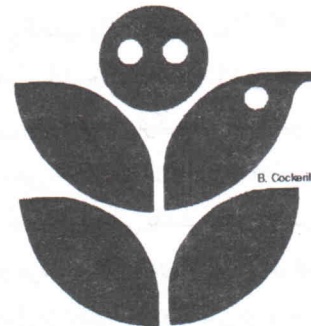


زیست فناوری محیط زیست



منوچهر وثوقی

دانشیار مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی و محیط زیست

دانشگاه صنعتی شریف

جهان کنونی در شرایط بسیار نگران کننده‌یی از نظر محیط زیست قرار گرفته و آلودگی‌های هوا، آب و خاک روز به روز در حال افزایش است. در بسیاری از اوقات روش‌های متداول و معمولی قادر نخواهند بود این آلودگی‌ها را حذف و یا کاهش دهند. در چند دهه‌ی اخیر، زیست فناوری که برگرفته از دانش نوین منابع طبیعی است به مدد متخصصان محیط زیست آمده و تنها از این طریق علمی می‌توان آلودگی‌ها را کاهش داد؛ چرا که مزیت عمده‌ی این علم، طبیعی و دقیق بودن به کارگیری آن در سیستم‌های تصفیه است.

آلودگی هوا، یکی از مشکلات اصلی زیست محیطی اغلب شهرهای بزرگ دنیاست. مواد گازی شکل که عمدتاً از وسایل نقلیه حاصل می‌شوند، جو شهرها را آلوده ساخته‌اند، هیدروکربورها و به‌طور کلی گازهای آلی قابل فرار (VOC) و گازهای حاصل از سوخت کامل و یا ناقص موتورها و کارخانه‌ها، مهم‌ترین آلوده کننده‌های شهری هستند.

در بعد آلودگی آب‌ها نیز می‌توان به آلوده شدن آب‌ها به آلاینده‌هایی که تجزیه‌ی زیستی آنها با مشکل همراه است نظیر ترکیبات حدواسط نفت خام، ترکیبات شیمیایی صنعتی و حشره کش‌ها و یا آلاینده‌هایی که اصولاً به تجزیه‌ی زیستی مقاوم هستند مانند ترکیبات حلقوی، اکثر پلاستیک‌ها، ترکیبات کلری PCB₂ و بعضی فلزهای سنگین نظیر کادمیم و جیوه اشاره نمود. این آلودگی‌ها در اغلب منابع آبی نظیر آب اقیانوس‌ها، آب‌های جاری و حتی آب‌های زیرزمینی دیده می‌شوند و از راه‌های مختلف به‌طور مستقیم و یا غیر مستقیم وارد چرخه‌ی غذایی انسان می‌شوند و تاکنون باعث شیوع بیماری‌های ناشناخته شده‌اند. آلودگی خاک‌ها نیز علاوه بر اینکه کیفیت خاک را از بین می‌برد، روی آب‌های زیرزمینی و درختانی که در آن خاک کشت شده‌اند تأثیر خواهد گذاشت آلودگی‌های نفتی، حاصل از صنایع پتروشیمی و کوره‌های کک‌سازی و نیز کارخانه‌های شیمیایی مخصوص تولیدکننده‌های حشره کش‌ها و مواد سمی و شیرابه‌های زباله‌های شهری یکی از عمده‌ترین آلوده کننده‌های خاک به حساب می‌آیند. در خاک ریزاندامگان متنوعی وجود دارند که چنانچه آلودگی قابل تجزیه‌ی زیستی باشد توسط آنها تجزیه خواهد شد، اما اغلب به دلایلی از جمله کمبود مواد غذایی مورد نیاز، عدم شرایط مناسب از نظر درجه‌ی حرارت، رطوبت و یافت نامناسب خاک، میکروارگانیسم‌ها به راحتی و با سرعت مناسب قادر به انجام دادن این کار نیستند. درمان زیست شناختی^۱ خاک‌ها یکی از روش‌های مناسب تصفیه‌ی خاک‌های آلوده است که در چند سال اخیر مورد توجه متخصصان محیط زیست قرار گرفته است.^[۱] همچنین زیست فناوری محیط زیست با کمک مهندسی ژنتیک توانسته است برای تجزیه و حذف این آلاینده‌های خطرناک در محیط‌های آبی - که با روش‌های معمولی امکان تصفیه ندارند - راه‌حل‌هایی از طریق شناسایی ژن و انتقال آنها به میکروارگانیسم‌ها بخصوص ارثه دهد که برای این امر، واکنشگرهای زیستی خاصی طراحی و ساخته شده‌اند.

مقدمه

در تصفیه‌ی زیستی آلاینده‌ها ممکن است حالت‌های متفاوتی پدیدار شود. بعضی از آن‌ها به راحتی تجزیه می‌شوند، بخش اعظم آنها ضایعات غذا و پسماندهای انسانی هستند که منشاء زیستی دارند، برخی از مواد طبیعی در مقابل تجزیه نسبت به دیگر مواد مقاوم‌ترند. دسته‌ی دیگری از آلوده کننده‌های محیط به سختی تجزیه‌ی زیستی می‌شوند، این مواد شامل ترکیبات حدواسط نفت خام، حشره کش‌ها و بعضی مواد بسیاری هستند، که اصولاً در مقابل حملات آنزیمی میکروارگانیسم‌ها محدودیت دارند. برخورد طولانی بین این نوع آلاینده‌ها و میکروارگانیسم‌ها سبب ایجاد جهش و یا سازگاری میکروارگانیسم‌ها شده و در نهایت حمله به این ترکیبات آغاز می‌شود. گروه دیگری از آلودگی‌ها به تجزیه‌ی زیستی

در قرن گذشته زیست فناوری نقش مهمی در توسعه‌ی بهداشت عمومی و تولید محصولات تجاری بر عهده داشته است. اخیراً، علاوه بر این کاربردهای فراوان زیست فناوری می‌توان به نقش آن در محیط زیست، تولید آنزیم‌ها و دیگر محصولات صنعتی و داروهای جدید نیز اشاره نمود.

امروزه، زیست فناوری به‌عنوان یک سیستم کارا و تطبیق یافته در پاک‌سازی محیط زیست شناخته شده و عملیاتی که بر این پایه و اصول به‌عنوان زیست فناوری محیط زیست اطلاق شده در تصفیه‌ی مواد جامد (خاک‌ها)، مایعات (آب‌های سطحی و زیرزمینی) و گازها کارایی دارند.

مقاومند. نفت خام — به غیر از هیدروکربن‌های سبک — جزو این دسته هستند. ترکیبات پتروشیمی و اکثر پلاستیک‌ها نمی‌توانند مورد حمله‌ی میکروب‌ها قرار گیرند. برخی پلاستیک‌ها در معرض نور خورشید به طور خود به خودی و آهسته شکسته شده و به‌عنوان مواد مغذی در خاک مورد استفاده‌ی میکروب‌ها قرار می‌گیرند. اما این فرایند بسیار کند است و پلاستیک‌ها به‌صورت پوششی برای ده‌ها یا شاید صدها سال روی زمین باقی می‌مانند.^[۲]

