پایدارترین و ارزان‌ترین راهکارهای تصفیه محیط‌زیست و جلوگیری از افزایش آلودگی آن، تصفیه گیاهی محیط‌زیست است

گیاه‌پالایی؛ فصلی جدید در محافظت از محیط‌زیست

پوریا خطیب‌شهیدی
دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد علوم‌وتحقیقات

شادی ولوی
دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد علوم‌وتحقیقات

آلودگی محیط‌زیست یکی از بزرگ‌ترین معضلات جهان امروز است. آسیب‌های بی‌شمار ناشی از آلاینده‌های گوناگون بر سلامتی انسان، زیست‌بوم‌ها و انواع موجودات زنده توجه دانشمندان و محققان نقاط مختلف دنیا را به خود جلب کرده است. انسانی که امروزه به کمک دانش و صنعت پیشرفته مشکلات بسیاری را از پیش پای خود برداشته در مقابل هزاران مساله که خود ناشی از پیشرفت تکنولوژی می‌باشد بر جمع دشواری‌هایش افزوده است. بررسی‌ها و مطالعات زیستی گوناگون که طی این سال‌ها انجام گرفته است ابعاد مختلف و گستردگی انتشار آلاینده‌ها در هوا، آب و خاک را آشکارتر ساختند.

در کشور ما ایران مطالعات و تحقیقات بسیار اندکی در زمینه آلودگی محیط زیست و اقدامات بسیار کمتری در جهت کاهش آلودگی یا حداقل جلوگیری از افزایش آن صورت گرفته است. این درحالی است که یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان، تهران است. میزان آلودگی محیط زیست و اثرات منفی آن ضرورت انجام پژوهش‌های گسترده در این زمینه و تلاش جدی جهت دستیابی به راهکارهایی برای مقابله با حادتر شدن این بحران، به‌خصوص برای ما که در آلوده‌ترین شهر جهان زندگی می‌کنیم و مستقیما تحت تاثیر عوارض بسیار شدید بیماری‌زا و مرگبار انواع آلاینده‌ها قرار داریم، ناگفته پیداست.

تحقیقات متعدد جهانی نشان داده‌اند که یکی از موثرترین، پایدارترین و ارزان‌ترین راهکارهای تصفیه محیط‌زیست و جلوگیری از افزایش آلودگی آن، تصفیه گیاهی محیط‌زیست یا گیاه‌پالایی است. گیاه‌پالایی تکنیکی پالایشی شامل جذب، تغییر شکل، تجمع یا تصعید آلاینده‌ها با کمک گیاهان برای زدودن آلودگی‌های آب، خاک و هواست. درمان گیاهی محیط‌زیست یا بهبود محیط‌زیست توسط گیاهان فناوری زیستی جدیدی است که امروزه در نقاط مختلفی از جهان مورد توجه و استقبال قرار گرفته است. در این روش گیاهان دارای قابلیت جذب آلاینده‌ها با انباشتن این مواد در خود در مناطق آلوده کاشته می‌شوند و با جذب آلاینده‌ها یا تبدیل آنها به فرم‌های بی‌خطر، باعث پالایش محیط‌زیست در مقیاس وسیع می‌شوند. گیاه‌پالایی از توانایی گیاهان برای تمرکز اجزای محیطی و مواد شیمیایی و متابولیسم مواد مختلف در بافت‌هایشان استفاده می‌کند. این موضوع به توانایی طبیعی خاص گیاهان اشاره دارد: تجمع زیستی، تجزیه شوند یا آلاینده‌های موجود در خاک، آب یا هوا را بی‌ضرر کنند. سموم فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی در مرکز گیاه‌پالایی هستند. این گیاهان باید تحمل انواع و غلظت‌های مختلف آلودگی‌های موجود را داشته باشند و همچنین باید بتوانند به رشد و بقای خویش در شرایط اقلیمی خود ادامه دهند. به دلیل تغییرات فیزیولوژیکی همه گیاهان قادر به تجمع فلزات سنگین یا آلاینده‌های آلی نیستند. حتی در یک گونه ارقام دارای ظرفیت‌های متغیری برای تجمع آلاینده‌ها هستند. امروزه گیاه‌پالایی درمورد مواد آلی، معدنی، رادیواکتیو و امواج مختلف نیز کاربرد دارد. این فرآیند پایدار و ارزان برای کشورهای درحال توسعه بسیار مناسب بوده و صرفه اقتصادی دارد. فضای سبز شهری یکی از منابع تامین‌کننده نیاز روحی بشر در شهرهاست. بسیاری از مدیران پروژه‌های پاک‌سازی فضای سبز در جست‌وجوی عملیات کم‌هزینه‌ای نظیر زیست پالایی و گیاه‌پالایی هستند. در کشور ایران اقلیم‌های متفاوتی وجود دارد، بنابراین تنوع درختان و گیاهان نیز در فضای سبز شهری زیاد است و به‌کارگیری گونه‌هایی که دارایی خاصیت گیاه‌پالایی می‌باشد را در فضای سبز دوچندان می‌کند. همچنین ضریب اطمینان موفقیت و انعطاف طراحی فضای سبز شهری بیشتر می‌شود. با طراحی علمی فضای سبز و رعایت استانداردها، الگوها و به‌کارگیری روش‌های نوین از جمله گیاه‌پالایی می‌توان به توسعه بافت کالبدی و فیزیکی فضای سبز شهر و حذف آلاینده‌های زیستی پرداخت. گیاهان زینتی و فضاهای سبز شهری گزینه‌های بسیار مناسبی برای این تکنولوژی هستند و عملیات پاک‌سازی آلودگی‌ها در سطح وسیع نشان می‌دهند که زیست پالایی می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد.

