



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

بررسی اثر کاربرد کمپوست پسماند شهری شازند و بیوجار پوسته انار ساوه بر کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک و گیاه سورگوم

امیرحسین بقائی*

گروه خاک‌شناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

اطلاعات مقاله: چکیده

زمینه و هدف: امروزه مدیریت دفن پسماند شهری و مشکل آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین از مشکلات عمده زیست محیطی به حساب می‌آید. این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد کمپوست پسماند شهری شازند و بیوجار پوسته انار ساوه بر کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک و گیاه سورگوم انجام شد.

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲۱
تاریخ ویرایش: ۹۷/۰۳/۱۹
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۲۱
تاریخ انتشار: ۹۷/۰۶/۲۶

روش بررسی: تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد ۱۰، ۰ و ۲۰ ton/ha کمپوست پسماند شهری، بیوجار پوسته انار ساوه در دو سطح ۰ و ۱۵ g/kg و آلودگی خاک با مقادیر ۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ mg Pb/kg soil بوده است. بعد از گذشت ۸ هفته از کشت گیاه سورگوم (رقم کیمیا)، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی خاک و غلظت سرب در خاک و گیاه اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: کاربرد ۲۰ ton/ha کمپوست پسماند شهری به همراه ۱۵ g/kg بیوجار باعث افزایش ۰/۴ واحدی pH خاک و کاهش ۱۱ درصدی در مقدار سرب قابل دسترس خاک شده است. نتایج مشابهی در مورد غلظت سرب ریشه و شاخساره گیاه مشاهده شد، به نحوی که کاربرد همین میزان کود در خاک آلوده به ۱۰۰۰ mg Pb/kg soil به ترتیب باعث کاهش ۱/۸ و ۲/۲ برابری در غلظت سرب ریشه و شاخساره گیاه شده است.

واژگان کلیدی: آلودگی خاک، پالایش خاک، کمپوست پسماند شهری شازند، سرب، بیوجار

نتیجه‌گیری: نتایج کلی این پژوهش حاکی از آن است که کاربرد کمپوست پسماند شهری شازند و بیوجار می‌تواند با افزایش ویژگی‌های جذبی خاک باعث کاهش غلظت سرب در خاک یا گیاه شود، هر چند که اثرات کاربرد این افزودنی‌های آلی در تامین نیازهای تغذیه‌ای گیاه ناپیوستی نادیده گرفته شود.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
a-baghaie@iau-arak.ac.ir

مقدمه

امروزه مدیریت پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین امری بسیار مهم بوده (۱، ۲) که اغلب پرهزینه بوده و ممکن است باعث تخریب ساختمان خاک شود، از سویی دیگر با توجه به افزایش روز افزون فلزات سنگین خصوصا در مناطق صنعتی کشور در بسیاری مواقع پاک‌سازی فلزات سنگین امری مشکل بوده (۳) و در این میان، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک نقش مهمی در تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک دارد (۴). Baghaie (۵) در پژوهشی استفاده از کمپوست پسماند شهری را راهکار مناسبی برای کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و به دنبال آن در گیاه ذرت دانست و دلیل آن را به نقش کاربرد کمپوست پسماند شهری در افزایش ویژگی‌های جذبی خاک، تثبیت فلزات سنگین و در نهایت کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک نسبت داده است. همچنین Molaie و همکاران (۶) در پژوهشی تاثیر برخی اصلاح‌کننده‌های آلی بر ویژگی‌های رویشی و غلظت کادمیوم در گیاه ذرت در یک خاک آلوده به عناصر سنگین مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که کاربرد این ترکیبات نقش مهمی در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و گیاه داشته است. در سالیان اخیر استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی از جمله بیوجار به‌عنوان یک ترکیب قابل قبول جهت زیست پالایی خاک به‌شمار می‌رود (۷). بیوجار ترکیب پایداری از کربن، ماده‌های متخلخل و بسیار ریز دانه است که در دمای کم تا متوسط (۴۵۰ تا ۶۵۰ °C) تحت شرایطی با اکسیژن محدود تولید می‌شود (۸). در آزمایشی که توسط Chan و همکاران (۹) صورت پذیرفت کاربرد بیوجار را عامل موثری در افزایش عملکرد دانسته‌اند. Hejazizadeh و همکاران (۱۰) نیز در پژوهشی به نقش کاربرد بیوجار در کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک اشاره داشتند. Biria و همکاران (۱۱) نیز به نقش بیوجار باگاس نیشکر بر کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در گیاه ذرت اشاره داشتند. با توجه به این که افزایش غلظت فلزات سنگین به دلیل صنعتی شدن شهرها رو به افزایش است، بایستی به دنبال راهکاری بود که بتوان گیاهان غیر آلوده یا با آلودگی کمتر را در محیط

آلوده پرورش داد. با توجه به آلودگی نسبتا بالای شهرستان شازند به فلزات سنگین و کمبود مواد آلی در مناطق خشک و نیمه خشک، کاربرد افزودنی‌های آلی از جمله کمپوست پسماند شهری، علاوه بر تامین نیازهای تغذیه‌ای گیاه، احتمالا می‌تواند کمک شایانی به کاهش قابلیت دسترسی فلز سنگین در خاک کند (۵). هر چند که تجزیه این ترکیبات ممکن است باعث توزیع مجدد فلز سنگین در خاک شود (۱۲). Mashayekhi و همکاران (۱۳) نیز در پژوهشی به اثر کاربرد کود گاوی بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در گیاه همیشه بهار اشاره داشتند، هر چند که تجزیه دراز مدت این قبیل ترکیبات و به دنبال آن توزیع مجدد فلزات سنگین در خاک و گیاه در این پژوهش پیش بینی نشده است ولی لازم است که در مطالعات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

