Journal of Military Medicine
2022, Volume 23, Issue 12
Pages: 963-977
10.30491/JMM.23.12.963

A Review of the Various Methods of Antimicrobial Treatment of Military Textiles

Aboalfazl Zare [1*], Hamedeh Rahimnezhad [1], Sajedeh Rahimnezhad [1]

[1] *Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, Iran*

Received: 13 October 2021 **Accepted:** 14 February 2022

Abstract

Today, microbial contamination is one of the most important factors that has caused many problems in various industries, including the textile and military textiles. Some of the used finishing materials for performance improvement of textiles, especially military textiles, can create a suitable environment for the rapid growth of microorganisms on their surfaces and the spread of various diseases. Therefore, it is necessary to control these pathogens. Antimicrobial of military textiles is one of the used methods that prevent the growth of microorganisms. In this research, it has been studied different methods of antimicrobial treatment of textile, especially military textiles.

Keywords: Microorganisms, Antimicrobial military textiles, Antimicrobial methods.

[*]Corresponding author: **Aboalfazl Zare,** Email: a.zare@yazd.ac.ir

مجله طب نظامی
دوره ۲۳، شماره ۱۲، اسفند ۱۴۰۰
صفحات: ۹۷۷-۹۶۳
10.30491/JMM.23.12.963

مروری بر انواع روش‌های ضدمیکروب کردن منسوجات نظامی

ابوالفضل زارع[۱*]، حامده رحیم‌نژاد[۱]، ساجده رحیم‌نژاد[۱]

[۱] گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی، دانشگاه یزد، ایران

چکیده

امروزه آلودگی‌های میکروبی یکی از مهمترین عواملی است که باعث ایجاد مشکلات زیادی در صنایع مختلف از جمله صنعت نساجی و منسوجات نظامی شده است. برخی از مواد تکمیلی که به منظور بهبود کارایی منسوجات مخصوصاً منسوجات نظامی در سطوح آن‌ها بکار می‌روند می‌توانند یک محیط مناسب را برای رشد سریع میکروارگانیسم‌ها و شیوع انواع بیماری‌ها پدید آورند. از این‌رو تلاش جهت کنترل این عوامل بیماری‌زا ضروری است. یکی از روش‌های مورد استفاده، ضدمیکروبی نمودن منسوجات نظامی است که از رشد میکروارگانیسم‌ها جلوگیری می‌نمایند از این رو در این مطالعه به شناخت و آشنایی با روش‌های ضدمیکروبی منسوجات نظامی و مرور انواع روش‌هایی که در تحقیقات اخیر برای تولید منسوجات نظامی ضدمیکروبی بکار برده شده است پرداخته شده است.

کلیدواژه‌ها: میکروارگانیسم‌ها، منسوجات نظامی ضدمیکروبی، روش‌های ضدمیکروبی.

*نویسنده مسئول: **ابوالفضل زارع.** پست الکترونیک: a.zare@yazd.ac.ir
دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۲۱ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵

مقدمه

از آنجا که اکثر الیاف و پلیمرها نمی‌توانند در برابر انتقال بیماری‌ها و اثرات حاصل از میکروب‌ها از خود مقاومت نشان دهند و به عنوان یکی از عمومی‌ترین مواد واسطه برای رشد و انتشار میکروارگانیسم‌ها شناخته شده‌اند، بحث در زمینه مواد ضدمیکروبی و کاربرد آن‌ها در ضدمیکروب کردن منسوجات نظامی و بررسی روش‌های ضدمیکروبی موضوع مهمی است که باید به آن‌ها پرداخته شود، همچنین آشنایی با انواع میکروارگانیسم‌ها ضروری است (۱).

میکروارگانیسم‌ها، بخشی از زندگی روزمره انسان‌ها هستند و میکروارگانیسم‌های زیادی وجود دارند که همیشه در محیط و بدن ما یافت می‌شوند و می‌توانند بر تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان انواع محصولات تأثیر بگذارند، از این رو ضروری است که ابتدا اطلاعاتی در زمینه میکروارگانیسم‌ها داشته باشیم زیرا که این آشنایی می‌تواند زمینه‌ای را برای کنترل آن‌ها و داشتن تأثیرات منفی بر رشد آن‌ها فراهم کند و این قابلیت کنترل با داشتن فناوری مناسب می‌تواند خصوصیات مطلوبی را در طیف وسیعی از منسوجات فراهم کند از این رو در ادامه در مورد انواع میکروارگانیسم‌ها و روش‌های ضدمیکروبی منسوجات نظامی بحث خواهد شد (۲).

روش تحقیق در این مقاله مروری، بدین صورت می‌باشد که پس از تعریف برخی مفاهیم، مطالعاتی که قبلا توسط افراد مختلف در زمینه موضوع مقاله انجام شده را جمع‌آوری کرده و در این تحقیق نوشته شده است.

میکروارگانیسم‌ها

میکروارگانیسم‌ها ریزترین موجوداتی هستند که با چشم دیده نمی‌شوند (۲). آن‌ها به عنوان میکروب شناخته می‌شوند و تقریباً در همه جا وجود دارند. تا ارتفاع یک کیلومتری اتمسفر می‌توان مکان‌های نفوذ و رشد باکتری و قارچ را یافت همچنین، میکروارگانیسم‌ها تا عمق ۱۱ کیلومتری دریا زندگی می‌کنند و در طی حفر چاه نفت تا عمق ۴۰۰ متری زمین نیز یافت می‌شوند (۱). علاوه‌بر این، در جاهایی مثل هوایی که نفس می‌کشیم، در خاک، پوست و بدن وجود دارند پس به‌طور کلی می‌توان گفت که میکروارگانیسم‌ها در همه جا یافت می‌شوند (۲).

وزن کل تمامی موجودات میکروبی روی زمین تقریبا ۲۵ برابر وزن تمام حیوانات تخمین زده شده است همچنین میکروب‌ها می‌توانند تاثیر بسیار خوبی در زندگی افراد داشته باشند (۱) اما در صورت بر هم خوردن تعادل آن‌ها در طبیعت، سلامت افراد تهدید خواهد شد (۳).

بهترین روش برای جلوگیری و به حداقل رساندن ضررهای میکروب‌ها، برهم زدن شرایط رشد و تکثیر این موجودات می‌باشد (۱) که از جمله شرایط ایده‌آل برای رشد میکروب‌ها می‌توان به مواردی مثل غذا، رطوبت، اکسیژن، هوای گرم و سطح پذیرا مثل پوست یا پارچه اشاره کرد (۲). به‌طورکلی میکروارگانیسم‌ها شامل قارچ‌ها، جلبک‌ها، ویروس‌ها و باکتری‌ها می‌باشند (۲).

قارچ

قارچ‌ها و یا کپک‌ها موجودات پیچیده‌ای هستند که سرعت رشد آن‌ها پایین است و آن‌ها پارچه‌ها را لکه‌دار کرده و خواص عملکردی پارچه‌ها را از بین می‌برند و در pH = ۶/۵ فعال هستند (۲).

قارچ‌ها، بسته به نوع تغذیه (مواد آلی مرده یا زنده) به‌صورت ساپروفیت یا انگلی در طبیعت وجود دارند و طبقه‌بندی و تشخیص قارچ‌ها بیشتر بر اساس خصوصیات ظاهری آن‌ها می‌باشد. قارچ‌ها بسته به شرایط محیطی به دو صورت رشته‌ای (کپکی) یا مخمری می‌باشند (۴).

جلبک

جلبک‌ها، میکروارگانیسم‌های معمولی هستند که به دو صورت قارچی و یا باکتریایی می‌باشند. جلبک‌ها برای رشد و ایجاد لکه‌های تیره بر روی پارچه‌ها به آب و نورخورشید نیاز دارند و در محدوده pH = ۷–۸ فعال هستند (۲).

ویروس

ویروس‌ها، تقریباً شامل همه اکوسیستم‌های کره زمین هستند از جمله محیط‌های اسیدی، حرارتی و شور که این نوع میکروارگانیسم‌ها می‌توانند در آن‌ها زنده و به رشد خود ادامه دهند. به‌طورکلی در بین جانداران و در زیستگاه‌ها و مکان‌های مختلف، میلیون‌ها نوع از ویروس‌ها وجود دارد و تاکنون بیش از ۶۰۰۰ گونه مختلف از ویروس‌ها به‌طور دقیق شناسایی و معرفی شده است. به‌عنوان مثال مطالعات اخیر، ویروس‌های کرینارکیل (Crenarcheal) را در چشمه‌های آب‌گرم پارک عمومی و سایر محیط‌ها با درجه حرارت بالا در سراسر جهان شناسایی کرده‌اند که این ویروس‌ها اغلب از نظر ریخت‌شناسی و ژنتیکی منحصربه فرد هستند (۵).

همه‌گیری COVID-19 در دسامبر سال ۲۰۱۹ در شهری به نام ووهان در استان هوبیی چین رخ داد. COVID-19 یک بیماری بر اساس ذات‌الریه است که نتیجه عفونت شدید سندرم حاد تنفسی کرونا ویروس۲ (SARS-CoV-2) است. اعتقاد بر این است که این بیماری مربوط به بیماری تنفسی خاورمیانه (MERS) و سندرم تنفسی حاد (SARS) است. منشأ این بیماری از بازار غذاهای دریایی است، اما این تأیید نشده است. این بیماری همه‌گیر توسط سازمان بهداشت جهانی (World Health Organization: WHO) در تاریخ ۳۰ ژانویه نام رسمی COVID-19 را دریافت کرد و در ۱۱ فوریه توسط مدیر کل WHO، یک اورژانس بهداشت جهانی اعلام شد. از هفدهم ژوئیه سال ۲۰۲۰، در سراسر جهان ۱۳۷۸۸۳۰۰ مورد گزارش شده است که ۵۸۹۶۸۸ مورد مرگ داشته است (۶).

در ۲۵ مارس ۲۰۲۰ در کره‌جنوبی میزان ابتلا بیش از ۹۰۰۰ نفر تایید شده است. PCR مهم‌ترین روش برای تشخیص COVID-19 است. انجمن پزشکی کره برای تست آزمایشگاهی

و مراکز پیشگیری و کنترل دستورالعمل‌هایی را برای تشخیص COVID-19 در آزمایشگاه‌های بالینی کره ارائه می‌دهد. این دستورالعمل‌ها براساس سایر رهنمودهای داخلی و بین‌المللی مرتبط و همچنین نظرات تخصصی صورت گرفته و شامل انتخاب موضوعات آزمون، انتخاب نمونه‌ها، روش‌های تشخیصی، تفسیر نتایج آزمایش و امنیت می‌باشد. تست RT-PCR در زمان واقعی ممکن است برای اهدافی از جمله تأیید موارد مشکوک به COVID-19 و تصمیم‌گیری در مورد آزادی بیماران COVID-19 تأیید شده از قرنطینه انجام شود. مواردی با تب (۳۷/۵ درجه سانتیگراد یا بالاتر) و / یا علائم تنفسی (سرفه، گلودرد و غیره) ظرف ۱۴ روز پس از تماس نزدیک با یک مورد تایید شده به عنوان مشکوک به ویروس کرونا تشخیص داده می‌شوند (۷).

پژوهشی که اخیراً در ووهان چین (آوریل ۲۰۲۰) انجام شد نشان داد که راه اصلی انتقال بیماری کرونا تماس نزدیک و قطره تنفسی است، اما حضور ویروس در محیط و ابزار بیمارستانی نیز علت دیگر شیوع بالای آن است. افزایش فاصله بین افراد به علت امکان وجود آئروسل‌ها و ویروس در بیش از ۴ متری فرد آلوده، آلودگی محیط و حضور ویروس بر سطوحی مانند زمین علت سقوط قطرات تحت تأثیر جاذبه و یا انتقال از طریق کفش کارکنان ضروری است. از بین وسایلی که کادر پزشکی با آن‌ها تماس دارند بیشترین میزان آلودگی در ماوس کامپیوتر، سطل آشغال، دسته‌های تخت بیمارستان و دستگیره در می‌باشد. حضور ویروس بر روی تجهیزات محافظتی کادر درمان به نسبت کمتر است، اما بر آستین، دستکش و ماسک‌ها وجود دارد که بیانگر لزوم ضدعفونی کردن و دفع آلودگی از تجهیزات محافظتی پزشکی در مراکز درمانی است (۸).

