

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

چکیده

امروزه محققین در تمامی زمینه‌ها به دنبال تولید محصولات جدید با استفاده از فن‌آوری‌های نوین از جمله نانو فن‌آوری هستند. هدف از انجام این تحقیق بررسی عملکرد نانوذرات سلنیوم در فرمولاسیون پوشش دهی کاغذ به منظور بهبود خواص ضد باکتری، فیزیکی، ممانعتی و مکانیکی کاغذ می‌باشد. کاغذها با نانوذرات سلنیوم در غلظت‌های ۲۰۰ و ۱۰۰ ppm همراه با نشاسته کاتیونی پوشش داده شدند. سطح کاغذ با استفاده از ATR-FTIR و SEM مورد بررسی 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 کاهش یافته است. به طوریکه میزان رشد باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس در نمونه‌های شاهد و کاغذهای پوشیده شده با نانو ذرات سلنیوم ۲۰۰ ppm 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 داده شده با نشاسته کاتیونی و نانوذرات نسبت به نمونه کاغذ بدون پوشش، افزایش یافته است. میزان جذب آب و سرعت عبور بخار آب در نمونه‌های پوشش داده شده با نانوسلنیوم کمتر از نمونه‌های پوشش داده شده 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 ترکیبگی و مقاومت به پارگی کاغذها نیز نداشته است.

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

ملیحه اختری^{۱*}

محمدرضا دهقانی فیروزآبادی^۲

^۱ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، بجنورد، ایران

^۲ 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

مقدمه

کاغذ و محصولات کاغذی به‌عنوان یک محصول استراتژیک نقش مهمی در رفع نیازمندی‌های زندگی انسان دارد. از آنجاکه کاغذ آلوده به باکتری منجر به گسترش بیماری می‌شود، توجه پژوهشگران در تحقیقات بر روی کاغذ ضد باکتری متمرکز شده است. در حال حاضر، مواد

ضد باکتری مورد استفاده در تحقیقات شامل مواد آلی، معدنی و مواد طبیعی است [۱]. از جمله 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

باعث اتصال ذرات نانو روی به آن‌ها با پیوند هیدروژنی می‌شود و در نتیجه 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 زیست تخریب پذیری بالا، فراوانی در طبیعت، قیمت ارزان و سهولت آماده سازی و به عنوان پوشش دهنده، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. به دلیل خاصیت آب دوستی، جرم مولکولی بالا و خاصیت کاتیونی روی سطح لیاف سلولزی با بار منفی باقی می ماند و با آن پیوند هیدروژنی برقرار می کند. ثابت شده است که نگهداری نشاسته توسط لیاف ارتباط نزدیکی با شمار کربوکسیل آن‌ها دارد. به دلیل طبیعت آنیونی هرچه میزان گروه‌های کربوکسیل در روی لیاف بیشتر باشد، نشاسته بیشتری جذب می شود [۱۲]. با وجود این، پلیمر زیستی نشاسته دارای معایبی است که استفاده خالص از آن را در تولید فیلم و دیگر مواد بسته بندی محدود می سازد. این معایب عبارت از خاصیت آب دوستی شدید نشاسته و مقاومت ضعیف فیلم آن در برابر رطوبت، داشتن خواص مکانیکی به نسبت ضعیف به دلیل آب دوستی بالای نشاسته و تضعیف خواص مکانیکی فیلم در شرایطی مانند رطوبت نسبی بالا است [۱۳]. تقویت کننده‌های نانومتری به دلیل ابعاد بسیار کوچک و سطح بسیار بالا در مقایسه با تقویت کننده‌های معمولی در سطح بارگذاری کم تر، باعث بهبود خواص نشاسته می شوند [۱۴]. هدف از انجام این تحقیق بررسی عملکرد نانو ذرات سلنیوم در فرمولاسیون پوشش دهنده کاغذ به منظور بهبود خواص ضد باکتری، فیزیکی، ممانعتی و مکانیکی کاغذ می باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

نانوسلنیوم مورد استفاده در این تحقیق به صورت محلول کلونیدی با اندازه متوسط ذرات ۴۰ نانومتر، درجه خلوص ۹۹/۹۵٪ و چگالی ۳/۸۹ گرم بر سانتی متر مکعب از شرکت ایران نانو تک» تهیه گردید شکل ۱ تصویر میکرو فوتوگرافی این ذرات را نشان می دهد. نشاسته کاتیونی از محصولات شرکت CoMerck Chemicals و کاغذ مورد استفاده در این تحقیق نیز بانام تجاری

