نشریه مدیریت اراضی/جلد ۳/ شماره ۲ / ۱۳۹۴
DOI: http://dx.doi.org/10.22092/lmj.2016.106147

کشت برخی گیاهان دارویی در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین: راهکاری برای مدیریت اراضی آلوده

حمایت عسگری لجایر[۱]، نصرت اله نجفی و ابراهیم مقیسه

دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز. **h-asgari@tabrizu.ac.ir**

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز. **n-najafi@tabrizu.ac.ir**

استادیار پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای. **emoghiseh@nrcam.org**

دریافت: خرداد ۱۳۹۳ و پذیرش: شهریور ۱۳۹٤

چکیده

خاک به‌عنوان جزئی از بیوسفر نقش مهمی در تولید غذا و پایداری محیط زیست دارد. آلودگی محیط زیست و خاک به فلزات سنگین یکی از مشکلات بزرگی است که کشورهای در حال توسعه و صنعتی با آن رو به رو هستند. آلودگی خاک‌ها با فلزات سنگین اغلب ناشی از فعالیت‌های انسان مانند توسعه صنعت، گسترش شهرنشینی، مصرف لجن فاضلاب، کمپوست‌ها و کودهای شیمیایی در کشاورزی و غیره می‌باشد. برای حذف فلزات سنگین از خاک‌های آلوده چندین روش شامل روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی وجود دارد. گیاه‌پالایی یکی از روش‌های مورد استفاده در حذف آلاینده‌ها می‌باشد که ضمن سادگی، ارزان قیمت و مؤثر بودن باعث تخریب محیط زیست نمی‌شود. گیاه‌جذبی یکی از بخش‌های گیاه‌پالایی است که با انباشت فلزات سنگین در اندام‌های هوایی گیاهان بیش‌انباشتگر، حذف این عناصر از خاک‌های آلوده را امکان‌پذیر می‌کند. در سال‌های اخیر به‌دلیل رشد کند و تولید زیست‌توده اندک گیاهان بیش‌انباشتگر، مصرف برخی گیاهان زراعی، چوبی، دارویی و معطر دارای زیست‌توده بالا به‌عنوان یک جایگزین مناسب به‌جای بیش‌انباشتگرها برای استخراج فلزات سنگین از خاک‌های آلوده پیشنهاد شده است. گیاهان دارویی مورد استفاده برای گیاه‌جذبی ممکن است بیش‌انباشتگرهای گیاهی نباشند و در مقایسه با دیگر گیاهان زراعی و چوبی پتانسیل گیاه‌جذبی بالایی نداشته باشند ولی به‌دلیل تولید محصول نهایی (متابولیت‌های ثانویه) عاری از فلزات سنگین و اقتصادی بودن متابولیت‌های ثانویه آن‌ها، می‌توانند به‌عنوان گیاهان مناسب برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین مورد استفاده قرار گیرند. مقاله حاضر به بررسی امکان کشت گیاهان دارویی بابونه، ریحان، شاهدانه، نعناع، گل راعی، خرفه، مریم گلی و اسطوخودوس در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و پتانسیل گیاه‌پالایی آنها می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی: گیاهان دارویی، گیاه‌پالایی، گیاه‌جذبی، فلزات سنگین.

[۱]- آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز.

مقدمه

در حال حاضر یکی از چالش‌های اساسی در محیط زیست، افزایش تدریجی غلظت فلزات سنگین در خاک و به‌تبع آن آلوده شدن خاک زیر کشت گیاهان مختلف به این فلزات می‌باشد (رحیمی و رونقی، ۱۳۹۱). در طی سالیان اخیر دانشمندان تحقیقات زیادی را در زمینه چگونگی کاهش این آلودگی‌ها و نحوه پاک‌سازی آن‌ها انجام داده‌اند. به‌طور کلی، پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین با استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی مانند شستشوی شیمیایی فلزات، خاک‌برداری، استخراج و یا تثبیت گونه‌های یونی آلاینده توسط الکترودهای قرار داده شده در خاک (الکتروسینتیک)و غیره اغلب با مشکلاتی مانند هزینه زیاد، تخریب ساختار فیزیکی و شیمیایی و فعالیت‌های حیاتی خاک و محدودیت استفاده در مقیاس وسیع مواجه هستند (وو و همکاران، ۲۰۱۰). در سال‌های اخیر استفاده از تکنولوژی نو پدید گیاه‌پالایی[1] به‌عنوان یک روش مورد قبول برای پاک‌سازی و جابه‌جایی فلزات سنگین از خاک‌های آلوده به‌دلیل ارزان بودن، سادگی، مقبولیت همگانی، حفظ و نگهداری کیفیت‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و غیره توجه پژوهشگران متعددی را به خود معطوف داشته است (هنری، ۲۰۰۰)؛ ولی هنوز با چالش‌های زیادی مواجه است. حداقل غلظت مورد نیاز فلزات مختلف در بخش هوایی گیاهان برای طبقه‌بندی به‌عنوان بیش‌انباشتگر در جدول ۱ ارائه شده است.

همچنین برای بیش‌انباشتگری فلزات علاوه‌بر غلظت‌های مذکور در جدول ۱، بایستی فاکتور انتقال (غلظت عنصر مورد نظر در بخش هوایی به غلظت عنصر مورد نظر در ریشه) بزرگتر از یک باشد (شئوران و همکاران، ۲۰۰۹). بیش‌انباشتگرها[2]، عمدتاً گیاهانی وحشی، با جذب فلزات قابل‌توجه ولی تولید زیست‌توده محدود و بدون بازده اقتصادی برای استفاده در سطوح وسیع و مزرعه‌ای می‌باشند (لاسات، ۲۰۰۲). این خصوصیات، استفاده از گیاهان بیش‌انباشتگر را برای پالایش محیط به‌شدت محدود می‌کند. این چالش‌ها در کشورهای با منابع محدودتر، مهم‌تر است که دولت نمی‌تواند مشوق‌هایی برای تولیدکنندگان کشاورزی با خاک‌های آلوده عرضه کند و یا زمین نمی‌تواند از تولید خارج شود (زلجازکوف و همکاران، ۲۰۰۸). لذا، یک گزینه جایگزین، پیشنهاد استفاده از گونه‌های دارای زیست‌توده بالا نظیر ذرت، یولاف و کلزا و غیره (گیاهان خوراکی)، گونه‌های درختی و درختچه‌ای، گیاهان دارویی و معطر می‌باشد (زلجازکوف و همکاران، ۲۰۰۸). گیاهان دارویی مورد استفاده برای گیاه‌پالایی ممکن است بیش‌انباشتگرهای گیاهی نبوده و پتانسیل گیاه‌پالایی خیلی بالا در مقایسه با سایر گیاهان نداشته باشند (براون و همکاران، ۱۹۹۵).

