

Research Article

Agricultural Engineering, 46(4) (2024) 391-410  
DOI: 10.22055/agen.2024.45364.1691

ISSN (P): 2588-526X  
ISSN (E): 2588-5944

## Title: The Effect of Biochar on Physiological Indicators and Cadmium Availability in Two Grape Varieties under Cadmium Stress

H. Karimi<sup>1</sup>, Sh. Mahdavi<sup>2,\*</sup>, N. Hassanzadeh<sup>3</sup> and R. Karimi<sup>4</sup>

1. Ph.D. student, Grape Environmental Science Department, Research Institute for Grapes and Raisin (RIGR), Malayer University, Malayer, Iran
- 2,4. Associa Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran
3. Assistant Professor, Department of environmental Science, of Natural Resource and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

Received: 26 November 2023 Accepted: 15 January 2024 \*Corresponding Author: smahdaviha@yahoo.com

### Abstract

**Introduction:** Soil and water pollution, particularly from heavy metals like cadmium, is a significant concern in urban and industrial areas. Biochar has been proposed as a sustainable method to mitigate heavy metal pollution in soil. This study aimed to investigate the impact of biochar on two grape varieties (white Soltana and Perlett) exposed to cadmium stress. The research involved cultivating grape cuttings in plastic pots in the greenhouse. The concentrations of cadmium in the soil and leaves, as well as several physiological indicators of the leaves, were examined.

**Materials and Methods:** Two grape varieties, white Soltana, and Perlett, were subjected to 100 mg/kg cadmium stress in the presence of biochar (3% w/w). After two months of applying cadmium stress and biochar treatment, soil samples from the rhizosphere zone were collected. Cadmium forms were determined using the fractionations method in the research laboratory of Malayer University of Iran and measured following atomic absorption spectroscopy. Leaf samples were also collected to measure physiological indicators such as ion leakage, chlorophyll content, phosphorus levels, and relative water content. The data were recorded, and statistical analysis was performed using SPSS software. Graphs were created using Excel software, and Duncan's test was employed at a significance level of 1%.

**Results and Discussion:** The results indicated that cadmium stress led to a decrease in chlorophyll content and relative water content, as well as an increase in ion leakage in both grape varieties (without biochar treatment). However, the application of biochar along with cadmium stress resulted in increased relative water content, chlorophyll content, and phosphorus levels, while significantly reducing ion leakage in both grape varieties compared to untreated soil. The addition of biochar also significantly reduced the availability of cadmium, as measured cadmium by the DTPA and fractionations method compared to the control. The use of biochar Specifically decreased the exchangeable and carbonated forms of cadmium and increased the organic, oxide, and residual forms in the rhizosphere of the grape seedlings. The presence of biochar resulted in a 16.44% increase in the average concentration of cadmium in the chlorophyll content of leaves for the White Soltana variety under a stress level of 100 mg/kg cadmium. Similarly, a 22.26% increase



was observed in the Perlett variety. Ionic leakage in the Perlett variety decreased by 18.95% under cadmium stress when biochar was applied, compared to a 28.99% decrease in the White Soltana variety. Phosphorus levels increased by 52.22% in the Perlett variety with the use of biochar, while the White Soltana variety showed an 83% increase in phosphorus content when biochar was employed. The relative water content in the Perlett variety with biochar increased by 17.70% under a stress level of 100 mg/kg cadmium compared to the same variety without biochar. In the White Soltana variety, the increase in relative water content was 8.53% with the presence of biochar. Regarding cadmium concentration, the presence of biochar led to a 19.29% increase in the average concentration of cadmium in the carbonate form for the White Soltana variety under a stress level of 100 mg/kg cadmium in the soil. Similarly, the Perlett variety exhibited a 26.33% increase in the concentration of cadmium in the carbonate form with biochar application. In the presence of biochar and a stress level of 100 mg/kg cadmium in the soil, the exchangeable form of cadmium in the White Soltana variety showed a decrease of 26.23% in average concentration compared to samples without biochar. The reduction in the exchangeable form with biochar application in the Perlett variety was 22.16%. The presence of biochar led to a 33.75% increase in the average concentration of cadmium in the oxide form for the White Soltana variety under a stress level of 100 mg/kg cadmium in the soil. In the Perlett variety, an 11.44% increase in the oxide form was observed with biochar application. In terms of cadmium concentration, the presence of biochar led to a 48.40% increase in the average concentration of cadmium in the organic form for the White Soltana variety under the stress of 100 mg/kg cadmium in the soil. Similarly, the Perlett variety exhibited a 21.45% increase in the concentration of cadmium in the organic form with biochar application.

Regarding the residual form, the White Soltana variety showed a 34.97% increase in the average concentration of cadmium (20.88 mg/kg) in the presence of biochar under 100 mg/kg cadmium stress. The Perlett variety also exhibited a 30.34% increase in the residual form with biochar application. These findings suggest that biochar promotes the accumulation of cadmium in the organic and residual forms, reducing its availability in the exchangeable and oxide forms.

**Conclusion:** This research showed that the efficacy of biochar application for controlling cadmium contamination in the soils particularly for the white Soltana variety. The use of biochar can induce positive changes in leaf indices and potentially mitigate the risks associated with cadmium transfer to humans and the environment in contaminated soils.

