



نانو تکنولوژی

ترجمه: مهندس آزاده موحد

# تأثیر محلول کلوییدی نانو ذرات مس بر روی پارچه‌ی پنبه‌ای

## چکیده

این تحقیق در رابطه با سنتز محلول کلوییدی نانو ذرات مس و تأثیر آن بر روی پارچه‌ی پنبه‌ای می‌باشد. نانو کلوییدهای مس از طریق احیای شیمیایی نمک مس با استفاده از بوروهیدرید سدیم به عنوان عامل کاهنده و در حضور تری سدیم سیترات تولید شدند. اندازه و توزیع اندازه‌ی ذرات توسط آنالیزور سایز و مورفولوژی ذرات سنتز شده نیز توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) و میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) مورد بررسی قرار گرفت. اسپکتروسکوپی فلورئورسانس اشعه‌ی ایکس وجود مس در پارچه‌ی عمل شده را کشف کرد. نتایج آنالیز اندازه‌ی ذرات نشان داد که میانگین اندازه‌ی ذرات بین ۶۰ تا ۱۰۰ نانومتر است. پارچه‌ی پنبه‌ای عمل شده با نانو ذرات مس در معرض آزمایش دفن شدن در خاک قرار گرفت تا میزان مقاومت آن در معرض حمله‌ی میکروبی سنجیده شود. تصاویر SEM پارچه‌ی عمل شده نشان می‌دهد که نانو ذرات مس به خوبی بر روی سطح نمونه پراکنده شده‌اند. به کارگیری محلول نانو کلوییدی مس بر روی پارچه‌ی پنبه‌ای نه تنها خواص ضد میکروبی پارچه را بهبود می‌بخشد بلکه بر روی استحکام کششی آن نیز تأثیر مثبتی به جا خواهد گذاشت. به علاوه عمق رنگی و خواص ثبات پارچه در برابر رنگزاهای مستقیم نیز بهبود پیدا می‌کند.

## مقدمه

پشم و ابریشم می‌شوند. پیش از این اطلاعات مربوط به سنتز و کاربرد نانو ذرات مس بر روی منسوجات چندان در دسترس نبود. بنابراین تحقیق حاضر به بررسی سنتز نانو ذرات مس با روشی مناسب و تحقیق پیرامون اثر آن بر روی پارچه‌ی پنبه‌ای می‌پردازد.

## بخش تجربی پارچه

پارچه‌ی ۱۰۰٪ پنبه‌ای دارای بافت ساده و وزن  $238 \text{ g/m}^2$  و تراکم تار  $44$  رشته/سانتی‌متر و تراکم پودی  $28$  رشته/سانتی‌متر مورد شستشو و سفیدگری  $100$ ٪ در کارخانه قرار گرفت.

## رنگزاهای و مواد شیمیایی

سه رنگزای مستقیم با نام‌های رنگزای مستقیم قرمز ۹ (X)، رنگزای مستقیم آبی ۶۷ (Y) و رنگزای مستقیم سبز ۶ (Z) که بدون هیچ گونه خالص سازی بودند برای

پایه و اساس تکنولوژی نانو بر مبنای این واقعیت است که خواص اجزای یک ماده با تغییر سایز آن‌ها و رسیدن به ابعاد نانو تغییر می‌کند. علاوه بر آن مقادیر کوچک نمونه‌های نانو ذره‌ای می‌توانند درون شبکه‌ی پلیمری که معمولا دارای سایزی مشابه می‌باشند وارد شوند و کارایی سیستم را تا حد قابل انتظاری ارتقا دهند. صنعت نساجی نیز مانند سایر صنایع مهم شاهد کاربردهای وسیع نانو تکنولوژی بوده است. منسوجات دارای تکنولوژی نانو با خواص کاربردی، حفاظتی و الکترونیکی که دارند در مسیر تبدیل شدن به رایج‌ترین و متداولترین منسوجات قرار دارند. خواص محافظتی یکی از مهم‌ترین خصوصیات این منسوجات می‌باشد. خواص منحصر به فرد نانو ذرات فلزی به خوبی شناخته شده است. نانوفلزی نظیر طلا، نقره، پالادیوم، پلاتین، روی و غیره توسط محققان بسیاری سنتز شدند. کاربرد بعضی از این ذرات بر روی منسوجات نیز در متون مختلف آمده است. چاتوپادیا<sup>۱</sup> و پاتل<sup>۲</sup> نشان دادند که نانو ذرات نقره علاوه بر این که دارای خواص ضد میکروبی خوبی هستند باعث بهبود استحکام کششی و عمق رنگی پنبه،



