrylate

بوده و عاری از هر گونه عیوب است. همچنین، هیچ گونه کلوخه‌ای شدن (تجمع) ذرات سیلیکا در پوشش‌های پلیمری (تصاویر ب و پ) مشاهده نمی‌شود که گواهی بر توزیع یکنواخت ذرات در زمینه پلیمری است.



شکل ۲. تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطح: الف) پوشش A، ب) پوشش B و پ) پوشش C.

مدت ۱۰۰۰ ساعت طبق استاندارد ASTM 4587 قرار داده شدند. شاخص‌های رنگ (L^* , a^* , b^*) و تغییرات کلی رنگ (ΔE) با استفاده از فرمول CIE 1976 (معادله ۱) [۲۱] در زاویه برخورد ۴۵ درجه و زاویه مشاهده ۱۰ درجه اندازه‌گیری شدند.

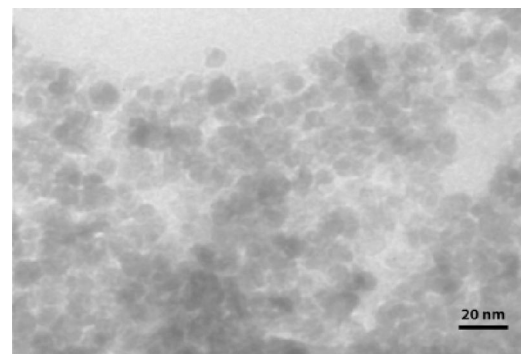
$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (\text{معادله ۱})$$

که در آن L^* شاخص روشنایی، a^* و b^* به ترتیب شاخص‌های رنگ قرمز-سبز و زرد-آبی هستند. Δ نیز نماد اختلاف پارامترهای مربوطه قبل و پس از تشعشع است.

۳- نتایج و بحث

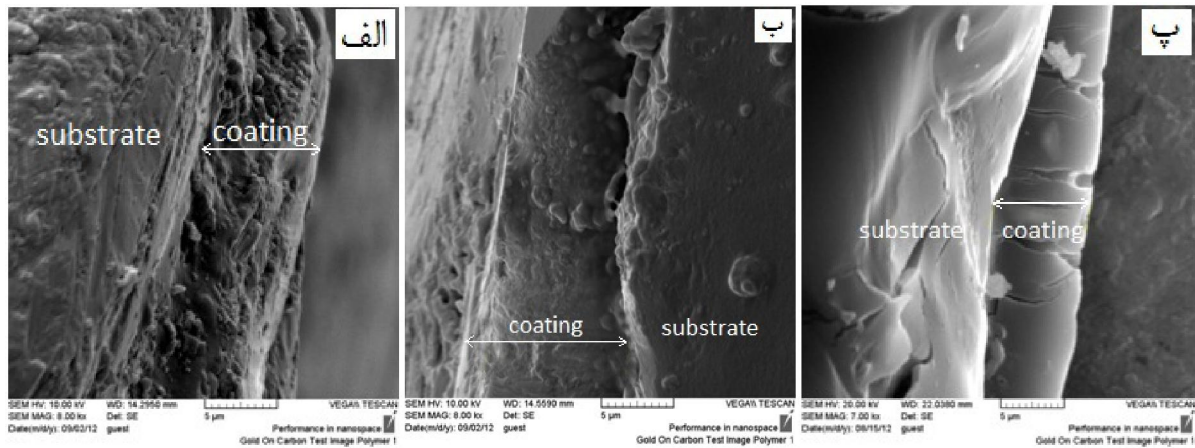
۳-۱- خصوصیات ساختاری پوشش‌ها

در شکل (۱) تصویر میکروسکوپی الکترونی عبوری نانو ذرات سیلیکا در نمونه B نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که ذرات شکل نسبتاً کروی داشته و میانگین اندازه آن‌ها در حدود ۲۰-۱۰ نانومتر است.



شکل ۱. تصویر TEM نانو ذرات سیلیکا.

تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی پوشش خالص (نمونه A) و پوشش‌های اصلاح شده با نانوذرات سیلیکا (نمونه‌های B و C)، به منظور مطالعه چگونگی توزیع ذرات در پوشش‌ها و همچنین بررسی وجود عیوب احتمالی در سطح پوشش‌ها، در شکل (۲) نشان داده شده‌اند. در شکل (۲-الف) تصویر SEM سطح پوشش خالص نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود پوشش حاصل کاملاً یکنواخت

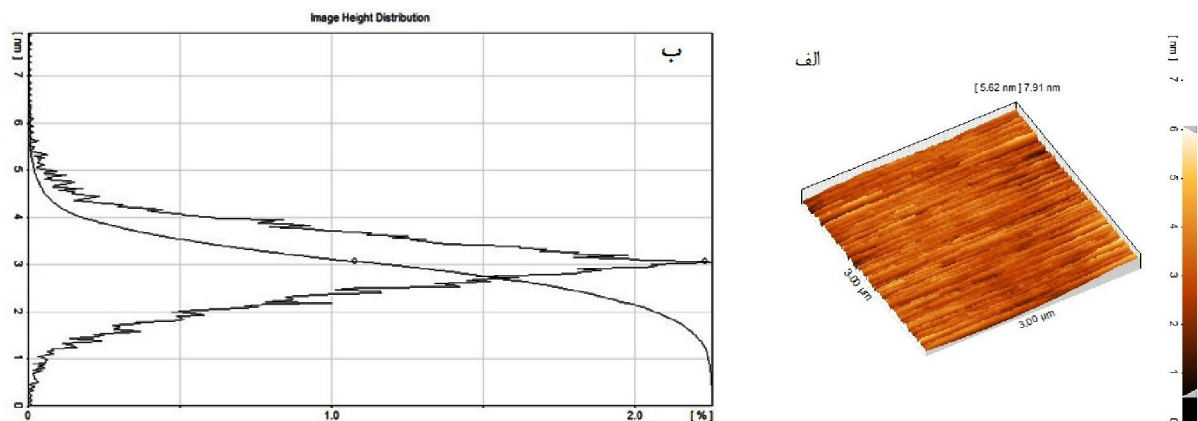


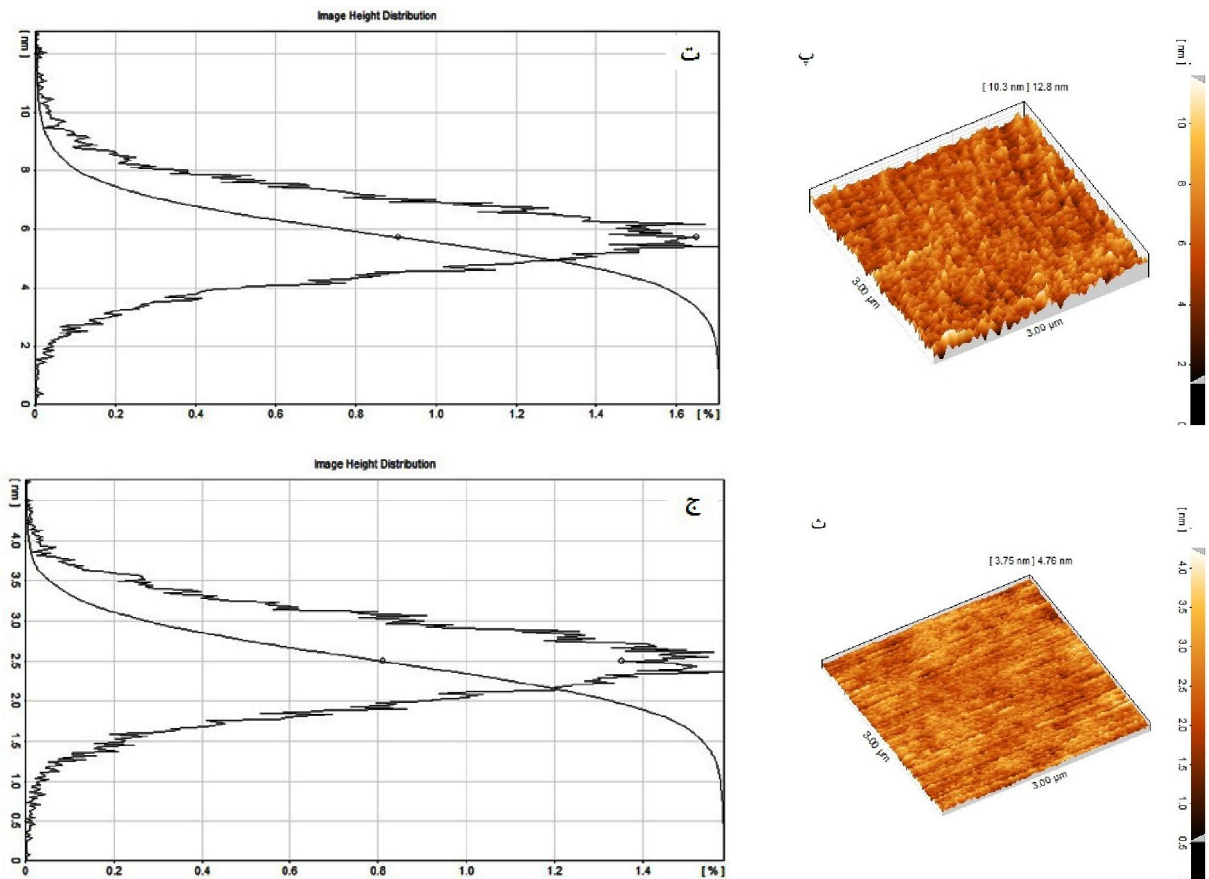
شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطح مقطع: الف) پوشش A، ب) پوشش B و پ) پوشش C.

