

فناوری نوین گیاه پالایی برای ایجاد محیط زیست 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 بدیهی ترین حقوق همه انسان ها می باشد و تولید و تأمین این نیازها برای شهروندان، وظیفه ذاتی همه دولت ها است. از طرفی حفظ محیط زیست در کنار فعالیت های تولیدی کشاورزی و صنعتی از اهمیت فراوانی برخوردار است. رفع آلودگی محیط زیست و ایجاد محیط زیست پایدار دغدغه اصلی کلیه انسان های روی زمین است. خوشبختانه با استفاده از فناوری زیستی و توانایی های موجود در طبیعت میزان صدمه به محیط زیست را می توان به حداقل رساند. گیاه پالایی روشی پالایشی است که شامل جذب، تغییر شکل، تجمع و یا تصعید آلاینده ها با کمک گیاهان می باشد. از این روش برای زدودن آلودگی های آب، خاک و هوا استفاده می شود. این فناوری می تواند برای رفع هر دو نوع آلاینده خاک یعنی معدنی و آلی بکار رود. در روش گیاه پالایی، گیاهان بر اساس سازوکار جذب طبقه بندی می شوند و آلودگی خاک به فلزات سنگین به کمک روش های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی کاهش داده می شود. با فناوری زیستی و تولید گیاهان تراریخته توانسته اند مسیر تولید بعضی آنزیم ها را در گیاهان به نحوی تغییر دهند که مواد سمی موجود در گیاه به ترکیبات مفید و قابل استفاده، تبدیل شده و به محیط زیست نیز آسیبی نمی رساند.

واژه های کلیدی: محیط زیست پایدار، گیاه پالایی، آلودگی، فلزات سنگین

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 باتری‌های 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). در فن‌آوری 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 فن‌آوری زیستی 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).

تعريف زيست فناوري

به طور كلي زيست فناوري را مي توان علم استفاده از موجودات زنده يا عوامل زيستي (موجودات زنده ذره بيني، ياخته هاي گياهي و جانوري، آنزيم ها و ...) براي توليد کالا و خدمات در کشاورزي، صنايع غذايي، دارويي، پزشكي و ساير صنايع تعريف كرد. اما آنچه امروزه به عنوان زيست فناوري مدرن از آن ياد مي شود در واقع استفاده از فناوري دي. ان. اي نو تركيب در توليد انواع موجودات ذره بيني زنده و يا گياهان با صفات برتر نسبت به ارقام زراعي معمول و يا صفات ويژه كه نقش خاصي در طبيعت دارند و با ارزش افزوده بيشتر نسبت به آنها است (۱۹ و ۱۶).

توسعه پايدار

در سال ۱۹۹۲ در كنفرانس زمين توسعه پايدار به عنوان رفع نيازهاي نسل حاضر بدون مصالحه با نسل هاي آينده در باره نيازهاي آنها تعريف شد. منظور از توسعه پايدار توليد همگام و همراه با طبيعت و با ديدگاه دوستدار و سازگار با محيط زيست و با كمترين اثرهاي سوء و يا تهديد براي اكوسيستم هاي طبيعي و نسل هاي آينده است. واژه توسعه پايدار كنفرانس ريو در سال ۱۹۹۲ در محافل علمي فراگير شد (۱۵). محيط زيست پايدار جزئي از توسعه پايدار است كه محيط زيست موجود را بدون صدمه و نابودي در جهت رفع نيازهاي انسان مورد بهره برداري قرار گيرد. و براي حيات نسل هاي آينده حفظ شده و پاسخ نيازهاي آنها را بدهد. به عنوان مثال يكي از نتايج برجسته كنفرانس ريو، كنوانسيون تنوع زيستي بود. اين كنوانسيون بين المللي از كليه اعضا مي خواهد كه در حفظ تنوع زيستي و بهره برداري پايدار و غير مخاطره آميز از آن و همچنين مشاركت

عادلانه در منافع حاصل از تنوع زيستي با هم همكاري كنند. بر اساس آمار سازمان هاي جهاني، زندگي ۲/۱ ميليارد نفر از فقيرترين مردم جهان به طور مستقيم يا غير مستقيم به منابع طبيعي وابسته است. به عنوان مثال بر اساس آمار بانك جهاني بيش از دو ميليارد نفر در جهان به طب سنتي و گياهان دارويي متكي هستند. بنابراين حفظ تنوع زيستي و به ويژه گونه ها بايد به عنوان جزء لاينفك حفظ سلامت محيط زيست انساني و عنصر حياتي در بهبود وضعيت اقتصادي كلي جوامع در نظر گرفته شود. محيط زيست پايدار زمينه هاي مختلفی از جمله: اثر گازهاي گلخانه اي، تغييرات آب و هوايي، تخریب زمين، تخریب لايه ازن، کاهش منابع غير تجديد پذير، آلودگي هوا و خاك شهرها و روستاها و را مورد توجه قرار مي دهد (۱۶).

