بخش سوم

ارزیابی مقایسه‌ای ترکیبات مختلف ضدمیکروبی مورد استفاده در منسوجات

نانو تکنولوژی

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

۵.کاربرد ضدمیکروبی بر روی منسوجات

میزان و نرخ استعمال

یکی از عواملی که فعالیت ضدمیکروبی مواد بیوساید را تحت تأثیر قرار می‌دهد، غلظت مواد است. غلظت مواد ضدمیکروبی در محصولات نساجی (میزان و نرخ استعمال) جهت اعمال اثر ضدمیکروبی به چندین عامل بستگی دارد، که عبارتند از: نوع عامل ضدمیکروبی، هدف و کاربرد، به‌عبارتی هدف تعیین شده برای منسوجات تیمار شده، (به عنوان مثال کاربرد در بخش پزشکی در مقایسه با تیمار مورد نیاز جهت پوشاک عمومی)، ساختار پارچه، تثبیت عامل ضدمیکروبی بر روی پارچه، ثبات در طول استفاده (دوام)، فرآیند اعمال تیمار ضدمیکروبی (تیمار در حالت فله و کلی یا تیمار ضدمیکروبی موضعی).

به منظور بررسی میزان استفاده از محصولات نساجی تیمار شده با نقره، TCS ،Si-QAC و ZnPT، تجزیه و تحلیل محصولات نساجی ضدمیکروبی ثبت شده در ایالات متحده انجام شد. میزان مواد ضدمیکروبی ساخته شده و نرخ استعمال توصیه شده که در برچسب هر محصول ثبت شده، از فهرستی که به‌وسیله‌ی سازمان ملی بازیابی اطلاعات آفت‌کش‌ها (NPIRS,۲۰۱۲) تهیه شده بود، استخراج شد. این سازمان به بررسی فرم‌های مختلف مواد ضدمیکروبی مورد استفاده در صنعت نساجی پرداخته و به هرکدام از مواد و به هر فرم به‌خصوص یک کد PC در پایگاه داده آفت‌کش‌ها (PAN) داده شده است. این کدها عبارتند از نقره فلزی (کد ۷۲۵۰۱)، نانونقره (کد ۷۲۵۹۹)، کلرید نقره (کد ۷۲۵۰۶)، زئولیت نقره (کد ۲۲۱۷۰۰)، TCS (کد ۵۴۹۰۱)، انواع مختلف Si-QAC (کدهای ۱۰۷۴۰۱و ۱۰۷۴۰۳ و۱۰۷۴۰۹ و۱۶۹۱۶۰) ZnPT (کد ۸۸۰۰۲).

بیشترین میزان ثبت در گروه «نقره فلزی» بوده که مربوط به الیاف پوشش داده شده با فرم‌های مختلف نقره، شامل تعدادی از زئولیت‌ها و کمپلکس فسفات‌ها بوده است. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، زئولیت نقره با زئولیت‌های نقره فهرست‌شده با کد ۲۲۱۷۰۰ را با هم در نظر گرفتیم، همچنین فسفات‌ها نیز از این مطالعه حذف شدند. به علاوه محصولات حاوی نقره ثبت شده با عنوان «نانونقره»می‌تواند از ذرات فلز نقره نیز تشکیل شده باشد. بنابراین گروه «نقره فلزی» به عنوان « نقره حالت توده (Bulk)» دوباره نامگذاری شد.

