

آلودگی ناشی از آنتی‌بیوتیک‌ها بر محیط‌زیست

ثمین حقیقی پوده^۱، یحیی سفیدبخت^{۲*}، حسن کوچک زاده^۱

چکیده

مصرف سالانه آنتی‌بیوتیک توسط انسان و سایر موجودات (حدود ۱۰۶ تن در سال) در حال افزایش است؛ که این مسئله باعث اهمیت روزافزون آلودگی محیط‌زیست توسط آنتی‌بیوتیک‌ها شده است. آنتی‌بیوتیک‌های مصرف‌شده توسط انسان و سایر جانداران به‌صورت کامل در بدن آنها تجزیه نمی‌شود و از طریق فاضلاب یا ضایعات بیمارستانی به محیط‌زیست انتقال پیدا می‌کند. اخیراً توسط روش‌های حساس کروماتوگرافی مایع و همچنین طیف‌سنجی جرمی، میزان حضور آنتی‌بیوتیک‌ها در خاک و آب اندازه‌گیری شده که نشان می‌دهد غلظت این ترکیبات در محیط‌زیست از چند نانوگرم تا صدها نانوگرم بر کیلوگرم یا لیتر متغیر است که در فصل زمستان با افزایش حجم مصرف آنتی‌بیوتیک، حجم آلودگی نیز افزایش می‌یابد. بر اساس مطالعات انجام‌شده، غلظت آنتی‌بیوتیک در منابع آبی کشورهای اروپایی ۱۰ میکروگرم در لیتر، قاره آمریکا تا ۱۵ میکروگرم در لیتر، کشورهای آفریقایی ۵۰ میکروگرم در لیتر و در کشورهای آسیایی بالغ بر ۴۵۰ میکروگرم در لیتر است. حضور این آنتی‌بیوتیک‌ها در آب‌وخاک ممکن است به‌صورت مستقیم بر باکتری‌های دخیل در چرخه‌های اکوسیستم مانند چرخه تثبیت نیتروژن، متانوژن، احیای سولفات، چرخه نیترات و غیره اثر بگذارد یا به‌صورت غیرمستقیم توسط پدیده انتقال افقی ژنتیکی، غلظت‌های پایین آنتی‌بیوتیک در محدوده میکروگرم بر لیتر منجر به ایجاد مقاومت، تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی یا بر روی فعالیت‌های مختلف فیزیولوژیکی در باکتری‌ها مؤثر باشد. مطالعاتی که جهت حذف آنتی‌بیوتیک‌های وارد شده به محیط‌زیست انجام شده است، نشان می‌دهد که روش‌هایی مانند انعقاد، انجماد، رسوب‌گذاری و فیلتر شدن ناکام بوده‌اند. به‌تازگی مطالعاتی مبنی بر حذف آلودگی توسط روش‌های اکسایش پیشرفته صورت گرفته است که شاید کارآمد باشد ولی باین‌حال نیاز به مطالعات پیشرفته‌تری می‌باشد.

واژگان کلیدی: آنتی‌بیوتیک، تصفیه فاضلاب، مقاومت به آنتی‌بیوتیک، محیط‌زیست

*عهده‌دار مکاتبات، استادیار، تلفن: ۲۹۹۰۵۰۲۱، پست الکترونیکی y_sefidbakht@sbu.ac.ir

^۱ مرکز تحقیقات پروتئین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ آزمایشگاه نانو بیوتکنولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

مقدمه

آنتی‌بیوتیک‌ها از دسته داروهایی هستند که موجب مرگ و یا توقف رشد باکتری‌ها می‌شوند و در غلظت‌های مختلفی استفاده می‌شوند. انواع مختلفی از آنتی‌بیوتیک‌ها وجود دارند که بنا بر سازوکار عمل آنها و یا ساختار شیمیایی گروه‌بندی شده‌اند. آنتی‌بیوتیک‌ها برای چندین دهه در مقادیر بالا مورد استفاده قرار گرفته‌اند، در نتیجه مقاومت آنتی‌بیوتیک‌ها به‌عنوان یک مسئله‌ی مهم در حوزه‌ی تحقیقات بالینی و در سال‌های اخیر تحقیقات زیستی قرار گرفته است [۱].

سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۱۴ علاوه بر لزوم محدود کردن مصرف آنتی‌بیوتیک، از مقاومت دارویی نسبت به آنتی‌بیوتیک به‌عنوان یک تهدید بزرگ جهانی یاد کرد و در روز ۳۰ آوریل ۲۰۱۴ با انتشار گزارشی اعلام کرد که جهان وارد دوره «پسا آنتی‌بیوتیک» شده است، دوره‌ای که عفونت‌های ساده‌ای که برای سالیان طولانی قابل‌درمان بودند، اکنون کشنده شده‌اند. متأسفانه بازسازی جامعه به وضعیت قبل از آن تقریباً غیرممکن است [۲].

