مجله ایمنی زیستی
دوره پنجم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۱

# فناوری نوین گیاه پالایی برای ایجاد محیط‌زیست پایدار

الهیار کمری[۱] و محسن فرشادفر[۲*]
۱- مدرس گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور مرکز کرمانشاه
۲*- دانشیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور مرکز کرمانشاه

Farshadfarmohsen@yahoo.com

## چکیده

دسترسی به غذای سالم و کافی، آب آشامیدنی و هوای پاک از بدیهی‌ترین حقوق همه انسان‌ها می‌باشد و تولید و تأمین این نیازها برای شهروندان، وظیفه ذاتی همه دولت‌ها است. از طرفی حفظ محیط‌زیست در کنار فعالیت‌های تولیدی کشاورزی و صنعتی از اهمیت فراوانی برخوردار است. رفع آلودگی محیط‌زیست و ایجاد محیط‌زیست پایدار دغدغه اصلی کلیه انسان‌های روی زمین است. خوشبختانه با استفاده از فناوری زیستی و توانایی‌های موجود در طبیعت میزان صدمه به محیط‌زیست را می‌توان به حداقل رساند. گیاه پالایی روشی پالایشی است که شامل جذب، تغییر شکل، تجمع و یا تصعید آلاینده‌ها با کمک گیاهان می‌باشد. از این روش برای زدودن آلودگی‌های آب، خاک و هوا استفاده می‌شود. این فناوری می‌تواند برای رفع هر دو نوع آلاینده خاک یعنی معدنی و آلی بکار رود. در روش گیاه پالایی، گیاهان بر اساس سازوکار جذب طبقه‌بندی می‌شوند و آلودگی خاک به فلزات سنگین به کمک روش‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی کاهش داده می‌شود. با فناوری زیستی و تولید گیاهان تراریخته توانسته‌اند مسیر تولید بعضی آنزیم‌ها را در گیاهان به نحوی تغییر دهند که مواد سمی موجود در گیاه به ترکیبات مفید و قابل استفاده، تبدیل شده و به محیط‌زیست نیز آسیبی نمی‌رساند.

**واژه‌های کلیدی**: محیط‌زیست پایدار، گیاه پالایی، آلودگی، فلزات سنگین



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]
[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

**مقدمه**

دسترسی به غذای سالم و کافی، آب آشامیدنی و هوای پاک از بدیهی‌ترین حقوق همه انسان‌ها و تولید و تأمین این نیازها برای شهروندان، وظیفه ذاتی همه دولت‌ها است. از طرفی حفظ محیط‌زیست در کنار فعالیت‌های تولیدی کشاورزی و صنعتی از اهمیت فراوانی برخوردار است. رفع آلودگی محیط‌زیست و ایجاد محیط‌زیست پایدار دغدغه اصلی کلیه انسان‌های روی زمین است. همچنین فلزات سنگین مثل سرب، کادمیم و جیوه از طریق پسماندها و فاضلاب‌های حاوی آنها در صنایع، مراکز خدماتی بهداشتی و درمانی، نساجی‌ها، کارخانه‌های رنگسازی، صنایع فلزی آهن، فولاد، صنایع غیر آهنی، زباله‌ها، پسماندهای حاوی لامپ‌های سوخته و باطری‌های مستعمل و ... به محیط‌زیست راه پیدا می‌کنند. جیوه، سرب و کادمیم از طریق مصرف سوخت‌های فسیلی و یا استفاده از زباله سوزی‌های شهری برای دفع زباله‌ها نیز آلودگی ایجاد می‌کنند (۲).

آلودگی فلزات سنگین یکی از اساسی‌ترین مشکلات زیست‌محیطی است که جهان مدرن با آن روبرو است (۱۷). روش‌های گوناگونی برای کاهش آلودگی آب و خاک وجود دارد: از جمله رایج‌ترین آنها می‌توان به روش‌های مهندسی مانند تصفیه پساب‌های صنعتی و روش‌های زیستی مانند زیست پالایی میکروبی اشاره کرد. البته روش‌های مهندسی بسیار دشوار بوده و موجب آلودگی بخش دیگری از محیط‌زیست می‌شود و همچنین این روش‌ها از لحاظ اقتصادی هم مقرون به صرفه نیستند (۷). درفن‌آوری استفاده از گیاهان به عنوان گیاه پالایی، از گیاهان سبز و ارتباط آنها با موجودات ذره‌بینی خاک برای کاهش آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. این فن‌آوری می‌تواند برای رفع هر دو نوع آلاینده آلی و معدنی به کار رود که این تکنولوژی شیوه‌ای مناسب جهت از بین بردن فلزات سمی خاک بوده و بدلیل مقرون به صرفه بودن و مناسب بودن از نظر محیط‌زیست بسیار قابل توجه است (۲۸ و ۲۹).

خوشبختانه استفاده از فنآوری‌زیستی و توانایی‌های موجود در طبیعت میزان صدمه به محیط‌زیست را می‌توان به حداقل رساند. گیاه پالایی روش پالایشی است که شامل جذب، تغییر شکل، تجمع و یا تصعید آلاینده‌ها با کمک گیاهان برای زدودن آلودگی‌های آب، خاک و هوا می‌باشد. در روش زیست پالایی از باکتری‌ها، قارچ‌ها و گیاهان در سم‌زدایی محیط‌زیست در جهت سلامت انسانها و محیط‌زیست استفاده می‌شود. به عبارت دیگر زیست پالایی روشی است که احتمال از بین بردن یا بی‌خطر کردن آلودگی‌های مختلف را با استفاده از فعالیت‌های زیستی فراهم می‌آورد. لازمه بکارگیری این روش کم بودن دامنه آلودگی و پایدار نبودن آن است. ضمناً این روش نیاز به زمان طولانی دارد (۳۰). افزایش سرعت صنعتی شدن همراه با پیشرفت شهرسازی و تغییرات فعالیت‌های کشاورزی، سطح مواد آلوده کننده را در محیط‌زیست افزایش داده است. و متعاقباً سلامت انسان‌ها را با خطر مواجه می‌سازد. پاک کردن محیط‌زیست با حذف مواد آلوده کننده خطرناک یک مشکل مهم و حیاتی است و رسیدن به راه حل مناسب نیاز به پژوهش‌های بسیار زیادی دارد. به دلیل هزینه زیاد روش‌های فیزیکی و شیمیایی امروزه توجه بیشتری به زیست پالایی شده است (۱۹).



