JARC

تهیه نانوآمیزه نایلون ۶،۶- نقره و بررسی ریخت و ویژگی‌های ضد باکتریایی آن

ندا ایاره[۱] و مریم فربودی[۲و*]

۱- کارشناس ارشد گروه شیمی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۲- استادیار گروه شیمی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

دریافت: بهمن ۱۳۹۵، بازنگری: دی ۱۳۹۶، پذیرش: دی ۱۳۹۶

چکیده: در این کار پژوهشی، نانوذرات نقره روی الیاف نایلون ۶،۶ با روش‌های متفاوت از جمله کاهش شیمیایی نقره نیترات، روش فراصوت و استفاده از محلول کلوئیدی نانونقره نشانده شد. همچنین، آمیزه غیر لیفی نایلون ۶،۶-نانوذرات نقره از طریق انحلال الیاف نایلون در فرمیک اسید در حضور نانوذرات نقره و استخراج آن با ضدحلال استون تهیه شد. ویژگی‌های ضد باکتریایی، تجزیه عنصری و ریخت‌شناسی نمونه‌های تهیه‌شده و نیز ثبات شستشویی آن‌ها موردبررسی قرار گرفت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و تجزیه عنصری با روش طیف‌سنجی تفکیک انرژی (EDS) وجود نانوذرات نقره روی الیاف نایلون ۶،۶ پیش و پس از شستشوی نمونه‌ها را تأیید کرد. اثر ضد باکتریایی نمونه‌ها پیش و پس از شستشو علیه باکتری‌های گرم مثبت بیماری‌زای استافیلوکوکوس ائوروس و گرم منفی بیماری‌زای اشرشیا کولی با استفاده از رزازورین و تغییر رنگ محیط انجام گرفت. نتایج به‌دست آمده از ریخت‌شناسی و تجزیه عنصری، بیانگر درصد وزنی بالایی از نشست نقره به‌صورت یکنواخت و پایدار بر سطح الیاف است. همچنین، مطابق نتایج به‌دست آمده، نمونه تهیه‌شده به روش فراصوت از بیشترین اثر ضد باکتریایی پیش و پس از شستشو برخوردار است. ضعیف‌ترین خاصیت ضد باکتریایی مربوط به نانوآمیزه غیرلیفی بود و سایر نمونه‌ها از ویژگی‌های بینابینی برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: نایلون ۶، ۶ نانوذرات نقره، ضدباکتری، فراصوت، EDS، SEM.

مقدمه

در سال‌های اخیر، نانوفناوری توانسته است تحولات عمیقی در زمینه پژوهش و تولید فراورده‌ها ایجاد کند. یکی از فراورده‌های نانوفناوری، نانوذرات نقره است. سنتز شیمیایی نانوذرات نقره موردتوجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. این نانوذرات به‌دلیل داشتن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بی‌همتایی مانند رسانایی بالا، پایداری شیمیایی، فعالیت کاتالیستی و ضد باکتریایی، کاربردهای فراوانی در زمینه‌های الکترونیکی، نوری، مغناطیسی، بهداشتی و کاتالیستی دارند [۱].

نانوذرات نقره بر رشد انواع متفاوت باکتری‌ها از جمله اشرشیاکولی، ویبرنوکلرا، سودوموناس، آئروزنز، سیفیلس و تیفوئید تأثیر دارند و در غلظت بالاتر از $75\ mg.l^{-1}$ نانوذرات نقره، رشد باکتری مشاهده نمی‌شود. این کارکرد به‌طور عمده به این علت است که واکنش نقره با ترکیبات حاوی فسفر و سولفور در ساختار

*عهده‌دار مکاتبات: m.farbodi@iaut.ac.ir

DNA از تکثیر و همانندسازی آن جلوگیری و دیواره سلولی ریزجاندار را تخریب می‌کند و موجب از بین رفتن آن می‌شود [۲]. روش‌های متعددی برای سنتز نانوذرات نقره وجود دارد که از آن جمله می‌توان روش‌های کاهش شیمیایی با و یا بدون عامل پایدارکننده [۳]، کاهش الکتروشیمیایی [۴]، روش تابش ریزموج [۵] و روش سونوشیمیایی [۶] را نام برد.

ضدباکتری کردن منسوجات نساجی از جمله الیاف نایلون ۶،۶ با به‌کارگیری نانوذرات نقره به روش‌های متفاوت امکان‌پذیر است. برای مثال، در یک کار پژوهشی از روش اختلاط مذاب برای تهیه نانوآمیزه نایلون ۶ –نقره استفاده شده است. در این روش چیپس نایلون ۶ با پودر استات نقره مخلوط و اختلاط مذاب در دمای ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از یک اکسترودر انجام شد. نمک نقره در حین عملیات اختلاط مذاب، به نقره فلزی تبدیل می‌شود. به همین دلیل رنگ رشته خروجی از اکسترودر قهوه‌ای است [۷ و ۸].

در کار پژوهشی دیگر، از طریق غوطه‌ورسازی الیاف نایلون ۶ در محلول نقره نیترات به مدت ۲۴ ساعت، یون‌های نقره در شبکه بسپار به دام انداخته شد. در مرحله پس با استفاده از کاهنده سدیم بوروهیدرید، یون‌های نقره کاهش و الیاف به رنگ قهوه‌ای تیره به‌دست آمد. قابلیت استفاده از این فراورده به‌عنوان نوار زخم‌بند ضدعفونی موردبررسی قرار گرفت [۹].

در روش فراصوت، امواج فراصوت را از محلول آبی نقره نیترات عبور می‌دهند که منجر به تولید نانوذراتی با ابعاد ۲۰ نانومتر می‌شود [۱۰]. طبق پژوهش‌های انجام‌شده با استفاده از این روش، الیاف نایلون ۶،۶ که نانوذرات نقره بر آن نشانده شده است، ثبات شستشویی مناسبی دارد که به‌دلیل ایجاد کمپلکس بین نقره و گروه آمیدی نایلون است. مزیت این روش تولید یک مرحله‌ای، ساده و کارآمد است و سطح یکنواختی از نانوذرات نقره بر سطوح الیاف نایلون ایجاد می‌کند که در این حالت نانوذرات با عامل انتهایی گروه پیوند می‌دهند [۱۱].