با توجه به مطالعه جدیدی که در مجله ویرولوژی منتشر شده است، ویروس کرونا می‌تواند به مدت ۲۸ روز بر روی برخی سطوح، از جمله صفحه نمایش تلفن، پول کاغذ، و فولاد ضد زنگ باقی بماند. این ویروس در دماهای پایین‌تر عمر طولانی‌تری دارد و تمایل دارد که در سطوح غیرمتخلخل و صاف مانند شیشه و فولاد ضدزنگ به جای سطوح متخلخل و خشن مانند پنبه، عمر طولانی‌تری داشته باشد. در دمای ۲۰ درجه سلسیوس، نیمه‌عمر یا زمان لازم برای از بین بردن نیمی از مقدار اولیه ویروس بر روی کاغذ حدود ۲/۷۴ روز بود و پس از ۹ روز، ۹۰ درصد از ویروس از بین رفته بود. همچنین نیمه‌عمر این ویروس در پنبه ۱/۶۸ روز بود و ۹۰ درصد از آن پس از ۵/۵ روز از بین رفته بود. به‌طورکلی در رابطه با زمان ماندگاری ویروس کرونا روی سطوح پارچه از جمله لباس و کتان می‌توان گفت که تحقیقات زیادی در مورد مدت عمر ویروس بر روی پارچه وجود ندارد، اما احتمالا به مدت آلودگی به اندازه سطوح سخت طول نمی‌کشد (۹).

باکتری

باکتری‌ها، موجودات تک سلولی هستند که در اثر گرما و رطوبت بسیار سریع رشد می‌کنند و باکتری‌ها به دو گروه بزرگ و کلی شامل گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس و گرم منفی اشرشیا کلی که برخی از آن‌ها بیماری‌زا بوده، تقسیم‌بندی می‌شوند (۲).

اهمیت منسوجات نظامی ضدمیکروبی

از آن‌جا که اکثر منسوجات از مواد آلی ساخته شده‌اند و دارای ساختار متخلخل هستند و رطوبت را در خود نگه می‌دارند، می‌توانند مواد مغذی ضروری را برای زندگی میکروب‌ها فراهم کنند و ممکن است که باعث ایجاد عفونت‌ها شوند که می‌تواند برای سلامت انسان‌ها مضر باشد (۱). در واقع مواد نساجی و پارچه نقش مهمی در ایجاد محیط مناسب برای رشد میکروارگانیسم‌ها مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و غیره دارند. بر اساس گزارش‌های اخیر، میکروارگانیسم‌ها می‌توانند بیش از ۹۰ روز بر روی سطوح پارچه در محیط‌هایی مثل بیمارستان‌ها زنده بمانند. این میزان بالای بقا میکروارگانیسم‌ها در منسوجات پزشکی می‌تواند باعث انتقال بسیاری از بیماری‌ها در بیمارستان‌ها شود (۱۰).

میکروارگانیسم‌ها می‌توانند به شکل آئروسل و یا به‌صورت مایع درآمده و از طریق پارچه به بدن منتقل شوند و هم‌چنین پارچه‌های آلوده باعث انتقال عوامل بیماری‌زا به‌صورت درون‌زا و برون‌زا می‌شوند که این باعث افزایش عفونت‌های مختلف در بین کادر پزشکی و بیماران می‌شود (۱۱).

در واقع خصوصیات ذاتی الیاف نساجی، ساختار بسترها، فرآیندهای شیمیایی و همچنین محیط مرطوب و گرم می‌تواند فضایی را برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم کند علاوه‌بر این، رنگرزی و از بین رفتن خصوصیات عملکردی منسوجات نظامی نیز می‌تواند باعث حمله میکروبی شود (۲). الیاف و مواد الیافی علاوه‌بر استفاده به‌عنوان لباس برای کاربردهای مختلف مانند مبلمان منزل، کالاهای ورزشی، منسوجات پزشکی، تصفیه آب و بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه با افزایش آگاهی از نگرانی‌های زیست محیطی و انسانی و برای کاهش باکتری‌ها در محیط‌های بهداشتی و هم‌چنین برای کاهش عفونت‌های بیماری‌زا ناشی از مواد نساجی، تلاش برای تولید محصولات ضدباکتری افزایش یافته است (۱۰،۱۲).

از آن جا که منسوجات به‌طور گسترده در زندگی روزمره مورد استفاده قرار می‌گیرند، تولید الیاف ضدمیکروبی دارای یک جنبه مهم و ارزشمند می‌باشد (۱۳) و با توجه به مسائل اقتصادی و اهمیت آن‌ها، امروزه به‌صورت گسترده محصولات و یا سطوح کالاها با مواد ضدمیکروب اصلاح می‌شوند تا تکثیر میکروارگانیسم‌ها را به تاخیر انداخته و یا مانع از رشد آن‌ها شوند و منسوجات که یکی از بهترین و عمومی‌ترین مواد واسطه جهت انتقال، رشد و انشار میکروارگانیسم‌ها هستند، بهترین راه برای جلوگیری از آثار مخرب آن‌ها استفاده از منسوجات ضدمیکروب می‌باشد، از این رو امروزه استفاده از منسوجات ضدمیکروبی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد (۱).

دلایل استفاده از مواد ضدمیکروبی در منسوجات نظامی

منسوجات می‌توانند به دلایل مختلفی از جمله دلایل بازرگانی، بازاریابی و کاربردی نیز تحت عملیات ضدمیکروبی قرار گیرند و محصولات تجاری همراه با خواص ضدباکتری با نام‌های تجاری مختلف در بازار موجود می‌باشند و مواد تجاری را می‌توان در حین عملیات رنگرزی و تکمیل بر روی پارچه قرار داد. از دلایل مهم استفاده از مواد ضدمیکروبی در منسوجات نظامی می‌توان به مواردی از جمله بهبود کیفیت کالا و برخی خواص پارچه در برابر میکروارگانیسم‌ها مانند جلوگیری از تخریب پلیمرها، تغییر رنگ، افزایش دوام پارچه و محافظت از منسوجات در برابر مواد رنگزا و رنگرزی اشاره کرد و استفاده از این مواد باعث کنترل گسترش میکروارگانیسم‌ها بر روی مواد نساجی خواهد شد. این نوع منسوجات ضدمیکروبی در محیط‌های کلینیکی که از نظر بهداشتی بسیار حساس هستند نیز بکار می‌روند زیرا این منسوجات باید میزان رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها را بر روی سطوح پارچه‌های مورد استفاده و همچنین انتقال میکروب‌ها از سطح الیاف را به پایین‌ترین حد ممکن برسانند و از آلودگی ناشی از میکروب‌ها جلوگیری کنند (۱۴،۱۵).

کاربرد منسوجات نظامی ضدمیکروبی

امروزه، تکمیل ضدمیکروبی منسوجات نظامی در تولید محصولات نساجی محافظ، تزیینی و فنی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و استفاده از منسوجات ضدمیکروبی، کاربردهای مختلف در صنایع نساجی، دارویی، پزشکی، مهندسی، کشاورزی و صنایع غذایی را فراهم کرده است (۱۲).

پارچه‌های ضدمیکروبی نظامی کاربردهای گسترده‌ای دارند. از کاربردهای آن در فضای باز می‌توان به چادر، پارچه کرباسی، سایبان، پرده‌ها، چترهای آفتاب‌گیر، بادبان و لباس‌های ضدآب اشاره کرد، همچنین کاربردهای داخلی آن شامل پرده‌های حمام و تشک می‌باشد. منسوجات ضدمیکروبی برای تولید لباس‌های ورزشی، تی‌شرت و جوراب نیز کاربرد دارند. همچنین از این نوع منسوجات در زمینه پزشکی برای آماده‌سازی بستر بیمار استفاده می‌شود. در سال‌های گذشته تقریبا صدهزارتن الیاف ضدمیکروبی تولید شده است و بسیاری از ترکیبات جهت ایجاد فعالیت ضد میکروبی در منسوجات مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۴).

علاوه‌براین، در کاربردهای پزشکی، پارچه‌های ضدمیکروبی در پانسمان زخم و یا پوشش‌های محافظتی از نظر خطر زیستی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و همچنین کنترل و پیشگیری از بیماری‌های عفونی با استفاده از منسوجات ضدمیکروبی در مراقبت‌های بهداشتی، محصولات مراقبت شخصی، دامپزشکی، لباس‌های نظامی، لباس های محافظ، پوشاک، کالاهای خانگی و فیلتراسیون کاربرد زیادی دارد (۱۶).

انواع روش‌های ضدمیکروب کردن منسوجات

بر اساس ماده ضدباکتری و نوع لیف، روش‌های گوناگونی به منظور ضدباکتری کردن الیاف، نخ و پارچه وجود دارد که این روش‌ها در حال توسعه هستند (۱۷) در مرحله تولید محصولات نساجی ضدمیکروب، باید به چگونگی آماده سازی منسوجات توجه داشت و همچنین به دلیل اینکه عملیات مکانیکی، حرارتی و شیمیایی ممکن است به خواص بیولوژیکی منسوجات اصلاح شده آسیب برساند، تمام نیروهای مکانیکی و فرآیندهایی که بر روی منسوج انجام می‌شود باید در نظر گرفته شود. از این رو روش‌های زیر برای ضدمیکروب کردن منسوجات در نظر گرفته شده است (۱).

روش اصلاح پلیمر از طریق کوپلیمریزاسیون با مونومرهای حاوی خواص ضدمیکروبی

پلیمرهایی که فعالیت ضدمیکروبی دارند اغلب برای بسته‌بندی مواد غذایی، بهداشتی یا دارویی مورد نیاز هستند. آن‌ها همچنین می‌توانند به‌عنوان مواد پوشش‌دهنده برای اشیا متداول مانند دستگیره‌های در، اسباب بازی کودکان و صفحه کلیدهای رایانه برای جلوگیری از انتقال عفونت‌های میکروبی مورد استفاده قرار گیرند. این محصولات معمولاً با استفاده از پلیمرهای مصنوعی ترکیب شده با مواد ضدمیکروبی تهیه می‌شوند.

با این حال، نفوذ مقادیر زیاد مواد ضدمیکروبی در بستر برخی مواد پلیمری ممکن است باعث ایجاد تأثیرات سمی روی بدن انسان شود به همین دلیل پیوند کووالانسی مواد ضدمیکروب با ماتریس‌های پلیمری می‌تواند این مشکل را کاهش دهد و یا از بین ببرد، این عمل می‌تواند توسط پلیمریزاسیون مونومرهایی که دارای خواص ضدمیکروبی هستند و یا توسط اتصال مستقیم مواد شیمیایی و دارویی بر روی عوامل فعال پلیمرهای رایج مصنوعی انجام شود. واکنش پنتا کلروفنول با اکریل کلرید باعث تولید پنتا کلروفنول اکریلات می‌شود که هم با وینیل استات و هم با اتیل اکریلات کوپلیمریزه می‌شود که این عمل مانع از رشد برخی از میکروارگانیسم‌ها می‌شود و یا حتی می‌تواند رشد آن‌ها را کند نماید. گروه ۲-بنزمیدازول کربونیل می‌تواند فعالیت ضدمیکروبی خوبی در برابر میکروارگانیسم‌ها داشته باشد (۱۸).

به‌طور کلی این روش را می‌توان با استفاده از اصلاح پلیمر از طریق کوپلیمریزاسیون با مونومرهای حاوی گروه‌های عاملی زیست فعال انجام داد. مزیت این روش این است که عناصر زیست فعال جدایی‌ناپذیر از الیاف را همراه با اثرات پایدار تشکیل می‌دهد و عیب این روش این است که فناوری به دلیل نیاز به کوپلیمریزاسیون گران است (۱۹).