برای هر کدام از مواد ضدمیکروبی، بین ۱ تا ۲۲ محصول ثبت‌شده با میزان نرخ استعمال توصیه شده برای منسوجات، موجود است. غلظت توصیه شده ماده فعال معمولاً به عنوان جرم فعال در هر واحد وزن خشک پارچه (میلی‌گرم بر کیلوگرم پارچه و یا PPM) ذکر می‌شود. در برخی از محصولات ثبت شده، بنا به کاربرد مورد نظر، میزان غلظت توصیه شده متفاوت است (به عنوان مثال پوشاک در مقابل تشک) و یا از روش‌های مختلف تلفیق ذره ضدمیکروبی با پارچه استفاده می‌شود. (به عنوان مثال تلفیق به صورت موضعی و یا اختلاط با الیاف مصنوعی) و در برخی از اطلاعات ثبت شده تنها توصیه‌های کلیتر از میزان نرخ استعمال ذکر شده است. به منظور به دست آوردن متوسط میزان مصرف برای هر نوع عامل ضدمیکروبی، برخی از داده‌های ورودی بیشتر پردازش شده است. اگر دامنه احتمالی مربوط به نرخ و میزان استعمال برای هر کاربرد و نوع پارچه ذکر شده بود، هرکدام از این اعداد به عنوان تک داده در آنالیز منظور می‌شد. اگر مقدار حداکثر و حداقل مشخص بود، تمام داده‌ها در بین این دو مقدار در نظر گرفته می‌شد.

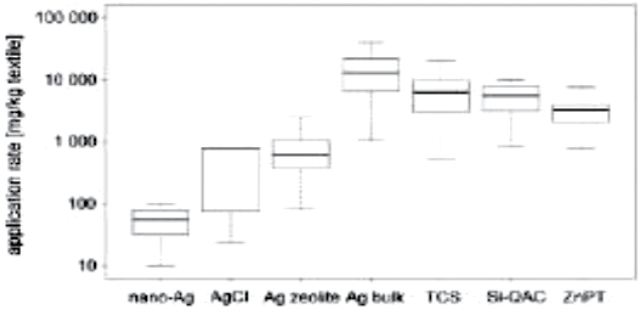
اگر فقط حداکثر میزان مصرف مشخص بود، از روش محاسبه مونت کارلو برای ایجاد داده‌های تصادفی (که در زیر این حداکثر مقدار توزیع یکسان دارند) استفاده می‌شد. تعداد این داده‌ها برای هر ترکیب، برابر با حداکثر تعداد داده‌های سایر محصولات ثبت شده از همان ترکیب است. این محاسبات با استفاده از محیط نرم‌افزار آماری انجام شد. نتایج تجزیه و تحلیل، به عنوان میانه با چارک ۲۵/۷۵درصد نشان می‌دهد، نرخ‌های استعمال توصیه شده طیف گستردهای (شکل ۳) را شامل می‌شود.

کوچک‌ترین میزان نرخ استعمال توصیه شده (بر اساس وزن) برای گروه نانونقره با محدوده مصرف ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (با میانه: ۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. بیشترین نرخ استعمال در مورد نقره مربوط به حالت توده و غیرنانویی این فلز بوده است (به عنوان مثال الیاف پوشش داده شده با نقره) با حداکثر میزان کاربرد ۴۰ هزار میلی‌گرم بر کیلوگرم و متوسط ۱۲۹۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شده است. رتبه‌بندی میزان مصرف برای ایجاد خاصیت ضدمیکروبی برای ترکیبات آلی، از بیشترین میزان مصرف به کمترین میزان مصرف، به ترتیب برابر است با: <QAC> ZnPT TCS، به ترتیب با میانه ۶۴۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۵۴۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۳۲۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم (جدول ۵).

میزان استفاده از کلرید نقره (میانه ۷۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و زئولیت نقره (میانه

۶۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از نظـــر رتبه‌بندی کمیت، مابین نانونقره و ترکیبات آلی قرار می‌گیرند. میزان نرخ استعمال ترکیبات ضدمیکروبی توصیه شده مبسوط در لیست محصولات، لزوماً منعکس‌کننده میزان مواد ضدمیکروبی استعمال شده واقعی در محصولات نســـاجی موجود در بازار نیســـت. بنابراین داده‌های غلظت ترکیبات ضدمیکروبی در محصولات نســـاجی از متون علمی مختلف گردآوری شده است (جدول۴).

