

## بررسی پاکسازی آلودگیهای میکروبی خاکهای آلوده به فلزات سنگین

مریم محمدی

کارشناسی ارشد رشته زیست شناسی گرایش میکروبیولوژی

### چکیده

گیاه‌پالایی از جمله روشهای پیشنهادی است که با انباشت عناصر سنگین در اندام هوایی گیاهان، خروج این عناصر از خاک های آلوده را امکان پذیر می‌کند. هدف از انجام این مطالعه بررسی پاکسازی آلودگیهای میکروبی خاکهای آلوده به فلزات سنگین است. 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 در این روش با برداشت گیاهان از خاک، آلاینده‌ها از خاک زدوده می‌شوند. 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. 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.

واژگان کلیدی: فشار خون، بهداشت جهانی، عوامل افزایش، کنترل.

**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 و خطرناک 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 ارگانسمهای 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). توسعه سریع تکنولوژی‌های جدید، همراه با یک سری مشکلات محیطی از جمله آلودگی خاک، آب و هوا است. آلوده شدن خاک بوسیله فلزات سنگین ساختار و تنوع زیستی خاک را بهم می‌زند. آلودگی خاک با فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در بسیاری از نقاط جهان می‌باشد. مهمترین راه ورود فلزات سنگین به محیط از طریق کاربرد فاضلابهای شهری، حشره‌کش‌ها، کوددهی، آبیاری با هرزآب‌ها، صنایع رنگ‌سازی، کارخانجات سیمان، لاستیک‌سازی، سوخت خودرو و صنایع ذوب فلز می‌باشد. کادمیوم یکی از مهمترین فلزات توسعه سریع - شناخته شده آلاینده محیط زیست است (۱-۴). 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 درونریز، 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 (۱۱-۱۶). 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 (۱۷-۲۳). 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 (۲۴-۲۶). 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 (۲۹-۳۱).

### واکنش گیاهان به فلزات سنگین:

گیاهان ۳ راهبرد پایه برای رشد در خاک های آلوده به فلزات سنگین دارند. گونه‌هایی که از ورود فلزات به بخش های هوایی خود جلوگیری کرده یا غلظت فلزات را در خاک پایین نگه می‌دارند، گونه‌هایی که فلزات را در اندام‌های هوایی خود تجمع داده و دوباره به خاک بر می‌گرداند و گیاهانی که می‌توانند فلزات 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 بر هایشان تغلیظ می‌کنند (۳۴).

### گیاه پالایی:

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. 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 محیط زیست نظیر فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو به کار برده می‌شود (۳۵-۳۶). مهم‌ترین ترکیبات معدنی آلاینده فلزات سنگین بوده و میکروارگانسیم‌های 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 می‌رود. 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 گیاه پالایی، 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 (۳۵-۳۶). 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 گیاه پالایی، از گیاهان سبز و ارتباط آنها با میکروارگانسیم‌های 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 میکروارگانسیم‌های مفید خاک مانند تثبیت کننده‌های نیتروژن میکروریزا می‌شود که در نتیجه فعالیت‌های بیولوژیکی خاک را ضعیف می‌کند و در مقایسه با تکنیک گیاه پالایی 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 (۳۵-۳۶). 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 می کند. در این روش، ترکیبات آلی به مولکول های ساده تر شکسته شده که می تواند به درون بافت گیاه وارد شود (۳۵-۳۶).

### مکانیسم های گیاه پالایی:

۱) Rhizofiltration: گیاهان بمنظور جذب، تغلیظ و رسوب مواد آلوده کننده آنها را توسط ریشه هایشان از چرخه انتقال خارج کرده و تجمع می دهند. این عمل برای فلزاتی چون کادمیوم، مس، کروم، سرب و روی صورت می گیرد (۳۷-۳۸).

