

## بررسی تأثیر بیوجار گلابول بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و جذب فلزات سنگین در گیاه کاهو (*Lactuca sativa* L.) رقم "سیاهو"

اکرم ولیزاده قلعه بیگ<sup>۱</sup>، سید حسین نعمتی<sup>۲\*</sup>، حجت امامی<sup>۳</sup> و حسین آرویی<sup>۳</sup>  
۱، ۲ و ۳. دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۲۷)

### چکیده

بیوجار تکنولوژی زیست محیطی جدیدی است که استفاده از آن می تواند در راستای کاهش تجمع آلودگی خاک مورد استفاده قرار بگیرد. بدین منظور، آزمایشی گلخانه ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد و مقادیر بیوجار گلابول در ۳ سطح (صفر، ۵، ۱۰ گرم در کیلوگرم خاک)، کادمیوم (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) و سرب (صفر، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک)، مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین مقدار صفات مورفولوژیکی شامل سطح برگ، ارتفاع، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه در سطح ۵ گرم بیوجار گلابول در کیلوگرم خاک مشاهده شد و افزایش سطح بیوجار گلابول از سطح ۵ به ۱۰ گرم در کیلوگرم خاک سبب کاهش این صفات شد. کاربرد ۵ گرم بیوجار در کیلوگرم خاک در بالاترین غلظت سرب و کادمیوم، سبب کاهش ۲۷/۳۸ و ۲۱/۸۷ درصدی غلظت سرب و کادمیوم در گیاه (اندام هوایی + ریشه) شد. در بالاترین سطح بیوجار، سرب و کادمیوم، کاهش صفات و افزایش در غلظت سرب و کادمیوم گیاه و خاک مشاهده شد. در واقع بیوجار گلابول در سطح ۵ گرم در کیلوگرم خاک به دلیل داشتن سطح ویژه بالا، سرب و کادمیوم را در سطح خود جذب کرد و باعث کاهش جذب این دو عنصر و بهبود صفات کاهو شد.

واژه های کلیدی: سرب، ضایعات کشاورزی، کادمیوم، گل شاخه بریده.

## The effect of glayol biochar on some of morphological traits and heavy metals uptake in lettuce (*Lactuca sativa* L. cv Syaho)

Akram Valizadeh Ghale Beig<sup>1</sup>, Seyyed Hossein Neamati<sup>2\*</sup>, Hojat Emami<sup>3</sup> and Hossein Aroei<sup>3</sup>  
1, 2, 3. Ph.D. Candidate, Assistant Professor and Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mahshhad, Iran  
(Received: May 15, 2019- Accepted: Jun. 17, 2019)

### ABSTRACT

Biochar is a new environmental technology that can be used to reduce the accumulation of soil contamination. To evaluate the effects of biochar of cutflower glayol on growth characteristics and the accumulation of heavy metals of lead and cadmium in lettuce, a factorial experiment as a completely randomized design with four replications was conducted and amount of glayol biochar at three levels (0, 5, 10 g/kg soil), cadmium (0, 10, 20 mg/kg soil) and lead (0, 300, 600 mg/kg soil) were tested. The results showed that the highest amount of lettuce traits including leaf area, height, fresh and dry weight of shoot and fresh and dry weight of root were found at the rate of 5 g glayol biochar /kg soil. Increment of glayol biochar levels from 5 to 10 g/kg soil decreased all mentioned traits. Application of 5 g biochar /kg soil of at the highest concentrations of lead and cadmium decreased the concentration of lead and cadmium in the plant (shoot+root) up to 27.38 and 21.87 %. The highest rate of biochar, lead and cadmium reduced growth traits, and increased the uptake of lead and cadmium in plant tissues and their concentrations in soil. In fact, glayol biochar (5g /kg soil), because of high specific surface area, adsorbed lead and cadmium on their surfaces and cause to reduce the absorption of these two elements and improved growth characteristics in lettuce.

**Keywords:** Agricultural waste, cadmium, cutflower, lead.

\* Corresponding author E-mail: nemati@um.ac.ir

### مقدمه

آلودگی خاک‌ها با فلزات سنگین پدیده‌ای است که به‌طور گسترده در نتیجه فعالیت‌های بشر، کشاورزی و صنعت اتفاق می‌افتد (Fattahi *et al.*, 2018). وجود این عناصر در اتمسفر، خاک و آب حتی در مقادیر بسیار کم می‌تواند مشکلاتی را برای موجودات به وجود آورد (Zheng *et al.*, 2012). سرب فلزی سمی برای انسان و غیرضروری برای گیاهان محسوب می‌شود که به‌علت انحلال‌پذیری در آب، به راحتی توسط ریشه جذب شده و با افزایش غلظت آن، تأثیر منفی بر رشد و متابولیسم گیاهان می‌گذارد (Parta *et al.*, 2004). کادمیم نیز فلزی سمی است که توانایی بالایی برای عبور از غشای سلولی ریشه را داشته و در فضای آپوپلاسمی یا روی سطح دیواره سلول یا غشای پلاسمایی ریشه تجمع می‌یابد که این تجمع در نهایت باعث اختلال در جذب عناصر غذایی توسط ریشه و کاهش قابل‌توجهی در رشد ریشه خواهد شد (Baghaie, 2017). به‌طورکلی، خطر حضور سرب و کادمیم در زنجیره غذایی به‌علت سهولت در دسترسی این عناصر برای گیاهان، زیاد می‌باشد و عوامل متعددی از جمله pH و درصد مواد آلی خاک بر میزان قابلیت دسترسی این عناصر تأثیرگذار است (Zheng *et al.*, 2012). یکی از تکنیک‌های متداول برای اصلاح خاک‌های آلوده، تثبیت فلزات سنگین در خاک می‌باشد. امروزه توجه جهانی بر گسترش استفاده از بیوچار (Biochar) به دلیل مزایای آن از قبیل هزینه کم و پایداری بالا در محیط زیست معطوف شده است. بیوچار موادی با تخلخل بسیار بالا دارای گروه‌های عاملی مختلفی است که در جذب سطحی فلزات سنگین مؤثرند. افزودن بیوچار به خاک سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، فراهمی عناصر غذایی پرمصرف و نیز ظرفیت نگهداشت آب و به‌دنبال آن بهبود رشد گیاه می‌شود (Kim *et al.*, 2015). سبزیجات به‌عنوان منبع اصلی مواد معدنی، ویتامین‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و سایر مواد غذایی مفید جز اصلی در رژیم غذایی انسان محسوب می‌شوند. یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار جهت تعیین میزان سلامت سبزیجات، به ویژه سبزیجات برگی غلظت فلزات

سنگین موجود در آن‌هاست. آلودگی سبزیجات به فلزات سنگین از منابع مختلف آلودگی از قبیل آبیاری با فاضلاب، کاربرد آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی نشأت می‌گیرد. کاهو (*Lactuca sativa* L.)، از جمله مهمترین سبزیهای برگی و منبع اصلی ویتامین‌ها و مواد معدنی است (Hasandokht, *et al.*, 2009)، که آلودگی آن تهدیدی جدی برای سلامت انسان‌ها محسوب می‌شود، لذا در پرورش آن از حیث عاری بودن از آلاینده‌های زیست‌محیطی به ویژه فلزات سنگین باید توجه زیادی صورت گیرد (Kim *et al.*, 2015). افزودن بیوچار به خاک، سبب بهبود ظرفیت جذب سطحی شده و از طریق کاهش انتقال و فراهمی فلزات سنگین، سمیت آن‌ها را کاهش می‌دهد. همچنین، بیوچار به‌طور مستقیم از طریق بار منفی که سطوح آن را در بر می‌گیرد، عناصر غذایی موجود در خاک را حفظ کرده و شرایط را برای بهبود رشد گیاهان فراهم می‌کند (Verheijen *et al.*, 2010). Houben *et al.* (2013) با کاربرد ۱۰ درصد بیوچار حاصل از کلش برنج، کاهش ۷۱، ۸۷ و ۹۷ درصدی فراهمی فلزات سنگین کادمیم، روی و سرب را در گیاه برنج گزارش کردند. Tshewang *et al.* (2010) در نتیجه کاربرد بیوچار چوب در یک خاک شنی، افزایش معنی‌دار عملکرد و کاهش غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کادمیم، سرب، مس و روی را در ساقه‌های گیاه ذرت (*Zea mays* L.) به دو دلیل مکانیزم تشکیل کمپلکس‌های آلی-فلزی و جذب این عناصر بر سطح بیوچار گزارش کردند. همچنین کاهش غلظت عناصر کادمیم، مس و سرب و بهبود رشد گیاه کلزا (*Brassica juncea* L.) در شرایط کاربرد بیوچار کود مرغی و بقایای سبزی به دلیل بی‌تحرك شدن این عناصر در خاک گزارش شده است (Park *et al.*, 2011). استفاده از دو نوع بیوچار کلش ذرت (*Zea mays* L.) و کود خوکی نیز منجر به بهبود رشد گیاه کاهو و کاهش غلظت فلزات سنگین روی و کادمیم شده است (Ting *et al.*, 2017). بیوچار لجن فاضلاب از طریق کاهش فراهمی فلزات سنگین کادمیم، سرب، مس، روی و کروم، باعث افزایش رشد گیاه کلم (*Brassica pekinensis* L.) شده است (Liu *et al.*, 2014).

