مجله ایمنی زیستی
دوره ۷، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۳

کاربرد فراصوت در اصلاح زیستی آلاینده‌های آلی

مهدی یزدانی*، سونیا صنعت پور
دانشجوی کارشناسی شیمی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران
دانش آموخته کارشناسی شیمی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

mehdiyazdani2010@yahoo.com

چکیده

با افزایش روزافزون جمعیت انسان و تلاش در جهت تامین نیازهای اساسی او، امروزه بیش از گذشته از مواد آلی گوناگون به منظور حفظ مواد غذایی، تامین انرژی و مقابله با آفت‌ها استفاده می‌شود. این مواد، به طبیعت وارد شده و منجر به آلودگی محیط زیست می‌شوند. برخی از این مواد به آسانی و با گذشت زمان، توسط میکروارگانیسم‌های موجود در محیط تجزیه شده و از میزان سمیت آن‌ها کاسته می‌شود. اما ترکیباتی با ساختار پیچیده، به‌سهولت توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه نشده و با گذشت زمان در محیط زیست انباشته می‌شوند. چنان‌چه بتوان شرایطی را فراهم کرد تا میکروارگانیسم‌ها به کمک آن بتوانند فرآیند اصلاح زیستی ترکیب‌های آلی پیچیده را انجام دهند، می‌توان تا حدودی از آلودگی محیط زیست جلوگیری کرد. یکی از موثرترین روش‌هایی که امروزه برای تجزیه ترکیبات آلی پیچیده استفاده می‌شود، امواج فراصوت است. در این مقاله با استناد به پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی تاثیر امواج فراصوت بر تجزیه ترکیبات آلی، تاکید بر تاثیر مثبت این امواج بر روی میکروارگانیسم‌ها، روش استفاده‌ی امواج فراصوت، همراه با اصلاح زیستی مورد نظر است.

کلمات کلیدی: اصلاح زیستی، آلاینده‌های آلی، اکسیداسیون پیشرفته، امواج فراصوت

مقدمه

با افزایش تنوع آلاینده‌های زیست محیطی، حفظ و حراست از محیط زیست و منابع طبیعی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. از جمله‌ی این آلاینده‌ها می‌توان به هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (Polycyclic aromatic hydrocarbons)، ترکیبات آلی فرار (Volatile organic compounds)، ترکیبات آلی پایدار (Persistent Organic Pollutants) و پلی کلرید بی‌فنیل‌ها (Polychlorinated Biphenyls) اشاره نمود. در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای برای یافتن روش‌های موثر در جهت حذف این آلاینده‌ها انجام شده است. از جمله روش‌هایی که به‌طور گسترده در جهت حذف آلاینده‌هایی نظیر هیدروکربن‌های حلقوی مورد استفاده قرار گرفته است، می‌توان به

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1393.7.2.10.0]

جاذب کربن فعال (۱) و اولترا فیلتراسیون (۲) اشاره کرد که از روش‌های تصفیه فیزیکی متداول هستند و از جمله روش‌های تصفیه شیمیایی نیز می‌توان به اکسیداسیون با استفاده از ازن (۳) و پرتو فرابنفش- پراکسید هیدروژن (٤) اشاره کرد. سایر روش‌هایی که امروزه مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته است، روش‌های زیستی هستند. زیرا این روش‌ها به‌طور معمول اثرهای منفی کمتری بر روی محیط داشته و محصولات جانبی آن‌ها نیز کمتر است. در میان روش‌های تجزیه زیستی، موثرترین و مقرون به صرفه‌ترین روش توصیه شده، روش اصلاح زیستی است(۵).

