



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و چهارم، شماره دوم، ۱۳۹۶

<http://jwfst.gau.ac.ir>

بررسی ویژگی‌های فیزیکی، نوری و بیولوژیکی کاغذ اسکناس ضدباکتری حاوی نانوقره

* امید یزدانی آق‌مشهدی^۱، قاسم اسدپوراتویی^۲، اسماعیل رسولی گرمارودی^۳ و رضا ایمانی^۴

^۱ دانشجوی دکتری صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، استادیار گروه مهندسی چوب و کاغذ،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ^۲ استادیار گروه مهندسی فن‌آوری تولید سلولز و کاغذ، دانشگاه شهید بهشتی،

زیراب، سوادکوه، ^۳ دانش‌آموخته مقطع دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۱

چکیده

سابقه و هدف: هدف از این تحقیق تولید کاغذ اسکناس ضدباکتری با استفاده از نانو ذرات نقره می‌باشد. اسکناس از گذشته جزء لاینفک مبادلات تجاری بوده است. در ایران حدود هشت میلیارد برگ اسکناس وجود دارد که در یک دوره ۵ ساله در چرخش است این حجم زیاد اسکناس و دست به‌دست شدن متوالی آن، باعث انتقال عوامل بیماری‌زای زیادی می‌گردد، به طوری که طبق تحقیقات علمی ثابت شده اسکناس قطعاً آلوده است و باید آن را یک خطر بالقوه در جامعه دانست. در خصوص ضد باکتری کردن کاغذ، تحقیقی بر روی دو نوع ماده کیتوزان و نانو ذرات نقره جهت تولید کاغذ ماسک انجام و نانو ذرات نقره را به‌عنوان بار منفی و ذرات کیتوزان را به‌عنوان بار مثبت به‌صورت لایه‌ای (LbL) روی الیاف نشانند. بررسی‌ها نشان داد با افزایش تعداد لایه‌ها، خاصیت ضدباکتری کاغذ نیز افزایش می‌یابد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق جهت تولید کاغذ اسکناس ضد باکتری از خمیر کاغذ آزمایشگاهی حاصل از الیاف پنبه داخلی استفاده شد. برای تهیه خمیر کاغذ فوق‌الذکر، الیاف پنبه با کمک دستگاه دفیراتور آزمایشگاهی به درجه روانی اولیه حدود 12°SR رسانیده شد. سپس خمیر کاغذ حاصله با استفاده از پروکسید هیدروژن با شرایط دمایی 120°C درجه سانتی‌گراد و pH حدود ۱۱ در مدت ۱۲۰ دقیقه رنگبری گردیده و پس از پالایش آن تا درجه روانی 34°SR به‌منظور افزودن مواد افزودنی به درصد خشکی $3/1$ درصد و pH خنثی رسانیده شد. ماده ضدباکتری نانو نقره با مقادیر مصرف ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ ppm، بر اساس وزن خشک خمیر، به‌همراه میزان $0/3$ درصد پلی‌آکریل‌آمید کاتیونی (C-PAM) به‌عنوان کمک نگهدارنده استفاده گردید. پس از آن از خمیرهای فوق‌الذکر، کاغذهای دست‌ساز استاندارد ۹۰ گرمی ساخته شده و از نظر خصوصیات فیزیکی و نوری با کاغذ دست‌ساز نمونه شاهد مقایسه شد. برای آزمون بیولوژیکی کاغذها از روش اندازه‌گیری هاله عدم رشد دو باکتری استافیلوکوکوس اورئوس و اشیرشیاکلی به‌عنوان دو باکتری شاخص در آزمون‌های بیولوژیکی استفاده شد.

*مسئول مکاتبه: omidyazdani29@yahoo.com

یافته‌ها: نتایج نشان داد با افزایش سطح نانو نقره میزان خاکستر، صافی سطح و ماتی کاغذ افزایش و روشنی آن کاهش یافته و در مقابل در آزمون موم کثی و حجیمی بی‌تأثیر بوده است. در خصوص آزمون بیولوژیکی، نتایج نشان داد با مصرف بیشتر نانو نقره خصوصیات ضدباکتری کاغذ و هاله عدم رشد بیشتر می‌گردد.

نتیجه‌گیری: با در نظر گرفتن کلیه نتایج میزان مصرف ۲۵ ppm به‌عنوان میزان مصرف بهینه تعیین گردید. در میزان مصرف ۲۵ ppm فاکتورهای فیزیکی کاغذ و شرایط نوری بسیار نزدیک به کاغذ شاهد می‌باشد و هم چنین خاصیت ضدباکتریایی نیز قابل قبول است. قابل ذکر آن‌که با افزودن نانو نقره در خمیر کاغذ با میزان کمتر و افزایش پالایش خمیر کاغذ اسکناس، می‌توان هم خاصیت ضد باکتری به کاغذ داد و هم مقاومت‌های کاغذ را در حد قابل قبولی حفظ نمود.

واژه‌های کلیدی: نانو نقره، کاغذ ضدباکتری، پلی‌آکریل آمید کاتیونی، اسکناس، هاله عدم رشد

مقدمه

میکروب‌ها به‌صورت انگل، قارچ، باکتری و حتی انواع مواد مخدر می‌باشند. به علاوه خون‌های خشک شده آلوده به هپاتیت و ایدز هم روی اسکناس‌ها مشاهده شده است (۴). در تحقیقی که در خصوص بررسی آلودگی قارچی اسکناس‌های متعلق به افراد درماتوفیتوزیس^۱ (عفونت‌های قارچی جلدی) در دانشگاه علوم پزشکی ایران انجام شده است تعداد ۶ مورد درماتوفیت^۲ از کشت ۴۰۰ قطعه اسکناس که از بیماران کچلی گرفته شده بود به‌دست آمد. نتایج این بررسی نشان داد از آنجایی‌که برخلاف وسایل شخصی مبتلایان به کچلی که اغلب با اکراه مورد مصرف قرار می‌گیرد، معمولاً حساسیتی به اخذ پول از این بیماران وجود ندارد و پول بیمار مبتلا به کچلی می‌تواند به عامل کچلی آلوده شود و به‌این ترتیب وسیله‌ای برای انتقال آلودگی به افراد سالم باشد (۵). در تحقیقات دیگری ثابت شده ۴۶ درصد از انواع اسکناس‌های ایران آلوده به باکتری گرم مثبت^۳ و ۵۴ درصد دارای آلودگی گرم منفی بوده‌اند یعنی ۱۰۰

در طی سال‌ها و به مرور زمان اسکناس، به‌جزء لاینفک معاملات تجاری تبدیل شده است. در ایران حدود ۸ میلیارد قطعه اسکناس در جریان است که در یک دوره ۵ تا ۷ ساله در جامعه بین افراد با مشاغل مختلف در چرخش هستند (۱). اسکناس یا پول کاغذی مزایای زیادی دارد ولی متأسفانه در چرخش بودن و دست‌به‌دست شدن متوالی اسکناس باعث انتقال عوامل بیماری‌زای زیادی در جامعه می‌شود به‌طوری‌که می‌توان یکی از مهمترین و شاید کم نظیرترین عوامل انتقال دهنده بیماری‌های عفونی و انگلی در جامعه را اسکناس دانست (۲). با نگاهی به اطراف و دیدن مشاغل گوناگون می‌توان به‌این نتیجه رسید که اسکناس واقعا آلوده است به‌طوری‌که از رفتگران شهرداری، خدمتکاران و پرستاران بخش‌های عفونی گرفته تا کسانی که خرید و فروش ضایعات انجام می‌دهند با اسکناس سرو کار دارند لذا با رد و بدل کردن پول، آلودگی را نیز انتقال می‌دهند (۳). جهت بررسی میزان واقعی بار میکروبی اسکناس‌ها تحقیقات زیادی در ایران و دیگر کشورها صورت گرفته است به‌طوری‌که نتایج بررسی‌های آزمایشگاهی روی اسکناس‌ها نشان می‌دهد که این

- 1- Dermatophytosis
- 2- Dermatophyte
- 3- Gram positive
- 4- Gram negative

آسیب به بافت روده شده و منجر به ایجاد اسهال خونی می‌گردند (۹).

