بخش پایانی

ارزیابی مقایسه‌ای ترکیبات مختلف ضدمیکروبی مورد استفاده در منسوجات

نانو تکنولوژی

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

سلامتی انسان

به منظور ارزیابی ایمنی ترکیبات ضدمیکروبی برای انسان، باید به راه‌هایی که انسان در معرض این مواد قرار می‌گیرد، همچنین به اثرات بالقوهی موثر در بهداشت توجه نمود. باید عواملی مانند نوع ماده فعال (فرم آزاد یا پیوند شده)، غلظت ماده فعال در محصول، راه‌های مواجهه و میزان استفاده را در نظر گرفت تا بتوان تعیین کرد که انسان تا چه حد در معرض ترکیبات ضدمیکروبی موجود در محصولات نساجی قرار دارد. می‌توان مسیرهای در معرض قرار گرفتن ترکیبات ضدمیکروبی مانند نقره، نانونقره، تریکلوزان، Si - QAC و ZnPT را با یکدیگر مقایسه نمود. این ترکیبات ممکن است برای محصولاتی استفاده شوند که در ارتباط مستقیم با پوست هستند یا اینکه انسان به صورت بالقوه می‌تواند از طریق مسیر پوستی یا خوراکی و یا استنشاقی در معرض این مواد قرار بگیرد. به پارامترهایی از جمله حساس شدن پوست و خارش، اختلال در اکولوژی پوست، جهش‌زایی، سرطان و تراتوژن به دو حالت حاد و مزمن، جهت ارزیابی و تعیین مشخصات سمیت یک ماده ضد میکروبی باید دقت و توجه نمود.

خواص ضدمیکروبی مواد به طور خاص جهت هدف‌گیری میکروارگانیسم‌ها طراحی شده است. اما بسیاری از آنها در صورت استفاده به صورت خوراکی، سمیت نسبتاً کمی را ایجاد می‌کنند. برای نشان دادن میزان سمیت از پارامتری به نام LD50 استفاده می‌شود. LD50 به میزان دوز کشندهای از ماده گفته می‌شود که موجب مرگ ۵۰ درصد از حیوانات مورد آزمایش شود. LD50 اندازه‌گیری شده در موش برای ZnPT معادل ۹۲ و برای نقره و Si-QAC بیش از ۵۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

حساس شدن پوست و مسمومیت مزمن از پارامترهای اصلی ارزیابی ایمنی ترکیبات ضدمیکروبی در منسوجات محسوب می‌شود و حتی به عنوان پارامترهای اصلی در مقایسه اثرات خطرناک مواد مختلف هم مورداستفاده قرار می‌گیرند. بر اساس گزارش USEPA در سال ۱۹۹۲، نگرانی در مورد حساسیت پوستی نسبت به فرم توده نقره وجود ندارد. بر اساس گزارش Christensen و همکاران در سال ۲۰۱۰، نگرانی در مورد حساسیت پوستی به فرم نانونقره وجود ندارد. اما در مورد حساسیت پوست به ZnPT نگرانی‌های محدودی وجود دارد. همچنین شواهدی برای حساسیت پوست نسبت به Si-QAC و تریکلوزان گزارش شده است.

هدف مطالعات مسمومیت مزمن، شناسایی پارامترهای NOAEL (بدون مشاهده میزان اثر نامطلوب) و NOEL (بدون مشاهده میزان اثر) جهت تعیین دوز مضر مزمن از ماده است. مطالعات به بررسی تعیین مقدار NOAEL در ترکیبات ضدمیکروبی مختلف پرداخته‌اند. نتایج این تحقیقات مقدار NOAEL در مورد ZnPT را در صورت ورود به فرم خوراکی در موش ۰،۵ و در مورد تریکلوزان ۴۰ میلیگرم بر کیلوگرم در روز تعیین کرده‌اند. مقدار NOAEL برای نانونقره ۳۰ و برای Si-QAC ۲۴۰ و برای نقره به فرم توده ۶۳،۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز تعیین شده است. برای تمام ترکیبات ضدمیکروبی مورد بحث در این مقاله مروری، سؤالاتی درباره سمیت این مواد و اثرات آنها بر سلامت انسان باقی می‌ماند که با تحقیقات بیشتر می‌توان پاسخ آنها را پیدا کرد. به عنوان مثال نقره مادهای نسبتاً غیرسمی برای انسان محسوب می‌شود. اما اخیراً مشاهده شده که تحقیقات بسیاری به نانونقره اختصاص داده شده است. باید توجه داشت که داده‌های تاریخی و تجربه‌های حاصل از زندگی واقعی با نانوذرات نقره (از جمله نقره کلوئیدی) نشان می‌دهد که سمیت نانونقره اختلاف معنی‌داری با نقره به فرم توده و یا نقره به فرم غیرمحلول ندارد. اخیراً در مطالعه ای این موضوع تایید شده است که اثر ضدمیکروبی نانونقره کاملاً به رهایش یون‌های نقره مربوط است و این اثرات ارتباط خاصی با خود ذرات ندارند. اثرات و مسمومیت تریکلوزان با این نگرانی هرماه است که این ماده به صورت یک مختل‌کننده و قطع‌کننده فعالیت غدد درون ریز عمل می‌کند و مشاهده شده که در بافت‌های انسانی توزیع می‌شود.

