نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال یازدهم، شماره ۴۴، زمستان ۱۳۹۵ / صفحات: ۱۰۰-۸۸

(مقاله مروری)

گیاه پالایی، دست آوردی سبز برای پالایش سیاهی

مژگان فرزامی سپهر*[۱] و عباس‌هانی[۲]

[۱]گروه زیست‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه، ایران

[۲]گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش:۹۵/۱۲/۱۵

چکیده

این بررسی به وضعیت فنآوری گیاه پالایی با تاکید خاص بر استخراج گیاهی از خاک آلوده به فلزات سنگین می‌پردازد. برخلاف ترکیبات آلی خاک، فلزات سنگین قابل تجزیه نمی‌باشند و پاکسازی آنها معمولا با جداسازی آنها انجام می‌گیرد. بسیاری از فن آوری‌های رایج، پرهزینه و محدودکننده حاصلخیزی خاک می‌باشند، بنابراین، این عمل باعث ایجاد اثرات منفی بر اکوسیستم می‌گردد. گیاه پالایی یک روش مقرون به صرفه، سازگار با محیط زیست، با رویکردی زیبا و دل انگیز، مناسب برای کشورهای در حال توسعه است. با وجود این پتانسیل، گیاه پالایی، تکنولوژی تجاری در دسترس در ایران است. این مقاله در مورد متحرک بودن، فراهمی زیستی و پاسخ گیاه به حضور فلزات سنگین خاک می‌پردازد. طبقه‌بندی گیاهان با توجه به مکانیسم استخراج گیاهی و در مسیر فلز در گیاهان انجام می‌شود و به تکنیک‌های مختلف به‌منظور افزایش استخراج گیاهی و استفاده از محصولات بعدی گیاه پالایی، پرداخته شده است. از آنجا که مقدار زیادی زیتوده در طول این فرایند گیاه پالایی تولید می‌گردد، دفع زیتوده نیز نیاز به مدیریت مناسب دارد. گیاهان با زیتوده بالا برای محدود کردن عبور آلاینده به زنجیره غذایی انتخاب می‌گردند که غیر خوراکی، مقاوم به بیماری باشند و بتوانند انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه کنند. بنابراین روش استخراج گیاهی برای استفاده در موقعیت فعلی کشورمان مناسب‌تر از سایر روش‌ها خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: استخراج گیاهی، بیش انباشتگر، شاخص، گونه‌های استخراج کننده، عناصر سنگین.

مقدمه

یکی از بزرگترین چالش‌های زیست محیطی پراکندگی پسماندهای صنعتی و کشاورزی حاصل از فعالیت‌های دست بشر به درون خاک و افزایش سطوح آلاینده‌های خاک است. تخلیه کنترل شده و کنترل نشده فضولات، استفاده بی رویه تصادفی و غیرتصادفی کودهای کشاورزی، تحزیه و تصعید سنگ‌هایی با ذخایر فلزی و نا فلزی همگی از عواملی هستند که سبب می‌شوند خاک‌های سالم به تدریج و به واسطه انتشارو نشت عوامل آلاینده به جایگاه‌های آلوده اکوسیستمی تبدیل شوند. دامنه وسیعی از ترکیبات آلی و معدنی از جمله عناصر سنگین، مواد قابل احتراق، مواد در حال فساد، پسماندهای خطرناک کارخانه‌ها و بیمارستان‌ها، ضایعات و محصولات نفتی همگی در زمره پالاینده‌های محیط زیست قرار دارند پراکنش عناصر سنگین در ایران در مناطق شهری و اراضی کشاورزی به علت فعالیت‌های صنعتی در سالهای اخیر افرایش یافته که غلظت برخی از بیش از حد استانداردهای جهانی می‌باشد (Hani, 2010;

*نویسنده مسئول: farzamisepehr@iau-saveh.ac.ir

Hani et al., 2014). میکروارگانیسم‌های خاکی می‌توانند تا حدودی سبب تجزیه بعضی از انواع آلاینده‌ها از جمله آلاینده‌های نفتی شوند این در حالی است که آلاینده‌های فلزی نیازمند ساکن نمودن و یا برداشت فیزیکی از محیط می باشند. اگر چه تعداد زیادی از عناصر فلزی برای گیاهان ضروری هستند ولی در صورت افزایش مقدار میزان و عبور از حد مجاز زیستی به واسطه القا تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد به عناصر آلاینده زیستی تبدیل می‌شوند. یکی دیگر از جنبه‌هایی که به واسطه آن عناصر فلزی را در زمره آلاینده‌ها قرار می‌دهد این است که در بسیاری از موارد می توانند جایگزین عناصر ضروری در رنگدانه‌ها و یا آنزیم‌های ضروری موجودات زنده شده و متابولیسم طبیعی را به مخاطره می اندازد و بدین‌ترتیب شرایط ناگواری را برای رشد گیاهان فراهم آورده و تنوع زیستی آنها را با مخاطره روبرو می‌کنند. اگر چه چندین مرحله برای کاهش عوامل آلاینده و یا تخریب آلاینده‌های آزاد شده به خاک وجود دارد ولی تا به امروز دستورالعمل واحدی برای برداشت همه انواع آلاینده‌ها ارائه نشده است (Atmaet al., 2017).

روش‌های پالایش محیطی به دو رسته کلی تقسیم می‌شوند:

۱) روش برون زیوه[1]

در این روش خاک آلوده از جایگاه اصلی خود خارج شده و به جایگاه دیگری برای حذف آلاینده منتقل گردیده و بعد از پالایش به مکان اصلی خود منتقل می‌شود. روش‌های مرسوم برون زیوه‌ای که برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده به کار می‌روند عبارتند از: حفاری، سم زدایی، انهدام فیزیکی و شیمیایی آلاینده‌ها و ثابت سازی عناصر آلاینده.

۲) روش درون زیوه[2]

در این روش بدون حفاری و جابه جایی جایگاه آلوده اقدام به پالایش محیط می‌گردد. اولین تعریف جامع توسط Reed و همکاران در سال ۱۹۹۲ تکنولوزی برداشت آلودگی در زیوه را به شکل انهدام یا تغییر شکل آلاینده‌ها، ثابت سازی آنها به‌منظور کاهش دسترسی زیستی عناصر و جدا سازی آلاینده‌ها با کمک موجودات زنده از خاک تعریف ورده بندی کرد. تا به امروز درون زیوه‌ای موفق تر و کار بردی‌تر از روش‌های برون زیوه‌ای بوده است چون علاوه بر ارزانتر بودن کمترین آسیب را به اکوسیستم وارد می‌کند.

