مروری بر معضل مقاومت به آنتی بیوتیک و روش های حذف آنتی بیوتیک

محمدرضا جلالی سروستانی[۱] ، **مهناز قمی[۲،۳]***

[۱]باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی(ره) شهر ری، تهران

[۲]گروه شیمی دارویی، دانشکده داروسازی و علوم دارویی، دانشگاه علوم پزشکی آزاد تهران، تهران، ایران

[۳] مرکز تحقیقات مواد اولیه دارویی، دانشگاه علوم پزشکی آزاد تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸

چکیده

مقاومت به آنتی بیوتیک یکی از چالش‌های اساسی در حوزه بهداشت عمومی و پزشکی است که تأثیرات جدی بر سلامتی انسان‌ها و جوامع دارد. این معضل، زمانی رخ می‌دهد که باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها به گونه‌ای تغییر می کنند که دیگر حساس به داروهای آنتی بیوتیک نمی‌باشند. این موضوع باعث کاهش کارایی درمان‌ها، افزایش هزینه‌های درمانی و افزایش خطر انتقال عفونت‌های مقاوم به آنتی بیوتیک به دیگر افراد می‌شود. برای مقابله با این معضل، روش‌های مختلفی برای حذف آنتی بیوتیک ارائه شده است که شامل استفاده از فناوری‌های پیشرفته در تصفیه آب و فاضلاب، استفاده از روش‌های فرآیندی نوین در تولید داروها و همچنین ترویج استفاده بهینه از آنتی بیوتیک توسط پزشکان و داروسازان می‌باشد. همچنین، آموزش به جامعه در مورد استفاده صحیح از آنتی بیوتیک و اهمیت رعایت دستورات پزشکی نقش مؤثری در کاهش مقاومت به آنتی بیوتیک دارد. این مقاله با مرور و بررسی روش‌ها و راهکارهای حذف آنتی بیوتیک، به بررسی چالش‌ها و پتانسیل‌های موجود در این حوزه می‌پردازد تا به منظور بهبود وضعیت فعلی و پیشگیری از افزایش مقاومت به آنتی بیوتیک، گام‌های لازم اقدام شود.

واژه‌های کلیدی : آنتی بیوتیک، مقاومت به آنتی بیوتیک، جذب سطحی، تخریب فوتوکالیستی، فیلتراسیون