محدوده اندازه‌گیری میزان نقره درچندین محصول نســـاجی حاوی نقره بین ۱۶ هزارم تا ۲۷۰ هزارم میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. حداکثر مقدار نقره در ماســـک‌های پزشکی مشاهده شده که با توجه به غلظت بسیار بالا، احتمالاً حاوی نقره به فرم سیم‌های فلزی است. کوچکترین غلظت اندازه‌گیری شده تریکلوزان در مقالات انتخاب شده ۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بیشترین غلظت اندازه‌گیری شده تریکلوزان ۱۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شـــده بود. میزان غلظت مورداستفاده نقره در مقالات، مطابقت معناداری با غلظت توصیه شده دارد (شکل ۳). اما باید توجه داشت که محتوای تریکلوزان اندازه‌گیری شده از میزان مصرف استعمال توصیه‌شده بسیار پایین‌تر است. این امر ممکن است به این دلیل باشد که نرخ میزان استعمال ذکر شـــده در شکل ۳ مربوط به طیف گســـترده‌ای از محصولات نساجی مختلف با کاربردهای مختلف است، در حالی که در مقالات علمی، بررسی و آزمایش بر روی یک محصول نساجی ضدمیکروبی به‌خصوص انجام می‌شود. غلظت ضدمیکروبی نقره و تریکلوزان به صورت تجربی و آزمایشگاهی مشخص شده است. در مورد Si-QAC بر اساس فهرست، مقدار ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم توصیه شده است. غلظت مورد استفاده در تیمار منسوجات با ZnPT به‌وسیله‌ی USEPA حدود ۶۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشخص شده است.



شکل ۳. میزان نرخ مصرف توصیه شده در مورد فرم‌های مختلف نقره و ترکیبات ضدمیکروبی آلی. برای هر نوع ترکیب ضدمیکروب، تعداد مختلفی از محصولات دارای اطلاعاتی راجع به میزان نرخ مصرف در منسوجات هستند. (Si-QAC:22،ZnPT:7 nano-Ag:1،AgCl:6،Ag zeolite:6،Ag bulk:19،TCS:9،) خط تیره و پررنگ که در وسط ستون‌ها قرار گرفته‌اند نشان‌دهنده میانه و حاشیه‌ها نشان‌دهنده چارک ۷۵درصد، ۲۵درصد است. خط‌چین‌های بیرون نیز نشان‌دهنده محدوده چارک‌ها هستند.

جدول ٤. میزان نرخ استفاده از ترکیبات ضدمیکروبی در منسوجات استخراج شده از متون علمی