۲) Phytostabilization: این روش وابسته به توانایی ریشه برای دور ساختن و کاهش قابلیت دسترسی زیستی مواد آلوده کننده در خاک می باشد. این روش بصورت جذب، رسوب، ایجاد کمپلکس و یا کاهش تعادل فلزی انجام می گیرد (۳۷-۳۸). هدف اولیه گیاهان کاهش مقدار آب تراوش شده از طریق ماتریکس خاک است که ممکن است منجر به تشکیل تراوشات خطرناک شود بنابراین از فرسایش خاک و توزیع مواد سمی به سایر نواحی جلوگیری می شود (۳۷-۳۸).

۳) Phytoextraction: این روش بهترین رویکرد برای برداشت مواد آلوده کننده از خاک و جداسازی آن بدون تخریب ساختمان و حاصلخیزی خاک می باشد. این روش به Phytoaccumulation نیز معروف می باشد (۳۷-۳۸). دو استراتژی اصلی این روش شامل موارد زیر می باشد: الف) Phytoextraction با کمک کلات یا Phytoextraction الفاء شده، در این روش کلات های مصنوعی برای افزایش تحرک و جذب مواد آلوده کننده اضافه می شود (۳۷-۳۸). ب) Phytoextraction متممادی و پیوسته، در این روش برداشت فلزات وابسته به توانایی طبیعی گیاه برای ترمیم می باشد (۳۷-۳۸). کشت گونه های گیاهی که توانایی تجمع غلظت های بالای فلزات را دارند به پیشرفت این تکنولوژی کمک می کند. برای تسهیل این تکنولوژی گیاهان باید غلظت های بالا از فلزات سنگین را توسط ریشه هایشان استخراج کنند و این فلزات را به بیومس (زیست توده) انتقال دهند و مقدار بالایی از بیومس تولید کنند. فلزات سنگین استخراج شده ممکن است از بیومس گیاه آلوده شده مجدداً وارد چرخه شوند (۳۷-۳۸).

### کاربردهای phytoextraction:

#### ۱. پاک سازی محیط های 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 میکروارگانیسم های اطراف ریشه آنها برای جذب آلوده کننده ها و کاهش آنها از محیط می باشد. امروزه قابلیت رشد و جذب فلزات سنگین در محیط های شدیداً آلوده در تعداد زیادی از گونه های گیاهی به اثبات رسیده است و گونه های زیادی از گیاهان، *Salix spp*, *Brassica juncea*, *Thlaspi sp*, *Helianthus*, *Populus spp* هم اکنون در حال استفاده تجاری یا گذراندن مراحل آزمایشی برای استفاده در پاک سازی محیط می باشد (۳۹). در این روش گیاهان ابرجاذبی که جزو گیاهان زراعی می باشند برای خاک های آلوده یا غنی از یک یا چند فلز استفاده می شود تا این مواد را در اندام های هوایی خود طی دوران رشد و نمو ذخیره کنند. این گیاهان جمع آوری و سوزانده می شوند و خاکستر حاصل که غنی از مواد مذکور است دفع می گردد. از این روش برای پاک سازی برخی از نقاط دنیا از آلودگی استفاده می شود.

#### ۲) استخراج فلزات کمیاب:

از گیاهان م 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 می شود. گیاهان برای جذب فلزات دارای یک مکانیسم خاص فیزیولوژیک می باشند. آنها با ترشح ترکیبات کلاته شده از ریشه موجب افزایش انحلال فلز شده و جریان انتقال فلز محلول به سمت دیواره ریشه را تسهیل می کنند. 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 می کنند که می تواند 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 می گردد این مواد زمانی استفاده می شوند که گیاه به حداکثر رشد و ماده خشک خود رسیده باشد و دارای بالاترین تعرق باشد (۳۹)

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

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

#### عوامل موثر بر گیاه پالایی:

مهمترین عوامل در موفقیت گیاه پالایی به عنوان یکی از فن آوری های 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 می باشد. متأسفانه به نظر می رسد، مکانیسم های اساسی بیولوژیکی رفع آلودگی گیاه هنوز به طور کامل مورد شناسایی قرار نگرفته اند و هنوز اطلاعات بسیاری در مورد فرآیندهای مؤثر در نحوه رفع آلودگی ناشناخته باقی مانده است (۴۰-۴۳).

