فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری
دوره ۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹
صفحات ۱۹-۲۸
ISSN: 2476-5082
www.uctjournals.com

بررسی حذف فلزات سنگین از خاک های آلوده با تکنیک گیاه پالایی

ایوب رزمجو
کارشناسی ارشد رشته شیمی تجزیه

چکیده

فلزات سنگین که سرب، آلومینیوم، جیوه، مس، کادمیوم، مس، نیکل و آرسنیک را شامل می‌گردد ابتدا توسط فیتوپلانکتونها، باکتریها، قارچها و ارگانیسمهای کوچک دیگر جذب شده و سپس به ترتیب توسط موجودات بزرگتر خورده و در نهایت به راحتی از طریق مصرف محصولات کشت شده در خاکهای آلوده، به زنجیره غذایی مصرف کنندگان وارد شده و سلامت انسان‌ها و حیوانات را به خطر می‌اندازد .برخی فلزات به مقدار ناچیز برای عملکرد طبیعی بدن ضروری می‌باشند اما ورود بیش از اندازه آنها به بدن مسمومیت ایجاد خواهد کرد. ایراد اصلی فلزات سنگین این می‌باشد که در بدن متابولیزه نمی‌گردند. در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن دیگر از بدن دفع نشده و در بافتهای بدن انباشته می‌گردند. 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. از جمله مهمترین مضرات فلزات سنگین اختلالات عصبی (پارکینسون، 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 و مغز، آلرژی و آسم، اختلالات غدد درون ریز، عفونتهای ویروسی مزمن، کاهش آستانه تحمل بدن، اختلال 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، اختلالات پوستی، کاهش حافظه، بی‌اشتهایی، التهاب مفاصل، ریزش مو، پوکی استخوان، بی‌خوابی و مرگ می‌باشد. تکنیک‌های بسیاری جهت پاکسازی خاکهای آلوده به فلزات سنگین گسترش یافته‌اند. در میان این تکنیک‌ها استخراج گیاهی (گیاه‌پالایی) بعنوان یک روش پاکسازی مؤثر و ارزان عرضه شده است که در آن جذب و جمع‌آوری آلاینده‌ها در بافت‌های قابل برداشت گیاهی مد نظر می‌باشد .

کلید واژه: گیاه‌پالایی،فلزات سنگین،خاک

مقدمه

تکنولوژی‌های جدید، همراه با یک سری مشکلات محیطی از جمله آلودگی خاک، آب و هوا است. برخلاف آب و هوا، آلودگی خاک از نظر ترکیبات شیمیایی به آسانی قابل اندازه‌گیری نبوده و با توسعه طرح‌های متعدد و آلوده شدن خاک بوسیله فلزات سنگین ساختار خاک برای رشد و توسعه گیاهان مسموم وخطرناک می‌شود و تنوع زیستی خاک را بهم می‌زند (۵). فلزات سنگین که سرب، آلومینیوم، جیوه، مس، کادمیوم، مس، نیکل و آرسنیک را شامل می‌گردد ابتدا توسط فیتوپلانکتونها، باکتریها، قارچها و ارگانیسمهای کوچک دیگر جذب شده و سپس به ترتیب توسط موجودات بزرگتر خورده و در نهایت به راحتی از طریق مصرف محصولات کشت شده در خاکهای آلوده، به زنجیره غذایی مصرف کنندگان وارد شده و سلامت انسان‌ها و حیوانات را به خطر می‌اندازد (۱ و ۶). برخی فلزات به مقدار ناچیز برای عملکرد طبیعی بدن ضروری می‌باشند اما ورود بیش از اندازه آنها به بدن مسمومیت ایجاد خواهد کرد. ایراد اصلی فلزات سنگین این می‌باشد که در بدن متابولیزه نمی‌گردند. در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن دیگر از بدن دفع نشده و در بافتهای بدن انباشته می‌گردند. 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. از جمله مهمترین مضرات فلزات سنگین اختلالات عصبی (پارکینسون، 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 و مغز، آلرژی و آسم، اختلالات غدد درون ریز، عفونتهای ویروسی مزمن، کاهش آستانه تحمل بدن، اختلال 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، اختلالات پوستی، کاهش حافظه، بی‌اشتهایی، التهاب مفاصل، ریزش مو، پوکی استخوان، بی‌خوابی و مرگ می‌باشد (۱۰-۶). تکنیک‌های بسیاری جهت پاکسازی خاکهای آلوده به فلزات سنگین گسترش یافته‌اند. در میان این تکنیک‌ها استخراج گیاهی (گیاه‌پالایی) بعنوان یک روش پاکسازی مؤثر و ارزان عرضه شده است که در آن جذب و جمع‌آوری آلاینده‌ها در بافت‌های قابل برداشت گیاهی مد نظر می‌باشد (۱۶-۱۱). در این روش با برداشت گیاهان از خاک، آلاینده‌ها از خاک زدوده می‌شوند (۱۲). در اراضی کشاورزی آلوده به فلزات سنگین، انتخاب گیاهان زراعی متحمل به فلزات، جهت برداشت آلاینده‌ها از خاک می‌تواند یک استراتژی جدید برای مدیریت اراضی باشد. تعدادی از گونه‌های انباشتگر کادمیوم که بر اساس نتایج حاصل از آزمایشات هیدروپونیک و گلدانی گزارش شده‌اند گونه‌های با توده زیستی بالا شامل ذرت، آفتابگردان و خردل هندی برای پالایش مناطق آلوده به فلزات سنگین می‌باشند (۲۳-۱۷). برای پالایش مناطق آلوده به فلزات سنگین و دیگر آلاینده‌ها، روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پیشنهاد شده است که عمدتاً پرهزینه و غیراقتصادی می‌باشند. گیاه‌پالایی تکنیک پالایش در محل خاک، آب و رسوبات آلوده است که اقتصادی، دوستدار محیط زیست و در حال گسترش است (۲۶-۲۴). روش‌های معمول برای خروج فلزات سنگین از خاک‌های آلوده عموماً پرهزینه بوده و هم‌چنین سبب تغییرات در بعضی از ویژگی‌های خاک مانند ساختمان، مواد آلی و جمعیت ریزموجودات خاک می‌شوند (۲۷). بعضی از گونه‌های اختصاصی گیاهان می‌توانند فلزات سنگین را به اندام هوایی انتقال دهند (۲۸). به طور کلی برای انتخاب یک گیاه برای هدف گیاه‌پالایی خاک باید قدرت جذب بالای گیاه، تولید زیست توده بالا و انتقال زیاد عنصر از ریشه به ساقه مد نظر قرار بگیرد (۳۱-۲۹). گیاه آفتابگردان از خانواده asteraceae و با نام علمی helianthus annus می‌باشد. گیاهی است مخصوص مناطق نیمه گرمسیر تا گرمسیر که حساسیت زیادی به خاک ندارد و در هر نوع خاکی می‌تواند رشد کند. این گیاه در خاکهای شنی رسی یا رسی شنی با واکنش ۷ معمولاً بهترین محصول را به بار می‌آورد و در برابر شوری خاک مقاومتی بسیار اندک دارد. قدرت سازش آفتابگردان با محیط زیاد است و به استثنای زمین‌های باتلاقی که قبل از کشت این گیاه حتماً باید زهکشی شوند، در اکثر خاکها و آب و هواهای مختلف رشد می‌کند (۳۳-۳۲).

