

# منسوجات ضد میکروب

زینب بلباسی - کارگروه ترویج و فرهنگ سازی ستاد نانو

## مقدمه

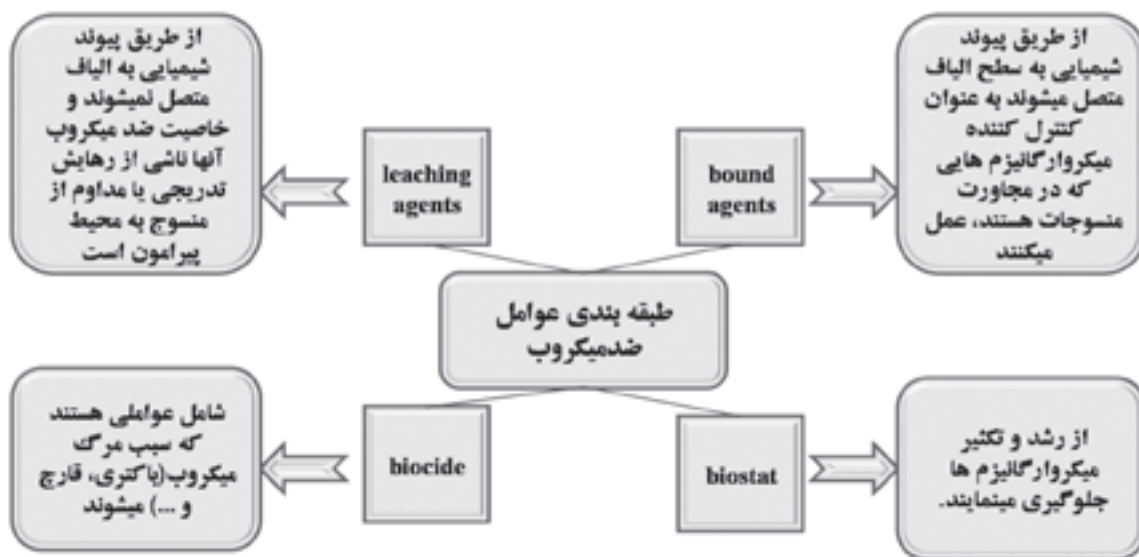
استفاده از میکرو و نانوکپسول‌ها، تبدیل ترکیبات بدبو به ترکیبات بی‌بو و کاهش فرارایت مواد دارای بوی نامطبوع وجود دارد. استفاده از ترکیبات ضد میکروب در مرحله تولید یا تکمیل منسوجات از کارآمدترین روش‌ها برای از بین بردن بوی نامطبوع به شمار می‌رود. پیشوند نانو بیانگر مقیاس بسیار کوچک در ابعاد ماده است. یک نانومتر، یک میلیاردیم یا  $10^{-9}$  متر است. مواد در این ابعاد ویژگی‌های منحصر به فرد و جدیدی از خود نشان می‌دهند. استفاده از نانوفناوری در صنعت نساجی به منظور بهبودبخشیدن به خواص و یا ایجاد ویژگی جدید در منسوجات با استفاده از مواد یا ساختارهای نانومتری انجام می‌شود. در این نوشتار گزارش کوتاهی از چگونگی به کارگیری نانوفناوری در تولید منسوجات ضد میکروب، نمونه‌های صنعتی و چشم‌انداز پیش‌رو ارائه خواهد شد.

در محیط پیرامون انسان شمار زیادی از میکروارگانیسم‌ها زندگی می‌کنند. میکروارگانیسم‌ها شامل قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها، جلبک‌ها، هاگ‌ها و ... هستند؛ که غالباً به عنوان میکروب بیان می‌شوند. در صورت برهم خوردن تعادل این موجودات در طبیعت، سلامت افراد تهدید خواهد شد. از آنجایی که منسوجات علاوه بر مهیا نمودن محیط مناسب رشد و تکثیر میکروب‌ها می‌توانند سبب انتقال و شیوع انواع بیماری‌ها شوند، از این رو تحقیقات زیادی برای تولید الیاف و منسوجات ضد میکروب انجام شده است.

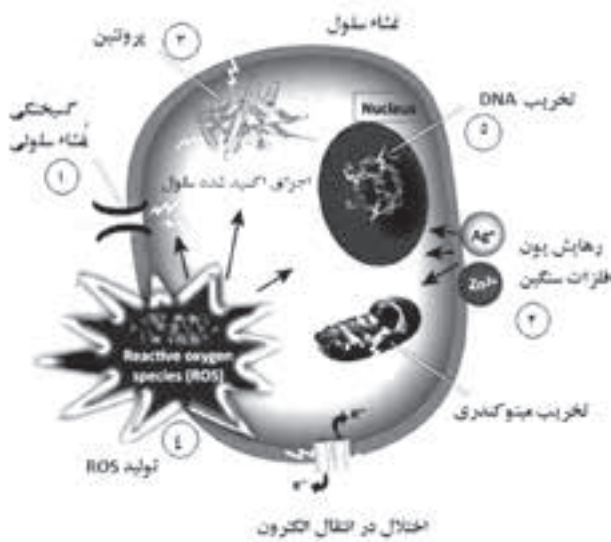
برخی از الیاف به ویژه الیاف سلولزی مورد تجزیه بیولوژیکی میکروب‌ها قرار می‌گیرند. این عملکرد میکروب‌ها می‌تواند سبب تغییر رنگ و کاهش خواص مکانیکی (استحکام سایشی و کششی) الیاف شده و موجبات پوسیدگی منسوج را فراهم آورد. همچنین میکروارگانیسم‌ها می‌توانند سبب کاهش ویسکوزیته و تخریب مواد مورد مصرف در فرایندهای مختلف تکمیل منسوجات شوند. به منظور کاهش بوی نامطبوع ناشی از حضور میکروب‌ها بر منسوجات روش‌هایی از جمله

## مواد ضد میکروب مورد استفاده در صنعت نساجی

طبقه‌بندی متفاوتی از مواد ضد میکروب بر اساس کارایی، سازوکار فعالیت ضد میکروب و ثبات شستشویی وجود دارد.