وجود ترکیبات دارویی، به‌خصوص آنتی‌بیوتیک‌ها، در اکوسیستم به مدت ۳۰ سال است که شناخته شده است. باین‌حال اواسط دهه ۹۰ میلادی، زمانی که استفاده از این ترکیبات گسترده شد و هم‌زمان فناوری‌های تجزیه و تحلیل پیشرفته‌تر ابداع شدند، افزایش غلظت این ترکیبات در اکوسیستم تبدیل به یک معضل شد [۳].

اگرچه از آنتی‌بیوتیک‌ها به‌طور اختصاصی برای درمان عفونت‌ها استفاده می‌شود، باین‌حال آنتی‌بیوتیک‌ها در بدن موجودات زنده به‌صورت کامل تجزیه نشده و حدود ۱۰ الی ۹۰ درصد آن‌ها به‌صورت متصل به دیگر ترکیبات، متابولیت‌های وابسته یا ترکیب اصلی توسط ادرار و مدفوع به محیط دفع می‌شوند [۴]. بنابراین سیستم فاضلاب شهری یکی از حاملین اصلی آنتی‌بیوتیک برای محیط‌زیست می‌باشد که در این میان بیمارستان‌ها نقش عمده‌ای در تولید و گسترش این نوع آلودگی ایفا می‌کنند [۱، ۵]. کارایی روش‌های تصفیه فاضلاب معمولی برای حذف آنتی‌بیوتیک کم است، زیرا این سیستم‌ها برای از

بین بردن آلودگی‌های معمول طراحی شده‌اند. با دفع آنتی‌بیوتیک‌ها به محیط، موجودات غیر هدف آنها مانند موجودات آبی (پلانکتون‌ها، فیتوپلانکتون‌ها و غیره) و دیگر جانوران، گیاهان، باکتری‌های دخیل در چرخه‌های تثبیت مواد مغذی خاک، تخریب‌کننده آلاینده‌ها و سایر ارگان‌های خاکی تحت تأثیر آنتی‌بیوتیک‌ها قرار می‌گیرند [۱، ۶]. علاوه بر این، این ترکیبات باعث تشکیل مقاومت در باکتری‌ها می‌شوند که حتی ممکن است باعث ایجاد بیماری‌زایی‌های مقاوم در برابر چند آنتی‌بیوتیک با پتانسیل بالا برای آلوده کردن انسان و حیوانات شوند. از طرف دیگر این ترکیبات حتی در غلظت‌های بسیار پایین هم اثر سمی دارند، به‌طوری‌که حضور چندین آنتی‌بیوتیک در محیط می‌تواند باعث فعال شدن اثر هم‌افزا شود. مقالات اخیر اطلاعاتی راجع به میزان غلظت MIC (غلظتی از آنتی‌بیوتیک که تنها باعث مهار رشد باکتری‌ها شود) و همچنین غلظتی از آنتی‌بیوتیک که هیچ اثری بر مقاومت باکتری ندارد (PNECs)، گزارش داده‌اند. PNECs در حدود ۰/۰۰۸ تا ۶۴ میکروگرم بر لیتر متغیر است. آنتی‌بیوتیک تتراساکلین با کاربرد درمان عفونت‌های انسانی و حیوانات در غلظت‌های پایین در حد میکروگرم بر لیتر باعث انتقال افقی^۱ ژن‌های مقاوم به تتراسایکلین در باکتری E.coli می‌شود که به‌عنوان یکی از سه خطر بزرگ توسط سازمان بهداشت جهانی در نظر گرفته شده است [۷].

مسیر اصلی ورود آنتی‌بیوتیک‌ها به محیط، از طریق استفاده از کود آلوده روی زمین‌های کشاورزی است. مقادیر بالایی از آنتی‌بیوتیک‌ها در کود حیوانی تا ۱۴۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۶۶ میلی‌گرم در لیتر در سراسر جهان یافت می‌شود که برای رده‌های مختلف آنتی‌بیوتیکی، شامل سولفونامیدها (SAs)، فلوروکینولون‌ها، تتراسیکلین‌ها می‌باشد [۵].

مصرف سالیانه آنتی‌بیوتیک‌ها از ۱۰۶ تا ۲×۱۰۶ تن تخمین زده می‌شود [۸]. در آمریکا غلظت آنتی‌بیوتیک‌ها در آب‌های تازه حدود ۲ میکروگرم بر لیتر می‌باشد (علیرغم آنتی‌بیوتیک سولفادیمتوکسین که در غلظت ۱۵ میکروگرم بر لیتر گزارش داده است). بیشترین میزان آلودگی آنتی‌بیوتیک‌ها در کشورهای آسیایی به‌خصوص کشورهای کم‌درآمد گزارش شده است که

^۱ انتقال افقی ژن (Horizontal gene transfer) به انتقال ماده ژنتیکی بین ارگانیسم‌ها بدون داشتن رابطه والد فرزندی و یا رابطه سلول مادری سلول دختری گفته می‌شود.

