



شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۴۸۰

شاپا الکترونیکی: ۲۲۵۰-۷۴۰۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrscj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iauwsrscj@srbiau.ac.ir

iauwsrscj@gmail.com

سال یازدهم

شماره دو

زمستان ۱۴۰۰

تاریخ دریافت:

۱۴۰۰/۰۴/۰۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۰/۰۸/۳۰

صفحات: ۶۹-۷۸

تأثیر بیوچار و زئولیت بر جذب کادمیم در فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*) و آبشویی آن در خاک شور سدیمی

نسرین قرهی^۱

^۱ استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: nasrin.gharahi@nres.sku.ac.ir

چکیده:

زمینه و هدف: تأثیر بیوچارها و نانو ذرات رس مختلف بر روی تثبیت و جذب کادمیم توسط گیاهان به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است، اما مطالعات کمی بر روی انتقال بخش‌های مختلف آلودگی خاک در خاک‌های شور و قلیایی متمرکز شده است. بنابراین، این فرضیه مطرح شد که حرکت کادمیم در خاک‌های آلوده تحت تأثیر استفاده از بیوچار و نانو ذرات قرار می‌گیرد و انتقال کادمیم از لایه‌های بالای پروفیل خاک به لایه‌های پایین در خاک شور و قلیایی کاهش می‌یابد. بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور بررسی پالایش خاک‌های شور و قلیایی آلوده به فلز کادمیم به‌وسیله گیاه فلفل دلمه سبز تحت دو ماده اصلاحیه خاک شامل بیوچار و نانو ذره زئولیت انجام شد.

روش پژوهش: پژوهش حاضر تحت دو ماده اصلاحیه خاک شامل بیوچار کاه گندم با نام علمی *Triticum*؛ و نانو ذرات زئولیت در سطح ۵ گرم در کیلوگرم خاک آلوده به کادمیم انجام شد. نمونه‌های خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری از دشت سجزی، جمع‌آوری شدند. خاک جمع‌آوری شده هوا خشک و به‌منظور آزمایش از الک ۵ میلی‌متری عبور داده شدند و برای آزمایش استفاده گردیدند. خاک آلوده به کادمیم با قرار دادن ۵۰۰ گرم خاک خشک شده در یک بشر شیشه‌ای ۲ لیتری و مخلوط کردن آن با ۲۵۰ میلی لیتر نیترات کادمیم ۱/۲ (Cd, Cd(NO₃)₂ 4H₂O) ایجاد شد. در یک مزرعه بایر در منطقه دشت سجزی سه کرت (پلات) از خاک خالی شد و پلات‌ها از خاکی که به‌طور یکنواخت و جداگانه با خاک آلوده و همچنین با بیوچار و زئولیت در سطح ۰٪ و ۵٪ (w/w) مخلوط شده بود، پر شد. پس از تهیه خاک‌های آلوده، فلفل دلمه سبز (*Capsicum annuum*) در شرایط طبیعی در آنها کاشته شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیوماس فلفل دلمه سبز با استفاده از بیوچار و زئولیت به ترتیب ۷۹/۲ درصد و ۱۸/۳ درصد افزایش یافت. غلظت کادمیم در میوه فلفل دلمه سبز در استفاده از بیوچار در مقایسه با هر دو تیمار شاهد و خاک با زئولیت تقریباً ۳۰٪ کاهش یافت. کادمیم جذب شده توسط ساقه‌های فلفل دلمه سبز در حدود ۵۰٪ کادمیم کل گیاه بود. کاربرد مقادیر ۵ گرم بیوچار و زئولیت بر کیلوگرم خاک به ترتیب سبب نگهداشت ۴۲ درصد و ۷۸ درصد کادمیم خاک در خاک سطحی در مقایسه با خاک زیرین شد.

نتایج: با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد گیاه فلفل دلمه سبز، می‌تواند به‌عنوان جذب‌کننده کادمیم معرفی شود. همچنین نتایج بیانگر برتری تیمار زئولیت نسبت به تیمار بیوچار در کاهش انتقال آلودگی به لایه‌های زیرین خاک‌های شور و قلیا است و افزودن بیوچار باعث افزایش بیشتر در بیوماس فلفل دلمه سبز در مقایسه با نانوذره زئولیت در خاک آلوده به فلز کادمیم است.

کلید واژه‌ها: بیوچار، زئولیت، حرکت رو به پائین، کادمیم، کربن آلی



است که در زمینه‌های مختلف علوم مورد توجه قرار گرفته است و همواره ابزاری کارآمد برای کمک به حل چالش‌های زیست‌محیطی بوده است. نانو مواد که ابعاد کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر دارند، سطح ویژه بسیار زیادی دارند که باعث تمایل بالای آنها برای واکنش، جذب و فعالیت‌های کاتالیستی می‌شود که می‌توانند در کاهش آلودگی خاک مؤثر باشند.

خاک‌های شور و قلیا در ایران به‌طور گسترده‌ای توزیع شده است که می‌تواند باعث تنش خشکی محصولات مختلف شود. خاک‌های شور و قلیا افزایش قابل توجهی در کادمیم موجود در محلول خاک، کادمیم قابل استخراج خاک، غلظت کادمیم در ریشه گیاه گندم و همچنین کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ریشه گندم در مقایسه با خاک‌های غیر شور داشته است. بنابراین، برای کاهش آلودگی و تخریب بیش از حد خاک‌های شور و قلیا، لازم به بازیابی این دسته از خاک‌هاست (Wang et al., 2019a; Sun et al., 2020).

استفاده از بیوپچارها و نانو ذرات می‌تواند با در دسترس قرار دادن مواد مغذی خاک، حفظ آب خاک و رشد گیاه، خاک‌های تخریب شده مانند خاک شور و قلیا را احیا کند (Yuan et al., 2019; Gu and Bai, 2018).