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

## تعریف زیست‌فنآوری

به طور کلی زیست‌فنآوری را می‌توان علم استفاده از موجودات زنده یا عوامل زیستی (موجودات زنده ذره‌بینی، یاخته‌های گیاهی و جانوری، آنزیم‌ها و ...) برای تولید کالا و خدمات در کشاورزی، صنایع غذایی، دارویی، پزشکی و سایر صنایع تعریف کرد. اما آنچه امروزه به عنوان زیست فن‌آوری مدرن از آن یاد می‌شود در واقع استفاده از فناوری دی. ان. ای نوترکیب در تولید انواع موجودات ذره‌بینی زنده و یا گیاهان با صفات برتر نسبت به ارقام زراعی معمول و یا صفات ویژه که نقش خاصی در طبیعت دارند و با ارزش افزوده بیشتر نسبت به آنها است (۱۹ و ۱۶).

## توسعه پایدار

در سال ۱۹۹۲ در کنفرانس زمین توسعه پایدار به عنوان رفع نیازهای نسل حاضر بدون مصالحه با نسل‌های آینده در باره نیازهای آنها تعریف شد. منظور از توسعه پایدار تولید همگام و همراه با طبیعت و با دیدگاه دوستدار و سازگار با محیط‌زیست و با کمترین اثرهای سوء و یا تهدید برای اکوسیستم‌های طبیعی و نسل‌های آینده است. واژه توسعه پایدار کنفرانس ریو در سال ۱۹۹۲ در محافل علمی فراگیر شد (۱۵). محیط‌زیست پایدار جزئی از توسعه پایدار است که محیط‌زیست موجود را بدون صدمه و نابودی در جهت رفع نیازهای انسان مورد بهره برداری قرار گیرد. و برای حیات نسل‌های آینده حفظ شده و پاسخ نیازهای آنها را بدهد. به عنوان مثال یکی از نتایج برجسته کنفرانس ریو، کنوانسیون تنوع زیستی بود. این کنوانسیون بین المللی از کلیه اعضاء می‌خواهد که در حفظ تنوع زیستی و بهره برداری پایدار و غیر مخاطره آمیز از آن و همچنین مشارکت عادلانه در منافع حاصل از تنوع زیستی با هم همکاری کنند. بر اساس آمار سازمان‌های جهانی، زندگی ۲/۱ میلیارد نفر از فقیرترین مردم جهان به طور مستقیم یا غیر مستقیم به منابع طبیعی وابسته است. به عنوان مثال بر اساس آمار بانک جهانی بیش از دو میلیارد نفر در جهان به طب سنتی و گیاهان دارویی متکی هستند. بنابراین حفظ تنوع زیستی و به ویژه گونه‌ها باید به عنوان جزء لاینفک حفظ سلامت محیط‌زیست انسانی و عنصر حیاتی در بهبود وضعیت اقتصادی کلیه جوامع در نظر گرفته شود. محیط‌زیست پایدار زمینه‌های مختلفی از جمله: اثر گازهای گلخانه‌ای، تغییرات آب و هوایی، تخریب زمین، تخریب لایه اُزن، کاهش منابع غیر تجدید پذیر، آلودگی هوا و خاک شهرها و روستاها و را مورد توجه قرار می‌دهد (۱۶).

## گیاه پالایی

گیاه پالایی با استفاده از مهندسی گیاهان سبز شامل گونه‌های علفی و چوبی برای برداشت مواد آلاینده از آب و خاک یا کاهش خطرات آلاینده‌های محیط‌زیست نظیر فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو به کار برده می‌شود. لجن‌های بوجود آمده از واحد پساب پالایشگاه‌ها از جمله مهمترین آلاینده‌های محیط‌زیست می‌باشند که دفن کردن و سوزاندن آنها اثرات خطرناکی بر محیط‌زیست و سلامت انسان می‌گذارد. بنابراین باید از روش‌هایی که سبب کاهش اثرات سمی لجن‌های حاوی مواد هیدروکربنی می‌شوند، استفاده نمود. به همین منظور گیاه پالایی ترکیبات آلی لجن جهت کاهش یا حذف هیدروکربن‌های نفتی خاک موثر است (۱۴). در میان آلاینده‌های شیمیایی، فلزات سنگین به لحاظ تاثیرهای اکولوژیکی، بیولوژیکی و بهداشتی از



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. بهره‌گیری از گیاهان برای استخراج فلزات سنگین از خاک روشی نو و امیدبخش برای به‌سازی خاک می‌باشد و اصطلاحاً گیاه به‌سازی نامیده می-شود. این روش فوراً و با کمترین دست خوردگی خاک قابل انجام است و به دلیل طبیعی بودن با محیط‌زیست سازگار بوده و اثرات جانبی خاصی ندارد (۱۴). فلزات سنگین و عناصر رادیواکتیو به طور طبیعی در خاک و هوا وجود دارند. آنچه وجود این ترکیبات در محیط‌زیست را خطرناک ساخته است. افزایش شدید و ناگهانی سطح این ترکیبات که تحت تأثیر فعالیت‌های بی‌رویه صنعتی و کشاورزی در محیط‌زیست می‌باشد. بررسی میزان فلزات سنگین و عناصر رادیواکتیو در خاک و گیاهان از مباحث مهم در سلامت انسان و اکوسیستم بشمار می‌رود. از مزیت‌های روش گیاه پالایی می‌توان به سادگی، ارزان بودن، امکان بهره‌برداری در سطح وسیع و کم خطر بودن نام برد. انتخاب گیاه مناسب در این روش بستگی به شرایط اقلیمی، میزان و نوع آلودگی، دامنه تحمل‌پذیری گیاه نسبت به آن ماده، نوع ماده و انتقال عنصر از ریشه به اندام هوایی دارد (۶ و ۸). برای به‌سازی خاک می‌توان با استفاده از کاشت گونه‌های خاص مرتعی، گیاه پالایی انجام داد. گیاهان با توانایی جذب بالا اغلب از خانواده های *Asteraceae*، *Brassicaceae*، *Fabaceae*، *Poaceae* **و** *Amaranthaceae* هستند. تعدادی از گونه‌های مرتعی که خاصیت گیاه پالایی آنها مطالعه شده است، شامل گون، کلاوه میرحسین، فستوکا، یونجه، شبدر سفید، قدومه، گاو پونه، جاز، درمنه دشتی، شاه تره و جوسیخ می‌باشد. گیاه آفتابگردان برای حذف فلزات سنگین بکار رفته و بیشتر جذب را در مورد سرب و کادمیم از طریق ریشه‌ی از طریق ریشه‌ی گیاه انجام می‌دهد. آفتابگردان پتانسیل استخراج گیاهی بالاتری نسبت به بسیاری از گیاهان دارد (۱۱ و ۱۲).