دستگاه Sasmira (ساخت هند) اندازه گیری شد.

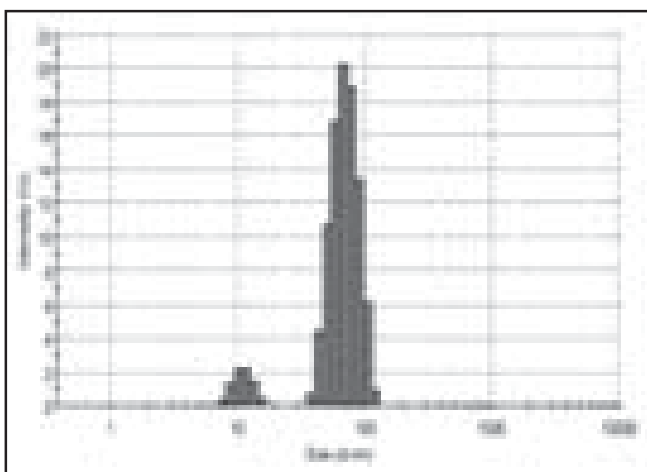
این منظور انتخاب شدند. سولفات مس ( $M.W, CuSO_4 \cdot 5H_2O = 249.68$ )، سدیم بوروهیدرید ( $MW = 37/83$ )، از کمپانی هندی (Sd Fine Chemicals) خریداری شد.

### تعیین طول خمش

سختی نمونه‌های عمل شده و عمل نشده با توجه به طول خمشی و به روش AATCC ۱۱۵-۲۰۰۵ و با استفاده از دستگاه سختی سنج Prolific (ساخت هند) که برای اندازه‌گیری طول خمش به کار می‌رود تعیین شد.

### رنگ‌ریزی نمونه‌های پنبه‌ای عمل شده و عمل نشده

رنگ‌ریزی تمام نمونه‌ها در ماشین رنگ‌ریزی آزمایشگاهی با  $L:G:1:2:20$  و در حضور  $50-100 \text{ g/L}$  کلرید سدیم،  $20 \text{ g/L}$  سدیم بی‌کربنات و  $2\%$  رنگزا بر اساس وزن نمونه انجام شد. نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای  $50^\circ\text{C}$  عمل شدند. دما به تدریج افزایش یافت و در مدت ۳۰ دقیقه به نقطه‌ی جوش رسید. رنگ‌ریزی به مدت ۴۵ دقیقه در نقطه‌ی جوش انجام شد. سپس نمونه‌ها به مدت نیم ساعت در آب سرد روان آبکشی شدند.



شکل ۱- اندازه‌ی ذرات و توزیع آن‌ها در محلول کلوییدی نانوذرات مس

### بررسی نمونه‌های رنگ‌ریزی شده

اثر نانوذرات مس بر قابلیت رنگ‌پذیری نمونه‌ها بر اساس مقدار  $K/S$  و در سیستم رنگ همانندی کامپیوتری اسپکتروفوتومتر ( $RT$ ) ۵۱۰۰ Spectra Scan بررسی و ارائه شد.

### جدول ۱- میزان مس کشف شده توسط XRF

میزان مس، $\mu\text{g}$	ساختار
۰	پنبه
۰/۱۹	پارچه‌ی پنبه‌ای/مس

### تعیین ثبات پارچه

نمونه‌های رنگ‌ریزی شده بر اساس روش‌های استاندارد ISO مورد آزمایش قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری ثبات شستشویی از استاندارد ISO ۱۰۵-C۰۶ (C25) و برای اندازه‌گیری ثبات نوری از استاندارد ISO ۱۰۵-B۰۲ (۱۹۹۰) استفاده شد.