در این میان استفاده از مواد به‌ساز از جمله بیوجار پوسته انار به همراه افزودنی‌های آلی (کمپوست پسماند شهری) احتمالا می‌تواند با تثبیت شیمیایی فلزات سنگین به کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین از جمله سرب کمک کند که کمتر به آن توجه شده است. استان مرکزی یکی از مراکز برداشت انار مرغوب (انار ساوه) در کشور بوده و در حال حاضر پوست انار به‌صورت یک پسماند باقیمانده، و از آن استفاده نمی‌شود. بدین منظور این پژوهش با هدف تعیین اثر بیوجار پوسته انار ساوه بر قابلیت جذب سرب توسط سورگوم در یک خاک تیمار شده با کمپوست پسماند شهری شازند در شرایط گلخانه انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت یک آزمایش گلدانی با هدف بررسی اثر مخلوط کمپوست پسماند شهری شازند با بیوجار حاصل از پوسته انار ساوه بر کاهش قابلیت دسترسی سرب در یک خاک آلوده به سرب در یک گلخانه پژوهشی در شهرک مهاجران از توابع استان مرکزی انجام پذیرفت. به منظور انجام این آزمایش خاکی با pH نسبتا خنثی و درصد کربن آلی و قابلیت هدایت الکتریکی پایین انتخاب شد. خاک مورد نظر از روستای پاکل

(Pb₁₀₀₀) ۱۰۰۰ mg Pb/kg soil و (Pb₈₀₀) ۸۰۰، (Pb₆₀₀) بود. نمونه خاک به محیط آزمایشگاه منتقل و در دمای محیط خشک شده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱). همچنین ویژگی‌های شیمیایی کمپوست پسماند شهری و بیوجار مورد استفاده در این پژوهش نیز در جدول ۱ ذکر شده است. لازم به ذکر است که بیوجار پوسته انار به روش Khanmohammadi و همکاران (۱۴)، در یک کوره الکتریکی با شرایط عدم اکسیژن در دمای ۵۰۰ °C تهیه شد. نمای کلی از طرح دستگاه استفاده شده در این پژوهش جهت تهیه بیوجار و نمای کلی بیوجار پوسته انار تهیه شده به ترتیب در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است.

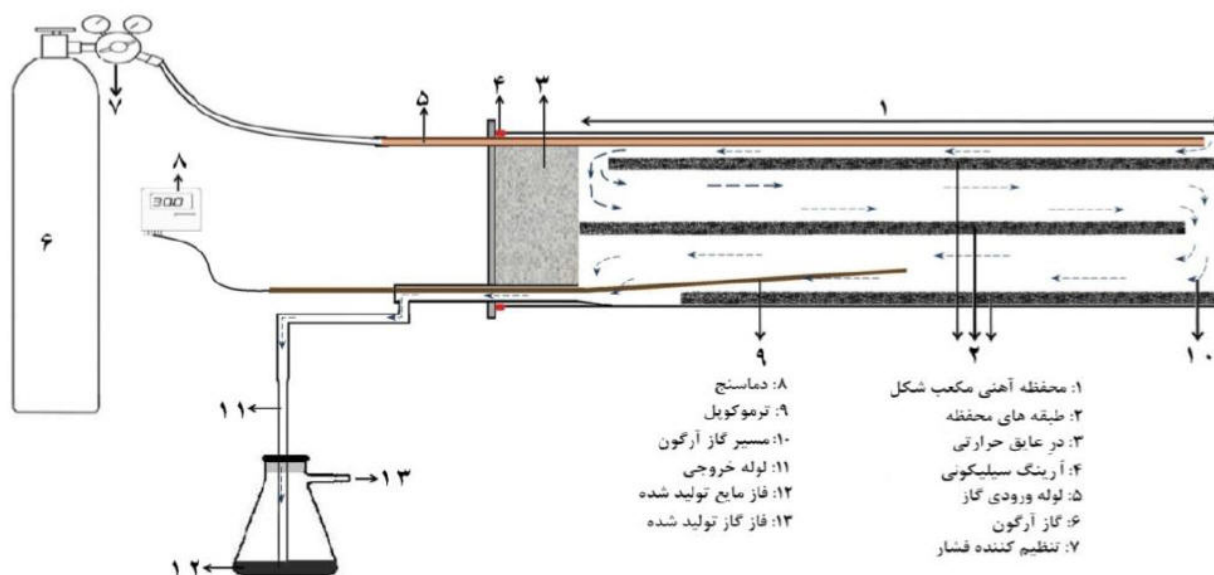
از توابع بخش مرکزی شهرستان شازند (در ۵۰ کیلومتری شهر اراک) با مختصات جغرافیایی ۲۲° ۲۰' ۴۹" طول شرقی و ۱۸° ۴۹' ۳۳" عرض شمالی در ۲۲ کیلومتری شهرستان شازند قرار دارد.

طرح آزمایشی مورد نظر به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملا تصادفی با سه تکرار جمعا به تعداد ۷۲ گلدان ۵ کیلوگرمی اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد کمپوست پسماند شهری شازند در سه سطح ۰ (C₀)، ۱۰ (C₁₀) و ۲۰ ton/ha (C₂₀) و کاربرد بیوجار به میزان ۰ (B₀) و ۱۵ g/kg (B₁) کود آلی و آلودگی خاک به فلز سنگین سرب از منبع نیترات سرب در سطوح ۰ (Pb₀)، ۶۰۰

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک مورد استفاده در این پژوهش

پارامتر تیمار	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (درصد)	بافت خاک	درصد آهک	کادمیوم کل (mg/kg)	سرب قابل دسترس خاک (mg/kg)	سرب کل (mg/kg)
خاک	۷/۳	۰/۹	۰/۰۸	لومی شنی	۱۱	۰/۸	ND*	۱/۳
کمپوست	۷/۶	۱۱/۳	۲۱/۲	----	---	۰/۲	۰/۳	۰/۸
بیوجار	۸/۷	۲/۱	۱۸/۹	----	---	۰/۱	۰/۷	۰/۳

ND*: قابل اندازه‌گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.



