علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره هفت، مهرماه ۹۹

بررسی پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین به‌وسیله گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)

محمد جعفری [۱]

اسفندیار جهانتاب [۲*]

E.jahantab@ut.ac.ir

مهدی معمری [۳]

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۹ **تاریخ پذیرش:۹۶/۵/۲۵**

چکیده

زمینه و هدف: فلزات سنگین یکی از جدی‌ترین مشکلات زیست‌محیطی است که در سراسر دنیا در حال گسترش می‌باشد. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین به‌وسیله گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) تحت دو ماده بهساز طبیعی شامل کمپوست زباله شهری و بیوچار (هر کدام در سه سطح ۰، ۱ ٪ و ۲ ٪ وزنی) انجام شد.

روش بررسی: طرح به صورت آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی با ۵ تکرار انجام شد. در پایان دوره کشت، اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان برداشت و برخی از خصوصیات مهم در خاک و عناصر موجود در گیاهان اندازه‌گیری شد. مقدار کل فلز سنگین سرب با استفاده از دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات اندازه‌گیری شده از آزمون تجزیه واریانس در نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که بین کاربرد تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق در غلظت کادمیم، سرب، روی، کروم و نیکل اندام‌های هوایی و ریشه آفتابگردان و مقدار کادمیم کل و تبادلی خاک اختلاف معنی‌داری وجود دارد. تیمارهای کمپوست زباله شهری و بیوچار باعث افزایش جذب فلزات سنگین کادمیم، سرب، روی و کروم در خاک توسط گیاه آفتابگردان شدند.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج تحقیق حاضر، به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که گونه آفتابگردان بر اساس مقادیر شاخص‌های TF، BCF و BAC می‌تواند به‌عنوان یک گیاه مناسب برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده منطقه از طریق فرآیند گیاه‌تثبیتی معرفی شود. بر اساس نتایج این تحقیق، گیاه آفتابگردان، می‌تواند به عنوان جذب‌کننده آلاینده‌ها استفاده شود و در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: گیاه‌پالایی، کمپوست زباله شهری، بیوچار، آفتابگردان.

۱- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران. *(مسوول مکاتبات).

۳- دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران..

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.7, October, 2020

Investigation of Remediation of Contaminated Soils with Heavy Metals Using *Helianthus Annuus* L. Plant

Mohamad Jafai [1]
Esfandiar Jahantab [2 *]
E.jahantab@ut.ac.ir
Mehdi Moameri [3]

Admission Date:August 16, 2017 Date Received: February 7, 2017

Abstract

Background and Objectives: Heavy metals are one of the most serious environmental problems that are spreading around the world. The present study was conducted to investigate the treatment of heavy metal contaminated soils by sunflower (Helianthus Annuus L.) under two natural remedies including municipal waste compost and biochar (each at three levels of 0, 1% and 2% by weight) done.

Method: Design experiment was done in a completely randomized design with 5 replications. After planting period, aerial and underground parts of plant have collected and some soil important characteristics and plant morphological properties and metals have measured. ICP-OES is used for heavy metals measurement. Statistical analysis of measured data for the analysis of variance in SPSS software and comparison of data from the test at least significant difference (LSD).

Findings: The results showed that there was a significant difference between the application of treatments used in this study in the concentrations of cadmium, lead, zinc, chromium and nickel of shoots and roots of sunflower and the amount of total cadmium and soil exchange. Urban waste and biochar compost treatments increase the uptake of heavy metals cadmium, lead, zinc and chromium into the soil by sunflower.

Discussion and Conclusion: According to the results of the present study, it can be generally stated that the sunflower species based on the values of TF, BCF and BAC indices can be used as a plant suitable for phytoremediation of contaminated soils in the region through the plant process. Introduce stabilization. According to the results of this study, sunflower can be used as an adsorbent of pollutants and is recommended in soils contaminated with heavy metals.

Keywords: Phytoremediation, Urban Waste Compost, Boichar, *Helianthus Annuus* L.

1- Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.
2- Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran . *(Corresponding Author)
3- Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

مقدمه

امروزه آلودگی خاک به آلاینده‌های آلی و معدنی که مهم‌ترین آن‌ها فلزات بالقوه سمی و خطرناک (فلزات سنگین) می‌باشد، ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاوی، ذوب فلزات، پسماندهای صنعتی و... است، از طرف دیگر ماندگاری طولانی مدت آن‌ها در طبیعت به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های محیط زیستی تبدیل شده است. در بسیاری از مناطق صنعتی پساب کارخانجات به داخل رودخانه‌ها و یا اراضی اطراف (مانند اراضی کشاورزی یا مراتع طبیعی) رها می‌شود. این مسأله باعث ورود آلاینده‌ها به محیط زیست می‌شود که این روند آلودگی خاک، آب‌های سطحی و منابع آب زیرزمینی را در پی دارد. عناصرسنگین از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست به‌شمار می‌آیند که در چند دهه اخیر به‌شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند. تجمع عناصر در خاک بویژه در اراضی کشاورزی، امری تدریجی بوده و غلظت عناصر سنگین می‌تواند به سطحی برسد که امنیت غذایی بشر را تهدید نماید. سالانه هزاران تن از این عناصر که ناشی از فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی است، وارد خاک می‌شود (۱). فلزات سنگین در اثر فعالیت‌هایی نظیر؛ سوزاندن سوخت‌های فسیلی، معدن‌کاوی، صنایع ذوب فلزات، زباله‌های شهری، کاربرد کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، لجن فاضلاب و غیره وارد خاک می‌شود (۲).

