پوشش‌دهی نانوکامپوزیت اکسید روی بر سطوح آثار کاغذی تاریخی و هنری

صالح ایمانی، مریم افشارپور

کارشناس ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی Saleh_imani90@yahoo.com

دکترای تخصصی شیمی مرکز پژوهشی علوم و فناوری نانو دانشگاه تهران

چکیده

در این پژوهش با کمک فناوری نانو، ایجاد یک پوشش نانویی بر سطح آثار کاغذی تاریخی و هنری جهت بهرهمندی از ویژگی های محافظتی منحصر به فرد و پایدار نانوکامپوزیت اکسید روی گزارش شده است. جهت مطالعه و بررسی‌های اولیه، آزمونه‌هایی از کاغذ فیلتر به‌عنوان بستر پوشش شونده تهیه شدند و سپس، در شرایط پیرسازی تسریعی نوری و نیز حرارتی–رطوبتی قرار گرفتند سپس با انجام آزمون‌های مختلف شامل استحکام کششی، جذب قطره‌ای، سنجش میزان اسید و قلیا، سنجش خواص ضد باکتریایی و قارچی، آنالیز و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف سنجی مادون قرمز انتقال فوریه، مورد ارزیابی واقع شدند. در نهایت این شیوه پوشش دهی روی نمونه کاغذهای مطالعاتی تاریخی شامل نسخ خطی، چاپی و کارت پستال نیز اجرا شد که دستاوردهای قابل قبولی را نشان می‌دهد

واژگان کلیدی: حفاظت آثار کاغذی، نانوکامپوزیت اکسید روی، ضدباکتری، ضد رطوبت.

ZnONano-composite coating on the surfaces of historic and artistic works on paper

Imani S. Afsharpoor , M

Abstract

In this study, with the help of nanotechnology, Nano coating on the surface of an historical and artistic paper work to take advantage of features unique protective and stable ZnONano composites have been reported. For the initial study , test subjects were prepared from filter paper as the substrate and coating, optical and thermal accelerated aging conditions - including wet tensile tests were then carried out, drop uptake, measured by the amount of acid and alkali, antibacterial and antifungal properties, measurement , analysis, and scanning electron microscopy and transmission infrared spectroscopy and Fourier were evaluated. Finally, the method of coating paper studies on samples of historical manuscripts, prints and greeting cards were also acceptable results show that.

Key words: conservation of paper, ZnONano composites, antibacterial, anti moisture

۱.مقدمه

زوال کاغذ در کتاب‌ها و مواد آرشیوی به‌جهت تخریب بستر سلولزی آن‌هاست. تخریب بیولوژیکی، تخریب نوری، تخریب به‌وسیله آلاینده‌های هوا و اسیدی شدن و اکسیداسیون از جمله علل دگرگونی و تغییرات اساسی در ساختار سلولزی هستند. چندین میلیون کتاب و سند در جهان بر اثر این تخریب ها از بین می‌روند [Kiuberis, et al, 2005]. آگاهی از تولید محصولاتی با ویژگی‌های محافظتی چون خود تمیزشوندگی، ضدبو، ضدسایش، ضدباکتری و محافظ در برابر نور ماوراء بنفش توسط فناوری نانو که موجب کاهش زوال تولیدات و افزایش طول عمر آن‌ها می‌گردد، باعث شروع تلاشی علمی گردید تا امکان ایجاد تمام و یا برخی از این ویژگی‌های منحصر به فرد در آثار کاغذی تاریخی و هنری بررسی شود. بنابراین، باید اطلاعات کاملی از کاربرد نانوذرات در مواد سلولزی جمع‌آوری و یک ارتباط منطقی بین فناوری نانو و هنر حفاظت آثار تاریخی با در نظر گرفتن شرایط حساس و آسیب‌پذیری سریع آثار کاغذی و نیز مبانی حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی ایجاد کرد.

با مطالعات اولیه بر ویژگی‌های کاربرد نانو ذرات در صنایع مختلفی چون نساجی مدرن، نانوکامپوزیت ها و مواد هوشمند، نانوساختارهای اکسید روی به‌عنوان ماده مورد نظر جهت مطالعه و بررسی انتخاب و تلاش بر گردید پوشش مناسبی از این نانو ماده بر سطح آثار کاغذی تهیه شود به گونه‌ای که به خود اثر آسیبی وارد نیاید و از ویژگی‌های منحصر به فرد آن بهره‌گیری شود. از میان تمام کاربردهای این ماده و ویژگی‌های عالی آن، چند ویژگی جهت حفاظت آثار کاغذی تاریخی، فرهنگی و هنری بارز می‌نمود. محافظت در برابر پرتو های UV، ضدباکتری و ضدقارچ بودن و حتی ضدحشره بودن، تجزیه آلاینده‌های هوا و آبگریزی که این ویژگی‌ها کمک زیادی به حفاظت آثار تاریخی و فرهنگی از جمله آثار کاغذی خواهد کرد.

