

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۳

ص ۱۸۵-۱۹۷

فراوری نانوذرات رس و بررسی تأثیر آن بر خواص ضدمیکروبی و جذب آب محصولات بهداشتی سلولزی

- ❖ **الیاس افرا***؛ دانشیار، گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ❖ **مهرناز اسکندری**؛ کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ❖ **محمدرضا دهقانی فیروزآبادی**؛ دانشیار، گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

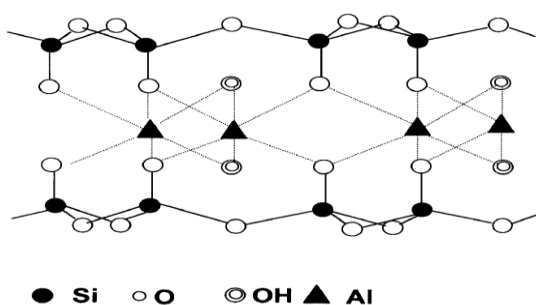
نانورس با ساختار لایه‌ای دارای بار سطحی منفی با قابلیت جذب فیزیکی آب، سم باکتری، ویروس و مواد آلی، ماده‌ای مناسب برای جذب آب است و خواص آنتی‌باکتریال دارد. این تحقیق به منظور بهبود ویژگی‌های ضدمیکروبی و بهبود جذب آب محصولات بهداشتی سلولزی صورت پذیرفت. بدین منظور ابتدا نانورس سدیم مونت‌موریلونیت (بتونیت) که دارای ساختار لایه‌ای بوده و ضخامت لایه‌ها نانومتری است، با استفاده از هم‌وزن‌نایزر (دستگاه همگن‌ساز آزمایشگاهی) برای دستیابی به سیستم کلویدی پایدار با ابعاد تمام نانومتری فراوری شد. سپس در تولید کاغذ از سطوح وزنی مختلف نانورس خام و نانورس همگن‌شده استفاده شد و اثر آن بر ویژگی‌های ضدباکتریایی (علیه دو نوع باکتری اشرشیاکلی و باسیلوس-سوبتیلیس) در مرحله نخست و جذب آب در مرحله دوم بررسی شد. نتایج نشان داد که نانورس ویژگی ضدباکتری کاغذ را تا حد زیادی افزایش داد، درحالی که نانورس همگن‌شده در مقایسه با نانورس خام به دلیل سطح ویژه و جذب سطحی بسیار بیشتر، خواص ضدباکتریایی کاغذ را بیشتر بهبود بخشید. از طرفی اثر این ماده بر کاهش رشد باکتری باسیلوس بیشتر از باکتری اشرشیاکلی بوده است. همچنین با افزودن نانورس، جذب آب کاغذها تا حدی افزایش یافت و در عین حال نانورس همگن‌شده در مقایسه با نانورس خام، جذب آب بیشتری داشت.

واژگان کلیدی: بتونیت، جذب آب، محصولات بهداشتی سلولزی، ویژگی ضدمیکروبی.

مقدمه

کاغذ تصفیه ضد باکتری [۴، ۵]، تولید CMC تیمارشده با نانونقره [۶]، نانوکامپوزیت‌های سلولز-نقره [۷] استفاده شده است. در مقایسه با نانونقره، رس به دلیل غیرسمی و ارزان بودن برتری دارد.

نانوبنتونیت ذرات معدنی طبیعی ورقه‌ای است که اساساً شامل ماده معدنی اسمکتیت^۱ است که به‌طور وسیعی از معادن حفاری و استخراج می‌شود. سطح ورقه این ماده معدنی بسیار کوچک (کمتر از ۲ میکرومتر) و ضخامت آن پس از واکنشیدگی و جدا شدن ورقه‌ها، بسیار باریک (در حدود ۱ نانومتر) است. بنتونیت‌ها به‌طور معمول براساس رفتار تورمی و توانایی جذب مقادیر زیاد آب شناسایی می‌شوند. فرمول عمومی شیمیایی آن $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ است. شکل ۱ ساختار شیمیایی بنتونیت را نشان می‌دهد [۸].



شکل ۱. ساختار عمومی بنتونیت [۴]

ساختار مونت‌موریلونیت اساساً یک ورقه سه‌لایه با یک ورقه هیدروکسیل آلومینیوم هشت‌وجهی است که بین دو لایه چهاروجهی سیلیکون-اکسیژن ساندویچ شده است. استخلاف اتم‌ها در ساختار کریستالی (Mg^{+2} برای Al^{+3}/Al^{+3} برای Si^{+4}) به بنتونیت، بار سطحی منفی می‌دهد. این بار سطحی، اغلب توسط کاتیون‌ها در

کاغذ و محصولات کاغذی از کالاهای مصرفی مهم در زندگی انسان به‌شمار می‌روند. یکی از انواع متداول کاغذ مورد استفاده که اخیراً تولید و مصرف آن با روند فزاینده‌ای در حال توسعه است، کاغذهای بهداشتی و محصولات بهداشتی سلولزی مثل پوشک بچه، نوار بهداشتی و ... است. خواص مقاومتی، جذب آب و خواص ضد میکروبی از ضروریات محصولات بهداشتی سلولزی است. با توجه به تحقیقات انجام‌گرفته، استریل کردن کاغذها و محصولات بهداشتی سلولزی در ایران محدود به حرارت‌دهی در مرحله خشک‌کن است، در نتیجه افراد به‌هنگام استفاده از کاغذهای بهداشتی اعم از دستمال کاغذی و پوشک باید بسیار محتاط باشند، زیرا آگاهی از خصوصیات و ویژگی‌های اساسی این محصولات بهداشتی و استفاده از آنها، مانع بروز عفونت و بیماری می‌شود و از خطرهای آلودگی‌های جانبی جلوگیری می‌کند. همزمان با پیشرفت سریع زندگی، کنترل تأثیرات مضر میکروارگانیسم‌ها ضروری خواهد بود. گستره وسیعی از میکروارگانیسم‌ها در تعادلی طبیعی بین بدن انسان و محیط اطراف وجود دارند، اما رشد سریع و خارج از کنترل میکروب‌ها ممکن است مشکلات جدی را سبب شود [۱، ۲]. اخیراً به دلیل اثرهای مضر و سمی عوامل ضد میکروبی شیمیایی، برای اصلاح منسوجات از مواد معدنی مختلف استفاده شده است [۳]. این مواد معدنی اغلب، برگرفته از ترکیباتی چون نقره، دی‌اکسید تیتانیوم، اکسید روی، رس و .. هستند. در تحقیقات بسیاری از نانونقره به‌عنوان متداول‌ترین ماده ضدباکتری در تولید محصولات سلولزی با هدف ایجاد خواص ضدباکتری مانند تولید