تابع توزیع ارتفاع آن‌ها در شکل (۴) به تصویر کشیده شده است. همانطور که در شکل (۴-الف) مشاهده می‌شود، پوشش خالص (نمونه A) دارای سطحی صاف و یکنواخت با زبری در ابعاد نانومتر است. نمودار تابع توزیع ارتفاع این پوشش (شکل ۴-ب) نشان می‌دهد که میانگین زبری سطح این پوشش در حدود ۵ نانومتر است. تصاویر AFM پوشش‌های اصلاح شده با نانو ذرات سیلیکا، نمونه‌های B و C، نشان دهنده این مطلب است که ذرات به طور یکنواخت در زمینه پلیمری پخش شده‌اند (تصاویر ۴-پ و ث). بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که نانو ذرات انطباق پذیری خوبی با زمینه پلیمری دارند که به توزیع مناسب آن‌ها در داخل پوشش منتهی شده است [۲۲].

در شکل (۳) تصاویر SEM سطح مقطع نمونه‌های پوشش-دار نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود افزودن نانو ذرات سیلیکا به رزین پارالوئید تأثیر چندانی بر روی ضخامت پوشش حاصل نداشته و تمامی پوشش‌ها دارای ضخامتی در حدود ۸-۱۰ میکرون می‌باشند. علاوه بر این، چسبندگی خوبی بین پوشش اکریلیکی و زمینه فولادی مشاهده می‌شود.

تکنیک AFM برای مطالعه توپوگرافی (مورفولوژی و زبری) پوشش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. از این روش می‌توان هم به صورت کیفی و هم نیمه کمی اطلاعاتی را به دست آورد. تصاویر میکروسکوپی نیروی اتمی پوشش‌ها و همچنین نمودار





شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی نیروی اتمی از سطح پوشش‌ها و همچنین تابع توزیع ارتفاع مربوط به آن‌ها: الف و ب) پوشش A، پ و ت) پوشش B، ث و ج)

پوشش C.

