Archive of SID

مطالعه فعالیت ضد باکتریایی و دیگر خواص کاغذ پوشش داده‌شده با نانوذرات سلنیوم

ملیحه اختری[1*]
محمدرضا دهقانی فیروزآبادی[2]

[1] دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، بجنورد، ایران

[2] دانشیار گروه مهندسی کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:
makhtari@bojnourdiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۲

چکیده

امروزه محققین در تمامی زمینه‌ها به دنبال تولید محصولات جدید با استفاده از فن‌آوری‌های نوین ازجمله نانو فن‌آوری هستند. هدف از انجام این تحقیق بررسی عملکرد نانوذرات سلنیوم در فرمولاسیون پوشش دهی کاغذ به‌منظور بهبود خواص ضد باکتری، فیزیکی، ممانعتی و مکانیکی کاغذ می‌باشد. کاغذها با نانوذرات سلنیوم در غلظت‌های ppm ۲۰۰ و ۱۰۰ همراه با نشاسته کاتیونی پوشش داده شدند. سطح کاغذ با استفاده از ATR-FTIR و SEM موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که نانوذرات سلنیوم اثر مطلوبی در ممانعت از رشد هر دو نوع باکتری استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکلی داشته و در سطوح مصرف برابر، رشد باکتری استافیلوکوکوس اورئوس در مقایسه با باکتری اشرشیاکلی به مقدار بیشتری کاهش‌یافته است. به طوریکه میزان رشد باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس در نمونه‌های شاهد و کاغذهای پوشیده شده با نانو ذرات سلنیوم ۲۰۰ppm به ترتیب ۹۱/۹۳٪ و ۸٪ بود. در بررسی خصوصیات فیزیکی کاغذها، نتایج نشان دادند که ضخامت و دانسیته کاغذ و وزن پوشش‌ها در کاغذهای پوشش داده‌شده با نشاسته کاتیونی و نانوذراتنسبت به نمونه کاغذ بدون پوشش، افزایش‌یافته است. میزان جذب آب و سرعت عبور بخارآب در نمونه‌های پوشش داده‌شده با نانوسلنیوم کمتر از نمونه‌های پوشش داده‌شده با نشاسته بوده و پوشش‌دهنده‌ها تأثیر معنی‌داری بر میزان مقاومت به عبور هوا در کاغذ داشته‌اند. افزایش غلظت نانو ذرات نیز تأثیر معنی‌داری بر مقدار شاخص مقاومت به ترکیدگی و مقاومت به پارگی کاغذها نیز نداشته است.

واژگان کلیدی: کاغذ ضد باکتری، پوشش دهی، نانوذرات سلنیوم، نشاسته، خواص ممانعتی، خواص فیزیکی و مکانیکی.

مقدمه

کاغذ و محصولات کاغذی به‌عنوان یک محصول استراتژیک نقش مهمی در رفع نیازمندی‌های زندگی انسان دارد. ازآنجاکه کاغذ آلوده به باکتری منجر به گسترش بیماری می‌شود، توجه پژوهشگران در تحقیقات بر روی کاغذ ضد باکتری متمرکزشده است. در حال حاضر، مواد ضد باکتری مورداستفاده در تحقیقات شامل مواد آلی، معدنی و مواد طبیعی است [۱]. ازجمله این کاغذها می‌توان به کاغذهای پوشش مواد غذایی، کاغذ بهداشتی و حتی کاغذهای چاپ و تحریر و کاغذ اسکناس اشاره نمود [۲]. کاغذهای ضد باکتری می‌توانند با استفاده از افزودن یک ترکیب ضد باکتری در طول فرایند کاغذسازی و یا به‌صورت یک‌لایه پوششی در سطح کاغذ فرآوری شده به

www.SID.ir

Archive of SID

دست آیند. می‌توان با ایجاد خاصیت آنتی‌باکتریال با استفاده از موادی مانند نانو نقره، نانواکسید روی، نانوسلنیوم، نانوکیتوزان و... در بسته‌بندی مواد غذایی آن‌ها را در برابر بیشتر عوامل میکروبی حفاظت نمود [۳]. یک مشکل عمده برای موادZnO [۴]، نانوذرات نقره [۵] و دیگر مواد فلزی، سمیت آن‌ها برای سلول‌های سالم است که به علت تولید اسیدهای فعال واکنش‌پذیر می‌باشد. این مواد ممکن است درزمانی که برای محصولات کاغذی پوشیده شده برای بسته‌بندی مواد غذایی یا برنامه‌های کاربردی بالینی و بهداشتی مورداستفاده قرار گیرند، منجر به مشکلات شدید سلامتی شوند. در مقایسه با موادمذکور، سلنیم برای سلامتی مفیدتر و سمیت کمتری برای سلول‌های سالم دارد. درواقع،FDA[1] برای بزرگسالان مصرف ۵۳ تا ۶۰ میکروگرم سلنیوم را توصیه می‌کند که حاوی مقادیر معینی از سلنوپروتئین[2]با سلنوکورتیسین[3] در مرکز فعال آن‌ها هستند [۶]. سلنیوم یکی از عناصر ضروری برای سلامت انسان و نیز یکی از بیوکاتالیزورها و اجزای عملکردی آنزیم‌ها در جهت بهبود عملکرد سیستم ایمنی و اثرات ضد سرطانی دارد [۷]. بااین‌وجود مشکلاتی در مصارف دارویی و درمان با سلنیوم وجود دارد که کاربرد آن را محدود کرده است. به همین جهت تکنولوژی نانو به هدف حفظ ویژگی‌های این عنصر جهت مصارف غذایی و دارویی، استفاده از این عنصر را در ابعاد نانو پیشنهاد می‌کند [۸]. نانو ذرات سلنیوم به‌عنوان آنتی‌اکسیدانت سمیت بسیار کمتری در مقایسه با عنصر سلنیوم دارد [۹]. از بین باکتری‌ها نیز دو نوع باکتری اشرشیاکولی[4]به‌عنوان یک باکتری گرم منفی و استافیلوکوکوس اورئوس[5] به‌عنوان باکتری گرم مثبت جزء عوامل مهم بیماری‌زا هستند. استافیلوکوکوس‌ها در بیشتر محیط‌ها رشد می‌کنند و ازنظر متابولیکی فعال هستند. باکتری اشرشیاکولی پس از ورود به بدن وارد روده شده و شروع به تکثیر و آزاد کردن سم می‌کنند [۱۰]. Mayuree و همکاران در سال ۲۰۱۲ در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که حضور گروه‌های هیدروکسیل در مولکول‌های سلولز باعث اتصال ذرات نانو روی به آن‌ها با پیوند هیدروژنی می‌شود و درنتیجه کاغذهای حاصله خواص ضد باکتری در مقابل باکتری‌های استافیلوکوکوس و اشرشیاکولی را نشان دادند[۱۱]. نشاسته یکی از زیست پلیمرهایی است که به دلایلی مانند زیست‌تخریب‌پذیری بالا، فراوانی در طبیعت، قیمت ارزان و سهولت آماده‌سازی و به‌عنوان پوشش‌دهنده، موردتوجه بسیاری قرارگرفته است. به دلیل خاصیت آب‌دوستی، جرم مولکولی بالا و خاصیت کاتیونی روی سطح الیاف سلولزی با بار منفی باقی می‌ماند و با آن پیوند هیدروژنی برقرار می‌کند. ثابت‌شده است که نگهداری نشاسته توسط الیاف ارتباط نزدیکی با شمار کربوکسیل آن‌ها دارد. به دلیل طبیعت آنیونی هرچه میزان گروه‌های کربوکسیل درروی الیاف بیشتر باشد، نشاسته بیشتری جذب می‌شود[۱۲]. باوجوداین، پلیمر زیستی نشاسته دارای معایبی است که استفاده خالص از آن را در تولید فیلم و دیگر مواد بسته‌بندی محدود می‌سازد. این معایب عبارت از خاصیت آب‌دوستی شدید نشاسته و مقاومت ضعیف فیلم آن در برابر رطوبت، داشتن خواص مکانیکی به نسبت ضعیف به دلیل آب‌دوستی بالای نشاسته و تضعیف خواص مکانیکی فیلم در شرایطی مانند رطوبت نسبی بالا است [۱۳]. تقویت‌کننده‌های نانومتری به دلیل ابعاد بسیار کوچک و سطح بسیار بالا در مقایسه با تقویت‌کننده‌های معمولی در سطح بارگذاری کم‌تر، باعث بهبود خواص نشاسته می‌شوند[۱۴]. هدف از انجام این تحقیق بررسی عملکرد نانو ذرات سلنیوم در فرمولاسیون پوشش‌دهنده کاغذ به‌منظور بهبود خواص ضد باکتری، فیزیکی، ممانعتی و مکانیکی کاغذ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