آلاینده‌ها

آلاینده‌ها می‌توانند به حالت‌های جامد، مایع و گاز در محیط زیست وجود داشته و منجر به آلودگی شوند. منشأ این مواد ممکن است فعالیت‌های طبیعی یا مصنوعی (انسانی) باشد. از منابع عمده آلودگی مصنوعی یا انسانی می‌توان به احتراق سوخت‌های فسیلی از جمله زغال‌سنگ، انواع فعالیت‌های صنعتی و تردد وسایل نقلیه اشاره کرد. در این میان، سوختن مواد فسیلی از اهمیت بسزایی برخوردار است. منابع طبیعی آلاینده‌ها متنوع هستند و شامل انواع فعالیت‌های زمین‌شناسی از جمله آتشفشان‌ها، آتش‌سوزی جنگل‌ها، آزاد شدن انواع گازهای گلخانه‌ای، میکروارگانیسم‌ها و سایر موجودات زنده، فرسایش بادی، و... هستند. مواد آلاینده طبیعی از آنجا که به تعادل مناسبی با سایر فرآیندهای طبیعی می‌رسند طی سالیان دراز تاثیر منفی چندانی بر اکوسیستم به جای نگذاشته‌اند. درحقیقت عامل اصلی آلودگی کل محیط زیست اضافه شدن میلیون‌ها تن مواد آلاینده اضافی است که توسط انسان وارد محیط می‌شود. درحال حاضر طیف وسیعی از انواع آلاینده‌ها شامل آلاینده‌های گوگردی، نیتروژنی، ازن، فلوئور، فلزات سنگین و...، در محیط زیست پراکنده‌اند.

انواع آلاینده‌های قابل پالایش گیاهی

مواد آلاینده و سمی که از گیاهان پالاینده به‌عنوان سوپر تجمع‌کننده آنها استفاده می‌شود عبارتند از:

گروه اول شامل: آلومینیم، نقره، آرسنیک، باریم، کورم، مس، منگنز، جیوه، مولیبدن، نفتالین، سرب، پالادیم، پلاتین، سلنیوم، روی

گروه دوم شامل: نیکل

گروه سوم شامل: هیدروکربن‌ها، حلال‌های آلی و عناصر تشعشع‌زا (کادمیم، سزیم، کبالت، پلوتونیوم، رادیم، استرانسیم، اورانیوم)