### بررسی فعالیت ضد میکروبی

نمونه‌های عمل شده و عمل نشده با نانوذرات در خاک دفن شدند (بر اساس روش استاندارد ۳۰-۲۰۰۴ AATCC). بعد از مدت زمان مشخص نمونه‌ها از خاک خارج شده و کاملاً با آب شسته و در هوا خشک می‌شوند. سپس برای اندازه‌گیری نیروی پارگی بر روی دستگاه مخصوص مورد آزمایش قرار می‌گیرند.

### تجهیزات

نانوذرات مس در یک محفظه‌ی مخصوص و در حضور گاز  $N_2$  سنتز شدند. توزیع و اندازه‌ی توزیع ذرات در آنالیزور مخصوص (Malvern Instrument, MAL5۰۱۱۳۱, DTS Version ۵.۰۳, U.K. مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. از میکروسکوپ اتمی (easy scan ۲ Nanosurf AG, Switzerland) در حالت تماسی (نیروی ثابت اهم  $3 \text{ N/m}$ ) برای مشاهده‌ی ذرات استفاده شد. البته تصاویر توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی (model Jeol JAPAN) ۱۰.۰ LV, Version ۵۶۱۰ نیز مورد بررسی قرار گرفتند. مقدار مس به عنوان یک عنصر موجود در ساختار پلیمری توسط اسپکترومتر فلورسانس اشعه‌ی ایکس (EDX ۸۰۰ Simadzu, Japan) اندازه‌گیری و کشف شد. ولتاژ و جریان اشعه‌ی ایکس  $35 \text{ kv}$  و  $26 \text{ mA}$  بود. زمان ثبت  $30 \text{ s}$  و منطقه‌ی مورد آزمایش  $78/5 \text{ mm}^2$  بود.

به کارگیری نانوذرات سنتز شده بر روی پنبه و رنگ‌ریزی این پارچه‌ها در یک حمام آبی در حال حرکت با دمای ثابت انجام شد. پس از رنگ‌ریزی استحکام رنگ به صورت مقدار  $k/S$  بر روی اسپکتروفوتومتر (Premium Colorscan Instruments, India) Spectra Scan ( $RT$ ) ۵۱۰۰ ثبت شد. ثبات شستشویی پارچه توسط تعیین درجه ثبات رنگ در برابر شستشو (Lauderometer) و ثبات نوری آن توسط دستگاه تعیین ثبات رنگ در برابر نور (Fadeometer) اندازه‌گیری شد.

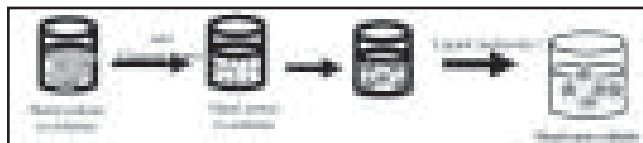
محلول  $100 \text{ mL}$  سولفات مس که در یک محفظه‌ی مخصوص نگهداری شده بود، با افزودن محلول بسیار رقیق بوروهیدرید سدیم سرد و در حضور گاز نیتروژن به آرامی احیا شد. در حین این فرآیند نیز محلول به شدت هم زده می‌شد. زمانی که محلول به رنگ زرد روشن درآمد،  $5 \text{ mL}$  تری سدیم سیترات به صورت قطره قطره به آن اضافه و هم زمان هم زده شد. برای آماده سازی تمام مواد شیمیایی به صورت محلول از آب مقطر استفاده شد. شکل ۱ تصویر شماتیک شکل‌گیری نانوذرات و تثبیت آن‌ها با آنیون‌های سیترات را نشان می‌دهد.