در کار پژوهشی حاضر، با هدف ضدباکتری کردن نایلون ۶،۶ به‌منظور گسترش دامنه کاربرد آن، نانوآمیزه الیاف نایلون ۶،۶ –نانوذرات نقره به سه روش متفاوت کاهش شیمیایی، سونوشیمیایی، کلوئیدی و نانوآمیزه غیر لیفی نایلون ۶،۶ –نانوذرات نقره به روش محلول تهیه و ویژگی‌های ضد باکتریایی، ریخت و ثبات شستشویی آن‌ها بررسی و مورد مقایسه قرار گرفته است.

بخش تجربی

مواد شیمیایی

نقره نیترات ۹۹٫۹٪، سدیم بورهیدرید ۹۸٪، آمونیاک ۲۵٪، استون ۹۹٪، فرمیک اسید، نانوذرات نقره ۹۹٫۹٪ همه موارد فوق در گرید آزمایشگاهی بوده و از شرکت مرک (Merck) تهیه‌شده‌اند. الیاف نایلون ۶،۶ از شرکت نخ صبا تهران تهیه شد.

دستگاه‌ها و تجهیزات

برای ریخت‌شناسی سطح نانوآمیزه، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM[1]) مدل MIRA3 FEG-SEM ساخت کمپانی Tescan کشور چک مورداستفاده قرار گرفت. این دستگاه مجهز به آشکارا EDS[2] بود که برای تعیین نوع عناصر و مقدار درصد عناصر مورداستفاده قرار گرفت.

روش‌های نشاندن نانوذرات نقره بر الیاف نایلون ۶،۶

روش شیمیایی

۰٫۱ گرم الیاف نایلون ۶،۶ در اندازه‌های ۵ سانتی‌متری بریده و درون یک ارلن حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۴ میلی‌لیتر آمونیاک، ریخته شد. سپس ۰٫۰۱ گرم نقره نیترات به آن افزوده شد. محلول با استفاده از همزن مغناطیسی هم‌زده شد. پس از ۱۰ دقیقه نیتروژن‌دهی، تحت گاز بی‌اثر، ۰٫۱ گرم سدیم بورهیدرید به‌صورت تدریجی افزوده شد. سپس الیاف نقره‌ای‌رنگ از محلول خارج و در داخل خشکانه[3] خشک و نگهداری شد (نمونه شماره ۱).

روش فراصوت

۰٫۱ گرم الیاف نایلون ۶،۶ در اندازه‌های ۵ سانتی‌متری بریده

1. Scanning electron microscope 2. Energy – dispersive spectroscopy 3. Desiccator

و درون یک ارلن حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۴ میلی‌لیتر آمونیاک، ریخته شد. سپس ۰٫۰۱ گرم نقره نیترات به آن افزوده شد. ارلن را روی همزن مغناطیسی قرار داده و مخلوط به مدت ده دقیقه هم‌زده شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه تحت انرژی فراصوت در حمام فراصوت (مدل Lbs2 ساخت شرکت FALC، قرار گرفت. الیاف نقره‌ای‌رنگ از محلول خارج و در داخل خشکانه خشک و نگهداری شد (نمونه شماره ۳).

استفاده از محلول کلوئیدی

۰٫۱ گرم الیاف نایلون ۶،۶ در اندازه‌های ۵ سانتی‌متری بریده و درون یک ارلن حاوی محلول کلوئیدی نقره به غلظت ppm ۱۰۰۰ افزوده شد. مخلوط به‌دست آمده به مدت ۶۰ دقیقه با استفاده از همزن مغناطیسی هم‌زده شد و پس از خارج کردن الیاف از محلول، در داخل خشکانه خشک و نگهداری شد (نمونه شماره ۵).

روش تهیه نانوآمیزه غیرلیفی نایلون ۶،۶- نقره

۱ گرم الیاف نایلون ۶،۶ در داخل لوله‌آزمایشی که حاوی ۱۰ میلی‌لیتر اسید فرمیک بود، حل شد. ۰٫۰۵۰ گرم (۵٪ وزنی) پودر نانونقره به محلول افزوده شد. سپس به‌منظور پخش نانوذرات نقره، این مخلوط ۱۰ دقیقه در حمام فراصوت قرار گرفت و سپس به یک ارلن حاوی ۲۰ میلی‌لیتر استون، به‌عنوان ضدحلال، افزوده شد. نانوآمیزه به‌دست آمده با استفاده از کاغذ صافی جدا و خشک شد (نمونه شماره ۷).

بررسی ثبات شستشویی نمونه‌ها

هر یک از نمونه‌های تهیه‌شده به مدت ۶۰ دقیقه در داخل آب مقطر با استفاده از همزن مغناطیسی هم‌زده شد تا ثبات شستشویی نانوآمیزه‌ها موردبررسی قرار گیرد.

تمام نمونه‌های تهیه‌شده به همراه کدهای مربوط در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱ نمونه‌های سنتز شده

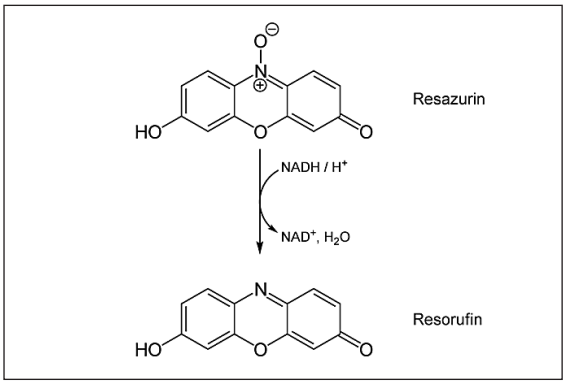
شماره نمونه	نمونه‌های سنتز شده
۱	نمونه تهیه‌شده با روش کاهش شیمیایی
۲	نمونه ۱ پس از شستشو
۳	نمونه تهیه‌شده با روش فراصوت
۴	نمونه ۳ پس از شستشو
۵	نمونه تهیه‌شده با استفاده از محلول کلوئیدی
۶	نمونه ۵ پس از شستشو
۷	نانوآمیزه تهیه‌شده
۸	نمونه ۷ پس از شستشو

آزمون ضد باکتریایی

بررسی تأثیرات ضدمیکروبی نمونه‌های سنتزی بر علیه باکتری‌های گرم مثبت بیماری‌زا استافیلوکوکوس ائوروس[1] و نیز گرم منفی بیماری‌زا اشرشیا کولی[2] با استفاده از روش رزازورین[3] و تغییر رنگ محیط کشت در حضور نمونه‌های سنتزی انجام گرفت. ابتدا از هر دو نمونه باکتری گرم مثبت و باکتری گرم منفی تعلیقه کشت شبانه‌روز در محیط کشت نوترینت آبگوشت تهیه شد. پس از تهیه رقت تعلیقه میکروبی S.areus ATCC25923 و E.coli PTCC1338 مطابق نیم مک فارلند (غلظت 10^8cfu/ml) تهیه شد.