به‌طور قرار دادی تکنیک‌های برون زیوه ای خاک را بر هم می‌زند و هر گونه جابه جایی که در مورد خاک صورت گیرد در مورد عناصر سنگین و سایر الاینده‌ها هم صورت می‌پذیردو هیچگاه از صحنه کره خاکی امحا نمی‌شوند (Fodelianakis et al., 2015). رقیق سازی و کاهش غلظت عناصر به سطح ایمن با وارد کردن خاک تمیز و مخلوط کردن با خاک آلوده یکی از انواع روش‌های مدیریت پالایشی در جایگاه آلوده است (Kumar et al., 1995). ساکن سازی و جلوگیری از حرکت مواد آلاینده معدنی نیز یکی دیگر از روش‌های پالایش خاک‌های آلوده به عناصر سنگین است (Prasad et al., 2010).

این عملیات معمولاً با کمپلکس سازی کمپلکس سازی عناصر آلاینده و یا با افزایش pH خاک صورت می‌گیرد (Ghorbanli et al., 2015). افزایش pH سبب کاهش حلالیت عناصر فلزی خاصی مانند Cd، Cu، Zn Mn در خاک می‌شود. با این روش می توان از دسترسی گیاه به عنصر فلزی در مقادیر زیاد جلو گیری کرد ولی میزان ان را نمی‌توان در خاک کاهش داد (Ghorbanli et al. 2011). تکنولوژی زیست پالایی متکی بر گیاهان از نظر لغوی گیاه پالایی نامیده

1. *ex situe*

2. *in situe*

می‌شود که به استفاده از گیاهان سبز جهت برداشت در زیوه آلاینده‌ها از خاک‌های آلوده، آب‌های جاری و در شرایطی که سطح آب‌های زیرزمینی بالا باشد برای پالایش مخازن آبهای زیرزمینی آلوده به کار می رود (Megha et al., 2015). اولین نظر و ایده برای بهره‌گیری از گیاهان در جهت پالایش محیط زیست در سال ۱۹۸۳ ارائه شد ولی رسیدن به مفهوم کاربردی ان ۳۰ سال به طول انجامید (Mirck and Zalesny, 2015).واژه گیاه پالایی از یک پیشوند لاتین (phyto) به معنی گیاه به اضافه ریشه لغوی (remedium) به معنی حذف بدی و تباهی گرفته شده است. این تکنولوژی برای حذف دامنه وسیعی از انواع آلاینده‌های آلی و معدنی در خاک، هوا و آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (Soni and Jain, 2014). گیاه پالایی دارای ۵ فرایند اصلی است که در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: فرایند اصلی در گیاه پالایی و مکانیسم برداشت آلاینده‌ها

شماره	فرایند	مکانیسم	آلاینده
۱	پالایش ریشه‌ای (Rhizofiltration)	تجمع در ریشه سپهر	آلی/ معدنی
۲	تثبیت گیاهی (Phytostabilization)	مجتمع سازی	معدنی
۳	استخراج گیاهی (Phytoextraction)	فرا انباشته سازی	معدنی
٤	تبخیر گیاهی (Phytovolatilization)	تبخیر توسط برگها	آلی/ معدنی
۵	تغییر شکل گیاهی (Phytotransformation)	تجزیه در گیاه	آلی

پالایش ریشه‌ای: پالایش ریشه ای به استفاده از گیاهان آبزی و خشکزی برای جذب، تغلیظ و ته‌نشین سازی آلاینده‌ها از منابع آبی البته تحت مقادیر کم آلاینده توسط ریشه‌ها اطلاق می‌شود. از پالایش ریشه‌ای می‌توان در حذف پس ماندهای کشاورزی، فاضلاب‌های اسیدی معادن و تصفیه خانه‌های صنعتی بهره گرفت (Moradli et al., 2012a). این روش از کارایی بالایی برای حذف عناصری مانند سرب، مس، کادمیوم، نیکل، روی و کروم دارد. مطالعات نشان داده است که گیاه کلم زینتی می‌تواند به‌عنوان پیشنهاد ویژه در این زمینه مطرح باشد (Moradli et al., 2012b). مطالعات انجام شده در ایران نیز نشان می‌دهد که برخی گیاهان دارویی و همچنین غده‌ای عناصر سنگین را در بخش‌های مختلف خود بصورت غیر یکسان جذب و نگهداری می‌کنند (Yousefi et al., 2013) (Seyedi et al., 2013).

تثبیت گیاهی: این روش از کاربرد فراوانی در پاکسازی خاک، رسوبات و گل و لای برخوردار بوده (Conesa et al., 2006) و وابسته به توانایی ریشه در محدود سازی حرکت آلاینده‌ها و دسترسی زیستی آنها در خاک می‌باشد. تثبیت گیاهی با عملکرد جذب سطحی، راسب شدگی، تشکیل کمپلکس و یا با کاهش ظرفیت فلزی انجام می شود. اولین هدف گیاهان کاهش میزان آلاینده‌های محلول در آب موجود در ماتریکس خاک است که با جذب آلاینده‌ها از اضمحلال تدریجی خاک توسط فلزات سمی و همچنین از مهاجرت آنها به سایر نقاط خاک جلوگیری می‌کند، این پدیده بدون حضور یک سیستم ریشه‌ای متراکم و افشان که غالبا در گیاهان علفی دیده می‌شود امکان پذیر نیست. Farzamisepehr و همکاران (۲۰۱۳) با مطالعه بر روی گیاه *Polypogon monspeliensis* در پالایش خاک‌های آلوده به فراورده‌های نفتی نشان دادند که همزمان با رشد گیاه

و افزایش زیتوده ریشه ای در گیاه مذکور توان پالایش ریشه از ۱۲/۵ درصد در سی روزه گی گیاهچه جوان به ۲۸/۵ درصد در شصت روزه گی رسید. این روش زمانی که بی حرکت‌سازی سریع برای حفظ و احیای آبهای سطحی و جاری مورد نیاز است و از طرفی زیتوده گیاهی مورد استفاده قرار نخواهد گرفت بسیار کار آمد است (Soltani Javid et al., 2013a). با این وجود بزرگترین عیب این روش باقی ماندن آلاینده‌ها در خاک است و بایستی میزان آنها مرتب کنترل شود با این روش فقط از مهاجرت و جابه جایی آلاینده‌ها کاسته می شود (Lanson et al., 2008).