### عمل کردن پارچه‌ی پنبه‌ای با نانوذرات مس

دیسپرسیون نانوذرات مس سنتز شده با روش رمق کشی در دمای  $40^\circ\text{C}$  و  $L:G:1:50$  روی پارچه‌ی پنبه‌ای به کار گرفته شد. بعد از گذشت یک ساعت، دما در ظرف نیم‌ساعت تا  $80^\circ\text{C}$  افزایش یافت. نمونه پارچه‌های عمل شده کاملاً شستشو، خنثی‌سازی و خشک شدند.

### تعیین خواص کششی

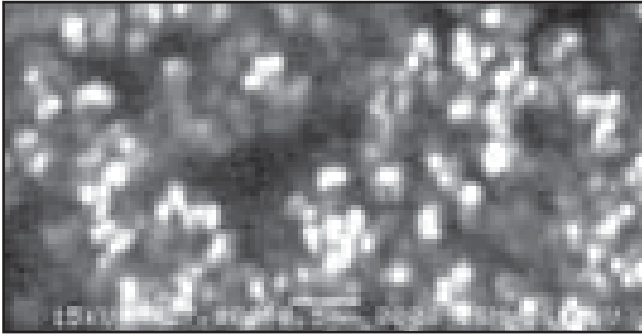
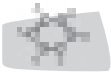
برای بررسی تغییر در خصوصیات کششی پارچه‌های پنبه‌ای قبل و بعد از عمل با نانوذرات مس، یک سری آزمایشاتی روی آن‌ها انجام شد. نیرو تا حد پارگی نمونه‌ها در دستگاه اندازه‌گیری کشش (LRY model Lloyd, UK) تعیین شد.



تصویر ۱- نمایش شماتیک از فرآیند سنتز نانوذرات مس

### تعیین زاویه بازگشت از چروک

زاویه‌ی بازگشت از چروک نمونه‌ها با روش ۶۶-۲۰۰۳ AATCC و با استفاده از



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی از نانوذرات مس سنتز شده

نانوذرات مس به علت اندازه‌ی کوچکشان قادرند وارد فضای بین ملکولی پلیمرها شوند و شاید به عنوان پرکن یا عامل ایجاد اتصالات عرضی عمل کنند که این باعث پدیده‌ی تقسیم بار بر روی مواد می‌شود. بر خلاف اتصال عرضی مواد شیمیایی که منجر به بهبود زاویه‌ی بازگشت از چروک می‌شود به کارگیری نانوذرات مس تاثیر چندانی در این رابطه ندارد. در زاویه‌ی بازگشت از چروک الیاف بهبود اندکی حاصل شد و طول خمشی آن‌ها نیز تا حدی افزایش یافت. بنابراین اگرچه ذرات مس وارد زنجیره‌ی ملکولی پلیمر می‌شوند اما در انعطاف پذیری سیستم پلیمری دخالت نمی‌کنند.

از تصاویر میکروفتوگراف نمونه‌های پنبه‌ای عمل شده با نانوذرات مس (شکل ۴b) به وضوح می‌توان مشاهده کرد که نانوذرات مس بر روی سطح نمونه توزیع می‌شوند. پارچه‌ی پنبه‌ای عمل شده با نانوذرات مس با سه رنگزای مستقیم مورد رنگرزی قرار گرفت و با نمونه‌ی عمل نشده مقایسه شد.

مقادیر K/S نمونه‌های عمل شده بالاتر از نمونه‌های عمل نشده‌ی مشابه بود (جدول ۳). بیشترین بهبود در استحکام رنگی در نمونه‌ی رنگرزی شده با رنگزای مستقیم سبز ۶ مشاهده شد. K/S بیشتر در نمونه‌های عمل شده نشان‌دهنده‌ی این واقعیت است که حضور نانوذرات فلزی باعث افزایش تمایل رنگزا به کالا می‌شود. بنابراین نانوذرات فلزی در پارچه به عنوان واسطه عمل می‌کنند. آنیون‌های رنگزا با بار منفی معمولاً به علت پلارته‌ی ایجاد شده در ذرات فلزی در اثر القا جذب الیاف می‌شوند که این منجر به اتصال بهتر بین رنگزا و لیف می‌گردد. اتصال بهتر رنگزا و لیف همچنین باعث بهبود خواص ثباتی نیز می‌گردد (جدول ۴). زمانی که پارچه‌های رنگرزی شده‌ی عمل شده و عمل نشده توسط  $2g/L$  در جنت نانیونی آبکشی شدند، رنگ نمونه‌های رنگرزی عمل شده تقریباً ثابت باقی ماند. بنابراین عمل کردن پارچه‌های پنبه‌ای با نانوذرات مس نه تنها باعث بهبود استحکام رنگی می‌شود بلکه ثبات رنگی را نیز بهتر می‌کند که در مورد رنگزاهای مستقیم یک مزیت بزرگ است.