**Keywords:** *Grapes, soil fractionation, leaf physiological indices, cadmium*

## اثر زغال زیستی بر محتوای نسبی آب، نشت یونی، کلروفیل، فسفر و فراهمی کادمیم خاک ریزوسفری در دو رقم انگور در مواجهه با تنش کادمیم

هدا کریمی<sup>۱</sup>، شهریار مهدوی<sup>۲\*</sup>، نسرین حسن زاده<sup>۳</sup> و روح اله کریمی<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی دکتری گروه محیط زیست، پژوهشکده انگور و کشمش، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
- ۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
- ۳- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست و منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
- ۴- دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

### تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۵

پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

### کلمات کلیدی:

انگور،

جزءبندی خاک،

شاخص های فیزیولوژیکی برگ،

کادمیم

### چکیده

آلودگی خاک توسط فلزات سنگین در بسیاری از جوامع شهری مورد توجه قرار گرفته است. امروزه کاربرد زغال زیستی به عنوان یک روش سالم جهت کنترل آلودگی فلزات سنگین در خاک پیشنهاد شده است. در این آزمایش به بررسی اثر زغال زیستی در دو رقم انگور (بیدانه سفید و پرلت) در مواجهه با تنش ۱۰۰ میلی گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک پرداخته شده است. پس از اعمال تنش کادمیم و کاربرد زغال زیستی (۳ درصد وزنی به عنوان تیمار اصلاحی) در گلدان های مورد آزمایش، نمونه های خاک های منطقه ریزوسفری و نمونه های برگ پس از ۲ ماه از اعمال تنش جمع آوری گردید و جزءبندی کادمیم در خاک ریزوسفری مورد بررسی قرار گرفت. ضمناً شاخص های فیزیولوژیکی نیز اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که کاربرد زغال زیستی در هر دو رقم انگور باعث افزایش محتوای نسبی آب، کلروفیل و فسفر گردید و میزان نشت یونی را نیز تا حدودی کاهش داد. در جزءبندی کادمیم در خاک ریزوسفری نیز کاربرد زغال زیستی باعث کاهش فرم های تبدلی و کربناته و افزایش فرم های آلی، اکسیدی و باقیمانده گردید. در فرم آلی، رقم بیدانه سفید در حضور زغال زیستی و تنش کادمیم در خاک نسبت به نمونه های بدون حضور زغال زیستی ۴۸/۶۰ درصد افزایش یافت. فرم تبدلی رقم بیدانه سفید در حضور زغال زیستی و تنش کادمیم در خاک نسبت به نمونه های بدون حضور زغال زیستی به مقدار ۲۶/۲۳٪ کاهش در میانگین غلظت کادمیم و در فرم اکسیدی به مقدار ۳۳/۷۵٪ افزایش در میانگین غلظت کادمیم داشت. در شکل باقیمانده رقم بیدانه سفید در حضور زغال زیستی و تنش کادمیم در خاک نسبت به نمونه های بدون زغال زیستی افزایش ۳۴/۹۷ درصدی در میانگین غلظت کادمیم داشت. زغال زیستی، بخش های کادمیم قابل تبادل را به شکالی که کمتر در دسترس هستند تغییر داد. طبق یافته های این پژوهش، در شرایط تنش

\* عهده دار مکاتبات

Email:  
smahdaviha@yahoo.com

کادمیم استفاده از زغال زیستی در خاک می‌تواند نقش بسیار مهمی در شاخص‌های گیاهی داشته باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد زغال زیستی در خاک می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی برای کنترل کادمیم در مناطق آلوده به این فلز سنگین در نظر گرفته شود.

#### مقدمه

امروزه خاک آلوده به فلزات سنگین مختلف (مانند کادمیم، سرب، مس، جیوه و غیره) به یک مسئله جدی در سراسر جهان تبدیل شده است که نه تنها بر عملکرد محصول، حاصلخیزی خاک و کاهش کیفیت تأثیر می‌گذارد، بلکه به طور قطعی بر سلامت انسان توسط چرخه غذایی تأثیر می‌گذارد (۱۱). این فلزات سنگین می‌توانند در خاک بمانند و خطرات زیست محیطی را به همراه داشته باشند (۳۸).

گیاهان نیز دارای مکانیسم‌های سلولی برای تنظیم غلظت یون‌های فلزی در داخل سلول هستند تا آسیب‌های احتمالی را که ممکن است از قرار گرفتن در معرض یون‌های فلزی غیرضروری ایجاد شود، به حداقل برسانند. این آلاینده‌ها که می‌توانند از طریق آبیاری فاضلاب، رسوب در جو، کودها و آفت کش‌ها، ضایعات صنعتی، منابع معدنی و غیره وارد محیط زیست و خاک شوند، نه تنها بر عملکرد محصول و کیفیت خاک تأثیر می‌گذارند، بلکه باعث سرطان زایی و سمیت ژنتیکی و انواع بیماری‌ها شده و در نهایت سلامت انسان را از طریق زنجیره غذایی تهدید کند (۲۹). وجود فلزات سنگین ضروری و غیر ضروری در اتمسفر، خاک و آب به مقدار بیش از حد می‌تواند مشکلات جدی را برای همه موجودات ایجاد کند. آگاهی از فعل و انفعالات فلز و گیاه برای ایمنی محیط زیست و همچنین برای کاهش خطرات مرتبط با ورود فلزات کمیاب به زنجیره غذایی مهم است (۱). در صورتی که فلزات سنگین در خاک تجمع کنند، ظرفیت خاک برای نگهداشت فلزات کاهش پیدا می‌کند، در نتیجه وارد محصول می‌شود و زیست دست پذیری آن‌ها افزایش می‌یابد (۳۳). کادمیم یک عنصر غیر ضروری است

که بر رشد و نمو گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد. به دلیل سمیت بالا و حلالیت زیاد در آب به عنوان یک آلاینده بسیار مهم شناخته شده است. سمیت فلزی کادمیم می‌تواند بر نفوذپذیری غشای پلاسما تأثیر بگذارد و باعث کاهش محتوای آب شود. (۲۷) ریزوسفر منطقه ریشه‌ای گیاهان بوده و شامل ریشه، خاک چسبیده به ریشه و خاک مجاور آن بوده که تحت تأثیر ریشه است (۴). این ناحیه به لحاظ جمعیت متراکم بوده و محیطی است که ریشه‌ها باید با سیستم‌های ریشه‌ای مورد هجوم مربوط به گونه‌های گیاهی مجاور بر سر فضا، آب و عناصر غذایی و با میکروارگانیسم‌های خاک که شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها و حشره خواران می‌باشند بر سر منابع مواد آلی رقابت کنند (۴). در خاک ریزوسفری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی متفاوت از توده خاک است. این ویژگی‌های متفاوت بر جذب عناصر به وسیله گیاهان موثر هستند که به دلیل مجاورت خاک در این ناحیه با ریشه پدید آمده‌اند (۲۰). ژائو و همکاران<sup>۱</sup> (۴۲) در بررسی سطوح مختلف استرس کادمیم، دریافتند با افزایش تنش کادمیم تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، میزان کلروفیل در نهال‌ها کاهش یافت. یکی از روش‌های مؤثر در جهت کاهش اثرات زیان‌آور فلزات سنگین در خاک‌های آلوده، استفاده از مواد اصلاحی آلی و معدنی جهت تثبیت آن‌ها است. افزودن زغال زیستی به عنوان یک ماده اصلاحی آلی به خاک ممکن است برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک را تغییر داده و شرایط مناسب را جهت بی‌حرکی فلزات سنگین در خاک فراهم کند. زغال زیستی محصول تخریب حرارتی مواد آلی در غیاب هوا