استخراج گیاهی: این روش یکی از بهترین روش‌ها برای برداشت و حذف آلاینده‌ها از خاک و جداسازی آنها از خاک بدون تخریب ساختار و کاهش توان حاصلخیزی خاک است. از این روش گاهی تحت عنوان تجمع گیاهی هم نامبرده می‌شود. گیاه مقادیر فزاینده ماده آلاینده را جذب می‌کند و در درون خود آن را تجمیع می‌کند. در حقیقت جریانی از مواد آلاینده از خاک به درون زیتوده گیاهی صورت می‌گیرد. مطالعات نشان داده است که درختچه ریش بز (*Ephedra procera* Fisch. & Mey) در محوطه نزدیک معدن منگنز رباط کریم به‌عنوان گیاه شاخص شناسایی شده و دارای توان بالابی در جذب عنصر سرب می‌باشد (Soltani Javid et al., 2013b). این گیاه تا ۳ برابر بیشتر از سایر گیاهان منطقه در خود سرب را در ناحیه ریشه خود انباشته کرده است. مطالعات Moradli وهمکاران (۲۰۱۲) بر روی توان پالایش عناصر کروم و روی موجود در پساب‌های صنعتی شهر صنعتی کاوه استان مرکزی توسط گیاه *Brassica oleraceae* L. نشان داد که می تواند تا ۳ برابر عنصر روی و تا ۰/۵ برابر کروم را از پساب‌های صنعتی توسط ریشه‌های خود برداشت کرده و بلاقاصله آنها را به اندام هوایی خود منتقل و در برگ‌ها انباشته کند. گیاه قاصدک (*Taraxacum syriacum* Bioss.) هم به‌عنوان یک گیاه با توان استخراج کادمیوم از محلول غذایی معرفی شده است (Mortazi et al., 2011). این گیاه در محلول غذایی دارای ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم می‌تواند ۲۵ میلی‌گرم کادمیوم در هر گرم ماده تر ریشه و تا ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم در هر گرم ماده تر اندام هوایی انباشت نماید. در همین گیاه توان انباشته سازی منگنز و مس هم در محلول‌های غذایی حاوی کادمیوم مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در محیط بدون کادمیوم ریشه گیاهان قاصدک توانستند تا ۳۰ میلی‌گرم منگنز در هر گرم ماده تر در ریشه و ۱۵ میلی‌گرم منگنز در هر گرم ماده تردر اندام هوایی ذخیره کنند. نتیجه جالب توجه مطالعه مذکور توان ویژه گیاه قاصدک در جذب مس از محلول غذایی در حضور ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم موجود در محلول غذایی بود به گونه‌ای که در این محیط گیاه قاصدک ۲۰ میلی‌گرم مس در هر گرم ماده خشک اندام هوایی ذخیره کرده بود. گیاه قاصدک با توجه به نوع عنصر جایگاه انباشته سازی را تغییر می‌دهد به عبارتی از ویژگی کده بندی اندامی برای انباشت عناصر گوناگون استفاده می‌کند.

گیاه نی (*Phragmites australis* L.) نیز از توان بالایی در انباشت آلاینده‌ها بر خوردار است. در مطالعه‌ای که توسط Heidari and Farzamisepehr (۲۰۱۵) بر روی فاضلاب شهری قم در اداره آب و فاضلاب این شهرستان صورت گرفت نشان داده شد که گیاه نی با افزایش سن از توان بیشتری در حذف آلاینده‌ها از فاضلاب برخوردار است. با عبور فاضلاب از استخر کشت گیاهان نی در ماه تیر که گیاهان دارای حداکثر زیتوده و بیشترین شادابی بودند پسماند خارج شده دارای ۱۵/۷۵ درصد مواد آلی

کمتر نسبت بـه فاضـلاب ورودی بـا یـک توقـف ٢٤ ساعته بود.

مطالعه در زمینه گیاهان استخراج کننـده منجـر بـه معرفی گیاهانی تحت عنوان گیاهان فـوق انباشـته گـر می شود. گیاهانی که نسبت به دیگر گیاهان موجود در جایگاه آلـوده از تـوان چنـدین برابـر در اسـتخراج و انباشت یک یا چنـد عنصـر برخوردارنـد. Zeinali و Farzamisepehr (۲۰۱۵) با مطالعه بر روی معدن مس میدوک استان کرمان نشان دادنـد کـه از میـان گیاهـان موجـود در منطقـه ۱۲ گیـاه غالـب منطقـه و از میـان گیاهان غالب گونه *Gundelia tournefortii* به عنوان گیاه فوق انباشته گر روی با توان انباشت ۱۰ میلی‌گرم در هر گرم ماده خشک، گیاه *Salsola kali* بـه عنـوان فوق انباشته گر سرب با توان ۰/۵ میلی‌گرم در هر گرم ماده خشک گیـاهی، گیـاه *Ziziphora persica* فـوق انباشته گر آهن با توان ذخیره ٦ میلی‌گرم در هـر گـرم ماده خشک گیاهی و گیـاه *Artemisia sieberi* فـوق انباشته گر مس با توان ذخیـره ۰/۸ میلـی‌گـرم در هـر گرم ماده خشک گیاهی در منطقه معرفی شدند. مطالعه دیگری به‌منظور بررسی تجمع آهن و مس در ریشه و اندام هوایی گونـه‌هـای *Alyssum linifolium*، *Salvia multicaulis*، *Muscari neglactum* و *Verbascum thapsus* و پاسخ آنتی‌اکسیدانی آنها به غلظت عناصـر موجـود در منطقـه کانسـار مـس سـرخه در اسـتان آذربایجـان شـرقی انجـام شـد. نتـایج نشـان داد کـه بیشترین و کمترین مقـدار جـذب آهـن بـه‌ترتیـب در ریشـه *M. neglactum* و *V. thapsus* بـود. همچنـین بیشـترین و کمتـرین مقـدار جـذب مـس در ریشـه بـــه‌ترتیـــب مربـــوط بـــه *M. neglactum* و *V. thapsus* بود در حالی که تفاوت معنـی‌داری بـین اندام‌های هوایی گونه‌هـا بـرای هـر دو عنصـر وجـود نداشـــت (Hakimi and Farzamisepehr, 2015). مطالعه دیگری که در معـدن فیـروزه نیشـابور توسـط Ghorbanli و همکاران (۲۰۱۳) انجـام شـد نشـان داد که در میان گیاهان غالب منطقه گیاهان فوق انباشته گر با توان ذخیره سازی آهن و کروم دیده می شوند ایـن گیاهان عبارتند از: *Onosma bulbotrichum* Dc. prod ، *Phlomis anisodonta* Boiss. و *Stachys lavandulifolia* Vahl.

یکی از جالب‌ترین بخـش‌هـای پـژوهش در ایـن زمینـه بررسـی امکـان بـاز چـرخ عناصـر سـنگین از زیتـوده‌هـای گیـاهی اسـت (Samarghandi et al., 2007). عواملی همانند نرخ رشد، عنصر انتخاب شده، مقاومـت بـه بیمـاری‌هـا، روش برداشـت زیتـوده در مطالعـات بـاز چـرخ عناصـر سـنگین مهـم هسـتند (Liphadzi and Kirkham, 2005). آنچه که مطالعه را در این زمینه با محدودیت و مشـکل روبـرو مـی‌کنـد رشد کند، سازگان ریشه‌ای محدود، توان تولید زیتـوده کم و محدودیت عنصر استخراج شده از گونه گیـاهی انباشته گر می‌باشد.

