Archive of SID

فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۱، شماره ۱، صفحه ۱۷۹-۱۶۶، (۱۳۹۵)

کاربرد نانو نقره در تولید کاغذ اسکناس ضد باکتری

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

۱*- نویسنده مسئول، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

پست الکترونیک: omidyazdani29@yahoo.com

۲- استادیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- استادیار، گروه مهندسی فناوری تولید سلولز و کاغذ، دانشگاه شهید بهشتی، زیرآب، سوادکوه

۴- دانش آموخته مقطع دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۴

چکیده

اسکناس در طی دوره عمر خود از محیط‌های مختلف و مشاغل گوناگون، آن‌هم با فراوانی زیاد عبور می‌کند، به‌طوری‌که طی مطالعات علمی ثابت شده، اسکناس کاغذی را می‌توان یکی از مهمترین و شاید کم‌نظیرترین عوامل انتقال‌دهنده بیماری‌های عفونی و انگلی در جامعه دانست. هدف از این تحقیق، بررسی راهکار مناسبی برای ضد باکتری کردن کاغذ اسکناس با استفاده از نانو ذرات نقره به‌عنوان ماده ضد باکتری و کمک نگهدارنده پلی اکریل آمید کاتیونی می‌باشد. برای این کار خمیرکاغذ آزمایشگاهی الیاف پنبه رنگ‌بری شده با پروکسید با درجه روانی ۳۴°SR و درصد خشکی ۳/۱٪ و pH خنثی تهیه و بعد مواد افزودنی فوق با شرایط مشخص (نانو نقره با مقادیر مصرف ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ پی پی‌ام به همراه میزان ۰/۳ درصد پلی اکریل آمید کاتیونی) به آن اضافه شده و در پایان از آنها کاغذهای دست‌ساز ۹۰ گرمی ساخته شد. برای بررسی صحت نشست ذرات نقره از کاغذهای فوق تصاویر میکروسکوپ الکترونی تهیه شد. به‌منظور بررسی ضد باکتری شدن کاغذ از روش طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی UV-vis استفاده گردید. همین‌طور کاغذها از نظر ویژگی‌های نوری و مقاومتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد با افزایش میزان مصرف نانو نقره، میزان مقاومت‌های کاغذ روند کاهشی، ماتی افزایش و از روشنی کاسته شده است. در مورد آزمون بیولوژیکی نتایج نشان داد با مصرف بیشتر نانو نقره خصوصیات ضد باکتری کاغذ افزایش یافته است؛ بنابراین، با توجه به نتایج آزمون‌های مقاومتی، نوری و بیولوژیکی و نیز در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، میزان مصرف ۲۵ ppm برای نانو نقره به‌عنوان تیمار بهینه تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: کاغذ اسکناس، کدورت‌سنجی، کاغذ ضد باکتری، نانو ذرات نقره.

مقدمه

امروزه اسکناس جزء لاینفک مبادلات تجاری در زندگی روزمره ما شده است و تقریباً در همه‌جا و تمامی مشاغل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ziai Bigdeli, 2011). متأسفانه این تبادلات و دست‌به‌دست شدن متوالی اسکناس مشکلات بهداشتی زیادی را به‌همراه داشته است، به‌طوری‌که طی

www.SID.ir

Archive of SID

تحقیقات علمی، ثابت شده اسکناس به‌طور جدی آلوده است و آن را باید به صورت یک خطر بالقوه دانست (Pinner *et al.*, 1996). در ایران می‌توان هرمز دیار اعتمادی را به‌عنوان پیشگام بررسی آلودگی اسکناس دانست که بیان کرد: اسکناس‌های ایران به باکتری کلوستریدیوم عامل بیماری گانگرن گازی یا قانقاریا آلوده هستند(Etemadi, 1979). البته مطالعات دیگری نیز در این مورد در ایران انجام شده است. در یکی از تحقیقات ثابت شده ۴۶ درصد از انواع اسکناس‌های ایران آلودگی به باکتری گرم مثبت و ۵۴ درصد به باکتری‌های گرم منفی آلوده بوده‌اند، یعنی ۱۰۰ درصد اسکناس‌های ایران آلوده به باکتری‌های روده‌ای هستند (Shojaee, 2007). همچنین تمیز بودن اسکناس دلیلی بر عاری بودن آن از باکتری نیست، به‌طوری‌که در بررسی‌ها ثابت شده اسکناس‌های تمیز و نو نیز آلوده به انواع باکتری و عوامل بیماری‌زا بوده‌اند (Ghenaat *et al.*, 2007). در سایر کشورها نیز در این مورد تحقیقات زیادی انجام شده است. تحقیقات در کشور آمریکا نشان داده که در ۱۳ درصد سکه‌ها و ۴۲ درصد اسکناس‌های کاغذی جمع‌آوری‌شده، باکتری استافیلوکوکوس گرم مثبت و اشیرشیا کلی گرم منفی وجود دارد (Abrams and Waterman, 1972). همچنین طی تحقیقاتی که در کشور چین و آلمان انجام شد ثابت گردید که بسیاری از میکروب‌ها مدت زیادی بر روی اسکناس‌ها باقی می‌مانند و از مواد چربی روی اسکناس تغذیه می‌کنند (Zhang,1984). همچنین، طی مطالعاتی که در مورد آلودگی اسکناس در کشور مصر انجام شد، نشان داده شد که ۶۵ درصد اسکناس‌ها به باکتری روده‌ای آلوده‌اند (Dars and hassan, 2005). با توجه به وجود دو باکتری اشیرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس در کاغذ اسکناس (Zarei *et al.*, 2009)، در این تحقیق نیز از این دو باکتری شاخص در مورد آزمون‌های بیولوژیک استفاده‌شده است. استافیلوکوکوس‌ها، سلول‌های کروی و گرم مثبت هستند که معمولاً خوشه‌های نامنظمی شبیه به انگور تشکیل می‌دهند. این باکتری‌ها در بیشتر محیط‌ها رشد می‌کنند و از نظر متابولیکی فعال هستند. این باکتری‌ها عفونت چرک‌زای گوناگون ایجاد می‌کنند و حتی منجر به سپتی سمی (عفونت خون) کشنده می‌شوند. استافیلوکوکوس‌ها اغلب خون را همولیز می‌کنند و پلاسما را منعقد می‌سازند و انواع سموم و آنزیم‌های خارج سلولی را تولید می‌کنند. استافیلوکوکوس‌ها به‌سرعت نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها مقاومت پیدا می‌کنند (Warren *et al.*, 2001). باکتری اشیرشیاکلی عامل چندین بیماری از قبیل منتژیت می‌باشد و از طریق دست‌های آلوده و اسکناس منتقل می‌شود. این باکتری پس از ورود به بدن وارد روده شده و شروع به تکثیر و آزاد کردن سم می‌کند. سم ناشی از این باکتری، مخاط روده را تخریب و دردهای شکمی و اسهال را ایجاد می‌کند (Warren *et al.*, 2001). در مورد جلوگیری از انتشار عوامل بیماری‌زا از طریق اسکناس راهکارهایی پیشنهاد و اجرا شده است؛ ازجمله استفاده از کارت‌های اعتباری که تأثیر خوبی در کاهش استفاده فیزیکی از اسکناس داشته است ولی همچنان در تبادلات با حجم زیاد و ارزش کم، اسکناس بیشترین کاربرد را دارد(Zarei *et al.*, 2009). در این میان نانوتکنولوژی راهکارهای جدیدی برای مبارزه و جلوگیری از بیماری‌ها از طریق استفاده از اتصال در مقیاس اتمی می‌گشاید و یکی از این مواد، نانو مواد یون‌های نقره و ترکیبات با پایه نقره هستند. نانو ذرات نقره دارای خواص ضد باکتریایی، ضد قارچی و ضدویروسی می‌باشد، همچنین سمی نبوده و برای سلامتی انسان بی‌خطر است و با استفاده از آنها می‌توان سطوح ضد باکتری ایجاد کرد، به‌طوری‌که با افزودن مقدار اندکی از این مواد در پوشش می‌توان به تعداد بسیاری زیادی از این ذرات نانومتری در واحد سطح دست یافت (Kermanshahi, 2008). مطابق تحقیقات به‌دست‌آمده محلول نانونقره بسیاری از گونه باکتری‌های شناخته شده و حتی ویروس HIV را از بین برده است (Green and Arango, 2007). ذرات نانو نقره از طریق بستن راه‌های تنفس و متابولیسم و تولیدمثل میکروارگانیسم، باعث از بین رفتن باکتری می‌شوند (Kelasen, 2000). در مطالعه lee و همکاران (۲۰۰۳) از محلول کلوئیدی نانو نقره و روش کنترلی رشد باکتری بر روی پارچه پلی‌استری و پارچه پنبه‌ای استفاده شد. در این روش ذرات نقره به اندازه ۲-۳ نانومتر با غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ پی پی‌ام برعلیه دو باکتری استافیلوکوکوس و استرپتوکوک پنوموتید تا میزان ۹۹/۹۹