چنین استنباط کرد که پوشش B بیشترین زبری را در بین پوشش‌ها دارد. علاوه بر این، تفاوت چندانی بین زبری پوشش‌های A و C مشاهده نمی‌شود. این نتایج با یافته‌های محمد جدول (۱) گردآوری شده است. تصاویر مربوط به قطرات نیز در شکل (۵) آورده شده‌اند. داده‌های حاصل از آزمون ترشوندگی برای پیش‌بینی خصوصیات حفاظتی پوشش‌ها در برابر آب و بخار آب استفاده می‌شود. نتایج نشان دهنده این است که زاویه تماس در هر دو نمونه حاوی ذرات سیلیکا افزایش یافته است ولی این افزایش در مورد نمونه B چشمگیر است. با توجه به اینکه هر چه زاویه تماس بزرگ‌تر باشد پوشش آبگریزتر است و هر چه زاویه تماس کوچک‌تر باشد پوشش آبدوست‌تر است و با استناد به نتایج موجود در جدول

نمودارهای تابع توزیع ارتفاع این پوشش‌ها (تصاویر ۴-ت-ج) نشان می‌دهند که میانگین زبری سطح پوشش‌های B و C به ترتیب در حدود ۱۰ و ۴ نانومتر است. از نتایج فوق می‌توان ربیعی و همکارانش [۲۳] در مورد افزایش زبری سطح پس از افزودن نانو ذرات سیلیکا به زمینه پلی یوراتان مطابقت دارد. زبری پوشش‌ها تأثیر بسزایی در خصوصیات پوشش‌ها و بخصوص رفتار ترشوندگی آن‌ها دارد که در ادامه مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۳-۲- ارزیابی آزمون ترشوندگی

نتایج حاصل از آزمون اندازه‌گیری زاویه تماس برای پوشش اکریلیکی خالص و همچنین پوشش‌های حاوی ذرات سیلیکا در

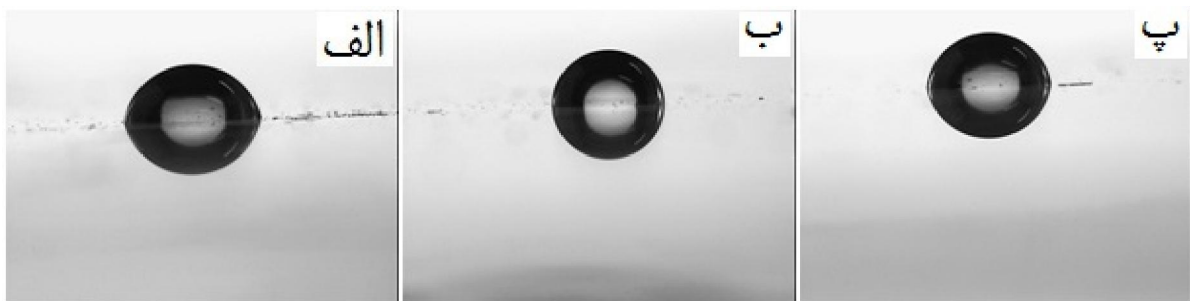
راحتی نمی‌تواند به داخل درشتی‌های سطح که با هوا پر شده‌اند نفوذ کند و در نتیجه فصل مشترک بین مایع و گاز پیوسته نخواهد بود و به جای آن فصل مشترک‌های مایع-گاز و مایع-جامد خواهیم داشت که این مورد برای سطوح با زبری بالا رخ می‌دهد.

جدول ۱. نتایج حاصل از آزمون ترشوندگی برای پوشش‌های مختلف در

دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۳۰٪

نام پوشش	زاویه تماس (درجه)
پوشش A	۷۹/۹
پوشش B	۹۲
پوشش C	۸۵/۹

(۱) می‌توان چنین نتیجه گرفت که افزودن نانو ذرات سیلیکا به زمینه پلیمری منجر به بهبود آبگریزی پوشش اکریلیکی شده است. آلیاژهای آهن شدیداً نسبت به رطوبت حساس هستند و در حضور آن دچار خوردگی می‌شوند. در نهایت، پوششی که آبگریزتر باشد رطوبت کمتری را از محیط جذب کرده و همین امر در کاهش نرخ خوردگی آن مؤثر خواهد بود [۲۴]. نتایج فوق با یافته‌های توتولین و همکارانش [۵] مطابقت دارد که با افزایش زبری سطح، پوشش مورد نظر آبگریزتر خواهد شد. زمانیکه زاویه تماس بین صفر و ۹۰ درجه است، فصل مشترک بین مایع و جامد (سطح) زیاد است و مایع بخوبی سطح را تر می‌کند که این حالت برای سطوح با زبری کم رخ می‌دهد. در مواردی که زاویه تماس بین ۹۰ و ۱۸۰ درجه است، مایع به



شکل ۵. تصاویر مربوط به قطرات حاصل از آزمون ترشوندگی برای: (الف) پوشش A، (ب) پوشش B و (پ) پوشش C.