تبخیر گیاهی: تبخیر گیاهی متضمن استفاده از گیاهـان برای جذب آلاینده‌ها از خاک، تغییر شکل آنها به مواد قابل تبخیر و انتقال آنها به اتمسـفر اسـت. ایـن روش پالایش سبز معمولاً در گونـه‌هـای درختـی کـه انـواع آلاینـده‌هـای آلـی و غیرآلـی را از طریـق آب آبیـاری جذب می‌کنند دیده می‌شود. بعضی از این مواد آلاینده بعد از جذب از ریشه درون گیاه حرکت کرده، خود را به برگ‌ها رسانیده و از برگ تبخیر می‌شود. این روش معمولاً به علت نرخ کم از پتانسیل کمتری در پالایش برخوردار است. در بین انواع فلـزات آلاینـده معمـولاً برای برداشت فلز جیوه از این روش استفاده مـی‌شـود (Tangahu et al., 2015). فلز جیوه بعد از جـذب بـه صورت یون جیوه از گیاه خارج می شود که از درجـه سمیت کمتری بر خوردار است ولـی یکـی از معایـب این روش باز گشت مجـدد جیـوه از طریـق نـزولات جوی و ورود به خاک است (Moreno et al., 2008).

این روش از کارایی بالایی برای جذب و پالایش تریتیوم نیز برخوردار است. تریتیوم ایزوتوپ رادیو اکتیو هیدروژن است که به دنبال فعالیت‌های هسته ای به محیط آزاد شده و با نیمه عمر ۱۲ سال از پایداری قابل توجهی در محیط برخوردار است (Thompson et al., 2015).

تغییر شکل گیاهی: در گیاه پالایی مواد آلی، متابولیسم گیاه به شدت تحت تاثیر مواد آلاینده است به گونه ای که بعد از جذب متابولیسم در جهت کاهش، تغییر شکل، شکست و انهدام، ثابت سازی و گاهی دفع مواد تغییر شکل یافته عمل می کند. در این روش مواد آلی جذب شده توسط گیاه به مولکول‌های ساده شکسته و در بافت‌ها ذخیره می‌شوند (Dolphen and Thiravetyan, 2015). گیاهان دارای آنزیم‌هایی هستند که می‌توانند ترکیبات آمونیومی، مواد کلر دار مانند تری کلرو اتیلن و یا سایر علف کش‌ها را خرد کرده و آنها را به شکل‌های غیرسمی تغییر شکل دهند (Lewis et al., 2015). تجزیه و تغییر شکل ریشه‌ای به فرایند انهدام مواد به واسطه فعالیت‌های میکروبی در سطح ریشه گفته می‌شود که به مراتب کند تر از تجزیه ای است که در داخل بافت‌های گیاهی انجام می‌شود. این فرایند با دخالت قارچها، باکتریها، مخمرها و سایر میکرو ارگانیسم‌ها در سطح ریشه انجام شده و مواد سوختی با بنیان هیدروکربن و حلال‌ها از جمله مواد هدف در این فرایند هستند (Hong et al., 2015).

مکانیسم استخراج گیاهی: به منظور تجمع عناصر خاک در گیاهان، فلزات باید در محلول خاک به‌صورت محلول درآیند. زیست فراهمی عناصر خاک به طرق مختلفی افزایش می یابد.یکی از این روش‌ها این است که گیاهان با ترشح فیتوسیدروفر به ریزوسفر، عناصر پیوند شده به خاک را به‌صورت محلول و کلات شده در می‌آوردند. اسیدی شدن ریزوسفر و تراوش کربوکسیلات می توانند بصورت بالقوه روشی برای افزایش تجمع فلزات در نظر گرفته شوند. بعد از حلال شدن عنصر، براحتی توسط سلول‌های ریشه جذب خواهد شد. فلزات ابتدا با دیواره سلولی پیوند می‌شوند که دیواره یک تبادل کننده یون با وابستگی پایین و با قابلیت انتخاب محدود است. سیستم‌های انتقال و مکان‌های داخل سلولی با میل اتصال عامل واسطه و انتقال و جذب در دیواره سلولی می‌باشند. جذب یون‌های فلزی احتمالاً بواسطه جذب ثانویه از قبیل پروتئین‌های کانال و یا پروتئین‌های ناقل جفت شده با H^+ انجام می‌پذیرد. پتانسیل غشا، که در داخل غشای پلاسمایی منفی می‌باشد و ممکن است در سلول‌های اپیدرمی ریشه به بیش از ۲۰۰- میلی‌ولت برسد، یک نیروی محرک قوی را برای جذب کاتیون‌ها بواسطه جذب ثانویه فراهم می‌کند (Yoo et al., 2017).

هنگامی که در داخل گیاه، فلزات برای حرکت آزادانه در سیستم آوندی به علت عدم حلالیت زیاد با مشکل روبرو باشند، معمولا به شکل کربنات، سولفات یا فسفات رسوب می‌کنند این پدیده هم که در آپوپلاست (خارج سلولی) و هم در سیمپلاست (درون سلولی) دیده می شود در این صورت عناصر به شکل غیر فعال در می‌آیند. حتی در مورد یون‌های فلزی که به عنوان یک کلات فلزی غیر کاتیونی جابجا می‌گردند، انتقال آپوپلاستیک بوسیله ظرفیت تبادل کاتیونی بالا دیواره سلولی بیشترمحدود می‌گردد (Shao et al., 2017). زنجیره آپوپلاست از اپیدرم ریشه و کورتکس به آسانی برای حل شونده‌ها نفوذ پذیر است. مسیر آپوپلاستیک نسبتاً نامنظم است، زیرا آب و مواد محلول می‌تواند بدون نیاز به عبور از غشاء در دیواره‌های سلولی جریان و انتشار پیدا کند. دیواره سلولی لایه سلولی آندودرم به‌عنوان یک مانع برای انتشار آپوپلاستیک به سیستم آوندی عمل می کند.

به‌طورکلی مواد محلول قبل از اینکه وارد آوند چوب گردند، جذب سیمپلاست ریشه می‌گردند. متعاقب جذب فلز به سیمپلاست ریشه، سه فرایند حرکت فلزات از ریشه به آوند چوبی را کنترل می‌کنند: توقف فلزات در داخل سلول‌های ریشه، انتقال سیمپلاستیک به استوانه آوندی و آزاد شدن به آوند چوبی. انتقال یون‌ها به آوند چوبی یک فرایند کنترل شده شدید توسط پروتئین‌های ناقل غشاء است. انتقال سیمپلاستیک عناصر سنگین احتمالا در آوند چوبی پس از عبور از نوار کاسپاری رخ می‌دهد. این امر به دلیل انتخاب نفوذپذیر غشای پلاسمایی سلول می‌باشد که دسترسی به سیمپلاست را به‌طور اختصاصی توسط حامل‌های یونی فلزی عمومی و یا کانال‌ها مقدور می‌سازد. انتقال سیمپلاست مستلزم آن است که یون‌های فلزی در سراسر غشای پلاسمایی حرکت کنند، که معمولاً دارای پتانسیل منفی بزرگ در حدود ۱۷۰ میلی‌ولت (منفی در داخل غشاء) می‌باشد. این پتانسیل غشا یک شیب الکتروشیمیایی قوی برای جنبش به سمت داخل برای یونهای فلزی فراهم می‌کند. اکثر یون‌های فلزی توسط یک فرآیند اشباع وابسته انرژی از طریق حامل‌های یونی فلزی خاص یا عمومی و کانال‌ها وارد سلول‌های گیاهی می گردند (Bradfield et al., 2017).