شکل ۱- نمای کلی از طرح دستگاه استفاده شده در این پژوهش جهت تهیه بیوجار

به وسیله ۰/۰۵ M محلول DTPA (دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید) در pH برابر ۷/۲ عصاره گیری و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد (۱۵). همچنین میزان فلز سنگین کل موجود در نمونه خاک (۵) و عناصر سنگین موجود در کمپوست پسماند شهری (۱۶) توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد.

جهت اندازه گیری مقدار کربن آلی (Organic Carbon (OC)) در نمونه خاک یا کمپوست پسماند شهری شازند از روش اکسیداسیون تر (۵) استفاده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۲) اندازه گیری شد. برای اندازه گیری pH و EC کمپوست پسماند شهری یا بیوچار از نسبت ۱:۵ ترکیب آلی به آب و در مورد نمونه خاک از عصاره اشباع خاک استفاده شده است (۱۶). میزان آهک خاک (CaCO_3) به روش خنثی سازی با اسید و تیتراسیون اسید اضافی با سود تعیین شد (۱۷). مقدار نیتروژن کمپوست پسماند شهری شازند (Total N) به روش کجسدال (۱۶) اندازه گیری شد. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) به روش کلرید باریم عصاره گیری (۱۲) و با استفاده از دستگاه شعله سنج اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده ها به کمک نرم افزار SAS 9.1 انجام گرفت و مقایسه های میانگین ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت.

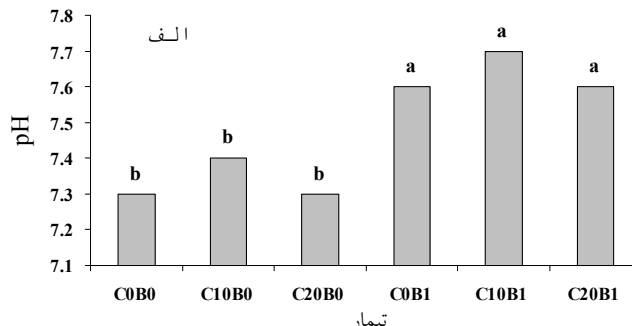
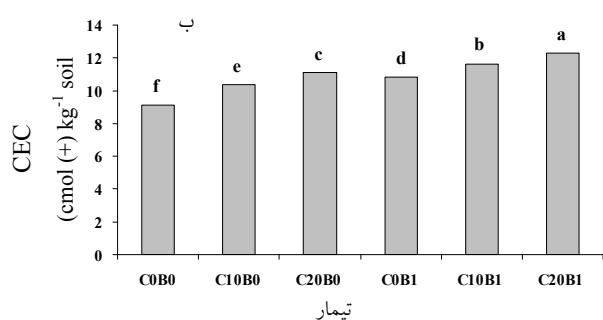
یافته ها

- اثر تیمارهای مورد آزمایش بر ویژگی های شیمیایی خاک بیشترین و کمترین pH خاک به ترتیب در خاک کاربرد بیوچار و خاک فاقد بیوچار مشاهده شد. کاربرد ۱۵g/kg بیوچار به همراه ۲۰ ton/ha کمپوست پسماند شهری شازند (C_{20}B_1) باعث افزایش ۰/۴ واحدی در pH خاک شد (نمودار ۱-الف). همچنین نتایج این پژوهش حاکی از آن است که کاربرد ۱۰ و ۲۰ ton/ha کمپوست پسماند شهری در خاک فاقد بیوچار پوسسته انار به ترتیب باعث افزایش ۱/۲ و ۳/۱ درصدی در کربن آلی خاک شده است. اثر ساده کاربرد کمپوست زباله شهری بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک معنی دار بود، به نحوی که کاربرد ۲۰ ton/ha کمپوست



شکل ۲- بیوچار پوسسته انار استفاده شده در این پژوهش

کمپوست پسماند شهری شازند با مقادیر فوق الذکر با بیوچار مخلوط شده و به مدت دو ماه در دمای اتاق (21°C) به حالت خود رها شد. از سوی دیگر، خاک مورد استفاده با روش اسپری در مقادیر فوق الذکر به فلز سرب آلوده شد. جهت رسیدن به تعادل نسبی، نمونه خاک های آلوده شده به سرب نیز مدت یک ماه به حالت خود رها شد. سپس مخلوط کمپوست پسماند شهری و بیوچار در مقادیر ۰، ۱۰ و ۲۰ ton/ha به خاک آلوده به کادمیوم اضافه شده و خاک تیمار شده به مدت یک ماه داخل گلدان پلاستیکی ۵ کیلوگرمی به حال خود رها شد. سپس داخل هر گلدان ۱۰ عدد بذر گیاه سورگوم (رقم کیمیا) کاشته شده و بعد از استقرار گیاهان، شمار بوته ها به چهار عدد تنک گردید. در طول دوره رشد گیاه، شرایط کنترل شده ای فراهم شد که هیچ گونه علف هرزی رشد نکند. هر هفته یکبار نیز گلدان ها کاملاً جابجا شدند تا تمامی گلدان ها در شرایط محیطی یکسان (نور و گرما) قرار گیرند. قابل ذکر است که میزان آبیاری گیاهان بسته به نیاز آبی آنها بوده و سعی شده در این مدت هیچ آبی از گلدان خارج نشود. هشت هفته بعد از کاشت گیاه سورگوم، برداشت بوته ها انجام شد. نمونه ها به مدت ۴۸ h در دمای 60°C در خشک کن قرار داده شد، سپس توسط آسیاب برقی به پودر تبدیل و در ظروف پلاستیکی نگهداری شد. نمونه ها در دمای 480°C خاکستر و شکل قابل دسترس سرب در نمونه های خاک



نمودار ۱- نتایج اثر ساده کاربرد کمپوست پسماند شهری شازند بر pH (الف) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (ب).

(داده‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵ درصد از لحاظ آماری براساس آزمون LSD اختلاف معنی داری ندارند.)