زیادی سمیت بدن آنها را کاهش دهند. نتایج نشان داد رس‌های معدنی می‌توانند با Cu^{2+} اصلاح شوند که در این صورت فعالیت آنتی‌باکتریایی آنها بهبود می‌یابد، به طوری که سدیم مونت‌موریلونیت و کلسیم مونت‌موریلونیت می‌توانند میزان رشد باکتری را بین ۱۳ تا ۳۷ درصد کاهش دهند، در حالی که نوع اصلاح‌شده آنها رشد باکتری را از ۹۶ تا ۹۹ درصد کاهش می‌دهد [۱۱]. لافی و الدومی (۲۰۱۱) نیز به مطالعه فعالیت آنتی‌باکتریایی بعضی از رس‌ها پرداختند. آنها اثر ضدباکتریایی خاک رس سفید، خاکستری، زرد و صورتی را علیه باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس^۱ که از عفونت‌های پوستی است و پseudomonas آئروژینوزا^۲ بررسی کردند و بیان داشتند بتونیت قادر است خاصیت دارویی و ضدباکتریایی در برابر باکتری‌ها داشته باشد. همچنین اظهار کردند که سموم موجود در بدن بار الکتریکی مثبت دارند، درحالی که ذرات رس بار الکتریکی منفی دارند؛ در نتیجه سموم بدن با بار مثبت روی سطح منفی ذرات رس جذب می‌شوند و تبادل یونی صورت می‌گیرد. در این فرایند به علت محدود شدن سموم بدن بر روی رس‌ها، رشد سموم کاهش می‌یابد [۱۲].

از این رو با توجه به سوابق موجود، از آنجا که ذرات رس قادر به تولید یون‌های فعال، تبادل یون و انتقال آن به دیواره میکروارگانیسم‌ها و در نهایت واکنش این یون‌های فعال با پروتئین‌ها یا اسیدهای نوکلئیک میکروارگانیسم‌ها هستند، موجب تخریب و نابودی آنها می‌شوند [۱۳]. از طرفی یکی از ملزومات کاغذهای بهداشتی قدرت جذب آب مناسب است؛ خوشبختانه

لایه‌های میانی با Ca^{+2} و Mg^{+2} و یا Na^{+2} جبران می‌شود. بتونیت می‌تواند تا حدود ۱۰ برابر وزن خودش آب جذب کند و با سطح ویژه خیلی بالا ($700-800 \text{ M}^2/\text{gr}$) با بار سطحی زیاد، خصوصیات ویژه‌ای برای کاربردهایی همچون جذب، شناورسازی، دلمه‌کنندگی و آبگیری پیدا می‌کند. بتونیت باید در آب کاملاً پراکنده شود تا به سطح تماس وسیع و میزان اثربخشی آن کاملاً دست یافت [۸].

ویلیام و همکاران (۲۰۰۴) نیز کاربرد دارویی خاک رس را که رومانس در سال ۶۰ قبل از میلاد ثبت کرده بود مطالعه کرد. در این تحقیق خواص خاک رس روی چسب زخم بررسی شد. جذب فیزیکی آب، سم باکتری، ویروس و مواد آلی، عمدتاً به عنوان ویژگی‌های خاک رس برای التیام زخم شناخته شده است [۹]. خاک رس طبیعی ماده‌ای سازگار با محیط زیست با سطح ویژه زیاد است و امروزه به طور گسترده برای جذب سطحی و رفع آلودگی‌های آلی استفاده می‌شود. خاک رس به علت سطح ویژه زیاد، پایداری مکانیکی و شیمیایی و ویژگی‌های ساختاری و سطحی متنوع، به طور گسترده‌ای در بسیاری از زمینه‌ها مثل نانوکامپوزیت‌ها، جاذب یون‌های فلزی سنگین، کاتالیزورها، واکنش‌های فتوشیمیایی، سرامیک‌ها، پرکننده‌ها و پوشش‌دهی کاغذ، حسگرها و زیست‌حسگرها استفاده می‌شود [۱۰]. وندروسکوا و همکاران (۲۰۱۰) نیز به بررسی جایگزین آنتی‌بیوتیک محرک رشد در پیشگیری از بیماری‌های گوارشی در حیوانات پرداختند. در این مطالعه رس‌های معدنی به رژیم غذایی حیوانات اضافه شد که نشان داد کانی‌های رسی می‌توانند به سموم موجود در دستگاه گوارش حیوانات متصل شوند و آنها را جمع‌آوری کنند و تا حد

1. Staphylococcus aureus
2. Pseudomonas aeruginosa

تحقیق دارای وزن مولکولی کم ۲۰۰-۱۰۰ کیلودالتون به صورت محلول ۲۰ درصد، ویسکوزیته CP ۱۸۰-۶۰ و دانسیته ۱/۰۴ گرم بر سانتی متر مکعب، محصول شرکت سیگما آلد ریچ است. در این تحقیق کاغذهای دست‌ساز تحت تأثیر باکتری اشرشیاکلی^۲ و باسیلوس سوبتیلیس^۳ قرار گرفتند. این باکتری‌ها از بانک سوش باکتری دانشگاه علوم پزشکی گرگان تهیه شدند.