در حال حاضر و در راستای مبارزه با عوامل بیماری‌زای فوق‌الذکر، استفاده از نانو ساختارها بسیار فراگیر شده و مزایای زیادی هم در رابطه با استفاده از ذرات آلی و غیر آلی به دست آمده است. این امر از اینجا ناشی می‌شود که آنتی‌بیوتیک‌ها، تنها تعداد بسیار کمی از عوامل مسبب بیماری‌ها را از بین می‌برند در حالی که با استفاده از نانو ذرات فلزی می‌توان طیف وسیعی از باکتری‌ها را از بین برد (۱۰). عوامل ضدباکتری که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل مواد آلی و مواد غیر آلی هستند. مواد ضد باکتری آلی در طی سالیان طولانی به‌عنوان حشره‌کش‌ها و باکتری‌کش‌ها استفاده می‌شوند که متأسفانه حرارت بالا در مراحل صنعتی، خواص ضدباکتری آن‌ها را کاهش می‌دهد. عوامل ضدباکتری غیر آلی مانند نانو نقره دارای مقاومت باکتریایی و ثبات دمایی بسیار بالایی هستند و مطابق تحقیقات به دست آمده محلول نانونقره بسیاری از گونه‌های باکتری‌های شناخته شده و حتی ویروس HIV را از بین برده است (۱۱). ذرات نانو نقره از طریق بستن راه‌های تنفس و متابولیسم و تولیدمثل میکروارگانیسم، باعث از بین رفتن آن‌ها می‌شوند (۱۲). از همین رو استفاده از ترکیبات نانو نقره رو به گسترش می‌باشد. در خصوص ضد باکتری کردن کاغذ، تحقیقی بر روی دو نوع ماده کیتوزان و نانو ذرات نقره جهت تولید کاغذ فیلتر انجام شد و نانو ذرات نقره را به‌عنوان بار منفی و ذرات کیتوزان را به‌عنوان بار مثبت به‌صورت لایه‌ای (LbL) روی الیاف نشانندند. در این تحقیق نشان داده شد با افزایش تعداد لایه‌ها خاصیت ضدباکتریایی بیشتر می‌گردد، به طوری که در لایه هشتم از مواد مذکور رشد باکتری‌ها که به‌صورت تست کدوری اندازه‌گیری می‌شد به صفر رسید.

درصد اسکناس‌های ایران آلوده به باکتری‌های روده‌ای هستند و هم‌چنین تمیز بودن اسکناس دلیلی بر عاری بودن آن از باکتری نیست (۶). در سایر کشورها نیز در این خصوص تحقیقات زیادی صورت پذیرفته است به‌طوری‌که تحقیقات در کشور آمریکا نشان داد که در ۱۳ درصد سکه‌ها و ۴۲ درصد اسکناس‌های کاغذی جمع‌آوری شده، باکتری استافیلوکوکوس گرم مثبت و اشیرشیاکلی گرم منفی وجود دارد (۴). تحقیقاتی که در دانشگاه کالیفرنیا بر روی ۱۱۳ نمونه از اسکناس‌های رایج صورت پذیرفت نشان داد که اکثر اسکناس‌های مورد مطالعه، آلودگی میکروبی به اشیرشیاکلی و استافیلوکوکوس داشته‌اند (۲). نتایج تحقیقات در خصوص آلودگی اسکناس در کشور میانمار نیز نتایج مشابهی داشته است (۷). هم‌چنین در کشور مصر حدود ۶۵ درصد اسکناس‌ها به باکتری‌های روده‌ای استافیلوکوکوس و اشیرشیاکلی آلودگی دارند (۲).

از نتایج پژوهش‌های صورت گرفته مشخص است دو باکتری استافیلوکوکوس و اشیرشیاکلی دو عامل اساسی در بار میکروبی اسکناس‌ها هستند. باکتری استافیلوکوکوس اورئوس، کوکسی گرم مثبت و بی‌هوازی است و در زیر میکروسکوپ به شکل خوشه‌ای می‌باشد. این باکتری گستره وسیعی از عفونت‌های ساده پوستی (جوشدانه، گل مژه، آبسه) تا بیماری‌های تهدید کننده زندگی مانند (پنومونی، مننژیت، اندوکارتیت) را ایجاد می‌کند. هر ساله در آمریکا ۵۰۰ هزار نفر در بیمارستان‌های این کشور به‌علت عفونت‌های این باکتری بستری می‌شوند (۸). باکتری دیگر باکتری اشیرشیاکلی نوعی باسیل گرم منفی می‌باشد و یکی از متنوع‌ترین گونه‌های باکتریایی است. برخی از گونه‌های این باکتری با تولید سم‌هایی باعث مسمومیت غذایی می‌شوند و برخی دیگر عامل

غلظت محلول Gma-ida، نقره بیشتری جذب الیاف شدند. گفتنی است در این تحقیق نانونقره با اندازه ۷۵ نانومتر عملکرد بهتری داشت (۱۵).

با ظهور عوامل بیماری‌زای مقاوم در برابر داروها و آنتی‌بیوتیک‌ها، درمان بسیاری از بیماری‌های عفونی دشوارتر گردیده و توسعه مقاومت باکتری‌ها به آنتی‌بیوتیک‌ها به صورت یک مشکل جدی در سلامت عمومی جوامع تبدیل شده است. طی بررسی و مطالعات انجام شده، محقق گردید که علی‌رغم این‌که بسیاری از بیماری‌های واگیردار می‌توانند از طریق تماس با اشیاء بی‌جان از جمله اسکناس منتقل شوند ولی تاکنون تحقیقی در خصوص تولید کاغذ اسکناس ضد باکتری گزارش نشده است و منابع مربوط به این موضوع بسیار محدود است. لذا تحقیق حاضر که ماده نانو نقره را، به دلیل خواصی از قبیل ویژگی‌های ضد باکتری، سمی نبودن و سازگاری با محیط زیست به‌عنوان عامل ضد باکتریایی در کاغذ اسکناس مورد بررسی قرار داده، می‌تواند در نوع خود منحصر به فرد بوده و از جذابیت‌های مطلوبی برخوردار باشد.

مواد و روش‌ها

خمیر کاغذ مورد استفاده در این تحقیق از پنبه داخلی (*G.hirsutum*) تهیه شد. برای تهیه خمیر کاغذ ابتدا پنبه را با قیچی به ابعاد حدود ۲ سانتی‌متر بریده و سپس طی سه مرحله با دستگاه دفیبراتور آزمایشگاهی به درجه روانی حدود 12°SR رسانیده شد. سپس با استفاده از پروکسید هیدروژن با غلظت ۵۰ درصد به مقدار ۴/۵ درصد وزن خشک خمیر و سیلیکات سدیم به مقدار ۱/۵ درصد وزن خشک خمیر و در PH قلیایی حدود ۱۱، که به‌وسیله سود ایجاد شد، در زمان ۱۲۰ دقیقه اقدام به رنگبری پنبه فوق‌الذکر گردید. در پایان با کمک دستگاه پالایشگر آزمایشگاهی خمیری با درجه روانی 34°SR تهیه

همچنین خاصیت ضدباکتری کاغذها علیه پنج نوع باکتری ارزیابی شده که اثر ماده ضدباکتری بر روی باکتری‌های مختلف متفاوت بود. در این تحقیق کیتوزان اثر بهتری روی باکتری باسیلوس سوبتیلیس از خود نشان داده و در مقابل، نانو ذره نقره علیه استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکلی مؤثرتر بود (۱۳). نویسن نقش (۲۰۱۳) نانو نقره را با غلظت‌های ۴۰۰، ۳۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ppm بر روی دیسک‌هایی، تلقیح نمود و در محیط کشت مغذی آگار قرار داد. با تنظیم میزان باکتری مطابق با غلظت استاندارد، در روزهای اول، دوم و ششم قطر هاله‌های عدم رشد بررسی گردیده و نتایج به این صورت اعلام شد که در روز اول بعد از تیمار و در غلظت ppm ۴۰۰، میانگین قطر هاله‌ها $2/3 \pm 0/43$ mm و در روز دوم بعد از تیمار و در غلظت ppm ۴۰۰ میانگین قطر هاله‌ها $2/48 \pm 0/39$ mm بود که از نظر آماری در مقایسه با گروه‌های شاهد افزایش معنی‌داری داشتند ولی قطر هاله‌های عدم رشد باکتری‌ها در روز دوم با روز اول معنی‌دار نبود. به‌طور کلی ایشان بیان داشتند که تأثیرات مهاری نانو نقره بر روی باکتری، ۳ روز بعد از تیمار در غلظت ppm ۴۰۰-۱۰۰ متناسب با غلظت مصرف آن افزایش می‌یابد ولی در غلظت ppm ۴۰۰ تفاوت معنی‌داری با ۵۰۰ مشاهده نشد (۱۴).