www.SID.ir

Archive of SID

درصد موجب کاهش باکتری شدند. Mohamadi (۲۰۱۲) در مورد ضد باکتری کردن کاغذ از دو نوع نانو نقره شفاف تجاری و نانو نقره به صورت میکروبال استفاده کرد. نتایج حکایت از آن داشت که کاغذهای تیمارشده با نانو نقره در سطح ppm ۲۵ در مقایسه با کاغذ شاهد توانست تا حدود ۹۹٪ رشد هر دو نوع باکتری اشیرشیاکلی و باسیلوس را کاهش دهد. این در حالیست که نانو نقره شفاف خاصیت ضد باکتری کمتری به کاغذ بخشید و بر باکتری اشرشیاکلی تأثیر بیشتری داشته ولی در مورد باسیلوس تا حدود ۵۴٪ توانست رشد باکتری را کاهش دهد. همچنین بررسی‌ها نشان داد با وجود نانو ذرات نقره در کاغذ، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ تغییر معناداری نیافت. به‌طورکلی نانو ذرات نقره می‌تواند منجر به ایجاد خاصیت ضد باکتری در کاغذ شود، درحالی‌که در سایر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ تغییر قابل‌ملاحظه‌ای ایجاد نمی‌کند. Narchin (۲۰۱۴) با استفاده از مقادیر مصرف متفاوت از ترکیب نانو ذرات نقره و نانورس در تولید کاغذ ضد باکتری استفاده کردند و نتایج آنان نشان داد که عوامل ضد باکتری مورد استفاده، عملکرد مناسبی در مورد کاهش رشد باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی داشته ولی در مورد فاکتورهای مقاومتی ازجمله مقاومت به پارگی و مقاومت به ترکیدگی کاغذ کاهش مشاهده شد. Binesh و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر نانو ذرات نقره و دی‌اکسید تیتانیوم در تولید کاغذ بسته‌بندی خرما را بررسی کردند و گزارش کردند که بار میکروبی خرما ازجمله کپک، باکتری‌های مزوفیل هوازی و کلیفرم در اثر استفاده از نانو ذرات نقره کاسته شده و نانو ذرات منجر به از بین رفتن میکروارگانیسم‌ها چه در دمای محیط و چه در دمای یخچال شدند.

طی بررسی مطالعات انجام شده، محقق شد با وجود اینکه بسیاری از بیماری‌های واگیردار می‌توانند از طریق تماس با اشیاء بی‌جان ازجمله اسکناس منتقل شوند (Pinner *et al.*, 1996) ولی تاکنون تحقیقی در مورد ضد باکتری کردن کاغذ اسکناس گزارش نشده است. از این‌رو تحقیق حاضر که ماده نانو نقره را، به دلیل خواصی از قبیل ویژگی‌های ضد باکتری، سمی نبودن و سازگاری با محیط‌زیست 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

برای آماده‌سازی خمیر فوق‌الذکر، ابتدا الیاف پنبه را به ابعاد حدود ۲ سانتیمتر بریده و بعد طی سه مرحله عبور از دستگاه دفیبراتور آزمایشگاهی و بعدازآن مطابق با استاندارد sp-۰۰ $T_{۲۴۸}$ آئین‌نامه تاپی به‌وسیله پالایشگر آزمایشگاهی به درجه روانی اولیه حدود ۱۲°SR رسانیده شد. بعدازآن الیاف پنبه فراوری شده فوق‌الذکر با استفاده از پروکسید هیدروژن به مقدار ۴/۵ درصد وزن خشک خمیر با غلظت ۵۰ درصد و سیلیکات سدیم به مقدار ۱/۵ درصد وزن خشک خمیر با غلظت ۹۰ درصد و در PH قلیایی حدود ۱۱ در زمان ۱۲۰ دقیقه رنگ‌بری شد. در پایان با کمک دستگاه پالایشگر آزمایشگاهی درجه روانی نهایی خمیر به °SR ۳۴ رسانیده شده و پس از تنظیم درصد خشکی آن در ۳/۱٪ و pH در محدوده خنثی، نانو نقره و پلی اکریل آمید کاتیونی به آن اضافه شد. نانو نقره مورد استفاده با اندازه متوسط ذرات ۵۰ نانومتر با غلظت ppm ۴۰۰ به رنگ قهوه‌ای روشن از شرکت رنگ‌دانه شریف ساخت کشور ایران خریداری گردید. همچنین پلی اکریل آمید کاتیونی[1] با بار کاتیونی متوسط با نام تجاری Farinret K325 ساخت شرکت Degussa به‌عنوان کمک نگهدارنده استفاده شد. خمیر حاصل به مدت ۱۵ دقیقه هم زده‌شده تا کلوخه‌های آن باز شود و بعد درصد خشکی آن را به علت همگنی بیشتر و ایجاد شکل‌گیری بهتر به ۳/۰٪ کاهش داده و برای نشاندن نانو ذرات بر روی الیاف از ۳/۰٪ پلی اکریل آمید کاتیونی با غلظت ۱ درصد بر اساس وزن خشک خمیر اضافه شد. سپس میزان ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ پی پی‌ام نانو نقره بر اساس غلظت آن به خمیر اضافه گردید و از آنها مطابق استاندارد ISO 5269/i:1999، کاغذهای دست‌ساز تهیه و بعد بر اساس آئین‌نامه‌های مربوطه استاندارد مذکور مورد ارزیابی مقاومتی (مقاومت به پاره شدن