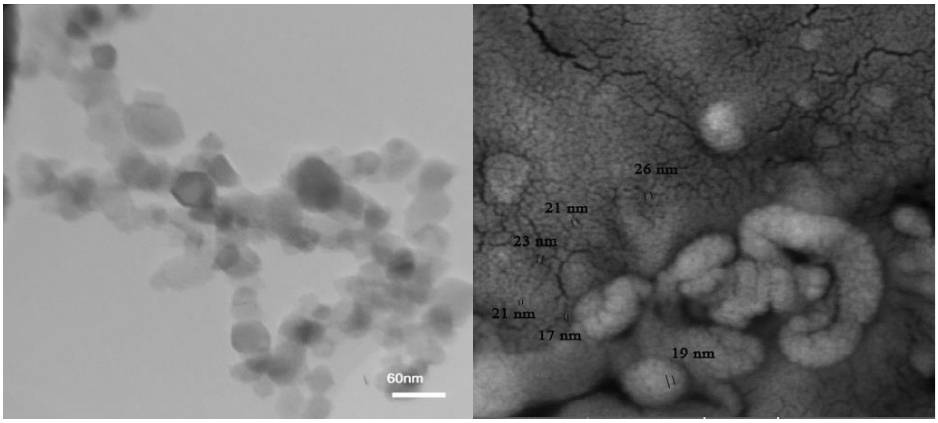
نانوسلنیوم مورداستفاده در این تحقیق به‌صورت محلول کلوئیدی با اندازه متوسط ذرات ۴۰ نانومتر، درجه خلوص ۹۹/۹۵٪ و چگالی ۳/۸۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب از شرکت ایران نانو تک» تهیه گردید شکل ۱ تصویر میکرو فوتوگرافی این ذرات را نشان می‌دهد. نشاسته کاتیونی از محصولات شرکت CoMerck Chemicals و کاغذ مورداستفاده در این تحقیق نیز بانام تجاری

[1]Food and Drug Administration (FDA)
[2]Selenoproteins
[3]Selenocrysteine
[4]*Escherichia coli*
[5]*Staphylococcus aureus*

www.SID.ir

Archive of SID

Copimax با گراماژ ۸۰g/m^2 و ضخامت متوسط ۱۱۲ میکرومتر تهیه گردید.



شکل ۱- ریزنگار SEM از نانوذرات سلنیوم (ساختارنیمه کروی)

آماده‌سازی پوشش‌دهنده‌ها

در این تحقیق از محلول کلوئیدی نانوسلنیوم به همراه محلول نشاسته کاتیونی بادرصدخشکی۵ درصد، برای پوشش‌دهی کاغذها استفاده شد.. محلول کلوئیدی نانوسلنیوم در دو سطح ppm ۱۰۰ و ۲۰۰ تهیه شدند. برای تهیه محلول نشاسته، با درصد خشکی ۵ درصد، ابتدا ۵ گرم نشاسته در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب حل و دردمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مـدت ۳۰ دقیقـه به‌طور غیرمستقیم در حمام آب پخته شد. محلول ژلاتینِ نشاسته پس از سرد شدن، آماده مصرف گردید. همچنین برای تهیه محلول ۱۰۰pm نانو سلنیوم، ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول نانوسلنیوم به ۹۰۰ میلی‌لیتر محلول ژلاتینه نشاسته و برای تهیه محلول ۲۰۰ppm، ۲۰۰ میلی‌لیتر نانوسلنیوم به ۸۰۰ میلی محلول ژلاتینه نشاسته اضافه گردید. برای همگن شدن محلول‌ها، به مدت ۳۰ دقیقه با همزن مغناطیسی آزمایشگاهی هم زده شدند.

فرآیند پوشش دهی کاغذها

پوشش دهی کاغذها با استفاده از دستگاه Auto Bar coater (GBC – A4 GIST Co. Ltd) صورت گرفت. بدین منظور بر روی هر نمونه کاغذ، مقدار ۱۰ سی‌سی از محلول پوشش دهی در مقابل میله دستگاه به‌طور یکسان ریخته شد. سپس با حرکت میله دستگاه با سرعت ۲۵ میلی‌متر بر ثانیه، محلول به‌طور یکنواخت بر روی کاغذ پخش شد. کاغذهای پوشش داده‌شده با محلول نشاسته و نانوسلنیوم و محلول نشاسته تنها در هوای آزاد خشک شدند. پس‌ازاین مرحله، نمونه‌ها برای انجام تست‌های پیش‌بینی‌شده در شرایط کلیما (دما ۲۷°C، رطوبت ۶۵٪ و مدت‌زمان ۲۴ ساعت) مطابق استاندارد ۱۸۷- ISO قرار گرفتند.

بررسی خواص ضد باکتریایی کاغذهای پوشش داده‌شده

آزمون ضد باکتری برای هردو نوع باکتری گرم منفی (اشرشیاکولی) و گرم مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس)، با سه تکرار برای کاغذهای پوشش داده‌شده و بدون پوشش به روش کدورت سنجی[1] انجام شد. محیط کشت مایع مورداستفاده در این آزمون از نوعBHIB[2] بود. سپس لوله-های حاوی محیط کشت با استفاده از اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار بخار ۱۵ پوند به مدت ۱۵ دقیقه استریل شدند. به میزان ۰/۰۵ گرم وزن خشک از هر نمونه (کاغذهای پوشش داده‌شده با نانوسلنیوم، نشاسته و کاغذ بدون پوشش) در فویل پیچیده شدند وجهت استریل شدن درآون تحت دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲۰ دقیقه قرار گرفتند. پس از انتقال نمونه‌های مختلف به داخل لوله‌های حاوی محیط کشت

[1]Turbidity method
[2] Brain Heart Infusion Broth (BHIB)

www.SID.ir

Archive of SID

استریل مقدار ۵۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری تهیه‌شده با استفاده از یک نمونه‌گیر به هر لوله اضافه و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از گذشت دوره نهفتگی، از چگالی نوری در طول‌موج ۶۰۰ نانومتر برای اندازه‌گیری غلظت باکتری‌ها استفاده شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های کاغذهای پوشش داده‌شده

گروه‌های شیمیایی سطح نمونه‌ها توسط طیف‌سنجی ATR-FTIR[1] (Golden Gate Model, Specac Company, UK) و مورفولوژی سطح نمونه‌ها توسط دستگاه SEM[2] (Vega3-Tescan, Tescan Company, Czech) مورد ارزیابی قرار گرفتند. ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ نیز مطابق با استانداردهای TAPPI اندازه‌گیری شدند. وزن پایه، ضخامت، نفوذپذیری هوا، جذب آب، میزان انتقال بخارآب (WVTR)، مقاومت در برابر ترکیدگی و مقاومت در برابر پارگی به ترتیب مطابق استانداردهای شماره T410om-02، T411om-05، T460om-02، T441-om-96، T448-om اندازه‌گیری شد. تعداد ۵ تکرار برای هر فاکتور درنظرگرفته شد. تجزیه‌وتحلیل آماری با استفاده از برنامه نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵، جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن و آنالیز واریانس بر روی‌داده‌ها استفاده شد تا اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪ حاصل شود.

نتایج و بحث

بررسی ساختار سطحی الیاف

در این مطالعه از تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی جهت مشاهده تغییرات مورفولوژیکی سطح الیاف پس از نشست نانوذرات سلنیوم و نشاسته در مرحله پوشش دهی به کار گرفته‌شده است. شکل ۲ تصاویر SEM نمونه‌های پوشش داده‌شده با نانو ذرات سلنیوم و نشاسته را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد نانو ذرات سلنیوم بر روی شبکه درهم بافته‌شده و متراکم الیاف سلولزی کاغذ توزیع‌شده‌اند همچنین برخی از نانوذرات سلنیوم علاوه بر سطح فوقانی در ساختار فیبر نیز مشاهده شدند. قطر بیشتر ذرات نانو سلنیوم حدود ۵۰ نانومتر بود. پس از نشست ذرات نانوسلنیوم و نشاسته بر روی سطح کاغذ بدون پوشش، منافذ ریز با آن‌ها پرشده و برخی از مواد ژلاتینی ظاهرشده، منجر به ایجاد پل بین الیاف سلولز مجاور شدند. متوسط قطر الیاف سلولز افزایش‌یافته و مواد ژلاتینی بیشتری ایجادشده است، ازاین‌رو باعث ایجاد پیوند بیشتر بین الیاف شده و ساختار سطحی فشرده‌تری را ایجاد می‌کنند [۱۶ و ۱۵].