* Mahnaz.Qomi@gmail.com

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

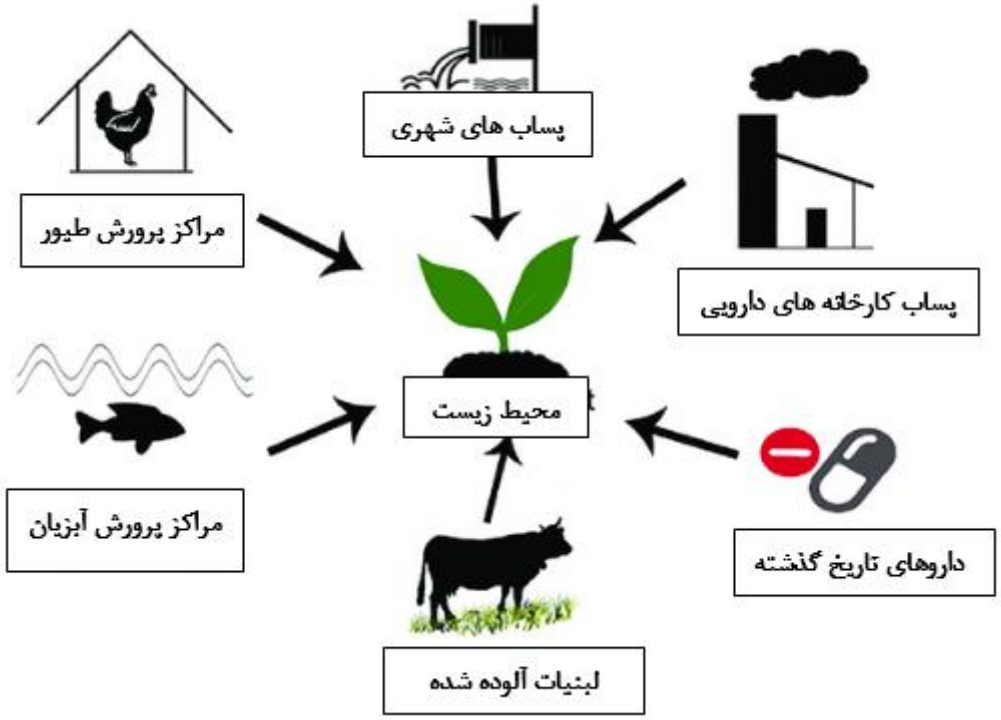
مقدمه

معضل مقاومت به آنتی بیوتیک یکی از چالش‌های اساسی در حوزه بهداشت عمومی و درمان بیماری‌هاست که تاثیرات جدی بر سلامتی انسان‌ها دارد(۱). مقاومت به آنتی بیوتیک به معنای کاهش توانایی داروهای ضد باکتریایی در درمان عفونت‌ها است که می‌تواند منجر به افزایش مرگ و میر، طولانی شدن مدت زمان درمان، افزایش هزینه‌های درمانی و افزایش ابتلا به بیماری‌های عفونی شود(۲). این مسئله از ترکیبی از عوامل مختلف ناشی می‌شود که شامل مصرف نادرست و بی‌رویه آنتی بیوتیک توسط افراد و حتی پزشکان، استفاده غیرضروری از آنتی بیوتیک در دامپزشکی و کشاورزی، نقض بهداشت عمومی و کنترل عفونت‌ها، فروش آزاد آنتی بیوتیک‌ها بدون نسخه پزشک و همچنین عدم توجه به توسعه داروهای جدید و نوآورانه مقاومت به آنتی بیوتیک است(۳). برای مقابله با این معضل، نیاز به هماهنگی و همکاری بین مخاطبان مختلف از جمله دولت‌ها، سازمان‌های بهداشت جهانی، پزشکان، دامپزشکان، کشاورزان، صنعت داروسازی و جامعه عمومی است(۴). اقدامات اصلاح سیاست‌ها و قوانین مربوط به فروش و استفاده از آنتی بیوتیک، افزایش آگاهی عمومی در خصوص استفاده صحیح از آنتی بیوتیک‌ها، ترویج بهداشت عمومی و کنترل عفونت‌ها، پشتیبانی از تحقیقات و توسعه داروهای جدید و نوآورانه، و ترویج استفاده از روش‌های جایگزین در دامپزشکی و کشاورزی از جمله اقدامات مؤثر در راستای کنترل و پیشگیری از مقاومت به آنتی بیوتیک محسوب می‌شود(۵). با تلاش‌های همگانی و هماهنگ برای مقابله با مقاومت به آنتی بیوتیک، می‌توان به حفظ تأثیربخشی درمان با آنتی بیوتیک‌ها، کاهش هزینه‌های درمان، و حفظ سلامت جامعه و جامعه جهانی کمک کرد(۶). ورود آنتی بیوتیک ها به محیط زیست از طریق مسیرهای مختلفی اتفاق می افتد که این امر می تواند منجر به اثرات زیست محیطی مختلف شود(۷). از جمله راه های ورود آنتی بیوتیک ها به محیط زیست می توان به ورود از طریق پساب های صنعتی، کشاورزی و دامپروری، دفع پسماندهای دارویی و همچنین استفاده نادرست از آنتی بیوتیک ها در دامپروری اشاره کرد(شکل ۱) (۸). این موارد ممکن است منجر به آلودگی منابع آب، خاک و هوا شده و در نتیجه بر روند زندگی حیوانات و گیاهان در محل زندگی آنها تاثیر گذار باشد(۸). ورود آنتی بیوتیک ها به زنجیره غذایی نیز از جمله مسائل مهم در حوزه سلامت عمومی است. مصرف آنتی بیوتیک ها در دامپروری و کشاورزی ممکن است باعث انتقال این داروها به گوشت، شیر و سایر محصولات دامی و گیاهی شود(۹). این امر ممکن است منجر به مقاومت دارویی در انسان و حیوانات شود و اثرات منفی بر سلامت عمومی جامعه داشته باشد(۱۰). با توجه به اهمیت این مسئله، لازم است که استفاده از آنتی بیوتیک ها در صنایع مختلف با دقت و شفافیت بالا صورت گیرد. همچنین نظارت دقیق تر بر فرآیندهای تولید، استفاده و دفع آنتی بیوتیک ها ضروری است تا اثرات منفی احتمالی بر محیط زیست و سلامت عمومی جامعه کاهش یابد(۱۱). با پیشرفت علم و فناوری در دهه اخیر، مسائل مربوط به مقاومت به آنتی بیوتیک به یکی از چالش‌های اساسی در حوزه بهداشت و درمان تبدیل شده است(۱۲). این پدیده که به معنای کاهش توانایی آنتی بیوتیک‌ها در کنترل و درمان عفونت‌ها است، منجر به افزایش هزینه‌ها، مرگ و میر و افزایش بار سلامت جامعه می‌شود(۱۳). روند پیشرفت معضل مقاومت به آنتی بیوتیک ناشی از عوامل متعددی از جمله مصرف بی‌رویه آنتی بیوتیک‌ها توسط انسان‌ها و دام‌ها، نقض استانداردهای بهداشتی در بخش‌های مختلف صنعت دامپروری و کشاورزی، نقض استانداردهای بهداشتی در بخش بهداشت و درمان، نقض استانداردهای بهداشتی در بخش صنعت داروسازی و عدم توجه به راهکارهای مناسب جلوگیری و کنترل این پدیده است(۱۴). برای مقابله با این چالش، لازم است که سازمان‌های مربوطه همکاری و هماهنگی لازم را در جهت تدوین و اجرای سیاست‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و برنامه‌های

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

عملیاتی صورت دهند(۱۵). افزایش آگاهی عمومی و آموزش مناسب به افراد مختلف جامعه نقش مؤثری در کنترل و پیشگیری از مصرف بی‌رویه آنتی بیوتیک‌ها دارد(۱۶). همچنین، ترویج استفاده صحیح و مقرون به صرفه آنتی بیوتیک‌ها، تشویق به تحقیقات بیشتر در زمینه تولید داروهای جدید و توسعه روش‌های جایگزین درمان عفونت‌ها نیز از دیگر راهکارهای مؤثر در این زمینه است(۱۷). با توجه به اینکه مقاومت به آنتی بیوتیک چالش بسیار جدی و پیچیده‌ای است که تأثیرات گسترده‌ای بر سلامت عمومی دارد، لازم است که تمام اقشار جامعه، از جمله دولت، محققین، صنعتگران، پزشکان و جامعه علمی، با همکاری و هماهنگی فعال در راستای شناسایی راهکارهای جامع و کارآمد برای مقابله با این چالش، گام‌های لازم را بردارند(۱۸). برای حذف آنتی بیوتیک ها از محیط زیست و انسان ها، روش های مختلفی وجود دارد که می توان از آنها استفاده کرد(۱۹).