گياه پالايي

گياه پالايي با استفاده از مهندسي گياهان سبز شامل گونه هاي علفي و چوبي براي برداشت مواد آلاينده از آب و خاك يا کاهش خطرات آلاينده هاي محيط زيست نظير فلزات سنگين، عناصر كمياب، تركيبات آلي و مواد راديو اکتيو به كار برده مي شود. لجن هاي بوجود آمده از واحد پساب پالايشگاه ها از جمله مهم ترين آلاينده هاي محيط زيست مي باشند كه دفن كردن و سوزاندن آنها اثرات خطرناكي بر محيط زيست و سلامت انسان مي گذارد. بنابراين بايد از روش هايي كه سبب کاهش اثرات سمی لجن هاي حاوی مواد هیدروکربنی می- شوند، استفاده نمود. به همین منظور گياه پالايي تركيبات آلي لجن جهت کاهش يا حذف هیدروکربن هاي نفتي خاك موثر است (۱۴). در ميان آلاينده هاي شيميايي، فلزات سنگين به لحاظ تاثيرهاي اکولوژيكي، بيولوژيكي و بهداشتي از

گاو پونه، جاز، درمنه دشتی، شاه تره و جوسرخ می باشد. 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 می دهد. آفتابگردان پتانسیل استخراج گیاهی بالاتری نسبت به بسیاری از گیاهان دارد (۱۱ و ۱۲).

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

اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. بهره‌گیری از گیاهان برای استخراج فلزات سنگین از خاک روشی نو و امیدبخش برای به سازی خاک می باشد و اصطلاحاً گیاه به سازی نامیده می شود. این روش فوراً و با کمترین دست خوردگی خاک قابل انجام است و به دلیل طبیعی بودن با محیط زیست 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 محیط زیست را خطرناک ساخته است. افزایش شدید و ناگهانی سطح این ترکیبات که تحت تأثیر فعالیت های بی رویه صنعتی و کشاورزی در محیط زیست می باشد. بررسی میزان فلزات سنگین و عناصر رادیواکتیو در خاک و گیاهان از مباحث مهم در سلامت انسان و اکوسیستم بشمار می رود. از مزیت های روش گیاه پالایی می توان به سادگی، ارزان بودن، امکان بهره برداری در سطح وسیع و کم خطر بودن نام برد. انتخاب گیاه مناسب در این روش بستگی به شرایط اقلیمی، میزان و نوع آلودگی، دامنه تحمل پذیری گیاه نسبت به آن ماده، نوع ماده و انتقال عنصر از ریشه به اندام هوایی دارد (۶ و ۸). برای به سازی خاک می توان با استفاده از کاشت گونه های خاص مرتعی، گیاه پالایی انجام داد. گیاهان با توانایی جذب بالا اغلب از خانواده های *Fabaceae*, *Brassicaceae*, *Asteraceae*, *Poaceae* هستند. تعدادی از گونه های مرتعی که خاصیت گیاه پالایی آنها مطالعه شده است، شامل گون، کلاره میرحسین، فستوکا، یونجه، شبدر سفید، قدومه،

جدول ۱- تعدادی از گونه‌های گیاهی بیش‌اندوز طبیعی

خانواده	گونه گیاهی	فلز
Araceae	<i>Pistia stratiotes</i>	نقره، کادمیوم، کروم، مس، جیوه، نیکل، سرب و روی
Asteraceae	<i>Helianthus indicus</i>	سرب
Fabaceae	<i>Sesbania drummondii</i>	سرب
Araceae	<i>Lemna gibba</i>	آرسنیک
Brassicaceae	<i>Alyssum</i>	نیکل
Solanaceae	<i>Solanum nigrum</i>	کادمیوم
Brassicaceae	<i>Thlaspi caerulescens</i>	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 فعالیت‌های کشاورزی مانند استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی، کاربرد طولانی مدت فاضلاب شهری در اراضی کشاورزی، فعالیت‌های صنعتی، دفن پسماندها، 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 پالایی، بسیار هزینه بر است.

