

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

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

محمد جعفری<sup>۱</sup>

اسفندیار جهانتاب<sup>۲\*</sup>

[E.jahantab@ut.ac.ir](mailto:E.jahantab@ut.ac.ir)

مهدی معماری<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۹

### چکیده

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

**روش بررسی:** طرح به صورت آزمایش در قالب طرح کاملاً 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.

**یافته‌ها:** 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 تبادل‌پذیری خاک اختلاف معنی‌داری وجود دارد. تیمارهای کمپوست زباله شهری و بیوجار 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، به‌طور کلی 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 به‌عنوان جذب‌کننده آلاینده‌ها استفاده شود و در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** گیاه‌پالایی، کمپوست زباله شهری، بیوجار، آفتابگردان.

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

۲- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران. \*مسئول مکاتبات.

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

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

Mohamad Jafai <sup>1</sup>

Esfandiar Jahantab <sup>2\*</sup>

[E.jahantab@ut.ac.ir](mailto:E.jahantab@ut.ac.ir)

Mehdi Moameri <sup>3</sup>

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, Biochar, *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

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 به دست آمده از کاه برنج در خاک‌های آلتی سول آلوده شبیه‌سازی شده (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 خاک‌های 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

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. عناصر سنگین 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 معدن وجود دارد. عمده روش‌های پاک‌سازی خاک-های 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 محیط-زیست و قابل اجرا در سطوح وسیع است. هزینه گیاه‌پالایی در مقایسه با روش‌های فیزیکو-شیمیایی حدود ۱۰ تا ۱۰۰ برابر

شامل کمپوست زباله شهری و بیوجار (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 بیوجار از گروه خاک‌شناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد. جهت اعمال تیمارهای کمپوست زباله شهری و بیوجار کمپوست زباله شهری، کمپوست و بیوجار 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 (Compositae یا Asteraceae) که به صورت بوته ای استوار رشد می‌کند. 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 کرپنه است. طول مدت رشد آن سریع و ارتفاع آن بین ۱۵۰ تا ۴۰۰ سانتی‌متر است که برحسب واریته متغیر است. این گیاه از شاخه پیدازادان<sup>۱</sup>، زیرشاخه نهاندانگان<sup>۲</sup>، از طبقه دولپه‌ای‌ها<sup>۳</sup>، از تیره آستراسه<sup>۴</sup>، از خانواده هلیانته‌آه<sup>۵</sup>، از جنس هلیانته‌توس<sup>۶</sup> و از گونه آنتوس<sup>۷</sup>،  $2n=34$  کروموزوم می‌باشد (۱۰).

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

### عملیات آزمایشگاهی

در پایان دوره رویش، اندم‌های 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 تبدالی عناصر در خاک

برای استخراج مقدار تبدالی فلزات سنگین ۲۰ گرم خاک خشک و الک شده وزن و به داخل ارلن ریخته شد. سپس ۲۰ سی‌سی محلول DTPA<sup>۸</sup> (تریپلکس ۵) به آن اضافه گردید (۱۲) و در 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 سرد شدن،

8 - diethylenetriaminepentaacetic acid

آماري اطلاعات اندازه گيري 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 تبدالی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). نتایج نشان داد کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوچار در همه سطوح باعث افزایش 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 تبدالی خاک) در خاک شده‌اند. ولی کمپوست ۱ درصد سبب افزایش قابلیت دسترسی کادمیم نسبت به شاهد شده است.

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<sup>۱</sup> (فاکتور انتقال؛ نسبت غلظت فلز در اندام‌های هوایی گیاه به غلظت فلز در ریشه)، BCF<sup>۲</sup> (فاکتور تجمع بیولوژیکی؛ نسبت غلظت فلز در ریشه گیاه به غلظت فلز در خاک)، BAC<sup>۳</sup> (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 فوق‌ارایه شده است (۱۴).

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

طرح به‌صورت آزمایش در قالب طرح کاملاً 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

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

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

نسبت به شاهد شده است. کمپوست ۱ و ۲ درصد سبب افزایش جذب سرب در اندام‌های هوایی و تیمارهای بیوچار سبب کاهش جذب سرب نسبت به شاهد شدند. تیمارهای کمپوست ۲ درصد، بیوچار ۱ و ۲ درصد سبب کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک شده‌اند. ولی کمپوست ۱ درصد اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت.