گزارش شده است بیوچار باگاس نیشکر قابلیت دسترسی فلزات سنگین را برای اندام هوایی و ریشه‌های کلم چینی (*Brassica chinensis* L.) کاهش داد (Vaccari *et al.*, 2011). افزودن بیوچار به خاک، از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی و فراهمی آب در خاک، وزن خشک شاخساره گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (Hossain *et al.*, 2017). بیوچار بادام هندی (*Anacardium occidentale* L.)، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی را در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) افزایش و غلظت فلزات سنگین سرب، کروم و کادمیوم را در این بخش‌ها کاهش داد (Al-Wabel *et al.*, 2015). با توجه به مشکل آلودگی‌های زیست‌محیطی و توجه به این نکته که یکی از مزایای بیوچار، مدیریت ضایعات کشاورزی می‌باشد، استفاده از انواع بیوچار در سطح جهانی رو به افزایش است، ولی تاکنون تأثیر بیوچار حاصل از گل شاخه‌بریده گلابول که به مقدار زیادی در گل‌فروشی‌ها تولید می‌شود در ایران بررسی نشده است. لذا مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر بیوچار حاصل از پسماند گل شاخه‌بریده گلابول بر تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه کاهو، به‌عنوان گیاه شاخصی که مستعد تجمع آلاینده‌های فلزی می‌باشد، صورت گرفت.

آزمایش مقادیر بیوچار گلابول در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم) و مقادیر فلزات سنگین هر یک در سه سطح، شامل سرب (صفر، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کادمیوم (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) مورد استفاده قرار گرفت. پسماند گل‌های شاخه‌بریده گلابول شامل ساقه و برگ، به‌وسیله‌ی کوره پیرولیز در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس، طی فرایند تجزیه حرارتی در کوره الکتریکی در شرایط اکسیژن محدود (در قوطی در بسته) و طی مدت‌زمان دو ساعت به بیوچار تبدیل شد (Baba *et al.*, 2008). سپس، بیوچارهای تهیه‌شده به میزان ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم با خاک گلدان‌هایی که می‌بایست تحت تیمار قرار بگیرند، مخلوط شد. ویژگی‌های شیمیایی بیوچار نیز در جدول ۲ ارائه شده است. برای آلوده‌کردن خاک مقادیر محاسبه شده نمک فلزات سنگین از دو منبع نیترات کادمیوم و نیترات سرب به صورت محلول در آب مقطر تهیه و با استفاده از اسپری محلول پاشی و با خاک مخلوط شد. در این آزمایش از بذر کاهو اصلاح‌شده رقم "سیاهو" (*Lactuca sativa* L. cv. Syaho) جهت تهیه نشا استفاده و یک عدد نشا در مرحله چهار برگی به هر گلدان منتقل گردید. آبیاری گلدان‌ها بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و در هر هفته یک‌بار انجام شد. همچنین با توجه به فقیربودن خاک از نظر عناصر غذایی و نیاز غذایی بالای گیاه کاهو کوددهی از یک منبع کودی کامل در دو مرحله (بعد از آماده‌سازی بسترهای کشت قبل از انتقال نشا و اواسط دوره رشد) و به میزان ۲۵۰ سی‌سی (از محلول ۵ در ۱۰۰۰) در هر گلدان انجام گرفت. پس از پایان آزمایش یعنی زمان حداکثر رشد رویشی کاهو (۹۰ روز بعد از کشت بذر)، شاخص‌های مورفولوژیکی نظیر سطح برگ، ارتفاع بخش هوایی، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه اندازه‌گیری شدند. همچنین غلظت عناصر فلزی سرب و کادمیوم در گیاه (اندام هوایی و ریشه) و خاک نیز اندازه‌گیری شد. روش‌های مورد استفاده در اندازه‌گیری فاکتورهای مختلف به‌طور مستقل در ادامه شرح داده است.

گزارش شده است بیوچار باگاس نیشکر قابلیت دسترسی فلزات سنگین را برای اندام هوایی و ریشه‌های کلم چینی (*Brassica chinensis* L.) کاهش داد (Vaccari *et al.*, 2011). افزودن بیوچار به خاک، از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی و فراهمی آب در خاک، وزن خشک شاخساره گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (Hossain *et al.*, 2017). بیوچار بادام هندی (*Anacardium occidentale* L.)، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی را در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) افزایش و غلظت فلزات سنگین سرب، کروم و کادمیوم را در این بخش‌ها کاهش داد (Al-Wabel *et al.*, 2015). با توجه به مشکل آلودگی‌های زیست‌محیطی و توجه به این نکته که یکی از مزایای بیوچار، مدیریت ضایعات کشاورزی می‌باشد، استفاده از انواع بیوچار در سطح جهانی رو به افزایش است، ولی تاکنون تأثیر بیوچار حاصل از گل شاخه‌بریده گلابول که به مقدار زیادی در گل‌فروشی‌ها تولید می‌شود در ایران بررسی نشده است. لذا مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر بیوچار حاصل از پسماند گل شاخه‌بریده گلابول بر تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه کاهو، به‌عنوان گیاه شاخصی که مستعد تجمع آلاینده‌های فلزی می‌باشد، صورت گرفت.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه تأثیر بیوچار حاصل از پسماند گل شاخه‌بریده گلابول بر ویژگی‌های رشدی و تجمع فلزات سنگین در گیاه کاهو، آزمایشی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. پس از توزین هر گلدان با ارتفاع ۲۵ و عرض دهانه ۳۰ سانتی‌متر، گلدان‌ها به نسبت ۱:۲ از خاک زراعی سطحی و شن پر شدند. سپس خاک موردنظر جهت تعیین بافت خاک و عناصر تشکیل‌دهنده آن مورد آنالیز قرار گرفت. بر اساس نتایج آزمون خاک، بافت خاک از نوع لوم شنی بود و ویژگی‌های آن نیز در جدول ۱ ارائه شده‌اند. در این

## جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Physical and chemical characteristics of soil

| Soil texture | Sand (%) | Loam (%) | Clay (%) | N (ppm) | P (ppm) | K (ppm) | pH  | EC (dS.m <sup>-1</sup> )* | OM (%) | FC (%) | PWP (%) | Pb (ppm) | Cd (ppm) |
|--------------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|-----|---------------------------|--------|--------|---------|----------|----------|
| Sandy loam   | 60       | 28       | 12       | 8.25    | 5.22    | 15.01   | 6.7 | 1.20                      | 0.28   | 14.50  | 8.50    | Nd       | Nd       |

\* OM: مواد آلی، F.C: ظرفیت زراعی، PWP: نقطه پژمردگی دائم، Nd: قابل تشخیص نبود.

\* EC: Electrical Conductivity, OM: Organic Materials, FC: Field Capacity, PWP: Permanent Wilting Point, Nd: Not detectabl.

دو ساعت جوشانده شد تا نمونه‌ها هضم شدند. محلول به‌دست آمده توسط کاغذ واتمن شماره چهار صاف شد و توسط اسید نیتریک ۰/۵ مول بر لیتر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و در بطری‌های پلی‌اتیلنی در دمای چهار درجه سانتی‌گراد جهت آنالیز نگهداری شد و سپس غلظت سرب و کادمیوم در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Shimadzu PG-990) مجهز به کوره گرافیت (GF-990) تحت شرایط استاندارد، قرائت گردید (Baba *et al.*, 2008).

## جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوجار

Table 2. Physical and chemical characteristics of biochar

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| EC (dS m <sup>-1</sup> )*             | 3.95  |
| CEC (meq (+) 100g <sup>-1</sup> soil) | 24.98 |
| Bulk Density (g cm <sup>-3</sup> )    | 0.22  |
| pH                                    | 7.5   |
| Ash Content (%)                       | 5.8   |
| N (%)                                 | 1.7   |
| P (%)                                 | 0.15  |
| K (%)                                 | 1.26  |

\* EC: هدایت الکتریکی، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، Bulk density: جرم مخصوص ظاهری، Ash Content: محتوای خاکستر.