نور UV را جذب نمی‌کنند و بنابراین مستقیماً توسط نور خورشید تخریب نمی‌شوند. اما مقادیر کم ناخالصی (پروکسید، کتون) در مواد پلیمری می‌توانند نور را جذب کرده و رادیکال-های آزاد تشکیل دهند که در نهایت منجر به تخریب نوری پوشش می‌شود [۵].

پایداری پوشش‌ها از نظر مقاومت در برابر تابش UV با استفاده از تغییرات رنگ آن‌ها، از طریق اندازه‌گیری رنگ در طول تابش در محفظه UV، نسبت به حالت قبل از آزمون مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های شاخص‌های رنگ یعنی L^* (روشنایی)، a^*

۳-۳- ارزیابی آزمون پیرسازی UV

با چشم غیر مسلح می‌توان مشاهده کرد که تغییر چندانی در پوشش B پس از تابش UV رخ نداده است در حالیکه نمونه-های A و C تا حدودی تغییر رنگ داده‌اند. عموماً در حین هوازگی مواد پلیمری، کمترین انرژی تهییج الکترون مربوط به انتقال $\pi \rightarrow \pi^*$ باندهای $C=C$ و $C=O$ است. این عوامل به شدت در ناحیه فرابنفش جذب می‌شوند و به عنوان رنگسازها مشهور هستند که عناصر اصلی تشکیل دهنده ترکیبات رنگی هستند. بیشتر باندهای آلی در فرکانس‌های بالاتر از ۲۸۰ نانومتر

پیوندهای پلیمری نسبت داد. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، نمونه B کمترین مقدار شاخص تغییر رنگ کل (ΔE) را در بین نمونه‌ها دارد که نشانگر مقاومت بیشتر این پوشش در برابر تغییر رنگ در اثر تشعشع UV است. به نظر می‌رسد افزودن TEOS به زمینه پلیمری از ایجاد تغییر رنگ بیشتر در نمونه ممانعت به عمل آورده است ولی افزودن MPTMS در مرحله دوم به این پوشش منجر به تشکیل زنجیره‌های سیلیسی سنگین شده و در نهایت این پلیمرهای خطی سنگین باعث زردی و تیره‌گی نمونه شده است.

(تمایز رنگ)، b^* (زردی) و ΔE^* (تغییر رنگ کلی) برای پوشش‌های مختلف و قبل و بعد از قرار گرفتن در محفظه UV در جدول (۲) گردآوری شده‌اند. شاخص روشنایی (L) بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است؛ هر چه این عدد به صفر نزدیک باشد نمادی از تیره بودن پوشش است و هر چه به نزدیک به عدد ۱۰۰ باشد نشانگر روشن بودن پوشش است. با استناد به جدول ۲، پس از ۱۰۰۰ ساعت تابش UV، شاخص روشنایی در هر سه نمونه نسبت به حالت قبل از تابش کاهش پیدا کرده است که تأییدی بر تیره‌تر شدن پوشش‌ها است. این امر را اساساً می‌توان به اثر نور در تسریع واکنش‌های مربوط به تجزیه مواد آلی و شکست

جدول ۲. داده‌های شاخص‌های رنگ قبل و پس از آزمون تشعشع UV به مدت ۱۰۰۰ ساعت

نمونه	b^*	a^*	L^*	ΔE
پوشش A قبل از تشعشع	۰/۳۲	۳/۹	۸۷/۰۵	۰/۴۶
	۰/۱۶	۳/۷۷	۸۶/۵۶	
پوشش B قبل از تشعشع	۰/۲	۳/۸۹	۸۷/۱۵	۰/۴۴
	۰/۱۸	۳/۷۵	۸۶/۶۲	
پوشش C قبل از تشعشع	۰/۲۵	۳/۸۶	۸۷/۰۶	۰/۶۰
	۰/۰۸	۳/۷۱	۸۶/۴۹	

