

<http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3783.1913>

مقاله پژوهشی

## بررسی توان پالایش فلز کادمیوم توسط چند گونه گیاهی و بیوجار در شرایط تنش خشکی

فاطمه کهنسال واجارگاه<sup>۱</sup>، فرزاد پاک‌نژاد<sup>۲\*</sup>، محبوبه مظه‌ری<sup>۳</sup>، علی‌خان میرزایی<sup>۴</sup>، داوود حبیبی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج

۲. استاد، دانشکده کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج

۳. استادیار، دانشکده کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج

۴. دانشیار، دانشکده کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	به‌منظور بررسی توان پالایش فلز کادمیوم توسط چند گونه گیاهی و بیوجار در شرایط تنش خشکی آزمایشی در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۷ به‌صورت دوساله در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج به اجرا درآمد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار بود. فاکتورهای آزمایش شامل نمک کلرید کادمیوم در چهار سطح (شاهد، ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، بیوجار در سه سطح (شاهد، بیوجار در زمان کشت سال اول، بیوجار بعد از برداشت سال اول و در زمان کشت سال دوم)، ۳ گونه گیاه زراعی (شیدر، یونجه، کلزا) و تنش خشکی (شاهد، ۴۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس، ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل) بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه کادمیوم، گونه گیاه زراعی، تنش خشکی برای همه صفات موردبررسی و اثرات متقابل سه‌گانه کادمیوم، گونه گیاه زراعی، بیوجار فقط برای صفات سنجش عنصر فلزی، ضریب تجمع، ضریب استخراج با سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میانگین میزان کادمیوم در اندام هوایی (۲/۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه) که نشان‌دهنده افزایش ۹۹/۹۶ درصدی نسبت به تیمار شاهد و ریشه (۱/۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه) که نشان‌دهنده افزایش ۹۹/۴۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود، مربوط به تیمار کلزا در سطح کادمیوم ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس بود. بیشترین میانگین سنجش عنصر فلزی، ضریب تجمع و ضریب استخراج نیز مربوط به گیاه کلزا بود. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده این مطلب بود که گیاه کلزا دارای قدرت جذب و انتقال بیشتر فلز کادمیوم نسبت به شیدر و یونجه بود.
تاریخ دریافت:	۱۳۹۹/۰۷/۱۴
تاریخ پذیرش:	۱۳۹۹/۱۰/۱۳
تاریخ انتشار:	تابستان ۱۴۰۱
تابستان ۱۴۰۱	۴۴۳-۴۵۸ (۱): ۱۵

### مقدمه

کالوین کاهش می‌دهد (Monakhova and Chernyadev, 2002). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد گیاهان زراعی است (Wang et al., 2003).

یکی دیگر از تنش‌های محیطی که در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مشکلات بخش کشاورزی تبدیل شده است، تنش‌های ناشی از فلزات سنگین است. فلزات سنگین به‌عنوان فلزاتی گفته می‌شوند که دارای عدد اتمی بیشتر از ۲۰ و چگالی بیشتر ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشند (Alloway, 2010). در بین فلزات سنگین سمی،

تنش‌های محیطی مانند خشکی، دما، فلزات سنگین و شوری رشد و نمو گیاهان را به‌شدت کاهش می‌دهند، در بین تنش‌های غیر زیستی، تنش خشکی یکی از عوامل محیطی است که میزان تولید گیاهان زراعی را محدود نموده و میانگین عملکرد را تا ۵۰ درصد و یا بیشتر کاهش می‌دهد (Wang et al., 2003). تنش خشکی، مقدار کلروفیل را تغییر داده و در نتیجه فتوسنتز را محدود می‌کند (Nayyar and Gupta, 2006)، همچنین تنش خشکی فعالیت‌های فتوشیمیایی را محدود کرده و فعالیت آنزیم‌ها را در سیکل

فنی و اقتصادی این روش‌ها، جستجو روش‌های جدید شدت مورد توجه قرار گرفته و در این راستا جذب بیولوژیکی به عنوان یک روش جدید مورد توجه خاص قرار گرفته است (Maleki and Zarasvand, 2008). با افزودن بیوچارها به خاک به دلیل سطح ویژه بالا، ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، pH قلیایی و املاح محلول زیاد این ترکیب‌ها، تغییراتی در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و قابلیت استفاده عناصر غذایی به وجود می‌آید (Gaskin et al., 2010). گیاه‌پالایی یا پالایش سبز که زیرشاخه‌ای از زیست پالایی است، عبارت است از استفاده از گیاهان برای رفع آلاینده‌ها از آب و خاک و یا برگشت آن‌ها به طبیعت به صورت ترکیبات بی‌ضرر (Harison and Laxen, 1977). هدف از این تحقیق آنالیز و بررسی توان پالایش فلز کادمیوم توسط چند گونه گیاهی و تعیین نقش بیوچار در انتقال کادمیوم از خاک به گیاه در شرایط تنش خشکی بود.

#### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی توان پالایش فلز کادمیوم توسط چند گونه گیاهی و بیوچار در شرایط تنش خشکی آزمایشی در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۷ به صورت دوساله و گلدانی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج به اجرا درآمد. آزمایش به صورت فاکتوریل (با چهار فاکتور) در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار بود. فاکتورهای آزمایش شامل نمک کلرید کادمیوم در چهار سطح [شاهد (a<sub>1</sub>)، ۱۰ (a<sub>2</sub>)؛ ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۲۰ (a<sub>3</sub>)؛ ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۳۰ (a<sub>4</sub>)؛ ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم]، بیوچار در سه سطح [شاهد (c<sub>1</sub>)، بیوچار در زمان کشت سال اول (c<sub>2</sub>)، بیوچار بعد از برداشت سال اول و در زمان کشت سال دوم (c<sub>3</sub>)]، ۳ گونه گیاه زراعی [شیدر (b<sub>1</sub>)، یونجه (b<sub>2</sub>)، کلزا (b<sub>3</sub>)] و تنش خشکی [شاهد (d<sub>1</sub>)، ۴۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس بر اساس بلوک گچی (d<sub>2</sub>)، ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس بر اساس بلوک گچی (d<sub>3</sub>)] بود. لازم به ذکر است که قبل از انجام آزمایش بلوک‌های گچی مورد واسنجی قرار گرفته و نمودار کالیبراسیون آن تهیه شده بود. به منظور تأمین کودهای مورد نیاز با توجه به آزمایش خاک (میزان ۳ گرم اوره در سه مرحله به صورت سرک) اقدام شد. قبل از انجام این تحقیق آزمایش خاک انجام شد (جدول ۱) و پس از آن آلوده سازی خاک یک ماه قبل از کاشت گیاه با نمک کلرید کادمیوم و کود زیستی بیوچار (که ویژگی‌های آن

کادمیوم به دلیل دوام و پایداری بیشتر در محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفته‌اند (Pandey et al., 2009). فلزات سنگین با انتقال به زنجیره‌های غذایی تجمع یافته و برای سلامتی انسان و دام خطرناک می‌باشند زیرا انسان و دام نسبت به گیاهان در برابر این عناصر حساس‌تر می‌باشند و گیاهان قادرند فلزات سنگین را در برخی از بافت‌های خود ذخیره سازند (Liu et al., 2006). وجود مقادیر زیاد فلزات سنگین در خاک یک تهدید جدی است زیرا سبب تخریب ساختمان خاک، کاهش فعالیت‌های زیستی و حاصلخیزی خاک، کاهش عملکرد، افت کیفیت محصولات، افزایش غلظت این فلزات در تولیدات کشاورزی و آسیب به سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی شود (Lee County, 2006; et al., 2006).

کادمیوم به عنوان فلز سنگین دارای سمیت بالایی برای موجودات زنده بوده و یکی از ماندگارترین عناصر آلوده‌کننده محیط‌زیست است که می‌تواند تغییرات پیچیده‌ای را در گیاهان در سطوح فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی القا کند که منجر به مسمومیت گیاه شود که تغییر در مقادیر ترکیبات آلی از جمله آن است (Shi et al., 2009). کادمیوم با کاهش فتوسنتز و تنفس، کاهش متابولیسم کربوهیدرات و ایجاد کلروز، جلوگیری از جذب عناصر و اختلال در سیستم غشایی ریشه باعث کاهش رشد و عملکرد در گیاهان می‌شود (Wu et al., 2003). کادمیوم با کاهش مقدار کلروفیل برگ باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Aravind et al., 2004). نتایج یک آزمایش نشان داد که کاربرد بیوچار موجب بهبود رشد گیاه آفتابگردان در خاک‌های آلوده به کادمیوم باعث بهبود وضعیت خاک از نظر آلودگی می‌شود (Jalalipur, 2014). محققین بیان کردند که استفاده از بیوچار در خاک‌های آلوده باعث بهبود رشد گیاه شد (Namgay et al., 2010). همچنین نتایج یک تحقیق نشان داد که استفاده از بیوچار در خاک‌های آلوده به کروم موجب کاهش آلودگی خاک و افزایش رشد گیاه کاهو می‌شود (Nigussie et al., 2012). روش‌های متعددی برای حذف فلزات سنگین وجود دارد ولی بیشتر این روش‌ها از معایب قابل توجهی مانند نیاز به انرژی بالا و در نتیجه پرهزینه بودن فرآیند، راندمان اندک، تولید مقادیر زیاد لجن، مشکلات دفع لجن حاوی مقادیر زیادی فلز سنگین، نیاز به مواد شیمیایی خاص و پرهزینه بودن فرآیند احیاء، دارا می‌باشند (Maleki et al., 2007; Lameiras et al., 2008)؛ بنابراین به دلیل محدودیت‌های

در جدول ۲ آمده است) فقط در ۱۰۸ گلدان ۳۰ کیلویی (به طول ۵۰ سانتی متر و قطر ۴۰ سانتی متر) انجام شد. ۱۰۸ گلدان مربوط به تیمار بیوپچار بعد از برداشت سال اول و در زمان کشت سال دوم بعد از برداشت گیاهان زراعی در سال اول در زمان کشت سال دوم با خاک مخلوط شد. برای آلوده سازی خاک ابتدا خاک مورد نظر از الک عبور داده و سپس آن را به طور یکنواخت به قطر ۲ سانتی متر روی سطح مشمع قرار داده و سپس کلرید کادمیوم با دوز مشخص شده ابرای هر گلدان خاک، برای دوز ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم

(۰/۴۹۱۸ گرم  $CdCl_2$ )، ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم (۰/۹۸۳۶ گرم  $CdCl_2$ )، ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم (۱/۴۷۵۴ گرم  $CdCl_2$ ) را که در آب حل شده، روی سطح خاک اسپری و کاملاً درهم آمیخته و پس از جذب کادمیوم توسط خاک و خشک شدن رطوبت اضافی بیوپچار به صورت پنج درصد وزنی (۱/۵ کیلوگرم برای هر گلدان ۳۰ کیلویی) با تیمارهای خاک مربوطه مخلوط شد سپس خاکها به گلدانهای تهیه شده انتقال یافت.