دست آیند. می توان با ایجاد خاصیت آنتی باکتریال با استفاده از موادی مانند نانو نقره، نانو اکسید روی، نانو سلنیوم، نانوکیتوزان و... در بسته بندی مواد غذایی آن‌ها را در برابر بیشتر عوامل میکروبی حفاظت نمود [۳]. یک مشکل عمده برای مواد ZnO [۴]، نانوذرات نقره [۵] و دیگر مواد فلزی، سمیت آن‌ها برای سلول‌های سالم است که به علت تولید اسیدهای فعال واکنش پذیر می باشد. این مواد ممکن است در زمانی که برای محصولات کاغذی پوشیده شده برای بسته بندی مواد غذایی یا برنامه‌های کاربردی بالینی و بهداشتی مورد استفاده قرار گیرند، منجر به مشکلات شدید سلامتی شوند. در مقایسه با مواد مذکور، سلنیوم برای سلامتی مفیدتر و سمیت کمتری برای سلول‌های سالم دارد. در واقع، FDA برای بزرگسالان مصرف ۵۳ تا ۶۰ میکروگرم سلنیوم را توصیه می کند که حاوی مقادیر معینی از سلنوپروتئین‌ها یا سلنوکورتیسین^۳ 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]. با این وجود مشکلاتی در مصرف 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 مصرف غذایی و دارویی، استفاده از این عنصر را در ابعاد نانو پیشنهاد می کند [۸]. نانو ذرات سلنیوم به عنوان آنتی اکسیدانت سمیت بسیار کمتری در مقایسه با عنصر سلنیوم دارد [۹]. از بین باکتری‌ها نیز دو نوع باکتری اشرشیاکولی^۴ به عنوان یک باکتری گرم منفی و استافیلوکوکوس اورئوس^۵ به عنوان باکتری گرم مثبت جزء عوامل مهم بیماری‌زا هستند. استافیلوکوکوس‌ها در بیشتر محیط‌ها رشد می کنند و از نظر متابولیکی فعال هستند. باکتری اشرشیاکولی پس از ورود به بدن وارد روده شده و شروع به تکثیر و آزاد کردن سم می کنند [۱۰]. Mayuree و همکاران در سال ۲۰۱۲ در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که حضور گروه‌های هیدروکسیل در مولکول‌های سلولز

^۱Food and Drug Administration (FDA)

^۲Selenoproteins

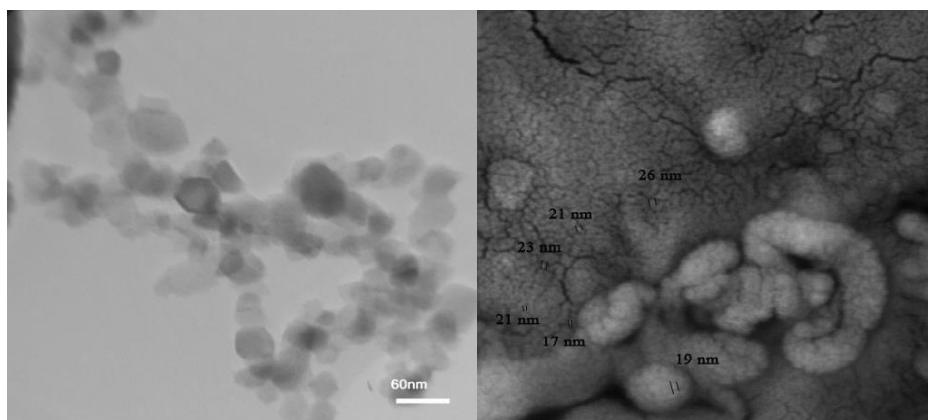
^۳Selenocysteine

^۴*Escherichia coli*

^۵*Staphylococcus aureus*

Copimax با گراماژ 80 g/m^2 و ضخامت متوسط ۱۱۲

میکرومتر تهیه گردید.



شکل ۱- ریزنگار SEM از نانوذرات سلنیوم (ساختار نیمه کروی)

کاغذهای پوشش داده شده با محلول نشاسته و نانوسلنیوم و محلول نشاسته تنها در هوای آزاد خشک شدند. پس از این مرحله، نمونه‌ها برای انجام تست‌های پیش‌بینی شده در شرایط کلیما (دما 27°C ، رطوبت ۶۵٪ و مدت زمان ۲۴ ساعت) مطابق استاندارد ISO ۱۸۷-۱ قرار گرفتند.

بررسی خواص ضد باکتریایی کاغذهای پوشش

داده شده

آزمون ضد باکتری برای هر دو نوع باکتری گرم منفی (اشرشیاکولی) و گرم مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس)، با سه تکرار برای کاغذهای پوشش داده شده و بدون پوشش به روش کدورت سنجی^۱ انجام شد. محیط کشت مایع مورد استفاده در این آزمون از نوع BHIB^۲ بود. سپس لوله‌های حاوی محیط کشت با استفاده از اتوکلاو در دمای 120°C 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 داده شده با نانوسلنیوم، نشاسته و کاغذ بدون پوشش) در فویل پیچیده شدند و جهت استریل شدن در آن تحت دمای 170°C درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲۰ دقیقه قرار گرفتند. پس از انتقال نمونه‌های مختلف به داخل لوله‌های حاوی محیط کشت

آماده‌سازی پوشش دهنده‌ها

در این تحقیق از محلول کلوئیدی نانوسلنیوم به همراه محلول نشاسته کاتیونی با درصد خشکی ۵ 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 در دمای 90°C درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه به‌طور غیرمستقیم در حمام آب پخته شد. محلول ژلاتین نشاسته پس از سرد شدن، آماده مصرف گردید. همچنین برای تهیه محلول ۱۰۰ pm نانوسلنیوم، ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول نانوسلنیوم به ۹۰۰ میلی‌لیتر محلول ژلاتین نشاسته و برای تهیه محلول ۲۰۰ ppm، ۲۰۰ میلی‌لیتر نانوسلنیوم به ۸۰۰ میلی‌لیتر محلول ژلاتین 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 (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.