روش پژوهش

ابتدا نانورس تجاری با هدف تولید یک سوسپانسیون کلوییدی پایدار با ایجاد ذرات جامد نانومتری در تمام ابعاد، با کمک هموژنایزر فراوری شد. به منظور فراوری ذرات نانورس، مطابق تحقیقات لیندستروم و همکاران (۲۰۰۸) در ابتدا سوسپانسیون نانورس-آب مقطر با غلظت ۴ (گرم/لیتر) تهیه شد [۱۳]. سپس این ذرات به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار گرفتند تا واکنشیده شوند. در نهایت این محلول در دستگاه هموژنایزر به مدت ۶۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه تیمار شد [۱۴]. به منظور اطمینان از دستیابی به ذرات نانورس، عکس میکروسکوپ الکترونی با استفاده از دستگاه مدل KYKY-EM۳۲۰۰ از نانورس خام و نانورس همگن شده تهیه شد. بعد از تعیین درصد رطوبت خمیر، پالایش سوسپانسیون خمیر براساس استاندارد شماره ۸۵-۲۲۴۸ om آیین‌نامه تاپی به تعداد ۱۰۰۰۰ دور پالایش انجام گرفت تا خمیر به درجه روانی CSF ۱۰±۳۵۰ برسد. در مرحله بعد، سوسپانسیون الیاف با و بدون پلی دی‌آیل دی‌متیل آلومینیوم کلراید^۴ (پلی‌دادمک)، با نانورس خام و

رس نوعی ماده جاذب آب مطلوب است. با توجه به فناوری نانو، به نظر می‌رسد اگر از ذرات نانورس استفاده شود و همچنین با فراوری نانورس با هموژنایزر، لایه‌های ذرات نانورس جدا شده و متفرق شود، سطح ویژه افزایش یابد و در نتیجه بار منفی سطحی نیز بیشتر شود؛ پیش‌بینی می‌شود که تبادل یونی و در نتیجه خواص ضد میکروبی بهبود می‌یابد. همچنین پیش‌بینی می‌شود که با فراوری نانورس و جدا کردن لایه‌های سیلیکاتی به علت افزایش سطح ویژه، ویژگی جذب آب آن هم به عنوان یک هدف جانبی افزایش می‌یابد. بنابراین در این تحقیق، استفاده از نانورس و فراوری نانوذرات رس با استفاده از شیوه هموژنایزر به منظور جداسازی لایه‌های سیلیکاتی و بررسی تأثیر آنها بر خواص ضد میکروبی کاغذ به عنوان هدف اصلی، و ارزیابی اثر آن بر جذب آب کاغذهای بهداشتی به عنوان هدف جانبی لحاظ شد.

مواد و روش‌ها

مواد

در این تحقیق به منظور تهیه خمیر کاغذ پایه از الیاف لیگنوسلولزی گونه اکالیپتوس استفاده شد. این خمیر وارداتی از کارخانه لطیف کرج تهیه شد. نانورس مورد استفاده، بنتونیت، ساخت شرکت سوسرن کلی پروداکت^۱ بود. این ماده، پودری سفید با دانسیته ۲/۳۵ گرم بر سانتی متر مکعب است. در این تحقیق به منظور ماندگاری مطلوب ذرات نانورس بر روی الیاف از کمک‌نگهدارنده پلی دی‌آیل دی‌متیل آمونیوم کلراید (پلی‌دادمک) استفاده شد. پلی‌دادمک استفاده شده در این

2. *Escherichia coli*
3. *Bacillus subtilis*
4. Poly DADMAC

1. Southern clay product

رشد باکتری شاهد به صورت درصد رشد باکتری ارائه شد. همچنین میزان جذب آب براساس استاندارد T4320m-09 ارزیابی شد. در این تحقیق برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و اجرای آزمون‌های آماری از نرم‌افزار آماری SPSS16 استفاده شد.

نتایج و بحث

ریزنگار میکروسکوپ الکترونی (SEM) نانورس

خام و نانورس همگن شده

شکل ۲ ریزنگاره میکروسکوپ الکترونی نانورس خام و ریزنگاره میکروسکوپ الکترونی نانورس همگن شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که پیداست، نانورس خام فقط در ضخامت نانومتری است و حالت صفحه‌ای دارد که در ابعاد میکرومتری است. اما با فراوری و هموژن کردن ذرات نانورس، لایه‌های سیلیکاتی این ذرات از یکدیگر جدا شده و در تمام ابعاد نانومتری می‌شود. از آنجا که این تصویر پس از خشک شدن نانورس همگن شده در آون است، ذرات نانورس به صورت لایه‌ی ژله‌ای به یکدیگر چسبیده و لایه‌ها به حالت اول برگشته‌اند، ولی در سطوح کاغذ احتمالاً چنین اتفاقی رخ نمی‌دهد که در شکل ۵ شاهد آن خواهیم بود.

الگوی پراش پرتو ایکس نانورس خام و کاغذ

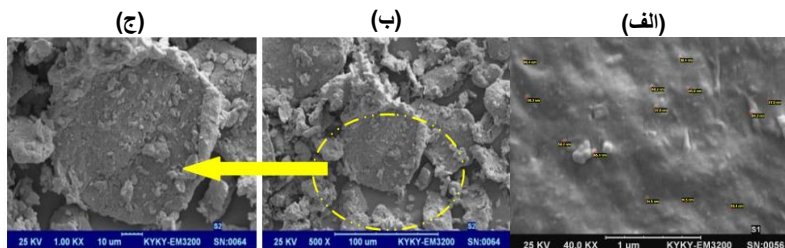
حاوی نانورس همگن شده

شکل ۳ الگوی پراش پرتو ایکس کاغذ حاوی نانورس خام و کاغذ حاوی نانورس همگن شده با پلی‌دادمک را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بلندترین پیک نانورس خام در دو تنای ۷/۵ ظاهر