جدول ۱. آنالیز خاک استفاده شده در آزمایش

Table 1. Soil analysis used in the experiment

نمونه Sample	رطوبت اشباع		pH	کربنات کلسیم calcium carbonate	درصد ماده آلی organic matter	پتاسیم قابل استفاده N	فسفر قابل استفاده K	رس سلیت clay	بافت Texture			
	EC	%								ds m <sup>-1</sup>	%	Kg. ha <sup>-1</sup>
خاک Soil	50.31	4.1	7.58	19.49	4.61	199.82	600	32	28	44	28	C.L
دامنه مطلوب Optimal range	>40	<1.5	8-6	...	>0.2	...	220-200	20-15	...	...	...	...

\* Estimation of nitrogen released during the growing season

\* برآورد نیتروژن آزاد شده در فصل رشد

جدول ۲. ویژگی های بیوپچار استفاده شده در این آزمایش

Table 2. biochar features used in this experiment

پایه Foundation	دانه بندی Grading	درصد خاکستر Percentage of ash	pH	میزان رطوبت amount of humidity	مساحت Area	عدد یدی iodine number	مشخصات Specifications
	μ	%		%	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	mg.g <sup>-1</sup>	
مواد سلولزی از چوب های جنگل مازندران Cellulose materials from the woods of Mazandaran forest	180	4-5	8	3-4	170	160-180	بیوپچار Biochar

نهایی شد. پس از آن، اندام هوایی و ریشه ها از یکدیگر جدا شده و پس از توزین درون پاکت های مخصوص قرار گرفته و پاکت ها به مدت ۴۸ ساعت درون گرمخانه با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار گرفت. بعد از خشک شدن ساقه ها، ریشه هر پاکت با هاون کاملاً سائیده شد تا به صورت نرم و پودر درآیند. برای اندازه گیری غلظت کادمیوم از هر نمونه ساقه، ۰/۵ گرم و از هر نمونه ریشه ۰/۲ گرم را در داخل ظروف کریستال خاصی ریخته و سپس مقدار ۳۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۴ نرمال به ساقه و ۲۰ میلی لیتر به ریشه افزوده شد و به مدت

بعد از یک ماه از تاریخ آلوده سازی، ۳ گونه گیاه زراعی (کلزا رقم هایولا، یونجه همدانی و شبدر چند چین) در تاریخ ۹۶/۷/۲۶ در گلدان هایی که در فضای باز قرار داشتند کاشت انجام شد (کشت سال دوم در تاریخ ۹۷/۸/۳ انجام شد). تراکم بوته های کلزا در گلدان ۲۱ عدد، تراکم بوته های شبدر و یونجه ۴۲ عدد در گلدان در نظر گرفته شد. بعد از اتمام رشد رویشی، با دقت کافی گیاهان با ریشه کامل از خاک برداشت شدند. سپس، ریشه ها شسته شده و با یک اسید رقیق (Hcl 0.01M) (Lindsay and Norvell, 1978) شستشوی

سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳) به‌نحوی که بیشترین میانگین وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار کلزا در سطح شاهد کادمیوم و بدون تنش خشکی ( $a_1b_3d_1$ ) با میانگین (۷۵/۱۱ گرم) و کمترین میانگین مربوط به تیمار شبدر کادمیوم در سطح ppm ۳۰ و تنش خشکی ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس ( $a_4b_1d_3$ ) با میانگین (۳۱/۲۰ گرم) بود که نشان‌دهنده کاهش ۵۸/۴۶ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۴). زمانی که یون‌های فلزات سنگین در محیط رشد گیاه به مقدار زیادی وجود داشته باشند به‌وسیله ریشه گیاه جذب و به اندام هوایی انتقال می‌یابند و باعث مختل شدن سوخت‌وساز گیاه و در نتیجه کاهش می‌شوند (Li et al., 2010). تنش آبی باعث کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل کل آب، همراه با از بین رفتن آماس و بسته شدن روزنه‌ها می‌شود و در نتیجه رشد گیاه کاهش می‌یابد (Kafi and Keshmi, 2011). نتایج تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که وزن تر و خشک گیاه و طول بخش هوایی و ریشه گیاهان در حضور غلظت‌های بالای فلزات سنگین کاهش می‌یابد (Nagajyoti and Sreekanth, 2010). برخی محققین بیان کردند که غلظت فلزات سنگین در گیاهان برگی نسبت به گیاهان غده‌ای بیشتر است (Afyuni et al., 2003). گیاه شبدر در شرایط تنش خشکی دچار توقف رشد می‌شود و از طرفی حضور کادمیوم در مقادیر بالا نیز رشد و تقسیم سلولی را دچار مشکل می‌کند در نتیجه وزن اندام هوایی کاهش می‌یابد. بیوپچار باعث تغییر کیفیت خاک می‌شود و اغلب باعث افزایش کیفیت خاک می‌شود (Lehmann and Joseph, 2009). در این تحقیق نیز بیوپچار در زمان تناوب زراعی باعث افزایش کیفیت خاک و در دسترس قرار دادن آب و مواد غذایی تأثیر مثبت بر صفت وزن خشک اندام هوایی داشت به‌طوری‌که نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار بیوپچار در زمان کاشت در سال اول (۵۳/۳۴ گرم) و کمترین میانگین مربوط به تیمار شاهد بیوپچار (۴۴/۸۴ گرم) بود (جدول ۵).

### وزن خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده این مطلب بود که تمامی اثرات اصلی کادمیوم، گونه گیاه زراعی، بیوپچار و تنش خشکی برای این صفت با سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). اثرات متقابل کادمیوم، گونه گیاه زراعی و تنش خشکی نیز با

۲ ساعت در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفت تا عصاره گیری به‌طور مناسب انجام گیرد. مواد هضم شده به کمک کاغذ صافی واتمن ۴۲ نمونه‌ها صاف شده و سپس ظروف حاوی ساقه‌ها و ریشه‌ها به ترتیب به حجم ۵۰ میلی‌لیتر و ۲۵ میلی‌لیتر رسانیده شد. در این مرحله، عصاره آماده برای ارائه به دستگاه کوره گرافیتی دستگاه جذب اتمی مدل PG 990 تا توسط این دستگاه، میزان کادمیوم هر نمونه به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شود. صفات مورد مطالعه شامل بررسی وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، میزان کادمیوم در ریشه، اندام هوایی، همچنین سنجش عنصر فلزی<sup>۱</sup> (با استفاده از این فاکتور میزان توانایی گیاه در انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی محاسبه خواهد شد)، ضریب تجمع گیاهی<sup>۲</sup> (بعد از به دست آمدن مقدار فلز سنگین در اندام هوایی این فاکتور برای عنصر کادمیوم به دست می‌آید)، ضریب استخراج فلز سنگین از خاک به اندام هوایی<sup>۳</sup> که این مقادیر با استفاده از دستگاه اتمیک ابزوربشن<sup>۴</sup> و جایگذاری در روابط اندازه‌گیری شد.

سنجش عنصر فلزی = غلظت فلز در اندام‌هوائی / غلظت فلز در ریشه

[۱] (Sun et al., 2008)

ضریب تجمع گیاهی = غلظت فلز در اندام هوایی × ماده خشک تولیدی

[۲] (Karimi et al., 2012)

ضریب انتقال = غلظت فلز در اندام هوایی / غلظت فلز در خاک

[۳] (Rafati et al., 2013; Karimi et al., 2012)

تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون دانکن و با سطح احتمال خطای پنج درصد و آزمون بارتلت از طریق نرم‌افزارهای SAS و Excel انجام شد.

### نتایج و بحث

#### وزن خشک اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تمامی اثرات اصلی کادمیوم، گونه گیاه زراعی، بیوپچار و تنش خشکی برای این صفت با سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). اثرات متقابل کادمیوم، گونه گیاه زراعی و تنش خشکی نیز با

3- Enrichment coefficient  
4- Atomic absorption

1- Translocation factor  
2- Accumulation factor

(جدول ۳). اثرات متقابل کادمیوم، گونه گیاه زراعی و تنش خشکی نیز با سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳) به نحوی که بیشترین میانگین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار یونجه در سطح شاهد کادمیوم و تنش خشکی ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل-تخلیه (۱۵/۴۷) با میانگین (a<sub>1</sub>b<sub>2</sub>d<sub>3</sub>) است. کاهش ۸۳/۸۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۴). گرم) و کمترین میانگین مربوط به تیمار شبدر کادمیوم در سطح ۳۰ ppm و تنش خشکی ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل-دسترس (a<sub>4</sub>b<sub>1</sub>d<sub>3</sub>) با میانگین (۲/۵۰ گرم) بود که نشان دهنده کاهش ۸۳/۸۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۴).