مقدار سرب قابل دسترس خاک داشته باشد، به نحوی که کاربرد ۱۵ g بیوچار در خاک فاقد کاربرد کمپوست پسماند شهری و آلوده به $600 \text{ mg Pb/kg soil}$ ($C_0B_1Pb_{600}$) باعث شده تا مقدار سرب قابل دسترس خاک از مقدار $87/6$ به $mg \text{ Pb/}$ کمپوست پسماند شهری نیز مشاهده شد، به نحوی که کاربرد همین میزان بیوچار پوسته انار در خاک حاوی 20 ton/ha کمپوست پسماند شهری شازند و آلوده به $(C_{20}B_1Pb_{1000})$ $1000 \text{ mg Pb/kg soil}$ باعث کاهش ۱۹ واحدی در مقدار سرب قابل دسترس خاک شده است.

کاربرد کمپوست پسماند شهری نیز نقش موثری در کاهش قابلیت دسترسی خاک داشت، به نحوی که کاربرد 20 ton/ha کمپوست پسماند شهری در خاک فاقد بیوچار و آلوده به $1000 \text{ mg Pb/kg soil}$ ($C_{20}B_0Pb_{1000}$) باعث شده تا مقدار سرب قابل دسترس خاک از مقدار $122/3$ به $39/4 \text{ mg Pb/kg soil}$ کاهش یابد. اثر برهم کنش

زیاله شهری باعث افزایش $1/1$ واحدی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شده است. همچنین اثر متقابل کاربرد بیوچار و کمپوست پسماند شهری شازند بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک معنی دار بود، به نحوی که کاربرد 10 و 20 ton/ha به همراه کاربرد بیوچار به ترتیب باعث افزایش $1/5$ و $2/1$ واحدی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شد (نمودار ۱-ب).

اثر تیمارهای مورد آزمایش بر سرب قابل دسترس خاک - بیشترین مقدار سرب قابل دسترس خاک، در خاک فاقد کمپوست پسماند شهری و آلوده به $(C_0B_0Pb_{1000})$ $1000 \text{ mg Pb/kg soil}$ به میزان $122/3 \text{ mg Pb/kg soil}$ و کمترین آن در خاک تیمار شده با 20 ton/ha کمپوست پسماند شهری همراه با کاربرد بیوچار و آلوده به $(C_{20}B_1Pb_{600})$ $600 \text{ mg Pb/kg soil}$ به میزان $19/8 \text{ mg Pb/kg soil}$ مشاهده شد (جدول ۲). مقدار سرب قابل دسترس خاک در تیمار Pb_0 قابل اندازه گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود. کاربرد بیوچار پوسته انار توانسته است نقش موثری در کاهش

جدول ۲- اثر کاربرد کمپوست پسماند شهری، بیوچار و سرب بر مقدار سرب قابل دسترس خاک (mg/kg)

تیمار	B_0Pb_0	B_0Pb_{600}	B_0Pb_{800}	B_0Pb_{1000}	B_1Pb_0	B_1Pb_{600}	B_1Pb_{800}	B_1Pb_{1000}
C_0	ND*	$87/6^{e**}$	$100/4^c$	$122/3^a$	ND	$78/3^g$	$91/2^d$	$103/4^b$
C_{10}	ND	$50/4^k$	$62/6^i$	$81/3^f$	ND	$41/6^l$	$53/4^j$	$70/4^h$
C_{20}	ND	$29/4^o$	$34/3^n$	$39/4^m$	ND	$19/8^r$	$23/3^q$	$26/2^p$

ND*: قابل اندازه گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

** : حروف آماری مختلف نشان دهنده وجود اختلاف آماری بین تیمارها در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD است.

گیاه $1000 \text{ mg Pb/kg soil}$ باعث شده تا میزان سرب ریشه گیاه سورگوم از $230/3$ به $86/6 \text{ mg Pb/kg root}$ کاهش یابد.

– اثر تیمارهای مورد آزمایش بر غلظت سرب شاخساره گیاه

بیشترین غلظت سرب شاخساره سورگوم در خاک فاقد کاربرد کمپوست پسماند شهری و آلوده به $(C_0B_0Pb_{1000})$ $46/4 \text{ mg Pb/kg shoot}$ به میزان $1000 \text{ mg Pb/kg soil}$ و کمترین آن در خاک تیمار شده با 20 ton/ha کمپوست پسماند شهری و آلوده به $(C_{20}B_1Pb_{600})$ $600 \text{ mg Pb/kg soil}$ $8/2 \text{ mg Pb/kg shoot}$ (جدول ۴).

کاربرد بیوچار نیز نقش موثری را در کاهش سرب شاخساره گیاه سورگوم داشته است به نحوی که کاربرد 15 g/kg بیوچار پوسته انار در خاک فاقد کاربرد کمپوست پسماند شهری شازند و آلوده به $(C_0B_1Pb_{600})$ $600 \text{ mg Pb/kg soil}$ باعث کاهش $1/3$ برابری در سرب شاخساره گیاه شده است. همچنین کاربرد کمپوست پسماند شهری شازند نیز تاثیر معنی داری بر کاهش غلظت سرب شاخساره گیاه داشته است، به نحوی که کاربرد 10 ton/ha و 20 ton/ha کمپوست پسماند شهری شازند در خاک آلوده به $800 \text{ mg Pb/kg soil}$ به ترتیب باعث کاهش $1/2$ و $2/3$ برابری در مقدار سرب شاخساره گیاه شده است.

اثر برهمکنش کاربرد کمپوست پسماند شهری و بیوچار بر کاهش مقدار سرب شاخساره گیاه سورگوم معنی دار بود، به نحوی که کاربرد 20 ton/ha کمپوست پسماند شهری به همراه 15 g/kg بیوچار در خاک آلوده به $800 \text{ mg Pb/kg soil}$ باعث شده تا میزان سرب شاخساره گیاه از $(C_{20}B_1Pb_{800})$ $46/4$ به $11/4 \text{ mg Pb/kg shoot}$ کاهش یابد.

کاربرد کمپوست پسماند شهری و بیوچار بر میزان سرب قابل دسترس خاک معنی دار بود، به نحوی که کاربرد همین میزان کود و 15 g/kg بیوچار در خاک آلوده به $(C_{20}B_1Pb_{800})$ $800 \text{ mg Pb/kg soil}$ باعث شده تا سرب قابل دسترس خاک از $87/6$ به $23/3 \text{ mg Pb/kg soil}$ کاهش یابد.