همگن شده، هر یک در سه سطح مصرفی ۲، ۱۰ و ۱۵ درصد مخلوط شد. بدین صورت که سوسپانسیون الیاف در همزن قرار گرفت و به منظور خنثی‌سازی بار منفی الیاف از کمک‌نگهدارنده، به مقدار ۰/۵ درصد بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ به سوسپانسیون خمیر اضافه شد. سپس این محلول به مدت ۱۰ دقیقه در همزن با سوسپانسیون الیاف ترکیب شد و در نهایت نانورس خام و همگن شده در سطوح مختلف به این ترکیب اضافه شد. سپس کاغذهای دست‌ساز ۶۰ گرمی براساس استاندارد T ۲۰۵ sp-۰۲ آیین‌نامه‌ی تاپی از هریک از نمونه‌های خمیر تهیه شد. به منظور بررسی وجود ذرات نانورس همگن شده روی سطح کاغذ تیمار شده، تصاویر میکروسکوپ الکترونی پیمایشی تهیه شد. همچنین الگوی پراش پرتو ایکس از نانورس خام و کاغذ حاوی نانورس همگن شده تهیه شد. به منظور تعیین میزان ماندگاری ذرات نانورس در کاغذهای تیمار شده، خاکستر کاغذ شاهد و کاغذهای تیمار شده با نانورس بر اساس استاندارد T4130m-93 ارزیابی شد. همچنین آزمون ضدباکتریایی علیه باکتری‌های اشرشیاکلی و باسیلوس براساس روش کدورت‌سنجی انجام گرفت [۱۵]. در این آزمون نمونه‌های کاغذ در آون کاملاً استریل شدند و هر نمونه با وزن ۰/۰۵ گرم در داخل لوله‌های آزمایش حاوی ۵ میلی‌لیتر محیط کشت BHI^۱ استریل شده و ۵ لاندا باکتری مورد نظر قرار داده شدند. سپس کدورت این نمونه‌ها که نشان‌دهنده رشد باکتری است، بعد از ۲۴ ساعت قرار گرفتن در دستگاه تکان‌دهنده^۲، با استفاده از دستگاه بیوفتومتر اندازه‌گیری شد. اعداد جذب براساس

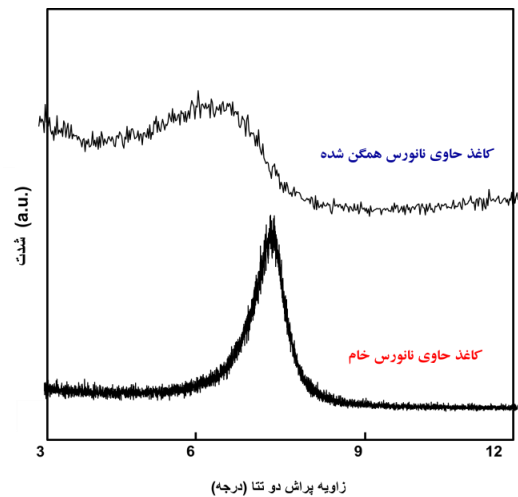
1. Brain Heart Infusion Borth

2. Shaker



شکل ۲. ریزنگار میکروسکوپ الکترونی نانورس (الف) و ریزنگار میکروسکوپ الکترونی نانورس همگن شده در دو بزرگنمایی مختلف (ب، ج)

نانورس خام (الف) و نانورس همگن شده (ب) با و بدون حضور کمک نگهدارنده، مشاهده می شود. نتایج حاکی از آن است که با افزودن نانورس در حضور پلی دادمک، اختلاف معنی داری در مقدار خاکستر اتفاق افتاده است. با توجه به شکل ۴ (ج) در تیمارهایی که از پلی دادمک به عنوان کمک نگهدارنده استفاده شد، مقدار خاکستر باقی مانده در کاغذ در هر دو حالت (الف و ب) بیشتر شد. در واقع با افزودن پلی دادمک به سوسپانسیون خمیر، میزان دافعه بین الیاف و ذرات نانورس نیز کاهش می یابد و احتمالاً بار کاتیونی الیاف به سمت مثبت حرکت می کند که این پدیده ممکن است سبب بهبود ماندگاری ذرات نانورس و جذب نانورس بر روی سطح الیاف که خود دارای بار منفی است شود. همان طور که در شکل ۱ (الف) مشاهده می شود ماندگاری نانورس خام بدون پلی دادمک بیشتر از ماندگاری نانورس همگن شده بدون پلی دادمک است، زیرا ذرات نانورس خام درشت ترند و راحت تر در شبکه الیاف قرار می گیرند و ماندگاری بهتری دارند، اما در حالت همگن شده نانورس ریز می شود و در تمام ابعاد نانومتری شده و بدون کمک نگهدارنده در زمان آگیری درصد عمده ای از آن از توری ورقه ساز عبور می کند و به مقدار جزئی در کاغذ باقی می ماند.



شکل ۳. الگوی پراش پرتو ایکس در نانورس خام و کاغذ حاوی نانورس همگن شده

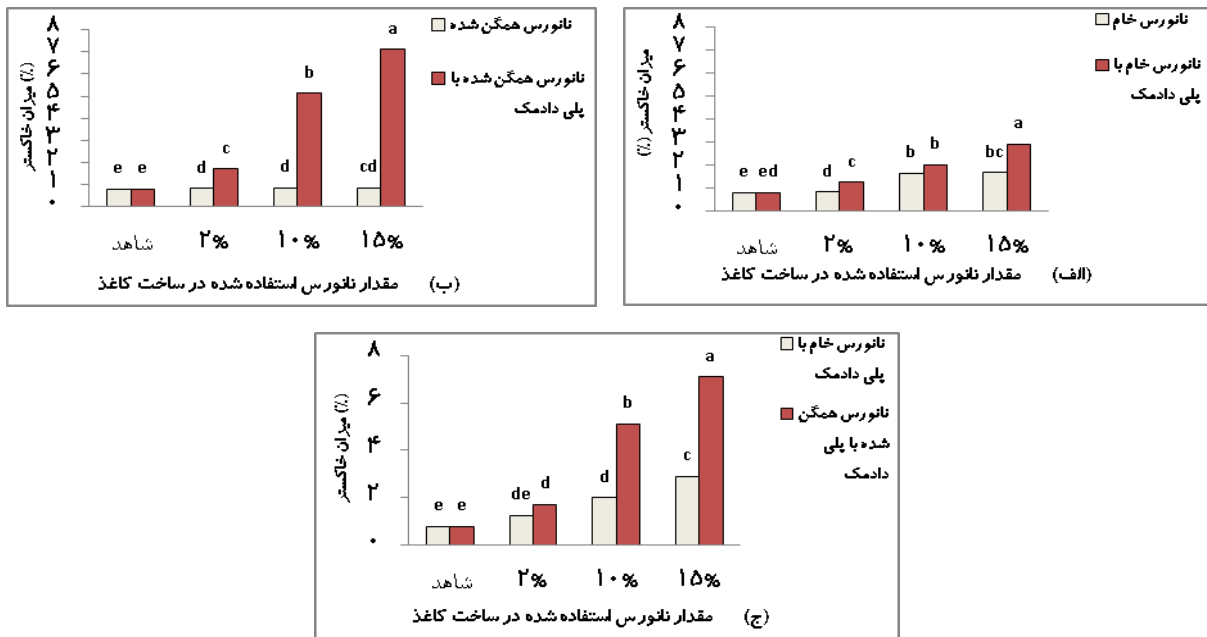
شده که نشان دهنده لایه های سیلیکاتی نانورس خام است. در کاغذ حاوی نانورس همگن شده این پیک به سمت چپ جابه جا شده و نیز پهن تر شده است. این جابه جایی و پهن شدگی به علت واکنش شدن نانورس در آب و ریزتر و همگن تر شدن آن و نبود لایه های سیلیکاتی اولیه است، زیرا بر اثر هموزن شدن، لایه های نانورس از هم باز می شود که طی آن پدیده متورق شدن اتفاق می افتد و لایه های سیلیکاتی از هم باز می شوند.