پوشش‌های بر پایه پارالوئید B72، یک پوشش شناخته شده در عملیات ترمیم، با استفاده از نانو ذرات سیلیکا اصلاح شدند. دو پوشش دیگر جستجو کرد. نتایج پیرسازی نمونه‌ها تحت تابش UV حاکی از این بود که نمونه شامل TEOS کمترین تغییر رنگ را در مقایسه با سایر نمونه‌ها از خود نشان داده است. در مجموع، نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهند که خصوصیات حفاظتی (از نقطه نظر ترشوندگی و تغییر رنگ) پوشش اصلاح شده با نانو ذرات سیلیکا نسبت به پوشش اکریلیکی خالص بهبود یافته است که این امر تصدیق کننده اثر مثبت افزودن نانو ذرات سیلیکا به زمینه پلیمری بوده است.

مراجع

۴- نتیجه گیری

پوشش‌های مختلف، شامل مقادیر متفاوت عوامل سیلانی، تهیه شدند و خصوصیات آن‌ها به منظور بررسی اثر حضور نانو ذرات سیلیکا در زمینه پلیمری بر روی رفتار حفاظتی آن‌ها در مقابل تابش UV و همچنین ترشوندگی مورد مطالعه قرار گرفتند. تصاویر مورفولوژی سطح پوشش‌ها نشان دادند که یک پوشش یکنواخت و عاری از عیوب شامل نانو ذرات سیلیکا بر روی زمینه فولادی تشکیل شده است که گواهی بر انطباق پذیری خوب بین رزین اکریلیکی و نانو ذرات سیلیکا است. داده‌های حاصل از آزمون ترشوندگی نشان دادند که که زاویه تماس در هر دو نمونه حاوی ذرات سیلیکا افزایش یافته است ولی این افزایش در مورد نمونه B چشمگیر است. دلیل اصلی این امر را می‌توان در زبری بیشتر سطح این پوشش در مقایسه با

