اثر بیوچار بر میزان جذب سرب در گیاه پالایی خاک‌های آلوده توسط ذرت علوفه‌ای(*Zea mays* L.)

Effect Biochar on the absorption of lead in phytoremediation of contaminated soils by maize (*Zea mays* L.)

امید حاجی نجفی[۱]، محمدرضا ممیزی[۱*]، حسینعلی شیبانی[۱]

۱- گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

[*]**نویسنده مسوول مکاتبات**: mr momayezi@iauvaramin.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰

چکیده

بیوچار حاصل فرآیند گرماکافت ترکیبات آلی است و با داشتن خصوصیات ویژه این ماده می‌تواند در جذب، آبشویی عناصر غذایی و همچنین فلزات سنگین تاثیر بگذارد. این تحقیق به‌منظور بررسی اثر بیوچار بر میزان جذب سرب توسط گیاه ذرت علوفه‌ای(*Zea mays* L.) در شرایط گلخانه‌ای در محل مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین در سال زراعی ۱۳۹۴ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل عنصر سرب در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع نمک سولفات سرب $Pb\ SO_4$ (به‌ترتیب P_0، P_1، P_2 و P_3) و مصرف بیوچار (تهیه شده از چوب بادام) با نسبت صفر، ۲۰ و ۴۰ درصد وزنی (به‌ترتیب B_0، B_1 و B_2) بود. نتایج نشان داد اثرات ساده بیوچار و سرب بر صفات وزن تازه و خشک اندام هوایی، وزن تازه ریشه، غلظت سرب در ریشه و برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید و تجزیه واریانس اثرات متقابل بیوچار و میزان سرب بر وزن خشک ریشه و غلظت سرب در برگ در سطح احتمال یک درصد و وزن خشک اندام هوایی، غلظت سرب در ریشه و ساقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. بیش‌ترین میزان وزن خشک اندام هوایی از تیمار عدم مصرف بیوچار و ۵۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم با ۱/۴۳ گرم و کم‌ترین وزن خشک اندام هوایی از تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم و عدم مصرف بیوچار با ۰/۲۶۱ گرم و بیش‌ترین میزان وزن خشک ریشه مربوط به تیمار عدم مصرف سرب و ۲۰ درصد وزنی بیوچار با ۰/۳۵ گرم و کم‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم و ۲۰ درصد وزنی بیوچار با ۰/۰۱ گرم و بیش‌ترین میزان غلظت سرب در ریشه مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم و۴۰ درصد وزنی بیوچار با ۱/۳۶۸میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین غلظت سرب در ریشه مربوط به تیمار شاهد (عدم مصرف سرب) و ۲۰ درصد وزنی بیوچار با ۰/۶۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بیش‌ترین میزان غلظت سرب در ساقه مربوط به تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم و عدم مصرف بیوچار با ۱/۲۳۹ میلی گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین غلظت سرب در ساقه مربوط به تیمار عدم مصرف سرب و۲۰ درصد وزنی بیوچار با میانگین ۱/۰۰۱گرم بر گرم و بیش‌ترین میزان غلظت سرب در برگ از تیمار ۴۰ درصد وزنی بیوچار با ۱/۹۴۱میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین غلظت سرب در برگ مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب و ۴۰ درصد وزنی بیوچار با ۰/۱۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج نشان داد که آلودگی سرب، آثار منفی بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه ذرت دارد.

واژگان کلیدی: بیوچار، گیاه پالایی، ذرت، سرب، آلودگی خاک

مقدمه

ذرت (*Zea mays*. L) سومین محصول مهم بعد از گندم و برنج است. ذرت از جمله گیاهان زراعی مهم در ایران و جهان به‌شمار رفته و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۰ تقاضا برای ذرت ۴۵ درصد افزایش یابد (Golbashy *et al.*, 2010) .

طی چند دهه گذشته افزایش سطح زیر کشت ذرت همراه نیاز بالای ذرت به‌عناصر غذایی مانند فسفر موجب شد، علاوه بر مصرف زیاد کودهای شیمیایی (به‌خصوص کودهای فسفره)، هزینه‌های تولید افزایش یابد و خطرات زیست محیطی ایجاد گردد (Biari *et al.*, 2008).