1- Cationic polyacrylamid

www.SID.ir

Archive of SID

بر اساس استاندارد ISO 1974، شاخص مقاومت کششی بر اساس ISO 2493 و مقاومت به تا شدن بر اساس استاندارد ISO 5626 و نوری) قرار گرفت، ماتی بر اساس استاندارد Din 53146,tappi 519و روشنی بر اساس استاندارد ISO R457 مورد ارزیابی قرار گرفتند. به‌منظور تشخیص اثر ضد باکتری بودن نانو نقره در کاغذهای ساخته شده از دو باکتری اشرشیاکلی گرم منفی *ATCC: 25922* (E.coli) و استافیلوکوکوس اورئوس گرم مثبت *ATCC: 27853* (S.aureus) استفاده گردید که این دو نوع باکتری از آزمایشگاه تشخیص طبی دکتر قهاری در شهرستان بابلسر تهیه شد. محیط کشت مصرفی نیز از نوع BHIB [1] و ساخت شرکت Biolife مورد استفاده قرار گرفت. برای کشت و تکثیر باکتری‌ها از محیط کشت نوترین آگار استفاده شد. همچنین برای بررسی نحوه نشست نانو نقره بر سطح الیاف در کاغذهای حاصل و اندازه‌گیری ابعاد نانو ذرات نقره از تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی در آزمایشگاه رضایی واقع در شهر تهران استفاده شد. در این آزمایشگاه برای تهیه تصاویر از سطح کاغذ از دستگاه EM3200 ساخت شرکت KYKY کشور چین استفاده شد. ابتدا نمونه‌ها بر روی صفحه‌ای از جنس مس الصاق شدند، سپس برای حذف رطوبت، به مقدار مورد نیاز تحت شرایط خلأ قرار گرفته و بعد از آن با لایه‌ای به ضخامت ۱۰ نانومتر از جنس پلاتینوم (طلای سفید) پوشانیده شده و در نهایت برای بررسی در دستگاه قرار گرفتند.

برای آزمون کدورت‌سنجی، لوله‌های آزمایش حاوی محیط کشت که از قبل استریل شده بودند در داخل یک جا لوله ردیف شده و نمونه کاغذهای تیمار شده و تیمار نشده که وزن هریک ۰/۰۵ گرم بود به لوله‌ها اضافه شدند. سپس سوسپانسیون باکتری رقیق شده با استفاده از سمپلر به مقدار ۵ لاندا به هریک از لوله‌ها اضافه شدند. برای ایجاد شرایط مناسب برای رشد باکتری‌ها، لوله‌های محتوای کاغذ در داخل یک شیکر انکوباتور با سرعت ۱۶۰rpm و دمای ۳۷ ^{o}C قرار داده شده و بعد از ۲۴ ساعت کدورت محیط کشت موجود در لوله‌ها با استفاده از طیف‌سنج فرابنش–مرئی مدل JENWAY 6300 در طول‌موج ۶۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. داده‌های حاصل از این دستگاه مربوط به عدد جذب محیط کشت می‌باشند که هرچه مقدار آن بزرگ‌تر باشد، مایع کدورت بیشتری خواهد داشت و این نشانگر آن است که رشد باکتری‌ها بیشتر بوده و کاغذ تیمار شده خاصیت ضد باکتری ضعیف‌تری داشته است. آزمون ضد باکتری برای هر دو باکتری به روشی مشابه با سه تکرار انجام شد.

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 تحلیل قرار گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. برای کلیه آنالیزها از نرم‌افزار SPSS و نتایج حاصل از ویژگی خمیرکاغذهای به‌دست آمده به‌وسیله آزمون فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

نتایج

تصاویر میکروسکوپ الکترونی

شکل ۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی ۲۵۰۰ از سطح کاغذهای حاوی ذرات نانو نقره (ب) را در کنار کاغذ شاهد (الف) نشان می‌دهد که در کاغذ سمت راست مقدار ۱۰۰ پی پی‌ام نانو نقره به همراه ۰/۳٪ پلی اکریل آمید کاتیونی بکار گرفته شده است. در تصویر سمت راست می‌توان ذرات سفید رنگ نانو نقره را در لابه‌لای الیاف تیمار شده مشاهده کرد که ابعاد آنها مطابق نتایج آزمایشگاه حدود ۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شده است.

خصوصیات نوری کاغذ

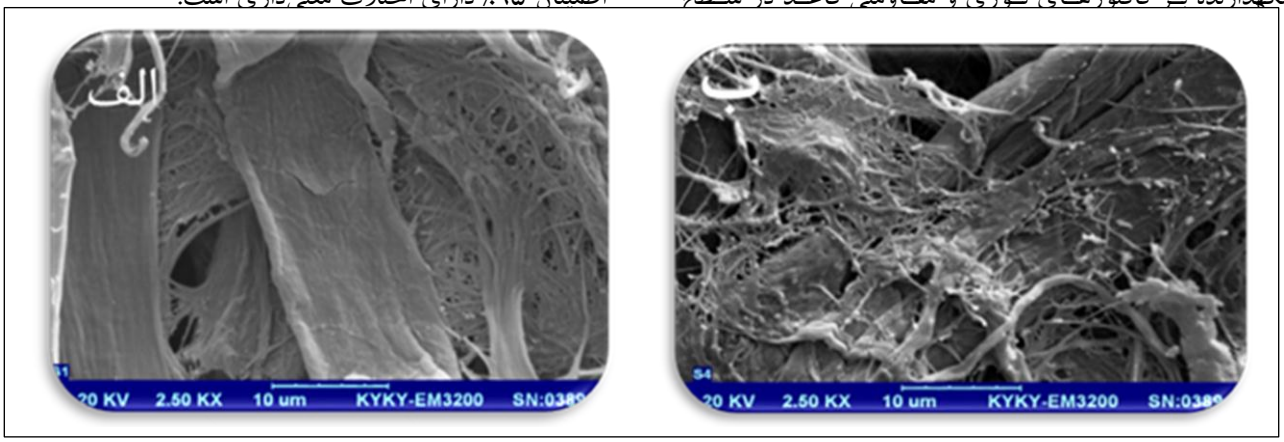
نتایج تجزیه واریانس مطابق با جدول شماره ۱ حکایت از آن دارد که اثر افزایش نانو نقره در حضور ثابت ماده کمک

1 - Brain Heart Infusion Broth

www.SID.ir

Archive of SID

نگهدارنده بر فاکتورهای نوری و مقاومتی کاغذ در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری است.