\* EC: Electrical Conductivity, CEC: Cationic Exchange Capacity.

## اندازه‌گیری خصوصیات مورفولوژیکی

در مرحله حداکثر رشد رویشی، صفات سطح برگ، ارتفاع بخش هوایی، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه اندازه‌گیری شد. ارتفاع بخش هوایی با خط‌کش، سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح‌سنج برگ (Li-Cor, Model Li-1300, USA) اندازه‌گیری شد. سپس اقدام به توزین جداگانه اندام هوایی و ریشه‌ها نموده و اندام‌های مذکور در داخل آون (دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت) قرار داده شدند و در نهایت وزن خشک آنها به‌طور جداگانه محاسبه گردید (Azadi *et al.*, 2014).

## اندازه‌گیری غلظت سرب و کادمیوم در خاک و اندام‌های گیاه

سه گرم از هر یک از نمونه‌های خشک شده خاک و عبور داده شده از الک دو میلی‌متری و نیز دو گرم از نمونه‌های خشک‌شده اندام هوایی و ریشه‌های کاهو که توسط آسیاب برقی آسیاب شده بودند، در لوله‌های پیرکس ۲۵۰ میلی‌لیتری قرار داده شد. هضم اولیه در دمای اتاق به مدت ۱۶ ساعت توسط ۲۸ میلی‌لیتر از اسیدکلریدریک ۳۷ درصد و اسید نیتریک ۷۰ درصد به نسبت ۱:۳ انجام شد. سپس محلول سوسپانسیون بر روی هیتر در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس به مدت

## تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ( $P < 0.05$ ) انجام شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار EXCEL رسم گردیدند.

## نتایج و بحث

## خصوصیات مورفولوژیکی

## سطح برگ و ارتفاع بخش هوایی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف بیوجار گلابول، سرب، کادمیوم و برهمکنش آنها در مورد صفات سطح برگ و ارتفاع بخش هوایی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود، به جز اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم که در مورد سطح برگ معنی‌دار نبود و اثر متقابل گلابول و کادمیوم در ارتفاع بخش هوایی که در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مطابق نتایج مقایسه میانگین‌ها، با کاربرد ۵ گرم در کیلوگرم بیوجار گلابول، سطح برگ نسبت به شاهد افزایش ۱۰/۷۵ درصدی و با افزایش سطح از ۵ به ۱۰ گرم در کیلوگرم، کاهش ۲۳/۶۵ درصدی نشان داد. مقایسه میانگین بین سطوح مختلف سرب نیز نشان داد که بین تیمار شاهد و سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم

کادمیوم و سرب در گیاه، و کاهش اثر تنش زای فلزات سنگین، دو فاکتور سطح برگ و ارتفاع بخش هوایی را ارتقا بخشد. حال آن که همزمان با افزایش سطح بیوچار به ۱۰ گرم در کیلوگرم، روند کاهشی در مقادیر سطح برگ و ارتفاع بخش هوایی مشاهده شد (جدول ۵). گزارش Salari (2014) با نتیجه آزمایش فعلی همخوانی دارد، کاربرد بیوچار بقایای پسته (*Pistacia vera L.*) در دو سطح ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم باعث افزایش سطح برگ و ارتفاع بخش هوایی ذرت (*Zea mays L.*) شد و سطح ۲۰ گرم در کیلوگرم به دلیل افزایش جذب سدیم و شوری محیط ریشه، باعث کاهش این شاخص‌ها شد. مطابق نتایج سایر محققان نیز، علت کاهش رشد گیاه در شرایط به کارگیری سطوح بالای بیوچار افزایش شوری خاک گزارش شده است (Howard, 2011; Zheng *et al.*, 2012). در شرایط تنش فلزات سنگین کاهش سطح برگ، ارتفاع و زیست توده گیاهی به دلایل کاهش سرعت توسعه برگ، پیچیدگی، پیری و ریزش برگ‌ها مشاهده می‌شود (Israr & Shivendra, 2008). در سمیت ناشی از سرب تدریجاً ضخامت برگ‌ها و قطر آوندهای چوب و آبکشی در دستجات آوندی کاهش می‌یابد، در نتیجه در بخش‌هایی از دیواره که ضخامت کمتری پیدا کرده مانند محل پلاسمودسما تا مقادیر زیادی سرب تجمع می‌یابد که منجر به ایجاد شکاف در دیواره و کاهش شدید قدرت ارتجاعی و الاستیکی آن می‌شود و به این طریق موجب توقف رشد سلول‌ها می‌گردد (Ruley *et al.*, 2006). در برخی موارد نیز تأثیر مخرب فلزات سنگین بر متابولیسم و انتقال اکسین به‌عنوان علت اصلی کاهش رشد در گیاهان گزارش شده است (Israr & Shivendra, 2008). در حضور کادمیوم به‌دلیل کاهش رشد ریشه‌ها، کاهش جذب و انتقال آب، کاهش هدایت هیدرولیکی از ریشه به آوندهای چوبی و برهم‌خوردن بالانس آب در گیاهان مشاهده می‌شود، که منجر به کاهش پتانسیل آماس سلولی و کاهش خاصیت کشسانی دیواره سلولی شده در نتیجه سلول‌ها کوچکتر و فضاهای بین سلولی کمتر می‌شود (Fiaz *et al.*, 2014). هزمان با افزایش غلظت سرب و کادمیوم کاهش ارتفاع گیاه توسط Zhang *et al.* (2000) در گندم و Jalalipur (2014) در آفتاب گردان گزارش گردید.

تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، ولی با افزایش غلظت سرب به ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کاهش سطح برگ مشاهده شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات سه گانه، نیز گویای اثر مثبت سطح ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار گلابول نسبت به شاهد بر افزایش سطح برگ در شرایط تنش فلزات سنگین سرب و کادمیوم می‌باشد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین مقدار سطح برگ به‌ترتیب در تیمارهای ( $Gb_1Pb_0Cd_1$ ) و ( $Gb_2Pb_2Cd_2$ ) با مقادیر ۴۴۲/۹۹ و ۲۰۹/۵۶ سانتی‌متر مربع مشاهده شد (جدول ۵). یکی از فاکتورهای مهم رشد گیاه ارتفاع بخش هوایی آن می‌باشد که عوامل محیطی و ژنتیکی نقش حیاتی در تعیین آن دارند. بررسی غلظت‌های بیوچار گلابول در رابطه با این فاکتور نشان داد که، سطح ۱۰ گرم در کیلوگرم موجب کاهش ۱۱/۵۸ و ۷/۶۴ درصدی نسبت به شاهد و سطح ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار شد. همچنین کاربرد سرب و کادمیوم باعث کاهش ارتفاع بخش هوایی نسبت به تیمار شاهد شد، ولی بین غلظت‌های ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). همچنین مطابق نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات سه‌گانه تیمارهای ( $Gb_1Pb_0Cd_1$  و  $Gb_1Pb_0Cd_0$ ) با مقادیر ( $20/10$  و  $21/02$ ) سانتی‌متر و تیمار ( $Gb_2Pb_2Cd_2$ ) با مقدار ( $12/75$ ) سانتی‌متر به‌ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع بخش هوایی را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). بررسی‌های صورت‌گرفته توسط Lehmann (2007) نشان داد که بیوچار می‌تواند به‌طور غیر مستقیم رشد گیاه را از طریق عرضه مواد غذایی، کاهش سمیت فلزات سنگین و بهبود خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک افزایش دهد. Park *et al.* (2011) طی آزمایش‌های خود دریافتند که استفاده از بیوچار به‌طور معنی‌داری تنفس خاک را افزایش می‌دهد که می‌توان آن را به‌علت کاهش سمیت فلزات، افزایش عرضه مواد غذایی و بهبود رشد رویشی گیاه که در نتیجه آن فعالیت میکروبی و تجزیه مواد آلی خاک افزایش می‌یابد، دانست. در این آزمایش نیز سطح ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار توانست از طریق کاهش فراهمی