در تحقیق دیگری جهت اتصال بیشتر ذرات نقره به الیاف و عملکرد بهتر آن، در پیش تیمار الیاف با مونومر کی لیت ساز Gma-ida^۱ ترکیب CF-GI^۲ تولید شد که باعث اتصال بیشتر ذرات نانو نقره به الیاف گردیده که این امر باعث می‌شود خاصیت ضدباکتری بیشتری از خود بروز دهند. با افزایش

- 1- Glycidyl methacrylate-iminodiacetic acid
- 2- Cotton Fiber- Glycidyl methacrylate-iminodiacetic acid

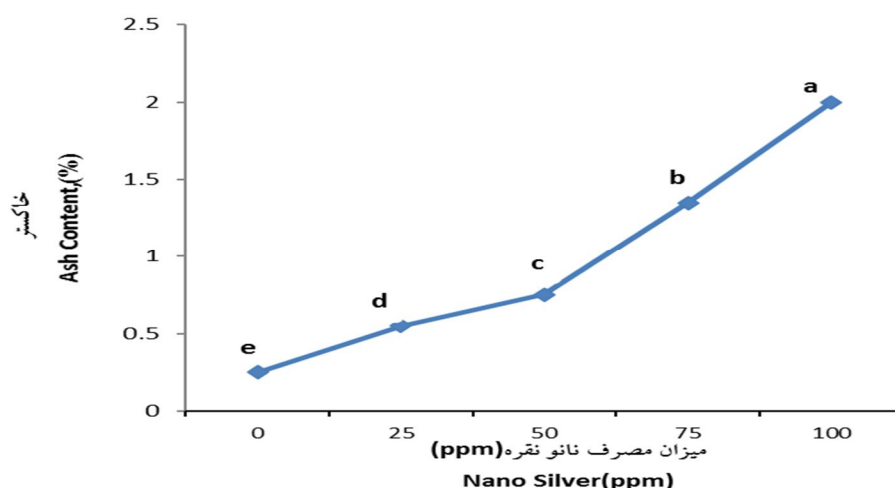
روش خطی اضافه گردید. پلیت‌های تهیه شده با نوار مخصوصی از جنس پارافین پوشانیده شده و به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته سپس به وسیله میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی ۴X ابعاد هاله عدم رشد باکتری‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین جهت اثبات نشست نانو نقره بر روی الیاف از میکروسکوپ الکترونی دستگاه مدل EM3200 ساخت کشور چین استفاده گردید.

طرح آماری: طرح آماری مورد استفاده در این تحقیق از نوع کاملاً تصادفی بوده و نتایج حاصل از ارزیابی کلیه ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز تهیه شده از تیمارهای مختلف بر اساس آزمون تجزیه واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. برای کلیه آنالیزها از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید.

نتایج و بحث

میزان خاکستر: میزان خاکستر کاغذهای دست‌ساز در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مذکور مشاهده می‌شود میزان خاکستر کاغذهای دست‌ساز با افزایش میزان نانو نقره افزایش محسوسی داشته است. نتایج تجزیه واریانس نیز حاکی از آن است که اثر افزایش استفاده از نانو نقره بر خاکستر در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری است.

شده و برای افزودن مواد افزودنی به درصد خشکی ۳/۱ درصد و pH خنثی رسانیده شد. نانو نقره مورد استفاده با اندازه متوسط ذرات ۵۰ نانومتر با غلظت ۴۰۰۰ ppm به رنگ قهوه‌ای روشن از شرکت رنگدانه شریف ساخت کشور ایران مورد استفاده قرار گرفت. همچنین پلی‌اکریل آمید کاتیونی^۱ با بار کاتیونی متوسط و وزن ملکولی زیاد با نام تجاری Farinret K325 ساخت شرکت Degussa آلمان به‌عنوان کمک نگهدارنده جهت نشست بهتر نانو نقره روی الیاف استفاده شد. در این راستا و به‌منظور تشخیص اثر ضد باکتری بودن نانو نقره از دو باکتری اشیرشیا کلی گرم منفی ATCC: 25922 و استافیلو کوکوس گرم مثبت ATCC: 27853 استفاده گردید که این دو نوع باکتری از آزمایشگاه تشخیص طبی دکتر قهاری (بابلسر- ایران) تهیه شدند. جهت بررسی میکروسکوپی رشد باکتری‌ها از محیط کشت مغذی آگار استفاده گردید. برای آماده‌سازی، خمیر کاغذ به مدت ۱۵ دقیقه همزده شده تا کلوخه‌های آن باز شود و سپس درصد خشکی آن به ۰/۳ درصد کاهش داده شد تا مواد افزودنی به آن اضافه شود. برای نشان دادن نانو ذرات با بار منفی بر روی الیاف میزان ۰/۳ درصد پلی‌اکریل آمید کاتیونی با غلظت ۱ درصد بر اساس وزن خشک خمیر اضافه گردید. سپس میزان ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ ppm نانو ذرات نقره به خمیر اضافه کرده و از آن‌ها مطابق استاندارد ISO 5269/i:1999 کاغذهای دست‌ساز تهیه و بر اساس آئین‌نامه‌های مربوطه استاندارد مذکور مورد ارزیابی فیزیکی و نوری قرار گرفتند. جهت آزمون اندازه‌گیری هاله عدم رشد قطعات کاغذ تیمار شده و شاهد بر روی پلیت‌های حاوی محیط کشت جامد قرار داده شده و به میزان ۵ لانداز باکتری‌ها بر روی پلیت به



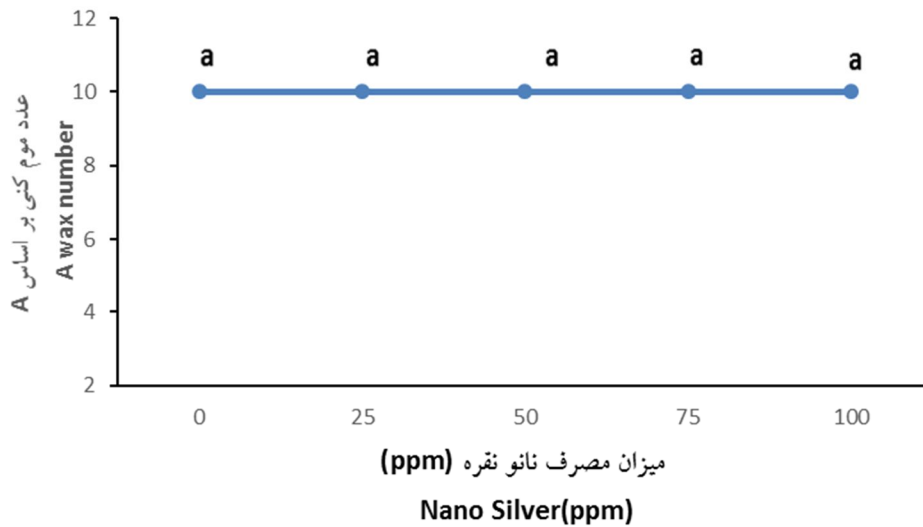
شکل ۱- تأثیر مقادیر مختلف مصرف ماده ضدباکتری نانو نقره بر میزان خاکستر کاغذ اسکناس.