فلزات سنگین غیر ضروری ممکن است به‌طور موثر برای عبور توسط حامل‌های غشایی با فلزات ضروری رقابت نمایند. فلزات سنگین سمی مانند کادمیوم ممکن است به طور موثر با فلزات میکرو برای اشغال جایگاه حامل‌های غشایی رقابت کند. این فقدان نسبی انتخاب در انتقال یون گذرنده بیانگر علت ورود فلزات سنگین به درون سلول‌ها حتی در صورت برابری شیب غلظت می‌باشد. برای مثال، داده‌های جنبشی نشان می‌دهد که Cu^{2+} و Zn^{2+} ضروری و Ni^{2+} و Cd^{2+} غیرضروری بوده و برای اشغال حامل‌های غشایی رقابت می‌کنند (Bradfield et al., 2017). کلات‌های فلزی پیچیده نیز ممکن است در سراسر غشای پلاسما از طریق حامل تخصصی همانند انتقال آهن با روش فیتوسیدروفور در گونه‌های گیاهی گرامینه عبور نمایند. پس از انتقال فلزات سنگین به ریشه یا در ریشه ذخیره شده و یا به ساقه منتقل می‌گردند. یون‌های فلزی می‌توانند به‌طور فعال از طریق تونوپلاست همانند یون‌های آزاد و یا کمپلکس‌های فلزی کلاته عبور نمایند(Li et al., 2017).

انواع روش‌های استخراج گیاهی

استخراج طبیعی: در محیط طبیعی، گیاهان خاصی شناسایی شده اند که پتانسیل جذب فلزات سنگین را دارا هستند. حداقل ٤٥ خانواده به‌عنوان بیش انباشتگر شناسایی شده‌اند. که برخی از آنها عبارتند از شب‌بوها، بقولات، فرفیون، کاسنی، نعنائیان و گل‌میمون. در بین مهمترین بیش انباشتگرها گیاه قدومه کوهی است که به‌عنوان ترتیزک آلپی شناخته شده است و بدون نشان دادن آسیب تا ۲٦،۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی؛ و تا ۲۲ درصد از کادمیم را از خاک آلوده جذب می‌کند (Álvarez-López et al., 2006). خردل علوفه‌ای که معمولا به نام خردل هندی شناخته شده است قادر به انتقال سرب از ریشه‌ها به ساقه‌ها می‌باشد (Bani et al., 2015). ضریب استخراج گیاهی برای خردل علوفه ای برابر ۱/۷ می‌باشد مشخص گردیده است که غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر مسمومیتی برای گونه‌های چلیپائیان ایجاد نمی کند (Baker and Brooks , 1989). ضریب استخراج گیاهی نسبت غلظت فلز اندازه‌گیری شده در زی‌توده سطحی به غلظت فلز موجود در خاک است. برخی از اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که خردل هندی قادر به برداشت ۱۵۵۱ کیلوگرم سرب در هر هکتار

می‌باشد (Baker et al., 2010). براساس معیار جهانی، غلظت> ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم برای نیکل بیش از ۳۲۰ گونه گیاهی، کبالت (۳۰ گونه گیاهی)، مس ۳٤ گونه گیاهی، سلنیوم ۲۰ گونه گیاهی، سرب ١٤ گونه گیاهی و کادمیم یک گونه گیاهی شناخته شده است. این گونه‌ها به عنوان بیش انباشتگر اخیرا توسط Baker و همکاران (۲۰۱۰) شناسایی شده‌اند. تعدادی از زیر مجموعه این گیاهان در کنگو و زئیر وجود دارند. غلظت‌های بیش از ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم برای عنصر روی (۱۱ گونه) منگنز (۱۰ گونه) اندازه‌گیری شده‌اند. سطح آستانه بیش انباشتگری این عناصر بالاتر تعیین شده است زیرا محدوده طبیعی این گیاهان (۲۰- ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بسیار بالاتر از برای دیگر فلزات سنگین می‌باشد. گیاهان آبزی مانند سنبل آبی، عدسک آبی و آزولا برای استفاده در جذب فلزات از آب‌های آلوده، گیاه تخریبی و استخراج گیاهی نیز مورد بررسی قرر گرفته‌اند (Al Sayad and Dairi, 2006). Swain و همکاران (۲۰۱٤) برداشته زیستی پلاتینیوم را با استفاده از سنبل آبی گزارش کردند. بسیاری از گیاهان آبزی نظیر آزولا یا سرخس آبی، گونه‌های کوچک آزولا، لوئی و سالوینیا در برداشت زیستی فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرند.

Martins و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه خود دوازده گونه گیاهی تالاب را گزارش کردند، که گونه *Polygonum hydropiperoides*را به‌عنوان بهترین گونه گیاه پالایی فلزات سنگین معرفی نموده‌اند که بدلیل رشد سریع و دانسیته بالای آنها می‌باشد. اخیرا گزارش شده که یک سرخس(*Pteris vitatta*) قادر به جمع‌آوری ١٤٥٠٠ میلی‌گرم در کیلوگرم آرسنیک در برگ‌های خود بدون نشان دادن علائم سمیت می‌باشد (Mandal et al., 2012).

استخراج گیاهی تحریک شده یا استخراج گیاهی به کمک کلات‌ها: سلول‌های گیاه می‌توانند لیگاندهای الیگوپپتید مانند فیتوکلات‌ها و متالوتیونین‌ها را تولید نمایند. این لیگاندهای پپتیدی، کمپلکس پایداری با فلزات سنگین تشکیل داده و سمیت یونهای فلزی را خنثی می‌نمایند (Cobbett and Goldsbrough, 2002). فیتوکلات‌ها توسط گلوتاتیون در یک پپتید با ساختمان (Gly-(γ-Glu-Cys-)n (n= 2-11 سنتز می‌شوند. وجود فیتوکلات در صدها گونه تجمع کننده فلزات سنگین گزارش شده است. متالوتیونین ژن‌های کوچک encode شده از پلی‌پپتید غنی سیستئین است. گونه‌های گیاهی کلات کننده فلزات سنگین با گونه‌های جاذب و سمیت زدای فلزات سنگین متفاوت می باشند. عامل کلات کننده مانند EDTA (اتیلن‌دی آمین ترا استیک اسید) برای جذب سرب خاک‌های آلوده به‌کار برده می‌شود که قابلیت دسترسی سرب ر ا در خاک افزایش داده و در گیاه تجمع می‌یابد. افزودن کلات‌ها به خاکهای آلوده سرب (۲۵۰۰ mg/kg سرب در خاک) غلظت سرب در ساقه ذرت *Zea mays* و نخود فرنگی *Pisun sativum* را کمتر از ۵۰۰ mg/kg تا بیشتر از ۱۰۰۰۰۰ mg/kg افزایش می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهند که کلات انتقال سرب بدرون آوند چوبی و از ریشه به ساقه را افزایش می‌دهند. در آزمایشات مختلف تاثیر کاربرد کلات‌ها در افزایش جذب سرب به‌صورت EDTA>HEDTA>DTPA> EDDHAمی‌باشد (Cooper et al., 1999).