فلزات سنگین

فلزات سنگین شامل فلزاتی از جمله سرب (Pb)، جیوه (Hg)، روی (Zn)، مس (Cu)، نیکل (Ni)، کبالت (Co)، کروم (Cr)، کادمیم (Cd) وآلومینیوم (AL) هستند که بر حسب میزان نیاز گیاهان به آنها ممکن است، ضروری یا غیرضروری باشند. فلزات سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌های کل محیط‌زیست هستند که اگرچه می‌توانند در مواردی بی‌ضرر و گاه حتی مفید باشند ولی در مجموع اثرات منفی و مخرب آنها بسیار بیشتر از اثرات خنثی یا مفیدشان است. گفته شده است که در آینده‌ای نه‌چندان دور، آلاینده‌های فلزی، بزرگ‌ترین عامل آلودگی محیط‌زیست، و مسمومیت توسط فلزات، حادترین معضل زیست‌محیطی خواهد بود. منابع عمده ورود فلزات سنگین به محیط‌زیست از فعالیت‌های انسانی، یا به عبارتی منابع مصنوعی این فلزات، معدنکاری و ذوب فلزات است. در اطراف کارخانجات ذوب فلزات مقادیر زیادی از این فلزات گزارش و مشاهده شده است که کوره‌های ذوب سنگ معدن گوگرد نیز می‌توانند باعث آزاد شدن نیکل، کروم، مس، کادمیم و انواعی دیگر از فلزات سنگین به محیط‌زیست شوند. همچنین دود حاصل از وسایل نقلیه نیز می‌تواند از منابع این آلاینده‌ها باشد. مقدار زیادی از سرب موجود در هوا ناشی از سوخت سرب‌دار اتومبیل‌هاست. از منابع طبیعی فلزات سنگین می‌توان به فعالیت‌های آتشفشانی اشاره کرد که باعث وارد کردن این فلزات سمی به محیط می‌شوند، ولی همان‌طور که قبلا گفته شد آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های طبیعی در اثر به تعادل رسیدن با محیط زیست عواقب وخیم و اثرات مخرب درازمدتی به دنبال نخواهند داشت و آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسان هستند که مسئول آلودگی محیط زیستند.

اکثر فلزات سنگین در محیط اسیدی قابلیت انحلال بیشتری دارند و در نتیجه قدرت تخریبی بیشتری می‌یابند. بنابراین ریزش باران‌های اسیدی با کاهش دادن pH محیط به‌طور غیرمستقیم اثرات مخرب این فلزات را افزایش می‌دهد. اسیدی شدن محیط علاوه‌بر آنکه باعث افزایش قدرت تخریب و آسیب‌رسانی فلزات آلوده‌کننده می‌شود موجب آزاد شدن ذخایر خاک نیز می‌شود. در حالت عادی خاک دارای مقادیری از فلزات سنگین است که غیرمحلول و غیرمتحرکند و در نتیجه اثرات بدی ندارند. کاهش pH محیط باعث افزایش قابلیت انحلال و آزادشدن این ذخایر فلزی خاک می‌شود و در نتیجه اثرات زیست‌محیطی فلزات سنگین را دوچندان افزایش می‌دهد. به‌عنوان مثال مشاهده شده است که ریزش باران‌های اسیدی در جنگل‌ها، با کاهش pH خاک تا حدود ۴/۵، باعث آزاد شدن ذخایر عظیم آلومینیوم خاک در اثر افزایش قابلیت انحلال هیدروکسید آلومینیوم می‌شود و این آلومینیوم آزادشده و متحرک که قبلا به‌صورت هیدروکسید آلومینیوم و غیرمتحرک بود ریشه‌های ظریف و نازک بسیاری از گیاهان را تخریب می‌کند.

اثرات زیست‌محیطی فلزات سنگین

کاهش فعالیت ریشه‌ها، تخریب ریشه‌های ظریف و کاهش فعالیت میکوریزها و باکتری‌های خاک ازجمله اثرات زیست‌محیطی فلزات سنگین هستند. فلزات سنگین با تاثیر بر فعالیت میکوریزها که نقش مهمی در اعمال حیاتی گیاهان، تحمل آن نسبت به تنش‌های گوناگون و توانایی رقابت با سایر گونه‌های گیاهی دارند اثرات زیانباری بر پوشش گیاهی برجای می‌گذارند. افزایش غلظت فلزات سنگین خاک ازجمله آلومینیوم مستقیما بر انواع میکوریزها تاثیر می‌گذارد و باعث تخریب آنها و درنتیجه ایجاد اختلال در فعالیت گیاهان می‌شود. مساله افزایش تجمع فلزات سنگین در محیط، معضلی رو به افزایش و بسیار گسترده است، به‌طوری‌که پیش‌بینی شده در آینده، آلودگی‌ها و مسمومیت‌های ناشی از این آلاینده‌ها بزرگ‌ترین معضل آلودگی جهان خواهد بود.