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی: الف) الیاف بارگذاری نشده، ب) الیاف بارگذاری شده با نانو ذرات نقره

جدول ۱-تجزیه واریانس فاکتورهای نوری و مقاومتی کاغذهای تیمار شده

شاخص		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی داری
ماتی	بین گروه	۵۴۸/۲۸۹	۴	۱۳۷/۰۷۴	۸/۳۸۷	**
	درون گروه	۲۴۵/۱۴۱	۱۵	۱۶/۳۴۳		
روشنی	بین گروه	۱۱۵۲/۱۷۸	۴	۲۸۸/۰۴۴	۱۱/۰۲	**
	درون گروه	۳۹۲/۰۸۷	۱۵	۲۶/۱۳۹		
مقاومت به پارگی	بین گروه	۰/۸۶	۴	۰/۲۱۵	۶/۴۲۹	**
	درون گروه	۰/۵۰۲	۱۵	۰/۰۳۳		
طول پارگی	بین گروه	۴۹۰/۴۸۲	۴	۱۲۲/۶۲۱	۱۶/۸۲۴	**
	درون گروه	۱۰۹/۳۲۹	۱۵	۷/۲۸۹		
مقاومت به تا شدن	بین گروه	۲۰۷۹۱۸/۲	۴	۵۱۹۷۹/۵۵	۳۲۲/۱۸۵	**
	درون گروه	۲۴۲۰	۱۵	۱۶۱/۳۳۳		

**-معنی دار در سطح ۹۵٪

ماتی

طبق شکل شماره ۲ ماتی با افزایش ماده نانو نقره افزایش قابل توجهی داشته است. مطابق جدول شماره ۱ نتایج حاصل از آزمون ماتی حکایت از افزایش معنی‌دار ماتی در کاغذهای اسکناس تیمار شده با نانو ذرات نقره دارد. نتایج تجزیه واریانس نیز حکایت از آن دارد که اثر افزایش نانو نقره در حضور ثابت ماده کمک نگهدارنده بر میزان ماتی کاغذ در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری است. به‌طوری‌که کمترین میزان ماتی مربوط به کاغذ شاهد و بیشترین درصد ماتی مربوط به کاغذ تیمار شده با ۱۰۰ پی پی‌ام نانو نقره می‌باشد.

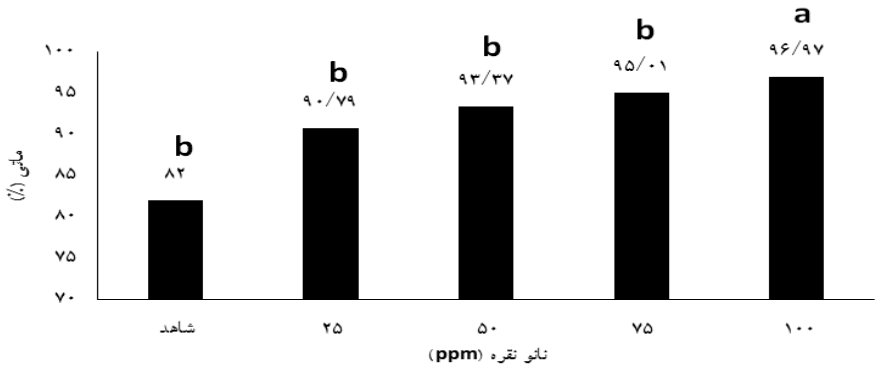
روشنی

نتایج حاصل از این آزمون حکایت از کاهش معنی‌دار روشنی در کاغذهای اسکناس دست‌ساز تیمار شده با نانو ذرات نقره دارد. طبق گروه‌بندی آزمون دانکن در دو گروه

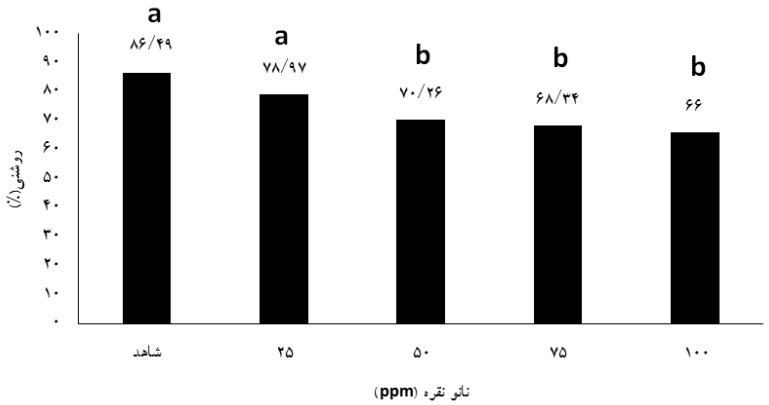
www.SID.ir

Archive of SID

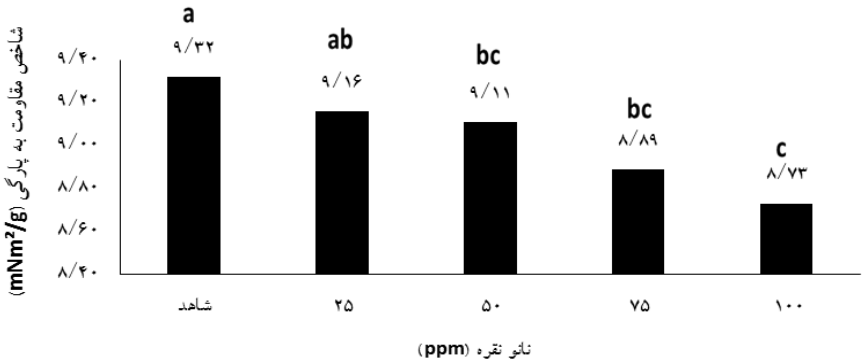
طبقه‌بندی شد. نتایج تجزیه واریانس نیز حکایت از آن دارد که اثر افزایش ماده نانو نقره در میزان ثابت کمک نگهدارنده بر میزان روشنی در سطح اطمینان ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری است. به‌طوری‌که بیشترین میزان روشنی مربوط به کاغذ شاهد و کمترین آن برای کاغذ تیمار شده با بیشترین مصرف میزان نانو نقره می‌باشد.



شکل ۲- تأثیر استفاده از مقادیر مختلف نانو ذرات نقره بر ماتی کاغذ اسکناس



شکل ۳- تأثیر نانو ذرات نقره بر روشنی کاغذ اسکناس



شکل ۴- تأثیر درصدهای مختلف ماده ضد باکتری نانو نقره بر شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ اسکناس