مواد شیمیایی غیر قابل تجزیه‌ی زیستی نظیر ترکیبات کلردار PCBs نیز با توجه به اینکه سیستم‌های زنده در طول تکامل‌شان مورد تهاجم چنین ترکیباتی قرار نگرفته‌اند، سازوکارهای آنزیمی پیشرفته برای حمله و قابل استفاده ساختن آنها را ندارند مگر اینکه تماس طبیعی با این ترکیبات چنین سیستمی را ایجاد کند که مستلزم گذشت چندین دهه است؛ به همان ترتیب که در مورد شوینده‌ها اتفاق افتاده است. مواد رادیواکتیو و فلزهای سنگین نیز در این گروه قرار می‌گیرند، عناصری نظیر کادمیم و جیوه به‌همان اندازه که برای گیاهان سمی‌اند، برای جانوران نیز مضر هستند. این مواد به طور طبیعی در مقادیر بالا در خاک و آب موجود نیستند، اما از طریق معادن یا کارخانجات صنعتی و یا فرایندهای متالورژی به سطح زمین منتقل می‌شوند. نه تنها فلزها، بلکه ترکیبات حاصل از فرایند شیمیایی و میکروبی نیز به‌دلیل اینکه برخی موجودات زنده قادر به جذب و تغلیظ این مواد در بدن خود هستند برای محیط زیست مشکلات زیادی را ایجاد می‌کنند.^[۲] امروزه، بیشتر نگرانی‌ها ناشی از آلودگی این فلزهاست. مواد آلی جیوه‌دار هم در طبیعت و هم توسط بشر با استفاده از ترکیبات معدنی جیوه به دست می‌آید و بسیار سمی هستند. این ترکیب‌ها در اندام‌ها با پروتئین‌ها و آنزیم‌ها ترکیب می‌شوند و نسوج سلولی را نابود می‌سازند که باعث فلج شدن، اختلالات حسی و مرگ می‌شود. رودخانه‌های بزرگ دنیا قریب به نصف تولید جهانی جیوه را که سالیانه بیش از ۱۰ هزار تن است وارد اقیانوس‌ها می‌کنند. مقدار جیوه‌یی که برخی از صنایع — مانند کاغذسازی که از ترکیبات آلی جیوه برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها در خمیر کاغذسازی استفاده می‌کنند، صنایع تولیدکننده‌ی لامپ‌های فلورسنت و برخی از دستگاه‌های الکترونیکی، کارخانه‌های پلاستیک‌سازی که در تولیدات آنها جیوه به‌عنوان کاتالیزور عمل می‌کند، کارگاه‌های آینه‌سازی، طلاکاری، صنایع دارویی و برخی از شوینده‌های صنعتی — وارد آب‌ها می‌کنند، باعث افزایش این غلظت می‌شود.

کادمیم فلز سنگین دیگری است که در آبکاری فلزات به کار برده می‌شود و در اندام‌های انسان از مقدار یک پی.پی.ام فراتر خطرناک است. در ژاپن عیار سرب در کبد و کلیه‌های زنان کارگری که به مدت ۱۰ سال

در کارخانه تولید کادمیم کار می‌کرده‌اند اندازه‌گیری و به ترتیب در محدوده ۴ و ۲۲/۴ درصد تعیین گردیده‌اند.^[۳]

با آبیاری مزارع توسط آب رودخانه‌های آلوده به کادمیم، در محصولات به دست آمده بویژه برنج کادمیم یافت شده است.^[۲۳] در سال ۱۹۵۰، آزادسازی ترکیبات جیوه در دریا توسط یک کارخانه‌ی پلاستیک‌سازی در ژاپن سبب تبدیل ترکیبات اصلی توسط میکروب‌های دریایی به مشتقات سمی شد که در بدن ماهی‌ها تجمع پیدا کرد و مصرف این ماهی‌ها توسط جمعیت انسانی باعث شیوع و بروز بیماری جیوه سمی در این منطقه و مرگ تعداد زیادی از انسان‌ها شد. به‌همین ترتیب ترکیبات سمی حاصل از تخلیه‌های صنعتی در مجرای فاضلاب‌های کشاورزی می‌توانند در گیاهان خوراکی ذخیره شوند، مثل ذخیره‌ی کادمیم در برگ گیاهان خوراکی نظیر کاهو که برای ذخیره فلز مناسب هستند و به این ترتیب سبب مسمومیت می‌شوند.^[۲۳]

در بعضی از مناطق دنیا که دارای تراکم شدید خودروهای موتوری هستند، سرب مربوط به آلودگی هوا به آب‌ها انتقال پیدا کرده است، برای مثال، در کالیفرنیا در آب‌ها در حدود ۳۶ mg/lit و در کبد ماهی‌ها ۲۲ پی.پی.ام سرب یافت شده است. آب باران می‌تواند دارای ۴۰ mg/lit و مه دارای ۳۰۰ mg/lit سرب باشد. عیار سرب در آب اقیانوس‌ها طی ۵۰ سال از ۱ mg/m^۳ به ۷ mg/m^۳ افزایش یافته است. این افزایش به دلیل گازهای خارج شده از خودروهای موتوری است که از هوا به دریا انتقال یافته است. این مقدار سالیانه در حدود ۲۵۰ هزار تن است.

این‌دیم موجود در آب اقیانوس‌ها به طور طبیعی در حدود ۰/۱ mg/lit است. این مقدار به اضافه‌ی مقداری که توسط صنایع ایجاد می‌شود، خطری جدی را به وجود می‌آورد. احتمال خطر تمام این آلودگی ممکن است در طرح‌های بهره‌برداری از اقیانوس‌ها به‌منظور برآوردن نیازهای غذایی روزافزون دنیا نقش پیشگیرانه‌یی داشته باشد.^[۳]

آلودگی‌های ناشی از استفاده‌ی آفت‌کش‌ها و مواد آلی سمی را نیز بایستی به‌عنوان آلاینده‌های خطرناک آب‌ها در نظر گرفت. این مواد ترکیبات بسیار متنوعی هستند که منشاء معدنی دارند و بیشتر از طریق سنتز تهیه می‌شوند که از آن جمله می‌توان از ترکیباتی نظیر مواد آلی کلردار مانند: د.د.ت، لیندان کلردین، هپتاکلر، آلدین، دی‌آلدین و یا ترکیبات آلی فسفردار (مالاتیون - پاراتیون) نام برد. برای نمونه، از نظر تاریخی د.د.ت که بعد از جنگ جهانی نقش پراهمیتی، در ریشه‌کنی تب مالاریا داشته، در سال‌های اخیر به‌دلیل مسائل زیست‌محیطی در بسیاری از کشورها ممنوع شده است. بخش بزرگی از دو میلیون تن د.د.ت که تا امروز در دنیا مصرف شده در زنجیره‌ی غذایی بشر — بخصوص در چربی، مغز و... تجمع پیدا می‌کند — باقی مانده است.^[۴]

پاک‌سازی فاضلاب‌های صنعتی به منظور جلوگیری از انتشارات سمی آنها، از گام‌های اساسی است. همچنین، با توجه به طولانی‌بودن زمان مناسب برای پیشرفت توانایی تجزیه‌ی طبیعی در تخریب عوامل شیمیایی، آگاهی و شناخت بیشتر در زمینه‌ی ساختمان پروتیین جهت طراحی آنزیم‌های جدید برای تجزیه‌ی چنین آلاینده‌هایی بسیار مفیدتر خواهد بود.^[۳]

EPA (آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا)^۴ فهرستی از مواد شیمیایی آلی و معدنی سمی که اکنون به‌عنوان محدودیت‌های ویژه مطرح هستند ارائه داده، که در زیر آمده است.