گیاه‌پالایی:

تکنیک پالایشی است که شامل جذب، تغییر شکل، تجمع و یا تصعید آلاینده‌ها با کمک گیاهان برای زدودن آلودگی‌های آب، خاک و هوا می‌باشد. این روش را برای زدودن آلودگی‌های نفتی نیز بکار می‌برند. گیاه‌پالایی با استفاده از مهندسی گیاهان سبز

شامل گونه‌های علفی و چوبی برای برداشت مواد آلاینده از آب و خاک یا کاهش خطرات آلاینده‌های محیط زیست نظیر فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو به کار برده می‌شود (۳۶-۳۵). مهم‌ترین ترکیبات معدنی آلاینده فلزات سنگین بوده و میکروارگانیسم‌های خاک قادر به تجزیه آلاینده‌های آلی هستند، اما برای تجزیه میکروبی فلزات نیاز به آلی شدن یا تغییرات فلزی آنها وجود دارد که امروزه از گیاهان برای این بخش استفاده می‌شود. خاک علاوه بر این که پایگاه موجودات خشکی‌زی بویژه جوامع انسانی است، محیط منحصر به فردی برای زندگی انواع حیات بخصوص گیاهان به شمار می رود. با توسعه طرح‌های انسان‌ساخت و آلوده شدن خاک‌ها به وسیله فلزات سنگین، ساختار خاک برای رشد و توسعه گیاهان مسموم و خطرناک می‌شود و تنوع زیستی خاک را نیز بهم می‌ریزد. در روش گیاه‌پالایی، گیاهان براساس مکانیسم جذب طبقه‌بندی و آلودگی خاک به فلزات سنگین به کمک روش‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی کاهش داده می‌شود. براساس تحقیقات دفتر بررسی آلودگی آب و خاک سازمان حفاظت محیط زیست، رفع آلودگی خاک معمولاً با ۲ روش خارج از محل و در محل صورت می‌گیرد (۳۶-۳۵). در روش خارج از محل، خاک آلوده به مکان دیگری انتقال یافته و پس از رفع آلودگی به مکان اولیه برگردانده می‌شود. در روش دیگر که نیاز به جابه‌جایی و انتقال ندارد آلاینده‌ها با آلی شدن، از قابلیت جذب زیستی آنها کاسته می‌شود. برای کاهش آلودگی آلاینده‌های معدنی در خاک می‌توان از روش‌های آلی کردن، کمپلکس کردن و افزایش خاک بوسیله آهک استفاده کرد اما بیشتر این روش‌ها گران بوده و سبب تخریب محیط زیست می‌شوند. در فناوری استفاده از گیاهان با عنوان گیاه‌پالایی، از گیاهان سبز و ارتباط آنها با میکروارگانیسم‌های خاک برای کاهش آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. این فناوری می‌تواند برای رفع هر دو نوع آلاینده خاک یعنی معدنی و آلی به کار رود. کاربرد تکنیک‌های فیزیکوشیمیایی سبب از میان رفتن میکروارگانیسم‌های مفید خاک مانند تثبیت کننده‌های نیتروژن میکروریزا می‌شود که در نتیجه فعالیت‌های بیولوژیکی خاک را ضعیف می‌کند و در مقایسه با تکنیک گیاه‌پالایی بسیار هزینه‌بر است. در روش ریزوفیلتراسیون از گیاهان خاکی و آبی استفاده می‌شود که آلاینده‌های منابع آبی آلوده با غلظت کمتر در ریشه‌هایشان 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 (۳۶-۳۵). آنها دارای قدرت جذب سرب از فاضلاب هستند که در این میان، آفتابگردان بیشترین قدرت و توانایی را دارد. در روش دیگری با استفاده از قدرت ریشه، محدود کردن تحرک و قابلیت دسترسی آلاینده‌ها در خاک صورت می‌گیرد. این روش معمولاً برای کاهش آلودگی در خاک، رسوب و لجن استفاده می‌شود و از طریق جذب، رسوب، کمپلکس و یا کاهش ظرفیت انجام می‌پذیرد. در روش تبخیر گیاهی گیاهان آلاینده‌ها را از خاک جذب و سپس به بخار تبدیل کرده و با عمل تعرق به اتمسفر انتقال می‌دهند. این روش در درختان در حال رشد برای جذب آلاینده‌های آلی و معدنی کاربرد دارد. در روش دیگری که به نام کاهش گیاهی معروف است گیاه با متابولیسم خود از طریق انتقال، تجزیه، تثبیت و تصعید ترکیبات آلاینده به برطرف کردن آلودگی از خاک و آب های زیرزمینی کمک می‌کند. در این روش، ترکیبات آلی به مولکول های ساده‌تر شکسته شده که می‌تواند به درون بافت گیاه وارد شود (۳۶-۳۵).