روش اضافه نمودن مواد ضدمیکروب به محلول ریسندگی

عملیات ضدباکتری بر اساس کاربرد مواد شیمیایی ضدباکتری در مرحله تکمیل کالای نساجی و یا ترکیب مواد ضدمیکروب و زیست فعال در حالت محلول یا مذاب ریسندگی انجام می‌شود. ایجاد خواص ضدباکتری در منسوجاتی که دارای الیاف مصنوعی هستند به این صورت است که مواد مختلف ضدباکتری را می‌توان

به پلیمر قبل از اکستروژن و یا به الیاف در هنگام تشکیل آن‌ها اضافه کرد که اضافه کردن این مواد ضدباکتری در پلیمر در طول فرآیند تولید الیاف و نخ باعث ایجاد خواص ضدمیکروبی دائمی در آن‌ها می‌شود (۱۷،۱۹).

در این روش، افزودن ترکیبات ضدمیکروبی در مرحله تولید الیاف می‌باشد و در روش‌های مختلف دیگر تولید الیاف مانند ذوب‌ریسی، تر‌ریسی، خشک‌ریسی و الکتروریسی می‌توان با افزودن مواد ضدمیکروب به محلول یا مذاب ریسندگی، الیافی با خاصیت ضدمیکروبی تولید کرد (۲۰). یک سری افزودنی‌های معدنی که غیرسمی و بی‌خطرند وجود دارد که می‌تواند برای الیاف استفاده شود مانند Ge^{+4} ، Cu^{+2} ، Zn^{+2}، $Ag+$. امروزه استفاده از روش افزودن مواد فعال به عنوان مواد تزریقی به خصوص ژئولیت‌ها و یا مواد سرامیکی حاوی فلزات مورد توجه قرار گرفته است. مواد فعال سمی نیستند، ثبات حرارتی خوبی دارند، در برابر حلال‌ها و شوینده‌ها مقاوم هستند و بر اثر تماس با پوست حساسیت ایجاد نمی‌کنند اما یک سری مشکلاتی نیز دارند از جمله: ممکن است الیاف بر اثر واکنش با این فلزات حین تولید تغیر رنگ دهند، برای همگن‌سازی و ایجاد دیسپرسیون یکنواخت باید از پودر درون الیاف استفاده شود و برای جلوگیری از گرفتگی منافذ رشته ساز باید اندازه ذرات تا حدود یک میکرون کوچک شود بنابراین برای بهبود خواص مواد افزودنی مانند قطر ذرات، مقاومت حرارتی–شیمیایی، عدم برهم کنش تجزیه‌ای با پلیمر و عدم تاثیر منفی بر کیفیت الیاف باید با شرایط فرآیند تولید هماهنگ باشد (۱).

روش‌های تکمیلی

تکمیل به عملیاتی گفته می‌شود که پس از تولید بر روی پارچه انجام می‌گیرد تا خصوصیات آن را بهبود دهد. الیاف طبیعی و منسوجاتی مانند پارچه و منسوجات بی‌بافت که امکان ضدمیکروب کردن آن‌ها در مرحله تولید الیاف وجود نداشته باشد را می‌توان در مرحله تکمیل، ضدمیکروب کرد. به منظور ایجاد خاصیت ضدمیکروب در پوشاک می‌توان از روش‌های تکمیلی مانند آغشته‌سازی و افشانه حاوی نانومواد ضدمیکروب و سایر روش‌های دیگر استفاده کرد.

با وجود اینکه این روش‌ها از جمله استفاده از نانوذرات یکی از ساده‌ترین روش‌های تکمیلی برای تولید منسوجات ضدمیکروب است اما عدم اتصال نانوذرات به منسوجات منجر به رهایش این مواد می‌شود. در نتیجه علاوه بر کاهش خواص موردنظر در منسوجات، سبب آلودگی محیط زیست و افزایش احتمال ورود این مواد به بدن انسان و ایجاد بیماری‌های ناشی از حضور این ذرات در بدن می‌شود (۳). در واقع می‌توان گفت که روش‌های تکمیلی با وجود اینکه بیشترین کاربرد را در زمینه ضدباکتری کردن منسوجات به خصوص پارچه‌های سلولزی دارند، ثبات اصلاح ضدباکتری در این روش نسبت به سایر روش‌های دیگر مثل پیوند زدن و یا اضافه کردن ماده به محلول و یا مذاب ریسندگی کمتر است (۱).

یکی از روش‌های تکمیلی برای تولید نخ ضدمیکروب، عبور نخ اولیه از درون محلول حاوی نانوذرات ضدمیکروب می‌باشد. در این روش نانوذرات همانند آهار بر روی نخ تولیدی قرار می‌گیرند که از این روش می‌توان برای ضدمیکروب کردن انواع نخ پنبه‌ای، ابریشمی، پشمی و مصنوعی استفاده کرد. در صنعت نساجی، عدم آلودگی محیط زیست و سلامت و ایمنی افراد به اندازه کارایی منسوجات ضدمیکروب اهمیت دارد. رهایش مواد ضدمیکروب به محیط پیرامون می‌تواند بر سلامت موجودات زنده تاثیر منفی داشته باشد پس با این رویکرد، استفاده از مواد اتصال‌دهنده به دلیل عدم رهایش ترکیبات به محیط اطراف انتخاب مناسبی می‌باشد. تکمیل ضدمیکروبی از طریق فراهم کردن خواص حفاظتی از راه‌های مختلف می‌تواند ارزش منسوج و لباس را افزایش دهد مثل:

۱) جلوگیری از رشد باکتری و قارچ که به کمک آن، منسوج را در برابر بوی نامطبوع، لکه و کاهش سریع عملکرد و کیفیت حفظ می‌کند.

۲) محافظت از مصرف‌کننده منسوجات در مقابل باکتری، مخمر، قارچ و دیگر میکرواورگانیسم‌ها از نظر بهداشتی، پزشکی و زیبایی.

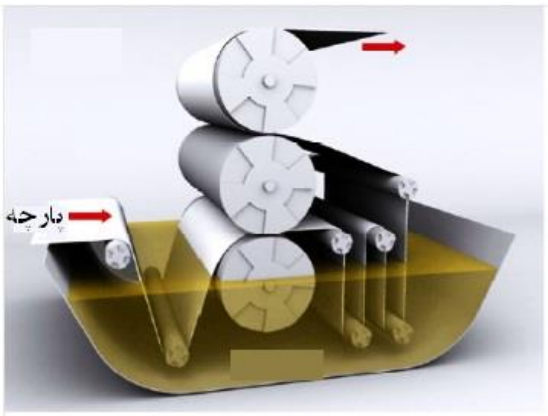
۳) منسوج را در مقابل تخریب که توسط کپک، باکتری و قارچ ایجاد می‌شود، حفاظت می‌کند.

۴) از منسوج در مقابل حشرات و دیگر آفت‌ها مراقبت می‌کند و هم‌چنین از افرادی که لباس را می‌پوشند نیز در مقابل حشرات و دیگر آفت‌ها محافظت می‌کند (۳).

از جمله تحقیقاتی که در آن از روش تکمیلی برای ضدمیکروب کردن منسوجات استفاده شده است می‌توان به تحقیق Gouda و همکارانش اشاره کرد که در آن بر روی پارچه‌های پنبه‌ای به منظور بهبود خواص ضدباکتری، عملیات تکمیلی را با استفاده از کربامیل گوانیدین فسفات به روش پد خشک انجام دادند. سپس پارچه‌ها به کمک برخی از نمک‌های فلزی مانند نمک‌های کلرید آمونیوم، کلرید نیکل و کلرید مس عمل شدند. نتایج نشان‌دهنده خواص ضدباکتری خوب بر روی پارچه پنبه‌ای بود و هم‌چنین کلرید مس خاصیت ضدباکتری قوی‌تر و ثبات شستشویی بهتری نسبت به نمک‌های فلزی دیگر نشان داد و پس از ۳۰ بار شستشو خاصیت ضدباکتری آن‌ها هم‌چنان پایدار ماند (۲۱).

استفاده از روش آغشته سازی (روش پد): در این روش پارچه می‌تواند با تقریباً ۸۰٪–۷۰٪ مواد ضدمیکروبی پد شود و همراه با عوامل ضدمیکروبی خاص مثل اتصالات عرضی، چسب و غیره می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. پد کردن باید با عمل خشک کردن و یا پخت در استنتر انجام شود (۱۹) که در فرآیند پد، فرمولاسیون‌های ضدمیکروبی معمولا در دمای اتاق یا درجه حرارت بیشتر بکار می‌رود و محدوده برداشت بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد است که برداشت متفاوت اجزا حمام بر اساس میزان افتتیه آن‌ها نسبت به کالا می‌باشد پس امکان برداشت ترکیبات مختلف با

سرعت متفاوت از حمام وجود دارد (۱). شکل ۱ به‌صورت شماتیک، روش آغشته سازی (پد) را نشان می‌دهد.



شکل-۱. روش آغشته سازی (پد) (۲۲)

در سال ۲۰۲۰ پالیزبان و همکارانش از روش آغشته‌سازی برای ضدمیکروب کردن پارچه پلی‌استر/پنبه استفاده کردند که آن‌ها در تحقیق خود، پارچه‌های جاذب ضدباکتری را از طریق آغشته سازی پارچه‌های پلی استر/پنبه در یک محیط مرطوب حاوی مونومرهای اکریلیک و مواد ضدباکتری مختلف تهیه کردند. ۲-آکریل آمید و ۲-متیل پروپان سولفونیک اسید (AMPS) و یک الیگومر کاربردی جدید به شکل ستاره (FSO) به عنوان مونومر برای ایجاد خاصیت جذب و سازگاری با پارچه استفاده شد. FSO در دو مرحله و با استفاده از واکنش تراکم بین گلیسرول و اسید لاکتیک از طریق تابش مایکروویو چند مرحله تهیه شد. مواد زیستی مانند گلیکوتانیک اسید به عنوان مواد ضدباکتری برای افزایش خواص ضدباکتری پارچه پنبه‌ای استفاده شد. هم‌چنین محلول نمک برای ارزیابی بیشتر فعالیت ضدباکتری مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که آزمایش‌های مربوط به خواص ضدباکتری این پارچه‌های جاذب، رفتار ضدباکتری بسیار خوبی را در برابر باکتری استافیلوکوکوس اورئوس دارد و همچنین این آزمایش‌ها نشان دادند که پارچه مورد آزمایش عمل شده با تانیک اسید یا گالیک اسید، دارای خواص ضدباکتری هستند و نمونه‌های عمل شده با تانیک اسید در مقایسه با پارچه‌های عمل شده با گالیک اسید فعالیت ضدباکتری بیشتری دارند و در نهایت بیان کردند که پارچه‌های ضدباکتری جاذب، پارچه‌هایی هستند که می‌توانند در کاربردهای مختلفی مانند پزشکی، غذایی یا محصولات بهداشتی مانند دستمال، بسته بندی گوشت و پروتئین، لباس جراحی و لباس نظامی استفاده شوند (۲۳).

استفاده از روش رمق‌کشی: پارامترهای مهم در این روش عبارتند از: نسبت مایع به کالا، زمان، دما و pH . این پارامترها می‌توانند با گذشت زمان رمق‌کشی تغییر کنند اما در مقیاس تجاری، کنترل فرآیند معمولاً به کمک دما انجام می‌شود. شرایط رمق‌کشی به خصوص دما می‌تواند بر روی ثبات و پایداری تکمیل مؤثر باشد (۱).

در این روش، منسوج در شرایط مشخص درون یک محلول قرار داده می‌شود و در این مدت مقدار زیادی از مواد داخل محلول مثلا نانوذرات موجود در محلول را برداشت می‌کند که معمولاً این روش با اعمال حرارت بیشتر و مدت زمان طولانی‌تری نسبت به روش پد صورت می‌گیرد (۲۲).