الیاف پنبه اشباع شده با نانوذرات اکسید روی، فعالیت آنتی باکتریال عالی را در مقابل دو باکتری نماینده، استافیلوکوکوس آرئوس (Staphylococcus aureus– گرم مثبت) و کلبسیلا پنیومونیا(Klebsiella Pneumonia– گرم منفی) از خود نشان دادند (Yadav, et al,2006). تشابه ساختاری پنبه و کاغذ که هر دو از سلولز می‌باشند، ما را به بهره‌مندی از این ویژگی در حفاظت آثار کاغذی امیدوار می‌کند. نانوذرات اکسید روی نسبت به شکل‌های دیگر روی ارجحیت دارد چون سمیت آن کم است یعنی برای انسان و محیط زیست خطری ایجاد نمی‌کند و ماندگاری آن بیشتر و بازده‌اش در گندزدایی (ضدعفونی) بالاست. فعالیت آنتی باکتریالی نانوذرات اکسید روی در ناحیه خنثی ($pH = ۷$) و بدون حضور نور می‌باشد (Vignesh, et al, 2006) و pH مناسب برای رشد باکتری‌ها هم در محدوده ۲/۷ تا ۶/۷ یعنی pH نزدیک به خنثی است(تاج‌بخش، ۱۳۶۸، ص ۵۰۳). لازم به ذکر است که نانوذرات اکسید روی در کنار دارا بودن ویژگی‌های اشاره شده، پایداری‌های دیگری چون مقاوت دمایی، پایداری مقابل نور آفتاب (Anzlovar, et al, 2008) و انعکاس طیف IR (Li.Yi, et al, 2007) و ویژگی ضدحشره‌ای (Green, et al, 2007) نیز دارد. مجموعه ویژگی‌های اشاره شده به‌اضافه سفیدی و هزینه اجرای کمتر نسبت به نانوذرات نقره و نانوذرات تیتانیم، می تواند آن را به‌عنوان یک ماده مناسب و قابل اطمینان برای مصارف حفاظتی در آثار کاغذی تاریخی و هنری معرفی نمود.

۲. مواد و روش‌ها

نانوذرات اکسید روی یک نیمه‌هادی n-Type با یک باند گپ گسترده (۳۷/۳ eV) است. یعنی دارای تنوعی از شکل ذرات، از کرات و بیضی ها تا شش‌وجهیها و ذرات ستاره‌مانند با توزیع اندازه ذرات باریک و بلند است. به‌طور نمونه از۲۰ نانومتر تا یک میکرومتر و فضای سطحی ویژه در محدوده‌ای از ۵ تا ۶ مترمربع بر گرم. ویژگی‌های ذاتی

یک نانوذره عمدتا به‌وسیله اندازه، شکل، ترکیب، شکل بلوری و مورفولوژی مشخص می‌شود (Ghule, etal, 2006).از پودر نانوذرات اکسید روی، تولید شرکت مرک استفاده گردید.

۲-۱.آماده‌سازی ترکیب پوشش‌دهنده

با توجه به این‌که نانوذرات اکسید روی در آب و حلال‌های آلی حل نمی‌شود، آن‌را به‌صورت ترکیب دیسپرسیونی تهیه کرده و به‌کار برده شد. این ترکیب از پراکنش نانوذرات اکسید روی جامد در یک مایع بی‌اثر مثل الکل اتیلیک حاصل می شود. عمل پراکنش به کمک دستگاه التراسونیکو در دمای محیط انجام می‌یابد.

