

## بررسی عملکرد ضد باکتریایی نانو ذرات اکسید آهن تثبیت شده با مواد زیست تخریب پذیر لیگنوسلولزی

### چکیده

امروزه با پیشرفت فناوری، استفاده از کارت‌های اعتباری به‌طور چشمگیری افزایش پیدا کرده است. استفاده از این کارت‌ها با دستگاه‌های عمومی سبب انتقال عوامل بیماری‌زا می‌گردد. در این پژوهش، با استفاده از مواد زیست تخریب پذیر لیگنوسلولزی نانو کریستال سلولز و کربوکسی متیل سلولز همراه نانو ذرات اکسید آهن، کاغذهای مغناطیسی با قابلیت ضد باکتریایی تولید شدند و سپس عملکرد آن بر روی دو باکتری اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون مغناطیسی نشان داد که تمامی نمونه‌ها خاصیت سوپر پارامغناطیس از خود نشان دادند. بالاترین مقدار اشباع مغناطیسی برابر (emu/g) ۲۵ مربوط به نمونه نانومگنتیت، سپس (emu/g) ۱۵ برای نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی نانو کریستال سلولز است. تأثیر ضد باکتریایی کاغذها بر دو باکتری گرم منفی اشرشیاکلی و گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس مثبت بوده و سبب عدم رشد باکتری‌ها شده است. همچنین بزرگ‌ترین هاله عدم رشد، در نمونه‌های کاغذ مغناطیسی پوشش داده شده با نانو کریستال سلولز و کربوکسی متیل سلولز دیده شد.

**واژگان کلیدی:** کاغذ مغناطیسی، نانو کامپوزیت مغناطیسی، نانو کریستال سلولز، کربوکسی متیل سلولز، ضد باکتری.

نورالدین نظر نژاد<sup>۱\*</sup>  
شقایق رضانژاد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه مهندسی چوب و فرآورده‌های سلولزی،  
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشکده  
منابع طبیعی، ساری، ایران

<sup>۲</sup> دانش‌آموخته دکتری صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم  
کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشکده منابع طبیعی،  
ساری، ایران

مسئول مکاتبات:

[nazarnezhad91@gmail.com](mailto:nazarnezhad91@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷

### مقدمه

وسایل مورد استفاده بشر همواره به میکروارگانیسم‌های متفاوتی آلوده می‌شوند و به‌عنوان منبعی برای انتقال بیماری‌ها عمل می‌کنند [۱]. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که دست‌های انسان نقش مهمی در انتقال باکتری‌ها و ویروس‌ها در محیط بیمارستان‌ها و زندگی روزمره دارند. به‌سادگی می‌توانند طیف وسیعی از ویروس‌ها باکتری‌ها را در اثر تماس با سطوح آلوده انتقال دهند و موجب گسترش عفونت و بیماری شوند [۲، ۳ و ۴]. از مهم‌ترین ابزار عمومی مورد استفاده، دستگاه‌های خودپرداز و کارت‌های اعتباری هستند که می‌توانند سبب انتقال آلودگی به

سایر کاربران شوند [۵]. دستگاه‌های خودپرداز از جمله وسایلی هستند که در سطح جهان برای ارائه خدمات بانکی به مردم ارائه شده‌اند و افراد مختلف به‌طور روزمره و به‌صورت وسیعی از آن‌ها استفاده می‌کنند. همچنین استفاده از کارت‌های اعتباری در سیستم تجارت و داد و ستد امری متداول است [۶]. بر اساس آمار موجود، سرعت رشد این خدمات به‌گونه‌ای بوده که در سال ۱۳۸۸ تعداد کارت‌های صادر شده توسط شبکه بانکی کشور ایران با ۴۵/۵ درصد رشد به بیش از یک کارت برای هر نفر و تعداد دستگاه‌های خودپرداز کشور با رشد ۳۲/۲ درصدی به ۱۷۱۳۳ دستگاه رسید. در همین سال تعداد

نسبت سطح به حجم بیشتری در مقایسه با ذرات بزرگ‌تر باهمان ترکیب شیمیایی دارند و همین امر موجب می‌شود تا از نظر زیستی فعال‌تر باشند. ترکیبات ضد میکروبی غیرآلی به‌ویژه فلزات و اکسید آنها به دلیل توانایی تحمل شرایط سخت فرآوری از جمله دما و فشار بالا، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته‌اند [۱۱]. در سال‌های اخیر، به دنبال موفقیت نانو ذرات نقره به‌عنوان یک عامل ضد میکروبی قوی و با درجه سمیت زیاد برای بسیاری از انواع سلول‌ها و نیز موجودات، رشد و توسعه دیگر نانو ذرات در حوزه شیمی درمانی ضد میکروبی در کانون توجه بسیاری از دانشمندان جهان قرار گرفته است [۱۲]. مطالعات متعددی در زمینه ویژگی ضد میکروبی در نانو ذرات فلزی انجام شد. یکی از نانو ذرات دارای ویژگی ضد میکروبی، نانو اکسید آهن (نانو مگنتیت) است که با توجه به ایمن بودن و عدم سمیت می‌تواند گزینه مناسبی جهت جایگزینی نانو ذرات نقره باشد [۱۳]. از مهم‌ترین ویژگی‌های نانو ذرات اکسید آهن، ویژگی‌های مغناطیسی مناسب، سمیت اندک، سازگاری زیستی بالا و سهولت نسبی سنتز آن نسبت به نانو ذرات دیگر است [۱۴]. گزارش‌های متعددی مبنی بر اثرات ضدمیکروبی این نانو ذرات علیه باکتری‌های گرم منفی (باکتری‌هایی که غشای خارجی دارند و پس از رنگ‌آمیزی، رنگ را نگه نمی‌دارند) و گرم مثبت (باکتری‌هایی که غشای خارجی وجود دارد. مکانیسم‌های ضدمیکروبی بسیار متنوع بوده و شامل جلوگیری از ساخت دیواره سلولی، تخریب دیواره سلول، مسموم کردن سلول، متوقف کردن فعالیت آنزیمی و تخریب غشا سلول هستند [۱۵]. نانو ذرات اکسید آهن از نظر فیزیکی - شیمیایی بسیار ناپایدار هستند. این ترکیبات در برابر اکسیژن هوا به سرعت اکسید شده و به ماگمایت تبدیل می‌شوند [۱۶]. این ذرات به دلیل داشتن ویژگی مغناطیسی و آب‌گریزی از نظر کلونیدی در محیط‌های آبی بسیار ناپایدارند و همچنین به‌صورت برهنه (بدون پوشش سطحی) دارای مقداری سمیت برای سلول‌ها هستند [۱۷]. بنابراین، برای استفاده از این نانو ذرات لازم است تا سطح آنها با ترکیبات آب‌دوست و زیست سازگار پوشش دهی شود تا از تجمع آنها جلوگیری کرده و موجب