زغال زیستی عملکرد یکسانی در بهبود کیفیت خاک ندارند (۱۳). ثابت شده است که زغال زیستی در بهبود کیفیت خاک، مانند تنظیم نگهداری آب خاک، محتوای مواد مغذی و خاکدانه ها موثر است (۳). افزودن زغال زیستی به خاک یک روش با ارزش جهت بهسازی خاک است که می‌تواند فلزات سنگین (۳۷) و آلودگی آلی (۸) را کاهش دهد و باعث فعالیت‌های میکروارگانیسم‌های خاک شود (۲۸). این پژوهش به منظور بررسی همزمان عامل اصلاح کننده زیستی (زغال زیستی از بقایای تنه انگور های ۱۰ تا ۱۵ ساله رقم بیدانه سفید) در خاک و همچنین اثرات اصلاح کنندگی فیزیولوژیکی مربوط به ارقام در کاهش تنش و میزان فراهمی به کادمیم در خاک و گیاه انجام گردید که در نوع خود کم نظیر می‌باشد. در این پژوهش به طور همزمان فراهمی کادمیم در خاک از طریق جزء بندی و بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی برگ در دو سطح بدون تنش و تنش ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم در خاک در دو رقم انگور پرت و بیدانه سفید با حضور و بدون حضور زغال زیستی در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه ملایر انجام شد تا اثرات جداگانه اصلاح کننده زیستی و ارقام انگور مشخص گردد.

## مواد و روش ها

### کشت گلخانه ای

در پژوهش حاضر به منظور بررسی غلظت فلز کادمیم در خاک و برگ در مواجهه با تنش کادمیم و استفاده از زغال زیستی جهت بررسی برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی برگ و همچنین بررسی میزان جزء بندی خاک در ۲ رقم انگور در شهرستان ملایر، قلمه های انگور در گلدان های پلاستیکی ۵ کیلوگرمی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ملایر و دانشکده کشاورزی کشت شد. به دلیل اینکه ملایر شهر جهانی انگور می‌باشد

(تجزیه حرارتی) است (۱۶). زغال زیستی‌ها به عنوان یک ماده جاذب عمل می‌کنند که برای تثبیت انواع مختلف آلاینده‌ها مانند فلزات بالقوه سمی استفاده می‌شود و آن‌ها را در دسترس زیستی کمتری قرار می‌دهد. تنش فلزات سنگین اغلب منجر به تولید گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود. با این حال، زغال زیستی به طور قابل توجهی آنزیم‌های مهارکننده گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) را تغییر می‌دهد و یک مکانیسم انتقال الکترون کارآمد برای مقابله با اثرات سمی ROS در گیاهان فراهم می‌کند (۱۹). استفاده از زغال زیستی تنش را با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک از طریق اصلاح خواص فیزیکی و شیمیایی خاک کاهش می‌دهد که به نوبه خود دسترسی به آب برای گیاهان را افزایش می‌دهد و همچنین جذب مواد معدنی و تنظیم هدایت روزه ای را افزایش می‌دهد (۱۹). پارک و همکاران<sup>۱</sup> (۲۶) و فلت و گزارش نمودند که افزودن زغال زیستی به خاک باعث کاهش فراهمی زیستی کادمیم و سرب خاک می‌شود. مشابه نتایج این مطالعه، کویای و همکاران<sup>۳</sup> (۴) میزان کادمیم کمتری در خاک را وقتی زغال زیستی به خاک اضافه شد گزارش کردند (۴). آلماروای و ایسا<sup>۴</sup> (۲) در تحقیقی دریافتند که کاربرد زغال زیستی کود گاوی به میزان ۴ و ۸ تن در هکتار، فراهمی زیستی و تجمع فلزات سنگین (روی، مس، سرب، کادمیم و نیکل) را در گیاهان کدو کاهش داد (۲).

فعالیت‌های مختلف فیزیولوژیکی و مولکولی گیاهان تحت اثرات مضر ناشی از تجمع فلزات سنگین قرار می‌گیرند که در نهایت منجر به کاهش مستقیم یا غیرمستقیم رشد گیاه می‌شود (۱۰). زغال زیستی بیشتر از ضایعات کشاورزی، ضایعات جنگلی و جامدات زیستی (به عنوان مثال، لجن فاضلاب) ساخته می‌شود، اما همه

1- Park *et al.*

2- Fellet *et al.*

3- Cui *et al.*

4- Almaroai, & Eissa

های نایلونی کشت گردیدند، بود و بعد از اینکه نهال‌ها به ۷ الی ۱۰ برگی رسیدند به گلدان‌های پلاستیکی منتقل گردید. سپس زغال زیستی (۳ درصد وزنی) به خاک گلدان‌ها دارای تیمار زغال زیستی اضافه گردید.

