مقاله کامل علمی- پژوهشی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و هفتم، شماره چهارم، ۱۳۹۹
۸۹-۱۰۸
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2020.17392.3287

تأثیر مقادیر مختلف بیوچار طبیعی و کود مرغی بر فراهمی روی و کادمیم در یک خاک آلوده

مسعود مولاوردی[۱]، احمد گلچین[۲] و *زهرا وارسته خانلری[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان،
[۳]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ملایر

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰٤/۰۳

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی خاک و گیاه به عناصر سنگین در اثر فعالیت‌های صنعتی بر سلامت انسان‌ها آثار سوء داشته و در چند دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. فلزات سنگین می‌توانند از طریق ورود به چرخه خاک و محصولات غذایی، سلامت خاک، گیاه و انسان را به خطر اندازند. به‌منظور کاهش اثرات مضر فلزات سنگین بر اکوسیستم خاک و آلودگی مواد غذایی یک آزمایش فاکتوریل در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه به اجرا درآمد. هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر مقادیر مختلف بیوچارطبیعی و کود مرغی بر فراهمی عناصر روی و کادمیم در یک خاک آلوده بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور انجام این پژوهش ابتدا سطوح مختلف کود مرغی (صفر، ۰/۵، ۱، ۲، ٤ و ۸ درصد وزنی) و بیوچار طبیعی (صفر، ۲، ٤، ٦، ۸ و ۱۰ درصد وزنی) به‌صورت جداگانه، به یک خاک آلوده اضافه شد. سپس ٤ سطح زمان خوابانیدن در رطوبت ظرفیت مزرعه (۱، ۲، ۳ و ٤ ماه) بر آن‌ها اعمال گردید. در فواصل زمانی ذکر شده از گلدان‌ها نمونه‌های فرعی تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید و پس از خشک کردن در آون در دمای ۵۵-۵۰ درجه، pH، EC، مقدار کل و قابل‌جذب عناصر روی و کادمیم در آن‌ها اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل مدت زمان خوابانیدن و سطوح کود مرغی و بیوچار نشان داد که با افزایش سطح مصرف و مدت زمان خوابانیدن میزان PH خاک به‌ترتیب ۳/۹ و ۱/٤ درصد کاهش و مقدار EC به‌ترتیب ۳٦/۵ و ۱۰/٤ درصد افزایش یافت. بین تیمار شاهد یا سطح صفر درصد کود مرغی و بیوچار با تیمار ۸ درصد کود مرغی و بیوچار از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری وجود داشت (سطح احتمال ۵ درصد). با افزایش مدت زمان خوابانیدن و سطوح کود مرغی و بیوچار طبیعی میزان غلظت قابل‌جذب روی و کادمیم خاک به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P<۰/۰۵$) که میزان کاهش در تیمارهای حاوی کود مرغی برای روی و کادمیم به‌ترتیب ۱۹/۹ و ۲۹/۵ درصد و در تیمارهای حاوی بیوچار طبیعی نیز برای روی و کادمیم به‌ترتیب ۲۸/٤ و ۲۲/۷ درصد اندازه‌گیری شد. در تیمارهای

* مسئول مکاتبه: z.khanlari93@gmail.com

حاوی کود مرغی کم‌ترین میزان غلظت روی و کادمیم استخراج شده با عصاره‌گیر DTPA در ماه چهارم و سطح مصرف ۸ درصد به‌ترتیب ۳۰٤/۷ و ۱۰/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بیش‌ترین مقدار آن نیز در ماه اول در تیمار شاهد (سطح صفر درصد) به‌ترتیب ۳۸۰/۲ و ۲۰/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید. در تیمارهای حاوی بیوچار طبیعی نیز کم‌ترین میزان روی و کادمیم استخراج شده با عصاره‌گیر DTPA در ماه چهارم و سطح مصرف ۱۰ درصد به‌ترتیب ۲۷۲/٤ و ۱۲/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بیش‌ترین مقدار آن نیز در ماه اول در تیمار شاهد (سطح صفر درصد) به‌ترتیب ۳۸۰/۳ و ۲۰/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این پژوهش کاربرد بیوچار و کودمرغی سبب کاهش غلظت قابل‌جذب فلزات سنگین مورد مطالعه در خاک شد. اگرچه تیمارهای حاوی بیوچار و کود مرغی غلظت قابل‌جذب فلزات را در خاک کاهش دادند، اما با افزایش سطوح کود مرغی و بیوچار و مدت زمان خوابانیدن خاک غلظت قابل‌جذب فلزات مورد مطالعه در خاک بیش‌تر کاهش یافت. در کل، می‌توان بیان کرد که کاربرد کود مرغی و بیوچار طبیعی در خاک روش مؤثری برای کاهش سمیت و میزان غلظت قابل‌جذب فلزات سنگین خاک و هم‌چنین بالا بردن عملکرد و کیفیت محصولات زارعی است.

واژه‌های کلیدی: بیوچار طبیعی، خوابانیدن، فلزات سنگین، کود مرغی

مقدمه

تجمع فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی با توجه به اثرات مضر آن بر اکوسیستم خاک و به‌دلیل مسائل ایمنی، آلودگی مواد غذایی و خطرات بالقوه بهداشتی، باعث افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی شده است (۱۲). همواره تلاش بر آن بوده که از ورود آن‌ها به چرخه طبیعت تا حد امکان جلوگیری شود. برخلاف سایر آلاینده‌ها، حذف فلزات سنگین از محیط بسیار مشکل است، زیرا این فلزات به‌طور شیمیایی یا بیولوژیکی تخریب نمی‌شوند و غیرقابل تجزیه هستند اما می‌توانند اکسید، احیا یا به‌وسیله مواد آلی کمپلکس شوند. بنابراین باید از روش‌های قابل‌اعتمادی برای تصفیه مکان‌های آلوده به فلزات استفاده کرد (۲۸). از اصلاح‌گرهای متعددی برای تثبیت فلزات سنگین و کاهش قابلیت زیست‌فراهمی آن‌ها و استقرار بهتر گیاهان در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین استفاده می‌شود (۲۷). در میان این اصلاح‌کننده‌ها بیوچار[1] به‌طور گسترده‌ای برای تثبیت عناصر سنگین در خاک‌های آلوده استفاده می‌شود (٤). بیوچار جسمی جامد، کربنی و متخلخل است که به‌واسطه تبدیل حرارتی- شیمیایی مواد آلی در یک محیط با محدودیت اکسیژن به وجود آمده و دارای خصوصیات فیزیکوشیمیایی مناسب برای ذخیره‌سازی امن و طولانی‌مدت کربن در محیط‌زیست و اصلاح خاک است (۱۹). نتایج مطالعات متعدد نشان می‌دهد مصرف بیوچار از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باعث افزایش باروری خاک می‌گردد (۳ و ۳۲). اثرات بیوچار در افزایش حاصلخیزی خاک به افزایش pH خاک‌های اسیدی (۳۵) و بهبود نگهداشت عناصر غذایی به‌واسطه جذب سطحی کاتیون‌ها (۲۳)، افزایش میزان کربن آلی خاک (۱۲) نسبت داده شده است. اوستریر و همکاران (۲۰۱۷) در طی پژوهشی گزارش کردند بیوچار تهیه شده از پوست درخت کاج و ترکیب با کمپوست به‌طور

1- Biochar

مؤثری مقدار Cd، Pb و Zn را در خاکی که با رسوبات اتمسفری آلوده شده بود را تثبیت کرد. هم‌چنین پتانسیل شستشوی فلزات سنگین را از ناحیه ریشه به آب‌های زیرزمینی و انتشار آن به محیط‌زیست را کاهش داد (۳۱). کبیری و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه پتانسیل گیاه‌پالایی ذرت تحت‌تأثیر بیوچارهای برگ گردو در یک خاک‌آلوده به این نتیجه رسیدند که کاربرد بیوچار با کاهش مقدار سرب در دسترس، مقدار سرب در گیاه را کاهش و رشد ذرت را افزایش داد. بنابراین می‌توان از بیوچار برای تثبیت گیاهی[1] در خاک در گیاه‌پالایی استفاده کرد (۱۸).

