



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و ششم، شماره اول، ۱۳۹۸

۷۹-۱۰۳

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

DOI: 10.22069/jwfst.2019.15188.1755

بهبود ویژگی‌های مکانیکی، نوری و ضدباکتری کاغذ با استفاده از سلولز نانوفیبریل‌شده تیمار شده با نانوذرات نقره

الیاس افرا^۱، مهدیس شفاعی^۲، *علی ابیض^۳ و پروانه نارچین^۳

^۱دانشیار گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲دانش‌آموخته کارشناس ارشد گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۳دانشجوی دکتری گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۳۱

چکیده

سابقه و هدف: هدف از این پژوهش تولید نانوکامپوزیت سلولز نانوفیبریل‌شده/نانونقره و استفاده از آن در کاغذ به‌منظور بهبود هم‌زمان ویژگی‌های مکانیکی و ضدباکتری کاغذ می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش احیای نانوذرات نقره در دو سطح مصرفی ۵ و ۱۰ ppm بر روی سلولز نانوفیبریل‌شده با کمک سدیم بوروهیدرید انجام شد و در پایان نانوکامپوزیت NFC/نانونقره در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵٪ وزنی نسبت به وزن کاغذ به‌منظور بهبود هم‌زمان ویژگی‌های مکانیکی و ضدباکتری استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده نشان داد که دانسیته و شاخص مقاومت به ترکیب کاغذهای تیمار شده با نانوذرات نقره افزایش یافتند. همچنین درجه روشنی کاغذهای تیمار شده با نانوکامپوزیت NFC/نانونقره کاهش و مقدار ماتی افزایش یافت. ویژگی‌های ضدباکتریایی در مقابل دو نوع باکتری اشرشیاکلاهی و استفیلوکوکوس اورئوس که به‌ترتیب نماینده باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت هستند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقادیر کم نقره در کاغذهای تیمار شده مانع رشد باکتری شدند.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که خواص ضدباکتری نانوکامپوزیت NFC/نانونقره به‌دلیل لایه نشانی نانوذرات نقره بر روی NFC نسبت به فیلم NFC تیمار شده با نانوذرات نقره به روش غوطه‌وری بیش‌تر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سلولز نانوفیبریل‌شده، نانوذرات نقره، ویژگی‌های ضدباکتریایی، ویژگی‌های مکانیکی، ویژگی‌های نوری

* مسئول مکاتبه: aliabyaz14@gmail.com

مقدمه

امروزه به دلیل رشد فزاینده مصرف مصنوعات کاغذی به خصوص در صنایع بسته‌بندی، نیاز به ویژگی‌های مقاومتی بیشتر در محصولات جدید مورد توجه قرار گرفته‌اند، به طور مثال استفاده از مصنوعات سلولزی مانند محصولات بسته‌بندی و بهداشتی، توجه به استفاده از روش‌ها و مواد افزودنی مختلف به منظور تقویت ساختار کاغذ را افزایش داده است (۱۳).

در صنایع بسته‌بندی هدف از بسته‌بندی مواد غذایی جلوگیری از فساد باکتریایی و از دست رفتن مواد مغذی و در نتیجه، افزایش مدت زمان ماندگاری آن‌ها است. بسته‌بندی مواد غذایی راهکاری حیاتی برای تضمین ایمنی آن‌ها است (۲۴). در این مقوله یکی از موضوعات مهم، بهداشتی بودن و بهداشتی کردن ماده مورد استفاده در این صنایع است که می‌توان با ایجاد خاصیت ضدباکتریایی در کاغذ دامنه کاربرد آن را افزایش داد و موارد مصرف جدیدی را برای آن تعریف کرد. در دنیای صنعتی امروز به دلیل ارتقای سطح آگاهی و توقع مصرف‌کننده نسبت به کیفیت، همواره باید به دنبال راه‌حل‌های مؤثر و سودمند در جهت بهبود کیفیت بود. در حال حاضر فرآیندهای تکمیلی گسترش چشمگیری یافته‌اند و نقش به‌سزایی در کیفیت محصول دارند (۳۲).

در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی به منظور بهبود خواص فیزیکی، مقاومتی و ممانعتی کاغذها انجام شده که از جمله آن می‌توان به افزودن مواد افزودنی فیبری چون الیاف بلند سوزنی‌برگان، الیاف نرمة حاصل از خمیرکاغذ شیمیایی و مواد افزودنی غیرفیبری مانند پرکننده‌ها، عوامل آهاردهی درونی و چسب‌های ویژه خمیرکوب از جمله پلیمرهای طبیعی و مصنوعی نام برد (۲۶ و ۳۰). متأسفانه بسیاری از این پلیمرها سنتزی بوده و زیست‌تخریب‌پذیر نیستند و

به همین دلیل موجب مشکلات زیست‌محیطی می‌شوند (۳۳). علاوه بر این برای خواص ممانعتی از فن‌آوری‌های مختلفی هم‌چون آهاردهی سطحی و اندود استفاده می‌شود (۳۰). در این میان تولیدکنندگان کاغذ با چالش‌هایی مانند ماندگاری و زیست‌تخریب‌پذیری مواد افزودنی، نحوه بهینه شکل‌گیری و آب‌گیری خمیر کاغذ در ازای بهبود خواص مقاومتی و ممانعتی مواجه هستند (۲۶). به‌طور کلی، با دو روش مکانیکی و شیمیایی می‌توان مقاومت‌های کاغذ را افزایش داد، در این راستا، یکی از روش‌های افزایش مقاومت کاغذ استفاده از مواد افزودنی به‌منظور افزایش مقاومت تر و خشک می‌باشد. نشاسته کاتیونی به دلیل دارا بودن ویژگی‌های پلیمری کاتیونی، نقش کاتیونی مؤثرتر و قوی‌تری داشته و از سایر افزودنی‌ها بهتر عمل کرده و علاوه بر نقش تکمیلی در نگهداری مواد دوغاب، آب‌گیری را نیز بهبود می‌بخشد (۱۸). مشکل عمده این افزودنی ماندگاری بسیار کم می‌باشد. همچنین از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی نامطلوب می‌باشد. این مواد سبب به وجود آمدن مشکلات فرآیندی و حتی تغییر خواص کاغذهای حاصل می‌شوند (۳۸). امروزه پژوهش‌های زیادی به‌منظور بهبود خواص کاغذ با استفاده از تقویت‌کننده‌های سازگار با محیط زیست با حداقل مشکلات فرآیندی در حال انجام است. نانوسلولز فرآوری‌شده از مواد اولیه لیگنوسلولزی تجدیدپذیر می‌تواند به لحاظ فرآیند تولید، انرژی مصرفی و مسائل زیست‌محیطی قابل توجه و مفید باشد (۱۷). یکی از راه‌کارهای مناسب در بهبود خواص مقاومتی این نوع از کاغذها استفاده از تقویت‌کننده‌ها، از جمله نانوساختارهای سلولزی است (۲).

امروزه یکی از فن‌آوری‌هایی که مقبولیت و جاذبه خاصی در میان جامعه علمی پیدا کرده و باعث بهبود خواص و ویژگی‌های مواد شده، نانوفن‌آوری است. فن‌آوری نانو واژه‌ای است کلی که به تمام

نانوالیاف به‌عنوان یکی از موارد کاربردی به‌منظور تقویت و اصلاح محصولات کاغذی، چوبی و پلیمری استفاده می‌شود. نانو الیاف با توجه به منشاء سلولز، روش تهیه و ابعاد آن می‌تواند خصوصیات متفاوتی داشته باشد که این خصوصیات در صورت استفاده به‌عنوان تقویت‌کننده در تولید یک فرآورده از طریق میزان تغییر ویژگی‌های آن فرآورده مشخص خواهد شد. نانوفیبرسلولز (CNF) با توجه به روش تولید، به چهار نوع عمده تقسیم‌بندی می‌شود که شامل موارد زیر می‌باشند:

۱- نانو ویسکرسلولز (CNW)

۲- سلولز نانوفیبرله‌شده (NFC)

۳- تابیدن الکتریکی سلولز (ESC)^۳

۴- سلولز باکتریایی (BC)^۴

نانوفیبر سلولز (CNF) می‌تواند از طریق هیدرولیز اسیدی به نانو ویسکرسلولز (CNW) با نسبت منظر کم^۵ (L/D)، یا از طریق فیبرله‌شدن مکانیکی به سلولز میکروفیبرله‌شده (MFC) یا سلولز نانوفیبرله‌شده (NFC) با نسبت منظر زیاد تبدیل شود (۴۹). در نانوکامپوزیت‌ها، سلولز چوب به شکل سلولز میکروکریستال (MCC) یا به شکل سلولز نانوفیبرله‌شده (NFC) به‌کار می‌رود (۱۵).

اخیراً گزارش‌هایی در ارتباط با تولید کاغذهای ضدباکتری پوشش داده شده با نانوذرات نقره با استفاده از رسوب مستقیم و یا سنتز نانوذرات نقره به کمک مواد شیمیایی ذکر شده است (۹ و ۱۲). با این حال این روش ممکن است محدودیت‌های مانند تمایل به انباشتگی ذرات و ماندگاری ضعیف نانوذرات بر روی الیاف سلولز داشته باشد (۹). بنابراین ساخت کاغذ ضدباکتری و با استفاده از راه‌کارهای جایگزین مورد بررسی قرار گرفته است،

فن‌آوری‌های پیشرفته در عرصه کار با مقیاس نانو اطلاق می‌شود. معمولاً منظور از مقیاس نانو ابعادی در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد که در چنین مقیاسی مشخصه‌های منحصربه‌فرد مواد، موجب پیدایش کاربردهای نوینی می‌شوند. در این مقیاس خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی مواد با خواص تک‌تک اتم، مولکول‌ها و یا خواص توده ماده کاملاً متفاوت است (۳۵). نسبت سطح به حجم زیاد نانو مواد یکی از مهم‌ترین خصوصیات مواد تولید شده در مقیاس نانو است. در این مقیاس رفتار سطوح بر رفتار توده‌ای ماده غالب می‌شود.

تکنولوژی نانو به‌عنوان مهم‌ترین دستاورد نوین بشری در توسعه و بهبود کیفیت و کارایی در زمینه‌های مختلف مطرح می‌باشد. صنعت کاغذ نیز از این قانده مستثنی نبوده، به‌طوری‌که کاربرد مواد در اندازه نانو در این صنعت به‌طور گسترده مشاهده می‌شود. نانوتکنولوژی در صنعت خمیر و کاغذ مربوط به فرآوری نانومواد سلولزی و استفاده از نانومواد معدنی و استفاده از نانو کاغذهای پلیمری جهت پوشش‌دهی و ... است. اولین و مهم‌ترین ماده در مقیاس نانومتری که اکنون هم مورد استفاده قرار می‌گیرد، نانوسلیکای سئل^۱ آنیونی می‌باشد که به همراه پلیمرهای کاتیونی مانند نشاسته و یا پلی‌اکریل‌آمید به‌کار می‌رود (۴۷).

کاربردهای فن‌آوری نانو در صنایع خمیر کاغذ به اختصار عبارتند از: اندودهای ممانعتی، بسته‌بندی هوشمند، نانو زیست‌شناسی، چاپ افشان و لیزری، مرکب‌های چاپ و سایر مواد شیمیایی، نانو چندسازه^۲، نانوحسگرها، پرکننده‌های نانساختاری، کاغذهای ویژه و نانوالیاف.