برای انجام آزمون ضدمیکروبی، ابتدا مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت نوترینت آبگوشت با مقدار یک حبه از ماده رزازورین (camlab chemicals, CB4WE) مخلوط و در چاهک‌های کشت ۲ میلی‌لیتری پخش شد. هرکدام از نمونه‌ها به مقدار یکسان به چاهک‌ها افزوده شد. سپس در هر چاهک نیم مک فارلند باکتری افزوده شد. مطابق آنچه که در شکل ۱ نشان داده شده است، در صورت رشد باکتری، ماده رزازورین رنگ آبی خود را در اثر فعالیت آنزیم کاهنده باکتری و تبدیل‌شدن به ماده رزوروفین[4]، از دست خواهند داد. اگر رنگ آبی حفظ شود به‌منزله حفظ ویژگی ضد باکتریایی است. به‌بیان‌دیگر، باکتری رشد نکرده است.

1. Staphylococous aureus (S.aureus) 2. Escherichia coli (E.coli) 3. Resazurin 4. Resorufin



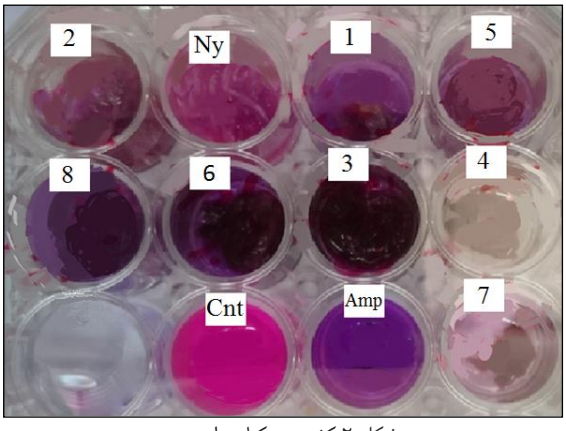
شکل ۱ تبدیل ماده رزازورین با باکتری‌ها به ماده رزوروفین

نتیجه‌ها و بحث

نتایج آزمون ضد باکتریایی

سویه‌ی استاندارد باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس ائوروس و باکتری اشرشیا کولی به‌عنوان شاخص ریزجاندارهای گرم منفی مورداستفاده قرار گرفت. شکل ۲ کشت در کنار رزازورین را نشان می‌دهد. در جدول ۱ شماره نمونه‌های تهیه‌شده آورده شده است.

مطابق این شکل، نمونه Amp (آمپی‌سیلین) به‌عنوان کنترل مثبت با کشتن باکتری‌ها مانع تغییر رنگ رزازورین شده است. نمونه Cnt (کنترل منفی) بوده که هیچ ماده ضد باکتریایی وجود ندارد و باکتری‌ها با رشد خود باعث تغییر رنگ رزازورین شده‌اند. نمونه Ny نایلون خالص بوده که مشابه نمونه کنترل منفی تغییر رنگ داده و هیچ اثر ضد باکتریایی در آن دیده نمی‌شود.



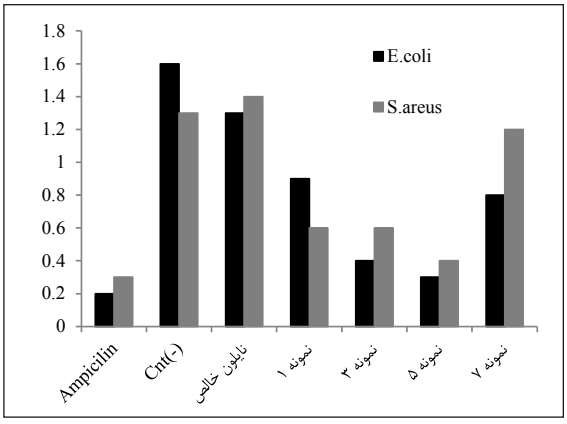
شکل ۲ کشت در کنار رزازورین

پس از ۲۴ ساعت رشدیاری کردن باکتری با نمونه‌های تهیه‌شده در کنار ماده رزازورین، در برخی نمونه‌های تهیه‌شده تغییر رنگ اتفاق افتاده است. مشاهدات حاکی از آن است که فیلم نانوآمیزه تهیه‌شده (نمونه ۷) دارای کمترین اثر ضد باکتریایی است. بقیه نمونه‌ها از ویژگی‌های ضد باکتریایی خوبی برخوردار هستند. اما بیشترین اثر ضد باکتریایی مربوط به نمونه تهیه‌شده در محلول کلوئیدی (نمونه ۵) است.