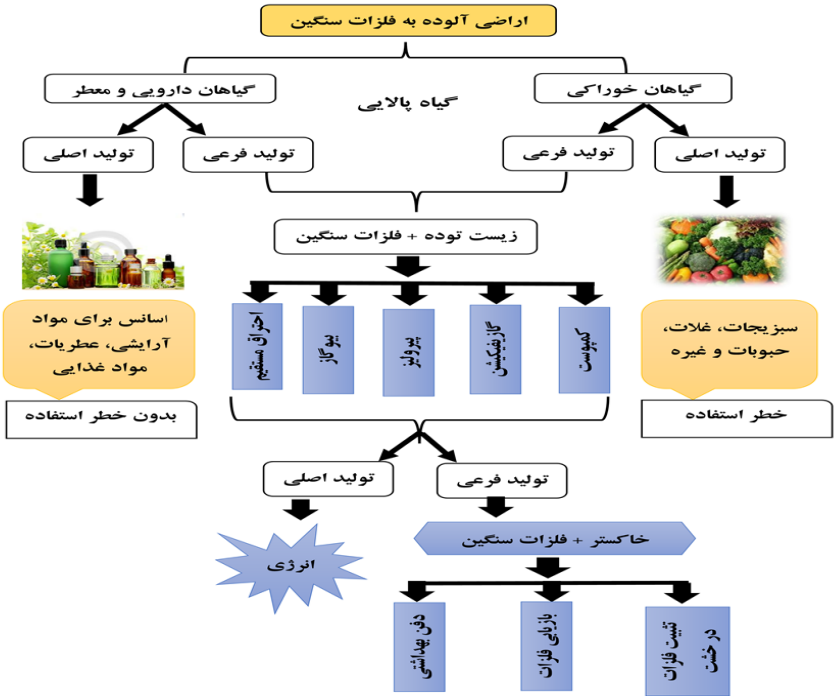
با این وجود، استفاده از این گیاهان برای گیاه‌پالایی ممکن است اولاً به‌دلیل تولیدات نهایی عاری از فلزات (متابولیت‌های ثانویه)، اقتصادی بودن تولیدات ثانویه آن‌ها، عدم مشکل وارد شدن این فلزات به زنجیره غذایی در صورت مصرف متابولیت‌های ثانویه و ثانیاً به‌دلیل مقاومت بالای این گیاهان به تنش فلزات سنگین به‌دلیل دارا بودن متابولیت‌های ثانویه و نقش این متابولیت‌ها در تحمل به تنش، بر گیاهان خوراکی و چوبی ترجیح داده شود (شکل ۱) (گوپتا و همکاران، ۲۰۱۳). به طور مختصر، متابولیت‌های ثانویه معمولاً بر اساس منشأ زیست‌ساختی به سه گروه مهم شامل ترپن‌ها، فنول‌ها و ترکیبات نیتروژن‌دار تقسیم می‌شوند. ترپن‌ها یا ترپنوئیدها بزرگترین گروه متابولیت‌های ثانویه به‌شمار می‌روند که قسمت عمده ترکیبات اسانس گیاهان دارویی متعلق به ترپنوئیدها می‌باشد. از متابولیت‌های ثانویه نیتروژن‌دار می‌توان به آلکالوئیدها و گلیکوزیدهای سیانوژنی و از ترکیبات فنولی می‌توان اسیدهای فنولی، آنتوسیانین‌ها، آنتوسیانیدین‌ها و لیگنین‌ها را نام برد (اسماعیل زاده و

[1] -Phytoremediation
[2]- Hyperaccumulator

شریفی، ۱۳۹۲). با توجه به مطالب ذکر شده، در زیر اثر فلزات سنگین بر برخی گیاهان دارویی مختلف و امکان استفاده از آن‌ها برای گیاه‌جذبی فلزات سنگین مورد بررسی قرار می‌گیرد.

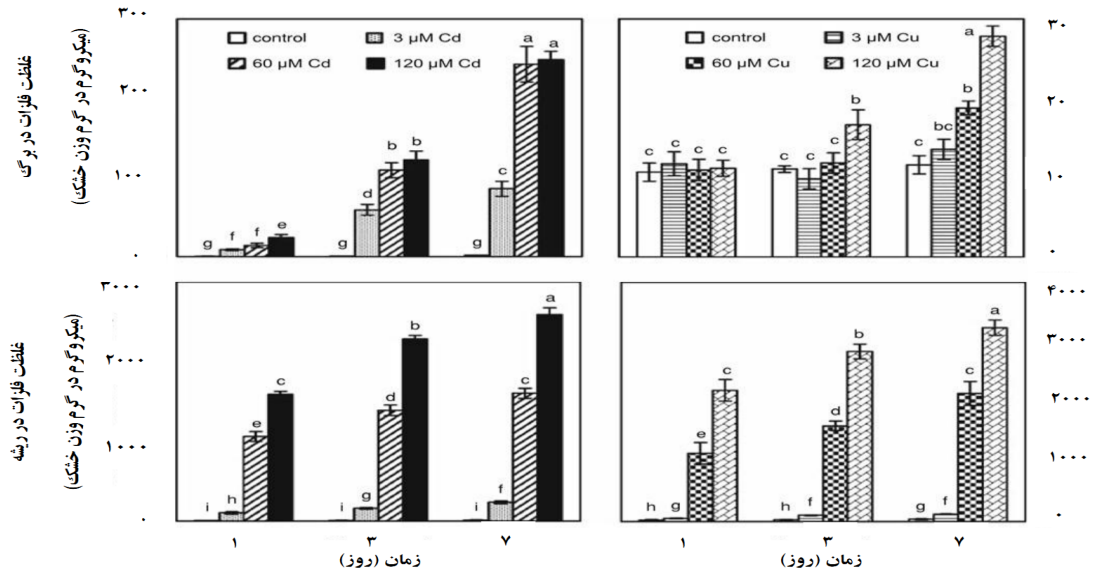
جدول۱- حداقل غلظت مورد نیاز از فلزات مختلف برای طبقه‌بندی گیاهان به عنوان بیش‌انباشتگر (شئوران و همکاران، ۲۰۰۹)

فلز سنگین	حداقل غلظت در گیاهان برای بیش‌انباشتگری (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فلز سنگین	حداقل غلظت در گیاهان برای بیش‌انباشتگری (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
آرسنیک	۱۰۰۰	منگنز	۱۰۰۰۰
کادمیم	۱۰۰	نیکل	۱۰۰۰
کبالت	۱۰۰۰	سلنیم	۱۰۰
کروم	۱۰۰۰	نقره	۱
مس	۱۰۰۰	تالیم	۱۰۰
طلا	۱	اورانیم	۱۰۰۰
سرب	۱۰۰۰	روی	۱۰۰۰۰



شکل ۱- مقایسه اثر فلزات سنگین بر گیاهان دارویی و خوراکی (گوپتا و همکاران، ۲۰۱۳)

شکل۲- تصویر گیاه دارویی بابونه



شکل ۳- اثر سطوح مختلف کادمیم و مس بر غلظت این فلزات در بخش‌های مختلف گیاه بابونه در مرحله رزت (کواچیک و باکور، ۲۰۰۸)