3- Electrospinning cellulose
4- Bacterial cellulose
5- Aspect ratio

1- Nano silica sol
2- Nano Composite

به طوری که مارتینز و همکاران (۲۰۱۲) به کارگیری نانوکامپوزیت‌های سلولز نانوفیبریل شده و نانوذرات نقره در فرمولاسیون پوشش‌دهی کاغذ پرداختند، که منجر به تولید محصولات نو و مبتکرانه با خصوصیات ضدباکتری شد (۲۸). این رویکرد به طور موفقیت‌آمیزی برای بیان خواص ضدباکتری سلولز نانوفیبریل شده به کار گرفته شد. همچنین این رویکرد باعث توسعه کاربردهای محصولات مبتنی بر کاغذ می‌شود که ویژگی‌های ضدباکتریایی این محصولات را می‌توان با مقادیر متفاوت نانوسلولز به عنوان پرکننده‌های نانو تنظیم کرد. برای نمونه استفاده از کامپوزیت سلولز نانوفیبریل شده و نقره در فرمولاسیون پوشش‌دهی کاغذ، یک مسیر قابل توجه و جالبی برای تولید کاغذهای ضدباکتری با بهبود خصوصیات سطحی، مکانیکی و عایقی ایجاد کرده، که ممکن است توجه و علاقه در مصارفی که رنگ کاغذها و درجه روشنی آن‌قدر با اهمیت نیست، هم‌چون بسته‌بندی و ... را پیدا کند (۲۷).

در پژوهش حاضر سعی شده است مقدار کمی نانوذرات نقره که دارای خواص ضدباکتری می‌باشد مورد بررسی قرار گیرد.

بنابراین به دنبال راه‌کاری مناسب به منظور بهبود هم‌زمان ویژگی‌های مقاومتی و ضدباکتری، در این پژوهش نانوکامپوزیت سلولز نانوفیبریل شده دارای ذرات نانونقره تولید و در بهبود ویژگی‌های نام‌برده کاغذ نهایی به کار گرفته شد. به عنوان یک هدف فرعی، شیوه‌های مختلف تولید فیلم NFC ضدباکتری، مشتمل بر روش غوطه‌وری و تهیه نانوکامپوزیت مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

برای تهیه کاغذهای دست‌ساز از خمیرکاغذ وارداتی الیاف بلند که از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه شد، استفاده گردید.

سلولز نانوفیبریل شده به صورت ژل ۴٪ طی فرآیند تولید شیمیایی- مکانیکی با دامنه قطری ۱۰ تا ۹۰ نانومتر از چوب سوزنی‌برگان و از شرکت دانش بنیان نانونوین پلیمر تهیه شد.

سوسپانسیون نانوذره نقره با روش شیمیایی احیای نیترات نقره فرآوری شده است. مواد شیمیایی مورد نیاز جهت احیای نیترات نقره عبارتند از:

۱- نیترات نقره کریستالی شکل (AgNO_3) ساخت شرکت مرک

۲- بوروهیدرید سدیم (NaBH_4) ساخت شرکت مرک
پلی‌دادمک: در این پژوهش از پلی‌دادمک با وزن مولکولی M_v (۲۰۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰۰) با درصد خلوص ۲۰٪، ویسکوزیته $180\text{cp} - 60$ و دانسیته gr/cm^3 ۱/۰۴ استفاده شد. این ماده از شرکت سیگما آلد ریچ برای خنثی‌سازی بار منفی سلولز نانوفیبریل شده تهیه شده است.

باکتری: در این پژوهش کاغذها تحت تأثیر دو نوع باکتری استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکلاهی قرار گرفتند. این باکتری‌ها از بانک باکتری دانشگاه علوم پزشکی گرگان تهیه شدند.

فرآوری نانوذرات نقره: برای تهیه ۱۰۰ ml محلول ۵ ppm نانو ذرات نقره به روش زیر عمل گردید:

برای تهیه محلول نقره ۵ ppm مقدار ۰/۰۰۸ gr از AgNO_3 در ۱۰۰ ml آب اضافه گردید.

پس از تهیه محلول نقره-نیترات، مقدار ۰/۰۰۹۴ gr از سدیم بورهیدرید در ۲۱۰ cc آب در حمام آب سرد تهیه شده و به وسیله هم‌زن مغناطیسی مخلوط شد. سپس محلول تهیه شده به AgNO_3 اضافه گردید. لازم به ذکر است که محلول تهیه شده از نیترات نقره باید به صورت قطره قطره و به آهستگی به طوری که در هر یک ثانیه یک قطره و هم‌زمان با به

پالایش خمیرکاغذ بر اساس استاندارد شماره T۲۴۸ sp-00، اندازه‌گیری درجه روانی خمیرکاغذ طبق استاندارد شماره T ۲۲۷ om-04 و تهیه کاغذ دست‌ساز طبق استاندارد T ۲۰۵ sp-۰۲ انجام شدند. ساخت فیلم‌های سلولز نانوفیبریل‌شده: در این پژوهش، فیلم‌های سلولز نانوفیبریل‌شده (NFC) بر طبق روش گفته شده در مطالعه‌های قبلی تهیه شدند (هنریکسون، ۲۰۰۸؛ یوسفی، ۲۰۱۰؛ یوسفی، ۲۰۱۱). بر این اساس سوسپانسیون‌های NFC برای تولید فیلم با وزن پایه کل 60g/m^2 تهیه شدند. به این منظور با توجه به میزان غلظت سوسپانسیون، قطر کاغذ نهایی (۹ cm) و وزن پایه آن، معادل 0.38 g NFC خشک به‌عنوان نمونه شاهد با آب مقطر به حجم 190 ml رسانیده شد و بر روی هم‌زن مغناطیسی قابل تنظیم حرارتی به‌مدت ۱۵ دقیقه و در دمای اتاق هم‌زنی شد. نحوه محاسبه مقدار خمیرکاغذ خشک و رسیدن به غلظت 0.2% درصد در رابطه‌های $3-3$ ، $3-4$ و $3-5$ نشان داده شده است. پس از آن سوسپانسیون حاصل داخل قیف بوختر چینی (با قطر ۹ cm) با زمینه بسیار صاف ریخته شد که حاوی دو نوع صافی ۱- کاغذ صافی معمولی (شکل ۳-۳) در زیر و ۲- صافی از جنس پلی‌استر با مش ۴۰۰ بر روی کاغذ صافی و هرکدام به قطر ۹ cm بود. سپس سوسپانسیون NFC از طریق مکش حاصل از پمپ خلاء آب‌گیری شد و نمونه‌ها به‌صورت مجزا بین دو کاغذ صافی قرار گرفتند و در نهایت نمونه‌های ساخته‌شده در 80°C خشک شدند.

تهیه فیلم ضدباکتری به دو صورت انجام شد:

۱) در روش اول (غوطه‌وری)، فیلم‌های سلولز نانوفیبریل‌شده به روش گفته شده تهیه گردیده و پس از آن به‌مدت دو ساعت در تاریکی درون شیکر در نانوذرات نقره غوطه‌ور گردید.

هم‌زدن سوسپانسیون تا آخرین قطره اضافه گردد. در نهایت از دو سطح 5 ppm و 10 ppm به‌عنوان حد پایین مقادیر مجاز نانو نقره برای تیمار سلولز نانوفیبریل‌شده استفاده گردید.

فرآوری سلولز نانوفیبریل‌شده ضدباکتری: سلولز نانوفیبریل‌شده (NFC) ضدباکتری از طریق احیای نقره نیترات بر روی نانو سلولز فیبریل‌شده با استفاده از سدیم‌بوروهیدرید تهیه گردید.

با توجه به این‌که سلولز نانوفیبریل‌شده به‌علت حضور گروه‌های یونی مانند کربوکسیلیک اسید (۲۸ و ۳۷)، دارای بار سطحی منفی می‌باشد و از طرفی نانوذرات نقره مطابق با نتایج پتانسیل زتا نیز دارای بار منفی می‌باشند، بنابراین برای نشان دادن نانوذرات نقره بر روی نانو الیاف از پلی‌دادمک استفاده شد. برای آماده‌سازی پلی‌دادمک با غلظت 1.1% ابتدا محلول 0.5% مولار سدیم کلرید تهیه شد. سپس مقدار 7.5% سی‌سی از پلی‌دادمک به 100 ml میلی‌لیتر محلول 0.5% مولار سدیم‌کلرید اضافه گردید. این مخلوط به‌مدت ۱۰ دقیقه توسط هم‌زن مغناطیسی هم زده شد و در نهایت 70 mm از محلول تهیه شده به سلولز نانوفیبریل‌شده اضافه گردید. این مخلوط به‌مدت نیم ساعت بر روی هم‌زن مغناطیسی در دمای اتاق هم‌زده شد. برای خروج مقدار اضافی بار مثبت با استفاده از سانتریفیوژ دور 6000 به‌مدت ۵ دقیقه شست‌وشو انجام شد. این عمل تا ۳ مرتبه تکرار شد. در مرحله دوم محلول تهیه شده از سدیم بوروهیدرید به سلولز نانوفیبریل‌شده اضافه شد و در مرحله آخر با افزودن محلول نقره نیترات به‌صورت قطره قطره بر روی سلولز نانوفیبریل‌شده (NFC)، نانوذرات نقره احیا شد. عملیات شست و شو با سانتریفیوژ در این مرحله با سه مرتبه تکرار صورت گرفت. سپس سوسپانسیون برای کاهش اندازه نانوذرات نقره تحت تیمار فراصوتی قرار گرفتند.

نانوذرات نقره و سلولز نانوفیبریل شده از دستگاه پتانسیل زتا مدل HS C1330- 3000 ساخت کشور انگلستان از کمپانی مالورن^۳، استفاده شد. با کمک دستگاه پتانسیل زتا می‌توان دو پارامتر مهم شامل ۱- آنالیز اندازه ذرات و ۲- پتانسیل زتا را در محلول‌های آبی و آلی تعیین نمود.

تهیه تصاویر میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی، آنالیز عنصری و صفحه‌ای (MAP) از نمونه‌های کاغذ و فیلم: به منظور ارزیابی درصد وزنی و نحوه پراکنش نانوذرات در سطح کاغذ و فیلم‌های تهیه شده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی^۴ استفاده شد. همچنین از تصاویر آنالیز صفحه‌ای (MAP) به منظور تحلیل توزیع مواد در بافت کاغذ استفاده شده است. MAP تصویری است که پراکنش عناصر مختلف را روی سطح مورد نظر نشان می‌دهد. این تصویر توسط دستگاه FESEM تهیه می‌گردد. به منظور ارزیابی چگونگی پراکنش نقره تصویر MAP از کاغذ و فیلم‌ها تهیه شد. این تصاویر پراکنش نانوذرات را در بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰ برابر نشان می‌دهد. در واقع آنالیز عنصری و نقشه پراکنش مواد در سطح را می‌توان در تحلیل توزیع مواد در بافت کاغذ بسط داد. اطلاعات مربوط به آنالیز عنصری، تصاویر و آنالیز صفحه‌ای^۵ نمونه‌های کاغذ و فیلم به وسیله دستگاه FESEM مدل XMU- TESCAN- MIRA3 پژوهشگاه متالورژی رازی تهیه شدند. به علت هدایت الکتریکی مختلف نمونه‌ها قبل از تهیه تصاویر، نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پوشش‌دهی یونی تحت پوشش طلا قرار گرفتند.

۲) در روش دوم، ابتدا نیترات نقره بر روی الیاف سلولز نانوفیبریل شده با استفاده از سدیم بوروهیدرید احیا و سپس از آن فیلم تهیه گردید.