### وزن تر و خشک بخش هوایی

تجزیه واریانس داده‌های وزن تر بخش هوایی نشان داد که کلیه اثرات ساده و متقابل بیوچار گلابول، سرب، کادمیوم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین، آنالیز داده‌ها نشان داد سطوح مختلف کادمیوم در مورد وزن خشک بخش هوایی تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد، ولی سایر اثرات ساده و متقابل بیوچار گلابول، سرب، کادمیوم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مطابق نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده بیوچار، سطح ۵ گرم در کیلوگرم آن سبب افزایش ۱۳/۶۹ درصدی وزن تر بخش هوایی نسبت به تیمار شاهد شد و غلظت‌های مختلف سرب و کادمیوم سبب کاهش وزن تر بخش هوایی نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و سرب نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک بخش هوایی مربوط به تیمار ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار و سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و کمترین آن مربوط به تیمار ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار و سطح ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب بود (شکل ۱). نتایج بر همکنش اثرات سه‌گانه نیز نشان داد که بیشترین و کمترین وزن تر و خشک بخش هوایی به ترتیب در تیمار  $(\text{Gb}_1\text{Pb}_0\text{Cd}_1)$  و  $(\text{Gb}_2\text{Pb}_2\text{Cd}_2)$  مشاهده شد (جدول ۵). به‌دنبال بروز سمیت ناشی از کادمیوم بسته‌شدن روزه‌ها، کاهش تعرق، کلروز برگ، اختلال در فعالیت‌های آنزیمی رخ داده، در نتیجه میزان فتوسنتز و متابولیسم کربوهیدرات‌ها کاهش می‌یابد. علاوه بر این عنصر کادمیوم بر فعالیت هورمون‌های گیاهی به‌ویژه سیتوکینین که نقش اصلی در تقسیم سلولی و رشد گیاه دارد، تأثیر منفی داشته و باعث افت وزن تر و خشک اندام هوایی می‌شود (Namgay et al., 2010). همچنین در حضور سرب کاهش اتساع سلولی، رشد ریشه‌ها و اختلال در جذب آب و عناصر غذایی اتفاق می‌افتد که مستقیماً منجر به کاهش رشد، کاهش وزن تر و خشک بخش هوایی می‌گردد (Paz-Ferreiro et al., 2013). با توجه به اینکه ماهیت بیوچار ماده آلی می‌باشد، استفاده از بیوچار در خاک‌های فقیر از مواد آلی، علاوه بر تامین ماده آلی خاک، موجب بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و نیز دسترسی عناصر غذایی مانند پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، فسفر، روی، آهن و

نیتروژن، میزان فتوسنتز و رنگدانه‌ها را ارتقاء بخشیده و منجر به افزایش زیست توده، وزن تر و خشک بخش هوایی در محصولات مختلف شده است (Zhang, 2013). در آزمایش حاضر نیز استفاده از بیوچار به میزان ۵ گرم در کیلوگرم اثرات سوء تنش فلزات سنگین را کاهش و میزان وزن تر و خشک بخش هوایی را افزایش داد. حال آن‌که سطح ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار به دلیل افزایش شوری، افزایش فراهمی عناصر سرب و کادمیوم در گیاه و تشدید اثرات تنش سبب کاهش این صفات شد. در رابطه با تأثیر بیوچار بر وزن تر و خشک اندام هوایی، نتایج تحقیق Zhang et al. (2000) و Vaccari et al. (2011) بر روی گندم (*Triticum aestivum* L.) و Kolton et al. (2011) در فلفل گلخانه‌ای (*Capsicum annuum* L.)، با نتایج آزمایش حاضر مطابقت داشت.

### وزن تر و خشک ریشه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات مختلف بیوچار گلابول، سرب، کادمیوم بر وزن تر و خشک ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد، در حالی که اثر متقابل بیوچار گلابول و کادمیوم در مورد وزن خشک ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۳). مطابق نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بیوچار بیشترین وزن تر و خشک ریشه به ترتیب ۳۸/۲۷ و ۸/۸۹ گرم در سطح ۵ گرم در کیلوگرم و کمترین مقادیر به ترتیب ۲۷/۲۰ و ۶/۴۰ گرم در سطح ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار حاصل شد. بررسی سطوح سرب نشان داد، تیمار ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سبب کاهش ۱۹/۹۰ و ۱۳/۰۷ درصدی وزن تر و خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین وزن تر ریشه ۳۲/۸۲ و ۳۲/۲۲ گرم در سطوح ۰ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین در سطح ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم مشاهده شد. همچنین سطوح ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم به ترتیب منجر به کاهش ۱۸/۱۷ و ۲۰/۶۲ درصدی وزن خشک ریشه نسبت به شاهد شدند (جدول ۴). بیشترین مقدار وزن تر و خشک ریشه به ترتیب ۵۶/۰۰ و ۱۱/۱۱ گرم در شرایط به‌کارگیری ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار و در غیاب سرب و کادمیوم به‌دست آمد و کمترین مقدار وزن تر ریشه در تیمارهای  $(\text{Gb}_2\text{Pb}_2\text{Cd}_1)$  و  $(\text{Gb}_2\text{Pb}_2\text{Cd}_2)$  و وزن خشک

متقابل سه‌گانه، بیشترین (۲۶۶/۵۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کمترین (۶۶/۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) غلظت کادمیوم گیاه در تیمارهای (Gb<sub>2</sub>Pb<sub>2</sub>Cd<sub>2</sub>) و (Gb<sub>1</sub>Pb<sub>1</sub>Cd<sub>1</sub>) و بیشترین (۱۳۰/۸۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کمترین (۳۶/۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) غلظت کادمیوم خاک به ترتیب در تیمارهای (Gb<sub>0</sub>Pb<sub>1</sub>Cd<sub>1</sub>) و (Gb<sub>1</sub>Pb<sub>1</sub>Cd<sub>2</sub>) (شکل‌های ۴ و ۵). به‌طور کلی، با افزایش سطح سرب و کادمیوم، میزان جذب در گیاه (اندام هوایی و ریشه) نیز افزایش یافت. این موضوع به دلیل افزایش فراهمی عناصر فلزی و نیز افزایش جذب آن توسط ریشه گیاه می‌باشد. حال آن‌که در حضور تیمارهای مختلف بیوچار کاهش در غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه و افزایش در خاک رخ داده است. محققان مختلف طی پژوهش‌هایی که انجام دادند به این نتیجه رسیدند که جذب سطحی بیوچار، دستیابی زیستی آلاینده‌های فلزی را برای گیاه کاهش می‌دهد (Shuguang *et al.*, 2017). با توجه به تولید بیوچار در دماهای بالا، افزایش در سطح ویژه آن رخ می‌دهد، که این سطح بزرگ و جذب سطحی فراوان بیوچار منجر به ایجاد یک سوله میکروبی در خاک سمی شده و بدین طریق بر تحرک آلاینده‌های فلزی تأثیر گذاشته و آن را محدود می‌کند (Steinbeiss *et al.*, 2009). همچنین، بررسی‌ها نشان داده است که بیوچار فعالیت‌های میکروبی خاک را افزایش می‌دهد که همین مسئله می‌تواند باعث تحریک تجزیه آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین و در نهایت کاهش تجمع در گیاهان شود (Parta *et al.*, 2017). طبق گزارش Naderi *et al.* (2016) با افزایش سطح بیوچار پوست انار، کاهش در میزان کادمیوم اندام هوایی گیاه توت‌فرنگی مشاهده شد. Younis *et al.* (2015) با افزایش سطح بیوچار غوزه پنبه از ۳ به ۵ درصد، کاهش غلظت کادمیوم اندام هوایی را در شنبلیله از ۵/۴۲ به ۳/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در اسفناج از ۷/۷۲ به ۳/۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. Namgay *et al.* (2010) در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) و Fiaz *et al.* (2014) در گیاه کلزا (*Brassica juncea* L.)، کاهش معنی‌دار غلظت کادمیوم موجود در اندام هوایی را در حضور بیوچار گزارش کرده‌اند.