بابونه

بابونه آلمانی با نام علمی (*Matricaria chamomilla* L.) گیاهی علفی، یکساله با ارتفاعی بین ۵۰ تا ۸۰ سانتی‌متر از تیره کاسنی است. از خصوصیات قابل‌توجه این گیاه، مقاومت بالای آن در مقابل‌آلودگی‌های فلزات سنگین مانند کادمیم و نیکل است (صدری و همکاران، ۱۳۹۰). کواچیک و همکاران (۲۰۰۶) اثر صفر، ۳، ۶۰ و ۱۲۰ میکرومولار کادمیم را بر میزان تجمع این عنصر در بخش‌های مختلف گیاهچه‌های بابونه بررسی و گزارش کردند که با افزایش مقدار کادمیم در محیط رشد، تجمع این عنصر در ریشه و بخش هوایی افزایش یافت؛ ولی همیشه مقدار کادمیم در ریشه بیشتر از بخش هوایی بود. غلظت کادمیم در ریشه در تیمار ۶۰ و ۱۲۰ میکرومولار به‌ترتیب ۷ و ۱۰ برابر بیشتر از بخش هوایی بود. متابولیسم گیاه تحت اثر تنش کادمیم اندکی تغییر کرد و این بیانگر آن است که بابونه از گیاهان متحمل به فلزات می‌باشد. همچنین تجمع ترجیحی کادمیم در ریشه نشان داد که این گیاه جزء گیاهان بیش‌انباشتگر و مناسب برای گیاه‌پالایی نیست.

در تحقیق دیگری که توسط کواچیک و باکور در سال ۲۰۰۸ بر روی بابونه و در محلول غذایی انجام شد، چهار سطح صفر، ۳، ۶۰ و ۱۲۰ میکرومولار مس و کادمیم استفاده و در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری شد. در برگ تجمع کادمیم نسبت به مس بیشتر ولی در ریشه تجمع مس بیشتر بود. به‌طور نسبی تجمع مس در ریشه تقریباً ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک بیشتر از کادمیم بود (شکل ۳). آنان نتیجه گرفتند که انتقال کادمیم از ریشه به اندام‌های هوایی توسط انتقال غیرویژه یعنی سیستم تعرق گیاه صورت می‌گیرد، در حالی که مس به‌دلیل توانایی شرکت در واکنش‌های اکسایش – کاهش و برای جلوگیری از خسارت اکسایشی اندام‌های هوایی، در ریشه باقی می‌ماند. عدم مشاهده نشانه‌های مسمومیت کادمیم مبین این است که این گیاه توانایی تحمل به غلظت بالای کادمیم را دارد ولی به‌دلیل تجمع بیشتر در ریشه جزء گیاهان بازدارنده[1] می‌باشد و بیش‌انباشتگر نیست.

گرجتووسکی و همکاران (۲۰۰۸) اثر سطح ۵۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک را بر گیاه دارویی بابونه در شرایط گلخانه‌ای بررسی و گزارش کردند که قسمت عمده فلز سرب در ریشه (۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تجمع یافت و فقط مقدار اندکی به اندام هوایی (۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و گل آذین (۲/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) انتقال

1-Excluder

پیدا کرد. در هر صورت چون گل‌های این گیاه دارویی مصرف خوراکی دارد، مقدار فلز سرب در قسمت گل آذین کمتر از استاندارد تعیین شده به‌وسیله سازمان جهانی بهداشت برای مصرف خوراکی سرب در گیاهان دارویی (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. با استناد به مطالب ذکر شده، می‌توان بیان نمود که به‌دلیل تجمع ترجیحی فلزات سنگین در ریشه گیاه دارویی بابونه، این گیاه برای گیاه‌پالایی خاک آلوده به فلزات سنگین توصیه نمی‌شود. از طرف دیگر، می‌توان ثابت کرد که تجمع ترجیحی فلزات در ریشه و انتقال کم آن به بخش‌های دارویی بابونه از جمله گل‌آذین، دلیلی بر متحمل بودن این گیاه به فلزات سنگین با سازوکار بازدارندگی از انتقال آن‌ها می‌باشد و می‌تواند پیشنهاد کشت و کار این گیاه دارویی را در خاک‌های دارای آلودگی فلزات سنگین مطرح نماید. همچنین توجه به این نکته نیز ضروری می‌باشدکه حتی در صورت استفاده از این گیاه دارویی با هدف پالایش خاک، گیاهان باید به طورکامل از خاک خارج شده چون قسمت اعظمی از فلزات در ریشه تجمع می‌یابند.

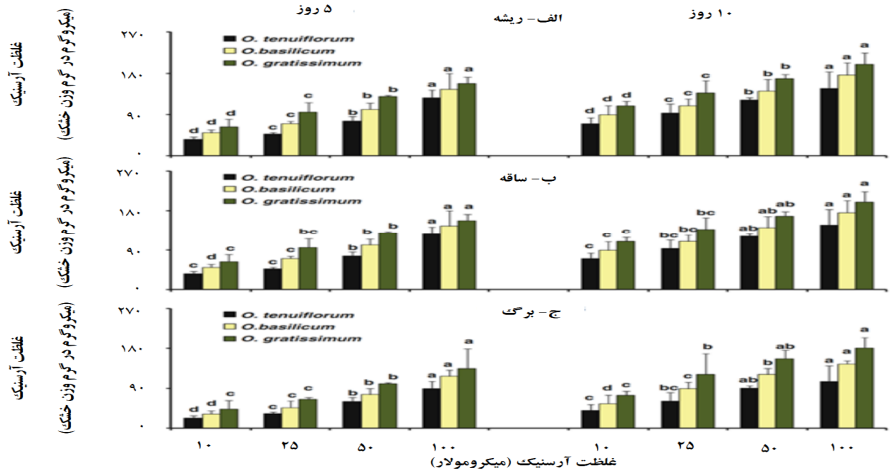
ریحان

چایارات و همکاران (۲۰۱۱) یک آزمایش به‌صورت هیدروپونیک برای ارزیابی اثر سطوح مختلف کادمیم (۲/۵ و ۵ میلی‌گرم بر لیتر) و روی (۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر رشد و جذب فلزات به‌وسیله یک گونه از ریحان (*Ocimum gratissimum* L.) انجام دادند. نتایج نشان داد، با افزایش سطوح مختلف کادمیم و روی، غلظت فلزات در اندام‌های هوایی و ریشه به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۵٪) افزایش یافت. انباشت کادمیم و روی در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی بود. بیش‌ترین غلظت کادمیم در تیمار پنج گرم بر لیتر به میزان ۳۶۲/۲ و ۲۹۴۸/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و روی در تیمار ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر به میزان ۷۴۹/٤ و ۳۷۶۵/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب در اندام هوایی و ریشه حاصل شد. همچنین نتایج نشان داد که این گیاه دارویی، کادمیم را بهتر از روی در اندام‌های هوایی خود تجمع می‌دهد و یک تجمع کننده کادمیم می‌باشد. فاکتور انتقال[1] برای هر دو فلز روی و کادمیم کمتر از یک بود و این بیانگر آن است که این گونه ریحان توانایی ناچیزی برای انتقال فلزات از ریشه به اندام‌های هوایی دارد. با اینکه غلظت کادمیم در اندام‌های هوایی بیشتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود ولی این گیاه به‌دلیل فاکتور انتقال کمتر از یک جزء گیاهان بیش‌انباشتگر نبود. این گونه ریحان (*O. gratissimum*) در مقایسه با سایر گیاهان دارویی مانند ریحان گونه (*O. basilicum*) در تیمار شش میلی‌گرم بر لیتر کادمیم (۱٤۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ، نعناع فلفلی (۱۹/٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مریم گلی (٤۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر) مقدار کادمیم بیشتری را در بخش‌های هوایی خود حتی در غلظت پایین نسبت به گیاهان مذکور (۳٦۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر) تجمع می‌دهد. به هر حال، نتایج نشان داد، کشت و کار این گیاه در خاک‌های آلوده به کادمیم و روی ممکن است به‌دلیل توانایی گیاه در تجمع این فلزات در بخش هوایی، غلظت این عناصر را بیش از حداکثر مقدار مجاز برای مصرف انسان کند.