پس از رشدیاری کردن در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت، از طریق طیف‌سنجی چگالی اپتیکی[1] نمونه‌ها بررسی و نمودار مربوط رسم شد. بر اساس نمودار شکل ۳، تمام نمونه‌های تهیه‌شده به روش‌های متفاوت، در مقایسه با نمونه‌های کنترل، دارای اثرات ضد باکتریایی هستند در بیشتر نمونه‌ها نیز اثرات ضد باکتریایی بر باکتری اشرشیا کولی به‌طور قابل‌توجهی بیش از استافیلوکوکوس ائوروس بوده است. به‌عبارت‌دیگر باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس ائوروس مقاومت بیشتری را نسبت به باکتری گرم منفی اشرشیا کولی نشان داده است. این موضوع می‌تواند به‌دلیل تفاوت در دیواره سلولی باکتری گرم مثبت و گرم منفی باشد. باکتری استافیلوکوکوس ائوروس دارای دیواره ضخیم‌تری از پلی‌پپتیدوگلایکان نسبت به باکتری اشرشیا کولی است که سبب پایداری بیشتر آن شده است. از طرف دیگر مقایسه‌ها نشان می‌دهد، الیافی که نشاندن نقره در سطح آن‌ها با استفاده از محلول کلوئیدی انجام‌شده بود (نمونه ۵)، و همچنین الیافی که به روش فراصوت نانوذرات نقره در سطح آن‌ها نشانده شده است (نمونه ۳)، دارای بالاترین اثر ضد باکتریایی است. با توجه به نتایج تجزیه عنصری به‌دست آمده دلیل این ویژگی را می‌توان به بالا بودن درصد وزنی نقره در سطح الیاف نسبت داد. همچنین با توجه به نتایج به‌دست آمده، فیلم نانوآمیزه تهیه‌شده (نمونه ۷) دارای کمترین اثر ضد باکتریایی است. با توجه به این‌که در فرایند تهیه این نمونه حالت الیاف بودن نمونه از بین می‌رود و مساحت سطح نمونه به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد و نیز، به علت به دام افتادن نانوذرات نقره در داخل توده نمونه و عدم

1. Optical density

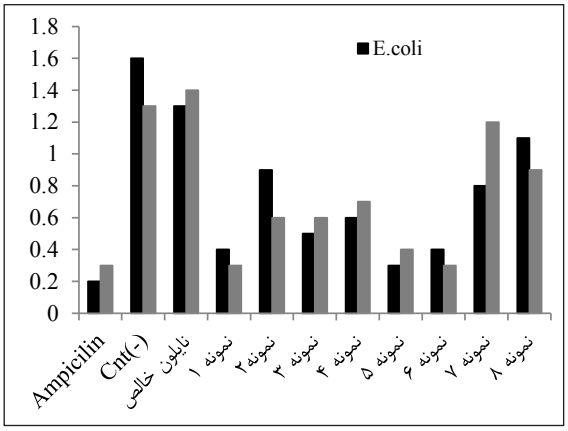
امکان بهره‌برداری از ویژگی ضد باکتریایی نانوذرات، ضعیف بودن خاصیت ضد باکتریایی این نانوآمیزه نسبت به سایر نمونه‌ها قابل پیش‌بینی بود.



شکل ۳ نمودار نتایج آزمون ضد باکتریایی با روش طیف‌سنجی

بررسی ثبات شستشویی نمونه‌های سنتز شده

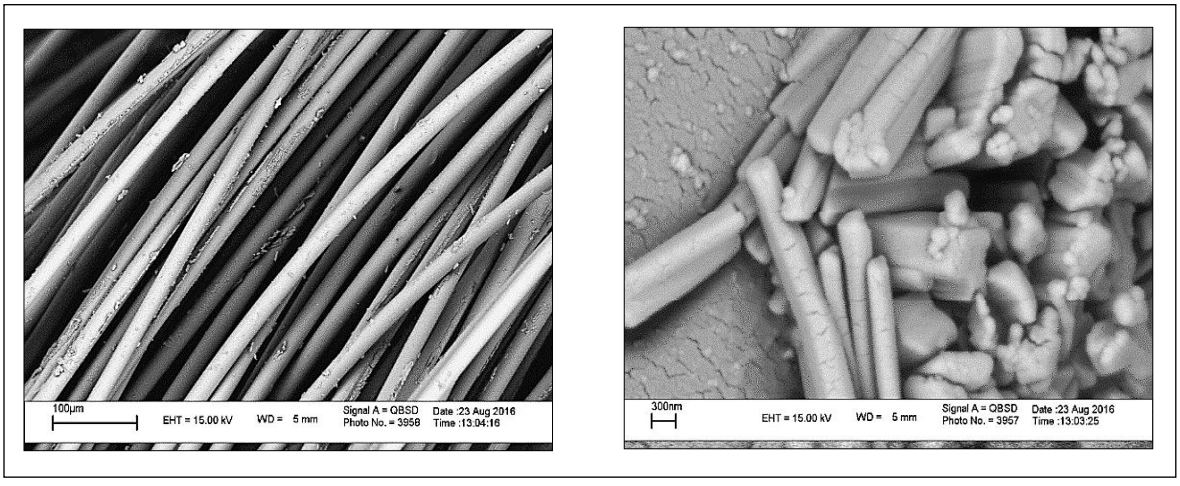
با توجه به شکل ۴ ویژگی ضد باکتریایی نمونه‌های تهیه‌شده پس از شستشو کم‌وبیش کاهش نشان می‌دهد که به علت کاهش درصد وزنی نقره در اثر فرایند شستشو است. بیشترین کاهش ویژگی ضد باکتریایی مربوط به نمونه ۲ است. بیشترین کاهش درصد وزنی نقره در اثر شستشو در این نمونه و در نمونه ۶ (۳۳٪) رخ داده است. از طرف دیگر کمترین کاهش ویژگی ضد باکتریایی مربوط به نمونه ۳ است که با روش فراصوت تهیه‌شده است. نانوذرات نقره ایجادشده در این روش، به‌صورت فیزیکی جذب سطح الیاف نایلون شده‌اند. در این روش امواج فراصوت باعث می‌شود که ذرات نقره با سرعت‌بالا به سطح الیاف انتقال‌یافته و در حین برخورد باعث ذوب جزئی الیاف شوند. در نتیجه نانوذرات به‌صورت محکم به الیاف چسبیده و از پایداری و ثبات شستشویی بالایی برخوردار شوند [۱۲]. کمترین کاهش درصد وزنی نقره (۷٫۵٪) در اثر شستشو در نمونه تهیه‌شده با روش فراصوت رخ داده است.