اصلاح زیستی

اصلاح زیستی، بخشی از یک فناوری به شمار می‌رود که از فرآیندهای میکروبی، جهت تبدیل آلاینده‌های محیط زیست به محصولاتی با سمیت کمتر نظیر دی‌اکسید کربن، آب و ترکیبات آلی ساده بهره می‌برد. این روش برای پاک‌سازی مواد دفعی مایع و جامد غیر سمی، آب‌های آلوده، مواد دفعی سمی زیان‌آور و آلودگی‌های نفتی به کار می‌رود (٦). گزارش‌های پژوهشگران مختلف در این زمینه حاکی از آن است که به کمک این روش، می‌توان آلاینده‌های مختلفی که ساختارهای پیچیده خاصی ندارند را، به راحتی از بین برد (۷). اما همین امر، کاربرد این روش را محدود می‌کند، زیرا میکروارگانیسم‌ها توانایی تخریب ترکیبات پیچیده از نظر ساختار را در حد متوسط دارا هستند. امروزه وجود ترکیبات آلی مقاوم به تجزیه زیستی موجود در صنایع شیمیایی و پتروشیمی، به یکی از چالش‌های مهم زیست محیطی تبدیل شده است. حضور چنین ترکیباتی در محیط و ورود آن به منابع آبی، سبب تغییر کیفیت شیمیایی و فیزیکی آب شده و امکان استفاده از آن را غیر ممکن ساخته است. قابلیت دسترسی کم میکروارگانیسم‌ها به ترکیباتی مانند هیدروکربن‌ها در خاک، سرعت اصلاح زیستی را به‌عنوان یک روش موثر برای حذف آلودگی از خاک محدود می‌سازد. البته اصلاح زیستی، مهمترین و موثرترین راه برای نابودی ترکیبات مقاومی از جمله آفت‌کش‌ها به شمار می‌آید. اصلاح زیستی این مواد، یک فرآیند زیست محیطی فراگیر است که در زیستگاه‌های گوناگونی از جمله خاک، ته نشست‌ها، آب‌های سطحی و زیرزمینی، لجن‌های فاضلاب و دیگر موارد مشابه انجام‌پذیر است (۸). در فرآیند اصلاح زیستی آفت‌کش‌ها، مولکول‌های آفت‌کش، به‌وسیله آنزیم‌های برون سلولی میکروارگانیسم‌ها تخریب شده و به مولکول های کوچکتر و یا اجزای معدنی تبدیل می‌شوند. معدنی شدن کامل آفت‌کش‌ها به ندرت رخ می‌دهد و فرآورده‌های تولید شده، در بدن ریزجانداران انباشته شده و ممکن است برای آن‌ها سمیت ایجاد کند. باکتری‌ها، قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها و جلبک‌ها، ریزجانداران اصلی تشکیل دهنده‌ی خاک هستند که در بین آن‌ها قارچ‌ها و باکتری‌ها نقش اصلی را در اصلاح زیستی و متابولیسم میکروبی آفت‌کش‌ها دارند. بر پایه پژوهش‌های انجام شده، باکتری‌های *سودوموناس*، به دلیل قابلیت‌هایشان در تجزیه آلاینده‌های آلی از جمله مشتقات نفتی، هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی، علف‌کش‌ها و دیگر آلاینده‌ها، در تحقیقات پژوهشی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند (۹). در متابولیسم میکروبی، آفت‌کش‌ها می‌توانند به‌عنوان منبع انرژی برای سایر فرآیندهای متابولیکی مورد استفاده قرار بگیرند. از

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1393.7.2.10.0]

آن‌جا که بیشتر آفت‌کش‌ها برای میکروارگانیسم‌های خاک، موادی جدید و بیگانه هستند، این موضوع باعث عدم سازگاری در میکروب‌های خاک در مواجه با آفت‌کش‌ها و در نتیجه عدم توانایی اصلاح زیستی آن‌ها می‌شود. سازگاری زیستی، معمولا به کندی و با گذشت زمان در خاک ایجاد می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد اگر سازگاری میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه‌ی مولکول‌ها و ترکیب‌های جدیدی مانند آفت‌کش‌ها، با سرعت بیشتری ایجاد شود، می‌توان راهی برای پالایش خاک‌های آلوده بهآفت‌کش‌ها یافت. تاکنون تلاش‌های بسیاری برای یافتن راه‌هایی کم‌هزینه و موثر برای پالایش خاک‌های آلوده به این مواد انجام شده است. اخیرا همگام با پیشرفت فناوری و ارایه ابزار و روش‌های جدید، پژوهشگران به یافته‌های جدیدی در زمینه اصلاح آلاینده‌های شیمیایی دست یافته‌اند. محققان روش اصلاح زیستی را همراه با فراصوت مورد استفاده قرار داده و نتایج حاصل، پیشرفت‌های چشم‌گیری را در این زمینه نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد این روش از نظر جنبه‌های زیست محیطی، به منظور کاهش آلاینده‌های مختلف از محیط زیست، مناسب به نظر می‌رسد.