– اثر تیمارهای مورد آزمایش بر غلظت سرب ریشه گیاه
بیشترین غلظت سرب در ریشه گیاه سورگوم در خاک فاقد کاربرد کمپوست پسماند شهری و آلوده به $(C_0B_0Pb_{1000})$ $1000 \text{ mg Pb/kg soil}$ و کمترین آن در خاک تیمار شده با 20 ton/ha کمپوست پسماند شهری و آلوده به $(C_{20}B_1Pb_{600})$ $600 \text{ mg Pb/kg soil}$ به ترتیب به میزان $230/3$ و $72/4 \text{ mg Pb/kg root}$ مشاهده شد (جدول ۳).

کاربرد بیوچار پوسته انار توانست نقش موثری در کاهش مقدار سرب ریشه گیاه سورگوم داشته باشد، به نحوی که کاربرد 15 g/kg در خاک فاقد کاربرد کود آلی و آلوده به $(C_0B_1Pb_{800})$ $800 \text{ mg Pb/kg soil}$ باعث شده تا مقدار سرب ریشه گیاه از $182/4$ به $162/4 \text{ mg Pb/kg root}$ کاهش یابد. همچنین کاربرد کمپوست پسماند شهری نیز توانسته است نقش موثری در کاهش میزان سرب ریشه گیاه داشته باشد، به نحوی که کاربرد 10 و 20 ton/ha کمپوست پسماند شهری شازند در خاک آلوده به $1000 \text{ mg Pb/kg soil}$ به ترتیب باعث کاهش $1/8$ و $2/2$ برابری در مقدار سرب ریشه گیاه شد. اثر برهمکنش کاربرد کمپوست پسماند شهری و بیوچار پوسته انار بر مقدار سرب ریشه گیاه سورگوم نیز معنی دار بود، به نحوی که کاربرد 20 ton/ha کمپوست پسماند شهری به همراه 15 g/kg در خاک آلوده به $(C_{20}B_1Pb_{1000})$

جدول ۳- اثر کاربرد کمپوست پسماند شهری، بیوچار و سرب بر غلظت سرب ریشه گیاه (mg/kg)

تیمار	B_0Pb_0	B_0Pb_{600}	B_0Pb_{800}	B_0Pb_{1000}	B_1Pb_0	B_1Pb_{600}	B_1Pb_{800}	B_1Pb_{1000}
C_0	ND*	$151/6^{e**}$	$182/4^c$	$230/3^a$	ND	$134/4^f$	$162/4^d$	$201/4^b$
C_{10}	ND	$92/4^j$	$100/1^i$	$126/1^g$	ND	$80/3^n$	$91/6^k$	$105/4^h$
C_{20}	ND	$81/4^m$	$91/2^k$	$100/3^i$	ND	$72/4^o$	$80/1^n$	$86/8^l$

ND*: قابل اندازه گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود

** داده‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD دارای اختلاف معنی داری نیستند.

جدول ۴- اثر کاربرد کمپوست پسماند شهری، بیوپچار و سرب بر غلظت سرب شاخساره گیاه (mg/kg)

تیمار	B ₀ Pb ₀	B ₀ Pb ₆₀₀	B ₀ Pb ₈₀₀	B ₀ Pb ₁₀₀₀	B ₁ Pb ₀	B ₁ Pb ₆₀₀	B ₁ Pb ₈₀₀	B ₁ Pb ₁₀₀₀
C ₀	ND*	۲۵/۱ ^{e**}	۳۳/۴ ^b	۴۶/۴ ^a	ND	۱۸/۴ ^g	۱۴/۸ ^e	۳۴/۳ ^b
C ₁₀	ND	۱۸/۳ ^g	۲۶/۴ ^d	۲۹/۶ ^c	ND	۱۴/۱ ⁱ	۱۹/۲ ^g	۲۲/۴ ^f
C ₂₀	ND	۱۱/۹ ^j	۱۴/۱ ⁱ	۱۶/۳ ^h	ND	۸/۲ ^k	۱۱/۴ ^j	۱۳/۶ ⁱ

*ND: قابل اندازه گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود

** داده‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD دارای اختلاف معنی‌داری نیستند.

بحث

اثر تیمارهای مورد آزمایش بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

کاربرد بیوپچار پوسته انار به همراه کمپوست پسماند شهری شازند باعث افزایش معنی‌دار pH خاک شده که می‌تواند قابلیت جذب فلزات سنگین را تحت تاثیر قرار دهد (۱۰). Baghaie در پژوهشی افزایش pH خاک را عامل موثری در جهت کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در یک خاک آلوده به کادمیوم دانست که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (۵). همچنین نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که کاربرد کمپوست پسماند شهری با افزایش کربن آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک تاثیرگذار است. Molaei و همکاران (۶) در پژوهشی کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی از قبیل پوسته پسته را عامل موثری در افزایش کربن آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک دانستند و چنین نتیجه‌گیری کردند که کاربرد این قبیل ترکیبات با افزایش کربن آلی خاک توانسته است نقش موثری در کاهش قابلیت دسترسی فلز سنگین در خاک داشته باشد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. Hoshyar و همکاران نیز (۱۸) در پژوهشی نشان دادند که کاربرد لجن فاضلاب از طریق افزایش درصد کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک توانسته است نقش موثری در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک شود.