تجمع فلزات سنگین در خاک به‌عنوان یک عامل آلوده کننده محیط زیست محسوب می‌گردد. فلزات سنگین یکی از مواد معمول در فاضلاب‌های صنعتی و شهری به‌شمار می‌روند. این عناصر در اثر فعالیت‌های مختلف انسان در خاک، آب و هوا منتشر شده و سبب آلودگی محیط زیست می‌گردد. فلزات سنگین به دو طریق در خاک ذخیره می‌شوند: ۱- هوازدگی سنگ‌ها و کانی‌های غنی از فلزات سنگین و ۲- فعالیت‌های انسان مانند دفن زباله در خاک، استفاده از فاضلاب‌های شهری و صنعتی در اراضی کشاورزی، استفاده از کودهای شیمیایی حاوی این فلزات سنگین مانند کودهای فسفره (Misra and Mani, 2009).

فلزات سنگین شامل سرب، آلومینیوم، جیوه، مس، کادمیوم، نیکل هستند. ابتدا توسط فیتوپلانکتون‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها و سازواره‌های کوچک خاکزی جذب می‌شوند و سپس به‌ترتیب توسط موجودات بزرگ‌تر و در نهایت به‌راحتی از طریق مصرف محصولات کشت شده در خاک‌های آلوده، به زنجیره غذایی مصرف کنندگان وارد می‌شود و سلامت انسان و حیوانات را به‌خطر می‌اندازد (Sadat Taghavirad *et al.*, 2014). سرب با داشتن رتبه دوم در بین فلزات سنگین از اهمیت زیادی برخوردار است و مصرف آن بر موجودات زنده تاثیر مخربی دارد. بنابراین تعیین اشکال سرب در ارزیابی تحرک و زیست فراهمی آن در خاک‌های آلوده ضروری است (Savonina *et al.*, 2005). عنصر سرب در گیاهان و خاک به‌مقادیر بسیار کم یافت می‌شود. سرب در فیکاسیون با خاک رس به‌صورت املاح نامحلول در می‌آید؛ درصورتی‌که در خاک‌های اسیدی حلالیت آن زیاد شده و برای گیاهان سمی خواهد بود. بنابراین باران‌های اسیدی به‌طور غیرمستقیم در افزایش مسمومیت گیاهان و جانوران نقش دارند (Wen *et al.*, 2007).

قابلیت جذب سرب تحت تأثیر عوامل متعددی قراردارد. سرب در خاک به‌صورت pb^{+2} جذب رس، مواد آلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌شود. جذب سطحی آن بیش‌تر تحت تأثیر ویژگی‌هایی مانند فراوانی رس، مواد آلی، pH، یون‌های آهن، آلومینیوم و کلسیم می‌باشد (Lagashetty *et al.*, 2010). مقدار سرب خاک باید بالاتر از ۱۰۰ppm باشد تا بتواند اثرات نامطلوب در گیاه باقی گذارد. با وجود تمام موارد ذکر شده، متأسفانه مصرف سرب در صنایع، باعث انتشار روزافزون این فلز در اتمسفر می‌شود. میزان فسفر انتشار یافته در اتمسفر سالانه بالغ بر ۳۰۰۰۰۰ تن است که به‌مراتب بیش‌تر از ۲۰۰۰۰ تن سرب آزاد شده توسط فرآیندهای طبیعی می‌باشد (اصلانی، ۱۳۹۰). روش‌های متعدد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین پیشنهاد گردید. گیاه پالایی بهترین و کم هزینه‌ترین روش اصلاح خاک‌های آلوده است. برخی از گیاهان می‌توانند فلزات سنگین را در بافت‌های خود در حد سمیت نگهداری نمایند (Rahimi *et al.*, 2012).

بیوچار محصول فرآیند گرماکافت ترکیبات آلی است. گرماکافت ترکیبات زائد آلی مانند بقایای گیاهی زراعی و جنگلی و فضولات دامی در شرایط بدون اکسیژن و یا اکسیژن محدود و دمای بالا، را به ترکیبات کربنی فرار و همچنین ترکیبات کربن باقی مانده و خاکستر دارای مقدار قابل ملاحظه کلسیم و پتاسیم تبدیل می‌کند (Novak *et al.*, 2009؛ Antal and Grønli, 2003). افزودن بیوچار به خاک با توجه به نقشی که کربن در فرآیندهای شیمیایی، زیستی و فیزیکی خاک ایفا می‌کند، می‌تواند مهم باشد (Laird *et al.*, 2010).

با کاربرد بیوچار حاصل از کودهای دامی به خاک‌های زراعی مشخص شد که کاهش چشمگیر در آب‌شویی عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، منیزیم و سیلیس وجود دارد (Mukherjee and Zimmerman, 2013). بیوچار بر سطح خود دارای گروه‌های عاملی آلی است و بار منفی گروه‌های عاملی در طول زمان و در طی اکسیداسیون در خاک افزایش می‌یابد (Chang *et al*., 2008).