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 و ۹). 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

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 تراکم 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):

نیلوفرآلی (*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 اکوسیستم، 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 تأثیرات 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 و حیوانات 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).

ورود فلزات سنگین از منابع طبیعی و انسان ساخت به محیط زیست، بسیار فراتر از میزانی است که به وسیله فرآیندهای طبیعی برداشت می شوند. بنابراین تجمع فلزات سنگین در محیط زیست قابل ملاحظه است. اگرچه فلزات سنگین می توانند به طور طبیعی و از طریق حوادثی سنگ ها و کانی ها و طی فرآیند خاک سازی در خاک تجمع یابند، ولی این منبع طبیعی در مقایسه با آلودگی ناشی از فعالیت های انسان از جمله احداث کارخانجات صنعتی، استخراج معدن سوخت های فسیلی، مصرف کودهای شیمیایی و آلی، فاضلاب های صنعتی، رنگ سازی، سوخت خودرو و صنایع ذوب فلزی دارای اهمیت کمی می باشد (۴ و ۳۰). به علاوه فلزات سنگین در معرض فرآیند تخریب نبوده و در محیط زیست باقی می ماند و نیز تمام فلزات سنگین در غلظت های بالا سمیت شدیدی ایجاد کرده و جزء آلاینده ها در نظر گرفته می شود (۲۰). از این رو در سال های اخیر تلاش های زیادی در راستای یافتن روشی برای حذف فلزات سنگین از خاک صورت گرفته که گیاه پالایی یکی از این یافته ها است (۱۹). اولین اثرات آلودگی به فلزات در یک اکوسیستم، وجود فلزات سنگین در بیوماس یک منطقه آلوده است که سلامت انسان را به مخاطره می اندازد. تجمع فلزات سنگین در آب، هوا و خاک، یک مشکل زیست محیطی بسیار مهم می باشد (۱۳).

حضور فلزات سنگین بیش از استانداردهای تعریف شده در محیط باعث بروز مشکلات و عوارض زیست محیطی برای ساکنان آن محل و اکوسیستم می گردد. تأثیرات فلزات سنگین روی انسان مختلف بوده و عمده ترین آن مربوط به بروز اختلال عصبی است. یکی از اساسی ترین مسئله در ارتباط با فلزات سنگین متابولیسم شدن آنها در بدن می باشد

در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن دیگر از بدن دفع نشده بلکه در بافت هایی مثل چربی، عضلات، استخوانها و مفاصل رسوب کرده و انباشته می گردند که همین امر موجب بروز بیماری ها و عوارض متعددی در بدن می شود. فلزات سنگین همچنین جایگزین دیگر املاح و مواد معدنی مورد نیاز در بدن می گردند. مثلاً در صورت کمبود روی در مواد غذایی کادمیوم جایگزین آن می گردد. به طور کلی اختلالات عصبی (پارکینسون، آلزایمر، افسردگی، اسکیزوفرنی)، انواع سرطان ها، فقر مواد مغذی، بر هم خوردن تعادل هورمون ها، چاقی، سقط جنین، اختلالات تنفسی و قلبی، عروقی آسیب به کبد، کلیه ها، مغز، آلرژی و آسم، اختلالات غدد درون ریز، عفونت های ویروسی مزمن، کاهش آستانه تحمل، اختلال در عملکرد آنزیم ها تغییر در عملکرد آنزیم ها، تغییر در سوخت و ساز، ناباروری، کم خونی، خستگی، تهوع و استفراغ، سردرد و سرگیجه، تحریک پذیری، تضعیف سیستم ایمنی بدن، تخریب ژن ها، پیری زودرس، اختلال های پوستی، کاهش حافظه، بی اشتها، التهاب مفاصل، ریزش مو، پوکی استخوان و در موارد حاد مرگ از نتایج اثرات ورود فلزات سنگین به بدن انسان می باشد. 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 می کنند، خطرات ناشی از آنها را دو چندان ساخته و تأثیرات اکولوژیکی زیادی را بر جا می گذارد (۲۵ و ۳۱).

فلزهای سنگین در خاک

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

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.

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).

جدول ۲- 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 کلروفیل ATP کاهش سمیت نیکل و جوانه زنی بذر - افزایش رشد گیاه و نسبت

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).