^۱Turbidity method

^۲ Brain Heart Infusion Broth (BHIB)

پس از نشست نانوذرات سلنیوم و نشاسته در مرحله پوشش دهی به کار گرفته شده است. شکل ۲ تصاویر SEM نمونه‌های پوشش داده شده با نانو ذرات سلنیوم و نشاسته را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد نانو ذرات سلنیوم بر روی شبکه درهم بافته شده و متراکم الیاف سلولزی کاغذ توزیع شده‌اند 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 پر شده و برخی از مواد ژلاتینی ظاهر شده، منجر به ایجاد پل بین الیاف سلولز مجاور شدند. متوسط قطر الیاف سلولز افزایش یافته و مواد ژلاتینی بیشتری ایجاد شده است، از این رو باعث ایجاد پیوند بیشتر بین الیاف شده و ساختار سطحی فشرده تری 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. به‌طور کلی ترکیبات کاغذ بسیار پیچیده است، با این حال ترکیب اصلی کاغذ شامل سلولز، CaCO_3 ، سیلیکات، ضخیم کننده‌ها و اتصال‌دهنده‌ها هستند [۱۷]. شکل ۳ طیف ATR-FTIR کاغذ بدون پوشش و پوشش داده شده با ذرات نشاسته و نانوسلنیوم را نشان می‌دهد.

استریل مقدار ۵۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری تهیه شده با استفاده از یک نمونه گیر 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 طول موج ۶۰۰ نانومتر برای اندازه‌گیری غلظت باکتری‌ها استفاده شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های کاغذهای پوشش

داده شده

گروه‌های شیمیایی سطح نمونه‌ها توسط طیف‌سنجی (Golden Gate Model, ATR-FTIR, 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 بخار آب (WVTR)، مقاومت در برابر ترکیدگی و مقاومت در برابر پارگی به ترتیب مطابق استانداردهای شماره T411om-05, T410om-02, T460om-02, T448-om, T441-om-96 اندازه‌گیری شد. تعداد ۵ تکرار برای هر فاکتور در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از برنامه نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵، جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن و آنالیز واریانس بر روی داده‌ها استفاده شد تا اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪ حاصل شود.

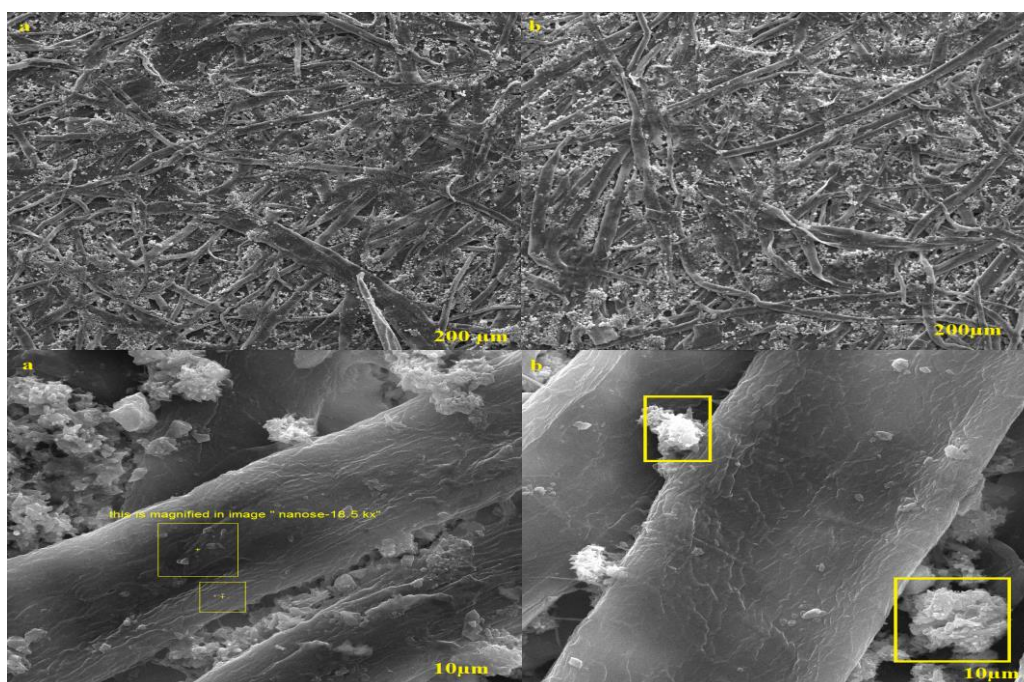
نتایج و بحث

بررسی ساختار سطحی الیاف

در این مطالعه از تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی جهت مشاهده تغییرات مورفولوژیکی سطح الیاف