روش‌های مختلفی برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده در مناطق صنعتی یا معادن وجود دارد. عمده روش‌های پاک‌سازی خاک‌های مناطق آلوده، اغلب هزینه‌بر بوده و امکان استفاده از آن‌ها در سطوح وسیع وجود ندارد و گاهی اوقات تأثیرات ناخواسته و نامطلوب بر خاک می‌گذارند. همچنین بودجه لازم برای پالایش خاک با روش‌های مرسوم فیزیکی و شیمیایی بالا می‌باشد. در این میان فن‌آوری استفاده از گیاهان برای استخراج آلاینده‌های عنصری یا به‌عبارتی همان گیاه‌پالایی، کاهش یا محدود کردن انتقال آلاینده‌ها به خاک و آب مورد توجه زیادی قرار گرفته است. گیاه‌پالایی روشی موثر، ارزان قیمت، سازگار با محیط‌زیست و قابل اجرا در سطوح وسیع است. هزینه گیاه‌پالایی در مقایسه با روش‌های فیزیکو-شیمیایی حدود ۱۰ تا ۱۰۰ برابر کم‌تر است (۳). از جمله مطالعاتی که در زمینه گیاه‌پالایی و استفاده از تیمارهای اصلاح‌کننده صورت گرفته است می‌توان به مطالعات: چرم و علیزاده (۱۳۸۸)، بررسی اثرات کمپوست بقایای نیشکر و EDTA (اتیلن دی تترا استیک اسید) در کشت کلزا جهت پالایش خاک‌های آلوده به کادمیم (۴)؛ حمزئی (۱۳۹۱)، بررسی تأثیر بیوچار و آبیاری با فاضلاب بر فراهمی کادمیم در خاک و رشد گیاه ماش در خاک‌های مناطق خشک، سرب و نیکل (۵)؛ مصلحی و همکاران (۱۳۹۳)، مطالعه اثر EDTA (اتیلن دی آمین تترا استیک اسید) و کمپوست زباله شهری و دو سطح آلودگی سرب بر وزن خشک گیاه، غلظت سرب، مقدار جذب سرب در ریشه و بخش هوایی گیاه آفتابگردان (۶)؛ جان و همکاران (۲۰۱۲)، بررسی تثبیت مس - (II)، سرب (II) و کادمیم (II) با اضافه کردن بیوچار به‌دست آمده از کاه برنج در خاک‌های آلتی‌سول آلوده شبیه‌سازی‌شده (۷)؛ وانگ و همکاران (۲۰۱۲)، بررسی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده شده به پیرن اصلاح شده با کمپوست و کاشت گونه‌های *Lolium perenne* و *Medicago sativa* (۸)؛ فنگ و همکاران (۲۰۱۴)، بررسی کاهش هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی در خاک های اصلاح شده با کمپوست پساب (۹)، اشاره کرد.

با توجه به مطالب ذکر شده در بالا، مطالعه و تحقیق در زمینه شناسایی گیاهان و امکان استفاده از گونه‌های با قابلیت زیست-توده بالا و استفاده از مواد بهساز طبیعی از جمله ضرورت‌های تحقیقاتی در توسعه گیاه‌پالایی برای پالایش خاک‌های آلوده می‌باشد. بنابراین، هدف اصلی از اجرای این تحقیق، استفاده از روش بیولوژیکی (گیاه‌پالایی) برای پالایش خاک‌های آلوده ناشی از فعالیت‌های صنعتی در اراضی منطقه صنعتی شهرک صنعتی البرز است. بر همین اساس پژوهش حاضر به‌منظور بررسی پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین (نیکل، روی، سرب، کادمیوم و کروم) به‌وسیله گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) تحت دو ماده بهساز طبیعی

شامل کمپوست زباله شهری و بیوچار (هر کدام در سه سطح ۰، ۱ ٪ و ۲ ٪ وزنی) انجام شد.

مواد و روش‌ها

عملیات گل‌خانه‌ای

خاک مورد استفاده در این تحقیق، از اراضی اطراف شهرک صنعتی البرز تهیه شود. شهر صنعتی البرز در کنار شهر الوند واقع شده است. شهر الوند دومین شهر بزرگ استان قزوین است که در ۱۴ کیلومتری جنوب شرقی شهر قزوین واقع شده است. شهرک صنعتی البرز بین ۵۰ درجه و ۰۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۰۵ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی نسبت به خط استوا قرار دارد.

بذر گیاه آفتابگردان از شرکت پاکان بذر تهیه شد. کمپوست زباله شهری و بیوچار از گروه خاک‌شناسی پردیش کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد. جهت اعمال تیمارهای کمپوست زباله شهری و بیوچار کمپوست زباله شهری، کمپوست و بیوچار در سه سطح ۰، ۱ و ۲ درصد به صورت وزنی به خاک‌ها اضافه شدند.

آفتابگردان با نام علمی . *Helianthus annuus* L گیاهی است یک‌ساله از تیره (Compositaeیا Asteraceae) که به‌صورت بوته ای استوار رشد می کند . آفتابگردان گیاهی است دو پایه، یک‌ساله، خشبی و اغلب با ساقه‌های چوبی منشعب که پوشیده از موهای زبر و خشن است و با مسیر فتوسنتزی سه کربنه است. طول مدت رشد آن سریع و ارتفاع آن بین۱۵۰ تا۴۰۰ سانتی‌متر است که برحسب واریته متغیر است. این گیاه از شاخه پیدازادان[1]، زیرشاخه نهاندانگان[2]، از طبقه دولپه‌ای‌ها[3]، از تیره آستراسه[4]، از خانواده هلیانته‌آ[5]، از جنس هلیانتوس[6] و از گونه آنتوس[7]، ۲n=۳۴ کروموزوم می‌باشد (۱۰).

1 - Phanerogams
2 - Angiosperms
3 - Dicotyledon
4- Asteracea
5- Helianteae
6 - Heilianthus
7- Anthus

عملیات آزمایشگاهی

در پایان دوره رویش، اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان جمع-آوری شد و نمونه‌های خاک گل‌دان‌ها برداشت شد.

