



ارزیابی مقایسه‌ای ترکیبات مختلف ضدمیکروبی مورد استفاده در منسوجات

منتشر شده توسط ستاد ویژه توسعه فناوری نانو | مترجم: فاطمه مرتضوی مقدم

۱. چکیده

بسیاری از فناوری‌های ضدمیکروبی در منسوجات نیز قابل استفاده هستند. این روش‌ها جهت جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها برای انواع منسوجات با کاربردهای بسیار مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه ترکیبات ضدمیکروبی دارای تأثیرات بیولوژیک هستند، ارزیابی ایمنی آنها بسیار مهم و ضروری است. به همین جهت تحقیقات به‌روز و بررسی‌های نظارتی، اموری اجتناب‌ناپذیر محسوب می‌شوند. هدف این مقاله ارائه نمای کلی از ترکیبات اصلی ضدمیکروبی است که امروزه جهت عامل‌دار نمودن پارچه مورد استفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات درج شده در این مقاله مروری، از نشریات علمی، داده‌های تجاری و اسناد نظارتی استخراج شده‌اند. همچنین در نگارش مقاله به تأثیرات بالقوه ترکیبات ضدمیکروبی بر روی سلامت انسان، محیط زیست و چرخه اکولوژیک توجه شده است. مشخصات هر کدام از ترکیبات، از جنبه‌های خصوصیات فنی، زیست محیطی و شاخص‌های سلامت انسان جمع‌بندی شده است. ترکیب‌های چهارتایی آمونیوم سیلان، پرتیون روی و ترکیبات نقره، ترکیبات اصلی ضدمیکروبی مورد استفاده در منسوجات هستند. از نظر وزنی، ترکیبات آلی سنتزی بیشترین عامل ایجاد خاصیت ضدمیکروبی در بازار منسوجات محسوب می‌شوند. در صورتی که به لحاظ تکنیکی میزان دوز ترکیبات مورد استفاده جهت عامل‌دار کردن ضدمیکروبی منسوجات، پارامتر بسیار مهمی به حساب می‌آید، هر چقدر میزان دوز تیمار مورد نیاز برای ایجاد خاصیت ضدمیکروبی پائین‌تر باشد، بهتر خواهد بود. به بیان دیگر میزان دوز پائینتر از ماده فعال جهت عامل‌دار کردن موثر، مطلوب خواهد بود.

ماندگاری تیمار ضدمیکروبی در منسوجات، تأثیر به‌سزایی در پتانسیل رهایش ماده ضدمیکروبی در محیط زیست و اثرات متعاقب آن دارد. از نظر ضوابط زیست محیطی، تمام این ترکیبات جزء موادی رتبه‌بندی شده‌اند که با استفاده از حذف موثر در فرآیندهای تصفیه فاضلاب خارج می‌شوند. میزان اطلاعات منتشر شده در مورد رفتار زیست محیطی برای هر ترکیب متفاوت است، به همین علت، مقایسه تمام پارامترهای مربوط به منسوجات ضدمیکروبی، با محدودیت‌هایی وجود خواهد داشت. با این وجود، ارزیابی مقایسه‌ای نشان می‌دهد که هر کدام از فناوری‌های ضدمیکروبی، خطرات و مزایای خاص خود را داشته و باید در ارزیابی میزان مناسب بودن محصولات ضدمیکروبی مختلف در نظر گرفته شود. همچنین نتایج نشان داده که نقره در مقیاس نانو و نمک‌های نقره عامل‌دار شده، با دوز استفاده پائین، قابلیت مناسبی جهت

استفاده در منسوجات دارند. شست‌وشو و مراقبت منظم از منسوجات باعث مصرف مقدار زیادی از منابع به عنوان مثال آب، انرژی و مواد شیمیایی می‌شود و تیمارهای ضدمیکروبی منسوجات می‌تواند نقش مهمی را در کاهش دفعات و یا میزان شست‌وشو بازی کند. که این امر منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در منابع و همچنین حفظ محیط زیست می‌شود.