جدول ۳- تاثیر نانوذرات مس بر رنگرزی پارچه‌ی پنبه‌ای با رنگزاهای مستقیم

نمونه	رنگزا	K/S
نمونه‌ی پنبه‌ای عمل نشده	X	۳۲/۵
	Y	۲۲/۸
	Z	۰۶/۸
نمونه‌ی پنبه‌ای عمل شده با نانوذرات مس	X	۳۶/۷ (+۳۴/۳۸)
	Y	۳۵/۱۱ (+۰۸/۳۸)
	Z	۱۷/۱۳ (+۳۹/۶۳)

نکته: اعداد داخل پرانتز نشان دهنده‌ی درصد تغییر در مقدار K/S است.  
X: CI Direct Red, ۹ Y: CI Direct Blue ۶۷, Z: CI Direct Green ۶

جدول ۲- تاثیر عمل با نانوذرات مس بر خواص فیزیکی نمونه‌ی پنبه‌ای

Sr. No.	نمونه	نیروی پارگی (kg)	زاویه بازگشت از چروک (deg)	طول خم شدگی (cm)
۱.	نمونه‌ی پنبه‌ای عمل نشده	۸/۰۲	۹۰	۱/۰۵
۲.	نمونه‌ی پنبه‌ای عمل شده با نانوذرات مس	۱۳/۷۵ (+۷۱/۴۴)	۹۹ (+۱۰/۰)	۱/۵۰ (+۴۲/۸۶)

نکته: اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده درصد تغییر در خواص فیزیکی هستند

### بحث و نتایج

نانوذرات مس از احیای نمک مس تهیه می‌شوند و سپس توسط آنیون‌های سیترات تثبیت می‌گردند. نانو ذرات مس موجود در محلول مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. این ذرات همچنین با استفاده از میکروسکوپ‌های الکترونی پویشی و نیروی اتمی نیز مشاهده شدند. وجود مس توسط اسپکترومتر فلورسانس اشعه‌ی ایکس کشف و اندازه‌گیری شد.

شکل‌گیری نانوذرات مس سنتز شده با تغییر در خواص نوری محلول همراه بود. خواص نوری نانوذرات فلزی بستگی زیادی به شکل و اندازه‌ی ذرات دارد. با تغییر اندازه‌ی ذرات مس به نانو محلول سبز مایل به آبی سولفات مس به تدریج به رنگ زرد پررنگ درمی‌آید. این تغییرات نتیجه‌ی تغییر در رزونانس پلاسمون سطحی می‌باشد. البته تنها فلزات دارای الکترون‌های آزاد به ویژه طلا، نقره، مس و فلزات قلیایی دارای رزونانس پلاسمون در طیف مرئی هستند که این باعث ایجاد چنین رنگ‌های پررنگی می‌شود. تراکم ذرات نیز با کمک آنیون‌های سیترات کنترل شد. نانوذرات کلوییدی مس به دلیل جذب یون‌های سیترات، یک سطح با بار منفی تشکیل دادند. هر نانوذره‌ی کروی مس توسط یون‌های سیترات احاطه شده بود، در نتیجه ذرات همدیگر را دفع می‌کردند و به این صورت از تجمع آن‌ها جلوگیری می‌شد.