گیاهان غنی از فلزات می‌توانند به طور نواری یا منطقه‌ای در یک محل کاشته شوند و بدون نیاز به عملیات زراعی سنگین و مهم می‌توان به هر شکلی از آنها استفاده نمود. مقدار توده فلزات سنگین در ریشه گیاهان فوق با خاک در ارتباط هستند و این دو می‌توانند مقدار مواد آلاینده خاک را تنظیم کنند و باعث کاهش هزینه آزمایشات خاک شوند (۳). گیاهانی که جهت گیاه پالایی در خاک‌های آلوده به کار می‌روند، باید دارای خصوصیاتی نظیر سازگاری اکولوژیک با محیط خاک و اقلیم مورد نظر، رشد سریع، مورفولوژی مناسب ریشه، توانایی تحمل فلزات سنگین و رادیو نوکلوئیدها باشند. بسیاری از گیاهان دارای چنین توانایی‌هایی هستند، ولی تاکنون تعداد معدودی از آنها مورد استفاده قرار گرفته‌اند، بنابراین مطالعات جهت شناسایی و انتخاب گیاهان مناسب دارای اهمیت خاصی می‌باشد (۳۰). لیست تعدادی از گیاهان بیش‌اندوز طبیعی در جدول ۱ نشان داده شده است.



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

جدول ۱- تعدادی از گونه‌های گیاهی بیش‌اندوز طبیعی

| خانواده | گونه گیاهی | فلز |
|---|---|---|
| Araceae | *Pistia stratiotes* | نقره، کادمیوم، کروم، مس، جیوه، نیکل، سرب و روی |
| Asteraceae | *Helianthus indicus* | سرب |
| Fabaceae | *Sesbania drummondii* | سرب |
| Araceae | *Lemna gibba* | آرسنیک |
| Brassicaceae | *Alyssum* | نیکل |
| Solanaceae | *Solanum nigrum* | کادمیوم |
| Brassicaceae | *Thlaspi caerulescens* | کادمیوم |

**روش‌های مختلف گیاه پالایی**

گیاه پالایی بعنوان یکی از روش‌های پاکسازی محیط‌زیست، روشی ارزشمند و سازگار با محیط‌زیست و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می‌باشد. تکنیک سازگار با محیط‌زیست و ارزان قیمت، موجب بهبود زیستی فلزات سنگین خاک می‌شود. فلزاتی از قبیل سرب، کادمیم، مس، روی، کبالت، نیکل و جیوه به طور مداوم از طریق فعالیت-های کشاورزی مانند استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی، کاربرد طولانی مدت فاضلاب شهری در اراضی کشاورزی، فعالیت‌های صنعتی، دفن پسمانده‌ها، سوزاندن بقایا و دود حاصل از وسایل نقلیه به خاک اضافه می‌شوند. همه این منابع سبب تجمع فلزات و شبه فلزات در خاک‌های کشاورزی می‌شوند و موجب تهدید امنیت غذایی و ایجاد خطرات بالقوه بهداشتی به دلیل انتقال از خاک به گیاه می‌شوند. فلزات سنگین در خاک، سبب آلودگی غذا یا آب آشامیدنی می‌شود. همچنین می‌تواند سبب خسارت قابل توجهی به اکوسیستم خاک شوند (۱۳).

گیاه پالایی عنوان ابزار جدیدی برای اصلاح خاک، آب و هوا معرفی شده‌است. در فرآیند گیاه پالایی گیاهان سبز به عنوان پمپ خورشیدی عمل کرده و می‌توانند فلزات سنگین را از محیط‌زیست استخراج و جمع‌آوری نمایند. در فن‌آوری استفاده از گیاهان با عنوان گیاه پالایی، از گیاهان سبز و ارتباط آنها با میکروارگانیسم‌های خاک برای کاهش آلودگی خاک و آب‌های زیر زمینی استفاده می‌شود. این فن‌آوری می‌تواند برای رفع هر دو نوع آلاینده خاک یعنی معدنی و آلی به کار رود. بررسی‌ها نشان می‌دهد کاربرد روش‌های فیزیکوشیمیایی، سبب از میان رفتن موجودات زنده مفید خاک مانند تثبیت کننده‌های نیتروژن میکروریزا می‌شوند که در نتیجه فعالیت‌های بیولوژیکی خاک را ضعیف می‌کند و در مقایسه با روش گیاه پلایی، بسیار هزینه بر است.



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

ترکیبات موجود در فاضلاب خصوصاً فاضلاب‌های صنعتی می‌توانند باعث بروز سمیت برای انسان و سایر موجودات زنده و نیز آلودگی آبهای زیرزمینی شوند، بنابراین حذف این ترکیبات از خاک و محیط‌زیست ضروری به نظر می‌رسد (۸ و۹). یکی از راه‌های رفع نیاز آب مصرفی، استفاده از پساب‌ها و تصفیه آنها می‌باشند، ولی رهاسازی فلزات سنگین به محیط‌زیست به دلیل سمیت و پایداری آنها باعث ایجاد خطر برای سلامتی و محیط‌زیست می‌شود. بنابراین باید آنها را از محیط حذف کنیم. در این فرآیند از گیاهان سبز و ارتباط آنها با موجودات زنده خاک برای کاهش آلودگی خاک و آب‌های زیر زمینی استفاده می‌گردد (۴).

**انواع فرایندهای گیاه پالایی**

۱. کنترل هیدرولیک (Hydraulic control): استفاده از گیاهان به منظور جذب سریع همراه با مصرف زیادی آب است که باعث مهاجرت یون‌های فلزی با آب می‌گردد و به آن فیتوهیدرولیک نیز می‌گویند.

۲. تخریب توسط گیاه (Phyto-degradation): تجزیه مواد آلاینده توسط فرایندهای متابولیکی گیاه و یا تجزیه مواد در اثر ترشح ترکیبات گیاه مانند آنزیم‌ها است که مترادف با تغییر شکل توسط گیاه است.

۳. استخراج توسط گیاه (Phyto-extraction): جذب مواد آلاینده توسط ریشه گیاه و انتقال آن به اندام‌های فوقانی و سپس خارج کردن عنصر مضر توسط برداشت و خروج آن از منطقه آلوده. این روش بیشتر برای رفع آلودگی آب و خاک از فلزات کمیاب اعمال می‌شود.

۳. تثبیت توسط گیاه (Phyto-stabilization): غیر متحرک نمودن آلاینده‌ها در خاک و یا در سطح ریشه و یا رسوبات منطقه ریشه گیاه.

۵. تصعید توسط گیاه (Phytovolatilization): جذب و انتقال عناصر آلاینده و یا تغییر ترکیبات و سپس رها کردن آنها در اتمسفر.

۶. تخریب توسط ریزوسفر (Rhizo-degradation): تجزیه آلاینده‌ها توسط جمعیت‌های میکروبی که در نزدیکی ریشه فعالیت دارند و مترادف آن تجزیه به کمک گیاه است.

۷. تصفیه توسط ریزوسفر: جذب آلاینده‌ها از محلول خاک اطراف ریشه به درون ریشه و یا رسوب آنها روی سطح ریشه.