¹ Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared spectroscopy

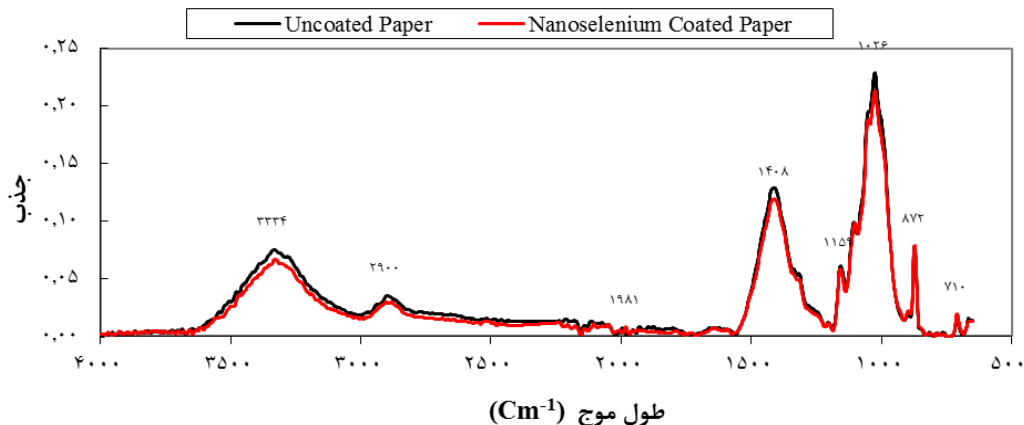
² Scanning Electron Microscopy



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

(شکل ۳). پیک جذب در 2900 cm^{-1} و در محدوده $1300-900 \text{ cm}^{-1}$ به ترتیب مرتبط با ارتعاشات کششی C-H و C-O سلولز می باشد. طیف در 1640 cm^{-1} به آب جذب شده در الیاف سلولز نسبت داده شده است [۱۸]. جذب در 1735 cm^{-1} مربوط به ساختار همی سلولز می باشد. کاهش شدت جذب گروه OH- در پیک های 1415^1 و 1407 cm^{-1} مرتبط با کاهش در گروه های OH آزاد پس از پیوند با ذرات نشاسته و نانو سلنیوم (شکل ۳) می باشد. باند گسترده ضعیفی در طول موج 709 cm^{-1} ممکن است مرتبط با فازهای $I\alpha$ و $I\beta$ سلولز باشد. طیف های 1159 ، 1025 ، 871 cm^{-1} به سلولز (ترکیبات کاغذ) نیز منتسب می شوند [۱۷].

طیف های ATR-FTIR نمونه های کاغذی، جذب الیاف را نشان دادند که ترکیب اصلی آن ها سلولز می باشد. نشاسته نیز دارای یک واحد قند مشابه با سلولز است و ساختار آن بسیار نزدیک به سلولز می باشد (شکل ۳). هر دو طیف ATR-FTIR نشان می دهد که پیک در محدوده 3400 تا 3200 cm^{-1} به پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی نسبت داده شده است. یک باند گسترده ($3100-3000 \text{ cm}^{-1}$) در محدوده 3334 cm^{-1} مرتبط با مشخصه گروه عاملی OH- (آزاد و H- پیوندی) متمرکز می باشد. کاهش شدت طیف جذب در 3336 cm^{-1} مرتبط با OH- آزاد، می تواند به علت جایگزین شدن و ترکیب گروه های عاملی هیدروکسیل سلولز با نشاسته و ذرات نانوسلنیوم باشد



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

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 داده شده حاکی از آن است که استفاده از نانوذرات سلنیوم در کاغذهای پوشش داده شده تأثیر معنی‌داری در کاهش رشد باکتری استافیلوکوکوس اورئوس (شکل ۴) و باکتری اشرشیاکولی (شکل ۵) در سطح اطمینان ۰/۰۵ درصد داشته است. به طوری که باکتری استافیلوکوکوس اورئوس در کاغذهای بدون پوشش (شاهد) در حدود ۹۱/۹۳٪ رشد یافته و این مقدار در نمونه‌های پوشش داده شده با نانوذرات سلنیوم با غلظت ۲۰۰ ppm به ۸٪ رسیده است. همچنین رشد باکتری اشرشیاکولی در کاغذهای بدون پوشش (شاهد) در حدود ۷۷٪ رشد یافته و این مقدار در نمونه‌های پوشش داده شده با نانوذرات سلنیوم با غلظت ۲۰۰ ppm به ۲۳٪ رسیده است. نتایج نشان دادند که با افزایش میزان نشست نانو ذرات بر روی الیاف، خاصیت ضد باکتری کاغذهای پوشش داده شده 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 Pormasir 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

خواص ضد باکتری کاغذهای پوشش داده شده

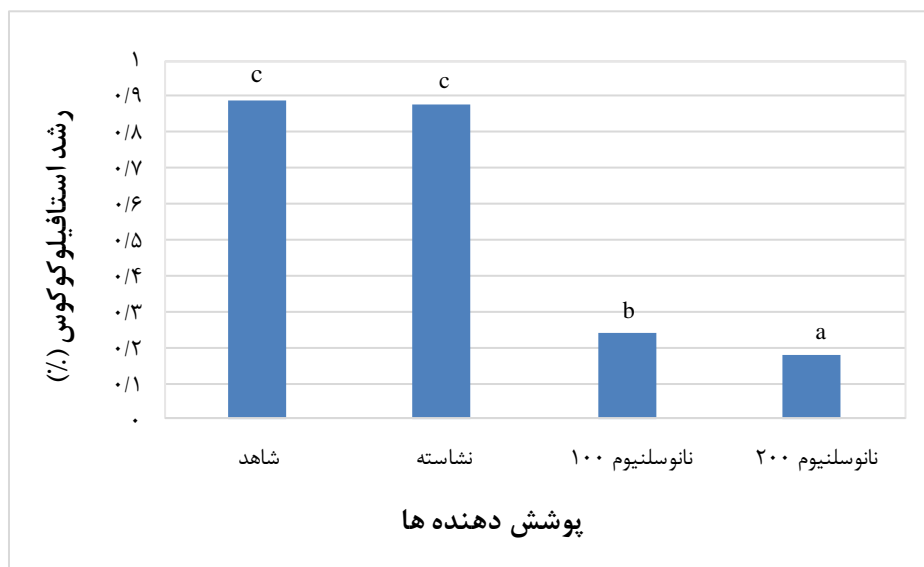
نانوذرات به دلیل داشتن نسبت سطح به حجم بالا، اثر مهارکنندگی بیشتری دارند [۱۹]. به علاوه سمیت پایین برای سلول‌های پستانداران و اختصاصیت بالا برای باکتری‌ها، از ویژگی‌های مهمی هستند که در انتخاب نانوذره مناسب می‌بایست به آن توجه شود. اختلاف بین بار منفی میکروارگانیسم و بار مثبت نانوذرات باعث اتصال نانوذره به سطح سلول، باهدف قرار گرفتن ساختارهای مختلف سلول باکتری و در نتیجه 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]. E. coli باکتری گرم منفی و S. aureus باکتری‌های گرم مثبت هستند، دیواره سلولی بین هر دو نوع متفاوت است؛ باکتری‌های گرم منفی دارای یک لایه پپتیدوگلیکان^۱ نازک با لایه ساختاری دیگری به نام غشای لیپو پلی ساکاریدی خارجی^۲ (LPS) هستند در حالیکه باکتری‌های گرم مثبت دارای لایه ضخیم پپتیدوگلیکان و هیچ غشای لیپوپولی ساکارید بیرونی ندارند [۲۲]. دیواره سلولی باکتری‌ها بسیار اهمیت دارد زیرا می‌تواند به عنوان یک مانع مقاوم به برخی از ذرات و سایر سلول‌ها عمل کند یا می‌تواند به عنوان 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