شکل ۱. طبقه بندی عوامل ضد میکروب بر اساس سازوکار فعالیت ضد میکروب



شکل ۳. سازوکار تاثیر نانوذرات بر میکروارگانیسم ها. ۱) تخریب دیواره سلولی و لایه پیتیدوگلیکان در اثر تماس مستقیم با نانوذرات، ۲) رهائش یون های سمی، ۳) اختلال در انتشار پروتئین در اثر تغییر pH و تغییر باز سطحی سلول، ۴) تولید اکسیژن فعال (ROS) و ۵) تجزیه DNA، RNA و پروتئین و تاثیر بر سنتز پروتئین، ۶) تولید اندک آدنوزین تری فسفات (ATP) ناشی از اسپیدی شدن در اثر سازوکار نوع ۳ و حضور ترکیبات اکسیژن فعال (سازوکار ۴ و ۵) [۱].

- اکسیداسیون پروتئین

- جمع شدگی غشاء

- تولید اکسیژن فعال (ROS) (Reactive Oxygen Species) [۷].

برخی از نانوذرات ضد میکروب پرکاربرد در صنعت نساجی در ادامه معرفی می شوند.

#### نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO<sub>2</sub>)

نانوذرات دی اکسید تیتانیوم از ویژگی های منحصر به فردی نظیر ثبات و کارایی زیاد، ایمنی و قابلیت تاثیر بر طیف وسیعی از میکروارگانیسم های بیماری زا برخوردار است. به این منظور از این نانوذرات در مصارفی نظیر خود تمیز شوندگی، ضد میکروب و محافظت در برابر پرتو فرابنفش استفاده می شود. دی اکسید تیتانیوم با دارا بودن خاصیت فوتوکاتالیستی قادر به تولید اکسیژن فعال است که این ماده قادر به اکسید کردن ترکیبات آلی موجود در سلول باکتری و تولید دی اکسید کربن و آب می باشد.

از آنجایی که مواد ضد میکروب (bound agents) به محیط پیرامون منسوجات نفوذ نمی کنند، بنابراین احتمال مقاوم شدن میکروارگانیسم ها در برابر این عوامل اندک است.

همچنین به دلیل پیوند شیمیایی، این گروه از عوامل ضد میکروب در برابر شستشو مقاوم تر از گروه leaching agents هستند. با این وجود ثبات شستشویی گواه پایداری خاصیت ضد میکروب منسوج نیست. زیرا جذب مواد آلاینده، میکروارگانیسم های مرده یا ایجاد کمپلکس میان مواد تکمیل کننده و شوینده های آنیونیک می تواند منجر به کاهش اثربخشی ضد میکروب این منسوجات شود.

در صنعت نساجی، عدم آلودگی محیط زیست، سلامت و ایمنی افراد به اندازه کارایی منسوجات ضد میکروب حائز اهمیت می باشد. رهائش مواد ضد میکروب به محیط پیرامون می تواند بر سلامت موجودات زنده موثر باشد. با این رویکرد، استفاده از مواد پیوند دهنده به دلیل عدم رهائش ترکیبات به پیرامون مناسب تر می باشد.

#### نانوساختارهای ضد میکروب مورد استفاده در نساجی

از آنجایی میانگین اندازه انواع باکتری در حدود چند میکرون (۱۰-۱۰۶) است، بنابراین استفاده از مواد ضد میکروب با ابعاد نانومتری زمینه به کارگیری نانوفناوری در ایجاد ترکیبات ضد میکروب موثر را فراهم ساخته است. سازوکار ضد میکروب نانومواد به سطح جانبی زیاد این مواد در مقایسه با مواد در ابعاد بزرگ تر باز می گردد. تحقیقات نشان می دهند که کاهش ابعاد نانوذرات با افزایش کارایی ضد میکروب آنها ارتباط مستقیم دارد.

فعالیت ضد میکروبی نانوذرات ناشی از سطح جانبی زیاد، ساختار کریستالی غیرمعمول این ذرات و وجود مناطقی با احتمال واکنش بیشتر (لبه و گوشه نانوذرات) است.

سازوکار تاثیر نانوذرات بر باکتری به صورت طرحواره در شکل ۳ نشان داده شده است. به طور کلی شش رویکرد برای تاثیر نانوذرات بر میکروارگانیسم ها وجود دارد که عبارتند از:

- تخریب غشاء سلولی

- رهائش یون های سمی

- اختلال در انتقال الکترون



شکل ۲. مقایسه اندازه اکسیدسربیم، پنی سیلین، آنتی بادی و نانوذرات سربیم، ویروس و باکتری.