تشکیل گروه‌های عاملی و مکان‌های جذب بر روی سطوح و منافذ بیوچار، ظرفیت کاتیونی را تحت تاثیر قرارمی‌دهد (Cheng *et al*., 2006; Liang *et al*., 2006) و به‌دنبال آن پتانسیل بیوچار را برای ایجاد کمپلکس با یون‌های فلزی افزایش می‌دهد (Baldock and Smerink, 2002). می‌توان گفت که اشکال کمپلکس‌های بیوچار فلزات سنگین، نسبت به کمپلکس این فلزات با دیگر موادآلی، دارای پایداری بیش‌تری در خاک است.

هدف از انجام این تحقیق اثر بیوچار بر جذب سرب و گیاه پالایی خاک‌های آلوده به سرب توسط گیاه ذرت بود.

مواد و روش‌ها

این طرح به‌منظور بررسی اثر بیوچار بر گیاه پالایی خاک‌های آلوده به سرب بر گیاه ذرت *(Zea mays L.)* در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل عنصر سرب در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از نمک سولفات سرب $PbSO_4$ (به‌ترتیب P_0, P_1, P_2 و P_3) و سطوح مختلف بیوچار (تهیه شده از چوب بادام) با نسبت صفر، ۲۰ و ۴۰ درصد وزنی (به‌ترتیب B_0, B_1 و B_2) بودند. پیش از اجرای آزمایش، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده شامل pH (به‌وسیله pH متر در عصاره گل اشباع)، EC (به‌وسیله EC متر در عصاره گل اشباع)، بافت خاک (روش هیدرومتر بایکاس)، ظرفیت تبادل کاتیونی (روش استات آمونیم)، نیتروژن کل، درصد ماده آلی (روش میکروکجلدال)، فسفر (روش اولسن)، پتاسیم (عصاره‌گیری با آمونیوم استات و فلیم فتومتری)، سرب قابل جذب (عصاره‌گیری با EDTA و جذب اتمی) (هودجی و جلالیان، ۱۳۸۳) در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید (جدول یک). خاک با نمک سولفات سرب در غلظت‌های مورد نظر و همچنین درصدهای مشخص بیوچار تیمار شد. سپس گلدان‌های هفت کیلوگرمی با خاک پرگردید. درهر گلدان سه بذر گیاه ذرت علوفه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران تهیه شد، کشت گردید. پس از ۱۰ روز گیاهی که سازگاری بهتری را نشان داد و در وضعیت مناسب‌تری قرارداشت، انتخاب و در نهایت در هر گلدان یک گیاه باقی‌ماند.

نوع آزمایش	ظرفیت تبادل خاک	شوری خاک	فسفر	پتاسیم	کلسیم	مواد خنثی شونده	نیتروژن	سرب	منگنز	مس
	CEC	EC dS.cm-1	P mg.kg	K mg.kg	Ca mg.L	TNV %	N %	Pb mg.kg	Mn mg.kg	Cu mg.kg
نتایج	11.3	7.8	12.8	406.6	10	21.4	0.06	11.2	9.74	0.96
نوع آزمایش	روی	آهن	کربن آلی	موادآلی	بافت	ماسه	لای	رس	pH	
	Zn mg.kg	Fe mg.kg	OC %	OM %	Texture	Sand %	Silt %	Clay %	pH متر	
نتایج	0.56	3.44	0.68	1.16	لوم	42	35	22	7.78	

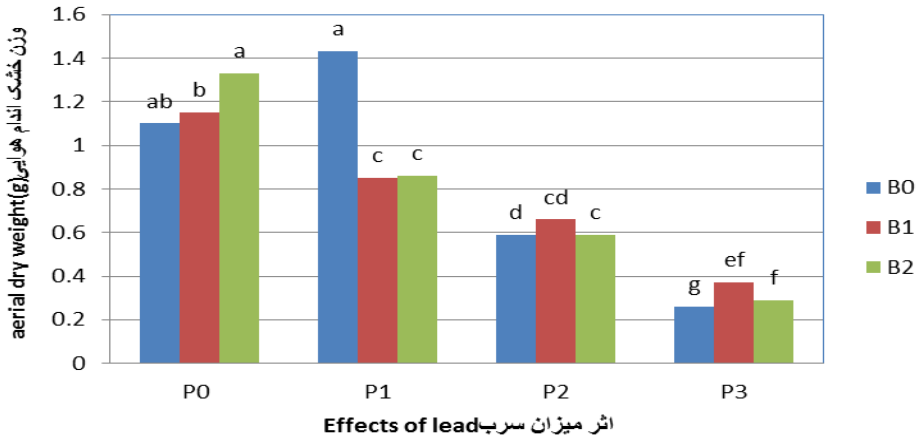
رطوبت خاک گلدان‌ها به‌وسیله آبیاری با آب معمولی در حد ظرفیت زراعی حفظ‌گردید. گیاهان برای سه ماه در شرایط گلخانه نگهداری شدند و پس از این مدت، گیاه ذرت را برداشت شد و بخش‌های هوایی و ریشه در کیسه‌های جداگانه قرارداده شدند و به آزمایشگاه ارسال گردیدند. وزن تازه و خشک