Figure 1. Effect of nano-silver consumption level on the ash content of bank-note paper.

چاپ از کاغذ و زاویه جداشدن بستگی دارد (۱۷). مطابق با شکل ۲ میزان تست موم کنی عدد ثابتی هست و با افزایش میزان نانو نقره تغییری در میزان این تست اتفاق نمی‌افتد. لازم به ذکر است که یکی از رایج‌ترین روش‌ها جهت تعیین مقاومت کاغذ در جهت عمود بر سطح، تست wax (موم کنی) است که در این خصوص موم موردنظر که با قدرت چسبندگی ۲A تا ۲۶A شماره‌گذاری شده است بر سطح کاغذ چسبانیده شده و سپس کنده می‌شود به طوری که عدد بیشتر به معنای مقاومت بیشتر کاغذ در جهت عمود بر سطح آنست. در این تست شاخص wax در همه نمونه‌ها ثابت و در حد ۱۰A بوده است و از لحاظ آماری بین اعداد به دست آمده در اثر افزایش ماده کمک نگهدارنده و ذرات نانو نقره نسبت به نمونه شاهد که هیچ تیماری روی آن انجام نشده، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

وجود نانو نقره در ساختار کاغذ به علت معدنی بودن باعث افزایش میزان خاکستر می‌شود که این امر در اثر بدام افتادن این نانوذرات در بافت کاغذ ناشی از مصرف پلی‌اکریل‌امید کاتیونی رخ داده است. از آنجایی که پلی‌اکریل‌امید کاتیونی دارای گروه‌های آمینی است که می‌توانند به خوبی با الیاف پیوند برقرار نمایند به احتمال بسیار زیاد بخش قابل توجهی از نانوذرات آنیونی نقره بر اثر نیروی جاذبه الکتروستاتیک جذب پلی‌اکریل‌امید کاتیونی گردیده و بر روی الیاف تثبیت شده و بدین وسیله باعث افزایش میزان خاکستر کاغذ شوند (۱۶).

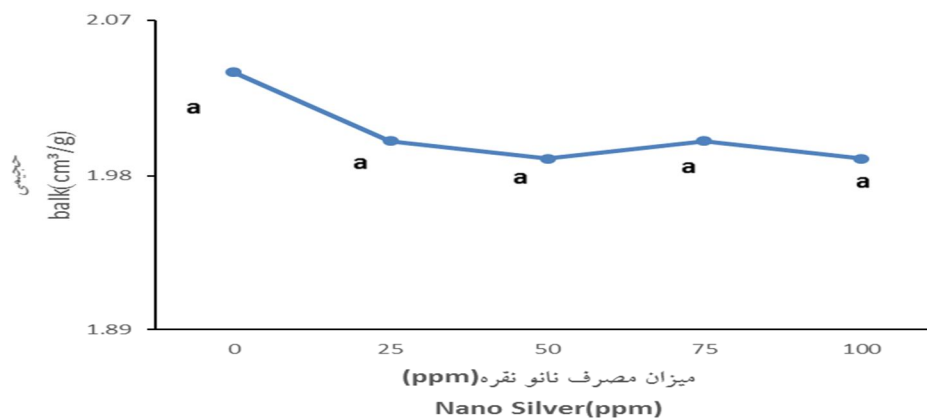
موم کنی: در بعضی کاغذها مانند کاغذ اسکناس و اوراق بهادار در هنگام چاپ افسست و برجسته بر روی کاغذ، فرایند جداسازی روکش یا ورقه فلزی چاپ از کاغذ تحت پرس، باعث ایجاد کششی در جهت عمود بر سطح ورقه می‌گردد. قدرت این کشش ایجاد شده به میزان چسبناکی جوهر، سرعت جدا شدن ورق



شکل ۲- تأثیر مقادیر مختلف مصرف ماده ضدباکتری نانو نقره بر موم کنی کاغذ اسکناس.
Figure 2. Effect of nano-silver consumption level on the wax number of bank-note paper.

از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا برای ایجاد واترمارک‌های مختلف در کاغذ، حجمی مناسب الزامی است. از این نظر باتوجه به این‌که مصرف نانو نقره در کاغذ تولید شده اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد ندارد لذا حجمی کاغذهای تولید شده می‌توانند قابل قبول باشند.

حجمی: همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است با افزایش نانو نقره حجمی کاغذهای دست‌ساز تا حدودی کاهش می‌یابد البته این میزان از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد. کاهش تقریبی حجمی می‌تواند به علت افزایش ماندگاری نرمه‌ها در بین الیاف باشد. در تولید کاغذ اسکناس ویژگی حجمی



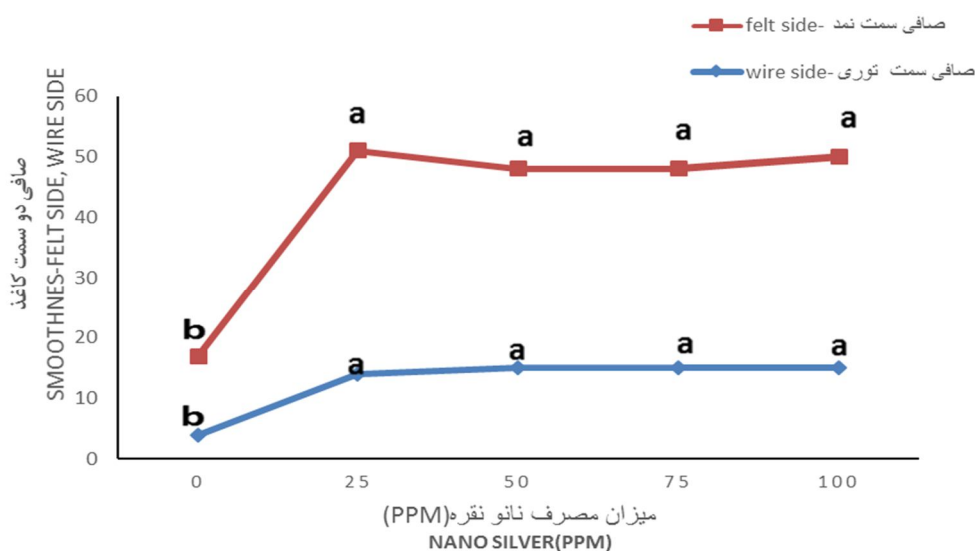
شکل ۳- تأثیر مقادیر مختلف مصرف ماده ضدباکتری نانو نقره بر حجمی کاغذ اسکناس.
Figure 3. The effect of nano-silver consumption level on the balk of bank-note paper.

و با توجه به این‌که هر دو سمت کاغذ اسکناس چاپ می‌شود اختلاف صافی دو سمت کاغذ باید حداقل باشد (۱۷). همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است

صافی: صافی سطح کاغذ یک خاصیت مهم برای کاغذهای چاپی از جمله اسکناس است که نیازمند کاغذهای صاف‌تری نسبت به دیگر فرایندها می‌باشند

در این تحقیق افزایش صافی کاغذهای دست‌ساز ناشی از اضافه کردن مواد پلی‌اکریل آمید و نانو نقره به‌علت جذب بیشتر نرمه‌ها و پر شدن لایه سطحی می‌باشد. با افزایش سطح میزان استفاده از نانو نقره این مقدار تقریباً ثابت است که می‌تواند تأثیر زیاد پلی‌اکریل آمید کاتیونی در خصوص جذب نرمه‌ها را نشان دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود سطح سمت نمد با افزایش نانو نقره افزایش قابل توجهی در مقایسه با سطح سمت توری داشته است.