## نانوذرات روی

میکروب کاملاً شناخته شده نیست. مهم‌ترین چالش در استفاده از نانوذرات مس، تولید نانوذرات مس پایدار است. زیرا این نانوذرات در هوا یا محیط مرطوب به سرعت به کاتیون مس اکسید می‌شوند.

نانوذرات روی در سلول‌های خورشیدی، حس‌گر، نمایشگرها و کرم‌های ضدآفتاب، جاذب پرتوفراابنفش، پوشش‌های ضدبازتاب نور، ضدباکتری و فوتوکاتالیست استفاده می‌شود. نانوذرات روی نسبت به نانوذرات نقره از مزایایی نظیر بهای کمتر، سفید رنگی و خاصیت ضد پرتوفراابنفش برخوردار است.

## نانوساختارهای طبیعی ضد میکروب

## نانوذرات نقره

۱. کیتوسان: ماده‌ای طبیعی، غیرسمی و ضد میکروب است که از پوسته سخت پوستانی نظیر میگو، خرچنگ و ... تهیه می‌شود. خاصیت ضد باکتری و قارچ این ماده ناشی از گروه‌های کاتیونی (بارمثبت) موجود در این ترکیب می‌باشد که امکان اتصال با بار منفی موجود بر سطح سلول را فراهم آورده و مانع رشد باکتری و قارچ می‌شود. کیتوسان به واسطه مواد کراس‌لینک‌کننده‌ای همچون گلو تارالدئید و پلی‌کربوکسیلیک اسیدها قادر به اتصال به سطح منسوجات پنبه‌ای و ایجاد منسوجات ضد میکروب می‌باشد [۴].

نقره از قدیمی‌ترین ترکیبات ضد میکروب است. در حال حاضر تحقیقات زیادی بر خواص ضدباکتری و چندگانه نانوذرات نقره انجام شده است. نقره در مقایسه با برخی مواد ضد میکروب آلی که دارای اثرات مخرب بر سلامت انسان است، از مواد ضد میکروب ایمن به شمار می‌رود. در حال حاضر خاصیت ضد میکروب نقره علیه بیش از ۶۵۰ گونه میکروارگانیسم بیماری‌زا شناخته شده است.

۲. سربسین: سربسین ابریشم، یک پروتئین درشت‌مولکول طبیعی است که از پیله کرم ابریشم استحصال شده و ۲۵-۳۰٪ پروتئین ابریشم را تشکیل می‌دهد. این ماده که به عنوان پوشش فیلامنت ابریشم (فیبروئین) عمل می‌کند، در مراحل صمغ‌گیری از روی الیاف ابریشم زدوده می‌شود. از این ماده به منظور بهبود خواص برخی الیاف مصنوعی استفاده می‌شود. در تحقیقات انجام شده توسط یامادا و واکابایاشی اصلاح سطح پارچه پلی‌استر با استفاده از سربسین انجام شد. پارچه‌ای با خاصیت آب‌دوستی بیشتر تهیه شد. استفاده از سربسین (۴٪ W/V) منجر به کاهش رشد باکتری‌های *S. Aureus* و *P. Vulgaris* به ترتیب ۵۱٪ و ۳۸٪ شد [۵۶].

یون‌های نقره از قابلیت تخریب پروتئین، غشاء و ایجاد اختلال در تنفس سلولی باکتری برخوردار می‌باشد. در شکل ۴ سازوکار تاثیر نانوذرات نقره بر سلول باکتری نشان داده شده است.

## نانوذرات طلا

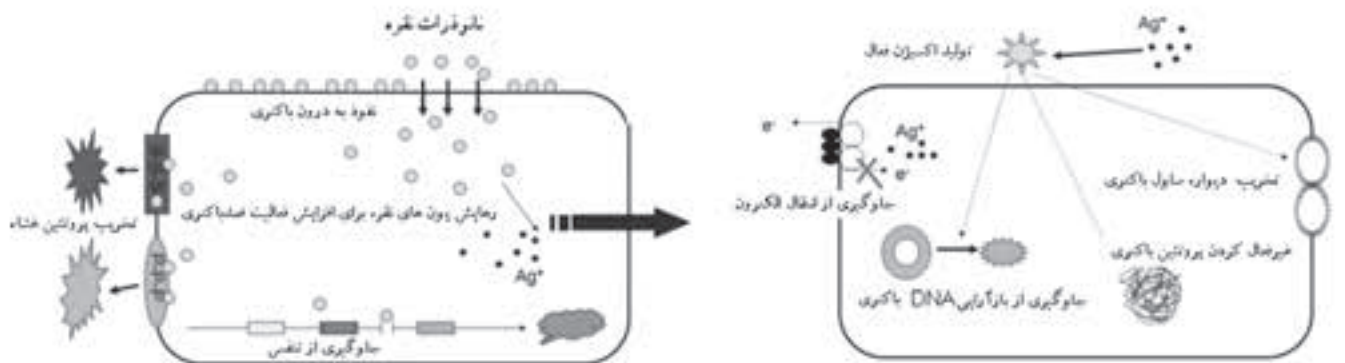
۳. عصاره نیم: عصاره نیم از درخت (آزاد درخت) که در مناطق گرم و مرطوب می‌روید مشتق شده است و حاوی چندین ترکیب حشره‌کش و ضد میکروب طبیعی است. ترکیبات موثر این گیاه در تمام بخش‌های گیاه یافت می‌شود، لیکن از دانه، برگ و ریشه این درخت برای تهیه عصاره نیم استفاده می‌شود. از این ماده برای تکمیل ضد میکروب پارچه پنبه، پنبه/پلی‌استر و پشم استفاده شده است [۷].