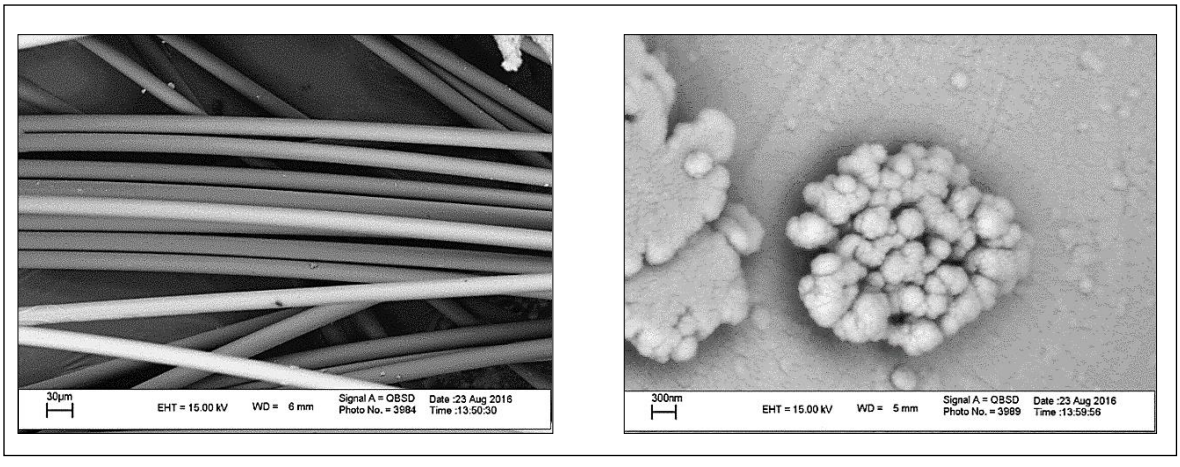
شکل ۴ نمودار بررسی ثبات شستشویی نمونه‌های سنتز شده

بررسی تصویرهای SEM

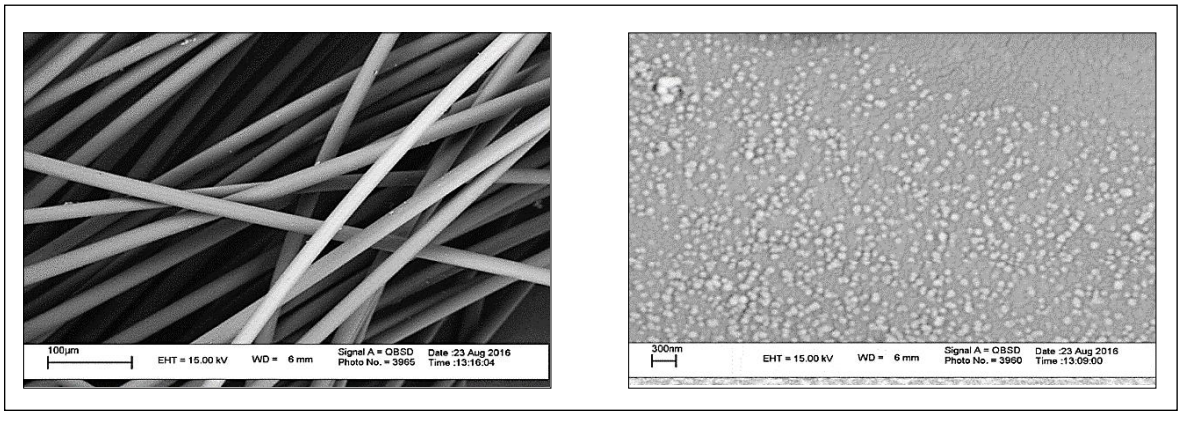
در شکل‌های ۳ تا ۱۰ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های تهیه‌شده با بزرگ‌نمایی‌های متفاوت نشان داده شده است. مطابق نتایج به‌دست آمده، در تمامی نمونه‌های الیافی، حضور نقره بر الیاف نایلون قابل‌مشاهده است. یکنواخت‌ترین توزیع ذرات نقره بر نمونه ۳ دیده می‌شود که پس از شستشو نیز به‌تقریب همان حالت حفظ‌شده است. این نمونه با استفاده از روش فراصوت تهیه‌شده است که این روش حضور آمونیاک در محیط، باعث تشکیل کمپلکس $[Ag(NO_3)_2]^+$ می‌شود که چون دارای ثابت تعادل بالایی است، Ag^+ محدودی در حالت تعادل با کمپلکس مذکور، وجود خواهد داشت. در نتیجه، دانه‌های زیادی تشکیل‌شده و نانوذرات ایجاد خواهند شد [۱۲]. درحالی‌که در سایر نمونه‌ها، نقره به‌صورت کلوخه‌ای بر روی الیاف قرار گرفته و توزیع یکنواختی نیز به چشم نمی‌خورد. بنابراین، این نمونه‌ها بر اساس نتایج به‌دست آمده از ثبات شستشویی و ویژگی ضد باکتریایی ضعیف‌تری نسبت به نمونه ۳ برخوردارند. نمونه ۷ فاقد حالت لیفی است و نانوذرات نقره در سطح این نانوآمیزه چندان قابل‌تشخیص از بستر نایلونی نیست (شکل‌های ۹، ۱۰). هرچند که نتایج تجزیه عنصری وجود نانوذرات نقره را در این نانوآمیزه به اثبات رسانیده است (جدول ۲). به‌دلیل عدم حضور نانوذرات در سطح نمونه، این نانوآمیزه مطابق نتایج به‌دست آمده فاقد ویژگی ضد باکتریایی مناسب است.