اندام‌های هوایی و ریشه: جهت اندازه‌گیری وزن تر قسمت هوایی آن‌ها قطع گردید. علاوه بر این ریشه بوته‌ها به آرامی از داخل خاک بیرون آورده و وزن تر آن‌ها تعیین گردید. سپس حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج و براساس تغییرات حجم آب در استوانه اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری وزن خشک قسمت هوایی و ریشه، به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (Shang *et al*., 2008).

غلظت سرب در ریشه: پس از جمع‌آوری نمونه‌ها آسیاب شدند و مقدار پنج گرم از نمونه هموژنیزه به ظرف تمیز مخصوص خاکسترکردن (کروزه) که قبلاً وزن شده بود، اضافه گردید. سپس در آون با درجه ۱۲۰-۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. پس از دو ساعت مجدداً وزن شدند و با وزن قبلی مقایسه گردید، در صورت مشاهده کاهش وزن مجدداً حرارت داده شد تا دیگر تغییر وزن اتفاق نیافتد. سپس ظرف را در کوره سرد قراردادند و درب آن بسته شد، حرارت کم‌کم افزایش داده شد و نهایتاً در درجه حرارت ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شد تا خاکستر سفید و بدون کربن حاصل شود. آنگاه ظرف از کوره خارج و سرد شد و در اسید نیتریک (Merck -Germany) رقیق شده با۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل و در یک بالن ژوژه به حجم ۲۵ سی‌سی رسانده و مقادیر سرب در طول موج‌های ۲۸۳ و ۲۳۸ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی مدل BRAIC WFX 130 ساخت کشور آمریکا تعیین گردید (Hodgson *et al*., 2004). جهت تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده به‌وسیله برنامه آماری SPSS تجزیه گردید و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد مقایسه و نمودارها از نرم افزار Excel (2010) Microsoft رسم گردیدند.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی: نتایج نشان داد، اثر ساده بیوچار و مصرف سرب و اثرات متقابل بیوچار و سرب در سطح احتمال پنج و یک درصد بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار گردید (جدول یک). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل مصرف بیوچار و سرب نشان داد که بیش‌ترین میزان وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار (عدم مصرف بیوچار) و ۵۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم با ۱/۴۳گرم و کم‌ترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم و عدم مصرف بیوچار با ۰/۲۶۱ گرم بود (شکل یک). همان‌طور که از نتایج مشخص است غلظت بالای سرب باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی شد. با توجه به این‌که سرب روی وزن تازه اندام هوایی تاثیر منفی داشت، در نتیجه سبب کاهش در وزن خشک گردید. از طرفی استفاده از بیوچار در خاک باعث شد تا اثرات سوء فلزات سنگین کاهش پیداکرد و میزان وزن تازه اندام هوایی افزایش یافت در نتیجه سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی شد. یکی از دلایلی که می‌توان برای کاهش انتقال سرب به بخش هوایی گیاهان با افزایش غلظت سرب خاک این است که انتقال فلز به بخش هوایی از طریق آوندهای چوبی صورت می‌گیرد و عامل انتقال در این آوندها، شیب هیدرواستاتیک و شیب پتانسیل آب است. با کاهش رشد گیاهان، از میزان تبخیر و تعرق و انتقال مواد به آوندها کاسته شد. از طرف دیگر چون محاسبه این شاخص بر پایهٔ مقدار سرب انجام‌گرفت، کاهش ماده خشک و بالطبع آن مقدار سرب در گیاه، می‌تواند عاملی در توجیه کاهش این شاخص به‌شمار آید. از عوامل تعیین‌کننده در رهاشدن یون‌ها به درون آوند چوبی میزان تعرق گیاه، وضعیت کربوهیدرات‌های ریشه و تنفس ریشه می‌باشد. کاهش هر سه مورد ذکر شده، سبب کاهش رهاشدن یون‌ها به درون آوندهای چوبی می‌گردد. با توجه به اثر بازدارنده فلز سنگین بر شدت فتوسنتز، تولید کربوهیدرات‌ها کاهش می‌یابد و از میزان انتقال این مواد به ریشه‌ها کاسته می‌شود (خلدبرین و اسلام‌زاده، ۱۳۸۵).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و سرب در وزن خشک اندام هوایی