تأثیر بیوپچارها و نانو ذرات مختلف بر روی تثبیت و جذب کادمیم توسط گیاهان به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است، اما مطالعات کمی بر روی انتقال آلودگی خاک در عمق‌های مختلف در خاک‌های شور و قلیایی متمرکز شده است. علاوه بر این، پتانسیل اصلاح بیوپچار و نانو ذرات در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین هنوز نیاز به تحقیق و مطالعات بیشتری دارد. بنابراین، این فرضیه مطرح شد که حرکت کادمیم در خاک‌های آلوده تحت تأثیر استفاده از بیوپچار و نانو ذرات قرار می‌گیرد و انتقال کادمیم از لایه‌های بالای پروفیل خاک به لایه‌های پایین در خاک شور و قلیایی کاهش می‌یابد. بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور بررسی پالایش خاک‌های شور و قلیایی آلوده به فلز کادمیم به‌وسیله گیاه فلفل دلمه سبز تحت دو ماده اصلاحیه خاک شامل بیوپچار و نانو ذره زئولیت انجام شد.

با توسعه اقتصاد و فعالیت‌های انسانی (مانند صنعت، کشاورزی، معدن و غیره)، خطرات جدی آلودگی به سرعت محیط‌زیست را تهدید می‌کند (Cui et al., 2016; Zhang et al., 2015). فعالیت‌های انسانی بیش از عوامل طبیعی در ایجاد آلودگی خاک نقش داشته و فلزات سنگین یکی از رایج‌ترین آلاینده‌های معدنی در محیط خاک می‌باشد. همچنین ماندگاری طولانی مدت فلزات سنگین در خاک یکی از بزرگترین چالش‌های محیط‌زیستی است (Fellet et al., 2014; Yang et al., 2011).

فلزات سنگین در اثر سوزاندن سوخت‌های فسیلی، تولید زباله‌های شهری، استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، معدن‌کاوی و همچنین لجن فاضلاب وارد خاک می‌شود (Gaur et al., 2004). روش‌های پالایش خاک‌های مناطق آلوده به فلزات سنگین، اغلب هزینه‌بر بوده و گاهی اوقات اثرات نامطلوب بر خاک و محیط می‌گذارند.

امروزه فناوری گیاه‌پالایی با استفاده از گیاهان برای استخراج آلاینده‌های عنصری، همچنین افزودنی‌های چسباننده‌ای که سازگار با محیط‌زیست هستند برای کاهش تحرک فلزات سنگین یا محدود کردن انتقال آلاینده‌ها به خاک و سفره‌های آب زیرزمینی مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Jafari et al. 2019).

بیوپچار (Biochar) یک ماده کربنی است که می‌تواند با استفاده از روش تجزیه کودهای مختلف مانند بقایای محصولات زراعی، تراشه‌های چوب، لجن فاضلاب و غیره در اثر حرارت تولید شود. بیوپچار حاصل از منابع مختلف، حاوی عناصر مغذی با ارزش (به‌ویژه N و P) و برخی یون‌های فلزی (به‌عنوان مثال Ca^{2+} و Mg^{2+}) است که نقش مهمی در بهبود باروری خاک و رشد گیاه دارد (He et al., 2017). علاوه بر این، استفاده از بیوپچارهای مختلف به‌عنوان اصلاحیه خاک، پتانسیل زیادی برای بهبود خواص خاک، تثبیت فلزات سنگین و در نهایت کاهش تحرک آلودگی را دارد. نانو تکنولوژی یک فناوری نوظهور

جدول ۱. مشخصات و درصد برخی از مواد تشکیل دهنده ژئولیت

CEC cmol kg ⁻¹	P ₂ O ₅	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
۱۰۰	۰/۰۱	۰/۸	۱/۳	۲/۱	۱/۳	۱۱/۷	۶۶/۵

CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی

مواد و روش‌ها

الک ۵ میلی‌متری عبور داده شدند و برای آزمایش استفاده گردیدند. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه با استفاده از روش‌های استاندارد معمول به شرح زیر اندازه‌گیری شدند (جدول ۲).

اجزای تشکیل دهنده بافت خاک به روش هیدرومتری (Jacob and Clarke, 2002)، اسیدیته (pH) خاک از دستگاه pH متر و هدایت الکتریکی (EC) از دستگاه EC سنج استفاده گردید (Watson & Brown, 2011)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش جانشین با استات سدیم (Summer and Miller, 1996) و کربن آلی خاک (SOC) (Walkley, and Black, 1934) اندازه‌گیری شد. خاک آلوده به کادمیم با قرار دادن ۵۰۰ گرم خاک خشک شده در یک بشر شیشه‌ای ۲ لیتری و مخلوط کردن آن با ۲۵۰ میلی لیتر نترات کادمیم ۱/۲g (Cd, Cd(NO₃)₂ · 4H₂O) ایجاد شد.

در یک مزرعه بایر در منطقه دشت سجزی سه کرت (پلات) با ابعاد طول × عرض × ارتفاع = ۱ × ۱ × ۱ متر از خاک خالی شد و پلات‌ها از خاکی که به‌طور یکنواخت و جداگانه با خاک آلوده و همچنین با بیوجار و ژئولیت در سطح ۰/۰٪ و ۰/۵٪ (w/w) مخلوط شده بود، پر شد. غلظت آلودگی خاک در هر پلات حدود ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در هر کیلوگرم خاک بود. برای جلوگیری از مخلوط شدن خاک پلات‌های مورد آزمایش با خاک‌های اطراف پلات، پلات‌ها به‌وسیله یک بافر چوبی پوشیده شد که این بافر چوبی در عمق ۴۰ سانتی‌متری زمین قرار گرفت.