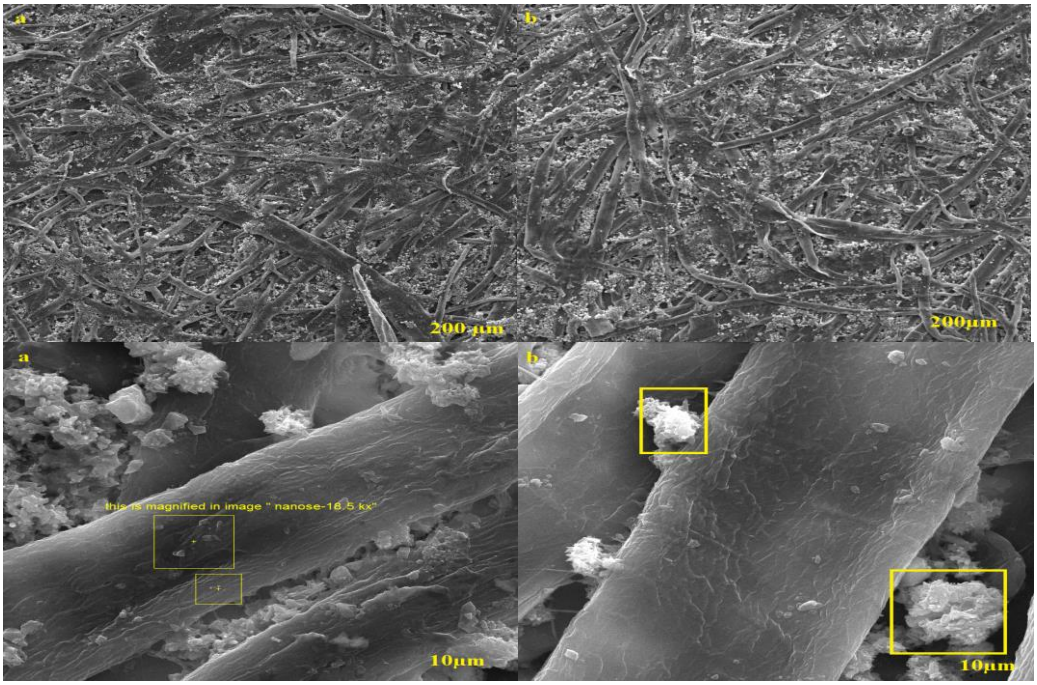
بررسی طیف‌سنجی ATR-FTIR

در این تحقیق جهت بررسی بیشتر پوشش نانوذرات سلنیوم بر روی سطح کاغذ، طیف‌سنجی ATR-FTIR نیز بکار گرفته شد. به‌طورکلی ترکیبات کاغذ بسیار پیچیده است، بااین‌حال ترکیب اصلی کاغذ شامل سلولز، $CaCO_3$، سیلیکات، ضخیم کننده‌ها و اتصال‌دهنده‌ها هستند [۱۷]. شکل ۳ طیف ATR-FTIR کاغذ بدون پوشش و پوشش داده‌شده با ذرات نشاسته و نانوسلنیوم را نشان می‌دهد.

[1] Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared spectroscopy
[2] Scanning Electron Microscopy

www.SID.ir

Archive of SID

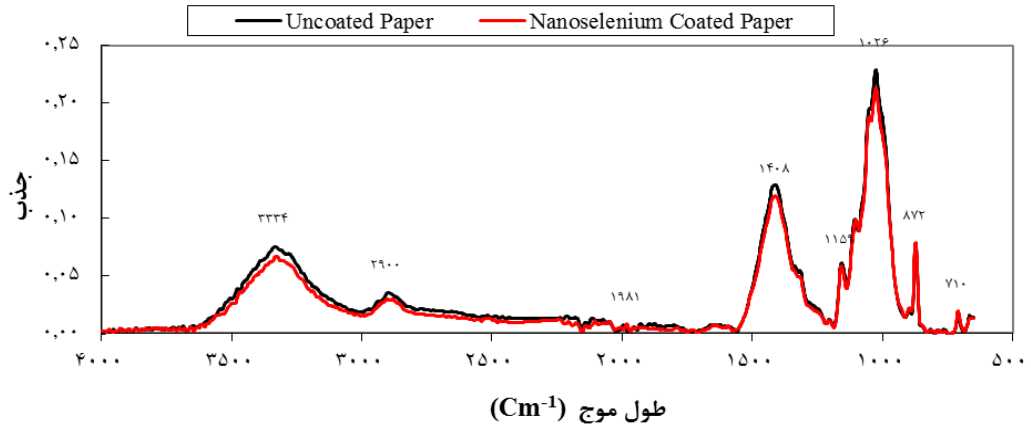


شکل ۲- ریزنگار SEM کاغذ پوشش داده‌شده با نانوذرات سلنیوم (a) و نشاسته (b)

طیف‌های ATR-FTIR نمونه‌های کاغذی، جذب الیاف را نشان دادند که ترکیب اصلی آن‌ها سلولز می‌باشد. نشاسته نیز دارای یک واحد قند مشابه با سلولز است و ساختار آن بسیار نزدیک به سلولز می‌باشد (شکل ۳). هر دو طیف ATR-FTIR نشان می‌دهد که پیک در محدوده cm^{-1}۳۴۰۰ تا ۳۲۰۰ به پیوندهای هیدروژنی بین‌مولکولی نسبت داده‌شده است. یک باند گسترده (cm^{-1} ۳۱۰۰- ۳۷۰۰) در محدوده cm^{-1} ۳۳۳۴ مرتبط با مشخصه گروه عاملی OH– (آزاد و H– پیوندی) متمرکز می‌باشد. کاهش شدت طیف جذب در cm^{-1} ۳۳۳۶ مرتبط با OH– آزاد، می‌تواند به علت جایگزین شدن و ترکیب گروه‌های عاملی هیدروکسیل سلولز با نشاسته و ذرات نانوسلنیوم باشد (شکل ۳). پیک جذب در cm^{-1} ۲۹۰۰ و در محدوده cm^{-1} ۱۳۰۰-۹۰۰، به ترتیب مرتبط با ارتعاشات کششی C-H و C-O سلولز می‌باشد. طیف در cm^{-1} ۱۶۴۰ به آب جذب‌شده در الیاف سلولز نسبت داده‌شده است [۱۸]. جذب در cm^{-1} ۱۷۳۵ مربوط به ساختار همی سلولز می‌باشد. کاهش شدت جذب گروه OH– در پیک‌های cm^{-1} ۱۴۱۵ و cm^{-1} ۱۴۰۷ مرتبط با کاهش در گروه‌های OH آزاد پس از پیوند با ذرات نشاسته و نانو سلنیوم (شکل ۳) می‌باشد. باند گسترده ضعیفی در طول‌موج cm^{-1} ۷۰۹ ممکن است مرتبط با فازهای Iα و Iβ سلولز باشد. طیف‌های cm^{-1} ۸۷۱، ۱۰۲۵، ۱۱۵۹ به سلولز (ترکیبات کاغذ) نیز منتسب می‌شوند [۱۷].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- مقایسه طیف ATR-FTIR کاغذهای بدون پوشش و پوشش داده‌شده با نانوذرات سلنیوم و نشاسته