Dan و Hontela (۲۰۱۱) تریکلـــوزان را به عنوان مادهای ایمن در نظر می‌گیرند، اما تأکید می‌کنند که تحقیقات بیشتری جهت‌شناسایی و حذف عوارض جانبی لازم اســـت. اگر چه Si-QAC جزء مواد شیمیایی خورنده اســـت، اما، USEPA هیچ عوارض شدیدی بر اثر استفاده از آن بر سلامت انسان ذکر نکرده و متصور نیست. ZnPT ممکن است دارای پتانسیل ایجاد برخی خطرات برای رشد و نمو و سیستم عصبی باشد. (USEPA, a۲۰۰۸).

افزایش مقاومت میکروارگانیسم‌ها به ترکیبات ضدمیکروبی

برای هر ماده‌ای که برای مقابله با میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شود، باید پتانسیل ایجـــاد مقاومـــت در برابر آنها را در نظر گرفت. گرایش بـــه القا و ایجاد مقاومت در میکروارگانیسم بستگی به ماهیت شیمیایی ماده، خصوصیات میکروارگانیسم هدف و شرایط زیست‌محیطی میکروارگانیسم موردنظر دارد. عامل مهمی که باعث افزایش خطر مقاومت میکروارگانیسم‌ها نسبت به ترکیبات ضدمیکروبی می‌شود، نحوه عمل یکسان ماده در برابر میکروارگانیسم هدف است. بهخصوص اگر این سازوکار عمل با آنتی بیوتیک‌های مورد استفاده در محیط‌های بالینی مشابه باشد.

به صورت کلی مواد ضدمیکروبی که با حالت‌ها و سازوکارهای مختلف عمل می‌کنند باعث کاهش خطر مقاومت میکروارگانیسم‌ها به ترکیبات ضدمیکروبی می‌شوند. تأثیر این عوامل بر خطر توسعه مقاومت گسترده و سازگار با محیط زیست، نیازمند ارزیابی دقیق است.

در مطالعات تأثیر بســـیاری از مواد ضدمیکروبی مانند تریکلوزان، Si-QAC، نقره و ZnPT بر روی برخی از میکروارگانیسم‌ها تحت شرایط آزمایشگاهی ایده‌آل انجام شده و توسعه مقاومت میکروارگانیسم‌ها مشاهده شده است.

تحقیقات علمی مربوط به بررســـی پتانسیل ایجاد مقاومت در میکروارگانیسم‌ها به صورت کامل در مورد تریکلوزان انجام شـــده است. در گزارش کمیته علمی ایمنی مصرف‌کننده (SCCS، ۲۰۱۰) ذکر شده که به علت حضور تریکلوزان با غلظت بالا در محیط، از لحاظ نظری و تئوری این مقدار غلظت، منتهی به القا و افزایش مقاومت میکروارگانیسم‌ها می‌شود. اما، در مورد زندگی واقعی با عدم وجود شواهد کافی برای نتیجه‌گیری روبه‌رو هستیم. در مورد نقره نیز بررسی گستردهای بر روی مقاومت در بعضی از استرین‌های باکتری‌های وحشی انجام شده است و شواهدی از مقاومت در برابر نقره نشان داده شد.