کاه گندم با نام علمی *Triticum* در ورقه‌های آلومینیومی بسته‌بندی و در دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد درون کوره الکتریکی قرار داده شد. پس از ۳ ساعت حرارت دادن درون کوره، نمونه از کوره خارج گردیده و در دمای محیط نگهداری شدند. پس از آنکه دمای نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه کاهش یافت از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. مقادیر برخی از پارامترهای فیزیکی شیمیایی بیوجار تهیه شده شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، ظرفیت کاتیون تبدالی (CEC) و کربن آلی (OC) به ترتیب برابر با ۴/۱، ۹/۲۱، ۹/۴ dSm⁻¹ cmol kg⁻¹ و ۶۳۰ g kg⁻¹ تعیین شد. اسیدیته با استفاده از دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد (Mclean 1988; Mckeen 2005). هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی در عصاره اشباع تعیین شد (Watson & Brown, 2011). کربن آلی خاک با روش اکسیداسیون کربن آلی (Walkley and Black 1934) و CEC به روش جانشین با استات سدیم (Summer and Miller, 1996). مقادیر برخی از پارامترهای فیزیکی شیمیایی نانو ذره ژئولیت (۳۰-۶۰ نانومتر) خریداری شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

آماده‌سازی تیمارها

نمونه‌های خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری از دشت سجزی، ۲۵ کیلومتری شرق اصفهان جمع‌آوری شدند. خاک جمع‌آوری شده هوا خشک و به‌منظور آزمایش از

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

SOC	CEC	SAR	EC	pH	رس	سیلت	شن
(g kg ⁻¹)	(cmol kg ⁻¹)		(dSm ⁻¹)		(%)	(%)	(%)
۱/۹۵	۲/۰۳	۲۷/۴	۲۳/۱	۸/۳	۵/۸	۲۷/۷	۶۶/۵

CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، EC: هدایت الکتریکی، SOC: کربن آلی خاک، SAR: نسبت جذب سدیم

کادمیم در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل AA220) قرائت شد. به منظور اندازه‌گیری غلظت کادمیم در نمونه‌های خشک گیاه، نمونه‌های خشک شده ریشه، شاخه و میوه جداگانه در مخلوطی از اسید نیتریک، اسید کلریدریک و اسید سولفوریک به نسبت ۴:۱۰:۱ در دمای ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد هضم و بعد از اتمام فعل و انفعالات، محتویات از کاغذ صافی به داخل بالن ژوژه صاف شدند و سپس غلظت کادمیم در عصاره‌ها توسط دستگاه جذب اتمی (مدل AA220) قرائت شد (Baker, and Amacher, 1982).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (One Way ANOVA)، مقایسه میانگین‌ها در سطح معنی‌داری ۹۵٪ با آزمون دانکن به وسیله نرم‌افزار آماری SPSS 19 انجام شد.

نتایج و بحث

بیوماس و جذب کادمیم

تأثیر تیمارهای مختلف مورد آزمایش بر میزان بیوماس و کادمیم گیاه در جدول ۳ آورده شده است. تیمار بیوچار PZ2 نشان داد که بیوماس فلفل دلمه سبز در مقایسه با PZ1 ۷۹/۲٪ افزایش یافته است. در حالی که در تیمار PZ3، بیوماس فلفل دلمه سبز ۱۸/۱۳٪ در مقایسه با PZ1 افزایش یافته است. افزودن بیوچار باعث افزایش بیشتر در بیوماس فلفل دلمه سبز در مقایسه با نانوذره زئولیت در خاک آلوده به فلز کادمیم شد. آگوشی و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند که استفاده از زئولیت تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع و تجمع ماده خشک، وزن خشک برگ، ساقه، عملکرد و اجزاء عملکرد، کلروفیل، هدایت الکتریکی، شاخص برداشت، درصد و عملکرد پروتئین دانه سویا داشت. اثرات بیوچار در افزایش کربن آلی خاک و عملکرد گیاه بیشتر از اثرات آلودگی کادمیم بر بیوماس گیاه بوده است.

تیمارهای مورد آزمایش به صورت زیر آماده شدند و برای هر تیمار سه تکرار انجام شد:

- ۱) خاک آلوده + ۰٪ وزنی بیوچار کاه گندم و پودر زئولیت + ۵۰ بذر فلفل دلمه (PZ1)؛
- ۲) خاک آلوده + ۵٪ وزنی بیوچار کاه گندم + ۵۰ بذر فلفل دلمه (PZ2)؛
- ۳) خاک آلوده + ۵٪ وزنی پودر زئولیت + ۵۰ بذر فلفل دلمه (PZ3).

پس از تهیه خاک‌های آلوده، فلفل دلمه سبز (*Capsicum annuum*) در شرایط طبیعی در آنها کاشته شدند. با توجه به عمق خاک پروفیل، ۶-۰، ۱۲-۶، ۱۸-۱۲، ۲۴-۱۸، ۳۰-۲۴ سانتی‌متر خاک به ترتیب H₁، H₂، H₃، H₄، H₅ تعریف شد. خاک‌های آلوده در اول فروردین ۱۳۹۹ در کرت‌ها اضافه شدند. فلفل سبز در ۱۵ خردادماه ۱۳۹۹ کاشته شدند. در طول فصل رشد عملیات آبیاری، مبارزه با آفات و علف‌های هرز برای تمامی کرت‌ها انجام شد. آبیاری با بازگشت خاک به ظرفیت زراعی در انتهای هر دور آبیاری انجام شد.