۱۲۸۵۰۰۰۰۰۰ تراکنش به وسیله دستگاه‌های خودپرداز انجام شد که این مقدار ۷۷/۵ درصد تعداد کل تراکنش‌های الکترونیک انجام شده در شبکه بانکی کشور بوده است [۱۷]. در نتیجه کارت بانکی می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع آلودگی به انواع میکروارگانیسم‌ها محسوب شود. تحقیقات متعددی در زمینه انتقال میکروارگانیسم‌های مضر از طریق پول و کارت‌های اعتباری و همچنین دستگاه‌های عمومی انجام شده است، به طوری که نتایج بررسی‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که این میکروب‌ها به‌صورت انگل، قارچ‌ها، باکتری و حتی انواع مواد مخدر می‌باشند، به‌علاوه خون‌های خشک شده آلوده به هیپاتیت و ایدز هم مشاهده شده است [۸]. این انتقال، می‌تواند سبب ایجاد بیماری‌های همه‌گیر شود. استفاده از فرآورده‌های کاغذی در تمامی ابعاد زندگی مشهود است. برخی از کاغذها با ویژگی‌های خاص مانند قابلیت مغناطیسی تولید و استفاده می‌شوند. با استفاده از قابلیت مغناطیسی، توان ذخیره اطلاعات در کاغذ ایجاد خواهد شد که در تولید کاغذهای امنیتی، اسکناس و کارت‌های اعتباری کاربرد دارند [۹]. جدای از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای مورد استفاده، تمهیدات مورد نیاز در خصوص ویژگی‌های بهداشتی آنها نیز حائز اهمیت است. الیاف همواره محیط مناسبی جهت رشد سریع میکروارگانیسم‌ها پدید می‌آورند. الیاف ضدمیکروبی قادرند علاوه بر مقاومت در مقابل رشد سریع باکتری، ویروس و قارچ‌ها امکان کشتن آنها را نیز فراهم نمایند که این خواص از طریق استانداردهای آزمون کشت میکروبی در آزمایشگاه‌های میکروبیولوژی قابل ارائه و اثبات است [۱۰]. کارت‌های اعتباری و بانکی یکی از مهم‌ترین کاغذهای مورد استفاده روزمره می‌باشند که پتانسیل انتقال آلودگی‌های میکروبی و بیماری‌ها را دارند. با استفاده از نانو ذرات مغناطیسی می‌توان کارت‌های اعتباری با قابلیت ضد میکروبی و هم‌زمان ذخیره اطلاعات تولید کرد [۹]. همچنین با ایجاد قابلیت ضد میکروبی از انتقال بیماری و همه‌گیری برخی از بیماری‌ها جلوگیری خواهد شد. پیشرفت‌های اخیر در زمینه فناوری نانو به‌ویژه توانایی ساخت نانو ذرات در شکل‌ها و اندازه‌های مختلف منجر به ایجاد دسته‌ی وسیعی از عوامل ضدمیکروبی شده است. مواد در ابعاد نانو

آمونیم تا رسیدن به pH حدود ۱۱ طی هم‌زدن پیوسته، در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد اضافه شد. مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه تحت هم‌زدن پیوسته قرار گرفت. پس از مدت‌زمان تیمار، رسوب حاصل تا رسیدن به pH خنثی با آب مقطر شستشو داده شد [۱۹].

### آماده‌سازی نمونه‌های کاغذ مغناطیسی

#### آماده‌سازی نشاسته کاتیونی

مقدار نشاسته کاتیونی ۲ درصد بر مبنای وزن خشک کاغذ به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۳۰ دقیقه تحت هم‌زدن پیوسته قرار داده شد. پس از طی زمان آزمایش، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب هم‌دما به محلول اضافه شد.

#### آماده‌سازی کاغذهای دست‌ساز

برای آماده‌سازی کاغذ دست‌ساز حاصل از الیاف مغناطیسی، نشاسته کاتیونی با الیاف مخلوط شده و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق و با سرعت ۱۵۰ دور بر دقیقه هم‌زده شد. سپس کاغذ دست‌ساز با وزن پایه ۱۲۰ گرم بر مترمربع مطابق با استاندارد T205,om 88 آیین‌نامه TAPPI با استفاده از الیاف مغناطیس شده ساخته شد.

#### پوشش‌دهی کاغذ با نانو کامپوزیت مغناطیسی

##### تهیه‌شده

ابتدا کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه ۱۲۰ گرم بر مترمربع و با استفاده از الیاف بلند کرافت ساخته شد. سپس محلول پوشش‌دهی با غلظت ۲ درصد از ترکیب یک گرم نانو کامپوزیت مغناطیسی با آب دیونیزه تهیه شد. کاغذ آماده‌شده روی یک صفحه و بین دو حلقه ثابت‌شده، سپس کاغذ با محلول پوشش‌دهی آغشته شد.

#### آزمون نمونه‌ها

##### میکروسکوپ نیروی اتمی

برای تعیین اندازه نانوذرات مغناطیسی تهیه‌شده در این تحقیق از میکروسکوپ نیروی اتمی مدل Easyscan2Flex ساخت سوئیس استفاده شد.

سازگاری زیستی و پایداری آنها شود. ظهور فناوری‌های سبز، روش‌های جدیدی جهت پایدار کردن این نانوذرات فراهم کرد. بسپارهای زیستی مانند الیاف، نانو کریستال سلولز و کربوکسی‌متیل سلولز با توجه به دسترس بودن آنها، هزینه کم و ایمنی محیط‌زیست، گزینه‌ی مناسبی جهت پوشش‌دهی و ایجاد پایداری در نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن می‌باشند [۱۸]. به نظر می‌رسد مطالعه در زمینه تولید کارت‌های اعتباری با ویژگی ضد میکروبی و درعین حال دارای قابلیت القا و ذخیره اطلاعات با کم‌ترین هزینه ممکن امری ضروری است. لذا در این پژوهش تولید کاغذهایی باقابلیت مغناطیسی و هم‌زمان دارای خاصیت میکروبی‌کشی موردبررسی قرار گرفت. نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی با سه ماده نانو کریستال سلولز، کربوکسی‌متیل سلولز و الیاف تولید و باهم مقایسه شدند.

#### مواد و روش‌ها

##### مواد

خمیر کرافت الیاف بلند و نشاسته کاتیونی از کارخانه چوب و کاغذ مازندران، نانو کریستال سلولز از شرکت نانو نوین بسپار، کلرید آهن چهار آبه ( $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ )، کلرید آهن شش آبه ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ )، هیدروکسید آمونیوم ( $NH_4OH$ )، کربوکسی‌متیل سلولز ( $CH_2-COOH$ ) از شرکت برند مرک تهیه شد.

##### روش‌ها

##### سنتز نانومگنتیت

نانومگنتیت از ترکیب کلرید آهن چهار آبه (۰/۵ گرم)، کلرید آهن شش آبه (۱ گرم) در ۲۰۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون آبی و در اتمسفر نیتروژن تولید شد [۱۹].

##### سنتز الیاف و نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی

جهت تولید نانو کامپوزیت مغناطیسی از نانو کریستال سلولز، کربوکسی‌متیل سلولز و الیاف، کلرید آهن چهارآبه (۰/۵ گرم) و کلرید آهن شش آبه (۱ گرم) در ۲۰۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون آبی حاوی نانو کریستال سلولز، کربوکسی‌متیل سلولز و الیاف ۱/۵ درصد وزنی (wt%) و در حضور اتمسفر نیتروژن مخلوط شدند، هیدروکسید

### میکروسکوپ الکترونی روبشی

برای بررسی مورفولوژی سطح نمونه‌های مغناطیسی آماده‌شده، از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل SEC-SNE-4500 ساخت کره جنوبی استفاده شد.

### پراش اشعه ایکس

نمونه‌های تولیدشده به‌وسیله پراش پرتو ایکس، با دستگاه XRD Instrument مدل X'Pert MPD شرکت فیلیپس ساخت کشور هلند با ولتاژ ۴۰ کیلووات و ۳۰ میلی‌آمپر مورد بررسی قرار گرفت. همچنین زاویه دو تتا مورد اندازه‌گیری بین ۱۱۰-۵ بوده است.