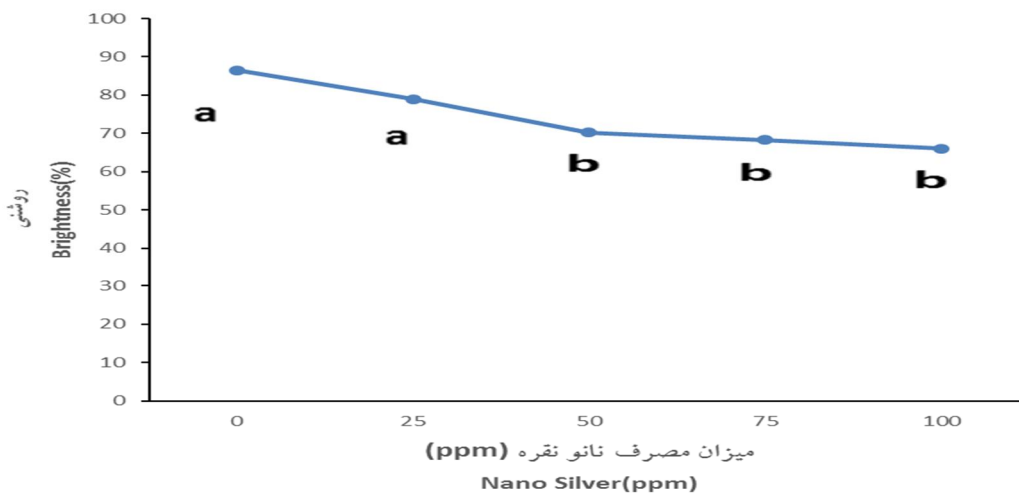
در مرحله اول صافی سطح کاغذ با اضافه کردن نانو نقره و پلی‌اکریل آمید افزایش محسوسی می‌یابد ولی با افزایش میزان نانو نقره تغییری در صافی سطح مشاهده نمی‌گردد. صافی سطح کاغذ توسط تعدادی از متغیرهای فرایندی و مواد اولیه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به‌طور کلی می‌توان گفت استفاده از الیاف کوچکتر و ریزتر موجب افزایش صافی می‌شود. افزودن رنگدانه‌های پرکننده و مواد افزودنی نیز همان کاربرد را تداعی می‌کند، زیرا این مواد فضاهای موجود بین الیاف را در سطح ورقه پر می‌کند (۱۷).



شکل ۴- تأثیر مقادیر مختلف مصرف نانو نقره و پلی‌اکریل آمید کاتیونی بر روی صافی کاغذ اسکناس.
Figure 4. Effect of nano-silver consumption level on the smoothness of paper bank-note.

روشنی شدیدتری رخ خواهد داد. رنگ نانو نقره مورد استفاده سوسپانسیونی به رنگ قهوه‌ای روشن بوده لذا با استفاده بیشتر از آن رنگ کاغذ به سمت قهوه‌ای روشن گرایش پیدا می‌کند. بنابراین با استفاده بیشتر از نانو نقره تغییر رنگ مشهودتر و کاهش روشنی بیشتر خواهد شد (۱۳).

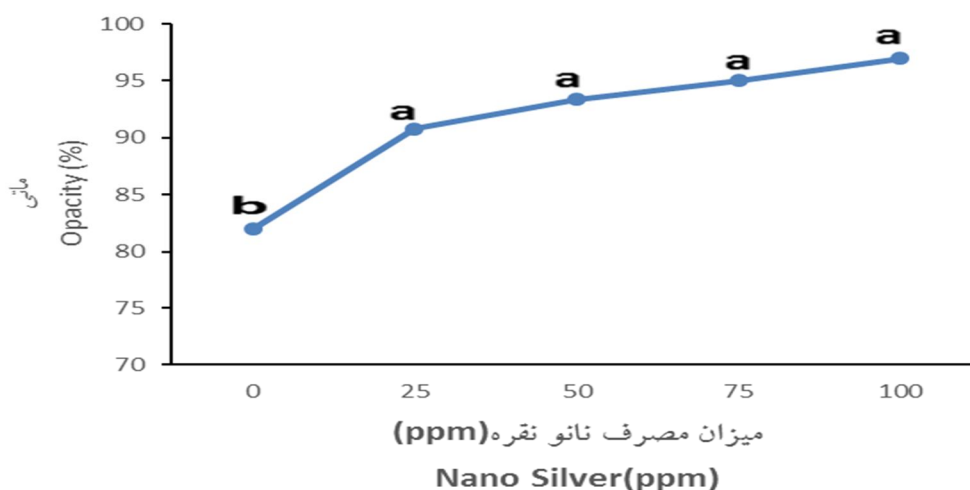
روشنی: با توجه به شکل ۵ با افزایش میزان نانو نقره با یک مقدار ثابت پلی‌اکریل آمید، روشنای کاغذ کاهش یافته است و رنگ کاغذ به سمت قهوه‌ای روشن گرایش پیدا کرده است. نانو نقره به لحاظ رنگ خاص خودش باعث تغییر رنگ کاغذ می‌گردد و با استفاده بیشتر از نانو نقره تغییر رنگ بیشتر و کاهش



شکل ۵- تأثیر مقادیر مختلف مصرف ماده ضدباکتری نانو نقره بر درجه روشنی کاغذ اسکناس.
Figure 5. Effect of nano-silver consumption level on the brightness of paper bank-note.

ماتی: طبق شکل ۶ ماتی با افزایش استفاده از نانو نقره در حضور میزان ثابت پلی اکریل آمید افزایش زیادی داشته است. لازم به ذکر است به دلیل این که نانو نقره مورد استفاده در کاغذ به رنگ قهوه‌ای روشن بوده لذا باعث افزایش معنی‌دار ماتی کاغذهای تولیدی گردیده است (۱۶ و ۱۷). این نتایج با یافته‌های ایمانی و همکاران (۲۰۱۱) که در خصوص تولید کاغذ فیلتر فعالیت کرده‌اند، مطابقت دارد (۱۳).

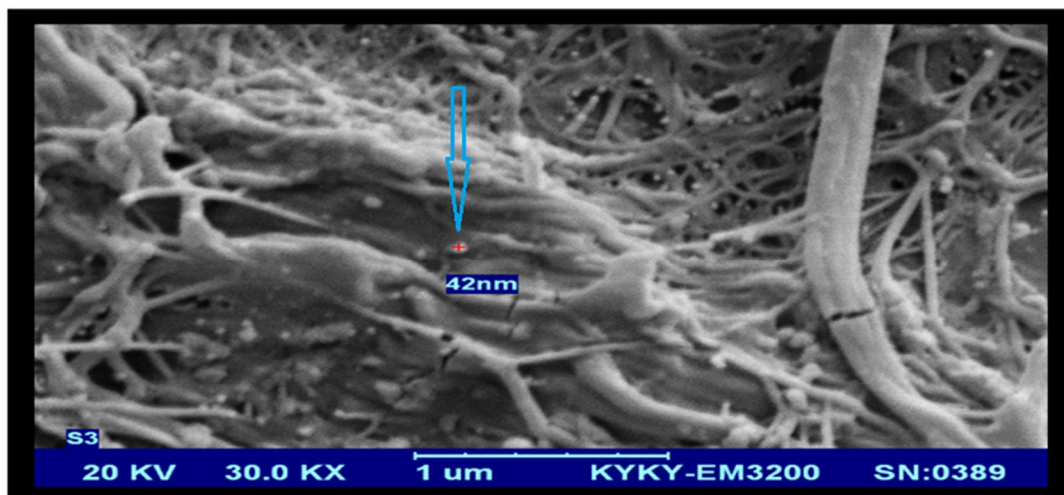
نتایج این تحقیق یافته‌های آقای منتظر و همکاران (۲۰۱۲) را مورد تأیید قرار می‌دهد. در آن تحقیق نانو نقره عملکرد مناسبی در خصوص کاهش رشد باکتری‌های *E.coli* و *S. aureos* داشت ولی سبب کاهش سفیدی ابریشم شده بود. با توجه به میزان روشنی لازم برای کاغذ اسکناس (حدود ۸۰ درصد)، میزان نانو نقره با ۲۵ ppm مناسب‌تر به نظر می‌رسد (۱۸).