## - اثر تیمارها بر غلظت سرب اندام‌های هوایی و ریشه آفتابگردان و خاک

اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر سرب اندام‌های هوایی، ریشه، سرب کل خاک و تبادل در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوچار در همه سطوح باعث کاهش سرب جذب شده در ریشه گیاه آفتابگردان

## 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

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

روی در ریشه گیاه آفتابگردان نداشت. ولی کاربرد بیوچار ۲ درصد باعث افزایش مقدار جذب روی در ریشه این گیاه شده است. تیمارهای کمپوست ۲ درصد، بیوچار ۱ و ۲ درصد سبب کاهش قابلیت دسترسی روی (روی تبادل خاک) در خاک شده‌اند. ولی بین تیمار کمپوست ۱ درصد و شاهد در قابلیت دسترسی روی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

## - اثر تیمارها بر غلظت روی خاک، اندام‌های هوایی و ریشه آفتابگردان

اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر روی اندام‌های هوایی، ریشه، روی کل خاک و تبادل در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳). بین کاربرد کمپوست زباله شهری در سطح ۱ درصد و بیوچار در سطح ۲ درصد با شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و تأثیر معنی‌داری بر جذب فلز

## 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

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

ریشه در تیمار کمپوست ۲ درصد و بیوچار ۱ درصد مشاهده شد و کم‌ترین مقدار آن نیز تیمار شاهد اتفاق افتاد. همچنین بیش‌ترین مقدار جذب کروم در اندام‌های هوایی گیاه، در تیمارهای کمپوست زباله شهری ۲ درصد و کم‌ترین مقدار آن نیز در تیمار شاهد مشاهده شد.

- اثر تیمارها بر غلظت کروم اندام‌های هوایی و ریشه آفتابگردان و خاک  
نتایج نشان داد اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر غلظت کروم اندام‌های هوایی، ریشه، کروم کل خاک و تبدالی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۴). بیش‌ترین تأثیر تیمارهای مورد استفاده بر جذب کروم توسط

#### 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

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

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 تبدالی خاک) در خاک شد. ولی بین تیمار کمپوست ۱ و ۲ درصد و شاهد در قابلیت دسترسی نیکل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به‌علاوه تیمار بیوچار ۲ درصد سبب کاهش فراهمی نیکل در خاک شد.

- اثر تیمارها بر غلظت نیکل اندام‌های هوایی و ریشه آفتابگردان و خاک  
نتایج نشان داد اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر غلظت نیکل ریشه، نیکل کل خاک و تبدالی در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار نشده است (جدول ۵). اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوچار بر غلظت نیکل اندام‌های هوایی گیاه معنی‌دار شده است.

#### 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

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
نیکل تبدالی خاک	نیکل کل خاک	نیکل اندام هوایی	نیکل ریشه		
<sup>ns</sup> ۰/۴۲۶	<sup>ns</sup> ۳/۳۷۵	**۳۷۷۷/۶۴	<sup>ns</sup> ۴/۹۶	۴	تیمار
۰/۲۴۷	۱۹/۸۵	۴/۷	۴/۹۶	۲۰	خطا

۶)، گیاه آفتابگردان می‌تواند به‌عنوان یک گونه بیش‌اندوزگر عمل کند. به‌عبارتی طی عمل گیاه‌استخراجی باعث جذب و استخراج کادمیم شود. در سایر تیمارهای مورد استفاده چون مقدار TF کمتر از یک است، این گیاه می‌تواند طی عمل گیاه‌تثبیتی سبب تثبیت کادمیم شود.

(ب) اثر کاربرد تیمارها بر شاخص‌های ارزیابی توانایی گیاه‌پالایی گیاه آفتابگردان  
- اثر تیمارها بر تجمع و انتقال کادمیم  
نتایج نشان داد که در رابطه با کادمیم، تنها در تیمار بیوچار ۱ درصد مقدار TF بزرگ‌تر از یک شده و از آنجایی که مقدار BAC و BCF نیز در همه تیمار بیش‌تر از یک است (شکل

## 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

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.

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،

## 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

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.

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 آنجایی که مقدار TF بزرگ‌تر از یک شده، گیاه آفتابگردان می‌تواند طی عمل گیاه‌استخراجی باعث جذب و



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
بیوجار ۱ درصد	۰/۹۱۲	۰/۵۶	۰/۵۱۲
بیوجار ۲ درصد	۰/۷۷۷	۰/۸۸	۰/۶۸

- اثر تیمارها بر تجمع و انتقال کروم

از آنجایی که 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
بیوجار ۱ درصد	۰/۶۴۱	۰/۷۲۳	۰/۴۵۸
بیوجار 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 (به جز بیوجار 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 بیوجار 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
بیوجار ۱ درصد	۰/۶۳۷	۰/۵۱۲	۰/۳۱۶
بیوجار ۲ درصد	۵/۰۵	۰/۵۱۹	۲/۵۹

وزن تر و خشک ریشه در تیمارهای مختلف نسبت به شاهد اختلاف معنی داری 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 معنی داری 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.