وقتی گیاهان برای برداشت رسیدند، نمونه‌های گیاهان جمع‌آوری و با آب تصفیه شده شستشو داده شدند. هم‌زمان نمونه‌های خاک و گیاه جمع‌آوری و برای آنالیز به آزمایشگاه انتقال داده شد. در پایان آزمایش، نمونه‌برداری خاک از هر پنج عمق خاک H₁، H₂، H₃، H₄ و H₅ در سه تکرار با استفاده از یک اگر انجام شد. هر نمونه گیاه به ریشه، شاخه و میوه جدا شد. هر قسمت به مدت ۳۰ دقیقه در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و ۴۸ ساعت دیگر در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. نمونه‌های ریشه، شاخه و میوه خشک شده به‌طور جداگانه آسیاب شده و برای آنالیز در کیسه‌های پلاستیکی ذخیره شدند.

برای اندازه‌گیری غلظت کادمیم در نمونه‌های خاک، از عصاره گیر DTPA به همراه کلرید کلسیم و تری اتانول آمین (Triethanol amine) استفاده شد و pH محلول عصاره گیر در حدود ۷/۳ تنظیم گردید. سپس غلظت

کادمیم خاک منجر به کاهش معنی دار عملکرد محصول می‌گردد. غلظت کادمیم در بخش‌های مختلف گیاه در شکل ۱ نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که کادمیم جذب شده توسط ساقه‌های فلفل دلمه سبز در هر سه تیمار حدود ۵۰٪ کادمیم کل گیاه بود که نشان می‌دهد گیاه فلفل دلمه سبز توانایی بالایی در جذب کادمیم دارد. غلظت کادمیم در میوه فلفل دلمه سبز در استفاده از بیوچار در مقایسه با هر دو تیمار PZ1 و PZ3 تقریباً ۳۰٪ به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کاهش یافته است. به‌طور کلی، با توجه به نتایج جدول و شکل ۱، وجود بیوچار در خاک سبب افزایش عملکرد گیاه و کاهش غلظت کادمیم در بخش‌های خوراکی گیاه فلفل دلمه سبز شده است. در این راستا، جلالی پور و همکاران (۱۳۹۲) بیان کردند که بیوچار به‌طور کلی باعث بهبود رشد زیست توده می‌شود و بیشترین افزایش در میزان ارتفاع، وزن خشک ساقه و ریشه گیاه در سطح ۱۵ گرم بر کیلوگرم بیوچار و سطح صفر کادمیم مشاهده شد.

جعفری و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین به‌وسیله گیاه آفتابگردان

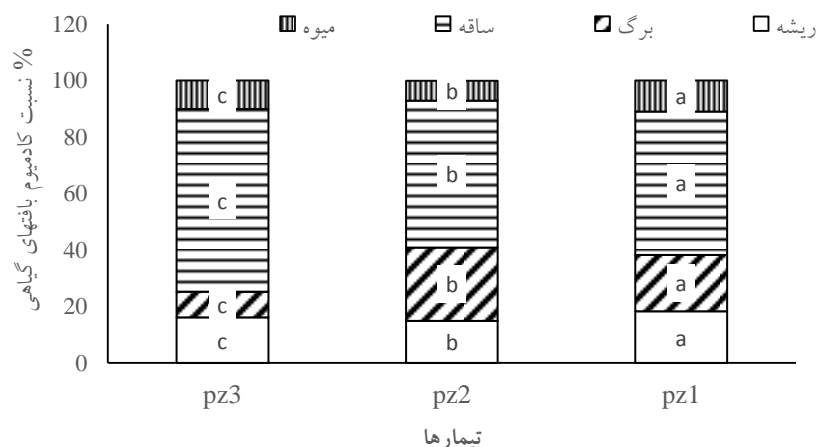
همین‌طور، بیوچار با بهبود وضعیت تغذیه خاک عملکرد گیاه را بیشتر تیمار PZ3 افزایش داد.

جدول (۳). بیوماس (biomass) و کادمیم (Cd) در فلفل دلمه سبز، حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و حروف متفاوت نشان دهنده معنی‌دار بودن غلظت کادمیم بین سه تیمار است.

	بیوماس gt/m^2	Cd mg/kg
PZ1	۲۳۲/۷	$0.45 \pm 0.04a$
PZ2	۴۱۷/۱	$0.62 \pm 0.02b$
PZ3	۴۷۴/۹	$0.66 \pm 0.02b$

PZ1: خاک آلوده + فلفل دلمه، PZ2: خاک آلوده + ۵٪ وزنی بیوچار + فلفل دلمه، PZ3: خاک آلوده + ۵٪ وزنی پودر ژئولیت + فلفل دلمه

این نتایج مطابقت دارد با یافته‌های محققان دیگر (Tagoe et al., 2008; Suppadit et al., 2012; Reibe et al., 2015; Qiao et al., 2017; Dai et al., 2020; Wang et al., 2019a,b) که همگی بر این باورند بیوچار توانایی افزایش عملکرد بهتر گیاه به همراه دارد. Chen و همکاران (۲۰۱۶) همچنین بیان کردند که کاربرد بیوچار افزایش عملکرد و کاهش غلظت چهار درصدی کادمیم در بیوماس گیاه برنج را به همراه داشته است. در همین راستا، Zhang و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی آلودگی کادمیم خاک بر عملکرد گیاهان به این نتیجه رسیدند آلودگی