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در شبدر، یونجه و کلزا

Table 3. Analysis of variance traits studied in clover, alfalfa, canola

Source of variations	درجه آزادی DF	وزن خشک اندام هوایی Dry weight of shoot	وزن خشک ریشه Dry weight of root	کادمیوم در اندام هوایی The amount of cadmium in shoot	میزان کادمیوم در ریشه The amount of cadmium in root	سنجش عنصر فلزی Translocation factor	ضریب تجمع Accumulation factor	ضریب استخراج Enrichment coefficient
Year (Y)	سال 1	0.064 <sup>ns</sup>	0.019 <sup>ns</sup>	0.239 <sup>**</sup>	0.0000001 <sup>ns</sup>	0.982 <sup>**</sup>	6374 <sup>**</sup>	0.061 <sup>**</sup>
Rep*year	تکرار*سال 4	6138.73 <sup>**</sup>	265.154 <sup>**</sup>	0.419 <sup>**</sup>	0.517 <sup>**</sup>	0.982 <sup>**</sup>	1391 <sup>**</sup>	0.002 <sup>**</sup>
Cadmium (C)	کادمیوم 3	6492.81 <sup>**</sup>	482.163 <sup>**</sup>	38.886 <sup>**</sup>	25.154 <sup>**</sup>	75.794 <sup>**</sup>	98169 <sup>**</sup>	0.085 <sup>**</sup>
C * Y	سال* کادمیوم 3	0.008 <sup>ns</sup>	0.00006 <sup>ns</sup>	0.040 <sup>**</sup>	0.0000001 <sup>ns</sup>	0.137 <sup>**</sup>	977 <sup>**</sup>	0.023 <sup>**</sup>
Crop species (S)	گونه گیاهی 2	37829.52 <sup>**</sup>	5064.73 <sup>**</sup>	98.485 <sup>**</sup>	17.835 <sup>**</sup>	100.345 <sup>**</sup>	36858 <sup>**</sup>	0.620 <sup>**</sup>
S * Y	سال* گونه گیاهی 2	0.006 <sup>ns</sup>	0.00021 <sup>ns</sup>	0.102 <sup>**</sup>	0.0000001 <sup>ns</sup>	0.160 <sup>**</sup>	3668 <sup>**</sup>	0.041 <sup>**</sup>
Biochar (B)	بیوچار 2	5191.341 <sup>**</sup>	62.436 <sup>**</sup>	0.370 <sup>**</sup>	0.408 <sup>**</sup>	0.147 <sup>**</sup>	328 <sup>**</sup>	0.002 <sup>**</sup>
B * Y	سال* بیوچار 2	0.061 <sup>ns</sup>	0.0193 <sup>ns</sup>	0.0003 <sup>ns</sup>	0.0000001 <sup>ns</sup>	0.0002 <sup>ns</sup>	3.110 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>
Drought stress (D)	تنش خشکی 2	2306.675 <sup>**</sup>	34.308 <sup>**</sup>	0.250 <sup>**</sup>	0.259 <sup>**</sup>	0.083 <sup>**</sup>	534 <sup>**</sup>	0.001 <sup>**</sup>
D * Y	سال* تنش خشکی 2	0.00063 <sup>ns</sup>	0.00001 <sup>ns</sup>	0.0002 <sup>ns</sup>	0.0000001 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	5.2 <sup>ns</sup>	0.00003 <sup>ns</sup>
S * C	کادمیوم* گونه گیاهی 6	163.115 <sup>**</sup>	7.346 <sup>**</sup>	17.957 <sup>**</sup>	6.051 <sup>**</sup>	27.472 <sup>**</sup>	59681 <sup>**</sup>	0.086 <sup>**</sup>
Y * C * S	سال* کادمیوم* گونه گیاهی 6	0.00578 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	0.018 <sup>*</sup>	0.00000001 <sup>ns</sup>	0.0439 <sup>**</sup>	594 <sup>**</sup>	0.019 <sup>**</sup>
C * B	کادمیوم* بیوچار 6	2.513 <sup>ns</sup>	0.165 <sup>ns</sup>	0.112 <sup>**</sup>	0.088 <sup>**</sup>	0.187 <sup>**</sup>	215 <sup>**</sup>	0.0006 <sup>**</sup>
Y * C * B	سال* کادمیوم* بیوچار 6	0.009 <sup>ns</sup>	0.00006 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>**</sup>	0.000001 <sup>ns</sup>	0.0003 <sup>ns</sup>	2 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>**</sup>
C * D	کادمیوم* تنش خشکی 6	26.182 <sup>**</sup>	10.264 <sup>**</sup>	0.059 <sup>**</sup>	0.058 <sup>**</sup>	0.081 <sup>**</sup>	164 <sup>**</sup>	0.0002 <sup>**</sup>
Y * C * D	سال* کادمیوم* تنش خشکی 6	0.0003 <sup>ns</sup>	0.00001 <sup>ns</sup>	0.00006 <sup>ns</sup>	0.00000001 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>na</sup>	1.6 <sup>ns</sup>	0.00004 <sup>ns</sup>

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی Dry weight of shoot	وزن خشک ریشه Dry weight of root	کادمیوم در اندام هوایی The amount of cadmium in shoot	میزان کادمیوم در ریشه The amount of cadmium in root	سنتجش عنصر فلزی Translocation factor	ضریب تجمع Accumulation factor	ضریب استخراج Enrichment coefficient	
Source of variations	DF								
S * B گونه گیاهی* بیوجار	4	169.703**	0.699 <sup>ns</sup>	0.124**	0.008 <sup>ns</sup>	0.0002 <sup>ns</sup>	232**	0.0014**	
Y * S * B سال* گونه گیاهی* بیوجار	4	0.006 <sup>ns</sup>	0.0002 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	0.0000001 <sup>ns</sup>	0.000004 <sup>ns</sup>	2.2 <sup>ns</sup>	0.0002**	
S * D گونه گیاهی* تنش خشکی	4	117.021**	1.9431**	0.018*	0.022**	0.276**	809**	0.0001*	
Y * S * D سال* گونه گیاهی* تنش خشکی	4	0.00012 <sup>ns</sup>	0.00004 <sup>ns</sup>	0.00001 <sup>ns</sup>	0.00000001 <sup>ns</sup>	0.0004 <sup>ns</sup>	8.01 <sup>ns</sup>	0.00002 <sup>ns</sup>	
B* D بیوجار* تنش خشکی	4	7.632 <sup>ns</sup>	0.28994 <sup>ns</sup>	0.008 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	0.0007 <sup>ns</sup>	2.28 <sup>ns</sup>	0.00003 <sup>ns</sup>	
B * D سال* بیوجار* تنش خشکی	4	0.0004 <sup>ns</sup>	0.00001 <sup>ns</sup>	0.000009 <sup>ns</sup>	0.0000001 <sup>ns</sup>	0.000001 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.00004 <sup>ns</sup>	
C * S * B کادمیوم* گونه گیاهی* بیوجار	12	5.868 <sup>ns</sup>	0.417 <sup>ns</sup>	0.068**	0.008 <sup>ns</sup>	0.076**	167**	0.0004**	
Y * C * S * B سال* کادمیوم* گونه گیاهی* بیوجار	12	0.005 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	0.00007 <sup>ns</sup>	0.0000001 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	1.6 <sup>ns</sup>	0.0001**	
C * S * D کادمیوم* گونه گیاهی* تنش خشکی	12	24.903**	3.21455**	0.015*	0.012*	0.102**	207**	0.0001**	
Y * C * S * D سال* کادمیوم* گونه گیاهی* تنش خشکی	12	0.00024 <sup>ns</sup>	0.00004 <sup>ns</sup>	0.00001 <sup>ns</sup>	0.000001 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	2.06 <sup>ns</sup>	0.00005 <sup>ns</sup>	
S * B * D گونه گیاهی* بیوجار* تنش خشکی	8	4.863 <sup>ns</sup>	0.456 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	4.45 <sup>ns</sup>	0.00002 <sup>ns</sup>	
Y * S * B * D سال* گونه گیاهی* بیوجار* تنش خشکی	8	0.0002 <sup>ns</sup>	0.00004 <sup>ns</sup>	0.000004 <sup>ns</sup>	0.0000001 <sup>ns</sup>	0.000008 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.00004 <sup>ns</sup>	
C * S * B * D کادمیوم* گونه گیاهی* بیوجار* تنش خشکی	36	1.65046 <sup>ns</sup>	0.09230 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.0048 <sup>ns</sup>	3.39 <sup>ns</sup>	0.00003 <sup>ns</sup>	
Y * C * S * B * D سال* کادمیوم* گونه گیاهی* بیوجار* تنش خشکی	36	0.0002 <sup>ns</sup>	0.00003 <sup>ns</sup>	0.000003 <sup>ns</sup>	0.0000001 <sup>ns</sup>	0.000007 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.00002 <sup>ns</sup>	
Error	خطا	428	4.398	0.46488	0.0072	0.0058	0.009	28.4	0.00004
CV%		4.39	6.87	14.26	17.47	9.71	16.98	10.10	

\*\* معنی‌داری در سطح یک درصد، \* معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ns عدم معنی‌داری

\*\* : Significant in  $p < 0.01$ , \* : Significant in  $p < 0.05$ , ns: Non-Significant

کادمیوم در خاک باعث بروز اختلالاتی مانند کلروز برگ، ریشه و ساقه و جلوگیری از جذب مواد غذایی در گیاه می‌شود  
تغییر در فعالیت بسیاری از آنزیم‌های کلیدی، ممانعت از رشد  
همچنین سمیت کادمیوم منجر به تخریب پروتئین از طریق