ریشه در تیمار (Gb<sub>2</sub>Pb<sub>2</sub>Cd<sub>2</sub>) ملاحظه گردید (جدول ۵). در شرایط تنش کادمیوم تخریب ساختار مجاری آوندی به دلیل تجمع فنل‌های نامحلول و ترکیبات شبه لیگنینی رخ می‌دهد، همچنین اختلال در فرایند تنظیم اسمزی تعادل آب را از وضعیت تعادل خارج کرده و پتانسیل تورژسانس برگ و محتوای نسبی آب گیاه کاهش می‌یابد. به علاوه غلظت‌های بالای سرب میزان دسترسی ریشه به آب و عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (David *et al.*, 2018). به دنبال اختلالات مذکور رشد ریشه‌ها محدود شده و کاهش در وزن تر و خشک مشاهده شده است. طبق نظر محققین میزان جذب فلزات سنگین تابعی از غلظت آن در خاک است و با افزایش سطح فلز، جذب آن نیز افزایش می‌یابد تا به یک حد بیشینه رسیده و پس از آن ثابت می‌شود (Azadi *et al.*, 2016) بر این اساس، با افزایش سطح کاربرد سرب و کادمیم، غلظت این فلزات در اندام هوایی و ریشه افزایش یافته و به دلیل بروز سمیت وزن تر و خشک کاهش نشان داده است. Howard (2011)، Namgay *et al.* (2010) در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) و Hejazizadeh *et al.* (2016) در گیاه آفتاب گردان (*Helianthus annuus* L.)، افزایش وزن تر و خشک ریشه را نسبت به تیمار شاهد در شرایط کاربرد بیوچار و تنش فلزات سنگین گزارش کردند.

#### غلظت سرب و کادمیوم

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد، اثرات ساده و متقابل سطوح مختلف بیوچار گلاپول، سرب و کادمیوم برای غلظت سرب و کادمیوم در خاک و گیاه در سطح خطای ۱٪ معنی‌دار شد، به جز اثر متقابل بیوچار گلاپول و کادمیوم، که در مورد غلظت سرب گیاه در سطح خطای ۵٪ معنی‌دار شد. مطابق (شکل ۲)، با کاربرد سطوح ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار، مقدار کادمیوم گیاه کاهو (اندام هوایی+ریشه) برای سطوح مختلف کادمیوم نسبت به شاهد کاهش پیدا کرده است، حال آن‌که مطابق (شکل ۳)، با افزایش سطوح بیوچار و کادمیوم مقدار کادمیوم خاک افزایش یافته است. بیشترین مقدار کادمیوم گیاه در شرایط عدم کاربرد بیوچار و در سطح ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم، ۲۵۲/۹۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. مطابق اثرات

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر بیوجار گلابول، سرب، کادمیوم بر برخی صفات مورفولوژیکی و غلظت عناصر سرب و کادمیوم در خاک و گیاه (اندام هوایی+ریشه) کاهو رقم "سیاهو"

Table 3. Results of variance analysis effect of gladiolus biochar, lead, cadmium levels on some morphological traits and concentration of lead and cadmium elements in soil and plant (shoot+root) of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv Syaho)

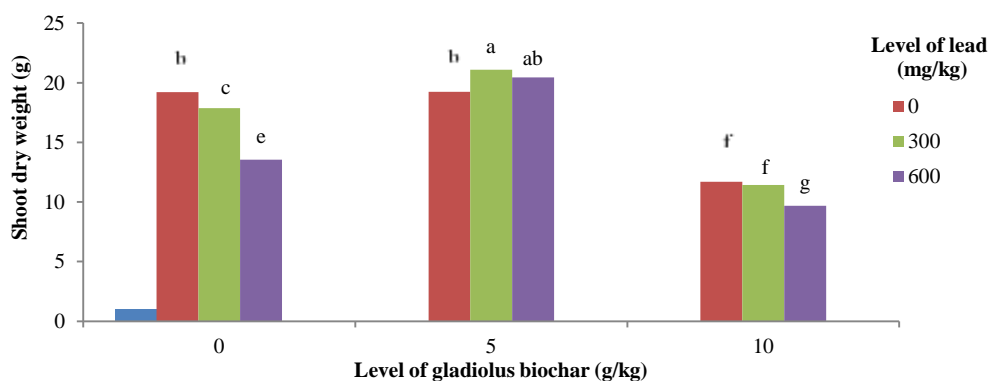
| Means of Square      |      |            |              |                    |                  |                   |                 |                          |                         |                             |                            |
|----------------------|------|------------|--------------|--------------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Source of variation. | d.f. | Leaf area  | Shoot height | Shoot fresh weight | Shoot dry weight | Root fresh weight | Root dry weight | Plant lead concentration | Soil lead concentration | Plant cadmium concentration | Soil cadmium concentration |
| Gb                   | 2    | 2938.60**  | 33.37**      | 20619.17**         | 678.47**         | 1256.58**         | 58.68**         | 498393.26**              | 48998961.90**           | 56027.84**                  | 9487.74**                  |
| Pb                   | 2    | 3385.78**  | 18.96**      | 4781.64**          | 45.16**          | 584.94**          | 11.12**         | 1924388.45**             | 184174020.02**          | 401.25**                    | 975.09**                   |
| Cd                   | 2    | 329.34**   | 15.39**      | 5065.37**          | 3.95**           | 108.08**          | 36.52**         | 9242.38**                | 2001204.60**            | 242492.80**                 | 106199.87**                |
| Gb×Pb                | 4    | 17798.16** | 41.75**      | 22188.59**         | 72.13**          | 389.07**          | 13.59**         | 139323.91**              | 12253466.31**           | 503.81**                    | 252.71**                   |
| Gb×Cd                | 4    | 5306.17**  | 8.46**       | 3856.38**          | 43.96**          | 164.23**          | 3.74**          | 1811.34**                | 99542.11**              | 22574.28**                  | 2957.01**                  |
| Pb×Cd                | 4    | 9527.27**  | 8.97**       | 4767.28**          | 25.91**          | 78.89**           | 15.19**         | 3260.09**                | 1005215.04**            | 693.14**                    | 290.66**                   |
| Gb×Pb×Cd             | 8    | 8627.00**  | 10.79**      | 14308.92**         | 31.15**          | 380.97**          | 12.39**         | 2644.45**                | 1431925.50**            | 433.58**                    | 113.66**                   |
| Error                | 81   | 238.24     | 2.49         | 121.52             | 1.81             | 9.96              | 2.25            | 593.92                   | 7754.40                 | 30.73                       | 16.18                      |
| CV%                  |      | 5.43       | 10.15        | 8.22               | 8.56             | 10.00             | 19.21           | 9.34                     | 3.47                    | 6.17                        | 6.72                       |

ns, \*, \*\*: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

بیوجار گلابول (Gb)، سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، ضریب تغییرات (CV).

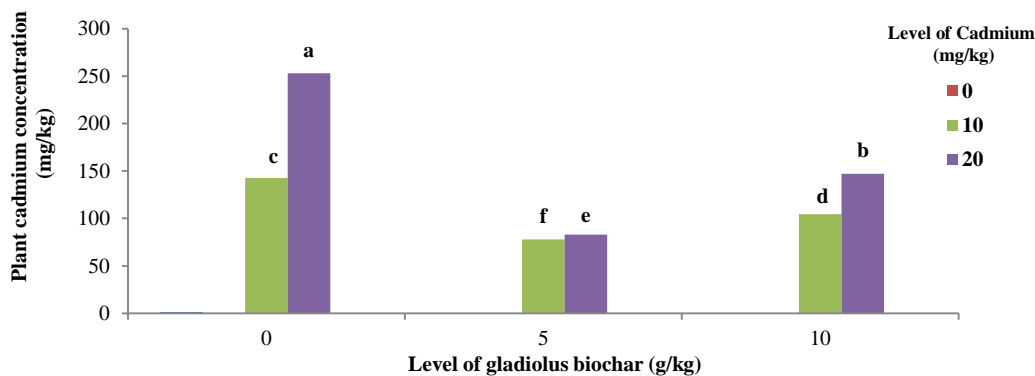
ns, \*, \*\*: Non-significantly difference and Significantly difference at 5 and 1% probability levels and, respectively.

Gladiolus biochar (Gb), Lead (Pb), Cadmium (Cd), Coefficient of variation (CV).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوجار گلابول و سرب بر وزن خشک اندام هوایی گیاه کاهو رقم سیاهو.

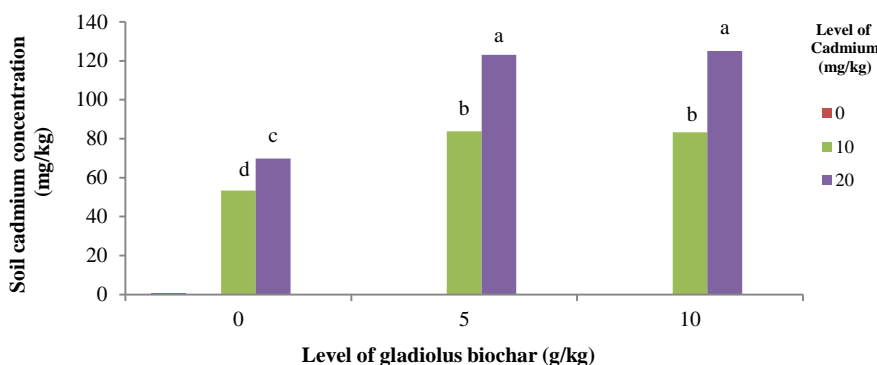
Figure 1. Mean comparison interaction effect of gladiolus biochar and lead levels on the shoot dry weight in (*Lactuca sativa* L. cv Syaho).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوجار گلابول و کادمیوم بر غلظت کادمیوم گیاه کاهو رقم سیاهو.