کاربردهای phytoextraction:

۱. پاک‌سازی محیط‌های آلوده:

حدود سال ۱۹۸۰ کاربردی تحت عنوان phytoremediation برای گیاهان ابرجاذب ارائه شد. این روش که اولین بار توسط دانشمندان آمریکایی و اروپایی گزارش شد شامل استفاده از گیاهان و جمعیت میکروارگانیسم‌های اطراف ریشه آنها برای جذب آلوده کننده‌ها و کاهش آنها از محیط می‌باشد. امروزه قابلیت رشد و جذب فلزات سنگین در محیط‌های شدیداً آلوده در تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی به اثبات رسیده است و گونه‌های زیادی از گیاهان، Thlaspi sp، Brassica juncea، Salix spp، Populus spp، Helianthus هم اکنون در حال استفاده تجاری یا گذراندن مراحل آزمایشی برای استفاده در پاک‌سازی محیط می‌باشد (۳۹). در این روش گیاهان ابرجاذبی که جزو گیاهان زراعی می‌باشند برای خاک‌های آلوده یا غنی از یک یا چند فلز استفاده می‌شود تا این مواد را در اندام‌های هوایی خود طی دوران رشد و نمو ذخیره کنند. این گیاهان جمع‌آوری و سوزانده

می‌شوند و خاکستر حاصل که غنی از مواد مذکور است دفع می گردد. از این روش برای پاک‌سازی برخی از نقاط دنیا از آلودگی استفاده می‌شود. البته امروزه از تکنولوژی های مختلف و پیشرفته‌ای برای پاک‌سازی آلودگی‌های آب و خاک استفاده می‌شود که هزینه بالا، نیازمند نیروی کار بالا و در مورد خاک نیز مشکلات زیادی را بوجود می‌آورند (۳۹).

۲) استخراج فلزات کمیاب:

از گیاهان می توان برای استخراج فلزات کمیاب و دارای ارزش اقتصادی مانند طلا، نقره، پلاتینیوم و پالادیوم نیز استفاده یا استخراج فلزات نمود. این روش امروزه با نام phytomining توسط گیاهان شناخته می‌شود .گیاهان برای جذب فلزات دارای یک مکانیسم خاص فیزیولوژیک می‌باشند. آنها با ترشح ترکیبات کلاته شده از ریشه موجب افزایش انحلال فلز شده و جریان انتقال فلز محلول به سمت دیواره ریشه را تسهیل می‌کنند. قابلیت جذب طلا توسط گیاهان از چند صد سال پیش شناخته شده است. اما گیاهی که بتواند آن را در غلظت بالا جذب کند شناخته نشده بود که علت آن مربوط به قابلیت انحلال پایین فلز طلا در محلول خاک است. برخی از گیاهان به طور طبیعی موادی از خود ترشح می‌کنند که می‌تواند فلز طلا را به صورت محلول د آورد ولی اغلب گیاهان چنین خاصیتی ندارند. در استفاده از گیاهان برای استخراج طلا از مواد شیمیایی استفاده می‌گردد این مواد زمانی استفاده می‌شوند که گیاه به حداکثر رشد و ماده خشک خود رسیده باشد و دارای با لاترین تعرق باشد (۳۹).

۴) Phytovolatilizatio: این روش شامل کاربرد گیاهان برای جذب آلودگی ها از خاک، تغییر شکل آنها به فرم فرار و وارد کردن آنها به اتمسفر می‌باشد. این روش در ابتدا برای برداشت جیوه بکار رفت. در این روش جیوه یونی به شکل جیوه فلزی که سمیت کمتری دارد تبدیل می‌شود. اشکال این روش این است که جیوه رها شده به اتمسفر مجدداً بوسیله بارندگی وارد چرخه اکوسیستم می‌شود (۳۸-۳۷).

۵) Phytodegradation: این روش شامل شکست مولکولهای آلی جذب شده توسط گیاه به مولکولهای ساده تر می‌باشد . گیاهان دارای آنزیم‌های بی‌نظیر دی‌مالوژناز، اکسیژنازها و ردوکتازها هستند که می توانند فرایند شکست و تبدیل را انجام دهند (۳۸-۳۷). فلزات سنگین اغلب به شکل یونی، کمپلکس و کلات‌های آلی غیره یونیزه می‌باشند. حلالیت این فلزات در خاک توسط PH، مقدار فلز، ظرفیت تبادل کاتیونی، محتوای کربن آلی، وضعیت اکسیداسیون ترکیبات معدنی و پتانسیل ردوکس سیستم کنترل می‌شود. با افزایش PH حلالیت کاتیو های فلزی کاهش می‌یابد. تحت شرایطی PH قلیایی و نزدیک خنثی که در اغلب خاک‌ها دیده می‌شود. فلزات کاتیونی به شدت به بخش دسی جذب سطحی شده و می‌تواند بوسیله اکسیدهای آبدار آهن، آلومنیوم یا منگنز موجود در خاک جذب سطحی شود (۳۸-۳۷).