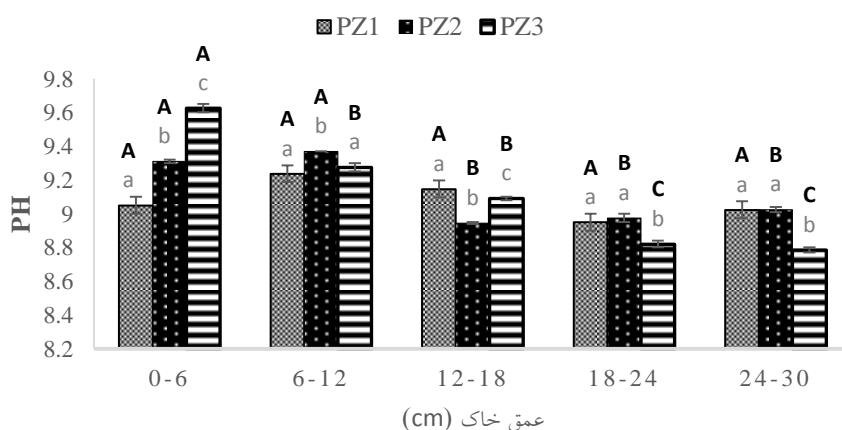
شکل ۱. نسبت کادمیم در بافت‌های مختلف گیاه، PZ1: خاک آلوده + فلفل دلمه، PZ2: خاک آلوده + ۵٪ وزنی بیوچار + فلفل دلمه، PZ3: خاک آلوده + ۵٪ وزنی پودر ژئولیت + فلفل دلمه، حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و حروف متفاوت نشان دهنده معنی‌دار بودن غلظت کادمیم بین سه تیمار است

رحمی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد که یافتند افزودن بیوپچار و زئولیت افزایش pH خاک را به همراه دارد. تیمار خاک به همراه بیوپچار در تمام اعماق H1, H2, H3, H4 و H5 به ترتیب ۳۹/۵، ۱۹/۷، ۸/۳، ۲۵/۸ و ۹/۵ درصد افزایش SOC نسبت به تیمار PZ1 را داشته است (شکل ۳). به دلیل وجود بیوپچار در خاک و بهبود بخشیدن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مانند افزایش کربن خاک، حاصلخیزی خاک و غیر متحرک کردن آلودگی خاک) شرایط مناسب‌تری را برای رشد گیاه فراهم می‌کند و سبب افزایش مقدار SOC خاک سطحی نسبت به خاک عمقی می‌گردد (خدا رحمی و همکاران ۱۳۹۸، Sun et al., 2020). علاوه بر این، با بهبود خصوصیات خاک در صورت استفاده از بیوپچار، به‌طور قابل توجهی می‌تواند سبب رشد گیاه و افزایش بیوماس گیاه شود (جدول ۳). همچنین، گیاهان مختلف توانایی‌های مختلفی برای جذب کادمیم دارند و ممکن است با تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، توانایی گیاهان هم در جذب کادمیم خاک تغییر کند (Chen et al., 2008; Jeffery et al., 2015; Sun et al., 2020).

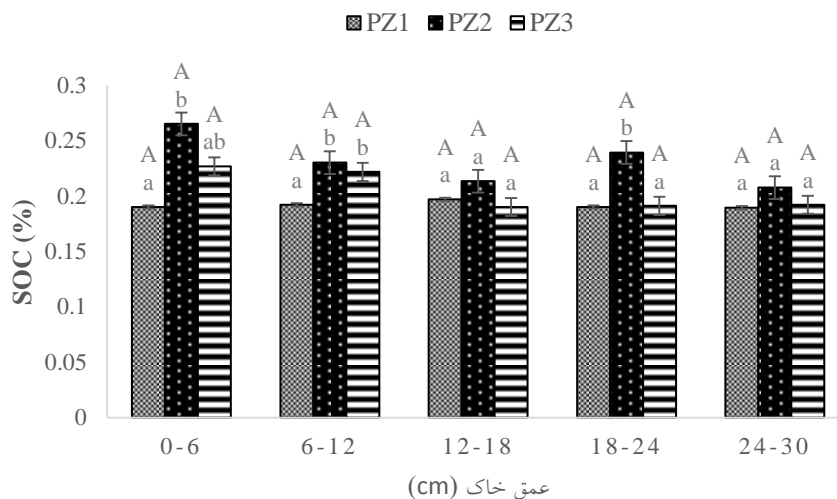
نشان دادند که حضور بیوپچار در بستر کاشت، در برخی تیمارها منجر به بالا رفتن غلظت آلاینده در اندام‌های گیاهی شد و گونه آفتابگردان به‌عنوان یک گیاه مناسب برای گیاه‌پالایی خاک‌ها مناسب می‌باشد. آزاد بخت و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی تأثیر آلودگی کادمیم و سرب بر کیفیت زیستی خاک و رشد گیاه کلزا به این نتیجه رسیدند که کادمیم و سرب در گیاه کلزا به‌عنوان عوامل بازدارنده بر روی رشد طول ساقه و ریشه مؤثر بوده‌اند.

اثرات بیوپچار و نانوذره زئولیت بر pH و کربن آلی خاک

تغییرات pH در شکل ۲ و کربن آلی خاک (SOC) در شکل ۳ نشان شده است. در مقایسه با تیمار بدون بیوپچار و زئولیت (PZ1)، pH خاک سطحی (H1) تیمارهای PZ2 و PZ3 به ترتیب ۰/۲۶ و ۰/۵۸ واحد به‌طور معنی‌داری ($p < 0/05$) افزایش یافته است. همچنین pH خاک در تیمار PZ1 و PZ2 بین اعماق پایین‌تر مقایسه شدند که نتایج نشان می‌دهد میزان pH خاک در تیمار PZ2 و PZ3 در سه عمق H3، H4 و H5 کاهش داشته است. این نتایج (افزایش pH خاک سطحی در اثر افزودن بیوپچار و زئولیت) با یافته‌های Medyńska-Juraszek و همکاران (۲۰۲۰)، Burachevskaya و همکاران (۲۰۲۱) و سلطانی



شکل ۲. تغییرات pH خاک در پروفیل خاک، PZ1: خاک آلوده + فلفل دلمه، PZ2: خاک آلوده + ۰.۵٪ وزنی بیوپچار + فلفل دلمه، PZ3: خاک آلوده + ۰.۵٪ وزنی پودر زئولیت + فلفل دلمه، حروف مشابه کوچک نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و حروف متفاوت کوچک نشان دهنده معنی‌دار بودن غلظت pH بین سه تیمار در هر عمق است. حروف مشابه بزرگ نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و حروف متفاوت بزرگ نشان دهنده معنی‌دار بودن غلظت pH بین عمق‌ها در هر تیمار است



شکل ۳. تغییرات کربن آلی خاک (SOC) در پروفیل خاک، PZ1: خاک آلوده+ فلفل دلمه، PZ2: خاک آلوده + ۵٪ وزنی بیوجار + فلفل دلمه، PZ3: خاک، حروف مشابه کوچک نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار و حروف متفاوت کوچک نشان دهنده معنی دار بودن کربن آلی خاک بین سه تیمار در هر عمق است و حروف مشابه بزرگ نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار کربن آلی خاک بین عمق‌ها در هر تیمار است

افزایش باقیمانده کادمیم و روی در خاک شد (Xiao et al., 2019).