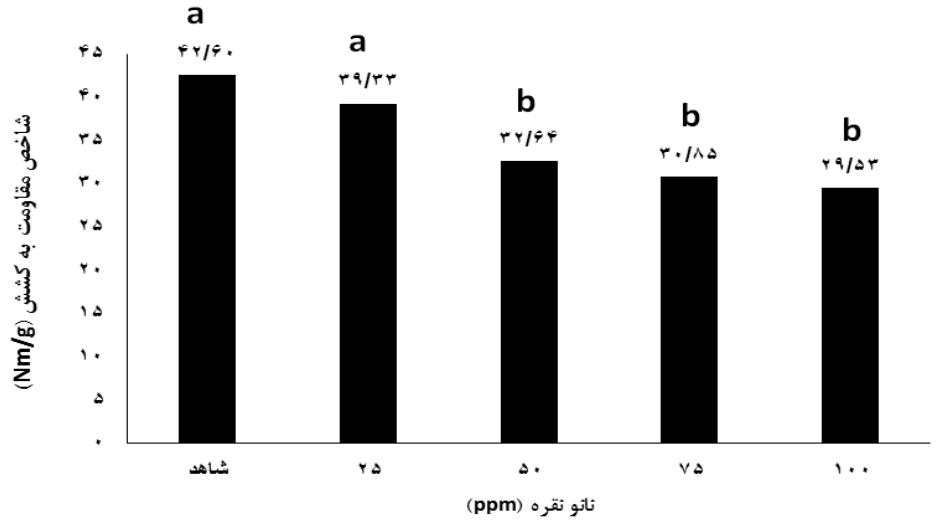
www.SID.ir

Archive of SID

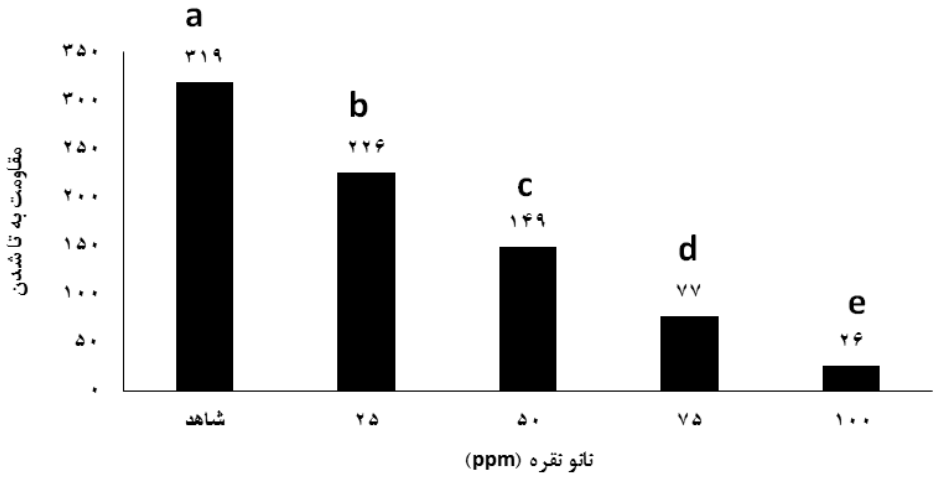
خصوصیات مقاومتی کاغذ

مقاومت به پارگی

مطابق با شکل ۴ با افزایش میزان نـانو نقـره در حضـور مقدار ثابت ۰/۳٪ پلی اکریل آمید کاتیونی شاخص مقاومـت به پارگی کاهش یافته است. طبق آزمون دانکـن تیمارهـا در چهار گروه طبقه‌بندی شدند. نتایج تجزیه واریانس حکایـت از آن دارد که بین تیمارهـای مختلـف از نظـر مقاومـت بـه پارگی در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجـود دارد. البته کمترین میزان مقاومت به پارگی مربوط بـه میـزان مصرف ۱۰۰ پی پی‌ام و بالاترین میـزان بـرای کاغـذ شـاهد بوده است.



شکل ۵ – تأثیر درصدهای مختلف ماده ضد باکتری نانو نقره بر شاخص مقاومت به کشش کاغذ اسکناس



شکل ۶– تأثیر درصدهای مختلف ماده ضد باکتری نانو نقره بر مقاومت به تاشدن کاغذ اسکناس

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص مقاومت به کشش

مطابق با شکل ۵ مشخص است که با افزایش نانو نقره در حضور میزان ثابت پلی اکریل آمید شاخص مقاومت به کشش کاهش محسوسی داشته است. طبق گروه‌بندی آزمون دانکن تیمارها در دو گروه طبقه‌بندی شدند. نتایج تجزیه واریانس نیز حکایت از آن است که با افزایش نانو ذرات نقره در حضور پلی اکریل آمید، بین تیمارهای مختلف از نظر شاخص مقاومت به کشش در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به‌طوری‌که بیشترین میزان شاخص مقاومت به کشش مربوط به کاغذ شاهد و کمترین آن مربوط به استفاده از ۱۰۰ پی پی‌ام نانو نقره می‌باشد.

مقاومت به تاشدن

بر اساس شکل ۶ نتایج تجزیه واریانس حکایت از آن دارد که با افزایش نانو نقره با درصد ثابت پلی اکریل آمید کاتیونی، بین تیمارهای مختلف به لحاظ مقاومت به تا شدن مضاعف در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود. به‌نحوی‌که بیشترین مقاومت به تاشدن مربوط به کاغذ شاهد و کمترین میزان مربوط به کاغذ تیمار شده با ۱۰۰ پی پی‌ام نانو نقره می‌باشد.

شکل ۷- تصویر میکروسکوپ نوری (بزرگ‌نمایی 4x) کاغذهای تیمار شده با نانونقره و شاهد: الف: شاهد استافیلوکوکوس؛ ب: تیمارشده با نانونقره برای استافیلوکوکوس؛ ج: شاهد اشرشیاکلی؛ د: تیمار شده با نانونقره برای اشرشیاکلی

www.SID.ir

Archive of SID

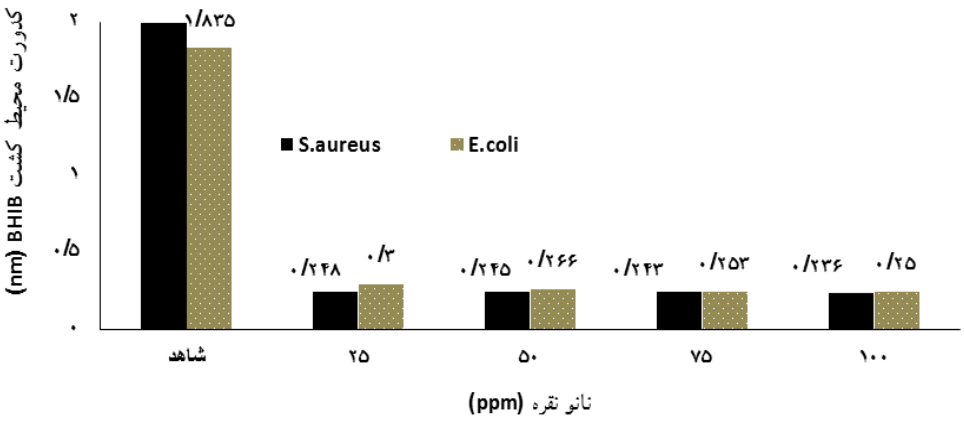
آزمون بیولوژیکی کاغذ

بررسی میکروسکوپی کاغذها

شکل ۷ تصاویر میکروسکوپ نوری از کاغذهای آزمون شده در محیط کشت جامد در مجاورت باکتری را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود هاله عدم رشد در اطراف کاغذهای تیمار شده با میزان ۱۰۰ پی پی‌ام اثبات‌کننده ضد باکتری بودن کاغذهای تیمار شده است. مناطق تیره در تصاویر، مربوط به کاغذ و مناطق قهوه‌ای مربوط به باکتری است. ملاحظه تصویر نشان می‌دهد که در تصاویر ب و د باکتری با فاصله از کاغذ رشد کرده که این موضوع بیانگر خاصیت ضد باکتریایی کاغذهای اسکناس ساخته شده است و همان‌گونه که دیده می‌شود باکتری اشیرشیاکلی به دلیل مقاومت بیشتر به نانو نقره نزدیک‌تر به کاغذ رشد کرده است (شکل ج ۷).