وزن پایه کاغذ براساس استاندارد تاپی به شماره ۰۲- ۴۱۰om T، بررسی ویژگی مقاومت به عبور هوا بر اساس استاندارد شماره ۹۶- ۴۶۰ om T، شاخص مقاومت به ترکیدن طبق استاندارد شماره ۰۲- ۴۰۳om T، شاخص مقاومت به پاره شدن طبق استاندارد شماره ۰۴- ۴۱۴om T، ماتی طبق استاندارد ۰۱- ۴۵۲om T و درجه روشنی طبق استاندارد ۰۲- ۴۵۲ om T انجام شد.

استریل نمودن کاغذها: کاغذهای دست‌ساز باید قبل از آزمون ضدباکتری از لحاظ آلودگی استریل گردد. جهت استریل نمودن کاغذها در این بخش از هر تیمار ۰/۰۵ گرم جداگانه در داخل فویل کاغذی قرار داده شد. فویل‌های حاوی کاغذهای تیمار نشده و تیمار شده در داخل یک بشر گذاشته و مجموعه در داخل آون با دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲۰ دقیقه استریل شدند.

تهیه محیط کشت: بهترین محیط کشت مایع که اکثر باکتری‌ها در آن رشد خوبی دارند محیط کشت BHI^۱ می‌باشد. بر این اساس در این پژوهش برای تمامی باکتری‌ها از محیط BHI ساخت شرکت QueLAB کشور کانادا استفاده شد.

تهیه باکتری‌ها: در این پژوهش کاغذهای ضدباکتری تحت تأثیر دو نوع باکتری، اشرشیاکلاهی و استفیلوکوکوس اورئوس قرار گرفتند. این باکتری‌ها از بانک باکتری دانشگاه علوم پزشکی گرگان تهیه شدند. **طیف‌سنجی نور فعال- آزمون پراکندگی نور دینامیکی (DLS)^۲:** برای اندازه‌گیری اندازه و شارژ

3- Malvern
4- FESEM
5- MAPPING

1- Brain Heart Infusion Broth
2- Dynamic Light Scattering

نتیجه فرآیندهای شیمیایی و یا حضور بعضی از پلی ساکاریدها مانند گلوکورونوزایلان بر اساس منابع در حدود ۱۶/۸- می باشد (۲۸ و ۳۷).

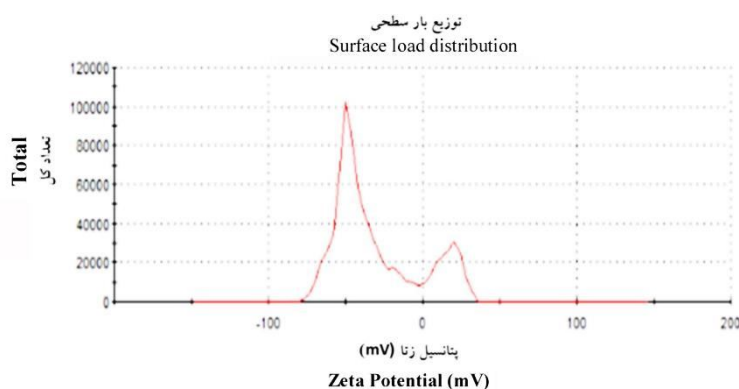
به منظور اطمینان از دستیابی به ذرات نانومتری در احیای نانوذرات نقره از آزمون پراکندگی نور دینامیکی استفاده گردید. مطابق شکل ۲ بررسی نتایج حاصل از نانونقره پس از احیاء، دو پیک از اندازه نانوذرات نقره را نشان می دهد. اندازه ذرات در پیک اول در حدود ۳۴ نانومتر و در پیک دوم در حدود ۲۷۹ نانومتر بوده است. در هنگام فرآوری نانوذرات نقره برای تثبیت ذرات طی انجام واکنش، باید به مقدار کافی سدیم بورهیدرید وجود داشته باشد که این مقدار سدیم بورهیدرید باعث افزایش قدرت یونی شده و در نهایت باعث تراکم ذرات می شود (۴۶). همچنین اندازه بزرگ نانوذرات نقره (ابعاد بالای ۱۰۰ نانومتر) به دلیل سطح انرژی زیاد می باشد که تمایل به تراکم شدن دارند (۴۸)، بنابراین همان طور که در شکل ۲ مشاهده می گردد عمده ذرات نقره در محدوده ابعادی بیش از ۱۰۰ نانومتر قرار گرفته اند.

آزمون FTIR: این آزمون با استفاده از طیف سنج Perkim Elmir RXI در محدوده طول موج cm^{-1} ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ در آزمایشگاه تحقیقاتی شیمی - فیزیک دانشگاه گلستان انجام شد.

نتایج و بحث

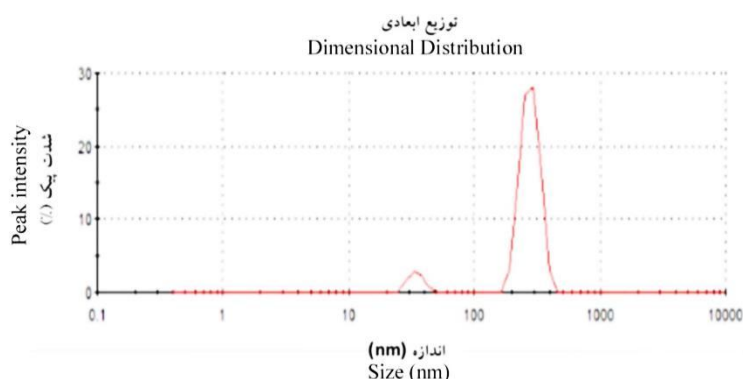
سلولز نانوفیبریل شده به علت حضور گروه های یونی مانند کربوکسیلیک اسید که در نتیجه فرآیندهای شیمیایی و یا حضور بعضی از پلی ساکاریدها مانند گلوکورونوزایلان ایجاد می شود (۲۸ و ۳۷)، دارای بار سطحی منفی است. از طرفی نانوذرات نقره مطابق با نتایج پتانسیل زتا دارای بار منفی می باشد. برای نشان دادن این نانوذره بر روی نانو الیاف از پلی دادمک استفاده شد، تا نانوذرات نقره روی نانو الیاف بنشینند.

اندازه گیری شارژ و اندازه نانوذرات نقره با آزمون DLS^۱: همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود مقدار بار سطحی ذرات نانونقره ۳۰/۷- میلی ولت اندازه گیری گردید. مقدار بار سطحی NFC نیز به دلیل حضور گروه های یونی مانند کربوکسیلیک اسید که در



شکل ۱- بار سطحی نانوذرات نقره فرآوری شده بر اساس آزمون DLS.

Figure 1. Surface load of Ag nanoparticle on DSL test.

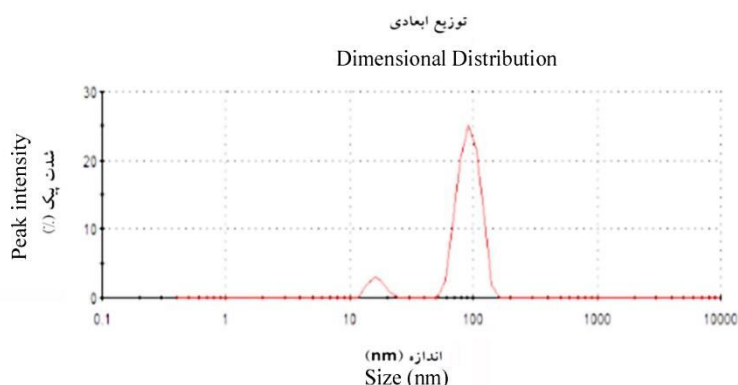


شکل ۲- توزیع ابعادی ذرات نقره قبل از تیمار فراصوتی با استفاده از آزمون DLS.

Figure 2. Dimensional distribution of Ag particles before ultrasonic treatment by DSL test.

به‌طورکلی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که احیاء نانوذرات نقره توسط سدیم بوروهیدرید تمایل زیادی به تجمع و ایجاد توده دارند، زیرا بعد از اعمال تیمار فراصوتی اندازه ذرات کوچک‌تر شده که بیانگر این واقعیت می‌باشد. کوچک‌تر شدن ذرات که همراه با افزایش سطح مؤثر واحد حجم (سطح ویژه) آن‌ها است موجب تشدید فعالیت‌های یونی و افزایش خواص ضدباکتریایی می‌شود.

برای کاهش اندازه ذرات نانونقره از تیمار فراصوتی استفاده گردید و سپس اندازه و بار نانوذرات نقره مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۳، نتایج توزیع طولی ذرات نانونقره پس از تیمار فراصوتی را نشان می‌دهد. در این طیف، دو پیک از اندازه ابعاد ذرات نانونقره مشاهده می‌شود. اندازه ذرات در پیک اول در محدوده ۱۶ نانومتر و در پیک دوم در حدود ۹۰ نانومتر می‌باشد که بیش‌ترین مقدار را شامل می‌گردد.

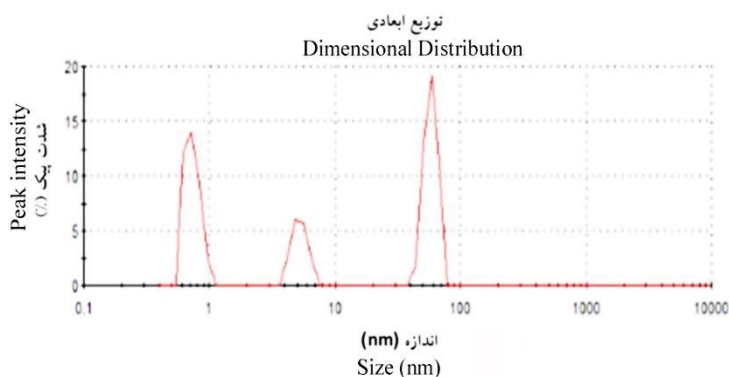


شکل ۳- توزیع ابعادی نانوذرات نقره پس از تیمار فراصوتی بر اساس آزمون DLS.

Figure 3. Dimensional distribution of Ag particles after ultrasonic treatment by DSL test.

سه پیک نشان می‌دهد. اندازه ذرات در پیک اول ۰/۷ نانومتر، در پیک دوم حدود ۵ نانومتر و در پیک سوم که بیش‌ترین مقدار را شامل می‌گردد، در محدوده ۵۸ نانومتر می‌باشد.

اندازه ذرات سلولز نانوفیبریله شده تیمار شده با نانوذرات نقره بر اساس آزمون DLS: شکل ۴ اندازه ذرات NFC تیمار شده با نانونقره را نشان می‌دهد. این طیف، اندازه ذرات (قطر ذرات) را در محدوده

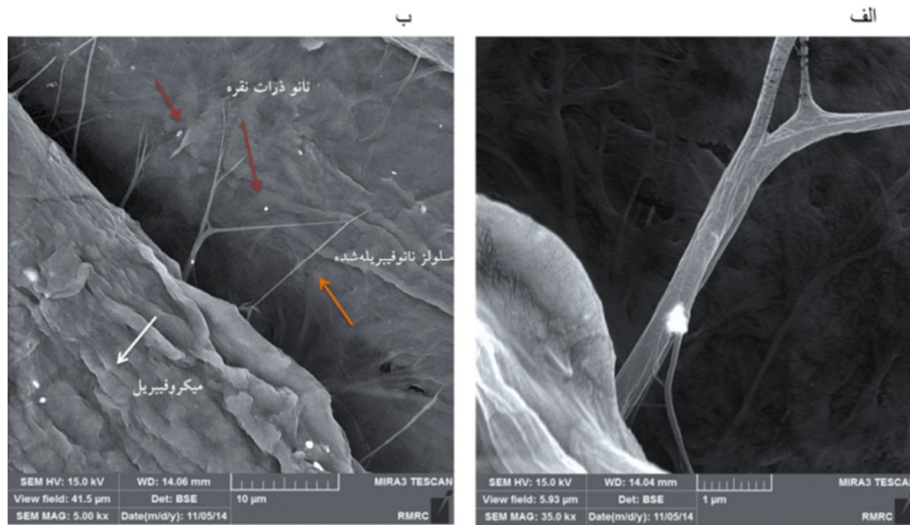


شکل ۴- توزیع ابعادی سلولز نانوفیبریل شده تیمار شده با نانوذرات نقره با استفاده از آزمون DLS.