Fig 1. The interaction effect of biochar and lead treatments on biomass of forage corn

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر بیوچار و غلظت سرب بر روی گیاه پالایی و صفات گیاه ذرت علوفه

Table 1. Analysis of variance (ANOVA) for the effects of biochar and lead treatments on phytoremediation and forage corn characteristics.

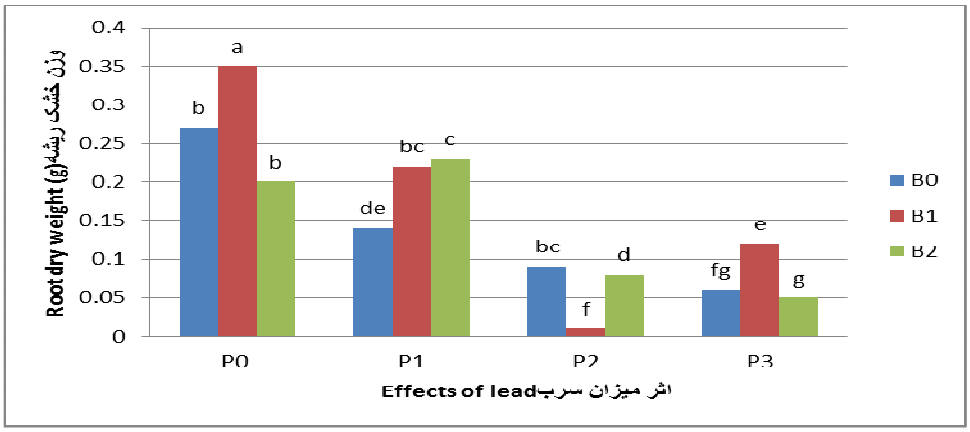
S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	غلظت سرب در برگ L.C.L	غلظت سرب در ساقه L.C.S	غلظت سرب در ریشه L.C.R	وزن خشک ریشه R.D.W	وزن خشک اندام هوایی A.D.W
R	تکرار	2	0.002	0.003	0.027	0.010	0.026
B	بیوچار	2	0.017*	0.002 ns	0.061*	0.019**	0.086*
P	سرب	3	0.011*	0.013*	0.114*	0.029**	1.155**
B×P	بیوچار× سرب	6	0.046**	0.012*	0.065*	0.005**	0.049*
Ep	خطای فرعی	22	0.004	0.013	0.020	0.004	0.008
CV	ضریب تغیرات	-	5.77	7.54	12.32	8.4	12.47

ns، *و** عدم معنی‌دار، به‌ترتیب درسطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **, non-significant, significant at 5 and 1% respectively

وزن خشک ریشه: با توجه به تجزیه واریانس داده‌ها، اثر ساده مصرف بیوچار و غلظت سرب و اثرات متقابل بیوچار و سرب در سطح یک درصد بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود (جدول یک). مقایسه میانگین اثرات متقابل مصرف بیوچار و سرب نشان داد بیش‌ترین میزان وزن خشک ریشه مربوط به تیمار عدم مصرف سرب و ۲۰ درصد وزنی بیوچار با ۰/۳۵ گرم و کم‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم و ۲۰ درصد وزنی بیوچار با۰/۰۱ گرم بود (شکل دو). نتایج به دست آمده از وزن تازه ریشه نشان داد میزان بالای سرب سبب کاهش وزن ریشه شد. از آن‌جایی‌که وزن تازه ریشه و وزن خشک ریشه با هم در ارتباط هستند، در نتیجه با کاهش وزن تازه ریشه، وزن خشک ریشه نیز کاهش یافت. که این امر به‌علت سمی‌بودن سرب است که تغییرات شیمیایی در ریشه را سبب می‌شود. همان طورکه مشخص شد استفاده از بیوچار توانست اثرات سمی سرب را کاهش دهد و باعث افزایش وزن تازه ریشه و در نهایت افزایش وزن خشک ریشه شود. در تیماری که سرب مصرف نشد، با کاربرد بیوچار، وزن خشک ریشه نسبت به سایر تیمارها افزایش داشت. فلزات سنگین، ویسکوزیته و قابلیت ارتجاع دیواره سلولی ریشه گندم را کاهش داد و موجب کاهش رشد طولی ریشه گردید (Ma, 2004). وزن تر و خشک ریشه به‌دلیل مسمومیت با سرب و توقف رشد کاهش یافت. بسیاری از محققان بر این باورند که گیاه ذرت با استفاده از ساز و کارهای داخل سلولی، میزان سرب را در داخل واکوئول‌های سلول‌های ریشه مهار نمود و از حرکت و خروج آن از ریشه به سمت آوندهای چوبی ممانعت کرد (Lasat, 2002). با مصرف بیوچار در خاک میزان قابل جذب سرب کاهش نشان داد و از میزان جذب