۲. مقدمه

پارچه در سراسر جهان وجود دارد و با اهداف گوناگون از آن استفاده می‌شود. براساس گزارش FAO در سال ۲۰۰۸، سرانه مصرف فیبر در جهان معادل ۱۰/۴ کیلوگرم بوده است. امروزه بخشی از منسوجات جهت مهار و جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها تحت تیمار با بیوسایدها قرار می‌گیرد. تیمار با بیوسایدها جهت محافظت از خود پارچه یا محافظت از مصرف‌کنندگان، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیوساید اصطلاحی کلی است که به عوامل و موادی که باعث از بین بردن و مرگ میکروارگانیسم‌ها می‌شوند، مانند علفکش، حشره‌کش، موش‌کش و... اطلاق می‌شود و اصطلاح تیمار با بیوسایدها یک اصطلاح کلی است که برای منسوجات ضدمیکروبی به‌کار برده می‌شود. تیمار ضدمیکروبی منسوجات پدیده‌ای نوظهور نیست و چندین دهه است که این محصولات در مراکز فروش در دسترس عموم قرار دارند. پارچه‌های ضدمیکروبی کاربردهای وسیعی دارند. از کاربردهای آن در فضای باز می‌توان چادر، پارچه کرباسی قیراندود عایق آب، سایبان، پرده‌ها، چترهای آفتابگیر، بادبان و لباس‌های ضدآب را نام برد. همچنین کاربردهای داخلی آن شامل پرده‌های حمام و تشک است. منسوجات ضدمیکروبی برای تولید لباس‌های ورزشی، تی‌شرت و جوراب کاربرد دارند. همچنین این نوع منسوجات کاربرد پزشکی هم داشته و در آماده‌سازی بستر بیمار استفاده می‌شوند. در سال ۲۰۰۰ تقریباً صد هزار تن فیبر ضدمیکروبی تولید شده است. بسیاری از ترکیبات جهت ایجاد عملکرد ضدمیکروبی در منسوجات مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال می‌توان به ترکیبات آلی سنتزی مانند: تریکلوزان، ترکیبات چهارتایی آمونیوم، پلی بیگوانید، N هالامین و ترکیبات فلزی مانند نقره و ترکیبات ضدمیکروبی مشتق شده از مواد طبیعی مانند کیتوزان اشاره نمود.

برای اینکه بتوان از عوامل ایجادکننده ضدمیکروبی در منسوجات استفاده کرد، به تحقیق بسیاری از معیارهای مختلف از جمله اثربخشی علیه میکروارگانیسم‌ها، مناسب بودن برای فرآوری منسوجات، دوام، ایمنی



مناسب و مشخصات زیست‌محیطی نیاز است. بهبود خواص و کیفیت عوامل ایجادکننده خاصیت ضد میکروبی و همچنین یافتن ترکیبات جدید و بهتر، موضوعات تحقیقاتی است که در حال حاضر در دست بررسی هستند و در چند سال اخیر توجه بسیاری به ترکیبات مشتق شده از مواد طبیعی جلب شده است.

کمیسیون اروپا در مطالعه‌ای، ۱۵۴۶ تن مواد بیوساید مورد استفاده در ایف، چرم، لاستیک و مواد پلیمریزه را فهرست کرده است. همچنین این بررسی نشان می‌دهد که تقاضا برای منسوجات با خواص ضد میکروبی در حال افزایش است. از آنجا که فعالیت بیولوژیکی عوامل ایجادکننده خاصیت ضد میکروبی، بر روی موجودات غیر هدف هم تأثیر می‌گذارد، نگرانی‌های بالقوه از تأثیر آنها بر روی محیط زیست و سلامت انسان به وجود می‌آید. ارزیابی ایمنی محصولات دارای بیوساید، یکی از حوزه‌های تحقیقاتی مهم محسوب می‌شود. مطالعات زیادی به بررسی میزان ریسک هر کدام از مواد ضد میکروبی پرداخته است، این مطالعات و مقالات چاپ شده در سال‌های اخیر بر روی منسوجات ضد میکروبی حاوی نقره و نانونقره متمرکز شده‌اند. به عنوان مثال چندین مقاله در مورد میزان رهایش نقره از پارچه در طی فرآیند شست‌وشو و تأثیرات زیست‌محیطی آن منتشر شده است.