در این زمینه می‌توان به تحقیق آهنی و همکارانش اشاره کرد که در آن از پلیمر پلی هگزا متیلن بیگوانید هیدروکلراید (PHMB) برای ضدمیکروبی کردن کالای پشمی استفاده کردند. در ابتدا PHMB به روش رمق‌کشی بر روی پارچه پشمی خام و عمل شده با آنزیم پروتئاز قرار گرفت و سپس خواص ضدباکتری از طریق آزمون ضدباکتری در مقابل دو نوع باکتری گرم منفی اشرشیاکلی و گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش ضدباکتری در برابر دو باکتری گرم منفی اشرشیاکلی و گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس نشان داد که پارچه‌های بارگذاری شده با PHMB در مقابل هر دو نوع باکتری از خواص ضدباکتری بالایی برخوردار هستند و مقایسه بین پارچه‌ی پشمی خام و عمل شده با آنزیم پروتئاز بارگذاری شده با PHMB نشان می‌دهد که پارچه پشمی عمل شده از خواص ضدباکتری بالایی برخوردار است و می‌توان از PHMB برای ضدمیکروبی کردن پارچه پشمی استفاده کرد (۲۴).

استفاده از روش افشانه نانوذرات بر سطح منسوجات:

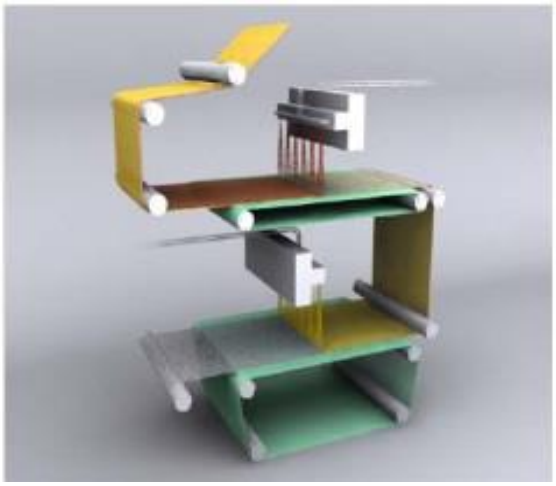
استفاده از افشانه روش دیگری برای تکمیل شیمیایی منسوجات با میزان کمتر مصرف آب نسبت به روش‌هایی از جمله آغشته سازی و رمق‌کشی است. در این روش می‌توان از یک یا دو افشانه برای پوشش‌دهی یک یا دو طرف منسوج استفاده نمود. نازل‌های افشانه باید به نحوی در امتداد عرض پارچه قرار داده شوند که سراسر پارچه را پوشش دهند.

در این روش، نفوذ محلول در منسوج به میزان محلول استفاده شده برای افشانه و خاصیت ذاتی الیاف در جذب مایعات وابسته است. برای مثال در پارچه پنبه‌ای به دلیل قابلیت مناسب جذب مایعات، محلول مورد استفاده کمتر به طرف دیگر پارچه مهاجرت می‌کند، در صورتی که برای پلی استر یا سایر الیاف آبگریز، امکان جذب مایعات توسط الیاف بسیار کم است و این عمل باید از طریق خاصیت موئینگی الیاف انجام شود. در شکل ۲ نمایی از یک سیستم تکمیل افشانه‌ای پارچه نشان داده شده است که از این روش برای پوشش‌دهی منسوجات با نانوذرات از قبل سنتز شده استفاده می‌شود (۲۲).

استفاده از لایه نشانی نانوذرات با استفاده از کف:

روش لایه نشانی از طریق کف یکی از روش‌های تکمیل شیمیایی منسوجات است که با استفاد از آن به مقدار قابل توجهی در میزان مصرف آب صرفه جویی می‌شود. برای ایجاد کف، از یک ماده سطح فعال یا عامل ایجاد کف استفاده می‌شود.

چگالی کف که از پارامترهای مهم در این روش است به عنوان



شکل-۲. سامانه تکمیل افشانه ای پارچه (۲۲)

نسبت حجم کف به حجم مایع اولیه بیان می‌شود. در کف‌هایی با چگالی کمتر نسبت به کف‌هایی با چگالی بیشتر، اندازه حباب‌های مایع بزرگ‌تر است. پایداری کف وابسته به استحکام دیواره حباب‌های مایع است و افزودن یک ماده غلظت‌دهنده یا پلیمر انحلال پذیر در آب که گرانروی مایع را افزایش دهد منجر به پایداری بیشتر کف می‌شود. کف‌های پایدار با استفاده از سیستم چاقویی یا غلتک پوشش‌دهنده دوار افقی و کف‌هایی با پایداری متوسط با استفاده از سیستم تولید و اعمال همزمان کف بر روی منسوجات پوشش داده می‌شوند. پس از پوشش دادن با کف، پارچه از میان غلتک‌های تحت فشار و یا تحت خلاء عبور می‌کند تا حباب مایع ترکیده و محلول به داخل پارچه نفوذ کند (۲۲).

روش اسپری: روش اسپری، یک روش دیگر برای ضدمیکروبی کردن منسوجات است که به‌دلیل خطرناک بودن به عنوان روش مناسبی توصیه نمی‌شود و برای بکار بردن آن نیاز به مهارت است و معمولا این روش برای ضدمیکروبی کردن پارچه‌های بی‌بافت مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۹).

روش ضدمیکروب کردن منسوجات به کمک شستشو:

اکثر ترکیبات ضدمیکروبی از طریق شستشو عمل می‌کنند که آن‌ها بر روی سطحی که در آن بکار رفته‌اند حرکت می‌کنند و وارد میکرواورگانیسم‌ها می‌شوند و آن‌ها را سمی کرده و پروسه حیات آن‌ها را از هم می‌پاشند و در نهایت منجر به مرگ میکروب‌ها می‌شوند.

در روش شستشو، مقدار مواد ضدمیکروبی برای عملکرد آن‌ها مهم می‌باشد به این گونه که اگر مقدار ترکیب مورد استفاده بسیار کم باشد منجر به عدم کنترل میکروب‌ها می‌شود و اگر مقدار مورد مصرف بسیار زیاد باشد، می‌تواند اثرات جانبی و آسیب‌پذیری را داشته باشد. این نوع ترکیبات زمانی که در منسوجات استفاده می‌شوند، دوام کمی دارند و باعث ایجاد مشکلات می‌شوند و همچنین ممکن است به باکتری‌های طبیعی پوست آسیب برسانند و موجب مشکلات پوستی مثل جوش و حساسیت پوستی شوند (۳).

تکمیل به روش سل-ژل (Sol-gel): در میان تکنیک‌های مختلف تکمیل، برای کاربردهایی با تکنولوژی و یا عملکرد بالا، تکمیل شیمیایی به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است که تکمیل منسوجات با کمک سل-ژل نقش اساسی در پیشرفت کاربردهای جدید برای بهبود خواص منسوجات داشته است. تکمیل پارچه بر پایه سل-ژل دارای مزایای زیادی است از جمله مزایای اصلی آن سازگاری با محیط زیست، استفاده کمتر از مواد شیمیایی، کم هزینه بودن، تکمیل با درجه حرارت پایین، سمیت کم برای سلامتی انسان، محافظت از خواص ذاتی مواد نساجی و امکان کنترل ضخامت پوشش و ایجاد پایداری برای پارچه‌های تکمیل شده می‌باشد (۲۵).

به طور کلی سل-ژل یک فرآیند مرطوب است و برای سنتز سل-ژل، محلول همگن بر اثر حل شدن پیش‌ماده در یک واکنش حلال (آب یا یک حلال آلی) صرف نظر از اینکه ماده اولیه یک نمک غیر آلی و یا یک آلکوکسید فلزی باشد تشکیل می‌شود. عملکرد فرآیندهای سل-ژل را می‌توان به پنج مرحله تقسیم کرد: هیدرولیز، تراکم (ژلاسیون)، تشکیل ژل، بکارگیری و بهبود دادن (۲۶).

می‌توان گفت که فناوری سل-ژل یکی از راحت‌ترین و متداول‌ترین روش‌ها برای تهیه فیلم‌های نازک بر روی سطوح مختلف می‌باشد و پیش‌ماده سل-ژل معمولاً به‌صورت تجاری در دسترس هستند بنابراین، بلوک‌های ساختاری را برای تشکیل پوشش‌های ضدرسوب و ضدمیکروب ایجاد می‌کنند. این پوشش‌های آلی غیر معدنی به‌راحتی از طریق گروه آلکوکسی پیش ماده سل-ژل به سطوح هیدروکسیل متصل می‌شوند و پیوندهای سیلوکسان ایجاد می‌کنند. از این رو، فیلم‌های سل-ژل به‌صورت کووالانسی به سطح متصل می‌شوند و در مقایسه با سایر پوشش های جذب شده پایداری بسیار خوبی دارند (۲۵).

از جمله سیستم‌های سل-ژل که دارای خواص باکتریواستاتیک یا ضدباکتری هستند می‌توان به سیستم‌هایی از نوع پوشش‌های فعال نوری دی‌اکسیدتیتانیوم و پوشش‌های سل-ژل با فلزات کلوئیدی و یا ترکیبات فلزی مانند نقره، نمک نقره، ترکیب مس، روی یا نمک آمونیوم نوع چهارم اشاره کرد. بنابراین فناوری سل-ژل می‌تواند بر روی منسوجات برای ایجاد خواص ضدباکتری، آبگریزی، فوق آبگریز، مقاومت در برابر شعله، محافظت در برابر اشعه ماورا بنفش، فتوکاتالیستی و مقاومت در برابر سایش مورد استفاده قرار گیرد (۲۶).

Zhang و همکارانش در سال ۲۰۱۹، نانوذرات دی اکسید تیتانیوم را با پوشش آمینو با اندازه مورفولوژی ۱۲ نانومتر با استفاده از تترابوتیل تیتانات و آمینو پلیمرها و به کمک روش دو مرحله ای سل-ژل و هیدروترمال برای تهیه پارچه پنبه‌ای، سنتز کردند. نانوذرات دی اکسیدتیتانیوم آماده شد و سپس پارچه پنبه‌ای عمل شد و خواص ضدباکتری آن‌ها مشخص شد. به دلیل آمینوهای بی‌شمارگروه‌ها، نانوذرات دی اکسیدتیتانیوم روی پارچه پنبه‌ای

جذب شدند. نتایج نشان داد که پارچه‌های پنبه‌ای عمل شده، خاصیت ضدباکتری عالی تحت نور مریی دارند و همچنین نتیجه گرفتند که میزان رشد باکتری‌های گرم منفی اشرشیاکلی و گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس می‌تواند بیش از ۹۹٪ کاهش یابد (۲۷). در تحقیق دیگر Arik و همکارانش در سال ۲۰۲۰، به منظور بررسی فعالیت ضدباکتری پارچه‌های کتان از یک فرآیند پوشش‌های سل–ژل که مواد شیمیایی مختلف روی به آن اضافه شده بود استفاده کردند. علاوه‌بر این، اثرات نانو پودرهای اکسیدروی در اندازه نانو و نمک‌های روی در اندازه میکرو را نیز مورد مطالعه قرار دادند. نمونه پارچه‌های کتان تکمیل نشده و پوشش داده نشده با سیلیکا خالص مورد استفاده قرار گرفت و پوشش سل–ژل با نمک روی (استات روی، نیترات روی و سولفات روی) و نانو پودرهای اکسید روی بر روی آن انجام شد. پوشش‌ها به روش پد–خشک–پخت بر روی پارچه‌های کتان قرار گرفتند سپس خواص ضدباکتری نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آن نشان داد که در نمونه پارچه-های کتان پوشش داده نشده هیچ کاهش قابل توجهی در باکتری‌ها مشاهده نشد و هیچ فعالیت ضدباکتری وجود نداشت. از طرف دیگر، در تمام نمونه‌های تکمیل شده، میزان کاهش باکتری بالاتر از ۹۰٪ نشان داده شد و این به‌دلیل وجود ماده شیمیایی روی و عملکرد ضدباکتری فلز روی است و هم‌چنین مشاهده شد که فعالیت‌های ضدباکتری نانو پودرهای اکسید روی در اندازه نانو بهتر از نمک‌های روی در اندازه میکرو می‌باشد و در غلظت‌های بالای مواد شیمیایی روی، میزان کاهش باکتری در تمام نمونه‌ها ۹۹/۹۹٪ بود، همچنین با توجه به نتایج حاصله بیان کردند که پوشش سل–ژل می‌تواند باعث ایجاد خواص ضدباکتری عالی شود و فعالیت ضدباکتری مربوط به باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس نسبت به باکتری گرم منفی اشرشیاکلی بهتر بود، پس بنابراین با استفاده از این روش، فعالیت ضدباکتری می‌تواند در فرآیند موردنظر بهبود یابد (۲۸).