### خواص مغناطیسی

ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌ها با دستگاه مغناطیس‌سنج ارتعاشی (VSM) ساخت شرکت کویر و با میدان مغناطیسی اعمال شده  $\pm 10000$  اورستد انجام شد.

### آزمون ضد باکتری

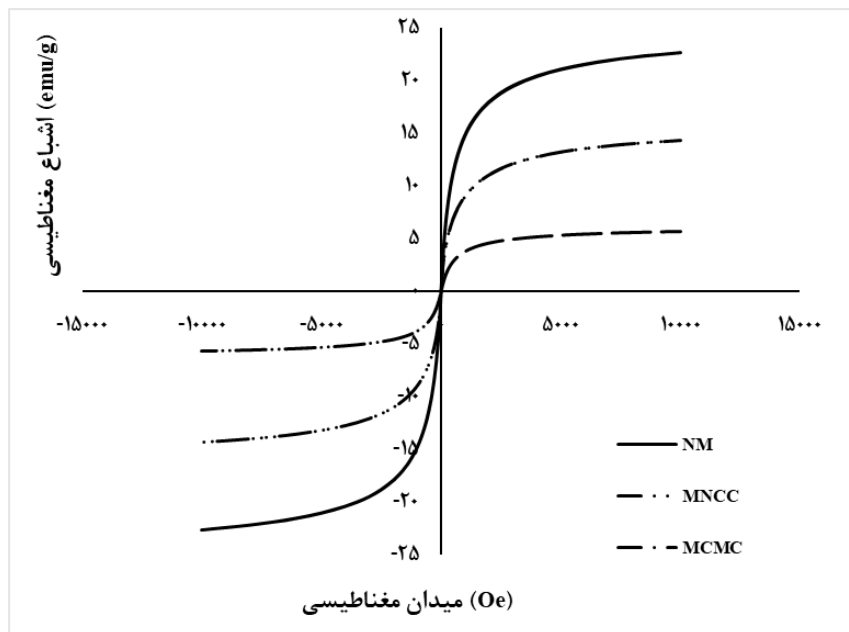
در این تحقیق سویه استاندارد باکتری‌های اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس به‌عنوان میکروارگانیسم مدل برای نشان دادن خاصیت ضد باکتری نانو ذرات اکسید آهن استفاده شد. مواد مورد استفاده در این آزمایش شامل، نمونه نانو اکسید آهن، الیاف تیمار شده با نانو اکسید آهن، نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز و کربوکسی‌متیل سلولز و الیاف پوشش دهی شده با نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی کربوکسی‌متیل سلولز و نانو کریستال سلولز می‌باشند. ابتدا محیط کشت مولر هینتون

آگار در پتری دیش‌های استریل شده آماده شد. سپس به‌وسیله باکتری‌های اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس محیط کشت آغشته شده و در نهایت نمونه‌ها به قطر یک سانتی‌متر از کاغذهای ساخته‌شده تهیه و به روش دیسک‌گذاری به محیط کشت اضافه شد. محیط کشت آماده‌شده در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت رشد داده شد.

### نتایج

#### اشباع مغناطیسی نمونه‌ها

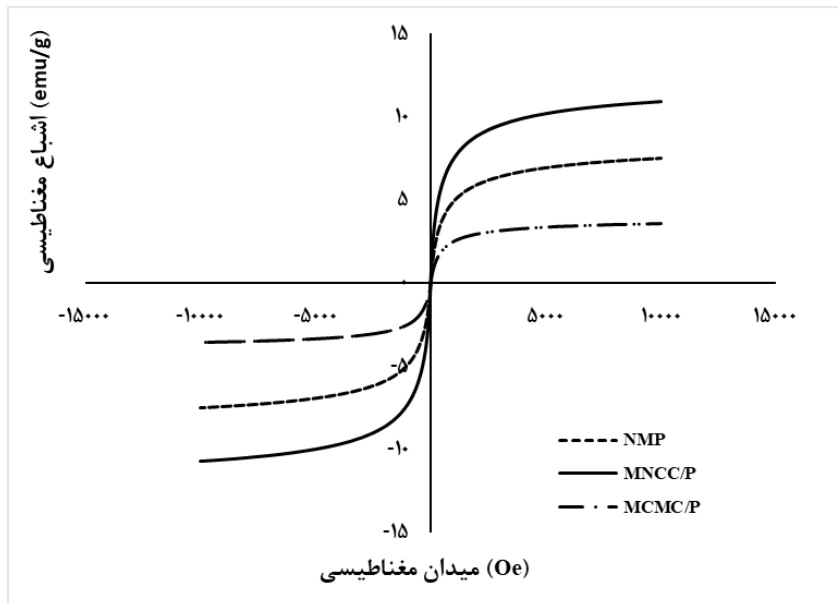
نتایج حاصل از بررسی ویژگی مغناطیسی نمونه‌های نانومگنتیت (NM)، نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز (MNCC) و کربوکسی‌متیل سلولز (MCMC) با میدان مغناطیسی اعمال شده بین ۱۰۰۰۰-۰ اورستد در تصویر ۱ نشان داده شده است. میزان اشباع مغناطیسی در نمونه‌های نانومگنتیت، نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز و کربوکسی‌متیل سلولز به ترتیب حدود (emu/g) ۲۲، ۱۵ و ۵ بوده است. همان‌طور که مقادیر اشباع مغناطیسی نشان می‌دهد، نمونه نانو کریستال سلولز اشباع مغناطیسی بالایی از خود نشان داد، این مقدار می‌تواند به دلیل ساختار نانو و گروه‌های فعال سطحی در نانو کریستال سلولز باشد که سبب افزایش واکنش‌پذیری و در نتیجه پیوندهای بیشتر و افزایش ماندگاری نمک‌های آهن باشد [۲۰]. وادارندگی اجباری در هر سه نمونه صفر بود و همچنین پسماند مغناطیسی در نمونه‌ها مشاهده نشد که نشان‌دهنده‌ی خاصیت سوپر پارامغناطیس در نمونه‌های تولیدشده است [۲۱].



شکل ۱- اشباع مغناطیسی نمونه‌های نانومگنتیت (NM)، نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز (MNCC) و کربوکسی متیل سلولز (MCMC)

نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز و کربوکسی متیل سلولز به ترتیب حدود  $11.7$  و  $3/5$  بوده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه‌های مغناطیسی پس از آغشته سازی با الیاف، اشباع مغناطیسی کمتری نشان دادند. وادارندگی اجباری در هر سه نمونه صفر و نمونه‌ها خاصیت سوپر پارامغناطیس نشان دادند.