۳. استفاده از ضد میکروب‌ها در محصولات نساجی

چرا مواد ضد میکروبی در منسوجات استفاده می‌شوند؟

منسوجات به دلایل متعددی از جمله علل بازرگانی، بازاریابی و علل کاربردی تحت تیمار ضد میکروبی قرار می‌گیرند. مواد ضد میکروبی در منسوجات به طور معمول جهت اعمال بهبود خواص در برابر میکروارگانیسم‌ها، مانند جلوگیری از تخریب پلیمرها، تغییر رنگ و افزایش دوام پارچه به کار می‌روند. استفاده از این مواد موجب افزایش طول عمر استفاده از پارچه خواهد شد. همچنین استفاده از مواد ضد میکروبی در منسوجات از تشکیل کلونی باکتری‌های ایجادکننده بو بر روی پارچه جلوگیری می‌کند. این نوع منسوجات در محیط‌های کلینیکی که از نظر بهداشتی بسیار حساس هستند نیز کاربرد دارد، زیرا باید امکان تشکیل کلونی‌های باکتریایی و قارچی را بر روی سطوح پارچه‌های مورد استفاده در این بخش و همچنین احتمال سرایت میکروب‌ها از سطح ایف را به پایین‌ترین حد ممکن برساند. راهبردهای مختلفی جهت محافظت و پاکیزگی منسوجات وجود دارد که میتوان به شست‌وشوی منظم و تیمار پارچه با مواد شیمیایی رختشویی اشاره کرد. هدف از اعمال تیمارهای ضد میکروبی، جایگزینی کلی فرآیند شست‌وشو

مناسب و مشخصات زیست‌محیطی نیاز است. بهبود خواص و کیفیت عوامل ایجادکننده خاصیت ضد میکروبی و همچنین یافتن ترکیبات جدید و بهتر، موضوعات تحقیقاتی است که در حال حاضر در دست بررسی هستند و در چند سال اخیر توجه بسیاری به ترکیبات مشتق شده از مواد طبیعی جلب شده است.

کمیسیون اروپا در مطالعه‌ای، ۱۵۴۶ تن مواد بیوساید مورد استفاده در ایف، چرم، لاستیک و مواد پلیمریزه را فهرست کرده است. همچنین این بررسی نشان می‌دهد که تقاضا برای منسوجات با خواص ضد میکروبی در حال افزایش است. از آنجا که فعالیت بیولوژیکی عوامل ایجادکننده خاصیت ضد میکروبی، بر روی موجودات غیر هدف هم تأثیر می‌گذارد، نگرانی‌های بالقوه از تأثیر آنها بر روی محیط زیست و سلامت انسان به وجود می‌آید. ارزیابی ایمنی محصولات دارای بیوساید، یکی از حوزه‌های تحقیقاتی مهم محسوب می‌شود. مطالعات زیادی به بررسی میزان ریسک هر کدام از مواد ضد میکروبی پرداخته است، این مطالعات و مقالات چاپ شده در سال‌های اخیر بر روی منسوجات ضد میکروبی حاوی نقره و نانونقره متمرکز شده‌اند. به عنوان مثال چندین مقاله در مورد میزان رهایش نقره از پارچه در طی فرآیند شست‌وشو و تأثیرات زیست‌محیطی آن منتشر شده است.