فراصوت

فراصوت به امواج صوتی گفته می‌شود که دارای فرکانسی بیشتر از محدوده‌ی فرکانس شنوایی انسان (۲۰ کیلوهرتز) هستند. این امواج به دو دسته تقسیم می‌شوند: امواج با شدت پایین و امواج با شدت بالا. سه ویژگی مهم این امواج عبارت‌اند از: سرعت انتشار موج فراصوت در یک ماده، فاصله‌ای که موج ضعیف می‌شود و مقاومت ظاهری صوتی. اولین بار تاثیرات غیر معمول صوت بر روی واکنش‌های شیمیایی، در سال ۱۹۲۷ مورد بررسی قرار گرفت. پس از گذشت چند دهه، امروزه پژوهشگران توجه ویژه‌ای را نسبت به کاربرد امواج فراصوت معطوف داشته‌اند. از جمله این کاربردها می‌توان به استفاده از این امواج در زمینه تولید نانو مواد، بهبود بازده واکنش‌های کاتالیزوری و همچنین تصفیه آب و فاضلاب اشاره کرد. از مزایای روش فراصوت می‌توان به عدم تولید هیچ نوع فرآورده جانبی جهش‌زا و سرطان‌زا، عدم نیاز به کاربرد و ذخیره‌سازی مواد شیمیایی خطرناک و همچنین نیاز به فضای اندک برای استقرار واحدها اشاره کرد (۱۰). از سال ۱۹۵٤ مطالعات تجربی و آزمایشگاهی نشان داد که انتشار امواج فراصوت در آب و فاضلاب، منجر به حذف آلاینده‌های آلی می‌شود. به دلیل تولید رادیکال‌های هیدروکسیل از طریق حفره‌زایی (Cavitation) صوتی، فراصوت یک فرآیند اکسیداسیون پیشرفته است و منجر به برش همولیتیک یک مولکول در آب می‌شود. امواج فراصوت در حلال‌های آبی منجر به تشکیل و تخریب حباب‌های گازی می‌شود، بنابراین باعث ایجاد فشار و دمای بالا (به صورت زود گذر) شده و نتیجه آن تشکیل رادیکال‌های آزاد (OH,OOH) در آب می‌باشد. این رادیکال‌ها در ساختار ترکیب نفوذ کرده و باعث اکسیداسیون ترکیبات آلی می‌شوند (۱۱). بر این اساس می‌توان گفت که یکی از روش‌های مطرح، استفاده از فراصوت به عنوان یک فناوری اکسیداسیون پیشرفته برای حذف آلاینده‌های مقاوم و سمی می‌باشد. حذف آلاینده‌ها در فرآیند اکسیداسیون پیشرفته بر پایه تولید رادیکال آزاد هیدروکسیل با قدرت اکسیداسیون بالا بوده که بسیاری از ترکیبات شیمیایی آلی را به مواد معدنی تبدیل می‌کند (۱۲).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1393.7.2.10.0]

استفاده از فرآیند فراصوت برای تجزیه آلاینده‌ها، به عنوان یک فناوری کارآمد و پیشرفته در زمینه‌های مختلف علوم مهندسی محیط به منظور حذف آلاینده‌ها از محیط زیست و همچنین به عنوان یک فناوری پایه برای آینده در جهان مورد توجه قرار گرفته است. طبق مطالعات مختلف انجام شده، این فرآیند به تنهایی و به صورت مستقیم یا غیرمستقیم، همراه سایر روش‌های دیگر مانند ازناسیون و اشعه ماورای بنفش، به منظور تجزیه آلاینده‌هایی مثل ترکیبات آلی فرار، ترکیبات آلی کلره، ترکیبات بنزن، سموم آلی، تری‌هالومتان‌ها، سیانید و غیره بسیار کارآمد بوده و منجر به دستیابی نتایج بهتری در مقایسه با کاربرد مجزای هر کدام از روش‌ها شده است (۱۳). روشان و همکاران (۲۰۰٦) از فرآیندهای زیستی و فرآیند ترکیبی زیستی- جذبی برای حذف سیانید استفاده کردند که طی آن با فرآیند زیستی ۸۰ درصد و با فرآیند ترکیبی، میزان حذف سیانید به ۹۵ درصد رسیده است (١٤).