همچنین نتایج حاصل از بررسی ویژگی مغناطیسی نمونه‌های کاغذ مغناطیسی با سنتز درجا (NMP)، کاغذ پوشش داده‌شده با نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز (MNCC/P) و کربوکسی متیل سلولز (MCMC/P) در تصویر ۲ نشان داده شده است. میزان اشباع مغناطیسی در نمونه‌های کاغذ مغناطیسی، کاغذ پوشش داده‌شده با

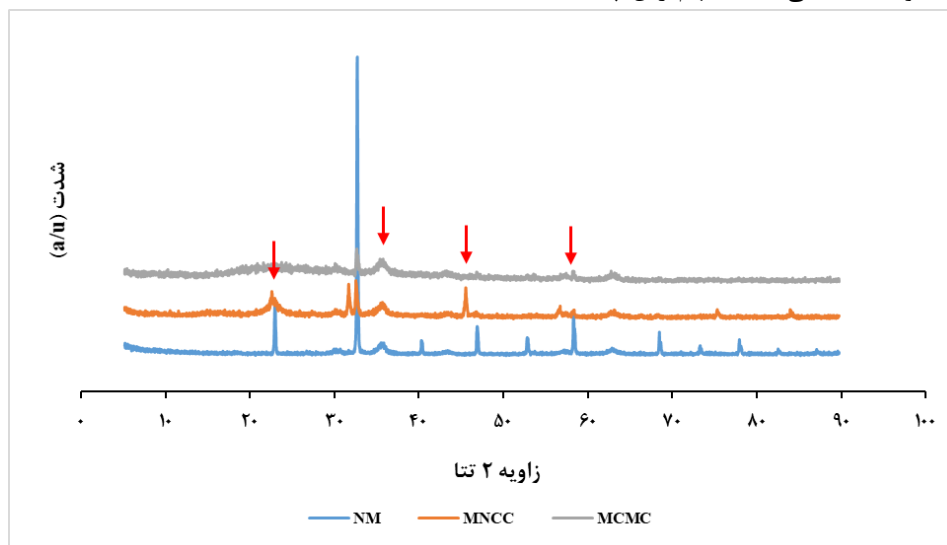


شکل ۲- اشباع مغناطیسی نمونه‌های کاغذ مغناطیسی با سنتز درجا (NMP)، کاغذ پوشش داده‌شده با نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز (MNCC/P) و کربوکسی متیل سلولز (MCMC/P)

## پراش اشعه ایکس

نمودارهای پراش اشعه ایکس برای نمونه‌های نانومگنتیت (NM)، نانو کامپوزیت مغناطیسی سلولز کریستال سلولز (MNCC) و کربوکسی‌متیل سلولز (MCMC) در شکل ۳ نشان داده شده است. الگوی پراش نشان داد که در نمونه‌ها ناخالصی وجود نداشته و دارای فاز خالص ماده نانومگنتیت می‌باشند. مهم‌ترین پیک‌های

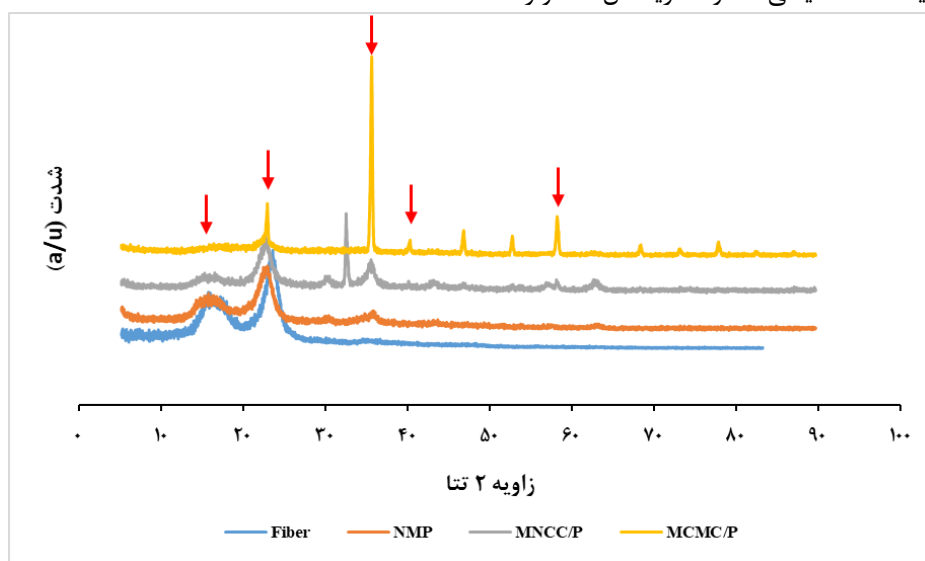
موجود در نمودار که نشان‌دهنده ذرات نانومگنتیت هستند شامل پیک‌های با زاویه حدود ۳۵، ۴۱، ۵۰، ۶۳، ۶۷ و ۷۴ درجه هستند. این پیک‌های اصلی نشان‌دهنده نانومگنتیت هستند [۲۲]. همچنین پیک مشاهده شده در زاویه دو تا برابر ۲۱، نشان‌دهنده ماده سلولزی در نانو کریستال سلولز و کربوکسی‌متیل سلولز است [۱۹].



شکل ۳ - پراش اشعه ایکس نمونه‌های نانومگنتیت (NM)، نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز (MNCC) و کربوکسی‌متیل سلولز (MCMC)

در (MNCC/P) و کربوکسی‌متیل سلولز (MCMC/P) در شکل ۴ نشان داده شده است.

نمودارهای پراش اشعه ایکس برای نمونه‌های کاغذ مغناطیسی با سنتز درجا (NMP)، کاغذ پوشش داده شده با نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز

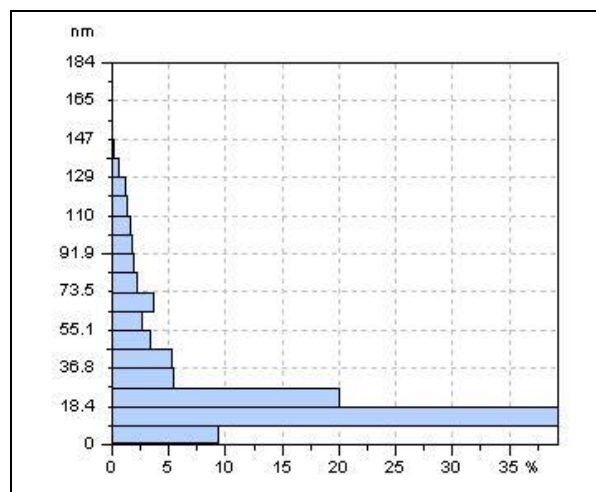
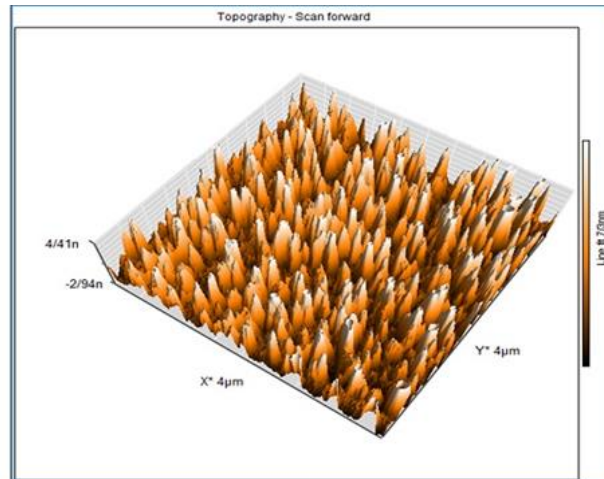


شکل ۴ - الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌های الیاف (Fiber)، کاغذ مغناطیسی با سنتز درجا (NMP)، کاغذ پوشش داده شده با نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز (MNCC/P) و کربوکسی‌متیل سلولز (MCMC/P)

### بررسی میکروسکوپی

برای تعیین اندازه نانومگنتیت تولیدشده از دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده شد. تصویر سه بعدی و نمودار توزیع اندازه نانوذرات تولیدشده در شکل ۵ آورده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که متوسط اندازه نانوذرات مگنتیت تولیدشده ۱۸/۵ نانومتر بوده است.