¹ Peptidoglycan

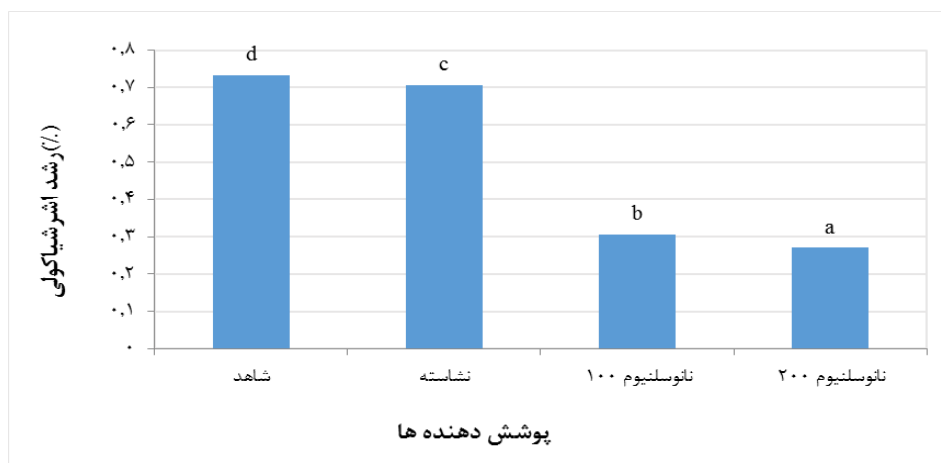
² Lipopolysaccharide

بنابراین، اشیریشیاکولی 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.

به ذرات نانومتری حساس هستند [۲۴]. در باکتری‌های گرم مثبت، دیواره سلولی غنی از مولکول موکوپتید است. در حالی که در باکتری‌های گرم منفی دیواره سلولی فقط حاوی یک‌لایه نازک از موکوپتید است و از لیپوپروتئین‌ها و پلی ساکاریدهای لیپوپروتئین تشکیل شده است؛



شکل ۴- تأثیر پوشش‌دهنده‌ها بر کاهش رشد باکتری استافیلوکوکوس اورئوس



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

می‌دهد، ضخامت کاغذ کاهش و دانسیته آن در گراماژ ثابت افزایش می‌یابد [۱۲]. در نتیجه، 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 با ضخامت کمتر به دلیل فشرده و متراکم شدن و اتصال بیشتر بین الیاف، خواص مقاومتی

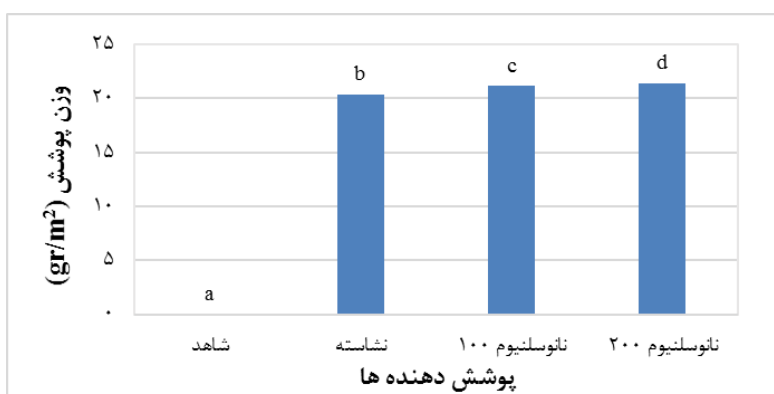
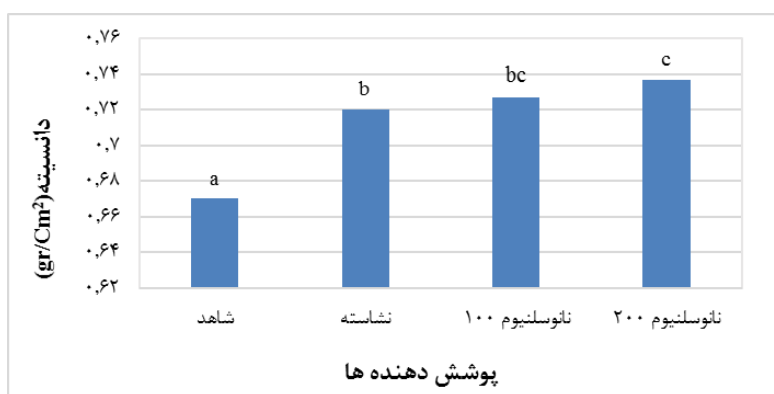
اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی کاغذ

دانسیته، ضخامت کاغذ و وزن پوشش‌ها

دانسیته به‌عنوان تابعی از گراماژ و ضخامت تعریف می‌گردد. به‌طور کلی با افزایش آب‌دوستی، تورم و انعطاف‌پذیری الیاف که در اثر پالایش یا جذب پلی الکترولیت‌های آب‌دوست (همچون نشاسته کاتیونی) روی

در بافت کاغذ، می باشد و این افزایش از نظر آماری در سطح اطمینان ۰/۰۵ درصد معنی دار نمی باشد. همچنین مشاهده می گردد، پوشش دهی موجب افزایش ضخامت کاغذ شده است و نانو ذرات تأثیر معنی داری بر ضخامت کاغذهای پوشش داده شده نداشته و در گروه بندی دانکن، در یک گروه قرار گرفتند که می تواند 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 به طور قابل ملاحظه ای به وسیله مواد افزودنی مقاومت خشک، نظیر نشاسته کاتیونی قابل افزایش می یابد [۲۹].