بسیاری از گیاهان خانواده کلم، گونه‌هایی از عشقه، برخی انواع درختان افرا، نارون، بلوط، تبریزی، زیرفون، زبان‌گنجشک، اقاقیا و پیچ امین‌الدوله ازجمله گیاهان قادر به کاهش غلظت آلاینده‌ها در محیط زیست هستند. کاشت گیاهان خردل در مناطقی که آلوده به مقادیر زیاد سلنیوم و برخی دیگر از فلزات سنگین بوده‌اند، مقدار این فلزات را تا عمق بیش از یک‌متری خاک تا ۵۰ درصد کاهش داده‌اند.

مهندسی ژنتیک، با انتقال ژن‌ها و ایجاد جهش‌ها در به وجود آوردن مقاومت نسبت به آلودگی و قدرت جذب آلاینده‌ها در گیاهان غیرمقاوم و افزایش قابلیت انباشتن آلاینده‌ها در گیاهان قادر به جذب این عناصر می‌کوشد. ایجاد گیاهان قادر به تبدیل اشکال یونی، آلی و پرخطر جیوه به جیوه عنصری که فرار است و سمیت کمتری دارد، افزایش قابلیت جذب و انباشتن کروم، نیکل، مس، روی، کادمیم، سلنیوم و سرب و ایجاد گیاهان با قابلیت جذب بالا و زیست توده انبوه جهت پاکسازی محیط‌زیست، ازجمله زمینه‌های فعالیت این شاخه بیوتکنولوژی است. متاسفانه گیاهانی که تاکنون به این وسیله قدرت پاکسازی محیط را به‌طور مصنوعی به‌دست آورده‌اند گزینه‌های مقرون به صرفه‌ای نیستند، زیرا اکثر آنها قادر به ایجاد بیوماس انبوه و انباشتن آلاینده‌ها با قابلیت فراوان به‌طور همزمان نیستند و همچنین از آنجا که دستیابی به چنین گیاهان یا تصفیه‌کننده‌های زیست‌محیطی مستلزم بهینه‌سازی بسیاری از فرآیندهای گوناگون اعم از قابلیت جذب و انتقال عنصر، انباشتن آن در قسمت‌های بی‌ضرر، سم‌زدایی و کده‌بندی در داخل پیکر گیاه است این روش، روشی بسیار پیچیده و پرهزینه است. درحال حاضر محققان و مهندسان ژنتیک با مطالعه بر گیاهانی که به‌طور طبیعی توانایی انباشتن آلاینده‌ها در حد زیاد را دارند، سعی در درک هرچه بیشتر و بهتر این فرآیند و پایه‌های ژنتیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی آن دارند.

مسلم است که جهان امروز نمی‌تواند از صنعت دست بکشد، ولی باید کارخانه‌های صنعتی به‌دقت مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرند تا از بی‌خطر بودن آنها برای محیط‌زیست اطمینان حاصل شود و باید سیاست‌ها و تدابیری درپیش گرفته شود که کمترین خطر را برای سلامتی محیط زیست و موجودات زنده درپی داشته باشند. درکنار این تدابیر باید در جهت کاهش آلودگی موجود محیط‌زیست نیز سعی کرد، زیرا تحقیقات نشان داده‌اند که حتی اگر هیچ آلاینده دیگری بیش از آنچه اکنون وجود دارد، به محیط اضافه نشود، عواقب و خسارات همین میزان آلاینده‌های فعلی به‌حدی است که سال‌های سال اثرات آن برجای خواهد ماند و از زمین و ساکنان آن قربانی خواهد گرفت. تا زمانی که تحقیقات بیوتکنولوژی و ژنتیکی به نتیجه برسند به راهکارهایی مفید و مقرون به‌صرفه دست یابند که مضرات آنها بیش از فوایدشان نباشد و مشکلی بر مشکلات موجود نیفزایند، بهترین گزینه جهت کاهش آلودگی محیط‌زیست استفاده از گیاهانی که به‌طور طبیعی قابلیت جذب آلاینده‌ها، انباشتن آنها در خود و حذف آنها از محیط را دارند در مقیاس وسیع است.