۲ درصد ماندگاری ذرات با آزمون درصد خاکستر^۲

کاغذهای دست ساز

در شکل ۴ مقدار خاکستر باقی مانده از کاغذهای حاوی

1. Intercalation
2. Ash



شکل ۴. تغییرات مقدار خاکستر با افزودن نانوسر با و بدون کمک‌نگهدارنده در (الف) نانوسر خام، (ب) نانوسر همگن شده و (ج) تغییرات مقدار خاکستر با افزودن نانوسر خام و نانوسر همگن شده با کمک‌نگهدارنده (گروه‌بندی دانکن به صورت حروف انگلیسی در بالای ستون‌ها آمده و حروف متفاوت مؤید اختلاف معنی‌دار بین مقادیر است).

نانوسر، افزایش معنی‌داری در مقدار خاکستر پدید می‌آید و نیز با افزایش مقدار مصرف نانوسر، خاکستر افزایش پیدا می‌کند و با هم‌وزن کردن نانوسر این روند افزایشی بیشتر می‌شود.

نتایج حاصل از عکس‌های الکترونی نیز تأیید می‌کند که با افزودن پلی‌دادمک به سوسپانسیون خمیر کاغذ، ماندگاری ذرات نانوسر بیشتر می‌شود. شکل ۵ (الف) سطح کاغذ محتوی ۱۵ درصد نانوسر همگن شده بدون کمک‌نگهدارنده و شکل ۵ (ب) سطح کاغذ محتوی ۱۵ درصد نانوسر همگن شده با کمک‌نگهدارنده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است در صورتی که از کمک‌نگهدارنده برای ماندگاری نانوسر استفاده شود ذرات نانوسر بیشتری در بین الیاف دیده می‌شود که اغلب دارای ابعاد نانومتری است؛ اما در نبود کمک‌نگهدارنده مقداری جزئی از ذرات نانوسر در سطح کاغذ باقی می‌ماند.

شکل ۴ (ج) مقایسه مقدار خاکستر باقی‌مانده در کاغذهای حاوی نانوسر خام و نانوسر همگن شده با پلی‌دادمک را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، مقادیر خاکستر باقی‌مانده در کاغذهای حاوی نانوسر همگن شده با پلی‌دادمک در تمام سطوح، بیشتر از کاغذهای حاوی نانوسر خام با پلی‌دادمک است. در این زمینه این‌گونه استنباط می‌شود که با توجه به اینکه پلی‌دادمک کوتاه‌زنجیر است، قابلیت اتصال مناسب ذرات درشت رس را به‌خوبی ندارد، درحالی که در اتصال ذرات نانوسر همگن شده با سطح ویژه بیشتر و بار منفی بیشتر و البته کوچک‌تر، بهتر عمل می‌کند و سبب ماندگاری بیشتر آنها می‌شود؛ به‌طوری که مقدار خاکستر در کاغذهای حاوی نانوسر همگن شده با پلی‌دادمک حدوداً دو برابر بیشتر از کاغذهای حاوی نانوسر خام است. بنابراین نتایج حاکی از آن است که با افزودن



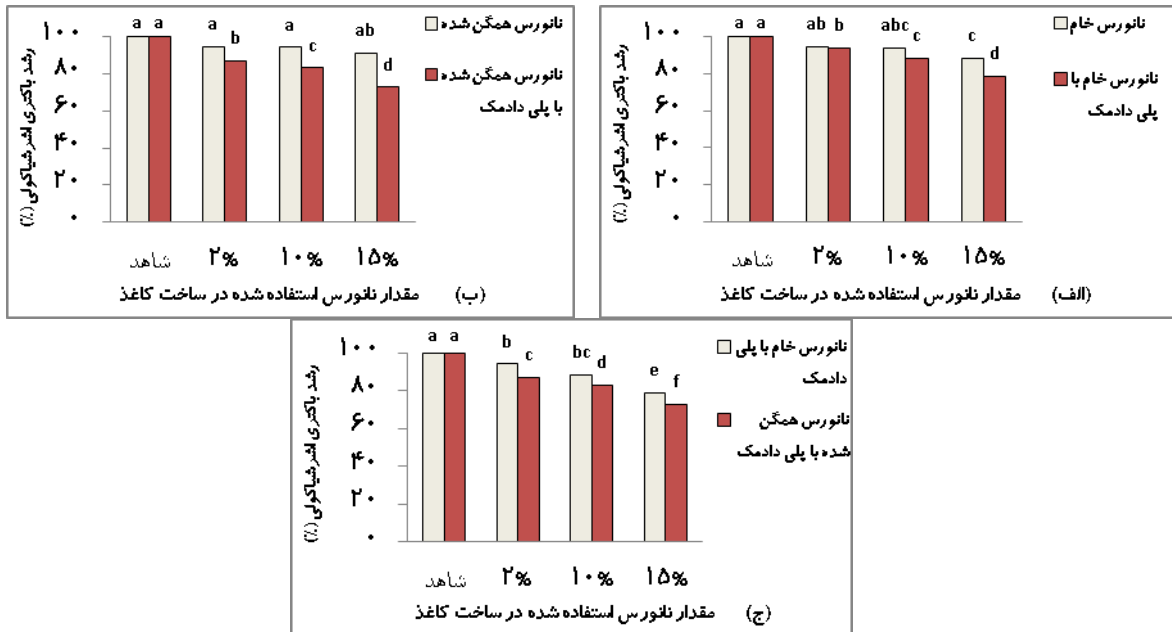
شکل ۵. (الف) سطح کاغذ تیمارشده با نانورس همگن شده بدون کمک‌نگهدارنده؛ (ب) سطح کاغذ تیمارشده با نانورس همگن شده با کمک‌نگهدارنده