بهتری خواهند داشت. دانسیته ظاهری کاغذ نیز از جمله خواص فیزیکی کاغذ است که خواص مقاومتی آن را تحت تأثیر قرار می دهد. دانسیته ظاهری کاغذ به صورت نسبت وزن پایه به ضخامت آن محاسبه می شود [۲۸]. شکل ۶ تأثیر پوشش دهنده ها بر خصوصیات فیزیکی کاغذ شامل دانسیته، وزن پوشش ها و ضخامت کاغذ را نشان می دهند. همانطور که در شکل ها نمایان است دانسیته و وزن پوشش ها به مقدار جزئی در نمونه های پوشش داده شده با نانوذرات بیشتر از کاغذ بدون پوشش می باشد که به علت ماندگاری نانوذرات در کاغذ و پر کردن خلل و فرج بیشتر



شکل ۶- تأثیر پوشش دهنده ها بر دانسیته، وزن پوشش ها و ضخامت کاغذ

نصیر و همکاران [۲۳] در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که به دلیل اندازه خیلی کوچک نانو ذرات، آن‌ها به آسانی می‌توانند فضاهای خالی ماتریس پوشش خلل و فرج دار را پر کنند؛ لذا پخش آسان آب یا رطوبت مشکل می‌شود، در نتیجه سبب کاهش خاصیت آب‌دوستی فیلم‌های نشاسته می‌شود. همچنین موارد مشابهی توسط Tunc و همکاران [۳۳] گزارش شده 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 مورد استفاده 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 طوری که مقدار آن در نمونه شاهد از $73/66 \text{ Sec}$ به مقدار $127/33 \text{ Sec}$ در نمونه‌های پوشش داده‌شده با نانو اکسید سلیسیم با غلظت 200 ppm رسیده است. فرآیند پوشش دهی سبب می‌شود تا حفرات موجود در ساختار کاغذ پر شوند و یک‌لایه یکنواخت بر روی سطح کاغذ تشکیل شود. از این رو، پوشش دهی سطح کاغذ به‌عنوان یک سد ممانعتی در مقابل عبور هوا محسوب می‌شود [۳۴]. در نتیجه نتایج نشان می‌دهد که نانوذرات توانسته‌اند به میزان بیشتری در منافذ سطحی کاغذ نفوذ کنند و در نتیجه مقاومت به عبور هوای کاغذ را به میزان بیشتری افزایش دهند. همچنین قابل ذکر است افزایش غلظت نیز موجب قرارگیری مقدار ماده پوشش دهی بیشتر در سطح و حفرات موجود در شبکه کاغذ شده و در نهایت افزایش مقاومت به عبور هوا را در پی داشت.

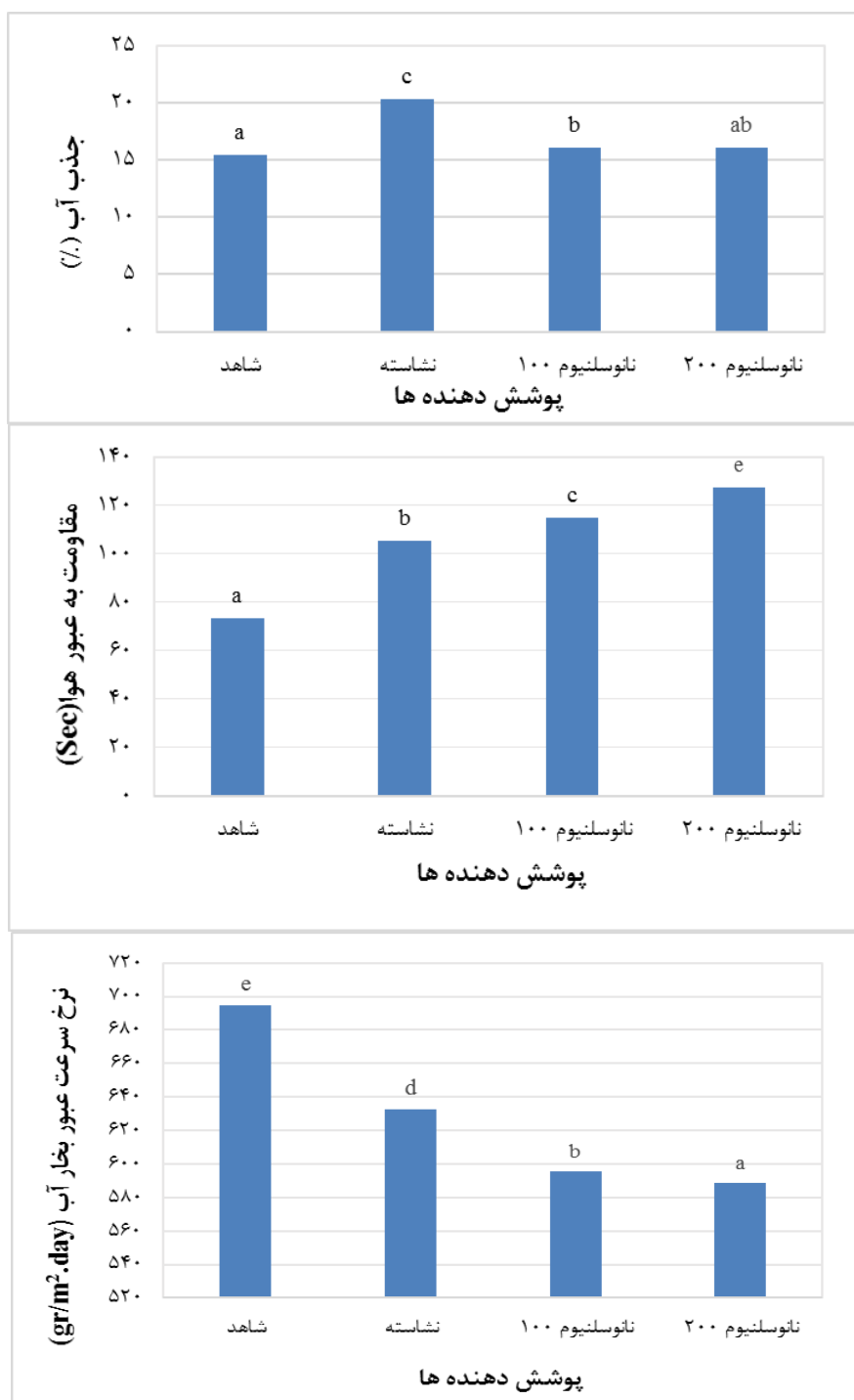
جذب آب، مقاومت به عبور هوا و نرخ سرعت عبور بخار آب (WVTR)