Quartacci و همکاران (۲۰۰٦) گزارش داد که خردل قهوه‌ای در محلول هیدروپونیک که در معرض سرب و EDTA قرار گرفت قادر به جمع آوری تا ۵۵ میلی‌مول در کیلوگرم سرب در بافت ساقه خشک گردید. این امر نشان می‌دهد که غلظت سرب در ساقه ۷۵ برابر آن در محلول می‌باشد. غلظت

آستانه EDTA (۰/۲۵ میلی‌مول) برای انگیزش تجمع سرب و EDTA در ساقه مورد نیاز است.

مهندسی ژنتیک به منظور بهبود گیاه پالایی: برای به‌نژادی گیاهان، داشتن پتانسیل بالقوه گیاه پالایی با تولید زیست توده بالا می تواند گزینه مناسب برای بهبود گیاه پالایی باشند. تکثیر گیاهان معمولی توسط چندین ژن کنترل می گردد و بسختی میتوان به کمک تزریق یک ژن آن را ارتقا داد. روش‌های مهندسی ژنتیک برای قرار دادن ژن با کارآمدی بالاتر برای تجمع عناصر سنگین به گیاهان مختلف توسط بسیاری از مطالعات پیشنهاد شده است. تزریق ژن با کارآمدی تجمع عناصر بیشتر به گیاهانی که ارتفاع بلندتری دارند باعث افزایش بیوماس نهایی می‌گردد. Gasic و Korban (۲۰۰۷) با بررسی گیاه خردل قهوه ای اصلاح شده به بررسی عوامل محدود کننده تولید گلوتاتیون و فیتوکلاتین پرداختند: آنها ژن اشرشیاکلی –gshl– را معرفی کردند. نهال تراریخته Y-ECS تحمل به کادمیوم را افزایش داد و غلظت‌های بالاتر از فیتوکلاتین، Y-GluCys، گلوتاتیون و گروه‌های تیول‌های در مقایسه با گیاهان وحشی مشاهده شد. پتانسیل موفقیت مهندسی ژنتیک می‌تواند به‌دلیل محدودیت‌های آناتومی محدود گردد.

محدودیت‌های استخراج گیاهی: استخراج گیاهی و زیست پالایی گیاهی از موثرترین روش‌هاست اگر آلودگی خاک در کمتر از ۳ فوت از سطح خاک و آب‌های زیرزمینی در عمق ۱۰ فوت از سطح قرار گرفته باشد. این تکنیک در مناطقی که دارای آلودگی اندکی باشند در سطح گسترده قابل اجرا می‌باشد. همچنین در مکان‌های با مقدار آب زیرزمینی زیاد و سطح کم آلودگی براحتی قابل انجام می‌باشد. موفقیت بستگی کامل به کوددهی خاک، تهویه خاک، اهمیت به کارگیری شیوه‌های ارگانیک موثر دارد. دانشمندان اثر اسیدی شدن خاک را بر روی استخراج گیاهی Zn و Cd مورد بررسی قرار دادند و مشخص کردند که استفاده از $(NH_4)_2SO_4$ به‌عنوان تأمین کننده عناصر غذایی(Nو S) برای عملکرد بالا و برای اسیدی کردن خاک و فراهمی زیستی فلز ضروری است. بهرحال جنبه منفی اسیدی کردن خاک در این فرایند باید مورد توجه قرارگیرد. برای مثال در اثر افزایش حلالیت بعضی از عناصر سنگین ممکن است به آبهای زیرزمین آبشویی گردند و مشکلات زیست محیطی بیشتری را ایجاد کنند(Gasic and Korban, 2007).

Kumar (۲۰۱۰) نشان داد که بعد از استخراج گیاهی فلز، خاک برای افزایش pH تا رسیدن به حد خنثی باید آهک دهی گردد. با این حال، آهک زودرس ممکن است ظرفیت خاک برای جذب فلز را افزایش دهد و پتانسیل آن را برای استخراج گیاهی محدود کند. اثر مشابه دیگر را می‌توان بعد از افزودن کود آلی مشاهده کرد. فسفر یک ماده غذایی مهم است و گیاهان پاسخ مطلوب به استفاده از کود فسفات را با افزایش بیوماس می‌دهند. کلات‌های طبیعی گیاهان یا دارای منشأ میکروبی، نسبت به کلات‌های شیمیایی امیدبخش می باشند. مشخص نیست که آیا یک کلات شیمیایی میتواند به‌صورت عملی استخراج گیاهی را بهبود ببخشد زیرا کلات شیمیایی سمیت اضافی برای گیاهان ایجاد می‌کند، در نتیجه ممکن است جذب فلزات را افزایش اما رشد گیاهان را به علت محدودیت‌هایی کاهش دهند.

آینده گیاه پالایی: یکی از جنبه‌های کلیدی برای پذیرش استخراج گیاهی مربوط به اندازه‌گیری کارایی آن، استفاده نهایی محصولات آن و تداوم اقتصادی آن است. تا به امروز، استخراج گیاهی تجاری شده محدود شده است به امید اینکه اصلاح منطقه باید در یک زمان قابل مقایسه با سایر فن آوری‌های پاک کننده انجام گیرد. تاکنون، بسیاری از آزمایش‌های گیاه پالایی در مقیاس آزمایشگاهی انجام گرفته است،

جائی که گیاهان در محیط هیدروپونیک رشد میکنند و عناصر سنگین به‌صورت عنصر غذایی بـه آنهـا اضـافه می‌شود. در حالی که این نتایج امیدوار کننده می‌باشند، دانشمندان اعتقاد دارند که محیط کشت کاملاً متفـاوت از خاک مـی‌باشـد. در یـک خـاک واقعـی بسـیاری از عناصر به شکل‌های غیـر قابـل حـل بـه خـاک پیونـد یافته‌اند و کمتر قابل دسترس می‌باشـند کـه ایـن یـک مشکل اساسی است. آینده گیاه پالایی هنوز در مرحله تحقیق و توسـعه قـرار دارد و بسـیاری از موانـع فنـی وجود دارد که باید به آنها پرداخته شود. هـر دو شـیوه مدیریت زراعی و توانایی‌های ژنتیکی گیـاهی نیـاز بـه بهینه سـازی بـرای توسـعه روش‌هـای تجـاری مفیـد هستند. بسیاری از گیاهان بیش انباشتگر هنـوز کشـف نشده اند و فیزیولوژی آنها باید شناسایی گـردد. بهینـه سازی فرایندها، درک درست جـذب فلـزات سـنگین توسط گیاه و دفع مناسب بیوماس تولید شده نیـاز بـه بررسی بیشتر دارند.