تعیین مقدار کل فلزات سنگین مورد نظر در نمونه‌های خاک

بعد از آن‌که نمونه‌های خاک گل‌دان‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند، آماده عصاره‌گیری شدند. در ابتدا ۲ گرم خاک خشک و الک شده وزن شد و سپس ۱۵ سی‌سی اسید نیتریک ۴ نرمال اضافه شد و با دمای ۶۰ درجه به مدت ۲۰ ساعت داخل اجاق بن‌ماری قرار گرفت. سپس در بالن ۵۰ سی‌سی صاف و با آب دو بار تقطیر به حجم رسید (۱۱). در گام بعد نمونه‌ها از کاغذ استات سلولزی ۰/۲۳ عبور داده شد تا برای قرائت با دستگاه ICP آماده شوند.

تعیین مقدار تبادلی عناصر در خاک

برای استخراج مقدار تبادلی فلزات سنگین ۲۰ گرم خاک خشک و الک شده وزن و به داخل ارلن ریخته شد. سپس ۲۰ سی سی محلول DTPA۸ (تتریپلکس ۵) به آن اضافه گردید (۱۲) و درب آن بسته شد. بعد از ۲ ساعت شیکر کردن، در داخل بالن ۱۰۰ سی‌سی صاف گردید. سپس نمونه‌ها از کاغذ صافی استات سلولزی ۰/۲۳ نیز عبور داده شدند و غلظت فلزات مورد نظر با استفاده از دستگاه ICP-OES مدل GBC Avanta ساخت کشور استرالیا آنالیز شد (۱۳).

تعیین مقدار فلزات سنگین مورد نظر در نمونه‌های گیاه

برای تعیین مقدار فلزات سنگین موجود در گیاهان، ۰/۵ گرم از نمونه‌های گیاهی پودر شده (اندام‌های هوایی و یا زیرزمینی) داخل بشر ۱۰۰ سی‌سی ریخته شد. سپس ۱۰ سی‌سی اسید سولفوریک غلیظ به آن افزوده شد. در گام بعد، محلول حاصل به مدت ۱۵ دقیقه بر روی اجاق با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد (قبل از جوش) قرار گرفتند. بعد از کمی سرد شدن، ۵ سی‌سی آب اکسیژنه ۳۰ درصد به آن افزوده شد و یک دقیقه حرارت داده شد تا نمونه‌ها بی‌رنگ شود. در نهایت بعد از سردشدن،

8 - diethylenetriaminepentaacetic acid

نمونه‌ها با کاغذ واتمن صاف و به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسیدند (دولاینگ و همکاران، ۲۰۰۳). در مرحله بعد نمونه‌ها از کاغذ صافی استات سلولزی ۰/۲۳ نیز عبور داده شدند و غلظت فلزات مورد نظر با استفاده از دستگاه مدل GBC Avanta ساخت کشور استرالیا اندازه‌گیری شد.

تعیین شاخص‌های TF، BCF و BAC برای ارزیابی توانمندی گیاه برای گیاه‌پالایی

برای ارزیابی توانمندی گیاهان و معرفی آن‌ها برای پالایش آلودگی، بایستی بعد از مشخص کردن مقدار فلزات سنگین قابل استخراج در نمونه‌های گیاهی و خاک، شاخص‌های TF [1] (فاکتور انتقال؛ نسبت غلظت فلز در اندام‌های هوایی گیاه به غلظت فلز در ریشه)، BCF [2] (فاکتور تجمع بیولوژیکی؛ نسبت غلظت فلز در ریشه گیاه به غلظت فلز در خاک)، BAC [3] (ضریب تجمع بیولوژیکی؛ نسبت غلظت فلز در اندام‌های هوایی گیاه به غلظت فلز در خاک)، را اندازه‌گیری کرد و بر اساس این شاخص‌ها، گونه مناسب برای پالایش خاک‌های آلوده معرفی شود. چرا که پتانسیل گیاه‌پالایی یک گونه با استفاده از فاکتور انتقال (TF)، فاکتور تجمع بیولوژیکی (BCF) و ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC) محاسبه می‌شود. اگر TF بزرگ‌تر از یک باشند، گیاه موردنظر برای استخراج گیاهی آلاینده‌ها مناسب است. همچنین گیاهانی که مقدار شاخص‌های TF و BAC در آن‌ها بزرگ‌تر از یک باشد، برای فرآیند گیاه استخراجی مناسب هستند. گیاهانی که در آن‌ها مقدار TF کم‌تر از یک و مقدار BCF بیش‌تر از یک باشد، برای فرآیند گیاه تثبیتی مناسب هستند. در زیر روابط مربوط به هر کدام از شاخص‌های فوق ارایه شده است (۱۴).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

طرح به‌صورت آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی با ۵ تکرار انجام شد. تیمارهای بستر کاشت شامل کمپوست زباله شهری شامل (کمپوست زباله‌ی شهری ۱ ٪ و ۲ ٪)، بیوچار (بیوچار ۱ ٪ و ۲ ٪) و شاهد می‌باشد. جهت بررسی و تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات اندازه گیری شده از نرم‌افزار SPSS و جهت رسم نمودارها از نرم افزار Excel و مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) استفاده گردید.

نتایج

الف) اثر کاربرد تیمارها بر غلظت فلزات سنگین کادمیم، سرب، روی، کروم و نیکل

- **اثر تیمارها بر غلظت کادمیم اندام‌های هوایی و ریشه آفتابگردان و خاک**

نتایج نشان داد اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر کادمیم اندام‌های هوایی، ریشه، کادمیم کل خاک و تبادلی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). نتایج نشان داد کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوچار در همه سطوح باعث افزیش کادمیم جذب شده در اندام‌های هوایی و ریشه گیاه آفتابگردان نسبت به شاهد شده است. تیمارهای مورد استفاده باعث افزایش غلظت کادمیم کل در خاک شد. تیمارهای کمپوست ۲ درصد، بیوچار ۱ و ۲ درصد سبب کاهش قابلیت دسترسی کادمیم (کادمیم تبادلی خاک) در خاک شده‌اند. ولی کمپوست ۱ درصد سبب افزایش قابلیت دسترسی کادمیم نسبت به شاهد شده است.