Figure 4. Dimensional distribution of treated cellulose nanofibrilated by Ag nanoparticles by DSL test.

موجود، این نتیجه قابل استنباط است که نانوفیبریل‌ها در کاغذهای ترکیبی، میکروالیاف را به همدیگر متصل می‌کنند و در عین حال با دیگر نانوالیاف نیز پیوند محکمی ایجاد می‌کنند. وجود شبکه پیوسته نانوفیبریل‌ها در کاغذهای حاوی سلولز نانوفیبریل شده همه خواص کاغذ حاصل را تحت تأثیر قرار داده و در اغلب موارد منجر به بهبود خواص شده است. همچنین نانوذرات نقره و توده‌های آن‌ها بر روی سطح نانوالیاف مشاهده می‌شود. نانوذرات نقره بر روی الیاف NFC در تصویر به صورت توده‌های براق مشاهده می‌شود. براق‌تر بودن بعضی از این ذرات به دلیل نزدیک‌تر بودن این توده‌ها به لنز دستگاه می‌باشد در صورتی که بعضی از ذرات در فاصله بیش‌تری قرار گرفته‌اند.

ریزننگاره میکروسکوپ الکترونی از کاغذهای دست‌ساز تیمار شده با نانوکامپوزیت NFC/نانونقره: ریزننگاره میکروسکوپ الکترونی روبشی از کاغذهای حاوی ۱۵٪ نانوکامپوزیت NFC/نانونقره با سطح مصرفی نقره ۵ ppm در شکل ۵ با دو بزرگ‌نمایی مشاهده می‌شود. در بخش (الف) تصویر یک توده نانوذرات نقره که بر روی NFC قرار گرفته مشاهده می‌شود که اندازه ابعاد با نتایج DLS مطابقت دارد، همچنین در بخش (ب) نانوذرات نقره که به صورت پراکنده بر روی میکروالیاف و نانوالیاف قرار گرفته‌اند مشاهده می‌شود. شکل ۶ ریزننگاره میکروسکوپ الکترون روبشی از کاغذهای حاوی ۱۵٪ درصد وزنی NFC/نانونقره با سطح مصرفی نقره ۱۰ ppm را نشان می‌دهد. با مشاهده ریزننگاره



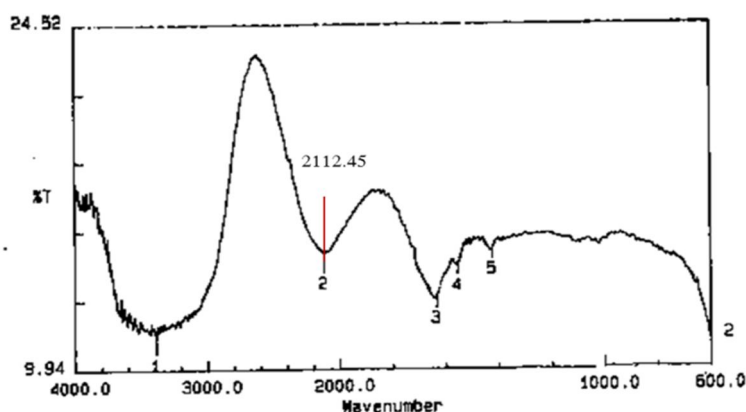
شکل ۵- تصاویر FESEM از کاغذ تیمار شده با ۱۵٪ درصد وزنی کامپوزیت NFC/نانونقره با سطح نقره مصرفی ۵ ppm.
 Figure 5. FESEM images of treated paper by NFC/Ag nanoparticle composite (15% w/w) and Ag consumption of 5 ppm.



شکل ۶- تصاویر FESEM از سطح کاغذ تیمار شده با ۱۵٪ درصد وزنی کامپوزیت NFC/نانونقره با سطح نقره مصرفی ۱۰ ppm.
 Figure 6. FESEM images of treated paper by NFC/Ag nanoparticle composite (15% w/w) and Ag consumption of 10 ppm.

نانوذرات نقره در سطح کاغذ و در ادامه در ساختار کاغذ تیمار شده با نانوکامپوزیت NFC/نقره از آزمون FTIR استفاده گردید.

آنالیز شیمیایی سطح کاغذهای تیمار شده با سلولز نانوفیبره شده ضدباکتری با استفاده از طیف‌سنج مادون‌قرمز- فوریه: به‌منظور اطمینان از حضور

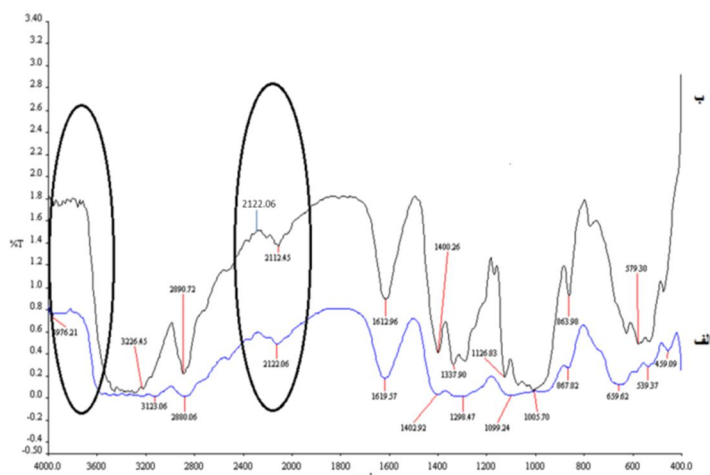


شکل ۷- طیف مادون قرمز- فوریه نانوذرات نقره (۱۳ و ۱۴).
Figure 7. Ag Nanoparticles FTIR spectrum (13, 14).

OH گروه با ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ مربوط به نانوذرات نقره با گروه OH در این ناحیه همپوشانی دارد. افزایش درصد عبور در این ناحیه با توجه به یکسان بودن میزان ترکیبات دارای گروه OH (اعم از فیبر و NFC)، نشان دهنده وجود پیک نانوذرات نقره در کنار NFC می باشد. نتایج طیف های FT-IR مربوط به مخلوط کاغذ و نانوذرات نقره نشان می دهد که عدد موجی ۲۱۱۲/۴۵ مربوط به نانوذرات نقره و ۲۱۲۲/۰۶ در شکل ۸ (ب) یکی از پیک های مربوط به کاغذ تیمار شده با NFC می باشد که با توجه به شکل ۷ با پیک مربوط به ارتعاش ۲۱۲۲/۰۶ کاغذ تیمار شده با NFC همپوشانی دارد. همچنین پیک ۱۶۴۵ و ۱۵۳۷ نانوذرات نقره با پیک ۱۶۱۹ کاغذ تیمار شده با NFC همپوشانی دارد و قابل شناسایی نمی باشد.

شکل ۷ مربوط به نتایج FTIR نانوذرات نقره می باشد. همان طور که مشاهده می شود نانوذرات نقره در محدوده عدد موجی ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ دارای پیک می باشد. علاوه بر این پیک های مربوط به اعداد موجی ۲۱۱۲/۴۵، ۱۶۴۵ و ۱۵۳۷ از جمله پیک های شاخص مربوط به شناسایی نانوذرات نقره است. شکل ۸ (منحنی الف) مربوط به کاغذ تیمار شده با ۱۵٪ وزنی NFC می باشد. همان طور که در نمودار مشاهده می شود پیک مربوط به عدد موجی ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ مربوط به گروه های OH فیبر و NFC می باشد. همچنین پیک مربوط به عدد موجی ۲۱۲۲/۰۶ مربوط C-H کششی می باشد.

از نتایج طیف سنج مادون قرمز- تبدیل فوریه مشاهده می شود (شکل ۸) پیک مربوط به عدد موجی

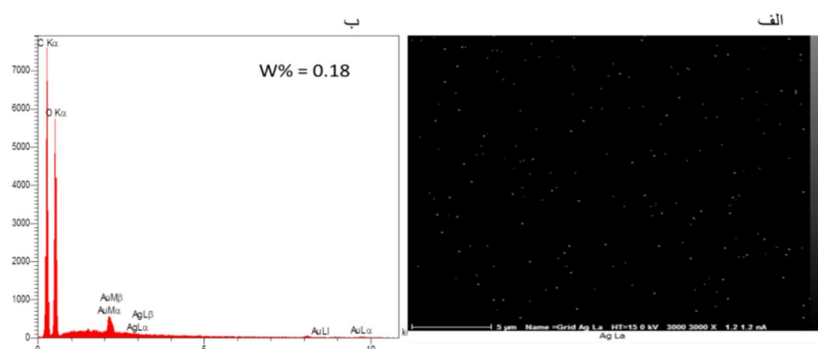


شکل ۸- طیف مادون‌قرمز- فوریه (الف) کاغذ تیمار شده با نانوسلولز فیریله شده (ب) کاغذ تیمار شده با نانوکامپوزیت سلولز نانوفیبریله شده / نانونقره.

Figure 8. FTIR spectrum of (A) treated paper by cellulose nanofibrilared (B) treated paper by NFC/Ag nanoparticle composite.

مختلف تهیه می‌گردد. از این آزمون جهت بررسی میزان عنصر نقره موجود در سطح کاغذ و فیلم استفاده گردید. به منظور ارزیابی چگونگی پراکنش نقره تصویر MAP از کاغذ و فیلم‌ها تهیه شد. این تصاویر پراکنش نانوذرات را در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر نشان می‌دهد. در واقع آنالیز عنصری و نقشه پراکنش مواد در سطح را می‌توان در تحلیل توزیع مواد در بافت کاغذ بسط داد.

آنالیز عنصری اشعه ایکس پراکنش‌گرای انرژی (EDS) و نقشه پراکنش عناصر (MAP) در سطح کاغذ: یکی از اهداف مهم این پژوهش، بررسی ماندگاری و تثبیت ذرات نانونقره در سطح کاغذهای تولید شده می‌باشد. بدین منظور و برای ارزیابی این مسأله، از آزمون آنالیز عنصری استفاده گردید. EDS آزمونی است که می‌تواند درصد عناصر مختلف موجود در یک ساختار لایه سطحی را نشان دهد. این آزمون توسط دستگاه FESEM و از لایه سطحی مواد

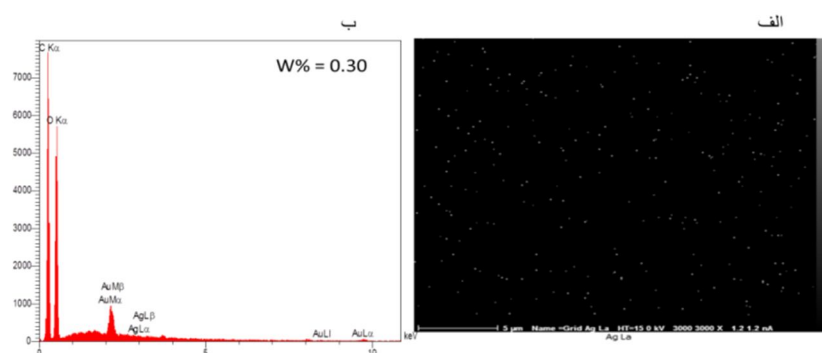


شکل ۹- الف) MAP کاغذ تیمار شده با ۱۵٪ وزنی نانوکامپوزیت NFC/نانونقره در سطح مصرفی ۵ ppm (ب) نمودار آنالیز عنصری.