در تحقیق دیگر، تجمع آرسنیک در سه گونه جنس *Ocimum* (*O. tenuiflorum*، *O. basilicum* و *O. gratissimum*) بررسی شد. تیمارهای اعمال شده شامل سطوح صفر، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار آرسنیک بودند. گزارش شد که بیشترین تجمع آرسنیک به میزان ۸۳۱، ۷٦٤ و ٦٦۲ میکروگرم بر گرم وزن خشک کل گیاه به‌ترتیب توسط گونه‌های *O.gratissimum*، *O. basilicum* و *O. tenuiflorum* در تیمار ۱۰۰ میکرومولار و زمان ۱۰ روز پس از آلودگی به‌دست آمد. به‌طوری‌که علت تجمع بیشتر آرسنیک در *O. tenuiflorum< O. basilicum < O.gratissimum* را می توان به تجمع بیشتر آرسنیک در ریشه، ساقه و برگ (شکل ۳) و زیست توده بیشتر گونه *O.gratissimum* نسبت به دو گونه دیگر نسبت داد. آنان سیستم ریشه‌ای به خوبی توسعه یافته و دارای انشعابات فراوان گونه‌های ریحان و همچنین حلالیت بالای آرسنیک در آب دلیل

[1] -Transfer Factor

تجمع معنادار آرسنیک به‌وسیله این سه گونه گزارش کردند. درصد اسانس و درصد ترکیبات غالب اسانس در سطوح پایین به‌ویژه در سطح ۲۵ میکرومولار افزایش بارزی داشت ولی سایر تیمارها باعث کاهش آنها گردید. مقدار آرسنیک در داخل اسانس قابل‌تشخیص نبود؛ به‌طوری‌که، در طول فرآیند اسانس‌گیری به دلیل باقی ماندن این فلز سنگین در مجموع تفاله و آب زاید بعد از تقطیر وارد اسانس نمی‌شود. بنابراین، گونه‌های ریحان می‌تواند برای گیاه‌پالایی آرسنیک استفاده شود بدون آنکه محصول نهایی گونه‌های این جنس (اسانس) خطری برای مصرف داشته باشند. از طرف دیگر پتانسیل بالای گونه‌های *Ocimum* برای تجمع فلزات نشان می‌دهد که اگر از گیاهان کشت شده در خاک آلوده به آرسنیک برای مقاصد دارویی استفاده شود خطر بالایی دارد (سدیکیو و همکاران، ۲۰۱۳). با توجه به مطالب ذکر شده و با در نظر گرفتن این موضوع که گونه‌های جنس *Ocimum* در شرایط مشابه با سایر گیاهان دارویی توانایی تجمع فلزات سنگین بیشتری در اندام‌های خود دارند، می‌توان این طور جمع‌بندی نمود که اگر هدف از کشت و کار گونه‌های جنس *Ocimum* مصرف خوراکی آن باشد (نه به‌عنوان گیاه‌پالایی)، توانایی بالاتر گونه‌های این جنس برای تجمع فلزات سنگین یک ویژگی منفی برای این گیاهان می‌باشد و بایستی به مشکل بالا بودن غلظت فلزات سنگین در بافت‌های خوراکی توجه ویژه نمود. همچنین، عدم تشخیص فلزات سنگین در اسانس گونه‌های این جنس و عدم تأثیر منفی این فلزات از جمله آرسنیک بر ترکیبات اسانس در سطوح پایین گواه بر امکان کشت و کار گونه‌های این جنس در خاک‌های دارای آلودگی کم تا متوسط فلزات سنگین به شرط مصرف متابولیت‌های ثانویه (اسانس) این گیاهان می‌باشد و با توجه به وجود خاک‌هایی با آلودگی کم تا متوسط فلزات سنگین در مناطق مختلف کشور روشی بسیار مناسب خواهد بود. از طرف دیگر، با توجه به مطالب ارائه شده مشخص می‌شود که گونه‌های جنس *Ocimum* می‌تواند برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به‌علت تجمع قابل توجه فلزات سنگین در بافت‌های خود استفاده شود و این به شرطی است که کل گیاه (حتی ریشه‌ها) از خاک خارج گردد.



شکل ۳- اثر سطوح مختلف آرسنیک بر سه گونه ریحان بعد از ۵ و ۱۰ روز قرار گرفتن در معرض سطوح مختلف این فلز (سدیکیو و همکاران، ۲۰۱۳)

شاهدانه

گیاه شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) از گیاهان دارویی- لیفی است؛ به‌طوری که، علاوه بر استفاده‌های دارویی، از این گیاه در صنعت نساجی برای تهیه الیاف طبیعی استفاده می‌شود (منصوری و اسرار، ۱۳۹۲). شاهدانه یک گیاه با زیست‌توده بسیار بالا (حدود ۱۰ تن بر هکتار) و توانایی جذب و تجمع فلزات سنگین در ریشه (به‌عنوان مثال بیشتر از ۸۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر

کیلوگرم وزن خشک گیاه) و اندام‌های هوایی (به‌عنوان مثال حدود ۱۰۰-۵۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه) و یک گزینه مناسب برای گیاه پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین گزارش شده است (سایتریو و همکاران، ۲۰۰۳ و لینگر و همکاران، ۲۰۰۵). یک آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای در فاصله ۰/۵ و ۱۵ کیلومتری از کارخانه ذوب فلزات غیرآهنی به منظور بررسی انباشت و توزیع فلزات سنگین در قسمت‌های مختلف گیاه دارویی شاهدانه انجام شد. غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیم، مس و روی در ریشه ساقه، برگ، بذر، گل و الیاف گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با کاهش فاصله به کارخانه ذوب، غلظت فلزات در تمامی قسمت‌های گیاه افزایش یافت. بیشترین و کمترین مقدار فلزات سنگین مورد مطالعه به‌ترتیب در گل و الیاف تعیین شد. در نهایت گزارش شد که شاهدانه از گیاهان مناسب برای کشت و کار در مناطق آلوده صنعتی هستند که مقدار قابل توجهی از فلزات سنگین را از خاک به‌وسیله سیستم ریشه‌ای توسعه یافته خود استخراج می‌کند و می‌تواند به‌عنوان گیاه دارای پتانسیل خوب برای پالایش خاک آلوده به فلزات سنگین معرفی شود (انگلوا و همکاران، ۲۰۰٤).