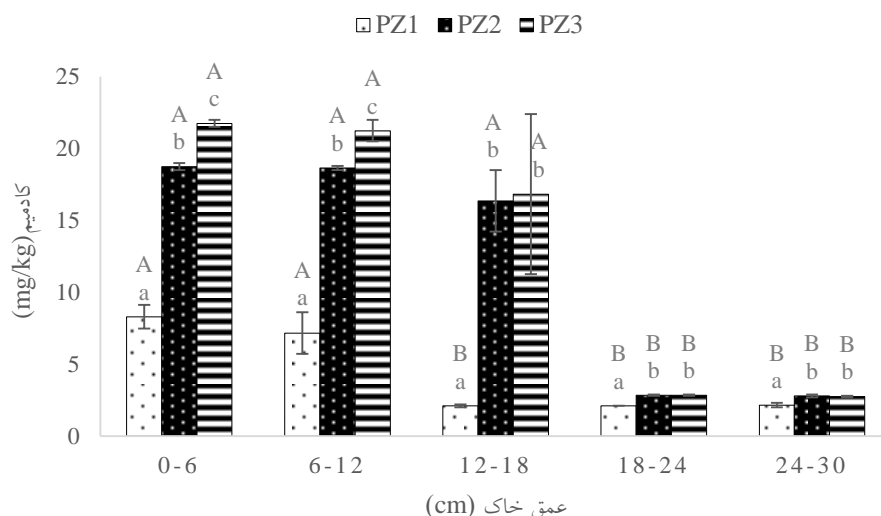
لازم به ذکر است که کادمیم باقیمانده در خاک یکی از ویژگی‌هایی است که معمولاً تحت تأثیر عوامل محیطی نظیر شرایط آب و هوایی، بافت خاک و مقدار آب آبیاری قرار می‌گیرد. از آنجا که شرایط آزمایش در پژوهش حاضر برای همه تیمارها یکسان بوده، لذا تغییرات کادمیم خاک تحت تأثیر وجود بیوجار و ژئولیت بود.

نتیجه‌گیری

- به‌طور کلی از این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که: (۱) ژئولیت نسبت به بیوجار در خاک‌های شور و قلیا تأثیر بیشتری در جلوگیری از حرکت و انتقال کادمیم به لایه‌های زیرین خاک داشت که می‌توان گفت آب زیرزمینی را در برابر آلودگی کادمیم محافظت خواهد کرد.
- افزودن بیوجار باعث افزایش بیشتر در بیوماس فلفل دلمه سبز در مقایسه با نانوذره ژئولیت در خاک آلوده به فلز کادمیم شد.
- با جذب ۵۰ درصدی کادمیم توسط ساقه‌های فلفل دلمه سبز می‌توان بیان کرد که این گیاه، می‌تواند به‌عنوان جذب‌کننده کادمیم در خاک‌های شور و قلیا معرفی شود.

اثرات بیوجار و نانوذره ژئولیت بر انتقال کادمیم به لایه‌های عمودی خاک

نتایج نشان داد کاربرد مقادیر ۵ گرم بیوجار و ژئولیت بر کیلوگرم خاک به ترتیب سبب نگهداشت ۴۲ درصد و ۷۸ درصد کادمیم خاک در خاک سطحی $H_3 + H_2 + H_1$ در مقایسه با تیمار PZ1 شد (شکل ۴)؛ که دلیل احتمالی آن افزایش نگهداشت یون کادمیم در خاک به دلیل جذب بر روی بیوجار و ژئولیت و افزایش توان نگهداشت این یون در خاک می‌باشد. همچنین یون کادمیم به دلیل بار مثبت به ذرات کلونیدی خاک دارای بیوجار و ژئولیت جذب شده و به مقدار کمتری نسبت به تیمار PZ1 به لایه‌های پایین‌تر انتقال می‌یابد. این اثر در زمین‌های شنی به دلیل کم بودن ظرفیت تبادل کاتیونی، بیشتر می‌باشد. کاهش انتقال کادمیم در اثر کاربرد بیوجار و ژئولیت توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Cui et al., 2019; Sun et al., 2020). در پژوهش دیگری، کاربرد ژئولیت به‌طور معنی‌داری در افزایش جذب و قدرت نگهداری کادمیم و کاهش انتقال به اعماق مؤثر بود و با افزایش مقدار ژئولیت اثربخشی آن نیز افزایش یافت (Mondal et al., 2021). در آزمایش دیگری، استفاده از بیوجار بقایای گیاهان در خاک‌هایی با بافت متوسط و شور سبب افزایش رشد گیاه و همچنین



شکل ۴. تغییرات کادمیم (Cd) در پروفیل خاک، PZ1: خاک آلوده + فلفل دلمه، PZ2: خاک آلوده + ۰.۵٪ وزنی بیوجار + فلفل دلمه، PZ3: خاک، حروف مشابه کوچک نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار و حروف متفاوت کوچک نشان دهنده معنی دار بودن غلظت Cd بین سه تیمار در هر عمق است و حروف متفاوت بزرگ نشان دهنده معنی دار بودن غلظت Cd بین عمق‌ها در هر تیمار است