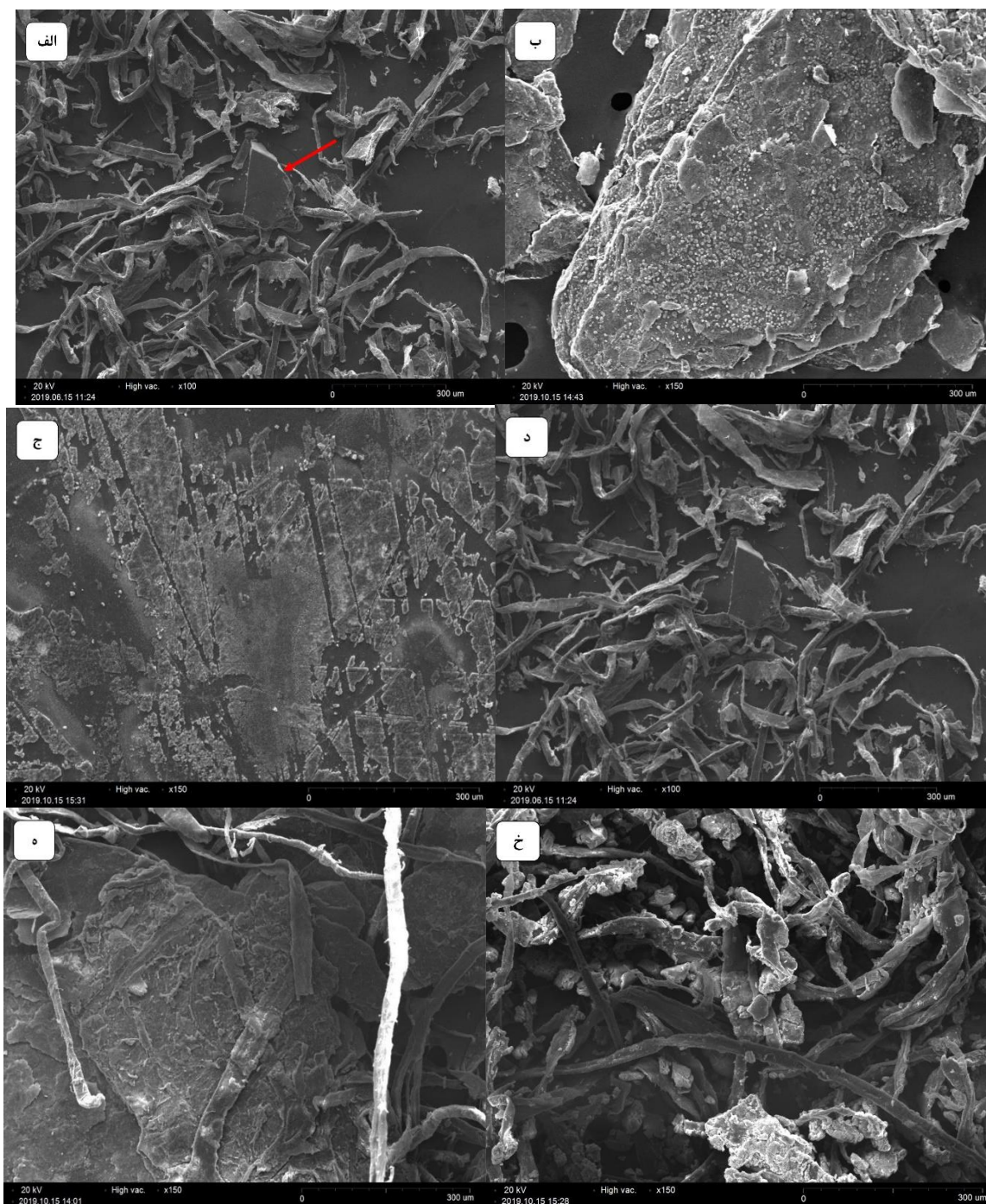
طیف پراش اشعه ایکس مربوط به کاغذ پوشش داده شده با کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز را نشان می‌دهد. الگوی پراش اشعه ایکس در نمونه کاغذ مغناطیسی، پیک‌ها در زوایای ۲ تنای حدود ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۶، ۳۵، ۴۱، ۵۰، ۶۳ و ۷۴ قابل مشاهده است که این پیک‌ها مربوط به نانومگنتیت و سلولز می‌باشند [۱۹ و ۲۱].



شکل ۵- تصویر سه بعدی میکروسکوپ نیروی اتمی و نمودار توزیع اندازه ذرات نمونه‌های نانومگنتیت

واندروالس و انرژی سطحی بالا تمایل به تجمع دارند [۲۳]. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی کاغذ پوشش داده شده با کامپوزیت‌های مغناطیسی نشان داد که کامپوزیت، علاوه بر سطح الیاف تا حدود زیادی در خلل و فرج کاغذ نفوذ کرده است و اتصال مکانیکی لایه پوشش و الیاف کاغذ قابل مشاهده می‌باشد.

مورفولوژی سطحی نمونه‌های تولیدشده به وسیله تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تعیین شد. شکل ۶ تصویر میکروسکوپی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. نانوذرات مگنتیت دارای ساختار یکنواخت مکعبی شکل هستند. شکل‌گیری این ساختار به دلیل تجمع ذرات باهم است. ذرات نانومگنتیت به دلیل جاذبه قوی بین ذرات، نیروی



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌های نانومگنتیت (الف)، نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز (ب)، کربوکسی‌متیل سلولز (ج)، کاغذ مغناطیسی با سنتز درجا (د)، کاغذ پوشش داده شده با نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز (ه) و کربوکسی‌متیل سلولز (خ)

### آزمون ضد باکتریایی

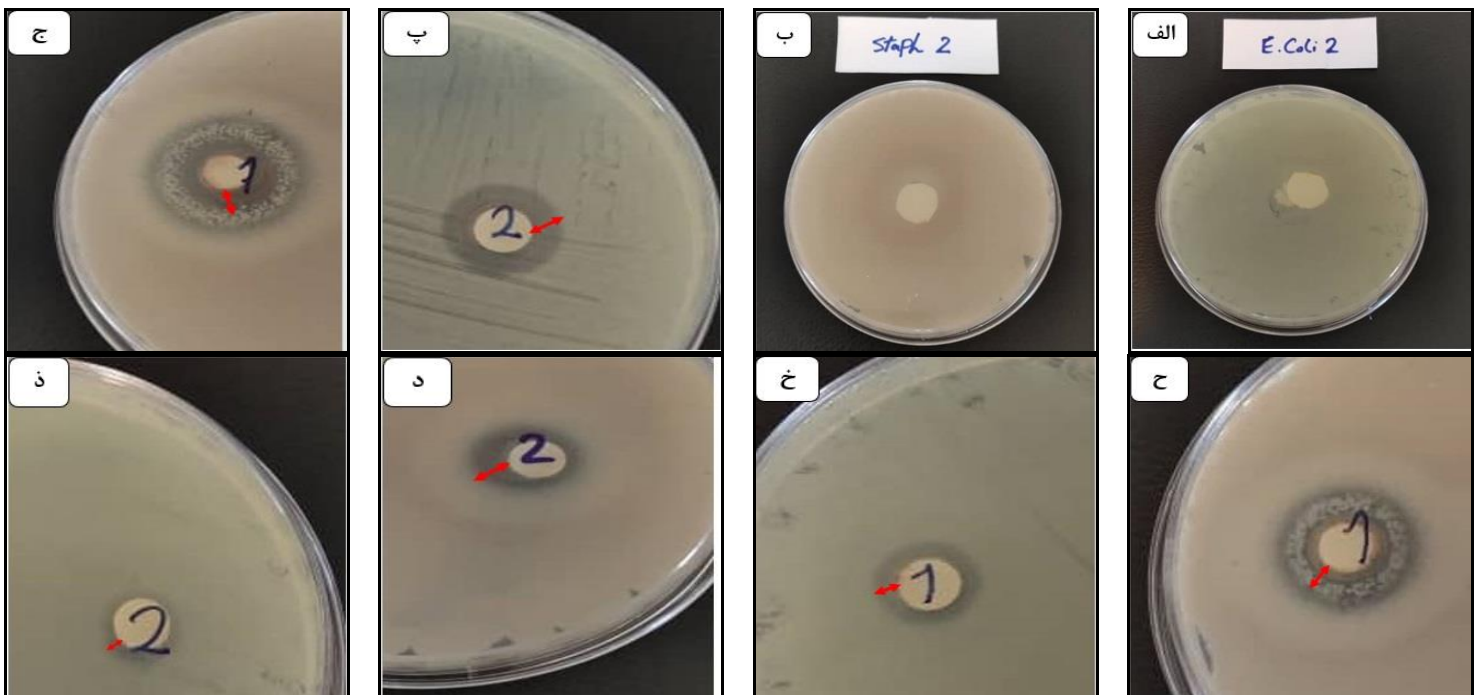
تصویر ۷ واکنش باکتری‌های اشرشیاکلاهی و استافیلوس کوکوس اورئوس کشت شده نسبت به نمونه کاغذ شاهد، نانومگنتیت سنتز شده و کامپوزیت‌های