کودهای آلی نیز از دیگر مواد اصلاحی هستند که برای بهبود کیفیت خاک و عملکرد محصولات کشاورزی به کار می‌روند (۳٦). استفاده مستمر از این ترکیبات باعث افزایش عناصر غذایی و بهبود برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود (۳۸). بعضی از کودهای آلی مانند کودهای مرغی ممکن است اثر دوگانه بر قابلیت جذب فلزات سنگین در خاک داشته باشند. گاهی اوقات کودهای مرغی به‌علت جذب سطحی فلزات سنگین و همچنین به علت داشتن فسفر قابل‌جذب بالا قابلیت جذب و گیاه فراهمی فلزات سنگین را کاهش می‌دهند (۳٤ و ۷). گاهی اوقات نیز فرایند کلات‌سازی فلزات سنگین که به کمک مواد آلی با وزن مولکولی کم صورت می‌گیرد و هم‌چنین به‌علت غنی بودن بعضی از کودهای مرغی از فلزات سنگین گیاه فراهمی فلزات سنگین افزایش می‌یابد. در پژوهشی ادوول و همکاران (۲۰۱٤) کارایی کود مرغی و خاک اره به‌صورت جداگانه و توأم برای اصلاح خاک‌های آلوده به سرب و کادمیم را موردبررسی قرار دادند.کود مرغی و خاک اره به‌ترتیب با نسبت‌های ۰:٤، ۱:۳، ۲:۲، ۳:۱ و ٤:۰ ترکیب و پنج تیمار کودی هر کدام در سطح صفر، ٤ و ۸ تن در هکتار به‌کار برده شدند. گیاه آفتابگردان در این خاک‌ها کشت و پس از برداشت آنالیز شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین جذب سرب و کادمیم توسط آفتابگردان در تیماری که از ۸ تن کود مرغی در هکتار استفاده شده بود، مشاهده گردید (۲). این مطالعه به‌منظور بررسی تأثیر بیوچار طبیعی که از معدن استخراج می‌شود و ویژگی‌های متفاوتی نسبت به بیوچارهایی که در آزمایشگاه و صنعت ساخته می‌شود، دارد و چنان‌چه این بیوچار در غیرمتحرک کردن فلزات سنگین مؤثر باشد می‌توان از آن به‌طور گسترده برای اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین استفاده نمود، انجام پذیرفت. هم‌چنین در این پژوهش از ماده اصلاحی کود مرغی نیز استفاده گردید. نتایج به‌دست‌آمده برای کود مرغی در متحرک کردن فلزات سنگین ضدونقیض است و این پژوهش می‌تواند به‌روشنی بعضی از ابهامات در این زمینه کمک کند. هم‌چنین برای اصلاح با بیوچار و کود مرغی یک خاک‌آلوده طبیعی انتخاب گردیده است بنابراین نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش با اطمینان بیش‌تری برای اصلاح خاک‌های آلوده منطقه قابل‌استفاده است. بنابراین در این پژوهش هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف بیوچار طبیعی و کود مرغی بر تحرک و فراهمی فلز روی و کادمیم با گذشت زمان در یک خاک آلوده طبیعی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

خاک‌آلوده مورداستفاده در این پژوهش از اطراف شهرک صنعتی روی در استان زنجان و از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری به‌صورت مرکب تهیه گردید، مختصات محل تهیه خاک آلوده با طول جغرافیایی ٤۸ درجه، ۲۵ دقیقه و ۳۸/۱ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳٦ درجه، ۳۸ دقیقه و ۳۰/۹ ثانیه شمالی در اطراف شهرک صنعتی روی در شکل ۱ نشان داده شده است.

1- Phytostabilization

شکل ۱- مختصات محل خاک آلوده در اطراف شهرک صنعتی روی.

Figure 1. Coordinates of contaminated soil around the industrial town of Zn.

بعد از نمونه‌برداری خاک مورد مطالعه به آزمایشگاه منتقل گردید و پس از هواخشک شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و به‌طور کامل مخلوط و یکنواخت گردید. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله بافت خاک، قابلیت هدایت الکتریکی خاک (نسبت ۱ به ۵) و pH (نسبت ۱ به ۵) اندازه‌گیری شد (۱۷ و ۲۰). هم‌چنین در این پژوهش غلظت کل (به روش تیزاب سلطانی) و قابل‌دسترس فلز سنگین (به روش DTPA[1]) سرب، روی و کادمیم در خاک (۲۵) نیز مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

کود مرغی مورداستفاده از مرغداری دانشگاه زنجان واقع در شهرستان زنجان تهیه شد، و پس از هوا خشک شدن آسیاب گردید. سپس از الک دو میلی‌متری عبور و به‌طور کامل مخلوط و یکنواخت شد. بیوچار طبیعی مورداستفاده برای انجام پژوهش از معدنی واقع در شهرستان کوهبنان کرمان تهیه گردید. معدن زغال‌سنگ همکار کوهبنان یکی از معادن بخش مرکزی شهرستان کوهبنان استان کرمان است. فاصله این معدن تا کوهبنان ۲۵ کیلومتر و تا مرکز استان کرمان ۱۹۳ کیلومتر است. سپس این بیوچار هوا خشک و آسیاب گردید. سپس برای یکنواختی بیش‌تر از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و به‌طور کامل مخلوط و یکنواخت شد.

برای اندازه‌گیری عناصر غذایی موجود در کود مرغی و بیوچار ابتدا آن‌ها را به‌روش هضم‌تر (اسیدسولفوریک، اسید سالسیلیک و آب اکسیژنه) هضم (۵) و سپس میزان نیتروژن به روش کجلدال (۱۱)، فسفر به‌روش رنگ‌سنجی (تشکیل کمپلکس آمونیوم مولیبدات وانادات)، پتاسیم به‌روش فلیم فتومتر و کربن آلی (۳۷) اندازه‌گیری شد. هم‌چنین اسیدیته و هدایت الکتریکی (۲۶) و ظرفیت تبادل کاتیونی (۱۰) نیز اندازه‌گیری گردید.

1- Diethylenetriaminepentaacetic acid

تعیین گروه‌های عاملی نمونه‌های کود مرغی و بیوچار به روش طیف‌سنجی مادون‌قرمز (FTIR)[1] انجام شد. ابتدا نمونه‌های بیوچار و پودر پتاسیم برماید (KBr) در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۱۲ ساعت قرار داده شد و پس از خشک شدن با نسبت ۱ به ۲۰ با هم مخلوط و در دستگاه قرار داده شد (٤٠).