سرب قابل دسترس خاک

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، کاربرد بیوپچار پوسته انار توانسته است نقش موثری در تثبیت و کاهش مقدار سرب قابل دسترس خاک داشته باشد که دلیل احتمالی آن را می‌توان به نقش کاربرد بیوپچار در افزایش ویژگی‌های جذبی خاک و به دنبال آن کاهش قابلیت دسترسی مقدار سرب قابل دسترس خاک دانست (۱۰). اصولاً حضور گروه‌های عامل در سطح بیوپچار به دلیل داشتن بار منفی، بیوپچار را قادر می‌سازند تا بتوانند آلودگی ناشی از فلزات سنگین را تثبیت و کاهش دهند (۱۰)، از سویی دیگر، با توجه به اینکه اینگونه ترکیبات دارای بار وابسته به pH هستند، با افزایش pH خاک در اثر کاربرد بیوپچار، بار منفی گروه‌های عامل در سطح بیوپچار افزایش یافته و ظرفیت جذب عناصر افزایش یافته و باعث کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک می‌شود (۱۷). Zhang و همکاران (۱۹) اظهار کردند که بیوپچار با بالا بردن pH خاک می‌تواند سبب کاهش تحرک فلزات سنگین در خاک شود و دلیل آن را تبدیل شکل‌های محلول برخی فلزات سنگین به شکل‌هایی با حلالیت بسیار کم همزمان با کاربرد بیوپچار دانستند که این می‌تواند یکی از نکات مثبت زیست محیطی کاربرد این ترکیبات در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین باشد که با نتایج پژوهش‌های حاضر مطابقت دارد (۲۰). کاربرد کمپوست پسماند شهری شازند نیز تاثیر معنی‌داری بر تثبیت و کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک داشت، به

نحوی که کاربرد ۱۰ و ۲۰ ton/ha کمپوست پسماند شهری شازند در خاک آلوده به ۱۰۰۰ mg Pb/kg soil به ترتیب باعث کاهش ۱/۵ و ۳/۱ برابری در میزان سرب قابل دسترس خاک شده است که دلیل آن را می‌توان به نقش بخش آلی و معدنی موجود در کمپوست پسماند شهری بر کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک دانست (۱۷). مواد آلی به دلیل دارا بودن مواد هیومیک دارای ظرفیت جذب سطحی زیادی برای عناصر سنگین هستند. Tabarteh و همکاران (۲۱) در پژوهشی به بررسی نقش کاربرد افزودنی‌های آلی بر کاهش قابلیت دسترسی سرب پرداخته و چنین نتیجه‌گیری کردند که کاربرد کود آلی با افزایش ویژگی‌های جذبی خاک نقش موثری در کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک داشته که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

نتایج برخی پژوهش‌ها حاکی از آن است که کاربرد کمپوست پسماند شهری به دلیل داشتن فلزات سنگین باعث افزایش غلظت سرب و کادمیوم شده است (۲۲)، این در حالی است که نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد کمپوست پسماند شهری شازند به دلیل پایین بودن غلظت فلزات سنگین توانسته است به‌عنوان یک ترکیب جاذب فلز سنگین عمل کرده و باعث کاهش قابلیت دسترسی مقدار سرب قابل دسترس خاک شود که با توجه به موقعیت ضعیف بازیافت پسماند شهری در منطقه شازند، کاربرد این ترکیب علاوه بر اینکه می‌تواند کمکی به بازیافت پسماند شهری داشته باشد، می‌تواند تا حدودی معضل بالا بودن غلظت فلزات سنگین را با کاهش قابلیت دسترسی این عنصر حل کند. هر چند که نقش کاربرد کمپوست پسماند شهری و بیوجار در افزایش عناصر غذایی گیاه و کمک به رشد گیاه نایبستی نادیده گرفته شود. Moldes و همکاران (۲۳) گزارش کردند که کمپوست پسماند شهری در زمان کوتاهی عناصر قابل دسترس را فراهم می‌کند و فعالیت میکروبی را تحریک نموده و در درازمدت موجب حفظ مخازن عناصر غذایی و مواد آلی خاک می‌گردد. در این راه استفاده از بیوجار نیز می‌تواند به‌عنوان یک ترکیب مکمل کمک به کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک کند.

- غلظت سرب ریشه گیاه

کاربرد بیوجار پوسته انار توانسته است نقش موثری نیز در کاهش مقدار سرب ریشه گیاه سورگوم داشته باشد. Hejazizadeh و همکاران (۱۰) در پژوهشی تاثیر بیوجار بر جذب سرب و کادمیم لجن فاضلاب کارخانه‌های کاغذ توسط آفتابگردان را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که کاربرد بیوجار موجب کاهش معنی‌دار غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی و ریشه آفتابگردان شده است. نتایج پژوهش Zheng و همکاران (۲۴) نیز حاکی از آن بود که استفاده از بیوجار باعث کاهش غلظت کادمیم در ریشه‌های برنج شده است. بیوجار سبب عدم تحرک و تثبیت فلزات شده و همین عامل می‌تواند سبب کاهش غلظت فلز در گیاه شود. همچنین تشکیل گروه‌های عاملی کربوکسیلیک و گروه‌های عاملی آروماتیک هیدروکسید در طول اکسیداسیون بیوجار، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش می‌دهد و احتمالاً باعث تشکیل کمپلکس‌های پایدار بیوجار-فلز سنگین در خاک می‌شود (۲۴).

کاربرد کمپوست پسماند شهری نیز نقش موثری در کاهش میزان سرب ریشه گیاه داشت که این می‌تواند یک نکته مثبت زیست محیطی به حساب آید. نتایج مشابه مشاهده شده در مقدار سرب قابل دسترس خاک تاکید بر این ادعا است. Basta و همکاران (۲۵) جذب سطحی فلزات سنگین توسط گروه‌های کربوکسیلیک، فنلیک، هیدروکسیل را از عوامل کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین از جمله سرب و کادمیوم همزمان با کاربرد افزودنی‌های آلی دانستند. در این راستا Saadat و همکاران (۲۶) در پژوهشی به نقش کاربرد افزودنی‌های آلی از قبیل لجن فاضلاب بر کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در گیاه ذرت اشاره داشته و دلیل آن را به نقش بار منفی گروه‌های عاملی در تثبیت فلزات سنگین نسبت دادند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