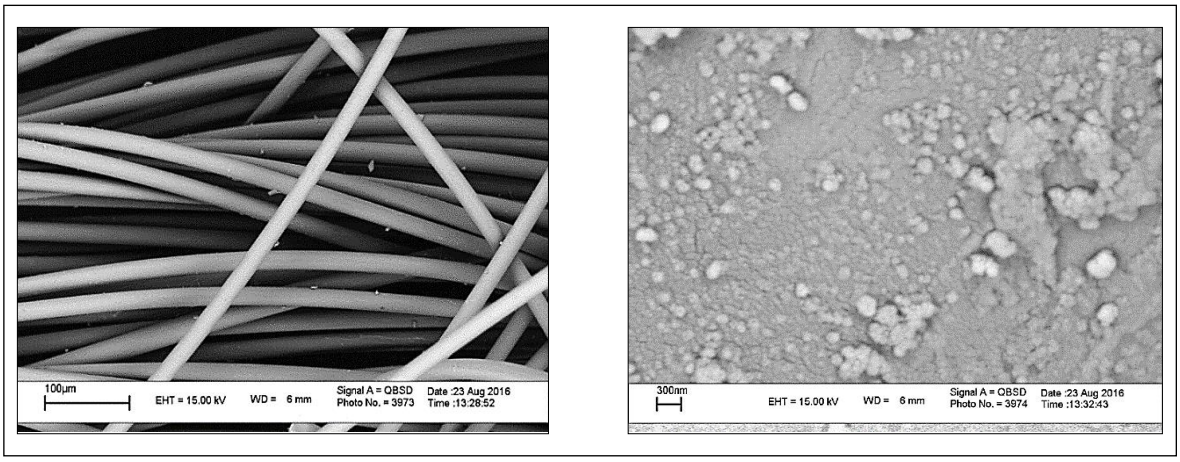
شکل ۳ تصاویر SEM نمونه ۱



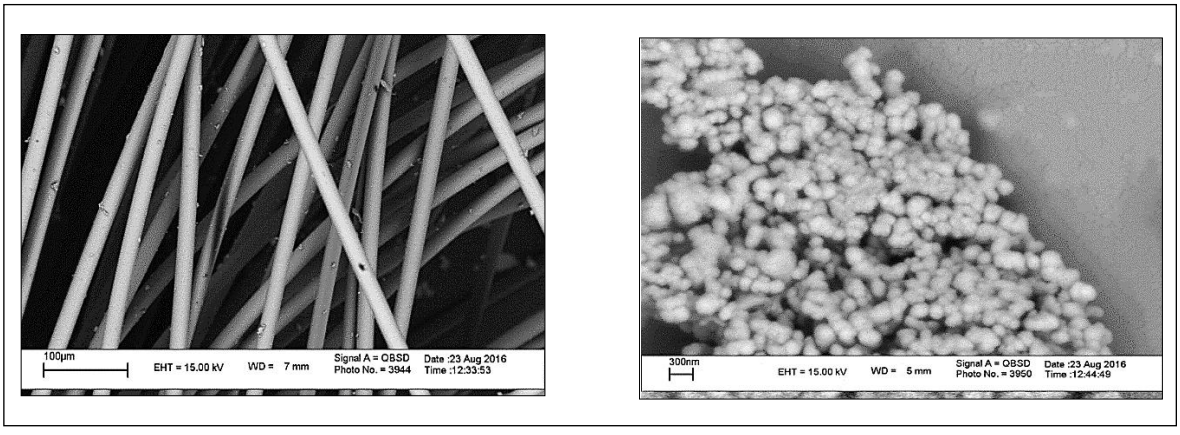
شکل ۴ تصاویر SEM نمونه ۲



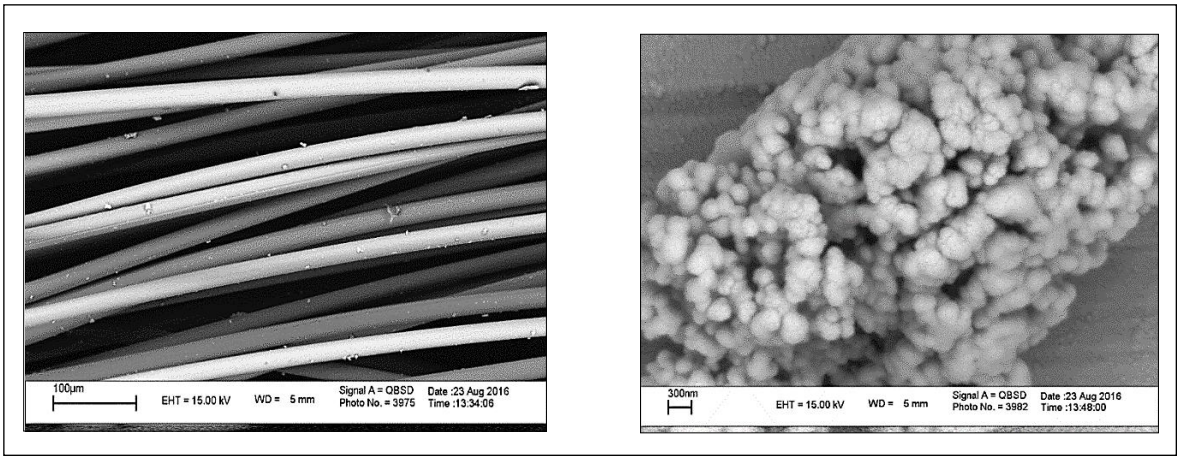
شکل ۵ تصاویر SEM نمونه ۳



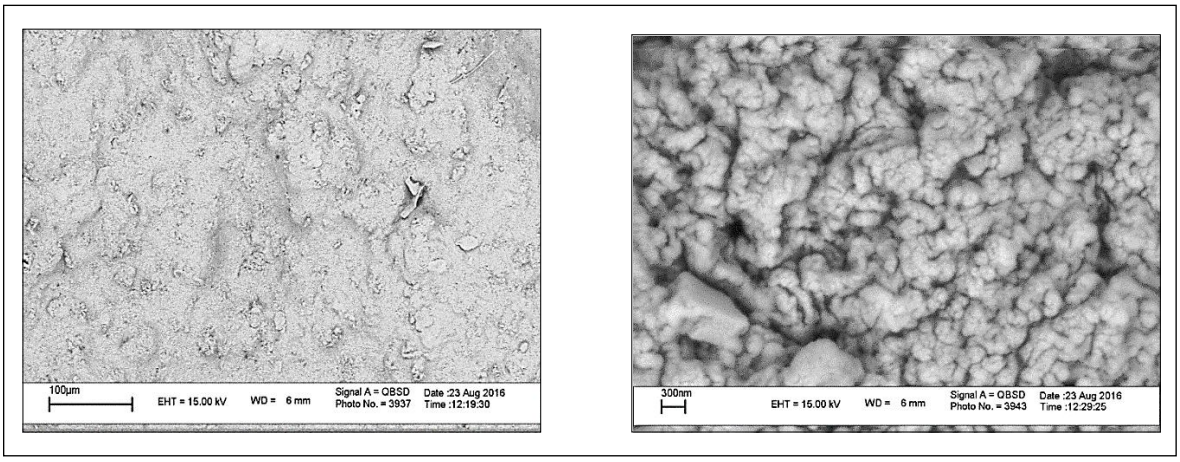
شکل ۶ تصاویر SEM نمونه ۴



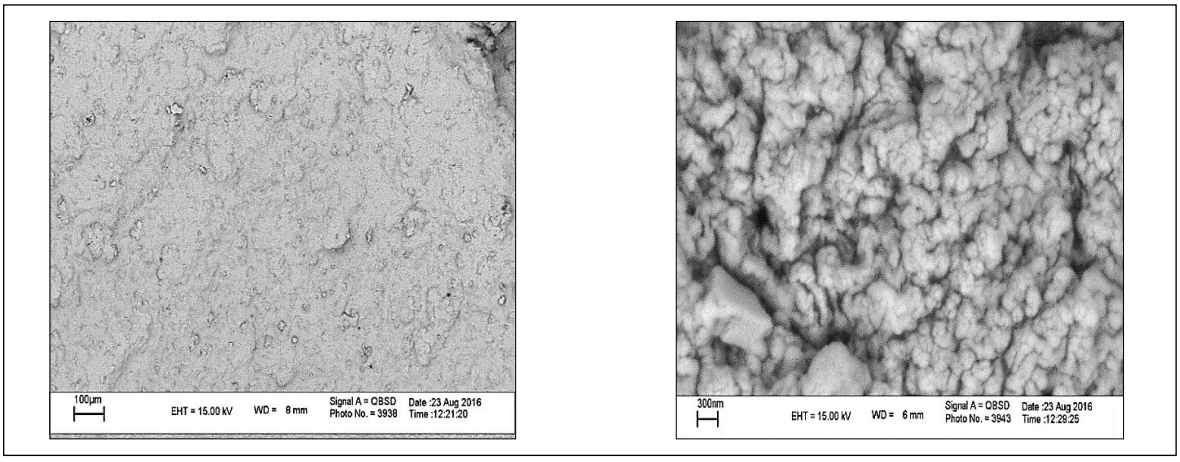
شکل ۷ تصاویر SEM نمونه ۵



شکل ۸ تصاویر SEM نمونه ۶



شکل ۹ تصاویر SEM نمونه ۷



شکل ۱۰ تصاویر SEM نمونه ۸

نتایج تجزیه عنصری نمونه‌ها

در جدول ۲ عناصر موجود (کربن، اکسیژن، نیتروژن، نقره و ...) و نیز درصد وزنی این عناصر در نمونه‌های سنتز شده که با روش EDS به‌دست آمده‌اند، آورده شده‌اند. این نتایج نشان می‌دهند که تمام نمونه‌های تهیه‌شده دارای نقره هستند. بنابراین، ویژگی ضد باکتریایی مشاهده‌شده مربوط به نقره است. بیشترین درصد وزنی نقره مربوط به نمونه ۵ است که بیشترین ویژگی ضد باکتریایی را دارد. درصد وزنی نقره در این نمونه پس از شستشو به میزان ۳۳ درصد کاهش‌یافته است که در مقایسه با سایر نمونه‌ها از کمترین ثبات شستشویی برخوردار است. از نظر مقدار درصد وزنی نقره، نمونه ۷ در ردهی بعدی قرار دارد که به‌دلیل خارج شدن نمونه از حالت لیفی و کاهش مساحت سطح و به دام افتادن نانوذرات نقره در داخل توده نمونه، از ویژگی ضد باکتریایی کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها برخوردار