شناسایی آنتی‌بیوتیک‌ها بر اساس روش‌های کروماتوگرافی مایع و طیف‌سنجی جرمی است. از روش‌های کارآمد برای شناسایی ترکیبات آنتی‌بیوتیک در آب می‌توان به UHPLC-QTOF M اشاره کرد [۱۱]. تیم‌های تحقیقاتی بسیاری برای حذف این نوع آلودگی از اکوسیستم تاکنون تشکیل شده‌اند که روش‌های پیشنهادی آنها در جدول زیر دسته‌بندی شده است:

جدول ۱: روش‌های پیشنهادی جهت حذف آلودگی‌ها

فرآیندهای طبیعی	
chlorination	فرآیندهای اکسایشی
اکسایش پیشرفته	
photolysis	
Semiconductor photocatalysis	
Ozonation	
Fenton	
فرآیندهای الکتروشیمیایی	
فرآیندهای جذبی	
Reverse osmosis	فرآیندهای غشایی
Ion exchange	
Nano and ultra-filtration	
	فرآیندهای ترکیبی

فرآیندهای رایج

فرآیندهای زیستی مانند فیلتر شدن انعقاد-انجماد و رسوب‌گذاری بیشترین کاربرد را در تصفیه دارند. با توجه به این‌که از لجن‌ها به‌صورت گسترده‌ای استفاده می‌شود، فرآیند لجن فعال^۱ به‌عنوان یک فرآیند زیست‌هوازی برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌شود. این فرآیند از حدود ۱۰۰ سال پیش به‌طور مؤثر و گسترده‌ای برای تصفیه انواع فاضلاب‌های شهری و صنعتی بکار گرفته شده است. با اثبات کارایی بسیار خوب این فرآیند مطالعات و بررسی‌هایی برای بهبود هر چه بیشتر آن به انجام رسیده، به‌طوری‌که به‌تدریج انواع مختلفی از این فرآیند طراحی شده و به مرحله‌ی اجرا درآمده است. در طی ۱۰ سال اخیر روش‌های رایج گذشته برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها تنها در صورت حضور مقادیر پایین موفق به حذف آلودگی ناشی از

ممکن است به دلیل کمبود بهداشت و سیستم فاضلاب نامناسب باشد. غلظت ۴۸۴ میکروگرم بر لیتر اکسی‌تتراساکلین در رودخانه Xiao، غلظت ۱۹ میکروگرم بر لیتر سولفامتازین در ویتنام همچنین در قاره آفریقا غلظت ۵۳/۸ میکروگرم بر لیتر سولفامتوکسوزول و نالیدیکسیک‌اسید ۲۳ میکروگرم بر لیتر و سیپروفلوکسین ۱۴ میکروگرم بر لیتر گزارش شده‌اند. به‌صورت کلی میانگین غلظت آنتی‌بیوتیک‌ها در قاره‌های آسیا-اقیانوسیه و آفریقا به ترتیب ۱۷/۷ میکروگرم در لیتر و ۳/۱۱ میکروگرم در لیتر و در آمریکا و اروپا به میزان ۰/۹ میکروگرم در لیتر و ۰/۴ میکروگرم در لیتر گزارش شد. بیشتر این مطالعات در آمریکای شمالی، استرالیا و اروپا انجام گرفته است و در مورد کشورهای در حال توسعه اطلاعات بسیار کمی در دسترس است [۱].

از طرف دیگر، ایران به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین کشورهای مصرف‌کننده، با مصرف آنتی‌بیوتیک با بیش از دو برابر بعضی از کشورها مانند استرالیا می‌باشد. تجویز آنتی‌بیوتیک‌ها در ایران شامل آموکسی‌سیلین (۵/۶۵ درصد)، مترونیدازول (۴/۷۱ درصد)، سفلیکسیم (۴/۶۵ درصد)، پنی‌سیلین (۱/۴ درصد)، آزیترومایسین (۳/۷۷ درصد)، نورفلوکساسین (۳۰/۷ درصد)، تتراسایکلین (۲۰/۸ درصد)، سفالکسین (۷۳/۲ درصد) و اریترومایسین (۱۰/۵ درصد) می‌باشد [۹]. از این رو، جمع‌آوری داده‌ها و جستجوی اطلاعات مربوط به توزیع و مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها در نواحی مختلف الزامی است. مقادیر محدودی از آلودگی آنتی‌بیوتیک در منابع آبی تهران و کرج در ایران تا به حال، گزارش شده است و یک تیم تحقیقاتی دیگر بر روی آب‌های خلیج فارس نیز به‌تازگی تحقیقاتی انجام داده‌اند. با توجه به جمعیت حدود ۷۵ میلیون نفری کشور ایران و سکونت ۱۲ میلیون نفر از مردم در پایتخت باعث شده است تقاضا برای منابع آبی نسبت به گذشته افزایش یابد، مطالعات در این حوزه بسیار مهم می‌باشند. از طرفی با توجه به این‌که کشور ایران درگیر بحران خشک‌سالی می‌باشد تصفیه آب‌های فاضلابی و استفاده از آن‌ها، از گزینه‌های تأمین آب در آینده خواهد بود که این موضوع لزوم حذف آلودگی ناشی از آنتی‌بیوتیک‌ها را نشان می‌دهد [۹، ۱۰].