جهت تهیه زغال زیستی، تنه‌های انگور را بریده و به تکه تکه کرده و سپس آن‌ها را شسته و به آزمایشگاه دانش بنیان مورد اعتماد در اهواز منتقل کرده تا در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و تبدیل به زغال زیستی شود. بعد از حدود ۲ هفته از انتقال و استقرار ریشه، گلدان‌ها دارای تنش با محلولی از نمک کادمیم ( $CdSO_4 \cdot 8H_2O$ ) (شرکت panreac، اسپانیا)، و طی دو مرحله آلوده شدند. غلظت اعمال شده کادمیم، ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. گلدان‌ها به مدت یک ماه رها شدند تا به تعادل برسند. میزان رطوبت در این مدت در ۶۵ درصد ظرفیت زراعی خاک حفظ شد. پس از ۱۵ روز از زمان کاشت، تمامی گلدان‌ها هفته‌ای دو بار و به هر گلدان نیم لیتر آب داده شد و به مدت یک ماه با محلول کودی حاوی NPK (هفته‌ای یک بار به مقدار ۰٫۵ گرم در یک لیتر آب) آبیاری شدند. پس از حدود دو ماه از رشد گیاه، برگ تک تک گیاهان در هر گلدان به طور جداگانه برداشت و با اسید بسیار رقیق و سپس آب مقطر برای حذف گرد و غبار و خاک شستشو داده شدند. سپس آنها را در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک کرده و به صورت پودر ریز آسیاب گردید. نمونه خاک از هر گلدان (از منطقه ریزوسفری خاک) پس از برداشت گیاه جمع‌آوری شد، در هوا خشک گردید، خرد شد، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و تعیین اشکال کادمیم (جزء بندی) بر روی آن‌ها انجام گردید.

### روش جزء بندی خاک ریزوسفری

جهت انجام جزء بندی برای استخراج اشکال کادمیم خاک، ابتدا نمونه‌های خاک در آزمایشگاه هوا خشک گردیدند و سپس خاک‌ها کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری

(GIAHS)<sup>۱</sup> و دارای تعداد فراوانی ارقام متنوع انگور می‌باشد و به دلیل مصرف روزافزون کودهای شیمیایی لذا این محصول انتخاب و مورد تحقیق قرار گرفت. از هر نهال انگور تعداد ۱۲ نمونه گیاه کشت (در مجموع ۲۴ گلدان) و بعد از اعمال تنش کادمیم در دو سطح بدون تنش و تنش ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، بعد از گذشت حدود ۲ ماه از اعمال تنش، برداشت از نمونه‌های خاک و برگ انجام گرفت. نهال انگور را از گلدان خارج کرده و خاک چسبیده به ریشه که همان خاک ریزوسفری است را از آن جدا و نمونه‌های خاک ریزوسفری تهیه شدند. برگ‌ها هم جهت انجام آنالیزهای مربوط به شاخص‌های فیزیولوژیکی برگ به آزمایشگاه منتقل و در یخچال منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. موقعیت شهرستان ملایر به عنوان شهر جهانی انگور و قطب انگور کشور در شکل ۱ ارائه شده است.

### نمونه برداری و آماده سازی نمونه‌ها

آزمایش درفضای گلخانه‌ای پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه ملایر در طول فصول بهار و تابستان سال ۱۴۰۱ انجام شد. با خاک خشک شده در هوا. گلدان‌های پلاستیکی با ظرفیت ۵ کیلوگرم خاک علاوه بر شاهد (خاک بدون زغال زیستی) با خاک‌های آماده پر شد. قبل از اعمال تیمارها خصوصیات کلی فیزیکی و شیمیایی و کادمیم خاک گلدان‌ها اندازه‌گیری شدند. گلدان‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، شامل تنش کادمیم و زغال زیستی در سطوح ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم و ۳ درصد وزنی زغال زیستی وارد آزمایش شدند (Blank: نمونه بدون زغال زیستی و کادمیم، bi: نمونه دارای فقط زغال زیستی، 100Cdbi: نمونه دارای کادمیم و زغال زیستی، 100Cd: نمونه دارای فقط کادمیم).

نهال‌های انگور نیز شامل ۲ رقم انگور (V. vinifera) شامل بیدانه سفید و پرلت بود که در گلدان-

می‌کنیم و سپس ساتریفیوژ (دور ۳۰۰۰ به مدت ۵ دقیقه) کرده و بعد با کاغذ صافی صاف گردید. فرم متصل به اکسیدهای آهن - منگنز (کاهشی) (F3): به نمونه خاک قبلی مقدار ۲۰ میلی لیتر از هیدروکسیل کلرو آمین ۰/۰۴ مولار که در اسید استیک ۲۵٪ ساخته شده است را اضافه می‌کنیم و به مدت ۶ ساعت در حمام بخار در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد قرار می‌دهیم و سپس، بعد از سرد شدن نمونه‌ها آن‌ها با کاغذ صافی صاف گردید.

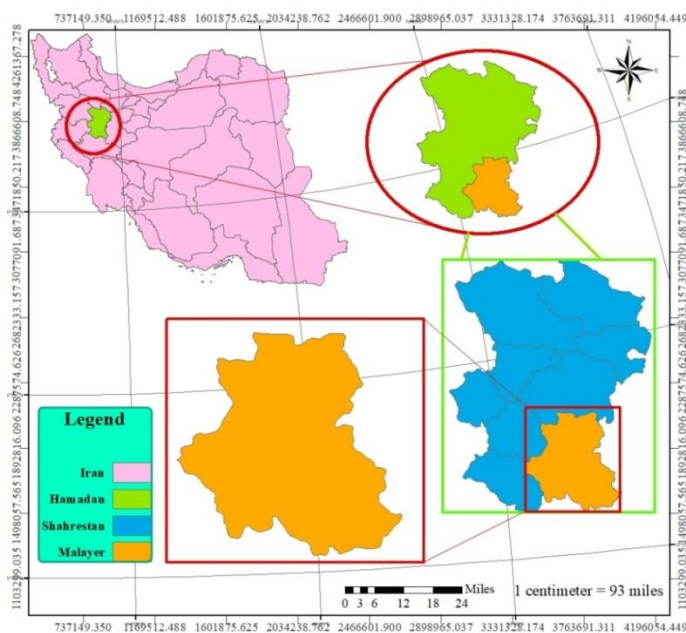
فرم اکسایشی (باند با مواد آلی - سولفیدها) (F4): مقدار ۱۵ میلی لیتر از ۳٪  $H_2O_2$  با  $pH=2$  روی نمونه‌های خاک مرحله قبل ریخته، سپس به مدت ۵/۵ ساعت در حمام بخار ۸۰ درجه سانتی گراد قرار می‌دهیم، بعد از سرد شدن ۵ میلی لیتر استات آمونیوم ۳/۲ مولار در اسید نیتریک ۲۰٪ به نمونه‌ها اضافه کرده و سپس نیم ساعت شیک گردید و بعد ساتریفیوژ (دور ۳۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه) کرده و سپس با کاغذ صافی صاف گردید.