شکل ۶- تأثیر مقادیر مختلف مصرف ماده ضدباکتری نانو نقره بر ماتی کاغذ اسکناس.
Figure 6. Effect of nano-silver consumption level on the opacity of bank-note paper.

شکل ۷ در تصویر با بزرگنمایی ۳۰۰۰۰ برابر، ذرات نانونقره بر سطح الیاف در کاغذهای ساخته شده مشاهده می‌شود. همچنین متوسط ابعاد ذرات آن در سطح الیاف حدود ۵۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید.

تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM): جهت بررسی نشست نانو ذرات نقره بر روی الیاف کاغذ و همچنین اندازه‌گیری ابعاد آن از تصویربرداری سطح کاغذ با میکروسکوپ الکترونی استفاده شد. مطابق با



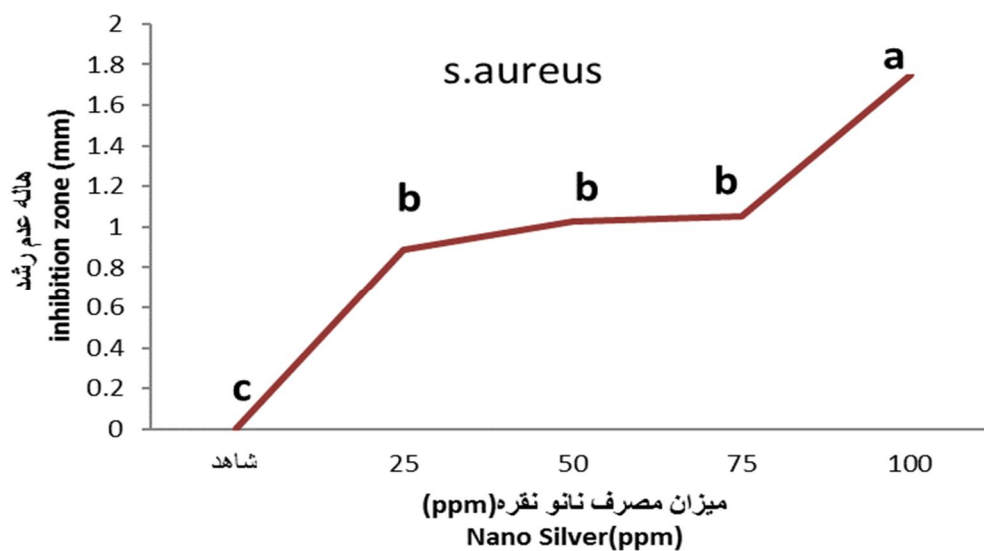
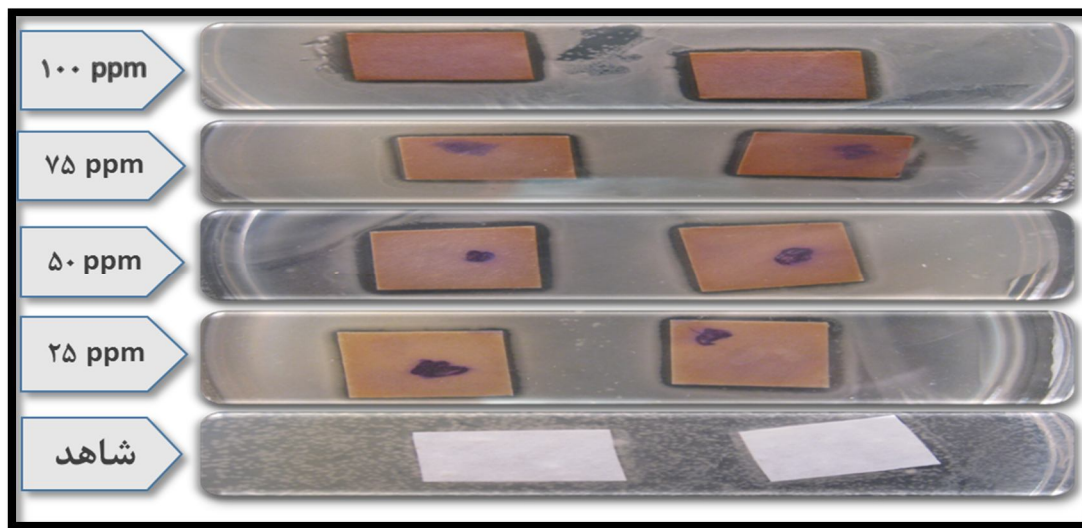
شکل ۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی ذرات نانو نقره بر روی الیاف با بزرگنمایی ۳۰۰۰۰ برابر.

Figure 7. SEM image of nano- silver particles on the fiber.

۸ آمده است. همان‌طور که از نتایج مشخص است با افزایش میزان نانو نقره هاله عدم رشد افزایش محسوسی می‌یابد این نتایج با یافته‌های آصفی‌پور و همکاران (۲۰۱۰) در خصوص ضدباکتری کردن الیاف پنبه با استفاده از نانو ذرات نقره مطابقت دارد (۱۹).

بررسی میکروسکوپی و اندازه‌گیری هاله عدم رشد باکتری‌ها

۱- اندازه‌گیری هاله عدم رشد باکتری استافیلوکوکوس (*S.aureus*): نتایج حاصل از اندازه‌گیری عدم رشد باکتری استافیلوکوکوس در شکل

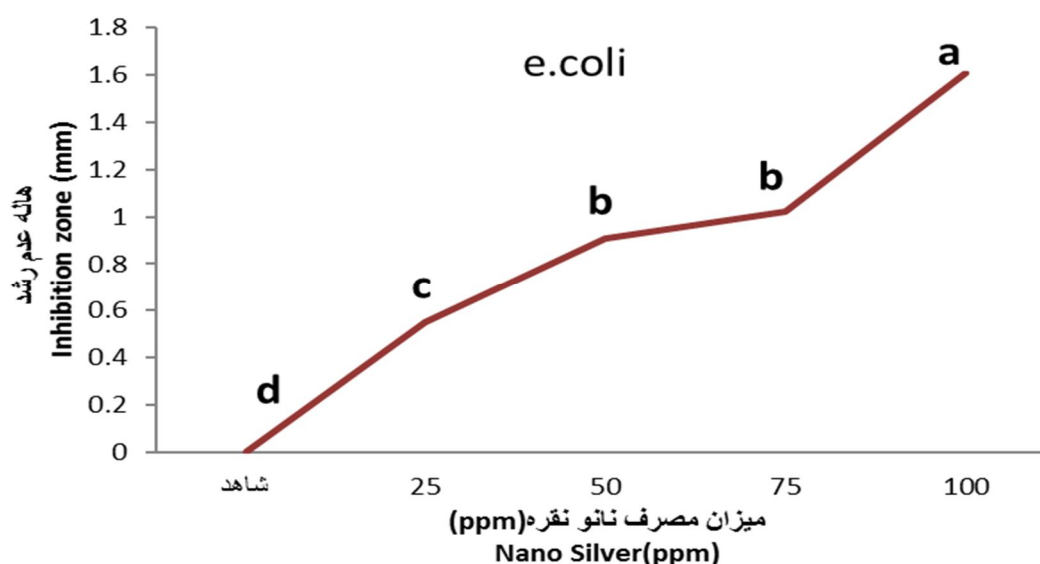
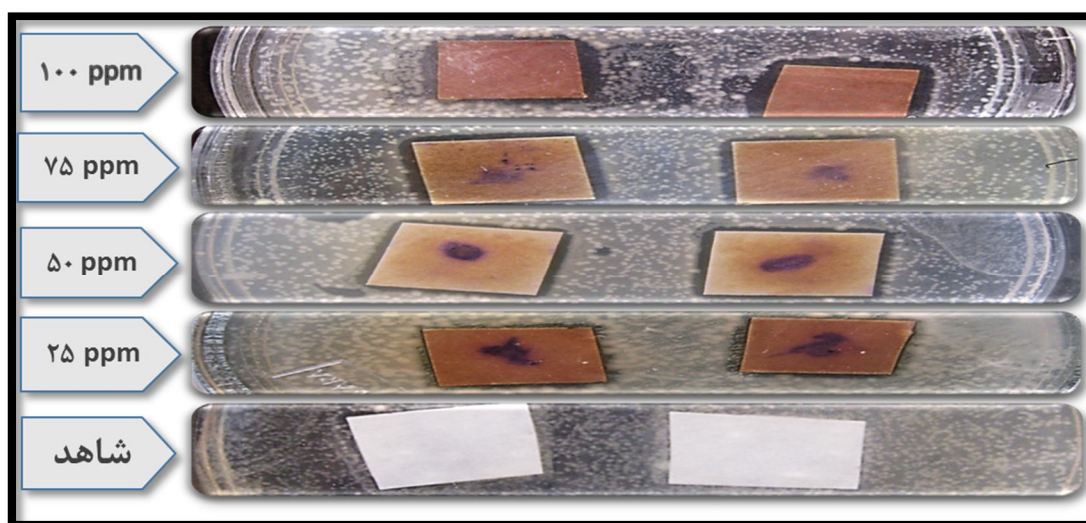


