

## مطالعه اثرات ضد باکتریایی و خصوصیات فیزیکی کاغذ پوشش دهی شده با نانورس و نانورس همگن شده

### چکیده

کاغذهای ضدباکتری نظیر کاغذهای بسته‌بندی مواد غذایی برای سلامت انسان‌ها مهم هستند. در این پژوهش با هدف تولید کاغذ ضدباکتری دوستدار محیط‌زیست نانورس به‌عنوان عامل مولد اثر ضدباکتریایی انتخاب گردید. از آنجاکه اثربخشی نانورس به‌میزان بارمنفی آن بستگی دارد، نانورس توسط دستگاه هموژنایزر، هموژنایز شد تا ساختاری همگن با بارمنفی بیشتر فرآوری گردد. با توجه به منفی بودن بار الیاف و نانوذرات رس، نانورس‌ها در سطوح ۱، ۳ و ۴٪ با نشاسته ترکیب و سوسپانسیون حاصل توسط دستگاه اتوبار به‌صورت پوشش در سطح کاغذها اعمال گردید. خصوصیات فیزیکی و ضدباکتری کاغذها بررسی شدند. نتایج نشان دادند که نانورس‌ها اثر معنی‌داری روی ممانعت از رشد باکتری‌ها داشته و توانستند رشد باکتری‌ها را حتی در سطوح مصرف پایین کاهش دهند. جذب آب کاغذها کاهش و مقاومت به عبور هوا آن‌ها افزایش یافت. از این رو می‌توان بیان نمود که نانورس همگن شده می‌تواند عاملی مطلوب در تولید کاغذهای بسته‌بندی با جذب آب پایین، مقاومت به عبور هوا بالا و مقاوم در برابر میکروارگانیسم‌های باکتریایی باشد.

**واژگان کلیدی:** پوشش‌دهی کاغذ، نانورس، نانورس همگن‌شده، خواص ضدباکتری و فیزیکی.

الیاس افرا<sup>۱</sup>

پروانه نارچین<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:

[parynaani369@yahoo.com](mailto:parynaani369@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۲۵

### مقدمه

کاغذ و محصولات سلولزی سال‌های زیادی است که به‌عنوان نیازی ضروری برای بشر مطرح شده‌اند. امروزه کاغذ نه تنها برای ثبت مکاتبات، بلکه در زمینه‌های فراوانی همچون محصولات بهداشتی، صنایع بسته‌بندی، چاپ و غیره کاربرد دارد. توسعه‌های اجتماعی و افزایش استانداردهای زندگی، مردم را ملزم به داشتن توجه بیشتر به بهداشت محیط زندگی و کار داشته است. در نتیجه، تحقیق و توسعه مواد ضد باکتری کاربردی، به‌طور قابل توجهی پیشرفت کرده است. کاغذهای ضد باکتری برای سلامت و حفظ بهداشت محیط زندگی انسان‌ها مهم

هستند، از جمله این کاغذها می‌توان به کاغذهای پوششی مواد غذایی، کاغذ بهداشتی و حتی کاغذهای چاپ و تحریر و کاغذ اسکناس نیز اشاره نمود که دارای دامنه کاربرد وسیعی می‌باشند [۱، ۲]. به راین اساس، نیاز به تولید کاغذهای ضد باکتری احساس می‌شود که دوستدار محیط‌زیست باشند. این قبیل کاغذها می‌توانند بازار گسترده‌ای را به خود جلب کنند. کاغذهای ضد باکتری می‌توانند با استفاده از افزودن یک ترکیب ضد باکتری در طول فرآیند کاغذسازی و یا به‌صورت یک‌لایه پوششی در سطح کاغذ فرآوری شده به دست آیند. از جمله عوامل ضد میکروبی که می‌توانند در ساختار کاغذ مورد استفاده

انواع مختلفی می‌باشند نظیر مونت موریلونیت، بنتونیت و کائولینیت. بنتونیت نام تجاری سدیم مونت‌موریلونیت با فرمول شیمیایی  $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$  است که معمولاً توسط رفتار تورمی و توانایی خود در جذب مقادیر عظیم آب قابل‌شناسایی هستند. از آنجاکه در کاغذهای بهداشتی یکی از ویژگی‌های مهم و بسیار قابل‌توجه خاصیت جذب آب آن‌ها است در این پژوهش بنتونیت که هم یک رس طبیعی و هم یک جاذب شدید آب است به‌عنوان یک عامل ضد میکروب در کاغذ مورد بررسی قرار گرفت.

نانو ذرات رس از زمان‌های گذشته در شکل‌های مختلفی به‌منظور ایجاد خواص ضد میکروبی استفاده شده‌اند. این نانو ذرات جدیداً توجه خاصی را به خود معطوف ساخته‌اند. کاربرد نانو ذرات رس در زمینه پزشکی به‌اشکال مختلفی بوده است. این نانو ذرات در برخی پژوهش‌ها خود به‌طور ویژه به‌عنوان عامل ضد میکروب مورد بررسی قرار گرفته‌اند و در برخی دیگر با توجه به ساختار لایه‌لایه این ذرات و خاصیت تبادل یونی بالایی که دارند، به‌عنوان یک ترکیب پایه برای افزایش ماندگاری ذرات با خواص ضد میکروبی در ساختارهای کامپوزیتی مورد مصرف قرار گرفته‌اند [۹]. Hsu و همکاران (۲۰۱۲) توانستند نانو کامپوزیت DMtp/CS (کیتوزان) و DMtp (مونت موریلونیت ورقه ورقه شده) را فرآوری کنند که نشان داد در غلظت‌های بالای مونت‌موریلونیت فعالیت ضد میکروبی عالی وجود داد، به‌طوری‌که با افزایش غلظت مونت‌موریلونیت این ویژگی نیز افزایش یافت [۱۰]. Wang و همکاران در سال [۲۰۰۶] در پژوهش خود مشاهده کردند که نانو کامپوزیت‌های کیتوزان/سیلیکات لایه شده فعالیت ضد میکروبی قوی‌تری را در مقایسه با کیتوزان خالص به‌ویژه در برابر باکتری‌های گرم مثبت نشان داد. این در حالی بود که با افزایش مقدار سیلیکات لایه شده در نانو کامپوزیت‌ها، نانو کامپوزیت‌ها اثر ضد باکتری قوی‌تری را روی باکتری‌های گرم مثبت نشان دادند [۱۱].