همچنین نشان داد که با افزایش میزان کادمیوم در خاک و افزایش تنش خشکی بیشترین میزان تجمع کادمیوم در اندام هوایی به ترتیب در کلزا، یونجه و شبدر است که به دلیل اختلاف گونه‌هایی گیاهی در توان پالایش فلزات سنگین بخصوص کادمیوم است (جدول ۴). نتایج یک تحقیق روی گیاه کلزا نشان داد که افزایش درصد پساب در آب آبیاری موجب افزایش مقدار عناصر کادمیوم، سرب و کروم در اندام هوایی کلزا می‌گردد (Ahmad et al., 2010). نتایج یک تحقیق نشان داد که با افزایش سطوح کادمیوم در خاک، غلظت کادمیوم در اندام گیاهی نیز افزایش می‌یابد (Chen et al., 2003). همچنین برخی محققین گزارش کرده‌اند که کادمیوم باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی می‌شود ولی این کاهش در ارقام مختلف متفاوت است (Javad zarin et al., 2016). با افزایش تنش خشکی سیستم‌های دفاعی گیاه نیز مختل شده و در نتیجه با افزایش کادمیوم در خاک مقدار آن در گیاه افزایش یافت. بیوپچار در این آزمایش در زمان کشت در سال اول باعث کاهش جذب کادمیوم در اندام هوایی شد زیرا بیوپچار با افزایش دسترسی به آب و مواد غذایی باعث رشد بیشتر گیاه و از طرفی با جذب و نگهداری فلزات سنگین مانند کادمیوم از انتقال آن‌ها به گیاه جلوگیری می‌کند به نحوی بیشترین میانگین مربوط به تیمار شاهد بیوپچار (۰/۶۲۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (جدول ۵). نتایج یک تحقیق نشان داد که استفاده از بیوپچار باعث افزایش ۱۴۰ درصدی عملکرد و افزایش جذب کلسیم، منیزیم، پتاسیم، مس و منگنز نسبت به شاهد می‌شود (Major et al., 2010).

#### میزان کادمیوم در ریشه

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس برای صفت میزان کادمیوم در ریشه نیز اثرات اصلی برای تمامی فاکتورهای اصلی با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج همچنین نشان داد که اثرات متقابل کادمیوم، گونه گیاه زراعی و تنش خشکی نیز با سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). به طوری که بیشترین میانگین میزان کادمیوم در اندام ریشه مربوط به تیمار گیاه کلزا کادمیوم در سطح ppm30 و در شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس (a4b3d3) با میانگین (۱/۷۸ میلی‌گرم در یک

متابولیسم اسیدآمینه شده و در نتیجه رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Sekara et al., 2005). همچنین برخی محققین گزارش کرده‌اند که ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه با افزایش غلظت کادمیوم و شوری کاهش می‌یابد (Norali et al., 2018). گیاه یونجه در شرایط بدون حضور کادمیوم با بروز تنش خشکی برای جذب آب بیشتر رشد ریشه خود را افزایش داده و در نتیجه وزن خشک ریشه در یونجه افزایش یافته است ولی شبدر با حضور کادمیوم در خاک که یک عامل مختل‌کننده تقسیم سلولی است در شرایط تنش خشکی نتوانست رشد ریشه کافی داشته باشد و در نتیجه وزن خشک ریشه آن کاهش یافت. بیوپچار با تغییر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک موجب بهبود حاصلخیزی خاک شده و در نهایت موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد. تأثیر بیوپچار بر رشد گیاه به فاکتورهای مختلف از جمله وضعیت حاصلخیزی اولیه خاک، بافت خاک، دمای تهیه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوپچار و حتی نوع گیاه بستگی دارد و می‌تواند باعث افزایش یا کاهش رشد گیاه شود. در این آزمایش بیوپچار در زمان کشت سال اول باعث افزایش بیشتری در وزن خشک ریشه شده زیرا بیوپچار با خاکدانه‌ها واکنش داده و از طرفی با در دسترس قرار دادن عناصر ضروری رشد، وزن خشک ریشه را نیز افزایش می‌دهد به نحوی که بیشترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار بیوپچار در زمان کاشت در سال اول (۱۰/۵۳ گرم) و کمترین میانگین مربوط به تیمار شاهد بیوپچار (۹/۵۹ گرم) بود (جدول ۵).

#### میزان کادمیوم در اندام هوایی

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی برای تمامی فاکتورهای اصلی با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳)، نتایج همچنین نشان داد که اثرات متقابل کادمیوم، گونه گیاه زراعی و تنش خشکی نیز با سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳) به طوری که بیشترین میانگین میزان کادمیوم در اندام هوایی مربوط به تیمار گیاه کلزا کادمیوم در سطح ppm30 و در شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس (a4b3d3) با میانگین (۲/۶۸ میلی‌گرم در یک کیلوگرم گیاه) و کمترین مربوط به تیمارهای شاهد کادمیوم (a1b1d1) با میانگین (۰/۰۱ میلی‌گرم در یک کیلوگرم گیاه) بود که نشان‌دهنده افزایش ۹۹/۹۶ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۴). نتایج این تحقیق

جدول ۴. اثر متقابل کادمیوم، گونه گیاه زراعی، تنش خشکی بر صفات مورد مطالعه در شبدر، یونجه و کلزا

Table 3. Interaction of cadmium, crop species, and drought stress traits studied in clover, alfalfa, and canola

کادمیوم Cadmium	گونه گیاه زراعی Crop species	تنش خشکی Drought stress		وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک	کادمیوم اندام	کادمیوم در	
				ریشه	ریشه	هوایی	ریشه	
				Dry weight of shoot	Dry weight of root	cadmium in shoot	cadmium in root	
				g		mg/kg		
شاهد control	شبدر Clover	control	شاهد	47.89666 <sup>i</sup>	6.215 <sup>i</sup>	0.0001 <sup>z</sup>	0.001 <sup>z</sup>	
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	47.1383 <sup>i</sup>	6.23 <sup>i</sup>	0.0001 <sup>z</sup>	0.001 <sup>z</sup>	
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	43.0383 <sup>k</sup>	6.286 <sup>i</sup>	0.0001 <sup>z</sup>	0.001 <sup>z</sup>	
	یونجه Alfalfa	control	شاهد	49.3766 <sup>i</sup>	14.9616 <sup>c</sup>	0.0001 <sup>z</sup>	0.001 <sup>z</sup>	
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	47.1833 <sup>i</sup>	15.0633 <sup>b</sup>	0.0001 <sup>z</sup>	0.001 <sup>z</sup>	
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	43.0666 <sup>k</sup>	15.4783 <sup>a</sup>	0.0001 <sup>z</sup>	0.001 <sup>z</sup>	
	کلزا Canola	control	شاهد	75.1183 <sup>a</sup>	14.4533 <sup>c</sup>	0.0001 <sup>z</sup>	0.001 <sup>z</sup>	
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	73.3833 <sup>b</sup>	14.6416 <sup>c</sup>	0.0001 <sup>z</sup>	0.001 <sup>z</sup>	
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	69.975 <sup>d</sup>	15.105 <sup>b</sup>	0.0001 <sup>z</sup>	0.001 <sup>z</sup>	
	10 ppm	شبدر Clover	control	شاهد	43.895 <sup>k</sup>	5.21 <sup>j</sup>	0.1446 <sup>y</sup>	0.19 <sup>y</sup>
			40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	42.495 <sup>k</sup>	4.705 <sup>k</sup>	0.155 <sup>x</sup>	0.2 <sup>x</sup>
			60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	39.8716 <sup>l</sup>	4.1716 <sup>k</sup>	0.1825 <sup>v</sup>	0.2266 <sup>u</sup>
یونجه Alfalfa		control	شاهد	45.8083 <sup>j</sup>	13.811 <sup>d</sup>	0.155 <sup>x</sup>	0.2 <sup>x</sup>	
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	42.905 <sup>k</sup>	13.968 <sup>d</sup>	0.1722 <sup>w</sup>	0.2166 <sup>v</sup>	
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	40.535 <sup>l</sup>	14.4066 <sup>c</sup>	0.1928 <sup>u</sup>	0.2366 <sup>t</sup>	
کلزا Canola		control	شاهد	70.0816 <sup>c</sup>	13.46 <sup>d</sup>	0.8438 <sup>i</sup>	0.2133 <sup>w</sup>	
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	67.4083 <sup>d</sup>	13.0066 <sup>d</sup>	0.868 <sup>h</sup>	0.2366 <sup>t</sup>	
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	62.8716 <sup>e</sup>	11.6116 <sup>f</sup>	0.8955 <sup>g</sup>	0.2633 <sup>s</sup>	
20 ppm		شبدر Clover	control	شاهد	38.56 <sup>m</sup>	3.84 <sup>l</sup>	0.279 <sup>t</sup>	0.3866 <sup>r</sup>
			40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	36.4933 <sup>n</sup>	3.505 <sup>l</sup>	0.2962 <sup>r</sup>	0.4033 <sup>p</sup>
			60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	33.8733 <sup>p</sup>	3.1383 <sup>l</sup>	0.3478 <sup>n</sup>	0.4533 <sup>k</sup>
	یونجه Alfalfa	control	شاهد	39.8083 <sup>l</sup>	12.64 <sup>e</sup>	0.2824 <sup>s</sup>	0.393 <sup>q</sup>	
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	36.9083 <sup>m</sup>	12.1066 <sup>e</sup>	0.2996 <sup>q</sup>	0.41 <sup>n</sup>	
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	34.5416 <sup>o</sup>	10.74 <sup>g</sup>	0.3513 <sup>m</sup>	0.46 <sup>j</sup>	
	کلزا Canola	control	شاهد	63.14 <sup>e</sup>	12.44 <sup>e</sup>	2.0804 <sup>f</sup>	1.17 <sup>f</sup>	
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	56.94 <sup>f</sup>	11.806 <sup>f</sup>	2.108 <sup>e</sup>	1.2 <sup>e</sup>	
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	50.9066 <sup>i</sup>	10.7733 <sup>g</sup>	2.156 <sup>d</sup>	1.2733 <sup>d</sup>	
	30 ppm	شبدر Clover	control	شاهد	36.565 <sup>n</sup>	3.2383 <sup>l</sup>	0.2996 <sup>q</sup>	0.4066 <sup>o</sup>
			40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	34.4883 <sup>o</sup>	2.9183 <sup>m</sup>	0.341 <sup>o</sup>	0.4466 <sup>l</sup>
			60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	31.205 <sup>q</sup>	2.505 <sup>n</sup>	0.3857 <sup>k</sup>	0.49 <sup>h</sup>
یونجه Alfalfa		control	شاهد	37.8066 <sup>m</sup>	11.64 <sup>f</sup>	0.31 <sup>p</sup>	0.4166 <sup>m</sup>	
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	34.906 <sup>o</sup>	10.9066 <sup>g</sup>	0.3547 <sup>l</sup>	0.4666 <sup>i</sup>	
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	32.8733 <sup>p</sup>	9.94 <sup>h</sup>	0.4064 <sup>j</sup>	0.52 <sup>g</sup>	
کلزا Canola		control	شاهد	61.87166 <sup>e</sup>	11.4383 <sup>f</sup>	2.4111 <sup>c</sup>	1.52 <sup>e</sup>	
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	54.9383 <sup>f</sup>	10.805 <sup>g</sup>	2.4627 <sup>b</sup>	1.57 <sup>b</sup>	
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	48.905 <sup>i</sup>	9.705 <sup>h</sup>	2.6866 <sup>a</sup>	1.7866 <sup>a</sup>	