نتایج حاصل از تحقیقات اخیر، نانوذرات طلا را به عنوان یک ماده ضد میکروب موثر معرفی نموده است. خاصیت ضدقارچ این نانوذرات در برابر آکنه و شوره سر و عدم مقاوم شدن باکتری نسبت به این ماده سبب به کارگیری این نانوذرات در صنایع آرایشی شده است. خاصیت ضدباکتری این نانوذرات علیه دو باکتری *Escherichia coli* و *Salmonella typhi* به اثبات رسیده است [۳].

## نانوذرات مس

۴. رنگینه‌های طبیعی: برخی از رنگینه‌های طبیعی تهیه شده از گیاهان

از دیرباز مس و ترکیبات مس به عنوان مواد ارزان قیمت و موثر در تولید مایعات ضد عفونی کننده و منسوجات ضد میکروب به کار گرفته می‌شدند. در حال حاضر چگونگی عملکرد مس به عنوان ماده ضد



شکل ۴. سازوکار ضد میکروبی نانوذرات نقره [۲].



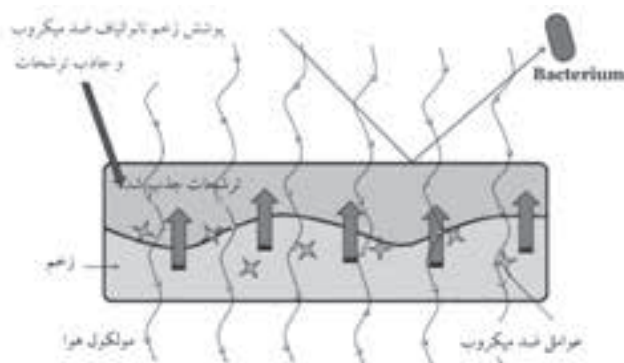
منظور ایجاد خاصیت ضد باکتری در نانوالیاف استفاده از عوامل ضد باکتری نظیر نانوذرات نقره و کمپلکس‌های ید گزارش شده است. به این منظور از کمپلکس پلی وینیل‌پیرولیدن (PVP) و ید با امکان رهایش تدریجی ید (عامل ضد باکتری و ویروس) برای تهیه نانوالیاف استفاده شده است. با افزودن نیترات نقره به محلول پلیمری امکان رهایش یون‌های نقره و ایجاد خاصیت ضد میکروب در الیاف نهایی وجود دارد.

برای مثال نانوالیاف تهیه شده از پلی‌وینیل‌الکل حاوی نانوذرات نقره از قابلیت ضد میکروب و ثبات قابل توجهی در شرایط مرطوب برخوردار است. علاوه بر افزودن ترکیبات ضد میکروب، امکان تولید نانوالیاف ضد میکروب با استفاده مستقیم پلیمرهای ضد میکروب وجود دارد. برای مثال پلی‌یورتان‌های حاوی گروه‌های آمونیوم نوع چهارم هنگامی که به نسوج بی‌بافتی از نانوالیاف تبدیل می‌شود علیه باکتری‌های *E. coli* و *S. aureus* خاصیت ضد باکتری قابل توجهی نشان می‌دهند [۱۰، ۱۱]. از نانوالیاف ضد میکروب به منظور تولید نسوجات پزشکی و فیلتر هوا و ماسک استفاده شده است که در ادامه به برخی محصولات تجاری تهیه شده اشاره می‌شود.

۱- تولید فیلتر هوا با استفاده از نانوالیاف ضد میکروب [۱۲].



۲- پوشش‌های زخم ضد میکروب و جاذب ترشحات [۱۳].



مختلف از خاصیت ضد میکروبی برخوردار هستند. برای مثال رنگ حاصل از انار به دلیل وجود مقادیر قابل توجه تانن از خاصیت ضد میکروب برخوردار است. منابع گیاهی حاوی نفتوکینون نظیر حنا، گردو از خاصیت ضد باکتری و قارچ برخوردار هستند [۱۷]. استفاده از زردچوبه به منظور رنگ‌رزی و تکمیل پارچه پشمی سبب ایجاد خاصیت ضد میکروب در این نسوج شده است. گوپتا و همکارانش با استفاده از عصاره بلوط در حضور دندانه‌های آلومینیوم و مس موفق به تهیه پارچه ضد میکروب پنبه‌ای با قابلیت حفظ خاصیت ضد میکروب پس از ۵ بار شستشو شدند [۸].

استفاده از مواد ضد میکروب طبیعی دیگر نظیر آلوئه‌ورا، عصاره درخت چای، عصاره گل‌گاو خاردار و اکالیپتوس نیز برای ضد میکروب کردن نسوجات گزارش شده است [۹]. در سال‌های اخیر از فناوری نانو در تولید حامل‌های نانومتری نظیر نانوکپسول‌ها به منظور افزایش ماندگاری و کارایی مواد ضد میکروب طبیعی استفاده شده است.

#### فرایندهای ضد میکروب کردن نسوجات

به منظور ضد میکروب کردن نسوجات از روش‌های مختلفی نظیر افزودن ماده ضد میکروب در مرحله تولید الیاف و یا تکمیل نسوجات استفاده می‌شود.