آزمون کدورت‌سنجی

یکی از روش‌های نوین برای اندازه‌گیری و مقایسه آزمون‌های بیولوژیکی، اندازه‌گیری میزان کدورت محیط کشت مایع حاوی باکتری توسط دستگاه اسپکتوفتومتر می‌باشد. بالا بودن میزان کدورت محیط کشت حاوی کاغذ به معنای افزایش رشد باکتری‌ها و پائین بودن آن به منزله کاهش تکثیر باکتری‌ها و اثبات خاصیت ضد باکتریایی کاغذ می‌باشد. همان‌طور که از شکل ۸ مشخص است میزان کدورت به‌عنوان شاخصی از میزان رشد باکتری با افزایش میزان نانو نقره کاهش محسوسی می‌یابد که نشان‌دهنده کارا بودن ترکیبات نانو نقره در مورد ضد باکتری کردن کاغذهای اسکناس دست‌ساز است.



شکل ۸- تغییرات میزان کدری محیط کشت مایع حاوی کاغذ اسکناس حاصل از تیمارهای مختلف در حضور نانو ذرات نقره

بحث

خصوصیات نوری و مقاومتی کاغذ

ماتی یک خاصیت مهم کاغذهای چاپ و اوراق بهادار می‌باشد که می‌توان آن را به‌عنوان یکی از فاکتورهای اصلی در نظر گرفت (Scatt, 1940). تأثیر رنگ‌ها بر روی ماتی در کاغذهای سفیدی که به‌وسیله مقدار اندکی از رنگ، رنگ‌آمیزی می‌شوند، آشکار است. افزودن مقدار اندکی از رنگ با جذب قسمتی از نور تابیده شده، موجب افزایش ماتی می‌گردد (Hamzeh and Rostampour, 2008). مطابق با شکل شماره ۲ بالاترین میزان ماتی مربوط به استفاده از ppm ۱۰۰ نانو ذرات نقره و کمترین آن مربوط به کاغذ شاهد می‌باشد. البته افزایش ماتی به علت تغییر رنگ کاغذ اسکناس دست‌ساز به علت حضور نانو ذرات نقره قهوه‌ای بوده است. این نتایج با یافته‌های تحقیق Narchin

www.SID.ir

Archive of SID

(۲۰۱۴) و Mohamadi (۲۰۱۱) که در ارتباط با ضد باکتری کردن کاغذ بهداشتی به‌وسیله نانو نقره فعالیت داشتند، مطابقت داشت.

نانو نقره مورد استفاده به‌صورت سوسپانسیونی از رنگ قهوه‌ای روشن بوده است. به همین دلیل با استفاده بیشتر از آن طبیعتاً رنگ کاغذ به سمت قهوه‌ای روشن گرایش پیدا می‌کند. از این‌رو با استفاده بیشتر از نانو نقره تغییر رنگ بیشتر و کاهش روشنی بیشتری حاصل خواهد شد (Imani *et al.*, 2011). نتایج این تحقیق با یافته‌های Manzar (۲۰۱۲) که در مورد ضد باکتری کردن الیاف ابریشم انجام داده بودند، مطابقت داشت. در آن تحقیق نانو نقره عملکرد مناسبی در مورد کاهش رشد باکتری‌های E.coli و S. aureus داشت ولی سبب کاهش سفیدی ابریشم شده بود. با توجه به میزان روشنی لازم برای کاغذ اسکناس (حدود ۸۰٪)، میزان مصرف نانو نقره با ۲۵ ppm از نظر ویژگی مورد بحث مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

همان‌طور که می‌دانیم، مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن بیشترین تأثیرپذیری را از افزودن مواد خشک دارند، زیرا افزایش اتصالات فیبری در این دو ویژگی اهمیت بیشتری دارد. در مورد مقاومت به پاره شدن اولویت تأثیرگذاری با طول الیاف و مقاومت خود الیاف است؛ اما درصورتی‌که این دو عامل شرایط ثابتی داشته باشند، وضعیت پیوندهای بین لیفی بر افزایش این ویژگی تأثیر مثبتی دارند (Ebrahimi, 2012). با توجه به ثابت بودن پلی اکریل آمید کاتیونی، کاهش شاخص مقاومت به پارگی کاغذ اسکناس دست‌ساز را می‌توان به نانو نقره ارتباط داد که دلیل آن قرار گرفتن ذرات نانو نقره در فواصل بین الیاف می‌باشد، و موجب افت در کیفیت اتصالات فیبری می‌شود. این داده‌ها با نتایج تحقیقی که در آن از پلی اکریل آمید کاتیونی برای نشست پرکننده‌های مختلف بر روی الیاف خمیرکاغذ CMP استفاده گردید و در آن افزایش جذب مواد بر روی الیاف باعث کاهش اتصالات بین الیاف شده و در ادامه باعث کاهش مقاومت به پارگی شده بود، مطابقت دارد (Ebrahimi, 2012). Narchin (۲۰۱۴) نیز به نتایج مشابهی در مورد کاهش مقاومت به پارگی با افزودن نانو نقره و نانورس به الیاف کاغذ بهداشتی رسیدند.

طول پارگی ارتباط نزدیکی با مقاومت به کشش دارد که درواقع طول الیاف و اتصال بین الیاف بر این ویژگی تأثیرگذار می‌باشد (Ghafari *et al.*, 2011). در شکل ۵ روند کاهشی شاخص مقاومت به کشش با افزایش میزان استفاده از نانو نقره می‌تواند به این علت باشد که با افزایش نانو نقره پیوند الیاف– الیاف کم شده و باعث کاهش محسوس مقاومت به کشش می‌گردد. با توجه به اینکه میزان استفاده از پلی اکریل آمید کاتیونی و طول الیاف خمیرکاغذ کاغذ اسکناس دست‌ساز ثابت بوده کاهش مقاومت کششی را می‌توان به افزایش نانو نقره نسبت داد. همچنین نتایج ارائه شده در شکل ۲ حکایت از افزایش ماتی کاغذها با افزایش میزان مصرف نانونقره دارد، از آنجایی که ماتی کاغذ می‌تواند شاخصی از میزان پیوندپذیری بین الیاف باشد، از این‌رو کاهش آن گویای پیوند بین الیاف ضعیف‌تر بوده و متعاقب آن مقاومت به کشش کاهش یافته است. این نتایج با یافته‌های تحقیقی در ارتباط با تولید ماسک کاغذی ضد باکتری با استفاده از نانو ذرات نقره و کاتیوزان مطابقت دارد. در تحقیق یادشده علت کاهش مقاومت به کشش به عدم پیوندیابی خوب نانو نقره و الیاف ارتباط داده شده است (Imani *et al.*, 2011).با توجه به کاهش قابل قبول میزان شاخص مقاومت به کشش، به نظر می‌رسد درصد بهینه مصرف نانو نقره از نظر مقاومت به پارگی ۲۵ ppm باشد.