Table 4. Continued

جدول ۴. ادامه

کادمیوم Cadmium	گونه گیاه زراعی Crop species	تنش خشکی Drought stress	سنجش عنصر فلزی Translocation factor	ضریب تجمع Accumulation factor(mg/kg)	ضریب استخراج Enrichment coefficient	
شاهد control	شبدر Clover	control	شاهد	0.1 <sup>s</sup>	0.0047 <sup>p</sup>	0.1 <sup>e</sup>
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	0.1 <sup>s</sup>	0.0047 <sup>p</sup>	0.1 <sup>e</sup>
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	0.1 <sup>s</sup>	0.0043 <sup>p</sup>	0.1 <sup>e</sup>
	یونجه Alfalfa	control	شاهد	0.1 <sup>s</sup>	0.00495 <sup>p</sup>	0.1 <sup>e</sup>
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	0.1 <sup>s</sup>	0.00471 <sup>p</sup>	0.1 <sup>e</sup>
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	0.1 <sup>s</sup>	0.00430 <sup>p</sup>	0.1 <sup>e</sup>
	کلزا Canola	control	شاهد	0.1 <sup>s</sup>	0.00752 <sup>p</sup>	0.1 <sup>e</sup>
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	0.1 <sup>s</sup>	0.00736 <sup>p</sup>	0.1 <sup>e</sup>
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	0.1 <sup>s</sup>	0.00701 <sup>p</sup>	0.1 <sup>e</sup>
10 ppm	شبدر Clover	control	شاهد	0.7659 <sup>p</sup>	6.3253 <sup>o</sup>	0.0146 <sup>k-n</sup>
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	0.7798 <sup>n</sup>	6.5587 <sup>o</sup>	0.0157 <sup>i-m</sup>
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	0.8102 <sup>k</sup>	7.2287 <sup>no</sup>	0.0185 <sup>h-k</sup>
	یونجه Alfalfa	control	شاهد	0.7798 <sup>n</sup>	7.0715 <sup>no</sup>	0.0166 <sup>h-n</sup>
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	0.7993 <sup>l</sup>	7.3385 <sup>no</sup>	0.0185 <sup>h-k</sup>
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	0.8201 <sup>j</sup>	7.7795 <sup>no</sup>	0.02084 <sup>g-i</sup>
	کلزا Canola	control	شاهد	3.9851 <sup>a</sup>	59.0273 <sup>g</sup>	0.0920 <sup>f</sup>
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	3.7010 <sup>b</sup>	58.3685 <sup>g</sup>	0.0989 <sup>e</sup>
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	3.4344 <sup>c</sup>	56.15797 <sup>h</sup>	0.1029 <sup>e</sup>
20 ppm	شبدر Clover	control	شاهد	0.7342 <sup>r</sup>	10.7547 <sup>m</sup>	0.0173 <sup>h-m</sup>
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	0.7470 <sup>q</sup>	10.7793 <sup>m</sup>	0.0179 <sup>h-l</sup>
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	0.77930 <sup>n</sup>	11.74877 <sup>j-l</sup>	0.0210 <sup>gh</sup>
	یونجه Alfalfa	control	شاهد	0.7343 <sup>r</sup>	11.24565 <sup>k-m</sup>	0.0201 <sup>g-j</sup>
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	0.7470 <sup>q</sup>	11.04024 <sup>lm</sup>	0.0212 <sup>gh</sup>
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	0.7785 <sup>n</sup>	12.1267 <sup>jk</sup>	0.0253 <sup>g</sup>
	کلزا Canola	control	شاهد	1.8091 <sup>d</sup>	131.6990 <sup>c</sup>	0.1567 <sup>d</sup>
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	1.786 <sup>e</sup>	120.3052 <sup>e</sup>	0.1540 <sup>d</sup>
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	1.71784 <sup>f</sup>	109.9427 <sup>f</sup>	0.1576 <sup>cd</sup>
30 ppm	شبدر Clover	control	شاهد	0.74920 <sup>q</sup>	10.9547 <sup>lm</sup>	0.0116 <sup>n</sup>
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	0.77576 <sup>n</sup>	11.6999 <sup>j-m</sup>	0.0132 <sup>l-n</sup>
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	0.7992 <sup>l</sup>	11.9115 <sup>j-l</sup>	0.0150 <sup>j-n</sup>
	یونجه Alfalfa	control	شاهد	0.7561 <sup>q</sup>	11.70631 <sup>j-m</sup>	0.0127 <sup>mn</sup>
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	0.76910 <sup>op</sup>	12.3311 <sup>ij</sup>	0.0147 <sup>k-n</sup>
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	0.78943 <sup>m</sup>	13.3125 <sup>i</sup>	0.01690 <sup>h-m</sup>
	کلزا Canola	control	شاهد	1.5981 <sup>g</sup>	148.8723 <sup>a</sup>	0.16445 <sup>b</sup>
		40% evaporation	۴۰ درصد تبخیر	1.5804 <sup>h</sup>	134.8604 <sup>b</sup>	0.1621 <sup>bc</sup>
		60% evaporation	۶۰ درصد تبخیر	1.51173 <sup>i</sup>	130.2834 <sup>d</sup>	0.1805 <sup>a</sup>

فلزات در قسمت ریشه گیاهان باقی می‌مانند ( Pruvot and Douay, 2006). نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط افزایش سطح کادمیوم در خاک میزان کادمیوم در ریشه و همچنین در اندام هوایی افزایش یافت و نشان‌دهنده این مطلب است که گیاه کلزا می‌تواند در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگینی مانند کادمیوم استفاده شود. نتایج بررسی اثرات اصلی بیوچار بر میزان کادمیوم در ریشه نشان داد که بیوچار در زمان کاشت در سال اول (۰/۳۸۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توانسته از انتقال بیشتر کادمیوم به ریشه جلوگیری کند و بیشترین میزان انتقال در تیمارهای شاهد بیوچار (۰/۴۶۳۰) مشاهده شد (جدول ۵).

کیلوگرم گیاه) و کمترین میزان کادمیوم در ریشه مربوط به تیمارهای شاهد کادمیوم (a<sub>1</sub>b<sub>1</sub>d<sub>1</sub>) با میانگین (۰/۰۱ میلی‌گرم در یک کیلوگرم گیاه) بود که نشان‌دهنده افزایش ۹۹/۴۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۴). با افزایش میزان کادمیوم در خاک و افزایش تنش خشکی بیشترین میزان تجمع کادمیوم در ریشه به ترتیب در کلزا، یونجه و شبدر است که این امر به دلیل توانایی متفاوت گونه‌های گیاهی در تجمع کادمیوم در داخل ریشه و اندام هوایی است (جدول ۴). در اغلب گونه‌های گیاهی کادمیوم در ریشه تجمع می‌یابد و مقدار کمی به برگ‌ها منتقل می‌شود (Ramos et al., 2002) همچنین برخی محققین گزارش کرده‌اند که اغلب

جدول ۵. اثر اصلی بیوچار بر صفات مورد مطالعه در شبدر، یونجه و کلزا

Table 5. The main effects of biochar on the studied traits in clover, alfalfa and canola

تیمارهای بیوچار Biochar treatments	وزن خشک اندام هوایی Dry weight of shoot	وزن خشک ریشه Dry weight of root	کادمیوم اندام هوایی The amount of cadmium in shoot	کادمیوم ریشه The amount of cadmium in root	سنجش عنصر فلزی Translocation factor	ضریب تجمع Accumulation factor	ضریب استخراج Enrichment coefficient
شاهد Control	44.84 <sup>b</sup>	9.59 <sup>b</sup>	0.6203 <sup>a</sup>	0.4630 <sup>a</sup>	0.983 <sup>b</sup>	30.71 <sup>b</sup>	0.070 <sup>ab</sup>
بیوچار در زمان کشت سال اول Biochar at the time of cultivation of the first year	53.34 <sup>a</sup>	10.53 <sup>a</sup>	0.5485 <sup>b</sup>	0.3877 <sup>b</sup>	1.028 <sup>a</sup>	32.85 <sup>a</sup>	0.065 <sup>b</sup>
بیوچار بعد از برداشت سال اول و در زمان کشت سال دوم Biochar after the first year harvest and at the time of the second year cultivation	44.87 <sup>b</sup>	9.61 <sup>b</sup>	0.6203 <sup>a</sup>	0.4630 <sup>a</sup>	0.983 <sup>b</sup>	30.72 <sup>b</sup>	0.0713 <sup>a</sup>

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

In each column, the means with at least one common letter based on Duncan's test at the level of 5% probability have no significant difference.