بهترین روش برای جلوگیری از بروز چنین مشکلاتی، عدم آزادسازی این مواد در محیط زیست است که متأسفانه با شرایط موجود امکانپذیر نمی‌باشد. در خصوص فلزهای سنگین و مواد سمی،

نام ترکیب	نام ترکیب
دی‌کلرواتیلن‌ها	۱- اسفتان
۱،۱-دی‌کلرواتیلن -۲۹	۲- آکرولین
۲،۱-ترانس-دی‌کلرواتیلن -۳۰	۳- آکریلونیتریل
۴،۲-دی‌کلروفنل -۳۱	۴- بنزن
دی‌کلروپروپان و دی‌کلروپروپن	۵- بنزیدین
۲،۱-دی‌کلروپروپان -۳۲	۶- تتراکلرید کربن (تتراکلرومتان)
۲،۱-دی‌کلروپروپیلن (۲،۱-دی‌کلروپروپن) -۳۳	بنزن‌های کلردار شده (باستثناء دی‌کلروبنزن)
۴،۲-دی‌متیل‌فنل -۳۴	۷- کلروبنزن
دی‌نیترو تولوئن	۸- ۴،۲،۱-تری‌کلروبنزن
۴،۲-دی‌نیترو تولوئن -۳۵	۹- هگزا کلروبنزن
۶،۲-دی‌نیترو تولوئن -۳۶	اتان‌های کلردار شده (شامل ۲،۱، ۱،۱،۱-تری‌کلرواتان، و هگزا کلرواتان)
۲،۱-دی‌فنیل هیدرازین -۳۷	۱۰- ۲،۱-دی‌کلرواتان
۳۸- اتیل‌بنزن	۱۱- ۱،۱،۱-تری‌کلرواتان
۳۹- فلونوراتن	۱۲- هگزا کلرواتان
هالواترها (ترکیبات هالوژنی اتر)	۱۳- ۱،۱-دی‌کلرواتان
۴- کلرو فنیل فنیل اتر -۴۰	۱۴- ۲،۱،۱-تری‌کلرواتان
۴- برموفنیل فنیل اتر -۴۱	۱۵- ۲،۲،۱،۱-تتراکلرواتان
بیس (۲- کلروایزوپروپیل) اتر -۴۲	۱۶- مخلوط کلرواتیل وینیل اتر
بیس (۲- کلرواتوکسی) متان -۴۳	اترهای کلرو آلکیل (کلرومتیل، کلرواتیل، و مخلوط اترها)
هالومتان‌ها (ترکیبات هالوژنی متان)	۱۷- بیس (کلرومتیل) اتر
۴۴- متیلن کلراید (دی‌کلرومتان)	۱۸- بیس (۲- کلرواتیل) اتر
۴۵- متیل کلراید (کلرومتان)	۱۹- مخلوط ۲- کلرواتیل وینیل اتر
۴۶- متیل برمید (برومومتان)	نفتالن کلردار شده
۴۷- برموفرم (تری‌برومومتان)	۲۰- ۲- کلرو نفتالن
۴۸- دی‌کلروبرومومتان	فنل‌های کلردار شده
۴۹- تری‌کلروفلوئورومتان	۲۱- ۶،۴،۲-تری‌کلروفنل
۵۰- دی‌کلرودی‌فلوئورومتان	۲۲- پارا-کلرو-متا-کرزول
۵۱- کلرودی‌برومومتان	۲۳- کلروفرم (تری‌کلرومتان)
۵۲- هگزا کلرو بوتادی‌ان	۲۴- ۲- کلروفنل
۵۳- هگزا کلروسیکلوپنتادی‌ان	دی‌کلروبنزن‌ها
۵۴- ایزوفرون	۲۵- ۲،۱-دی‌کلروبنزن
۵۵- نفتالن	۲۶- ۳،۱-دی‌کلروبنزن
۵۶- نیتروبنزن	۲۷- ۴،۱-دی‌کلروبنزن
۵۷- ۲- نیترو فنل	دی‌کلروبنزیدین‌ها
۵۸- ۴- نیترو فنل	۲۸- ۳،۳-دی‌کلروبنزیدین
۵۹- ۴،۲-دی‌نیترو فنل	
۶۰- ۶،۴-دی‌نیترو-آرتو-فنل	

نام ترکیب	نام ترکیب	نیتروز آمین‌ها
۸۹- آلدین	۷- نیتروزدی متیل آمین	۶۱- ۷- نیتروزدی متیل آمین
۹۰- دی آلدین	۷- نیتروزدی فنیل آمین	۶۲- ۷- نیتروزدی فنیل آمین
۹۱- کلرودین	۷- نیتروزدی ان پرویل آمین	۶۳- ۷- نیتروزدی ان پرویل آمین
د.د.ت و فراورده‌های سوخت و سازی آن	پنتا کلروفلن	۶۴- پنتا کلروفلن
۹۲- ۴،۴-د.د.ت	فنل	۶۵- فنل
۹۳- ۴،۴-د.د.ی	فتالات استرها	
۹۴- ۴،۴-د.د.د	۶۶- بیس (۲- اتیل هگزیل) فتالات	۶۶- بیس (۲- اتیل هگزیل) فتالات
اندوسولفان و فراورده‌های سوخت و سازی آن	۶۷- بوتیل بنزیل فتالات	۶۷- بوتیل بنزیل فتالات
۹۵- اندوسولفان-آلفا	۶۸- دی ان بوتیل فتالات	۶۸- دی ان بوتیل فتالات
۹۶- اندوسولفان-بتا	۶۹- دی ان اکتیل فتالات	۶۹- دی ان اکتیل فتالات
۹۷- اندوسولفان سولفات	۷۰- دی اتیل فتالات	۷۰- دی اتیل فتالات
اندین و فراورده‌های سوخت و سازی آن	۷۱- دی متیل فتالات	۷۱- دی متیل فتالات
۹۸- اندین	هیدروکربن‌های حلقوی چند هسته‌یی	
۹۹- آلدیید اندین	۷۲- بنزوآتراسن (۲،۱- بنزوآتراسن)	۷۲- بنزوآتراسن (۲،۱- بنزوآتراسن)
هپتا کلر و فراورده‌های سوخت و سازی آن	۷۳- بنزوپیرن (۴،۳- بنزوپیرن)	۷۳- بنزوپیرن (۴،۳- بنزوپیرن)
۱۰۰- هپتا کلر	۷۴- بنزوفلوئورانتن	۷۴- بنزوفلوئورانتن
۱۰۱- هپتا کلر اپوکسید	۷۵- بنزوفلوئورانتن (۱۲،۱۱- بنزوفلوئورانتن)	۷۵- بنزوفلوئورانتن (۱۲،۱۱- بنزوفلوئورانتن)
هگزا کلر و سیکلوهگزان (همه‌ی بسپارها)	۷۶- کرایزن	۷۶- کرایزن
۱۰۲- BHC-آلفا	۷۷- آسن فتیلن	۷۷- آسن فتیلن
۱۰۳- BHC-بتا	۷۸- آتراسن	۷۸- آتراسن
۱۰۴- BHC-گاما	۷۹- بنزوپریلن (۱۲،۱- بنزوپریلن)	۷۹- بنزوپریلن (۱۲،۱- بنزوپریلن)
۱۰۵- BHC-دلنا	۸۰- فلوئورن	۸۰- فلوئورن
فنیل‌های پلی کلرین دار	۸۱- فناترن	۸۱- فناترن
۱۰۶- PCB-۱۲۴۲	۸۲- دی بنزوآتراسن (۶،۵،۲،۱- دی بنزوآتراسن)	۸۲- دی بنزوآتراسن (۶،۵،۲،۱- دی بنزوآتراسن)
۱۰۷- PCB-۱۲۵۴	۸۳- ۳،۲- ارتو- فنیلن پیرن	۸۳- ۳،۲- ارتو- فنیلن پیرن
۱۰۸- PCB-۱۲۲۱	۸۴- پیرن	۸۴- پیرن
۱۰۹- PCB-۱۲۳۲	۸۵- ترا کلرو اتیلن	۸۵- ترا کلرو اتیلن
۱۱۰- PCB-۱۲۴۸	۸۶- تولوئن	۸۶- تولوئن
۱۱۱- PCB-۱۲۶۰	۸۷- تری کلرو اتیلن	۸۷- تری کلرو اتیلن
۱۱۲- PCB-۱۰۱۶	۸۸- وینیل کلراید (کلرو اتیلن)	۸۸- وینیل کلراید (کلرو اتیلن)
۱۱۳- توکسافن	آفت کش‌ها و فراورده‌های سوخت و سازی آن	
۱۱۴- ۸،۷،۳،۲- ترا کلرودی بنزو-پارا-دی اکسین		