Percival و همکاران. (۲۰۰۵) تأکید کردند که علی‌رغم ســـابقه طولانی استفاده انســـان از نقره و رها شدن این ماده با غلظت‌های مختلف در محیط زیست، ایجاد مقاومت گسترده در محیط زیست مشاهده نشده است.

با توجه به فقدان اطلاعات در مورد ایجاد مقاومت بالقوه در میکروارگانیسم‌ها نسبت به ترکیبات ضدمیکروبی ســـازگار با شرایط محیط زیست، همچنین مشکلاتی که در زمینه بررسی همه استرین‌های باکتری وجود دارد، نمی‌توان نتیجه‌گیری قطعی راجـــع به تک تک مواد ضدمیکروبی و پتانســـیل آنها در القـــاء و افزایش مقاومت میکروارگانیسم‌ها داشت. جهت درک اصول سازوکارهای مقاومت میکروارگانیسم‌ها پژوهش‌های بیشـــتری در زمینه میکروبیولوژی مورد نیاز است. به نظر می‌رسد که فاصله زیادی بین مطالعات آزمایشگاهی ایدهال و تئوری‌های واقع‌گرایانه بروز خطر مقاومت سازگار با محیط زیست وجود دارد.

باید توجه داشت که الگوی مصرف ترکیبات ضدمیکروبی مورد استفاده در منسوجات، جزئی از مصرف طولانی‌مدت و گسترده مواد ضدمیکروبی است و باید هرگونه تجزیه و تحلیل بروز خطر، شـــامل تمام کاربردهای این مواد در بخش‌های مختلف باشد. با توجه به موارد ذکر شـــده، در نهایت ماده ضدمیکروبی که دارای حالت‌های عمل مختلف، دوام و ماندگاری بالا در منسوجات تیمار شده باشد، ترجیح داده می‌شود.

دیدگاه‌های مربوط به استفاده از ترکیبات ضدمیکروبی در چرخه زندگی

استفاده از منسوجات تیمارشده با ترکیبات ضدمیکروبی دارای مزایای مهمی است و در حفظ محیط زیست نقش اساسی دارد. مواد ضدمیکروبی کارآمد که با دوز پائین جهت اعمال تیمار مصرف شده و دوام و عملکرد مطلوب نیز داشته باشند، ترجیح داده می‌شوند. اثرات زیست‌محیطی یک ماده ضدمیکروبی ناشی از ماده خام استفاده شده در فرآوری تولید ماده ضدمیکروبی، مراحل و فرآیند تیمار منسوجات بوده و یا اینکه در نتیجه مصرف و دفع محصول ایجاد می‌شود.

والســـر و همکاران در ســـال ۲۰۱۱ اولین مطالعه علمی درباره بررسی هزینه‌های زیست‌محیطی مربوط به محصولات نساجی ضدمیکروبی مختلف را منتشر کرده‌اند. این مطالعه به ارزیابی و مقایسه تأثیرات یک پیراهن معمولی با یک پیراهن تیمار شده با تریکلوزان و نانونقره در محیط زیست پرداخته است.

نویسندگان این مقاله نشان دادند که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از پیراهن تیمار شده با تریکلوزان، ناچیز بوده و غیرمعنی‌دار است. Blackburn در سال ۲۰۰۴ اظهار داشـــت که منابع مورداستفاده در تیمار ضدمیکروبی در مقایسه با مزایای حاصله در حفظ محیط زیست ناچیز است.

Walser و همـــکاران در ســـال ۲۰۱۱ بیان کردند که تأثیر زیســـت‌محیطی تیمار ضدمیکروبی نانونقره وابســـته به فناوری تولید نانونقره است. با این وجود مطالعات متعدد توافق دارند، مراحلی که جهت نگهداری و تمیز نگاه داشـــتن لباس‌ها مانند مراحل شست‌وشو، خشـــک کردن و اطو کردن انجام می‌شود به شدت تحت تأثیر عملکرد ضدمیکروبی پارچه بوده و هر چه این مراحل نگاه‌داری کمتر باشد تأثیرات سوء زیست‌محیطی کمتری ایجاد خواهد شد. مزایای حاصل از استفاده از منسوجات ضدمیکروبی عبارتند از کاهش مصرف انرژی، کاهش مصرف آب و کاهش آزادسازی مواد شوینده شیمیایی به محیط زیست.