یکی از روش های مؤثر برای حذف آنتی بیوتیک ها از آب و فاضلاب، استفاده از فرایندهای تصفیه آب مدرن است(۲۰). این فرایندها شامل استفاده از فیلتراسیون، اکسیداسیون، جذب و تصفیه با استفاده از مواد جاذب مانند کربن فعال و رزین های تبادل یونی می باشد(۲۱). علاوه بر این، استفاده از روش های بیولوژیکی مانند استفاده از باکتری ها و قارچ ها برای تجزیه و تخریب آنتی بیوتیک ها نیز مؤثر است(۲۲). همچنین، استفاده از فرایندهای شیمیایی مانند اکسیداسیون با استفاده از اکسیدانت ها نیز می تواند به حذف آنتی بیوتیک ها کمک کند(۲۳). در کل، استفاده از ترکیب مختلف این روش ها و تکنولوژی ها می تواند منجر به حذف موثر آنتی بیوتیک ها از محیط زیست و حفظ سلامت انسان ها شود(۲۴). در ادامه به بررسی این روش ها، با جزئیات پرداخته می‌شود.



شکل ۱- نمایش شماتیک نحوه ورود آنتی بیوتیک ها به محیط زیست و زنجیره غذایی

روش فیلتراسیون

فیلتراسیون به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در حذف آلودگی‌های مختلف از آب و فاضلاب شناخته شده است(۲۵). از جمله این آلودگی‌ها، آنتی‌بیوتیک ها نقش مهمی را ایفا می‌کنند. آنتی‌بیوتیک‌ها به عنوان داروهایی که برای درمان عفونت‌ها و بیماری‌های باکتریایی استفاده می‌شوند، از اهمیت بسزایی در حفظ سلامت و بهبود کیفیت

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

زندگی انسان‌ها برخوردارند(۲۶). با این حال، وجود آنتی‌بیوتیک‌ها در منابع آبی و فاضلابی می‌تواند منجر به اثرات زیانبار بر روی محیط زیست و همچنین سلامت انسان‌ها گردد. بنابراین، روش‌های حذف آنتی‌بیوتیک‌ها از منابع آب و فاضلاب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است(۲۷). روش فیلتراسیون یکی از روش‌های مؤثر در حذف آلودگی‌های مختلف از آب و فاضلاب است. این روش به وسیله فشار مواد جامد یا مایع از طریق یک ماده نافذ، که جامدات یا مایعات را تصفیه می‌کند، صورت می‌گیرد. در صورت حذف آلودگی‌های مختلف از آب و فاضلاب، این روش مزایا و معایب خاص خود را دارد که در ادامه به بررسی آنها خواهیم پرداخت(۲۸).

مزایای استفاده از روش فیلتراسیون برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها:

۱. کارآیی بالا: روش فیلتراسیون به دلیل استفاده از فشار، توانایی حذف بالایی را در برابر ذرات مختلف دارد که شامل ذرات آلودگی نظیر آنتی‌بیوتیک‌ها نیز می‌شود.

۲. عملکرد پایدار: این روش توانایی حفظ عملکرد پایدار خود را دارد و با توجه به تغییرات مختلف در آب و فاضلاب، قابل استفاده است.

۳. کاربرد گسترده: فیلتراسیون به عنوان یک روش پرکاربرد در صنایع مختلف شناخته شده است و قابل استفاده در مقیاس‌های مختلف مانند خانگی، صنعتی و شهری است.

معایب استفاده از روش فیلتراسیون برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها:

۱. نیاز به نگهداری و تعمیرات: ساماندهی و نگهداری منظم از سامانه فیلتراسیون نقش حائز اهمیت در حفظ عملکرد صحیح و کارآمد آن دارد.

۲. هزینه‌های نصب و بهره‌برداری: نصب و بهره‌برداری از سامانه فیلتراسیون نقش قابل توجه در هزینه‌های مربوط به حذف آلودگی‌ها دارد.

۳. محدودیت در حذف تمام آلودگی‌ها: روش فیلتراسیون ممکن است نتواند تمام آلودگی‌ها را به صورت کامل حذف کند و نقص‌های خاص خود را داشته باشد.

با توجه به مزایا و معایب مطرح شده، استفاده از روش فیلتراسیون برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها از منابع آب و فاضلاب، به عنوان یک روش مؤثر و قابل توجه در حفظ سلامت انسان‌ها و حفظ محیط زیست، تأکید بسزایی دارد. با این حال، لازم است با توجه به شرایط خاص هر منطقه و نوع آلودگی موجود، از بهترین روش‌های فناورانه و عملکرد بهینه برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها استفاده شود تا به نحو احسن به تأمین منابع آب و حفظ سلامت عموم جامعه پرداخته شود.

روش اکسیداسیون

اکسیداسیون به عنوان یکی از روش‌های مؤثر برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها از محیط‌های آبی و پساب‌ها شناخته شده است(۲۹). این روش از فرایندهای شیمیایی است که به وسیله اکسایش ترکیبات آلی یا آلی‌مانند، به تخریب آنتی‌بیوتیک‌ها منجر می‌شود. در این مقاله به بررسی جزئیات، معایب و مزایای روش اکسیداسیون برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها می‌پردازیم(۳۰). روش اکسیداسیون برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها به دو صورت حرارتی و شیمیایی انجام می‌شود. در روش حرارتی، با استفاده از حرارت و فشار، ترکیبات آلی تخریب می‌شوند(۳۱). این روش به دلیل نیاز به انرژی بالا و هزینه‌های بالای اجرای آن، معمولاً مناسب برای مقادیر کمتر آلودگی منابع آب نمی‌باشد(۳۲). اما در روش شیمیایی، با استفاده از اکسیدان‌ها و کاتالیست‌ها، تخریب ترکیبات آلی صورت می‌گیرد. این روش به دلیل کارآمد بودن و کاهش هزینه‌ها، برای حذف آلودگی‌های زیاد منابع آب و پساب‌ها مناسب است(۳۳). استفاده از روش اکسیداسیون برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها نقاط ضعف خاص خود را دارد. یکی از معایب این روش، تولید مواد فرعی ناخواسته است که ممکن است خطرات جانبی برای محیط زیست و سلامت انسان داشته باشد(۳۴). همچنین، نیاز به استفاده از مواد شیمیایی قوی و کاتالیست‌های گران قیمت،