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

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 سانتی گراد)

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

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 می‌گردانند و گیاهانی که می‌توانند فلزها را در اندام‌های 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 نرم کردن 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

فعاليت و تنوع ريزجانداران خاک و ارتقاي سلامت اکوسيستم‌ها مي‌گردد (۳۷).

نگراني‌هاي مرتبط با فن‌آوري گياه پالايي يکي از مهم‌ترين نگراني‌هاي مربوط به فن‌آوري گياه پالايي، شامل سرعت پايين اين فرايند در مقايسه با روش‌هاي فزيکي و شيميايي اصلاح خاک‌هاي آلوده مي‌باشد. ممکن است که پاکسازي يک مکان آلوده توسط گياهان، به دليل رشد آهسته‌ي آنها که وابسته به محدوديت‌هاي اقليمي و تنوع‌هاي گونه‌اي است، نيازمند فصول رشد زيادي باشد. گياهان بيش‌اندوزي که داراي ريشه‌هاي کم عمق هستند تنها قادر به پاکسازي خاک يا منابع آب سطحي مي‌باشند. اما نمي‌توانند از عهده پاکسازي از عهده‌ي پاکسازي و اصلاح سفره‌هاي آب زير زميني و افق‌هاي عميق خاک برآيند (۳۶). خطر آلوده شدن زنجيره‌هاي غذايي توسط گياهان جذب کننده‌ي مواد سمی نیز وجود دارد، چرا که ممکن است حيوانات ساکن در منطقه‌ي آلوده از اين گياهان تغذيه نمايند (۳۵). به دليل چسبیدن شديد آلاينده‌هاي آب گريز به ذرات خاک، روش استخراج گياهي کمتر در مورد آنها مؤثر است (۳۴). از طرف ديگر، تبخير ترکيبات آلاينده مي‌تواند معضل آلودگي آب و يا خاک را به معضل آلودگي هوا تبديل نمايد. اما بزرگ‌ترين نگراني مربوط به گياه پالايي آن است که پس از برداشت گياهان آلوده‌ي غني از فلز سرنوشت آنها چگونه بايد باشد؟ ممکن است تجزيه‌ي زبستي گياهان آلوده و يا استفاده از آنها، مجدداً آلودگي را به طور کامل يا جزئي به خاک بازگرداند (۳۵). پاسخ اي سوال همچنان نامشخص است.

فرايند از گياهان سبز و ارتباط آنها با ميكروارگانيسم‌هاي خاک براي کاهش آلودگي خاک و آب‌هاي زيرزميني استفاده مي‌گردد (۱۵ و ۵).

مزايای و مضرات فن‌آوري گياه پالايي

مهم‌ترين مزيت استفاده از گياهان به منظور پاکسازي محيط زيست، شامل بهره‌برداري از صفات ذاتي آنها نظير زيست توده‌ي فراوان، سيستم ريشه‌اي گسترده، توانايي تحمل تنش‌هاي محيطي و غيره مي‌باشد. گياه پالايي از لحاظ زيبايي خوشايند و مطبوع است و محيط‌زيست را سبز و پاک مي‌کند. از آن جايي که گياه پالايي به صورت درجا باعث پاکسازي آلودگي‌ها مي‌شود، به حرکت در آمدن آن توسط نور خورشيد صورت مي‌پذيرد و پس از کاشت گياه به حداقل عمليات داشت و نگاه‌داري نياز دارد، هزينه‌ي آن به طور ميانگين نسبت به ساير روش‌هاي فزيکي، شيميايي يا حرارتي کمتر است (۲۶). گياهان روشي پايدار، درجا، غيرمخل، خودکفا و مستقل را به منظور پاکسازي آلاينده‌ها از خاک را فراهم مي‌آورند. حضور گياهان در مکان آلوده، فرسايش آبي و بادي خاک را نيز کاهش مي‌دهيد. با استفاده از روش استخراج گياهي مي‌توان فلزات گرانبها و مواد با ارزش ديگر را از خاک جمع‌آوري و بازيافت نمود و اين امر موجب مي‌شود که فرايند استخراج گياهي از لحاظ اقتصادي براي سرمايه‌گذاران سودبخش و ترغيب کننده باشد (۳۶). به علاوه، گياهاني که در فرايند زيست پالايي مورد استفاده قرار مي‌گيرند، خاک سطحي را آشفته نمي‌کنند و بنابر اين سبب حفظ سودمندی و کارايي آن نيز مي‌گردند (۳۲). گياه پالايي از تخریب مناظر طبيعي جلوگیری نموده و موجب افزایش

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، همی سلولز، 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 و ۳۵).