عوامل موثر بر گیاه‌پالایی:

مهمترین عوامل در موفقیت گیاه‌پالایی به عنوان یکی از فن‌آوری‌های موجود در تمیز کردن محیط زیست شامل: توانایی حذف زیستی فلزات در خاک، توانایی گیاه در جذب، انتقال و تجمع فلزات سنگین در اندام‌ها و ریشه گیاه و فعل و انفعالات میکروبی گیاه می‌باشد. متأسفانه به نظر می‌رسد، مکانیسم‌های اساسی بیولوژیکی رفع آلودگی گیاه هنوز به طور کامل مورد شناسایی قرار نگرفته‌اند و هنوز اطلاعات بسیاری در مورد فرآیندهای مؤثر در نحوه رفع آلودگی ناشناخته باقی مانده است (۴۳-۴۰).

مزایا و معایب گیاه‌پالایی:

این روش نیز مانند بسیاری از روش‌های دیگر مزایا و معایبی دارد که در اینجا به چند نمونه مهم آن اشاره شده است. از مهمترین مزایای این روش ارزان بودن، ایجاد شرایط مناسب برای رشد و استقرار گیاه، افزایش فعالیت‌های طبیعی پاک‌سازی، تغیر نکردن حاصل‌خیزی خاک بعد از برداشت فلزهای سنگین و دست‌خوردگی کم خاک، قابل استفاده برای ترکیبات آلی و معدنی متنوع، کاربردهای In-situ مقدار تخریب خاک را درمقایسه با روش‌های معمولی کاهش می‌دهد، کاربردهای In-situ گسترش آلودگی از طریق آب وهوا را کاهش می دهد، عدم نیاز به تجهیزات گران‌قیمت و افراد متخصص، ایجاد انرژی حرارتی درحجم وسیع با استفاده از انرژی پتانسیل ذخیره شده، همچنین حضور پوشش گیاهی در سطح خاک مانع از فرسایش و هدررفت خاک و ایجاد گرد و غبار می‌شود (۳۸-۳۷). از مشخص ترین معایب این روش محدود به سایت های آلوده با عمق کم، زمان‌بر بودن آن (چندین سال طول می‌کشد تا یک سایت آلوده اصلاح شود)، محدود به سایت‌ها با آلودگی پائین می‌باشد،

بیومس گیاهان تجمع کننده فلزات جز مواد زائد خطرناک به حساب می‌آیند و از این‌رو باید برای از بین بردن آنها توجه کرد، شرایط آب و هوایی فاکتور محدود کننده می‌باشد و مصرف و استفاده بیومس گیاهی آلوده شده خطرناک است (۳۸-۳۷). از محدودیت‌های دیگر این روش مدت طولانی پالایش آلاینده‌ها، بقایای توده زیستی به‌جا مانده و دفع آن‌ها است

آینده گیاه‌پالایی:

اگرچه این علم هم اکنون با سرعت در حال توسعه است، اما بررسی‌ها نشان داده گیاه‌پالایی تجاری از لحاظ زمانی باید با دیگر فناوری‌های دیگر قابل رقابت کردن باشد. بیش‌تر آزمایش‌های گیاه‌پالایی در مقیاس آزمایشگاه در محیط هیدروپونیک انجام و فلزات سنگین به آنها داده شده است، در حالی که محیط خاک کاملاً متفاوت است. در خاک واقعی بسیاری از فلزات در شکل‌های نامحلول وجود دارند و قابلیت دسترسی آنها کم و این بزرگ‌ترین مشکل است .بسیاری از گیاهان هنوز شناخته نشده‌اند که باید شناسایی شوند و درباره فیزیولوژی آنها بیشتر دانست. بهینه‌سازی فرایند جذب فلزات سنگین توسط گیاه و مصرف مناسب بیومس تولید شده هنوز باید مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد تا نتایج آزمایشگاهی با عمل و واقعیت همخوانی داشته باشند. اگرچه ۱۰ سال از کاربرد اولیه فناوری گیاه‌پالایی در دنیا می‌گذرد، اما این علم توسعه بسیار سریعی داشته است و امروزه گیاه‌پالایی در مورد مواد آلی، معدنی و رادیواکتیو کاربرد دارد (۳۴). این فرایند پایدار و ارزان است و برای کشورهای در حال توسعه بسیار مناسب بوده و صرفه اقتصادی دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد، راندمان این روش با کاربرد گیاهان رشد سریع با بیومس بالا و قدرت جذب بالای فلزات سنگین افزایش می‌یابد. در بیشتر مکان‌های آلوده گونه‌های مناسب جهت رفع آلودگی قابل شناسایی است (۳۴). ۲ روش کمپوست و متراکم کردن می‌تواند جزو مراحل مقدماتی برای کاهش حجم تولیدات این گیاهان باشند، اما باید دقت شود شیرابه حاصل از تراکم به‌طور کامل جمع آوری شود. محققان معتقدند بین روش‌هایی که بیومس آلاینده‌ها را کاهش می‌دهد، به نظر می‌رسد خاکستر کردن کمترین زمان را مصرف می‌کند و در مقایسه با سوزاندن مستقیم از لحاظ زیست‌محیطی نیز مناسب‌تر باشد. به این ترتیب مشاهده می‌شود دنیای امروز می‌تواند با الهام از طبیعت و سیستم نقص‌ناپذیر بکر آن برای آنچه بشر با دست خود خراب کرده است اصلاحاتی صورت دهد که بی‌شک سهل‌تر از جلوگیری از آلودگی منابع بویژه منابع خاک نیست (۳۴).