ماده ضدمیکروبی	مقدار مواد ضدمیکروبی در منسوجات بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم	شرح
نقره (تمام فرم‌ها)	۰/۰۱۶ – ۱۰,۳۰۰	آنالیز آزمایشگاهی مربوط به ۱۶ محصول در دسترس مصرف‌کننده (لباس ورزشی، لباس زیر، پرده حمام، جوراب، پوشش تشک و غیره...)
	۱/۵ – ۲۹۲۵	آنالیز آزمایشگاهی مربوط به ۷ محصول در دسترس مصرف‌کننده (جوراب، پیراهن، شلوار و...)
	۰/۴ – ۱۳۶۰	آنالیز آزمایشگاهی مربوط به ۱۶ محصول در دسترس مصرف‌کننده (جوراب، پیراهن، لباس خواب، لباس کودکان و...)
	۳۰–۲۷۰	آنالیز آزمایشگاهی مربوط به ۳ محصول در دسترس مصرف‌کننده (پیراهن، خرس عروسکی، پیراهن)
	۲۷۰,۰۰۰/۲۳۰,۰۰۰	آنالیز آزمایشگاهی مربوط به دو محصول پزشکی (ماسک و لباس) (شامل رشته‌های نقره فلزی)
	۱۵/۱۶ – ۰/۹۹	آنالیز آزمایشگاهی مربوط به ۳ محصول تجاری در دسترس مصرف‌کننده
	۲۶۶۰/۲۱,۶۰۰	آنالیز آزمایشگاهی مربوط به ۲ محصول تجاری در دسترس مصرف‌کننده جوراب (الیاف حاوی نقره فلزی)
	۲/۸ – ۱۳۱۰	آنالیز آزمایشگاهی مربوط به ۴ محصول (جوراب، پیراهن)
	۰/۹ – ۱۳۵۸	آنالیز آزمایشگاهی مربوط به ۵ محصول تجاری در دسترس مصرف‌کننده جوراب
تریکلوزان	۵۰,۷ /۴۸,۹	آنالیز آزمایشگاهی مربوط به ۲ محصول در دسترس مصرف‌کننده (شلوارک و جوراب) که حاوی مخلوطی از تریکلوزان و تریکلوکربان است. (غلظت تریکلوکربان در این ۲ محصول ۳/۵ میلی‌گرم بر ۴/۵ کیلوگرم بوده است.)
	۱۶۷	غلظت تعیین شده برای سیکل زندگی بر اساس متون علمی
	۷–۱۹۵	آنالیز آزمایشگاهی مربوط به ۵ محصول ضدمیکروبی (لباس زیر، شلوارک و دمپایی راحتی پارچه‌ای)
Si-QAC	۲۵۰۰	میزان مصرف توصیه‌شده برای ترکیبات چهارگانه سیلان آمونیوم
ZnPT	۶۰۰–۲۰۰۰	غلظت به‌دست آمده در مورد ماندگاری در شست‌وشو برای نمونه نهایی منسوجات ضدمیکروبی تولید شده
	۲۰۰۰	میزان استفاده توصیه شده در مدارک ثبت شده محصولات

دوام

دوام تیمارهـــای ضدمیکروبی پارچه بر اصل مانـــدگاری و حصول اطمینان از حفظ عملکرد بیوساید پارچه در طول مدت استفاده، استوار است. شست‌وشو و پوشیدن پارچه‌های بیوساید باعث از بین رفتن تدریجی خاصیت ضدمیکروبی آنها می‌شـــود. این امر عمدتاً به دلیل انحلال ماده فعال و یا آســـیب مکانیکی به بافت و یا ســـطح پارچه اتفاق می‌افتد. این انحلال پیشـــرونده تا آنجا ادامه می‌یابد که غلظت ماده ضدمیکروبی موجود در پارچه به کمتر از میزان غلظت فعال (غلظت موردنیاز جهت جلوگیری از رشـــد میکروارگانیسم‌ها) رسیده، در نتیجه پارچه دیگر کارکرد ضدمیکروبی نخواهد داشت. مدت زمان شست‌وشو یک پارامتر کلیدی مهم و تأثیرگذار برای ارزیابی عملکرد ضدمیکروبی پارچه است. Worley و همکاران در سال ۲۰۰۵ گزارش کردند در صورتی که تیمار ضدمیکروبـــی با روش‌های صنعتی و به‌درســـتی اعمال شـــود، دوام خاصیت ضدمیکروبی باید حداقل تا۵۰ بار شست‌وشـــو با ماشین لباسشویی حفظ شود. ایـــن یک بخش روتین از ارزیابی‌های صنعتی تیمارهای ضدمیکروبی اســـت. برای انجام تســـت فعالیت در نساجی ابتدا پارچه اولیه تازه تولید شده و نشسته را با پارچه پس از یک سری شست‌وشو و چندین سری شست‌وشو با یکدیگر مقایســـه می‌کنند. تیماری که با پائین‌ترین میزان مصرف ماده ضدمیکروبی، بیشترین مدت زمان شست‌وشو را به خود اختصاص دهد (غلظت فعال) از نظر تجاری مورد توجه قرار می‌گیرد، بنابراین تمایل شدیدی نسبت به کارآمدترین و پربازدهترین تیمار ضدمیکروبی وجود دارد.