عبور داده شدند. تمام ظروف شیشه‌ای و پلاستیکی یک شب در اسید نیتریک ۱۰٪ خیسانده شدند و قبل از استفاده با آب دیونیزه کاملاً شسته شدند. نمونه‌های خاک انتخاب شده برای جزءبندی شیمیایی کادمیم با استفاده از روش استخراج شیمیایی متوالی به روش تسیر و همکاران (۳۵) آنالیز شدند (۳۵).

روش استخراج به طور عملیاتی فلزات را در پنج شکل شیمیایی تعریف می‌کند:

فرم قابل حل در اسید، تبادل (F1): مقدار ۲ گرم از خاک کوبیده شده الک شده را وزن کرده و سپس درون لوله فالکون ریخته و مقدار ۲۰ میلی لیتر استات آمونیوم یک مولار با  $pH=7$  به آن اضافه کرده و به مدت ۲ ساعت شیک کرده و سپس ساتریفیوژ (دور ۳۰۰۰ به مدت ۵ دقیقه) گردید..

فرم پیوند یافته با کربنات‌های خاک (F2): از همان نمونه خاک مرحله قبلی مقدار ۲۰ میلی لیتر استات آمونیوم ۱ مولار با  $pH=5$  به نمونه‌ها اضافه کرده و به مدت ۲ ساعت شیک



شکل (۱) موقعیت شهرستان ملایر در استان همدان

Figure(1) Location of Malayer city in Hamadan province

دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی گراد و فشار ۱ اتمسفر اتوکلاو شدند. سپس بعد از سرد شدن فالكون‌های حاوی نمونه‌ها تا دمای اتاق، مجدداً هدایت الکتریکی (EC2) آن‌ها اندازه‌گیری و میزان نشت یونی نسبی از طریق رابطه (۱) محاسبه گردید (۳۱).

$$\%REL = [EC1 / EC2] * 100 \quad (1)$$

### محتوای نسبی آب برگ گیاه

نمونه‌برداری با استفاده از قیچی از برگ رفرنس (آخرین برگ توسعه یافته) انجام و نمونه‌ها بلافاصله درون یخ قرار گرفته و در آزمایشگاه، وزن تر آن‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بعد از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و وزن خشک هر کدام اندازه‌گیری شد (۳۰).

$$\%RWC = (F_w - D_w) / (S_w - D_w) * 100 \quad (2)$$

$F_w$  وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری،  $D_w$  وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون و  $S_w$  وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر است.

کلروفیل با استفاده از کلروفیل متر یا دستگاه SPAD-CL01 (Atago-Japan) اندازه‌گیری شد.

### آنالیز آماری

نرمال بودن داده‌های به دست آمده با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک بررسی شد. داده‌های مربوط به هر تیمار (سه تکرار) بادقت ثبت و با استفاده از نرم افزار SPSS 21 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از نرم افزار EXCEL13 جهت رسم شکلها استفاده گردید. از آزمون دانکن در سطح معنی داری ۱% استفاده شد.

فرم باقیمانده (F5): مقدار یک گرم از نمونه خاک مرحله قبل را وزن کرده و در لوله فالكون ریخته و مقدار ۵ میلی لیتر اسید نیتریک و یک میلی لیتر اسید پرکلریک به نمونه‌ها اضافه کرده و حمام بخار ۶۰ درجه به مدت ۶ ساعت قرار می‌دهیم. بعد از خنک شدن نمونه‌ها، مقدار یک میلی لیتر اسید نیتریک ۲ مولار را به نمونه‌ها اضافه کرده و سپس در بالن ۱۰۰ ریخته و با اسید رقیق نیم مولار شستشو داده تا به حجم ۱۰۰ برسد و سپس در ظرف نمونه ریخته و به یخچال منتقل و در نهایت نیز برای قرائت غلظت عناصر مورد ارزیابی، نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (۳۵).

### آنالیز گیاه

#### سنجش فسفر

ابتدا نمونه‌های خشک گیاهی در کروزه‌های چینی و روی صفحه حرارتی قرار داده شد و به منظور هضم مرطوب، نیتریک اسید و سولفوریک اسید غلیظ با نسبت برابر روی آنها ریخته شد و در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از کامل شدن عمل هضم، نمونه‌ها با آب دوبار تقطیر به حجم ۲۵ میلی لیتر رسانده شد. سنجش فسفر با استفاده از معرف زرد رنگ آمونیوم وانادات مولیبدات انجام شد. پس از افزودن معرف به عصاره حاصل از نمونه‌ها، ده دقیقه بعد، واکنش رنگی کامل شده و جاذب در ۴۷۰ نانومتر ثبت گردید (۱۲).

### نشت یونی

جهت اندازه‌گیری پایداری غشای سلولی ۱۰ قطعه از برگ رفرنس به مساحت یک سانتی متر مربع از برگ هر تیمار در زمان رسیدن به سطح تنش مورد نظر بریده شد. قطعات برگ را داخل فالكون های ۵۰ میلی لیتری قرار داده و سپس مقدار ۱۵ میلی لیتر آب مقطر دو بار تقطیر شده به آن‌ها اضافه گردید. سپس فالكون‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق روی شیکر قرار داده و بعد از این مدت با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی، هدایت الکتریکی<sup>۱</sup> (EC1) آن‌ها اندازه‌گیری شد. فالكون‌های حاوی نمونه‌ها به مدت ۱۵



## نتایج و بحث

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ذکر شده است. برخی خصوصیات زغال زیستی مصرفی نیز در جدول ۲ آورده شده است. خاک مورد استفاده جهت سهولت در ریشه زایی و زهکشی شنی انتخاب گردید. مقدار غلظت کادمیوم اولیه و شوری و آهک خاک نیز در حد استاندارد بودند. در ارتباط با خصوصیات زغال زیستی به دلیل انتخاب تنه اصلی چند ساله انگور و بالا بودن ترکیبات لیگنینی درصد کربن بالاتر بود.