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

هزینه‌های بالایی را برای اجرای این روش ایجاد می‌کند. اما با وجود معایب ذکر شده، روش اکسیداسیون دارای مزایا و فواید قابل توجهی نیز می‌باشد. یکی از مزایای این روش، حذف کامل و کارآمد آنتی‌بیوتیک‌ها از محلول‌ها است(۳۴). همچنین، قابل استفاده بودن در تصفیه پساب‌ها و حذف آلودگی‌های شدید منابع آب، یک دلیل دیگر برای ترجح استفاده از این روش محسوب می‌شود. با توجه به بررسی جزئیات، معایب و مزایای روش اکسیداسیون برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها، مشخص است که این روش گزینه مناسب و کارآمد برای حذف آلودگی‌های شدید منابع آب و پساب‌ها محسوب می‌شود. با این حال، نقاط ضعف و معایب آن نباید نادیده گرفته شود و نیاز به تحقیقات بیشتر در زمینه بهینه‌سازی و بهبود عملکرد این روش همچنان وجود دارد.

تخریب الکتروشیمیایی

روش‌های تخریب الکتروشیمیایی به عنوان یک روش پیشرفته و موثر برای حذف آلاینده‌های آلی از آب و فاضلاب شناخته شده‌اند(۳۵). یکی از این آلاینده‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها هستند که به دلیل استفاده گسترده‌شان در صنایع مختلف، ممکن است به محیط زیست آسیب وارد کنند(۳۶). در این مقاله، به بررسی روش تخریب الکتروشیمیایی برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها پرداخته خواهد شد. در ادامه به بررسی جزئیات، معایب و مزایای این روش خواهیم پرداخت. روش تخریب الکتروشیمیایی به کارگیری فرآیندهای الکتروشیمیایی برای تخریب و حذف آلاینده‌ها از آب و فاضلاب استفاده می‌کند(۳۷). در این روش، با استفاده از جریان الکتریکی، فرآیندهای شیمیایی در محلول آبی ایجاد می‌شود که منجر به تخریب آلاینده‌ها می‌شود. برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها نیز از این روش می‌توان استفاده نمود. استفاده از روش تخریب الکتروشیمیایی برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها نیز با معایب خاص خود همراه است(۳۸). یکی از معایب این روش، هزینه‌های بالای اجرای آن است. فرآیندهای الکتروشیمیایی نیازمند تجهیزات پیچیده و هزینه‌بر هستند که ممکن است برای بسیاری از کارخانجات و واحدهای صنعتی قابل قبول نباشد(۳۸). اما با وجود معایب مذکور، روش تخریب الکتروشیمیایی دارای مزایای قابل توجه نیز می‌باشد. چندین تحقیقات نشان داده است که فرآیندهای الکتروکاتالیزی، به عنوان یک فرآیند پاکسازی مؤثر در حذف آلودگی های رقیق و حتی کمیاب آلودگی های آلی، عامل مؤثری در کاهش زمان پاکسازی و هزینه های اجرایی است. علاوه بر این، این روش قابل تطبیق با شرایط مختلف فاضلاب و غلظت‌های مختلف آلودگی است(۳۹). روش تخریب الکتروشیمیایی به عنوان گزینه‌ای مناسب برای حذف آنتی بیوتیک ها در فاضلاب ها و پساب ها شناخته شده است. با توجه به مزایا و معایب مطرح شده، لزوم پژوهش های بیشتر بر روی بهبود کارآیی و کاهش هزینه های اجرائی این روش لازم است.

تخریب فوتوکاتالیستی

روش‌های تخریب فوتوکاتالیستی به عنوان یکی از روش‌های پراکنده در حوزه تصفیه آب و فاضلاب به خاطر قابلیت انعطاف‌پذیری و کارایی بالا مورد توجه قرار گرفته است. یکی از کاربردهای این روش، حذف آلاینده‌های آلی و غیرآلی از آب و فاضلاب است(۴۰). اخیراً، استفاده از روش تخریب فوتوکاتالیستی برای حذف آنتی بیوتیک ها نیز مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله، به بررسی جزئیات، معایب و مزایای این روش پرداخته خواهد شد. روش تخریب فوتوکاتالیستی به عنوان یک فرایند فعال‌سازی شده تحت تأثیر نور مشاهده شده است(۴۱). در این روش، با استفاده از یک فوتوکاتالیست (مانند نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم) و نور مرئی یا فرابنفش، فرایند تخریب آلاینده‌ها در آب و فاضلاب صورت می‌گیرد(۴۲). برای حذف آنتی بیوتیک ها، این روش می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر مورد استفاده قرار گیرد. با تابش نور مرئی یا فرابنفش بر روی فوتوکاتالیست، فرایند اکسایش و تخریب آنتی بیوتیک ها صورت می‌گیرد و نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که این روش می‌تواند به طور مؤثر آنتی بیوتیک ها را از آب و فاضلاب حذف کند(۴۲). همانطور که در هر روش دیگر، روش تخریب فوتوکاتالیستی نیز دارای معایب خاص خود است. یکی از مهم‌ترین معایب این روش، وابستگی به شرایط محیطی مانند

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

نور و دما است(۴۳). علاوه بر این، هزینه‌های نصب و بهره‌برداری از تجهیزات مورد نیاز برای این روش نسبتاً بالا است. همچنین، به دلیل وجود نانوذرات در فرایند، مسأله پسماند نانوذرات نیز به عنوان یک معضل محسوب می‌شود(۴۴). اما با وجود معایب گفته شده، روش تخریب فوتوکاتالیستی دارای مزایای قابل توجه نیز است. از جمله مزایای این روش، کارایی بالا در حذف آلاینده‌ها و کاربردهای گسترده‌ای که در حوزه تصفیه آب و فاضلاب دارد، است. همچنین، این روش قابل استفاده در فرآیندهای پایدارسازی و بهینه‌سازی سامانه‌های تصفیه آب و فاضلاب نیز است(۴۵).