Reference:

- Agushi, M., Qajar Spanloo, M., Bahmanyar, M. 2015. The effect of zeolite application on quantitative and qualitative yield of soybean under stress and non-stress conditions. *Journal of Plant Production Research*, 2015; 22 (2): 173-187. [in Persian]
- Azadbakht, Z., Beheshti Al-Agha, A., Kahrizi, D., Karami, M. 2019. 'Effect of cadmium and lead pollution on soil biological quality and growth of rapeseed (*Brassica napus*)', *Iranian Soil and Water Research*, 51 (1): 217-230. doi: 10.22059/ijswr.2019.272322.668081. [in Persian]
- Baker, D.E. and M.C. Amacher. 1982. Nickel, Copper, Zinc and Cadmium. p. 323- 334. In: A.L. Page, R.H. Millers and D. R. Keeney (eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2: chemical and microbiological properties*. 2nd ed., Agronomy Monograph No. 9, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Burachevskaya, M., Mandzhieva, S., Bauer, T., Minkina, T., Rajput, V., Chaplygin, V., Fedorenko, A., Chernikova, N., Zamulina, I., Kolesnikov, S., Sushkova, S., Perelomov, L. 2020. The Effect of Granular Activated Carbon and Biochar on the Availability of Cu and Zn to *Hordeum sativum* Distichum in Contaminated Soil. *Plants*, 10(5):841. doi.org/10.3390/plants10050841
- Chen, D., Guo, H., Li, R., Pan, G., Cheng, A. and Joseph, S. 2016. Low uptake affinity cultivars with biochar to tackle Cd-tainted rice -A field study over four rice seasons in Hunan, China. *Science of the total environment*, 541: 1489-1498.
- Chen B., Zhou, D. and Zhu, L. 2008. Transitional adsorption and partition of nonpolar and polar aromatic contaminants by biochars of pine needles with different pyrolytic temperatures. *Environmental science and technology*, 42; (14):5137-5143.
- Cui, L., Pan, G., Li, L., Bian, R., Liu, X., Yan, J., Quan, G., Ding, C., Chen, T., Liu, Y. et al. 2016. Continuous immobilization of cadmium and lead in biochar amended contaminated paddy soil: A five-year field experiment. *Ecological engineering*, 93:1-8.
- Cui, L., Yin, C., Chen, T., Quan, G., Ippolito, A., Liu, B., Yan, J. and Hussain, Q. 2019. Biochar immobilizes and degrades 2,4,6-Trichlorophenol in soils. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(6): 1364-1371.
- Dai, Y., Zheng, H., Jiang, Z. and Xing, B. 2020. Combined effects of biochar properties and soil conditions on plant growth: A meta-analysis. *Science of the total environment*, 713: 136635, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136635>
- Fellet, G., Marmioli, M. and Marchiol, L. 2014. Elements uptake by metal accumulator species grown on mine tailings amended with three types of biochar. *Science of the total environment*, 468-469:598-608.
- Gaur, A. and Adholeya, A. 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Current Science*. 86: 528-534.