شکل ۸- تغییرات میزان هاله عدم رشد باکتری استافیلوکوکوس پیرامون کاغذ حاصل از تیمارهای مختلف نانو ذرات نقره.

Figure 8. Inhibition zone of Staphylococcus bacteria around the paper made from different treatments of silver nanoparticles.

نتایج تست اندازه‌گیری هاله این تحقیق با نتایج تحقیق نوشین نقش (۲۰۱۳) که در خصوص بررسی اثر نانو نقره بر رشد باکتری *E.coli* داشتند مطابقت دارد (۱۴).

۲. اندازه‌گیری هاله عدم رشد باکتری اشیرشیاکلی (*E.coli*): نتایج حاصل از اندازه‌گیری عدم رشد باکتری *E.coli* در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که از نتایج مشخص است با افزایش میزان نانو نقره هاله عدم رشد افزایش محسوسی می‌یابد.



شکل ۹- تغییرات میزان هاله عدم رشد باکتری اشرشیا کلی پیرامون کاغذ حاصل از تیمارهای مختلف نانو ذرات نقره.
Figure 9. Inhibition zone of E. coli bacteria around the paper made from different treatments of silver nanoparticles.

می‌باشد. یافته‌های حاضر با نتایج حاجی میرزا بابا (۲۰۱۲) که تحقیقاتی در زمینه اثر ضد میکروبی کفپوش نایلونی حاوی نانونقره انجام داد مطابقت دارد (۲۰). در این راستا تحقیقات انجام شده در خصوص مکانیسم واکنش و فعل و انفعالات نانو نقره با ماکرومولکول‌های بیولوژیکی، تشکیل هاله عدم رشد و همچنین دگرگون ساختن میکروارگانیسم به وسیله تبدیل پیوندهای SH پروتئین‌های موجود بر سطح سلول باکتری‌ها بوده است. این قبیل پروتئین‌ها از

با توجه به شکل ۸ و ۹ در مورد هر دو نوع باکتری اشرشیا کلی و استافیلوکوکوس، کاغذ تیمار شده با نانونقره نسبت به نمونه شاهد، مقاومت بسیار بالاتری نسبت به باکتری از خود نشان می‌دهد. طبق نتایج تحقیق حاضر با افزایش میزان نانو نقره هاله عدم رشد افزایش داشته است، به طوری که بیشترین هاله عدم رشد مربوط به میزان مصرف ۱۰۰ ppm بوده است. این امر نشان دهنده جذب بیشتر نانو نقره و در نتیجه افزایش اثر ضد میکروبی آن در کاغذ حاصله

نتیجه‌گیری

خواص حفاظتی نانو نقره در دهه اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده است و تأثیر آن در برابر عوامل بیولوژیک مورد تأیید قرار گرفته است. در این راستا، با توجه به این‌که کاغذ اسکناس در تبدلات اجتماعی منشأ انتقال بسیاری از بیماری‌ها از جمله باکتری‌ها می‌باشد لذا تحقیق حاضر بر استفاده از نانوذره نقره به‌عنوان یک ماده ضد باکتری برای تولید کاغذ ضد باکتری متمرکز گردید. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که با افزایش میزان مصرف نانو نقره در کاغذ میزان خاکستر، صافی سطح و ماتی کاغذ افزایش و روشنی آن کاهش یافته و در مقابل به‌کارگیری نانوذره فوق بر آزمون موم‌کنی و حجیمی بی‌تأثیر بوده است. در خصوص آزمون بیولوژیکی، نتایج نشان داد با مصرف بیشتر نانو نقره خصوصیات ضدباکتری کاغذ و هاله عدم رشد بیشتر می‌گردد. با در نظر گرفتن کلیه نتایج میزان مصرف ۲۵ ppm به‌عنوان میزان مصرف بهینه برای نانونقره تعیین گردید. در میزان مصرف ۲۵ ppm فاکتورهای فیزیکی کاغذ و شرایط نوری بسیار نزدیک به کاغذ شاهد می‌باشد و هم چنین خاصیت ضدباکتریایی نیز قابل قبول است. قابل ذکر آنکه با افزودن نانو نقره در خمیر کاغذ به میزان کمتر و در کنار آن افزایش پالایش خمیرکاغذ اسکناس، می‌توان هم خاصیت ضد باکتری به کاغذ داد و هم مقاومت‌های کاغذ را در حد قابل قبولی حفظ نمود که شاید به‌کارگیری توأم این دو را بتوان به‌عنوان یک راهکار عملیاتی پیشنهاد داد.

غشاء سلولی باکتری به سمت بیرون برآمدگی داشته و موجب انتقال مواد غذایی از دیواره سلولی می‌شوند (۲۱). در این مکانیسم ذرات نانو نقره فلزی به مرور زمان یون‌های نقره از خود ساطع می‌کنند. این یون‌ها طی واکنش جانشینی، پیوندهای SH را در جداره میکروارگانیزم به پیوندهای S-Ag تبدیل کرده، به این صورت که نانو نقره این پروتئین‌ها را غیرفعال کرده، نفوذپذیری غشاء را کاهش داده و سر انجام باعث مرگ سلول می‌گردد که نتیجه آن از بین رفتن میکروارگانیزم می‌باشد (۲۲). در اشکال فوق‌الذکر میزان هاله عدم رشد نمونه حاوی باکتری استافیلوکوکوس از نمونه حاوی باکتری اشرشیاکلی بیشتر بوده است. به‌طورکلی باکتری‌های گرم مثبت نسبت به باکتری‌های گرم منفی حساسیت بیشتری به نانو ذرات نقره از خود نشان می‌دهند که علت آن به اختلاف ساختمانی دیواره باکتری مربوط می‌شود به‌طوری‌که دیواره سلولی باکتری‌های گرم مثبت سرشار از ترکیبات موکوپتیدی بوده، در حالی‌که دیواره سلولی باکتری‌های گرم منفی فقط لایه نازکی از موکوپتید داشته و قسمت اعظم ساختمان دیواره در آن‌ها لیپو پروتئین و لیپو پلی ساکارید است. لذا باکتری اشرشیاکلی مقاومت بیشتری در مقابل مواد ضد باکتری از خود نشان می‌دهد (۲۳). یافته‌های پژوهش حاضر موافق و مطابق با پژوهش‌های قبلی از جمله آزمایش جیانگ و همکاران، (۲۰۰۴) است که تحقیقی در زمینه اثرات ضدباکتریایی نانو مواد انجام داده‌اند (۲۴).