#### الیاف مصنوعی ضد میکروب

یکی از روش‌های تولید الیاف ضد میکروب، افزودن ترکیبات ضد میکروب در مرحله تولید الیاف می‌باشد. در روش‌های مختلف تولید الیاف نظیر ذوب‌ریسی، ترریسی، خشک‌ریسی و الکتروریسی می‌توان با افزودن مواد ضد میکروب به محلول یا مذاب ریسندگی، الیافی با خاصیت ضد میکروب تولید کرد.

#### تکمیل ضد میکروب نسوجات

الیاف طبیعی و نسوجاتی نظیر پارچه و نسوجات بی‌بافت که امکان ضد میکروب کردن آن‌ها در مرحله تولید الیاف وجود نداشته باشد را می‌توان در مرحله تکمیل ضد میکروب کرد.

#### نسوجات ضد میکروب

##### نانوالیاف ضد میکروب

الکتروریسی به عنوان اصلی‌ترین روش برای تولید نانوالیاف پیوسته در مقیاس صنعتی و محدوده وسیع قطر (از چند نانومتر تا چند میکرومتر) شناخته می‌شود.

در الکتروریسی امکان افزودن دارو و مواد ضد میکروب به محلول پلیمری به منظور تولید نانوالیاف حاوی این مواد وجود دارد. به





پارچه اضافه نمود و پارچه در فرآیند رنگرزی یا چاپ عامل دار شده و دارای خواص موردنظر می‌شود. همچنین می‌توان عامل ضد میکروب را به مواد مورد استفاده در فرآیند تکمیل نهایی اضافه کرد. به منظور تکمیل پارچه با مواد ضد میکروب نانومتری روش‌های مختلفی وجود دارد که برخی از آن‌ها در شکل ۵ ذکر شده‌اند.

### تولید چرم آنتی‌باکتریال

افزودن نانوذرات ضد میکروب (معمولاً نانوذرات نقره) به چرم با روش‌های مورد کاربرد برای منسوجات متفاوت است. بدین منظور از فرآیند تخلیه الکتریکی کرونا استفاده می‌شود. در این روش، گازهای محیط توسط تخلیه الکتریکی کرونا به رادیکال، الکترون و یون تبدیل شده و ذرات تهییج شده می‌توانند سطوح پلیمری را تحت تاثیر واکنش شیمیایی و تخریب ساختار سطحی قرار دهند. این فرآیند سبب عامل دار شدن زنجیره‌های پلیمری چرم، ایجاد حفره‌های میکروسکوپی شده که جذب نانوذرات را امکان‌پذیر می‌سازد. سپس روغنی حاوی عامل‌های ضد میکروب بر سطح چرم پاشیده شده و در نهایت چرم ضد میکروب تولید خواهد شد [۱۷].

### تکمیل ضد میکروب محصولات نهایی

به منظور ایجاد خاصیت ضد میکروب در منسوجات تمام شده نظیر پوشاک می‌توان از روش‌هایی نظیر غوطه‌وری و افشانه حاوی نانومواد ضد میکروب استفاده کرد. هرچند این روش یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای تولید منسوجات ضد میکروب است، لیکن عدم اتصال نانوذرات به منسوجات منجر به سهولت رهايش این مواد می‌شود. در نتیجه علاوه بر کاهش خواص موردنظر در منسوجات، سبب آلودگی محیط زیست و



شکل ۵. روش‌های مختلف تکمیل منسوجات

۳- ماسک ضد میکروب تهیه شده از نانوالیاف [۱۴].

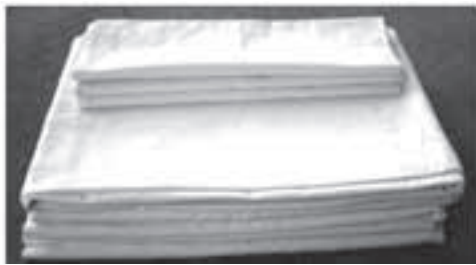


### الیاف ضد میکروب

افزودن نانومواد ضد میکروب در مرحله تولید الیاف به منظور تولید الیاف ضد میکروب پیشنهاد شده است. به این منظور در مورد الیافی که به روش ذوب ریسی تهیه می‌شوند. ماده ضد میکروب در مرحله پیش از ذوب شدن به گرانول‌های پلیمری افزوده شده و در اثر ذوب شدن و اختلاط به وسیله اکسترودر، مذاب یکنواختی حاوی مقدار مشخص ماده ضد میکروب تهیه می‌شود که پس از گذر از رشته‌ساز به فیلامنت‌های ضد میکروب تبدیل می‌شوند. از مزایای این روش استفاده از ماشین‌آلات ذوب ریسی برای تولید الیافی با خاصیت ضد میکروب و عدم نیاز به تجهیزات اضافه است. از این روش برای تولید الیاف پلی‌استر و نایلون حاوی نانوذراتی نظیر نقره و روی استفاده می‌شود. تولید الیاف ضد میکروب با استفاده از نانوذرات از طریق فرآیند ترریسی نیز امکان‌پذیر است. در تحقیقی که توسط حُسام و همکارانش انجام شد، الیاف ویسکوز ضد میکروب و رنگی با استفاده از نانوذرات نقره تهیه شد. به این منظور نانوذرات نقره به صورت درجا و بدون استفاده از عامل احیا و پایدارکننده در ماتریس پلیمری ویسکوز سنتز شد. الیاف نهایی با توجه به غلظت نانوذرات نقره از رنگ زرد تا نارنجی برخوردار بودند. آزمون ثبات شستشویی (بیش از ۲۰ بار شستشو) و حفظ خاصیت ضد میکروبی الیاف پس از شستشو، گواه کیفیت از این روش بدون استفاده از عامل اتصال یا کراس لینک کننده می‌باشد [۱۶]. از دیگر روش‌های تولید نخ ضد میکروب، عبور نخ اولیه از درون محلولی حاوی نانوذرات ضد میکروب می‌باشد. در این روش نانوذرات همانند آهار بر روی نخ تولیدی قرار می‌گیرند. از این روش می‌توان برای ضد میکروب کردن انواع نخ پنبه‌ای، ابریشمی، پشمی و مصنوعی استفاده کرد.