به تیمار شاهد بود (شکل ۱). بیشترین اثرات متقابل سه‌گانه کادمیوم، گونه گیاه زراعی، تنش خشکی نیز مربوط به تیمار کلزا کادمیوم در سطح ۲۰ ppm و بدون تنش خشکی (a<sub>3</sub>b<sub>3</sub>d<sub>1</sub>) (۳/۹۸) و کمترین میانگین مربوط به تیمار شاهد کادمیوم (a<sub>1</sub>b<sub>1</sub>d<sub>1</sub>) با میانگین (۰/۱) بود که نشان‌دهنده افزایش ۹۷/۴۸ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۴). نتایج یک تحقیق نشان داد که یونجه توانایی زیادی در جذب و انتقال فلز کادمیوم به اندام هوایی دارد و افزایش جذب و تجمع کادمیوم در اندام هوایی متناسب با افزایش غلظت کادمیوم در خاک است (Mohammadi et al., 2010).

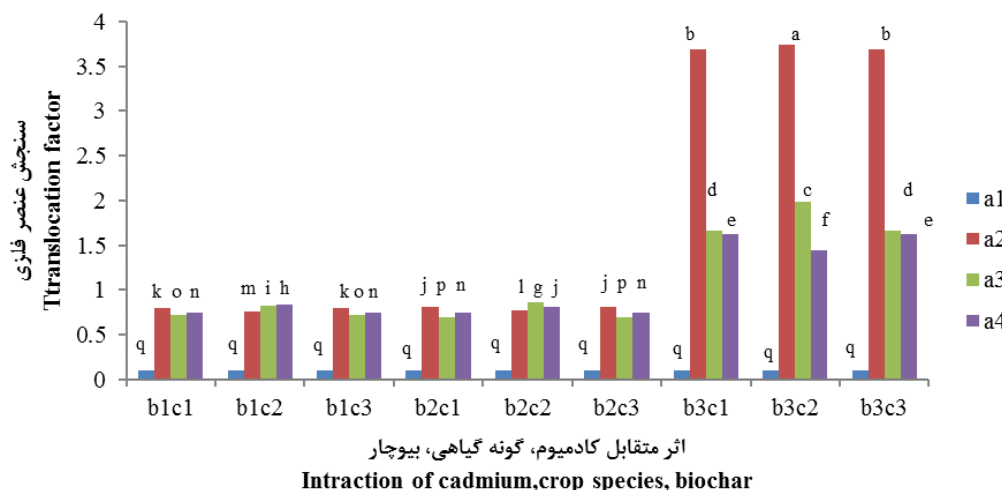
نتایج یک تحقیق نشان داد که استفاده از بیوچار سبب کاهش قابلیت دسترسی گیاهی، کاهش تحرک و کاهش آبشویی عناصر کادمیوم، مس، روی، نیکل و سرب می‌شود (Mendez et al., 2012).

#### سنجش عنصر فلزی

نتایج جدول تجزیه. No table of figures entries found. کشت گیاه زراعی در سال اول (a<sub>3</sub>b<sub>3</sub>c<sub>2</sub>) با میانگین (۳/۷۳) و کمترین مربوط به تیمارهای شاهد کادمیوم (a<sub>1</sub>b<sub>1</sub>c<sub>1</sub>) با میانگین (۰/۱) که نشان‌دهنده افزایش ۹۷/۳۱ درصدی نسبت

انتقال آن به گیاهانی که قابلیت جذب بالایی دارند مانند کلزا افزایش می‌باید که کمترین میزان سنجش عنصر فلزی از تیمارهای شاهد بیوچار (۰/۹۸۳۱) به دست آمد (جدول ۵). در شرایط بدون تنش خشکی میزان رشد و فتوسنتز گیاه بیشتر از حالت تنش است بنابراین با افزایش اندام هوایی میزان کادمیوم بیشتری به اندام هوایی انتقال می‌دهد.

سنجش عنصر فلزی از تقسیم میزان کادمیوم در اندام هوایی به میزان کادمیوم در ریشه به دست می‌آید و هر گیاهی که سنجش عنصر فلزی بالاتری داشته باشد یعنی میزان کادمیوم بیشتری به اندام هوایی انتقال داده است. گیاه کلزا در این تحقیق با کمک بیوچار رشد اندام هوایی خود را گسترش داده زیرا بیوچار باعث تجمع عناصر ضروری رشد در محیط اطراف ریشه می‌شود و از طرفی با افزایش میزان کادمیوم در خاک



شکل ۱. اثرات متقابل سه‌گانه نمک کلرید کادمیوم [شاهد (a1)، ۱۰ (a2; 10 mg.kg<sup>-1</sup>), (a3; 20 mg.kg<sup>-1</sup>), (a4; 30 mg.kg<sup>-1</sup>)، بیوچار [شاهد (c1)، بیوچار در زمان کشت سال اول (c2)، بیوچار بعد از برداشت سال اول و در زمان کشت سال دوم (c3)]، گونه گیاه زراعی [شیدر (b1)، یونجه (b2)، کلزا (b3)] بر صفت سنجش عنصر فلزی

Fig. 1. Triple interactions of cadmium chloride salt [control (a1), 10 (a2; 10 mg.kg<sup>-1</sup>), (a3; 20 mg.kg<sup>-1</sup>), (a4; 30 mg.kg<sup>-1</sup>)], biochar [control (c1), Biochar at the time of cultivation of the first year (c2), biochar after the harvest of the first year and at the time of cultivation of the second year (c3)], crop species [clover (b1), alfalfa (b2), rapeseed (b3)] on Translocation factor

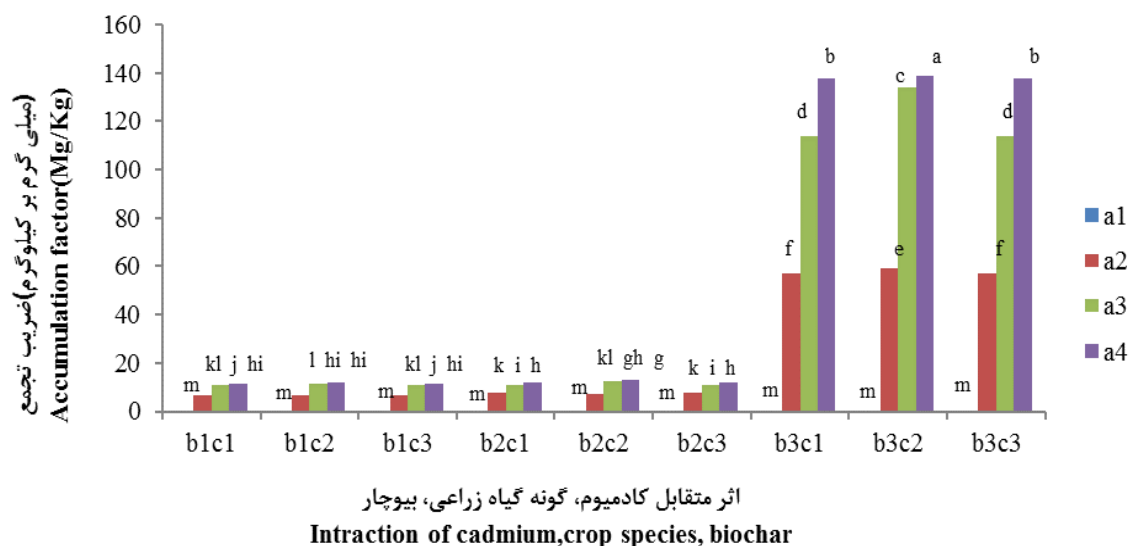
شاهد بود (شکل ۲). بیشترین اثرات متقابل سه‌گانه کادمیوم، گونه گیاه زراعی، تنش خشکی نیز مربوط به تیمار کلزا کادمیوم در سطح ۲۰ ppm و بدون تنش خشکی (a<sub>3</sub>b<sub>3</sub>d<sub>1</sub>) (۱۴۸/۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین میانگین مربوط به تیمار شاهد کادمیوم (a<sub>1</sub>b<sub>1</sub>d<sub>1</sub>) با میانگین (۰/۰۰۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود که نشان‌دهنده افزایش ۹۹/۹۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۴). تحقیقات متعددی نشان می‌دهند که مقدار تجمع فلزات سنگین با توجه به نوع فلز، شرایط خاک و گیاه متفاوت است ولی عمدتاً میزان تجمع در اندام‌های هوایی به‌ویژه برگ و ساقه بیشتر از سایر اندام‌های گیاه است (Mostashari, 2002; Okoronkwo et al., 2005). ضریب تجمع حاصل ضرب میزان کادمیوم در اندام هوایی و ماده خشک تولیدی است، بنابراین با افزایش بیوماس

### ضریب تجمع

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تمامی فاکتورها برای صفت ضریب تجمع با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳) همچنین اثرات متقابل سه‌گانه کادمیوم، گونه گیاه زراعی، تنش خشکی و اثرات متقابل سه‌گانه کادمیوم، گونه گیاه زراعی، بیوچار برای این صفت معنی‌دار شد (جدول ۳) به‌نحوی که بیشترین میانگین اثرات متقابل سه‌گانه کادمیوم، گونه گیاه زراعی، بیوچار مربوط به تیمار کلزا کادمیوم در سطح ۳۰ ppm و بیوچار در زمان کشت گیاه زراعی در سال اول (a<sub>4</sub>b<sub>3</sub>c<sub>2</sub>) با میانگین (۱۳۷/۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین مربوط به تیمارهای شاهد کادمیوم (a<sub>1</sub>b<sub>1</sub>c<sub>1</sub>) با میانگین (۰/۰۰۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود که نشان‌دهنده افزایش ۹۹/۹۹ درصدی نسبت به تیمار