1- Translocation Factor
2- Bio Concentration Factor
3 - Biological Accumulation Coefficient

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت کادمیم خاک، اندام‌های هوایی و زیرزمینی

Table 1. ANOVA of the effect of treatments on the concentration of Cd in soil, shoot and root oragans

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کادمیم ریشه	کادمیم اندام هوایی	کادمیم کل خاک	کادمیم تبادلی خاک
تیمار	۴	۲۰/۰۰**	۴۶/۰۰**	۰/۱۶۹**	۰/۰۱**
خطا	۲۰	۱/۸۷	۱/۲۲	۰/۰۳۶	۰/۰۰۲

- **اثر تیمارها بر غلظت سرب اندام‌های هـوایی و ریشه آفتابگردان و خاک**

اثر سطوح مختلف کمپوست زبالـه شـهری و بیوچـار بـر سـرب اندام‌های هوایی، ریشـه، سـرب کـل خـاک و تبـادلی در سـطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). همـان‌طـور کـه نتـایج نشان می‌دهد کاربرد کمپوست زباله شـهری و بیوچـار در همـه سطوح باعث کاهش سرب جذب شده در ریشه گیاه آفتـابگردان نسبت به شاهد شده است. کمپوست ۱ و ۲ درصد سبب افزایش جذب سرب در اندام‌های هوایی و تیمارهای بیوچار سبب کاهش جذب سرب نسـبت بـه شـاهد شـدند. تیمارهـای کمپوسـت ۲ درصد، بیوچار ۱ و ۲ درصد سبب کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک شده‌اند. ولی کمپوست ۱ درصد اختلاف معنی‌داری بـا شاهد نداشت.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت سرب خاک، اندام‌های هوایی و زیرزمینی

Table 2. ANOVA of the effect of treatments on the concentration of Pb in soil, shoot and root oragans

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		سرب ریشه	سرب اندام هوایی	سرب کل خاک	سرب تبادلی خاک
تیمار	۴	۱۴۰۲/۹۶**	۳۱۸/۴۴**	۶۸۸/۲۱۹**	۸۱/۱۸**
خطا	۲۰	۱۸/۷۶	۹/۸۶	۱۳۶/۷۵	۱/۸۴

- **اثر تیمارها بر غلظـت روی خـاک، انـدام‌هـای هوایی و ریشه آفتابگردان**

اثر سطوح مختلـف کمپوسـت زبالـه شـهری و بیوچـار بـر روی اندام‌های هوایی، ریشه، روی کل خاک و تبادلی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳). بین کاربرد کمپوسـت زبالـه شهری در سطح ۱ درصد و بیوچار در سطح ۲ درصد بـا شـاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و تأثیر معنی‌داری بر جذب فلز روی در ریشه گیاه آفتابگردان نداشـت. ولـی کـاربرد بیوچـار ۲ درصد باعث افزایش مقدار جذب روی در ریشه ایـن گیـاه شـده است. تیمارهای کمپوست ۲ درصد، بیوچار ۱ و ۲ درصد سـبب کاهش قابلیـت دسترسـی روی (روی تبـادلی خـاک) در خـاک شده‌اند. ولی بین تیمار کمپوست ۱ درصد و شـاهد در قابلیـت دسترسی روی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت روی خاک، اندام‌های هوایی و زیرزمینی

Table 3. ANOVA of the effect of treatments on the concentration of Zn in soil, shoot and root oragans

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		روی ریشه	روی اندام هوایی	روی کل خاک	روی تبادلی خاک
تیمار	۴	۲۸۴۱/۹۶**	۹۲/۱۶**	۳۴۵/۰۷**	۷۸/۷۲**
خطا	۲۰	۱۸/۳۶	۸/۶۶	۲/۴۸	۱/۸۸

- **اثر تیمارها بر غلظت کروم اندام‌هـای هـوایی و ریشه آفتابگردان و خاک**

نتایج نشان داد اثر سـطوح مختلـف کمپوسـت زبالـه شـهری و بیوچار بر غلظت کروم اندام‌های هوایی، ریشه، کروم کل خاک و تبادلی در سطح آمـاری ۱ درصـد معنـی‌دار اسـت (جـدول ۴). بیش‌ترین تأثیر تیمارهای مورد استفاده بر جـذب کـروم توسـط ریشه در تیمار کمپوست ۲ درصد و بیوچـار ۱ درصـد مشـاهده شد و کم‌ترین مقدار آن نیز تیمار شاهد اتفـاق افتـاد. همچنـین بیش‌ترین مقـدار جـذب کـروم در انـدام‌هـای هـوایی گیـاه، در تیمارهای کمپوست زباله شهری ۲ درصد و کم‌تـرین مقـدار آن نیز در تیمار شاهد مشاهده شد.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت کروم اندام‌های هوایی و زیرزمینی و خاک آفتابگردان

Table 4. ANOVA of the effect of treatments on the concentration of Cr in soil, shoot and root oragans

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کروم ریشه	کروم اندام هوایی	کروم کل خاک	کروم تبادلی خاک
تیمار	۴	۱۶/۰۰**	۶/۰۰*	۳۵۱/۱**	۰/۰۰*
خطا	۲۰	۲/۱۲۵	۲/۲	۴/۹۷	۰/۰۰

- **اثر تیمارها بر غلظت نیکل اندام‌هـای هـوایی و ریشه آفتابگردان و خاک**

نتایج نشان داد اثر سـطوح مختلـف کمپوسـت زبالـه شـهری و بیوچار بر غلظت نیکل ریشه، نیکل کل خاک و تبادلی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار نشـده اسـت (جـدول ۵). اثـر سـطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر غلظت نیکل اندام‌های هوایی گیاه معنی‌دار شده است.