¹ Activated Sludge

آب ۱۲ مرتبه کمتر از حلالیت کلر بوده و محلول آبی آن نیز ناپایدار می‌باشد. مطالعاتی برپایه حذف آنتی‌بیوتیک‌های موجود در آب توسط اوزون صورت گرفته است که اغلب آنها آنتی‌بیوتیک بتالاکتام را مورد بررسی قرار داده‌اند که بر اساس این فرآیند موجب تجزیه‌ی بتالاکتام می‌شود، همچنین این مطالعات نشان داده‌اند که با افزایش pH که در نتیجه آن تشکیل رادیکال‌های آزاد توسط اوزون افزایش می‌یابد بر روی بالا رفتن بازده و واکنش اثر مثبت می‌گذارد [۳]. مطالعات مشابهی بر روی گروه‌های دیگر آنتی‌بیوتیک‌ها از جمله لینکوسامیدها، کوئینولون‌ها، سولفونامیدها و تتراساکلین‌ها انجام شده است که نشان می‌دهد برای تمامی گروه‌ها حدود ۷۶٪ درصد تجزیه رخ داده است [۱۶]. به‌منظور بهبود عملکرد این آزمایش، می‌توان اوزون را با پراکسید هیدروژن یا سایر کاتالیزورها در حضور اشعه ماوراءبنفش ترکیب کرد [۱۷]. این روش بسیار وابسته به pH می‌باشد، به همین علت با توجه به هزینه بالای تجهیزات و انرژی مورد نیاز برای عرضه‌ی فرآیند، این روش برای پاک‌سازی آب آلوده مناسب نیست [۳].

فرایند فنتون:

روش فنتون از روش‌های اکسایشی سنتی می‌باشد که در طی آن تولید رادیکال‌های هیدروکسیل غیرانتخابی از طریق واکنش بین پراکسید هیدروژن و نمک‌های آهن دو ظرفیتی به‌عنوان کاتالیزور صورت می‌گیرد. انجام این واکنش، بستگی به غلظت رادیکال‌های هیدروکسیل تولید شده در واکنش دارد. پراکسید هیدروژن، به علت وضعیت ناپایدار و قابلیت از دست دادن راحت اکسیژن اضافی اتمی، به‌عنوان یک ترکیب اکسیدکننده عالی شناخته شده است که برای اکسید کردن آمین‌ها، آلدئیدها و سیانیدها بدون استفاده از هیچ کاتالیستی، مورد استفاده قرار گرفته است. یون‌های آهن دو ظرفیتی عمده‌ترین کاتالیست استفاده شده برای اکسایش آلاینده‌های سخت تجزیه به همراه پراکسید هیدروژن می‌باشد؛ که این فرایند تحت عنوان فنتون شناخته می‌شود. فرایند فنتون یکی از قدیمی‌ترین و قوی‌ترین فرایندهای اکسایشی مورد استفاده می‌باشد. از ترکیب پراکسید هیدروژن با سولفات آهن یا نمک‌های دیگری از آهن دو ظرفیتی، در pH پایین (۲ تا ۴)،

این ترکیبات شده‌اند [۱۲]. همکاران در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ با استفاده از فرایندهای بی‌هوازی، حذف میکرولیدها و تتراساکلین را مورد بررسی قرار دادند که به ترتیب شاهد کاهش ۹۰ درصد و ۷۵ درصد آلودگی آنتی‌بیوتیک‌ها شدند [۱۳]. [۱۴].

فرآیندهای اکسایشی:

گاز کلر

با توجه به صرفه‌ی اقتصادی گاز کلر یا هیپوکلریت در گندزدایی، این گاز در تأسیسات تصفیه آب آشامیدنی بسیار به کار می‌رود. در حال حاضر از این گاز پس از تصفیه اولیه به‌منظور حفظ سطح ضدعفونی شده در سیستم‌های توزیع استفاده می‌شود. برخی از مطالعات اکسایشی شیمیایی را با استفاده از گونه‌های کلر در تصفیه فاضلاب ارزیابی کرده‌اند و نشان داده شده است که استفاده از این روش برای حذف و بی‌اثر کردن داروهای موجود در پساب‌ها، موجب اکسایش آنها شده و تبدیل به ترکیبات زیست‌تخریب‌پذیر با سمیت کمتر می‌شوند [۳].