خواص ضد باکتری کاغذهای پوشش داده‌شده

نانوذرات به دلیل داشتن نسبت سطح به حجم بالا، اثر مهارکنندگی بیشتری دارند [۱۹]. به‌علاوه سمیت پایین برای سلول‌های پستانداران و اختصاصیت بالا برای باکتری‌ها، از ویژگی‌های مهمی هستند که در انتخاب نانوذره مناسب می‌بایست به آن توجه شود. اختلاف بین بار منفی میکروارگانیسم و بار مثبت نانوذرات باعث اتصال نانوذره به سطح سلول، باهدف قرار گرفتن ساختارهای مختلف سلول باکتری و درنتیجه باعث مرگ سلول می‌شود [۲۰]. فعالیت ضد میکروبی ممکن است باعث تخریب غشاء یا توقف تقسیم سلولی یا تنش اکسیداسیونی که منجر به مرگ سلول می‌شود، شوند [۲۱]. باکتری E. coli گرم منفی و S.aureus باکتری‌های گرم مثبت هستند، دیواره سلولی بین هر دو نوع متفاوت است؛ باکتری‌های گرم منفی دارای یک‌لایه پپتیدوگلیکان[1] نازک با لایه ساختاری دیگری به نام غشای لیپو پلی ساکاریدی خارجی[2](LPS) هستند در حالیکه باکتری‌های گرم مثبت دارای لایه ضخیم پپیدیدوگلیکان و هیچ غشای لیپوپلی ساکارید بیرونی ندارند[۲۲]. دیواره سلولی باکتری‌ها بسیار اهمیت دارد زیرا می‌تواند به‌عنوان یک مانع مقاوم به برخی از ذرات و سایر سلول‌ها عمل کند یا می‌تواند به‌عنوان یک هدف برای بسیاری از آنتی‌بیوتیک‌ها مفید باشد. فعالیت ضد میکروبی ممکن است باعث تخریب غشاء یا توقف تقسیم سلولی یا تنش اکسیداسیونی که منجر به مرگ سلول می‌شود، شوند [۲۱]. شکل ۴ و ۵ به ترتیب تأثیر پوشش‌دهنده‌ها بر کاهش رشد باکتری استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکولی را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس ویژگی ضد باکتری کاغذهای پوشش داده‌شده حاکی از آن است که استفاده از نانوذرات سلنیوم در کاغذهای پوشش داده‌شده تأثیر معنی‌داری در کاهش رشد باکتری استافیلوکوکوس اورئوس (شکل ۴) و باکتری اشرشیاکولی (شکل ۵) در سطح اطمینان ۰/۰۵ درصد داشته است. به‌طوری‌که باکتری استافیلوکوکوس اورئوس در کاغذهای بدون پوشش (شاهد) در حدود ۹۱/۹۳٪ رشد یافته و این مقدار در نمونه‌های پوشش داده‌شده با نانوذرات سلنیوم با غلظت ۲۰۰ppm به ۸٪ رسیده است. همچنین رشد باکتری اشرشیاکولی در کاغذهای بدون پوشش (شاهد) در حدود ۷۷٪ رشد یافته و این مقدار در نمونه‌های پوشش داده‌شده با نانوذرات سلنیوم با غلظت ۲۰۰ppm به ۲۳٪ رسیده است. نتایج نشان دادند که با افزایش میزان نشست نانو ذرات بر روی الیاف، خاصیت ضد باکتری کاغذهای پوشش داده‌شده نیز افزایش یافت. پوشش نشاسته نیز اثر بازدارندگی و تأثیر معنی‌داری بر کاهش رشد باکتری بر روی کاغذ نداشتند و این همسو با نتایج مطالعات Pornasir و همکاران است [۲۳]. همچنین تأثیر نانوذرات بر روی رشد باکتری‌های گرم مثبت بیشتر از باکتری گرم منفی بوده است. این موضوع می‌تواند به دلیل تفاوت در دیواره سلولی باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی است. باکتری‌های گرم مثبت به دلیل تفاوت در دیواره‌های سلولی نسبت به باکتری‌های گرم منفی نسبت

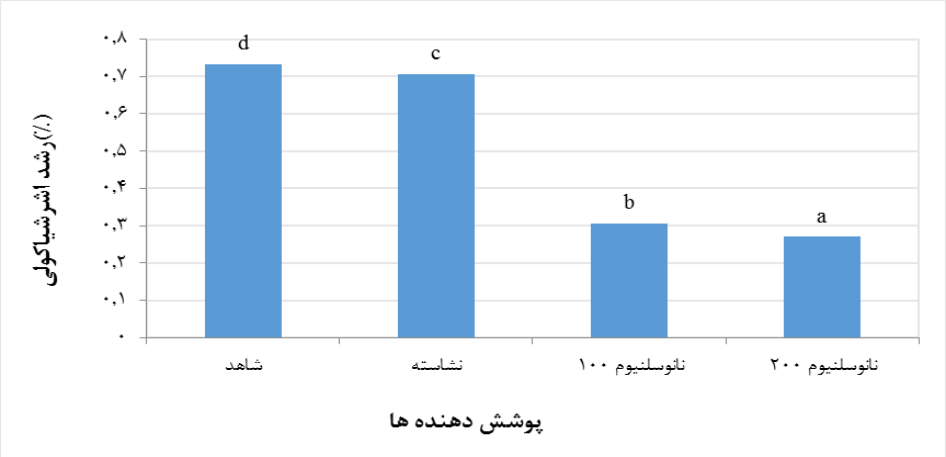
[1] Peptidoglycan
[2] Lipopolysaccharide

www.SID.ir

Archive of SID

به ذرات نانومتری حساس هستند [۲۴]. در باکتری‌های گرم مثبت، دیواره سلولی غنی از مولکول موکوپپتید است. درحالی‌که در باکتری‌های گرم منفی دیواره سلولی فقط حاوی یک‌لایه نازک از موکوپپتید است و از لیپوپروتئین‌ها و پلی ساکاریدهای لیپوپروتئین تشکیل‌شده است؛ بنابراین، اشریشیاکولی مقاومت بیشتری در برابر مواد ضد باکتریایی از خود نشان می‌دهد [۲۵]. یافته‌های حاضر با نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات انجام‌شده توسط Sondi و همکاران [۲۶] و Giange و همکاران [۲۷] همسو می‌باشد.

شکل ۴- تأثیر پوشش‌دهنده‌ها بر کاهش رشد باکتری استافیلوکوکوس اورئوس



شکل ۵- تأثیر از پوشش‌دهنده‌ها بر کاهش رشد باکتری اشرشیا کلی

اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی کاغذ

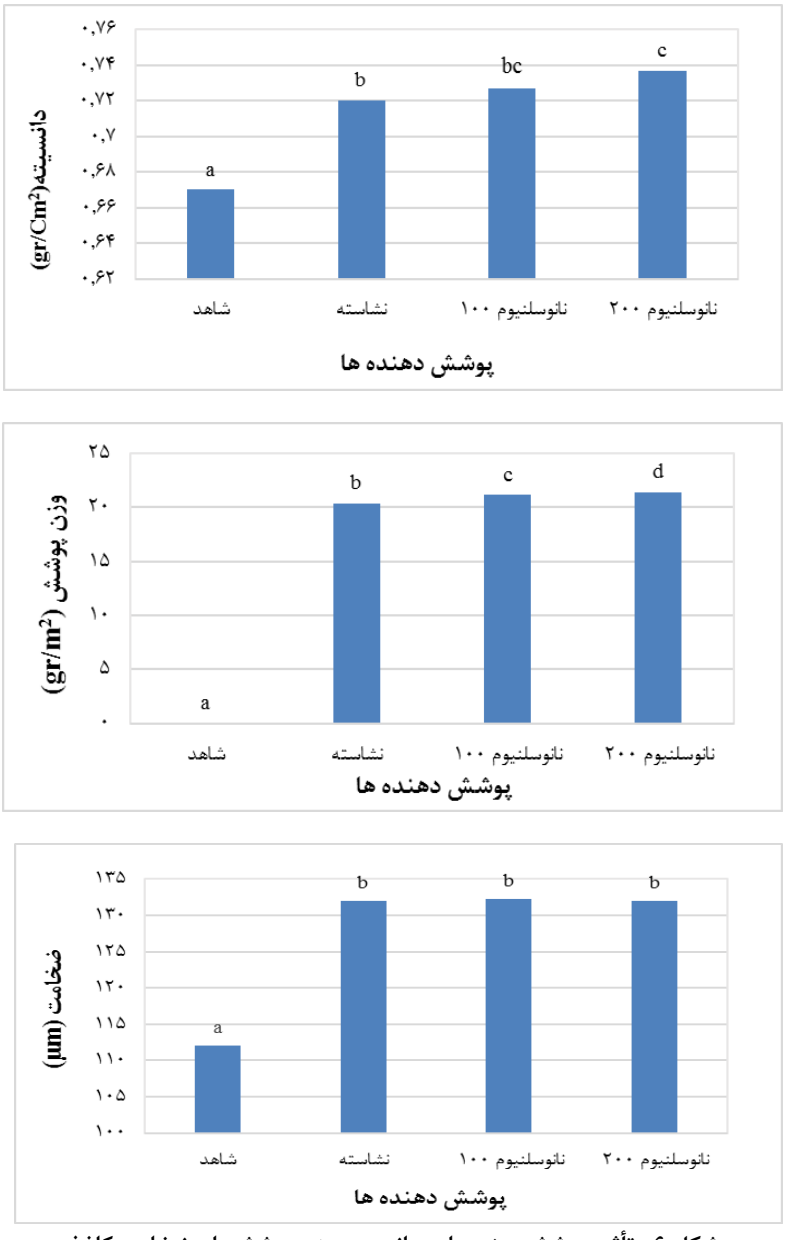
دانسیته، ضخامت کاغذ و وزن پوشش‌ها

دانسیته به‌عنوان تابعی از گراماژ و ضخامت تعریف می‌گردد. به‌طورکلی با افزایش آب‌دوستی، تورم و انعطاف‌پذیری الیاف که در اثر پالایش یا جذب پلی الکترولیت‌های آب‌دوست)همچون نشاسته کاتیونی) روی می‌دهد، ضخامت کاغذ کاهش و دانسیتهٔ آن در گراماژ ثابت افزایش می‌یابد [۱۲]. درنتیجه، مقایسه ضخامت کاغذها در وزن پایه برابر می‌تواند به‌عنوان یکی از معیارهای پیش‌بینی ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی آن باشد. با فرض ثابت بودن وزن پایه، کاغذهای باضخامت کمتر به دلیل فشرده و متراکم شدن و اتصال بیشتر بین الیاف، خواص مقاومتی