اثر تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش بر روی غلظت نیکل کل در خاک معنی‌دار نشد. تیمار بیوچار ۱ درصد سبب افزایش قابلیت دسترسی نیکل (نیکل تبادلی خاک) در خاک شـد. ولـی بین تیمار کمپوست ۱ و ۲ درصد و شاهد در قابلیـت دسترسـی نیکل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به‌علاوه تیمار بیوچـار ۲ درصد سبب کاهش فراهمی نیکل در خاک شد.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت نیکل اندام‌های هوایی و زیرزمینی و خاک آفتابگردان

Table 5. ANOVA of the effect of treatments on the concentration of Ni in soil, shoot and root oragans

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		نیکل ریشه	نیکل اندام هوایی	نیکل کل خاک	نیکل تبادلی خاک
تیمار	۴	۴/۹۶^{ns}	۳۷۷۷/۶۴**	۳/۳۷۵^{ns}	۰/۴۲۶^{ns}
خطا	۲۰	۴/۹۶	۴/۷	۱۹/۸۵	۰/۲۴۷

ب) اثر کاربرد تیمارهـا بـر شـاخص‌هـای ارزیـابی توانایی گیاه‌پالایی گیاه آفتابگردان

- **اثر تیمارها بر تجمع و انتقال کادمیم**

نتایج نشان داد که در رابطه با کادمیم، تنها در تیمـار بیوچـار ۱ درصد مقدار TF بزرگ‌تر از یک شـده و از آنجـایی کـه مقـدار BAC و BCF نیز در همه تیمار بیش‌تر از یـک اسـت (شـکل ۶)، گیاه آفتابگردان می‌تواند به‌عنوان یـک گونـه بـیش‌انـدوزگر عمل کند. به‌عبارتی طی عمل گیـاه‌اسـتخراجی باعـث جـذب و استخراج کادمیم شود. در سایر تیمارهای مـورد اسـتفاده چـون مقدار TF کمتر از یک است، ایـن گیـاه مـی‌توانـد طـی عمـل گیاه‌تثبیتی سبب تثبیت کادمیم شود.

جدول ۶- شاخص‌های تجمع و انتقال کادمیم تحت تیمارهای مختلف

Table 6. Indexes of TF, BCF and BCF of Cd under different treatments

تیمار	فاکتور انتقال (TF)	فاکتور تجمع بیولوژیکی (BCF)	ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC)
شاهد	۰/۴۹۴	۵/۱۳	۲/۶
کمپوست ۱ درصد	۰/۶۸۱	۸/۵۵	۵/۸۱
کمپوست ۲ درصد	۰/۷۷۳	۹/۳۳	۶/۶
بیوچار ۱ درصد	۱/۲۳	۶/۸۴	۸/۵۱
بیوچار ۲ درصد	۰/۸۰۶	۹/۲۲	۷/۲۴

- **اثر تیمارها بر تجمع و انتقال سرب**

نتایج نشان داد که در تیمار بیوچار ۲ درصد مقدار TF بزرگ‌تر از یک شده و چون مقدار BAC و BCF نیز در همه تیمار بیش‌تر از یک است (جدول ۷)، گیاه آفتابگردان می‌تواند طی عمل گیاه‌استخراجی باعث جذب و استخراج سرب شود. در سایر تیمارهای مورد استفاده چون مقدار TF کم‌تر از یک است، این گیاه از طریق فرآیند گیاه تثبیتی باعث تثبیت سرب می‌شود. افزایش شاخص جذب در تیمارهای بیوچار را می‌توان به نقش مثبت بیوچار در اصلاح خاک و بهبود رشد گیاه نسبت داد.

جدول ۷- شاخص‌های تجمع و انتقال سرب تحت تیمارهای مختلف

Table 7. Indexes of TF, BCF and BCF of Pb under different treatments

تیمار	فاکتور انتقال (TF)	فاکتور تجمع بیولوژیکی (BCF)	ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC)
شاهد	۰/۶۶۱	۱/۸۸۵	۱/۲۴۳
کمپوست ۱ درصد	۰/۸۷۴	۱/۲۲۷	۱/۰۷
کمپوست ۲ درصد	۰/۹۷۳	۱/۲۶۴	۱/۲۳
بیوچار ۱ درصد	۰/۸۵۶	۰/۸۰۸	۰/۶۹
بیوچار ۲ درصد	۱/۰۱۵	۱/۳۱۷	۱/۳۳۸

- **اثر تیمارها بر تجمع و انتقال روی**

نتایج نشان داد در تیمار کمپوست ۲ درصد مقدار TF بزرگ‌تر از یک شده ولی مقادیر BAC و BCF در آن تیمار کم‌تر از یک است، از آنجایی‌که مقدار TF بزرگ‌تر از یک شده، گیاه آفتابگردان می‌تواند طی عمل گیاه‌استخراجی باعث جذب و استخراج روی شود. در تیمار کمپوست ۱ درصد BCF بزرگ‌تر از یک می‌باشد ولی مقدار TF کوچک‌تر از یک شده (جدول ۸)، لذا این گیاه از طریق فرآیند گیاه تثبیتی باعث تثبیت روی می‌شود.