بحث:

آفتابگردان یکی از بهترین گیاهان مورد استفاده جهت حذف فلزات سنگین از جمله کادمیوم و سرب می‌باشد. آفتابگردان می‌تواند به عنوان یک گیاه ذخیره کننده در خاک مناطق آلوده مورد استفاده قرار بگیرد. از مهمترین مزایای گیاه‌پالایی آفتابگردان در حذف آلاینده‌ها می‌توان به سهولت استفاده و قیمت پایین آن اشاره نمود. ما در این مقاله بر آن شدیم تا گیاه‌پالایی بوسیله گیاه آفتابگردان را بررسی نماییم و به تحقیقات انجام شده در این زمینه بپردازیم. از جمله مهمترین نتایج مطالعات انجام شده در زیر اشاره می‌شود

جدول ۱: مطالعات انجام شده در رابطه با حذف فلزات سنگین بوسیله گیاه آفتابگردان

ردیف	گیاه مورد مطالعه	فلز سنگین حذف شده	منبع
۱	آفتابگردان	کادمیوم	لطف الهی و همکاران
۲	آفتابگردان - کلزا	کادمیوم	خسروی و همکاران
۳	آفتابگردان	سرب	فتاحی کیاسری و همکاران
۴	آفتابگردان	کادمیوم	چن و ترسا
۵	آفتابگردان	کادمیوم و سرب	متشرع زاده و ثواقبی
۶	آفتابگردان	کادمیوم	شنگ و زیا
۷	آفتابگردان	سرب	گلچین و همکاران
۸	آفتابگردان- یونجه- تاج خروس	کادمیوم	متشرع زاده و همکاران
۹	آفتابگردان	نیکل	جراح و همکاران
۱۰	آفتابگردان	کروم	سادات پیروز و همکاران
۱۱	آفتابگردان	کادمیوم و سرب	مصلحی و همکاران
۱۲	آفتابگردان	سرب	سرحدی و همکاران

لطف‌الهی و همکاران گزارش دادند که اغلب کادمیوم جذب شده توسط آفتابگردان در اندام هوایی انباشته شده است. غلظت کادمیوم در اندام هوایی آفتابگردان به ترتیب ۳۱ و ۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه است که این اختلاف در سطح ۵٪ معنی‌دار است. غلظت کادمیوم در ریشه‌های آفتابگردان و سورگوم به ترتیب ۱۳ و ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه می‌باشد که این اختلاف نیز در سطح ۵٪ دارای تفاوت معنی‌دار است. غلظت کادمیوم در گیاهان کشت شده در خاک غیرآلوده صفر می‌باشد (۴۴).

خسروی و همکاران گزارش دادند که مصرف پتاسیم به طور معنی‌داری ($P < ۰/۰۰۱$) مقدار کادمیوم قابل استخراج با DTPA را در شرایط انکوباسیون افزایش داد و تفاوت بین اثر KCl و K2SO4 معنی‌دار بود. بنابراین براساس نتایج آزمایش گلخانه‌ای این گیاه برای گیاه جذبی کادمیوم مناسب می‌باشد (۴۵). فتاحی کیاسری و همکاران گزارش دادند که مقدار ۱/۵ و ۳ میلی‌مول EDTA اثر معنی‌داری بر مقادیر سرب در ریشه و اندام هوایی گیاهان داشت. افزایش اسید سولفوریک در غلظت‌های یادشده با روند نامنظم، تغییراتی را در مقادیر سرب گیاهان ایجاد کرد (۴۶). چن و ترسا نیز با افزودن مقدار ۰/۳ میلی‌مول EDTA به یک کیلوگرم خاک مشاهده کردند، مقدار زیست‌تودهٔ گیاه آفتابگردان نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری ($P < ۰/۱$) است، این محققان علت کاهش زیست تودهٔ آفتابگردان را به افزایش مقدار جذب کادمیم توسط گیاه نسبت دادند (۴۷). فتاحی کیاسری و همکاران گزارش دادند که میانگین سرب اندام هوایی آفتابگردان با اختلاف معنی‌داری ($P < ۰/۱$) بیشتر از از مقدار آن در اندام هوایی پنبه بود. سرب موجود در اندام هوایی آفتابگردان تحت تأثیر اسید سولفوریک، بیشتر از سرب اندام هوایی پنبه بود (۴۶). خسروی و همکاران گزارش دادند که گیاه آفتابگردان می تواند به عنوان یک گیاه بیش اندوز در خاک‌های آلوده مورد استفاده قرار گیرد و تأثیر تیمارها بر افزایش مقدار فاکتور انتقال بیانگر تأثیر مثبت آنها بر افزایش کارآیی گیاه پالایی می‌باشد (۴۵). متشرع‌زاده و ثواقبی گزارش دادند که با افزایش سطوح کادمیوم و سرب در خاک، غلظت این عناصر سمی در اندام‌های گیاهی(ریشه و اندام هوایی) به طور معنی‌داری افزایش یافت بر این اساس کادمیوم توانایی قابل ملاحظه‌ای در انتقال از ریشه به اندام هوایی نشان داد (۴۸). شنگ و زیا با استفاده از زادمایه باکتری های مقاوم به کادمیوم، رشد گیاه آفتابگردان و جذب کادمیوم را بررسی نمودند. نتایج حاصله نشان داد کاربرد زادمایه سبب افزایش رشد آفتابگردان و بالا رفتن جذب کادمیوم گردید (۴۹). گلچین و همکاران در بررسی نحوه توزیع سرب در اندام‌های مختلف آفتابگردان گزارش دادند میزان سرب موجود در اندام‌های گیاهی از غلظت قابل جذب این عناصر در خاک تبعیت می‌کرد و با افزایش غلظت سرب قابل جذب در خاک، غلظت آن در گیاه نیز افزایش یافت. حداکثرمیزان تجمع در ریشه و اندام هوایی در دانه آفتابگردان به ۳/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد (۵۰). خسروی و همکاران در بررسی تأثیر کلرید پتاسیم بر جذب کادمیوم و ارتقای گیاه‌پالایی آن توسط کلزا و آفتابگردان در یک خاک آلوده به کادمیوم منطقه انگوران زنجان گزارش دادند که بیشترین مقدار جذب کادمیوم توسط آفتابگردان (۸۴/۵۷ میکروگرم در گلدان) با مصرف ۲۰۰ میلی‌گرم K2O خاک بدست آمد (۵۱). متشرع‌زاده و همکاران در بررسی گیاه جذبی کادمیوم در سه گیاه مختلف زراعی و غیر زراعی (یونجه، آفتابگردان و تاج خروس) گزارش گردید با افزایش غلظت کادمیوم در خاک غلظت این عنصر در ریشه و اندام هوایی گیاهان نیز افزایش یافت. بیشترین غلظت کادمیوم در اندام هوایی در بین سه گیاه در آفتابگردان گزارش گردید. همچنین بیشترین میزان جذب کادمیوم نیز در آفتابگردان و تاج خروس گزارش گردید (۵۲). جراح و همکاران در بررسی تأثیر تلقیح قارچ گلوموس موسه‌ای و ای دی تی ابر پالایش یک خاک آهکی آلوده به سطوح مختلف نیکل توسط آفتابگردان گزارش دادند که با تلقیح قارچ و یا کاربرد EDTA میزان جذب نیکل دراندام هوایی آفتاب گردان افزایش یافت. در بالاترین سطح نیکل با تلقیح قارچ و یا کاربرد EDTA کارایی جذب و استخراج آفتابگردان افزایش، اما کارایی انتقال آفتابگردان کاهش یافت (۵۳). سادات پیروز و همکاران در بررسی معدن کرومیت شهرستان بافت از گیاه آفتابگردان جهت بررسی میزان تجمع‌دهندگی کروم توسط بخش‌های مختلف گیاه مورد بررسی قرار و گزارش دادند که آفتابگردان بیشترین میزان کروم را در ریشه در مقایسه با اندام هوایی تجمع داده است و از این راه در مقابل فلز سنگین کروم مقاومت نشان داده است (۵۴). مصلحی و همکاران در بررسی میزان جذب سرب و کادمیم در گیاه آفتابگردان با کلات کننده‌ی کمپوست زباله‌ی شهری نسبت به سایر کلات کننده‌ها گزارش دادند که غلظت سرب باقی مانده در خاکی که به میزان ۲۰۰ میلی‌گرم بر