گیاه‌پالایی

واژه Phytoremediation از کلمات یونانی phyto به معنی گیاه و remedium به معنی بازگشت به حالت عادی و متعادل است که در رابطه با بر طرف ساختن معضلات زیست‌محیطی مطرح می‌شود و ضمن آن به استفاده از گیاهان برای تسکین مشکلات محیطی بدون نیاز به گودبرداری و انتقال مواد آلوده به مکان‌های دیگر پرداخته می‌شود.

گیاه پالایی شامل کاهش غلظت مواد آلاینده در خاک، آب و هوای آلوده به کمک گیاهان است، به‌طوری که این گیاهان مواد آلاینده‌ای نظیر فلزات، آفتکش‌ها، حلال‌ها، نفت خام و مواد منفجره را:

الف) مشمول یا الحاق خویش می‌کنند.

ب) تجزیه می‌کنند.

پ) حذف می‌کنند.

ت) تبدیل می‌سازند.

گیاه پالاینده

گیاه پالاینده مجموعه‌ای از گیاهان است که برای حذف مواد آلی، فلزی، بقایای آفتکش‌ها و بقایای مواد رادیواکتیو از خاک یا پساب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فیتوتکنولوژی هم می‌تواند به‌صورت مستقل و هم در تلفیق با سایر روش‌های پالایش به‌کار رود. براساس این تعریف یک گیاه پالاینده باید حداقل ۰٫۱۰ mg/g۱۰۰ (۰٫۱۰ درصد وزن خشک گیاه) کادمیوم، آرسنیک و برخی فلزات کمیاب، ۰٫۱۱ mg/g ۱۰۰۰ (۰٫۱۱ درصد وزن خشک) کبالت، مس، کروم، نیکل و سرب و ۱۰ mg/g هزار (یک درصد وزن خشک) منیزیم را در بافت‌هایش انباشت کنند.

گیاهان مناسب گیاه پالایی

برخی گیاهان در جمع‌آوری آلودگی‌های محیطی از توانایی بیشتری نسبت به سایرین برخوردارند. گیاهانی که به‌منظور گیاه پالایی استفاده می‌شوند، باید تحمل انواع و غلظت‌های مختلف آلودگی‌های موجود را داشته باشند. آنها همچنین باید بتوانند به رشد و بقای خویش در شرایط اقلیمی محل ادامه دهند. آلاینده‌هایی نظیر فلزات، آفتکش‌ها، حلال‌ها، مواد منفجره، نفت خام و مشتقاتش طی اجرای پروژه‌های گیاه پالایی درسراسر دنیا کاهش یافته‌اند. در این راستا بسیاری از گیاهان ازجمله خردل، شاهدانه و تاج خروس ثابت کرده‌اند که قادر به جمع‌کنندگی آلاینده‌ها و بقایای مواد سمی هستند.