۲-۲.آماده‌سازی و معرفی آزمونه‌ها

با احتمال این‌که ماده و روش پیشروی، آثار کاغذی تاریخی را دچار آسیبی جبران ناپذیر کند، بنابراین از کاغذ فیلتر (واتمن) به‌دلیل این‌که جنس آن از سلولز خالص است، به‌عنوان آزمونه های مطالعاتی استفاده گردید. این آزمونه ها شامل قطعاتی در ابعاد ۳۰×۱۵ سانتی‌متر است که آزمونه با کد A به‌عنوان آزمونه شاهد و آزمونه با کد E به‌عنوان آزمونه پوشش داده شده با نانوکامپوزیت اکسید روی و آزمونه با کد X به‌عنوان آزمونه رنگ شده با روناس و سپس پوشش داده شده با نانوکامپوزیت اکسید روی می باشند. علت استفاده از روناس بدلیل حساسست شدید آن در برابر طیف‌های نور و آزمایش توان حفاظتی پوشش نانوکامپوزیت اکسید روی در مقابل پرتو ماوراء بنفش است. در نهایت از چند نمونه آثار تاریخی شامل نسخه خطی و چاپی که صرفا جنبه مطالعاتی دارند جهت ایجاد پوشش استفاده گردید.

۲-۳.پوشش‌دهی به روش نانوکامپوزیت

خاصیت فوتوکاتالیستی نانوذرات اکسید روی باعث تجزیه آلاینده های هوا و ترکیبات آلی می‌شود. اما تماس مستقیم نانوذرات اکسید روی با کاغذ، در طول زمان باعث تجزیه سلولز و یا رنگهایی با ترکیبات آلی که در برخی آثار کاغذی وجود دارد، می گردد. بنابراین،استفاده از یک لایه واسطه که علاوه بر جلوگیری از تماس مستقیم، ویژگیهای ظاهری و زیبایی‌شناختی آثار را بر هم نزند امری ضروری است. محلول کلوسل جی که یک پلیمر سلولزی است، می تواند این کیفیت را ایجاد نماید. بعد از پاکسازی سطحی آزمونه‌ها، محلول کلوسل جی را با استفاده از قلم‌موی نرم بر سطح آن‌ها پوشش می‌دهیم. بعد از خشک شدن در دمای اتاق، دیسپرسیون آماده شده را بر سطح آزمونه ها اسپری و دوباره در دمای اتاق خشک می‌کنیم.

۲-٤.پیر سازی تسریعی

جهت بررسی اثر گذر زمان بر آزمونه ها و پایداری یا عدم پایداری پوشش نانوکامپوزیت اکسید روی ، آزمونه‌ها به روش پیر سازی تسریعی حرارتی–رطوبتی به صورت مصنوعی کهنه شدند.و سپس با نمونه‌های پیرسازی نشده، مورد مقایسه قرار گرفتند.پیر سازی تسریعی حرتی–رطوبتی طبق استاندارد (ISIRI 4706) روش تسریع در کهنه شدن کاغذ و مقوا در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۶۵٪ در مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران انجام پذیرفت.

۲-۵.انواع آنالیزهای انجام شده

آنالیز و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM/EDX) جهت مشاهده، بررسی و شناسایی مورفولوژی سطحی آزمونه ها، چگونگی ته‌نشست و شکل پوشش نانوکامپوزیت اکسید روی ایجاد شده در سطح سلولزی آن‌ها، اثبات حضور ماده اکسید روی و نانوابعاد بودن آن در ترکیب پوشش‌دهی در قبل و بعد از پیرسازی تسریعی حرارتی – رطوبتی با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل PHILIPS XL30 انجام شد. این بررسی‌ها در بخش SEM دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام گرفت.آزمون مقاومت کششی با استفاده از دستگاه آزمون مقاومت کششی