ضدمیکروب کردن منسوجات با استفاده از نانوذرات:

امروزه فناوری نانو مورد توجه قرار گرفته است که از این فناوری برای پوشش نانوذرات بر روی پارچه استفاده می‌شود تا علاوه بر جلوگیری از انتشار باکتری‌ها مانع از تخریب و تغییر رنگ پارچه توسط میکروارگانیسم‌ها شود. نانوذرات مبتنی بر فلز که ساختار آن‌ها دارای ویژگی‌هایی از نظر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌باشد به عنوان یکی از امیدوارکننده‌ترین راه‌ها برای تولید منسوجات ضدباکتری بیان شده است. نانوذرات فلزی متداول که در تولید منسوجات ضدباکتری استفاده می‌شوند عبارتند از Ag، ZnO، Cu و TiO2. همچنین تحقیقاتی در زمینه سایر نانوذرات فلزی که بر پایه فلز اند مثل Fe، CeO2، Au، SiO2، Ni و Pt برای تولید منسوجات ضدباکتری انجام شده است که علاوه بر خواص ضدباکتری دارای ویژگی‌های منحصر به فرد می‌باشند که باعث بهبود بیشتر خواص پارچه می‌شوند (۲۹) در واقع استفاده از نانوذرات فلزی به‌عنوان یک روش مناسب در نظر گرفته می‌شود زیرا نانوذرات فلزی می‌توانند در مقایسه با سایر ذرات بزرگتر در محلول‌های موردنظر سریع‌تر حل شوند و یون‌های فلزی اثر ضدمیکروبی قوی را از خود نشان می‌دهند (۳۰).

در این زمینه Bu و همکارانش، پارچه ویسکوز ضدباکتری و ابر آبگریز مقاوم را از طریق نانوذرات نقره پوشش دادند و علاوه بر آن پوشیده شدن پارچه‌های ویسکوز با تانیک اسید و عملیات آبگریز انجام دادند و خواص ضدباکتری منسوج را مورد بررسی قرار دادند. و ایکسیو و همکارانش، یک روش جدید ایجاد کردند که می‌توان با استفاده از این روش ساده اشباع دو مرحله‌ای، بی‌حرکتی و محافظت از پوشش‌های نانوذره مس را بر روی پارچه‌های پنبه‌ای به‌دست آورد. آن‌ها ابتدا L–سیستین (L-Cystine) را از طریق استری‌کردن با گروه‌های هیدروکسیل سلولز به پارچه پنبه‌ای پیوند زدند، سپس نانوذرات مس بر روی سطح پارچه با حضور یک معرف محافظ اسید سیتریک بکار برده شد. بیو بر اساس تحقیق خود به این نتیجه رسید که پارچه ویسکوز دارای خواص ضدباکتری عالی در برابر اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس می‌باشد و همچنین ویسکوز عمل شده با نانوذرات نقره نیز بیش از ۹۷٪ خاصیت ضدباکتری و ابر آبگریزی بسیار خوبی را پس از ۵۰ دوره شستشو حفظ می‌کند. استحکام ابر آبگریزی و فعالیت ضدباکتری باعث می‌شود که این روش پوشش‌دهی منسوج با نانوذرات نقره و همچنین این منسوجات چند منظوره ویسکوز با خواص ضدباکتری و فوق آبگریزش، می‌تواند کاربرد مهمی در باندهای پزشکی یا لباس محافظ برای کار در محیط‌های غیر بهداشتی و مرطوب داشته باشند و نتایج حاصل از تحقیقات ایکسیو نشان داد که با توجه به اعمال تثبیت مضاعف سیستین و اسید سیتریک، نانوذره مس بی‌حرکت روی سطح پارچه اثر ضدباکتری عالی و دوام شستشویی خوبی را نشان داد. در نتیجه، میانگین اندازه پوشش نانوذره مس بر روی پارچه پنبه‌ای حدود ۶۲/۴ نانومتر بود و پارچه‌های پنبه‌ای اصلاح شده خواص ضدباکتری مطلوبی را در برابر استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکلی از خود نشان دادند که میزان کاهش رشد باکتری‌ها حتی پس از ۵۰ بار شستشو بالاتر از ۹۸٪ بود بنابراین، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این روش مناسبی برای تهیه پارچه‌های پنبه‌ای ضدباکتری درکاربردهای متفاوت از جمله جوراب، لوازم آرایشی و بهداشتی و منسوجات پزشکی می‌باشد (۳۱،۳۲).

در تحقیق دیگر، برای ایجاد خواص ضدمیکروبی در پارچه پلی استر، نانوذرات دی اکسیدتیتانیوم به شکل پودر در یک حمام فراصوت به کالای پلی‌استری اصلاح سطحی شده با روش قلیایی اضافه شد و تحت عملیات تثبیت حرارتی در دمای بالا قرار گرفت، نتایج نشان داد که کالاهای پلی‌استر تهیه شده در مقابل باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس و باکتری گرم منفی اشرشیاکلی حتی پس از ۱۰ بار شستشو خاصیت ضدباکتری خوبی داشته که این نشان‌دهنده پایداری عملیات نانو تکمیل بکار رفته

می‌باشد و هم‌چنین نتیجه گرفته شد که اگرچه کالای هیدرولیز نشده دارای ویژگی ضدباکتری قابل قبولی است اما تجمع نانوذرات در حفره‌های سطحی ایجاد شده در اثر هیدرولیز قلیایی در کالای اصلاح شده منجر به بهبود خواص ضدباکتری و پایداری بیشتر کالا می شود (۳۳).

در یک مطالعه دیگر، یک روش آسان برای اتصال نانوذرات نقره بر روی پارچه‌های پلی استر مورد استفاده قرار گرفت. در روش بکار برده شده ابتدا فیلم‌های پلیمری چند منظوره از طریق پوشش ساده پارچه‌های پلی استر در محلول آبی دوپامین تشکیل شدند. سپس نانوذرات نقره بر روی سطح پارچه‌های پلی استر اصلاح شده دوپامین در محلول آبی نیترات نقره در دمای اتاق قرار داده شد و خواص ضدباکتری نمونه‌های عمل شده مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که پارچه‌های پلی استر که با نانوذرات نقره اصلاح شدند، فعالیت ضدباکتری پایداری را حداقل پس از ۳۰ بار شستشو از خود نشان می‌دهند (۳۴).

Deng و همکاران در سال ۲۰۱۶، تکمیل پارچه پنبه‌ای را به کمک فرمولاسیون ضدمیکروبی با استفاده از نانوذرات نقره و اتصال‌دهنده آکریلات بوتیل انجام دادند و هم‌چنین از اشعه گاما یا عملیات حرارتی برای محافظت در برابر اثرات میکروبی نامطلوب استفاده کردند. نتایج نشان داد که پارچه پنبه‌ای عمل شده از نظر کمی و کیفی، فعالیت ضدمیکروبی خوبی را از خود نشان می‌دهد و هم‌چنین میزان کاهش باکتری برای اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس به ۱۰۰٪ رسیده است. آن‌ها مقاومت بسیار خوبی در برابر تجزیه بیولوژیکی ناشی از میکرو فلور خاک نشان دادند. علاوه‌بر این، آن‌ها دوام بالایی از فعالیت‌های ضدمیکروبی حتی پس از ۲۰ دوره شستشو را به نمایش گذاشتند و به ترتیب ۹۹/۱ و ۹۸/۶ درصد کاهش باکتری اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس را نشان دادند، در واقع این مطالعه بهینه‌سازی کامپوزیت کیتوسان–نقره و فرآیند تکمیل آن را نشان داد و ثابت کرد که این یک روش مناسب برای تعادل بخشیدن به اثرات ضدباکتریایی می‌باشد (۳۵) و در سال ۲۰۱۷ Zhang و همکارانش، ترکیب آمونیوم نوع چهارم ۲–دی متیل–۲–هگزا دسیل–۱–متاکریلوکسی اتیل‌آمونیوم بromید (DEHMA) را از طریق فرآیند تابش پرتو الکترونی (EB) بر روی الیاف پلی استر با اسید اکریلیک (AA) پیوند زدند و سپس الیاف پیوند زده شده برای بهبود عملکرد ضدباکتری در محلول AgNO3 خیسانده شد. در واقع ابتدا DEHMA سنتز شده بر روی الیاف پلی استر از طریق تابش پرتوالکترونی پیوند زده شد و یون‌های نقره بر روی الیاف پیوند زده شده جذب شدند تا عملکرد ضدباکتری بیشتر تقویت شود. آزمایش اثر ضدباکتری نشان داد که نمونه‌های پلی استر پیوند یافته، تمام باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکلی را در ۱۰ دقیقه غیرفعال می‌کند و همچنین فعالیت ضدباکتری بسیار بالایی دارد و پس از پوشش با یون‌های نقره، اثر ضدباکتری پلی استر پیوند داده شده با نقره در برابر استافیلوکوکوس اورئوس به‌طور قابل توجهی بهبود می‌یابد. فرآیند تابش پرتو الکترونی تنها باعث ایجاد درجه کمی از کاهش مقاومت در برابر پارگی پارچه‌های پلی استر پیوند داده شده می‌شود که در کاربرد عملی قابل قبول است و اثر هم‌افزایی یون‌های نقره و DEHMA بر روی پارچه‌های پلی استر عمل شده وجود دارد و همچنین با توجه به مزایای ذکر شده، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که پارچه‌های پلی استر اصلاح شده کاربرد زیادی در زمینه بهداشت و درمان دارند (۳۶).

در تحقیق دیگر Nourbakhsh و همکارانش، پوشش نانو ذرات اکسید مس و روی را بر روی پارچه پنبه‌ای با استفاده از تخلیه کرونا و به کمک دو روش مقدماتی و پسا تکمیل مورد بررسی قرار دادند. در روش مقدماتی، پارچه‌های پنبه‌ای ابتدا توسط تخلیه کرونا اصلاح شدند و سپس با نانوذرات پوشش داده شدند و در مرحله پسا تکمیل، پارچه‌های پنبه‌ای ابتدا به‌صورت مجزا با نانوذرات اکسید روی و مس پوشانده شدند و سپس اصلاح با اثر کرونا انجام شد. خواص خود تمیزشوندگی پارچه‌های اصلاح‌شده از طریق رنگرزی با رنگ متیلن بلو مشخص شد و همچنین آزمایش‌های ضدباکتری برای بررسی میزان عملکرد ضدباکتری انجام شد و نتایج نشان داد که با روش مقدماتی تخلیه کرونا، جذب نانوذرات مس افزایش یافته و خاصیت خود تمیز شوندگی پارچه‌های پنبه‌ای نیز بیشتر شده و هم‌چنین در روش مقدماتی، عملکرد ضدباکتری نانوذرات مس بیشتر از پسا تکمیل بوده است و علاوه بر این نتیجه گرفتند که نانوذرات اکسید روی با روش مقدماتی بیشترین اثر خود تمیز شوندگی و ضدباکتری را داشته است و هم‌چنین پوشش نانوذرات اکسید روی بر پنبه اصلاح نشده نیز عملکرد ضدباکتری بالایی را نشان داد (۳۷).