### پارچه‌های ضد میکروب

این محصولات عموماً با فرایندهای مختلف تکمیل تولید می‌شوند. برای تولید پارچه‌های ضد میکروب می‌توان نانوذرات را به رنگزای



شکل ۶. برخی محصولات ضد میکروب شرکت AgActive

۴. در سال ۲۰۰۸ Paolo Pianezza مالک شرکت پایانزا نخی برای تولید کراوات با استفاده از نخ ضد میکروب تولید نمود. در سال ۲۰۰۹ روش تولید این نخ در قالب اختراعی در اروپا به ثبت رسید. این نخ به دلیل افزودن نانوذرات یا یون‌های نقره در مرحله ریسندگی، از خاصیت ضد میکروب برخوردار می‌باشد [۲۰].

۵. شرکت جونز آمریکا در طول "مسیر سبز" تولید محصولات خود موفق به دستیابی به فناوری تولید نخ ضد میکروب و بهبود یافته AMTM شده است. کارایی ضد میکروبی نخ‌های سری ۰۹۶۰۰۴ و ۵۰۶۵۰۴ ناشی از طبیعت ضد باکتری نانوذرات نقره است. نخ‌های AMTM با اختلاط نانو ذرات نقره در مرحله ریسندگی الیاف پلی‌استر تولید می‌شوند و از آنجایی که نانوذرات به صورت سطحی بر روی الیاف قرار نگرفته‌اند، لذا در اثر شستشو یا استفاده از نخ جدا نشده و خاصیت ضد باکتری این الیاف دائمی است. یون‌های نقره سازگار با محیط زیست، غیر سمی و غیر آلرژی‌زا بوده و در تماس با انسان کاملاً

افزایش احتمال ورود این مواد به بدن انسان و ایجاد بیماری‌های ناشی از حضور این ذرات در بدن می‌شوند.

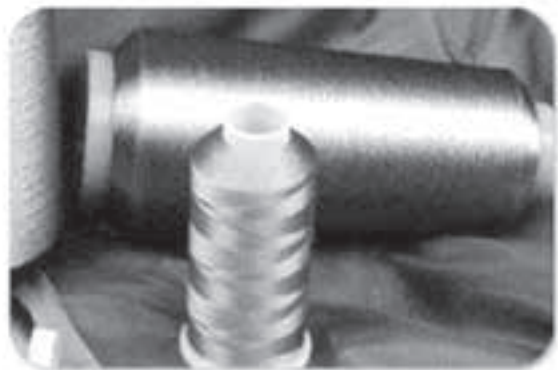
### شرکت‌های تولید کننده محصولات ضد میکروب

مقبولیت منسوجات ضد میکروب در میان مصرف کنندگان، سبب ترغیب تولید کنندگان به تحقیق، ثبت اختراع و تولید محصولات مربوطه شده است که در ادامه به چند نمونه اشاره می‌شود.

۱. در اختراعی که در سال ۲۰۰۷ به ثبت رسید، روش جدیدی برای تولید نخ ضد میکروب ارائه شده است. اثر ضد قارچ نخ ناشی از حضور رسوبی از نانو ذرات نقره بر سطح نخ بود. مخترعان این نخ را برای تولید پارچه به ویژه پوشش‌های زخم یا سوختگی، لباس زیر، جوراب، کفش و آستر کفش، ملحفه، بالش، حوله، محصولات بهداشتی، روپوش آزمایشگاه و لباس‌های پزشکی مناسب دانسته‌اند [۱۶].

۲. شرکت AgActive استرالیا با استفاده از فناوری نانو و تکمیل منسوجات با نانوذرات نقره موفق به تولید محصولات متنوعی نظیر حوله، جوراب، ملحفه و روبالشی نموده است و تولید منسوجاتی نظیر لباس زیر و تیشرت ضد میکروب را در دستور کار خود قرار داده است [۱۸].

۳. شرکت Nanosilver® در کشور چک، با استفاده از نخ‌های مصنوعی حاوی نانوذرات نقره همراه با الیاف پنبه (به منظور افزایش راحتی) اقدام به تولید محصولات متنوعی نظیر جوراب، لباس زیر، لباس ورزش و ... نموده است. این شرکت استفاده از محصولاتش را به افراد نظامی، کارگران، کشاورزان و همه افرادی که ناگزیر به انجام فعالیت‌های بدنی زیاد هستند پیشنهاد نموده است [۱۹].