#### مزایا و معایب گیاه پالایی:

این روش نیز مانند بسیاری از روش های 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 فعالیت های طبیعی پاک سازی، تغییر نکردن حاصل خیزی خاک بعد از برداشت فلزهای سنگین و دست خوردگی کم خاک، قابل استفاده برای ترکیبات آلی و معدنی متنوع، کاربردهای **In-situ** مقدار تخریب خاک را در مقایسه با روش های معمولی کاهش می دهد، کاربردهای **In-situ** گسترش آلودگی از طریق آب و هوا را کاهش می دهد، عدم نیاز به تجهیزات گران قیمت و افراد متخصص، ایجاد انرژی حرارتی در حجم 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 می شود (۳۷-۳۸). از مشخص ترین معایب این روش محدود به سایت های آلوده با عمق کم، زمان بر بودن آن (چندین سال طول می کشد تا یک سایت آلوده اصلاح شود)، محدود به سایت ها با آلودگی پائین می باشد، بیومس گیاهان تجمع کننده فلزات جز مواد زائد خطرناک به حساب می آیند و از این رو باید برای از بین بردن آنها توجه کرد، شرایط آب و هوایی فاکتور محدود کننده می باشد و مصرف و استفاده بیومس گیاهی آلوده شده خطرناک است (۳۷-۳۸). از محدودیت های دیگر این روش مدت طولانی پالایش آلاینده ها، بقایای توده زیستی به جا مانده و دفع آن ها است (۴۴).

**آینده گیاه پالایی:**

اگرچه این علم هم اکنون با سرعت در حال توسعه است، اما بررسی‌ها نشان داده گیاه پالایی تجاری از لحاظ زمانی باید با دیگر فناوری‌های دیگر قابل رقابت کردن باشد. بیش‌تر آزمایش‌های گیاه پالایی 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 گیاه پالایی در دنیا می‌گذرد، اما این علم توسعه بسیار سریعی داشته است و امروزه گیاه پالایی 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).

**روش مطالعه:**

این مطالعه به روش مروری- توصیفی بر روی مطالعات انجام شده در مورد گیاه پالایی توسط گیاهان بر مبنای مرور مقالات موجود جمع‌آوری گردید. سایت‌های مورد استفاده عبارت بودند از Elsevier -sid.ir -science direct -[www.civilica.com](http://www.civilica.com) معیار ورود اطلاعات مقالات مرتبط با موضوع و حاوی کلمات کلیدی تحقیق بوده است

**بحث**

خسروی و همکاران گزارش دادند که مصرف پتاسیم به طور معنی‌داری ( $P < 0/001$ ) مقدار کادمیوم قابل استخراج با DTPA را در شرایط انکوباسیون افزایش داد و تفاوت بین اثر KCl و  $K_2SO_4$  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 زیست‌توده گیاه آفتابگردان نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری ( $P < 0/1$ ) است، این محققان علت کاهش زیست‌توده 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 ( $P < 0/1$ ) بیشتر 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 خاک های آلوده مورد استفاده قرار گیرد و تأثیر تیمارها بر افزایش مقدار فاکتور انتقال بیانگر تأثیر مثبت آنها بر افزایش کارایی گیاه پالایی می باشد (۴۵). متشروع زاده و ثوابی گزارش دادند که با افزایش سطوح کادمیوم و سرب در خاک، غلظت این عناصر سمی در اندام های گیاهی (ریشه و اندام هوایی) به طور معنی داری افزایش یافت بر این اساس کادمیوم توانایی قابل ملاحظه ای 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 اندام های مختلف آفتابگردان گزارش دادند میزان سرب موجود در اندام های گیاهی از غلظت قابل جذب این عناصر در خاک تبعیت می کرد و با افزایش غلظت سرب قابل جذب در خاک، غلظت آن در گیاه نیز افزایش یافت. حداکثر میزان تجمع در ریشه و اندام هوایی در دانه آفتابگردان به ۳/۱ میلی گرم در کیلوگرم گزارش شد (۵۰).