Raza و همکارانش در سال ۲۰۱۹، به منظور تولید پارچه ویسکوز ضدباکتری از یک روش آسان و قابل تولید استفاده کردند. آن‌ها نانوذرات نقره را با استفاده از کیتوسان هم به عنوان عامل کاهنده و هم به عنوان عامل تثبیت‌کننده جهت تقویت سنتز سبز نانوذرات نقره استفاده کردند. غلظت ۱ میلی مولار AgNO3 و ۱٪ کیتوسان بکار برده شد. پارچه ویسکوز مورد استفاده از قبل اصلاح شد تا نانوذرات را در سطح خود تحت اتوکلاو آغشته کند و سپس خواص ضدباکتری پارچه ویسکوز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن نشان داد که پارچه ویسکوز عمل شده، خواص ضدباکتری خوبی را در برابر باکتری‌های گرم منفی اشرشیاکلی و باکتری‌های گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس دارد و همچنین نتیجه گرفتند که استفاده از کیتوسان برای سنتز نانوذرات نقره مفید و سازگار با محیط زیست می‌باشد (۳۸).

Shahid-ul-Islam و همکارانش، از یک روش ساده و سریع بر پایه شیمی سبز برای ساخت نانوذرات نقره مبتنی بر کیتوسان بر روی پارچه کتان در حضور بایومولکول‌های عصاره تاج آناناس مانند ساکارز، فروکتوز و گلوکز استفاده کردند. با استفاده از پلی ساکارید

کیتوسان امکان ایجاد رنگرزی، فعالیت ضدباکتری و مهار رادیکال نانوذرات نقره بر روی سطح پارچه کتان می‌باشد و کیتوسان نه تنها باعث پوشش و تثبیت یون‌های نقره می‌شود بلکه از طریق هم‌افزایی با نانوذرات نقره نیز باعث ایجاد اثرات ضدباکتری و آنتی‌اکسیدانی خوبی بر روی سطح کتان می‌شود. پارچه‌های پوشش داده شده به منظور بررسی فعالیت ضدباکتری در برابر باکتری‌های اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس قرار داده شدند و نتایج آن نشان داد که نانوذرات نقره کیتوسان می‌تواند به عنوان جایگزین محافظتر و سبزتر برای عوامل عملکرد شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد (۳۹).

در سال ۲۰۱۹ در تحقیقی، رنگرزی همزمان، آنتی اکسیدان و خواص ضدمیکروبی پارچه‌های پنبه‌ای با استفاده از نانوذرات نقره سنتز شده با روش کاهش بیوشیمیایی سبز مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق، نانوذرات نقره با استفاده از روش آسان با عصاره پوست انار به عنوان یک عامل کاهش‌دهنده و محدود کننده سبز تهیه شدند. گروه‌های هیدروکسیل موجود در انار در طی واکنش برای ایجاد برهم‌کنش با یون‌های نقره می‌باشد و سپس آن‌ها را به نانوذرات نقره تبدیل می‌کند. فعالیت آنتی اکسیدانی پنبه عمل شده با استفاده از ۲،۲–دی فنیل–۱پیکریل هیدرازیل (DPPH) ارزیابی شد. فعالیت ضدمیکروبی پارچه‌های پنبه‌ای عمل شده با نانوذرات نقره با استفاده از روش شمارش در برابر باکتری‌های بیماری‌زا اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نانوذرات نقره، رنگ زرد کمرنگ تا قهوه‌ای تیره را به پنبه با ویژگی‌های قابل قبولی در برابر نور و شستشو می‌دهند و همچنین پارچه‌های پنبه‌ای عمل شده با نانوذرات نقره فعالیت آنتی‌اکسیدانی خوب و فعالیت ضدباکتری عالی را در برابر اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس نشان می‌دهند و می‌توانند در منسوجات پزشکی و بهداشتی مورداستفاده قرار گیرند (۴۰).

Ratnasari و همکارانش، یک روش سبز برای افزایش خواص ضدقارچی منسوجات (پنبه، نایلون، ابریشم) با استفاده از نانوذرات نقره ارائه دادند، در واقع از یک روش سبز برای رسوب نانوذرات نقره بر روی سطوح منسوجات استفاده کردند. در این روش از مولکول‌های زیستی موجود در گیاهان به عنوان عوامل کاهنده طبیعی استفاده شد و هدف آن‌ها پیشنهاد یک روش سبز ساده و مطمئن بر اساس سنتز از طریق بیومولکول گیاهی برای ساخت منسوجات ضدقارچ توسط نانوذرات نقره بود. نانوذرات نقره در الیاف منسوجات مختلف با کاهش AgNO3 با عصاره آگاراتیوم کنیزوئیدها تولید شد. آن‌ها نانوذرات نقره را با استفاده از محلول آغشته سازی با پیش فعال سازی توسط هیدروکسید پتاسیم و کاهش نقره نیترات (AgNO3)، بر روی سطح پارچه پنبه‌ای شکل دادند و علاوه‌بر این، آن‌ها از الیاف نایلون و ابریشم نیز برای ساخت منسوجات ضدمیکروبی با استفاده از نانوذرات نقره تهیه شده با روش رسوب لایه به لایه استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که پنبه عمل شده، خواص ضدباکتری بالایی در برابر باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس و باکتری گرم منفی اشرشیا کلی دارد و همچنین به ترتیب ۸۰ و ۵۰ درصد کاهش باکتری‌ها (استافیلوکوکوس اورئوس) برای الیاف ابریشم و نایلون مشاهده شد. علاوه‌بر این، بیان کردند که پوشش سونوشیمیایی نانوذرات نقره بر روی پارچه‌های مختلف نساجی یعنی نایلون، پلی استر و پنبه نیز می‌تواند یک روش مناسب باشد که دارای خواص ضدباکتری عالی در برابر باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکلی بسته به نوع منسوجات می‌باشد و نانوذرات نقره می‌توانند در منسوجات مختلف رسوب کنند و توانایی ضدقارچی بسته به نوع منسوج را دارند و پیوند سطحی نانوذرات نقره بر روی پارچه احتمالاً توسط نیروی واندروالس ایجاد شده است و تمام منسوجات عمل شده (پنبه، نایلون، ابریشم) بعد از ۵ دوره شستشو خاصیت ضدقارچی بسیار خوبی را از خود نشان می‌دهند (۴۱).

Gawish و همکارانش، خواص ضدمیکروبی پارچه پلی‌پروپیلن (PP) بی‌بافت را به کمک سنتز نانوذرات نقره مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نانوذرات نقره را با استفاده از نیترات نقره، غلظت‌های ۵–۴۰ میلی‌مول بر لیتر، هیدروکسید سدیم و گلوکز با استفاده از روش شیمیایی تهیه کردند سپس پد کردن، خشک کردن و پخت پارچه پلی پروپیلن عمل شده انجام شد و تاثیر نانوذرات نقره پراکنده بر روی پلی پروپیلن قبل و بعد از پنج بار شستشو مورد بررسی قرار گرفت و سپس فعالیت ضدمیکروبی پارچه پلی پروپیلن عمل شده در برابر برخی از میکروارگانیسم‌ها مانند استافیلوکوکوس اورئوس، اشرشیاکلی و کاندیدا پس از ۲۴ ساعت زمان تماس بررسی شد و با توجه به نتایج حاصله، پارچه پلی پروپیلن عمل شده با نانوذرات نقره حداکثر درصد کاهش رشد را برای کاندیدا ۹۹٪، برای استافیلوکوکوس اورئوس ۹۷٪ و برای اشرشیاکلی ۹۳٪ نشان داد. به این ترتیب این پارچه‌ها می‌توانند خواص ضدمیکروبی بسیار عالی را در برابر باکتری‌های بکار برده شده داشته باشند (۴۲).

علاوه‌بر روش‌های ذکر شده در فوق در بسیاری از تحقیقات دیگر از روش‌های مختلف دیگری برای ضدمیکروب کردن منسوجات استفاده شده است که در ادامه به مرور برخی از این تحقیقات پرداخته شده است که از جمله می‌توان به تحقیق Giri Dev و همکارانش اشاره کرد که در آن حنا را که یک رنگزا طبیعی با خواص ضدباکتری است بر روی پارچه‌های پشمی همراه با کیتوسان استفاده کردند تا خواص ضدمیکروبی را در پارچه‌های مورد استفاده ایجاد کنند و میکروارگانیسم انتخاب شده برای آزمایش، استافیلوکوکوس اورئوس، یک باکتری گرم مثبت بیماری‌زا بود. خواص ضدمیکروبی کیتوسان و رنگزای طبیعی هر دو به‌طور مستقل و همچنین با هم بر روی پارچه بررسی شدند. نتایج نشان داد که استفاده از آن‌ها با هم باعث می‌شود پارچه‌های پشمی عمل شده با کیتوسان جذب رنگزا حنا را در پارچه‌ها افزایش داده و پارچه‌های عمل شده دارای خاصیت ضدمیکروبی بسیار خوبی می‌شوند پس استفاده از کیتوسان باعث افزایش ویژگی‌های ضدمیکروبی

رنگزا می‌شود. به‌طور کلی نتیجه گرفتند که استفاده از کیتوسان بر روی پارچه‌های پشمی قبل از رنگرزی دو اثر را دارد یکی باعث بهبود جذب رنگ پارچه‌های پشمی می‌شود و دیگر این که فعالیت ضدمیکروبی رنگزا حنا را به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد پس پارچه‌های عمل شده با ترکیب کیتوسان و رنگزای طبیعی حنا دارای خواص ضدمیکروبی بسیار خوب هستند و می‌توانند برای تولید لباس برای محافظت در برابر عفونت‌ها و همچنین در منسوجات خانگی مورد استفاده قرار گیرند (۴۳).

Trad و همکارانش در سال ۲۰۱۸، برای ایجاد خواص ضد میکروبی پارچه پنبه‌ای از هیدروژل کیتوسان استفاده کردند. ابتدا اصلاح سطح پارچه پنبه‌ای از طریق اتصال گروه‌های آنیونی یا کاتیونی با پارچه پنبه‌ای انجام شد و سپس سطح با مواد سنتز شده کیتوسان پوشانده شد. نتایج نشان داد که این پارچه‌های اصلاح شده می‌توانند یک فعالیت ضد باکتری خوبی را در برابر دو نوع باکتری اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس نشان دهند (۴۴).

Liu و Han در سال ۲۰۲۰ به کمک همکارانشان در زمینه ضدمیکروب کردن پارچه پنبه‌ای تحقیقاتی انجام دادند که لیو در تحقیق خود یک ترکیب حلقوی پلی سیلوکسان مبتنی بر اِن–هالامین را سنتز کرد و به عنوان یک ماده ضدباکتری بر روی پارچه پنبه‌ای مورد استفاده قرار داد. پارچه‌های پنبه‌ای عمل شده پس از کلرزنی، فعالیت ضدباکتری خوبی را در برابر باکتری‌های گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس و باکتری‌های گرم منفی اشرشیاکلی نشان دادند. درصد کاهش رشد باکتری اشرشیاکلی حدود ۹۸/۳۵٪ و برای باکتری استافیلوکوکوس اورئوس حدود ۹۹/۵۱٪ بود و زمانی که غلظت ترکیب حلقوی پلی سیلوکسان بر پایه اِن–هالامین ۳۵۰ گرم بر لیتر بود، مناطق مهار باکتری‌های اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس ۱ و ۱/۵ میلی‌متر بودند. به‌طور کلی نتایج نشان دادند که اصلاحات انجام شده بر روی پارچه‌های پنبه‌ای باعث ایجاد خاصیت ضدباکتری خوبی می‌شود. در تحقیق هان از پوشش ضدباکتری بر پایه یک ترکیب کاتیونی نمک آمونیوم نوع چهارم و یک ترکیب آمین هالوژنه بر روی پارچه پنبه‌ای استفاده شد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که اثر ضدباکتری پارچه‌های پنبه‌ای که با این روش پوشش داده شدند به طور قابل توجهی بهبود یافته است. علاوه بر این پس از ۵۰ بار شستشوی پارچه با مواد شوینده آنیونی، خواص ضدباکتری خود را در برابر باکتری استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکلی بیش از ۹۵٪ حفظ کرد که این مقدار نشان‌دهنده این است که پارچه‌های پنبه‌ای اصلاح شده با این روش می‌توانند خواص ضدباکتری بسیار عالی داشته باشند. این روش آسان آزادسازی مواد ضدباکتری می‌تواند منسوجات پنبه‌ای را با خواص ضدباکتری بادوام و عالی تولید کند (۴۵،۴۶).