فرآیندهای اکسایش پیشرفته:

پایه و اساس این فرآیندها تولید رادیکال گروه هیدروکسیل و رادیکال‌های حد واسط می‌باشد که نسبت به گازهای دیگر (کلر، اوزون و غیره) واکنش‌پذیرتر بوده و قدرت انتخابی پایین‌تری دارند. این رادیکال‌ها از عوامل اکسیدکننده مانند اوزون یا پراکسید هیدروژن مشتق می‌شوند که اغلب در حضور کاتالیزورهای فلزی یا نیمه‌هادی و / یا اشعه ماوراءبنفش تولید می‌شوند. بر اساس این فرآیندها، انتظار می‌رود که ترکیبات آلی به ترکیبات حد واسطی که مقاومت کمتری دارند (سمیت کمتر و زیست‌تخریب‌پذیری بیشتر) یا حتی به کربن دی‌اکسید و آب تبدیل شوند. گاهی اوقات متابولیت‌های حاصل به پتانسیل بالاتری در خطرناک‌زایی نسبت به ترکیب اصلی دارند [۱۵].

فرآیندهای بر مبنای اوزون:

اوزون یکی از اشکال آلوتروپی اکسیژن می‌باشد که گازی آبی‌رنگ با بوی تند و ناپایدار می‌باشد. این ترکیب یک اکسیدکننده قوی بوده و بسیار قوی‌تر از اسید هیپوکلروس (ماده مؤثر گندزدایی کلر در آب) می‌باشد. حلالیت اوزون در

تجزیه کاتالیتیکی پراکسید هیدروژن، توسط یون‌های آهن (II)، به رادیکال‌های هیدروکسیل رخ می‌دهد [۱۸، ۱۹]. به علت فراوانی و عدم سمیت یون‌های آهن و کاربرد آسان و نبود آثار زیان‌بار پراکسید هیدروژن بر محیط‌زیست، فرایند فتون روشی مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست می‌باشد. فرایند فتون برای اکسید کردن بسیاری از آلاینده‌های آلی از قبیل رنگ، فاضلاب‌های پریار و دارویی، آب‌های زیرزمینی، تری هالومتان‌ها، آمین‌های آروماتیک، آلفاتیک‌های کلرینه، شیرابه زباله‌ها، حشره‌کش‌ها و مواد آلی مقاوم به تجزیه مورد استفاده قرار گرفته است. این روش معایبی هم دارد که می‌توان به منابع علمی رجوع کرد با این حال اهمیت این روش به فراوانی و عدم سمیت آهن، کاربرد آسان هیدروژن پراکسید و ایمنی زیست‌محیطی آن می‌باشد [۲۰، ۲۱].

فرایند فتوفنتون:

افزودن پرتوهای UV به فرایند فتون سبب افزایش احیای کاتالیست و نیز تولید رادیکال هیدروکسیل می‌گردد که در نهایت باعث افزایش بازدهی در اکسایش می‌شود. در فرایند فتوفنتون رادیکال هیدروکسیل تولید می‌گردد. از مزایای روش فتوفنتون راندمان بالاتر نسبت به فرایند فتون می‌باشد [۳]. تحقیقاتی که در زمینه‌ی حذف آنتی‌بیوتیک‌ها از آب صورت گرفته است که بر اساس آن رده‌های مختلفی از آنتی‌بیوتیک‌ها از جمله بتالاکتام‌ها، ایمیدوزال‌ها، کینولون‌ها، سولفانامیدها و تتراساکلین‌ها را در برمی‌گیرد. در تمام این مقالات به خوبی مشاهده می‌شود که حذف آنتی‌بیوتیک‌ها توسط فتوفنتون موفقیت‌آمیز بوده است و نسبت به روش فتون، درصد بالاتری از آنتی‌بیوتیک تجزیه شده است [۳]. علاوه بر این فرایند فتون در مراحل اولیه موفق‌آمیز است اما این روند به‌مرور منجر به تولید ترکیبات سمی می‌شود [۲۲].

فرایندهای فتوکاتالیستی:

واژه‌ی فتوکاتالیست در اصل به معنی شتاب بخشیدن به یک واکنش فتونی توسط کاتالیست است. به‌طور دقیق‌تر، کاتالیست در شرایط تهییج شده یا عادی خود از طریق میانکنش با مواد واکنشگر یا محصولات اولیه، واکنش فتونی را تسریع خواهد کرد. کاتالیست‌ها انواع مختلفی دارند و بهترین راه برای تمیز کردن آب‌های آلوده استفاده از کاتالیستی است که برای تعداد

زیادی از آلاینده‌ها کاربرد داشته باشد. نیمه‌های مورد استفاده عنوان فتوکاتالیست باید دارای خصوصیتی از قبیل شکاف انرژی مناسب، پایداری قابل قبول در مقابل نور، غیر سمی بودن، صرفه‌ی اقتصادی و غیره باشند [۳]. این روش نسبت به روش‌های دیگر در حذف آنتی‌بیوتیک‌ها نسبتاً بی‌فایده بوده و تنها آنتی‌بیوتیک‌های حساس به نور را می‌تواند تجزیه کند.