تجزیه واریانس شاخص‌های فیزیولوژیکی برگ، نشان می‌دهد که تأثیر زغال زیستی در مواجهه با کادمیم، اختلاف بسیار معنی داری بین تیمارها و تنش‌ها از نظر کلروفیل، فسفر، محتوای نسبی آب و نشت یونی در سطح احتمال ۱٪ ایجاد نموده است ( $sig < 0.01$ ).

بیشترین میانگین محتوای کلروفیل برگ مربوط به تیمار انگور رقم پرلت که حاوی زغال زیستی و بدون تنش کادمیم است، همچنین تیمار انگور رقم پرلت بدون تنش کادمیم و رقم بیدانه سفید بدون تنش کادمیم و حاوی زغال زیستی با تیمار پرلت حاوی زغال زیستی و بدون تنش کادمیم اختلاف معنی داری مشاهده نشد. کمترین میانگین محتوای کلروفیل برگ مربوط به انگور رقم پرلت که حاوی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم تنش کادمیم است، می‌باشد که با رقم پرلت و بیدانه سفید که حاوی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم تنش کادمیم و بدون زغال زیستی می‌باشد، اختلاف معنی داری ندارد (شکل ۲)، در هر دو حالت تیمار زغال زیستی اعمال نشده است. محتوای کلروفیل برگ در تیمارهای با مصرف زغال زیستی در مقایسه با بدون زغال زیستی و هر دو تحت تنش کادمیم در رقم بیدانه سفید ۱۶/۴۴٪ و در رقم پرلت ۲۲/۲۶٪ افزایش مشاهده شد (شکل ۱). بی‌ریا و همکاران<sup>۱</sup> (۶) دریافتند افزایش کاربرد کادمیم و سرب میزان کلروفیل، سطح برگ و ارتفاع گیاه را به صورت معنی داری کاهش داد.

با توجه به آزمون مقایسه میانگین دانکن محتوای نشت یونی، بین تمامی تیمارها اختلاف معنی داری مشاهده شد که بیشترین میانگین محتوای نشت یونی برگ مربوط به تیمار انگور رقم پرلت که حاوی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم و بدون زغال زیستی می‌باشد، و کمترین میانگین محتوای نشت یونی برگ مربوط به انگور رقم پرلت که بدون تنش کادمیم و عدم حضور زغال زیستی است، می‌باشد (شکل ۳). میزان نشت یونی در رقم پرلت با کاربرد زغال زیستی ۱۸/۹۵٪ کاهش داشته است که این میزان کاهش در رقم بیدانه سفید با کاربرد زغال زیستی ۲۸/۹۹٪ بود. (شکل ۲). در بررسی مکرر کشتی بان و همکاران<sup>۲</sup> (۲۳)، افزودن زغال زیستی به خاک آلوده به کادمیم در گیاه (*Salix alba L.*) باعث کاهش نشت یونی شد اما محتوای کلروفیل را در برگ افزایش داد (۲۳).

با توجه به آزمون مقایسه میانگین دانکن، در هر دو رقم انگور (با زغال زیستی و بدون زغال زیستی) که تحت تنش کادمیم نبودند، فسفر اختلاف معنی داری نداشت که بیشترین میانگین محتوای فسفر برگ را دارا بودند. کمترین میانگین محتوای فسفر برگ مربوط به هر دو رقم انگور که حاوی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم و عدم حضور زغال زیستی است، می‌باشد (شکل ۴). طبق نتایج فسفر در رقم پرلت میزان این شاخص با کاربرد زغال زیستی ۵۲/۲۲٪ افزایش داشته است که این میزان افزایش در رقم بیدانه سفید با کاربرد زغال زیستی ۸۳٪ بود. (شکل ۳). در گیاهان، فسفر پس از نیتروژن و پتاسیم، بیشترین فراوانی را دارد. تأثیر فسفر بر واکنش‌های فتوشیمیایی می‌تواند عمدتاً به صورت غیرمستقیم باشد. کمبود فسفر موجب اختلال در واکنش‌های تاریکی فتوسنتز می‌شود که از نظر آنزیمی و کوآنزیمی به فسفر به عنوان یک عنصر ساختاری وابسته هستند (۲۱). طبق نتایج نویسه و همکاران<sup>۳</sup> (۲۷) افزودن زغال زیستی یا خاکستر چوب می‌تواند فسفر قابل دسترس گیاه را افزایش دهد (۲۷). کاربرد زغال زیستی اثرات مثبتی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی برگ در هر دو رقم انگور داشت.

2- Mokarram-Kashtiban et al.

3- Noyce et al

1- Biria et al.

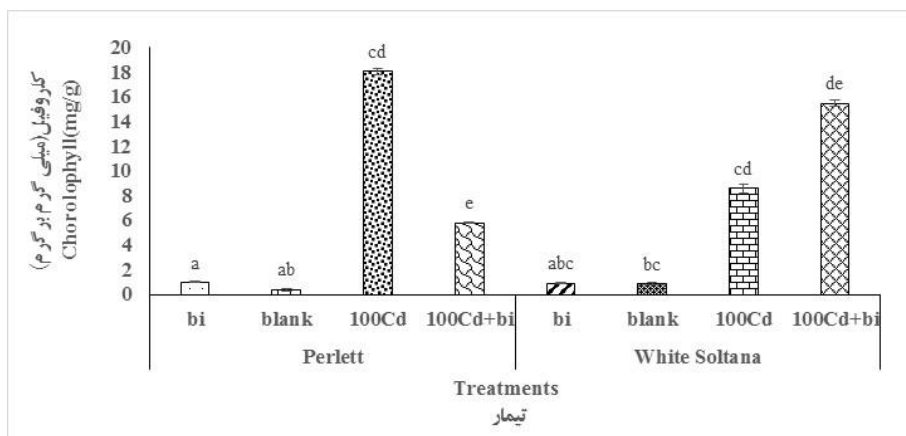
کریمی و همکاران: اثر زغال زیستی بر محتوای نسبی آب...