روش تخریب فوتوکاتالیستی به عنوان یک روش نوین و کارآمد در حذف آلاینده‌ها از آب و فاضلاب، مورد توجه قرار گرفته است. با اعمال اصلاحات و بهینه‌سازی‌های لازم، این روش می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای حذف آنتی بیوتیک ها نیز به کار گرفته شود. با این حال، لازم است که در کنار مزایا، معایب و چالش‌های این روش نیز به دقت مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان از آن به بهترین نحو استفاده کرد.

روش های بیولوژیک

روش‌های بیولوژیکی برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها شامل استفاده از میکروارگانیسم‌ها، قارچ‌ها، و گیاهان است. این روش‌ها اغلب به عنوان روش‌های پاکسازی بیولوژیک محسوب می‌شوند. مثلاً، برخی از باکتری‌ها قادرند آنتی‌بیوتیک‌ها را تجزیه کنند و از بین ببرند(۴۶). همچنین، قارچ‌ها نقش مهمی در حذف آنتی‌بیوتیک‌ها دارند؛ زیرا توانایی تجزیه و غلبه بر آنتی‌بیوتیک‌ها را دارند. همچنین، گیاهان نقش مهمی در حذف آنتی‌بیوتیک‌ها دارند؛ زیرا قسمت‌های مختلف گیاهان مانند ریشه، ساقه و برگ قادر به جذب و حذف آنتی‌بیوتیک‌ها هستند(۴۶).

معایب روش‌های بیولوژیکی:

استفاده از روش‌های بیولوژیکی برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها نقاط ضعف خود را دارد. به عنوان مثال، فرآیند حذف آنتی‌بیوتیک‌ها با استفاده از مخلوط مخلوط شده با باکتری های گرم منفی، نیاز به شرایط خاص محیطی دارد که در بعضی از شرایط محیطی به دست نیامده است. همچنین، نیاز به پایش و کنترل دقیق در فرآیند حذف آنتی بیوتیک ها با استفاده از روش های بیولوژیکی وجود دارد که این مسئله نقطهٔ ضعف دیگر این روش هاست(۴۷).

مزایای روش‌های بیولوژیکی:

با وجود نقاط ضعف مذکور، روش های بیولوژیکی دارای مزایای فراوان هستند. یکی از مزایای اصلی استفاده از روش های بیولوژیکی برای حذف آنتی بیوتیک ها، کارآمدی و کاربردی بودن آن است. علاوه بر این، این روش ها به سادگی قابل پرداخت هستند و جزئیات کمتری نسبت به سایر روش ها نیاز دارد. همچنین، استفاده از روش های بیولوژیکی به دلیل عدم استفادهٔ از مواد شیمیائی و سم ها، به صورت کلی تاثیرات منفی کمتری بر روی محیط زیست دارد(۴۸).

روش های بیولوژیکی به عنوان یک روش کارآمدی و کم خطر جهت حذف آنتی بیوتیک ها در محیط های زیست شناسائی شده است. با توجه به نقطهٔ قابل تامل در خصوص کارآمدی و کاربردی بودن این روش ها، تحقق این هدف به طور کامل و کاملاً تضمین شده است. امید است که با تأثیر گذاری کافی این روش ها در جلوگیری از فعال سازی و جذب آنتی بی تی ک ها در محیط هی زیست، گامی مؤثر در سمپاس پذیری و پالودگی کمی در منابع طبیعی گام خورده باشد(۴۹).

جذب سطحی

یکی از روش‌های موثر و پرکاربرد برای حذف آنتی بیوتیک ها از محیط زیست، روش جذب سطحی است. روش جذب سطحی یک فرایند فیزیکی است که با استفاده از جاذب‌های شیمیایی یا غیر شیمیایی، آلاینده‌ها را از محلول یا سطح جدا می‌کند. در صورت مورد استفاده قرار گرفتن جاذب‌ها در

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

محلول، آلاینده‌ها به سطح جاذب متصل شده و از محلول جدا می‌شوند. این روش به دلیل سادگی و کارآمد بودن، به عنوان یک روش موثر برای حذف آنتی بیوتیک ها از آب و خاک شناخته شده است(۵۰).

مزایای استفاده از روش جذب سطحی برای حذف آنتی بیوتیک ها از محیط زیست عبارتند از:

از جمله مزایا و موارد قابل توجه جذب سطحی برای حذف آنتی بیوتیک‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. کارآیی بالا: روش جذب سطحی به دلیل داشتن سطح فعال بالا و توانایی جذب بالای آلاینده‌ها، از کارآیی بالایی برخوردار است. این روش می‌تواند آنتی بیوتیک‌ها را با کارآیی بسیار بالا از آب حذف کند و به تصفیه آب و کاهش آلودگی زیست‌محیطی کمک شایانی نماید.

۲. قابل استفاده در مقیاس بزرگ: روش جذب سطحی به دلیل قابلیت استفاده در مقیاس بزرگ و قابلیت اجرای پروسه‌های صنعتی، مناسب برای کاربردهای صنعتی و تصفیه آب به مقدار بالا است. این ویژگی باعث می‌شود که روش جذب سطحی به عنوان یک روش مؤثر واقع شود و بتواند نقش مهمی در بهبود کیفیت منابع آب ایفا نماید.

۳. انعطاف پذیری: این روش از نظر فناورانه و فرآیندی قابل تنظیم و انطباق با شرایط مختلف است. به عبارت دیگر، این روش قابل تنظیم بوده و می‌تواند با توجه به نوع و غلظت آلاینده‌ها و شرایط عملیاتی، بهینه شود.