نتایج حاصل از آزمون‌های ارزیابی دوام معمول در صنعت به طور کلی در متون علمی در دسترس نیست، با این حال برخی از مطالعات به بررسی شسته شدن نقره، شسته شدن TCS، شسته شـــدن QAC - Si و شسته شدن ZnPT از پارچه پرداخته‌اند. از داده‌های گزارش شده در این متون علمی نمی‌توان تعیین دقیق دوام نســـبی مواد مختلف را انجام داد. زیرا، دوام و ماندگاری تحت تأثیر عوامل بسیار مختلفی است.

آزمایش‌ها و مطالعات طرح شـــده برای بررســـی فاکتـــور دوام و ماندگاری، همچنین محصولات و مواد نساجی مورد بررسی بسیار متنوع و مختلف است. بنابراین، کار تدوین مقایسه‌ای جامع، از دوام پارچه‌های ضدمیکروبی مختلف بسیار دشوار اســـت. اگر از مصرف‌کننده محصولات برای ارزیابی دوام کمک گرفته شـــود، می‌توان اطلاعات کمّی مناســـبی از دوام و ماندگاری منسوجات ضدمیکروبی بهدست آورد.

فرآیند تولید نیز در ارزیابی میزان دوام و ماندگاری بسیار اهمیت دارد. به عنوان مثال، این امکان وجود دارد که ماده فعال در مراحل مختلف فرآیند صنعتی تولید پارچه اضافه شود، مانند اضافه شدن در هنگام تنیدن الیاف مصنوعی و یا می‌توان تیمار ماده ضدمیکروبی را به صورت موضعی در مرحله نهایی اعمال کرد. در هرصورت جهت بهبود دوام خاصیت ضدمیکروبـــی، ماده باید به صورت قوی در محصول تثبیت شود. همان‌طورکه در بخش۱,۴ بحث شد، معمولاً تیمارهای ضدمیکروبی دارای طیف وسیعی از میزان مصرف توصیه‌شده هستند. شکل ۳ منعکس‌کننده مقدار ماده فعال مورد نیاز برای ارائه عملکرد رقابتی (از جمله دوام شستن) است و به همین ترتیب این مقادیر نشان‌دهنده افزایش سود تجاری بین غلظت و دوام برای مواد فعال مختلف است.

٦. مشخصات محیط زیست و بهداشت

رفتار در محیط زیست

رفتار مواد ضدمیکروبی را می‌توان با بررسی خصوصیات متفاوت آنها در محیط زیســـت و خطرات آنها ارزیابی کرد. در ایـــن بخش ترکیبات نقره، تریکلوزان، Si-QAC و ZnPT انتخاب شـــده‌اند که مهمترین خصوصیات زیستمحیطی آنها با یکدیگر مقایسه میشود. اگر این مواد ضدمیکروبی از منسوجات رهایش پیدا کنند و در تصفیه خانه فاضلاب حذف نشـــوند در نهایت ممکن اســـت در محیط‌های آبی انباشته شده و سبب پیدایش خطرات زیست محیطی شود.

مطالعات مختلف نشان داده است، کسر بزرگی از نقره، نانونقره و تریکلوزان به طور موثر در تصفیه خانه فاضلاب حذف می‌شود. در منابع این مقدار برای نقره ۹۹–۸۵ درصد، برای نانونقره و AgCl >۹۵درصد و برای تریکلوزان ۹۰ تا ۹۶درصد گزارش شـــده است. علاوه‌بر حذف از طریق رسوب، فرسایش نیز فرآیند مهمی است که منجر به از بین رفتن این ترکیبات در فاضلاب و در محیط‌های آبی می‌شـــود. به عنوان مثال، تریکلوزان تحت شـــرایط هوازی تجزیه می‌شود ولی تحت شرایط بی‌هوازی در محیط باقی می‌ماند. نیمه عمر تجزیه شیمیایی تریکلوزان بر اثر نیروی تابشـــی (روند اصلی تخریب) ۴۱ دقیقه و نیمه‌عمر در دریاچه ۱۰ روز اندازه‌گیری شده است.