مغناطیسی نانو کریستال سلولز و کربوکسی‌متیل سلولز را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که نانومگنتیت مانع رشد باکتری‌های گرم منفی اشرشیاکلاهی و گرم مثبت استافیلوس کوکوس اورئوس کشت شده گردیده است و



های فلزی رها شده از سطح نانوذرات مگنتیت به دلیل مکانیسم‌های فوق‌الشاره، مانع رشد باکتری‌های اشرشیاکلی و استافیلو گردیدند. قطر هاله عدم رشد اندازه‌گیری شده برای باکتری استافیلوکوکوس و اشرشیاکلی به ترتیب ۱۷ و ۱۳ میلی‌متر بود. اثر ضد باکتریایی نانوذرات مگنتیت علیه باکتری گرم مثبت در مقایسه با گرم منفی بیشتر بوده است. Mashjoor and Yousefzadi (۱۳۹۷) نیز نتیجه مشابهی مشاهده نمودند [۱۲].

هاله عدم رشد در اطراف نمونه‌ها تشکیل شده است. به‌طور کلی مکانیسم‌های مؤثر در غیرفعال میکروارگانیسم‌ها توسط نانوذرات مگنتیت آسیب به دیواره سلولی، اختلال عملکرد آنزیمی سلول‌ها و تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) است [۱۴]. همچنین اندازه بسیار ریز ذرات، آزاد شدن یون‌های آهن و ایجاد جاذبه الکترواستاتیک بین نانوذرات مگنتیت و میکروب بیماری‌زا از جمله دیگر مکانیسم‌ها می‌باشد [۱۲ و ۲۴]. در این تحقیق نیز یون-



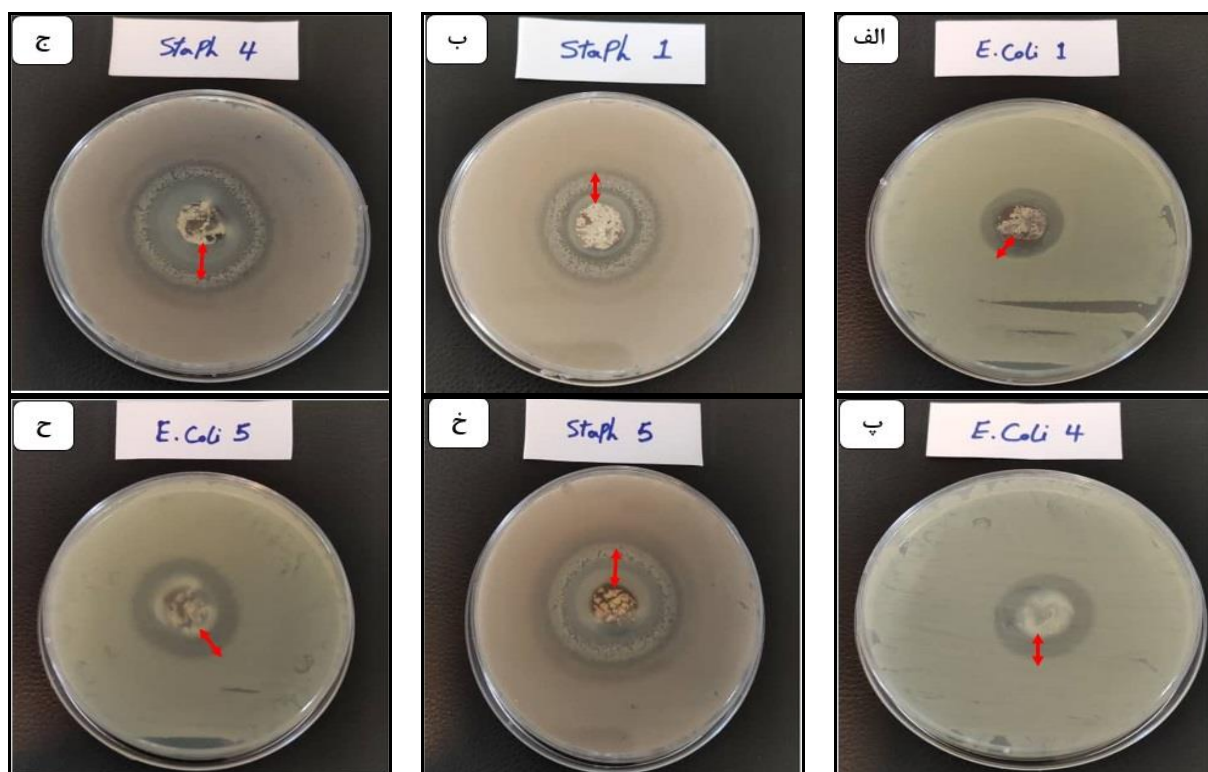
شکل ۷- تصاویر آزمون ضد باکتریایی نمونه‌های شاهد با باکتری اکلاهی (الف) و استافیلو (ب)، نانومگنتیت با اکلاهی (پ) و استافیلو (ج)، نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز با اکلاهی (خ) و استافیلو (ح)، کربوکسی‌متیل سلولز با اکلاهی (ذ) و استافیلو (د)

نانوذرات مگنتیت می‌تواند ناشی از یک برهم‌کنش الکترواستاتیک بین ذرات نانومگنتیت و باکتری باشد. در این برهم‌کنش یون‌های آهن با گروه‌های تیولی پروتئین-های غشایی باکتری واکنش داده و سبب اکسیداسیون غشا می‌شوند [۲۵]. این امر پتانسیل نانوذرات را برای ایجاد واکنش‌های استرس اکسیداتیو (واکنش‌هایی که سبب عدم تعادل بین فرآیند اکسیداسیون و احیا در ارگانیسم‌ها می‌شوند) و تولید گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش می‌دهد. در نهایت کل این فرآیند سبب برهم زدن عملکرد، تجزیه سلول و مرگ میکروارگانیسم می‌شود [۲۵] و همچنین نتایج آزمون ضد باکتریایی کامپوزیت