نگهدارنده، مقدار نانورس باقی مانده در کاغذ بیشتر می‌شود و در نتیجه خاصیت ضد میکروبی بهبود می‌یابد، اما در حالتی که از کمک‌نگهدارنده استفاده نشده، در هر دو حالت، به علت ماندگاری کمتر ذرات نانورس، رشد باکتری بیشتر شده است. بنابراین نتایج حاکی از آن است که با افزودن نانورس، کاهش معنی داری در رشد باکتری اشرشیاکلی اتفاق افتاده و با افزایش مصرف نانورس، رشد باکتری اشرشیاکلی کاهش یافته است. نتایج پژوهش‌های دیگری نیز [۹، ۱۱، ۱۲] اثر ضد میکروبی ذرات رس را ثابت کرده است.

اثر نانورس بر باکتری اشرشیاکلی^۱

شکل ۶ میزان رشد باکتری اشرشیاکلی در کاغذهای حاوی نانورس خام (الف) و نانورس همگن شده (ب) با و بدون حضور کمک‌نگهدارنده را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که با افزودن نانورس در حضور پلی-دادمک، اختلاف معنی داری در میزان رشد باکتری اشرشیاکلی اتفاق افتاده است. با توجه به این شکل در تیمارهایی که از پلی‌دادمک به عنوان کمک‌نگهدارنده استفاده شده، رشد باکتری اشرشیاکلی در هر دو حالت الف و ب کاهش یافته است، زیرا در حضور کمک-

1. Escherichia coli



شکل ۶. تغییرات میزان رشد باکتری اشرشیاکلی با افزودن نانورس با و بدون کمک‌نگهدارنده در (الف) نانورس خام، (ب) نانورس همگن - شده و (ج) تغییرات رشد باکتری اشرشیاکلی با افزودن نانورس خام و نانورس همگن شده با کمک‌نگهدارنده (گروه بندی دانکن به صورت حروف انگلیسی در بالای ستون‌ها آمده و حروف متفاوت مؤید اختلاف معنی دار بین مقادیر است).

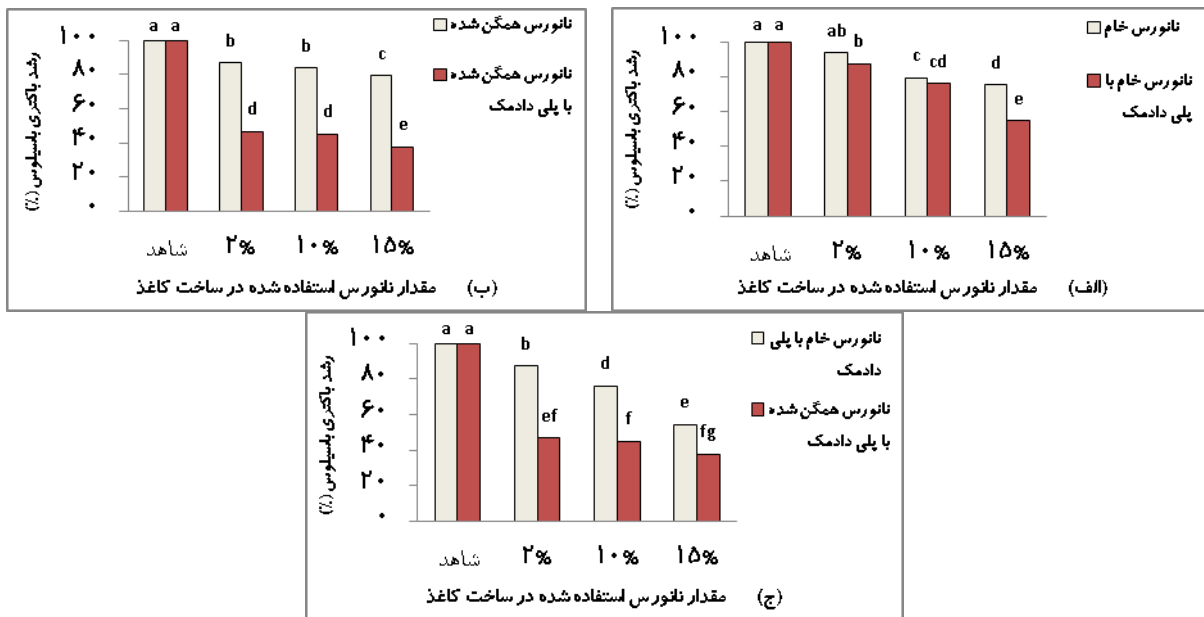
اثر نانورس بر باکتری باسیلوس سوبتیلیس^۱

شکل ۷ میزان رشد باکتری باسیلوس را در کاغذهای حاوی نانورس خام (الف) و نانورس همگن شده (ب)، با و بدون حضور کمک‌نگهدارنده نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که با افزودن نانورس در حضور پلی دادمک، اختلاف معنی داری در میزان رشد باکتری باسیلوس اتفاق افتاده است. با توجه به این شکل در تیمارهایی که از پلی دادمک به عنوان کمک‌نگهدارنده استفاده شده، رشد باکتری باسیلوس نیز در هر دو حالت الف و ب کاهش یافته است، زیرا در حضور کمک‌نگهدارنده، میزان نانورس باقی مانده در کاغذ بیشتر خواهد بود و در نتیجه خاصیت ضد میکروبی بهبود خواهد یافت. در عین حال در حالتی که از کمک‌نگهدارنده استفاده نشده است، در

شکل ۶ (ج) مقایسه میزان رشد باکتری اشرشیاکلی در کاغذهای حاوی نانورس خام و نانورس همگن شده در حضور پلی دادمک را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود رشد باکتری اشرشیاکلی در کاغذهای حاوی نانورس همگن شده با پلی دادمک (HCP) در تمام سطوح از کاغذهای حاوی نانورس خام با پلی دادمک (CP) کمتر است، زیرا در این حالت مطابق نتایج بررسی مقدار خاکستر، ماندگاری نانورس بیشتر است. همچنین در این حالت، ذرات نانورس همگن شده و لایه‌های سیلیکاتی آن از هم جدا شده و در نتیجه بار منفی سطحی و تبادل یونی افزایش و رشد باکتری کاهش یافته است. در این حالت (۱۵ درصد نانورس همگن شده با کمک‌نگهدارنده) نانورس تا حدود ۳۰ درصد رشد باکتری را محدود کرده است.