واکنشگرهای زیستی جدید و نوین به عنوان سیستم‌های راهبر در جهت تصفیه و کاهش آلودگی‌ها بسیار مهم است. البته، هنوز آثار اجتماعی، اقتصادی و سیاسی به کارگیری روش‌های تجزیه‌ی زیستی آلوده به‌طور واضح مشخص نشده است و در کشورهای مختلف این اثر متفاوت است. با این وجود، در شرایط بحرانی و مخاطره‌انگیز استفاده از این روش‌ها بسیار مؤثر است و این زمانی است که محیط زیست به مواد شیمیایی سمی و یا رادیواکتیو آلوده شده باشد. در این مواقع، تجزیه‌ی زیستی کمک شایانی در پالایش محیط دارد.^[۴]

ملاحظات اقتصادی و شغلی در توسعه و استفاده از روش‌های نوین

زیست فناوری محیط زیست با کمک مهندسی ژنتیک قادر به شناسایی و ساخت ژن‌های جدید و انتقال آنها به ریزاندامگان، بخصوص جهت تولید پروتئین‌های اختصاصی برای رفع چنین آلودگی‌هایی است.

ابعاد اجتماعی- اقتصادی و شغلی در زیست فناوری محیط زیست

از نکات مهم در بهینه‌سازی سیستم‌های مبتنی بر زیست فناوری محیط زیست، تلفیق سیستم‌های مهندسی زیست شیمی و گسترش آنها برای کاهش آلودگی‌های زیست محیطی است. در این زمینه، گسترش

تجزیه‌ی زیستی نیز مد توجه است. در این زمینه ثابت شده که تجزیه‌ی زیستی آلاینده‌ها دارای عملکردی با هزینه‌ی کمتر است. تخمین این هزینه‌ها نشان داده‌اند که تجزیه‌ی زیستی در دامنه‌ی از یک چهارم تا نصف روش‌های دیگر برای پاک‌سازی محیط زیست است.^[۳]

میزان این هزینه‌ها را می‌توان با تعیین نوع مواد مغذی و ریزاندامگان مناسب کاهش داد. در کشور آمریکا از سال ۱۹۹۳ پالایش محیط زیست به روش‌های زیستی توسعه یافته است؛ به گونه‌ی که ۱۵۰ منطقه در این سال از این طریق آلودگی‌زدایی شده‌اند که بیشتر آنها محیط‌های جامد (خاک‌های آلوده) بوده‌اند. میزان هزینه‌ی مصرفی در این سال در حدود ۲۶ میلیون دلار بوده است در حالی که پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۰۰ این هزینه‌ها در کل دنیا به حدود ۴۰۰ میلیارد دلار برسد.^[۴]

کشورهای اروپایی بخصوص هلند برای کاهش هزینه‌های فوق و استفاده‌ی بهینه از روش‌های تجزیه‌ی زیستی بررسی‌های قابل قبولی انجام داده‌اند که تمامی آنها براساس توسعه‌ی پایدار استوار است.

در کشورهای در حال توسعه، گرایش به تغییرات اقتصادی به‌همراه رشد سریع صنعت، پخش مواد سمی را موجب شده است. در این کشورها، عمده‌ترین عوامل آلودگی را باید شناسایی کرده، استانداردهای اعمال رفع آلودگی‌های مختلف را براساس عامل اصلی سنجید. سیاست دولت این کشورها بایستی براساس اتصال بین دو مقوله‌ی مشکلات آلودگی و روش‌های رفع آن باشد. بدون اعمال سیاست‌های خاص، آلودگی کاهش نمی‌یابد. تمام کشورهای دنیا مشکلات بسیاری در زمینه‌ی آلودگی‌های زیست‌محیطی با مواد سمی رادیواکتیوی دارند که در این میان برخی از این کشورها قادر به کاهش مشکلات خود بوده‌اند. برای مثال، کشور آمریکا ۶۰۰ هزار منطقه آلوده را در کشور خود تخمین زده و تحت بررسی دارد. هلند ۲۰۰ هزار، آلمان ۲۵۰ هزار و انگلستان ۱۵۰ هزار منطقه را تحت بررسی قرار داده‌اند.^[۳ و ۵]

بسیاری از پیشرفت‌های اقتصادی کشورهای توسعه‌یافته، بر پایه‌ی سیاست‌های خاص ترویج پاک‌سازی مناطق آلوده است. در این زمینه اکثر سیاست‌های زیست‌محیطی بر اصلاح آلودگی‌های هوا و آب تأکید داشته و کمتر به آلودگی خاک توجه شده است. کشور آمریکا که در سال ۱۹۷۶ اقدام به برقراری سیاست‌های زیست‌محیطی نمود، در این زمینه پیش‌تاز است. به همین ترتیب هلند در سال ۱۹۸۰، آلمان و فنلاند ۱۹۸۱، دانمارک و سوئیس ۱۹۸۳، کانادا و فرانسه ۱۹۸۹ و نهایتاً انگلستان در سال ۱۹۹۰ اقدام به اعمال سیاست‌های زیست‌محیطی نموده‌اند. البته، اهمیت عملکرد سیاست‌های مذکور برای هر کشوری اهمیت جداگانه‌ی دارد. مثلاً، برای کشورهای انگلستان و هلند به طور اخص پالایش محیط زیست روی کاهش هزینه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار بوده است.

زیست‌فناوری محیط زیست براساس آموزش و تحقیق از طریق زیست‌فناوری محیط زیست می‌توان کاربردهای زیست‌فناوری را در راستای پالایش محیط به اجرا درآورد. در سال‌های اخیر، توجه به اصول علمی، پیشرفت‌های قابل توجهی را در زمینه‌ی زیست‌فناوری محیط زیست به وجود آورده است و در این راستا مراکز علمی مرتبط با برگزاری کنگره‌های علمی در پیشبرد این زمینه موفق بوده‌اند.^[۶]

یکی از ابزارهای مهم در زیست‌فناوری محیط زیست، ژنتیک مولکولی است که در تعیین مسیرهای تجزیه‌ی مواد زائد خطرناک کاربرد دارد. افزون بر آن، تحقیقات و آموزش در زمینه‌های خاصی کاملاً با زیست‌فناوری محیط زیست مرتبط بوده و راه پیشرفت این علم را هموار ساخته‌اند که مهم‌ترین آنها عبارتند از: میکروبیولوژی، زیست‌شیمی، آنزیم‌شناسی، زیست‌شناسی مولکولی، مهندسی زیست‌شیمی، شیمی خاک، شیمی آب و تجزیه و مهندسی عمران (هیدرولوژی - جریان آب‌های زیرزمینی). به همین ترتیب تحقیقات پایه‌ی در زمینه‌های بوم‌شناسی میکروبی، تجزیه‌ی زیستی و انتقالات زیستی مواد آلوده، توسعه و افزایش جزءها و گونه‌های میکروبی - چه به صورت خالص یا مخلوط و تعیین مسیرهای جدید کاتابولیک و تعیین مشخصات آنزیمی بخصوص برای تصفیه‌ی مواد خطرناک نظیر کلروآلیفاتیک‌ها، نیتروآروماتیک‌ها، PCBs، PAHs، یون‌های فلزی و پرتوهای نوکلئیدی، گندزدها، اسپارها - از مهم‌ترین موارد تحقیق در زمینه‌ی زیست‌فناوری محیط زیست به شمار می‌روند.^[۳ و ۶]