است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، در اثر شستشو، در تمام نمونه‌ها درصد وزنی نقره کاهش می‌یابد. کمترین میزان کاهش مربوط به نمونه ۳ (۷٫۵ درصد) است. همان‌طور که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه (شکل ۵) نیز مشخص است، این نمونه تنها نمونه‌ای است که در آن نانوذات نقره به‌طور یکنواخت و بدون هیچ‌گونه انباشتگی بر الیاف نایلون پخش شده‌اند. درحالی‌که

جدول ۲ نتایج تجزیه عنصری نمونه‌ها با روش EDF

نمونه	C		N		O		Ag	
	W%	A%	W%	A%	W%	A%	W%	A%
۱	۶۷٫۳۷	۷۲٫۶۹	۱۳٫۰۲	۱۲٫۰۵	۱۹٫۱۴	۱۵٫۲۱	۰٫۴۸	۰٫۰۶
۲	۶۲٫۵۱	۶۸٫۳۶	۱۶٫۲۹	۱۵٫۲۸	۲۰٫۸۵	۱۶٫۳۲	۰٫۳۲	۰٫۰۴
۳	۶۵٫۱۹	۷۰٫۴۹	۱۴٫۶۱	۱۳٫۵۵	۱۹٫۸۰	۱۵٫۹۱	۰٫۴۰	۰٫۰۵
۴	۶۷٫۷۰	۷۲٫۷۹	۱۳٫۴۵	۱۲٫۴۰	۱۸٫۴۷	۱۴٫۷۷	۰٫۳۷	۰٫۰۴
۵	۶۴٫۱۹	۷۰٫۷۹	۱۱٫۲۲	۱۰٫۰۲	۲۳٫۲۳	۱۹٫۰۲	۱٫۳۶	۰٫۱۷
۶	۶۶٫۹۴	۷۲٫۵۲	۱۵٫۰۸	۱۴٫۰۱	۱۷٫۰۸	۱۳٫۳۶	۰٫۹۰	۰٫۱۱
۷	۶۷٫۷۸	۷۲٫۷۸	۱۴/۸۷	۱۳٫۷۱	۱۶٫۵۰	۱۳٫۳۲	۰٫۸۵	۰٫۱۵
۸	۶۲٫۷۰	۶۳٫۳۱	۱۵٫۸۷	۱۴٫۸۱	۲۰٫۷۸	۱۶٫۸۰	۰٫۶۷	۰٫۰۸

در سایر نمونه‌ها به‌ویژه نمونه‌های ۱ و ۵ توده‌هایی از نانوذرات نقره بر الیاف تجمع پیداکرده‌اند. در نتیجه، برهم‌کنش بین الیاف نایلون و نقره نسبت به نمونه ۳ ضعیف‌تر بوده و در اثر شستشو درصد بیشتری از نقره از سطح الیاف جداشده است. مطابق نتایج به‌دست آمده ویژگی ضد باکتریایی نمونه ۱ پس از شستشو کاهش چشمگیری نشان می‌دهد که می‌توان آن را به کاهش درصد وزنی نقره پس از شستشو نسبت داد.