Figure 9. (A) MAP of treated paper by NFC/Ag nanoparticle composite (15% w/w) and Ag consumption of 5 ppm (B) elemental analysis diagram.

شکل ۱۰ نقشه چگونگی توزیع نانوذرات نقره در سطح کاغذ تیمار شده با نانوکامپوزیت NFC/نانونقره در سطح نقره مصرفی ۱۰ ppm می باشد. همان طور که در بخش (الف) تصویر مشاهده می شود نانوذرات نقره از توزیع یکنواختی برخوردارند. همچنین در بخش (ب) تصویر، شاهد آنالیز عنصری ترکیبات سطح کاغذ می باشید که درصد وزنی نقره به وزن کل ترکیبات ۰/۳۰٪ به دست آمده است.

شکل ۹ (الف) نقشه پراکنش نانوذرات نقره در سطح کاغذ تیمار شده با نانوکامپوزیت NFC/نانونقره در سطح نقره مصرفی ۵ ppm می باشد. همان طور که مشاهده می شود نانوذرات نقره از توزیع و پراکنش یکنواخت در سطح کاغذ برخوردارند. همچنین در بخش (ب) تصویر شاهد آنالیز عنصری ترکیبات سطح کاغذ می باشید که درصد وزنی نانوذرات نقره به وزن کل ترکیبات ۰/۱۸٪ به دست آمده است.



شکل ۱۰- (الف) MAP کاغذ تیمار شده با ۱۵٪ وزنی نانوکامپوزیت NFC/نانونقره در سطح مصرفی ۱۰ ppm (ب) نمودار آنالیز عنصری.
Figure 10. (A) MAP of treated paper by NFC/Ag nanoparticle composite (15% w/w) and Ag consumption of 10 ppm (B) elemental analysis diagram.

مقادیر درصد وزنی نانونقره آن کم تر از فیلم های نانوکامپوزیت NFC/نانونقره باشد. **آزمون بیولوژیکی:** هدف اصلی در این پژوهش ایجاد خاصیت ضدباکتریایی در کاغذ بوده است. برای دستیابی به این مهم از کامپوزیت NFC/نانونقره در فرآیند استفاده شده است. طبق نتایج به دست آمده همان طور که انتظار می رفت ذرات نانونقره به عنوان یک عامل ضدباکتری شناخته شده و باعث کاهش رشد باکتری شده است. نتایج به دست آمده با نتایج ناصر و یوسف (۲۰۱۲) و مارتینز و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد (۲۸ و ۳۴)، به گونه ای که در تمام این پژوهش ها اثر ضدباکتری نقره بر روی باکتری ها اثبات شده است. به منظور بررسی خاصیت ضدباکتریایی،

همان طور که در این دو تصویر مشاهده می شود، دو تیمار از توزیع نانونقره یکنواختی برخوردار بوده اند ولی همان طور که پیش بینی می شد از آن جا که، در سطح نانونقره مصرفی ۱۰ ppm تعداد ذرات نانونقره در واحد حجم بیش تر می باشد (حدود دو برابر نسبت به تیمار ۵ ppm) مقدار نانوذرات نقره در MAP و درصد وزنی سطح کاغذ تیمار شده با نانوکامپوزیت NFC/نانونقره در سطح نقره مصرفی ۱۰ ppm تقریباً دو برابر تیمار ۵ ppm به دست آمده است. مقادیر درصد وزنی اندک نانوذرات نقره در کاغذهای تیمار شده با ۱۵٪ نانوکامپوزیت NFC/نقره به این دلیل است که تنها ۱۵٪ وزنی این کاغذها حاوی نانوکامپوزیتی است که خود دارای مقادیر کمی از نانوذرات نقره بوده است. بنابراین بدیهی است که

مرگ باکتری می‌گردد (۴۰) و همچنین به علت خاصیت آبدوستی زیاد NFC که باعث جذب آب از دیواره سلولی باکتری و در نهایت از بین رفتن باکتری می‌شود نسبت داد.

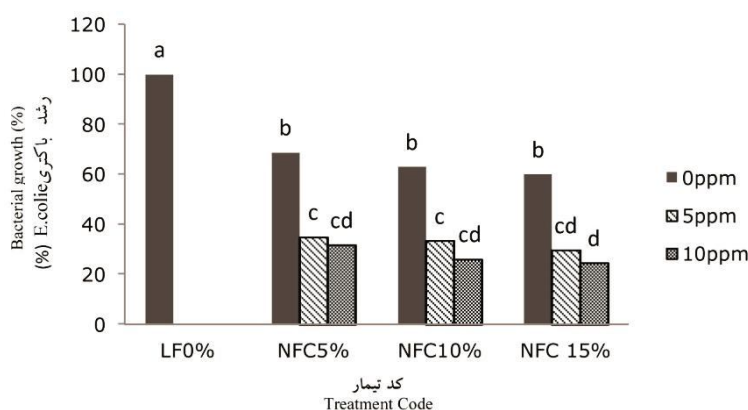
با افزایش مقدار نانوذرات نقره در سطح ثابت NFC درصد رشد باکتری کاهش می‌یابد. همان‌طور که در تصویر ۱۱ مشاهده می‌شود کاغذهای تیمار شده با ۱۵٪ وزنی نانوکامپوزیت NFC/نانونقره در سطح نقره مصرفی ۵ ppm رشد باکتری ۷۰/۳۲٪ و در سطح نقره مصرفی ۱۰ ppm ۷۵/۵۳٪ نسبت به نمونه کنترل کاهش یافته است. در سطح نانونقره مصرفی ۱۰ ppm تعداد ذرات نانونقره در واحد حجم بیش‌تر است که در تصاویر MAP و آنالیز عنصری سطح کاغذ تیمار شده با ۱۵٪ وزنی نانوکامپوزیت NFC/نانونقره مشاهده شد.

همچنین با افزایش مقدار سلولز نانوفیبریله شده در غلظت مشابه نانوذرات نقره، خاصیت ضدباکتری افزایش می‌یابد که می‌تواند به علت تثبیت بیش‌تر نانوذرات نقره بر روی نانوالیاف باشد که با توجه به نتایج آنالیز عنصری به ماندگاری بیش‌تر نانوذرات نقره با سلولز نانوفیبریله شده نسبت داد.

کاغذهای تیمار شده با دو نوع باکتری مورد بررسی قرار گرفتند که در ذیل نتایج و اثرات آن‌ها ارائه شده است.

آزمون بیولوژیکی کاغذهای تیمار شده با نانوکامپوزیت NFC/نانونقره

باکتری اشرشیاکلائی: شکل ۱۱ روند تغییر میزان اثر ضدباکتری کاغذهای تیمار شده با نانوکامپوزیت NFC/نانونقره در برابر باکتری اشرشیاکلائی نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر سطوح مختلف نانوذرات نقره بر رشد باکتری اشرشیاکلائی در سطح اعتماد ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری است. اکسیداسیون نقره فلزی به Ag^+ از طریق تعامل نقره با مولکول‌های آب می‌باشد (۲۲) در نتیجه قابلیت آبدوستی الیاف سلولزی می‌تواند اکسیداسیون نانوذرات حاضر در کاغذها را تسهیل کند و در نهایت باعث انتشار آهسته Ag^+ شود (۸). همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود کاغذهای تیمار شده با NFC به‌طور میانگین ۳۶٪ رشد باکتری را نسبت به نمونه کنترل کاهش دادند دلیل آن را می‌توان به واکنش الکتروستاتیکی پلیمر کاتیونی پلی‌دامک با گروه‌های آنیونی در دیواره سلولی باکتری که منجر به

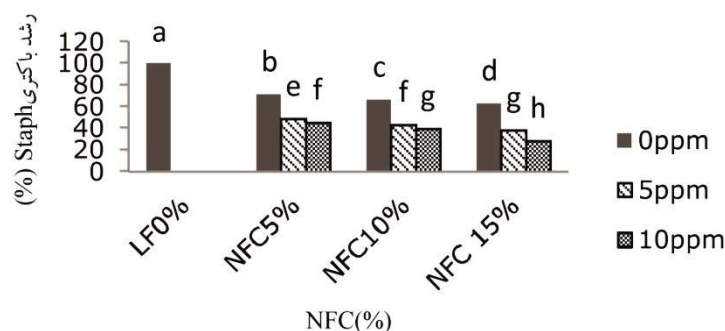


شکل ۱۱- خاصیت ضدباکتری کاغذهای تیمار شده با NFC و نانوکامپوزیت NFC/نانونقره در مقابل باکتری اشرشیاکلائی.

Figure 11. Antibacterial properties of treated paper by NFC and NFC/Ag nanoparticles nanocomposite against E. Colie.

کاغذهای تیمار شده با ۵، ۱۰ و ۱۵٪ وزنی نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره که خود دارای مقادیر کمی از نانوذرات نقره می‌باشند، با وجود مقادیر کم، نانوذرات نقره توانستند رشد باکتری را مهار کنند. همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود کاغذ تیمار شده با ۱۵٪ وزنی نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره در سطح نقره مصرفی ۱۰ ppm با وجود مقادیر کم نانوذرات نقره همان‌طور که در نتایج آنالیز عنصری مشاهده شد، توانست ۷۱/۵۴٪ نسبت به نمونه شاهد مانع از رشد باکتری شود.

باکتری استافیلوکوکوس اورئوس: نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر سطوح مختلف نانوذرات نقره بر رشد باکتری اورئوس در سطح اعتماد ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری است. همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود کاغذ تیمار شده با بیش‌ترین مقدار درصد وزنی NFC (۱۵٪) رشد باکتری را ۳۷/۲۳٪ نسبت به نمونه شاهد (باکتری، محیط کشت و کاغذ الیاف بلند) کاهش داده است. NFC به دلیل خاصیت آب‌دوستی زیاد، باعث جذب آب از دیواره سلولی باکتری شده که منجر به آسیب دیواره سلولی باکتری و همچنین تغییر شکل پروتئین باکتریایی شده و در نهایت از بین رفتن باکتری می‌شود.

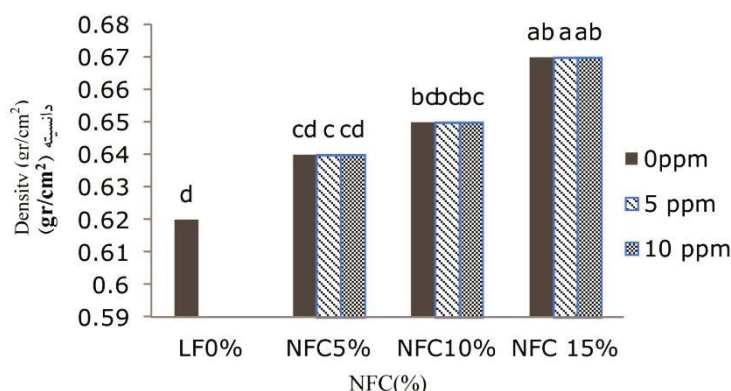


شکل ۱۲- خاصیت ضدباکتری کاغذهای تیمار شده با NFC و نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره در مقابل باکتری استافیلوکوکوس اورئوس.
Figure 12. Antibacterial peroperties of treated paper by NFC and NFC/Ag nanoparticles nanocomposite against S. Aureus.