www.SID.ir

Archive of SID

بهتری خواهند داشت. دانسیتهٔ ظاهری کاغذ نیز ازجمله خواص فیزیکی کاغذ است که خواص مقاومتی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دانسیتهٔ ظاهری کاغذ به‌صورت نسبت وزن پایه به ضخامت آن محاسبه می‌شود [۲۸]. شکل ۶ تأثیر پوشش‌دهنده‌ها بر خصوصیات فیزیکی کاغذ شامل دانسیته، وزن پوشش‌ها و ضخامت کاغذ را نشان می‌دهند. همانطورکه درشکل‌ها نمایان است دانسیته و وزن پوشش‌ها به مقدار جزئی در نمونه‌های پوشش داده‌شده با نانوذرات بیشتر از کاغذ بدون پوشش می‌باشد که به علت ماندگاری نانوذرات در کاغذ و پر کردن خلل و فرج بیشتر در بافت کاغذ، می‌باشد و این افزایش ازنظر آماری در سطح اطمینان ۰/۰۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین مشاهده می‌گردد، پوشش دهی موجب افزایش ضخامت کاغذ شده است و نانو ذرات تأثیر معنی‌داری بر ضخامت کاغذهای پوشش داده‌شده نداشته و در گروه‌بندی دانکن، در یک گروه قرار گرفتند که می‌تواند به علت نفوذ نانوذرات در خلل و فرج کاغذ و وزن کم نانو ذرات باشد. همچنین دو عامل مقاومت پیوند و سطح پیوندیافته بین الیاف به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای به‌وسیله مواد افزودنی مقاومت خشک، نظیر نشاسته کاتیونی قابل‌افزایش می‌یابد [۲۹].



شکل ۶- تأثیر پوشش‌دهنده‌ها بر دانسیته، وزن پوشش‌ها و ضخامت کاغذ

www.SID.ir

Archive of SID

جذب آب[1]، مقاومت به عبور هوا[2] و نرخ سرعت عبور بخارآب[3] (WVTR)

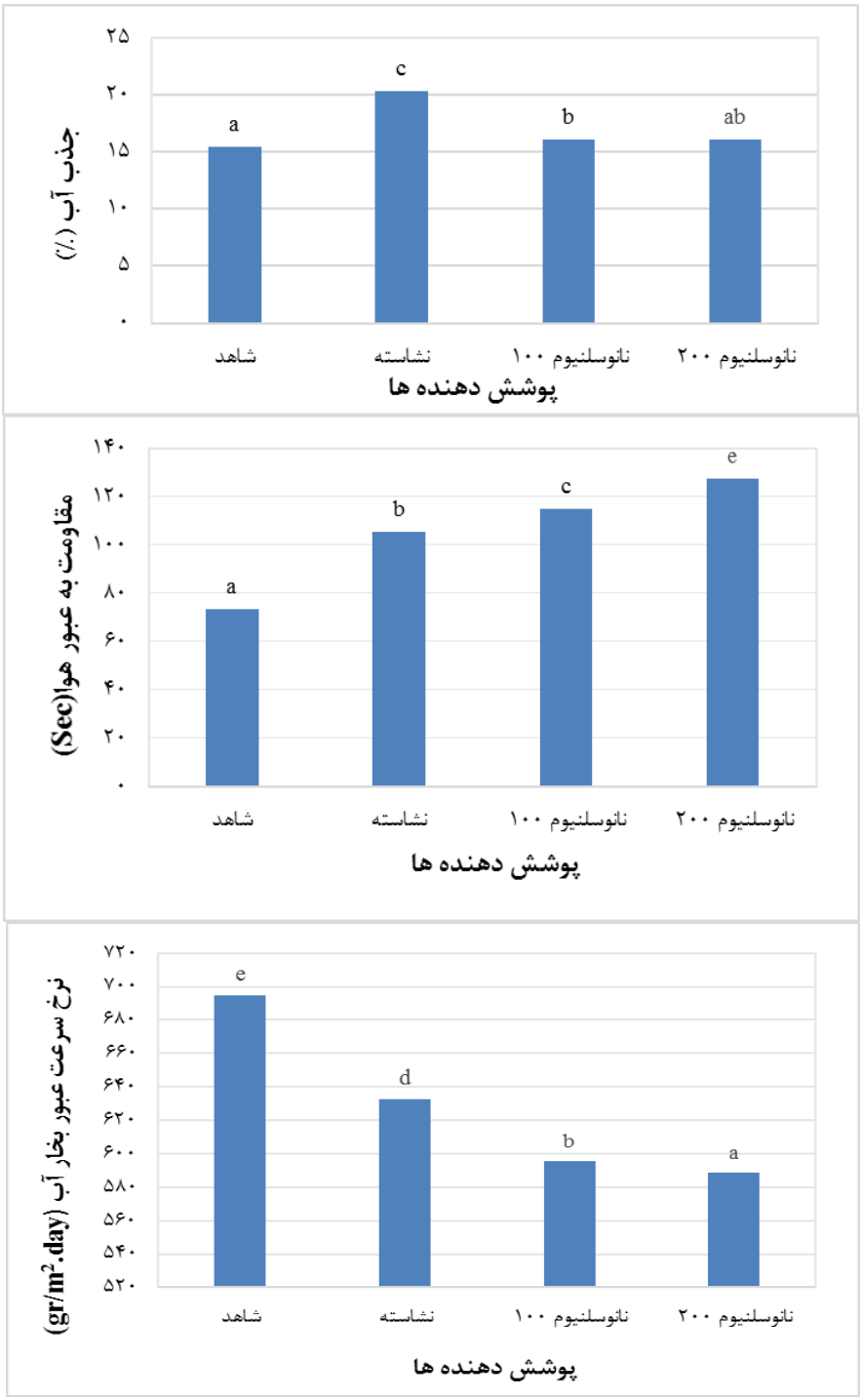
شکل ۷ تأثیر پوشش‌دهنده‌ها برجذب آب، مقاومت به عبور هوا و نرخ سرعت عبور بخارآب کاغذ را نشان می‌دهد. جذب آب یکی از خواص ممانعتی کاغذهای پوشش دهی و آهاردهی شده محسوب می‌شود. به‌طورکلی جذب آب کاغذ به دو عامل، ساختار متخلخل ورقه و برهم‌کنش بین الیاف و آب، بستگی دارد [۳۰]. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد، میزان جذب آب در نمونه‌های پوشش داده‌شده با نشاسته تنها، بیشتر از نمونه شاهد (بدون پوشش) می‌باشد. با توجه به اینکه نشاسته کاتیونی یک پلیمر آب‌دوست [۳۱] و به دلیل خاصیت آب‌دوستی، جرم مولکولی بالا و خاصیت کاتیونی روی سطح الیاف سلولزی با بار منفی باقی می‌ماند و با آن پیوند هیدروژنی برقرار می‌کند [۳۲]. همچنین میزان جذب آب در نمونه‌های پوشش داده‌شده با نانوسلنیوم کمتر از نمونه‌های پوشش داده‌شده با نشاسته می‌باشد که می‌توان آن را به کوچک بودن ابعاد نانو ذرات و درنتیجه سطح ویژه بیشتر نسبت داد. این ذرات راحت‌تر در خلل و فرج موجود در بین الیاف قرار می‌گیرند درنتیجه با پر کردن خلل و فرج، باعث کاهش میزان جذب آب نسبت به ترکیب پوششی حاوی نشاسته در کاغذها شدند. همچنین شایان‌ذکر است طی فرآیند پوشش دهی میزان دسترسی آب به الیاف و تشکیل پیوند هیدروژنی با گروه‌های عاملی موجود در الیاف نیز کاهش می‌یابد و موجب کاهش جذب آب خواهند شد. افزایش سطح مصرف نانو ذرات تا حدودی باعث کاهش میزان جذب آب نمونه شده است درصورتی‌که این کاهش، تأثیر معنی‌داری بر خواص جذب آب نمونه‌ها نداشتند. پور نصیر و همکاران [۲۳] در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که به دلیل اندازه خیلی کوچک نانو ذرات، آن‌ها به‌آسانی می‌توانند فضاهای خالی ماتریس پوشش خلل و فرج دار را پر کنند؛ لذا پخش آسان آب یا رطوبت مشکل می‌شود، درنتیجه سبب کاهش خاصیت آب‌دوستی فیلم‌های نشاسته می‌شود. همچنین موارد مشابهی توسط Tunc و همکاران [۳۳] گزارش‌شده است.