جدول (۱) برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه  
Table(1) Some physical and chemical properties of the studied soil

مقدار	ویژگی (واحد)
18	سیلت Silt
68	شن Sand
14	رس Clay
0.5	کربن آلی (%)
0.38	Organic carbon
7.2	پ هاش pH
0.31	قابلیت هدایت الکتریکی Electrical conductivity(ds m <sup>-1</sup> )
26.2	کربنات کلسیم معادل (%) Calcium carbonate equivalent
7.33	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation-exchange capacity(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )
0.31	کادمیم Cadmium (mg/kg)

جدول (۲) برخی ویژگی‌های زغال زیستی تولید شده از تنه انگور  
Table(2) some characteristics of biochar produced from grape trunk

زغال زیستی Biochar	هیدروژن کل Hydrogen (%)	کربن کل Carbon (%)	نیتروژن کل Nitrogen (%)	پ هاش pH	قابلیت هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m <sup>-1</sup> )	خاکستر Ash (%)
	5.1	71.2	1.2	7.2	0.6	6.2



شکل (۲) مقایسه میانگین محتوای کلروفیل برگ در سطح احتمال ۱ درصد  
Figure(2) Mean comparisons of leaf chlorophyll content at 1% probability level

بررسی دقیقتر نقش انگور و ارقام آن در کاهش یا افزایش فراهمی کادمیم است. چرا که برهم کنش ریشه و خاک در منطقه ریزوسفری اساس فراهمی فلز می‌باشد.

متوسط خصوصیات شیمیایی خاک ریزوسفری بعد از اعمال تنش و تیمار زغال زیستی در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در خصوص کادمیم قابل عصاره گیری با DTPA با افزایش زغال زیستی فراهمی کادمیم کاهش یافته است. این کاهش در رقم بیدانه سفید بیشتر بود. ضمناً کاهش ماده آلی در بخش ریزوسفری شاید به دلیل افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های ریزوسفری گیاه باشد. افزایش هدایت الکتریکی نیز به دلیل اعمال تنش و تیمار و کودهای پایه رخ داده است.

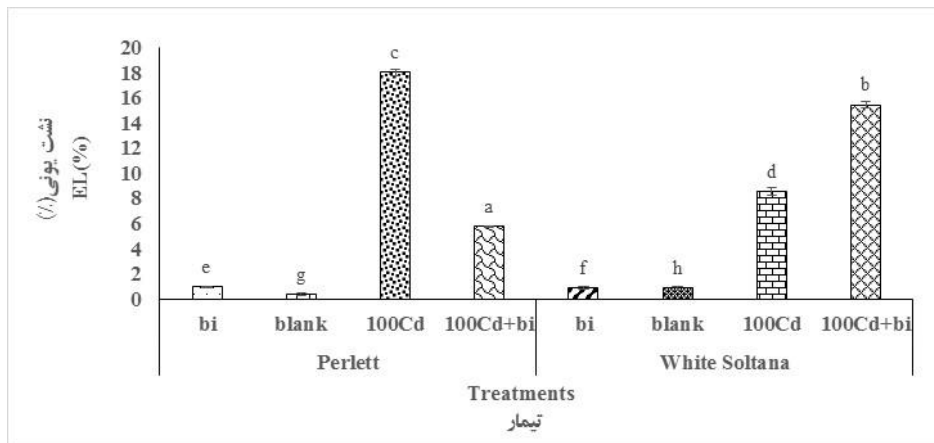
بر اساس یافته‌ها در هر بخش مورد بررسی یعنی جزءبندی خاک در دو رقم مختلف انگور مقادیر میانگین فلز کادمیم در منطقه ریزوسفری خاک تمام ارقام انگور اختلاف بسیار معنی داری مشاهده شد ( $p < 0.01$ ).

زغال زیستی راه حلی برای اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در نظر گرفته شده است. در اصل اصلاح مبتنی بر زغال زیستی، بی‌حرکت کردن فلزات سنگین، کاهش فراهمی زیستی آن‌ها در خاک و بهبود رشد گیاه است (۲۴).

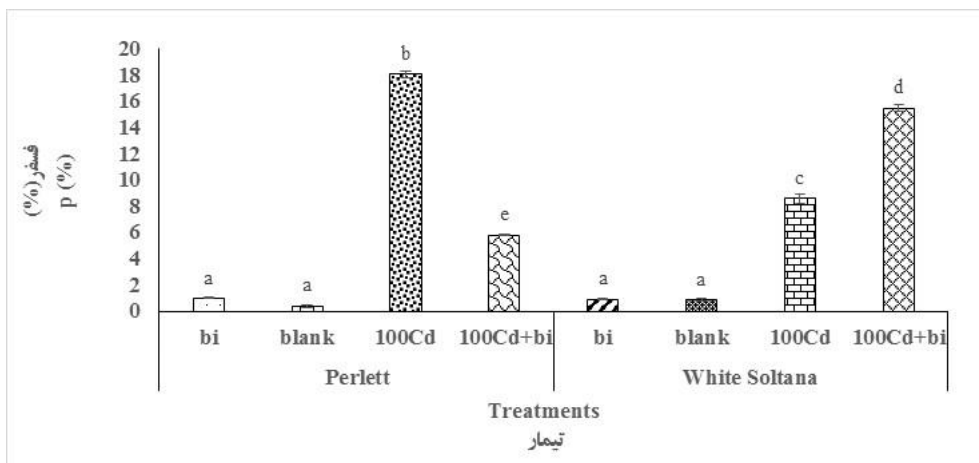
با توجه به آزمون مقایسه میانگین دانکن، بیشترین میانگین محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار رقم پرلت بدون تنش کادمیم و حاوی زغال زیستی و همچنین تیمار پرلت بدون تنش کادمیم و بدون زغال زیستی می‌باشد (شکل ۴). نتایج محتوای نسبی آب نشان داد که در رقم پرلت حاوی زغال زیستی تحت تنش ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم (۴۹/۸۶) نسبت به همین رقم تحت تنش کادمیم و بدون حضور زغال زیستی (۴۲/۳۶) میزان این شاخص ۱۷/۷۰٪ افزایش داشته است. میزان افزایش محتوای نسبی آب در رقم بیدانه سفید در حضور زغال زیستی ۸/۵۳٪ بود. (شکل ۵). (۱۹۹۲) کاستوری و همکاران<sup>(۱۵)</sup> دریافتند بیشترین محتوای نسبی آب در گیاهان تحت تنش کادمیم مربوط به انگورهایی بود که با زغال زیستی تیمار شده بودند (افزایش ۳/۸٪ محتوای نسبی آب در مقایسه با شاهد). در گیاه آفتابگردان که دارای غلظت بالای مس، روی و کادمیم است به دلیل غلظت بیش از حد فلزات سنگین کاهش جذب و انتقال آب به شاخسارها و برگ مشاهده شد (۱۵).