مطالعه‌ای که به‌وسیله‌ی کرامر و همکاران در سال ۲۰۰۶ انجام شده، به مشکلات بالقوه زیست‌محیطی و بهداشتی در تیمارهای مختلف منسوجات ضد میکروبی می‌پردازد و بر ریسک بیشتر تریکلوزان تأکید می‌کند. اما تا به امروز هیچ قطعیتی در ارزیابی مقایسه‌ای ریسک ترکیبات ضد میکروبی مختلف استفاده شده در منسوجات وجود نداشته است. برای اینکه بتوانیم بررسی و مقایسه درستی از فناوری اعمال خاصیت ضد میکروبی در منسوجات داشته باشیم، نه تنها مواد ضد میکروبی بلکه روش تیماردهی آنها هم باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد. برای مقایسه صحیح، بسیار مهم است که به بررسی خطرات و مزایای روش‌های مختلف اعمال خاصیت ضد میکروبی حتی‌الامکان در شرایط یکسان پرداخته و از تمرکز زیاد فقط بر روی ماده ضد میکروبی خودداری کنیم. بهترین فناوری‌های ضد میکروبی برای منسوجات باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر به حداقل رساندن خطرات بالقوه، از دوام در عملکرد آنتی‌باکتریال

جدول ۱. شرح مواد ضد میکروبی آلی

فرمول شیمیایی	ساختار شیمیایی	کلاس شیمیایی	ماده ضد میکروبی
$C_{12}H_7Cl_3O_2$		فنول کلر	تریکلوزان 2,4,4'-trichloro-2'-hydroxydiphenyl ether
$C_{26}H_{58}ClNO_3Si$		ترکیبات چهارگانه آمونیوم	Si-QAC 3-(trihydroxysilyl) propyldimethyl-octadecyl ammonium chloride
$C_{10}H_8N_2O_2S_2Zn$		کمپلکس فلز آلی	پیریتینون روی Zinc-2-pyridinethiol 1-oxide



ترکیبات چهارگانه آمونیوم به صورت رایج در پارچه‌های مورد استفاده در پوشاک کاربرد دارند. نقره و ترکیبات چهارگانه آمونیوم کاربرد گسترده‌ای در پزشکی دارند و ZNPT برای منسوجاتی که در ارتباط مستقیم با پوست نیستند، مانند منسوجات داخل تشک مطلوب است. دیگر ترکیبات آلی مانند (OIT) و (BIT) و (OBPA) برای پوشش‌هایی که در ارتباط مستقیم با بدن نیستند کاربرد دارند. محافظت از سایش و خوردگی سوزن در پارچه‌هایی با الیاف مصنوعی، سخت و یا سنگین، کاهش کوک‌های آزاد (Skip Stitches)، افزایش پیوستگی در دوخت به دلیل کاهش توقفات و پارگی‌ها، از دیگر مزایای استفاده از نانوپوشش‌ها در سوزن‌های نساجی است. استفاده از نانوپوشش TIN با بیش از دو برابر سختی نسبت به کروم سخت، نه تنها سبب افزایش عمر سوزن شده است، بلکه با کاهش ضریب اصطکاک امکان دوخت پارچه‌های ساینده، سخت و محکم (مانند Denim)، کفش‌های ورزشی و ... را برای تمام سوزن‌ها فراهم می‌کند.

کاهش اصطکاک سطح فلز- پارچه در سایر ابزارها و قطعات صنعت نساجی

با توجه به اینکه فرایند اتوکشی از فرایندهای نهایی اصلی در نساجی است که در آن سطح پارچه با دو سطح فلز در تماس است، سطح فلز نقش بسیار مهمی در کیفیت نهایی محصول ایفا می‌کند. حساسیت به این سطح به خصوص در پارچه‌های مدرن و سبک به طرز قابل توجهی زیاد است که با استفاده از نانوپوشش‌های DLC و یا تفلون می‌توان کیفیت محصول را به طور چشمگیری ارتقا بخشید. از سوی دیگر، قطعات ریز بسیاری در ابزارآلات نساجی از ماشین دوخت گرفته تا ماشین‌های بافندگی و رسیندگی وجود دارد که با نخ در تماس هستند. به دلیل سرعت بالای حرکت نخ، در هنگام تماس نخ با این قطعات که عمدتاً فلزی هستند اصطکاک بسیاری ایجاد می‌شود که می‌تواند به نخ آسیب وارد کند که تمام این آسیب‌ها می‌تواند بوسیله‌ی نانوپوشش‌ها به حداقل برسد.