در تحقیق دیگر پتانسیل گیاه‌پالایی و کیفیت الیاف شاهدانه کشت شده در خاک آلوده به فلزات سنگین بررسی شد. آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای انجام و خاک کشت شده با لجن فاضلاب محتوی کادمیم، نیکل و سرب به ترتیب ۱۰۲، ٤۱۹ و ٤٥٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم آلوده شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات در الیاف بیش‌تر از استاندارد موجود برای الیاف برای استفاده در لباس بود. استاندارد موجود برای غلظت فلزات کادمیم، سرب و نیکل در الیاف برای استفاده در لباس به‌ترتیب ۰/۱، ۰/۲ تا ۱ و ۰/۱ تا ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. مقدار الیاف (درصد الیاف) در شاهدانه کشت شده در خاک آلوده نسبت به شاهد بیش‌تر بود. کیفیت الیاف (استحکام، درخشندگی، درصد یکنواختی و غیره) تحت اثر فلزات سنگین قرار نگرفت و بنابراین الیاف تولید شده می‌تواند در محصولات خاص (به غیر از لباس و مواد غذایی) استفاده گردد. شاهدانه به‌دلیل پتانسیل گیاه‌استخراجی پایین و تولید محصول دارای بازده اقتصادی (الیاف) برای خاک‌های با فلزات سنگین کم مناسب می‌باشد (لینگر و همکاران، ۲۰۰۲). با استناد به مطالب ارائه شده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که توجه به چند نکته در مورد شاهدانه در مقایسه با دیگر گیاهان دارویی مذکور ضروری است و آن این است که تولید الیاف مهم‌ترین هدف در زراعت شاهدانه است و این الیاف از پوسته ساقه این گیاه به‌دست می‌آید. با توجه به اینکه مقدار الیاف شاهدانه حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد وزنی و عملکرد ماده خشک آن حدود ۱۰ تن بر هکتار می‌باشد، می‌توان حدس زد که حتی در صورت کشت و کار شاهدانه در خاک‌های آلوده، الیاف قابل توجهی تولید می‌شود که در صورت محتوی بودن فلزات سنگین و عدم رعایت استانداردهای مربوطه برای استفاده در تولید پارچه، امکان استفاده در زمینه‌های غیر از تولید پارچه و مواد غذایی مانند ساختن مواد عایق در ساختمان، صنایع کاغذسازی و غیره بدون هیچ محدودیتی وجود دارد. همچنین در کشت و کار گیاه دارویی شاهدانه در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین با هدف گیاه‌پالایی و یا تولید الیاف، علاوه بر بررسی کمیت و کیفیت الیاف تولید شده، بررسی تولید مواد دارویی این گیاه مانند ماری جوانا، حشیش، روغن حشیش و دیگر مواد دارویی ضروری است، هرچند که نگارندگان به مطالبی در این خصوص دست نیافتند.

گل راعی

گل راعی مهم‌ترین گونه جنس *Hypericum* و با متابولیت‌های ثانویه فراوان می‌باشد. در تحقیقی اثر سطوح صفر، ۲۵ و ۵۰ میکرومولار نیکل بر رشد و تجمع این فلز در گیاه دارویی گل راعی بررسی و گزارش شد که با افزایش سطوح نیکل، غلظت این عنصر در اندام هوایی افزایش معنی‌داری نشان داد. به‌طوری که در تیمار شاهد

غلظت این فلز در اندام هوایی قابل‌تشخیص نبود ولی با اعمال تیمارهای ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار، غلظت در اندام هوایی به ٦٦ و ۱٤۰ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک افزایش یافت (مورچ و همکاران، ۲۰۰۳). در آزمایش دیگری اثر سطوح ۰/۰۱ و ۰/۱ میلی‌مولار کروم (VI) بر تجمع این فلز در ریشه و اندام هوایی گل راعی بعد از گذشت دو و هفت روز بعد از اعمال تیمار بررسی و گزارش شد که با افزایش سطوح کروم و زمان بعد از اعمال تیمار، غلظت کروم در ریشه و بخش هوایی افزایش یافت. به‌طوری که این افزایش در ریشه بیشتر از بخش هوایی بود. این گیاه دارویی تنش فلزات سنگین را با تقویت سیستم دفاعی خود با تولید متابولیت‌های ثانویه مانند هاپیرسین و پسودوهاپیرسین تحمل می‌کرد (تریلینی و همکاران، ۲۰۰٦). تحقیقی دیگر نشان داد که گل راعی غلظت بالایی از کادمیم را در اندام هوایی بدون اثر منفی بر رشد و تولید ماده خشک تجمع می‌دهد؛ به‌طوری‌که، غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه بیش‌تر از غلظت این فلز سمی در خاک بود و می‌تواند به‌عنوان یک تجمع کننده کادمیم مطرح گردد (بگدات و عید، ۲۰۰۷).

خرفه

گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) متعلق به تیره Portulacaceae، از نقطه نظر فیزیولوژیکی دارای قابلیت تحمل بسیار بالا در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین بوده و گیاه مناسبی برای کاشت و پالایش محیط و خاک از فلزات سنگین به شمار می‌رود (دیپا و همکاران، ۲۰۰٦؛ تایواری و همکاران، ۲۰۰۸). تایواری و همکاران (۲۰۰۸) پتانسیل گیاه‌پالایی دو گونه خرفه *Portulaca oleracea* L. و *Portulaca tuberosa rox* آبیاری شده با پساب صنعتی را بررسی کردند. بیشترین غلظت فلزات در ریشه و کمترین آن در گل در هر دو گیاه حاصل شد. هر دو گونه خرفه بیش‌انباشتگر فلزات سنگین کادمیم، کروم و آرسنیک معرفی شد. غلظت کل کادمیم، کروم و آرسنیک در بخش هوایی *P. tuberosa rox* به‌ترتیب ۱۵۷۱، ۷۹۵۷ و ۳۱۱۸ میکروگرم بر گرم و در گونه *P.oleracea* به‌ترتیب ۱۱۲۸، ۷۵۵۲ و ۲٤۷٦ بود. هر دو گونه خرفه با توجه به توانایی بالای تولید زیست‌توده و تجمع فلزات، برای پالایش مناطق آلوده با پساب‌های صنعتی توصیه شد. در تحقیقی دیگر و در تضاد با تایواری و همکاران (۲۰۰۸)، یک آزمایش به‌صورت هیدروپونیک برای ارزیابی توانایی گیاه خرفه برای گیاه‌پالایی سرب، نیکل و روی و تولید زیست‌توده در سال ۲۰۱۳ انجام شد. تیمارهای آزمایش برای روی و سرب شامل سطوح ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و برای نیکل شامل یک، دو و پنج میلی‌گرم بر لیتر بود. با افزایش سطوح فلزات سنگین، غلظت فلز مورد نظر نیز در ریشه و اندام‌های هوایی افزایش یافت به جزء در سطوح بالای فلزات سنگین به کار برده شده که گیاه هیچ رشدی نکرده بود. فاکتور انتقال برای هر سه فلز سرب، نیکل و روی زیر یک بود. برای اهداف گیاه‌پالایی، گونه گیاهی باید توانایی تجمع سطوح بالایی از فلزات در بخش‌های قابل‌برداشت را داشته باشد، زود رشد باشد و سیستم ریشه‌ای توسعه یافته داشته باشد. با توجه به عدم توانایی رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه دارویی خرفه در سطوح بالای فلزات سنگین به کار برده شده، استفاده از آن برای اهداف گیاه‌پالایی پیشنهاد نشد (عامر و همکاران، ۲۰۱۳).