اشریشیاکلی یکی از مهم‌ترین عوامل ایجادکننده گاستروانتریت و شاخص میکروبی آلودگی آب و مواد غذایی محسوب می‌گردند [۱۲، ۱۳] و وجود آن‌ها در آب آشامیدنی و مواد غذایی نشان‌گر آلودگی این مواد به سایر

قرار گیرد و دارای اثرات سوء محیطی نباشند می‌توان به نانو رس‌ها اشاره نمود.

رس معدنی در سطوح زیادی از جوامع ما مهم می‌باشند. ویژگی‌های چون ساختار و ترکیب شیمیایی، نوع قابلیت جایگزینی یونی و اندازه ذره کاربردهای متنوع آن‌ها را تعیین می‌کنند. قدرت بهبود رس برای قرن‌ها شناخته شده بود و در حال حاضر دوباره در حال کشف است. آزمون رس خوری توسط حیوانات در جنگل برای دفع مسمومیت بدن و تسکین آلوده‌کننده‌های معدنی و روده‌ای مستند شده است. در ابتدا، رس‌ها برای تغذیه حیوانات اهلی به‌عنوان عامل‌های ضروری برای وعده‌های تغذیه‌ای شناخته شده بودند و سپس به‌عنوان افزودنی غذایی برای بهبود رشد و سلامت حیوانات مورد استفاده قرار می‌گرفتند [۳]. از این رو کاربرد رس به‌عنوان یک عامل ضد میکروب در ساختار کاغذ مسائل زیست‌محیطی را در پی نخواهد داشت.

مونت‌موریلونیت یک رس معدنی شامل لایه‌های سیلیکاتی است. ساختار شیمیایی آن از دو برگه چهارضلعی سیلیکا ساندویچی به هم جوش خورده، یک صفحه هشت‌وجهی لبه مشترک آلومینیوم یا هیدروکسید منیزیم و یک منطقه درون لایه‌های شامل یون‌های  $Na^+$  یا  $Ca^{2+}$  تشکیل شده است [۴، ۵]. بار سطحی منفی رس‌ها به آن‌ها اجازه جذب آب، باکتری‌ها، سموم و داروها را می‌دهد [۶]. از این رو چنانچه ساختار نانو رس خردشده و لایه‌های آن تا حدودی از هم باز شوند انتظار می‌رود که بار سطحی در دسترس آن افزایش یافته و عملکرد آن به‌عنوان یک عامل ضد میکروب بهبود یابد. از جمله روش‌هایی که می‌توانند برای کاهش ابعاد و در نتیجه افزایش سطح ویژه مؤثر نانو رس مورد استفاده قرار گیرند آسیاب کردن نانو رس با استفاده از یک همگن‌ساز است که منجر به تولید یک کلئید پایدار می‌شود [۷].

نانو ذرات رس به علت ساختار چندلایه‌ای، می‌توانند ویژگی‌های مکانیکی خوب، پایداری حرارتی و کندسوزی آتش را در کامپوزیت‌ها ایجاد نمایند. صفحات نانو لایه شده رس مسیر پریچ‌وخمی را برای مولکول‌های گاز در ماتریس‌های پلیمری شکل می‌دهد که ویژگی‌های ممانعتی اکسیژن را افزایش می‌دهد [۸]. نانو رس‌ها دارای

### آماده‌سازی و فرآوری نانو رس

به‌منظور فرآوری نانو رس کلئوئیدی پایدار از دستگاه همگن‌ساز<sup>۱</sup> استفاده گردید. بدین منظور ابتدا سوسپانسیون نانو رس - آب مقطر با غلظت‌های موردنظر تهیه و برای ۲۴ ساعت در شرایط تاریک حفظ شدند تا نانو ذرات رس واکنشیده شوند. سپس سوسپانسیون حاصل در دستگاه همگن‌ساز قرار گرفت و تحت شرایط زمانی ۶۰ دقیقه و سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه نانو رس هموژنایز شده موردنظر فرآوری شد. محلول حاصله چند روز در ظرف باقی ماند تا ذرات درشت آن ته‌نشین شده و سپس بالای محلول با پیپت جدا شد تا ذرات ته‌نشین شده در ظرف باقی بمانند. به‌منظور تعیین میزان ذرات ته‌نشین شده ظرف و رسوب باقی‌مانده برای مدت ۲۴ ساعت در آن قرار گرفتند.

### آماده‌سازی محلول پوشش

به‌منظور آماده‌سازی ترکیب پوشش ابتدا ۱/۵ گرم نشاسته در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و سپس برای یک دوره زمانی ۲۰ دقیقه تحت دمای ۶۶°C پخته شد. سپس یک گرم نانو رس / نانو رس همگن‌شده به محلول اضافه گردید و ترکیب حاصل با استفاده از یک همزن مغناطیسی هم زده شد تا یک ترکیب همگن و یکنواخت حاصل گردد. نهایتاً ۲۵ میلی‌لیتر از ترکیب حاصل برای پوشش دهی کاغذی با سطح ۰/۲۵ مترمربع استفاده گردید. روش فوق برای تولید سوسپانسیون پوشش با غلظت ۴/۵ گرم نشاسته و ۳ گرم نانو رس / نانو رس همگن‌شده و ۶ گرم نشاسته و ۴ گرم نانو رس / نانو رس همگن‌شده تکرار گردید.