کیلوگرم آلوده شده بود و تحت تأثیر کلات کننده‌ی کمپوست زباله‌ی شهری با غلظت ۱۶/۶۰۳ نسبت به سایر خاکها بیشتر بود و کمترین غلظت سرب باقی مانده در خاک آلوده به سرب در تیمار EDTA و سرب ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد. غلظت سرب و کادمیم باقی مانده در خاک پس از انجام آزمایش تحت تأثیر کلات کننده ی E۸ نسبت به سایر کلات کننده‌ها از همه کمتر بود و بیشترین غلظت باقی مانده تحت تأثیر کلات کننده‌ی کمپوست سه درصد وزنی بود. غلظت سرب و کادمیم جذب شده در بخش هوایی گیاه آفتابگردان تحت تأثیر کلات کننده‌ی E۳C۸ از همه بیشتر بود و پس از آن تیمار E۸ مؤثرترین کلات کننده بود. غلظت سرب و کادمیم جذب شده در ریشه‌ی گیاه آفتابگردان تحت تأثیر کلات کننده‌ی E۳C۸ نسبت به سایر کلات کننده‌ها بیشتر بود و در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (۵۵). سرحدی و همکاران در بررسی میزان توانایی جذب سرب بر برخی از خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه آفتابگردان گزارش دادند که گیاه آفتابگردان دارای توانایی بالایی در جذب سرب می‌باشد در حالیکه تأثیر معنی‌داری بر روی خصوصیات مورفولوژیک ندارد (۵۶).