مشخصات و قابلیت‌های گیاهان در کاربرد تکنولوژی گیاه پالایی

ردیف	نام فارسی	نام انگلیسی	نام لاتین	ماده سمی قابل برداشت	کمیت تجمیع
۱	علف شیشه	Verginia glasswort	Salicornia depressa	کادمیوم و سرب	---
۲	نخل بوته‌ای	Palmett bush	Sabel minor	مواد نفتی	بوته‌ای و متحمل
۳	بید سفید	White willow	Salix alba	کروم، جیوه، پلی‌کلرور بی‌فنیل (PCB)، نقره، تری‌کلرو اتیلین (TCE) و وینیل‌کلراید	---
۴	بید مجنون یونانی	Niobe weeping willow	Salix alba niobe	کروم، هیدروکربن‌ها، جیوه، حلال‌های آلی و نقره	---
۵	بید مجنون طلایی	Golden weeping willow	Salix alba tristis	آرسنیک، بنزن، کلروفرم، سرب، جیوه، نیکل، پرکلرو اتیلین (PCE)، فسفر، نقره، تولوئن، TCE، روی و تریتیوم	تثبیت گیاهی، استخراج گیاهی، تجزیه گیاهی و تبخیر گیاهی
۶	بید برگ باریک	Narrow leaf willow	Salix exigua	TCE	---
۷	بید ساحلی	Sandbar willow	Salix interior	PCB، PAH (پلی سیکلیک آروماتیک هیدروکربور)	تجزیه ریشه ای
۸	بید سیاه	Black willow	Salix nigra	بنتازون، کادمیوم، مس، اندوسولفان، اتیل سولفیت، نیکل، PAH، نقره، استیرین، TCE، روی و تریتیوم	تجمیع، تجزیه گیاهی، تجزیه ریشه‌ای و استخراج گیاهی
۹	بید برگ بوئی	Laurel leaved willow	Salix pentandra	آرسنیک، کلروفرم، سرب، TCE، PCE، روی و تریتیوم	تثبیت گیاهی، استخراج گیاهی و تجزیه گیاهی
۱۰	آبشار مرغزار	Prairie cascade	Salix pentaphyllum	آرسنیک، کلروفرم، سرب، TCE، PCE، روی و تریتیوم	تثبیت گیاهی، استخراج گیاهی و تجزیه گیاهی
۱۱	بید هیبرید	Hybrid willow	Salix ssp	کادمیوم، کروم، مس، نیکل، نقره، روی و PAH	تجزیه گیاهی، تجزیه ریشه‌ای و استخراج گیاهی
۱۲	بید سبدی	Basket willow	Salix viminalis	کادمیوم، کروم، مس، سرب، حلال‌های آلی، پتاسیم، نقره، استرونتیوم، روی، اورانیوم، TCE و PCB	سوپر تجمیع
۱۳	سانسویریا	Snake plant	Sansevieria trifasciata	آلومینیوم، آرسنیک، بنزن، منوکسید کربن، مس، فرم‌آلدئید، منگنز، تولوئن، زایلن، روی و TCE	تجمیع و استخراج گیاهی
۱۴	ساقه آبی	Little bluestem	Schizachyrium scoparium	مس	---
۱۵	پیزر	Hardstem bulrush	Scirpus acutus	بنزن	---
۱۶	گل ناز	Sedum	Sedum mexicana	مواد نفتی	متحمل
۱۷	قلیونک	Bladder campion	Silene vulgaris	مس و کادمیوم	تثبیت گیاهی و استخراج گیاهی
۱۸	ترکه طلایی	Hairy golden rod	Solidago hispida	آلومینیوم و TCE	سوپر تجمیع
۱۹	قیاق	Johnson grass , Alepp grass	Sorghum halepense	آلومینیوم، آرسنیک، سزیم، مس، هیدروکربن‌ها، منگنز، نیکل و اورانیوم	تجمیع‌کنندگی و تجزیه ریشه ای
۲۰	گالی	Common bur-reed	Sparganium eurycarpum	سرب	تجمیع‌کنندگی و تصفیه ریشه ای
۲۱	علف ریسمانی	Cord grass	Spartina foliosa	آترازین، مواد نفتی و TCE	تجمیع‌کنندگی و تصفیه ریشه ای
۲۲	علف ریسمانی چمنزار	Prairie cord grass	Spartina pectinata	کادمیوم، مس و نیتروژن	---
۲۳	اسپاتی	Peace lily	Spathiphyllum wallisii	استن، بنزن، منوکسید کربن، فرم‌آلدئید، منگنز و TCE	سوپر تجمیع
۲۴	اسپیره	Neon flash	Spirea sp	مواد نفتی	بوته‌ای، متحمل
۲۵	عدسک آبی بزرگ	Giant duckweed	Spirodela polyrhiza	آلومینیوم، آرسینیک، کادمیوم و نیترات	سوپر تجمیع
۲۶	گندمک شمالی	Northern starwort	Stellaria calycantha	کادمیوم	تجمیع‌کنندگی
۲۷	گندمک	Chickweed	Stellaria media	سزیم	تجمیع‌کنندگی
۲۸	پرنده بهشتی	Bird of paradise	Strelitzia reginae	مواد نفتی	بوته‌ای و متحمل