نتایج آزمون ضد باکتریایی نمونه کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز نسبت به دو باکتری اشرشیاکلاهی و استافیلوس کوکوس اورئوس نشان می‌دهد که نمونه تهیه‌شده مانع رشد باکتری‌های گرم منفی اشرشیاکلاهی و گرم مثبت استافیلوس کوکوس اورئوس کشت‌شده گردیده است و هاله عدم رشد در اطراف نمونه‌ها تشکیل شده است. قطر هاله عدم رشد اندازه‌گیری شده برای باکتری استافیلوکوکوس و اشرشیاکلی به ترتیب ۱۱ و ۱۰ میلی‌متر بود. اثر ضد باکتریایی نانوذرات مگنتیت علیه باکتری گرم مثبت در مقایسه با گرم منفی بیشتر بوده است. همان‌طور که اشاره شد، مکانیسم احتمالی ضد باکتریایی

کشت شده گردیده است و هاله عدم رشد در اطراف نمونه-ها تشکیل شده است. قطر هاله عدم رشد اندازه گیری شده برای باکتری استافیلوکوکوس و اشرشیاکلی برابر ۲۰ میلی متر بوده و نمونه‌ها اثر ضد باکتریایی یکسانی علیه باکتری گرم مثبت و گرم منفی نشان دادند. همچنین نتایج واکنش باکتری‌های اشرشیاکلاهی و استافیلوس کوکوس اورئوس کشت شده نسبت به نمونه کاغذ پوشش داده شده با کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز نشان می‌دهد که نمونه تهیه شده مانع رشد باکتری‌های گرم منفی اشرشیاکلاهی و گرم مثبت استافیلوس کوکوس اورئوس کشت شده گردیده است و هاله عدم رشد در اطراف نمونه‌ها تشکیل شده است. قطر هاله عدم رشد اندازه گیری شده برای باکتری استافیلوکوکوس و اشرشیاکلی به ترتیب ۲۳ و ۲۲ میلی متر بود. اثر ضد باکتریایی نانوذرات مگنتیت علیه باکتری گرم مثبت در مقایسه با گرم منفی بیشتر بوده است.

مغناطیسی کربوکسی متیل سلولز نشان می‌دهد که نمونه تهیه شده مانع رشد باکتری‌های گرم منفی اشرشیاکلاهی و گرم مثبت استافیلوس کوکوس اورئوس کشت شده گردیده است و هاله عدم رشد در اطراف نمونه‌ها تشکیل شده است. قطر هاله عدم رشد اندازه گیری شده برای باکتری استافیلوکوکوس و اشرشیاکلی به ترتیب ۱۴ و ۱۱ میلی-متر بود. اثر ضد باکتریایی نانوذرات مگنتیت علیه باکتری گرم مثبت در مقایسه با گرم منفی بیشتر بوده است. تصویر ۸ واکنش باکتری‌های اشرشیاکلاهی و استافیلوس کوکوس اورئوس کشت شده نسبت به نمونه کاغذ مغناطیسی با سنتز درجا و کاغذهای پوشش داده شده با کامپوزیت‌های مغناطیسی نانو کریستال سلولز و کربوکسی متیل سلولز را نشان می‌دهد. نتایج واکنش باکتری‌های اشرشیاکلاهی و استافیلوس کوکوس اورئوس کشت شده نسبت به نمونه کاغذ مغناطیسی نشان می‌دهد که نمونه تهیه شده مانع رشد باکتری‌های گرم منفی اشرشیاکلاهی و گرم مثبت استافیلوس کوکوس اورئوس



شکل ۸- تصاویر آزمون ضد باکتریایی نمونه‌های کاغذ مغناطیسی با باکتری اکلاهی (الف) و استافیلو (ب). کاغذ پوشش داده شده با نانو کامپوزیت مغناطیسی نانو کریستال سلولز با اکلاهی (پ) و استافیلو (ج)، کربوکسی متیل سلولز با اکلاهی (ح) و استافیلو (خ)

در فاز دوم الیاف مغناطیسی با روش سنتز درجای الیاف و نمک‌های آهن تولید و سپس کاغذ دست‌ساز تهیه شد. ویژگی‌های مغناطیسی کاغذهای ساخته‌شده به‌وسیله آزمون مغناطیس‌سنج ارتعاشی نمونه موردبررسی قرار گرفت. نتایج آزمون مغناطیسی نشان داد که نانو کامپوزیت‌ها و الیاف مغناطیسی با موفقیت آماده‌سازی شدند و تمامی نمونه‌ها خاصیت سوپر پارامغناطیس از خود نشان دادند. بالاترین مقدار اشباع مغناطیسی در نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی نانو کریستال سلولز مشاهده شد. نتایج آزمون آنتی‌باکتریال علیه دو باکتری اشرشیاکلای و استافیلوکوکوس اورئوس حاکی از واکنش مناسب نمونه‌های تهیه‌شده در برابر دو باکتری بوده است. عملکرد ضد باکتریایی نمونه‌ها نسبت به باکتری استافیلوکوکوس اورئوس بهتر بوده و هاله عدم رشد بزرگتری نسبت به باکتری اشرشیاکلای در اطراف نمونه‌ها مشاهده شد. قطر هاله عدم رشد باکتری‌ها در نمونه‌های کاغذ مغناطیسی بیشتر از نمونه‌های کامپوزیت مغناطیسی بوده و همچنین بزرگ‌ترین هاله عدم رشد، در نمونه‌های کاغذ مغناطیسی پوشش داده‌شده با نانو کریستال سلولز و کربوکسی‌متیل سلولز دیده شد.

نتایج واکنش باکتری‌های اشرشیاکلای و استافیلوس کوکوس اورئوس کشت‌شده نسبت به نمونه کاغذ پوشش داده‌شده با کامپوزیت مغناطیسی کربوکسی‌متیل سلولز نشان می‌دهد که نمونه تهیه‌شده مانع رشد باکتری‌های گرم منفی اشرشیاکلای و گرم مثبت استافیلوس کوکوس اورئوس کشت‌شده گردیده است و هاله عدم رشد در اطراف نمونه‌ها تشکیل شده است. قطر هاله عدم رشد اندازه‌گیری شده برای باکتری استافیلوکوکوس و اشرشیاکلای به ترتیب ۲۳ و ۲۲ میلی‌متر بود. اثر ضد باکتریایی نانوذرات مگنتیت علیه باکتری گرم مثبت در مقایسه با گرم منفی بیشتر بوده است.

### نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق، ایجاد و بررسی ویژگی مغناطیسی در کاغذ با چند روش متفاوت و سپس استفاده از کاغذهای تولیدشده جهت بررسی ویژگی ضد باکتریایی است. در ابتدا نانومگنتیت تولید شد. در مرحله بعد دو نانو کامپوزیت مغناطیسی با سنتز درجا نانو کریستال سلولز، کربوکسی‌متیل سلولز و نمک‌های آهن تولید شد و سپس نانو کامپوزیت‌های تهیه‌شده روی کاغذ پوشش دهی شدند.