در مقالات منتشر شده داده‌هایی در مورد حذف QAC-Si و ZnPT از فاضلاب در دسترس نیســـت. با این حال نتایج حاصل از یک آزمایش تخریب هوازی در لجن فعال، نشـــان داده که QAC-Si زیســـت‌تخریب‌پذیر بوده و به آسانی پس از ۶ روز، ۷۰درصد از آن تخریب شـــده است. همچنین انتظار می‌رود که واکنش هیدرولیز این ماده نیز به سرعت انجام شود. یکی از دلایلی که ZnPT به عنوان ماده ضدمیکروبی مناسب در رنگ‌های ضدرسوب در نظر گرفته می‌شود، این است که فرآیند تخریب آن بسیار سریع بود، روند تخریب اولیه این ماده با فرآیند تجزیه شیمیایی بر اثر نیروی تابشی (فوتولیز، نیمه‌عمری کمتر از ۳۰ دقیقه دارد. درصورتی که فرآیند تجزیه، بیولوژیکی باشد نیمه‌عمر این ماده کمتر از ۲ ساعت است.

بر اســـاس تعریف، مواد معدنی مانند نقره و نانونقره زیست تخریب‌پذیر نیستند. بـــا این حال، همه فرم‌های مختلف نقره در معرض فرآیندهای تغییر و دگرگونی قرار می‌گیرند که احتمالاً منجر به حذف آنها از محیط‌های آبی می‌شود. گزارش شده است که نانونقره با شکل‌گیری کمپلکس پایدار سولفید بر روی سطح تثبیت می‌شود. سولفید نقره بسیار انحلال‌ناپذیر است و سمی بودن آن نسبت به نانونقره بسیار کمتر است. اما از نظر جذب به موجودات زنده قوی‌تر از نقره حل شده و یا نانونقره است. تشکیل سولفید نقره باعث کاهش خطر ابتلا به مسمومیت ناشی از ترکیبات مبتنی بر نقره در محیط‌های آبی می‌شود. ولی در مورد محصولات ناشی از تخریب تریکلوزان مانند شکل‌گیری متیل تریکلوزان، ماده ثانویه به مراتب سمیتر از ترکیبات اولیه است. اما محصولات ناشی از تخریب پریتیون روی (ZnPT) سمیت کمتری نسبت به مواد اولیه دارند و در نتیجه نگرانی کمتری نسبت به این ترکیبات

و محصولات ناشـــی از تخریب آنها وجود دارد. رهاسازی این مواد ضدمیکروبی در محیط زیست باعث تخریب باکتری‌های نیتریفیکاسیون (این باکتری‌ها عمل تثبیت ازت را در محیط زیســـت انجام می‌دهند) می‌شـــود. ایجاد اختلال در این باکتری‌ها باعث تأثیرات بســـیار منفی بر رشد گیاهان می‌گردد. گزارش شده که غلظت پائین تریکلوزان بر روی باکتری‌های نیتریفیکاسیون تأثیرگذار نیست.