۴. کاهش هزینه‌ها: استفاده از روش جذب سطحی در فرآیندهای تصفیه آب می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری شود. با توجه به اینکه این روش قابل استفاده در مقیاس بزرگ است و به دلیل کارآمدی و کاربرد پذیر بودن، هزینه‌های عملیات تصفیه آب را کاهش داده و به صرفه تر نموده و همچنین نقش مؤثر در حفظ منابع آب خواهد داشت.

۵. حذف گسترده: روش جذب سطحی قادر است ضمن حذف آنتی بیوتیک‌ها، دستگاه‌های تصفیه آب را از سایر آلاینده‌ها نظیر فلزات سنگین، رنگ‌زای ها و مواد آلاینده دیگر نیز پاکسازی نماید. این وضع باعث محافظت از سلامت عمومی و حفظ منابع آب شده و به بهبود کارآمدی دستگاه‌های تصفیه آب کمک مؤثر خواهد نمود.

۶. حفظ منابع طبیعی: با توجه به اینکه روش جذب سطحی منجر به کاهش استفاده از مواد شیمیایی و فرآورده‌های شناور در فرآیندهای تصفیه آب می‌شود، این روش به حفظ منابع طبیعی زیست‌محیطی کمک شایانی نموده و در جهت حفظ تعادل زیستی و حفظ منابع طبیعی گام مؤثری برداشته است.

۷. پاسخگوی نیاز های فناورانهٔ جدید: با پیشروی فناوری در عرصهٔ تصفیهٔ پساب ها، روش جذب سطحی به عنوان یکی از فناوری های نوین تصفیهٔ پساب ها، به خصوص در حذف آلودگی های پیچیده نظیر آنتی بیوتیک ها، پاسخگوی فناورانهٔ جدیدی است که نیازمندی های صنعت و محیط زیست را در نظر گرفتهٔ و گام مؤثری در جهت حل چالش های پیچیده صنعت و محیط زیست برداشتهٔ است.

اما این روش نیز دارای برخی معایب است که باید به آن توجه شود. برخی از معایب استفاده از روش جذب سطحی عبارتند از:

۱. اشغال فضا: جاذب‌های استفاده شده در این روش ممکن است فضای زیادی را اشغال کنند و نقصانات جدید در محلول ایجاد کنند.

۲. نیاز به بازپخت: پس از جذب آلاینده‌ها، جاذب‌ها نیاز به بازپخت دارند تا آلاینده‌ها از سطح جاذب جدا شده و جاذب‌ها دوباره قابل استفاده شوند.

به منظور بهینه سازی روش جذب سطحی برای حذف آنتی بیوتیک ها، مطالعات بسیار زیاد و پژوهش‌های علمی صورت گرفته است. با توجه به نقاط قوت و ضعف این روش، تلاش‌های فراوانی صورت گرفته تا با استفاده از جاذب‌های مناسب و شرایط عملیات مناسب، عملکرد این روش بهینه شود. در نتیجهٔ بررسی ها و پژوهش های صورت گرفتهٔ، می توان نتیجهٔ گیری نمود که روش جذب سطحی به دلیل

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

دارابودن ویژگی های منحصر به فردی و قابل تنظیم بودن، در حذف آلودگی های پیچیده نظیر آنتی بیوتیک ها، علاوۀ بر دارابودن کارآیی بالائ، قابل استفادۀ قابل تامل در صنعت تصفیۀ پساب هاست(۵۰-۴۸).

نتیجه گیری کلی و پیشنهاداتی برای آینده

در میان روش هایی که برای حذف آنتی بیوتیک ها ارائه شده اند، جذب سطحی از همه کارایی بیشتری دارد اما لازم است که پژوهش های بیشتری در این راه انجام شود تا به جاذب هایی دست پیدا کنیم که قابلیت استفاده چندین باره داشته باشند، گزینش پذیری مطلوبی داشته باشند، سنتز آنها سبز، مقرون به صرفه و تکرارپذیر باشد و ترجیحا مغناطیسی باشد زیرا جاذب های مغناطیسی، به راحتی با اعمال یک میدان مغناطیسی از ماتریس مورد نظر، حذف می شوند ولی جاذب های غیر مغناطیسی الزام استفاده از پمپ را برای عبور نمونه مورد نظر از ستون حاوی جاذب را ایجاد می نماید که باعث سخت تر شدن و زمان بر شدن فرآیند می‌گردد. از این رو، توصیه می شود که مطالعات بیشتری در این راستا در آینده انجام شود.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