فتوکاتالیست نیمه‌هادی

واکنش‌های فتوکاتالیستی نیمه‌هادی به فرآیندهایی اطلاق شود که در آن دو فاز جامد کاتالیست (و سیال) شامل ماده آلاینده و محصولات وجود دارد. در طی این واکنش، فتوکاتالیست با جذب نور موجب تولید رادیکال هیدروکسیل می‌شود. واژه‌ی فتوکاتالیست ترکیبی از دو واژه‌ی فتو و کاتالیست بوده و نقش نور و کاتالیست را به‌طور هم‌زمان در تسریع یک واکنش شیمیایی نشان می‌دهد. تفاوت کاتالیست و فتوکاتالیست در این است که در کاتالیست تشکیل یک حد واسط باعث پیشرفت واکنش می‌شود، ولی در فتوکاتالیست در اثر تابش نور یک جفت الکترون حفره ایجاد می‌شود که این امر سبب تسریع واکنش می‌گردد. یک فتوکاتالیست خوب باید از نظر نوری فعال باشد، قابل استفاده در ناحیه نور مرئی و نزدیک به نور فرابنفش باشد، پایدار نوری باشد، غیرسمی باشد، به‌صرفه باشد و از نظر زیستی و شیمیایی خنثی باشد. محققانی که اثر این نوع از تصفیه را بر رده‌های مختلف آنتی‌بیوتیک بررسی کرده‌اند، آن را روشی مناسب دانسته‌اند. بر اساس بهترین نتایج، حذف آنتی‌بیوتیک از پساب‌ها توسط فرایند فتوکاتالیستی نیمه‌رسانا تا اندازه‌ی ۸۰ درصدی سولفانامیدها نشان داد. هرچند این فرایند طی دهه‌های گذشته بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است اما به علت انرژی الکتریکی آن به نظر نمی‌رسد در مقیاس صنعتی کارآمد باشد [۳].

فرآیندهای الکتروشیمیایی:

فرآیندهای الکتروشیمیایی فرآیندهای جالبی برای حذف ترکیبات آلی سمی و همچنین مؤثر، کم‌هزینه، مقرون‌به‌صرفه و آسان هستند [۳].

فرآیندهای جذبی:

اکسیداسیون با اوزون و فنتون بوده است، با این حال روش‌هایی چون نانوفیلتراسیون، الترا فیلتر شدن و اسمز معکوس نیز مؤثر واقع شده‌اند [۳].

فرآیندهای جذبی به‌طور گسترده‌ای در صنعت برای حذف آلاینده‌ها استفاده می‌شود. در این روش معمولاً مولکول‌های موجود در یک محلول مایع تمایل دارند به یک سطح جامد متصل شوند. از مزایای این روش عدم تولید متابولیت‌های حد واسط خطرناک است. هرچند این روش در حذف آلاینده‌ها ممکن است خیلی مؤثر نباشد و تنها منجر به تمرکز آن‌ها روی یک سطح بشود [۳، ۲۳].

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه پساب وارد شده به محیط‌زیست حامل ترکیباتی است که ممکن است برای میکروارگانیسم‌ها و سایر موجودات مضر باشد و از سوی دیگر با توجه به جمعیت رو به افزایش کره‌ی زمین و کاهش منابع آب تازه به‌طور هم‌زمان، مصرف آب تصفیه‌شده یکی از گزینه‌های جبران‌کننده‌ی این کمبود می‌باشد که ملزم به عاری بودن آب از هرگونه آلودگی می‌باشد، در نتیجه نشان می‌دهد که اهمیت تصفیه‌ی پساب‌ها افزایش یافته است.

فرآیندهای غشایی:

فرآیندهای غشایی به‌طور فزاینده‌ای جهت جداسازی استفاده می‌شود. با این حال، این فناوری باعث حذف یا تخریب آلودگی نمی‌شود، بلکه تنها انتقال آن به یک فاز جدید (غشاء) را منجر می‌شود، در ناحیه‌ای که به شکل متمرکزتری وجود دارد.

هیچ‌کدام از روش‌های ذکرشده به‌تنهایی قادر به حذف آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات حدواسط آنها نیستند، در نتیجه نیاز است که از چندین روش در این مسیر استفاده شود تا بیشترین بازده حاصل شود. به این منظور، می‌توان از فرآیندهای اکسایش پیشرفته به‌عنوان مرحله‌ی ابتدایی استفاده کرد تا آنتی‌بیوتیک به متابولیت‌های حدواسط تجزیه‌پذیر و با سمیت کمتر تبدیل شوند. در ادامه نیز از فرآیند اسمز معکوس می‌توان استفاده کرد که این روش با فیلترهای کربنی ترکیب شده است. همچنین استفاده از فرآیندهای جذبی در کنار فرآیندهای اکسایش پیشرفته نیز روش مناسبی برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها می‌باشد که در طی این فرآیندها آنتی‌بیوتیک‌ها توسط غشا یا جاذب‌ها از پساب حذف می‌شود و در نهایت برای حذف این ترکیبات استفاده از سایر روش‌ها نیز الزامی است.