نتیجه‌گیری نهایی

گیاه پالایی به سرعت در حال توسعه است، در ده سال اخیر بسیاری از برنامه مناسب در سراسـر جهـان آغاز شده است، که شامل گیاه پالایی آلی، غیـر آلـی و پرتوزا می‌باشد. این فرایند پایدار و ارزان است کـه بـه سـرعت در حـال ظهـور مـی‌باشـد و بـه‌عنـوان یـک جـایگزین مناسـب بـرای روش‌هـای اصـلاح قـدیمی خواهد بود و مناسب برای کشورهای در حال توسـعه می‌باشد. بسـیاری از مطالعـات در کشـورهای توسـعه یافته انجام شده است و دانـش اسـتفاده از گیاهـان در این کشورها محدود شده است. گیاهانی با رشد سریع باتوان تولید زیتوده بالا و قابلیت جـذب زیـاد مـورد نیاز می‌باشد. در بسیاری از مکـان‌هـای بسـیار آلـوده، گونه‌های علف هرزی وجود دارد کـه گیـاه پـالایی از طریق این گیاهـان و سـایر گونـه‌هـای غیـر خـوراکی می‌تواند آلایندگی را از وارد شدن بـه زنجیـره غـذایی محدود کند. با این حال، روش‌های دفع گیـاه محـدود بوده و اطلاعات مربوط بـه ایـن روش‌هـا کـم اسـت. کمپوست سازی و متراکم کـردن مـی‌توانـد بـه‌عنـوان مراحل اولیه برای کاهش حجم مواد مورد استفاده قرار گیرد. اما باید مراقب جمع‌آوری شیرابه ناشی از متراکم شدن بود. بین دو روشی که زیتـوده آلـوده را بـه‌طـور قابل توجهی کاهش می‌دهند یعنـی تهیـه کمپوسـت و سوزاندن بـه نظـر مـی رسـد از نظـر کـاهش زمـان و سازگار بودن با محیط زیسـت بهتراسـت از سـوزاندن مستقیم یا خاکستر کردن چشم پوشی کرد.

References

Al Sayad, H. and Dairi, M. (2006). Metal accumulation in the edible snail *Turbo coronatus* (Gmelin) from different 10 cautions in Bahrain, Persian Gulf. Journal Science Research. 24:48–57.

Álvarez-López, A., Prieto-Fernández, Á., Cabello-Conejo, M.I. and Kidd, P.S. (2016). Organic amendments for improving biomass production and metal yield of Ni-hyperaccumulating plants. Science of the Total Environment. 548:370–379

Atma W., Larouci , M., Meddah, B., Benabdeli , K. and Sonnet, P.(2017). Evaluation of the phytoremediation potential of *Arundo donax* L. for nickel-contaminated soil. International Journal of Phytoremediation. 19(4):377-386.

Baker, A.J.M. and Brooks, R.R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements: a review of their distribution, ecology and phytochemistry. Biorecovery. 1:81–126.

Baker, A.J.M., Ernst, W.H.O., Van Der Ent, A., Malaisse, F., and Ginocchio, R. (2010). Metallophytes: the unique biological resource its ecology, and conservational status in Europe, central

Africa and Latin America, in Ecology of Industrial Pollution, eds L. C. Batty and K.B. Hallberg (Cambridge, UK: University Press), 7–40.

Bani, A., Echevarria, G., Zhang, X., Benizri, E., Laubie, B. and Morel, J.L. (2015). The effect of plant density in nickel-phytomining field experiments with *Alyssum murale* in Albania. Australian Journal of Botany. 63:72–77.

Bradfield, S.J., Kumar, P., White, J.C. and Ebbs, S.D. (2017). Zinc, copper, or cerium accumulation from metal oxide nanoparticles or ions in sweet potato: Yield effects and projected dietary intake from consumption. Plant Physiology and Biochemistry. 110:128-137.

Cobbett, C. and Goldsbrough, P. (2002). Phytochelatins and metallothioneins: roles in heavy metal detoxification and homeostasis. Annual Review of Plant Physiology. 53:159-82.

Conesa, H.M., Faz, A. and Arnaldos, R. (2006). Initial studies for the phytostabilization of a mine tailing from the Cartagena-La Union Mining District (SE Spain). Chemosphere. 66(1):38-44.

Cooper, E.M., Sims, J.T., Cunningham, S.D., Huang, J.W. and Berti, W.R. (1999). Chelate-assisted phytoextraction of lead from contaminated soil. Journal of Environmental Quality, 28:1709–1719.

Dolphen, R. and Thiravetyan, P. (2015). Phytodegradation of ethanolamines by *Cyperus alternifolius*: effect of molecular size. Internation Journal Phytoremediation. 17(7):686-92.

Farzamisepehr, M., Nourozi Hajabdal, F. and Faraj zadeh, A. (2013). Polypogon monspeliensis species in the phytoremediation capacity of soils contaminated with oil. Plant Environmental Physiology Journal. 8(29): 87-75.

Fodelianakis, S., Antoniou, E., Mapelli, F., Magagnini, M., Nikolopoulou, M., Marasco, R., Barbato, M., Tsiola, A., Tsikopoulou, I., Giaccaglia, L., Mahjoubi, M., Jaouani, A., Amer, R. and Hussein, E. (2015). Allochthonous bioaugmentation in *ex situ* treatment of crude oil-polluted sediments in the presence of an effective degrading indigenous microbiome. Journal of Hazardous Materials. 28:78–86.

Gasic, K. and Korban, SS. (2007). Transgenic Indian mustard (*Brassica juncea*) plants expressing an *Arabidopsis* phytochelatin synthase (AtPCS1) exhibit enhanced As and Cd tolerance. Plant Molecular Biology. 64:361–369.

Ghorbanli, M., Farzami Sepehr, M. and Shekarkar, N. (2015). Interaction of pH and Mn on physiological parameters of *Brassica oleracea* L. Journal of Plant Nutrition. 38:1–15.

Ghorbanli, M., Farzami Sepehr, M. and Shekarkar, N. (2011). The effect of interaction of various concentrations of manganese and pH on the growth and some physiological and biochemical parameters in ornamental cabbage plants. Plant and Biotechnology Journal of Iran. 6(4):13-24.

Ghorbanli, M. Farzami Sepehr, M. and Sabohimogadam, N. (2013). Screening for accumulator plants in turquoise mine, Nyshaboour(Iran). Iranian Journal of Plant Physiology. 3(4):779-784.

Hakimi, L. and farzamisepehr, M. (2015). Investigation of Fe and Cu accumulation and antioxidant response of dominant plants in Sorkhe mine, Marand province, Plant Environmental Physiology Journal. 10(40): 21-30.

Hani, A. (2010). Spatial distribution and risk assessment of As, Hg, Co and Cr in Kaveh Industrial City, using geostatistic and GIS. International Conference on Geological Sciences and Engineering, Venice, Italy.

Hani, A., Sinaei, N. and Gholami, A. (2014). Spatial variability of heavy metals in the soils of ahwaz using geostatistical methods. International Journal of Environmental Science and Development. 5(3):294-298.

Heidari Torkabad, M. and Farzamisepehr, M. (2015). Investigation of phragmites potential in remediation of home slugs in Qom, Qom Provience. Master of Science

thesis, Islamic Azad University, Save Branch.