Figure 2. Mean comparison interaction effect of gladiolus biochar and cadmium levels on the plant cadmium concentration in (*Lactuca sativa* L. cv Syaho).





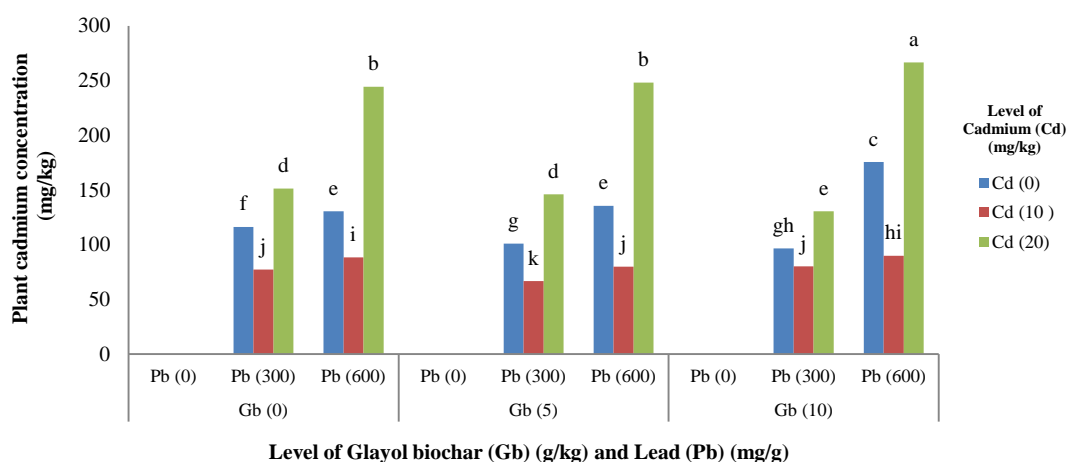
شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوجار گلابول و کادمیوم بر غلظت کادمیوم خاک  
Figure 3. Mean comparison interaction effect of gladiolus biochar and cadmium levels on the soil cadmium concentration

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر بیوجار گلابول، سرب و کادمیوم بر برخی صفات مورفولوژیکی و غلظت سرب و کادمیوم در خاک و گیاه (اندام هوایی+ریشه) کاهو (*Lactuca sativa* L.) رقم "سیاهو"

Table 5. Mean comparison interaction effect of gladiolus biochar, lead, cadmium levels on some morphological traits and concentration of lead and cadmium in soil and plant (shoot+root) of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv Syaho)

| Treatment                | Leaf area (cm <sup>2</sup> ) | Shoot height (cm) | Shoot fresh weight (g) | Shoot dry weight (g) | Root fresh weight (g) | Root dry weight (g) | Plant lead concentration (mg/kg) | Soil lead concentration (mg/kg) | Plant cadmium concentration (mg/kg) | Soil cadmium concentration (mg/kg) |
|--------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Gladiolus biochar (g/kg) |                              |                   |                        |                      |                       |                     |                                  |                                 |                                     |                                    |
| 0                        | 281.53 b                     | 16.40 a           | 127.76 b               | 16.87 b              | 29.15 b               | 8.14 b              | 376.01 a                         | 1236.13 c                       | 131.83 a                            | 41.09 b                            |
| 5                        | 315.46 a                     | 15.70 a           | 148.04 a               | 19.39 a              | 38.27 a               | 8.89 a              | 265.76 b                         | 2866.37 b                       | 83.91 b                             | 68.97 a                            |
| 10                       | 255.12 c                     | 14.50 b           | 106.45 c               | 10.94 c              | 27.20 c               | 6.40 c              | 140.84 c                         | 3496.93 a                       | 53.58 c                             | 69.45 a                            |
| Lead (mg/kg)             |                              |                   |                        |                      |                       |                     |                                  |                                 |                                     |                                    |
| 0                        | 288.99 a                     | 16.37 a           | 142.09 a               | 16.79 a              | 36.18 a               | 8.41 a              | 0.00 c                           | 0.00 c                          | 93.61 a                             | 53.84 b                            |
| 300                      | 290.25 a                     | 15.11 b           | 124.90 b               | 15.85 b              | 29.44 ab              | 7.45 ab             | 342.18 b                         | 2448.97 b                       | 87.55 b                             | 63.17 a                            |
| 600                      | 272.86 b                     | 15.12 b           | 120.87 b               | 14.56 c              | 28.98 b               | 7.31 b              | 440.43 a                         | 4350.47 a                       | 88.16 b                             | 62.50 a                            |
| Cadmium (mg/kg)          |                              |                   |                        |                      |                       |                     |                                  |                                 |                                     |                                    |
| 0                        | 281.36 a                     | 14.79 b           | 143.56 a               | 16.11 a              | 32.82 a               | 8.97 a              | 243.40 b                         | 2271.50 c                       | 0.00 c                              | 0.00 c                             |
| 10                       | 287.32 a                     | 16.01 a           | 137.90 b               | 15.59 a              | 32.22 a               | 7.34 b              | 264.34 a                         | 2598.79 b                       | 108.39 b                            | 73.51 b                            |
| 20                       | 283.43 a                     | 15.80 a           | 120.78 c               | 15.50 a              | 29.57 b               | 7.12 b              | 274.88 a                         | 2729.14 a                       | 160.94 a                            | 106.01 a                           |

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.  
In each column means followed by at least a common letter, are not significantly different at 5% probability level.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوجار گلابول، سرب و کادمیوم بر غلظت کادمیوم کاهو.  
Figure 4. Mean comparison interaction effect of gladiolus biochar, lead and cadmium levels on the plant cadmium concentration of lettuce

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار گلائیول، سرب و کادمیوم بر برخی صفات مورفولوژیکی و غلظت سرب در خاک و گیاه (اندام هوایی + ریشه) کاهو (*Lactuca sativa* L.) رقم "سیاهو"

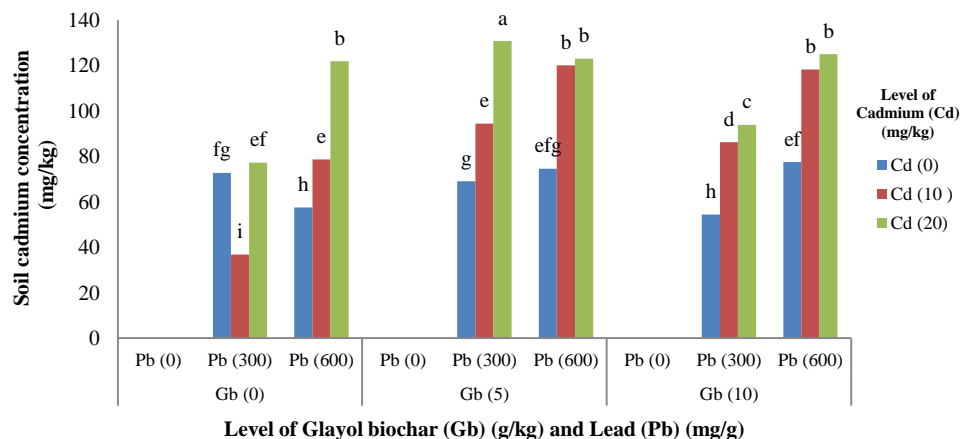
Table 5. Mean comparison interaction effect of gladiolus biochar, lead, cadmium levels on some morphological traits and concentration of lead in soil and plant (shoot+root) of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv Syaho)