فرآیندهای اسمز معکوس:

اسمز معکوس فرآیندی است که طی آن از فشار برای معکوس نمودن جریان اسمزی آب از درون یک غشای نیمه‌تراوا استفاده می‌شود. بر اساس مطالعاتی که برای حذف آنتی‌بیوتیک از پساب‌ها انجام شده است، نشان داده شد که این فرآیند توانایی حذف آنتی‌بیوتیک‌ها تا ۹۰ درصد را داشته است [۲۴].

فرآیند تعویض یونی:

فرآیند تبادل یونی یکی از اشکال پدیده‌ی جذب سطحی است که در آن فاز سیال در تماس با فاز جامد جاذب قرار می‌گیرد. طی این تماس برخی از اجزای موجود در فاز سیال جذب جامد شده و از سیال جدا می‌گردند.

با توجه به تحقیقاتی که انجام شده است، می‌توان نتیجه گرفت که این روش، روش مؤثری برای حذف آنتی-بیوتیک‌ها نیست و فقط در مورد آنتی‌بیوتیک‌هایی که دارای ساختار یونی در ساختار خود هستند، اثر خواهد داشت [۳].

فرآیند ترکیبی:

از آنجایی که فرآیندهای تصفیه‌کننده باید در سطوح صنعتی اجرا شوند و صرفه اقتصادی داشته باشند لازم است این روش‌ها بهینه‌سازی شوند و از این‌رو فرآیندهای ترکیبی تعریف می‌شوند. بیشتر مطالعات انجام‌شده تاکنون بر اساس

منابع و مؤاخذ

- [1]. Danner, M.C., Robertson, A., Behrends, V. and Reiss, J. (2019). Antibiotic pollution in surface fresh waters: Occurrence and effects. *The Science of the Total Environment*, Vol 664, pp. 793-804.
- [2]. Ventola, C. Lee. "The antibiotic resistance crisis: part 1: causes and threats." *Pharmacy and Therapeutics* 40.4 (2015): 277.
- [3]. Homem, Vera, and Lúcia Santos. (2011). Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices—a review. *Journal of Environmental Management*, Vol 92, no 10, pp. 2304-2347.
- [4]. Zhang, Hanmin, Pengxiao Liu, Yujie Feng, and Fenglin Yang. (2013). Fate of antibiotics during