شکل ۷ تأثیر پوشش‌دهنده‌ها بر جذب آب، مقاومت به عبور هوا و نرخ سرعت عبور بخار آب کاغذ را نشان می‌دهد. جذب آب یکی از خواص ممانعتی کاغذهای پوشش دهی و آهاردهی شده محسوب می‌شود. به‌طور کلی 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 در نتیجه سطح ویژه بیشتر نسبت داد. این ذرات راحت‌تر در خلل و فرج موجود در بین الیاف قرار می‌گیرند در نتیجه با پر کردن خلل و فرج، باعث کاهش میزان جذب آب نسبت به ترکیب پوششی حاوی نشاسته در کاغذها شدند. همچنین شایان ذکر 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 در صورتی که این کاهش، تأثیر معنی‌داری بر خواص جذب آب نمونه‌ها نداشتند. پور

¹ Water Absorbition

² Resistance to Air

³ Water Vapor Transmission Rate



شکل ۷- تأثیر پوشش دهنده ها بر جذب آب، مقاومت به عبور هوا و نرخ سرعت عبور بخار آب کاغذ

سلولز ($C_6H_{10}O_5$) و تخلخل شبکه الیاف است که خواص بازدارندگی به بخار آب کاغذ را محدود می کند. همچنین بسته بندی کاغذی به سادگی آب را از محیط و غذا جذب می کند. انتقال رطوبت می تواند از طریق نفوذ بخار آب از میان فضاهای خالی و همچنین از طریق دیواره سلولی

محصولات کاغذی به طور گسترده در بسته بندی مواد غذایی و غیر غذایی کاربرد دارند. با وجود این، خواص ممانعتی ضعیف کاغذ از ضعف های مهم این ماده ارزشمند برای این نوع کاربردها محسوب می شود [۳۵]. ماهیت آب دوست سلولز به دلیل گروه های OH در واحدهای پایه

نامناسب) باعث کاهش آن خواهد شد. شاخص ترکیدن از جمله 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 افزایش یافته و در نتیجه مقاومت به ترکیدن نیز افزایش می‌یابد.

شکل ۸ تغییرات ایجاد شده در شاخص مقاومت به ترکیدگی و پارگی کاغذ را در نتیجه حضور پوشش‌دهنده‌ها با نانو ذرات سلنیوم در حضور کم نگهدارنده (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 $159/7 \text{ Pa/gr.m}^2$ به مقدار $188/64 \text{ Pa/gr.m}^2$ در کاغذ پوشش داده شده با نانوسلنیوم 200 ppm رسیده است. همچنین افزایش غلظت نانو ذرات نیز باعث افزایش ناچیز مقدار شاخص مقاومت به ترکیدگی شده است اما این تغییرات، از نظر آماری تأثیر معنی‌داری نیز نداشته است. البته نقش نشاسته نیز در افزایش ویژگی‌های مقاومتی کاغذها قابل توجه می‌باشد. با توجه به کوچک بودن ابعاد نانوذرات در نتیجه، 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. از این رو، 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. در نتیجه 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