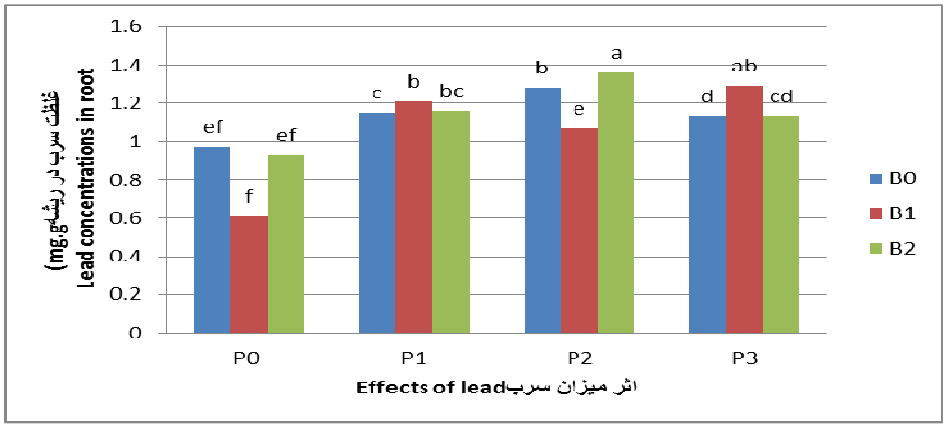
سرب توسط ریشه کاسته شد و اثرات مضر غلظت بالای این عنصر سنگین تقلیل یافت.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و سرب در صفت وزن خشک ریشه

Fig. 2. the interaction effects of Biochar and lead treatment on root dry biomass

غلظت سرب در ریشه: تجزیه داده‌ها نشان داد غلظت سرب در ریشه در اثرات ساده مصرف بیوچار و سرب و اثرات متقابل بیوچار و سرب در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول یک). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل مصرف بیوچار و سرب نشان داد بیش‌ترین میزان غلظت سرب در ریشه مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم و۴۰ درصد وزنی بیوچار با ۱/۳۶۸میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین غلظت سرب در ریشه مربوط به تیمار شاهد و ۲۰ درصد وزنی بیوچار با ۰/۶۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (شکل سه). استفاده از بیوچار در تیمارها باعث کاهش سرب در ریشه گردید که با نتایج سایر محققان مطابقت داشت. با توجه به‌این‌که گیاه بیش انباشت‌گر سرب گیاهی است که توانایی انباشت بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب را در بخش هوایی دارد بدون آن‌که تأثیری بر رشد و نمو آن داشته باشد. با توجه به مقادیر جذب شده سرب در اندام هوایی گیاه کنگرفرنگی، نمی‌توان این گونه را گیاه بیش انباشت‌گر سرب معرفی کرد (Soltani *et al.*, 2006)

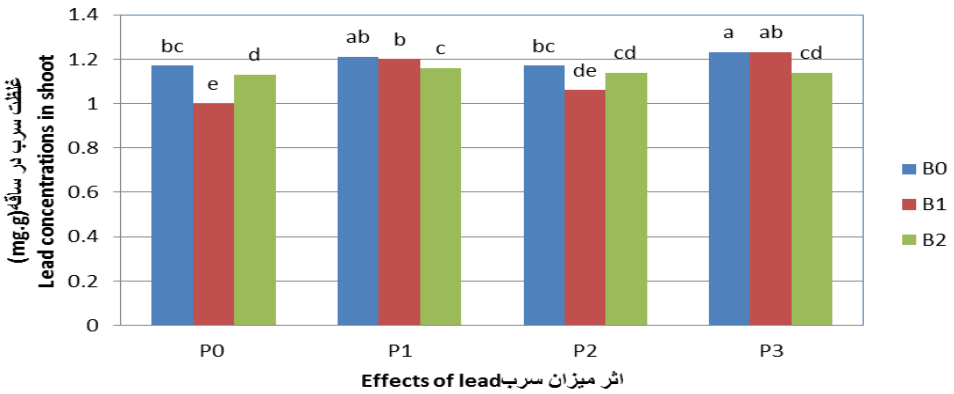


شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و غلظت سرب در صفت غلظت سرب در ریشه