مدل Ablorentzen Wetter جهت بررسی تغییرات مقاوت کششی الیاف سلولزی در قبل و بعد از روش‌های مختلف پوشش‌دهی با نانوذرات اکسید روی و همچنین قبل و بعد از پیرسازی تسریعی آزمونه‌ها انجام یافت تا تأثیر پوشش‌دهی نانوکامپوزیت اکسید روی بر مقاومت کششی الیاف سلولزی آزمونه‌ها بررسی گردد.این آزمون طبق استاندارد شماره (ISIRI 8273-2) اندازه گیری ویژگی کششی کاغذ و مقوا، انجام گرفت. با توجه به ویژگی ضد آب بودن نانوکامپوزیت اکسید روی، تغییرات واکنش تمام آزمونه‌ها در برابر قطره آب مقطر، قبل و بعد از پوشش‌دهی با نانوکامپوزیت اکسید روی مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی پایداری یا عدم پایداری این خاصیت بعد از پیر سازی تسریعی آزمونه ها در شرایط حرارتی- رطوبتی نیز آزمون جذب قطره‌ای انجام شد. البته تأثیرات آسیب پذیری کاغذ در شرایط رطوبت محیطی نسبت به قرار گرفتن آن در مقابل قطره آب، به مراتب کمتر و متفاوت می‌باشد. آزمون بررسی خواص ضد باکتریایی و ضد قارچی آزمونه‌هابا روش استاندارد(ISIRI 11070) بررسی خواص ضدباکتری منسوجات، البته با کمی تغییر با استفاده از چهار میکروارگانیزم معروف انجام گرفت. این میکروارگانیسم‌ها شامل باکتری گرم منفی اسچریچیا کلی به شماره ATCC1330، باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس به شماره ATCC6580، مخمر کاندیدا آلبیکنس به شماره MYA-2876ATCC، قارچ آسپرژیلوس نایجر به شماره 16404 ATCCهستند. با آگاهی از آسیب‌پذیری شدید آثار کاغذی در برابر اسیدها و به اصطلاح اسیدی شدن کاغذ و تخریب اسیدی آن، امکان تاثیر دیسپرسیون مصرفی در اسیدی شدن آزمونه‌ها بوسیله انجام آزمون سنجش میزان اسید و قلیای آزمونه ها (pH) بررسی شد. سنجش میزان اسیدی و قلیایی آزمونه‌ها همواره قبل و بعد از پوشش‌دهی آن‌ها با نانوکامپوزیت اکسید روی با استفاده ازدستگاه pH متر دیجیتالی HANNA 12VDC انجام می‌گرفت تا تأثیرات اسیدی و قلیایی مواد استفاده شده جهت ایجاد پوشش محافظتی بررسی شده و این مواد عامل آسیب برای آثار کاغذی تاریخی نگردد.

٦-٢.نتایج و بحث

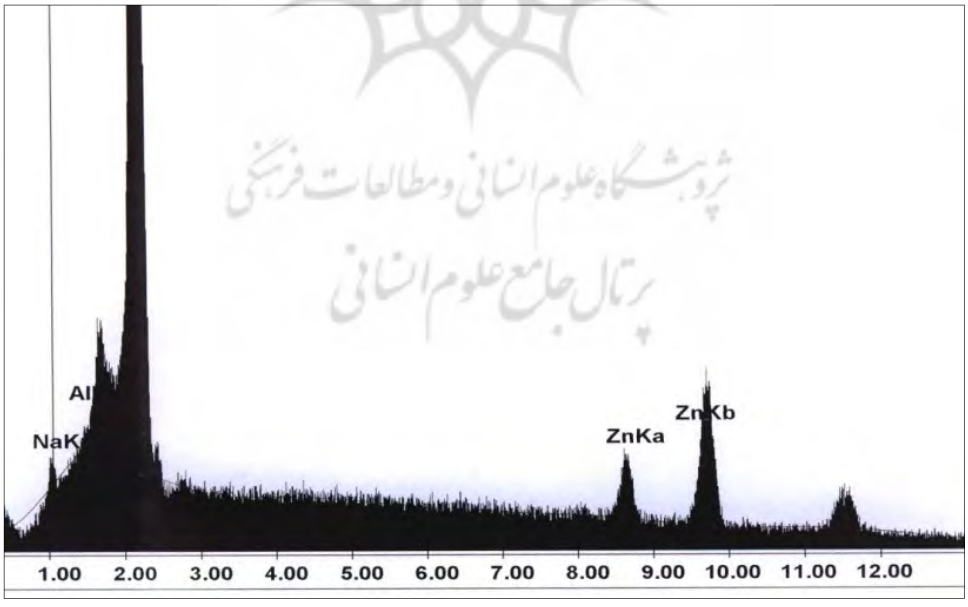
مشاهدات اولیه از ظاهر آزمونه A (شاهد) قبل از پیرسازی تسریعی ، نشانگر یک سطح سفید با بافت‌های ریز است. در آزمون جذب قطره‌ای مشخص شد که زمان جذب کامل قطره این آزمونه برابر ۸/۱۵ ثانیه می‌باشد و بعد از قرار گرفتن در شرایط پیرسازی تسریعی حرارتی–رطوبتی تغییرات قابل ذکری اتفاق نمی‌افتد. چون اندازه و پراکندگی فضاهای میان‌تهی الیاف سلولزی یکسان نیست، نتایج به دست آمده نیز اندکی متفاوت می‌باشد ولی به طور کلی در یک محدوده است. زمان جذب قطره‌ای در آزمونه‌های E و X به‌دلیل حضور لایه واسطه کلوسل جی که یک پلیمر سلولزی است، نسبت به آزمونه A بیشتر می‌باشد. سنجش میزان اسید و قلیای آزمونه A در دمای ۲۲ درجه سلسیوس، با توجه به pH آب مقطر، نشانگر خنثی بودن آن است (pH=۲۴/۶). میزان pH آن بعد از پیرسازی تسریعی عدد ۲۸/۶ را نشان می‌دهد. استفاده از ترکیب کلوسل جی با میزان اسیدیته ۹۸/۵ و پس از آن دیسپرسیون نانو با میزان اسیدیته ۴۵/۶ سبب اسیدی شدن آزمونه های E و X حتی بعد از گذاشتن در شرایط پیرسازی تسریعی حرارتی – رطوبتی نگشته است.