با توجه به اینکه میلیاردها نفر از مردم روی کره زمین به طور متوسط ۱۰ کیلوگرم پارچه در سال استفاده می‌کنند، مزایای بالقوه استفاده از منسوجات ضدمیکروبی به جهت کاهش بار زیســـت‌محیطی را نمی‌توان نادیده گرفت. در حالی که تأثیر بالقوه مثبت استفاده از منسوجات ضدمیکروبی بر روی محیط زیست واضح و روشن است، اما تحقیقات بیشتر جهت بررسی شیوه‌های مراقبت مصرف‌کنندگان از این پارچه‌ها و تأثیرات آن بر روی محیط زیست ارزشمند خواهد بود.

اتخاذ چشم‌انداز وســـیع‌تری که به بررسی جنبه‌های مختلف فناوری ضدمیکروبی در صنایع نســـاجی می‌پردازد، امری اجتناب‌ناپذیر اســـت. باید به مزایای تجاری و زیســـت‌محیطی دقت شود و با اســـتفاده از این فناوری بالاترین سود را همراه با به حداقل رساندن خطرات زیست‌محیطی و خطرات برای سلامتی انسان به‌دست آورد.

نتیجه‌گیری

حجم تولید مواد ضدمیکروبی

عدم اطمینان در مورد حجم واقعی مصرف و همچنین منابع اطلاعاتی مختلف که تعداد زیادی از مواد را به عنوان بیوساید، مواد ضدمیکروبی و مواد فعال معرفی می‌کنند، باعث شده تا اطلاعات به روز بازار در مورد منسوجات ضدمیکروبی بسیار کم باشد. با این وجود داده‌های مورد بررسی سهم باارزشی در تخمین میزان استفاده ترکیبات ضدمیکروبی ایفا می‌کنند. ترکیبات آلی مصنوعی به‌وضوح حجم غالب بازار ترکیبات ضدمیکروبی منسوجات را به خود اختصاص داده‌اند (۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰ تن در کل برای تریکلوزان، QAC- Si و ZnPT).

ترکیبات ساخته شده مبتنی بر نقره تنها کسر کوچکی از بازار، معادل ۹ الی ۴۵ تن را به خود اختصاص داده‌اند. در صورتی که اگر بخواهیم برآوردی واقع‌گرایانه در مورد ترکیبات ضدمیکروبی منسوجات داشته باشیم باید به تمام مواد ضدمیکروبی متنوع موجود دقت کنیم.

در مورد برآورد مصرف نانونقره در منسوجات باید به این نکته توجه کرد که استفاده از فرم‌های مختلف نقره در پارچه دارای طیف وسیعی معادل ۱٫۲ الی ۴۰ تن بوده و نانونقره سهمی در این طیف دارد. حتی در مورد خود نانونقره هم باید این مورد را در نظر داشت که ممکن است نقره در ابعاد نانو، شامل نمک‌های نقره و یا نانوذرات فلزی باشد.

ارزیابی مقررات تنظیم شده در مورد ترکیبات ضدمیکروبی

ترکیبات ضدمیکروبی در کلاس مواد شیمیایی مربوطه دارای کامل‌ترین مجموعه مقررات تنظیم شده است. تغییرات در مقررات می‌تواند تأثیر بسیار مهمی در تغییر الگوهای استفاده از مواد ضدمیکروبی و میزان سهم استفاده از هر کدام از مواد ضدمیکروبی به‌خصوص در بازار داشته باشد. در صورتی که منسوجات و صنایع نساجی را مصرف‌کننده عمده بعضی ترکیبات به‌خصوص ضدمیکروبی در نظر بگیریم، تغییر الگوی مصرف ترکیبات ضدمیکروبی در منسوجات باعث کاهش معنی‌دار رهایش مواد ضدمیکروبی در طبیعت خواهد شد. به عنوان مثال صنایع نساجی اصلی‌ترین سهم را در میزان کل استفاده تریکلوزان دارد، اما سهم صنعت نساجی در میزان کل استفاده QAC جزئی است.