توسعه‌ی ابزار ژنتیک مولکولی، طراحی فرآورده‌های سوخت‌وسازی، روشن‌سازی ساختمان و سازوکار آنزیم‌های کاتابولیک، تعیین شناساگرهای میکروبی برای اندامگان حاضر در محیط زیست طبیعی و مهندسی عملیات زیستی برای درمان زیستی، پدیده‌های انتقال، موازنه‌ی جرم، مشابه‌سازی، طراحی واکنشگرهای زیستی، افزایش مقیاس و در نهایت کنترل واکنشگرهای زیستی نیز در زمره‌ی مسائل تحقیقاتی زیست‌فناوری محیط زیست قرار گرفته‌اند.^[۶]

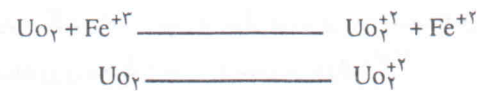
زیست‌فناوری و کاهش ضایعات رادیواکتیوی

انفجارهای هسته‌ی و شیمیایی در جنگ‌ها و اختلال در نیروگاه‌های هسته‌ی، محیط زیست را به مواد رادیواکتیو آلوده ساخته‌اند. آلودگی‌های اصلی مواد رادیواکتیو، فلزهای سمی و مواد آلی خطرناک هستند.^[۷] تصفیه‌ی میکروبی خاک‌ها، رسوبات، لجن‌ها و ضایعاتی که شامل مواد آلی تجزیه‌ناپذیر و فلزها و مواد رادیواکتیو هستند از مهم‌ترین راهکارهای مقابله با آلودگی زیست‌محیطی از طریق زیست‌فناوری

است. انتقالات میکروبی مواد رادیواکتیوی و فلزهای سمی در ضایعات می تواند بر اساس حلالیت، تحرک و قابلیت تجزیه ی زیستی باشد. اکثر عملیات میکروبی برای تثبیت فلزهای سمی و مواد رادیواکتیوی تحت شرایط هوازی و بی هوازی می باشد. در این زمینه، بسیاری از گونه های میکروبی شامل باکتری ها، قارچ ها، مخمرها و جلبک ها که در انتقال مواد رادیواکتیوی مؤثرند شناسایی شده اند. برخلاف ترکیبات آلی، فلزها و مواد رادیواکتیوی نمی توانند به راحتی تجزیه شوند، بلکه باید به طریقی آنها را به حالت پایدار تبدیل نمود. [۶ و ۷]

در تجزیه ی فلزهای سمی و مواد رادیواکتیو دو عمل مستقیم و غیرمستقیم از جانب ریزاندامگان صورت می گیرد. عمل مستقیم بر اساس واکنش های اکسیداسیون و احیای فلزها، و عمل غیرمستقیم بر اساس تولید اسیدهای معدنی یا آلی و در نهایت کاهش pH محیط کشت همراه است.

در عمل مستقیم، بسیاری از ریزاندامگان فلزها را از طریق اکسیداسیون و احیا تجزیه می کنند. سیستم اکسیداسیون و تجزیه ی فلزها می تواند در فرایند فروشویی^۵ سنگ معدنی از طریق ریزاندامگان خودپرور نظیر تیوباسیلوس فرواکسیدان و تیوباسیلوس تیواکسیدان تحت شرایط هوازی اتفاق افتد. برای مثال نقش اساسی تیوباسیلوس فرواکسیدان در استخراج اورانیم از سنگ معدنی به صورت زیر است: [۶]



در حالت غیرمستقیم، عملکرد تجزیه باعث تولید اسیدهای معدنی در سیستم اکسیداسیون مواد معدنی سولفیدی به وسیله ی باکتری های خودپرور می شود، البته، ترکیبات آلی نیز از طریق باکتری های دگرپرور تولید می شوند. مهم ترین ریزاندامگان دگرپرور که در این بخش عمل می نمایند عبارتند از: *Pseudomonas Striata*, *Bacillus Pumilis*, *B. cereus*, *B. subtilis*, *Achromobacter Xerosis*. اصولاً، تثبیت مواد رادیواکتیو و فلزهای سمی بر اساس عمل آنزیمی و تجمع و جذب زیستی توسط توده ی میکروبی و بسپارهای زیستی انجام می شود. در سال های اخیر، مطالعات بسیاری درخصوص تأثیر ریزاندامگان بر انتقال مواد رادیواکتیو انجام شده است. این تحقیقات مشتمل بر موارد زیر بوده است: [۳ و ۷]

- ۱- بررسی تجزیه ی میکروبی موادی که باعث رهاسازی مواد رادیواکتیو می شوند؛
- ۲- بررسی جذب سطحی و انتقال فیزیکی مواد رادیواکتیو بر روی سطح

ریزاندامگان؛

۳- اصلاح واکنش های اکسیداسیون و احیا و شرایط pH؛

۴- اصلاح خواص جذب مواد رادیواکتیو توسط ریزاندامگان؛

۵- بررسی فرایند فعل و انفعالات فلزها در مسیر حذف میکروبی؛

۶- بررسی گازهای حاوی مواد رادیواکتیو.

مواد رادیواکتیو می توانند در خاک نیز موجود باشند که روش استخراج و برخورد با این مواد مشابه عملکرد در خصوص فلزهای سنگین است. در این زمینه، پنج موضوع زیر می تواند مورد بررسی قرار گیرد. [۸ و ۹]

۱- قابلیت مبادله پذیری. فلزهایی که نتوانند جذب شده یا قابلیت تعویض یونی داشته باشند می توانند با کاتیون های رقابتی جایگزین شوند.

۲- اختلاط مواد رادیواکتیو با کرنات ها. می توان بر اساس غلظت های پائین فلز را با رسوبات کرنات ه اختلاط نمود.

۳- اتصال مواد رادیواکتیو با اکسیدهای فلزی. در این حالت، اتصال بین مواد رادیواکتیو با اکسیدهای آهن و منگنز می تواند مورد نظر باشد.

۴- اتصال مواد رادیواکتیو با مواد آلی. تحت شرایط خاصی مواد رادیواکتیو جذب سطحی مواد آلی می شوند.

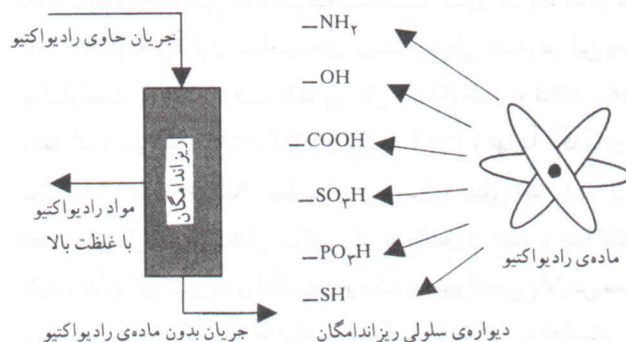
۵- اتصال اجزاء اندک مواد رادیواکتیو به مواد معدنی سیلیکاته.

در خصوص موارد یاد شده، تحقیقاتی در زمینه ی آلودگی های وابسته به سزیم و استرانسیم انجام شده است: علاوه بر موارد فوق، در چند دهه ی اخیر از روش فروشویی زیستی در حذف آلودگی های رادیواکتیو استفاده شده است. [۸ و ۹]

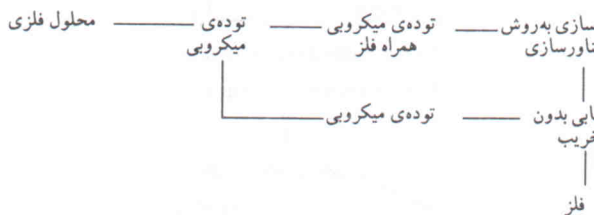
حلالیت مواد رادیواکتیو از عوامل مهم بررسی است که خود وابسته به توانمندی اکسیداسیون و احیاء و pH می باشد و در نهایت ظرفیت ریزاندامگان را در تجزیه و حذف مواد فوق معین می نماید.