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

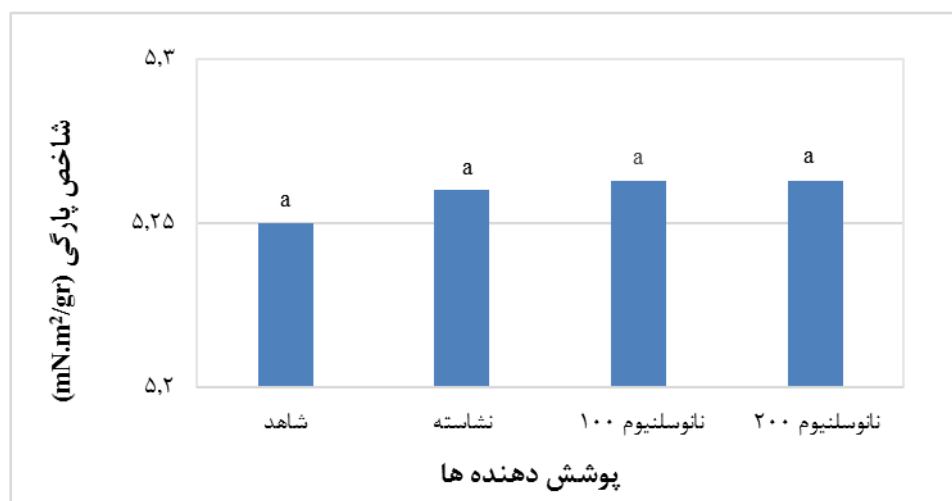
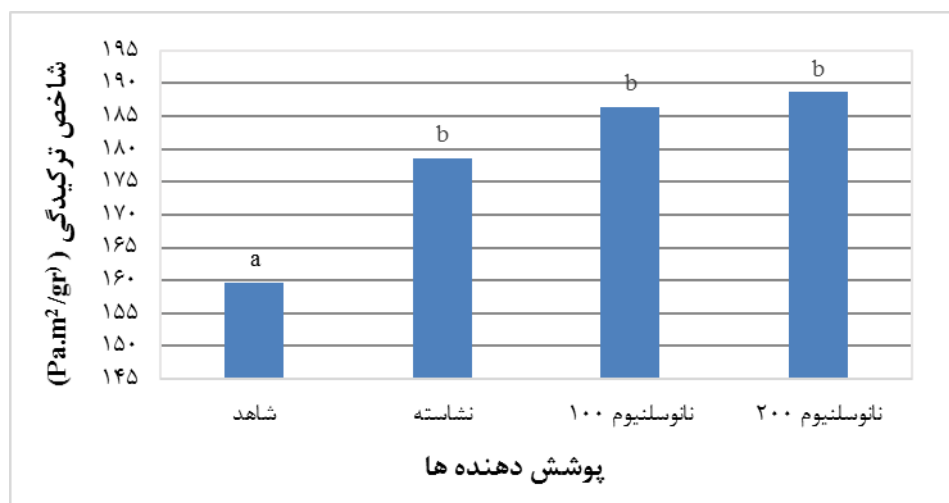
تغییرات اثر پوشش دهی کاغذ با نشاسته و نانو ذرات سلنیوم در غلظت‌های مختلف بر نرخ سرعت عبور بخار آب در کاغذ در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که استفاده از پوشش‌دهنده‌ها تأثیر معنی‌داری بر کاهش میزان سرعت عبور بخار آب در کاغذ داشته است به طوریکه مقدار آن $577/11 \text{ gr/m}^2.\text{day}$ در نمونه‌های پوشش داده شده با نانو سلنیوم 200 ppm 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 بخار آب 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 زنجیره‌های نشاسته ایجاد می‌کنند، لذا نانوذرات با کاهش حفرات خالی و کاهش تحرک زنجیره‌های بیوپلیمر و افزایش برهم‌کنش‌ها با زنجیره‌های بیوپلیمر، از طریق ایجاد برهم‌کنش الکترواستاتیک باعث کاهش نفوذپذیری نسبت به بخار آب پوشش‌های بیوپلیمری نشاسته می‌شوند. همچنین طبق نظر Thellen و همکاران [۳۹] هنگامی که 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 در واقع مقاومت کاغذ در برابر تغییر شکل به وسیله 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

این ذرات را به عنوان دلیل عدم افت این ویژگی‌ها بیان نمود. چراکه ابعاد ریز این ذرات و در نتیجه قابلیت اندک آن‌ها در ایجاد فاصله فیزیکی بین میکروفیبریل‌های الیاف، تأثیر کمی بر کاهش سطح نسبی پیوند (RBA) و در نهایت کاهش مقاومت‌های کاغذ داشته است [۱].

پوشش داده شده 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 یک سو مقادیر کم مصرف نانو ذرات و از سوی دیگر ابعاد نانومتری



شکل ۸- میزان شاخص ترکیبگی و مقاومت به پارگی در کاغذهای پوشش داده شده و بدون پوشش

دانسیتته، ضخامت کاغذ، وزن پوشش کاغذ، مقاومت به عبور هوا، نرخ سرعت عبور بخار آب 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

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر نانو سلنیوم به عنوان یک عامل آنتی‌باکتریال طبیعی و سازگار با محیط‌زیست و با حداقل اثر سوء در بدن انسان به همراه نشاسته به صورت پوشش در سطح کاغذ، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اثرات این مواد بر روی برخی از ویژگی‌های فیزیکی کاغذ نظیر

شبکه کاغذ شده و در نهایت 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 بخار آب بین نمونه‌های کاغذ پوشش داده‌شده در غلظت‌های مختلف مشاهده نگردید. با توجه به کوچک بودن ابعاد نانو ذرات در نتیجه، 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.

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) افزایش یافته 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 در نتیجه سطح ویژه بیشتر نسبت داد. این ذرات راحت‌تر در خلل و فرج موجود در بین الیاف قرار می‌گیرند و از این رو 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

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 Kovichich, 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, T.J., 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

- [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. *Carbohydr 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., Banoe, 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 Two -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., Peyghambari, J., Peyghambari, 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 Property. *Lignocellulose* 3(1):3-14.
- [25] Tassou, C.C., Nychas, G.J., 1995. Antimicrobial activity of the essential oil of mastic gum 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.

- [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.

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 Firoozabadi²

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