Korica و همکارانش، تحقیقی را با هدف به‌دست آوردن پارچه ویسکوز عمل‌شده با کیتوسان برای بهبود خواص ضدباکتری و دوام شستشو انجام دادند. بدین منظور آن‌ها گروه‌های کربوکسیل و آلدهید را به عنوان عوامل اتصال‌دهنده کیتوسان برگشت ناپذیر به پارچه ویسکوز توسط دو روش مقدماتی مختلف: ۲،۲،۶،۶ اکسیداسیون رادیکال تترا متیل پیپریدین–۱–اکسی(TEMPO) و پوشش با TEMPO اکسید شده نانوالیاف سلولزی (TOCN) بکار بردند. آزمایش ضدباکتری برای بررسی تأثیر این دو روش مقدماتی بر اتصال کیتوسان انجام شد. دوام شستشوی پارچه ویسکوز عمل شده با کیتوسان از طریق تغییر در محتوای کیتوسان، خواص الکتروکینتیک و ضدباکتری پس از چندین بار شستشو، کنترل شد. نتایج نشان داد که هر دو روش مقدماتی باعث بهبود جذب کیتوسان و در نتیجه بهبود خواص ضدباکتری می‌شود و همچنین باعث افزایش دوام شستشو می‌شود و در واقع پارچه ویسکوز عمل شده با کیتوسان با روش اکسید شده TEMPO می‌تواند با دوام‌ترین فعالیت ضدباکتری را در برابر هر دو باکتری استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکلی نشان دهد و پس از پنج بار شستشو، پارچه‌های ویسکوز عمل شده با کیتوسان فعالیت ضدباکتری خود را در برابر باکتری استافیلوکوکوس اورئوس حفظ می‌کند اما فعالیت ضدباکتری آن‌ها در برابر باکتری اشرشیاکلی از بین می‌رود. در نهایت آن‌ها با توجه به خواص ضدباکتری به‌دست آمده نتیجه گرفتند که کیتوسان و پارچه‌های ویسکوز عمل شده می‌توانند در تولید منسوجات ضدباکتری قابل شستشو برای افراد با پوست حساس و دارای زخم استفاده شوند و همچنین پارچه ویسکوز با پوشش TOCN و عمل شده با کیتوسان، محصولی با ارزش است که خواص ضدمیکروبی و مکانیکی را به‌طور همزمان بهبود داده و می‌تواند به عنوان منسوجات پزشکی مورد استفاده قرار گیرد (۴۷).

در تحقیق دیگر Li و همکارانش، از یک روش ساده برای تهیه منسوجات پنبه‌ای ضدمیکروبی با استفاده از کاتیون‌های آمونیوم نوع چهارم مالئوپیماریک اسید (MPA-N+) از اسید روزین به عنوان ماده ضدمیکروبی استفاده کردند. MPA-N+ از طریق پیوند کووالانسی به سطح منسوجات پنبه‌ای پیوند خورد و باعث ایجاد پوشش ضدمیکروبی مناسب بر روی سطح پارچه پنبه‌ای شد. نتایج حاصله نشان داد که MPA-N+ پیوند زده شده به پارچه‌های پنبه‌ای فعالیت ضدمیکروبی بسیار خوبی را در برابر باکتری‌های گرم منفی (اشرشیاکلی، سودامونا‌س آریژینوس) و باکتری های گرم مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس) نشان می‌دهند، هم‌چنین می‌توانند تا ۳ روز و یا حتی بیشتر، از تشکیل بایوفیلم باکتری‌های مورد استفاده جلوگیری کنند علاوه بر این نشان داده شد که این روش، کاربرد زیادی در پانسمان زخم دارد و اصلاح سطح پارچه‌های پنبه‌ای با استفاده از MPA-N+ روش جدیدی برای استفاده از منابع تجدیدپذیر به منظور کنترل بیماری‌های عفونی می‌باشد و هم‌چنین یک روش مناسبی جهت تهیه منسوجات پنبه‌ای ضدمیکروبی از طریق اصلاح سطحی می‌باشد (۴۸).

Szulc و همکارانش، از موم برای تکمیل پارچه‌های مخلوط پلی استر/ پنبه/ویسکوز و پارچه پلی استر استفاده کردند. هدف آن‌ها

از این مطالعه ارزیابی فعالیت ضدمیکروبی پارچه‌های حاوی موم در برابر باکتری‌ها و قارچ‌های اشرشیاکلی، استافیلوکوکوس اورئوس، کاندیدا آلبیکانس، اسپریژیلوس نایجر و باسیلوس سابتیلیس بود. نتایج مربوط به فعالیت ضدمیکروبی نشان داد که فعالیت زیستی پارچه‌های اصلاح شده از ۰/۰۹- تا ۱/۵۵ بوده و اصلاح پارچه‌های دارای موم می‌تواند به پارچه‌ها، ویژگی‌های زیست‌کش در برابر کپک‌ها دهد که کاربردهای عملی دارد. به عنوان مثال، برای جلوگیری از بیماری قارچی در مراکز بهداشتی و درمانی می‌توان از موم استفاده کرد. در طی آزمایش‌ها در زمینه اثرات ضدمیکروبی پارچه‌های اصلاح شده با موم، فعالیت بیواستاتیک کمی مشاهده شد به جز پارچه پلی استر که از نظر بیواستاتیک در برابر کپک آسپیرژیلوس نایجر و باکتری باسیلوس سابتیلیس که در این آزمایش استفاده شدند، فعالیت ضدمیکروبی خوبی داشتند. علاوه بر این، هر دو نمونه پارچه‌ها فعالیت بایوسید متوسط (بیشتر از یک) را در برابر کپک آسپیرژیلوس نایجر از خود نشان دادند (۴۹).

Peran و همکارانش، با بکار بردن پتاسیم آلومینیوم سولفات که یک روش بایوشیمیایی با نیترات نقره (به عنوان یک ماده ضدمیکروبی) بر روی پارچه پشمی است، هم بدون و هم بر اثر ترکیب با پلاسمای اکسیژن و با استفاده از عصاره رنگزای طبیعی پوست انار که برای رنگرزی پارچه پشمی بکار رفت، خواص ضدباکتری نمونه‌ها را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که تمام نمونه‌های پشمی رنگرزی شده، فعالیت ضدباکتری خوبی را در برابر باکتری استافیلوکوکوس اورئوس دارند که می‌تواند به دلیل وجود فنول در رنگ انار باشد و همچنین نتیجه گرفتند که پس از ۲۸ روز ماندن در شرایط آب و هوای طبیعی، فعالیت ضدباکتری نمونه‌های رنگرزی شده با عملیات مقدماتی با پلاسمای اکسیژن در برابر باکتری کلبسیلا پنومونیه به مقدار کمی کاهش می‌یابد و از نظر فعالیت ضدباکتری، رنگ حاصل از عصاره پوست انار اثر ضدباکتری خوبی در برابر استافیلوکوکوس اورئوس و کلبسیلا پنومونیه نشان می‌دهد و حتی برای مدت طولانی در برابر استافیلوکوکوس اورئوس اثر خود را حفظ می‌کند (۵۰).

Tremiliosi و همکارانش در سال ۲۰۲۰ پارچه‌های پنبه‌ای را برای دستیابی به خواص ضدباکتریایی، ضدقارچی و ضدویروسی با استفاده از یک روش تکمیلی ساده و بسیار متداول یعنی پد-خشک-پخت تحت عمل قرار دادند. آن‌ها از یک محلول آبی نانوذرات Ag با یک بیندر بر پایه اکریلیک برای دستیابی به سطح بالایی از عملکرد ضدمیکروبی و بالا بردن دوام شستشویی استفاده کردند. ثابت شد که این کامپوزیت برای مهار ویروس SARS-CoV-2 مؤثر است و پارچه‌های عمل شده با ضدمیکروب‌های بر پایه Ag سطح بالایی از عملکرد ضدباکتری را نشان دادند. تکمیل ضدمیکروبی تغییر قابل توجهی در قطر لیف نمونه‌ها نشان نداد و اصلی‌ترین قابلیت این پارچه‌های بر پایه Ag، جلوگیری از عفونت ناشی از عوامل بیماری‌زا، مانند باکتری‌ها و قارچ‌ها که باعث افزایش COVID-19 و انواع دیگر ویروس‌ها می‌شود، است. ساخت این پارچه‌های متشکل از این مواد ممکن است بینش جدیدی در مورد توسعه لباس‌های محافظتی را فراهم کند و انتظار می‌رود که این مواد نساجی جدید به عنوان یک وسیله جدید و مهم در برابر همه‌گیر کنونی COVID-19 نقش برجسته‌ای داشته باشند (۵۱).

نتیجه‌گیری

با توجه به مباحثی که به آن پرداخته شد و تحقیقاتی که در سال‌های اخیر در زمینه ضدمیکروب کردن منسوجات انجام شده است می‌توان نتیجه گرفت که منسوجات به دلیل تماس با پوست انسان‌ها می‌توانند محیط مناسب را برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم کنند که امروزه افراد به دنبال راحتی، بهداشت و سلامت، کنترل بوی نامطبوع و محافظت منسوجات در برابر انواع میکروارگانیسم‌ها می‌باشند، از این رو پارچه‌های کاربردی به‌ویژه پارچه‌های ضدمیکروبی به یک موضوع مهم در صنعت نساجی تبدیل شده است و تقاضا برای تولید منسوجات ضدمیکروبی گسترش یافته است و با بکار بردن روش‌های مختلف بر روی انواع پارچه‌ها می‌توان منسوجات ضدمیکروبی تولید کرد که به کمک این منسوجات از رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها و همچنین از شیوع بسیاری از بیماری‌ها جلوگیری می‌شود.

از جمله متداول‌ترین ترکیبات ضدمکیروبی مورد استفاده در آماده‌سازی منسوجات ضدمیکروبی می‌توان به مواد اکسیدکننده مانند آلدهیدها، هالوژن‌ها و ترکیبات پروکسی، ترکیباتی مثل منعقدکننده‌ها و الکل‌ها، نمک هیپوکلریت، پپتیدها، اِن-هالامین، پیریتیون روی، ایزوتیازولین و L-سیستین اشاره کرد علاوه‌بر این، ازجمله نانوذرات فلزی متداول که در تولید منسوجات ضدباکتری استفاده می‌شوند می‌توان نقره، دی‌اکسیدتیتانیوم، اکسیدروی، نانوذرات طلا و مس را نام برد.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

نکات بالینی کاربردی برای جوامع نظامی

- تاکید بر استفاده از منسوجات نظامی ضدمیکروبی شده به منظور جلوگیری از گسترش بیماری‌ها.
- آشناشدن نظامیان و سایر افراد با انواع روش‌ها و مواد ضد میکروبی جهت استفاده از منسوجاتی که عاری از میکروب است و داشتن زندگی سالم‌تر.
- مروری بر انواع روش‌های ضدمیکروبی منسوجات نظامی جهت محافظت از منسوجات نظامی در برابر انواع میکروارگانیسم‌ها.
- آشنایی با انواع میکروارگانیسم‌ها و ویروس کرونا.