کاله و همکاران (۲۰۱۵) ظرفیت تحمل و گیاه‌پالایی گیاه خرفه به فلز کروم را با اعمال سطوح صفر تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر این فلز در شرایط هیدروپونیک بررسی و گزارش کردند که طول ریشه و اندام هوایی، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، کلروفیل، کارتنوئید و قندهای محلول کل در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش معنی‌داری داشت (شکل ٤)، ولی گیاه غلظت‌های بالای کروم را با افزایش مقدار پرولین و فعالیت آنزیم پراکسیداز تحمل کرده و تا مقادیر ۱۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در اندام هوایی انباشت می‌نماید. در

نهایت خرفه به عنوان گیاه مناسب برای اهداف گیاه‌پالایی مکان‌های آلوده به کروم معرفی شد.

شکل ۴- اثر سطوح مختلف کروم بر گیاه خرفه بعد از قرار گرفتن در معرض سطوح مختلف (به ترتیب از سمت چپ صفر، ۰/۱، ۰/۵، ۱، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کروم (کاله و همکاران، ۲۰۱۵)

اسطوخودوس

اسطوخودوس گیاه دارویی چندین ساله از تیره نعناع می‌باشد. این گیاه نیز مثل سایر گیاهان دارویی مقاوم به فلزات سنگین گزارش شده است (زلجازکوف و همکاران، ۱۹۹٦b). در تحقیقی جذب و توزیع جیوه در ساقه، برگ و گل گیاه دارویی اسطوخودوس (*Lavandula stoechas var. Kew Red*) بررسی و گزارش شد که غلظت جیوه در اندام‌های مذکور کم (۰/۰۳ تا ۰/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در اسانس غیرقابل‌تشخیص بود (سیه را و همکاران، ۲۰۰۹). در تحقیق دیگر اثر فلزات سنگین (کادمیم، سرب، مس، منگنز، مس و آهن) بر رشد و تولید اسانس و جذب فلزات در گیاه اسطوخودوس (*Lavandulla angustofulia* Mill) بررسی شد. آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای در فواصل ۰/٤، ۳ و ۹ کیلومتر از کارخانه ذوب فلزات غیرآهنی انجام شد. غلظت فلزات سنگین در بخش‌های مختلف گیاهان مطابق زیر بود : کادمیم: برگ‌ها> ریشه=گل‌آذین= ساقه؛ سرب : ساقه>برگ‌ها= گل‌آذین> ریشه؛ مس : ریشه> برگ‌ها= گل‌آذین= ساقه؛ منگنز: ریشه > برگ‌ها= گل‌آذین> ساقه؛ روی :برگ‌ها= ساقه> گل‌آذین> ریشه؛ آهن :ریشه> برگ‌ها> ساقه> گل‌آذین. با توجه به تجمع فلزات سنگین در گل‌آذین اسطوخودوس، اسانس محتوی فلزات سنگین نبود. این گیاه پتانسیل گیاه جذبی خوبی ندارد ولی می‌تواند به‌دلیل عدم انتقال فلزات به داخل اسانس در خاک‌های آلوده کشت و کار شود (زلجازکوف و همکاران،۱۹۹٦b). انگلوا و همکاران (۲۰۱۵) نیز پتانسیل گیاه‌پالایی اسطوخودوس کشت شده در فواصل ۰/۳ و ۱ کیلومتر کارخانه ذوب فلزات غیرآهنی را بررسی و گزارش کردند که بخش اندکی از فلزات سرب، روی و کادمیم در ریشه تجمع پیدا کرده و قسمت عمده آن‌ها به اندام هوایی منتقل شده است، ولی هیچ نشانه ظاهری مسمومیت فلزات در اندام هوایی مشاهده نشد. اسطوخودوس مقاوم به فلزات سنگین بوده و می‌تواند به عنوان بیش‌انباشتگر سرب و انباشتگر کادمیم و روی معرفی شود. نتایج نشان داد قسمت اندکی از فلزات به داخل اسانس منتقل شده است، به‌طوری‌که غلظت سرب و روی در اسانس به ترتیب ۰/۲۸ و ۰/۸٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده ولی کادمیم غیر قابل تشخیص در اسانس بود. به هرحال فلزات منتقل شده به داخل اسانس خیلی کمتر از استاندارد مربوطه در گیاهان دارویی جهت مصارف بهداشتی و آرایشی آن‌ها بود.

مریم گلی

در تحقیقی مقدار فلزات سنگین در دو گونه جنس سالویا شامل مریم گلی (*Salvia Officinalis* L.) و مریم گلی کبیر (*Salvia Sclarea* L.) کشت شده در مناطق آلوده صنعتی (در فواصل ۰/۱ و ۱۵ کیلومتر از کارخانه ذوب فلزات غیرآهنی) بررسی شد. غلظت فلزات سنگین شامل سرب، مس، روی و کادمیم در ریشه، ساقه، برگ، گل‌آذین و اسانس این گیاهان اندازه‌گیری و گزارش شد که با نزدیک شدن به کارخانه، غلظت فلزات سنگین

در تمامی قسمت‌های هر دو گیاه افزایش یافت. در گیاه مریم گلی کبیر غلظت هر چهار فلز سنگین مورد مطالعه به‌ترتیب برگ‌ها> گل‌آذین> ریشه> ساقه> اسانس بود. در این گیاه برای سرب و روی در برگ‌ها> گل‌آذین> ریشه> ساقه، برای کادمیم در برگ‌ها> گل‌آذین= ریشه> ساقه و برای مس در برگ‌ها= ریشه>گل‌آذین> ساقه بود. غلظت فلزات سنگین در اسانس مریم گلی قابل‌تشخیص نبود. غلظت فلزات سنگین مس، کادمیم و سرب در اسانس مریم گلی کبیر کشت شده در فاصله ۰/۱ کیلومتری کارخانه ذوب بیش‌تر از حداکثر غلظت مجاز کشور بلغارستان برای روغن‌های خوراکی بود ولی می‌تواند در صنایع آرایشی و بهداشتی و عطریات استفاده گردد. مریم گلی کبیر یک بیش‌انباشتگر خوب برای سرب گزارش شد ولی این گیاه می‌تواند سایر فلزات سنگین (کادمیم، روی و مس) را نیز به مقدار بیش‌تری در اندام‌های هوایی خود تجمع دهد (انگلوا و همکاران، ۲۰۰۶).