جدول ۱ - سنجش میزان مقاومت کششی انواع آزمونه‌ها

مقاومت کششی(N/۱۵mm)						
زمان کهنه‌سازی(ساعت)	0		48		144	
جهت کاغذ / نمونه ها	جهت الیاف	جهت عرضی الیاف	جهت الیاف	جهت عرضی الیاف	جهت الیاف	جهت عرضی الیاف
A	43	20	44	19	34	22
E	43	18	39	20	42	19
X	31	18	39	19	40	20

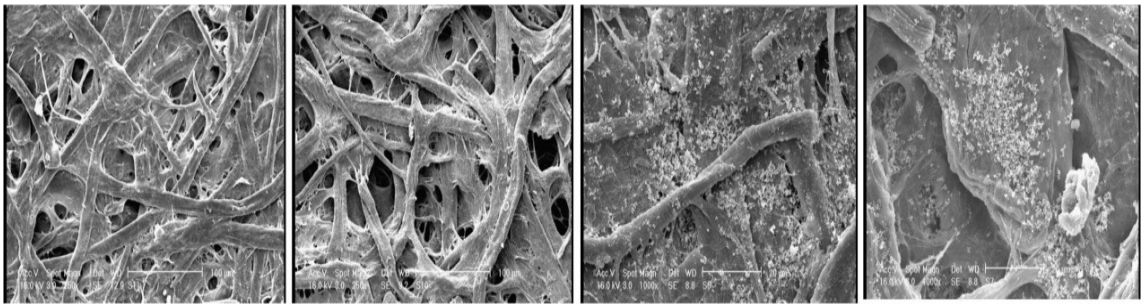
نتایج آزمون مقاومت کششی آزمونه شاهد نشان می‌دهد که میزان مقاومت کششی در جهت طولی الیاف برابر با ۴۳نیوتن بر ۱۵ میلی متر و در جهت عرضی الیاف ۲۰ نیوتن بر ۱۵ میلی‌متر می باشد (جدول ۱). در طول پیرسازی تسریعی در شرایط دمایی– رطوبتی، مقدار کمی از مقاومت کششی آن، در جهت عمود بر طول الیاف کاسته می‌شود. البته یکسان نبودن طول و نوع در هم تنیده شدن الیاف سلولزی کاغذ و نیز شرایط پیر سازی(دما، رطوبت و زمان)در نتایج این آزمون موثر است. با بررسی نتایج آزمون مقاومت کششی، به این نتیجه می رسیم که مقدار کمی بر استحکام کششی آزمونه E، هم از جهت طولی الیاف و هم جهت مخالف آن افزوده شده‌است ولی در آزمونه X ، شاهد کاهش مقاومت کششی هستیم که می توان علت را عملیات رنگ‌آمیزی آن و قرار گرفتن در محلول رنگی با دمای بالا دانست.

مشاهده و بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی آزمونه A حاکی از آن است که سطح کاغذ از الیاف سلولزی در هم تنیده شده نا منظمی تشکیل یافته است و پر از فضاهای میان‌تهی با اندازه های متفاوت می‌باشد (شکل۱– الف). بعد از پیرسازی تسریعی در شرایط دما و رطوبت، تغییری در شکل یا طول الیاف و شکست در آن‌ها دیده نشد اما در سطح بدنه الیاف حالت جمع شدگی پدیدار بود (شکل۱– ب). تصاویر SEM از آزمونه E و Xنشانگر این است که نانوذرات در این روش به صورت یکنواخت بر سطح الیاف سلولزی نشسته اند و درون حفرات هم دیده می شوند(شکل۱– ج). حضور نانوکامپوزیت باعث تغییر در شکل الیاف نشده است. بعد از آن‌که در شرایط دما و رطوبت،پیرسازی تسریعی شدند، در اندازها و شکل نانوذرات تغییری رخ نمی‌دهد و پراکندگی آنها همانند قبل از پیرسازی تسریعی است. در این روش پوشش‌دهی، نانوذرات، ابعاد نانویی خود را با و جود قرار گرفتن در شرایط پیرسازی تسریعی باز هم حفظ می‌کنند . می توان علت آن را چسبندگی کلوسل و پیوند ایجاد شده نانوذرات اکسید روی با کلوسل جی دانست(شکل ۱– د).آنالیز EDX گرفته شده از آزمونه E، حضور یون روی در نانوذرات مورد استفاده جهت پوشش‌دهی را اثبات می‌کند (نمودار ۱).