مصرف نانورس میزان رشد باکتری باسیلوس کاهش یافته است. نتایج پژوهش‌های دیگری نیز [۹، ۱۱، ۱۲] اثر ضد میکروبی ذرات رس را ثابت کرده است.

هر دو حالت، به علت ماندگاری کمتر ذرات نانورس، رشد باکتری بیشتر می‌شود. بنابراین نتایج حاکی از آن است که با افزودن نانورس، کاهش معنی‌داری در میزان رشد باکتری باسیلوس اتفاق افتاده و با افزایش



سیلیکاتی در نانورس همگن شده را می‌توان عامل مؤثر در کاهش رشد باکتری ذکر کرد.

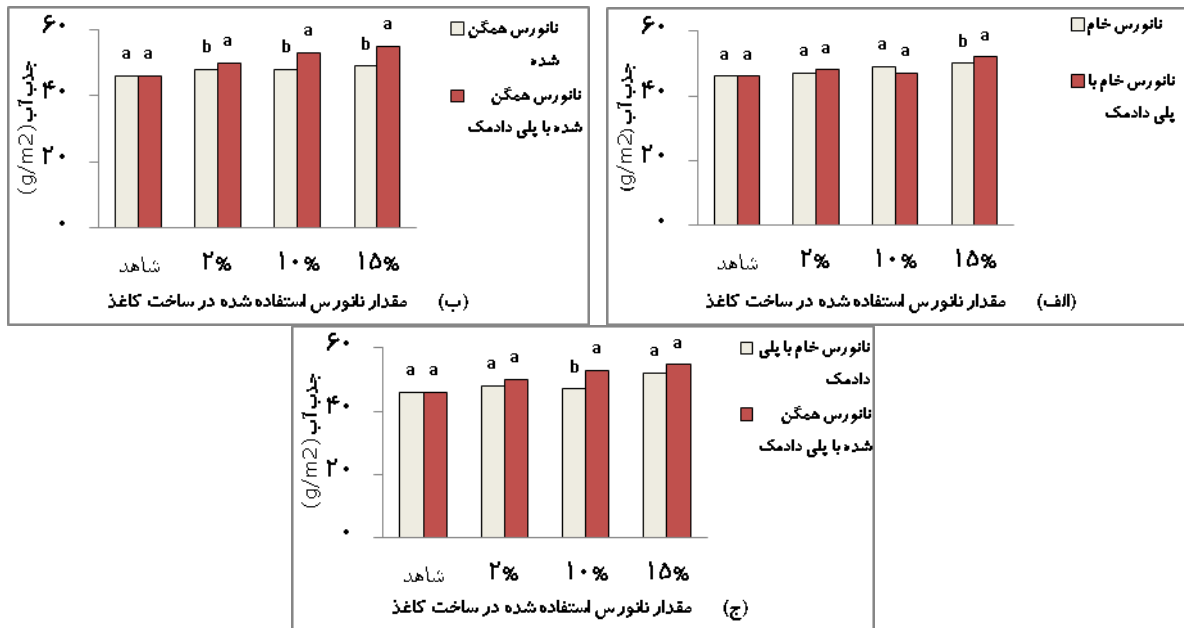
جذب آب

این آزمون میزان جذب آب را در کاغذ نشان می‌دهد. جذب آب خاصیتی مهم و عمده در اکثر محصولات بهداشتی سلولزی است. جذب آب با استفاده از آزمون کاب ۱۶۰ بررسی شد. شکل ۸، مقدار جذب آب در کاغذهای حاوی نانورس خام (الف) و نانورس همگن شده (ب) با و بدون حضور کمک‌نگهدارنده را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که با افزودن

شکل ۷ (ج) مقایسه میزان رشد باکتری باسیلوس در کاغذهای حاوی نانورس خام و نانورس همگن شده در حضور پلی‌دادمک را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود رشد باکتری باسیلوس نیز در کاغذهای حاوی نانورس همگن شده با پلی‌دادمک (HCP) در تمام سطوح از کاغذهای حاوی نانورس خام با پلی‌دادمک (CP) کمتر است. در مورد اثر نانورس بر رشد باکتری باسیلوس نیز، دلایلی مشابه آنچه در خصوص شکل ۶ بیان شد را می‌توان علت این کاهش دانست. به عبارت دیگر ماندگاری بیشتر نانورس در اثر جدا شدن لایه‌های

حالت ب بیشتر است که به علت اختلاف در ماندگاری ذرات نانورس است. بنابراین نتایج حاکی از آن است که با افزودن نانورس، افزایش معنی داری در مقدار جذب آب اتفاق افتاده است، زیرا نانورس سدیم مونت موریلونیت طبیعتاً خاصیت آب دوستی دارد در نتیجه با افزایش مقدار نانورس جذب آب افزایش می یابد [۴]. شایان ذکر است که اگرچه این تغییرات در افزایش جذب آب چشمگیر نبوده است، آن را می توان یک نکته مثبت قابل قبول در کنار بهبود چشمگیر خواص ضد باکتری کاغذ بیان کرد.