منابع

1. Sohili, K., Fatahi, S.H., and Jeyhonipour, M. 2013. Influence the flow of electronic money on volume of currency in circulation. Quarterly economic research. 14: 1.79-114. (In Persian)
2. El-Dars, FM., and Hassan, WM. 2005. A preliminary bacterial study of Egyptian paper money. Int. J. Environ. Health. Res. 15: 3. 235-239.
3. Pope, T.W., Ender, P.T., WoelkKorrosil, M.A., and Korocil, T.M. 2002. Bacterial contamination of paper currency, south med. J. 95: 12.1408-1410.

4. Abrams, B.L., and Waterman, N.G. 1972. Dirty money. *Associ.* 219.1202-1203.
5. Rokohy, F., Rizvi, S.H., and Hashmi, S.J. 2014. Study of fungal contamination of banknotes dermatopHytosis. *Journal of Medical Microbiology* currency. 7: 4. 46-43.
6. Siddiqui, B., Shojayy Arani, A., Mozaffari, N.A., and Tahery, A. 2007. Paper bills variety of bacterial infections. *J. Work and Health.* 3: 1. 19-22.
7. Khin, O., and pHya, T. 1989. Contamination of currency notes with enteric bacterial pathogens. *J. Diarrhoeal Disres.* 7: 3-4.92-94.
8. Kluytmans, J., Van Belkum, A., and Verbrugh, H. 1997. Nasal carriage of *Staphylococcus aureus*: epidemiology, underlying mechanisms, and associated risks. *Clin. Microbiol. Rev.* 10: 3.505-520.
9. Battistuzzi, F.U., Feijao, A., and Hedges, S.B. 2004. A genomic timescale of prokaryote evolution: insights into the origin of methanogens, phototropHy, and the colonization of land. *BMC Evol. Biol.* 4: 5. 44-53.
10. Stoimenov, R.L., Klineger, G.L., Marchin, S., and Klabunde, K.J. 2002. Metal oxide nano paretticles as bactericidal agent's langmuir. 18: 6679-6688.
11. Green, F., and Arango, R.A. 2007. Wood protection by commercial silver formulations against eastem subterranean termites, paper prepared for the 38th annual meeting jackson lake lodge, wyoming, usa, 20-24 may, irg secretariat, (<http://www.irg-wp.com>).
12. Kelasen, H.J. 2000. A historical review of the use of silver in the treatment of burns: part I. early uses. *Burns*, 30: 1-9.
13. Imani, R., Talaiepour, M., Dutta, J., Ghobadinezhad, M., Hemmasi, A., and Nazhad, M. 2011. Antibacterial filter paper, *J. Bioresources.* 6: 1.891-900.
14. Nagsh, N., Safari, M., and Haj Mehrabi, P. 2012. Study effect of silver nanoparticles on the growth of *E. coli* bacteria. *J. the Medical University qom.* 6: 2. 68-65. (In Persian)
15. Chen, C.Y., and Chiang, C.I. 2008. Preparation of cotton fibers with antibacterial silver nanoparticles, *materials letters.* 62: 21-22. 3607-3609.
16. Hamzeh, Y., and Rostampour, A. 2008. Principales of papermaking chemistry, Tehran Unive. Public. 424p. (In Persian)
17. Afra, E. 2003. Properties of paper an introduction. *Agricultural Sciences public.* 392p. (Translated in Persian)
18. Montazer, M., Sadatdar, A., and Rahimi, M. 2012. Production of antibacterial Silk by proteases enzyme and nano silver. *J. the Association of Iranian carpets.* 19: 75-82. (In Persian)
19. Asefi Poor, A., Yavary Gohar, M., and Zkayy, K. 2010. Production of Antibacterial cotton fibers with silver nanoparticles. National Conference on Nanomaterials and Nanotechnology. Islamic Azad University, Najaf Abad Branch. Iran. (In Persian)
20. Haji Mirza Baba, H., Montazerz, M., and Rahimi, M.K. 2012. Study of antibacterial effect of nano-silver on the plastic flooring. *Islamic Azad University of Medical Sciences*, 21: 2. 101-107. (In Persian)
21. Baumgartner, J.N., and Cooper, S.I. 1996. Bacterialadhesion on polyurethane surfaces conditioned with thrombus components, *J. ameri society of artific inter org.* 42: 5.476-479.
22. Tahan, C., Leung, R., Zenner, G.M., Ellison, K.D., Crone, W.C., and Miller, C.A. 2006. Nanotechnology and Improving Packaged Food Quality and Safety: Part 2. Nanocomposites. *Am. J. PHysics.* 74: 5.443-448.
23. Tassou, C.C., and 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, *Int.biodeterio.biodegard.* 36: 411-420.
24. Giang, H.S., and manolaches, S. 2004. Plasma-enhanced deposition of silver nanoparticles onto polymer metal surfaces for the generetion of antimicrobial characteristics, *J. appl. polym. Sci.* 93: 3.1411-1422



Study of physical, optical and biological properties of antibacterial bank-note paper including Nano-silver

*O. Yazdani Aghmashhadi¹, Gh. Asadpour Atoee², E. Rasooly Garmaroody³ and R. Imani⁴

¹Ph.D. Student of Pulp and Paper Industries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Assistant Prof., Dept., of Wood and Paper Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept., of Cellulose and Paper Technology, Shahid Beheshti University, Zirab, Savadkooh, ⁴Ph.D. Graduate of Islamic azad University

Received: 12/09/2015; Accepted: 03/11/2017

Abstract

Background and objectives: The purpose of this research is the production of antibacterial banknote paper using silver nanoparticles. Bank-notes have been a part of commercial exchanges from the past. There are about 8 billion Bank-note leaves in Iran that have been in circulation in a 5-year period. This amount of Bank-notes and the frequency with which they are touched can promote transmission of many pathogenic factors, especially bacteria. Based on scientific research results, Bank-notes are seriously contaminated and must be considered a potential danger to society. In the field of antibacterial paper, an investigation was performed on two materials, chitosan and Nanosilver particles to produce filter paper and Nanosilver and chitosan particles were applied as negatively and positively charged layers over the fibers (LBL), respectively. It was found that with increasing numbers of the layers, there were increases antibacterial properties.

Materials and methods: In this study, Laboratory pulp made from Iranian cotton fiber, were used to produce antibacterial bank-note paper. To prepare above-mentioned pulp, its freeness was received to 12 oSR by laboratory Defibrator. Then, obtained pulp was bleached by H₂O₂ in 120 oC, pH=11, 120min and after refining to 34 oSR, were adjusted 3.1% consistency and neutral pH to adding additives. Antibacterial Nano-silver with amounts of 25, 50, 75 and 100 ppm as antibacterial material and 0.3% Cationic-Polyacrylamide (C-PAM) as retention aids were used as additives. Then, standard handsheets 90 g/m² were made from above pulps and compared to reference handsheets in physical and optical properties. For biological test of papers, bacterial inhibition measurement of *S.Aureus* and *E.Coli* as to indicator bacteria in biological tests was used.

Results: Results showed that increasing in nano-silver consumption was led to increasing in ash content, smoothness and opacity of paper; lacking in brightness and had no effect in wax test and bulk of paper. Biological test results showed that by increasing in nano-silver consumption, antibacterial properties of paper and consequently bacterial inhibition area were increased.

Conclusion: According to all results, 25 ppm of nano-silver consumption was determined as optimized treatment. In this consumption level of nanosilver, physical and optical properties of paper are very similar to control samples with accepted antibacterial properties. By adding of low levels of Nanosilver in pulp suspension and then applying supplemental refining of the fiber furnish, both antibacterial and mechanical properties of Bank-note paper likely will be increased.

Keywords: Nano silver, Anti-bacterial paper, Cationic polyacrylamide, Bank-note paper, Inhibition zone

*Corresponding author: omidyazdani29@yahoo.com