به‌نحوی که کمترین ضریب تجمع در تیمار شاهد بیوچار می‌باشد. گیاه کلزا نسبت به گیاهان یونجه و شبدر بیوماس بیشتری تولید می‌کند از طرفی بیوچار به‌عنوان یک افزاینده رشد که عناصر ضروری را به‌صورت محلول در اختیار گیاه قرار می‌دهد توانسته با افزایش اندام هوایی در کلزا کمک کند در نتیجه ضریب تجمع را در این تیمار افزایش می‌یابد

گیاه و میزان کادمیوم در خاک این ضریب در گیاه افزایش می‌یابد. گیاه کلزا نسبت به گیاهان یونجه و شبدر بیوماس بیشتری تولید می‌کند از طرفی بیوچار به‌عنوان یک افزاینده رشد که عناصر ضروری را به‌صورت محلول در اختیار گیاه قرار می‌دهد توانسته با افزایش اندام هوایی در کلزا کمک کند در نتیجه ضریب تجمع را در این تیمار افزایش می‌یابد



شکل ۲. اثرات متقابل سه‌گانه نمک کلرید کادمیوم [شاهد (a1)، ۱۰ (a2; 10 mg.kg<sup>-1</sup>), (a3; 20 mg.kg<sup>-1</sup>), (a4; 30 mg.kg<sup>-1</sup>)]، بیوچار [شاهد (c1)، بیوچار در زمان کشت سال اول (c2)، بیوچار بعد از برداشت سال اول و در زمان کشت سال دوم (c3)]، گونه گیاه زراعی [شبدر (b1)، یونجه (b2)، کلزا (b3)] بر صفت ضریب تجمع

Fig. 2. Triple interactions of cadmium chloride salt [control (a1), 10 (a2; 10 mg.kg<sup>-1</sup>), (a3; 20 mg.kg<sup>-1</sup>), (a4; 30 mg.kg<sup>-1</sup>)], biochar [control (c1), Biochar at the time of cultivation of the first year (c2), biochar after the harvest of the first year and at the time of cultivation of the second year (c3)], crop species [clover (b1), alfalfa (b2), rapeseed (b3)] on Accumulation factor

که نشان‌دهنده افزایش ۹۳/۵۷ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود (شکل ۳).

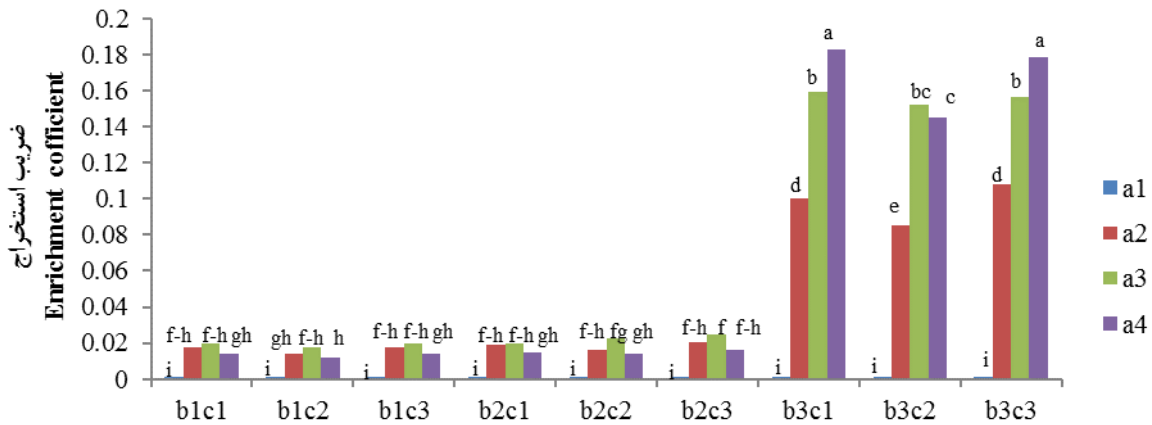
نتایج این تحقیق نشان داد که بیوچار می‌تواند به‌عنوان یک ماده مؤثر در کاهش آلودگی فلزات سنگین مانند کادمیوم باشد، زیرا استفاده از بیوچار در زمان کاشت در سال اول بخصوص در گیاه کلزا باعث کاهش ضریب استخراج نسبت به دو گیاه شبدر و یونجه شد (شکل ۳). نتایج یک تحقیق نشان داد که بیوچار باعث کاهش قابلیت استخراج کادمیوم و سرب می‌شود (Namgay et al., 2010). بیشترین اثرات متقابل سه‌گانه کادمیوم، گونه گیاه زراعی، تنش خشکی نیز مربوط به تیمار کلزا کادمیوم در سطح 30 ppm و تنش خشکی ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس (a4b3d3) (۰/۱۸۰) و کمترین میانگین مربوط به تیمار شاهد کادمیوم (a1b1d1) با

### ضریب استخراج یا ضریب انتقال

نتایج جدول تجزیه واریانس برای صفت ضریب استخراج نشان داد که اثرات اصلی تمامی فاکتورها برای صفت ضریب استخراج با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳) همچنین اثرات متقابل سه‌گانه کادمیوم، گونه گیاه زراعی، تنش خشکی و اثرات متقابل سه‌گانه کادمیوم، گونه گیاه زراعی، بیوچار برای این صفت معنی‌دار شد (جدول ۳) به‌نحوی که بیشترین میانگین اثرات متقابل سه‌گانه کادمیوم، گونه گیاه زراعی، بیوچار برای صفت ضریب استخراج مربوط به تیمار کلزا کادمیوم در سطح ۳۰ ppm و بدون بیوچار در سال اول (a4b3c1) با میانگین (۰/۱۸۲) و کمترین مربوط به تیمارهای شاهد کادمیوم (a1b1c1) با میانگین (۰/۱۱۷) بود

دست می‌آید بنابراین گیاهی مانند کلزا در این آزمایش با انتقال بیشتر کادمیوم از خاک به اندام هوایی توانسته در کاهش کادمیوم خاک مؤثرتر باشد. هر قدر میزان فلز سنگین در خاک بیشتر باشد انتقال آن به گیاه بیشتر می‌شود.

میانگین (۰/۰۱۱) بود که نشان‌دهنده افزایش ۹۹/۳۸ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۴). هر قدر ضریب استخراج یک گیاه بالاتر باشد، نشان‌دهنده جذب بیشتر فلزات است (Kumar et al., 1995). ضریب استخراج از تقسیم میزان کادمیوم در اندام هوایی به میزان کادمیوم در خاک به

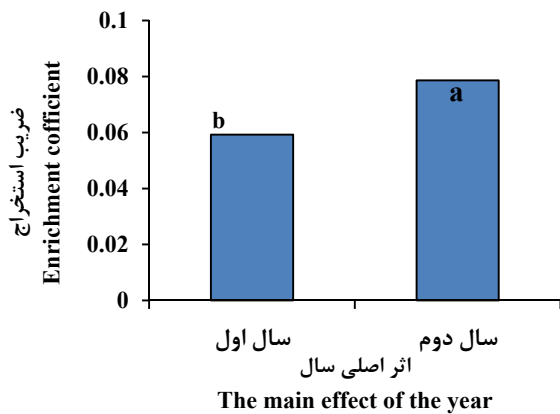


اثر متقابل کادمیوم، گونه گیاهی، بیوچار

Intractions of cadmium, crop species, biochar

شکل ۳. اثرات متقابل سه گانه نمک کلرید کادمیوم [شاهد (a1)، ۱۰ (a2)، ۱۰ mg.kg<sup>-1</sup> (a3)، 20 mg.kg<sup>-1</sup> (a4)، 30 mg.kg<sup>-1</sup> (a4)]، بیوچار [شاهد (c1)، بیوچار در زمان کشت سال اول (c2)، بیوچار بعد از برداشت سال اول و در زمان کشت سال دوم (c3)]، گونه گیاهی زراعی [شبدر (b1)، یونجه (b2)، کلزا (b3)] بر صفت ضریب استخراج

Fig. 3. Triple interactions of cadmium chloride salt [control (a1), 10 (a2); 10 mg.kg<sup>-1</sup> (a3); 20 mg.kg<sup>-1</sup> (a4); 30 mg.kg<sup>-1</sup> (a4)], biochar [control (c1), Biochar at the time of cultivation of the first year (c2), biochar after the harvest of the first year and at the time of cultivation of the second year (c3)], crop species [clover (b1), alfalfa (b2), rapeseed (b3)] on Enrichment coefficient



شکل ۴. اثرات سال بر میزان ضریب استخراج

Fig. 4. Effects of year on on Enrichment coefficient

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داد که بیشترین میانگین میزان کادمیوم در اندام هوایی (۲/۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه) و ریشه (۱/۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه) مربوط به تیمار

اثر سال بر میزان ضریب استخراج نشان داد که بیشترین میزان این ضریب یا گیاه‌پالایی مربوط به سال دوم با میانگین (۰/۰۷۸۶) بود (شکل ۴)، با توجه به اینکه میزان کادمیوم در خاک گلدان‌ها در سال دوم به دلیل انتقال به گیاهان کمتر از سال اول بود بالطبع ضریب استخراج بالاتری نسبت به سال اول داشت. میزان استخراج در سال دوم با توجه به نتایج مقایسه میانگین ۲۴/۳۵ درصد افزایش داشت؛ زیرا ضریب استخراج حاصل تقسیم میزان کادمیوم در گیاه به میزان کادمیوم در خاک است و در سال اول بخشی از کادمیوم توسط گیاه جذب شده و مخرج این کسر در سال دوم کمتر شده بنابراین میزان ضریب استخراج در سال دوم افزایش یافته است. بیوچار با جذب و نگهداری فلزات سنگین باعث کاهش انتقال این فلزات به گیاهان می‌شود و از طرفی با در دسترس قرار دادن آب و مواد غذایی ضروری به رشد بهتر گیاه نیز کمک می‌کند.