Fig 3. The interaction effects of Biochar and lead treatments on lead accumulation by root tissue

غلظت سرب در ساقه با توجه به تجزیه واریانس، اثرات ساده مصرف سرب و اثرات متقابل بیوچار و سرب در سطح یک درصد بر غلظت سرب در ساقه معنی‌دار شد. اثرات ساده مصرف بیوچار بر این صفت اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول یک). مقایسه میانگین اثرات متقابل مصرف بیوچار و سرب

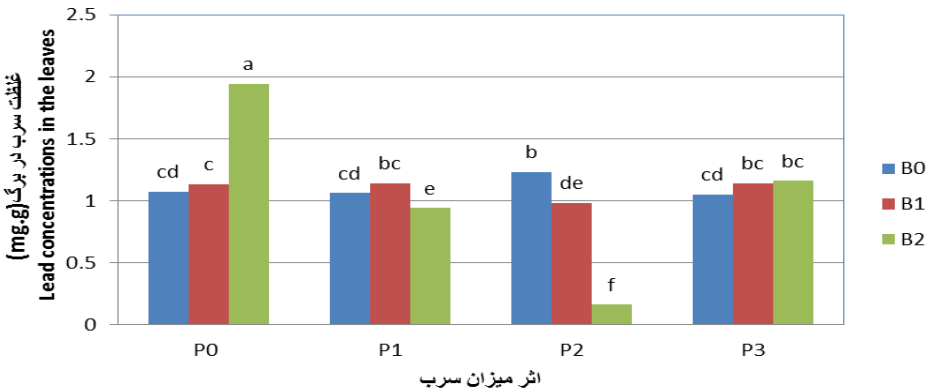
نشان داد بیش‌ترین میزان غلظت سرب در ساقه از تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم (عدم مصرف بیوچار) با (۱/۲۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کم‌ترین غلظت سرب در ساقه از تیمار (عدم مصرف سرب) و۲۰ درصد وزنی بیوچار ۱/۰۰۱ گرم بر گرم حاصل شد (شکل چهار). همچنین نتایج اثرات متقابل نشان داد عدم استفاده از بیوچار در حضور بالاترین میزان غلظت سرب باعث افزایش مقدار سرب در ساقه شد. ولی در سایر تیمارها که از بیوچار استفاده شد، میزان سرب کم‌تری در ساقه وجود داشت. آفتابگردان و ذرت می‌توانند فلزات سنگین را به اندام هوایی انتقال دهند (Blaylock *et al*., 1997). نتایج به‌دست آمده از این تحقیق بیان کننده این واقعیت است با مصرف بیوچار در خاک‌های آلوده به سرب می‌توان شکل قابل جذب سرب را در خاک کاهش داد، بنابراین از میزان جذب سرب توسط ریشه کاسته شد و در نهایت سرب کم‌تری به اندام‌های هوایی منتقل گردید. البته میزان مصرف بیوچار نقش تعیین کننده‌ای در میزان جذب سرب توسط گیاه ایفا نمود (اشکال سه و چهار).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و غلظت سرب در صفت غلظت سرب در ساقه

Fig. 4. the interaction effect of Biochar and lead treatments on lead in accumulation shoot tissue

غلظت سرب در برگ: غلظت سرب در برگ در سطوح مصرف بیوچار در سطح یک درصد و اثرات متقابل بیوچار و سرب در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول یک). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل مصرف بیوچار و سرب همچنین نشان داد بیش‌ترین میزان غلظت سرب در برگ از تیمار ۴۰ درصد وزنی بیوچار با ۱/۹۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین غلظت سرب در برگ از تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب و ۴۰ درصد وزنی بیوچار با ۰/۱۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد (شکل پنج). توانایی بالای انتقال فلزات از ریشه به اندام‌های هوایی به احتمال زیاد به‌علت سیستم‌های انتقال فلزات کارآمد (Zhao *et al*., 2002) و احتمالاً توقف فلزات در واکوئل و آپوپلاست برگ است (Lasta *et al*., 2000) باید اضافه نمود که گیاه ذرت ظرفیت بالایی در جذب فلزات به‌وسیله ریشه و جابجایی و ذخیره‌سازی آن‌ها در اندام هوایی مخصوصاً برگ دارد (Ozturk *et al*., 2003). غلظت بالای سرب در محیط کشت، انتقال سرب از ریشه‌ها به اندام هوایی را افزایش می‌دهد این افزایش ممکن است به‌علت اختلال در غشای پلاسمایی سلول و غلظت‌های بالای سرب و کاهش در ممانعت از انتقال سرب از خاک به گیاه و درون گیاه باشد (Zheljazkov *et al*., 2006).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و غلظت سرب در صفت غلظت سرب در برگ