نمودار ۱ – آنالیز EDX گرفته شده از آزمونه E

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



(الف) (ب) (ج) (د)

شکل (۱) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از آزمونهA، قبل از پیر سازی (الف)، بعد از پیر سازی (ب) در بزرگنمایی ۲۵۰x و آزمونه E قبل از پیرسازی(ج) بعد از پیرسازی (د) با بزرگنمایی ۱۰۰۰X

جدول ۲ – درصد کاهش تعداد میکرو ارگانیزم ها در آزمونه های پوشش داده شده با نانو ذرات اکسید روی

نمونه ها	باکتری ها		قارچ ها	
	St.au	E.coli	Asp.niger	Candida.albican
A	افزایش۳۲۱ برابر	افزایش۹۱۴ برابر	افزایش۳۲/۱۱ برابر	افزایش۳/۳ برابر
E	۱۰۰ کاهش	۱۰۰ کاهش	۵/۳۷کاهش	۶۶/۹۶ کاهش
X	۱۰۰ کاهش	۱۰۰ کاهش	۷۱/۹۵ کاهش	-

نتایج حاصل از آزمون بررسی خواص ضدباکتری و قارچ در آزمونه شاهد، نشان از افزایش تقریبی ۳۲۱ برابری در باکتری استافیلوکوکوس آرئوس و تقریبا ۹۱۴ برابری اسچریچیا کولی پس از گذشت ۲۴ ساعت از تلقیح روی آزمونه را دارد (جدول ۲). این در حالی است که آزمونه شاهد در برابر مخمر کاندیدا آلبیکنس افزایش ۳/۳ برابر نشان می‌دهد و در برابر آسپرژیلوس نایجر افزایش ۳۲/۱۱ درصدی دارد. آزمون بررسی خواص ضد باکتری و قارچ بر روی آزمونه‌های پوشش داده شده با نانوکامپوزیت اکسید روی حاکی از تأثیرات عالی این پوشش بر کاهش رشد میکروارگانیزم ها دارد. نتایج این آزمون، کاهش ۱۰۰ درصدی رشد هر دو نوع باکتری تلقیح شده و نیز کاهش ۵/۳۷ درصدی قارچ آسپرژیلوس نایجر و ۶۶/۹۶ درصدی مخمر کاندیدا آلبیکنس را نشان می‌دهد(جدول۲).

در نهایت تعدادی از نمونه آثار کاغذی تاریخی شامل نسخه خطی، نسخه چاپی و کارت پستال که صرفا جنبه مطالعاتی داشتند، جهت ایجاد پوشش نانوکامپوزیت اکسید روی انتخاب شدند. مشاهدات نشان می‌دهد که استفاده از غلظت‌های بالای کلوسل جی برای ایجاد لایه واسطه سبب زردشدگی نمونه‌های تاریخی می‌شود. توصیه می‌شود از حداقل غلظت کلوسل جی استفاده شود. استفاده از قلم‌مو نیز در پوشش‌دهی کلوسل جی می‌تواند باعث جابجایی و بر هم خوردن جوهر ها و رنگ‌های ضعیف شود.

بنابراین روش پوشش‌دهی کلوسل جی نیز بر سطوح آثار کاغذی تاریخی بهتر است با استفاده از روش اسپری نمودن یا غوطه وری در کمترین زمان همراه باشد. نکته جالب توجه این است کهبعد از اتمام پوشش‌دهی تا حدودی از میزان برخی لکه ها کاسته شد و حتی محو شدن لکه ها را هم شاهد بودیم. می توان علت این امر را هم به کلوسل

جی و هم به نانوذرات اکسید روی نسبت داد. این پوشش، اثر منفی بر خطوط رنگی غیرآلی، حاشیه و جوهر نمونه ها نمی‌گذارد و باعث بروز سفیدک یا شوره در سطح کاغذ نمی‌شود.