اندازه‌ی ذرات و توزیع اندازه‌ی ذرت مس کلوییدی پایدار شده توسط دستگاه Malvern مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. شکل ۱ شدت توزیع اندازه‌ی نانوذرات مس دیسپرس شده در آب را نشان می‌دهد.

در شکل ۲ نیز میکروگراف‌های الکترونی پویشی نانوذرات مس پایدار و ته‌نشین شده بر صفحه‌ی آلومینیومی دارای پوشش کربن نشان داده شده است. همان طوری که در شکل و از مقیاس فتوگراف مشخص است، میانگین ذرات حدود ۱۰۰-۶۰ نانومتر بوده که با توزیع اندازه‌ی ذرات مشاهده شده در آنالیزور مطابقت دارد.

نانوذرات مس برای مشاهده در زیر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) بر روی شیشه ته نشین شدند. همان طوری که از تصاویر AFM و توپوگرافی می‌توان مشاهده کرد (شکل ۳)، اندازه‌ی نانوذرات مس کمتر از ۱۰۰ نانومتر می‌باشد که این نیز با نتایج به دست آمده از آنالیزور سازگار و منطبق است.

هر دو نمونه‌ی عمل شده و عمل نشده برای کشف و اندازه‌گیری مس در آن‌ها توسط اسپکتروسکوپی اشعه‌ی ایکس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج به دست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است. همان طوری که می‌بینیم میزان مس در پنبه‌ی عمل شده حدود  $0.194g$  و در پنبه‌ی عمل نشده صفر بود. تاثیر مس بر روی خواص فیزیکی پنبه مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج می‌توان دریافت که به کارگیری نانوذرات مس در ساختار الیاف موجب بهبود ظرفیت تحمل بار الیاف شده است. این تکمیل بار تا حد پارگی پنبه را حدود ۷۱ درصد افزایش می‌دهد.



جدول ۴- تاثیر نانوذرات مس بر خواص ثباتی پارچه‌های پنبه‌ای رنگرزی شده با رنگزاهای مستقیم

نمونه	نرخ ثبات								
	شستشو				نور				
	Z		Y		X				
A	S	A	S	A	S	Z	Y	X	
پنبه‌ی عمل نشده	۲	۲-۳	۲-۳	۲-۳	۲	۲-۳	۳	۳	۳
پنبه‌ی عمل شده با نانوذرات مس	۴-۵	۴-۵	۴	۴	۴	۴	۴-۵	۴	۴

نکته: X:Direct fast pink BD,Y:Direct Blue B,Z:Direct Green۶:A:تغییر در عمق، S:لک بر روی پنبه