از روش های دیگر حذف مواد رادیواکتیوی جذب زیستی است (شکل ۱). لپیده ها و پروتئین های دیواره ی سلولی دارای گروه های عامل

شکل ۱- چگونگی جذب زیستی مواد رادیواکتیو توسط ریزاندامگان

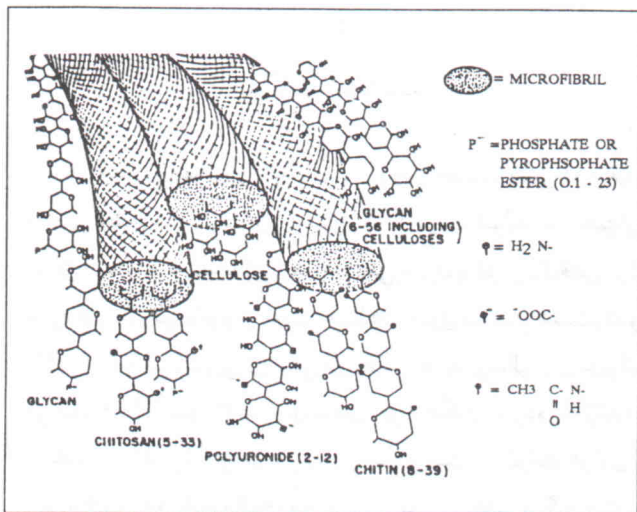


شده‌اند. جذب زیستی روش مناسبی برای این هدف است. این فرایند در آخرین بخش تصفیه در یک سیستم کلی به کار گرفته می‌شود. برای افزایش کارایی معمولاً ریزاندامگان مورد نظر را بر روی مواد جاذب نظیر کرین فعال یا زئولیت‌ها تثبیت کرده و سپس عمل جذب زیستی انجام می‌شود. یکی از گونه‌های مؤثر در حذف فلزهای سنگین استرپتومیسس‌ها هستند. فلز کادمیم با روشی که در زیر نشان داده شده توسط این میکروب جذب زیستی شده است. [۱۰ و ۳]

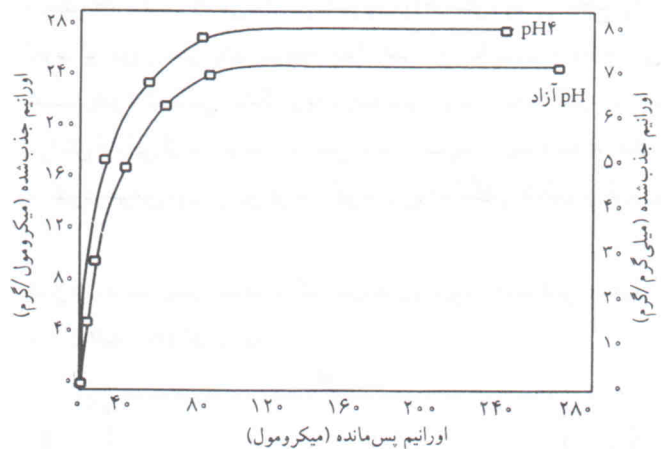


باکتری‌های گرم مثبت توانایی بالایی را در پیوند بین فلز و دیواره‌ی سلولی نشان می‌دهند. pH محلول عامل مهمی نه تنها برای جذب زیستی، بلکه برای شناورسازی می‌باشد. از ریزاندامگان مهم دیگر در جذب زیستی و شناورسازی را می‌توان پنی سیلیوم، میکوباکتریوم پلثی، دیزوپوس آریزوس، و پنی سیلیوم کریزوژنوم نام برد که قادرند فلزهایی نظیر کادمیم، نیکل و روی را جذب نمایند. از جثه‌ی غیرزنده‌ی این ریزاندامگان نیز می‌توان به‌عنوان جاذب فلزهای سنگین استفاده نمود. عامل اصلی در فرایند جذب گروه‌های تشکیل‌دهنده‌ی دیواره‌ی سلولی ریزاندامگانی نظیر آمین‌ها، آمیدها، هیدروکسیل، و... هستند که به‌صورت زنجیره‌ی مولکول‌های بزرگ پلی‌ساکاریدی از طریق رشته‌های پیچیده و پی‌درپی در آمده و فلزهای سنگین را جذب می‌نمایند (شکل ۳).

شکل ۳- ترکیبات تشکیل‌دهنده‌ی دیواره‌ی سلولی قارچ‌ها که در جذب زیستی مؤثر و فعالند



شکل ۲- نحوه‌ی جذب اورانیم روی دانه‌های ریز قارچ پنی سیلیوم با توجه به pH (درجه حرارت ثابت است).



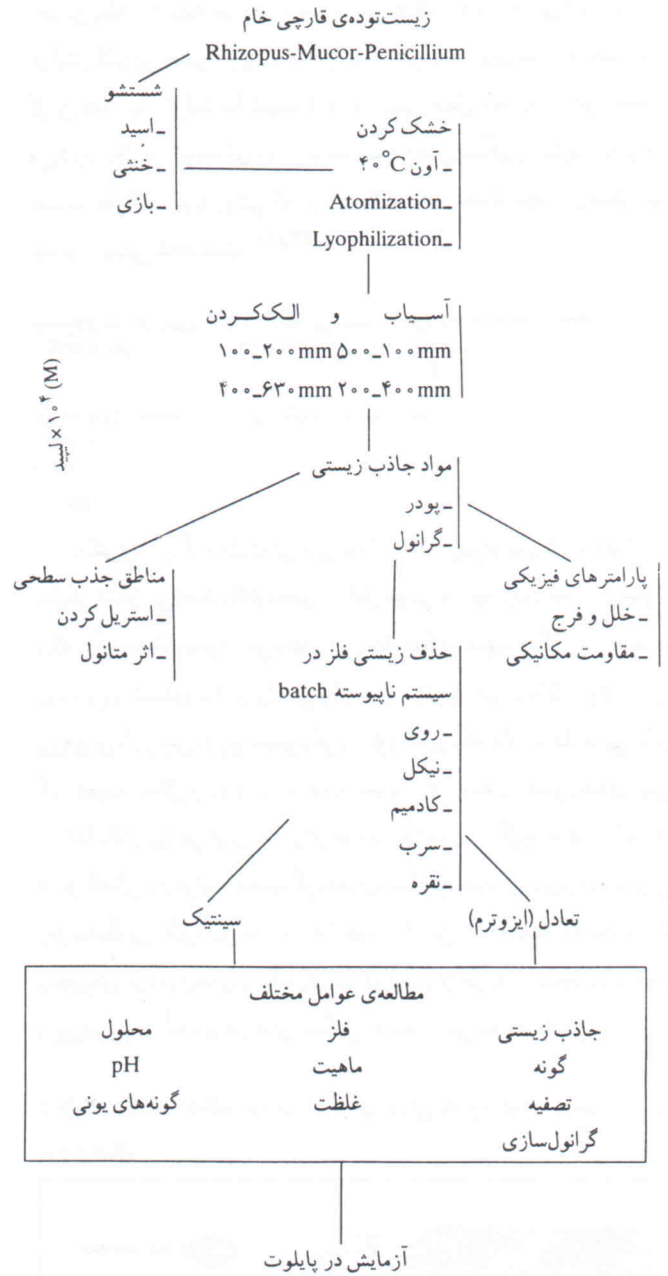
کربوکسیل، هیدروکسیل، فسفوریل و سولفیدریل هستند که دارای بار منفی و با خواص آنیونی در سطح غشا می‌باشند. در دیواره‌ی باکتری‌های گرم مثبت گروه COO^- بخش اصلی جذب سطحی فلز است. برای مثال، استرپتومیسس‌ها قادرند UO_2^{2+} را جذب نمایند. قارچ‌ها نیز با توجه به دارا بودن ترکیبات شیمیایی دیواره‌ی سلولی می‌توانند در جذب سطحی فلزات مؤثر باشند. بر این اساس، فلزهایی مانند Mn، Fe، Al می‌توانند به‌شکل پیچیده‌ی بوسیلیدی رادیکال‌های منفی نظیر COO^- و PO_4^{3-} جذب شوند. گونه‌های مختلف اسپرژیلوس و پنی سیلیوم می‌توانند اورانیم را در خود جمع نمایند. شکل ۲، میزان و نحوه‌ی جذب اورانیم را روی دانه‌های ریز قارچ پنی سیلیوم با توجه به مقدار اورانیم و pH نشان می‌دهد. [۱۲]