برخی از محصولات کاغذی به‌ویژه ماسک و فیلتر، با عبور هوا از خود در ارتباط هستند. یکی از روش‌های کنترل نفوذپذیری هوای کاغذ، تغییر اندازه تخلخل ورقه کاغذ می‌باشد. مواد شیمیایی مورداستفاده جهت تیمار و اصلاح خواص کاغذ می‌توانند تخلخل کاغذ را تحت تأثیر قرار دهند. نتایج نشان دادند (شکل ۷) استفاده از پوشش‌دهنده‌ها تأثیر معنی‌داری بر میزان مقاومت به عبور هوا در کاغذ داشته است به طوریکه مقدار آن در نمونه شاهد از ۷۳/۶۶ Sec به مقدار ۱۲۷/۳۳ Sec در نمونه‌های پوشش داده‌شده با نانو اکسید سلنیوم با غلظت ۲۰۰ppm رسیده است. فرآیند پوشش دهی سبب می‌شود تا حفرات موجود در ساختار کاغذ پر شوند و یک‌لایه یکنواخت بر روی سطح کاغذ تشکیل شود. ازاین‌رو، پوشش دهی سطح کاغذ به‌عنوان یک سد ممانعتی در مقابل عبور هوا محسوب می‌شود [۳۴]. درنتیجه نتایج نشان می‌دهد که نانوذرات توانسته‌اند به میزان بیشتری در منافذ سطحی کاغذ نفوذ کنند و درنتیجه مقاومت به عبور هوای کاغذ را به میزان بیشتری افزایش دهند. همچنین قابل‌ذکر است افزایش غلظت نیز موجب قرارگیری مقدار ماده پوشش دهی بیشتر در سطح و حفرات موجود در شبکه کاغذ شده و درنهایت افزایش مقاومت به عبور هوا را در پی داشت.

[1] Water Absorbtion
[2] Resistance to Air
3 Water Vapor Transmission Rate

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷- تأثیر پوشش‌دهنده‌ها برجذب آب، مقاومت به عبور هوا و نرخ سرعت عبور بخارآب کاغذ

محصولات کاغذی به‌طور گسترده دربسته بندی مواد غذایی و غیر غذایی کاربرد دارند. باوجوداین، خواص ممانعتی ضعیف کاغذ از ضعف‌های مهم این ماده ارزشمند برای این نوع کاربردها محسوب می‌شود [۳۵]. ماهیت آب‌دوست سلولز به دلیل گروه‌های OH در واحدهای پایه سلولز ($C_6H_{10}O_5$) و تخلخل شبکه الیاف است که خواص بازدارندگی به بخارآب کاغذ را محدود می‌کند. همچنین بسته‌بندی کاغذی به‌سادگی آب را از محیط و غذا جذب می‌کند. انتقال رطوبت می‌تواند از طریق نفوذ بخارآب از میان فضاهای خالی و همچنین از طریق دیواره سلولی

www.SID.ir

Archive of SID

اتفاق بیافتد [۳۶]. نفوذپذیری بخارآب به عواملی چون میزان آب‌دوستی و آب‌گریزی، میزان کریستالی و آمورف بودن و پویایی زنجیره‌های پلیمری بستگی دارد [۳۷].

تغییرات اثر پوشش دهی کاغذ با نشاسته و نانو ذرات سلنیوم در غلظت‌های مختلف بر نرخ سرعت عبور بخارآب در کاغذ در شکل ۷ نشان داده‌شده است. نتایج نشان دادند که استفاده از پوشش‌دهنده‌ها تأثیر معنی‌داری بر کاهش میزان سرعت عبور بخارآب در کاغذ داشته است به طوریکه مقدار آن ۵۷۷/۱۱ $gr/m^2.day$ در نمونه‌های پوشش داده‌شده با نانو سلنیوم ppm ۲۰۰ می‌باشد. فرآیند پوشش دهی سبب شده است تا حفرات موجود در ساختار کاغذ پر شوند و یک‌لایه یکنواخت بر روی سطح کاغذ تشکیل شود. Bajpa و همکاران [۳۸] در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که دلایل مختلف کاهش نفوذپذیری نسبت به بخارآب در فیلم‌های حاوی نانو ذرات نقره را می‌توان این‌طور بیان کرد که نانو ذرات نقره از طریق ایجاد برهم‌کنش‌های الکترواستاتیک (بین بار مثبت نقره و گروه‌های آزاد گروه‌های OH نشاسته) ضمن کاهش گروه‌های هیدروکسیل آزاد نشاسته، اتصالات عرضی در داخل شبکه زنجیرهای نشاسته ایجاد می‌کنند، لذا نانوذرات با کاهش حفرات خالی و کاهش تحرک زنجیره‌های بیوپلیمر و افزایش برهمکنش‌ها با زنجیرهای بیوپلیمر، از طریق ایجاد برهمکنش الکترواستاتیک باعث کاهش نفوذپذیری نسبت به بخارآب پوشش‌های بیوپلیمری نشاسته می‌شوند. همچنین طبق نظر Thellen و همکاران [۳۹] هنگامی‌که نانو ذرات در ماتریکس پلیمری وجود دارد، یک مولکول آب باید مسیر پیچیده‌تری را نسبت به ترکیب خالص پلیمر طی کند.

شاخص مقاومت به ترکیدگی و پارگی

مقاومت به ترکیدگی درواقع مقاومت کاغذ در برابر تغییر شکل به‌وسیله یک پرده لاستیکی منبسط شونده است که با اندازه‌گیری فشار هیدرولیکی در نقطه پارگی (ترکیدن) کاغذ تعیین می‌شود. افزایش طول الیاف، افزایش پالایش و فشار پرس باعث افزایش مقاومت به ترکیدگی و افزایش مقدار مواد پرکننده و نیز شاخص شکل‌گیری (شکل‌گیری نامناسب) باعث کاهش آن خواهد شد. شاخص ترکیدن ازجمله مقاومت‌هایی است که بیشتر تحت تأثیر اتصال بین الیاف هست. هرچه الیاف نازک‌تر یا انعطاف‌پذیرتر باشند به دلیل ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر، پیوند بین الیاف افزایش‌یافته و درنتیجه مقاومت به ترکیدن نیز افزایش می‌یابد.

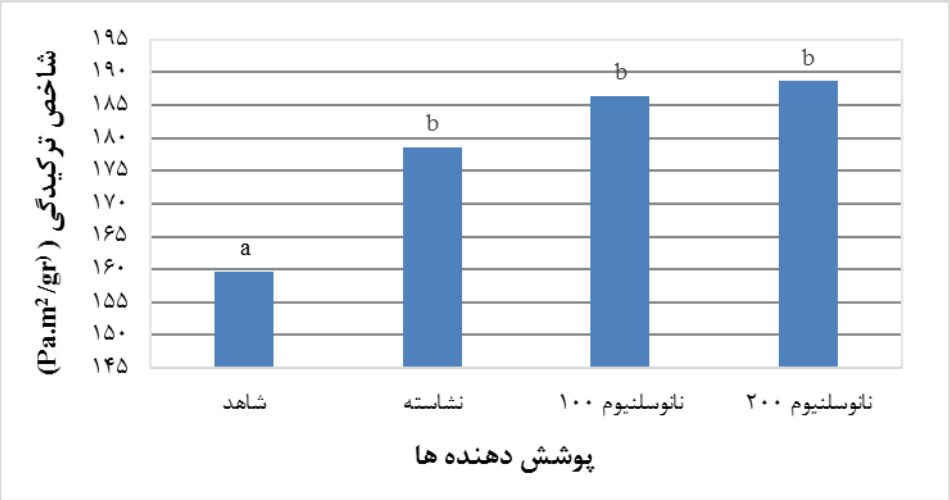
شکل ۸ تغییرات ایجادشده در شاخص مقاومت به ترکیدگی و پارگی کاغذ را درنتیجه حضور پوشش‌دهنده‌ها با نانو ذرات سلنیوم در حضور کمک نگهدارندِ (نشاسته) و کاغذ بدون پوشش و نشاسته تنها را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که حضور یک‌لایه پوشش روی سطح کاغذ موجب افزایش معنی‌داری در میزان مقاومت به ترکیدگی در کاغذها شده است. به طوریکه شاخص مقاومت به ترکیدگی در نمونه شاهد (کاغذ بدون پوشش) از $Pa/gr.m^2$ ۱۵۹/۷ به مقدار $Pa/gr.m^2$ ۱۸۸/۶۴ در کاغذ پوشش داده‌شده با نانوسلنیوم ppm ۲۰۰ رسیده است. همچنین افزایش غلظت نانو ذرات نیز باعث افزایش ناچیز مقدار شاخص مقاومت به ترکیدگی شده است اما این تغییرات، ازنظر آماری تأثیر معنی‌داری نیز نداشته است. البته نقش نشاسته نیز در افزایش ویژگی‌های مقاومتی کاغذها قابل‌توجه می‌باشد. با توجه به کوچک بودن ابعاد نانوذرات درنتیجه، ضخامت و سطح کاغذهای پوشش دهی شده با نانوذرات یکنواخت‌تر می‌شود. این عمل سبب توزیع یکنواخت تنش در حین اعمال تنش، کمتر شدن تمرکز تنش در سطح کاغذ و بیشتر شدن مقاومت‌های عمومی کاغذ می‌شود. ازاین‌رو، این عوامل سبب می‌شوند که شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ در صورت استفاده از نانوذرات افزایش بیشتری داشته باشد [۴۰].