نعناع

در تحقیقی اثر سطوح مختلف فلزات سنگین کروم و سرب (صفر، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را بر تجمع این فلزات، عملکرد زیست‌توده و اسانس در سه گونه نعناع *Mentha arvensis*، *Mentha Piperita* و *Mentha Citrata* بررسی کردند. عملکرد زیست‌توده *Mentha arvensis* تحت اثر معنی‌دار سطوح کروم و سرب قرار نگرفت ولی عملکرد اسانس کاهش معنی‌داری داشت. با افزایش سطوح سرب و کروم عملکرد زیست‌توده و اسانس *Mentha Piperita* افزایش معنی‌دار ولی *Mentha Citrata* کاهش معنادار نسبت به شاهد داشت. غلظت سرب و کروم در هر سه گونه در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی بود. گیاهان بیش‌انباشتگر کروم و سرب به‌عنوان گیاهانی با تجمع بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم این عناصر در اندام هوایی بر حسب وزن خشک و با دارا بودن فاکتور انتقال بالاتر از یک تعریف می‌شوند. در کل، تجمع بیشتر فلزات سرب و کروم در ریشه نسبت به اندام هوایی (فاکتور انتقال کمتر از یک) هر سه گونه نعناع و همچنین تجمع غلظت‌های کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم این عناصر، مبین این مطلب است که سه گونه نعناع بیش‌انباشتگر فلزات سرب و کروم نیست. به‌دلیل عدم کاهش عملکرد اسانس و اقتصادی بودن اسانس، نعناع فلفلی برای کشت و کار در خاک آلوده به سرب و کروم بهتر از دو گونه دیگر بود (پراساد و همکاران، ۲۰۱۰).

به طور کلی، مطالب ارائه شده در مورد گونه‌های مختلف گیاهان دارویی گل راعی، خرفه، اسطوخودوس، مریم گلی و نعناع را می‌توان این گونه خلاصه نمود که اگر گیاهان دارویی مذکور در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین با هدف پالایش خاک کشت و کار شود، می‌تواند تنش فلزات سنگین را با تقویت سیستم دفاعی خود به واسطه تولید متابولیت‌های ثانویه مختلف تحمل و کاهش رشد قابل توجهی حتی در غلظت‌های بالاتر فلزات سنگین نداشته باشد. برای بیش‌انباشتگر شدن، علاوه بر داشتن فاکتور انتقال بزرگتر از یک، باید حداقل غلظت آرسنیک، کروم، سرب، نیکل، مس (۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) کادمیم (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) و روی (۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) را داشته باشد؛ لذا، با توجه به مطالب ارائه شده از بین گیاهان دارویی مذکور فقط مریم گلی کبیر به عنوان بیش‌انباشتگر سرب و هر دو گونه خرفه به عنوان بیش‌انباشتگر کادمیم، کروم و آرسنیک معرفی شد. اگرچه سایر گیاهان دارویی اشاره شده خصوصیات بیش‌انباشتگر نشان ندادند ولی بدلیل عدم انتقال فلزات به داخل اسانس می‌توانند در خاک آلوده با هدف استفاده بدون خطر از اسانس تولید شده کشت و کار شوند. از طرف دیگر، سازمان جهانی بهداشت حداکثر مقدار مجاز برخی فلزات سنگین از جمله کادمیم، آرسنیک و سرب برای گیاهان دارویی را به ترتیب به میزان ۰/۳، ۱ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشخص کرده است و حتی برخی عناصر مانند

مس ، روی، منگنز، مولیبدن و نیکل در سطوح بالا می‌توانند سمی باشند ولی سازمان بهداشت جهانی تا به امروز محدودیت خاصی برای این عناصر در گیاهان دارویی اعمال نکرده است. لذا در صورت مصرف اسانس و یا هر قسمت خوراکی گیاهان دارویی کشت شده در خاک‌های آلوده باید حداکثر سطوح مجاز اشاره شده توسط سازمان جهانی بهداشت باید رعایت گردد.

نتیجه‌گیری

در حال حاضر در نیمی از اراضی زراعی دنیا، فلزات سنگین به‌عنوان عامل اصلی محدودیت رشد گیاهان هستند؛ بنابراین، همین امر می‌تواند جزء عوامل تقسیم این خاک‌ها از لحاظ کشاورزی به زمین‌های کم‌بازده محسوب شود. لذا، ابداع شیوه‌های نوین مدیریت بهره‌برداری از منابع طبیعی با حفظ محیط زیست برای ادامه حیات بشر ضروری می‌باشد که یکی از این شیوه‌ها استفاده از زمین‌های کم‌بازده و گونه‌های مقاوم گیاهی در شرایط سخت می‌باشد. در این راستا استفاده از گیاهان دارویی و معطر به‌عنوان گیاهان مقاوم به فلزات سنگین می‌تواند نقش بسیار مؤثری در آینده بشر ایفا نماید. نتایج این بررسی نشان دهنده امکان کشت و کار گیاهان دارویی و معطر در زمین‌های کشاورزی کم‌بازده از جمله زمین‌های دارای آلودگی متوسط فلزات سنگین و گیاه‌جذبی این فلزات بدون آلودگی محصول نهایی آن‌ها (متابولیت‌های ثانویه) می‌باشد.

رهیافت ترویجی

با عنایت به مطالب ارائه شده پیشنهادهای زیر قابل توصیه خواهد بود:

۱- با توجه به تحمل و مقاومت برخی گیاهان دارویی به شرایط موجود در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، می‌توان از کشت برخی گیاهان دارویی به‌عنوان راهکاری جهت مدیریت و بهره‌برداری از اراضی که آلودگی متوسط به فلزات سنگین دارند، بهره جست.

۲- بررسی‌های کلی و دقیق‌تر بیش‌انباشتگری و گیاه‌جذبی گیاهان دارویی مختلف به انواع فلزات سنگین با هدف مشخص کردن پتانسیل این گیاهان برای جذب و تجمع فلزات و کشت و کار آن‌ها در خاک‌های آلوده انجام شود.

۳- در صورت کشت و کار گیاهان دارویی در خاک‌های آلوده با هدف غیر از گیاه‌پالایی، حتماً استاندارد حداکثر مقدار مجاز فلزات سنگین در گیاهان دارویی برای مصرف، توصیه شده به‌وسیله سازمان جهانی بهداشت رعایت گردد.

٤- گیاهان دارویی می‌توانند برای گیاه‌پالایی خاک‌های دارای آلودگی متوسط فلزات سنگین با هدف استفاده ایمن از متابولیت‌های ثانویه آن‌ها توصیه و ترویج شوند.

۵- تحقیقات برای بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی و گیاه جذبی گیاهان دارویی بومی ایران انجام شود.

٦- ضرورت استفاده از گیاهان دارویی مختلف برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین به‌دلیل دارا بودن متابولیت‌های ثانویه، نقش این متابولیت‌ها در تحمل به تنش این فلزات، و امکان کشت و کار در خاک‌های آلوده با هدف استفاده از این متابولیت‌ها، از طریق رسانه‌های عمومی مانند صدا و سیما، روزنامه‌ها و سایر نشریات به آگاهی عموم مردم برسد.

فهرست منابع

۱. اسماعیل زاده بهابادی ص و شریفی م (۱۳۹۲) افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه زیستی با استفاده از الیسیتورهای زیستی. مجله سلول و بافت. جلد٤، شماره ۲: ۱۲۸-۱۱۹.