به‌منظور بررسی تاثیرسطوح مختلف کود مرغی و بیوچار طبیعی بر گیاه فراهمی روی و کادمیم در یک خاک آلوده یک آزمایش در دو بخش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه به اجرا درآمد. در بخش اول این آزمایش کود مرغی در ٦ سطح (صفر، ۰/۵، ۱، ۲، ٤ و ۸ درصد وزنی) به نمونه‌های ۵ کیلوگرمی از یک خاک‌آلوده اضافه شد. سپس خاک‌های تیمار شده با کود مرغی در گلدان‌های پلاستیکی در رطوبت ظرفیت مزرعه به‌مدت ۱، ۲، ۳ و ٤ ماه خوابانیده شدند. در فواصل زمانی ذکرشده از گلدان‌ها نمونه‌های فرعی تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید و پس از خشک‌کردن در آون در دمای ۵۵-۵۰ درجه، مقدار pH و EC هم‌چنین غلظت کل و قابل‌جذب عناصر روی و کادمیم در آن‌ها اندازه‌گیری گردید. فاکتورهای مورد بررسی در بخش اول آزمایش شامل سطوح کود مرغی به‌کار رفته در ٦ سطح و مدت زمان خوابانیدن در ٤ سطح بود، بنابراین تعداد تیمار آزمایشی ٢٤ مورد بود که با اعمال نمودن ۳ تکرار در مجموع ۷۲ واحد آزمایشی وجود داشت. بخش دوم آزمایش همانند بخش اول است با این تفاوت که در این بخش از آزمایش، سطوح مختلف بیوچار طبیعی به یک خاک‌آلوده اضافه شد و بیوچار طبیعی در ٦ سطح (صفر، ۲، ٤، ٦، ۸ و ۱۰ درصد وزنی) به نمونه‌های ۵ کیلوگرمی خاک‌آلوده اضافه گردید و نمونه‌ها در گلدان‌های پلاستیکی در رطوبت ظرفیت مزرعه به‌مدت ۱، ۲، ۳ و ٤ ماه خوابانیده شدند و در فواصل زمانی ذکرشده، از گلدان‌ها نمونه‌های فرعی تهیه نموده و به آزمایشگاه منتقل و پس از خشک‌کردن در آون در دمای ۵۵-۵۰ درجه سانتی‌گراد مقدار pH و EC هم‌چنین غلظت کل و قابل‌جذب عناصر روی و کادمیم اندازه‌گیری شدند. فاکتورهای موردبررسی در این بخش شامل سطوح مختلف بیوچار طبیعی به‌کار رفته در ٦ سطح و مدت‌زمان خوابانیدن در ٤ سطح بود، بنابراین تعداد تیمار آزمایشی ٢٤ مورد است که با اعمال نمودن ۳ تکرار در مجموع ۷۲ واحد آزمایشی وجود داشت. بنابراین درمجموع ١٤٤ واحد آزمایشی جامعه آماری این پژوهش را تشکیل می‌داد.

داده‌های این پژوهش به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. اطلاعات به‌دست آمده از آزمایش با کمک نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و جدول تجزیه واریانس تهیه گردید. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۱٪ و ۵٪ استفاده شد.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده و غلظت کل و قابل‌جذب برخی از عناصر سنگین در این پژوهش در جدول ۱ ارائه گردیده است. با توجه به جدول موردنظر خاک موردمطالعه یک خاک‌آلوده به تعدادی از عناصر سنگین است.

1- FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و غلظت کل و قابل‌دسترس برخی عناصر سنگین در خاک مورد آزمایش.

Table 1. Some Physical and Chemical Properties and Total and Available concentration of heavy metals on the Test Soil.

مقدار Content	واحد Unit	ویژگی Property
32.5	٪	شن (Sand)
37.5	٪	رس (Clay)
30.0	٪	سیلت (Silt)
لوم رسی (Clay loam)	-	بافت خاک (Texture)
7.9	-	اسیدیته (گل اشباع) (pH)
2.3	$dS\ m^{-1}$	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (EC)
18.1	$Cmol\ kg^{-1}$	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity(CEC)
376.0	$mg\ kg^{-1}$	روی قابل‌دسترس با DTPA (Available Zn)
3200.0	$mg\ kg^{-1}$	روی کل (Total Zn)
20.7	$mg\ kg^{-1}$	کادمیم قابل‌دسترس با DTPA (Available Cd)
35.0	$mg\ kg^{-1}$	کادمیم کل (Total Cd)
236.0	$mg\ kg^{-1}$	سرب قابل دسترس با DTPA (Available Pb)
1240.0	$mg\ kg^{-1}$	سرب کل (Total Pb)

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار و کود مرغی مورداستفاده در این پژوهش در جدول ۲ ارائه گردیده است. با توجه به این جدول بیوچار دارای pH اسیدی است. هم‌چنین دارای عناصر مغذی فراوانی نیز در ترکیب خود بوده که این مسأله برای رشد گیاه و بهبود حاصلخیزی خاک بسیار مهم است. هم‌چنین ظرفیت تبادل کاتیونی آن نیز بیش‌تر از کود مرغی است. کود مرغی مورداستفاده دارای pH خنثی بود و همانند بیوچار دارای عناصر غذایی فراوانی در ترکیب خود بود. علاوه بر این هر دو جاذب مورداستفاده فاقد عناصر سنگین سرب و کادمیم بودند.

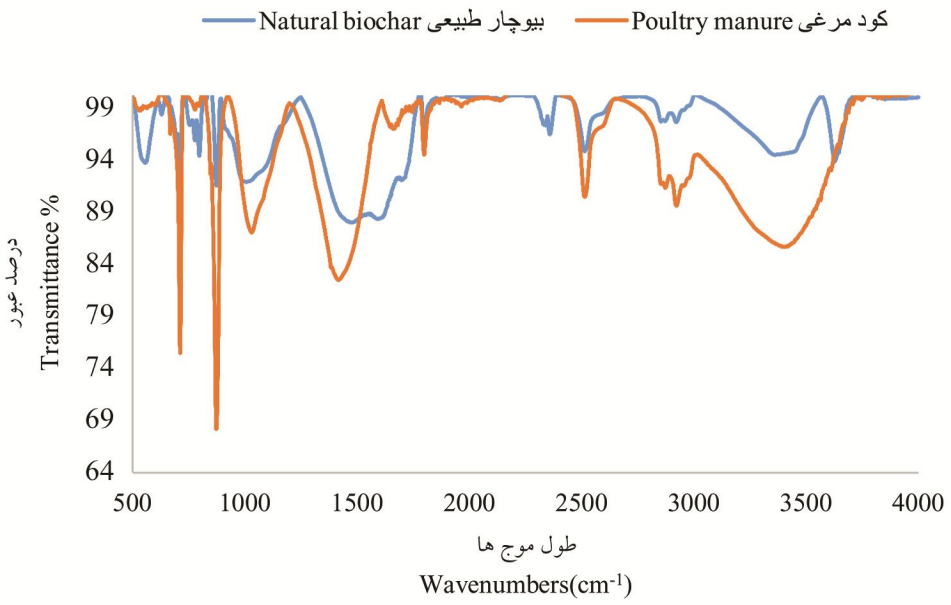
جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار و کود مرغی.

Table 2. Some Physical and Chemical Properties of Poultry and Fertilizer.

کود مرغی Poultry manure	بیوچار طبیعی Natural biochar	واحد Unit	ویژگی‌های موردمطالعه Properties under study
6.5	5.6	-	pH (۱:۵)
4.0	2.7	$dS\ m^{-1}$	هدایت الکتریکی (۱:۵) (Electrical Conductivity) (EC)
46.2	70.1	٪	کربن (Carbon)
4.5	2.3	٪	نیتروژن (Nitrogen)
10.3	30.0	-	C/N
7.9	6.1	$mg\ kg^{-1}$	روی کل (Total Zn)
-	-	$mg\ kg^{-1}$	کادمیم کل (Total Cd)
-	-	$mg\ kg^{-1}$	سرب کل (Total Pb)
46.4	83.6	$Cmol\ kg^{-1}$	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity (CEC)

با توجه به شکل ۲ پیک‌های ضعیف بین ٤۰۰ تا $۸۰۰cm^{-1}$ مربوط به باندهای آروماتیک H – C است. در کل پیک‌های کم‌تر از ۱۰۰۰ اثرانگشت[1] نامیده می‌شوند. پیک قوی در ناحیه ۱۰۰۷ تا $۱۱۰۰cm^{-1}$ مربوط به ساختارهای آلیفاتیک O – C استرها و قطبیت سلولز و هم‌سلولز است. پیک ناحیه ۱٤۰۰ تا $۱٦۰۰cm^{-1}$ مربوط به کشش ساختار O – C آروماتیک فنول که نماینده ساختار لیگنین می‌باشد.