Hong, Y., Liao, D., Chen, J., Khan, S., Su, J. and Li, H. (2015). A comprehensive study of the impact of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contamination on salt marsh plants *Spartina alterniflora*: implication for plant-microbe interactions in phytoremediation. Environmental Science and Pollution Research. 22 (9): 7071–7081.

Kumar, R.P. (2010). Phytoremediation of heavy metals in a tropical impoundment of industrial region. Environmental Monitoring and Assessment. 165:529-537.

Kumar, P.B.A.N., Dushenkor, V., Ensley, V.D., Chet, I. and Raskin, I. (1995). Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from Environment using plants. Journal of Biotechnology. 13: 1232-1238.

Lanson, B., Marcus, M.A., Fakra, S, Panfill, F., Geoffroy, N. and Manceau, A. (2008). Formation of Zn-Caphyllomanganatenanoparticle in grass roots. Geochimica et Cosmochimica Acta. 72: 2478-2490.

Lewis, J., Qvarfort, U. and Sjöström, J. (2015). Betula pendula: A promising candidate for phytoremediation of TCE in northern climates international. Journal of Phytoremediation.17(1):9-15.

Li, Q., Li, Y., Wu, X., Zhou, L., Zhu, X. and Fang, W. (2017). Metal transport protein 8 in *Camellia sinensis* confers superior manganese tolerance when expressed in yeast and *Arabidopsis thaliana*. Scientific Reports. 7:(1-11).

Liphadzi, M.S. and Kirkham, M.B. (2005). Phytoremediation of soil contaminated with heavy metals: a technology for rehabilitation of the environment. South African Journal of Botany. 71 : 24–37.

Mandal, A., Purakayastha, TJ., Patra, A.K. and Sanyal, SK.(2012). Phytoremediation of arsenic contaminated soil by *Pteris vittata* L. II. Effect on arsenic uptake and rice yield. Internation Journal Phytoremediation. 14(6):621-8

Martins, A.P.L., Reissmann, C.B., Boeger, M.R.T., De Oliviera, E.B. and Favaretto, N. (2010). Efficiency of Polygonum hydropiperoides for phytoremediation of fish pond effluents enriched with N and P. Aquat. Plant Manage. 48: 116-120

Megha, P.U., Kavya, P., Murugan, S. and Harikumar, P.S. (2015). Sanitation Mapping of Groundwater Contamination in a Rural Village of India. Journal of Environmental Protection. 6(1):34-44.

Mirck, J. and Zalesny, R.S. (2015). Mini-Review of knowledge gaps in salt tolerance of plants applied to willows and poplars. International Journal of Phytoremediation. 17(7): 640-650.

Moradli, A., Farzamisepehr, M. and Hani, A. (2012a). The effect of the interaction of heavy metals: chromium and zinc on growth in the cultivation of ornamental cabbage Seedlings 30 days in Hydroponic conditions. Third National Conference on Agriculture and Food Sciences, September , Fasa, Iran.

Moradli, A., Farzamisepehr, M. and Hani, A. (2012b). *Brassica oleraceae* L. phytoremediation potential for chromium refining industry. The Third National Conference on Industrial Wastewater and Solid Waste Management. December , tehran , Iran

Mortazi , M., Farzamisepehr, M. and Salimpour, F. (2011). Evaluate the potential of dandelion in the stacking of cadmium. Plant Environmental Physiology Journal. 6(24): 61-53.

Moreno, F.N., Anderson, Ch.W.N., Stewart, R.B. and Robinson, B.H. (2008). Phytofiltration of mercury-contaminated water: Volatilisation and plant-accumulation aspects. Environmental and Experimental Botany. 62(1):78–85.

Prasad, M.N.V., Freitas, H., Fraenzle, S., Wuenschmann, S. and Markert, B. (2010). Knowledge explosion in phytotechnologies for environmental solutions. Environmental Pollution. 158 :18–23.

Quartacci, M.F., Argilla, A., Baker, A.J.M. and Navari-Izzo, F. (2006).

Phytoextraction of metals from a multiply contaminated soil by Indian mustard. Chemosphere. 63(6): 918-925.

Samarghandi, MR., Nouri, J., Mesdaghinia, AR., Mahvi, AH., Nasseri, S. and Vaezi, F. (2007). Efficiency removal of phenol, lead and cadmium by means of UV/TiO_2/H_2O_2 processes. International Journal of Environmental Science and Technology. 4(1):19–25.

Seyedi , H., Hani, H. and Moradi, P. (2013). The effect of sewage sludge adsorption of heavy metals lead and cadmium and nutrients (Fe, Ca and K) in the turnip. 2nd National Conference on *New* Concepts in Agriculture, Islamic Azad University. Saveh Branch.

Shao J.F., Yamaji, N., Shen, R.F. and Ma, J.F. (2017). The key to Mn homeostasis in plants: Regulation of Mn transporters. Trends in Plant Science. 22(3): 215–224.

Soltani Javid , A., Moraghebi , F. and farzamisepehr, M. (2013a). The role of heavy metals in Robat Karim mine in morphological differentiation *of Ephedra.* 2nd National Conference on New Concepts in Agriculture, Islamic Azad University, Saveh Branch.

Soltani Javid, A., Moraghebi , F. and farzamisepehr, M. (2013b). The role of *Ephedra procera* Fisch. and Mey in heavy metal accumulation in Robat Karim Mn mine. Iranian Plant Ecophysiological Research Journal. 9(2): 65-71.

Soni, S. and Jain S. (2014). A review on phytoremediation of heavy metals from soil by using plants to remove pollutants from the environment. International Journal of Advanced Research. 2(8):197-203.

Swain, G., Adhikari, S. and Mohanty, P. (2014). Phytoremediation of copper and cadmium from water using water hyacint, eichhornia crassipes. International Journal of Agricultural Science and Technology. 2(1):1-7.

Tangahu, B.V., Sheikh Abdullah, S.R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N. and Mukhlisin, M. (2015). A review on heavy metals (as, pb, and hg) uptake by Plants through Phytoremediation. Open Journal of Ecology. 5: 375- 388.

Thompson, P.A., Kwamena, N.O, Ilin, M., Wilk, M. and Clark, I.D. (2015). Levels of tritium in soils and vegetation near Canadian nuclear facilities releasing tritium to the atmosphere: implications for environmental models. Journal of Environmental Radioactivity. 140:105–113.

Yoo, J.Ch., Lee, C. Lee, J.S. and Baek, K. (2017). Simultaneous application of chemical oxidation and extraction processes is effective at remediating soil Co-contaminated with petroleum and heavy metals. Journal of Environmental Management. 186(2):314–319.

Yousefi , Z. and Hani, A. (2013). The amount of cadmium and lead refining plant of German chamomil. 2nd *National* Conference on *New* Concepts in Agriculture. December , Saveh , Iran.

Zeinali Nezhad, M. and Farzamisepehr, M. (2015). The case study of Meidok mine based on heavy metal concentrations in soil and plants. Plant environmental Physiology Journal. 10(38): 24-38.