Fig. 5. the interaction effects of Biochar and lead treatments on lead accumulation leaves of forget corn

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده، در اثرات ساده بهترین تیمار مصرف بیوچار ۴۰ درصد وزنی بیوچار بود. نتایج حاصل از این تحقیق بیان کننده آن است که مصرف سرب سبب آثار منفی بر خاک و صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه ذرت داشت. اثر بیوچار بر صفات وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و غلظت سرب در ساقه در سطح یک درصد معنی‌دار و غلظت سرب در ریشه و غلظت سرب در برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید. با توجه به نتایج اثرات متقابل بیوچار و سرب در بر صفات غلظت سرب در ساقه، وزن خشک ریشه سطح یک درصد معنی‌دار شد و غلظت سرب در ریشه، وزن خشک اندام هوایی غلظت سرب در برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. که با توجه به نتایج بیوچار روی تمامی صفات نتیجه‌ی مثبت داشت.

References منابع

Antal, M.J., Grønli, M. 2003. The art, science, and technology of charcoal production. Industrial and Engineering Chemistry Research.42(8):1619-40.

Biari, A., Gholami, A., and Rahmani, H.A. 2008. Growth promotion and enhanced nutrient uptake of maize by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid region of Iran. Journal of Biological Sciences 8(6): 1015-1020.

Blaylock, M.J., Salt, D.E., Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C., Kapulnik, Y. 1997. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soilapplied chelating agents. J Environ Sci Technol; 31:860–865

Cheng, C.H., Lehmann J., and Engelhard, M.H. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence", Geochimica et Cosmochimica Acta, vol 72, pp1598–1610

Cheng, C.H., Lehmann, J., Thies, J.E., Burton, S.D., and Engelhard M.H. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes", Organic Geochemistry, vol 37, pp1477–1488

Golbashy, M., Shoa hosseini, M., Khavari Khorasani, S., Farsi, M., and Zarabi, M. 2010. Effect of drought stress on yield, yield components, morphological traits of single cross and three way cross of corn. Abstract Book of the National Conferences on Consumption Pattern Reforms in Agriculture and Natural Resources P: 225

Lagashetty, A., Vijayanand, H., Basavaraja, S., MallikarJuna, N.N., and Venkataraman, A. 2010. Lead adsorption study on combustion derived γ-Fe2O3 surface. B. Mater. Sci. 33: 1. 1-6.

Laird, D.A., Fleming, P., Davis, D.D., Horton, R., Wang, B., Karlen, D.L. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. Geoderma.158(3–4):443-9.

Lasat, M.M. 1998. The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil American Association for the advancement of environmental science and engineering fellow, http:/www. Clu –in .org / down load/ remed /Lasat.

Ma, J.F. 2004. Role of organic acids in detoxification of Aluminum in higher plants. Plant cell pHysiol. 41, 383–390

Misra, S.G., Mani, D. 2000. Publishing Corporation, New Delhi, India.

Mukherjee, A., Zimmerman, A.R. 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. Geoderma.193–194(0):122- 30.

Novak, J.M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. Annals of Environmental Science. 3(1):2

Rahimi, M., Farhadi, R., Salehi Balashahri, M. 2012. Effects of heavy metals on the medicinal plant, International Journal of Agronomy and Plant Production, 3(4), 154 – 158.

Sadat Taghavirad, S., Davar, H., Mohammadi, M.J. 2014. The a study on concentration of BETX vapors during winter in the department of ports and shipping located in one of the southern cities of Iran. Int J Cur Life Sci; 4(9): 5416-5420.

Savonina, E.Y., Chernova, R.K., Kozlova, L.M., and Fedotov, P.S. 2005. Fractionation and determination of different lead species in contaminated soils. J. Anal. Chem. 60: 9. 874-879.

Soltani, F., Ghorbanli, M., and Manouchehri-kalantari, K.H. 2006. Effect of cadmium on photosynthetic pigments, sugars and malondealdehyde content in Brassica napus L. Iran. J. Biol. 2: 136-145.

Zheljazkov, V.D., Craker, L.E., and Xing, B. 2006. Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. *Environmental and Experimental Botany*. 58: 9–16.