### پوشش دهی کاغذ

برای پوشش دهی کاغذها از دستگاه پوشش دهی اتوبار<sup>۲</sup> استفاده گردید. برای این منظور ۶ میلی‌لیتر از محلول پوشش دهی با استفاده از سرنگ بر روی کاغذ به ابعاد A4 ریخته شد. سپس محلول توسط میله‌ی پوشش دهی با سرعت ۵۰ میلی‌متر بر ثانیه و فشار ثابت روی کاغذ پخش گردید. در پایان، کاغذها به مدت ۱۰ دقیقه در

پاتوژن‌های روده‌ای است [۱۲، ۱۴]. این سویه می‌تواند از طریق مصرف آب و مواد غذایی آلوده و از فردی به فرد دیگر از طریق مدفوعی- دهانی منتقل شود. انتقال باکتری از حیوان به انسان از راه مستقیم، تماس با آب، خاک و فضولات نشخوارکنندگان و همچنین مصرف مواد غذایی آلوده مانند شیر، ماست، پنیر، همبرگر، سوسیس، گوشت چرخ شده، ساندویچ‌های گوتی، سبزی‌ها و آبمیوه‌ها امکان‌پذیر است [۱۲، ۱۵، ۱۶]. باکتری باسیلوس سوبتیلیس که معروف به باسیلوس علف خشک و باسیلوس چمن نیز است، یک باکتری بیماری‌زا انسان نیست و اگرچه غذا را آلوده می‌کند ولی موجب مسمومیت غذایی نمی‌شود. در این پژوهش اثر نانو رس بنتونیت به‌عنوان یک عامل ضد میکروب برای کاربرد در بسته‌بندی مواد غذایی روی باکتری اش‌ریشیاکلی به‌عنوان یک باکتری گرم منفی و باسیلوس سوبتیلیس به‌عنوان یک باکتری گرم مثبت آلوده‌کننده مواد غذایی موردبررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

#### مواد

کاغذهای مورداستفاده در این پژوهش از نوع کاغذهای چاپ و تحریر حاصل از خمیر CMP و با وزن پایه بین ۶۰-۷۰ g/m<sup>2</sup> بودند که از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه شدند. نانو رس مورداستفاده از نوع بنتونیت با مشخصات ظاهری پودری سفیدرنگ، دانسیته ۲/۵۳، رطوبت  $\geq 12\%$ ، ویسکوزیته محلول ۰/۱۰ cp - ۰/۰۸ - ۰/۰۴ pH و ۶-۷ ساخت شرکت تولیدی رس جنوب بود. با توجه به منفی بودن بار نانو رس و همچنین الیاف کاغذ برای افزایش بیشتر ماندگاری و پیوند ذرات رس روی سطح کاغذ از نشاسته آنیونی با مشخصات شامل pH ۶-۷، دمای ژل ۶۶°C و ویسکوزیته بعد از پخت ۴۰-۸۰ cp استفاده گردید. باکتری‌های مورد آزمون شامل یک باکتری گرم منفی با نام اش‌ریشیاکلی (PPCC ۱۵۵۳) و یک باکتری گرم مثبت با نام باسیلوس سوبتیلیس (۲۱۳۴) (ATCC) بودند که از بانک سوش باکتری دانشگاه علوم پزشکی گرگان تهیه شدند. برای آزمون ضد باکتری از محیط کشت مایع آبگوشت قلب و مغز (BHI) استفاده گردید.

<sup>۱</sup>. Homogenizer

<sup>۲</sup>. Auto Bar Coater

آماده‌سازی محیط کشت مایع، ۳۷ گرم از محیط کشت آبگوشت قلب و مغز به ۱۰۰۰ ml آب مقطر افزوده شد. سپس ۵ ml از محیط کشت به هریک از لوله‌های آزمایش منتقل شد. سپس لوله‌های حاوی محیط کشت با استفاده از دستگاه اتوکلاو تحت شرایط دمایی  $120^{\circ}\text{C}$  و فشار بخار ۱۵ پوند برای مدت ۱۵ دقیقه استریل شدند.

### آزمون ضد باکتری کاغذها

پس از گذشت دوره نهفتگی باکتری‌ها و رشد باکتری-های تازه در محیط کشت مایع، غلظت باکتری‌ها با استفاده از محیط کشت مایع استریل به نیم مک‌فارلند رسانده شد. برای این منظور کدورت باکتری‌ها که نشان‌دهنده تعداد کلنی باکتری‌های حاضر در محیط کشت است با استفاده از یک دستگاه کدورت سنج در طول موج ۶۲۵ nm به‌طور متوالی خوانده شد تا عدد مربوطه به  $0/08$  تا  $0/13$  برسد که این عدد نشان‌دهنده میزان تقریبی کلنی باکتری  $10^8 \times 1/5$  است [۱۷]. پس از انتقال مجزای کاغذها به داخل لوله‌های حاوی محیط کشت استریل میزان ۵ لاند از سوسپانسیون باکتری تهیه شده در هر لوله تلقیح شد. جهت ایجاد شرایط مناسب برای رشد باکتری‌ها لوله‌های محتوی کاغذ در داخل یک دستگاه لرزاننده با سرعت ۱۶۰ rpm و دمای  $37^{\circ}\text{C}$  قرار داده شدند و پس از ۱۸ ساعت کدورت محیط کشت موجود در لوله‌ها که معرف میزان حضور باکتری‌های رشد یافته بود با استفاده از یک بیوفتومتر اندازه‌گیری شد.

دمای  $50^{\circ}\text{C}$  خشک شدند. به‌منظور جلوگیری از ایجاد چروک بر روی کاغذ در هنگام خشک‌کردن، از یک قاب و صفحه استیل استفاده گردید.

### اندازه‌گیری خواص ضد باکتری آماده‌سازی کاغذها

آزمون ضد باکتری کاغذهای فراوری‌شده روی هردو نوع باکتری گرم منفی و گرم مثبت صورت پذیرفت. آزمون ضد باکتری روی همه کاغذها با هردو نوع باکتری در ۳ تکرار انجام گرفت. در این آزمون به میزان  $0/05$  گرم وزن خشک از هر کاغذ (متشکل از هردو نوع کاغذ پوشش‌دهی شده با نانو رس و نانو رس همگن‌شده در هر سه سطح رس ۱، ۳ و ۴ گرم) در فویل پیچیده شدند و برای استریل شدن در آن تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  برای ۱۲۰ دقیقه قرار گرفتند.