فراصوت و اصلاح زیستی

ترکیب فراصوت و اصلاح زیستی، در مقایسه با اصلاح زیستی مجزا، دارای پتانسیل بیشتری در جهت حذف آلودگی از محیط است. یک فرآیند زیستی- فراصوت، به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آلوده کننده مورد اصلاح بستگی دارد. روند تجزیه آلاینده‌ها یکسان نبوده و گروهی با سرعت توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه و حذف می‌شود، اما بخش عمده آن به کندی تجزیه می‌شود و در نتیجه در محیط زیست، باقی مانده و تجمع می‌یابند. تجمع این ترکیبات شیمیایی در محیط زیست تهدید جدی بر سلامت انسان و دیگر موجودات است. فعالیت‌های میکروارگانیسم‌ها به شدت تحت تاثیر حالات فیزیکی و شیمیایی محیط است. بسیاری از کنترل کننده‌های محیطی را می‌توان مورد توجه قرار داد ولی به‌طورکلی ٤ مورد اساسی که شامل: دما، اسیدیته، دسترسی به آب و اکسیژن هستند، رشد تمام میکروارگانیسم‌ها را کنترل می‌کنند. عوامل دیگری مانند فشار و تشعشعات نیز بر روی رشد میکروارگانیسم موثرند (۱۵). آندرس (۲۰۰۱) در پژوهش خود تاثیر امواج فراصوت را بر فرآیندهای زیستی مورد بررسی قرار داد. او محدوده‌ای از فرکانس ۲۰ کیلوهرتز تا ۱ مگاهرتز را مورد بررسی قرار داده و بیشترین راندمان تجزیه مواد را در فرکانس‌های بالای ۲۰۰ کیلوهرتز گزارش کرد. همچنین وی پیشنهاد کرد که جریان‌های تولیدی کوچکی از فراصوت با فرکانس بالای ۱ مگاهرتز مورد استفاده قرار بگیرد، زیرا میکروارگانیسم‌ها در این فرکانس دچار آسیب نمی‌شوند. در واقع اگر از تاثیرات فراصوت برای افزایش انتقال ترکیبات آب‌گریز، دی‌هالوژنه کردن، کاهش سمیت برخی ترکیبات و همچنین برای تکه تکه کردن پلیمرهایی با جرم مولی بیشتر از ٤۰ هزار استفاده شود، سبب می‌شود تا اصلاح زیستی تشدید شود (١٦). جویس و همکاران (۲۰۰۳) به منظور بررسی دقیق‌تر اثر امواج فراصوت بر میزان زنده‌مانی باکتری‌های *اشرشیاکلای* و *کلبسیلا فنومونیا*، از روش فلوسیتومتری استفاده کردند و کاهش آسیب را در فرکانس‌های بالا مشاهده نمودند (۱۷). نتایج حاصل از کار هوآنگ و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای سولفور(Polycyclic aromatic hydrocarbon sulfur) در محلول‌های آبی به دلیل تاثیر فراصوت بر روی آن‌ها، دچار تجزیه شدند. مهمترین

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1393.7.2.10.0]