- [15]. Miklos, D. B., Remy, C., Jekel, M., Linden, K. G., Drewes, J. E., & Hübner, U. (2018). Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment—a critical review. *Water Research*, Vol 139, pp. 118-131.
- [16]. Lange, F., Cornelissen, S., Kubac, D., Sein, M.M., Von Sonntag, J., Hannich, C.B., Golloch, A., Heipieper, H.J., Möder, M. and Von Sonntag, C. (2006). Degradation of macrolide antibiotics by ozone: a mechanistic case study with clarithromycin. *Chemosphere*, Vol 65, no 1, pp. 17-23.
- [17]. Hernandez, R., Zappi, M., Colucci, J. and Jones, R. (2002). Comparing the performance of various advanced oxidation processes for treatment of acetone contaminated water. *Journal of Hazardous Materials*, Vol 92, no 1, pp. 33-50.
- [18]. Andreozzi, R., Caprio, V., Insola, A. and Marotta, R. (1999). Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. *Catalysis Today*, Vol 53, no 1, pp. 51-59.
- [19]. Arslan-Alaton, I., and F. Gurses. (2004). Photo-Fenton-like and photo-fenton-like oxidation of Procaine Penicillin G formulation effluent. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, Vol 165, no 1-3, pp. 165-175.
- [20]. Jiang, Cheng-chun, and Jia-fa Zhang. (2007) Progress and prospect in electro-Fenton process for wastewater treatment. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, Vol 8, no 7, pp. 1118-1125.
- [21]. Matavos-Aramyan, Sina, and Mohsen Moussavi. (2017). Advances in Fenton and Fenton based oxidation processes for industrial effluent contaminants control—a review. *Int. J. Environ. Sci. Nat. Resour* Vol 2, no 4, pp. 1-18.
- [22]. Guinea, E., Brillas, E., Centellas, F., Cañizares, P., Rodrigo, M.A. and Sáez, C. (2009). Oxidation of enrofloxacin with conductive-diamond electrochemical oxidation, ozonation and Fenton oxidation. A comparison." *Water Research*, Vol 43, no 8, pp. 2131-2138.
- [23]. Chen, Wan-Ru, and Ching-Hua Huang. (2010). Adsorption and transformation of tetracycline antibiotics with aluminum oxide. *Chemosphere*, Vol 79, no 8, pp. 779-785.
- [24]. Gholami, M., Mirzaei, R., Kalantary, R.R., Sabzali, A. and Gatei, F. (2012). Performance evaluation of reverse osmosis technology for selected antibiotics removal from synthetic pharmaceutical wastewater. *Iranian journal of Environmental Health Science & Engineering* Vol 9, no 1, pp. 19.
- wastewater treatment and antibiotic distribution in the effluent-receiving waters of the Yellow Sea, northern China. *Marine Pollution Bulletin*, Vol 73, no 1, pp. 282-290.
- [5]. Ngigi, A. N., Yong Sik Ok, and S. Thiele-Bruhn. (2019). Biochar-mediated sorption of antibiotics in pig manure. *Journal of Hazardous Materials*, Vol 364, 663-670.
- [6]. Thiele-Bruhn, Sören, and Iris-Constanze Beck. (2005). Effects of sulfonamide and tetracycline antibiotics on soil microbial activity and microbial biomass. *Chemosphere*, Vol 59, no 4, pp. 457-465.
- [7]. Grenni, Paola, Valeria Ancona, and Anna Barra Caracciolo. (2018). Ecological effects of antibiotics on natural ecosystems: A review. *Microchemical Journal*, Vol 136, pp. 25-39.
- [8]. Zuccato, E., Castiglioni, S., Bagnati, R., Melis, M. and Fanelli, R. (2010). Source, occurrence and fate of antibiotics in the Italian aquatic environment. *Journal of Hazardous Materials*, Vol 179, no 1-3, pp. 1042-1048.
- [9]. Kafaei, R., Papari, F., Seyedabadi, M., Sahebi, S., Tahmasebi, R., Ahmadi, M., Sorial, G.A., Asgari, G. and Ramavandi, B. (2018). Occurrence, distribution, and potential sources of antibiotics pollution in the water-sediment of the northern coastline of the Persian Gulf, Iran. *Science of the Total Environment*, Vol 627, pp. 703-712.
- [10]. Mirzaei, R., Yunesian, M., Nasserli, S., Gholami, M., Jalilzadeh, E., Shoeibi, S., & Mesdaghinia, A. (2018). Occurrence and fate of most prescribed antibiotics in different water environments of Tehran, Iran. *Science of the Total Environment*, Vol 619, pp. 446-459.
- [11]. Dinh, Q.T., Alliot, F., Moreau-Guigon, E., Eurin, J., Chevreuil, M. and Labadie, P. (2011). Measurement of trace levels of antibiotics in river water using on-line enrichment and triple-quadrupole LC-MS/MS. *Talanta*, Vol 85, no 3, pp. 1238-1245.
- [12]. Wilén, B. M., Liébana, R., Persson, F., Modin, O., & Hermansson, M. (2018). The mechanisms of granulation of activated sludge in wastewater treatment, its optimization, and impact on effluent quality. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol 102, no. 12, pp. 5005-5020.
- [13]. Chelliapan, S., Wilby, T., & Sallis, P. J. (2006). Performance of an up-flow anaerobic stage reactor (UASR) in the treatment of pharmaceutical wastewater containing macrolide antibiotics. *Water Research*, Vol 40, no 3, pp 507-516.
- [14]. Arikan, Osman A. (2008). Degradation and metabolization of chlortetracycline during the anaerobic digestion of manure from medicated calves. *Journal of Hazardous Materials*, Vol 158, no 2-3, pp. 485-490.

Environmental Pollution Caused by Antibiotics

Samin Haghighi Poodeh¹, Yahya Sefidbakht^{*,1,2} and Hassan Kouchakzadeh^{1,2}

The annual global consumption of antibiotics by humans and other organisms is estimated about 106 tons per year, which is an issue of the increasing importance of environmental contamination by antibiotics. Consumed antibiotics by humans and other organisms do not completely degrade in their bodies, and are transmitted through the sewages or hospital wastes back to environment. Recently, the amount of antibiotics in the soil and water has been measured by liquid chromatography and mass spectrometry techniques, which indicates the concentration of these compounds in the environment varies from a few nanograms to the hundreds of nanograms per kilogram, which the level of contamination increases due to the increasing usages of antibiotics in the winter. According to studies, the antibiotic concentration in American aquatic resources is up to 15 micrograms per liter, European and African countries are more than 10 micrograms per liter and 50 micrograms per liter, and in the Asian countries, this is over than 450 micrograms per liter. The presence of these antibiotics in the water and the soil may directly affect the bacteria involved in ecosystem cycles such as nitrogen fixation cycles, methanogenesis, sulfate reduction, nitric cycle, or indirectly by the horizontal gene transfer phenomenon, low antibiotic concentrations in the range of micrograms per liter lead to resistance, genetic and phenotypic changes, or various physiological activities in bacteria. Studies that have conducted to remove released antibiotics into the environment indicate that methods such as coagulation, freezing, sedimentation, and filtration have failed. New inquiries have carried out in order to the removal of contamination by using advanced oxidation methods, which seem to be effective methods; however, more advanced studies are needed.

Keywords: Antibiotics, Wastewater Treatment, Antibiotic Resistant, Environment

*Author for Correspondence, Assistant Professor, Tel: 021-229905021, E-mail: y_sefidbakht@sbu.ac.ir

¹ Protein Research Center, Shahid Beheshti University, G.C. Evin, Tehran, Iran

² Nanobiotechnology Laboratory, The Faculty of New Technologies Engineering (NTE) Shahid Beheshti University, G.C. Tehran Iran