دانشیته بیش‌تری دارد، که این خود عاملی جهت افزایش دانشیته کاغذ حاصل می‌باشد (۱۶). همچنین الیاف ریز و کوچک NFC به دلیل استقرار در خلل و فرج و فضای خالی بین الیاف موجب افزایش تراکم و در نتیجه افزایش پیوند بین لیفی شده و با کاهش ضخامت دانشیته ظاهری کاغذ را افزایش می‌دهد. نانوذرات نقره در سطوح نقره مصرفی ۵ ppm و ۱۰ تأثیر زیادی بر روی افزایش دانشیته نداشته است که با توجه به مقدار کم آن در نتایج آنالیز عنصری قابل توجیه می‌باشد.

بررسی خواص فیزیکی کاغذ

دانشیته: نتایج حاصل از افزودن NFC و همچنین نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره بر دانشیته ظاهری کاغذهای حاصل در شکل ۱۳ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج با افزایش سطح مصرف NFC دانشیته کاغذ به‌طور معنی‌داری در سطح اعتماد آماری ۹۵٪ افزایش یافته است. لازم به ذکر است که دانشیته ظاهری کاغذ تحت تأثیر دانشیته اجزای تشکیل‌دهنده آن می‌باشد. NFC به‌علت حذف بخش عمده‌ای از لیگنین و همی سلولزها نسبت به الیاف خمیر و کاغذ



شکل ۱۳- تغییرات دانسیته در کاغذهای تیمارشده با NFC و نانوکامپوزیت NFC/ نقره.

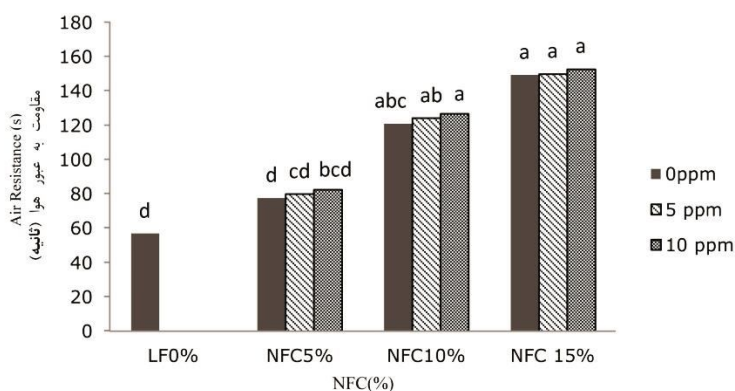
Figure 13. Density variation in treated paper by NFC and NFC/Ag nanocomposite.

مقاومت به عبور هوای کاغذهای تیمارشده با NFC افزایش یافته است. در فرآیندهای متداول کاغذسازی، با افزایش پالایش دانسیته کاغذ افزایش می‌یابد در نتیجه مقاومت به عبور هوای کاغذ افزایش می‌یابد که عمدتاً به دلیل افزایش فیبریلاسیون، انعطاف‌پذیری لیاف و تولید نرمه می‌باشد. اثر مشابهی با افزایش NFC در کاغذ مشاهده می‌شود. در واقع نانوالیاف در تشکیل یک شبکه لیفی متراکم که با پیوندهای قوی بین لیفی در کنار هم نگه داشته می‌شوند همان‌طور که در تصاویر FESEM در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده گردید، موجب کاهش قابلیت نفوذپذیری به هوا و بهبود خاصیت ممانعتی کاغذ می‌گردد.

مقایسه مقاومت به عبور هوای کاغذهای تیمار شده با NFC و کامپوزیت NFC/ نانونقره دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشد که به نظر می‌رسد به علت مقادیر ناچیز نانو ذرات نقره و ابعاد کوچک آن تأثیری در افزایش سطح پیوند سطح پیوند و کاهش خلل و فرج بافت کاغذ نداشته است.

نتایج بررسی‌های به عمل آمده نشان داده است که با افزایش مقدار NFC دانسیته ظاهری افزایش می‌یابد که با روند داده‌ها در این مطالعه یکسان است.

مقاومت به عبور هوا: مقاومت به عبور هوا به طور غیرمستقیم نشان‌دهنده ساختمان داخلی و ساختار کاغذ بوده که تحت تأثیر کیفیت شکل‌گیری کاغذ و چگونگی توزیع لیاف، نرمه‌های لیاف و پرکننده قرار می‌گیرد. این پارامتر نشان می‌دهد که یک ورق کاغذ در برابر نفوذ سیالات و گازها چه واکنشی نشان می‌دهد. مقاومت به عبور هوا از جمله ویژگی‌های دارای اهمیت به‌ویژه در صنعت بسته‌بندی می‌باشد که با جلوگیری از نفوذ اکسیژن مانع فساد سریع مواد غذایی می‌شود. نتایج مربوط به مقاومت به عبور هوا در کاغذهای مختلف در شکل ۴-۲۱ آمده است. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که تأثیر NFC و همچنین نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره بر مقاومت به عبور هوای کاغذ در سطح ۹۵٪ در آزمون دانکن معنی‌دار بوده است. شکل ۱۴ نشان می‌دهد که



شکل ۱۴- مقاومت به عبور هوا در کاغذهای تیمارشده با NFC و نانوکامپوزیت NFC/نانونقره.

Figure 14. Air resistance in paper treated by NFC and NFC/Ag nanocomposite.

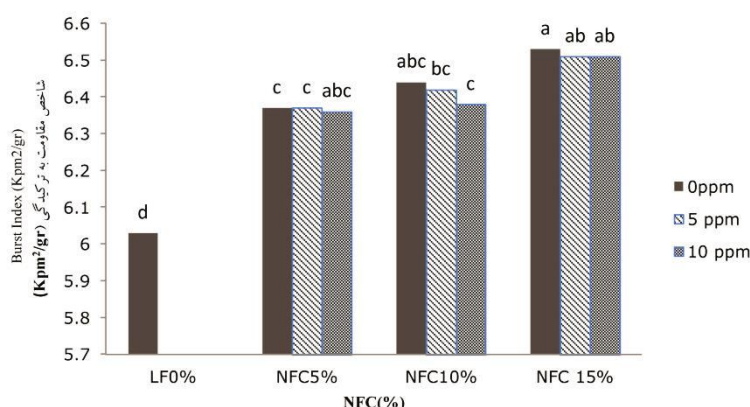
است. درگیری فیزیکی زیاد بین NFC با الیاف و سطح ویژه زیاد آنها همانطور که در تصاویر FESEM شماره ۵ و ۶ مشاهده شد، سبب افزایش تعداد پیوند هیدروژنی و افزایش سطح پیوند بین الیاف می‌شود در نتیجه خواص کششی کاغذ را بهبود می‌دهد (۱۵). عامل دیگری که می‌تواند بر بهبود خواص کاغذ در اثر افزودن NFC تأثیر داشته باشد، اثر NFC بر توزیع یکنواخت‌تر تنش به دلیل سطح ویژه زیاد آن می‌باشد. (۲۶).

در تیمارهایی که NFC استفاده شده است، با افزایش مصرف سلولز نانوفیبریل شده مقاومت به ترکیدگی افزایش یافته است. این افزایش به دلیل اثرات مثبت NFC در بهبود مقاومت شبکه الیاف می‌باشد. همچنین نانوذرات نقره در سطوح مصرف به‌طور جزئی باعث کاهش مقاومت به ترکیدگی شده‌اند که با توجه به مقدار کم نانوذرات نقره در آنالیز عنصری قابل توجیه می‌باشد.

خواص مقاومتی کاغذ

شاخص مقاومت به ترکیدگی: مقاومت به ترکیدگی در واقع مقاومت کاغذ در برابر تغییرشکل به‌وسیله یک پرده لاستیکی منبسط‌شونده است که با اندازه‌گیری فشار هیدرولیکی در نقطه پارگی (ترکیدن) کاغذ تعیین می‌شود. طول الیاف و اتصال بین آنها پارامترهای مؤثر بر روی مقاومت به ترکیدگی می‌باشند که اتصال بین الیاف نقش مهم‌تری دارد. افزایش طول الیاف، افزایش پالایش و فشار پرس باعث افزایش مقاومت به ترکیدگی و افزایش مقدار مواد پرکننده و نیز شاخص شکل‌گیری (شکل‌گیری نامناسب) باعث کاهش آن خواهد شد.

نتایج حاصل از افزودن مقادیر مختلف NFC و همچنین نانوکامپوزیت NFC/نانونقره بر مقاومت به ترکیدگی کاغذهای دست‌ساز در شکل ۴-۲۲ نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر سطوح مختلف NFC بر میزان مقاومت به ترکیدن در سطح اعتماد ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری

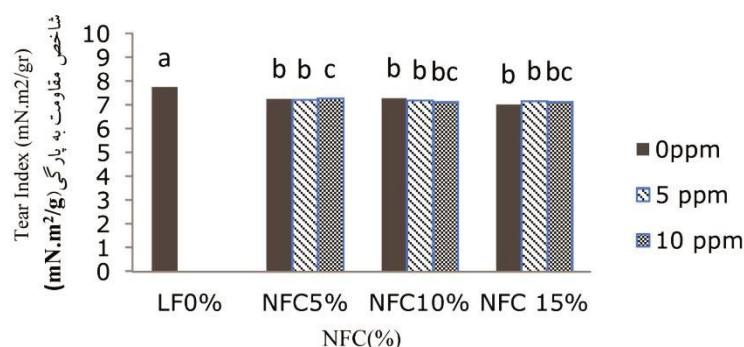


شکل ۱۵- مقاومت به ترکیدگی در کاغذهای تیمار شده با NFC و نانوکامپوزیت NFC/ نقره.

Figure 15. Burst index in treated paper by NFC and NFC/Ag nanocomposite.

مقاومت ذاتی الیاف بیشتر از مقاومت شبکه لیفی کاغذ باشد، نیروی اعمال شده صرف پاره کردن پیوندها و در نتیجه بیرون کشیدن لیف‌های سالم از شبکه کاغذ و در نهایت پارگی کاغذ می‌گردد. در ضمن هرچه طول الیاف بیشتر باشد، نیروی بیشتری برای بیرون کشیدن لیف از شبکه کاغذ لازم می‌باشد. در ارتباط با NFC کوتاه شدن شدید الیاف طی عملیات آسیاب کردن موجب افت مقاومت به پارگی می‌شود ولی از طرف دیگر با افزایش سطح ویژه الیاف و در نتیجه سطح پیوند بین الیاف موجب افزایش این مقاومت می‌شود.

شاخص مقاومت به پاره شدن: مقاومت به پاره شدن با روش المندروف^۱ به منظور نیروی لازم برای پاره شدن یک نمونه کاغذ مورد آزمایش قرار گرفت. این نیرو به صورت عمود بر صفحه کاغذ نمونه (زاویه ۹۰ درجه) اعمال می‌شود. مقاومت به پارگی کاغذ متأثر از دو عامل مقاومت ذاتی الیاف و سطح پیوند هیدروژنی شبکه لیفی کاغذ می‌باشد. در تحلیل پارگی کاغذ عامل اول زمانی نمود پیدا می‌کند که مقاومت سطح پیوند خیلی زیاد و بیشتر از مقاومت ذاتی الیاف باشد. در این حالت نیروی وارده صرف پاره کردن تک تک الیاف می‌شود. در ارتباط با عامل دوم، زمانی که



شکل ۱۶- مقاومت به پارگی در کاغذهای تیمار شده با NFC و نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره.