جدول ۸- شاخص‌های تجمع و انتقال روی تحت تیمارهای مختلف

Table 8. Indexes of TF, BCF and BCF of Zn under different treatments

تیمار	فاکتور انتقال (TF)	فاکتور تجمع بیولوژیکی (BCF)	ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC)
شاهد	۰/۶۷۸	۰/۷۸۷	۰/۵۳۳
کمپوست ۱ درصد	۰/۴۹۲	۱/۱۵۸	۰/۵۶۸
کمپوست ۲ درصد	۱/۰۴۵	۰/۶۳۷	۰/۶۶۴
بیوچار ۱ درصد	۰/۹۱۲	۰/۵۶	۰/۵۱۲
بیوچار ۲ درصد	۰/۷۷۷	۰/۸۸	۰/۶۸

- **اثر تیمارها بر تجمع و انتقال کروم**

از آنجایی‌که در همه تیمارهای مورد استفاده در این مطالعه، مقدار شاخص‌های TF، BCF و BAC کم‌تر از یک است (جدول ۹)، بنابراین این گیاه نمی‌تواند با فرآیندهای گیاه-استخراجی و یا گیاه‌تثبیتی، باعث پالایش کروم خاک شود.

جدول ۹- شاخص‌های تجمع و انتقال کروم تحت تیمارهای مختلف

Table 9. Indexes of TF, BCF and BCF of Cr under different treatments

تیمار	فاکتور انتقال (TF)	فاکتور تجمع بیولوژیکی (BCF)	ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC)
شاهد	۰/۷۸۴	۰/۲۴۸	۰/۱۸۶
کمپوست ۱ درصد	۰/۸۳۵	۰/۳۹۶	۰/۳۱۴
کمپوست ۲ درصد	۰/۷۴۹	۰/۸۸۶	۰/۶۶۷
بیوچار ۱ درصد	۰/۶۴۱	۰/۷۲۳	۰/۴۵۸
بیوچار ۲ درصد	۰/۸۹	۰/۷	۰/۶۲۳

- **اثر تیمارها بر تجمع و انتقال نیکل**

بر اساس نتایج جدول ۱۰ در همه تیمارهای مورد استفاده در این مطالعه (به‌جز بیوچار ۲ درصد)، مقدار شاخص‌های TF و BCF کم‌تر از واحد است، بنابراین این گیاه نمی‌تواند با فرآیندهای گیاه‌استخراجی و یا گیاه‌تثبیتی، باعث پالایش نیکل خاک شود. ولی تحت تیمار بیوچار ۲ درصد مقدار TF و BAC بزرگ‌تر از ۱ بوده و گیاه می‌تواند به‌عنوان یک گونه دارای توانایی گیاه‌استخراجی در نظر گرفته شود.

جدول ۱۰- شاخص‌های تجمع و انتقال نیکل تحت تیمارهای مختلف

Table 10. Indexes of TF, BCF and BCF of Ni under different treatments

تیمار	فاکتور انتقال (TF)	فاکتور تجمع بیولوژیکی (BCF)	ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC)
شاهد	۰/۶۷۷	۰/۴۲۱	۰/۲۸۱
کمپوست ۱ درصد	۰/۵۹۳	۰/۴۷۹	۰/۲۷۴
کمپوست ۲ درصد	۰/۶۷۹	۰/۴۹۱	۰/۳۲۳
بیوچار ۱ درصد	۰/۶۳۷	۰/۵۱۲	۰/۳۱۶
بیوچار ۲ درصد	۵/۰۵	۰/۵۱۹	۲/۵۹

ج) تأثیر تیمارها بر خصوصیات مورفولوژیکی و رشد گیاه آفتابگردان

- **اثر تیمارها بر وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و وزن کل آفتابگردان**

تأثیر تیمارها بر وزن تر و خشک ریشه معنی‌دار بود ($p< ۰/۰۵$) ولی این تأثیر بر وزن خشک کل گیاه معنی‌دار نبود (جدول ۱۱). مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داد که بین وزن تر و خشک ریشه در تیمارهای مختلف نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و تنها وزن تر و خشک ریشه در تیمار کمپوست دو درصد از شاهد کمتر بود. بین وزن خشک کل گیاه در تیمارهای مختلف نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۱۱). هر چند از نظر آماری تفاوتی بین تیمارها و شاهد وجود نداشت ولی کاربرد بیوچار ۱ درصد سبب افزایش بیومس کل گیاه شده است.

جدول ۱۱- میانگین مربعات اثر تیمارها بر وزن تر و خشک ریشه و وزن خشک کل آفتابگردان

Table 11. Mean Square of effects of treatments on root dry weight, root wet weight and dry dry weight *H. annuus* species

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن تر	وزن خشک	وزن خشک کل گیاه
تیمار	۴	**۳۸/۴۹	*۴/۹۵	^{ns}۱۲/۶۱
خطا	۲۰	۷/۱۲	۱/۶۳	۱۴/۷۴

- **اثر تیمارها بر وزن تر و خشک اندام‌های هوایی آفتابگردان**

تأثیر تیمارها بر وزن تر و خشک اندام‌های هوایی معنی‌دار نبود ($p< ۰/۰۵$) (جدول ۱۲). مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نشان داد که بین وزن تر و خشک اندام‌های هوایی در تیمارهای مختلف نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. با اینکه از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف و شاهد مشاهده نشده است ولی کمپوست و بیوچار سبب افزایش وزن تر و وزن خشک اندام‌های هوایی آفتابگردان شده‌اند.

جدول ۱۲- میانگین مربعات اثر تیمارها بر وزن تر و خشک اندام هوایی آفتابگردان

Table 12. Mean Square of effects of treatments on Shoot dry weight and Shoot wet weight *H. annuus* species

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		وزن تر	وزن خشک
تیمار	۴	^{ns}۱۴۴/۱۸	^{ns}۵/۶۸
خطا	۲۰	۲۰۷/۲۲	۹/۲۵

- **اثر تیمارها بر طول ساقه و طول ریشه آفتابگردان**

اثر تیمارهای مختلف بر طول ساقه معنی‌دار نشده است. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داد که بین طول ساقه در هیچ کدام از تیمارها نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تأثیر تیمارها بر طول ریشه معنی‌دار بود ($p< ۰/۰۵$) (جدول ۱۳). مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داد که بین طول ریشه در تیمار کمپوست دو درصد نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری وجود داشته است و کمتر از شاهد بوده است.