منابع

1. Dastjerdi R., Montazer M. Metal and mineral nanostructures in antimicrobial and multifunctional modification of textiles and polymers, Yazd University Publishing Center, First Edition, 2012.
2. Gopalakrishnan D, Aswini RK. Antimicrobial finishes, 2006.
3. Ebrahim BeigiChimeh A, Barbasreh V. Investigation of fabrication of antimicrobial fabrics using nanoparticles, Nanotechnology. 2016;185:74-79. [In Persian]
4. Mousavi M, Ayatollahi Mousavi A. Fungal infection: diagnosis and management. ISTA publication, 2006.
5. Lawrence CM, Menon S, Eilers BJ, Bothner B, Khayat R, Douglas T, et al. Structural and functional studies of archaeal viruses. Journal of Biological Chemistry. 2009;284(19):12599-603. doi:10.1074/jbc.R800078200
6. O'Dowd K, Nair KM, Forouzandeh P, Mathew S, Grant J, Moran R, et al. Face masks and respirators in the fight against the COVID-19 pandemic: A review of current materials, advances and future perspectives. Materials. 2020;13(15):3363. doi:10.3390/ma13153363
7. Hong KH, Lee SW, Kim TS, Huh HJ, Lee J, Kim SY, et al. Guidelines for laboratory diagnosis of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in Korea. Annals of Laboratory Medicine. 2020;40(5):351-60. doi:10.3343/alm.2020.40.5.351
8. Sobouti F, Moallem Savasari A, Aryana M, Mesgarani A. Coronavirus as a new challenge for infection control in dentistry: A literature review. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2020;30(186):185-94.
9. How long does the coronavirus last on different surfaces and coronavirus half-life in the environment? Available from: https://treatta.com/how-long-coronavirus-lives-on-surfaces
10. Qian L, Sun G. Durable and regenerable antimicrobial textiles: Synthesis and applications of 3-methylol-2, 2, 5, 5-tetramethyl-imidazolidin-4-one (MTMIO). Journal of applied polymer science. 2003;89(9):2418-25. doi:10.1002/app.12405
11. Rogina-Car B, Kovačević S, Schwarz I, Dimitrovski K. Microbial barrier properties of cotton fabric—influence of weave architecture. Polymers. 2020;12(7):1570. doi:10.3390/polym12071570
12. Riaz S, Ashraf M. Recent advances in development of antimicrobial textiles. Advances in Functional Finishing of Textiles. Textile Science and Clothing Technology. Springer, Singapore. doi:10.1007/978-981-15-3669-4_6
13. Deng Y, Si Y, Sun G. Fibrous materials for antimicrobial applications. Handbook of Fibrous Materials, Chapter 33. 2020:927-51. doi:10.1002/9783527342587.ch33
14. Windler L, Height M, Nowack B. Comparative evaluation of antimicrobials for textile applications. Environment International. 2013;53:62-73. doi:10.1016/j.envint.2012.12.010
15. Gobalakrishnan M, Veera Nithin U, Mohana Selvi S, Aneesh KR. Antimicrobial Activity of Some Medicinal Herbals. International Journal of Biotech Trends and Technology. 2020;10(1):56-59.
16. Tessier D, Radu I, Filteau M. Antimicrobial fabrics coated with nano-sized silver salt crystals. NSTI Nanotechnology Conference and Trade Show, 2005.
17. Bahador Sh. Antibacterial properties of cotton spacer, polyester cotton and polyester viscose fabrics by N-halamine combination, MSc. Thesis, Textile-Chemistry and Fiber Sciences, Isfahan University of Technology, 2010.
18. Moon WS, Chul Kim J, Chung KH, Park ES, Kim MN, Yoon JS. Antimicrobial activity of a monomer and its polymer based on quinolone. Journal of Applied Polymer Science. 2003;90(7):1797-801. doi:10.1002/app.12813
19. Shalini G, Anitha D. A Review: Antimicrobial Property of Textiles International Journal of Science and Research. 2016;5(10):766-8.
20. Balbasi Z. Nano Headquarters Extension and Culture Working Group. Antimicrobial Textiles, 2016.
21. Gouda M. Enhancing flame-resistance and antibacterial properties of cotton fabric. Journal of Industrial Textiles. 2006;36(2):167-77. doi:10.1177/1528083706068677
22. Boshra A. Methods of Finishing Textiles Using Nanocoatings. Comprehensive Nanotechnology Training System, 2016.
23. Palizban Z, Kabiri K, Zohuriaan-Mehr MJ, Moini N, Jahandideh A. Preparation of antibacterial polyester–cotton absorbents; the effects of star-shaped functional oligomers. Polymer Bulletin. 2021;78(9):4959-75. doi:10.1007/s00289-020-03353-7
24. Ahani E, Montazer M, Rashidi A. Investigation of Anti-Bacterial Properties of Woolen Fabrics Loaded with Phmb (Polyhexamethylene Biguanide Hydrochloride). Technology of Textile Journal. 2012;7(1):91-8.
25. Zada T, Reches M, Mandler D. Antifouling and antimicrobial coatings based on sol–gel films. Journal of Sol-Gel Science and Technology. 2020;95(3):609-19. doi:10.1007/s10971-020-05324-w
26. Periyasamy AP, Venkataraman M, Kremenakova D, Militky J, Zhou Y. Progress in sol-gel technology for the coatings of fabrics. Materials. 2020;13(8):1838. doi:10.3390/ma13081838
27. Zhang G, Wang D, Yan J, Xiao Y, Gu W, Zang C. Study on the photocatalytic and antibacterial properties of TiO2 nanoparticles-coated cotton fabrics. Materials. 2019;12(12):2010. doi:10.3390/ma12122010
28. Arik B, Karaman Atmaca OD. The effects of sol–gel coatings doped with zinc salts and zinc oxide nanopowders on multifunctional performance of linen fabric. Cellulose. 2020;27(14):8385-403. doi:10.1007/s10570-020-03322-3
29. Tan LY, Sin LT, Bee ST, Ratnam CT, Woo KK, Tee TT, Rahmat AR. A review of antimicrobial fabric containing nanostructures metal-based

compound. Journal of Vinyl and Additive Technology. 2019;25(S1):E3-27. doi:10.1002/vnl.21606
30. Morais DS, Guedes RM, Lopes MA. Antimicrobial approaches for textiles: from research to market. Materials. 2016;9(6):498. doi:10.3390/ma9060498
31. Bu Y, Zhang S, Cai Y, Yang Y, Ma S, Huang J, Yang H, Ye D, Zhou Y, Xu W, Gu S. Fabrication of durable antibacterial and superhydrophobic textiles via in situ synthesis of silver nanoparticle on tannic acid-coated viscose textiles. Cellulose. 2019;26(3):2109-22. doi:10.1007/s10570-018-2183-7
32. Xu Q, Duan P, Zhang Y, Fu F, Liu X. Double protect copper nanoparticles loaded on L-cysteine modified cotton fabric with durable antibacterial properties. Fibers and Polymers. 2018;19(11):2324-34. doi:10.1007/s12221-018-8621-1
33. Hashemizad Sh, Montazer M, Mireshghi SS. Creating a stable antimicrobial property in surface-modified polyester fabrics using titanium dioxide nanoparticles. first national conference on applied research and standardization in the development of textile and leather industries, 2013.
34. Xu H, Shi X, Lv Y, Mao Z. The preparation and antibacterial activity of polyester fabric loaded with silver nanoparticles. Textile Research Journal. 2013;83(3):321-6. doi:10.1177/0040517512454187
35. Deng YM, Wang SF, Wang SJ. Study on antibacterial and comfort performances of cotton fabric finished by chitosan-silver for intimate apparel. Fibers and Polymers. 2016;17(9):1384-90. doi:10.1007/s12221-016-6277-2
36. Zhang S, Li R, Huang D, Ren X, Huang TS. Antibacterial modification of PET with quaternary ammonium salt and silver particles via electron-beam irradiation. Materials Science and Engineering: C. 2018;85:123-9. doi:10.1016/j.msec.2017.12.010
37. Nourbakhsh S, Sepehrnia H, Akbari E. Novel corona discharge treatment of cotton fabric with Cu and ZnO nanoparticles. The Journal of the Textile Institute. 2020;111(9):1269-76. doi:10.1080/00405000.2019.1707346
38. Raza ZA, Bilal U, Noreen U, Munim SA, Riaz S, Abdullah MU, et al. Chitosan mediated formation and impregnation of silver nanoparticles on viscose fabric in single bath for antibacterial performance. Fibers and Polymers. 2019;20(7):1360-7. doi:10.1007/s12221-019-1018-y
39. Shahid-ul-Islam, Butola BS, Verma D. Facile synthesis of chitosan-silver nanoparticles onto linen for antibacterial activity and free-radical scavenging textiles. International journal of biological macromolecules. 2019;133:1134-41. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.04.186
40. Shahid-ul-Islam, Butola BS, Gupta A, Roy A. Multifunctional finishing of cellulosic fabric via facile, rapid in-situ green synthesis of AgNPs using pomegranate peel extract biomolecules. Sustainable Chemistry and Pharmacy. 2019;12:100135. doi:10.1016/j.scp.2019.100135
41. Ratnasari A, Endarko E, Syafiuddin A. A green method for the enhancement of antifungal properties of various textiles functionalized with silver nanoparticles. Biointerface Research in Applied Chemistry. 2020;10:7284-94. doi:10.33263/BRIAC106.72847294
42. Gawish SM, Mosleh S. Antimicrobial polypropylene loaded by silver nano particles. Fibers and Polymers. 2020;21(1):19-23. doi:10.1007/s12221-020-9519-2
43. Dev VG, Venugopal J, Sudha S, Deepika G, Ramakrishna S. Dyeing and antimicrobial characteristics of chitosan treated wool fabrics with henna dye. Carbohydrate Polymers. 2009;75(4):646-50. doi:10.1016/j.carbpol.2008.09.003
44. Trad M, Miled W, Benltoufa S, Boughattas A, Benslama R, Fayala F, Bakhrouf A. Chitosan hydrogel-coated cotton fabric: Antibacterial, pH-responsiveness, and physical properties. Journal of Applied Polymer Science. 2018;135(34):46645. doi:10.1002/app.46645
45. Liu J, Dong C, Zhang Z, Wei D, Lu Z. Synthesis of a Novel N-halamine-based Cyclic Polysiloxane and Its Antibacterial Application on Cotton Fabrics. Fibers and Polymers. 2020;21(2):273-81. doi:10.1007/s12221-020-9593-5
46. Han H, Liu C, Zhu J, Li FX, Wang XL, Yu JY, et al. Contact/Release Coordinated Antibacterial Cotton Fabrics Coated with N-Halamine and Cationic Antibacterial Agent for Durable Bacteria-Killing Application. International Journal of Molecular Sciences. 2020;21(18):6531. doi:10.3390/ijms21186531
47. Korica M, Peršin Z, Trifunović S, Mihajlovski K, Nikolić T, Maletić S, et al. Influence of different pretreatments on the antibacterial properties of chitosan functionalized viscose fabric: TEMPO oxidation and coating with TEMPO oxidized cellulose nanofibrils. Materials. 2019;12(19):3144. doi:10.3390/ma12193144
48. Li Z, Cheng J, Yang X, Liu H, Xu X, Ma L, et al. Construction of antimicrobial and biocompatible cotton textile based on quaternary ammonium salt from rosin acid. International Journal of Biological Macromolecules. 2020;150:1-8. doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.01.259
49. Szulc J, Machnowski W, Kowalska S, Jachowicz A, Ruman T, Steglińska A, Gutarowska B. Beeswax-modified textiles: method of preparation and assessment of antimicrobial properties. Polymers. 2020;12(2):344. doi:10.3390/polym12020344
50. Peran J, Ercegović Ražić S, Sutlović A, Ivanković T, Glogar MI. Oxygen plasma pretreatment improves dyeing and antimicrobial properties of wool fabric dyed with natural extract from pomegranate peel. Coloration Technology. 2020;136(2):177-87. doi:10.1111/cote.12464
51. Tremiliosi GC, Simoes LG, Minozzi DT, Santos RI, Vilela DC, Durigon EL, et al. Ag nanoparticles-based antimicrobial polycotton fabrics to prevent the transmission and spread of SARS-CoV-2. BioRxiv. 2020. doi:10.1101/2020.06.26.152520