نتیجه‌گیری

در کار پژوهشی حاضر، از روش‌های متعدد از جمله کاهش شیمیایی نقره نیترات در حضور الیاف نایلون، روش فراصوت و استفاده از محلول کلوئیدی نقره، برای نشاندن نانوذرات نقره بر روی الیاف نایلون ۶،۶ استفاده شد. برای مقایسه، نانوآمیزه نایلون ۶،۶–نانوذرات نقره نیز از طریق انحلال الیاف نایلون در فرمیک اسید در حضور نانوذرات نقره و استخراج آن از طریق ضدحلال استون تهیه شد.

بررسی ویژگی‌های ضد باکتریایی نمونه‌های تهیه‌شده نشان داد که تمام نمونه‌های تهیه‌شده، پیش و پس از شستشو دارای ویژگی ضد باکتریایی هستند. لیکن نمونه تهیه‌شده با روش کلوئیدی و فراصوت از بیشترین اثر ضد باکتریایی و نانوآمیزه تهیه‌شده از طریق انحلال نایلون در فرمیک اسید در حضور نقره، از کمترین اثر ضد باکتریایی برخوردارند. سایر نمونه‌ها نیز از ویژگی ضد باکتریایی بینابین برخوردارند. این نتایج با نتایج به‌دست آمده از ریخت‌شناسی و تجزیه عنصری همخوانی دارد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان دادند که در نمونه تهیه‌شده به روش فراصوت، نانوذرات نقره به‌طور یکنواخت بر سطح الیاف نایلون نشانده شده و بر اساس نتایج تجزیه عنصری، دارای بیشترین درصد وزنی نقره پیش از شستشو است. همچنین، کمترین کاهش درصد وزنی نقره پس از شستشو نیز مربوط به همین نمونه است. نانوآمیزه غیر لیفی تهیه‌شده هرچند از درصد وزنی قابل‌قبول نقره برخوردار است، لیکن به‌دلیل این‌که تمامی نقره بر سطح نمونه قرار نگرفته و درصد قابل‌توجهی از آن در داخل توده نمونه به دام افتاده است، از ویژگی ضد باکتریایی مطلوب برخوردار نیست. در سایر نمونه‌ها، نشست نقره بر روی الیاف نایلون به‌صورت کلوخه‌ای بوده که پس از شستشو نیز بر اساس نتایج تجزیه عنصری، در اثر جدا شدن درصدی از آن، ویژگی ضد باکتریایی تضعیف می‌شود.

بنابراین، روش فراصوت به‌دلیل داشتن مزایایی از قبیل تولید یک مرحله‌ای، سادگی، عدم نیاز به حلال، نشست یکنواخت نانوذرات بر سطح و حفظ ویژگی ضد باکتریایی پس از شستشو، به‌عنوان روشی کارآمد برای تهیه الیاف نایلون ضدباکتری پیشنهاد می‌شود.

مراجع

[1] Sun,Y.; Xia, Y.; Science 298, 2176-2179, 2002.

[2] Damm, C.; Munstedt, H.; Rosch, A.; Mater. Chem. Phys. 108, 61-66, 2008.

[3] Brust, M.; Waler, M.; Bethell, D.; Schiffrin, D.J.; Whyman, R.; Chem. Soc. Chem. Common. 7, 801-802,1994.

[4] Zhang, Y.H.; Chen, F.; Zhuang, J.H.; Tang, Y.; Wang, D.; Chem. Common. 23, 2814-2815, 2002.

[5] He, B.L.; Tan, J.J.; Kong, Y.L.; Liu, H.J.; Mol. Catal. A: Chem. 221, 12-16, 2004.

[6] Zhang, J.P.; Sheng, L.Q.; Chen, P.; Sci. Chem. Lett. 14, 645-648, 2003.

[7] Dam, C.; Mu̇nstedt, H.; Rösch, A.; Mater. Chem. Phys. 108, 61-66, 2008.

[8] Damm, A.C.; Mu̇nstedt, H.; Rösch, A.; Mater Sci. 42, 6067-6073, 2007.

[9] Sedaghat, S.; Nasser, A.; Int. Nano Lett. 1, 22-24, 2011.

[10] Perelshtein, L.; Applerot, G.; Perkas, N.; Guibert,G.; Mikhailov, S.; Nanotech. 19(24), 245705, 2008.

[11] Perkas, N.; Amirian, G.; Dubinsky, S.; Gazit, S.; Gedanken, A.; App. Polym. Sci. 104: 1423-1430, 2007.

[12] Perelshtein, I.; Applerot, G.; Perkas, N.; Guibert, G.; Mikhailov, S.; Gedanken, A.; Nanotech. 19, 245705, 2008.

JARC

Preparation of nylon 6,6 – Ag nanocomposite and characterization of its morphological and antibacterial properties

Nada Ayareh[1], Maryam Farbodi[2,*]

1. M.Sc. in Chemistry, Department of Chemistry, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
2. Assistant Professor in Chemistry, Department of Chemistry, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Recieved: January 2017, Revised: January 2018, Accepted: January 2018

Abstract: In this research, silver nanoparticles were deposited on nylon 6,6 fibers with different methods including chemical, ultrasonic, and using colloidal silver solution. Also, the non-fiber nanocomposite of nylon 6,6-silver was prepared by dissolution of nylon 6,6 in formic acid in the presence of silver nanoparticles and extracted by acetone antisolvent. The morphological properties, antibacterial properties, elemental analysis, and wash durability of prepared samples were examined. SEM images and EDS analysis confirmed the presence of silver nanoparticles on nylon 6,6 in prepared samples before and after washing. The antibacterial capability of the samples were determined before and after washing against gram positive bacteria (S.aureus) and gram negative bacteria (E.coli) using resazurin color change. The obtained results confirmed, the sample prepared by ultrasonic method has the most effective antibacterial property before and after washing. According to the results of morphological observation and elemental analysis, it is due to the high amount and uniform deposition of silver on the fiber surface. Also, according to the results, non-fiber nylon6,6-silver nanocomposite has the weakest antibacterial property and other samples have intermediate properties.

Keywords: Nylon6,6, Silver nanoparticles, Antibacterial, Ultrasonic, SEM, EDS

*Corresponding author Email: m.farbodi@iaut.ac.ir