نانورس در حضور پلی دادمک، اختلاف معنی داری در مقدار جذب آب کاغذها اتفاق افتاده است. با توجه به این شکل در تیمارهایی که از پلی دادمک به عنوان کمک نگهدارنده استفاده شده است جذب آب نیز در هر دو حالت الف و ب افزایش یافته است، زیرا در حضور کمک نگهدارنده مقدار نانورس باقی مانده در کاغذ بیشتر است و در نتیجه جذب آب بهبود می یابد؛ اما در حالتی که از کمک نگهدارنده استفاده نشده است، در هر دو حالت، به علت ماندگاری کمتر ذرات نانورس، جذب آب کاهش می یابد و این اختلاف در



شکل ۸. تغییرات جذب آب کاغذ با افزودن نانورس با و بدون کمک نگهدارنده در (الف) نانورس خام، (ب) نانورس همگن شده و (ج) تغییرات جذب آب کاغذ با افزودن نانورس خام و نانورس همگن شده با کمک نگهدارنده (گروه بندی دانکن به صورت حروف انگلیسی در بالای ستون ها آمده و حروف متفاوت مؤید اختلاف معنی دار بین مقادیر است).

کاغذهای حاوی نانورس خام با پلی دادمک (CP) بیشتر است، زیرا در این حالت مطابق نتایج ناشی از مقادیر خاکستر، ماندگاری نانورس بیشتر است. همچنین ذرات نانورس همگن شده، سطح ویژه بیشتری دارد و جذب آب کاغذها بیشتر می شود.

شکل ۸ (ج) مقایسه مقدار جذب آب در کاغذهای حاوی نانورس خام و نانورس همگن شده در حضور پلی دادمک را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود جذب آب در کاغذهای حاوی نانورس همگن شده با پلی دادمک (HCP) در تمام سطوح از

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده، نانورس موجب بهبود چشمگیر خواص ضدباکتری کاغذهای تیمار شده شده است، همچنین نانورس همگن شده با هموژنایزر در مقایسه با نانورس خام به‌عنوان پرکننده، خواص ضدباکتریایی بهتری را در هر دو باکتری از خود نشان داده است. از طرفی هر دو نوع نانورس (نانورس خام و نانورس همگن شده) در کاهش رشد باکتری باسیلوس سوبتیلیس نسبت به باکتری اشرشیاکلی موفق‌تر عمل کرده‌اند. در عین حال استفاده از نانورس

جذب آب کاغذ را نیز تا حد قابل قبولی افزایش داده که در به‌کارگیری نانورس همگن شده افزایش جذب آب، به میزان بیشتری بهبود یافته است. شایان ذکر است که اگرچه این تغییرات در افزایش جذب آب چشمگیر نبوده، نکته مثبت قابل قبولی در کنار بهبود شایان توجه خواص ضدباکتری کاغذ بوده است. از این رو به‌کارگیری این ماده در بهبود خواص ضدباکتری و تا حدی جذب آب محصولات بهداشتی سلولزی موفق بوده است.

References

- [1]. Bower, C.K., Parker, J.E., Higgins, A.Z., Oest, M.E., Wilson, J.T., Valentine, B.A., Bothwell, M. K, and McGuire, J. (2002). Protein antibacterial barriers to bacterial adhesion: in vitro and in vivo evaluation of nisin-treated implantable materials. *Colloidal and Surfaces B: Biointerfaces*, 25(1): 81-90.
- [2]. Chang, Y.Z., Chu, W.B., Sheng, Y.X., Qiang, W., and Liang, R. (2005). The synergistic activity of antibiotics combined with eight traditional Chinese medicines against two different strains of *Staphylococcus aureus*. *Colloidal and Surfaces B: Biointerfaces*, 41(2): 81-90.
- [3]. Mucha, H., Hofer, D., ABflag, S., and Swere, M. (2002). Antimicrobial finishes and modification. *Melliand Textile Berchte*, 83(3): 53-56.
- [4]. Imani, R., Talaiepour, M., Dutta, J., G., Mohammad R., Hemmasi, A.H., and Nazhad, M.M. (2011). Production of antibacterial filter paper from wood cellulose. *Bioresources*, 6(1): 891-900.
- [5]. Ronen, G., Sourabh, S., Nina, P., Leonid, A.S., Yeshayahu, N., and Aharon, G. (2011). Sonochemical coating of paper by microbicidal silver nanoparticles. *Langmuir*, 27 (2): 720-726.
- [6]. Hebeish, A., Hashem, M., Abd El-Hady M.M., and Sharaf, S. (2013). Development of CMC hydrogels loaded with silver nano-particles for medical applications. *Carbohydrate Polymers*, 92(2): 407-413.
- [7]. Li, S.M., Jia, N., Ma, M.G, Zhang, Z., Liu, Q.H., and Sun, R.C. (2011). Cellulose-silver nanocomposites: microwave-assisted synthesis, characterization, their thermal stability, and antimicrobial property. *Carbohydrate Polymers*, 86 (2011): 441-447.
- [8]. Rickertsen, S. (2005). ALTONIT – Bentonite products for the paper industry. S&B Industrial Minerals GmbH-Specialty Bentonites Unit, 56(3):25-33.
- [9]. Williams, L. B., Holland, M., and Eberl, D. D. (2004). Killer clays: Natural antibacterial clay minerals. *Mineralogical Society Bulletin*, 139(1):3-8.
- [10]. Liu, P., and Zhang, L. (2007). Adsorption of dyes from aqueous solutions or suspensions with clay nano-adsorbents. *Elsivier, Separation and Purification Technology*, 58(2): 32-39.
- [11]. Vondruskova, H., Slamova, R., Trckova, M., Zraly, Z., and Pavlik, I. (2010). Alternative to antibiotic growth promoters in prevention of diarrhoea in weaned piglets. *Veterinarni Medicina*, 55(5):199-224.
- [12]. Lafi, S.A., and Al-Dulaimy, M.R. (2011). Antibacterial Effect of some mineral clays in vitro. *Journal of Biological Science*, 3(1):75-81.
- [13]. Lindstrom, T., Banke, K., Larsson, T., Glad-Normark, G., and Boldizar, A. (2008). Modified nano-clays. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 7(3): 5818-5824.
- [14]. Hong, S., Rhim, I., and Whan, J. (2008). Antimicrobial activity of organically nanoclay plating of cellulosic fiber surface. *Journal of Applied Polymer Science*, 108 (3):887-891.
- [15]. Rahimzadeh, G., Bahar, M.A., and Salehi, M. (2011). Antimicrobial activity kefir on *pseudomonas aeruginosa*. *Razi Journal of Medical Science*, 18(82):8-16.