از این رو ضروری است که قوانین تنظیم شده تمام جوانب، از جمله الگوهای مصرف ترکیبات ضدمیکروبی را مدنظر قرار بدهد. همچنین تمرکز نامتناسب در مورد یک ماده به‌خصوص و یا وجود تناقضات در ارزیابی فرآیند ترکیبات فعال مختلف، می‌تواند منجر به جایگزینی ماده ضدمیکروبی نامناسب گشته و باعث رهایش مقدار بیشتری از ترکیبات ضدمیکروبی در محیط زیست گردد. به عنوان مثال میتوان ۲۱۰ تن تریکلوزان مورد استفاده در تولید منسوجات ضدمیکروبی را با ۲ تن نانونقره و یا ۱۸۰ تن Si-QAC جایگزین نمود.

جهت تنظیم مقررات ارزیابی مربوط به یک ماده ضدمیکروبی به‌خصوص، باید با دیدگاه وسیع‌تری به موضوع پرداخت. باید عواملی همچون تعادل بین خطرات و مزایای استفاده از آن ترکیب و همچنین سنجیدن پارامترهای مختلف در صورت پیشنهاد ماده به عنوان جایگزین ماده دیگر در نظر گرفته شود.

ارزیابی کلی مواد ضدمیکروبی

مقایسه کلی مواد ضدمیکروبی بر اساس معیارهای انتخاب ذکر شده در این مقاله مروری در جدول شماره ۶ نشان داده شده است. سه زمینه اصلی تجزیه و تحلیل در جدول شماره ۶ ذکر شده است:

۱. معیارهای تکنیکی مانند؛ حجم مصرف در منسوجات، نرخ و میزان کاربرد و دوام.

۲. معیارهای زیست‌محیطی مانند؛ پایداری در محیط، حذف بهوسیلهی گیاهان مخصوص در فاضلاب، تجمع و غلظت در محیط زیست.

۳. معیارهای مرتبط به سلامت انسان از قبیل حساسیت و مسمومیت مزمن.

ارزیابی اشکال مختلف نقره به صورت افتراقی انجام شده است. اطلاعات مربوط به ذرات فلزی نقره یا نمک‌های نقره در محدوده مقیاس نانو در گروه «نانونقره» گنجانده شده است و داده‌هایی که در آنها به تبادل یونی نقره و نقره به فرم توده (مانند سیم‌های نقره) اشاره شده است، در گروه نقره به فرم توده قرار گرفته است.

اطلاعات ذکر شده در جدول از مقالات مروری استخراج شده است. دایرهای مشکی نشان دهنده مقدار استفاده و میزان قرارگیری در معرض هر کدام از ترکیبات ضدمیکروبی بهخصوص (بررسی با معیارهای فنی و تکنیکی) است و همچنین نشان دهنده این است که کدام رفتار و یا تأثیر یک ترکیب در نظر گرفته شده، باید مهم تلقی شود (بررسی با معیارهای محیط زیست و سلامت انسان). تأثیر پیشبینی شده پائین با یک دایره مشکی نشان داده شده است. تعداد دایره‌های سیاه بیشتر نشان دهنده تأثیر بیشتر و بالاتر است. قرار گرفتن دایره‌های مشکی داخل براکت نشان‌دهنده احتمال تأثیر (عدم قطعیت) است.

نسبت مواد ضدمیکروبی مورد استفاده در صنایع نساجی، نسبت به کل مصرف در مورد QAC پایینترین میزان را داشته و این نسبت در مورد نانونقره بالاترین مقدار است. اما در مورد نانونقره باید به این مورد دقت کنیم که فرم نقره مورد استفاده در طیف وسیعی از محصولات مشخص نشده است. مطلوبترین نرخ و میزان استفاده جهت تیمار ضدمیکروبی منسوجات (پایین‌ترین سطح دوز) برای نانونقره مشخص شد، برخلاف نانونقره، برای تولید محصولات با نقره به فرم توده (مانند رشته‌های نقره یا الیاف پوشیده شده با نقره) نیاز به نرخ استفاده بسیار بالاتری جهت رسیدن به عملکرد مد نظر، داریم.

استفاده از ترکیباتی با پیچیدگی و غلظت کمتر مانند نانونقره و نانوکلرید نقره که نسبت به دیگر ترکیبات ضدمیکروبی با طبیعت سازگارتر هستند و در نتیجه فشار زیست‌محیطی کمتری را به علت حضور در طبیعت ایجاد می‌کنند. فناوری‌های مختلف تولید منسوجات ضدمیکروبی نیز می‌تواند بر مدت زمان ماندگاری خاصیت ضدمیکروبی تأثیرگذار باشد.