در روش ریزوفیلتراسیون، از گیاهان خاکی و آبی استفاده می‌شود که آلاینده‌های منابع آبی آلوده با غلظت کمتر در ریشه‌های آنها تغلیظ یا رسوب می‌کنند که این روش بخصوص برای فاضلاب‌های صنعتی، رواناب کشاورزی و یا فاضلاب معادن اسیدی کاربرد دارد و برای فلزاتی مانند سرب، کادمیم، مس، نیکل، روی و کرم مناسب است. گیاهانی مانند خردل هندی، آفتابگردان، تنباکو، چاودار و ذرت دارای این توانایی هستند. آنها دارای قدرت جذب سرب از فاضلاب هستند که در این میان، آفتابگردان بیشترین قدرت و توانایی را دارد (۳۱).

قدرت ریشه بعضی از گیاهان، می‌تواند تحرک و قابلیت دسترسی آلاینده‌ها در خاک را محدود نماید. این روش معمولاً برای کاهش آلودگی در خاک، رسوب و لجن استفاده



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

می‌گردد و از طریق جذب، رسوب و ایجاد کمپلکس باعث کاهش ظرفیت جذب آنها می‌شود (۱۷).

در روش تبخیر گیاهی، گیاهان، آلاینده‌ها را از خاک جذب و سپس به بخار تبدیل کرده و با عمل تعریق به اتمسفر انتقال می‌دهند. این روش در درختان در حال رشد برای جذب آلاینده‌های آلی و معدنی کاربرد دارد.

سوزاندن و تولید گاز از روش‌های مهم برای تولید انرژی گرمایی و الکتریکی است که می‌تواند از گیاهان آلوده به آلاینده‌ها استخراج شوند. با توجه به این که از این نوع گیاهان نمی‌توان به عنوان علوفه و یا کود آلی استفاده کرد لذا با سوزاندن و یا تخمیر آنها در یک فرایند مدیریت شده می‌توان از انرژی موجود در بیوماس این گیاهان بهره‌برداری اقتصادی کرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد، راندمان این روش با کاربرد گیاهان سریع‌الرشد با بیوماس بالا و قدرت جذب بالای فلزات سنگین افزایش می‌یابد. در بیشتر مکان‌های آلوده، گونه‌های مناسب جهت رفع آلودگی قابل شناسایی است. دو روش کمپوست و متراکم کردن می‌تواند جزء مراحل مقدماتی برای کاهش حجم تولیدات این گیاه باشند، اما باید دقت شود شیرابه حاصل از تراکم به طور کامل جمع‌آوری شود (۳۲ و ۳۷).

**انباشتگرها (Hyperaccumulator)**

گیاهانی که برای پاکسازی خاک از آلاینده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، اصطلاحاً انباشتگر نامیده می‌شوند. گیاهان انباشتگری که برای پالایش عناصر فلزی کمیاب به کار می‌روند، قادرند ۱۰۰ برابر گیاهان معمولی این عناصر را جذب نمایند. تاکنون بیش از ۴۰۰ گیاه به عنوان انباشتگر شناخته شده‌اند، که از جمله آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (۱۷):

نیلوفرآلپی (*Ipomea alpina*)، کیسه چوبان (*Thlaspi caerulescens*)، روبرتی (*Haumaniastrum robeti*)، سرخس (*pteris vittata*)

**فلزات سنگین و سمی**

در دهه گذشته ورود آلاینده‌هایی مانند فلزات سنگین به اکو سیستم، حیات آنها را به خطر انداخته است. این آلاینده‌ها با منشأ مصنوعی (پساب‌های صنعتی و دورریزهای خانگی) و طبیعی (سنگ‌های رسوبی) دارای وزن اتمی بالا هستند و از لحاظ عملکرد فیزیولوژیکی تاثیرات مخربی بر موجودات زنده گیاهی و جانوری دارند (۲۱). از نظر شیمیایی، اصطلاح فلزات سنگین محدود به فلزات انتقالی با جرم اتمی بیش از بیست و وزن مخصوص بالای پنج می‌باشد. در بیولوژی، فلزات سنگین بیان‌گر یکسری از فلزات و شبه فلزات می‌باشد که برای گیاهان وحیوانات در غلظت‌های بسیار کم نیز سمی هستند. در اینجا اصطلاح فلزات سنگین برای این عناصر بالقوه سمی برای گیاهان اطلاق می‌شود (۳۴). خاک‌های آلوده به فلزات سنگین یک خطری جدی در مناطق صنعتی و کشاورزی به شمار می‌آید که خاک‌ها توسط فلزات سنگین آلوده می‌شوند و سلامتی انسان را به مخاطره می‌اندازد (۲۳). فلزات سنگین ازجمله آلاینده‌های مهم معدنی محیط هستند که بسیاری از آنها حتی در غلظت‌های خیلی کم نیز سمی هستند. منابع اولیه این آلودگی، احتراق سوخت‌های فسیلی، حفاری معادن و ذوب سنگ معدن فلزات آهنی، زباله‌های شهری، کودهای کشاورزی، آفت کش‌ها و فاضلاب می‌باشد (۱).



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

ورود فلزات سنگین از منابع طبیعی و انسان ساخت به محیط‌زیست، بسیار فراتر از میزانی است که به وسیله فرآیندهای طبیعی برداشت می‌شوند. بنابراین تجمع فلزات سنگین در محیط‌زیست قابل ملاحظه است. اگرچه فلزات سنگین می‌توانند به طور طبیعی و از طریق هوادیدگی سنگ-ها و کانی‌ها و طی فرآیند خاک‌سازی در خاک تجمع یابند، ولی این منبع طبیعی در مقایسه با آلودگی ناشی از فعالیت-های انسان از جمله احداث کارخانجات صنعتی، استخراج معدن سوخت‌های فسیلی، مصرف کودهای شیمیایی و آلی، فاضلاب‌های صنعتی، رنگسازی، سوخت خودرو و صنایع ذوب فلزی دارای اهمیت کمی می‌باشد (۴ و۳۰). به علاوه فلزات سنگین در معرض فرآیند تخریب نبوده و در محیط‌زیست باقی می‌مانند و نیز تمام فلزات سنگین در غلظت‌های بالا سمیت شدیدی ایجاد کرده و جزء آلاینده‌ها در نظر گرفته می‌شود (۲۰). از این رو در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی در راستای یافتن روشی برای حذف فلزات سنگین از خاک صورت گرفته که گیاه پالایی یکی از این یافته‌هاست (۱۹). اولین اثرات آلودگی به فلزات در یک اکوسیستم، وجود فلزات سنگین در بیوماس یک منطقه آلوده است که سلامت انسان را به مخاطره می‌اندازد. تجمع فلزات سنگین در آب، هوا و خاک، یک مشکل زیست محیطی بسیار مهم می‌باشد (۱۳).