یونجه دارای قدرت بیشتری در جذب و انتقال فلز سنگین کادمیوم در شرایط تنش خشکی بود و توانست میزان رشد بهتری نسبت دو گیاه مذکور داشته باشد، بنابراین می‌تواند به‌عنوان یک گیاه مناسب جهت کشت در خاک‌های آلوده به کادمیوم استفاده شود. نتایج تحقیق سایر محققین نیز نشان داد که مقدار کادمیوم تجمع یافته در ذرت و کلزای آبیاری شده با پساب ۲-۳/۵ برابر بیشتر از گیاهان شاهد بود (Khurana and Aulakh, 2010).

کلزا در سطح کادمیوم ۳۰ ppm و در شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس با میانگین بود همچنین بیشترین میانگین سنجش عنصر فلزی، ضریب تجمع و ضریب استخراج نیز مربوط به گیاه کلزا بود. هرچقدر میزان فلز سنگین در اندام‌های گیاهی بیشتر باشد و گیاه در شرایط تنش فلز سنگین بتواند میزان کاهش رشد را در خود به حداقل برساند، می‌تواند به‌عنوان یک گیاه مفید در گیاه‌پالایی مورد استفاده قرار گیرد، گیاه کلزا نسبت به گیاهان شبدر و

### منابع

- Ahmad, K.A., Ejaz, M., Azam, Z., Khan, M., Ashraf, F. A., Qurainy, A., Fardous, S., Gondal, Bayat, A., Valeem. E. E., 2011. Lead, cadmium and chromium contents of canola irrigated with sewage water. *Pakistan Journal of Botany*. 43, 1403- 1410.
- Afyuni, M., Schulin R., Abedi Koupai. J., 2003. Effect of sewage sludge on heavy metals and nitrate transport in calcareous soil. *International Conference on Soil and Groundwater Contamination and Clean up in Arid Countries*, Sultan Qaboos University, Oman.
- Alloway, B.J., 2010. *Heavy metals in soil* (Third edition), John Wiley and Sons, Inc, New Yurk, USA.
- Aravind, P., Narasimba, M., Prasad, V., 2004. Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L.: a free floating freshwater macrophyte. *Journal of Plant Science*. 166, 1321-1327.
- Chen, Y.X., He, Y.F., Yang, Y., Yu, Y.L., Zheng, S.J., Tian, G.M., Luo, Y.M., Wong, M.H., 2003. Effect of cadmium on nodulation and N<sub>2</sub>-fixation of soybean in contaminated soils. *Chemosphere*. 50, 781-787.
- County, N., 2006. Influence of cadmium on growth of root vegetable and accumulation of cadmium in the edible root. *International Journal of Applied Science and Engineering*. 3, 243-252.
- Gaskin, J., Speir, R.A., Harris, K., Lee, R.D., Morris, L.A., Fisher, D.S., 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status and yield. *Agronomy Journal*. 102, 2. 623-633.
- Harrison, R.L., 1977. A comparative study on methods for soil analysis of total lead in soil, Water, Air, and, Soil Pollution. 8, 387-392.
- Jalalipur, J., 2014. the biochar effect on yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and cadmium bioavailability in soil. M. Sc in Soil Science. Graduate School Faculty of Water and Soil, Department of Soil Science. University of Zabol. [In Persian].
- Javad zarin, E., Motsharezadeh, B., Tafoiezi, M., 2016. Evaluation of potassium and cadmium uptake in different wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) under cadmium stress. *J. Environmental stresses in agricultural sciences*. 2, 195-204. [In Persian with English Summary].
- Kafi, M., Keshmiri, E., 2011. study of yield and yield components of iranian land race and indian RZ19 cumin (*Cuminum cyminum*) under Drought and Salinity Stress. *Journal of Horticulture Science*. 25, 327-334. [In Persian with English Summary].
- Karimi, R., Chorom, M., Solhi, S., Solhi, M., Safe, A., 2012. Potential of *Vicia faba* and *Brassica arvensis* for phytoextraction of soil contaminated with cadmium, lead and nickel. *African Journal of Agricultural Research*. 7, 3293-3301.
- Kumar, P.B., Nanda, A., Dushenkov, V., mott, H., Raskin, I., 1995. Phytoextraction: The use of Plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science and Technology*. 29, 1232-1238.
- Khurana, M.P.S., Aulakh, M.S., 2010. Influence of wastewater application and fertilizer use on the quality of irrigation water, soil and food crops: case studies from Northwestern India. p. 75-78. In: World Congress of Soil Science, Soil

- Solutions for a Changing World.1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD.
- Lameiras, S., Quintelas, C., Tavares, T., 2008. Biosorption of Cr (VI) using a bacterial biofilm supported on granular activated carbon and on zeolite. *Bioresource Technology*. 99, 801–806.
- Lee, C.Sl., Li, X., Shi, W., Cheung, S.CN., Thornton, I., 2006. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics. *Science of the Total Environment*. 356, 45-61.
- Lehmann, J., Joseph, S., 2009. biochar for environmental management- an introduction. In: Lehmann, J., Joseph, S. (eds.), *Biochar for Environmental Management*. Science and Technology. Earthscan, London, pp. 1–11.
- Lindsay, W.L., Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42, 421-428
- Li, Q., Cai, S., Mo, C., Chu, B., Peng, L., Yang, F., 2010. Toxic effects of heavy metals and their accumulation in vegetables grown in a saline soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 73, 84-88.
- Liu, W.X., Li, H.H., Li, S.R., Wang, Y.W., 2006. Heavy metal accumulation of edible vegetables cultivated in agricultural soil in the suburb of Zhengzhou city, People's Republic of China. *Bulltain of Environment and Contamination Toxicology*. 76, 163–170.
- Mendez, A., Gomez, A., Paz-Ferreiro, J., Gasco, G., 2012. Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. *Chemosphere*. 89, 1354–1359.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., Lehmann, J., 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*. 333, 117–128.
- Maleki, A., Khadem Erfan, M.B., Mohammadi, A., Ebrahimi, R., 2007. Application of commercial powdered activated carbon for adsorption of carbolic acid in aqueous solution. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 10, 2348-2352.
- Maleki, A., Zarasvand, M.A., 2008. Heavy metals in selected edible vegetables and estimation of their daily intake in Sanandaj, Iran. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*. 39, 335-340.
- Mohammadi, M., Habibi, D., Ardakani, M., Asgharzade, A., 2010. Investigation of Cd adsorption and accumulation from contaminated soil in annual Alfalfa (*medicago scutellata*). *Journal Crops Ecophysiology*. 2(3), 247-260. [In Persian with English Summary].
- Monakhova, O.F., Chernyadev, I.I., 2002. Protective role of kartolin- 4 in wheat plants exposed to soil drought. *Applied and Environmental Microbiology*. 38, 373-380.
- Mostashari, M., 2002. "Investigation of Qazvin soils and plants pollution with heavy metals during irrigation with wastewater." Proceeding of the 7th Water and Soil Conference, Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering. [In Persian with English Summary].
- Nagajyoti, P.C., Lee, K.D., Sreekanth T.V.M., 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 8, 199-216.
- 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.
- Nayyar, H., Gupta, D., 2006. Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress. Association with oxidative stress and antioxidants. *Journal of Environmental and Experimental Botany*. 58, 106-113.
- Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M., Ambaw, G., 2012. effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences*. 12, 369-376.
- Norali, E., Nadian, H.A., Jafari, S., Heidari, M., 2018. The effect of salinity and cadmium on some components of growth and absorption of micronutrients by Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Environmental stresses in Crop Sciences*. 11, 737-748. [In Persian with English Summary].
- Okoronkwo, N. E., Igwe, J. C., Onwuchekwa, E. C., 2005. "Risk and health implications of polluted soils for crop production." *African Journal of Biotechnology*. 4, 1521-1524.
- Pandey, J., Shubhashish, K., Pandey, R., 2009. Metal contamination of Ganga River (India) as

- influenced by atmospheric deposition. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 83, 204-209.
- Pruvot, C., Douay, F., 2006. Heavy metals in soil, crops and grass as a source of human exposure in the former mining areas. *Journal of Soils and Sediments*. 6, 215-220.
- Rafati, M., Khorasani, N., Moraghebi, F., Shirvany, A., 2013. Phytoextraction phytostabilization potential of cadmium, chromium and nickel by *Populus Alba* and *Morus Alba* species. *Iranian Journal of Environment Natural Resources*. 65, 181-191. [In Persian with English Summary].
- Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J.J., Garate, A., 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lactuca sp.* Cd-Mn interaction. *Plant Science*. 162, 761-767.
- Sekara, A., Poniedzialek, M., Ciura, J., Jedrszczyk, E., 2005. Cadmium and lead accumulation and distribution in the organs of nine crops: implications for phytoremediation. *Polish Journal of Environmental Studies*. 14, 509-516.
- Shi, G. R., Cai, Q., Liu, Q., Wu, L., 2009. Salicylic acid-mediated alleviation of cadmium toxicity in hemp plants in relation to cadmium uptake, photosynthesis, and antioxidant enzymes. *Acta Physiologiae Plantarum*. 31, 969-977.
- Sun, Y., Qixing, Z., Chunyan, D., 2008. Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. *Bioresource Technology*. 99, 1103-1110.
- Wang, W., Vinocur, B., Altman, A., 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*. 218, 1-14.
- Wu, F. B., Zhang, G. P., Yu, J., 2003. Interaction of cadmium and four microelements for uptake and translocation in different barley genotypes. *Communication of Soil Science and Plant Analysis*. 34, 2003-2020.