### آماده‌سازی باکتری‌ها

جهت فعال شدن باکتری‌ها از سوش‌های تهیه‌شده، مقداری از باکتری‌های کشت داده‌شده روی محیط کشت جامد با استفاده از لوپ به محیط کشت آبگوشت قلب و مغز منتقل شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $37^{\circ}\text{C}$  نگهداری شدند تا باکتری‌ها به‌طور کامل رشد کنند. سپس مجدداً مقداری از باکتری‌های رشد یافته به داخل محیط کشت مایع آبگوشت قلب و مغز جدید منتقل شدند و برای مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور قرار گرفتند. به‌منظور



شکل ۱- دستگاه انکوباتور لرزاننده

## اندازه‌گیری خواص فیزیکی کاغذ

## جذب آب

جهت ارزیابی اثر پوشش نانو رس روی جذب آب کاغذها، آزمون کوب<sup>۱</sup> انجام گرفت. این آزمون با استفاده از آزمونگر کوب مدل A۴۶۵۵ ساخت اتریش و طبق استاندارد شماره ۰۹-441T om آیین‌نامه تاپی انجام شد و برای این منظور نمونه‌های کاغذ در ابعاد 12×12 cm<sup>2</sup> تهیه شدند. وزن نمونه‌ها قبل و بعد از آزمون اندازه‌گیری شدند که اختلاف این دو وزن میزان جذب آب نمونه‌ها را نشان داد که در نهایت به صورت درصد بیان شدند.

## مقاومت به عبور هوا

مقاومت به عبور هوا به روش گرلی بر اساس استاندارد شماره ۹۶-460 om آیین‌نامه تاپی اندازه‌گیری شد. این آزمون توسط دستگاه دقیق گرلی<sup>۲</sup> مدل 4110 ساخت کشور آمریکا صورت پذیرفت. در این روش زمان خروج حجم مشخصی از هوا (۱۰۰ میلی‌لیتر) از صفحه کاغذی و برحسب ثانیه اندازه‌گیری می‌شود که هرچه مقدار آن بیشتر باشد نشان‌دهنده تخلخل کمتر در کاغذ است.

## بررسی ساختار سطحی کاغذهای تولیدشده با

استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM<sup>۳</sup>)

به منظور ارزیابی نحوه پراکنش نانو رس / نانو رس همگن- شده در سطح کاغذهای پوشش دهی شده و همچنین ارزیابی تغییر ابعاد نانو رس‌ها در نتیجه فرآیند هموژنایزر از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده گردید. این تصاویر توسط دستگاه SEM مدل KYKY-EM3200 آزمایشگاه رضایی تهیه شدند. به علت هدایت الکتریکی مختلف نمونه‌ها، قبل از تهیه تصاویر نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پوشش دهی یونی تحت پوشش طلا قرار گرفتند.

## تجزیه و تحلیل آماری

ارزیابی معنی‌داری بین میانگین‌ها در این تحقیق با آزمون دانکن با سطح اعتماد ۹۵٪ انجام شد. بدین منظور از نرم‌افزار SPSS 16 استفاده گشت.

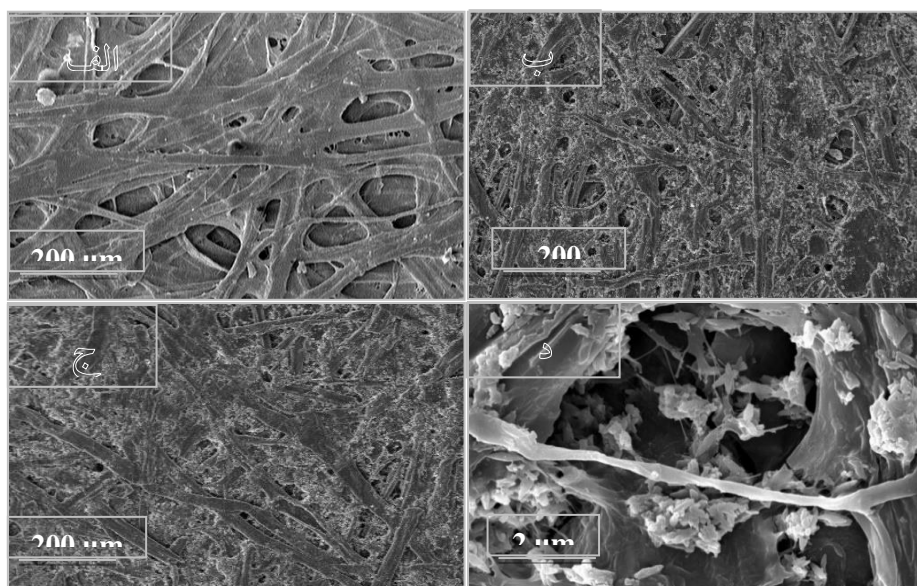
## نتایج و بحث

## بررسی ساختاری نانو رس و نانو رس همگن‌شده

## در سطح کاغذ

شکل ۲ تصویر ریزنگار الکترونی از سطح کاغذهای مورد آزمون را نشان می‌دهد. شکل ۲ (الف) مربوط به کاغذ بدون پوشش و شکل ۲ (ب) تصویر SEM از سطح کاغذ پوشش دهی شده با نانو رس است و سطح کاغذ پوشش دهی شده با نانو رس همگن‌شده در تصویر ۲ (ج) و ۲ (د) نشان داده شده است. تصاویر مربوط به کاغذهای پوشش دهی شده به وضوح نشان می‌دهند که طی فرآیند پوشش دهی نانو ذرات توانسته‌اند به میزان قابل توجهی منافذ موجود در سطح کاغذ را نسبت به کاغذ بدون پوشش پر کنند. همچنین در مقایسه بین کاغذ پوشش دهی شده با نانو رس و نانو رس همگن‌شده مشاهده می‌شود که عملکرد نانو رس همگن‌شده در مقایسه با نانو رس بهتر بوده و یکنواختی سطحی در کاغذهای تیمار شده با نانو رس همگن‌شده بیشتر بوده است. در شکل ۲ (د) چگونگی حضور نانو ذرات رس همگن‌شده در ساختار منفذی و همچنین سطح کاغذ به خوبی مشخص است.