حضور فلزات سنگین بیش از استانداردهای تعریف شده در محیط باعث بروز مشکلات و عوارض زیست محیطی برای ساکنان آن محل و اکوسیستم می‌گردد. تأثیرات فلزات سنگین روی انسان مختلف بوده و عمده‌ترین آن مربوط به بروز اختلال عصبی است. یکی از اساسی‌ترین مسئله در ارتباط با فلزات سنگین متابولیزه شدن آنها در بدن می‌باشد در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن دیگر از بدن دفع نشده بلکه در بافت‌هایی مثل چربی، عضلات، استخوانها و مفاصل رسوب کرده و انباشته می‌گردند که همین امر موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود. فلزات سنگین همچنین جایگزین دیگر املاح و مواد معدنی مورد نیاز در بدن می‌گردند. مثلاً در صورت کمبود روی در مواد غذایی کادمیوم جایگزین آن می‌گردد. به طور کلی اختلالات عصبی (پارکیسون، آلزایمر، افسردگی، اسکیزوفرنی)، انواع سرطان‌ها، فقر مواد مغذی، بر هم خوردن تعادل هورمون‌ها، چاقی، سقط جنین، اختلالات تنفسی و قلبی، عروقی آسیب به کبد، کلیه‌ها، مغز، آلرژی و آسم، اختلالات غدد درون ریز، عفونت‌های ویروسی مزمن، کاهش آستانه تحمل، اختلال در عملکرد آنزیم‌ها تغییر در عملکرد آنزیم‌ها، تغییر در سوخت و ساز، ناباروری، کم‌خونی، خستگی، تهوع و استفراغ، سردرد و سرگیجه، تحریک‌پذیری، تضعیف سیستم ایمنی بدن، تخریب ژن‌ها، پیری زودرس، اختلال‌های پوستی، کاهش حافظه، بی‌اشتهایی، التهاب مفاصل، ریزش مو، پوکی استخوان و در موارد حاد مرگ از نتایج اثرات ورود فلزات سنگین به بدن انسان می‌باشد. از طرفی خاصیت سمی و قابلیت تجمع زیستی فلزات در گیاهان و جانوران و نیز ورود آنها به زنجیره غذایی بخصوص حیوانات گیاهخوار و یا جانورانی که از آبهای آلوده استفاده می‌کنند، خطرات ناشی از آنها را دو چندان ساخته و تأثیرات اکولوژیکی زیادی را بر جا می‌گزارد (۲۵ و۳۱).

### فلزهای سنگین در خاک

فلزهای سنگین عناصری هستند که به طور طبیعی در خاک وجود دارند یا در نتیجه فعالیت‌های انسان وارد خاک می-



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

شوند. گداختن فلزات، فعالیت‌های معدن کاوی، استفاده از سوخت‌های فسیلی، به کار بردن کودها و حشره‌کش‌ها و تولید فاضلاب‌های شهری از مهم‌ترین فعالیت‌های انسانی است که خاک را با مقادیر زیادی از فلزهای سنگین آلوده می‌کنند. حضور این ترکیبات در خاک می‌تواند به صورت آزاد، اکسید و سولفید باشند، برخی از آن‌ها در کشاورزی عناصر کمیاب و یا کم مصرف نیز نامیده می‌شوند (۲۷).

بسیاری از این عناصر از نظر تأثیر در رشد بیولوژیکی حائز اهمیت می‌باشند و بسیاری از آن‌ها حتی در غلظت‌های کم نیز ممکن است برای گیاهان یا حیوانات و حتی انسان سمی باشند (۲۴). برخی از اثرات اصلی فلزات سنگین در گیاهان در جدول ۲ نشان داده شده‌است.

جدول۲- اثرات اصلی فلزات سنگین در گیاهان

| فلز | اثرات |
|---|---|
| کادمیم | کاهش جوانه زنی- مقدار لیپید و رشد گیاه- القای تولید کلات‌های گیاهی |
| کروم | کاهش فعالیت آنزیمی و رشد گیاه- آسیب رساندن به غشای سلول و ریشه‌ی گیاه و ایجاد سبزاک |
| مس | جلوگیری از فتوسنتز- رشد گیاه و فرآیندهای تولید مثلی- کاهش سطح بیرونی تیلاکوئید |
| جیوه | کاهش فعالیت فتوسنتزی- جذب آب و آنزیم‌های آنتی اکسیدان- تجمع فنول و پرولین |
| نیکل | کاهش جوانه زنی بذر- تجمع ماده‌ی خشک- تولید پروتیین- کلروفیل‌ها و آنزیم‌ها- افزایش آمینو اسیدهای آزاد |
| سرب | کاهش تولید کلروفیل و رشد گیاه- افزایش سوپراکساید دیسموتاز |
| روی | به کلروفیلATPکاهش سمیت نیکل و جوانه زنی بذر- افزایش رشد گیاه و نسبت |

اقاقیا را می‌توان به عنوان یک انباشتگر در آلودگی نفتی استفاده نمود و در پژوهش‌های بعدی آن را برای گیاه پالایی خاک‌های آلوده به سرب انتخاب نمود (۱۰).

فلزات سنگین و بسیاری از ترکیب‌های سمی نهایتاً در خاک و رسوب‌ها دفن می‌شوند. فلزهای سنگین غالباً در لایه بالایی خاک جمع می‌شوند، و در دسترس ریشه گیاهان قرار می‌گیرند. سیستم‌های بیولوژیکی در تماس با غلظت‌های پایین این فلزها در طی زمان طولانی آن‌ها را جذب می‌کنند تا سرانجام غلظت آن‌ها در بافت‌ها به حدی بالا می‌رود که اختلال‌های متعدد فیزیولوژیکی را باعث می‌شوند. فلزات سنگین با ایجاد مکانیسم‌های متعدد، موجب به هم خوردن تعادل در موجودات زنده به ویژه انسان می‌شوند و طیف گسترده‌ای از عوارض و اختلال‌ها را به وجود می‌آورند. تحرک فلزهای سنگین در مقایسه با عناصر دیگر کمتر است و برخی از آن‌ها هنگام اضافه شدن به خاک ترکیباتی با حلالیت کم را تشکیل می‌دهند. در جدول ۳ غلظت معمول تعدادی از عناصر سنگین موجود در خاک و بافت گیاهی ذکر شده است (۲۵).