شکل ۸. کراوات تولید شده با نخ ضد میکروب توسط شرکت Pianezza



شکل ۷. نمونه‌ای از محصولات ضد میکروب شرکت Nanosilver



**Silver Release**  
Built-in Antimicrobial Carpet Treatment



شکل ۹. برخی محصولات تهیه شده از نخ تولیدی شرکت جونز آمریکا

و سایر نهادها لزوم به کارگیری مواد ضد میکروب در این منسوجات را به وجود آورده است. شرکت انگلیسی دان فلور فناوری نوینی را برای غلبه بر این مشکل ارائه نموده است. محصول **maedical™ i-Link™** ساخت این شرکت، طراوت و بهداشت مطلوب را برای منسوجات حتی پس از استفاده بسیار زیاد و شستشوی مکرر تضمین می‌کند. این فناوری یک پوشش ضد میکروبی ثابت بر روی الیاف فرش است که منجر به مرگ میکروارگانیسم در زمان تماس با فرش می‌شود. کارایی این پوشش به مرور زمان کاهش نیافته و محیط غیر قابل رشدی برای میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌کند که سبب از بین بردن بوی نامطبوع و افزایش بهداشت جامعه می‌شود. سازوکار اثر ضد میکروب این پوشش در شکل ۱۵ نشان داده شده است [۲۳].

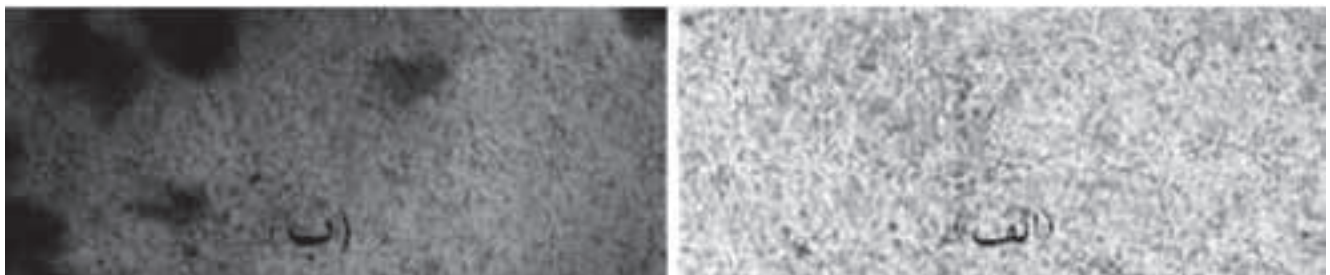
۸. شرکت ایتالیایی رادیسسی در سال ۲۰۰۴ نخ نایلون ۶ ضد میکروب را با استفاده از فناوری ضد میکروبی **AlphaSan®** (سرامیک زیرکونیم فسفات حاوی نانوذرات نقره) برای تولید فرش ارائه نموده است که از رشد کپک، قارچ، باکتری و سایر میکروارگانیسم‌های مسبب ایجاد بوی نامطبوع، تغییر رنگ و بیماری جلوگیری می‌کند [۲۴].

۹. شرکت بلیس فرش ضد میکروبی را با استفاده از خاصیت ضدباکتری فلزاتی نظیر، مس و روی ارائه نموده است. سازوکار این فناوری به رهائش یون‌های فلزی در رطوبتی که برای رشد میکروب‌ها مورد نیاز است باز می‌گردد. یون‌های فلزی به میکروب متصل شده و

بی خطر می‌باشند. نخ **AMTM** برای کاربرد در منسوجات مورد استفاده در نظافت، تولید مواد غذایی، بهداشت مناسب است. هنگامی که از این الیاف برای پاک کردن زمین استفاده می‌شود، مواد آلی، خاک، ذرات غذا، قارچ، کپک و حتی باکتری‌ها را نیز جمع‌آوری و نابود می‌کند. نخ **AMTM** در برابر رشد میکروب‌های تخریب‌کننده رنگ منسوجات و کاهنده استحکام الیاف مقاوم است [۲۱].

۶. شرکت **Newlife™** تولیدکننده نخ ضد میکروب با ماندگاری خواص در طول زمان مصرف می‌باشد. این شرکت ایتالیایی با اضافه کردن مخلوطی از سرامیک حاوی فسفات زیرکونیم/یون نقره/حین فرایند ذوب-ریسی، موفق به تولید نخ ضد میکروب و ضد بو با حفظ ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نخ شده است که رشد میکروارگانیسم‌های غیربیماری‌زا را که باعث ایجاد بوی نامطبوع می‌شوند را مهار می‌کند. سرامیک به کارگرفته شده در این پلیمر از لحاظ ایمنی دارای استاندارد **Oeko-Tex® standard 100** بوده، که بیانگر عدم ایجاد حساسیت در اثر تماس با پوست و عدم آلودگی در اثر رهائش در محیط زیست می‌باشد استفاده از این محصول در منسوجاتی نظیر پوشاک (لباس زیر، جوراب، لباس‌های ورزشی، لباس کارمورد استفاده در صنایع غذایی و پزشکی)، مبلمان و منسوجات خواب (ملحفه، پتو، لحاف)، پرده حمام، حوله و ... پیشنهاد شده است [۲۲].