ارزیابی دوام خاصیت ضدمیکروبی را می‌توان برای الیاف مصنوعی که تحت تیمار موضعی مواد ضدمیکروبی قرار گرفته‌اند، نیز انجام داد. ماندگاری و دوام ZnPT در مقایسه با ترکیبات نقره کمتر ارزیابی و طبقه‌بندی شده است. ارزیابی نسبی تداوم ترکیبات در محیط نشان داد که ترکیبات مصنوعی آلی ضدمیکروبی مانند تریکلوزان، تا مدت‌ها ساختارشان را حفظ می‌کنند، اما، نقره به سرعت به فرم‌های دیگر تغییر شکل می‌دهد. با این وجود باید این نکته را در نظر بگیریم که نقره مادهای معدنی بوده و تخریب نمی‌شود و همچنین از محیط زیست حذف نمی‌شود. داده‌ها نشان داد که

جدول شماره ٦. ارزیابی مقایسه‌ای ترکیبات ضدمیکروبی با توجه به معیارهای تکنیکی، زیست‌محیطی و سلامت انسان

معیارها		نانونقره[a]	نقره به فرم توده[b]	تریکلوزان	Si-QAC	ZnPT	توضیحات
تکنیکی و فنی	سهم کلی استفاده در منسوجات	●[●●]	●●	●●	●	●●	این ردیف نشان دهنده سهم کوچک (●) یا بزرگ (●●●) مصرف ماده در صنعت نساجی نسبت به مصرف کل ماده
	میزان استفاده	●	●●●	●●	●●	●●	متوسط میزان توصیه شده جهت محصولات نساجی (●) کم و یا (●●●) زیاد
	ماندگاری عملکرد	●	●	●●	●●	●●	تولید منسوجات با ماندگاری بالا با این ترکیب ضدمیکروبی: از لحاظ تکنیکی امکان استفاده وجود دارد (●) از لحاظ تکنیکی چالش برانگیز است (●●).
محیط زیست	پایداری در محیط زیست	●[c]	●[c]	●●	●	●	تخریب یا تغییر فرم سریع (●)، تخریب محدود (●●) تحت شرایط زیست‌محیطی
	حذف به وسیله فرآیند تصفیه‌فاضلاب	●	●	●	●	a. n	حذف موثر طی فرآیند تصفیه فاضلاب (●) که نتیجه آن رهایش کمتر ماده ضدمیکروبی در محیط زیست است.
	پتانسیل تجمع در بافتهای زیستی و زنده	●	●	●●●	●●	●	پتانسیل تجمع زیستی کم (●) تا زیاد (●●●)
	غلظت در محیط‌زیست	●	●●●	●●	●●	●●	غلظت محاسبه شده یا پیش‌بینی شده در محیط زیست پائین‌تر (●) یا بالاتر (●●●) از غلظت پیش‌بینی شده بیاثر بر محیط زیست
سلامت انسان	پتانسیل حساسیت پوستی	●	●	●●	●●	●	پتانسیل ایجاد حساسیت پوستی بر اساس مطالعات علمی انجام شده، کم (●) تا متوسط (●●)
	سمیت مزمن با غلظت‌های پائین	●	●	●	●	●●	سمیت مزمن غیرمحتمل (●) یا محتمل (●●) در غلظت‌های پایین، بر اساس بررسی‌های علمی منتشر شده
رتبه‌بندی نسبی	–	۱[d]	۴	۵	۳	۲	–

a.n: داده‌ای در دسترس نیست.

a: نانوذرات نقره: شامل نانوذرات نقره به فرم فلزی و ذرات نمک.

b: نقره به فرم توده: نقره فلزی به شکل نخ، الیاف پوشیده شده با نقره و افزودنی‌ها بر اساس یون و منابع قابل توجه نقره که به صورت رایج وجود دارد.

c: نقره یک ماده معدنی بوده و تخریب نمی‌شود. این ماده هنگامی که تحت شرایط زیست‌محیطی قرار می‌گیرد، به سرعت به فرم‌های بی‌خطر (مانند سولفید نقره) تغییر فرم می‌دهد.

d: رتبه‌بندی از ۱ (پائین‌ترین تأثیر) تا ۵ (بالاترین تأثیر) بر اساس جمع تعداد دایره‌ها (تعداد دایره‌های کمتر معادل تأثیر کمتر) انجام شده است.