<sup>۱</sup> COBB<sup>۲</sup> Gurley Precision Instruments<sup>۳</sup> Scanning Electron Microscopy

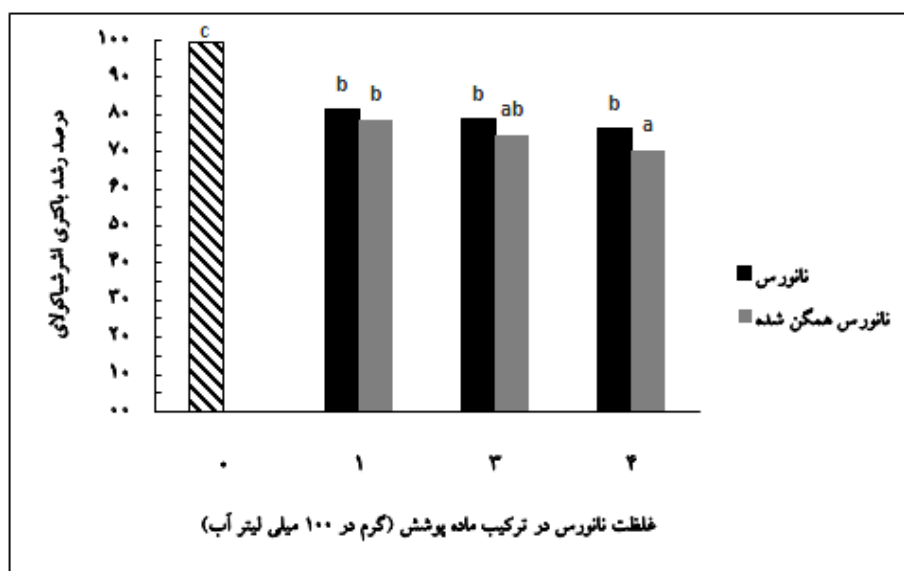


شکل ۲- تصاویر SEM از کاغذ بدون پوشش (الف)، کاغذ پوشش دهی شده با نانو رس (ب) و کاغذ پوشش دهی شده با نانو رس همگن شده (ج و د)

اثر ضد باکتریایی کاغذهای تیمار شده با نانو رس و نانو رس همگن شده در سه سطح مصرف ۱، ۳ و ۴ درصد نسبت به وزن خشک کاغذ روی میزان رشد باکتری‌ها به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

### آزمون ضد باکتری

آزمون ضد باکتری برای دو نوع باکتری گرم منفی اشریشیاکلی و گرم مثبت باسیلوس سوبتیلیس انجام شد.



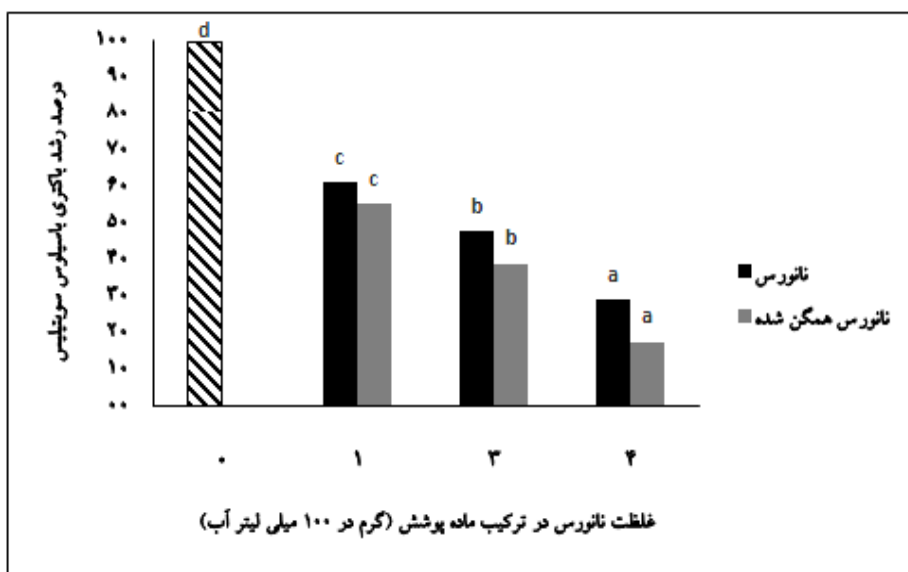
شکل ۳- تغییرات میزان رشد باکتری اشریشیاکلی در نتیجه مصرف مقادیر مختلف نانو رس و نانو رس همگن شده به عنوان یک عامل پوششی در کاغذ

اعتماد ۹۵٪ دارای اثر معنی‌داری روی ممانعت از رشد باکتری اشریشیاکلی بوده‌اند و توانسته‌اند رشد باکتری را تا حدود ۲۰٪ کاهش دهند. همچنین در شکل ۳ مشاهده می‌شود که افزایش غلظت مصرفی در نانو رس اثر معنی-

شکل ۳ نتایج مربوط به اثر نانو رس و نانو رس همگن شده به عنوان یک عامل ضد میکروب در کاغذ را روی عملکرد باکتری اشریشیاکلی نشان می‌دهد. نتایج آماری نشان داد که هر دو نانو رس و نانو رس همگن شده در سطح

دسترس (سطح مؤثر یا سطح در واحد حجم) بیشتر باشد این فعل‌وانفعالات بهتر صورت می‌گیرد. از این رو، می‌توان بیان نمود که همچنین ذرات کوچک‌تر با نسبت سطح به حجم بزرگ‌تر کارایی بهتری را در زمینه فعالیت‌های ضد باکتریایی نسبت به ذرات بزرگ‌تر دارا هستند. از آنجاکه با اعمال فرآیند همگن‌سازی اندازه ذرات نانو رس به مراتب کوچک‌تر شده است در نتیجه استدلال Uday (۲۰۱۰) برای نتایج حاصل از این بخش قابل استناد است [۱۸].

داری در رشد باکتری اشریشیاکلی نداشته است، حال آنکه با افزایش غلظت نانو رس همگن‌شده میزان رشد باکتری اشریشیاکلی بطور قابل توجه‌ای کاهش یافته است. علت این مشاهده را می‌توان به افزایش سطح ویژه در دسترس نانو رس و در نتیجه افزایش بار منفی آن در نتیجه فرآیند همگن‌سازی نسبت داد. Uday در سال ۲۰۱۰ بیان نمود که مقدار اتصال ذرات به باکتری بستگی به سطح در دسترس برای این فعل‌وانفعالات دارد. هرچه سطح در



شکل ۴- تغییرات میزان رشد باکتری باسیلوس سوبتیلیس در نتیجه مصرف مقادیر مختلف نانو رس و نانو رس همگن‌شده به‌عنوان یک عامل پوششی در کاغذ

بهتر صورت می‌گیرد. همچنین از مقایسه شکل ۳ و ۴ مشخص شد که عملکرد نانو ذرات رس به‌عنوان یک عامل ضد میکروب روی باکتری‌های گرم مثبت به مراتب بیشتر از باکتری‌های گرم منفی بوده است، زیرا باکتری‌های گرم مثبت نسبت به باکتری‌های گرم منفی در برخورد با یون‌های منفی ذرات بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Uday و همکاران، ۲۰۱۰). احتمالاً علت این پدیده دیواره نازک باکتری‌های گرم مثبت است که سبب می‌شود یون‌های منفی ذرات نانو زودتر و راحت‌تر جذب باکتری‌ها شوند [۱۸].