نتایج آزمون سنجش میزان اسیدیته بر نمونه‌های مطالعاتی تاریخی، نشانگر آن است که میزان pH مواد اولیه برای کاربرد روی آثار تاریخی اصلی و ایجاد پوشش نانوذرات اکسید روی بر سطح آنها تاثیری در اسیدی شدنشان نداشته است. وقتی آزمون جذب قطره ای روی نمونه‌های مطالعاتی تاریخی پوشش داده شده به روش نانوکامپوزیتانجام شد، مشاهده گردید که قطره آب مقطر تا حدود ۲۰ دقیقه کمترین نفوذی در کاغذ نمی‌کند(جدول ۳).

نتایج این آزمون، بیانگر این است که پوشش نانوذرات اکسید روی باعث ایجاد خاصیت آبگریزی در کاغذ شده و نقش محافظتی خوبی در برابر رطوبت محیط ایفا می‌کند. آبگریز شدن کاغذ به مصون شدن آن در مقابل آسیب‌های دیگر مثل آلودگی ها، گرد و غبار و آلاینده های هوا کمک فراوانی می‌نماید.

جدول ۳ - نتایج آزمون جذب قطره‌ای آزمونه‌ها (برحسب : دهم ثانیه / ثانیه/ دقیقه و زمان کهنه سازی بر حسب ساعت)

زمان کهنه‌سازی / نمونه‌ها	۰	٤٨	١٤٤
A	۰۰/۱۵/۸	۰۰/۱٤/٦	۰۰/۱٦/٦
E	۰۰/۳۵/۰	۰۰/۳۵/۱	۰۰/۳٦/۱
X	۰۰/۲۵/۳	۰۰/۳۳/۷	۰۰/۵٤/۲
نسخه خطی(ابتدا کلوسل بعد اسپری دیسپرسیون)	بیش از ۳۰ دقیقه	–	–
نسخه خطی(اسپری مستقیم دیسپرسیون)	۱۳/٤۱/۱	–	–
نسخه خطی (شاهد)	۱۰/۲۸/۰	–	–
نسخه چاپی(ابتدا کلوسل بعد اسپری دیسپرسیون)	۲۱/۲۱/٦	–	–
نسخه چاپی(اسپری مستقیم دیسپرسیون)	۲/۲۷/۷	–	–
نسخه چاپی	۲/۰۰/۰	–	–

۳. نتیجه‌گیری

آزمون‌ها و بررسی‌ها به ما کمک نمود تا بتوانیم نانوذرات اکسید روی را به عنوان یک ماده مؤثر چندکاربردی با ویژگی‌های پایدار در حفاظت از اسناد، کتب و آثار کاغذی تاریخی و فرهنگی معرفی نماییم. این ماده به‌راحتی در دسترس است و از نظر قیمت نسبت به رقبایش، نانوذرات نقره و دی اکسید تیتانیم بسیار ارزان‌تر می‌باشد. از نظر زیبایی‌شناختی، اثر منفی بر کیفیت و کمیت آثار تاریخی نمی‌گذارد. استفاده از آن برای انسان خطری به‌همراه ندارد و به محیط زیست هم آسیبی نمی‌رساند و درصورت کاربرد گسترده آن، استفاده از مواد سمی و خطرناک رایج به مرور کمتر خواهد شد. روش تهیه دیسپرسیون نانوذرات اکسید روی، یک روش ساده و آسان است که به دستگاه‌های فوق العاده گران نیاز ندارد.

کلوسل جی به‌عنوان یک پلیمر سلولزی که همسو با الیاف سلولزی کاغذ است، علاوه بر اینکه نقش واسطه را در پوشش‌دهی الیاف بر عهده دارد و از تماس مستقیم نانوذرات اکسید روی با الیاف کاغذ جلوگیری می‌کند، می‌تواند نقش استحکام‌بخشی را نیز ایفا نماید. البته باید گفت که این استحکام‌بخشی مربوط به ابعاد آثار کاغذی و اتصال میان الیاف و ممانعت از فروپاشی آن‌هاست، البته در افزایش مقاومت کششی اثر کمتری دارد. لازم است که از کلوسل جی در غلظت‌های کمتر استفاده شود چون غلظت بالای این ماده، زردشدگی و سنگین شدن وزن آثار کاغذی را به همراه دارد. در پوشش‌دهی کلوسل جی بر سطح نسخه‌های خطی و یا رنگی پایه آلی نباید از قلم‌مو استفاده نمود زیرا حضور الکل