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 معنی دار بود ( $p < 0.05$ ) ولی این تأثیر بر وزن خشک کل گیاه معنی دار نبود (جدول ۱۱). مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داد که بین

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
تیمار	۴	**۳۸/۴۹	*۴/۹۵
خطا	۲۰	۷/۱۲	۱/۶۳
			ns ۱۲/۶۱
			۱۴/۷۴

مختلف نسبت به شاهد اختلاف معنی داری وجود نداشت. با اینکه از نظر آماری اختلاف معنی داری بین تیمارهای مختلف و شاهد مشاهده نشده است ولی کمپوست و بیوچار سبب افزایش وزن تر و وزن خشک اندام‌های هوایی آفتابگردان شده‌اند.

- اثر تیمارها بر وزن تر و خشک اندام‌های هوایی آفتابگردان

تأثیر تیمارها بر وزن تر و خشک اندام‌های هوایی معنی دار نبود ( $p < 0.05$ ) (جدول ۱۲). مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نشان داد که بین وزن تر و خشک اندام‌های هوایی در تیمارهای

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

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

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

نداشت. تأثیر تیمارها بر طول ریشه معنی دار بود ( $p < 0.05$ ) (جدول ۱۳). مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داد که بین طول ریشه در تیمار کمپوست دو درصد نسبت به شاهد اختلاف معنی داری وجود داشته است و کمتر از شاهد بوده است.

- اثر تیمارها بر طول ساقه و طول ریشه آفتابگردان

اثر تیمارهای مختلف بر طول ساقه معنی دار نشده است. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داد که بین طول ساقه در هیچ کدام از تیمارها نسبت به شاهد اختلاف معنی داری وجود

## 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

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

## بحث

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 منجر به افزایش مقدار جذب سرب و کادمیم نسبت به شاهد و کلات کننده EDTA شده است (۶).

اثر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و بیوجار 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 بیوجار به‌طور کلی باعث بهبود رشد زیست توده شد و بیش‌ترین میزان ارتفاع، وزن خشک ساقه و ریشه گیاه در سطح ۱۵ گرم بر کیلوگرم بیوجار و سطح صفر کادمیم مشاهده شد (۱۹).

نتایج این تحقیق نشان داد که حضور مواد آلی (کمپوست زباله شهری و بیوجار) در بستر کاشت، در برخی تیمارها منجر به افزایش غلظت آلاینده در اندام‌های گیاهی و در نتیجه افزایش توانایی گیاه‌پالایی گونه آفتابگردان شد. نتایج نشان داد کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوجار در همه سطوح باعث افزایش 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 قوی‌تر از EDTA مشاهده شد. رضائیان (۱۳۹۳) اظهار داشت که تلقیح مایکوریزای همراه با کاربرد بیوجار در افزایش خاصیت گیاه‌پالایی 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 بیوجار، 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 *viminalis* میزان انباشت اندام‌هوائی را بیش از اندام زیرزمینی اعلام نمودند (۱۶).

کاربرد کمپوست زباله شهری و بیوجار در همه سطوح باعث کاهش سرب جذب شده در ریشه گیاه آفتابگردان نسبت به شاهد شده است. مصلحی و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که

## 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

- Ahmadi, B., 2012. The role of heavy metals in human health. July 20 2012. available at: Resources heavy metals.
  - Gaur, A., Adholeya, A., 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Curr sci*, 86: 528-534.
  - Cunningham, SD., Berti, WR., Huang, J.W., 1995. Phytoremediation of contaminated soils. *Trends Biotechnol*, 13: 393-397.
  - 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)
  - 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)
  - Moslehi, A., Fekri, M., Fotovat, A., 2015. Effects of Urban Waste
- 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 بیوجار 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 گیاه پالایی 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 کم‌ترین 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 بیوجار ۱ درصد سبب افزایش بیومس کل گیاه شده است. در این ارتباط هوبن<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای فواید اثرات کاربرد بیوجار را در خاک‌های آلوده به کادمیوم، سرب، روی و تولید بیومس *Brassica napus* بررسی کردند (۲۱). آن‌ها غلظت‌های ۱، ۵ و ۱۰ درصد بیوجار را در محیط کشت این گیاه اضافه کردند. نتایج آنها نشان داد که غلظت ۱۰ درصد بیوجار سبب کاهش دسترسی فلزات سنگین توسط گیاه می‌شود. ولی درصد بالای کاربرد بیوجار 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 افزایش پیدا کرد به گونه‌ای که بیش‌ترین مقدار این صفات در اثر کاربرد ۴۵ و ۶۰ تن کمپوست در هکتار به‌دست آمد (۲۲).

1 -Houben

- 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., Afyini, M., Khoshgoftarmansh, 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 Culture/Soilless 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 theses 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., Celemnite, R., Roig, A., Bernal, M.P., 2003. The effects of soil amendments on heavy metal 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

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)
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.) bioavailability in two contaminated Mediterranean soils.