نقش را در تجزیه این ترکیبات، رادیکال هیدروکسیل بر عهده دارد. همچنین به منظور بررسی میزان کاهش سمیت ناشی از این ترکیبات، میزان تنفس باکتری *اشرشیاکلای* مورد بررسی و استفاده قرار گرفت (۱۸). در کاربرد هم زمان امواج فراصوت و اصلاح زیستی، باید از نابودی میکروارگانیسم‌ها توسط امواج فراصوت جلوگیری کرد و یا حداقل رشد میکروبی باید معادل با میزان نابودی آن‌ها توسط فراصوت باشد. بنابراین آگاهی از پارامترهای موثر بر میزان نابودی میکروب‌ها به وسیله‌ی فراصوت بسیار مهم بوده و به عنوان یک پیش‌نیاز برای طراحی فرآیندهای هم زمان در ساخت راکتورهای زیستی- صوتی است. اگرچه نتایج بیشتر پژوهش‌ها بر مبنای اثرات منفی فراصوت بر روی باکتری‌ها ارائه شده است، اما با کنترل فرکانس، شدت و مدت زمان تاثیر امواج، می‌توان نتایج مثبتی را نیز در پی داشت. ال بسولا (۲۰۱۰) و همکاران تاثیر امواج فراصوت را بر روی مایکوباکتریوم در طول موج ۲۰ و ۶۱۲ کیلوهرتز مورد بررسی قرار دادند. در طول موج ۲۰ کیلوهرتز نزدیک به ۹۳ درصد و در طول موج ۶۱۲ کیلوهرتز نیز حدود ۳۵/۵ درصد از این گونه از بین رفت (۱۹). پیت و همکارش (۲۰۰۳) از فراصوت برای بررسی روند رشد سلول‌های میکروبی متصل به سطح (Biofilm) استفاده کردند. سلول‌های *استافیلوکوکوس اپیدرمیس*، *سودوموناس آئروژینوزا* و *اشرشیاکلای* به هم متصل شده (چسبیده) و در حضور فراصوت روی یک سطح پلی‌اتیلنی رشد کردند. نتایج حاصل از کار آن‌ها نشان داد که در فرکانس پایین فراصوت (۷۰ کیلوهرتز) با شدت صوتی پایین، میزان رشد سلول‌های میکروبی در مقایسه با رشد بدون فراصوت افزایش می‌یابد. همچنین در شدت‌های بالا، منجر به نابودی تعداد کمی از سلول‌ها می‌شود. فراصوت رشد پلانکتونی *استافیلوکوکوس اپیدرمیس* و دیگر باکتری‌های پلانکتونی را افزایش می‌دهد (۲۰). فرض بر این است که فراصوت، میزان انتقال اکسیژن و مواد مغذی را به سلول افزایش داده و همچنین سبب افزایش انتقال مواد سمی سلول به خارج از آن می‌شود. همین امر سبب می‌شود تا میزان رشد افزایش یابد. برخلاف این تصور که فراصوت سطح را کاملا از باکتری پاک می‌کند، این تحقیق ثابت کرد که اتصال یا چسبندگی اولیه باکتری‌ها، تحت تاثیر فراصوت قرار نمی‌گیرد. همچنین رشد شبکه بیوفیلم مورد نظر با فرکانس و شدت فراصوت پایین، منجر به افزایش رشد آن می‌شود. این پژوهش نشان داد که فراصوت رشد بیوفیلم را برای *اشرشیاکلای*، *استافیلوکوکوس اپیدرمیس* و *سودوموناس آئروژینوزا* افزایش می‌دهد. بیوفیلم‌ها شکل معمول رشد باکتری‌ها در طبیعت هستند. شبکه ضخیم بیوفیلم‌ها، پوششی را برای میکروارگانیسم‌ها ایجاد کرده و مانع شسته شدن آن‌ها از محیط می‌شود. آن‌ها فرض کردند که دیگر گونه‌های باکتری نیز این گونه رفتار می‌کنند. گونه‌هایی با نرخ رشد طبیعی، بیشتر تحت تاثیر فراصوت هستند. زیرا فراصوت می‌تواند سرعت انتقال مواد مغذی را افزایش و مواد دفعی را به خارج از سلول هدایت کند. در اصلاح زیستی، باکتری‌ها اغلب در بیوفیلم‌هایی از ذرات جامد در خاک یا آب یافت می‌شوند. *باسیلوس سابتیلیس*، *سودوموناس‌ها*، *بولخوردریا* از جمله گونه‌هایی هستند که با تشکیل بیوفیلم منجر به بازسازی خاک می‌شوند. بیوفیلم‌های تشکیل شده از *سودوموناس‌ها* و *رودوکوکوس* قادر