- غلظت سرب شاخساره گیاه

کاربرد بیوجار نقش موثری را نیز در کاهش سرب شاخساره گیاه سورگوم داشته است که دلیل آن را می‌توان به نقش کاربرد بیوجار در کاهش مقدار سرب قابل دسترس خاک و

ساوه هم توانست کمک شایانی به کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک و گیاه کند، به نحوی که کمترین میزان سرب ریشه و شاخساره گیاه سورگوم همزمان با کاربرد ۲۰ ton/ha کمپوست پسماند شهری شازند به همراه ۱۵ g/kg بیوچار پوسته انار بوده است. با توجه به اینکه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک می‌تواند تاثیر به سزایی در میزان سرب قابل دسترس خاک داشته باشد، جهت کاربردی کردن این پژوهش در محیط مزرعه‌ای علاوه بر در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی مسئله، اثرات جانبی کاربرد کمپوست پسماند شهری و بیوچار بر ویژگی‌های خاک نیز مد نظر قرار گیرد. از سویی دیگر تاثیر کاربرد این قبیل ترکیبات بر ویژگی‌های مرفولوژیکی گیاه نظیر عملکرد در محیط مزرعه در یک خاک آلوده به سرب نیز بایستی مورد بررسی قرار گیرد. از سویی دیگر پیشنهاد می‌شود اثر زمان نیز بر میزان جذب فلزات سنگین در خاک و گیاه در محیط مزرعه مورد بررسی قرار گیرد. همچنین با توجه به اینکه در بسیاری مواقع آلودگی چندین فلز سنگین وجود دارد، پیشنهاد می‌شود اثر کمپوست زباله شهری و بیوچار پوسته انار بر رفتار جذبی سایر فلزات سنگین نیز مورد بررسی قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

نویسنده مقاله کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده است.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسنده مقاله بر خود لازم می‌داند از معاونت پژوهشی و حمایت‌های بیدریغ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، به جهت در اختیار قرار دادن امکانات برای انجام این پژوهش، کمال تقدیر و تشکر را بنماید.

ریشه گیاه و به دنبال آن کاهش مقدار سرب شاخساره گیاه دانست. Namgay و همکاران (۲۷) نیز در پژوهشی کاربرد بیوچار را عامل موثری در کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین توسط گیاه ذرت گزارش کردند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. Afrasiabi و همکاران (۲۸) نیز در پژوهشی به تاثیر بیوچار تفاله پسته بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم اشاره کردند.

کاربرد کمپوست پسماند شهری شازند نیز تاثیر معنی‌داری بر کاهش غلظت سرب شاخساره گیاه داشته است که دلیل آن را احتمالاً می‌توان به دلیل نقش بخش معدنی و آلی موجود در این ترکیبات در کاهش قابلیت دستیابی به سرب قابل دسترسی خاک و به دنبال آن کاهش مقدار سرب شاخساره گیاه دانست. نکته قابل توجه در این پژوهش در این است که با توجه به آلودگی کم کمپوست پسماند شهری شازند، استفاده از این ترکیب توانسته است کمک شایانی به کاهش قابلیت دسترسی سرب در یک خاک آلوده به سرب داشته باشد، از سویی دیگر نقش کمپوست پسماند شهری در افزایش قدرت باروری گیاه نبایستی نادیده گرفته شود. بنابراین استفاده از این ترکیب هم می‌تواند به مدیریت بازیافت پسماند در این شهرستان کمک کرده و هم باعث کاهش قابلیت دسترسی فلز سنگین برای گیاه در یک خاک آلوده به سرب شود. نویسنده مقاله در پژوهشی دیگر (۲۹) به نقش کاربرد کمپوست پسماند شهری در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در گیاه اسفناج پرداخته است و دلیل آن را حضور گروه‌های عامل با بار منفی در کمپوست پسماند شهری دانستند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که کاربرد کمپوست پسماند شهری شازند توانسته است باعث کاهش معنی‌دار سرب قابل دسترس خاک، همچنین کاهش غلظت سرب در ریشه و شاخساره گیاه شود که دلیل احتمالی آن را می‌توان به نقش بخش معدنی و آلی موجود در کمپوست پسماند شهری در کاهش قابلیت دسترسی سرب دانست. همچنین استفاده از بیوچار پوسته انار