پیک ناحیه $۱۸۰۰cm^{-1}$ مربوط به کشش ارتعاشی O = C کربوکسیلیک اسید و کربونیل است. هم‌چنین پیک ناحیه $۲۳٥۹cm^{-1}$ مربوط به کشش ارتعاشی باندهای C = C هسته لیگنین می‌باشد. پیک ناحیه $۲٥۱٤cm^{-1}$ مربوط به گروه سولفو اکسید و گوگرد است. پیک ناحیه ۳۳٦۱ تا $۳٦۲۷cm^{-1}$ نیز مربوط به کشش ارتعاشی گروه OH – می‌باشد (۱٦).



شکل ۲- طیف مادون قرمز بیوچار طبیعی و کود مرغی.

Figure 2. Infrared spectrum of natural biochar and poultry manure.

با توجه به شکل ۲ پیک‌های ضعیف بین ٤۰۰ تا $۸۰۰cm^{-1}$ مربوط به باندهای آروماتیک H – C می‌باشد. پیک قوی در ناحیه ۱۰۳۱ تا $۱۱۰۱cm^{-1}$ مربوط به ساختارهای آلیفاتیک O – C استرها و قطبیت سلولز و هم‌سلولز است. پیک ناحیه $۱٤۱٦cm^{-1}$ مربوط به کشش ساختار O – C آروماتیک فنول که نماینده ساختار لیگنین می‌باشد. پیک ناحیه ۱٦۰۰ تا $۱۷۹۹cm^{-1}$ مربوط به کشش ارتعاشی O = C کربوکسیلیک اسید و کربونیل است. هم‌چنین پیک ناحیه $۲٥۱٤cm^{-1}$ مربوط به کشش ارتعاشی باندهای C = C هسته لیگنین می‌باشد. پیک ناحیه $۳٤۰۰cm^{-1}$ هم مربوط به کشش ارتعاشی گروه OH– می‌باشد. که علت پهن شدن پیک به‌علت وجود رطوبت در ماده مورد نظر است (۱٦).

1- Finger print

در این آزمایش تأثیر کاربرد تیمارهای مختلف بر میزان pH، EC و غلظت قابل‌دسترس فلزات سنگین روی و کادمیم در خاک موردبررسی قرار گرفت. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارهای کود مرغی و بیوچار طبیعی بر میزان pH، EC و غلظت قابل‌دسترس فلزات سنگین روی و کادمیم در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول‌های ۳ و ٤).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح کود مرغی و مدت‌زمان خوابانیدن بر میزان pH، EC و روی و کادمیم قابل‌دسترس خاک.

Table 3. Results of Analysis of the Impact of Poultry Fertilizer Levels and Incubation on Soil pH, EC and Available Zinc and Cadmium.

میانگین مربعات Main of square				درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of change
Cd	Zn	EC	pH		
48.652**	3579.814**	1.296**	0.168**	5	سطح (Level)
67.588**	4561.154**	0.030 ns	0.001 ns	3	زمان (Time)
3.631**	363.234**	0.007 ns	0.001*	15	سطح * زمان (Time) * (Level)
0.848	1.663	0.050	0.003	48	خطا (Miss)
14.61	6.570	12.070	1.420	-	ضریب تغییرات (Coefficient of variation)

**، * و ns به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

**, * and ns significant at 0.01 and 0.05 probability level and no significant, respectively.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح بیوچار طبیعی و مدت‌زمان خوابانیدن بر میزان pH، EC و روی و کادمیم قابل‌دسترس خاک.

Table 4. Results of Analysis of the Impact of Biochar natural Levels and Incubation on Soil pH, EC and Available Zinc and Cadmium.

میانگین مربعات Main of square				درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of change
Cd	Zn	EC	pH		
15.796**	8395.824**	0.042**	0.020**	5	سطح (Level)
65.479**	5840.734**	0.024**	0.003**	3	زمان (Time)
0.590 ns	745.970**	0.005**	0.001 ns	15	سطح * زمان (Time) * (Level)
0.489	1.323	0.045	0.006	48	خطا (Miss)
14.380	8.620	3.180	0.560	-	ضریب تغییرات (Coefficient of variation)

**، * و ns به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

**, * and ns significant at 0.01 and 0.05 probability level and no significant, respectively.

جدول ۵- اثرات متقابل مدت‌زمان خوابانیدن و سطوح کود مرغی بر میزان pH و EC خاک.

Table 5. Effects of incubation duration and poultry manure levels on soil pH and EC.

سطح مصرف کود مرغی (درصد) Consumption level of poultry manure (%)	مدت زمان خوابانیدن (ماه) Incubation duration (month)	خصوصیات Properties	
		pH	EC (dS m^{-1})
0	اول (First)	7.91 ^{ab}	2.30 ^{g}
	دوم (Second)	7.92 ^{ab}	2.30 ^{g}
	سوم (Third)	7.92 ^{ab}	2.30 ^{g}
	چهارم (Fourth)	7.92 ^{ab}	2.28 ^{g}
0.5	اول (First)	7.90 ^{abc}	2.31 ^{fg}
	دوم (Second)	7.90 ^{abc}	2.32 ^{fg}
	سوم (Third)	7.92 ^{ab}	2.27 ^{g}
	چهارم (Fourth)	7.90 ^{abc}	2.28 ^{g}
1	اول (First)	7.87 ^{bcd}	2.35 ^{fg}
	دوم (Second)	7.87 ^{bcd}	2.40 ^{efg}
	سوم (Third)	7.85 ^{de}	2.40 ^{efg}
	چهارم (Fourth)	7.82 ^{ef}	2.48 ^{de}
2	اول (First)	7.81 ^{ef}	2.44 ^{def}
	دوم (Second)	7.83 ^{ef}	2.50 ^{de}
	سوم (Third)	7.80 ^{f}	2.52 ^{de}
	چهارم (Fourth)	7.79 ^{f}	2.56 ^{d}
4	اول (First)	7.73 ^{g}	2.85 ^{c}
	دوم (Second)	7.70 ^{gh}	2.91 ^{bc}
	سوم (Third)	7.70 ^{gh}	2.92 ^{bc}
	چهارم (Fourth)	7.67 ^{hi}	2.98 ^{b}
8	اول (First)	7.61 ^{k}	2.90 ^{bc}
	دوم (Second)	7.63 ^{jk}	3.10 ^{a}
	سوم (Third)	7.61 ^{jk}	3.10 ^{a}
	چهارم (Fourth)	7.61 ^{jk}	3.14 ^{a}

جدول ٦- اثرات متقابل مدت زمان خوابانیدن و سطوح بیوچار بر میزان pH و EC خاک.

Table 6. Effects of incubation duration and biochar levels on soil pH and EC.