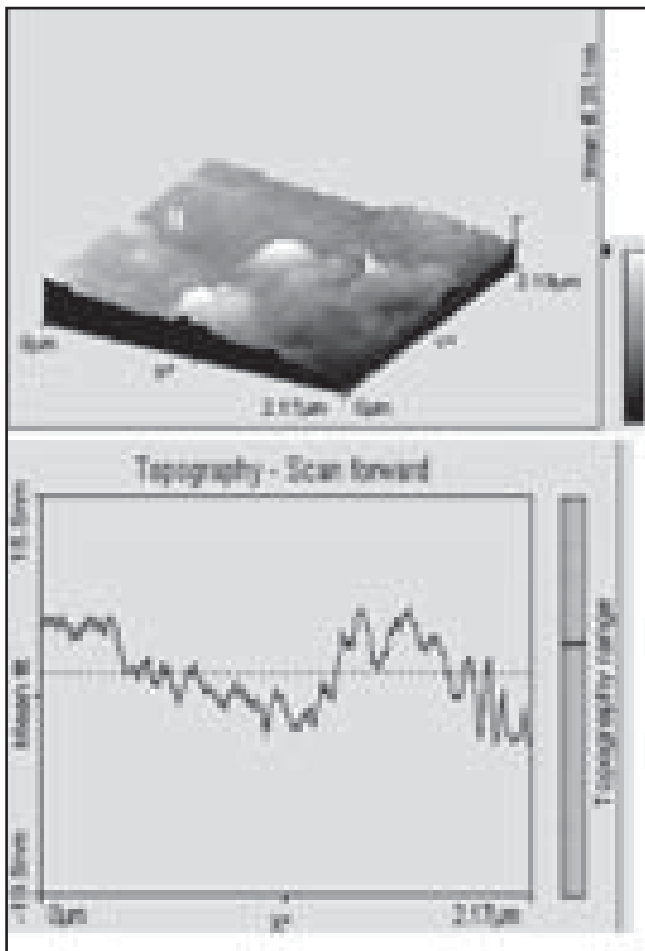
فعالیت ضد میکروبی نمونه‌هانی از طریق آزمایش دفن در خاک اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۵ آمده است. واضح است که عمل کردن با نانوذرات مس مقاومت پنبه در برابر میکروب‌ها را افزایش می‌دهد. در نمونه‌های عمل نشده بار تا حد پارگی به علت صدمات وارده از سوی باکتری‌ها در زمان دفن در خاک کاهش یافته بود، در حالی که نمونه‌های عمل شده با نانوذرات مس نه تنها در برابر هجوم میکروبی مقاوم بودند بلکه استحکام آن‌ها نیز افزایش یافت. یون‌ها و ترکیبات فلزی در حد مشخصی دارای اثر استریلیزه کردن هستند. به نظر می‌رسد که قسمتی از اکسیژن موجود در هوا یا آب توسط اثر کاتالیزوری یون‌های فلزی به اکسیژن فعال تبدیل می‌شوند، در نتیجه مواد آلی را در خود حل می‌کنند و اثر استریلیزاسیون ایجاد می‌نمایند. با به کارگیری ذراتی در ابعاد نانو، تعداد ذرات در واحد افزایش می‌یابد و بنابراین اثرات ضد میکروبی به بیشترین حد خود می‌رسد.

جدول ۵- تاثیر نانوذرات مس بر مقاومت باکتریایی نمونه‌ی پنبه‌ای

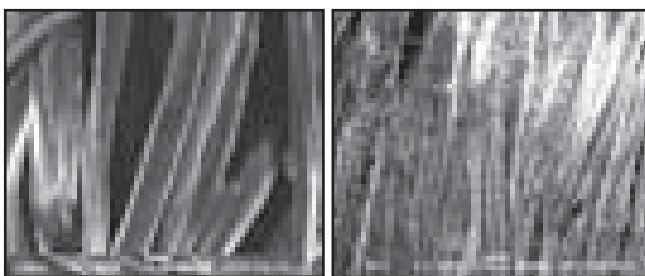
نمونه	نیروی پارگی	
	قبل از دفن در خاک	پس از دفن در خاک
پنبه‌ی عمل نشده	۸/۰۲	۶/۵۰
پنبه‌ی عمل شده با نانوذرات مس	۱۳/۷۵	۱۱/۷۱

### نتیجه‌گیری

محللول کلوییدی نانوذرات مس با موفقیت آماده‌سازی و روی پارچه‌ی پنبه‌ای به کار گرفته شد. میانگین اندازه‌ی ذرات حدود ۶۰ نانومتر بود. به کارگیری این محللول بر روی پارچه‌ی پنبه‌ای باعث بهبود استحکام کششی الیاف پنبه‌ای و تا حدی نیز بهبود زاویه‌ی بازگشت از چروک و طول خمش می‌شود. همچنین مشاهده شد که عمل با نانوذرات مس باعث افزایش قابلیت رنگ‌پذیری پنبه با رنگزاهای مستقیم می‌شود. به علاوه ثبات شستشویی و نوری پارچه‌ی پنبه‌ای با رنگزای مستقیم افزایش می‌یابد. در ضمن مقاومت پارچه در برابر میکروب‌ها نیز بیشتر می‌شود و همچنین عمر مفید پارچه‌های عمل شده نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی و توپوگرافی محللول کلوییدی نانوذرات مس



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی از پارچه‌ی پنبه‌ای (a) عمل نشده (b) عمل شده

1. Chattopadhyay
2. Patel