جدول ۱۳- میانگین مربعات اثر تیمارها بر طول ساقه و طول ریشه آفتابگردان

Table 13. Mean Square of effects of treatments on stem length and Root length *H. annuus* species

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		طول ساقه	طول ریشه
تیمار	۴	^{ns}۸۱/۳۶	*۳/۹۲
خطا	۲۰	۱۴۴/۲۱	۱/۲۹

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که حضور مواد آلی (کمپوست زباله شهری و بیوچار) در بستر کاشت، در برخی تیمارها منجر به افزایش غلظت آلاینده در اندام‌های گیاهی و درنتیجه افزایش توانایی گیاه‌پالایی گونه آفتابگردان شد. نتایج نشان داد کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوچار در همه سطوح باعث افزیش کادمیم جذب شده در اندام‌های هوایی و ریشه گیاه آفتابگردان نسبت به شاهد شده است. در این ارتباط چرم و علیزاده (۱۳۸۸) بیان کردند که کاربرد کمپوست و EDTA به‌طور معنی‌داری موجب افزایش غلظت عناصر کادمیم، سرب و نیکل در اندام هوایی گیاه کلزا در مقایسه با تیمار شاهد شد (۴). کاربرد کمپوست و EDTA به‌طور معنی‌داری باعث افزایش غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه شد. که در این تأثیر اثر کمپوست قوی تر ازEDTA مشاهده شد . رضائیان (۱۳۹۳) اظهار داشت که تلقیح مایکوریزای همراه با کاربرد بیوچار در افزایش خاصیت گیاه پالایی نعنا فلفلی نقش موثری ایفا می‌کند (۱۵). حمزئی و همکاران (۱۳۹۱) بیان کردند که سطوح مختلف فاضلاب باعث افزایش فراهمی کادمیم در خاک شد. افزایش بیوچار، در سطوح بالای فاضلاب موجب افزایش شوری خاک شد و در پی آن فراهمی عنصر کادمیم در خاک نیز افزایش یافت (۵). نتایج این پژوهش با نتایج میر و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی گیاه‌پالایی فلز کادمیم توسط نهال‌های *S. viminalis* میزان انباشت اندام هوایی را بیش از اندام زیرزمینی اعلام نمودند (۱۶).

کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوچار در همه سطوح باعث کاهش سرب جذب شده در ریشه گیاه آفتابگردان نسبت به شاهد شده است. مصلحی و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که کمپوست زباله شهری با دارا بودن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم و تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک باعث بهبود ساختمان خاک، افزایش نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و در نهایت سبب افزایش رشد گیاه گردیده و در نهایت منجربه افزایش مقدار جذب سرب و کادمیم نسبت به شاهد و کلات کننده EDTA شده است (۶).

اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر روی اندام‌های هوایی، ریشه، روی کل خاک و تبادلی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار است. نتایج این تحقیق با نتایج شریفی و همکاران (۱۳۸۹) هم‌خوانی ندارد. ایشان بیان کردند که تیمارهای لجن فاضلاب، کمپوست و کود گاوی (۲۵ تن در هکتار) اثر معنی‌داری بر افزایش روی قابل جذب خاک داشتند. اگرچه بیش‌ترین افزایش مربوط به تیمار کمپوست بود (۱۷). نتایج مطالعات خدیوی بروجنی (۱۳۸۶) نیز نشان داد که کاربرد کودهای آلی سبب افزایش روی قابل جذب در خاک می‌شود که علت این پدیده، تجمع زیاد روی در حضور کودهای آلی در شکل‌های محلول (یونی و کمپلکس‌های آلی محلول) و تبادلی می‌باشد (۱۸). مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داد که بین طول ریشه در تیمار کمپوست دو درصد نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری وجود داشته است و کم‌تر از شاهد بوده است. نتایج این تحقیق با نتایج جلالی‌پور و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت ندارد. ایشان بیان کردند که کاربرد بیوچار به‌طور کلی باعث بهبود رشد زیست توده شد و بیش‌ترین میزان ارتفاع، وزن خشک ساقه و ریشه گیاه در سطح ۱۵ گرم بر کیلوگرم بیوچار و سطح صفر کادمیوم مشاهده شد (۱۹).

مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نشان داد که بین وزن تر و خشک اندام‌های هوایی در تیمارهای مختلف نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. با این‌که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف و شاهد مشاهده نشده است ولی کمپوست و بیوچار سبب افزایش وزن تر و وزن خشک اندام‌های هوایی آفتابگردان شده‌اند. مصلحی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای اثرات کمپوست زباله شهری و EDTA را بر گیاه‌پالایی سطوح مختلف سرب و کادمیوم توسط آفتابگردان بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بیش‌ترین وزن خشک اندام‌های هوایی در تیمار کمپوست و شاهد مشاهده شد و کم-ترین وزن خشک هوایی گیاه در تیمار EDTA مشاهده شد. همچنین واکر و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که EDTA سبب کاهش وزن خشک هوایی و کمپوست سبب افزایش وزن خشک هوایی در گیاهان اسفناج و تربچه در مقایسه با شاهد شد (۲۰).

بین وزن خشک کل گیاه در تیمارهای مختلف نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. هر چند از نظر آماری تفاوتی بین تیمارها و شاهد وجود نداشت ولی کاربرد بیوچار ۱ درصد سبب افزایش بیومس کل گیاه شده است. در این ارتباط هوبن[1] و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای فواید اثرات کاربرد بیوچار را در خاک‌های آلوده به کادمیوم، سرب، روی و تولید بیومس *Brassica napus* بررسی کردند (۲۱). آن‌ها غلظت‌های ۱، ۵ و ۱۰ درصد بیوچار را در محیط کشت این گیاه اضافه کردند. نتایج آنها نشان داد که غلظت ۱۰ درصد بیوچار سبب کاهش دسترسی فلزات سنگین توسط گیاه می‌شود. ولی درصد بالای کاربرد بیوچار سبب سه برابر شدن بیومس گیاه شد. الهدادی و همکاران (۱۳۹۰) اظهار داشتند با افزایش کاربرد کمپوست در خاک، ارتفاع بوته، وزن خشک و عملکرد ذرت علوفه‌ای گیاه اف/.زایش پیدا کرد به گونه‌ای که بیش‌ترین مقدار این صفات در اثر کاربرد ۴۵ و ۶۰ تن کمپوست در هکتار به‌دست آمد (۲۲).