سطح مصرف بیوچار (درصد) Biochar consumption level (%)	مدت زمان خوابانیدن (ماه) Incubation duration (month)	خصوصیات Properties	
		pH	EC (dS m^{-1})
0	اول (First)	7.92^{a}	2.31^{c}
	دوم (Second)	7.92^{a}	2.31^{c}
	سوم (Third)	7.92^{a}	2.31^{c}
	چهارم (Fourth)	7.91^{a}	2.31^{c}
2	اول (First)	7.92^{a}	2.31^{c}
	دوم (Second)	7.91^{ab}	2.31^{c}
	سوم (Third)	7.92^{a}	2.31^{c}
	چهارم (Fourth)	7.91^{ab}	2.31^{c}
4	اول (First)	7.91^{ab}	2.31^{c}
	دوم (Second)	7.89^{ab}	2.31^{c}
	سوم (Third)	7.89^{ab}	2.31^{c}
	چهارم (Fourth)	7.89^{ab}	2.31^{c}
6	اول (First)	7.88^{abc}	2.31^{c}
	دوم (Second)	7.87^{bcd}	2.38^{b}
	سوم (Third)	7.84^{c-f}	2.41^{b}
	چهارم (Fourth)	7.82^{efg}	2.40^{b}
8	اول (First)	7.88^{abc}	2.31^{c}
	دوم (Second)	7.85^{cde}	2.40^{b}
	سوم (Third)	7.83^{d-g}	2.42^{b}
	چهارم (Fourth)	7.80^{fg}	2.42^{b}
10	اول (First)	7.84^{c-g}	2.31^{c}
	دوم (Second)	7.82^{efg}	2.42^{b}
	سوم (Third)	7.81^{efg}	2.53^{a}
	چهارم (Fourth)	7.80^{g}	2.54^{a}

جدول ۵ و ٦ نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل مدت‌زمان خوابانیدن و سطوح کود مرغی و بیوچار بر مقدار pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک را نشان می‌دهد.

بیش‌ترین و کم‌ترین میزان pH خاک در تیمار کود مرغی به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد یا سطح صفر درصد در ماه اول خوابانیدن به مقدار ۷/۹ و تیمار ۸ درصد کود مرغی در ماه چهارم خوابانیدن خاک به مقدار ۷/٦ بود، که میزان pH خاک را ۳/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۵). بیش‌ترین و کم‌ترین میزان pH خاک در تیمار بیوچار نیز به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد یا صفر درصد در ماه اول خوابانیدن به مقدار ۷/۹ و تیمار ۱۰ درصد بیوچار در ماه چهارم خوابانیدن خاک با مقدار ۷/۸ بود که مقدار pH خاک را نسبت به تیمار شاهد ۱/٤ درصد کاهش داد (جدول ٦). کم‌ترین و بیش‌ترین میزان EC خاک در تیمار کود مرغی به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد یا سطح صفر درصد در ماه اول خوابانیدن به مقدار ۲/۳ و تیمار ۸ درصد کود مرغی در ماه چهارم خوابانیدن خاک با مقدار ۳/۱ دسی‌زیمنس بر متر بود، که EC خاک را نسبت به تیمار شاهد ۳٦/۵ درصد افزایش داد (جدول ۵). بیش‌ترین و کم‌ترین میزان EC خاک در تیمار بیوچار نیز به‌ترتیب مربوط به تیمار صفر درصد در ماه اول خوابانیدن به مقدار ۲/۳ و تیمار ۱۰ درصد بیوچار در ماه چهارم خوابانیدن خاک به مقدار ۲/۵ بود، که مقدار EC خاک را نسبت به تیمار شاهد ۱۰/٤ درصد افزایش داد (جدول ٦).

در تیمار بیوچار طبیعی با افزایش سطح مصرف و مدت‌زمان خوابانیدن میزان PH خاک تا حدودی کاهش یافت و بین تیمار شاهد یا سطح صفر درصد بیوچار با تیمار ۸ درصد بیوچار از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری وجود داشت (سطح احتمال ۵ درصد). بیوچار می‌تواند باعث کاهش و یا افزایش PH خاک شود. چنان‌چه بیوچار حاوی مقدار قابل‌ملاحظه‌ای خاکستر باشد به دلیل وجود کاتیون‌های قلیایی در خاکستر که از سوختن زیست‌توده گیاهی حاصل می‌شود مصرف این‌گونه بیوچار باعث قلیایی شدن خاک می‌شود. ولی چنان‌چه میزان خاکستر بیوچار کم باشد تجزیه مواد آلی موجود در بیوچار باعث تولید اسیدکربنیک در خاک شده و PH خاک را کاهش می‌دهد. هم‌چنین تولید اسیدهای آلی در اثر تجزیه نیز می‌تواند به کاهش PH خاک کمک کند. دلیل افزایش هدایت الکتریکی خاک در تیمارهای بیوچار و کود مرغی به‌دلیل بالا بودن هدایت الکتریکی جاذب‌های مورداستفاده است. پژوهش‌های قبلی نشان داده است که بیوچار حاوی برخی عناصر مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم است و موقعی که به خاک اضافه می‌شود، می‌تواند یون‌های پتاسیم، منیزیم و کلسیم محلول خاک را افزایش دهد که این تأثیر ممکن است یکی از دلایل افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک باشد (۲۹). فرآورده‌های حاصل از تجزیه و پوسیدگی مواد آلی، ترکیباتی مانند اسیدهای آلی ضعیف و دی‌اکسید کربن است که به‌طور کاملاً محسوسی افزایش می‌یابند. گازکربنیک تولیدشده به اسیدکربنیک تبدیل و باعث کاهش pH خاک می‌شود (۲۱).

براگویست و همکاران (۲۰۰۳) نیز دلیل کاهش pH را حضور اسیدهای آلی موجود در کودهای آلی و اسیدهای تولید شده از فعالیت میکروبی معرفی

کرده‌اند (۹). هم‌چنین در پژوهشی گزارش کردند که مصرف کود کمپوست در ابتدا کاهش کمی در pH گل اشباع خاک‌های قلیایی ایجاد کرد ولی با گذشت زمان کاهش بیش‌تری مشاهده شد. دلیل این پدیده تجزیه و هوموسی شدن مواد آلی کمپوست و بالا رفتن فشار گازکربنیک در این خاک‌ها و در نتیجه تشکیل و تولید اسیدهای آلی و اسیدکربنیک است (۲۲). آچیبا و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی تأثیر کاربرد ۵ ساله زباله‌های شهری و کود حیوانی در یک خاک آهکی در تونس مشاهده کردند که کاربرد هر دو ماده سبب کاهش pH خاک شد (۱). هم‌چنین در پژوهشی اقبال (۲۰۰٤) گزارش کرد که مصرف کود دامی و کمپوست سبب افزایش شوری خاک می‌شود (١٤). در بعضی پژوهش‌ها، مصرف کود دامی به‌دلیل افزایش EC خاک، سبب سوزاندن گیاهچه و در نتیجه کاهش عملکرد گیاه شده است (۳۰). علاوه بر این کود مرغی نیز به‌دلیل EC بالا باعث افزایش EC خاک شده است.

بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت روی استخراج‌شده با عصاره‌گیری DTPA در تیمارهای کود مرغی به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد در ماه اول خوابانیدن به مقدار ۳۸۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و تیمار ۸ درصد کود مرغی در ماه چهارم خوابانیدن خاک با مقدار ۳۰٤/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود، که ۱۹/۹درصد غلظت روی قابل‌استخراج با DTPA را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۷). بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت روی استخراج‌شده با عصاره‌گیری DTPA در تیمارهای بیوچار نیز به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد در ماه اول خوابانیدن به مقدار ۳۸۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و تیمار ۱۰ درصد بیوچار در ماه چهارم خوابانیدن خاک با مقدار ۲۷۲/٤ میلی‌گرم در کیلوگرم بود، که غلظت روی قابل‌استخراج با DTPA را نسبت به تیمار شاهد ۲۸/٤ درصد کاهش داد (جدول ۸).

بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت کادمیم استخراج شده با عصاره‌گیر DTPA در تیمار کود مرغی به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد در ماه اول خوابانیدن به مقدار ۲۰/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و تیمار ۸ درصد کود مرغی در ماه چهارم خوابانیدن خاک با مقدار ۱۰/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود، که ٤٥/٤ درصد غلظت کادمیم قابل‌استخراج با DTPA را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۷). بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت کادمیم استخراج شده با عصاره‌گیر DTPA در تیمار بیوچار نیز به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد در ماه اول خوابانیدن به مقدار ۲۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم و تیمار ۱۰ درصد بیوچار در ماه چهارم خوابانیدن خاک با مقدار ۱۲/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود، که غلظت کادمیم قابل‌استخراج با DTPA را نسبت به تیمار شاهد ۳۷/۷ درصد کاهش داد (جدول ۸).

جدول ۷- اثرات متقابل مدت زمان خوابانیدن و سطوح کود مرغی بر غلظت فلزات سنگین خاک.

Table 7. Effects of incubation duration and levels of poultry manure on the concentration of heavy soil metals.

کادمیم (Cd)	روی (Zn)	مدت زمان خوابانیدن (ماه)	سطح مصرف کود مرغی (درصد)
میلی‌گرم در کیلوگرم ($mg\ kg^{-1}$)		Incubation duration (month)	Consumption level of poultry manure (%)
20.0 ^{a}	380.2 ^{a}	اول (First)	0
20.0 ^{a}	380.4 ^{a}	دوم (Second)	
20.4 ^{a}	380.0 ^{a}	سوم (Third)	
20.4 ^{a}	380.2^{a}	چهارم (Fourth)	
18.4 ^{b}	379.7 ^{a}	اول (First)	0.5
16.4 $^{c-g}$	375.7 ^{bc}	دوم (Second)	
15.3 $^{e-h}$	372.6 ^{d}	سوم (Third)	
14.7 ^{jhi}	372.9^{d}	چهارم (Fourth)	
18.3 ^{bc}	377.1 ^{b}	اول (First)	1
16.4 $^{c-g}$	365.5 ^{e}	دوم (Second)	
14.7 ^{ghi}	352.9 ^{g}	سوم (Third)	
14.7 ^{ghi}	350.9 ^{h}	چهارم (Fourth)	
7.3 ^{bcd}	375.0 ^{c}	اول (First)	2
16.0 $^{d-g}$	357.3 ^{f}	دوم (Second)	
13.9 ^{hij}	340.7 ^{j}	سوم (Third)	
13.0 ^{ijk}	331.4 ^{k}	چهارم (Fourth)	
17.0 $^{b-e}$	352.6 ^{d}	اول (First)	4
15.3 $^{e-h}$	347.5 ^{i}	دوم (Second)	
12.9 ^{ijk}	328.5 ^{l}	سوم (Third)	
11.8 ^{kl}	320.6 ^{m}	چهارم (Fourth)	
16.7 $^{b-f}$	366.9 ^{e}	اول (First)	8
15.1 ^{fgh}	330.6 ^{k}	دوم (Second)	
12.1 ^{jkl}	315.7 ^{n}	سوم (Third)	
10.9 ^{l}	304.7 ^{o}	چهارم (Fourth)	

جدول ۸- اثرات متقابل مدت زمان خوابانیدن و سطوح بیوچار طبیعی بر غلظت فلزات سنگین خاک.

Table 8. Effects of incubation duration and natural biochar levels on heavy metal soil concentrations.

سطح مصرف بیوچار (درصد) Biochar consumption level (%)	مدت زمان خوابانیدن (ماه) Incubation duration (month)	روی (Zn)	کادمیم (Cd)
		میلی‌گرم در کیلوگرم ($mg\ kg^{-1}$)	
0	اول (First)	380.3 [a]	20.7 [a]
	دوم (Second)	380.3 [a]	20.9 [a]
	سوم (Third)	380.0 [a]	20.6 [ab]
	چهارم (Fourth)	380.1 [a]	20.1 [ab]
2	اول (First)	380.3 [a]	19.3 [bc]
	دوم (Second)	375.4 [c]	18.2 [cd]
	سوم (Third)	367.9 [e]	17.6 [de]
	چهارم (Fourth)	357.9 [g]	17.2 [d-h]
4	اول (First)	379.9 [b]	17.3 [d-g]
	دوم (Second)	327.0 [c]	17.4 [def]
	سوم (Third)	347.3 [f]	15.6 [ijk]
	چهارم (Fourth)	341.3 [i]	15.7 [ijk]
6	اول (First)	376.2 [b]	16.8 [e-i]
	دوم (Second)	361.3 [f]	16.0 [hlj]
	سوم (Third)	329.9 [j]	15.1 [jkl]
	چهارم (Fourth)	321.3 [k]	14.7 [kl]
8	اول (First)	372.5 [c]	16.2 [f-j]
	دوم (Second)	352.0 [h]	15.6 [ijk]
	سوم (Third)	313.5 [l]	14.2 [lm]
	چهارم (Fourth)	302.5 [m]	13.8 [lmn]
10	اول (First)	370.5 [d]	16.1 [g-j]
	دوم (Second)	34.9 [i]	14.5 [klm]
	سوم (Third)	302.1 [m]	13.2 [mn]
	چهارم (Fourth)	272.4 [n]	12.9 [n]

بررسی جدول تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت قابل‌جذب روی و کادمیم، بیانگر تأثیر معنی‌دار کاربرد کود مرغی‌و بیوچار بر فاکتور موردمطالعه است. به‌گونه‌ای که کاربرد آن‌ها سبب کاهش غلظت قابل‌جذب فلزات سنگین موردمطالعه در خاک شد. اگرچه تیمارهای حاوی کود مرغی و بیوچار غلظت قابل‌جذب روی و کادمیم را در خاک کاهش دادند، اما با افزایش سطوح کود مرغی و بیوچار و مدت‌زمان خوابانیدن خاک غلظت قابل‌جذب فلزات موردمطالعه در خاک بیش‌تر کاهش یافت. به‌عبارتی می‌توان گفت کاربرد کود مرغی و بیوچار توانسته است بخشی از روی و کادمیم را از فاز قابل‌جذب به فاز غیرقابل‌جذب منتقل نماید. در کل، می‌توان از کود مرغی و بیوچار به‌عنوان یک ماده اصلاح‌گر در جهت کاهش تحرک روی و کادمیم در خاک و رفع آلودگی خاک‌ها و محیط زیست استفاده نمود. به‌طورکلی بیوچار توانایی بسیار بالایی در جذب یون‌ها در مقایسه با سایر اشکال مواد آلی خاک دارد (٤١). معمولاً سطح ویژه بیوچار از رس بالاتر بوده درنتیجه افزودن آن به خاک منجر به افزایش سطح ویژه خاک می‌شود (١٥). سطح ویژه بالای بیوچار، فضای لازم برای تجمع کاتیون‌ها و آنیون‌ها و پیوند آن‌ها با عناصر و فلزات خاک را فراهم می‌کند (٢٤). گروه‌های عاملی سطحی و مکان‌های جذب سطحی در بیوچار می‌توانند ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش داده و تشکیل کمپلکس‌ها را با فلزات سنگین کاتیونی افزایش دهند (٣٣). الی و همکاران (٢٠١٧) کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA خاک را به سطح جذب بالای بیوچار بامبو به‌علت داشتن گروه‌های منفی OH–، COOH- و C=N نسبت داده‌اند (٦). یاداواکولاسینگام و همکاران (٢٠١٦) بیان نمودند با بالارفتن مقدار کاربرد اصلاح‌کننده و تیمارها بارهای منفی اصلاح‌کننده افزایش یافته و منافذ ریز آن در نگه‌داری سرب تواناتر شده‌اند (٣٩). دای و همکاران (٢٠١٣) طی پژوهشی تأثیر بیوچار را برای کاهش زیست‌فراهمی روی در یک خاک آلوده بررسی کردند و گزارش نمودند که گروه‌های عاملی روی سطح بیوچار می‌تواند با تشکیل کمپلکس باعث رسوب Zn^{2+} روی سطح بیوچار شده و زیست‌فراهمی روی را کاهش دهد (١٣). بیسلی و همکاران (٢٠١٠) در پژوهشی گزارش کردند که بیوچار دارای ظرفیت کاهش آلودگی‌های آلی و معدنی در خاک‌های آلوده می‌باشد (٨). کودهای حیوانی تازه از جمله کود مرغی به‌دلیل وجود ترکیبات آلی محلول و هم‌چنین تشکیل کلات با فلزات سنگین می‌توانند تحرک و دسترسی فلزات سنگین در خاک را افزایش دهند (٧). اما مواد هیومیکی که بخش عمده‌ای از مواد آلی (کود حیوانی) را تشکیل می‌دهد می‌تواند حلالیت فلزات را با تشکیل کمپلکس‌های فلزی پایدار کاهش دهد (٣٤).