اتیلیک و حرکت قلم‌مو بر سطح نوشته‌ها و رنگها باعث آسیب فیزیکی می‌گردد. با توجه به این‌که حامل دیسپرسیون الکل اتیلیک می‌باشد و ممکن است به‌عنوان حلال رنگ‌ها و جوهرهای نمونه‌های تاریخی عمل کند، لازم است آزمون حساسیت به حلال، بر آنها انجام پذیرد و بعد از آن حامل را انتخاب نمود. انواع الکل مانند اتیلیک، متیلیک، پروپیلیک و بوتیلیک می‌توانند به عنوان حامل در دیسپرسیون‌ها مصرف شوند. آزمون جذب قطره‌ای نیز مشخص نمود که این نوع پوشش در محافظت کاغذ در برابر رطوبت محیط و نیز آلاینده‌های هوا، آلودگی‌ها و گرد و غبار بسیار مؤثر و مفید است. مقدار غلظت نانوذرات در آزمونه کلوسل‌دار نسبت به نمونه‌های دیگر، بیشتر است و این عامل باعث می شود ویژگی‌های ضدباکتری، ضدقارچی، ضدحشره‌ای، انسداد نور UV و محافظت رطوبتی بهتر بروز نماید. نتایج آزمون کششی نیز حاکی از آن است که تمام آزمونه‌ها در طول پیر سازی تسریعی حرارتی – رطوبتی مقداری از استحکام کششی خود را از دست می‌دهند. نانوماده اکسید روی و روش‌های پوشش‌دهی الیاف کاغذ به غیر از روش پوشش‌دهی نانوکامپوزیتی، تاثیر منفی در استحکام کششی الیاف کاغذ دارد. pH متری نشان داد که دیسپرسیون نانوذرات اکسید روی در حامل اتانول دارای میزان pHمناسبی برای کاربری در حفاظت آثار هنری کاغذی است و نیز بعد از پوشش آن بر سطح الیاف کاغذ، نشانه‌هایی از اثرات اسیدی شدن به‌خصوص بعد از قرار گرفتن در شرایط پیرسازی تسریعی مشاهده نشد.

خواص ضدباکتری و ضدقارچی نانوذرات اکسید روی هم توسط روش آزمون استاندارد شماره ISIRI۱۱۰۷۰ اثبات گردید و نشان داده شد که در مقابل دو نماینده باکتری‌ها (استافیلوکوکوس آرئوس نماینده گرم مثبت و اسچریچیا کولی نماینده گرم منفی) که از باکتری‌های معروف و شایع در جهان هستند و دو نماینده قارچها (آسپرژیلوس نایجر و کاندیدا آلبیکان) که در بیشتر محیط های مناسب رشد حاضر هستند، جهت رسیدن به نتیجه‌ای عالی در زمینه حفاظت آثار کاغذی تاریخی و فرهنگی در مقابل عوامل آسیب‌رسان مثل میکروارگانیسم‌ها، حشرات، آلاینده‌ها، پرتوهای مضر و ... فقط استفاده از پوشش نانوذرات اکسید رویکافی نیست. کنترل شرایط محیطی و مراقبت‌های مداوم، امری است که همواره باید در اولویت قرار گیرد.

٤. منابع

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۷۷) روش تسریع در کهنه شدن کاغذ و مقوا در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۶۵ درصد. چاپ اول، شماره استاندارد ایران ۴۷۰۶.

Anzlovar, Alojz. Crnjakorel, Zorica. ZigonMajda (2008). Nanocomposits with nano – to – sub – micrometer size Zinc Oxide as an effective UV absorber. KATEGORIZIRANI RADOVI, 29 (2), 84-87.

Bahadur, Harish. Garg, S, C. Samanta, S,B. Sharma, R, K. Srivastava, A,K. Sood, K, N. Kishore, R. Basu, A. Rashmi. Kar, M. Pal, Perm. Bhatt, Vivekanand. Chancha, Sudhir (200). Characterization of ZnO thin films. rp.iszf.irk.ru/hawk/URSI2005/pdf/A10.7 (0306).pdf (accessed 2008/6/10)

Green, Frederick. Ann, Arango (2007). Wood protection by commercial Silver formulations against Eastern Subterranean Termites. Paper prepared for the 38th Annual Meeting Jackson Lake Lodge, Wyoming, USA, 20-24 May.

Gule, Kalyani. VithalGule, Anil. Chen, Bao-Jung. Chien Ling, Yong (2006). Preparation and characterization of ZnO nanoparticles coated paper and its antibacterial activity study. Green Chem, 8, 1034-1041.

Kiuberis, Jonas. Tautkus, Stasys. Kazlauskas, Rolandas. Pakutinskiene, Irma. Kareiva, Aivaras (2005). Protective coating for paper: new development and analytical characterizatio, Journal of Cultural Heritage, 6 (3), 245-251