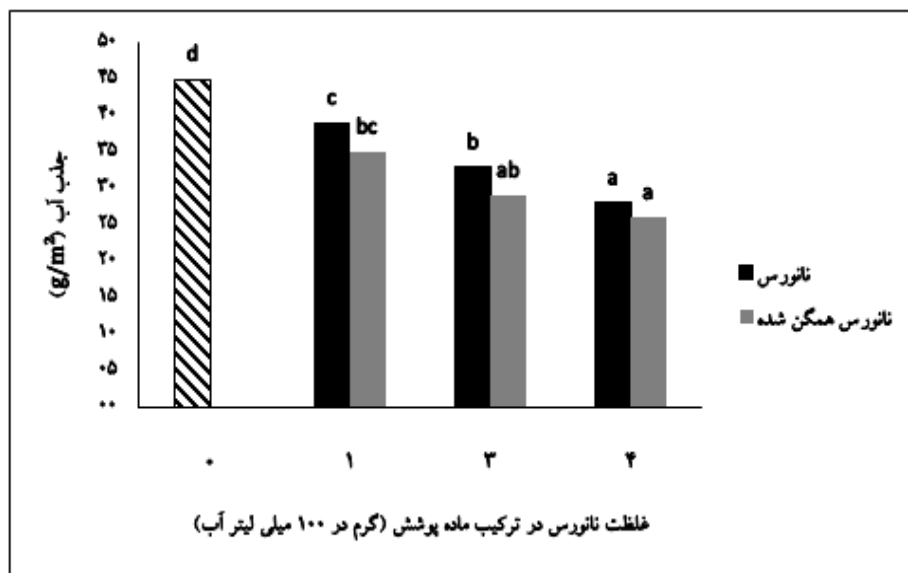
#### جذب آب

جذب آب یکی از مهم‌ترین خواص ممانعتی کاغذهای پوشش دهی شده و آهاردهی شده به حساب می‌آید که تأثیر زیادی بر خواص کاغذهای چاپ در جذب مناسب

شکل ۴ تغییرات میزان رشد باکتری باسیلوس سوبتیلیس در برابر عملکرد نانو رس و نانو رس همگن‌شده در کاغذهای مورد آزمون را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز آماری نشان دادند که نانو رس به‌عنوان یک عامل ضد باکتری دارای عملکرد بسیار مؤثری بر رشد باکتری مورد آزمون بوده است. در شکل ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت نانو رس و نانو رس همگن‌شده میزان رشد باکتری‌ها بطور قابل توجه‌ای کاهش یافته است و این تأثیر در نتیجه حضور نانو رس همگن‌شده به مراتب بیشتر از نانو رس بوده است. ذرات نانو رس همگن‌شده به دلیل اندازه‌ی کوچک‌تری که دارند دارای نسبت سطح به حجم بزرگ‌تر و کارآمدتر در زمینه فعالیت‌های ضد باکتریایی نسبت به نانو رس خام می‌باشند. مقدار اتصال ذرات به باکتری بستگی به سطح در دسترس برای این فعل‌وانفعالات دارد و هرچه سطح در دسترس بیشتر باشد این فعل و انفعالات

رس همگن شده بر روی کاغذهای فرآوری شده به عمل آمد.

مرکب و کاغذهای بسته بندی در نفوذ سیالات دارد. آزمون جذب آب برای بررسی چگونگی عملکرد نانو رس و نانو



شکل ۵- تغییرات میزان جذب آب در نتیجه مصرف مقادیر مختلف نانو رس و نانو رس همگن شده به عنوان یک عامل پوششی در کاغذ

آن به بار منفی سطحی آن نسبت داده شده است زمانی که نشاسته با آن ترکیب شده است بار سطحی منفی ساختار رس کاهش یافته است و گروه‌های عاملی موجود در سطح رس که قادر به شرکت در واکنش ترکیبی با آب بوده‌اند محدود شده‌اند، از این رو میزان جذب آب در کاغذهای تیمار شده با نانو رس و نانورس همگن شده کاهش یافته است. البته شایان ذکر است که طی فرآیند پوشش دهی میزان دسترسی آب به الیاف و تشکیل پیوندهای هیدروژنی با گروه‌های عاملی موجود در الیاف نیز کاهش یافته است. جذب آب کمتر در کاغذهای پوشش دهی شده با نانو رس همگن شده نسبت به نانو رس در غلظت‌های مشابه را با توجه به تصاویر SEM به دست آمده از سطح کاغذها می‌توان یکنواخت بودن ذرات نانو رس همگن شده، نحوه توزیع و قرارگیری مناسب‌تر آن‌ها در نشاسته و ایجاد یک محلول پوشش دهی همگن با قابلیت نفوذ بهتر در خلل و فرج سطح کاغذ و در نهایت ممانعت بیشتر در ورود آب به بافت کاغذ جست‌وجو کرد.

#### مقاومت به عبور هوا

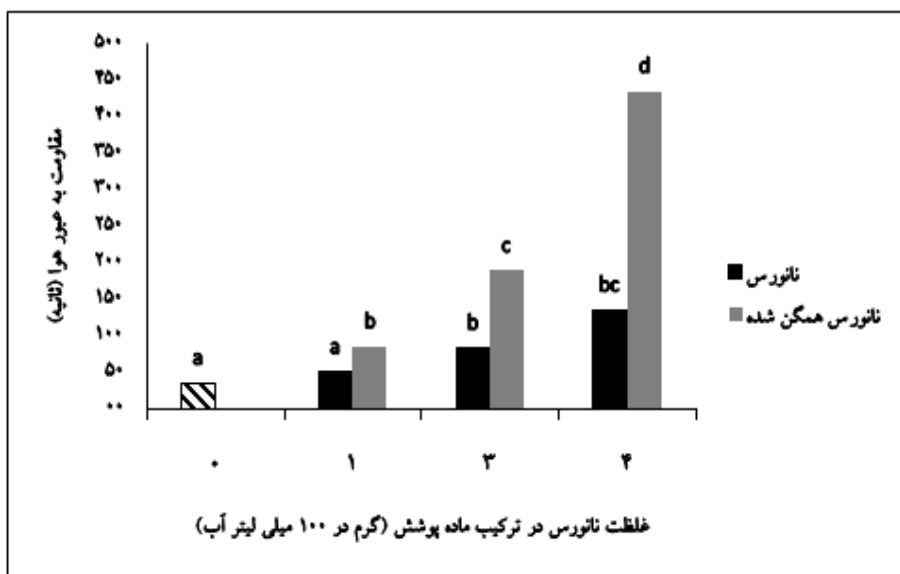
شکل ۶ تغییرات اثر پوشش دهی کاغذ با نانو رس و نانو رس همگن شده در غلظت‌های مختلف بر مقاومت به