14. Hedayati M, Salehi M, Bagheri R, Panjepour M, Naeimi F, Tribological and mechanical properties of amorphous and semi-crystalline PEEK/SiO₂ nanocomposite coatings deposited on the plain carbon steel by electrostatic powder spray technique, *Progress in Organic Coatings*. 74 (2012) 50–58.
15. Deflorian F, Fedel M, Dire S, Tagliazucca V, Bongiovanni R, Vescovo L, Minelli M, Garzia de Angelis M, Study of the effect of organically functionalized silica nanoparticles on the properties of UV curable acrylic coatings, *Progress in Organic Coatings*. 72 (2011) 44–51.
16. Khelifa F, Druart M-E, Habibi Y, Benard F, Leclere P, Olivier M, Dubois P, Sol-gel incorporation of silica nanofillers for tuning the anti-corrosion protection of acrylate-based coatings, *Progress in Organic Coatings*. 76 (2013) 900–911.
17. Hashemi-Nasab R, Mirabedini S.M, Effect of silica nanoparticles surface treatment on in situ polymerization of styrene-butyl acrylate latex, *Progress in Organic Coatings*. 76 (2013) 1016–1023.
18. Dastmalchian H, Moradian S, Jalili M.M, Mirabedini S.M, Investigating changes in electrochemical properties when nano-silica is incorporated into an acrylic-based polyurethane clearcoat, *Journal of Coatings Technology and Research*. 9[2] (2012) 195–201.
19. Ershad-Langroudi A, Gharazi S, Rahimi A, Ghasemi D, Synthesis and morphological study on the nanocomposite hydrophilic coatings, *Applied Surface Science*. 255 (2009) 5746–5754.
20. Shi X, Nguyen T.A, Suo Z, Liu Y, Avci R, Effect of nanoparticles on the anticorrosion and mechanical properties of epoxy coating, *Surface & Coatings Technology*. 204 (2009) 237–245.
21. McLaren K, The development of the CLE 1976 (L*a*b*) uniform-color space and color difference formula, *Journal of The Society of Dyers and Colourists*. 92 (1976) 338–341.
22. Mills D.J, Jamali S.S, Paproka K, Investigation into the effect of nano-silica on the protective properties of polyurethane coatings, *Surface & Coatings Technology*. 209 (2012) 137–142.
23. Mohammad Rabea A, Mohseni M, Mirabedini S.M, Hashemi Tabatabaei M, Surface analysis and anti-graffiti behavior of a weathered polyurethane-based coating embedded with hydrophobic nano silica, *Applied Surface Science*. 258 (2012) 4391–4396.
24. Jegdic B.V, Bajat J.B, Popic J.P, Miskovic-Stankovic V.B, Corrosion stability of polyester coatings on steel pretreated with different iron-phosphate coatings, *Progress in Organic Coatings*. 70 (2011) 127–133.
1. Kotlik P, Doubravova K, Horalek J, Kubac L, Akrman J, Acrylic copolymer coatings for protection against UV rays, *Journal of Cultural Heritage*. (2013) <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2013.01.002>.
2. Milanese C, Baldi F, Borin S, Brusetti L, Ciampolini F, Iacopini F, Cresti M, Deterioration of medieval painting in the chapel of the Holy Nail, Siena (Italy) partially treated with Paraloid B72, *International Biodeterioration & Biodegradation*. 63 (2009) 844–850.
3. Constancio C, Franco L, Russo A, Anjinho C, Pires J, Vaz M.F, Carvalho A.P, Studies on Polymeric Conservation Treatments of Ceramic Tiles with Paraloid B-72 and Two Alkoxysilanes, *Journal of Applied Polymer Science*. 116 (2010) 2833–2839.
4. Melo M.J, Bracci S, Camaiti M, Chiantore O, Piacenti F, Photodegradation of acrylic resins used in the conservation of stone, *Polymer Degradation and Stability*. 66 (1999) 23–30.
5. Totolin M.I, Neamtu I, Positive findings for plasma polymer (meth)acrylate thin films in heritage protective applications, *Journal of Cultural Heritage*. 12 (2011) 392–398.
6. Chiantore O, Lazzari M, Photo-oxidative stability of paraloid acrylic protective polymers, *Polymer*. 42 (2001) 17–27.
7. Scalarone D, Lazzari M, Chiantore O, Acrylic protective coatings modified with titanium dioxide nanoparticles: Comparative study of stability under irradiation, *Polymer Degradation and Stability*. 97 (2012) 2136–2142.
8. Park J.H, Yun T.H, Kim K.Y, Song Y.K, Park J.M, The improvement of anticorrosion properties of zinc-rich organic coating by incorporating surface-modified zinc particle, *Progress in Organic Coatings*. 74 (2012) 25–35.
9. Dhoke S.K, Khanna A.S, Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) study of nano-alumina modified alkyd based waterborne coatings, *Progress in Organic Coatings*. 74 (2012) 92–99.
10. Phanasaonkar A, Raja V.S, Influence of curing temperature, silica nanoparticles- and cerium on surface morphology and corrosion behavior of hybrid silane coatings on mild steel, *Surface & Coatings Technology*. 203 (2009) 2260–2271.
11. Dhoke S.K, Khanna A.S, Effect of nano-Fe₂O₃ particles on the corrosion behavior of alkyd based waterborne coatings, *Corrosion Science*. 51 (2009) 6–20.
12. Dhoke S.K, Khanna A.S, Electrochemical behavior of nano-iron oxide modified alkyd based waterborne coatings, *Materials Chemistry and Physics*. 117 (2009) 550–556.
13. Dashtizadeh A, Abdouss M, Mahdavi H, Khorasani M, Acrylic coatings exhibiting improved hardness, solvent resistance and glossiness by using silica nanocomposites, *Applied Surface Science*. 257 (2011) 2118–2125.