۲. رحیمی، ط و رونقی، ع، م. ۱۳۹۱. اثر کاربری منابع مختلف روی بر غلظت کادمیم و برخی عناصر کم مصرف در گیاه اسفناج در یک خاک آهکی. علوم و فنون کشت‌های گلخانه ای. سال ۳، شماره ۱۰: ۱۱۱-۱۰۱.

۳. صدری، ز.، زرین کمر، ف و زینلی، ح. ۱۳۹۰. بررسی جذب و تجمع سرب در مراحل مختلف رشد و نمو بابونه آلمانی (*Matricaria chamomill*a L.). مجله زیست شناسی گیاهی، سال ۳، شماره ۹: ۶۲-۵۳.

٤. منصوری، ح و اسرار، ز. ۱۳۹۲. اثر ABA روی رنگدانه‌ها و دلتا-۹ تتراهیدروکانابینول گیاه شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) در مرحله گلدهی. مجله زیست شناسی ایران. جلد۲٦، شماره۱: ۸۹-۸۲.

5. Amer, N., Chami, Z. A., Bitar, L. A., Mondelli, D., and Dumontet, S. 2013. Evaluation of *Atriplex halimus*, *Medicago lupulina* and *Portulaca oleracea* for phytoremediation of Ni, Pb, and Zn. International Journal of Phytoremediation, 15(5), 498-512.
6. Angelova, V. R., Grekov, D. F., Kisyov, V. K., and Ivanov, K. I. 2015. Potential of lavender (Lavandula vera L.) for phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering, 9 (5), 479-486.
7. Angelova, V., Ivanov, K., and Ivanova, R. 2006. Heavy metal content in plants from family Lamiaceae cultivated in an industrially polluted region. Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants, 11(4), 37-46.
8. Angelova, V., Ivanova, R., Delibaltova, V., & Ivanov, K. 2004. Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). Industrial Crops and Products, 19(3), 197-205.
9. Bagdat, R., and Eid, E. M. 2007. Phytoremediation behavior of some medicinal and aromatic plants to various pollutants. Journal Field Crops Central Research Institute (Ankara), 16, 1-10.
10. Brown, S., Angle, J., Chaney, R., and Baker, A. 1995. Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution. Soil Science Society of America Journal, 59(1), 125-133.
11. Chaiyarat, R., Suebsima, R., Putwattana, N., Kruatrachue, M., and Pokethitiyook, P. 2011. Effects of soil amendments on growth and metal uptake by *Ocimum gratissimum* grown in Cd/Zn-contaminated soil. Water, Air, & Soil Pollution, 214(1-4), 383-392.
12. Citterio, S., Prato, N., Fumagalli, P., Aina, R., Massa, N., Santagostino, A., and Berta, G. 2005. The arbuscular mycorrhizal fungus Glomus mosseae induces growth and metal accumulation changes in *Cannabis sativa* L. Chemosphere, 59(1), 21-29.
13. Deepa, R., Senthilkumar, P., Sivakumar, S., Duraisamy, P., and Subbhuraam, C. 2006. Copper availability and accumulation by *Portulaca oleracea* Linn. Stem cutting. Environmental Monitoring and Assessment, 116 (1-3), 185-195.
14. Grejtovský, A., Markušová, K., and Nováková, L. 2008. Lead uptake by *Matricaria chamomilla* L. Plant, Soil and Environment, 54 (2):47-54.
15. Gupta, A. K., Verma, S. K., Khan, K., & Verma, R. K. 2013. Phytoremediation Using Aromatic Plants: A Sustainable Approach for Remediation of Heavy Metals Polluted Sites. Environmental Science & Technology, 47(18), 10115-10116.
16. Henry, J. R. 2000. Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury Overview of the phytoremediation of lead and mercury: Environmental Protection Agency

17. Kale, R. A., Lokhande, V. H., and Ade, A. B. 2015. Investigation of chromium phytoremediation and tolerance capacity of a weed, Portulaca oleracea L. in a hydroponic system. Water and Environment Journal, 29 (2): 236-242.
18. Kováčik, J., and Bačkor, M. 2008. Oxidative status of *Matricaria chamomilla* plants related to cadmium and copper uptake. Ecotoxicology, 17(6), 471-479.
19. Kováčik, J., Tomko, J., Bačkor, M., and Repčák, M. 2006. *Matricaria chamomilla* is not a hyperaccumulator, but tolerant to cadmium stress. Plant Growth Regulation, 50(2-3), 239-247.
20. Lasat, M. M. 2002. Phytoextraction of toxic metals. Journal of Environmental Quality, 31(1), 109-120.
21. Linger, P., Müssig, J., Fischer, H., and Kobert, J. 2002. Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) growing on heavy metal contaminated soil: fiber quality and phytoremediation potential. Industrial Crops and Products, 16(1), 33-42.
22. Murch, S. J., Haq, K., Rupasinghe, H., and Saxena, P. K. 2003. Nickel contamination affects growth and secondary metabolite composition of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.). Environmental and Experimental Botany, 49(3), 251-257.
23. Prasad, A., Singh, A. K., Chand, S., Chanotiya, C., and Patra, D. 2010. Effect of chromium and lead on yield, chemical composition of essential oil, and accumulation of heavy metals of mint species. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41(18), 2170-2186.
24. Sheoran, V., Sheoran, A. S., and Poonia, P. 2009. Phytomining: A review. Minerals Engineering, 22: 1007-1019.
25. Siddiqui, F., Krishna, S. K., Tandon, P., and Srivastava, S. 2013. Arsenic accumulation in Ocimum spp. and its effect on growth and oil constituents. Acta Physiologiae Plantarum, 35(4), 1071-1079.
26. Sierra, M., Millán, R., and Esteban, E. 2009. Mercury uptake and distribution in Lavandula stoechas plants grown in soil from Almadén mining district (Spain). Food and Chemical Toxicology, 47(11), 2761-2767.
27. Tirillini, B., Ricci, A., Pintore, G., Chessa, M., and Sighinolfi, S. 2006. Induction of hypericins in *Hypericum perforatum* in response to chromium. Fitoterapia, 77(3), 164-170.
28. Tiwari, K., Dwivedi, S., Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R., Singh, N., and Chakraborty, S. 2008. Phytoremediation efficiency of *Portulaca tuberosa* rox and *Portulaca oleracea* L. naturally growing in an industrial effluent irrigated area in Vadodra, Gujrat, India. Environmental Monitoring and Assessment, 147(1-3), 15-22.
29. Wu, G., Kang, H., Zhang, X., Shao, H., Chu, L., and Ruan, C. 2010. A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities. Journal of Hazardous Materials, 174(1), 1-8.
30. Zheljazkov, V. D., and Nielsen, N. E. 1996b. Studies on the effect of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Mn, Zn and Fe) upon the growth, productivity and quality of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) production. Journal of Essential Oil Research, 8(3), 259-274.
31. Zheljazkov, V. D., Craker, L. E., Xing, B., Nielsen, N. E., and Wilcox, A. 2008. Aromatic plant production on metal contaminated soils. Science of the Total Environment, 395(2), 51-62.