Figure 16. Tear index in treated paper by NFC and NFC/Ag nanocomposite.

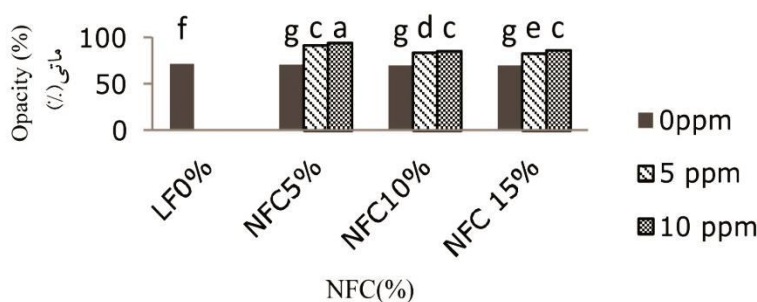
همچنین نانوکامپوزیت NFC/نانونقره بر ویژگی ماتی کاغذهای دست‌ساز نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اختلاف کاملاً معنی‌داری با سطح اطمینان ۹۵٪ درصد بین کاغذهای مختلف به لحاظ ماتی وجود دارد.

به‌طورکلی NFC از طریق افزایش سطح پیوند بین الیاف، موجب افزایش سطح تماس نوری می‌شود. با افزایش سطح تماس نوری، نور می‌تواند با شکست کم‌تری از کاغذ عبور کند، که در نتیجه ماتی کاغذ کاهش می‌یابد. در تیمارهایی که از NFC استفاده شده است، کاهش میزان ماتی با افزایش درصد NFC روند تقریباً ثابتی داشته است. از طرفی با افزایش مقدار سطوح مصرف نانوذرات نقره میزان ماتی در کاغذ افزایش می‌یابد. علت این افزایش ماتی به خاطر رنگ تیره نانوکامپوزیت NFC/نانونقره می‌باشد، زیرا طی فرآیند احیاء نانوذرات نقره بر روی نانو الیاف با سدیم بوروهیدرید، سوسپانسیون تیره رنگی به‌دست آمد که افزودن آن به کاغذ باعث افزایش جذب نور تابیده شده و افزایش ماتی می‌گردد. همچنین با افزایش درصد وزنی نانوکامپوزیت NFC/نانونقره نسبت به وزن کاغذ ماتی کاهش می‌یابد.

شکل ۴-۲۳ تأثیر NFC و نانو کامپوزیت NFC/نانونقره نشان می‌دهد. نتایج حاصل بیانگر این مسأله است که افت مقاومت ناشی از کوتاه شدن شدید الیاف و کاهش مقاومت شبکه الیاف موجب کاهش ناچیز این مقاومت گردیده است (۱ و ۲۰). همچنین میزان نانوذرات نقره تأثیر چشم‌گیری بر روی کاهش مقاومت به پارگی ندارد که ممکن است به دلیل مقدار جزئی ساختار نانومتری نانوذرات نقره باشد.

ویژگی نوری کاغذ

ماتی: ماتی کاغذ، خاصیتی از کاغذ است که مانع عبور نور از کاغذ می‌شود و مقدار آن برابر است با مقدار نور بازتابیده شده از یک ورقه کاغذ با پشتی زمینه سیاه به مقدار نور بازتابیده شده از همان کاغذ با پشتی چند ورق از همان کاغذ (زمینه مات) در شرایط استاندارد و مقدار به‌دست آمده به‌صورت درصد بیان می‌شود. وزن پایه، ضریب جذب و ضریب پخش نور کاغذ عوامل مؤثر بر ماتی کاغذ بوده و رابطه درجه ماتی با این سه عامل به‌صورت مستقیم بوده و با افزایش یا کاهش هر یک از سه عامل مذکور، مقدار درجه ماتی نیز افزایش یا کاهش می‌یابد. در شکل ۱۷ نتایج حاصل از افزودن NFC و



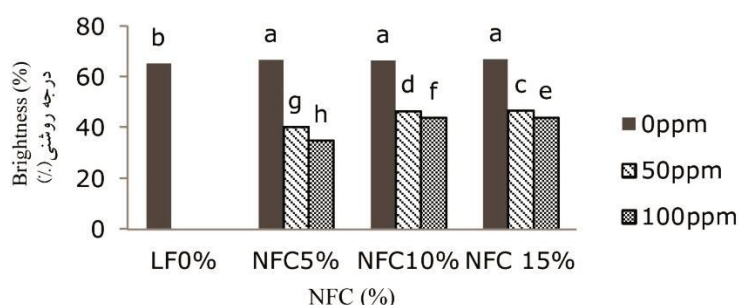
شکل ۱۷- ماتی در کاغذهای تیمار شده با NFC و نانوکامپوزیت NFC/نانونقره.

Figure 17. Opacity in treated paper by NFC and NFC/Ag nanocomposite.

و نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اختلاف کاملاً معنی‌داری با سطح اطمینان ۹۵٪ درصد در تیمارهای مختلف به لحاظ درجه روشنی وجود دارد با توجه به شکل ۱۸ به‌طورکلی در کاغذهای تیمار شده با NFC/ نانونقره کاهش درجه روشنی مشاهده شده است که به خاطر رنگ قهوه‌ای فرمولاسیون NFC/ نانونقره می‌باشد (۲۸). این تغییر رنگ به دلیل کاهش یون‌های نقره به نانوذرات نقره است و همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت مقدار نانوذرات نقره کاهش درجه روشنی بیشتر می‌گردد. همچنین در سطح ثابت غلظت نقره با افزایش NFC درجه روشنی افزایش جزئی می‌یابد که به دلیل درخشندگی بیشتر NFC نسبت به خمیر کاغذ اولیه می‌باشد.

درجه روشنی: از جمله پارامترهای مهم در صنعت کاغذ که در کاربردهایی مانند صنعت چاپ و کاغذهای بهداشتی از اهمیت زیادی برخوردار است، خواص ظاهری کاغذ یا درجه روشنی می‌باشد. درجه روشنی، بیانگر قابلیت بازتابش و انعکاس نور با طول موج معین (۴۵۷ نانومتر) از سطح نمونه کاغذ می‌باشد و در کاغذهای فاقد مواد رنگی معیاری از سفیدی کاغذ محسوب می‌شود. مقدار درجه روشنی کاغذ به درجه روشنی مواد اولیه خمیر کاغذ، pH خمیر کاغذ، نوع و مقدار پرکننده و در مجموع به ضرایب جذب و پخش نور کاغذ بستگی دارد.

مواد شیمیایی مختلف می‌تواند باعث افزایش یا کاهش مقدار درجه روشنی کاغذ گردند. شکل ۱۸ نشان‌دهنده درجه روشنی کاغذهای تیمار شده با NFC



شکل ۱۸- درجه روشنی در کاغذهای تیمار شده با NFC و نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره.
Figure 18. Brightness in treated paper by NFC and NFC/Ag nanocomposite.

دامنه ابعادی زیر ۱۰۰ نانومتر را نشان داده است. آزمون DLS بار سطحی نانوذرات نقره را منفی نشان داد که ضرورت استفاده از کمک نگه‌دارنده برای تولید نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره را به وجود آورد. برای از بین بردن بار منفی NFC از کمک نگه‌دارنده کاتیونی پلی‌دادمک استفاده شد. سپس نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره به کاغذ اضافه شد و خواص نوری، مقاومتی و ضد باکتری کاغذ مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف تولید نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره و به‌کارگیری آن در کاغذ به‌منظور بهبود هم‌زمان ویژگی‌های مکانیکی و ضدباکتری در کاغذ به انجام رسید. گام اول در این پژوهش فرآوری نانوکامپوزیت NFC/ نقره با استفاده از احیای نانوذرات نقره بر روی نانوالیاف سلولزی بود. نقره نیترات با استفاده از سدیم بورهیدرید احیا و اندازه نانوذرات با استفاده از آزمون DLS اندازه‌گیری شد و

این پژوهش سعی بر استفاده از حداقل مقادیر نانوذرات نقره با خواص ضدباکتری شده است. مطابق با نتایج به دست آمده، نانوذرات نقره در مقادیر مصرف خیلی کم به طور مؤثری مانع از رشد باکتری‌ها شدند به طوری که کاغذ تیمار شده با وجود سطح مصرفی کم مقادیر نانوذرات نقره توانستند تا ۷۵/۵۳٪ رشد باکتری گرم منفی اشرشیاکلاهی و ۷۱/۵۴٪ باکتری گرم مثبت استیفیلوکوکوس اورئوس را مهار کنند.

خواص ضدباکتری فیلم نانوکامپوزیت NFC/ خواص ضدباکتری در مقایسه با فیلم NFC تیمار شده با نانوذرات نقره به روش غوطه‌وری بیشتر است که به دلیل اصلاح سطح الیاف با پلیمر پلی‌دادمک، نانوذرات نقره با قدرت بیشتری جذب الیاف شده و به صورت کامل تثبیت گردید و در نتیجه مقدار بیشتری از این ماده بر روی الیاف استقرار یافت ولی در روش تولید فیلم‌های NFC تیمار شده با نانوذرات نقره به روش غوطه‌وری، اتصال نانوذرات نقره بر روی نانو الیاف به صورت سطحی و جذب الکتروستاتیک می‌باشد که از پایداری خوبی برخوردار نبوده است که با نتایج تصاویر FESEM و آنالیز عنصری مطابقت دارد.

استفاده از NFC موجب کاهش ضخامت، افزایش دانسیته و افزایش مقاومت به عبور هوای کاغذهای دست‌ساز شد. همچنین با افزایش مقدار NFC مقاومت به ترکیب کاغذهای دست‌ساز افزایش یافت و مقاومت به پارگی به طور جزئی کاهش پیدا کرد که نتایج این پژوهش با پژوهش افرا و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد (۱).

شاخص درجه روشنی در کاغذهای دست‌ساز با افزودن نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره در مقایسه با کاغذهای حاوی NFC کاهش پیدا کرد که به دلیل رنگ تیره نانوذرات نقره فرآوری شده می‌باشد. همچنین در مورد شاخص ماتی با افزایش درصد NFC ماتی کاهش و با افزایش غلظت نانوذرات نقره ماتی افزایش می‌یابد.

در این پژوهش به عنوان یک هدف فرعی به بررسی خواص ضدباکتری فیلم نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره و فیلم NFC تیمار شده با نانوذرات نقره پرداخته شد. خواص ضدباکتری کاغذهای تیمار شده با نانوکامپوزیت NFC/ نانونقره مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از نانوذرات نقره به دلیل خطر احتمالی تأثیرات مضر آن بر روی بدن انسان محدود شده است به همین دلیل در

منابع

1. Afra, E., Yousefi, H., Hadilam, M.M., and Nishino, T. 2013. Comparative effect of mechanical beating and nanofibrillation of cellulose on paper properties made from bagasse and softwood pulps. Carbohydrate polymers, 97: 2. 725-730.
2. Afra, E., Alinia, S., and Yousefi, H. 2012. Effect of Pulp and Cellulose Nanofibers on Reinforced Paper properties, Wood For. Sci. Technol. J. 20: 2. 151-160.
3. Afreen, R.V., and Ranganath, E. 2011. Synthesis of monodispersed silver nanoparticles by Rhizopus Stolonifer and its antibacterial activity against MDR strains of Pseudomonas Aeruginosa from burnt patients. Int. J. Environ. Sci. 1: 7. 1582-1592.
4. Ahola, S., Osterberg, M., and Laine, J. 2008. Cellulose nanofibrils adsorption with poly amid eamine epichlorohydrin studied by QCM-D and application as a paper strength additive. Cellulose, 15: 303-314.
5. Becker, O., Robert, M.D., Spardaro, A., and Joseph, J. 1978. Bone Joint Surg. 60: 871.
6. Caulfield, D.F., and Gunderson, D.E. 1988. Paper testing and strength characteristics. In 1988 Paper Preservation Symposium: Capital Hilton, Washington, DC, October 19-21 (pp. 31-40). TAPPI Press.
7. Chen, X., and Schluesener, H.J. 2008. Nanosilver: a nanoparticle in medical application. Toxicology letters, 176: 1. 1-12.