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1393.7.2.10.0]

خواهند بود که ترکیبات آلی کلره را اصلاح زیستی نمایند (۲۱). بورخولدریا نیز با تشکیل بیوفیلم منجر به حذف تولوئن از خاک می‌شود (۲۲). با این‌حال اعتقاد بر این است که اثر امواج فراصوت بر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی هنوز به طور کامل آشکار نیست (۲۳). بعضی از محققین اختلاف محسوسی را در رابطه با تاثیر امواج فراصوت بین باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی مشاهده نکردند. بر همین اساس، اسکربا (۱۹۹۱) اثر امواج فراصوت را روی باکتری‌های *سودوموناس آئروژنوزا* و *اشرشیاکلای* (گرم منفی) و باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* و *باسیلوس سابتیلوس* (گرم مثبت) بررسی کرد و اختلافی از لحاظ تاثیر گرم مثبت یا منفی بودن باکتری در میزان کارایی فرآیند فراصوت مشاهده نکرد. آن‌ها استدلال کردند که علت اصلی تخریب باکتری‌ها مربوط به غشای سیتوپلاسمی است و دیواره سلولی کمتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بنابراین بین باکتری‌های گرم مثبت و منفی اختلاف محسوسی مشاهده نمی‌شود (۲٤). باکتری‌هایی به فرم کروی نسبت به درمان با فراصوت بسیار مقاوم‌تر از فرم باسیل هستند (۲۵). یکی دیگر از عوامل موثر که منجر به مقاومت باکتری‌ها در برابر فراصوت می‌شود، وجود کپسول است (۲٦). جوآنا و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی دیگر تاثیر امواج صوتی بر رشد باکتری اشرشیاکولی در محیط کشت NA و NB مورد بررسی قرار دادند و یافته‌ها حاکی از افزایش تعداد سلول‌های زنده باکتریایی در فرکانس‌های انتخابی (۵، ۱۰، ۱۵ کیلوهرتز) بود. در واقع این پژوهش مشخص کرد که باکتری‌ها واکنش مثبتی نسبت به دریافت فرکانس‌های مختلف دارند. که این نتایج نیز با گزارش‌های سایر محققان منطبق است (۲۷).

نتیجه‌گیری

ترکیب امواج فراصوت همراه با اصلاح زیستی، روش نوین و امیدوار کننده‌ای را در زمینه مهندسی محیط ارایه می‌کند. با توجه به بحث‌ها و پژوهش‌های گوناگونی که در زمینه اصلاح زیستی و اکسیداسیون ترکیبات مقاوم در برابر تجزیه انجام شده است، می‌توان اثر حاصل از این کاربرد هم‌زمان را به‌صورت کلی مرور کرد. نخست عوامل مختلف مانند پیچیدگی ساختار و سمیت آلاینده‌ها که مانع اصلاح زیستی هستند، با فراصوت بهبود می‌یابند. زیرا امواج فراصوت، به عنوان یک عامل اکسیداسیون قوی عمل کرده و سبب تخریب ساختار ترکیب می‌شود. از سوی دیگر اصلاح زیستی آلاینده‌های باقی‌مانده که ناشی از قرار گرفتن آن‌ها در معرض امواج فراصوت است، نسبت به حذف کامل آن‌ها توسط فراصوت به صورت مجزا، از نظر اقتصادی مناسب‌تر است و میکروارگانیسم‌های موجود در محیط به سهولت می‌توانند باقی‌مانده‌ی ترکیبات را تجزیه کنند. البته لازم به ذکر است که استفاده از فناوری فراصوت در این زمینه، در مراحل ابتدایی قرار دارد. بنابراین مطالعات بیشتر برای بهبود فرآیندهای تکمیلی مورد نیاز است. از سوی دیگر استفاده از این فناوری همراه با اصلاح زیستی، نگرانی‌های ناشی از عدم رعایت ایمنی زیستی را نیز از بین می‌برد. زیرا با شناسایی و تقویت توان میکروارگانیسم‌های یک منطقه، علاوه بر حفظ تنوع زیستی، به مصون ماندن محیط زیست نیز می‌توان کمک نمود. در پژوهش‌هایی که در سال‌های گذشته انجام شده، تنها بر اثرات منفی فراصوت بر روی میکروارگانیسم‌ها تاکید شده است. در صورتی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1393.7.2.10.0]