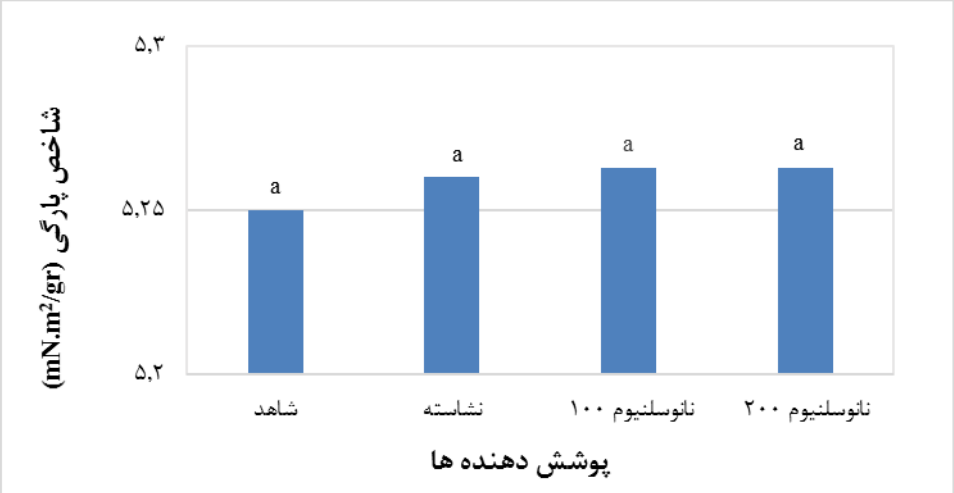
یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر شاخص پارگی، طول الیاف است. همچنین به مقاومت بین الیاف و مقاومت تک‌تک الیاف بستگی دارد. درنتیجه به دلیل قرار گرفتن نانوذرات در بین الیاف و تضعیف پیوند بین الیاف، معمولاً مقاومت بین الیاف کاهش و مقاومت تک‌تک الیاف تغییری نمی‌کند [۴۰]. شکل ۱۳ میزان شاخص مقاومت به پارگی در کاغذهای

www.SID.ir

Archive of SID

پوشش داده‌شده و بدون پوشش را نشان می‌دهد. نتایج آزمون تجزیه واریانس بیانگر آن است که پوشش‌ها تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال ۹۵ درصد) در مقاومت به پارگی کاغذ نداشته است. شاید در توجیه این مطلب بتوان از یک‌سو مقادیر کم‌مصرف نانو ذرات و از سوی دیگر ابعاد نانومتری این ذرات را به‌عنوان دلیل عدم افت این ویژگی‌ها بیان نمود. چراکه ابعاد ریز این ذرات و درنتیجه قابلیت اندک آن‌ها در ایجاد فاصله فیزیکی بین میکروفیبریل‌های الیاف، تأثیر کمی بر کاهش سطح نسبی پیوند (RBA) و درنهایت کاهش مقاومت‌های کاغذ داشته است [۱].





شکل ۸- میزان شاخص ترکیدگی و مقاومت به پارگی در کاغذهای پوشش داده‌شده و بدون پوشش

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر نانو سلنیوم به‌عنوان یک عامل آنتی‌باکتریال طبیعی و سازگار با محیط‌زیست و با حداقل اثر سوء در بدن انسان به همراه نشاسته به‌صورت پوشش در سطح کاغذ، موردبررسی قرار گرفت. همچنین اثرات این مواد بر روی برخی از ویژگی‌های فیزیکی کاغذ نظیر دانسیته، ضخامت کاغذ، وزن پوشش کاغذ، مقاومت به عبور هوا، نرخ سرعت عبور بخارآب و میزان جذب آب و ویژگی‌های مقاومتی کاغذ نظیر شاخص مقاومت به ترکیدن، شاخص مقاومت به پارگی بررسی گردید. نتایج نشان دادند که نانوذرات سلنیوم اثر مطلوبی در ممانعت از رشد هر دو نوع باکتری گرم مثبت و گرم منفی داشته و

www.SID.ir

Archive of SID

در سطوح مصرف برابر، رشد باکتری استافیلوکوکوس اورئوس را در مقایسه با باکتری اشرشیاکلی به مقدار بیشتری کاهش داده است. در بررسی خصوصیات فیزیکی کاغذ، نتایج نشان دادند که ضخامت و دانسیته کاغذ و وزن پوشش‌ها در کاغذهای پوشش داده‌شده با نشاسته کاتیونی و نانوذرات نسبت به نمونه‌های بدون پوشش (شاهد) افزایش‌یافته است. میزان جذب آب در نمونه‌های پوشش داده‌شده با نانوسلنیوم کمتر از نمونه‌های پوشش داده‌شده با نشاسته می‌باشد که می‌توان آن را به کوچک بودن ابعاد نانوذرات و درنتیجه سطح ویژه بیشتر نسبت داد. این ذرات راحت‌تر در خلل و فرج موجود در بین الیاف قرار می‌گیرند و ازاین‌رو با پر کردن خلل و فرج، باعث کاهش میزان جذب آب نسبت به ترکیب پوششی حاوی نشاسته در کاغذها شدند. افزایش غلظت نانوذرات نیز موجب قرارگیری مقدار ماده پوشش دهی بیشتر در سطح و حفرات موجود در شبکه کاغذ شده و درنهایت افزایش مقاومت به عبور هوا را در پی داشت. همچنین فرآیند پوشش دهی سبب شد، حفرات موجود در ساختار کاغذ پر شوند و یک‌لایه یکنواخت بر روی سطح کاغذ تشکیل شود. همچنین اختلاف معنی‌داری بین سرعت عبور بخارآب بین نمونه‌های کاغذ پوشش داده‌شده در غلظت‌های مختلف مشاهده نگردید. با توجه به کوچک بودن ابعاد نانو ذرات درنتیجه، ضخامت و سطح کاغذهای پوشش دهی شده با نانوذرات یکنواخت‌تر می‌شود. این عمل سبب توزیع یکنواخت تنش در حین اعمال تنش، کمتر شدن تمرکز تنش در سطح کاغذ و بیشتر شدن مقاومت‌های عمومی کاغذ می‌شود. همچنین نتایج آزمون تجزیه واریانس بیانگر آن است که پوشش‌ها تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال ۹۵ درصد) در مقاومت به پارگی کاغذ نداشته است.

منابع

[1] Jing, D., Wen, Li., Jianxin, T., Ruomei, W., and Xiaoyuan, Z., 2012. Antibacterial Activity of Nano Silver and its Application in Antibacterial Paper. Applied Mechanics and Materials, Vol: 200, pp 393-396.

[2] Nassar Mona, A., and Youssef Ahmed, M., 2012. Mechanical and antibacterial properties of recycled carton paper coated by PS/Ag nanocomposites for packaging. Carbohydrate Polymers 89, p: 269– 274.

[3] Afra, E., Mohammadi, M., Imani, R., Narchin, P., and Roshani Sh., 2015.Improvement of the antibacterial properties of sanitary papers using by silver nano particles, J. of Wood & Forest Science and Technology,Vol. 22(2).

[4] Xia, T., and Kovochich, M., 2008.Comparison of the mechanism of toxicity of zinc oxide and cerium oxide nanoparticles based on dissolution and oxidative stress properties. ACS Nano.2008; 2(10):2121-2134.

[5] Foldbjerg, R., and Autrup, H., 2009. PVP-coated silver nanoparticles and silver ions induce reactive oxygen species, apoptosis and necrosis in THP-1 mono-cytes. Toxicol Lett.; 190:156-162.

[6] Wang, Q., and Webster, TJ., 2012. Nanostructured selenium for preventing biofilm formation on polycarbonate medical devices. Journal Biomedical Material Resources, A, 100(12):3205- 10.

[7] Albrecht, M.A., Evans, C.W., Raston, C.L., 2006. Green chemistry and the health implications of nanoparticles. Green Chemistry 8, 417–432.

[8] Dennert G, Zwahlen M, Brinkman M., 2011. Selenium for preventing cancer. Cochrane Database Syst Rev (5):CD005195.

[9] Wang, H., Zhang, J., and Yu, H., 2007. Elemental selenium at nano size possesses lower toxicity without compromising the fundamental effect on selenoenzymes: comparison with selenomethionine in mice. Free Radical Biological Medical, 15; 42(10):1524-33

www.SID.ir

Archive of SID

[10] Warren, Pinner, R., Tutsch, S.M., Simonsen,L., Klug, L.A., Graberj, m. and Brekelman, R.L., 2001. Trends in infectious diseases mortality in the United States. Journal of the American Medical Association, 275(3):189-193.