خسروی و همکاران در بررسی تأثیر کلرید پتاسیم بر جذب کادمیوم و ارتقای گیاه پالایی 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 میلی گرم  $K_2O$  خاک بدست آمد (۵۱).

متشروع زاده 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 گلوبوس موسه ای 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 در اندام 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 تجمع دهنده گی کروم توسط بخش های 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 کننده ی کمپوست زباله ی شهری نسبت به سایر کلات کننده ها گزارش دادند که غلظت سرب باقی مانده در خاکی که به میزان ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم آلوده شده بود و تحت تأثیر کلات کننده ی کمپوست زباله ی 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  $E_8$  نسبت به سایر کلات کننده ها از همه کمتر بود و بیشترین غلظت باقی مانده تحت تأثیر کلات کننده ی کمپوست سه درصد وزنی بود. غلظت سرب و کادمیم جذب شده در بخش هوایی گیاه آفتابگردان تحت تأثیر کلات کننده ی  $E_3C_8$  از همه بیشتر بود و پس از آن تیمار  $E_8$  مؤثرترین کلات کننده بود. غلظت سرب و کادمیم جذب شده در ریشه ی گیاه آفتابگردان تحت تأثیر کلات کننده ی  $E_3C_8$  نسبت به سایر کلات کننده ها بیشتر بود و در سطح ۱ درصد معنی دار شد (۵۵).

مزایای استفاده از گیاه پالایی آفتابگردان برای حذف فلزات سنگین عبارتند از: هزینه آن نسبت به سایر روشها ارزان تر و از نظر اجرا نیز ساده می باشد، دیگر مزیت های این روش طبیعی در رفع آلودگی خاک این است که به خاک آسیب نمی رساند و مواد شیمیایی خطرناک به طور عمده مصرف نمی شوند، عدم وجود آلودگی های ثانویه نظیر آلودگی های صوتی، عدم نیاز به تکنیک های پیچیده مهندسی برای اجرا و قابلیت استفاده برای گستره وسیعی از آلودگی ها

### نتیجه گیری

نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری بین غلظت کادمیوم در اندام هوایی و همچنین ریشه گیاه آفتابگردان وجود دارد. همچنین تفاوت معنی داری بین فاکتورهای انتقال و تجمع زیستی در گیاه آفتابگردان مشاهده شد بنابراین آفتابگردان پتانسیل استخراج گیاهی بالاتری نسبت به بسیاری از گیاهان دارد. در مجموع با توجه به سمیت فلزات کادمیوم و سرب حتی در غلظت های کم، باید توجه کافی به منابع ورودی این آلاینده به محیط زیست معطوف گردد. از سوی دیگر شناسایی، جداسازی و کاربرد باکتری های بومی محرک رشد گیاه و مقاوم به تنشها نیز به واسطه تأثیر بر رشد گیاه آفتابگردان، تنش وارده را کاسته و به بهبود رشد گیاه آفتابگردان کمک می کنند. براساس نتایج تحقیق، کادمیوم دارای توانایی بالایی در انتقال از ریشه به اندام هوایی و تجمع در گیاه آفتابگردان در خاک های آهکی بوده لذا با توجه به سمیت بالای این فلز برای گیاه و خطر ورود به زنجیره غذایی لازم است به منظور اطمینان از سلامت محصول، دقت و نظارت کافی در مراحل مختلف تولید تا مصرف محصولات کشاورزی به عمل آید. غلظت سرب و کادمیم جذب شده در بخش هوایی گیاه آفتابگردان نسبت به ریشه گیاه بیشتر بوده است. مهمترین چالش پیش روی گیاه پالایی، تخریب و انهدام مواد گیاهی آلوده و حجم عظیم بیومس تولید شده نوعی معطل بشمار می رود که باید کاهش داده شود

### 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 Taghvirad 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.blogspot.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. Phytofiltration 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