شکل ۵ نتایج حاصل از آزمون جذب آب کاغذهای پوشش دهی شده با محلول پوشش دهی حاوی نانو رس و نانو رس همگن شده در غلظت‌های مختلف را نشان می‌دهد. نتایج آماری نشان دادند که پوشش دهی کاغذ با نانو رس و نانو رس همگن شده اختلاف معنی داری در درصد جذب آب کاغذها ایجاد کرده است و موجب کاهش در میزان جذب آب این کاغذها شده است. این تغییرات به شکلی بوده است که درصد جذب آب در کاغذهای پوشش دهی شده با نانو رس همگن شده کمتر از کاغذهای پوشش دهی شده با نانو رس بوده و از طرفی درصد جذب آب با افزایش غلظت محلول پوشش دهی کاهش یافته است. این نتایج می‌تواند به دلایل مختلفی صورت پذیرفته باشد، اولاً نشاسته که به عنوان یک کمک نگه‌دارنده در ترکیب با نانو رس و نانو رس همگن شده استفاده شده است یک ماده آب‌گریز بوده که عموماً به عنوان آهار در کاغذسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد و این ماده خود سبب کاهش میزان جذب آب در کاغذها می‌شود و از آنجاکه با افزایش غلظت نانو رس و نانو رس همگن شده میزان نشاسته مورد استفاده نیز افزایش یافته است دلیلی بر این ادعا است. از طرف دیگر همان‌طور که قبلاً ذکر شده است نانو رس که ماده به شدت آب‌دوستی است و علت آب‌دوستی



شدن حفرات موجود در ساختار کاغذ و تشکیل یک لایه یکنواخت بر روی سطح کاغذ می‌شود؛ بنابراین بدیهی است که این تغییرات به‌عنوان یک سد مانع در مقابل عبور هوا به‌حساب آیند و باعث افزایش مقاومت به عبور هوا در کاغذ شوند.

عبور هوا کاغذ را نشان می‌دهد. در شکل ۶ مشاهده می‌شود که رابطه پوشش دهی کاغذ در غلظت‌های مختلف با مقاومت به عبور هوا مستقیم بوده است. همچنین مشاهده شد که اثر پوشش دهی کاغذ با نانو رس همگن‌شده در مقایسه با نانو رس در غلظت‌های مشابه بر مقاومت به عبور هوا بیشتر بوده است. به‌طور کلی پوشش دهی سبب پر



شکل ۶- تغییرات میزان مقاومت به عبور هوا در نتیجه مصرف مقادیر مختلف نانو رس و نانو رس همگن‌شده به‌عنوان یک عامل پوششی در کاغذ

در این مطالعه اثر نانو رس و نانو رس همگن‌شده به‌عنوان یک عامل ضد باکتری در قالب پوشش در سطح کاغذ مورد بررسی قرار گرفت و همچنین اثرات این مواد روی برخی از ویژگی‌های فیزیکی کاغذ نظیر جذب آب و مقاومت به عبور هوا بررسی گردید. نتایج نشان دادند که نانو رس و نانو رس همگن‌شده توانستند اثرات مطلوبی را در ممانعت از رشد هردو نوع باکتری گرم منفی و گرم مثبت ارائه کنند. همچنین نتایج نشان دادند که اثر نانو رس همگن‌شده در مقایسه با نانو رس خام بیشتر بوده که علت آن به افزایش سطح ویژه و در نتیجه افزایش بار منفی مؤثر برای غیرفعال نمودن باکتری‌ها نسبت داده شد. در این پژوهش مشاهده شد که تأثیر کاغذهای پوشش دهی شده با نانو رس و نانو رس همگن‌شده بر رشد باکتری گرم مثبت باسیلوس سوبتیلیس در مقایسه با باکتری گرم منفی اشیشیاکلی بیشتر بوده است. در بررسی خصوصیات فیزیکی مشاهده شد که جذب آب کاغذها کاهش یافتند که علت آن هم به حضور نشاسته که یک ماده آب‌گریز

از طرف دیگر نانو رس دارای ساختار لایه‌ای است که خود به‌عنوان یک عامل ممانعتی در برابر عبور هوا عمل می‌کند. همچنین قابل بیان است که افزایش غلظت نیز موجب قرارگیری مقدار ماده پوشش دهی بیشتر در سطح و حفرات موجود در شبکه کاغذ می‌شود که در نهایت افزایش مقاومت به عبور هوا را در پی دارد. دلیل افزایش بیشتر مقاومت به عبور هوا کاغذهای پوشش دهی شده با نانو رس همگن‌شده نسبت به نانو رس را می‌توان این‌گونه شرح داد، اندازه‌ی ذرات نانو رس همگن‌شده در مقایسه با نانو رس ریزتر بوده و علاوه بر بعد ضخامتی در ابعاد دیگر نیز در مقیاس نانو قرار دارند. این عامل سبب نفوذ بیشتر این ذرات در ترکیب با نشاسته در منافذ و به‌موازات آن مسدود شدن بهتر خلل و فرج کاغذ می‌شود. از این رو مقاومت به عبور هوای کاغذ افزایش بیشتری می‌یابد.

## نتایج و بحث

کاغذ باعث ایجاد مقاومت به عبور هوا بالا در کاغذهای نهایی گشت که این ویژگی با افزایش غلظت مصرفی ماده پوشش دهی در هر دو نوع کاغذ افزایش یافت.