مقاومت به تاخوردگی یکی از پیچیده‌ترین خواص مکانیکی عمومی کاغذ است و در جاهایی که تاخوردگی در کاغذ ایجاد می‌شود مانند کاغذ اسکناس و اوراق بهادار، بسیار حائز اهمیت است. پیچیدگی آزمون مقاومت به تاخوردگی به این دلیل است که این آزمون، ترکیبی از مقاومت کششی، کشیدگی، انحناپذیری، مقاومت در برابر فشار و دیگر تنش‌های برشی و تغییر طول نسبی است (Scatt, 1940). همان‌گونه که در شکل مذکور ملاحظه می‌شود با افزایش مصرف نانو نقره، مقاومت به تاشدن کاهش محسوسی داشته است. از آنجایی که مقاومت به

www.SID.ir

Archive of SID

کشش کاهش پیدا کرده (شکل ۵)، این موضوع بیانگر افت پیوندپذیری بین الیاف بوده که می‌تواند دلیلی بر کاهش مقاومت به تاشدن نیز باشد. در این تحقیق بالاترین مقادیر مقاومت به تاشدن مربوط به نمونه شاهد و کمترین مقادیر این مقاومت برای کاغذ تیمار شده با بالاترین میزان مصرف نانو نقره می‌باشد. به‌طوری‌که با افزایش نانو نقره پیوندهای هیدروژنی الیاف–الیاف کاسته شده و نانو نقره – الیاف پیوند ضعیف‌تری ایجاد می‌کنند. به‌طور کلی می‌توان از طریق پالایش اضافی و با استفاده از الیاف بلند و انعطاف‌پذیر مقاومت به تاشدن کاغذ را افزایش داد و از طرف دیگر پوشش‌دهی، افزودن پرکننده‌ها و آهار سطحی می‌توانند باعث کاهش مقاومت به تاخوردگی شوند (Scatt, 1940).

آزمون بیولوژیک

بررسی میکروسکوپی

عملکرد نانو نقره باعث ایجاد هاله عدم رشد باکتری در اطراف کاغذ تیمارشده گردیده است. تحقیقات متعددی مبتنی بر نحوه عملکرد و واکنش‌های احتمالی بین نانو ذرات با ماکرومولکول‌های موجودات زنده انجام شده است. اختلاف بار سطحی بین مواد نانو نقره و باکتری می‌تواند عامل جذب و اتصال نانو ذره به سطح سلول باشد و درنهایت باعث مرگ سلول شود. همچنین احتمال داده می‌شود یون‌های آزاد شده از نانو مواد با گروه‌های تیول (SH) پروتئین‌های سطحی سلول‌های باکتری واکنش دهند. تعدادی از این پروتئین‌های غشاء سلول‌های باکتریایی عمل اتصال مواد معدنی از سطح دیواره را به عهده دارند؛ که نانو مواد با اثر بر روی این پروتئین‌ها باعث غیرفعال شدن و نفوذناپذیری غشاء می‌شوند (Tahan *et al.*, 2006). هر فرایندی که موجب غیرفعال شدن تراوایی غشاء گردد درنهایت باعث مرگ سلول می‌شود، همچنین نانو مواد، چسبیدن سلول باکتری و تشکیل بیوفیلم را به تأخیر می‌اندازد که این عمل باعث می‌شود گروهی از باکتری‌ها نتوانند تثبیت و تکثیر شوند(Soltani nezhad *et al.*, 2011). نانو نقره در ابتدا موجب اکسیداسیون ترکیبات فسفولیپیدی چند حلقه‌ای غشاء لیپیدی باکتری‌های استافیلوکوکوس و اشیرشیاکلی می‌شود، در نتیجه یکپارچگی غشاء سلولی کاهش یافته و فعالیت‌های اساسی در ساختار سلولی سالم ازجمله فعالیت تنفسی از بین رفته و مرگ سلولی غیرقابل‌اجتناب می‌شود (Te-Hsing *et al.*, 2007).

کدورت‌سنجی

استفاده از ذرات نانو در خمیرکاغذ اسکناس به‌طور محسوسی باعث کاهش کدورت محیط کشت باکتری‌ها بعد از ۲۴ ساعت شده است که حکایت از عملکرد نانو نقره در مورد ضد باکتری کردن کاغذ دارد. در طی این مطالعه، اثرات ضد باکتریایی نانو نقره روی باکتری‌های گرم مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس و گرم منفی اشیرشیاکلی) بررسی شد که نتایج حاصل با یافته‌های پژوهش قبلی ازجمله Sondi (۲۰۰۴) که در حوزه اثرات ضد باکتری مواد فعالیت داشته‌اند، تطابق دارد.

با توجه به مطالعات قبلی به نظر می‌رسد که ترکیبات لیپیدی غشاء سلولی باکتری اشیرشیاکلی در حضور نانو ذرات نقره مقاوم‌تر از ترکیبات لیپیدی غشاء باکتری استافیلوکوکوس باشد، از این‌رو باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس نسبت به باکتری اشیرشیاکلی گرم منفی دارای حساسیت بیشتری نسبت به نانو نقره هستند و میزان کدورت آنها کمتر است. البته در آزمایش‌های Feng و همکاران (۲۰۰۰) نانو نقره بر روی هر دو باکتری اشیرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس به یک میزان تأثیر داشته و نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق Te-Hsing و همکاران (۲۰۰۷) و Haji Mirza Baba و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای تولید کاغذ اسکناس ضد باکتری از میزان ۰/۳٪ پلی آکریل آمید کاتیونی (C-PAM) برای کمک به نشست نانو ذرات نقره با مقادیر ppm (۲۵،۵۰،۷۵،۱۰۰) برای تولید کاغذ اسکناس ضد باکتری استفاده شد. نتایج

www.SID.ir

Archive of SID

نشـان داد بـا افـزایش مقـدار مصـرف نـانو نقـره، میـزان مقاومت‌های کاغذ به مانند روشنی آن کـاهش و در عـوض ماتی افزایش یافته است. در مورد آزمون بیولـوژیکی نتـایج نشان داد با مصرف بیشتر نانو نقره خصوصیات ضد بـاکتری کاغذ افزایش محسوسی داشـته اسـت. بـا توجـه بـه نتـایج مقاومتی و نوری و آزمون بیولـوژیکی میـزان مصـرف ppm ۲۵ به‌عنوان میزان مصرف بهینه تعیین شـد. همـان‌گونـه کـه ملاحظه شد در میـزان مصـرف ppm ۲۵ نـانو نقـره، ضـمن اینکه مقاومت کاغذ و ویژگی‌های نوری آن بسیار نزدیک به کاغذ شاهد می‌باشد خاصیت ضد باکتری آنهـا نیـز در حـد قابل قبولی است. از این‌رو می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت کـه با افزودن نانو نقره در خمیرکاغذ با سطح پایین‌تر و افـزایش پالایش خمیرکاغذ اسکناس، مـی‌تـوان هـم خاصـیت ضـد باکتری به کاغذ داد و هم مقاومت‌های کاغذ را در حد قابـل قبولی نگه داشت.

منابع مورد استفاده

-Abrams, B. L., and Waterman, N.G., 1972. Dirty Money, Journal of the American Medical Association, 219: 1202-1203.

-Binesh, M., Mortazavi, A., Amin, M. and Moradi, M., 2010. Effect of Silver Nanocomposites whit the titanium dioxide in packing date and the study of microorganisms during storage period. Journal of Food Science and Technology, 2(1):1-8.