از باکتری‌ها نیز در حذف مواد رادیواکتیو استفاده می‌شود. گونه‌ی باکتری‌های اکسیدکننده‌ی سولفور نظیر تیوباسیلوس از این نوع هستند. باکتری فوق شبه خودپرور بوده که انرژی خود را به‌وسیله‌ی اکسیداسیون منابع معدنی سولفوردار نظیر تیوسولفات‌ها و پلی‌تیونات‌ها به دست می‌آورد. [۳۸]

زیست‌فناوری و حذف یون‌های فلزی سنگین

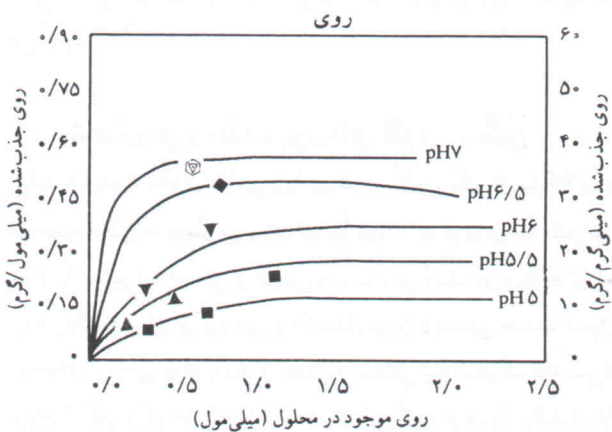
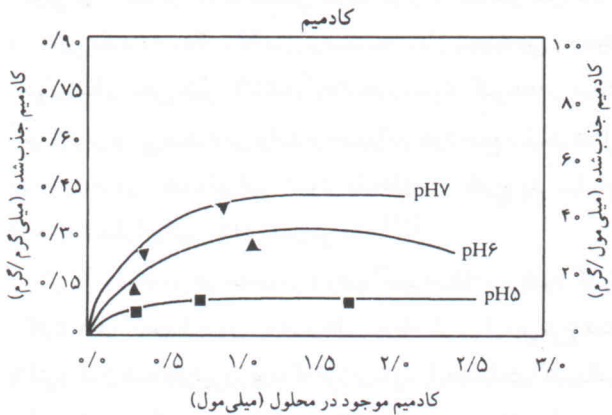
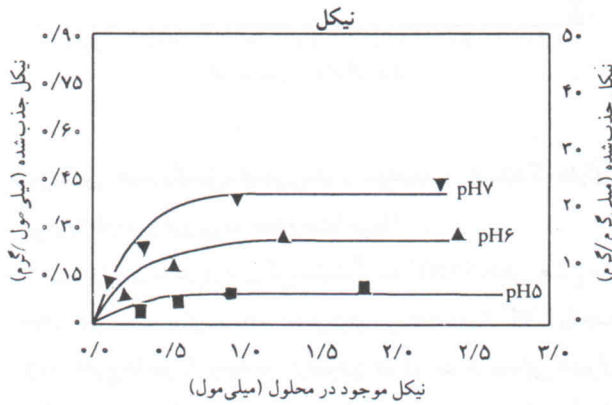
تولید ضایعات حاوی مقادیر زیادی فلز سنگین، یکی از مشکلات مهم زیست‌محیطی به شمار می‌رود. اساساً مواد زاید فوق از سه منبع اصلی مواد زائد شهری، صنعتی و طبیعی به دست می‌آیند. در سال‌های اخیر روش‌های فروشویی زیستی و اکسیداسیون زیستی جهت تجزیه و تصفیه‌ی زیستی مواد زائد از صنایع معدنی به کار گرفته می‌شود. ریزاندامگان برای حذف فلزها و یا بازیابی آنها از مواد زائد شناخته

شکل ۴- نمودار روش حذف زیستی فلز سنگین توسط یک نوع قارچ.



یک نوع قارچ به طور خلاصه و به صورت نمودار نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود، اولین گام در این روش تهیه‌ی توده‌ی زیستی قارچ است که می‌توان آن را در یک واکنشگر زیستی منقطع تولید نمود. توده‌ی زیستی باید توسط مواد اسیدی یا بازی و یا خشی شست‌و شو داد، سپس خشک و به ذرات بسیار ریز تبدیل کرد. برای افزایش کارایی از جاذب‌های زیستی به صورت پودر یا دانه استفاده می‌شود. عوامل مهم در این فرایند، گونه‌ی ریزاندامگان، غلظت و طبیعت

شکل ۵- جذب زیستی سه فلز سنگین توسط ریزوپوس آریزئوس در درجه حرارت ثابت و pH کنترل‌شده.



در استخراج معادن از جمله مس از روش جذب زیستی در مقیاس صنعتی استفاده می‌شود. امروزه بیش از ۱۰ درصد تولید مس جهان از طریق استخراج توسط باکتری‌ها انجام می‌پذیرد. باکتری مشخص در این مورد گونه‌ی تیوباسیلوس است. عملیات فوق به نام شست‌وشوی باکتریایی یا فروشویی زیستی در بخش هیدرومتالورژی خوانده می‌شود.^[۱۰] عمل تثبیت به‌وسیله‌ی ریزاندامگان مرده یا زنده در پساب مایع (لجن) صورت می‌گیرد و ممکن است در شرایط هوازی یا غیرهوازی باشد. شکل ۴ نحوه‌ی حذف زیستی فلزهای سنگین را توسط

فلز (نوع نمک آن) pH محلول و نوع و اندازه‌ی جاذب‌های زیستی هستند. از مهم‌ترین جاذب‌های زیستی که در این روش کاربرد دارند کیتین - کیتوزین است که به‌عنوان جاذبی با ساختمان فیبری (میکوتین) شناخته شده و خصوصیت اصلی آن به‌صورت زیر است: [۱۱ و ۱۲]

۱- سطح مخصوص بیش از $100 \text{ m}^2/\text{g}$ ؛

۲- مقدار کم خاکستر (کمتر از ۱ درصد)؛

۳- پتانسیل جذب سطحی بالا برای اورانیم و سایر عناصر؛

۴- قادر بودن به تولید و سنتز تعدادی از ترکیبات وابسته به آنها؛

۵- قابلیت شکل‌پذیری به صورت‌های مختلف؛

۶- کم بودن هزینه‌ی تولید.