در مورد نقره، مقالات علمی نتایج متناقضی را نشان می‌دهند. Choi و Hu در سال ۲۰۰۹ تأثیر ممانعت‌کنندگی نانونقره در فرآیند نیتریفیکاسیون را گزارش کرده‌اند. آنها این نتایج را از حضور نانونقره در ماتریس شبیه‌ســـازی شده فاضلاب به فرم ایده‌آل به‌دست آورده‌اند. در حالی که Burkhardt و همکاران در سال ۲۰۱۰ هیچ اثری از نانونقره در نیتریفیکاســـیون در دنیای واقعی و فاضلاب مشاهده نکردند. به‌طور مشـــابه Kaegi و همکاران در سال ۲۰۱۱ نشان دادند که نقره تأثیر مهم و معنی‌داری بر عملکرد فرآیندهای تصفیه‌خانه فاضلاب در آزمایشگاه، در مقیاس نیمه‌صنعتی و در مقیاس شهری ندارد. ضرایب KOW مقیاسی برای اندازه‌گیری میزان جذب یک ماده به‌وســـیله‌ی ارگانیسم‌ها اســـت. با استفاده از این ضرایب می‌توان نشان داد که ترکیبات ضدمیکروبی به چه میزان جذب ارگانیسم‌ها شده است. ضریب KOW اغلب یک پارامتر مناسب برای مقایسه مواد ضدمیکروبی مختلف، به ویژه برای ترکیبات آلی اســـت. TCS بالاترین پتانسیل تجمع‌پذیری زیستی را با مقدار KOW ۴/۸ دارا است.

پس از آن Si -QAC با KOW ۲/۹ در رتبه بعدی قرار می‌گیرد. ZnPt برخلاف دو گروه مواد ذکر شده فوق پتانسیل تجمع‌پذیری زیستی بسیار پائین‌تری با KOW ۰/۹ دارد. میزان KOW، AgCl و Ag^{+} معادل ۰/۰۹ و ۰/۰۳ است.

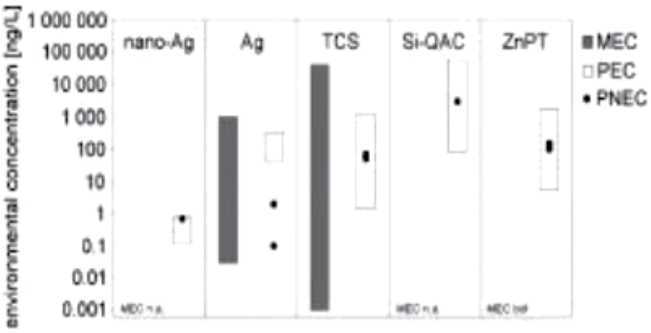
ترکیباتی با KOW>۳ به عنوان موادی در نظر گرفته می‌شوند که تجمع‌پذیری آنها در موجودات زنده بالا اســـت. این نوع مواد تمایل بیشتری به تجمع در بافت چربی موجودات زنده دارند تا اینکه در محیط آبی باقی بمانند. بر اساس این پارامتر تریکلوزان و Si–QAC نســـبت به ترکیبات دیگر مشکل سازتر هستند. با وجود KOW پایین، برخی نگرانیها راجع به پتانسیل تجمع زیستی ZnPT نیز وجود دارد. مقایسه غلظت زیســـت‌محیطی ترکیبات ضدمیکروبی در محیط‌های آبی مهم است. زیرا خطر ایجاد سمیت در زندگی آبزیان در ارزیابی ریسک هر کدام از مواد ضدمیکروبی بررسی می‌شود. اندازه‌گیری MEC و پیش‌بینی غلظت زیست‌محیطی PEC5 برای هر ترکیب ضدمیکروبی در شـــکل۴ نشان داده شده است. استفاده طولانی و تاریخی از نقره و همچنین استفاده‌های اخیر از تریکلوزان، منجر به ایجاد غلظت پس زمینه اندازه‌گیری در محیط‌های آبی شده است. این غلظت پس زمینه بـــرای نقره بین ۰/۰۳ تا هزار نانوگرم بر لیتر و برای تریکلوزان ۱هزارم تا ۴۰هزار نانوگرم بر لیتر است. غلظت نقره زیست‌محیطی از سطح پس‌زمینه طبیعی ناشی از وجود نقره در خاک و مواد معدنی و اســـتفاده انسان در طول قرن‌ها (به عنوان مثال کارد و چنگال، ارز) است، در حالی که سیگنال و حضور تریکلوزان، تنها نتیجه استفاده انسان است.