| Treatment       |                 |                 | Leaf area (cm <sup>2</sup> ) | Shoot height (cm) | Shoot fresh weight (g) | Shoot dry weight (g) | Root fresh weight (g) | Root dry weight (g) | Plant lead concentration (mg/kg) | Soil lead concentration (mg/kg) |
|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Gb (g/kg)       | Pb (mg/kg)      | Cd (mg/kg)      |                              |                   |                        |                      |                       |                     |                                  |                                 |
| Gb <sub>0</sub> | Pb <sub>0</sub> | Cd <sub>0</sub> | 331.12 bc†                   | 17.87 b           | 193.13 b               | 20.07 d              | 46.32 b               | 10.53 ab            | 0.00 l                           | 0.00 o                          |
| Gb <sub>0</sub> | Pb <sub>0</sub> | Cd <sub>1</sub> | 323.52 bcd                   | 17.25 bc          | 169.17 cd              | 20.15 d              | 42.06 bc              | 9.80 abc            | 0.00 l                           | 0.00 o                          |
| Gb <sub>0</sub> | Pb <sub>0</sub> | Cd <sub>2</sub> | 316.04 bcde                  | 16.05 def         | 163.64def              | 17.40 ef             | 34.91 cd              | 8.40 cde            | 0.00 l                           | 0.00 o                          |
| Gb <sub>0</sub> | Pb <sub>1</sub> | Cd <sub>0</sub> | 330.42 bc                    | 16.25 bcdef       | 166.01 cde             | 19.26 de             | 44.49 b               | 10.75 ab            | 297.04 g                         | 1229.95 n                       |
| Gb <sub>0</sub> | Pb <sub>1</sub> | Cd <sub>1</sub> | 325.88 bcd                   | 14.75 efghij      | 155.54defg             | 17.25 f              | 32.45 cdefg           | 7.79 cdefg          | 317.71 fg                        | 1498.95 mn                      |
| Gb <sub>0</sub> | Pb <sub>1</sub> | Cd <sub>2</sub> | 233.55 lm                    | 12.92 ij          | 77.68 jk               | 17.08 fg             | 28.77 efghi           | 8.01cdefg           | 333.37 f                         | 1522.60 m                       |
| Gb <sub>0</sub> | Pb <sub>2</sub> | Cd <sub>0</sub> | 274.57 fg                    | 17.00 bcd         | 180.33 bc              | 15.23 gh             | 32.91 cdef            | 9.68 bcd            | 421.70 e                         | 1738.60 l                       |
| Gb <sub>0</sub> | Pb <sub>2</sub> | Cd <sub>1</sub> | 289.83 ef                    | 14.87 defghij     | 149.96 fg              | 13.69 hi             | 29.72 defghi          | 7.90 cdefg          | 510.61 d                         | 2457.35 k                       |
| Gb <sub>0</sub> | Pb <sub>2</sub> | Cd <sub>2</sub> | 230.55 lm                    | 13.00 ij          | 89.93ij                | 11.70 jk             | 28.40 ghij            | 5.84 ghij           | 511.49 d                         | 2977.75 j                       |
| Gb <sub>1</sub> | Pb <sub>0</sub> | Cd <sub>0</sub> | 413.40 ab                    | 21.02 a           | 238.88 ab              | 23.55 ab             | 56.00 a               | 11.11 a             | 0.00 l                           | 0.00 o                          |
| Gb <sub>1</sub> | Pb <sub>0</sub> | Cd <sub>1</sub> | 442.99 a                     | 20.10 a           | 275.61 a               | 26.32 a              | 54.02 ab              | 10.28 ab            | 0.00 l                           | 0.00 o                          |
| Gb <sub>1</sub> | Pb <sub>0</sub> | Cd <sub>2</sub> | 307.49 bcde                  | 17.87 b           | 175.18 bcd             | 20.55 cd             | 30.88 cde             | 8.68 bcd            | 0.00 l                           | 0.00 o                          |
| Gb <sub>1</sub> | Pb <sub>1</sub> | Cd <sub>0</sub> | 390.42 ab                    | 19.82 ab          | 232.12 ab              | 22.16 abc            | 40.88 bc              | 9.49 bc             | 160.88 k                         | 5944.81ab                       |
| Gb <sub>1</sub> | Pb <sub>1</sub> | Cd <sub>1</sub> | 330.11 bcd                   | 19.98 ab          | 151.16 fg              | 17.82 ef             | 33.88 cd              | 7.52 defgh          | 191.94 jk                        | 5421.01 bc                      |
| Gb <sub>1</sub> | Pb <sub>1</sub> | Cd <sub>2</sub> | 316.10 cde                   | 17.37 bcd         | 141.53 g               | 11.77 jk             | 29.72 defgh           | 7.40 defgh          | 242.78 hi                        | 5327.15 bcd                     |
| Gb <sub>1</sub> | Pb <sub>2</sub> | Cd <sub>0</sub> | 306.01 de                    | 16.85 bcde        | 169.70 cd              | 22.22 bc             | 33.84 cd              | 6.36 efghi          | 204.34 j                         | 4155.07 f                       |
| Gb <sub>1</sub> | Pb <sub>2</sub> | Cd <sub>1</sub> | 274.57 fg                    | 16.50 cde         | 147.83 g               | 15.58 ef             | 32.76 cdefg           | 7.52 defgh          | 215.20 ij                        | 5141.84 cd                      |
| Gb <sub>1</sub> | Pb <sub>2</sub> | Cd <sub>2</sub> | 244.57 gh                    | 16.25 bcdef       | 76.66 jk               | 16.60 fg             | 22.84 kl              | 5.06 ij             | 252.45 h                         | 5235.55 c                       |
| Gb <sub>2</sub> | Pb <sub>0</sub> | Cd <sub>0</sub> | 240.74 ijklm                 | 15.50 cdefg       | 115.80 h               | 13.21 ij             | 46.39 b               | 8.68 bcd            | 0.00 l                           | 0.00 o                          |
| Gb <sub>2</sub> | Pb <sub>0</sub> | Cd <sub>1</sub> | 263.67 gh                    | 13.37 ghij        | 104.79 hi              | 11.75 jk             | 27.89 hij             | 7.50 defgh          | 0.00 l                           | 0.00 o                          |
| Gb <sub>2</sub> | Pb <sub>0</sub> | Cd <sub>2</sub> | 260.67 ghi                   | 13.00 ij          | 85/87 jk               | 10.16 klm            | 24.92 ijk             | 5.92 efghij         | 0.00 l                           | 0.00 o                          |
| Gb <sub>2</sub> | Pb <sub>1</sub> | Cd <sub>0</sub> | 316.25 cd                    | 15.25 cdefgh      | 153.08 efg             | 11.26 kl             | 35.89 c               | 9.89 abc            | 482.75 d                         | 3435.85 i                       |
| Gb <sub>2</sub> | Pb <sub>1</sub> | Cd <sub>1</sub> | 261.07 ghi                   | 15.00 defghi      | 110.01 h               | 13.74 hi             | 28.51 fghij           | 7.91 cdefg          | 503.07 d                         | 5644.81b                        |
| Gb <sub>2</sub> | Pb <sub>1</sub> | Cd <sub>2</sub> | 264.60 gh                    | 15.37 cdefgh      | 107.12 h               | 9.56lm               | 17.92 mn              | 4.90 ij             | 550.16 c                         | 4943.66 e                       |
| Gb <sub>2</sub> | Pb <sub>2</sub> | Cd <sub>0</sub> | 258.77 ghij                  | 15.87 bcdef       | 103.89 hi              | 9.76 lm              | 21.65 klm             | 5.97 fghij          | 592.75 b                         | 6127.15 a                       |
| Gb <sub>2</sub> | Pb <sub>2</sub> | Cd <sub>1</sub> | 220.80 mn                    | 14.12 fghij       | 87.56jk                | 10.48 klm            | 15.75 n               | 4.87 ij             | 604.30 b                         | 5072.14 d                       |
| Gb <sub>2</sub> | Pb <sub>2</sub> | Cd <sub>2</sub> | 209.56 n                     | 12.75 j           | 74.39 k                | 8.84 m               | 15.31 n               | 4.17 j              | 651.11 a                         | 5548.77 b                       |

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly different at 5% probability level.

Gladiolus biochar (Gb), Lead (Pb), Cadmium (Cd), (Gb<sub>0</sub>: 0, Gb<sub>1</sub>: 5, Gb<sub>2</sub>: 10), (Pb<sub>0</sub>: 0, Pb<sub>1</sub>: 300, Pb<sub>2</sub>: 600), (Cd<sub>0</sub>: 0, Cd<sub>1</sub>: 10, Cd<sub>2</sub>: 20)



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار گلائیول، سرب و کادمیوم بر غلظت کادمیوم خاک.

Figure 5. Mean comparison interaction effect of gladiolus biochar, lead and cadmium levels on the soil cadmium concentration.