منابع

1. Urban-Chmiel R, Marek A, Stępień-Pyśniak D, Wieczorek K, Dec M, Nowaczek A, Osek J. Antibiotic resistance in bacteria—A review. Antibiotics. 2022 Aug 9;11(8):1079.
2. Larsson DG, Flach CF. Antibiotic resistance in the environment. Nature Reviews Microbiology. 2022 May;20(5):257-69.
3. Church NA, McKillip JL. Antibiotic resistance crisis: challenges and imperatives. Biologia. 2021 May;76(5):1535-50.
4. Darby EM, Trampari E, Siasat P, Gaya MS, Alav I, Webber MA, Blair JM. Molecular mechanisms of antibiotic resistance revisited. Nature Reviews Microbiology. 2023 May;21(5):280-95.
5. Chinemerem Nwobodo D, Ugwu MC, Oliseloke Anie C, Al-Ouqaili MT, Chinedu Ikem J, Victor Chigozie U, Saki M. Antibiotic resistance: The challenges and some emerging strategies for tackling a global menace. Journal of clinical laboratory analysis. 2022 Sep;36(9):e24655.
6. Mancuso G, Midiri A, Gerace E, Biondo C. Bacterial antibiotic resistance: the most critical pathogens. Pathogens. 2021 Oct 12;10(10):1310.
7. Uddin TM, Chakraborty AJ, Khusro A, Zidan BR, Mitra S, Emran TB, Dhama K, Ripon MK, Gajdács M, Sahibzada MU, Hossain MJ. Antibiotic resistance in microbes: History, mechanisms, therapeutic strategies and future prospects. Journal of infection and public health. 2021 Dec 1;14(12):1750-66.
8. Huemer M, Mairpady Shambat S, Brugger SD, Zinkernagel AS. Antibiotic resistance and persistence—Implications for human health and treatment perspectives. EMBO reports. 2020 Dec 3;21(12):e51034.
9. Aslam B, Khurshid M, Arshad MI, Muzammil S, Rasool M, Yasmeen N, Shah T, Chaudhry TH, Rasool MH, Shahid A, Xueshan X. Antibiotic resistance: one health one world outlook. Frontiers in cellular and infection microbiology. 2021 Nov 25;11:771510.
10. Diallo OO, Baron SA, Abat C, Colson P, Chaudet H, Rolain JM. Antibiotic resistance surveillance systems: A review. Journal of Global Antimicrobial Resistance. 2020 Dec 1;23:430-8.
11. Mann A, Nehra K, Rana JS, Dahiya T. Antibiotic resistance in agriculture: Perspectives on upcoming strategies to overcome upsurge in resistance. Current research in microbial sciences. 2021 Dec 1;2:100030.
12. Wilson DN, Hauryliuk V, Atkinson GC, O'Neill AJ. Target protection as a key antibiotic resistance mechanism. Nature Reviews Microbiology. 2020 Nov;18(11):637-48.
13. Jian Z, Zeng L, Xu T, Sun S, Yan S, Yang L, Huang Y, Jia J, Dou T. Antibiotic resistance genes in bacteria: Occurrence, spread, and control. Journal of basic microbiology. 2021 Dec;61(12):1049-70.
14. Bilal H, Khan MN, Rehman T, Hameed MF, Yang X. Antibiotic resistance in Pakistan: a systematic review of past decade. BMC infectious diseases. 2021 Dec;21:1-9.
15. Kunhikannan S, Thomas CJ, Franks AE, Mahadevaiah S, Kumar S, Petrovski S. Environmental hotspots for antibiotic resistance genes. Microbiologyopen. 2021 Jun;10(3):e1197.
16. Kumar SB, Arnipalli SR, Ziouzenkova O. Antibiotics in food chain: The consequences for antibiotic resistance. Antibiotics. 2020 Oct 13;9(10):688.
17. Lu ZY, Ma YL, Zhang JT, Fan NS, Huang BC, Jin RC. A critical review of antibiotic removal strategies: Performance and mechanisms. Journal of Water Process Engineering. 2020 Dec 1;38:101681.
18. de Ilurdoz MS, Sadhwani JJ, Reboso JV. Antibiotic removal processes from water & wastewater for the protection of the aquatic environment-a review. Journal of water process engineering. 2022 Feb 1;45:102474.
19. Phoon BL, Ong CC, Saheed MS, Show PL, Chang JS, Ling TC, Lam SS, Juan JC. Conventional and emerging technologies for removal of antibiotics from wastewater. Journal of hazardous materials. 2020 Dec 5;400:122961.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

20. Nasrollahi N, Vatanpour V, Khataee A. Removal of antibiotics from wastewaters by membrane technology: Limitations, successes, and future improvements. Science of the Total Environment. 2022 Sep 10;838:156010.

21. Baaloudj O, Assadi I, Nasrallah N, El Jery A, Khezami L, Assadi AA. Simultaneous removal of antibiotics and inactivation of antibiotic-resistant bacteria by photocatalysis: A review. Journal of Water Process Engineering. 2021 Aug 1;42:102089.

22. Langbehn RK, Michels C, Soares HM. Antibiotics in wastewater: From its occurrence to the biological removal by environmentally conscious technologies. Environmental Pollution. 2021 Apr 15;275:116603.

23. Mangla D, Sharma A, Ikram S. Critical review on adsorptive removal of antibiotics: Present situation, challenges and future perspective. Journal of Hazardous Materials. 2022 Mar 5;425:127946.

24. Nguyen LM, Nguyen NT, Nguyen TT, Nguyen TT, Nguyen DT, Tran TV. Occurrence, toxicity and adsorptive removal of the chloramphenicol antibiotic in water: a review. Environmental Chemistry Letters. 2022 Jun;20(3):1929-63.

25. Du C, Zhang Z, Yu G, Wu H, Chen H, Zhou L, Zhang Y, Su Y, Tan S, Yang L, Song J. A review of metal organic framework (MOFs)-based materials for antibiotics removal via adsorption and photocatalysis. Chemosphere. 2021 Jun 1;272:129501.

26. Wang K, Zhuang T, Su Z, Chi M, Wang H. Antibiotic residues in wastewaters from sewage treatment plants and pharmaceutical industries: Occurrence, removal and environmental impacts. Science of the Total Environment. 2021 Sep 20;788:147811.

27. Abd El-Monaem EM, Eltaweil AS, Elshishini HM, Hosny M, Abou Alsoaud MM, Attia NF, El-Subruiti GM, Omer AM. Sustainable adsorptive removal of antibiotic residues by chitosan composites: An insight into current developments and future recommendations. Arabian journal of chemistry. 2022 May 1;15(5):103743.

28. Yang Q, Gao Y, Ke J, Show PL, Ge Y, Liu Y, Guo R, Chen J. Antibiotics: An overview on the environmental occurrence, toxicity, degradation, and removal methods. Bioengineered. 2021 Jan 1;12(1):7376-416.

29. Dutta J, Mala AA. Removal of antibiotic from the water environment by the adsorption technologies: a review. Water science and technology. 2020 Aug 1;82(3):401-26.

30. Hacıosmanoğlu GG, Mejías C, Martín J, Santos JL, Aparicio I, Alonso E. Antibiotic adsorption by natural and modified clay minerals as designer adsorbents for wastewater treatment: A comprehensive review. Journal of Environmental Management. 2022 Sep 1;317:115397.