1 -Houben

تقدیر و تشکر

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی می‌باشد که در تاریخ ۱۳۹۲/۱۲/۲۷ تصویب و با حمایت معاونت آموزش و پژوهش سازمان حفاظت محیط زیست اجرا گردید و در زمستان ۱۳۹۴ گزارش نهایی آن به تایید رسید. که در اینجا مراتب قدردانی خود را از ریاست محترم سازمان محیط زیست و معاونت محترم آموزش و پژوهش سازمان حفاظت محیط زیست اعلام می‌داریم.

Reference

1. Ahmadi, B., 2012. The role of heavy metals in human health. July 20 2012. available at: Resources heavy metals.
2. Gaur, A., Adholeya, A., 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Curr sci, 86: 528-534.
3. Cunningham, SD., Berti, WR., Huang, J.W., 1995. Phytoremediation of contaminated soils. Trends Biotechnol, 13: 393–397.
4. Chorom, M., Alizadeh, A., 2009. Comparison of synthetic chelates and compost at enhancing phytoextraction of Cd, Ni and Pb from contaminated soil under canola cultivation. Journal of Soil and Water (Agricultural Sciences and Technology), 23 (2): 20-29. (In Persian)
5. Hamzei, E., Lakzian, A., Astaraie, A., Fotovat, A., 2013. Effect of biochar and sewage on soil cadmium concentration and growth of Vicia plant. The 3rd National Conference on Integrated Water Management, September 20 and 21, 2013. Sari Agricultural and Natural Resources University. (In Persian)
6. Moslehi, A., Fekri, M., Fotovat, A., 2015. Effects of Urban Waste

Compost and EDTA (Ethylenediaminetetraacetic acid) on the planting of different levels of lead and cadmium by sunflower. Soil Science Researches (Soil and Water Sciences). 28 (2): 34-23. (In Persian)

7. Jun, J., Ren-kou, X. Tian-yu, J.B., Zhuo, L., 2012. Immobilization of Cu(II), Pb(II) and Cd(II) by the addition of rice straw derived biochar to a simulated polluted Ultisol. Journal of Hazardous Materials, 229– 230: 145– 150.
8. Wang, M.C., Chen, Y.T., Chen, S.H., Chang Chien, S.W., Sunkara, S.V., 2012. Phytoremediation of pyrene contaminated soils amended with compost and planted with ryegrass and alfalfa. Chemosphere, 87: 217–225.
9. Feng, L., Zhang, L., Feng, L., 2014. Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil amended with sewage sludge compost. International Biodeterioration & Biodegradation.
10. Khajehpour, M.R., 1997. Production of industrial plants. University Jihad University of Isfahan. 250 pages. (In Persian)
11. APHA, AWWA, WEF. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, 19 Pp.
12. Rodojvic, M., Bashkin, V.N., 1999. "Practical Environmental Analysis", the Royal Society of Chemistry, 466p.
13. Du Laing, G., Tack F.M.G., Verloo, M.G., 2003. Performance of selected destruction methods for the determination of heavy metals in reed plants Phragmites australis. Jour. Analyt. Chim. Acta. 49: 191–198.
14. Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., Ma, L.Q, 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Science of the Total Environment, 368: 456–464.
15. Rezaeian, A., 2014. Effect of Biochar and mycorrhiza on absorption, transport and accumulation of cadmium in the peppermint plant. Master's thesis, Faculty of Agriculture. University of Shahrod. (In Persian)
16. Meers, E., Ruttens, A., Hopgood, M.J., Samson, D., Tack, F.M.G., 2005. Comparison of EDTA and EDDS as potential soil amendments for enhanced phytoextraction of heavy metals. Chemosphere, 58:1011–1022.
17. Sharifi, M., Afyni, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., 2010. Effect of Sewage Sludge, Compost and Cow Manure on Growth and Yield and Fe, Zn, Mn and Ni Uptake in Tagetes Flower. Journal of Science and Technology of Greenhouse CultureSoilless Culture Research Center, 1(2): 43-54. (In Persian)
18. Khadivi Boroujeni, E., 2007. Effect of organic fertilizers on the chemical forms of heavy metals in soil and the absorption of these elements by wheat. MS.c thesises in Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. (In Persian)
19. Jalalipour, S., Gholam Ali Zadeh Ahangar, A., Lakzian, A., Ahmadzadeh, Gh., 2014. Effect of Biochar Application on Some Quantitative Characteristics of Sunflower (Helianthus annuus L.) in Cadmium Contaminated Soils, Second National Conference on New Issues in Agriculture, Saveh, Islamic Azad University, Saveh Branch. (In Persian)
20. Walker, D.J., Celemnte, R., Roig, A., Bernal, M.P., 2003. The effects of soil amendments on heavy metal

bioavailability in two contaminated Mediterranean soils.

21. Houben, D., Evrard, L., Sonnet, Ph., 2013. Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd, Pb and Zn and the biomass production of rapeseed (Brassica napus L.)

22. Allahdadi, I., Memari, A., Akbari, Gh.A., Lotfifar, O., 2011. Effect of Different Amounts of Municipal Solid Waste Compost on Soil Properties and Nutrient Concentration and Growth of Corn Yield. plant production technology, 11(1): 1-13. (In Persian)