می‌گردد. از آنجایی که این پسماند در سایر موارد از جمله علوفه دام غیر قابل استفاده می‌باشد، لذا تولید بیوچار راهکاری مناسب و مقرون به صرفه در به کارگیری این نوع پسماند می‌باشد. به طور کلی مطابق نتایج این بررسی، بیشترین مقدار صفات مورفولوژیکی

#### نتیجه‌گیری کلی

گل‌های گلائیول شاخه‌بریده بعد از حذف خار، ساقه و برگ‌های اضافی به بازار عرضه می‌گردد، بنابراین میزان قابل توجهی پسماند بعد از پاک‌سازی گلائیول شاخه‌بریده در گلخانه‌های محل تولید و گلفروشی‌ها تولید

گلاپول در کیلوگرم خاک، به‌طور مؤثری توانست، از طریق کاهش زیست‌فراهمی سرب و کادمیوم، ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه کاهو را بهبود بخشد. لذا، مطالعه انواع بیوچار حاصل از پسماند محصولات کشاورزی به ویژه سایر گل‌های شاخه‌بریده، در بحث بررسی بهبود رشد گیاهان و اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها، پیشنهاد می‌گردد.

در سطح ۵ گرم بیوچار گلاپول در کیلوگرم خاک مشاهده شد و افزایش سطح بیوچار گلاپول به ۱۰ گرم در کیلوگرم خاک به‌دلیل ایجاد محدودیت دسترسی به عناصر غذایی منجر به کاهش این صفات شد. همچنین، با کاربرد سطح ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار، مقدار سرب و کادمیوم در گیاه کاهش و در خاک افزایش پیدا کرد. مطابق نتایج این آزمایش، مقدار ۵ گرم بیوچار

## REFERENCES

1. Al-Wabel, M. I., Usman, R.A., El-Naggar, H., Aly, A., Ibrahim, M., Elmaghraby, S. & Al-Omran, A. (2015). Conocarpus biochar as a soil amendment for reducing heavy metal availability and uptake by maize plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22, 503-511.
2. Azadi, F., Kasraian, A. & Karimiyan, N. (2014). Effect of soil cadmium contamination on growth indices of spinach and radish. *Iranian Journal of Soil Research*, 28(3), 522-530. (in Farsi)
3. Baghaie, A. (2017). Effect of tire rubber ash enriched municipal waste compost on decreasing spinach Cd concentration a case study: Arak municipal waste compost. *Iranian Journal of Health and Environment*, 10(3), 401-410. (in Farsi)
4. Baba, A., Erees, F.S. & Cam, H.S. (2008). An assessment of the quality of various bottled mineral water marketed in turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 85, 139-277.
5. David, O., Tianyue, P., Junli, Zh., Daniel, C.W., Daniel, S. A., Zhengtao, Sh., Nanthi, S. & Deyi, H. (2018). Biochar application for the remediation of heavy metal polluted land: A review of in situ field trials. *Science of the Total Environment*, 162, 619-620.
6. Fattahi, B., Arzani, K., Souri, M. K. & Barzegar, M. (2018). Effect of cadmium and lead on morpho-physiological traits and Photosynthesis of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(14), 839-849. (in Farsi)
7. Fiaz, K., Danish, S., Younis, U., Malik, S., Raza Shah, M. & Niaz, S. (2014). Drought impact on Pb/Cd toxicity remediated by biochar in *Brassica campestris*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14, 845-854.
8. Hasandokht, M. R., Mastoori, F. & Padasht Dehkaii, M. (2009). Effect of tea waste and tree Bark waste composts on some properties of growing media and quantity and quality of greenhouse lettuce. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 40(1), 37-43. (in Farsi)
9. Hejazizadeh, A., Gholamalizadeh Ahangar, A. & Ghorbani, M. (2016). Effect of biochar on lead and cadmium uptake from applied paper factory sewage sludge by sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Water and Soil Science*, 26 (2), 259-271. (in Farsi)
10. Houben, D., Evrardand, L. & Sonnet, P. (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.). *Biomass and Bioenergy*, 57, 196-204.
11. Howard, T. (2011). The effect of biochar on the root development of corn and soybeans in minnesota soil and sand. *International Biochar Initiative*, 53(1), 1-23.
12. Hossain, M.K., Strezov, V., Chan, K.Y. & Nelson, P.F. (2010). Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere*, 78, 1167-1171.
13. Israr, M. & Shivendra, V. (2008). Promising role of plant hormones in translocation of lead in *Sesbania drummondii* shoots. *Environmental Pollution*, 153, 29-36.
14. Jalalipur, S. (2014). *The biochar effect on yield of sunflower (Helianthus annuus L.) and cadmium bioavailability in soil*. MSc. Thesis. University of Zabol, Zabol, Iran.
15. Kim, H.S., Kim, K.R., Kim, H.J., Yoon, J.H., Yang, J.E., Ok, Y.S., Owens, G. & Kim, K.H. (2015). Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. *Environmental Earth Science*, 74, 1249-1259.
16. Kolton, M., Meller Harel, Y., Pasternak, Z., Graber, E.R., Elad, Y. & Cytryn, E. (2011). Impact of biochar application to soil on the root-associated bacterial community structure of fully developed greenhouse pepper plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 77, 4924-4930.
17. Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and Environment*, 5, 381-387.

18. Liu, T., Liu, B. & Zhang, W. (2014). Nutrients and heavy metals in biochar produced by sewage sludge pyrolysis: Its application in soil amendment. *Polish Journal Environmental Studies*, 23(1), 271-275.
19. Lusiba, S., Ogola, J. & Odhiambo, J. (2017). Effect of biochar and phosphorus fertilizer application on soil fertility: soil physical and chemical properties. *Agronomy and Soil Science*, 63(4), 477-490.
20. Naderi, S. (2016). *Effect of pomegranate peel biochar on reducing cadmium stress in vegetative stage of strawberry*. M.Sc. Thesis. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
21. Namgay, T., Singh B. & Singh, B.P. (2010). Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Soil Research*, 48, 638-647.
22. Park, J.H., Choppala, G.K., Sirangie, N.J., Chung, W. & Chuasavathi, T. (2011). Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant Soil*, 348, 439-451.
23. Parta, M., B. Bhowmik, N. & Sharma, A. (2004). Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 52, 199-223.
24. Paz-Ferreiro, J., Lu, H. Fu, S. Mendez, A. & Gasco, G. (2013). Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review. *Solid Earth Discussion*, 5, 2155-2179.
25. Ruley, A.T., Sharma, N.C., Sahi, S.V., Singh, S.R. & Sajwan, K.S. (2006). Effects of lead and chelators on growth, photosynthetic activity and Pb uptake in *Sesbania drummondii* grown in soil. *Environmental Pollution*, 144, 11-18.
26. Salari, M. (2014). Effects of Pistachios Residues Biochar on corn up take zinc and cadmium. MSc. Thesis. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
27. Shuguang, W., Yan, X., Namkha, N. & Zhan, W. (2017). Remediation of biochar on heavy metal polluted soils. *Earth and Environmental Science*, 108, 042113.
28. Steinbeiss, S., Gleixner, G. & Antonietti, M. (2009). Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 1301-1310.
29. Ting, W., Hongwen, S., Xinhao, R., Bing, L. & Hongjun, M. (2017). Evaluation of biochars from different stock materials as carriers of bacterial strain for remediation of heavy metal-contaminated soil. *Scientific Reports*, 7, 121-138.
30. Tshewang, N., Balwant, S. & Bhupinder, P. S. (2010). Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Soil Research*, 48, 638-647.
31. Vaccari, F.P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasie, F. & Miglietta, F. (2011). Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy*, 34, 231-238.
32. Verheijen, F.A., Jeffery, S., Bastos, A.C., Velde, M. & Diafas, I. (2010). Biochar Application to Soils-A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. *Scientific and Technical Research Series*, 24099.
33. Younis, U., Qayyum, M.F., Shah, M., Danish, S., Shahzad, A.N., Malik, S.A. & Shu, M. (2015). Growth, survival, and heavy metal (Cd and Ni) uptake of spinach (*Spinacia oleracea*) and fenugreek (*Trigonella corniculata*) in a biochar-amended sewage-irrigated contaminated soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 178, 209-217.
34. Zhang, G., Fukami, M. & Sekimoto, H. (2000). Genotypic differences in effects of cadmium on growth and nutrient compositions in wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 23, 1337-1350.
35. Zhang, X. (2013). Using biochar for Remediation Heavy metals. *Soil Science Society of America*, 69, 1651-1658.
36. Zheng, R.L., Cai, C., Liang, J., Huang, H., Chen, Q., Huang, Z., Arp, Y.Z. & Sun, G. X. (2012). The effects of biochars from rice residue on the formation of iron plaque and the accumulation of Cd, Zn, Pb, As in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings, *Chemosphere*, 89, 856-863.