تمام مواد ضدمیکروبی به جز ZnPT را می‌توان به آسانی با گیاهان مورد استفاده در تصفیه فاضلاب حذف نمود و از رهایش آنها در محیط زیست جلوگیری به عمل آورد. پتانسیل بالای تجمع تریکلوزان در بافت‌های زیستی، نکته‌ای است که باید مورد توجه قرار بگیرد. در یکی از متون علمی، غلظت نقره به فرم توده در محیط زیست بسیار زیاد گزارش شده، اما باید این نکته را در نظر گرفت که نقره مادهای معدنی بوده و به صورت طبیعی در محیط زیست وجود دارد. علاوه بر این، نقره قرن‌ها به‌وسیله‌ی بشر استفاده شده است و سابقه مصرف تاریخی دارد. حساسیت پوستی مخصوصاً نسبت به تریکلوزان و Si-QAC باید مورد توجه قرار بگیرد. در مقایسه‌های پتانسیل نسبی، سمیت ZnPT بالاترین مقدار را به خود اختصاص داد. با توجه به عدم وجود متون و شواهد علمی کافی، نمی‌توان تمایز و تفاوتی در ترکیبات مختلف ضدمیکروبی بحث شده در این مقاله را از نظر ایجاد و القاء مقاومت در میکروارگانیسم‌ها قائل شد.

نتایج حاصل از این ارزیابی مقایسه‌ای نشان می‌دهد که جهت ایجاد خاصیت ضدمیکروبی در منسوجات با استفاده از تریکلوزان و نقره به فرم توده (نقره فلزی و الیاف پوشش داده شده با نقره) نیاز به نرخ مصرف بالای این ترکیبات وجود دارد. نانوذرات نقره و نمک‌های نقره در نرخ مصرف بسیار پائین، خاصیت ضدمیکروبی را در منسوجات ایجاد می‌کنند. نتایج این ارزیابی باید به عنوان نقطه آغازی برای ارزیابی‌های علمی بیشتر در رابطه با ترکیبات ضدمیکروبی در منسوجات باشد.

داده‌های متنوع منتشر شده در مورد ترکیبات مورد نظر، مقایسه بین مواد را پیچیده کرده است. طراحی و انجام آزمایشات راجع به ماندگاری ترکیبات ضدمیکروبی مختلف تحت شرایط کنترل شده جهت بررسی و تعیین قطعی ماندگارترین و با دوامترین ترکیب ضدمیکروبی و بررسی پارامترهای مختلف تیمارهای ضدمیکروبی و شناسایی مهم‌ترین و اصلی‌ترین پارامتر موثر بر ماندگاری امری اجتناب‌ناپذیر است. همچنین افزایش اطلاعات راجع به رفتارهای زیست‌محیطی ترکیبات ضدمیکروبی و غلظت‌های این ترکیبات در بخش‌های مختلف محیط زیست به ارزیابی مقایسه‌ای مناسب‌تر کمک شایانی خواهد نمود. به علاوه در ارزیابی مقایسه‌ای باید در نظر گرفت که استفاده از تیمارهای ضدمیکروبی نقش بسیار مهمی در کاهش تعداد دفعات شست‌وشو و همچنین شدت شست‌وشو ایفا می‌کند. این موضوع پتانسیل این نوع منسوجات را در صرفه‌جویی آب و انرژی و ترکیبات شیمیایی شوینده و نگاهدارنده منسوجات نشان می‌دهد. مزایای ترکیبات ضدمیکروبی به‌خصوص باید در کنار خطرات و ریسک‌های استفاده از آن قرار بگیرد تا بتوان مادهای متناسب با فناوری در دسترس و همچنین متناسب با قوانین وضع شده به‌وسیله‌ی نهادهای نظارتی، جهت جلوگیری از ایجاد تأثیرات سوء و معکوس بر محیط زیست و مصرف‌کنندگان انتخاب نمود. سعی شده تا این تعادل در مورد مواد ضدمیکروبی که امروزه در دسترس هستند، برقرار باشد به علاوه باید تمرکز بیشتری بر توسعه محصولات مطلوب و مناسب از هر حیث در آینده ایجاد شود.

منبع:
Windler, L., Height, M., & Nowack, B. , Comparative evaluation of antimicrobials for textile applications. Environment International, 53, 62–73 (2013)