- Gu, C. and Bai, Y. 2018. Heavy metal leaching and plant uptake in mudflat soils amended with sewage sludge. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(31): 31031–31039.
- He, H., Tam, N.F.Y., Yao, A., Qiu, R., Li, W.C. and Ye, Z. 2017. Growth and Cd uptake by rice (*Oryza sativa*) in acidic and Cd-contaminated paddy soils amended with steel slag. *Chemosphere*, 189: 247–254.
- Jacob, H. and Clarke, G. 2002. *Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Method*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Jafari, M., Jahantab, E., Moammari, M. 2019. Investigation of refining heavy metal contaminated soils by sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology*, 1399; 22 (7): 1-14. doi: 10.22034/jest.2021.24665.3373. [in Persian]
- Jeffery, S., Bezemer, T.M., Cornelissen, G., Kuyper, T.W., Lehman, J., Mommer, L., Sohi, S., Voorde, T.F.J., Wardle, D. and Groenigen, J.W. 2015. The way forward in biochar research: targeting trade-offs between the potential wins. *Global Change Biol Bioenergy*, 7(1): 1–13.
- McKeon C.A., Jordan, F.L., Glenn, E.P., Waugh, W.J. and Nelson, S.G. 2005. Rapid nitrate loss from a contaminated desert soil. *Journal of Arid*, 119-136.
- McLean E.O. 1988. Soil pH and lime requirement. P 199-224. In: A.L. Page (Ed). *Methods of Soil Analysis*. Part. American Society of Agronomy Soil Science Society of America Madison.
- Medyńska-Juraszek, A., Rivier, P.A., Rasse, D. and Joner, E.J. 2020. Biochar Affects Heavy Metal Uptake in Plants through Interactions in the Rhizosphere. *Applied Sciences*, 10(15): 5105. <https://doi.org/10.3390/app10155105>
- Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., Bandyopadhyay, P.K., Maitra, S., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P. and Hossain, A. 2021. Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. *Agronomy*, 11; 448. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030448>
- Ok, Y.S., Usman, A.R., Lee, S.S., Abd El-Azeem, S.A., Choi, B., Hashimoto, Y. and Yang, J.E. 2011. Effects of rapeseed residue on lead and cadmium availability and uptake by rice plants in heavy metal contaminated paddy soil. *Chemosphere*, 85(4): 677–682
- Qiao, Y., Wu, J., Xu, Y., Fang, Z., Zheng, L., Cheng, W., Tsang, E.P., Fang, J. and Zhao, D. 2017. Remediation of cadmium in soil by biochar-supported iron phosphate nanoparticles. *Ecological Engineering*, 106: 515-522.
- Reibe, K., Götz, K. P., Ross, C. L., Doering, T. F., Ellmer, F. and Ruess, L. 2015. Impact of quality and quantity of biochar and hydrochar on soil collembola and growth of spring wheat. *Soil Biology and Biochemistry*, 8: 84–87. doi: 10.1016/j.soilbio.2015.01.014
- Soltani Mohammadi, A., Khodarahmi, Y., Boroumaneh N., Saeed, N., Abd A. 2018. Evaluation of the effect of modified biochar and zeolite on some physical and chemical properties of loam soil. *Journal of Soil and Water Resources Protection (Scientific - Research)*, 8 (4): 87-102. [in Persian]
- Summer, M. E. and Miller, W. P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. P. 1201-1230. In D. L. Sparks (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 3. American Society of Agronomy, Madison, WI
- Sun, J., Qinya, F., Jingwen, M., Liqiang, C., Guixiang, Q., Jinlong, Y., Limin, W., Kiran, H., Basit, A. and Hui W. 2020. Effects of biochar on cadmium (Cd) uptake in vegetables and its natural downward movement in saline-alkali soil, Environmental pollutants and bioavailability. 232: 36–46.
- Tagoe, S., Horiuchi, T. and Matsui, T. 2008. Effects of carbonized and dried chicken manures on the growth, yield, and N content of soybean. *Plant Soil*. 306: 211–220.
- Walkley, A. and Black, A. 1934. Estimation of soil organic carbon in by the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29–38.
- Wang, M., Chen, S., Chen, L. and Wang D. 2019a. Responses of soil microbial communities and their network interactions to saline-alkaline stress in Cd-contaminated soils. *Environmental Pollution*, 252:1609–1621.
- Wang, Y., Villamil, M., Davidson, P.C. and Akdeniz, N. 2019b. A quantitative understanding of the role of co-composted biochar in plant growth using meta-analysis. *Science of the total environment*, 685: 741-752.
- Watson, M.E. and Brown, J.R. 1998. Recommended chemical soil test procedures for the north central region. p. 286-304. In J.R. Brown (ed.) University of Missouri, Columbia, MO White, K.L. 1965 Shrub-carrs of southeastern Wisconsin *Ecology* .
- Xiao R, Wang P, Mi S, Ali, A., Liu, X., Li, Y., Guan, W., Li, R. and Zhang, Z. 2019. Effects of crop straw and its derived biochar on the mobility and bioavailability in Cd and Zn in two smelter-contaminated alkaline soils. *Ecotoxicology and environmental safety*, 181: 155–163.
- Yuan, P., Wang, J., Pan, Y., Shen, B. and Wu, C. 2019. Review of biochar for the management of contaminated soil: preparation, application and prospect. *Science of the total environment*, 2019; 659: 473–490.
- Zhang, X., Zhong, T., Liu, L. and Ouyang, X. 2015. Impact of Soil Heavy Metal Pollution on Food Safety in China. *Plos one*, 10(8): e0135182. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135182>



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 11
No. 2
Winter 2022

Received:
2021-06-22

Accepted:
2021-11-21

Pages: 69-78

Effect of Biochar and Zeolite on Cadmium Uptake in Green bell Pepper (*Capsicum Annuum*) and Leaching in Saline-alkaline Soil

Nasrin Gharahi¹

1) Associate professor, Environmental Sciences Department, Faculty of Natural Resources and Earth science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

*Corresponding author email: nasrin.gharahi@nres.sku.ac.ir

Abstract:

Background and Aim: The effect of various biochars and nano-clay on Cd immobilization and uptake by plants has been widely studied, but few studies have focused on the migration of different Cd fractions in saline-alkaline soils. Moreover, the remediation potential of biochar and nano-clay in saline soils polluted with heavy metals is still to be studied. Therefore, it was hypothesized that the Cd movement is influenced by biochar and nano-clay application in soil contaminated with the matter. The aim of the present study was to evaluate the effects of biochar and zeolite on the uptake of cadmium by green bell pepper (*Capsicum annuum*) and its downward movement in saline-alkaline and cadmium-contaminated soils.

Method: The present study was carried out under two soil modification materials including wheat straw biochar (*Triticum*) and zeolite nanoparticles at the level of 5 g/kg of cadmium-contaminated soil. The soil was collected at 0 to 30 cm depth from a plain in Sejzi, Esfahan. The soil was air-dried and stones, as well as plant litter, were removed, and then the soil was passed through a 5 mm sieve and prepared for the experiment. The heavy metal contaminated soil was created by placing 500 g air-dried soil into a 2 L glass beaker and mixing it with 250 mL cadmium nitrate (1.2 g Cd, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). In the Sejzi plain area, three plots were filled with biochar and zeolite at the level of 5 g/kg of cadmium-contaminated soil. After preparing the contaminated soils, green bell peppers (*Capsicum annuum*) were planted in them under natural conditions.

Results: The results showed that biomass of green bell pepper increased significantly by 79.2% and 18.3% using biochar and zeolite, respectively. The concentration of cadmium in green bell pepper's fruit in biochar application was reduced by almost 30% compared to both control and soil treatments with zeolite. Cadmium absorbed by green bell pepper stems was about 50% of the total plant cadmium. Application of 5 gr of biochar and zeolite per kg of soil increased 42% and 78% of soil cadmium in topsoil (0-12 cm), respectively, compared to the subsoil.

Conclusion: According to the results, it can be stated that green bell pepper can be introduced as a cadmium absorber. The results also show the superiority of zeolite treatment over biochar treatment in reducing contamination transfer to the underlying layers of saline and alkaline soils and the addition of biochar caused a greater increase in green bell pepper biomass compared to zeolite nanoparticles in cadmium-contaminated soil.

Keywords: Biochar, zeolite, leaching, cadmium, organic carbon