References

1. Torbati S. Feasibility Study on Phytoremediation of Malachite Green Dye from Contaminated Aqueous Solutions Using Watercress (*Nasturtium Officinale*). Iranian Journal of Health and Environment. 2017;9(4):503-16 (in Persian).
2. Joneidi Jafari A, Rastegar A, Farzadkia M, Rezaee Kalantary R, Rezaee Gozalabad Z. Survey of the effects of soil type on the leaching and adsorption of heavy metals (chromium, lead and cadmium) after compost application on the soils. Iranian Journal of Health and Environment. 2014;6(4):523-34 (in Persian).
3. Mehrasbi M. Heavy metal removal from aqueous solution by adsorption on modified banana shell. Iranian Journal of Health and Environment. 2008;1(1):57-66 (in Persian).
4. Tabande L, Taheri M. Evaluation of exposure to heavy metals Cu, Zn, Cd and Pb in vegetables grown in the olericultures of Zanjan Province's fields. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(1):41-56 (in Persian).
5. Baghaie A. Effect of municipal waste compost and zeolite on reduction of cadmium availability in a loamy soil (A case study: Arak municipal waste compost). Journal of Soil Management and Sustainable Production. 2017;6(4):103-17 (in Persian).
6. Molaei S, Shirani H, Hamidpour M, Shekofteh H, Besalatpour A. Effect of vermicompost, pistachio kernel and shrimp shell on some growth parameters and availability of Cd, Pb and Zn in corn in a polluted soil. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 2016;19(74):113-24 (in Persian).
7. Yu X-Y, Ying G-G, Kookana RS. Reduced plant uptake of pesticides with biochar additions to soil. Chemosphere. 2009;76(5):665-71.
8. Shi W-y, Shao H-b, Li H, Shao M-a, Du S. Progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite. Journal of Hazardous Materials. 2009;170(1):1-6.
9. Chan K, Van Zwieten L, Meszaros I, Downie A, Joseph S. Using poultry litter biochars as soil amendments. Soil Research. 2008;46(5):437-44.
10. Hejazizadeh A, Gholamalizadeh Ahangar A, Ghorbani M. Effect of biochar on lead and cadmium uptake from applied paper factory sewage sludge by sunflower (*Heliantus annus L.*). Water and Soil science. 2016;26(1):259-71 (in Persian).
11. Biria M, Moezzi A, Amerikhah H. Effect of Sugarcane bagasse made biochar on maize plant growth, grown in lead and cadmium contaminated soil. Journal of Water and Soil. 2017;31:609-26 (in Persian).
12. Baghaie A, Khoshgoftarmanesh AH, Afyuni M, Schulin R. The role of organic and inorganic fractions of cow manure and biosolids on lead sorption. Soil Science and Plant Nutrition. 2011;57(1):11-18.
13. Mashayekhi HR, Baghaie AH, Gomarian M. Effect of EDTA Chelate and Cow Manure on Cd Uptake by Pot Marigold in a Polluted Soil. Iranian Journal of Soil Research. 2017;31(3):405-17 (in Persian).
14. Khanmohammadi Z, Afyuni M, Mosaddeghi MR. Effect of pyrolysis temperature on chemical properties of Sugarcane bagasse and pistachio residues biochar. Applied Soil Research. 2016;3(1):1-13 (in Persian).
15. Baghaie A, Khoshgoftarmanesh A, Afyuni M. Crop effects on lead fractionation in a soil treated with lead organic and inorganic sources. Journal of Residuals Science & Technology. 2010;7(3):131-38.
16. Saadat K, Barani Motlagh M. Influence of Iranian natural zeolites, clinoptilolite on uptake of lead and cadmium in applied sewage sludge by Maize (*Zea mays. L.*). Journal of Water and Soil Conservation. 2013;20:123-43 (in Persian).
17. Sharifi M, Afyuni M, Khoshgoftarmanesh A. Effects of sewage sludge, animal manure, compost and cadmium chloride on cadmium accumulation in corn and alfalfa. Journal of Residuals Science & Technology. 2010;7(4):219-25.
18. Houshyar P, Baghaei A. Effectiveness of DTPA Chelate on Cd availability in soils treated with sewage sludge. Journal of Water and Wastewater. 2017;28(4):103-11 (in Persian).
19. Zhang X, Wang H, He L, Lu K, Sarmah A, Li J, et al. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. Environmental Science and Pollution Research. 2013;20(12):8472-83.
20. Liu T, Liu B, Zhang W. Nutrients and heavy met-

- als in biochar produced by sewage sludge pyrolysis: its application in soil amendment. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2014;23(1):271-75.
21. Farahani N, Baghaie A. Interactive effect of Fe and Pb on decreasing corn Pb availability in a Pb-polluted soil. *Journal of Water and Soil*. 2017;31(4):1187-99 (in Persian).
22. Baldantoni D, Leone A, Iovieno P, Morra L, Zaccardelli M, Alfani A. Total and available soil trace element concentrations in two Mediterranean agricultural systems treated with municipal waste compost or conventional mineral fertilizers. *Chemosphere*. 2010;80(9):1006-13.
23. Moldes A, Cendon Y, Barral M. Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component, by applying mixture design. *Bioresource Technology*. 2007;98(16):3069-75.
24. Zheng R-L, Cai C, Liang J-H, Huang Q, Chen Z, Huang Y-Z, et al. 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*. 2012;89(7):856-62.
25. Basta N, Ryan J, Chaney R. Trace element chemistry in residual-treated soil. *Journal of Environmental Quality*. 2005;34(1):49-63.
26. Saadat K, Barani Motlagh M. Influence of Iranian natural zeolites, clinoptilolite on uptake of lead and cadmium in applied sewage sludge by Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Water and Soil Conservation*. 2013; 20(4):123-43 (in Persian).
27. Namgay T, Singh B, Singh BP. Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Soil Research*. 2010;48(7):638-47.
28. Afrasiabi B, Adhami E, Owliaie H. Effect of biochar produced at different temperatures on cadmium availability in a calcareous soil under different moisture regims over time. *Journal of Water and Soil*. 2016;3:811-21 (in Persian).
29. Baghaie A. 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*. 2017;10(3):401-10 (in Persian).



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Effect of applying Shazand municipal compost waste and Saveh pomegranate peel biochar on decreasing Pb availability in soil and Sorghum plant

AH Baghaie*

Department of Soil Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 12 March 2018

Revised: 9 June 2018

Accepted: 11 June 2018

Published: 17 September 2018

Keywords: Soil pollution, Soil remediation, Shazand municipal waste compost, Lead, Biochar

***Corresponding Author:**
a-baghaie@iau-arak.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Today, landfill management of municipal waste and soil pollution with heavy metals are major environmental problems. This research was conducted to evaluate the effect of Shazand municipal waste compost and Saveh pomegranate peel biochar on decreasing Pb availability in soil and sorghum plant.

Materials and Methods: Treatments consisted of applying Shazand municipal waste compost (0, 10 and 20 ton/ha) and Saveh pomegranate peel biochar (0 and 15 g/kg) in a Pb polluted soil (0, 600, 800 and 1000 mg Pb/kg soil). After 8 weeks of sorghum planting (*Kimya CV.*), the soil physio-chemical properties and soil and plant Pb concentration were measured.

Results: Applying 20 ton/ha municipal waste compost with 15 g/kg biochar increased soil pH by 0.4 units and decreased soil Pb availability by 11%. The similar results were observed for the root and shoot Pb concentrations, when the same amount of manure in a Pb polluted soil was applied (1000mg Pb/kg soil) that decreased the root and shoot Pb concentration by 1.8 and 2.2 times, respectively.

Conclusion: The result of this experiment showed that applying Shazand municipal waste compost and biochar can increase soil sorption properties and decrease soil or plant Pb concentration. However, the role of these organic amendments on supplying plant nutritional needs cannot be ignored.