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

جدول ۳- غلظت معمول تعدادی از عناصر سنگین موجود در خاک و بافت گیاهی (بر حسب میکروگرم بر گرم، وزن خشک در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد)

| عنصر | غلظت در خاک | | غلظت در بافت گیاهی |
|---|---|---|---|
| | دامنه تغییرات | معمول | دامنه تغییرات |
| کادمیوم | ۰/۰۱ – ۷ | ۶۰/۰ | ۰/۲–۰/۸ |
| کروم | ۵–۳۰۰۰ | ۱۰۰ | ۰/۲–۱ |
| سرب | ۲–۲۰۰ | ۱۰ | ۰/۱–۱۰ |
| نیکل | ۱۰–۱۰۰۰ | ۴۰ | ۱–۱۰ |
| روی | ۱۰–۳۰۰ | ۵۰ | ۱۵–۲۰۰ |
| کبالت | ۱–۴۰ | ۸ | ۰/۰۵–۰/۱۵ |
| مس | ۲–۱۰۰ | ۲۰ | ۲–۱۵ |

### واکنش گیاهان به فلزهای سنگین

گیاهان سه راهبرد پایه برای رشد در خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین دارند. گونه‌هایی که از ورود فلزات به بخش‌های هوایی خود جلوگیری کرده یا غلظت فلزات را در خاک پایین نگه می‌دارند، گونه‌هایی که فلزها را در اندام‌های هوایی خود تجمع داده و دوباره به خاک بر می گردانند و گیاهانی که می توانند فلزها را در اندام های هوایی خود تغلیظ کرده به طوری که چندین برابر غلظت فلز در خاک شود و گیاهانی که غلظت بالایی از آلاینده‌ها را جذب کرده و در ریشه، ساقه یا برگ‌ها تغلیظ می‌کنند (۱۷).

### مهندسی ژنتیک و نانو تکنولوژی

مهندسی ژنتیک و تولید گیاهان تراریخته و نانو تکنولوژی در کنار اصلاح ژنتیکی گیاهان به روش کلاسیک چشم انداز جدیدی برای گیاه پالایی ایجاد کرده است. اصلاح گیاهانی که بیوماس بسیار زیادی تولید کنند که در نتیجه توان ذخیره مواد سمی و آلاینده در آنها بطور چشمگیری افزایش یابد. انتقال ژنهایی که با تولید آنزیم‌های ویژه می‌توانند ترکیبات سمی مواد مختلف را به ترکیبات یونی و عناصر قابل جذب مجدد در گیاه تبدیل کنند (۲۲).

نانوتکنولوژی در کنار بیوتکنولوژی، فن‌آوری هسته‌ای و فن‌آوری اطلاعات به عنوان فن‌آوری‌های قرن ۲۱ محسوب می‌شود. توسعه سریع تکنولوژی‌های جدید، همراه با یک سری مشکلات محیطی از جمله آلودگی خاک، آب و هوا همراه بوده است. یکی از راه‌های رفع نیاز آب مصرفی استفاده از پسابها و تصویه آنها می‌باشد، ولی رهاسازی فلزات سنگین به محیط‌زیست به دلیل سمیت و پایداری آنها باعث ایجاد خطر برای سلامتی و محیط‌زیست می‌شود. بنابراین باید آنها را از محیط حذف کنیم. از مهمترین کاربردهای فناوری نانو استفاده از نانو فیلتر و نانو ذرات جهت تصفیه پساب و همچنین نرم‌کردن آب می‌باشد. نانو ذرات مغناطیسی برای حذف آلاینده‌های زیست محیطی مانند فلزات سنگین همانند آفت‌کش‌ها عمل کرده که این به علت خواص ویژه این ذرات است. با افزایش علوم کاربردی در زمینه نانوفن‌آوری، به کارگیری این روش جهت حذف فلزات سنگین صرفه اقتصادی پیدا کرده است. حداقل ۴۵ خانواده گیاهی شناخته شده‌است که این عناصر در غلظت-های زیاد در آنها تجمع می‌یابند. استفاده از گیاهان برای ذخیره‌سازی، انتقال و زوال آلاینده‌های محیط‌زیست از جمله فلزهای سنگین، هیدرات‌های کربن و ترکیبات شیمیایی سمی، فرایندی است که گیاه‌پالایی نامیده می‌شود. در این



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

فرایند از گیاهان سبز و ارتباط آنها با میکروارگانیسم‌های خاک برای کاهش آلودگی خاک و آبهای زیرزمینی استفاده می‌گردد (۱۵ و۵).

**مزایا و مضرات فن‌آوری گیاه پالایی**

مهم‌ترین مزیت استفاده از گیاهان به منظور پاکسازی محیط زیست، شامل بهره‌برداری از صفات ذاتی آنها نظیر زیست توده‌ی فراوان، سیستم ریشه‌ای گسترده، توانایی تحمل تنش‌های محیطی و غیره می‌باشد. گیاه پالایی از لحاظ زیبایی خوشایند و مطبوع است و محیط‌زیست را سبز و پاک می‌کند. از آن جایی که گیاه پالایی به صورت درجا باعث پاکسازی آلودگی‌ها می‌شود، به حرکت در آمدن آن توسط نور خورشید صورت می‌پذیرد و پس از کاشت گیاه به حداقل عملیات داشت و نگه‌داری نیاز دارد، هزینه‌ی آن به طور میانگین نسبت به سایر روش‌های فیزیکی، شیمیایی یا حرارتی کمتر است (۲۶). گیاهان روشی پایدار، درجا، غیرمخل، خودکفا و مستقل را به منظور پاکسازی آلاینده‌ها از خاک را فراهم می‌آورند. حضور گیاهان در مکان آلوده، فرسایش آبی و بادی خاک را نیز کاهش می‌دهید. با استفاده از روش استخراج گیاهی می‌توآن فلزات گرانبها و مواد با ارزش دیگر را از خاک جمع‌آوری و بازیافت نمود و این امر موجب می‌شود که فرایند استخراج گیاهی از لحاظ اقتصادی برای سرمایه‌گذاران سودبخش و ترغیب کننده باشد (۳۶). به علاوه، گیاهانی که در فرآیند زیست پالایی مورد استفاده قرار میگیرند، خاک سطحی را آشفته نمی‌کنند و بنابراین سبب حفظ سودمندی و کارایی آن نیز می‌گردند (۳۲). گیاه پالایی از تخریب مناظر طبیعی جلوگیری نموده و موجب افزایش فعالیت و تنوع ریزجانداران خاک و ارتقای سلامت اکوسیستم‌ها می‌گردد (۳۷).