31. Hasani K, Peyghami A, Moharrami A, Vosoughi M, Dargahi A. The efficacy of sono-electro-Fenton process for removal of Cefixime antibiotic from aqueous solutions by response surface methodology (RSM) and evaluation of toxicity of effluent by microorganisms. Arabian Journal of Chemistry. 2020 Jul 1;13(7):6122-39.

32. Yan W, Xiao Y, Yan W, Ding R, Wang S, Zhao F. The effect of bioelectrochemical systems on antibiotics removal and antibiotic resistance genes: a review. Chemical Engineering Journal. 2019 Feb 15;358:1421-37.

33. Ahmed MB, Zhou JL, Ngo HH, Guo W. Adsorptive removal of antibiotics from water and wastewater: progress and challenges. Science of the Total Environment. 2015 Nov 1;532:112-26.

34. Homem V, Santos L. Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices–a review. Journal of environmental management. 2011 Oct 1;92(10):2304-47.

35. Derakhshan Z, Mokhtari M, Babaei F, Malek Ahmadi R, Ehrampoush MH, Faramarzian M. Removal methods of antibiotic compounds from aqueous environments–a review. Journal of Environmental Health and Sustainable Development. 2016 Jun 10;1(1):43-62.

36. Yu F, Li Y, Han S, Ma J. Adsorptive removal of antibiotics from aqueous solution using carbon materials. Chemosphere. 2016 Jun 1;153:365-85.

37. Sanganyado E, Gwenzi W. Antibiotic resistance in drinking water systems:

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

Occurrence, removal, and human health risks. Science of the Total Environment. 2019 Jun 15;669:785-97.

38. Wang X, Yin R, Zeng L, Zhu M. A review of graphene-based nanomaterials for removal of antibiotics from aqueous environments. Environmental Pollution. 2019 Oct 1;253:100-10.

39. Li MF, Liu YG, Zeng GM, Liu N, Liu SB. Graphene and graphene-based nanocomposites used for antibiotics removal in water treatment: A review. Chemosphere. 2019 Jul 1;226:360-80.

40. Cuerda-Correa EM, Alexandre-Franco MF, Fernández-González C. Advanced oxidation processes for the removal of antibiotics from water. An overview. Water. 2019 Dec 27;12(1):102.

41. Lofrano G, Pedrazzani R, Libralato G, Carotenuto M. Advanced oxidation processes for antibiotics removal: a review. Current organic chemistry. 2017 May 1;21(12):1054-67.

42. Malakootian M, Yaseri M, Faraji M. Removal of antibiotics from aqueous solutions by nanoparticles: a systematic review and meta-analysis. Environmental Science and Pollution Research. 2019 Mar 1;26:8444-58.

43. Burch KD, Han B, Pichtel J, Zubkov T. Removal efficiency of commonly prescribed antibiotics via tertiary wastewater treatment. Environmental Science and Pollution Research. 2019 Mar 8;26:6301-10.

44. Bytesnikova Z, Richtera L, Smerkova K, Adam V. Graphene oxide as a tool for antibiotic-resistant gene removal: a review. Environmental Science and Pollution Research. 2019 Jul 1;26:20148-63.

45. Ma R, Xue Y, Ma Q, Chen Y, Yuan S, Fan J. Recent advances in carbon-based materials for adsorptive and photocatalytic antibiotic removal. Nanomaterials. 2022 Nov 17;12(22):4045.

46. Priya SS, Radha KV. A review on the adsorption studies of tetracycline onto various types of adsorbents. Chemical engineering communications. 2017 Aug 3;204(8):821-39.

47. Ahmed MJ. Adsorption of quinolone, tetracycline, and penicillin antibiotics from aqueous solution using activated carbons. Environmental toxicology and pharmacology. 2017 Mar 1;50:1-0.

48. Jalali Sarvestani MR, Doroudi Z. Removal of reactive black 5 from waste waters by adsorption: a comprehensive review. Journal of Water and Environmental Nanotechnology. 2020 Apr 1;5(2):180-90.

49. Arabi, S. Review on synthesis of NZVI as an effective adsorbent for environmental remediation. *International Journal of New Chemistry*, 2023; 10(2): 134-139.

50. Akbari Lasboo, F., Karimian, M., Movahed, F., Ghoreishi Amin, N. Developed Sustainable Green Nanoadsorbents for the Removal of Antibiotics: A Comprehensive Review. *International Journal of New Chemistry*, 2023; 11(1): 1-14.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

A Review of the Dilemma of Antibiotic Resistance and Antibiotic Removal Methods

Mohammad Reza Jalali Sarvestani[1], **Mahnaz Qomi[2,3*]**

[1] Young Researchers and Elite Club, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

[2] Department of Medicinal Chemistry, Faculty of Pharmacy, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran

[3] Active Pharmaceutical Ingredients Research Center (APIRC), Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Antibiotic resistance is one of the major challenges in the field of public health and medicine, which has serious impacts on the health of humans and societies. This problem occurs when bacteria, viruses, fungi, and other microorganisms change in such a way that they are no longer sensitive to antibiotics. This reduces the effectiveness of treatments, increases treatment costs, and increases the risk of transmitting antibiotic-resistant infections to other people. To deal with this problem, various methods for antibiotic removal have been proposed, including the use of advanced technologies in water and wastewater treatment, the use of new process methods in the production of drugs, as well as the promotion of the optimal use of antibiotics by physicians and pharmacists. Also, educating the community about the correct use of antibiotics and the importance of observing medical orders plays an effective role in reducing antibiotic resistance. This article reviews and reviews the methods and strategies of antibiotic removal, and examines the challenges and potentials in this field in order to take the necessary steps to improve the current situation and prevent the increase in antibiotic resistance.

Keywords: Antibiotic, Antibiotic resistance, Adsorption, Photocatalytic degradation, Filtration

* mahnaz.qomi@gmail.com

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]