نتیجه‌گیری

گیاه پالایی برای پاک کردن محیط‌زیست مخصوصاً خاک از آلاینده‌های محلول، روشی بسیار مناسب و بصره 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.

سپاسگزاری

اين مقاله با حمايت مالي دانشگاه پيام نور تهيه شده است و کليه حقوق مادي و معنوي آن متعلق به دانشگاه پيام نور مي باشد.

References

منابع مورد استفاده:

۱. آزمون م.ج.، سيدمحمد رضا ا. (۱۳۹۰). پوشش گياهي روشي براي کاهش آلايندگي ضايعات صنعتي، اولين کنگره ملي شيمي نوين ايران، ۱۴-۱۵.
۲. باشگاه مهندسان ايراني (۱۳۹۱). گياه پالايي، سايت اينترنتي www.iran-eng.com
۳. بانک مقالات کشاورزي (۱۳۹۱). گياه پالايي در پاکسازي فلزات سنگين www.Giahteshne.Persianblog.ir
۴. خسروي ف.، ثواقبي ع.، فرحبخش ح. (۱۳۸۸). اثر کلريد پتاسيم بر جذب کادميوم توسط کلزا آفتاب گردان در يک خاک آلوده، نشریه آب و خاک (علوم و صنايع کشاورزي) ج ۲۳. شماره ۳. ص ۲۸-۳۵.
۵. رحيمي درآباد غ.، مرتضي ب.، اسدي ش. (۱۳۹۰). استفاده از نانو تکنولوژي در رابطه با گياه پالايي، اولين همایش ملي گياه پالايي، کرمان، مرکز بين المللي علوم و تکنولوژي پيشرفته و علوم محيطي.
۶. رضواني م.، نورمحمدی ق.، زعفریان، ف. (۱۳۸۸). پاکسازي مواد آلاينده خاک، آب های زیرزميني و هوا به وسيله گياهان (Phytoremediation) ويژه نامه علمي-پژوهشي علوم کشاورزي، سال يازدهم، شماره ۱، صفحه ۲۴-۲۷.
۷. زنگي آبادي س. (۱۳۹۰). تکنولوژي گياه پالايي در پاکسازي آلودگي های خاک، اولين همایش ملي گياه پالايي، کرمان، مرکز بين المللي علوم و تکنولوژي پيشرفته و علوم محيطي.
۸. صفاري م. (۱۳۹۰). اصلاح خاک های آلوده به فاضلاب به روش گياه پالايي، اولين همایش ملي گياه پالايي، کرمان، مرکز بين المللي علوم و تکنولوژي پيشرفته و علوم محيطي.
۹. ضرابي، ا.، مهري ا. (۱۳۸۰). توسعه پايدار در جهان صنعتي و در حال توسعه، تهران، مجله رشد آموزش جغرافيا، شماره ۵۹.
۱۰. عسگري م.، نوري م.، بيگي ف.، اميني ف. (۱۳۹۰). ارزيابي گياه پالايي افاقيا در خاک های آلوده به نفت خام با تاکيد بر برخي فلزات سنگين. مجله سلول و بافت. جلد ۲. شماره ۴. ص ۴۳۵-۴۴۲.
۱۱. کریمی ا.، حسيت ب. و شهبازی س. (۱۳۹۱). کاربرد گياهان پالايينده در احياي بيابان، اولين همایش ملي بيابان.
۱۲. مهرباني گ.، موسي نژاد ا. و موسي نژاد م. (۱۳۹۰). استفاده از گياهان جهت رفع آلودگي خاک ها، اولين همایش ملي گياه پالايي، کرمان، مرکز بين المللي علوم و تکنولوژي پيشرفته و علوم محيطي.

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 موسی نژاد 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 محیط زیست. شماره ۲۳. ص. ۳۵-۴۹.
۱۹. نسیم 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 pseudometallophytic 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 remediation of xenobiotic Pollutants, *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 Contaminated 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 (II) and Manganese. (2002). *Environmental Toxicology*. <http://www.Ciuiin.org/download/remediation/phyto>. 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 hance*, *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.

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>.