نتیجه‌گیری

مهم‌ترین ترکیبات معدنی آلاینده فلزات سنگین بوده و میکروارگانیسم‌های خاک قادر به تجزیه آلاینده‌های آلی هستند، اما برای تجزیه میکروبی فلزات نیاز به آلی شدن یا تغییرات فلزی آنها وجود دارد که امروزه از گیاهان برای این بخش استفاده می‌شود. خاک علاوه بر این که پایگاه موجودات خشکی‌زی بویژه جوامع انسانی است، محیط منحصر به فردی برای زندگی انواع حیات بخصوص گیاهان به شمار می رود. با توسعه طرح‌های انسان‌ساخت و آلوده شدن خاک‌ها به وسیله فلزات سنگین، ساختار خاک برای رشد و توسعه گیاهان مسموم و خطرناک می‌شود و تنوع زیستی خاک را نیز بهم می‌ریزد. در روش گیاه‌پالایی، گیاهان براساس مکانیسم جذب طبقه‌بندی و آلودگی خاک به فلزات سنگین به کمک روش‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی کاهش داده می‌شود. براساس تحقیقات دفتر بررسی آلودگی آب و خاک سازمان حفاظت محیط زیست، رفع آلودگی خاک معمولاً با ۲ روش خارج از محل و در محل صورت می‌گیرد . در روش خارج از محل، خاک آلوده به مکان دیگری انتقال یافته و پس از رفع آلودگی به مکان اولیه برگردانده می‌شود. در روش دیگر که نیاز به جابه‌جایی و انتقال ندارد آلاینده‌ها با آلی شدن، از قابلیت جذب زیستی آنها کاسته می‌شود. برای کاهش آلودگی آلاینده‌های معدنی در خاک می‌توان از روش‌های آلی کردن، کمپلکس کردن و افزایش خاک بوسیله آهک استفاده کرد اما بیشتر این روش‌ها گران بوده و سبب تخریب محیط زیست می‌شوند. در فناوری استفاده از گیاهان با عنوان گیاه‌پالایی، از گیاهان سبز و ارتباط آنها با میکروارگانیسم‌های خاک برای کاهش آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. این فناوری می‌تواند برای رفع هر دو نوع آلاینده خاک یعنی معدنی و آلی به کار رود. کاربرد تکنیک‌های فیزیکوشیمیایی سبب از میان رفتن میکروارگانیسم‌های مفید خاک مانند تثبیت کننده‌های نیتروژن میکروریزا می‌شود که در نتیجه فعالیت‌های بیولوژیکی خاک را ضعیف می‌کند و در مقایسه با تکنیک گیاه‌پالایی بسیار هزینه‌بر است

References

1. Yang XE, Long XX, Ye HB, He ZL, Calvert DV, Stoffella PJ. Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn hyperaccumulating plant species (Sedum alfredii Hence). J Plant Soil 2004; 259:181-189.

2. Dinakar N, Nagajyothi PC, Suresh S, Udaykiran Y, Damodharam T. Phytotoxicity of cadmium on protein, praline and antioxidant enzyme activities in growing Arachis hypogaea L. seedling. J Environ Sci 2008;20: 199-206.

3. Pal M, Horvath E, Janda T, Paldi E, Szalai G. Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize. J Plant Nutr Soil Sci 2006;169: 239-246.

4. Joner EJ, Leyval C, Colpaert JV. Ectomycorrhizas impede phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) both within and beyond the rhizosphere. J Environ Poll 2006;142: 34-38.

5. Maradanpour F, Mehrabi AM. The use of biotechnology in relation to phytoremediation. Regional Conference on Food and Biotechnology, Islamic Azad University of Kermanshah 2008;1-5.
6. Sadat Taghavirad S, Davar H, Mohammadi MJ. The a study on concentration of BETX vapors during winter in the department of ports and shipping located in one of the southern cities of Iran. Int J Cur Life Sci. 2014; 4(9): 5416-5420.
7. Geravandi S, Mohammadi MJ, Goudarzi G, Ahmadi Angali K, Neisi AK, Zalaghi E. Health effects of exposure to particulate matter less than 10 microns (PM10) in Ahvaz. J Qazvin Univ Med Sci. 2014;18(5):45-53.
8. Johnson DL, Anderson DR, McGrath SP. Soil microbial response during the phytoremediation of a PAH contaminated soil. J Soil Bio & Bioch 2005;37: 2334-2336.
9. Goudarzi G, Geravandi S, Naimabadi A, Mohammadi MJ, Neisi AK, sadat Taghavirad S. Cardiovascular deaths related to Carbon monoxide Exposure in Ahvaz, Iran. Iranian J Health, Safety & Environ. 2014; 1(3):126-131.
10. Available at: http://mschat.blogsky. com/1390/01/28/post-189.2013.
11. Mattina MJ, Lannucci-Berger W, Musante C, White JC. Concurrent plant uptake of heavy metal and persistent organic pollutants from soil. J Environ Poll 2003;124:375-378.
12. Chen H and Cutright TJ. The interactive effects of chelator, fertilizer, and rhizobacteria for enhancing phytoremediation of heavy metal contaminated soil. J Soils Sedi 2002;2: 203-210.
13. Fayiga AO, Ma LQ, Cao X and Rathinasabapathi B. Effects of heavy metals on growth and arsenic accumulation in the arsenic hyper accumulator Petri vitiate L. J Environ Poll 2004;2: 289-296.
14. Dushenkov S, Kapulnik Y. Phytofilttration of metals. In: I. Raskin and B.D. Ensley (Eds), Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment. John Wiley and Sons, Inc. New York 2002:89-106.
15. McGrath SP, Sidoli CMD, Baker AJM, Reeves RD. The potential for the use of metalaccumulating plants for the in situ decontamination of metalpolluted soils. PP. 1993:673–677.
16. Raskin I, Kumar PB, Dushenkov V, Salt DE. Bioconcentration of heavy metals by plants. Curr Opin. J Biotechnology 1994;5:285–290.
17. Mertens J, Vervaeke P, Meers E, Tack FMG. Seasonal changes of metals in willow. stands for phytoremediation on dredged sediment. J Environ Sci Technol 2006;40: 1962–1968.
18. Zallaghi E, Goudarzi G, Geravandi S, Mohammadi MJ, Vosoughi Niri M, Vesyi E. Estimating the prevalence of cardiovascular and respiratory diseases due to particulate air pollutants in Tabriz air. Sci J Ilam Univ Medi Sci. 2014;22(1):84-91.
19. Prasad MNV. Sunflower (Helinathus annuus L.) - A Potential Crop for Environmental Industry. J HELIA 2007;30(46):167-174.
20. Bragato M, El Seoud OA. Formation, properties, and bex situQ soil decontamination by vegetable oil-based micro emulsions. J Surfactants Deterge 2003; 6:143– 50.
21. Pannu JK, Singh A, Ward OP. Vegetable oil as a contaminated soil remediation amendment: application of peanut oil for extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil. J Process Biochem 2004; 39:1211– 6.
22. Isosaari P, Tuhkanen T, Vartiainen T. Use of olive oil for soil extraction and ultraviolet degradation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans. J Environ Sci Technol 2001; 35:1259– 65.