-Ebrahimi, Z., Kermania, H., Ramazani, O. and Zabihzadeh, S.M., 2013. Com parative analysis of paper properties from rice straw with sodium and potassium based chemimechanical pulping processes. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 28(3): 534-544.

-El-Dars, F.M. and Hassan, W.M., 2005. A Preliminiary Bacterial Study of Egyption paper Money, International Journal of Environmental Health Research 15(3):235-239.

-Etemadi, H., Malek nezhad, P. and Zarnegar, T., 1979. Reported 5 cases of Clostridium septicum in the Bill. Tehran University Medical Journal, 35(10): 313-318.

-Feng, G.L., Chen, G.Q, Cui, F.Z. and kim, T.N., 2000. Amechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on Eschercha coli and Etaphylococcus aureus, Journal of Biomedical Materials Research,52(4): 662-668.

-Ghafari, m, 2011. Optimization ofthe use of cationic starch to improve the mechanical properties in the pulp from mixed OCC and virgin NSSC. M. Sc. Thesis, University of Gorgan, gorgan,101p.

-Ghenaat, J., Rashd, T., Qazvini, K. and Qazvin, k., 2007. Study of bacterial contaminations of the common coins and banknotes. Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences. 28(2): 67-69.

-Green, F. and Arango, R.A., 2007. Wood protection by commercial silver formulations against eastern subterranean termites, paper prepared for the 38th annual meeting jackson lake lodge,wyoming, USA, 20-24 may, irg secretariat,(http://www.irg-wp.com).

-Haji Mirza Baba, H., Montazer, M. and Rahimi, M.K., 2011. "Evaluation of antibacterial coatings containing nano silver nylon," Islamic Azad University Journal of Medical Sciences 21(2): 101-107

-Hamzeh, Y. and Rostampour, A., 2008. Principales of papermaking chemistry. University of Tehran Press, Tehran, 424p.

-Imani, R., Talaiepour, M., Dutta, J., Ghobadinezhad, M., Hemmasi, A. and Nazhad, M., 2011. Antibacterial filter paper, Journal of Bioresources. 6 (1): 891-900.

-Kasra kermanshahi, R., 2009. Nano-bio-technology point of view of Microbiology. Isfahan University Press.168P.

-Kelasen, H.J., 2000. A historical review of the use of silver in the treatment of burns:part I. early uses. Burns Journal, 30:1-9.

-Lee, H.J.,Yeo.,S.Y. and Jeong, S.H., 2003. Antibactrial effect of nano sized silver collodial solution on textile fabrics, Jornal of material science, 38: 2199-2204.

-Mohamadi, M., 2013. Silver nanoparticles processing and evaluation of its performance on the antimicrobial properties of Health pulp and paper. M. Sc. Thesis, University of Agriculture Sciences and Natural Resources. Gorgan,125p.

-Montazer, M., Sadatdar, A. and Rahimi, M., 2012. Production of antibacterial Silk by proteases enzyme and nano silver. Journal of the Iranian carpets Association, 19: 75-82.

-Narchin, P., 2014. Processed nano-hybrid silver-clay and its effect on the antimicrobial properties of paper. M. Sc. Thesis, University of Agriculture Science and Natural Resources. Gorgan,104p.

-Pinner, R.W., Tutsch, S.M., Simonsen,L., Klug, L.A., Graberj, m. and Brekelman, R.L., 1996. Trends in infectious diseases mortality in the united states. Journal of the American Medical Association, 275(3):189-193.

www.SID.ir

Archive of SID

-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. American Journal of Physics .74(5):443-448.

-Te-Hsing, W., Yi-Der, T. and Lie-Hang, S., 2007. The novel methods for preparing antibacterial fabric composites containing nano-material. Solid State Phenomena. 124: 1241-1244.

-Zaree, M., Khajeh ali, A. and SHekar forosh., Sh., 2009. Widespread contamination of Banknotes. Journal of Environmental Health Association, 2(1): 81-88.

-Zhang, j. p., 1984. A Survey of the Sources of contamination of Chines Paper Money and the dis-infective activity of Microwaves, Zhonghua liu xing bing xue za zhi 5(4): 237-241.

-Ziai bigdeli, M., 2001. History of old paper Currency to the Euro. Economic Bulletin.1: 195-205

-Safarzadeh, A. and Mosavi, o., 2001. Medical Microbiology. Publisher Tamadon Novin, Iran, 760p. (in Persian)

-Scott, W., 1940. Properties of paper: an introduction. Translated by Afra, A, Agricultural Sciences press, Tehran, iran, 392p, (in persian).

-Shojaee, A., Sedighi, B., Taheri, A. and Mozafari, N., 2007. Bacterial contamination of various Banknotes. Journal of Occupational Health. 2(1): 19-22

-Soltani nezhad, Sh. and Mokhtari, T2011. The antibacterial activity of methanol extract of Eucalyptus leaves against Staphylococcus aureus, Escherichia coli and Streptococcus pyogenes in vitro, 2(4): 21-28

-Sondi, I. and Salopek-sondi, B., 2004. Silver nano particles as antimicrobial agent: A case study on e.coli and model for grame-negative bactria, Colloid and Interface Science 275(1):177-182.

www.SID.ir

Archive of SID

Application of nano silver in the production of antibacterial bank-note

O. Yazdani aghmashhadi[1*], Gh. Asadpour atoee[2], E. Rasooly Garmaroody[3] and R. Imani[4]

1*-Corresponding author, M.Sc., Wood and paper industries, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran, Email:omidyazdani29@yahoo.com
2- Assistant Professor, Wood and paper Engineering Department, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
3- Assistant Professor, Dept of cellulose and paper Technology, Shahid Beheshti University, zirab, Savadkooh, Iran
4-Graduate Ph.D., student of Islamic azad university, science and rsearch branch, Tehran Iran

Received: March, 2015 Accepted: Jan., 2016

Abstract

Bank-note during in its lifetime exposed to different environments and various applicationns with high frequency. As it is confirmed in scientific studies, bank-note can be one of the most important and perhaps rarest of disease and parasites carriers in society. The goal of this study is evaluation of the appropriate solution for antibacterial banknote paper production using silver nanoparticles as an antibacterial agent and a cationic polyacrylamide as retention aid. Laboratory pulp of cotton fibers bleached with hydrogen peroxide with freeness of 34 °SR, consistency of 3.1% and neutral pH were prepared and then above additives were added with specified conditions (nano silver with 25, 50, 75 and 100 ppm with 0.3% percent cationic polyacrylamide) and finally 90 g/m^2 standard handsheets made from above mentioned pulp. To verify the presence of silver particles in paper structure, the hand sheet papers were characterized by SEM. UV-vis spectrophotometric method was used to evaluate of antibacterial properties of paper. Also, papers were analyzed in strength and optical properties. The results showed that with increasing the silver nanoparticles consumption, paper strength properties and brightness were decreased, and opacity increased. The biological test results showed that the antibacterial properties of paper were improved with silver nanoparticles consumption. Based on the results of strength, optical and biological tests and also economic and environmental overviews, 25ppm consumption of nano-silver was determined as optimized treatment.

Key words: Bank-note, turbidity test, paper antibacterial, silver nanoparticles.

www.SID.ir