۷. افزایش استفاده از فرش در اماکن عمومی نظیر بیمارستان‌ها، مدارس



شکل ۱۱. فرش تهیه شده از الیاف ضد میکروب (الف)، فرش معمولی (ب)



شکل ۱۲. باند زخم سه لایه Acticoat

استفاده است. دائمی بودن خاصیت ضد میکروب در کنار سازگاری با شرایط عملیات و ماشین آلات ریسندگی از مهمترین ویژگی‌های این محصول می‌باشد که در مرحله اول، ۳۰۰ تن از این محصول تولید و به بازار داخل کشور عرضه شد [۲۸].

۲. شرکت تولیدی تهران زرنخ یکی از سه کارخانه گروه تولیدی صنعتی تهرانی، موفق به تولید نخ پلی‌آمید با خاصیت ضد میکروب ماندگار نموده است. به منظور تولید این الیاف از مستریج حاوی PA6 / نانوذرات نقره/TiO<sub>2</sub> استفاده شده است که در مرحله ذوب‌ریسی با گرانول پلی‌آمید مخلوط می‌شود. محصولات متعدد تهیه شده از این الیاف موفق به دریافت نشان سیب سبز سلامت از سازمان غذا و دارو شده است [۲۹].

۳. دو شرکت جوراب کاسپین و تولیدی جوراب مهیار زنجان نیز از پوشش‌دهی محصولات خود با نانوذرات نقره به منظور ایجاد خاصیت ضد میکروب و ضد بو در محصولات خود استفاده می‌نمایند [۳۰].

۴. شرکت نفیس نخ از تولیدکنندگان نخ پلی‌استر موفق به تولید نخ پلی‌استر ضد میکروب با استفاده از نانوذرات نقره شده است [۳۱].

۵. شرکت تولیدات کاغذی گلریز با استفاده از ذرات ۵ نانومتری نقره با غلظت ۲ ppm (دو قسمت در میلیون) بر روی دستمال کاغذی موفق به تولید دستمال کاغذی ضد میکروب شدند. فناوری تولید این دستمال کاغذی بومی بوده و از لحاظ قیمت تنها ۲۰ درصد نسبت به دستمال کاغذی های معمولی افزایش قیمت خواهد داشت.

۶. پانسمن AgiCoat تولید شده در شرکت داروسازی عماد نمونه‌ای دیگر از محصولات ضد میکروب نانویی ساخت ایران است. این محصول یک پانسمن تک لایه با پوششی از نانو کریستال های نقره است که توسط روش احیای شیمیایی، نقره بر روی شبکه‌های الیاف نایلونی با انعطاف پذیری بسیار بالا، پوشش داده شده‌اند. این لایه با آزادسازی آهسته یون نقره اثرات ضد میکروبی و ضد التهابی خود را اعمال می‌کند [۳۲].

منابع در دفتر مجله موجود است.

سب غیرفعال شدن آنها می‌شوند. نانوذرات فلزی چین ریسندگی الیاف فرش به آنها افزوده می‌شود و به این ترتیب از ایجاد بوی نامطبوع ناشی از حضور باکتری‌ها جلوگیری می‌نماید [۲۵].

شکل ۱۰. یون‌های فلزی رها شده روی الیاف فرش سبب غیرفعال شدن میکروب های عامل ایجاد بو و لکه روی فرش می‌شوند.

۱۰. شرکت میکروبن نیز فرش ضد میکروبی ارائه نموده است که با از بین بردن شرایط رشد و تکثیر میکروب‌ها، مانع از ایجاد لکه و بوی نامطبوع بر روی فرش می‌شود. به علت افزودن مواد ضد میکروب حین تولید الیاف خواص الیاف ماندگار بوده و برای مقابله با طیف گسترده‌ای از انواع میکروب‌ها طراحی شده است. فرش ضد میکروب تولید شده برای کاربرد در محلهایی که به علت عبور و مرور بسیار زیاد مستعد رشد میکروب هستند، بسیار مناسب است. این خواص ناشی از حضور ذرات روی در الیاف فرش می‌باشند [۲۶].

۱۱. شرکت ناکریست، باندهای زخم حاوی نانوذرات نقره برای زخم‌های سوختگی ارائه نموده است که مانع از ایجاد عفونت در محل زخم می‌شود. این باند زخم شامل دو لایه منسوج بی‌بافت ریون/ پلی‌استر است که در طرفین توری پلی‌اتیلن با چگالی زیاد (HDPE) پوشش داده شده با نقره قرار گرفته است [۲۷].

### وضعیت فناوری در ایران

استقبال گسترده از جشنواره‌ها و نمایشگاه‌های نانوفناوری در حوزه نساجی، نشان دهنده افزایش توجه مردم نسبت به استفاده از منسوجات تولید شده مبتنی بر فناوری نانو است. از سوی دیگر اهمیت سلامت و بهداشت، زمینه فعالیت شرکت‌های نانوفناوری در این حوزه فراهم ساخته است. در کشور ما برخی صنایع به استفاده از فناوری نانو در تولید منسوجات به ویژه منسوجات ضد میکروب روی آورده‌اند که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

۱. صنایع پتروشیمی شهید تندگویان اقدام به تولید گرانول پلی‌اتیلن ترفتالات ضد میکروب (حاوی نانوذرات TiO<sub>2</sub>-Ag) با نام تجاری AB-PET نموده است که در تولید فیلامنت پلی‌استر ضد میکروب قابل