که به‌راحتی می‌توان با کنترل فاکتورهای موثر، از امواج فراصوت به عنوان مکمل اصلاح زیستی استفاده نمود. امروزه یافتن راه‌حلی مفید و همگام با طبیعت، بیش از پیش احساس می‌شود. بنابراین امید است شرایطی فراهم شود تا محیط زیست بتواند به دوران اوج خود پالایندگی برگردد.

تشکر و قدردانی

نگارندگان این مقاله از سرکار خانم دکتر آتوسا عبدالهی عضو محترم گروه شیمی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) به خاطر حمایت‌ها و راهنمایی‌های ارزشمند ایشان کمال امتنان و تشکر را دارند.

فهرست منابع **References**

1- Zongqiang, G. Kassem, A. Berndt-Michael, W. and Peijun, Li. (2007). Activated carbon adsorption of PAHs from vegetable oil used in soil remediation. J Hazard Mater. 143 (1-2): 372-378.

2- Elmaleh, S. and Ghaffor, N. (1996). Upgrading oil refinery effluents by cross-flow ultrafiltration. Water Science Technology. 34 (9): 231-238.

3- Rivas, J. Gimeno Ruth, G. Calle, D. and Beltran, F. J. (2009). Ozone treatment of PAH contaminated soils: Operating variables effect. J Hazard Mater. 169(3): 509-515.

4- Youn-joo, An. Elizabeth, and R, Carraway. (2002). PAH degradation by UV/H_2O_2 in per fluorinated surfactant solution. Water Res. 36(1): 309-314.

5- Cha, D. K. and Song, J. (1997). Treatment Technologies. Water Environment Research. 69(4): 676-**689.**

6- Pala, D. and Freier, D. (2002). Bioremediation of clay soil impacted by petroleum. Engenharia temica. 10: 29-32.

7- Juhasz, A. L. and Nadiu, R. (2000). Bioremediation of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons: a review of the microbial degradation of benzo [a] pyrene. International Biodeterioration & biodegradation. 45(1): 57-88.

8- Philip, C.K. and Terry, R. (1998). Pesticide Remediation in Soils and Water. 1 ed. Wiley. 400 pages.

9- Jilani, S. and Khan, M, A. (2006). Biodegradation of Cypermethrin by pseudomonas in a batch activated sludge process. Int J Environ Sci Tech. 3(4): 371-380.

10- Henry, C. and Destaillats, H. (2003). Sonochemical Degradation of Pollutants. 1 ed. California Institute of Technology. Pasadena. California. 487.

11- Petrier, C. Torres-palma, R. Combet, E. Sarantakos, G. Baup, S. and Pulgarin, C. (2010). Enhanced sonochemical degradation of bisphenol-A by bicarbonate ions. Ultrason sonochem. 17(1): 111–115.

12- Heringa, MB. Harmsen, D.J.H. Beerendonk, EF. Reus, AA. Krul, CAM. And Metz, D. (2011). Formation and removal of genotoxic activity during UV/H_2O_2/GAC treatment of drinking water. J Water Res. 45(1): 366-374.

13- Lifka, J. Ondruschka, B. and Hofmann, J. (2003). The use of ultrasound for the degradation of pollutants in water: Aqua sonolysis -A review. Engineering in Life Sciences. 3(6): 253-262.

14- Rushan, R. Kumar, A. (2006). Cyanide removal by combined adsorption and biodegradation process. Iran J Environ Health Sci Eng. 3(2): 91-96.

15- Matteo, E. (2013). Direct measurement of Ultrasonic activity on microbial metabolism and analysis

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1393.7.2.10.0]

of related uncertainty. Ph.D. Thesis, Poli Tecnico Di Torino. Italy.