در مقالات، داده‌های گزارش شـــده برای MEC در رابطه با نانونقره و Si-QAC در دسترس نبود و فقط برای ZnPT غلظت زیر حد تشخیص گزارش شده است (کمتر از ۲۰ نانوگرم بر لیتر). PEC محاسبه شده برای همه ترکیبات ضدمیکروبی طیف وسیعی دارند. برای نانونقره، Si-QAC و ZnPT تنها غلظت‌های مدل در دسترس هستند.

غلظت بی‌اثر پیش‌بینی شـــده PNEC، نشـــان‌دهنده حد غلظتی است که تا آن غلظت انتظار بروز هیچ نشانه و اثر ســـوء بر حساس‌ترین موجودات وجود ندارد. پارامترهای PEC، MEC و PNEC برای مواد ضدمیکروبی ذکر شـــده در این مقاله بجز نقره، در حد مجاز قرار دارند. برای نقره مقدار PNEC محاسبه شده از PEC کمتر است. اما، این مقادیر در دامنه MEC است. در این تجزیه و تحلیل‌ها هیچ تبعیضی بین نقره فعال بیولوژیک و نقره محلول و نقره تغییر شکل یافته به فرم سولفید در نظر گرفته نشده است و همه را تحت عنوان گروه نقره آنالیز کرده‌اند. برای بررسی میزان خطری که زندگی آبزیان را تهدید می‌کند، باید PEC/PNEC را محاسبه نمود. در صورتی که PEC/PNEC>1 باشد انتظار ایجاد خطر برای آبزیان و محیط زیست وجود دارد.

برای نتیجه‌گیری دقیق باید اندازه‌گیری به صورت محلی انجام شود، همچنین باید میزان پیچیدگی ترکیب و محصولات ناشـــی از تخریب آن را هم در نظر گرفت. مطالعات علمی در رابطه با نانونقره به این نتیجه رســـیده‌اند که هیچ خطر مورد انتظاری وجود ندارد و میزان PEC/PNEC کمتر از یک است.

Blaser و همکاران در سال ۲۰۰۸ مقدار پارامترهای PEC و PNEC را محاسبه نموده و نشـــان داده‌اند که استفاده از نقره خطرات زیست‌محیطی ندارد. مطالعات بررســـی شـــده در رابطه با ارزیابی خطر بـــرای Si-QAC احتمال و انتظار خطر زیست‌محیطی را نشـــان نداده است. یکی از مطالعاتی که به‌وسیلهی Turley و همکاران در سال ۲۰۰۰ انجام شد، نشان‌دهنده عدم وجود خطرات زیست‌محیطی در مورد ZnPT است. اما مطالعه دیگری که به‌وسیلهی Madsen و همکاران در ســـال ۲۰۰۰ انجام شده، نشـــان می‌دهد ZnPT در بنادر مشکل‌ساز است، اما در اقیانوس آزاد، خطر زیست‌محیطی وجود ندارد. گزارش NICNAS در سال ۲۰۰۹ تریکلوزان را به عنوان مادهای خطرناک برای آبزیان طبقه‌بندی کرده است. در دو گزارش دیگر مقـــدار پارامتر PEC/PNEC را کوچکتر از یک اعلام کرده‌اند، اما نتایج تحقیقات خـــود را تعمیم نداده‌اند. گزارش دیگری در مورد تریکلوزان وجود دارد که پیشنهاد نظارت بر تریکلوزان را به عنوان ماده اولویت‌دار مطرح کرده است.



شکل ٤. میزان MEC، پیش‌بینی غلظت زیست‌محیطی PEC و غلظت بی‌اثر پیش‌بینی شده PNEC برای محیط‌های آبی. (دقت شود که داده‌ها در مقیاس لگاریتمی درج شده‌اند.)
n.a: به معنای در دسترس نبودن داده است و Bdl: به معنای پائین‌تر از حد تشخیص است.

ادامه دارد...