نگرانی‌های مرتبط با فن‌آوری گیاه پالایی یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های مربوط به فن‌آوری گیاه پالایی، شامل سرعت پایین این فرآیند در مقایسه با روش‌های فیزیکی و شیمیایی اصلاح خاک‌های آلوده می‌باشد. ممکن است که پاکسازی یک مکان آلوده توسط گیاهان، به دلیل رشد آهسته‌ی آنها که وابسته به محدودیت‌های اقلیمی و تنوع‌های گونه‌ای است، نیازمند فصول رشد زیادی باشد. گیاهان بیش‌اندوزی که دارای ریشه‌های کم عمق هستند تنها قادر به پاکسازی خاک یا منابع آب سطحی می‌باشند. اما نمی‌توانند از عهده پاکسازی از عهده‌ی پاکسازی و اصلاح سفره‌های آب زیر زمینی و افقهای عمیق خاک برآیند (۳۶). خطر آلوده شدن زنجیره‌های غذایی توسط گیاهان جذب کننده‌ی مواد سمی نیز وجود دارد، چرا که ممکن است حیوانات ساکن در منطقه‌ی آلوده از این گیاهان تغذیه نمایند (۳۵). به دلیل چسبیدن شدید آلاینده‌های آب گریز به ذرات خاک، روش استخراج گیاهی کمتر در مورد آنها مؤثر است (۳۴). از طرف دیگر، تبخیر ترکیبات آلاینده می‌تواند معضل آلودگی آب و یا خاک را به معضل آلودگی هوا تبدیل نماید. اما بزرگ‌ترین نگرانی مربوط به گیاه پالایی آن است که پس از برداشت گیاهان آلوده‌ی غنی از فلز سرنوشت آن‌ها چگونه باید باشد؟ ممکن است تجزیه‌ی زیستی گیاهان آلوده و یا استفاده از آنها، مجدداً آلودگی را به طور کامل یا جزیی به خاک باز گرداند (۳۵). پاسخ ای سوال همچنان نامشخص است.



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

**مصرف تولیدات گیاه پالایی**

یکی از موانع اجرای تجاری گیاه پالایی، چگونگی مصرف گیاهان آلوده است. پس از برداشت، آلودگی خاک توسط گیاه کاهش یافته، اما مقدار زیادی بیوماس خطرناک تولید شده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد تولید کمپوست و متراکم کردن، دو روشی است که برای مدیریت بیوماس گیاهان آلوده توسط بسیاری از محققان پیشنهاد شد، اما بهترین روش برای مصرف بیوماس‌های تولید شده توسط گیاه پالایی، تغییر و تبدیل‌های ترموشیمیایی است که در این روش بیوماس به عنوان یک منبع انرژی مصرف تجاری دارد. این بیوماس شامل کربن، هیدروژن و اکسیژن است که با عنوان هیدروکربن‌های اکسیژنه شناخته می‌شود. جزء اصلی هر بیوماس لیگنین، همی‌سلولز، سلولز، مواد معدنی و خاکستر است که دارای مقادیر بالایی رطوبت، مواد آلی فرار و جرم مخصوص ظاهری هستند، اما ارزش گرمایی پایینی دارند. درصد این اجزا از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت است که مدیریت این حجم از مواد زائد بسیار مشکل بوده و نیاز به کاهش حجم دارد. برخی روش‌های گیاه پالایی محدودیت‌هایی دارد، به عنوان مثال در نوعی از این روش، گیاه پالایی در محدوده یک متر از سطح خاک و حداکثر ۱۸ متر از آب‌های زیرزمینی موثر است. این روش برای مکان‌هایی که غلظت آلودگی در آنها پایین تا متوسط است در سطح وسیع به کار برده می‌شود و شدیداً وابسته به اسیدیته خاک است. نتایج به دست آمده از تحقیقات دانشمندان حاکی از آن است که اسیدی کردن خاک، قابلیت دسترسی فلزات را به مقدار زیادی افزایش می‌دهد. البته ممکن است اسیدی کردن خاک، تاثیرهای منفی در برداشته باشد. برای مثال افزایش حلالیت برخی فلزات سمی و شستشوی آنها به آب‌های زیرزمینی سبب بروز خطرات زیست محیطی می‌شود که باید تحت کنترل و شرایط ویژه صورت گیرد (۳۳ و۳۵).

**نتیجه‌گیری**

گیاه پالایی برای پاک کردن محیط‌زیست مخصوصاً خاک از آلاینده‌های محلول، روشی بسیار مناسب و بصرفه است. روشی سازگار با محیط‌زیست و دارای مزایای اقتصادی و همچنین ارزش زیبا شناختی دارد. مهم‌ترین ترکیبات معدنی آلاینده، فلزات سنگین بوده و موجودات زنده خاک قادر به تجزیه آلاینده‌های آلی هستند. برای تجزیه میکروبی فلزات، گیاهان آنها را به ترکیبات آلی تغییر داده و قابل استفاده می‌کنند.

بیشتر آزمایش‌های گیاه پالایی در مقیاس آزمایشگاه و در محیط هیدروپونیک و با تیمارهای فلزات سنگین در این محیط‌ها انجام می‌شود. در حالی که محیط خاک کاملاً متفاوت بوده و بسیاری از فلزات در شکل‌های نامحلول وجود دارند که قابلیت دسترسی آنها کم می‌باشد. تعمیم نتایج آزمایشگاهی به محیط واقعی از کلیدی‌ترین فعالیت‌های پژوهشی است که بتوان از پتانسیل واقعی گیاهان در پالایش فلزات سنگین و سمی، آلاینده‌های معدنی و آلودگی‌های نفتی استفاده کرد. توانایی بسیاری از گیاهان هنوز ناشناخته مانده و همچنین تولید گیاهان تراریخته توسط مهندسی ژنتیک از چشم اندازهای آینده نقش گیاهان در پاکسازی محیط‌زیست انسان می‌باشد.



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

سپاسگزاری

این مقاله با حمایت مالی دانشگاه پیام نور تهیه شده است و کلیه حقوق مادی و معنوی آن متعلق به دانشگاه پیام نور می‌باشد.

## منابع مورد استفاده: References

۱. آزمون م.ج.، سیدمحمدرضا ا. (۱۳۹۰). پوشش گیاهی روشی برای کاهش آلایندگی ضایعات صنعتی، اولین کنگره ملی شیمی نوین ایران ،۱۴-۱۵.

۲. باشگاه مهندسان ایرانی (۱۳۹۱). گیاه پالایی، سایت اینترنتیwww.iran-eng.com

۳. بانک مقالات کشاورزی (۱۳۹۱). گیاه پالایی در پاکسازی فلزات سنگین www. Giahteshne.Persianblog.ir

۴. خسروی ف.، ثواقبی ع.، فرحبخش ح. (۱۳۸۸). اثر کلرید پتاسیم بر جذب کادمیوم توسط کلزا آفتاب گردان در یک خاک آلوده، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ج۲۳. شماره ۳. ص ۲۸-۳۵.

۵. رحیمی درآباد غ.، مرتضی ب.، اسدی ش. (۱۳۹۰). استفاده از نانو تکنولوژی در رابطه با گیاه پالایی، اولین همایش ملی گیاه پالایی، کرمان، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.

۶. رضوانی م.، نورمحمدی ق.، زعفریان، ف. (۱۳۸). پاکسازی مواد آلاینده خاک، آب‌های زیرزمینی و هوا به وسیله گیاهان (Phytoremediation) ویژه نامه علمی-پژوهشی علوم کشاورزی، سال یازدهم، شماره ۱، صفحه ۲۴-۲۷.