23. Mauskar JM. Cadmium –An Environment Toxicant, Central Pollution Control Board, Ministry of Environment & Frosts, Govt of India, Parivesh Bhawan, East Arjun Nagar,Delhi 2007:11-32. 24. Lombi e, Zhao F, Dunham S and McGrath P. Phytoremediation of heavy metal-contaminated soils. J Environ Qual 2001;30:1919-1926.
25. Chaney RL, Malik M, Lim YM, Brown SL, Brewer EP, Angle JS, Baker AJM. Phytoremediation of soil metals. J Curr Opinion Biotechnol 1997;8:279-284.
26. Baker AJ, Reeves RD, Hajar AS. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte Thlaspi caerulescens J & C Presl (Brassicaceae). J New Phyto 1994;127: 61-68.
27. Terry N, Banuelos G. Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Lewis Pub, Boca Raton 2000.
28. Blaylock MJ, Salt DE, Dushenkov S, Zakharova O, Gussman C, Kapulnik Y. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soilapplied chelating agents. J Environ Sci Technol 1997;31:860–865.
29. Raskin I, Ensley BD. Phytoremediation of Toxic Metals Using Plants to Clean Up the Environment. Wiley-Interscience Publication 2000.
30. Davis A, Drexler JW, Ruby MV, Nicholson A. Micro mineralogy of mine wastes in relation to lead bioavailability, Butte, Montana. J Environ Sci Technol 1993;27:1415–1425.
31. Zhang M, Alva AK, Li YC, Calvert DV. Chemical association of Cu, Zn, Mn, and Pb in selected sandy citrus soils. J Soil Sci 1997;162:181– 188.
32. Available at: http://farhadbayat.persianblog.ir/ post/22.2013.
33. Available at: http://www.pezeshk.us/?p= 22941 .2013.
34. Available at: http://fa.wikipedia.org/wiki.2013.
35. Available at: http://giaheteshne.persianblog.ir /post/433.2013.
36. Ghosh M, Singh SP. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. Biomass and Waste Management Laboratory, School of Energy and Environmental Studies Faculty of Engineering Sciences, Devi Ahi. 2005.
37. Available at: http://plantbiotech.mihanblog. com/post/110.2013.
38. Vinita B. Phytoremediation of toxic metals from soil and waste water. India J Environ Biology 2007;28(2) 367-376.
39. Available at: http://bionewsonline .com/ htm.bioremediation
40. Salamat nejad N. Environmental effects of heavy metal. MS Thesis environment, University of Ahvaz 2002.
41. Available at: http://www.drkasraie.blogfa.com/ post -8.aspx.2013.
42. Gardea JL, Rosaa G. heavy of Phytoremediation . coordination metal the of study and metals ,spectroscopy Reviews Chemistry Coordination X -absorption yrayb 2005:249-97.
43. Khan AG. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. J Trace Elem Med Bio 2005;18: 355-364.
44. Lotf alahi B, Hodaji M. Phytoremediation of cadmium contaminated soil by plants, sunflower and sorghum .5th Conference New Ideas in Agriculture. Islamic Azad University Isfahan Branch, Faculty of Agriculture 2010:27-28.
45. Khosravi F. The effect of different doses of potassium on phytoremediation of soil contaminated with cadmium. J Agriculture 2010;90:57-64.
46. Fatahi Kiasari A. Effect of sulfuric acid and EDTA on Phytoremediation of lead in soil by three sunflower, corn and cotton. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. J Water and Soil Sci 2009;14(51):57-68.
47. Chen H, Teresa C. EDTA and HEDTA effects on Cd, Cr and Ni uptake by Helianthus annuus. J Chemosphere 2001;45:21-28.

48. Motesharezadeh B, Savaghebi-Firoozabadi GR, Mirseyed Hosseini H, Alikhani HA. Study of the enhanced phytoextraction of cadmium in a calcareous soil. Int J Environ Res 2010;4(3): 525- 532.
49. Sheng XF, Xia JJ. Improvement of rape (Brassica napus) plant growth and cadmium uptake by cadmium-resistant bacteria. J Chemosphere 2006;64: 1036–1042.
50. Gholchin A, Atash nama K, Takasi M. Study of the distribution of lead in different parts of sunflower and rapeseed oil as a producer. Proceedings of the International Conference on Soil, Environment and Sustainable Development 2005:305-306.
51. Khosravi F, Savaghebi GH, Farahbakhsh M. Effect of potassium chloride on cadmium uptake by canola and sunflowers in a contaminated soil. J water and soil 2008;23(3):28-35.
52. Motashareh zadeh B, Savaghebi GH. Sunflower investigates the response to cadmium and leadtoxicity with the use of plant growth promoting bacteria in a calcareous soil. J Soil and Water 2010;25(5):1069-1079.
53. Jarah M, Ghasemi R, Maiel S. efficiency of carbuncular mycorrhizal fungi and ethylene demine tetra acetic acid on nickel refining calcareous soil contaminated by sunflower. 1st National Conference on phytoremediation, International Centre for Science and High Technology and Environmental Sciences. Kerman, Iran 2010:152-156.
54. Sadat Piroz P, Manochehri KH. Study of phytoremediation of chromium by sunflower. 1st National Conference on phytoremediation, International Centre for Science and High Technology and Environmental Sciences. Kerman, Iran 2010:146-149.