8. Cheng, C.L., Sun, D.S., Chu, W.C., Tseng, Y.H., Ho, H.C., Wang, J.B., and Chang, H.H. 2009. The effects of the bacterial interaction with visible-light responsive titania photocatalyst on the bactericidal performance. *J. Biomed. Sci.* 16: 1. 7.
9. Choi, O., Deng, K.K., Kim, N.J., Ross Jr, L., Surampalli, R.Y., and Hu, Z. 2008. The inhibitory effects of silver nanoparticles, silver ions, and silver chloride colloids on microbial growth. *Water research*, 42: 12. 3066-3074.
10. Csóka, L., Božanić, D.K., Nagy, V., Dimitrijević-Branković, S., Luyt, A.S., Grozdits, G., and Djoković, V. 2012. Viscoelastic properties and antimicrobial activity of cellulose fiber sheets impregnated with Ag nanoparticles. *Carbohydrate polymers*, 90: 2. 1139-1146.
11. Dankovich, T.A., and Gray, D.G. 2011. Bactericidal paper impregnated with silver nanoparticles for point-of-use water treatment. *Environmental science and technology*, 45: 5. 1992-1998.
12. Díez, I., Eronen, P., Österberg, M., Linder, M.B., Ikkala, O., and Ras, R.H. 2011. Functionalization of nanofibrillated cellulose with silver nanoclusters: Fluorescence and antibacterial activity. *Macromolecular Bioscience*, 11: 9. 1185-1191.
13. Gibbons, J.H. 1984. *Wood Use: U.S. Competitiveness and Technology "Vol II, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402, 94p.*
14. Gottesman, R., Shukla, S., Perkas, N., Solovyov, L.A., Nitzan, Y., and Gedanken, A. 2010. Sonochemical coating of paper by microbiocidal silver nanoparticles. *Langmuir*, 27: 2. 720-726.
15. Hadilam, M.M. 1391. Production and evaluation of nanocomposite cellulose (NFC) properties of α -cellulose and its use in improving the characteristics of old conical paper pulp (OCC). Master's Thesis. University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In persion)
16. Henglein, A., and Meisel, D. 1998. Spectrophotometric observations of the adsorption of organosulfur compounds on colloidal silver nanoparticles. *J. Physic. Chem. B.* 102: 43. 8364-8366.
17. Henriksson, M. 2008. Cellulose nanofibril networks and composites; preparation, structures and properties. *KTH Chemical Science and Engineering.* 51p.
18. Iwamoto, S., Kai, W., Isogai, A., and Iwata, T. 2009. Elastic modulus of single cellulose microfibrils from tunicate measured by atomic force microscopy. *Biomacromolecules*, 10: 9. 2571-2576.
19. Jafari Petrodi, R., Ariaeemonfared, H., Rezayaticarani, P., and Vaziri, V. 2014. Nanocellulose application and potential as environmentally friendly nano material, 1st Natural Resources national Conference.
20. Jalali Tershizi, H., Jahan Latibari, A., Mirshokraee, A., and Faezipour, M. 1999. Evaluation of cationic starch operation and CMC on Paper strength properties, *Res. Build. Natur. Resour. J.* 88: 70-76.
21. John Lessi Web. 1998. Comparison of dry strength additives on paper parameters. *TAPPI J.* 84: 10.
22. Kang, T. 2007. Role of external fibrillation in pulp and paper properties. Helsinki University of Technology.
23. Kim, S., and Kim, H.J. 2006. Anti-bacterial performance of colloidal silver-treated laminate wood flooring. *International biodeterioration and biodegradation*, 57: 3. 155-162.
24. Kumar, R., and Münstedt, H. 2005. Silver ion release from antimicrobial polyamide/silver composites. *Biomaterials*, 26: 14. 2081-2088.
25. Lee, H.J., Yeo, S.Y., and Jeong, S.H. 2003. Antibacterial effect of nanosized silver colloidal solution on textile fabrics. *J. Mater. Sci.* 38: 10. 2199-2204.
26. Liaghati, L., Azizi, M.H., and Jokar, M. 2013. Nanocomposite application in food and packaging industries, *Nanotech. J.* 11: 10. 14-18.
27. Lloyd, J.R. 2003. Microbial reduction of metals and radionuclides. *FEMS microbiology reviews*, 27: 2-3. 411-425.

28. Madani, A., Kiiskinen, H., Olson, J.A., and Mark Martinez, D. 2011. Fractionation of microfibrillated cellulose and its effects on tensile index and elongation of paper. *Nord. Pulp Paper Res. J.* 26: 3. 306.
29. Martins, N.C., Freire, C.S., Neto, C.P., Silvestre, A.J., Causio, J., Baldi, G., ... and Trindade, T. 2013. Antibacterial paper based on composite coatings of nanofibrillated cellulose and ZnO. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 417: 111-119.
30. Martins, N.C., Freire, C.S., Pinto, R.J., Fernandes, S.C., Neto, C.P., Silvestre, A.J., ... and Trindade, T. 2012. Electrostatic assembly of Ag nanoparticles onto nanofibrillated cellulose for antibacterial paper products. *Cellulose*, 19: 4. 1425-1436.
31. McDonnell, G., and Russell, A.D. 1999. Antiseptics and disinfectants: Activity, action, and resistance. *Clinical Microbiology Reviews*, 12: 147-179.
32. Mirshokraee, S.A. 2003. *Pulp and Paper technology*, Garee Smook, Aeezhpress, 501p.
33. Morones, J.R., Elechiguerra, J.L., Camacho, A., Holt, K., Kouri, J.B., Ramírez, J.T., and Yacaman, M.J. 2005. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 16: 10. 2346.
35. Mucha, H., Hofer, D., Assfalg, S., and Swerev, M. 2002. Antimicrobial finishes and modifications. *Melliand Textilberichte International Textile Reports*, 83: 4. 238-243.
36. Myllytie, P., Salmi, J., and Laine, J. 2009. The influence of pH on the adsorption and interaction of chitosan with cellulose. *BioResources*, 4: 4. 1647-1662.
37. Nassar, M.A., and Youssef, A.M. 2012. Mechanical and antibacterial properties of recycled carton paper coated by PS/Ag nanocomposites for packaging. *Carbohydrate polymers*, 89: 1. 269-274.
38. Pcast. 2008. Second Evaluation of National Nanotechnology Initiative Program in the United States. Retrieved April 21 2008, from <http://www.nano.ir>. (In Farsi)
39. Petica, A., Gavrilu, S., Lungu, M., Buruntea, N., and Panzaru, C. 2008. Colloidal silver solutions with antimicrobial properties. *Materials Science and Engineering*, 152: 1. 22-27.
40. Pinto, R.J., Marques, P.A., Neto, C.P., Trindade, T., Daina, S., and Sadocco, P. 2009. Antibacterial activity of nanocomposites of silver and bacterial or vegetable cellulosic fibers. *Acta biomaterialia*, 5: 6. 2279-2289.
41. Porchangiz, M.J. 1392, Production and Evaluation of Cellulose Nano viscera on Paper strength and optical properties, M.Sc. Thesis, University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
42. Rai, M., Yadav, A., and Gade, A. 2009. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology advances*, 27: 1. 76-83.
43. Rabea, E.I., Badawy, M.E.T., Stevens, C.V., Smagghe, G., and Steurbaut, W. 2003. Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action. *Biomacromolecules*, 4: 6. 1457-1465.
44. Sehaqui, H., Allais, M., Zhou, Q., and Berglund, L.A. 2011. Wood cellulose biocomposites with fibrous structures at micro-and nanoscale. *Composites Science and Technology*, 71: 3. 382-387.
45. Sheldon, R.D. 2001. Introduction to stock preparation refining. Manchester, CT 06040 (860) 645-5340. www.finebar.com.
46. Silver, S. 2003. Bacterial silver resistance: molecular biology and uses and misuses of silver compounds. *FEMS Microbiology Reviews*, 27: 341-353.
47. Syverud, K., and Stenius, P. 2009. Strength and barrier properties of MFC films. *Cellulose*, 16: 1. 75-85.
48. Tankhiwale, R., and Bajpai, S.K. 2009. Graft copolymerization onto cellulose-based filter paper and its further development as silver nanoparticles loaded antibacterial food-packaging material. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 69: 2. 164-168.
49. Van Dong, P., Ha, C.H., and Kasbohm, J. 2012. Chemical synthesis and antibacterial activity of novel-shaped silver nanoparticles. *International Nano Letters*, 2: 1. 1-9.

50. Wagberg, L., and Winter, L. 1999. Application of Wet End Paper Chemistry, Chapter 1, Papermaking Chemicals and Their Functions, Blackie Academic and Professional.
51. Wani, I.A., Ganguly, A., Ahmed, J., and Ahmad, T. 2011. Silver nanoparticles: ultrasonic wave assisted synthesis, optical characterization and surface area studies. *Materials Letters*, 65: 3. 520-522.
52. Yousefi, H., and Mashkor, M. 2008. Cellulose Nanocrysta renewable and cheap for nanocomposite production, *Nanotech. J.* 7: 131. 345-350.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 26 (1), 2019

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

DOI: 10.22069/jwfst.2019.15188.1755

Mechanical, optical and antibacterial properties improvement of paper using nanofibrillated cellulose modified with nanosilver particles

E. Afra¹, M. Shafae², *A. Abyaz³ and P. Narchin³

¹Associate Prof., Dept. of Pulp and Paper Technology, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

²M.Sc. Graduate, Dept. of Pulp and Paper Technology, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

³Ph.D. Student, Dept. of Pulp and Paper Technology, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 06.06.2018; Accepted: 04.20.2019

Abstract

Background and Objectives: The aim of this study was to produce NFC/Ag nanocomposites for improving the mechanical and antibacterial paper properties.

Materials and Methodes: Silver nanoparticles was reduced on nanofibrillated cellulose at the level of 5 and 10 ppm by NaBH, then nanocomposite NFC /Ag at 5, 10, 15% w/w was used to improve mechanical and antibacterial paper properties.

Results: The results showed that the density and burst index of the treated paper with Ag nanoparticles increased. Also, the brightness of treated paper with nanocomposite NFC /Ag decreased and opacity index increased. Antibacterial properties investigated against gram negative (*E. colie*) and gram positive (*S. aureus*) bacteria. The results showed that low amounts of silver in the treated paper inhibited bacterial growth.

Conclusion: The results show that the NFC / Ag Nanocomposite antibacterial properties were higher than NFC film treated with Ag nanoparticles by immersion method because of the Ag nanoparticle deposited on the NFC.

Keywords: Nanofibrillated cellulose, silver nanoparticles, Antibacterial properties, Mechanical properties, Optical properties

*Corresponding author: aliabyaz14@gmail.com