از کیتین - کیتوزین به‌عنوان جاذب فلزهای سنگین در محلول‌های آبی نیز استفاده شده است که مهم‌ترین موارد آن جذب فلزهایی نظیر سزیم، زیرکونیم، پلوتونیم است. این فلزها در دامنه‌ی pH ۴ تا ۸ جذب می‌شوند. [۱۱ و ۱۲]

شکل ۵ تغییرات جذب زیستی سه فلز سنگین نیکل، روی و کادمیم توسط قارچ ریزوپوس آریزئوس را در حالتی که pH محیط کنترل شده است نشان می‌دهد. به طوری که مشاهده می‌شود در محدوده‌ی pH برابر ۷ میزان جذب زیستی برای هر سه فلز بالاتر است و در غلظت‌های بیش از حدود 0.5 mMol فلز در محلول میزان جذب تقریباً ثابت باقی می‌ماند و به این عامل وابستگی ندارد. [۱۳] مهم‌ترین کاربردهای جذب زیستی عبارتند از:

۱- پاک‌سازی ضایعات صنعتی از مواد رادیواکتیو (سزیم، استرنسیم، پلوتونیم، اورانیم)؛

۲- خالص‌سازی آب و تولید آب آشامیدنی کاملاً سالم؛

۳- ساخت سیستم‌های جاذب برای مقاصد پزشکی؛

۴- ساخت سیستم‌های جاذب برای صنایع غذایی و دخانیات.

مطالعات آزمایشگاهی در چند سال اخیر نشانگر این است که جاذب‌های زیستی توانایی و قدرت تصفیه‌ی بسیار بالایی دارند و به‌عنوان یکی از روش‌های پیشرفته در پالایش محیط زیست در قرن حاضر مورد توجه قرار گرفته‌اند. [۱۴ و ۱۵]

نتیجه‌گیری

رشد جمعیت و زیاده‌طلبی‌های انسان سبب تغییرات بوم‌شناسی شدید در محیط زیست گردیده و به عبارت دیگر باعث برهم زدن اساس طبیعت و زیست‌بوم شده است. همراه با صنعتی شدن، دانش کنترل طبیعت افزایش یافته است و محققان و دست‌اندرکاران برای تعادل بخشیدن بین انسان و محیط زیست در صدد از بین بردن آلاینده‌ها برآمده‌اند. در این تلاش

جدید، زیست‌فناوری محیط زیست که برگرفته از دانش نوین منابع طبیعی است بسیار مؤثر و کارا بوده است. امروزه، بشر خطر بالقوه‌ی مواد سمی، فلزهای سنگین و مواد رادیواکتیو را به خوبی دریافته و دانسته است که یکی از اساسی‌ترین روش‌های حذف این آلاینده‌ها به کارگیری زیست‌فناوری است.

بالا رفتن درجه‌ی حرارت اتمسفر زمین که بر اثر گازهای گلخانه‌یی اتفاق افتاده است یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی بشر در قرن ۲۱ است. گاز متان یکی از گازهای گلخانه‌یی است که می‌توان به طریق روش‌های زیست‌فناوری هم تولید آن را کاهش داد و هم میکروب‌های خاص ناشی از آن را از بین برد.

کشورهای توسعه‌یافته عمده‌ترین عوامل آلودگی در کشورشان را شناسایی کرده‌اند و استانداردهای لازم را در این زمینه به اجرا می‌گذارند. اغلب این کشورها مشکلاتی با مواد سمی و رادیواکتیو دارند و بهترین روش مبارزه از طریق زیست‌فناوری را پیشنهاد کرده‌اند.

با این وجود و علی‌رغم پیشرفت چشمگیر محققان در زمینه‌ی مبارزه‌ی زیستی با آلاینده‌ها و مزایای این روش به دلایلی همچون افزایش روزافزون آلاینده‌های صنعتی بسیار جدید و طولانی‌بودن زمان لازم برای تجزیه‌ی زیستی ترکیب یک آلاینده جدید، لازم است تا بشر، طی یک اقدام جهانی از آلودگی آب و خاک و هوا جداً جلوگیری نماید و در این خصوص دولت‌ها ملزم به برنامه‌ریزی و وضع قوانین سخت و محکم باشند. در گام بعدی، کشورها باید در خصوص تجزیه‌ی آلاینده‌ها از طریق زیستی و پیشرفت زیست‌فناوری سرمایه‌گذاری‌های مؤثر و مناسبی را در پیش بگیرند.

پانوشته‌ها

1. Volatile Organic Compounds
2. Polychlorinated Biphenyls
3. Bioremediation
4. Environmental Protection Agency
5. Leaching

منابع

- ۱- منوچهر وثوقی. زیست‌فناوری و محیط زیست (درمان بیولوژیکی). مجموعه مقالات نخستین همایش ملی زیست‌فناوری جمهوری اسلامی ایران اسفند ۱۳۷۸.
- ۲- سیروس زینلی، صدیقه دلمقانی. کاربرد مهندسی ژنتیک در تصفیه آلاینده‌ها. انتشارات مرکز مطالعات زیست‌فناوری - دفتر بررسی‌ها و مطالعات علمی - صنعتی نهاد ریاست جمهوری، آبان ماه ۱۳۷۵.
3. Ronneau, C., and Bitchaera, O., *Biotchnology for waste Management and site Restoration*, Kluwer Academic publishers (1997).
4. Lucas, R., Wheeler, D., and Hettige H., "Economic Development, environmental Regulation and the International Migration of

- Toxic Industrial Pollution: 1960-1988", Background Paper No. 33 for the World Development Report 1992, Washington DC: World Bank (1992).
5. Page, G. *Environmental Policy Using Present and Intended Future Land Use of Contaminated Land to Determine the Level of Remediation*, : NATO Advanced Research Workshop, "biotechnologies for radioactive and toxic wastes management and site restoration: scientific, educational, social, economical, and business aspects", Mol, Belgium, (Nov. 28 - Dec. 2, 1994).
 6. Russel, M., Colglazier, E. and M. English. *Hazardous Waste Remediation: The Task Ahead*, Knoxville, Tenn. Waste Management Research and Education Institute (1991).
 7. Environmental Protection Agency, *Bioremediation: Innovative Pollution Treatment Technology*, Office of Research and Development, EPA/640/K-93/002 (1993).
 8. Kuenen, J.G., Tuovinen, O.H. "The Genera Thiobacillus and Thiomicrospira." In *The Prokaryotes: A Handbook on Habitats, Isolation, and Identification of Bac*, Verlag, NewYork (1981).
 9. *Proceedings of the Workshop on Cement Stabilization of Low-Level Radioactive Waste*, NUREG/CR-0103 (1989).
 10. ASTM, American Society for Testing Materials, "Standard practice for determining resistance of plastic to bacteria", *ASTM G22-76,1981b Annual Book of Standards*, Part 35.
 11. Gadd, G.M., "Accumulation of metals by microorganisms and algae", *Biotechnology*, in H.J. Rehm Ed., **6b**, VCH Publishers, Weinheim, pp. 401-433 (1988).
 12. Brierley, C.L., Brierley, J.A. and Davidson, M.s., *Applied Microbial Processes for Metals Recovery and Removal From Wastewater*, T.J. Beveridge and R. Doyle Eds., (1989).
 13. Bueb, M. and Melin, T. "Biological and Physico-chemical gas treatment processes. Comparison of processes and costs. Chances for new technology." *Biological Treatment of Industrial Waste Gases. State of The Art and Comparison With Physico-Chemical Processes*, Dechema Ed., Heidelberg, (24-26 March, oral 6, 1987).
 14. Dragt, A. "Opening address." *Biotechniques for Air Pollution Abatement and Odour Control Policies*, In A. J. Dragt and J. van Ham Eds., Elsevier, Maastricht, October 27-29, 1991, 3-9, ISBN: 0-444-89263-X (1992).
 15. Challon, G. Seigle-Murandi, F. Benoit-Guyod J.L. and Roux. J.C., "Bioremediation of pentachlorophenol (PCP) by two filamentous fungi in submerged cultures," *Third European Conference on Ecotoxicology*, Zurich, Switzerland (August 28-31, 1994).