[11] Mayuree, J., Baruah, S., and Dutta J., 2012.Paper modified with ZnO nanorods – antimicrobial studies, Beilstein Journal of Nanotechnology 3, 684–691. doi:10.3762/bjnano.3.78

[12] Hubble, M., 2006.Bonding between cellulosic fibers in the absence and presence of dry-strength agent-A review. Bioresources. 1(2): 281-318.

[13] Espitia, P. J. P., 2013. Physical–mechanical and antimicrobial properties of nanocomposite films with pediocin and ZnO nanoparticles. Carbohyd Polym., 94(1), 199-208.

[14] Pandey, J. K., 2005. An overview on the degradability of polymer nanocomposites. Polymer degradation stability journal, 88(2), 234-250.

[15] Wu, T., Farnood, R., 2014. Cellulose fibre networks reinforced with carboxymethyl cellulose/chitosan complex layer-by-layer. Carbohydrate Polymers, 14 (1):500–505.

[16] Li, H., Cui, R., Peng, L., Cai, Sh., Li,P., and Lan, T., 2018. Preparation of Antibacterial Cellulose Paper Using Layer-by-Layer Assembly for Cooked Beef Preservation at Ambient Temperature. Polymers journal. 10(15):1-13.

[17] Chule, K., Ghule, AV., Chen, BJ. And Ling, YC. 2006. Preparation and characterization of ZnO nanoparticles coated paper and its antibacterial activity study. Green Chemistry.2006; 8(12):1034-1041.

[18] Liu, S., Hu, M., Zeng, T.H., Wu, R., and Jiang, R., 2012. Lateral dimension-dependent antibacterial activity of graphene oxide sheets. Langmuir, 28: 12364-12372. DOI: 10.1021/la3023908.

[19] Tran. P.A., and Webster, TJ. 2011. Selenium nanoparticles inhibit Staphylococcus aureus growth. International Journal of Nanomedicine, 6:1553-8.

[20] Fesharaki, PJ. Nazari, P., Shakibaie, M., Rezaie, S., Banoee, M., and Abdollahi, M., 2010. Biosynthesis of selenium nanoparticles using Klebsiella pneumoniae and their recovery by a simple sterilization process. Brazilian Journal of Microbiology, 41(2):461-6.

[21] Al-Thani, E., Roda, F., Patan, N., and Al-Maadeed, M.A., 2014. Graphene oxide As Antimicrobial against Two Gram-Positive and Tow -Negative Bacteria In Addition To One Fungus, Journal of Biological Sciences 14 (3): 230-239.

[22] Torture, G.J., Funke, B.R., and Case, C.L., 2013.Microbiology: An Introduction. 11th Edn., Pearson Benjamin Cummings, San Francisco.

[23] Pornasir, N., Peyghambardoost, J., Peyghambardoodst, H., 2016.The study of physical, mechanical and antibacterial properties of nanobio-composite films based on starch containing silver, oxide and copper oxide nanoparticles. Journal of new food technologies. 14(4):24-33.

[24] Yazdani, O., Asadpour, Gh., Rasooly, E., Imani, R., 2014 Effect of Cationic Polyacrylamide and Antibacterial Nanosilver on Bank-note Paper Propertie. Lignocellulose 3(1):3-14.

[25] Tassou, C.C., Nychas, G.J., 1995.Antimicrobial activity of the essential oil of mastic fun on gram–positive and gram–negative bacteria in broth and model food systems, International Biodeterioration & Biodegradation, 36(5), pp:411-420.

[26] Sondi, I., and Salopek-sondi, B., 2004.Silver nano particles as antimicrobial agent: A case study on *E.coli* and model for Gram-negative bacteria', Journal of Colloids Interfacial Science, 275, (1):177-182.

www.SID.ir

Archive of SID

[27] Giang, H.S., and Manolaches, S., 2004.Plasma-enhanced deposition of silver nanoparticles onto polymer metal surfaces for the generation of antimicrobial characteristics. Journal of Applied Polymer Science. 93(3):1411-1421.

[28] Rudil, H.R., Borhani, A., and Hamzeh, Y., 2016. Effect of modified layering treatment on the properties of papers made from recycled fibers, J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 23 (3).(In Persian).

[29] Mauyer, H., 1998.Opportunities and challenges for Starch in the Paper industry. Starch /Starke. 50 (9):396-402.

[30] Mashkour, M., Afra, E., and Resalati, H., 2016. Prediction of nanofibrillated cellulose reinforced acetylated papers properties using artificial neural networks, J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 23 (4). (In Persian).

[31] Kalambur, S.H., and Rizvi, S.S., 2006.An overview of starch based plastic blends from reactive extrusion. Journal of Plastic Film & Sheeting. 22 (1):39-58.

[32] Hubbe, M., 2006. Bonding between cellulosic fibers in the absence and presence of dry-strength agent-A review. Bioresource. 1: 281-318.

[33] Tunic, S., Angellier, H., Cahyana, Y., Chalier, P., Gontard, N., and Gastaldi, E., 2007. Functional properties of wheat gluten/montmorillonite nanocomposite films processed by casting. Journal of Membrane Science. 289(1):159-168.

[34] Samyn, P., Deconinck, M., Schoukens, G., Vanden, A.H., 2010.Modifications of paper and paperboard surfaces with a nanostructured polymer coating, Progress in organic coatings, 69 (4): 442-454.

[35] Moakhar, F.K., Azadfallah, M., Jonoobi, M., and Rouhani M., 2017.Effect of soy protein isolate/cellulose nanofiber composite coating on mechanical and barrier properties of packaging paper, Forest and Wood Products, Volume 70, No. 3, P:548-539. (In Persian).

[36] Molaei, M., Azadfallah, M., Khodaeian Chegini, F. and Hamzeh, Y., 2015. Effect of chitosan-polyvinyl alcohol coatings with nisin on antibacterial properties of packaging paper. Forest and Wood Products, 68(3):491-502.

[37] Laxmeshwar, S.S., Kumar, D.J.M., Viveka, S., and Nagaraja, G.K., 2012. Preparation and Properties of Biodegradable Film Composites Using Modified Cellulose Fiber-Reinforced with PVA. ISRN Polymer Science, Article ID 154314, 8 pp.

[38] Bajpai, S., Chand, N., and Chaurasia, V., 2010. Investigation of water vapor permeability and antimicrobial property of zinc oxide nanoparticles-loaded chitosan-based edible film. Journal of Polymer Science, 115, 674-683.

[39] Thellen, C., Orroth, C., Froio, D., Ziegler, D., Lucciarini, J., Farrell, R., D'Souza, N.A., and Ratto, J.A., 2005. Influence of montmorillonite layered silicate on plasticized poly (l-lactide) blown films. Polymer Journal, 46(25).

[40] Afra, E., Mohammadnejad, S., and Saraeyan, A., 2016. Cellulose nanofibils as coating material and its effects on paper properties. Progress in Organic Coatings 101: 455–460.

www.SID.ir

Archive of SID

Study of antibacterial activity and other properties of paper coated by selenium nanoparticles

Abstract

These days, researchers in all fields are looking to develop new products using new technologies including nanotechnology. The objective of this study was to evaluate the performance of selenium nanoparticles in the paper coating formulations in order to improve the antibacterial, physical and mechanical properties of paper. The paper was coated with selenium nanoparticles with concentrations of 100 and 200 ppm accompanied by cationic starch. The paper surface coated with nanoselenium particles and starch has been characterized using ATR-FTIR and SEM. The results have showed that selenium nanoparticles had a good effect on inhibiting the growth rate of both *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. At equal consumption levels, the growth rate of Staphylococcus aureus decreased more than that of *Escherichia coli*. The growth rate of *Staphylococcus aureus* bacterium in the control and nanoselenium 200ppm coated paper specimens were 91.93% and 8%, respectively. Density and thickness of the paper sheets increased in the paper coated with cationic starch and nanoparticles in comparison with uncoated paper. Water absorption and water vapor Transmission Rate in nanoselenium coated samples were lower than starch coated samples and coatings had a significant effect on the rate of resistance to air in the paper. It is also seen increasing concentration of nanoparticles had no significant effect on the burst and tear indexes.

Keywords: Antibacterial paper, coating, nanoselenium particles, starch, barrier, physical and mechanical properties.

M. Akhtari[1*]
M.R. Dehghani Firoozabadi[2]

[1] Associate Professor, Department of wood and paper science and technology, Bojnourd Branch, Islamic Azad University, Bojnourd, Iran

[2] Associate Prof., Department of pulp and paper industry, Gorgan university of agricultural sciences and natural resources, Gorgan, Iran

Corresponding author:
makhtari@bojnourdiau.ac.ir

Received: 2020/01/13
Accepted: 2020/09/12

www.SID.ir