نیست بلکه این امکان را در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهد که تعداد دفعات شست‌وشو و همچنین شدت شست‌وشوی پارچه‌ها را کاهش دهد. این امر باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و مواد شوینده و کاهش مصرف انرژی می‌شود. مواد ضد میکروبی دارای سازوکارهای عمل متفاوتی هستند. اثر ماده ضد میکروبی ZnPT ناشی از توانایی آن در ایجاد اختلال در حمل و نقل غشاء و فرایندهای غشایی است. TCS به دیواره سلولی باکتری نفوذ کرده، چندین مکان در سیتوپلاسم سلول را مورد هدف قرار می‌دهد و باعث اختلال در فرایند سنتز RNA و ماکرومولکول‌های زیستی و سنتز اسیدهای چرب و همچنین اختلال در عملکرد مکان‌هایی از غشا می‌شود. ترکیبات چهارگانه آمونیوم، مانند Si-QACs به صورت غیرقابل برگشت به فسفولیپیدها و پروتئین‌های غشا متصل شده و در نتیجه نفوذپذیری غشا کاهش می‌یابد. باکتری‌کشی نقره با چندین سازوکار اعمال می‌شود، یون نقره (Ag^+) توانایی برقراری اتصال قوی با دی سولفید (S-S) و گروه سولفیدریل (SH) که در پروتئین‌های دیواره سلولی وجود دارند، را دارد. همچنین یون نقره (Ag^+) فرایندهای متابولیک که به وسیله‌ی جابه‌جایی یون‌های فلزی ضروری مانند (Ca^{2+}) و (Zn^{2+}) انجام می‌شود را مختل نموده که این اختلال منجر به مرگ سلولی می‌شود.

منسوجات تولیدی با استفاده از ضد میکروب‌ها

نوع تیمار ضد میکروبی و پارامترهای مهم آن بستگی به مورد مصرف منسوجات تهیه شده دارد. به عنوان مثال، پروفایل سمیت برای منسوجاتی که به عنوان پوشاک استفاده می‌شوند و در ارتباط مستقیم با پوست بدن انسان هستند بسیار مهم است، اما در مورد منسوجاتی که در فضای آزاد مورد استفاده قرار می‌گیرند پایداری مواد ضد میکروبی در برابر نور حائز اهمیت است. در اینجا نقاط قوت و ضعف هر کدام از این مواد ضد میکروبی (Ag, TCS, Si-QAC, ZNPT) بر اساس نیازهای مصرف‌کننده نهایی، مورد بررسی و بحث قرار می‌گیرد. همانطور که در جدول شماره ۲ نشان داده شده، نقره، تریکلوزان و

جدول ۲. انواع مواد ضد میکروبی جهت کاربردهای به خصوص

کاربرد مدنظر	Ag	TCS	Si-QAC	ZnPT	دیگر ترکیبات آلی ^a
پوشاک (ورزشی، لباسکار و غیره...)	++	++	++	+	-
پزشکی	++	+	++	+	-
لوازم خواب	++	+	++	-	++
تشک و پوشش تشک	-	(+)	+	++	++
فضای آزاد (سایبان و برزنت)	(+)	(+)	(+)	()	(++)

++ فناوری موثر و کارآمد و استفاده تجاری رایج.

++ دارای محدودیت‌هایی در فناوری اما دارای استفاده تجاری.

(+) دارای محدودیت‌های عمده اما به صورت تجاری یافت می‌شود.

- کاربرد محدود و استفاده تجاری ناشناخته.

A: N-OCTYL-ISOTHIAZOLINONE (OIT), BENZ-ISOTHIAZOLINONE (BIT), 10,10'-OXYBISPHENOXARSINE (OBPA)