### منابع

- [1] Nouri, M., Hashemi. s. T., Kooti, S. and Borjian, S., 2014. Investigation of bacterial contamination of banking ATM keyboards in Shahrekord. Journal of Ilam University of Medical Sciences, 22 (2): 112-117. (In Persian).
- [2] Parker, J.M., Berg, B.W., Bures, S., Fishbain, J.T. and Uyehara, A., 2000. Computer keyboards and faucet handles as reservoirs of nosocomial pathogens in the intensive care unit. Infect Control, 26:465-471.
- [3] Henderson, D. K., 2006. Managing methicillin-resistant Staphylococci: a paradigm for preventing nosocomial transmission of resistant organisms. Journal of Medicine, 119:45-52.
- [4] Reynolds, K.A., Watt, P.M., Boone, S.A. and Gerba, C. P., 2005. Occurrence of bacteria and bacterial markers on public surfaces. International Journal of Environment Health, 15:225-234.
- [5] Brady, R.R.W., Wasson, A., Stirling, I., Mc- Allister, C. and Damani, N.N., 2006. Is your phone bugged? The incidence of bacteria known to cause nosocomial infection on health-care workers mobile phones. Journal of Hospital Infect, 62:123-125.
- [6] Ainaei, S., Abdi, M., Akbari, P., Naseri, P., Hashemi Moghadam, F., Amiri, R. and Hosseini, H., 2018. Investigation of microbial contamination of wallets, banknotes, coins and bank cards of students of Kermanshah University of Medical Sciences. Scientific Journal of Environmental Sciences, 3(1):43-51. (In Persian).

- [7] Economic Investigation Department of the Central Bank of Iran. Summary of economic developments. 2011. P: 26 – 28. (In Persian).
- [8] Yazdani, A., Asadpour, Q., Rasooli, A. and Imani, R., 2017. Investigation of physical, optical and biological properties of antibacterial banknote paper containing nano-silver. *Journal of Wood and Forest Science and Technology Research*, 24(2):87-101. (In Persian).
- [9] Kaco, H., Waznah, Kh., Jaafar, N. and Gan, Y.S., 2017. Preparation and characterization of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> / Regenerated cellulose membrane. *Sains Malaysiana*, 46(4):623-628.
- [10] Hazavei, A., Hejazi, Z. and Azadian, M., 2008. Investigation of antimicrobial effect of medical textiles by nano silver. *Journal of Textile Science and Technology*, 4(1):92-87. (In Persian).
- [11] Ismailzadeh, H., Sangpour, P., Khaksar, R. and Shahraz, F., 2014. The effect of zinc oxide nanoparticles on the growth of *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli* H7: 0157 *Journal of Food Science and Nutrition*, 11(3):21-28. (In Persian).
- [12] Mashjoo, S. and Yousefzadi, M., 2018. Bioproduction of antimicrobial nano magnet nanoparticles using *Ulva Prolifera* marine green algae. *Iranian Journal of Medical Microbiology*, 12 (3):208-217. (In Persian).
- [13] Karlsson, H.L., Gustafsson, J., Cronholm, P. and Moller, L., 2009. Size-dependent toxicity of metal oxide particles-A comparison between nano and micrometer size. *Toxicol Letter*, 188(2):112-118.
- [14] Zarei, R., Mosaferi, M., Soroush Barhaghi, M.H., Khatai, A. and Asghari, M., 2018. Evaluation of *Escherichia coli* inactivation efficiency by zero capacity zero nanoparticles stabilized with carboxy methyl cellulose. *Journal of Health*, 5 (3): 214-223. (In Persian).
- [15] Haji Mirza Baba, H., Montazer, M. and Rahimi, M.K., 2011. Investigation of antimicrobial effect of nylon flooring containing nano silver. *Journal of Islamic Azad University*, 21(2):101-107. (In Persian).
- [16] Eslami, S., Ebrahimzadeh, M.A., Biparva, P. and Abedi Rad, M., 2016. Zero-valent iron nanoparticles: methods of synthesis, identification and applications in medicine and biology. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 26(142):285-310. (In Persian).
- [17] Colombo, U., Gazzarrini, F., Lanzavechinna, G. and Sironi, G., 1965. Magnetite oxidation: a proposed mechanism. *Science*, 147:1033-1033.
- [18] Xiong, Z., Zhao, D. and Pan, G., 2007. Rapid and complete destruction of perchlorate in water and ion-exchange brine using stabilized zero valent iron nanoparticles. *Water Research*, 41(15):3497-3505.
- [19] Cao, Sh.L., Xu, H., Li, X., Lou, W.Y. and Zong, M., 2015. Novel Papain - magnetic nanocrystalline cellulose nano – biocatalyst: a highly efficient biocatalyst for dipeptide biosynthesis in deep eutectic solvents. *Aspect Sustainable chemistry engineering*, 3(7):1589–1599.
- [20] Biliuta, G. and Coseri, S., 2016. Magnetic cellulosic materials based on TEMPO- oxidized viscose fibers. *Cellulose*, 23(6):3407-3415.
- [21] Maskkor, M., Tajvidi, M., Kimura, T., Kimura, F. and Ebrahmi, Gh., 2011. Fabricating unidirectional magnetic papers using permanent magnets to align magnetic nanoparticles covered natural cellulose fibers. *Bioresources*, 6 (4):4731-4738.
- [22] Long, Z., Li, H.F., Yang, X. and Liang, H.N., 2009. Study on preparation and characterization of magnetic paper with bleached chemical pulp. 2nd international congress on image and signal processing, 987: 1-4131.

- [23] Attarad, A., Zafar, H., Zia, M., Ul Haq, I., Phull, A.R., Sarfraz Ali, J. and Altaf, H., 2016. Synthesis, characterization, applications, and challenges of iron oxide nanoparticles. *Nanotechnology, Science and Applications*, 9:49–67.
- [24] Prabhu, Y.T., Rao, K.V., Kumari, B.S., Sai Kumar, V.S. and Pavani, T., 2015. Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles and its antibacterial application. *International Nano Letter*, 5(2):85-92.
- [25] Lee, C., Kim, J.Y., Lee, W.I., Nelson, K.L., Yoon, J. and Sedlak, D.L., 2008. Bactericidal effect of zero-valent iron nanoparticles on *Escherichia coli*. *Environmental Science Technology*, 42(13): 4927-7933.
- [26] Mahdy, S.A., Raheed, Q.J. and Kalaichelvan, P.T., 2012. Antimicrobial activity of zero-valent iron nanoparticles. *International journal of Modern Engineering Research*, 2(1):578-81.

## Evaluation of antibacterial performance of iron oxide nanoparticles stabilized by biodegradable lignocellulosic materials

### Abstract

Today, the use of credit cards has increased dramatically due to the advance in technology. The use of credit cards with public devices causes the transmission of pathogens. In this study, antibacterial papers were produced by biodegradable materials of lignocellulose such as nanocrystalline cellulose and carboxymethyl cellulose with iron oxide nanoparticles. Magnetic papers were produced with antibacterial properties and their performance was investigated on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The results of the magnetic test demonstrated that superparamagnetic properties in all samples. Nano magnetite with 25 (emu/g) showed the highest magnetic saturation as well as magnetic nanocrystalline cellulose with 15 (emu/g). The antibacterial action of the papers on the gram-negative bacteria *Escherichia coli* and gram-positive *Staphylococcus aureus* was appropriate and had prevented effect on bacteria. Moreover, the coated papers with magnetic nanocrystalline cellulose and carboxymethyl cellulose nanocomposites showed the highest bacterial inhibition area.

**Keywords:** Magnetic paper, Magnetic nanocomposite, Nanocrystalline cellulose, Carboxymethyl cellulose, Antibacterial.

**N. Nazarnezhad<sup>1\*</sup>**  
**Sh. Rezanezhad<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Associate professor, Department of Wood and LignoCellulosic products, Faculty of natural resources, Sari agricultural sciences and natural resources university

<sup>2</sup> Ph.D. in Pulp and Paper industry engineering, Faculty of natural resources, Sari agricultural sciences and natural resources university

Corresponding author:  
[nazarnezhad91@gmail.com](mailto:nazarnezhad91@gmail.com)

Received: 2021/07/10  
Accepted: 2021/09/08