۷. زنگی‌آبادی س. (۱۳۹۰). تکنولوژی گیاه پالایی در پاکسازی آلودگی‌های خاک، اولین همایش ملی گیاه پالایی، کرمان، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.

۸. صفاری م. (۱۳۹۰). اصلاح خاک‌های آلوده به فاضلاب به روش گیاه پالایی، اولین همایش ملی گیاه پالایی، کرمان، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.

۹. ضرابی، ا.، مهری ا. (۱۳۸۰). توسعه پایدار در جهان صنعتی و در حال توسعه، تهران، مجله رشد آموزش جغرافیا، شماره ۵۹.

۱۰. عسگری م.، نوری م.، بیگی ف.، امینی ف. (۱۳۹۰). ارزیابی گیاه پالایی اقاقیا در خاک‌های آلوده به نفت خام با تاکید بر برخی فلزات سنگین. مجله سلول و بافت. جلد ۲. شماره۴. ص.۴۳۵-۴۴۲.

۱۱. کریمی ا.، حسیت ب. و شهبازی س. (۱۳۹۱). کاربرد گیاهان پالاینده در احیای بیابان، اولین همایش ملی بیابان.

۱۲. مهرابی گ.، موسی‌نژاد ا. و موسی‌نژاد م. (۱۳۹۰). استفاده از گیاهان جهت رفع آلودگی خاک‌ها، اولین همایش ملی گیاه پالایی، کرمان، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

۱۳. لرستانی ب.، آستانی س. (۱۳۹۰). فناوری نوین گیاه پالایی تکنیکی موثر برای حذف فلزات سنگین از خاک‌های آلوده (مطالعه موردی مقایسه گیاهان فرا انباشت کننده معدن آهنگران). دومین همایش بیوانرژی ایران (بیوماس و بیوگاز)، تهران، هم اندیشان انرژی کیمیا.

۱۴. مهرابی گ.، الهام موسی‌نژاد ا. و موسی نژاد م. (۱۳۹۰). استفاده از گیاهان جهت رفع آلودگی خاک‌ها، اولین همایش ملی گیاه پالایی، کرمان، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.

۱۵. مهرشاد ز.، بابک ن.، پرستو م.، نیراعظم خ.، سید الیاس م. (۱۳۹۰). تنوع زیستی، مهندسی ژنتیک و توسعه پایدار. مجله ایمنی زیستی. دوره چهارم، شماره اول، پاییز.

۱۶. ناخدا ب. و زین‌العابدینی م. (۱۳۹۱). زیست فناوری برای توسعه پایدار. مجله ایمنی زیستی. دوره پنجم. شماره دوم. ۱۳۶-۱۲۵.

۱۷. نادری م.، دانش شهرکی ع. و نادری ر. (۱۳۹۱). مروری بر گیاه پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین. فصلنامه انسان و محیط‌زیست. شماره ۲۳. ص. ۴۹-۳۵.

۱۹. نسیبه ی.، مهران ه.، و بهاره ط. (۱۳۹۰). اثر آلودگی بر روی غلظت مس، روی، نیکل و سرب و برخی از ویژگیهای بیوشیمیایی برگ گیاهان در باغ گیاه‌شناسی مجتمع فولاد مبارکه. ششمین همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی.

20. **Chehregani A., Malayeri B. and Golmohammadi A. (2009).** Effect of heavy metals on the developmental stages of ovules and embryonic sac in Euphorbia Cheirandenia, Pakistan Journal of Biological Sciences. 8: 622-625.
21. **Deram A., Denayer F.O., Dubourgier H.C., Douay F., Petit D. and Van aluwyn C. (2007).** Zinc and cadmium accumulation among and within populations of the pseudometalophytic species Arrhenatherum elatius: Implications for phytoextraction, Science of the total Environment, 372, 372-381.
22. **Eapen S., Sudhir S. and Souza S.F.D. (2007).** Advances in development of transgenic plants for remedin of xenbiotic Polluts, Biotechnology Adv. 25(5): 442-451.
23. **Gratao P.L., Prasad M.N.V., Cardoso P.F., Lea P.J. and Azevedo R.A. (2005).** Phytoremediation: green technology for the cleanup of toxic metals in the environment. Brazilian Journal of Plant Physiology, vol. 17, pp. 53-64.
24. **Goreman H. (2005)**. Phyto extraction of Heavy Metals from Contaminatedd Soil: Expectations and Limitations. Geophysical Research Abstracts, 7, 1-17.
25. **Han R., Zou W., Kui li H., Li Y. and Ski J. (2006).** Copper (Ill) and Hanmgan M. (2002). Enviromental Toxicology. http://www.Ciuin.org/downloadlremedlintrophyto. Pdf.
26. **Lazarova V. and Bahri A. (2005).** Water reuse for irrigation. Agricultural Landscape, and Truf Grass. CRS press, p.408.
27. **Li T.Q., Yang X.E., Yang J.Y. and HE Z.L. (2006).** Zn Accumulation and Subcellular Distribution in the Zn Hyper accumulator Sedum *alfredii* h*ance*, Pedosphere, 16: (5), 616-623.
28. **Milton A.A. (2005).** Mechanisms of Plant Resistance to Metal and Metalloid Ions and Potential. Biotechnological Applications Plant and Soil. 274: 163-174.
29. **Mishra V.K. and Tripathi B.D. (2009).** Accumulation of chromium and zinc from aqueous solutions using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), Journal of Hazardous Materials, 164, 1059-1063.
30. **Mulligan C.N., Young R.N. and Gbbs B.F. (2001).** Remediation technologies for metal-contaminated soils and ground water: an evaluation. Eng. Geol. 60: 193-207.



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]

31. **Pal M., Horvath E., Janda T., Paldia E. and Szalai G. (2006).** Physiological changes and dienes mechanisms induced by cadmium stress in maize. J. Plant Nutr. Soil Sci. 169: 239-246.
32- **Pilon-Smits E.A.H. (2005).** Phytoremediation. Annual Review of Plant Biology, vol. 56, pp. 15–39.
33. **Rascio N. and Navari-Izzo F. (2011).** Heavy metal hyper accumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting? Plant Sci. 180: 169-181.
34. **Terry N., Zayed A.M., De Souza M.P. and Tarun A.S. (2000).** Selenium in higher plants. Annuals Review of plant Molecular Biology 51: 32-401.
35. **Vidali M. (2001).** Bioremediation, An overview, pure Appl. Chem. 73(7): 1163-1172.
36. **Vinita B. (2007).** Phytoremediation of toxic metals from soil and waste water. India J. Environ. Biology 2007; 28: (2). 367-376.
37.http://plantbiotech.mihanblog.com/post/110.2013.

[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.7.3 ]