نتیجه‌گیری کلی

نقش بیوچار در فراهمی عناصر غذایی، در پژوهش‌های مختلف موردبررسی قرار گرفته و نتایج متفاوتی گزارش شده است؛ به‌طوری‌که با افزودن بیوچار به خاک، هم کاهش و هم افزایش فراهمی عناصر غذایی خاک و جذب آن‌ها توسط گیاه در مطالعات مختلف گزارش‌شده اما اثر روشن و دقیق بیوچار بر فراهمی عناصر غذایی خاک هنوز به‌درستی روشن نشده است. با توجه به جدید بودن کاربرد بیوچار در کاهش مسمومیت فلزات سنگین نیازمند بررسی‌های درازمدت و مستمر در مطالعات زراعی و زیست‌محیطی است. نتایج آزمایش نشان داد که افزایش مدت‌زمان خوابانیدن و سطوح کود مرغی و بیوچار طبیعی منجر به کاهش معنی‌دار مقدار روی و کادمیم قابل‌جذب خاک شد. بنابراین کاربرد کود

مرغی و بیوچار طبیعی در خاک روش مؤثری برای کاهش سمیت و میزان غلظت قابل‌جذب فلزات سنگین خاک و هم‌چنین بالا بردن عملکرد و کیفیت محصولات زارعی است.

تقدیر و تشکر

این مقاله منتج از پایان‌نامه دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک دانشگاه زنجان است و برای انجام این پایان نامه از امکانات دانشگاه زنجان استفاده شده است.

داده‌ها و اطلاعات

منبع و منشاء این مقاله مربوط به پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد است که در پاییز سال ۹۷ در دانشگاه زنجان انجام شده است. این مقاله از این پایان‌نامه منتج گردیده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است

منابع

1. Achiba, W.B., Gabteni, N., Lakhdar, A., Laing, G.D., Verloo, M., Jadidi, N., and Gallali, T. 2009. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. Agriculture, Ecosystems and Environment. 130: 156-163.
2. Adewole, E., Adewumi, D.F., Jonathan, J., and Fadaka, A.O. 2014. Phytochemical constituents and proximate analysis of orange peel (citrus Fruit). J. Adv. Bot. Zool. 1: 3. 1-2.
3. Ahmad, M., Rajapaksha, A.U., Lim, J.E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., and Ok, Y.S. 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. Chemosphere. 99: 19-33.
4. Ahmad, H., Kamarudin, S.K., Minggu, L.J., and Kassim, M. 2015. Hydrogen from photo-catalytic water splitting process: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 43: 599-610.
5. Ahyae, M.A., and Behbahanzadeh, A. 1992. Description of Soil and Plant Analysis Methods of Tehran Soil and Water Research Institute. Tech. J. No. 893.128 p. (In Persian)
6. Ali, A., Guo, D., Zhang, Y., Sun, X., Jiang, S., Guo, Z., Huang, H., Liang, W., Li, R., and Zhang, Z. 2017. Using bamboo biochar with compost for the stabilization and phytotoxicity reduction of heavy metals in mine-contaminated soils of China. Science. Reports. 7: 1. 1-12.
7. Alm, J., Schulman, L., Walden, J., Nykänen, H., Martikainen, P.J., and Silvola, J. 1999. Carbon balance of a boreal bog during a year with an exceptionally dry summer. Ecology. 80: 1. 161-174.
8. Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., and Gomez-Eyles, J.L. 2010. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. Environmental pollution. 158: 6. 2282-2287.
9. Bergkavist, P., Jarvis, N., Berggren, D., and Carlgren, K. 2003. Long term effects of sewage sludge application on soil properties, cadmium availability and distribution arable soil. Agriculture Ecosystem and Environment. 97: 71-74.
10. Bower, C.A., Reitemeier, R.F., and Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil science. 73: 4. 251-262.
11. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen total. In: A.L. Page, Miller, R.H. and Keeney, D.R. (eds.). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical analysis. American Society of Agronomy Inc. and Soil Science Society of American Inc. Madison, WI. 595-624.

12.Cui, C., Sadeghifar, H., Sen, S., and Argyropoulos, D.S. 2013. Toward thermoplastic lignin polymers; part II: thermal & polymer characteristics of kraft lignin & derivatives. BioResources. 8: 1. 864-886.
13.Dai, A. 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. Nature Climate Change. 3: 1. 52.
14.Eghbal, M.A., Pennefather, P.S., and O'Brien, P.J. 2004. H_2S cytotoxicity mechanism involves reactive oxygen species formation and mitochondrial depolarisation. Toxicology. 203: 1-3. 69-76.
15.Ghorbani, M., Asadi, H., and Abrisham Kash, S.A. 2016. Influence of bio-charcoal rice husk on nitrate leaching in a clay. J. Soil Res. (Soil and Water Sciences). 29: 4. 427-434. (In Persian)
16.Gusiatin, Z.M., Kurkowski, R., Brym, S., and Wiśniewski, D. 2016. Properties of biochars from conventional and alternative feedstocks and their suitability for metal immobilization in industrial soil. Environmental Science and Pollution Research. 23: 21. 21249-21261.
17.Jafari Haghighi, M. 2003. Methods of sampling and analysis of important physical and chemical soil analysis. Mashhad: the voice of Zoha. 240p. (In Persian)
18.Kabiri, P., Motaghian, H.R., and Hosseinpour, A. 2018. Phytoremediation potential of maize (*Zea mays* L.) using biochars produced from Walnut leaves in a contaminated soil. J. Water Soil Cons. 25: 4. 133-152.
19.Karve, P., Shackley, S., Carter, S., Anderson, P., Prabunhe, R., Cross, A., Haszeldine, S., Haefele, S., Knowles, T., Field, J., and Tanger. P. 2011. Biochar for Carbon Reduction, Sustainable Agriculture and Soil Management (BIOCHARM). A Report for the APN (Asia Pacific Network for Climate Change Research).
20.Kiese, K., Papen, H., Zumbusch, E., and Butterbach-Bahl, L. 2002. Nitrification activity in tropical rainforest soils of the coastal lowlands and Atherton Tablelands, Queensland. Plant Nutr. Austr. J. 165: 682-685.
21.Kiang, Y.T. 1972. Pollination study in a natural population of Mimulus guttatus. Evolution. 26: 2. 308-310.
22.Laboski, C.A.M., and Lamb, J.A. 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application af manure or fertilizer. Soil Sci. Soc. Amer. J. 67: 544-554.
23.Liang, B., Lehmann, J., Sohi, S.P., Thies, J.E., O'Neill, B., Trujillo, L., and Luizão, F.J. 2010. Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil. Organic Geochemistry. 41: 2. 206-213.
24.Lie, J.H., G.H., Lv, W.B., Bai, Q., Liu, Y.C., Zhang, J., and Song, Q. 2014. Modification and use of biochar from wheat straw (*Triticum aestivum* L) for nitrate and phosphate removal from water. Desalination and Water Treatment; DOI 10.1080/19443994. 2014.994104.
25.Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper 1. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 3. 421-428.
26.Lu, K., Yang, X., Shen, J., Robinson, B., Huang, H., Liu, D., and Wang, H. 2014. Effect of bamboo and rice straw biochars on the bioavailability of Cd, Cu, Pb and Zn to Sedum plumbizincicola. Agriculture, Ecosystems and Environment. 191: 124-132.
27.Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Awasthi, M.K., Lahori, A.H., Wang, Q., and Zhang, Z. 2016. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: a review. Ecotoxicology and environmental safety. 126: 111-121.
28.Nickazar, M., and Norbakhsh, N. 2006. Removal of cadmium, lead and chromium heavy metals from aqueous solutions by activated carbon prepared from agricultural waste. Environmental Science and Technology. 28p.
29.Nelson, M.C., Morrison, M., and Yu, Z. 2011. A meta-analysis of the microbial diversity observed in anaerobic digesters. Bioresource technology. 102: 4. 3730-3739.