است و هم به فرآیند پوشش دهی و پر کردن منافذ سطحی کاغذ و ممانعت از پیوند گروه‌های آب با گروه‌های عاملی سطح الیاف نسبت داده شد و در نهایت مشاهده شد که حضور ذرات نانو رس و نانو رس همگن شده در منافذ

## منابع

- [1] Nassar, M.A. and Youssef, A.M., 2012. Mechanical and antibacterial properties of recycled carton paper coated by PS/Ag nanocomposites for packaging. *Carbo-hydr. Polym*, 89: 269–274.
- [2] Martins, N.C.T., Freire, C.S.R., Pinto, R.J.B., Fernandes, S.C.M., Neto, C.P., Silvestre, A.J.D., Causio, J., Baldi, G., Sadocco, P. and Trindade, T., 2012. Electrostatic assembly of Ag nanoparticles onto nanofibrillated cellulose for antibacterial paper products. *Cellulose*, 19: 1425–1436.
- [3] Slamova, R., Trckova, M., Vondruskova, H., Zraly, Z. and Pavlik, I., 2011. Clay minerals in animal nutrition. *Applied Clay Science*, 51(4): 395–398.
- [4] Kampeerappun, P., Aht-ong, D., Pentrakoon, D. and Srikulkit, K., 2007. Preparation of cassava starch/montmorillonite composite film. *Carbohydrate Polymers*, 67: 155–163.
- [5] Parolo, M. E., Fernandez, L. G., Zajonkovsky, I., Sanchez, M. P. and Baschini, M., 2011. Antibacterial activity of materials synthesized from clay minerals. *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances*, 144-151
- [6] Ashley, R. H., Matthew, R., Gillian, A. H. and Elsie, E. G., 2013. Clays and tetracyclines: composite formulation and Antibacterial properties. *XV International Clay Conf.*
- [7] Eskandari, M. 2013. Evaluation of Different Processes for Nano Clay Preparation and Its Effects on Sanitary Pulp Antibacterial Properties. Thesis of M.Sc. Department of Pulp and Paper Industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 99. (In Persian).
- [8] Ren, H., Zhu, M. and Haraguchi, K., 2011. Characteristic swelling–deswelling of polymer/ clay nanocomposite gels. *Macromolecules*, 44: 8516–8526.
- [9] Narchin, P. and Afra, E., 2014. Characteristics, operation mechanism and applications of clay. *Iranian Quarterly Journal of scientific- promotional of nanoworld*, 35: 35-44. (In Persian).
- [10] Hsu, S. H., Wang, M. C. and Lin, J. J., 2012. Biocompatibility and antimicrobial evaluation of montmorillonite/chitosan nanocomposites. *Applied Clay Science*, 56: 53–62.
- [11] Wang, X., Du, Y., Yang, J., Wang, X., Shi, X. and Hu, Y., 2006. Preparation, characterization and antimicrobial activity of chitosan/layered silicate nanocomposites, 47(19): 6738–6744.
- [12] Li, F., Zhao, C., Zhang, W., Cui, S., Meng, J., Wu, J. and Zhang, D.Y., 2005. Use of ramification amplification assay for detection of *Escherichia coli* O157:H7 and other *E. coli* Shiga toxin-producing strains. *Journal of Clin Microbiol*, 43(12):6086-90.
- [13] Ranjbar, R., Salimkhani, E., Sadeghifard, N., Yazdi, J. Z., Morovvati, S., Jonaidi, N. and Izadi, M., 2007. An outbreak of gastroenteritis of unknown origin in Tehran, July 2003. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(7): 1138-40.
- [14] Osek, J., 2003. Development of a multiplex PCR approach for the identification of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* strains and their major virulence factor genes. *Journal of Apply Microbiology*, 95(6): 1217-25.

- [15] Jonaidi- Jafari, N., Ranjbar, R., Haghi-Ashtiani, M.T., Abedini, M. and Izadi, M., 2009. The study of prevalence and antimicrobial susceptibility of tracheal bacterial strains isolated from pediatric patients. *Pakistan journal of biological sciences: PJBS*, 12(5): 455-8
- [16] Ranjbar, R., Haghi-Ashtiani, M.T., Jafari, N.J. and Abedini, M., 2009. The prevalence and antimicrobial susceptibility of bacterial uropathogens isolated from pediatric patients. *Iranian Journal of Public Health*, 38(2): 134-138. (In Persian).
- [17] Wiegand, I., Hilpert, K. and Hancock, R. E. W., 2008. Agar and broth dilution methods to determine the minimal inhibitory concentration (MIC) of antimicrobial substances. *Nature Protocols*, 3(2): 163-175.
- [18] Uday, K., Niranjana, K. and Manabendra, M., 2010. Vegetable oil based highly branched polyester/clay silver nanocomposites as antimicrobial surface coating materials. *Journal of Progress in Organic Coatings*, 68: 265-273.

## Study of the antibacterial effects and physical characters of paper coated with nanoclay and homogenized nanoclay

### Abstract

Antibacterial papers such as food packaging papers are important for human health. In this study, with the aim of the production of environmentally-friendly antibacterial paper, nanoclay was selected as an agent with antibacterial effect. Since the effectiveness of nanoclay depends on the amount of its negative charge, nanoclay was homogenized using a homogenizer to obtain a homogeneous structure with more negative charge. Due to the negative charge of fibers and clay nanoparticles, nanoclays were combined with starch at the levels of 1, 3 and 4%, and the resulting suspension was applied to the surface of the paper as an overlay using auto-bar coater. Antibacterial and physical properties of papers were evaluated. The results showed that nanoclays had a significant effect on inhibiting the growth of bacteria and were able to reduce the growth of bacteria even at low levels of consumption. Water absorption of papers decreased and their resistance to air increased. Hence it can be concluded that homogenized nanoclay can be a desirable agent in the production of packaging papers with low water absorption, high resistance to air and resistant to bacterial microorganisms.

**Keywords:** coating of paper, nanoclay, homogenized nanoclay, antibacterial and physical properties.

E. Afra<sup>1</sup>  
P.Narchin<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Associate Professor, department of pulp and paper industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

<sup>2</sup> PhD candidate, department of pulp and paper industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Corresponding author:  
[parynaan1369@yahoo.com](mailto:parynaan1369@yahoo.com)

Received: 2015/12/18  
Accepted: 2016/06/14