16- Andreas, T. (2001). Combination of ultrasonic and biological pollutant degradation. Advances in Sonochemistry. 6(1): 25-58.

17- Joyce, E. Phull, S. S. Lorimer, J. P. and Mason, T. J. (2003). The development and evaluation of ultrasound for the treatment of bacterial suspensions. A study of frequency, power and sonification time on cultured bacillus species. J ultsonch. 10(6): 315-318.

18- Chin-Pao, H. and Il-Kyu, K. (2005). Sonochemical degradation of polycyclic aromatic sulfur hydrocarbons (PASHs) in aqueous solutions exemplified by benzothiophene. Journal of the Chinese Institute of Engineers. 28(7): 1107-1118.

19- Al Bsoula. Magnin, J. P. Gondrexon, N. and Willison, P. C. (2010). Effectiveness of Ultrasound for the destruction of Mycobacterium SP. Strain. J Ultra., 17(1): 106-110.

20- Pitt, W. G. and Ross, S. A. (2003). Ultrasound increases the rate of bacterial cell growth. Biotechnol Prog. 19(3): 1038-1044.

21- Puhakka, A. J. Melin, E. S. Jarvinen, T. K. Koro, P. M. Rintala, J. A. Hartikainen, P. Shieh, K. W. and Ferguson, F. (1995). Fluidized-bed biofilms for chlorophenol mineralization. Water Science and Technology. 31(1): 227-235.

22- Kumar, A. Dewulf, J. Wiele, T. V. D. and Langenhove, H. V. (2009). Bacterial Dynamics of Biofilm Development During Toluene Degradation by Burkholderia vietnamiensis G4 in a Gas Phase Membrane Bioreactor. J Microbiol Biotechnolo. 19(9): 1028-1033.

23- Villamiel, M. DeJong, P. (2000). Inactivation of Pseudomonas fluorescens and Streptococcus thermophilus in trypticase soy broth and total bacteria in milk by continuous flow ultrasonic treatment and conventional heating. Journal of Food Engineering. 45(3): 171– ۱79.

24- Scherba, G. Weigel, R. M. and O'Brien, W. D. (1991). Quantitative assessment of the germicidal efficacy of ultrasonic energy. Applied and Environmental Microbiology. 57(7): 2079–۲۰84.

25- Joyce. Al-Hashimi, A. T. J. and Mason. (2011). Assessing the effect of different ultrasonic frequencies on bacterial viability using flow cytometry. J Appl Microbiol., 110(4): 862-870.

26- Gao, S. Lewis, G. D. Ashokkumar, M. and Hemar, Y. (2014). Inactivation of microorganisms by low frequency high power ultrasound: Effect of growth phase and capsule properties of the bacteria. J Ultrasonic. 21(1): 446-453.

27- Joanna, C. L. Y. Jedol, D. and Chong, K. P. (2009). Experimental Investigation on the Effects of Audible Sound. Modern Applied Science. 3(3): 124-127.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1393.7.2.10.0]

Application of Ultrasound in Bioremediation of Organic Pollutants

Mahdi Yazdani*, Sonia Sanatpoor
BSc Student of Environmental Chemistry, Islamic Azad University Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran
Bachelor degree of Science in Environmental Chemistry, Islamic Azad University Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran

mehdiyazdani2010@yahoo.com

Abstract
With increasing human population and trying to supply his basic needs, today more than over the past, use to various organic material to keep food, energy supply and collate to pests. this material entry to nature and caused environmental pollution. some of these material easily and with time, decomposed by microorganism in the environment and its toxicity is reduced. but the compounds with complex structure are not decomposed by microorganism in the environment and accumulate over time. if the conditions will be provided to help microorganism that can perform complex organic compounds bioremediation, environmental pollution can be prevented to some extent. use of ultrasound, one the most effective methods that are used to decompose complex organic compounds. In this paper, citing previous research on effect of ultrasound wave in decomposed complex organic compound and emphasis to the positive effect on microorganisms, method of the application ultrasound wave with bioremediation Is desired.
Keywords: Bioremediation, Organic pollutants, Advanced Oxidation, Ultrasound wave.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1393.7.2.10.0]