30. Norkhulipour, Khawaziyev, K., and Malekouti, M.A. 2003. Effect of phosphate application with sulfur fertilizer, Thiobacillus and organic matter on soybean quality and quantity. Proceedings of the 8th Iranian Soil Science Congress. Rasht. Pp: 38-4. (In Persian)
31. Oustriere, N., Marchand, L., Lottier, N., Motelica, M., and Mench, M. 2017. Long-term Cu stabilization and biomass yields of Giant reed and poplar after adding a biochar, alone or with iron grit, into a contaminated soil from a wood preservation site. Science of the Total Environment. 579: 620-627.
32. Paz-Ferreiro, J., Gascó, G., Gutiérrez, B., and Méndez, A. 2012. Soil biochemical activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil. Biology and Fertility of Soils. 48: 5. 511-517.
33. Paz-Ferreiro, J., Lu, H., Fau, S., Mendez, A., and Gasco, G. 2014. Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soil, a review. Soil Earth. 5: 1. 65.
34. Ross, S.M. 1994. Toxic metals in soil-plant systems. John Wiley and Sons Ltd.
35. Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., and Cowie, A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. Plant and Soil. 327: 1-2. 235-246.
36. Verma, S., and Sharma, P.K. 2007. Effect of long-term manuring and fertilizers on carbon pools, soil structure and sustainability under different cropping systems in wet-temperate zone of northwest Himalayas. Biology and fertility of soils. 44: 1. 235-240.
37. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-37.
38. Weil, R.R., and Magdoff, F. 2004. Significance of Soil Organic in. Soil organic matter in sustainable agriculture. Pp: 1-43.
39. Yathavakulasingam, T., Mikunthan, T., and Vithanage, M. 2016. Acceleration of Lead Phytostabilization by Maize (*Zea mays*) in Association with Gliricidiasepium Biomass. Chemical and Environmental Systems Modeling Research Group, National Institute of Fundamental Studies, Kandy, Sri Lanka. 2: 5. 16-21.
40. Zhao, Y., Feng, D., Zhang, Y., Huang, Y., and Sun, S. 2015. Effect of pyrolysis temperature on char structure and chemical speciation of alkali and alkaline earth metallic species in biochar. Fuel Processing Technology. 141: 54-60.
41. Zheng, R.L., Cai, C., Liang, J., Huang, H., Chen, Q., Huang, Z., Arp, Y.Z., P, H.H., and Sun, G.X. 2012. The effects of biochars form rice residue on the formation of iron plaque and the accumulation of Cd, Zn, Pb. As in rice (*Oryza sativa* L.) Seedlings. Chemosphere. 89: 586-863.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Research Full Paper

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 27(4), 2020
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2020.17392.3287

The effect of different amounts of natural biocher and poultry manure on zinc and cadmium in a contaminated soil

M. Molaverdi[1], A. Golchin[2] and *Z. Varasteh Khanlari[3]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, [2]Professor, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, [3]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Mallayer
Received: 12.03.2019; Accepted: 06.23.2020

Abstract

Background and Objectives: Soil and plant contamination with heavy elements due to industrial activities has adversely affected human health and has received much attention in recent decades. Heavy metals can endanger soil, plant and human health by entering the soil cycle and food products. In order to reduce the harmful effects of heavy metals on the soil ecosystem and food pollution, a factorial experiment was conducted in three replications in a completely randomized design in a greenhouse. The aim of this study was to investigate the effect of different amounts of natural biochar and poultry manure on the fertility of zinc and cadmium elements in a contaminated soil.

Materials and Methods: In order to conduct this research, first different levels of poultry manure (zero, 0.5, 1, 2, 4 and 8% by weight) and natural biochar (zero, 2, 4, 6, 8 and 10% Weight) were added separately to a contaminated soil. Then, 4 levels of incubation were applied to the moisture capacity of the farm (1, 2, 3 and 4 months). At the intervals mentioned from the pots, sub-samples were prepared and transferred to the laboratory. After drying in the oven at a temperature of 50-55 ºC was taken pH, EC, the total and absorbable amount of zinc and cadmium elements in them.

Results: Comparison of mean effects of incubation and poultry manure and biochar levels showed that with increasing consumption level and incubation, soil pH decreased by 3.9% and 1.4%, respectively and EC amount by 36.5 and 10.4 percent increased. There was a statistically significant difference between the control treatment of the control or the zero level of poultry manure and biochar with the treatment of 8% of poultry manure and biochar (statistically 5% probability level). With increasing incubation and levels of poultry manure and natural biochar, the adsorbent concentration of zinc and soil cadmium decreased significantly ($P<0.05$), which decreased in treatments containing poultry manure for zinc and cadmium, respectively, 19.9 and 29.5 percent and in treatments containing natural biochar, zinc and cadmium were measured as 28.4 percent and 22.7 percent, respectively. In poultry manure treatments, the lowest zinc and cadmium concentrations extracted with DTPA extract in the fourth month and the consumption level of 8% were 304.7 and 10.9 mg/kg, respectively, and the highest amount was observed in the first month. Witness treatment (zero percent level) was observed to be 380.2 and 20.0 mg/kg, respectively. In treatments containing natural biochar, the lowest amount of zinc and cadmium extracted with DTPA extract in the fourth month and 10% consumption level were 272.4 and 12.9 mg / kg, respectively, and the highest amount was treated in the first month. The control (zero percent level) was observed to be 380.3 and 20.7 mg/kg, respectively.

* Corresponding Author; Email: z.khanlari93@gmail.com

Conclusion: According to the results of this study, the use of biochar and manure fertilizer caused a decrease in the concentration of absorbable heavy metals studied in the soil. Although treatments containing biochar and manure reduced the adsorption concentration of metals in the soil, the concentration of adsorbent metals in the soil decreased further with increasing levels of poultry manure and biochar and the incubation of the soil. In general, it can be stated that the application of poultry manure and natural biochar in the soil is an effective method to reduce the toxicity and absorbable concentration of heavy metals in the soil and also increase the yield and quality of agricultural products.

Keywords: Heavy metals, Incubation, Natural biochar, Poultry manure