در گام بعد نتایج مقایسه میانگین بین مراحل مختلف جزءبندی خاک در منطقه ریزوسفری در حضور زغال زیستی مورد بررسی قرار گرفت. هدف از جزءبندی کادمیم در این مرحله، بررسی میزان اشکال کادمیم در خاک ریزوسفری و

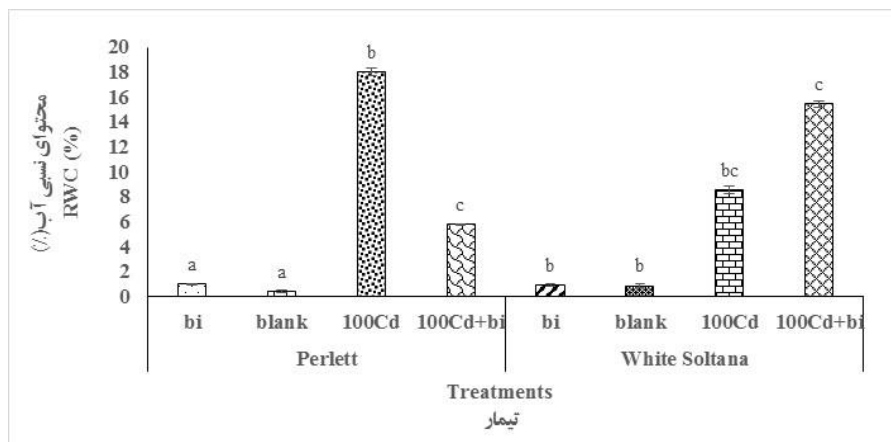
کریمی و همکاران: اثر زغال زیستی بر محتوای نسبی آب...



شکل (۳) مقایسه میانگین محتوای نشت یونی برگ در سطح احتمال ۱ درصد  
Figure(3) Mean comparisons of leaf ion leakage content at 1% probability level



شکل (۴) مقایسه میانگین محتوای فسفر برگ در سطح احتمال ۱ درصد  
Figure(4) Mean comparisons of leaf phosphorus content at 1% probability level



شکل (۵) مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۱ درصد  
Figure(5) Mean comparisons of leaf relative water content at 1% probability level

زیستی و تنش ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم در خاک (۱۰/۶۲ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) نسبت به نمونه‌های بدون حضور زغال زیستی (۱۵/۱۷ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) به مقدار ۲۹/۹۹٪ کاهش در میانگین غلظت کادمیم داشت. در رقم پرلت درصد میزان کاهش ۲۶/۳۳٪ بود که همگی نشان از کاهش فرم کربناتی در حضور زغال زیستی و رقم بیدانه سفید داشت (شکل ۷).

بیشترین میانگین فرم اکسیدی خاک (F3) مربوط به تیمار رقم بیدانه سفید که حاوی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم و زغال زیستی است، می‌باشد و همچنین کمترین میانگین مربوط به تمامی تیمارهای بدون تنش کادمیم (با زغال زیستی و بدون زغال زیستی) در هر دو رقم می‌باشد (شکل ۸). در فرم اکسیدی رقم بیدانه سفید در حضور زغال زیستی و تنش ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم در خاک (۱۴/۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) نسبت به نمونه‌های بدون حضور زغال زیستی (۹/۴۰) به مقدار ۳۳/۷۵٪ افزایش در میانگین غلظت کادمیم داشت. در رقم پرلت درصد میزان افزایش ۱۱/۴۴٪ بود که همگی نشان از افزایش فرم اکسیدی در حضور زغال زیستی و رقم بیدانه سفید داشت (شکل ۸). شکل اکسیدی فراهمی کمی دارد.

براساس مطالعه بسیاری از محققان، استفاده از زغال زیستی در کاهش تحرک فلزات سنگین در خاک موثر است (۳۹). یانگ و همکاران<sup>۳</sup> (۴۰) به طور مشابه، دریافتند که زغال زیستی کاه برنج می‌تواند به طور قابل توجهی فراهمی زیستی فلزات سنگین، مانند کادمیم، مس، سرب و روی در خاک را کاهش دهد (۴۰).

جینگ و همکاران<sup>۴</sup> (۱۴) همچنین نشان داد که زغال زیستی کاه گندم به طور قابل توجهی در دسترس بودن کادمیم و روی در خاک برنج را با استفاده از این زغال زیستی به میزان ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کاهش می‌دهد (۱۴). تان و همکاران<sup>۵</sup> (۳۴) چهار نوع زغال زیستی شامل بامبو، پوسته

صیادیان و همکاران<sup>۱</sup> (۳۲) در بررسی اثر زغال زیستی بر کاهش فراهمی زیستی کادمیم، نیکل و سرب دریافتند افزایش زغال زیستی به طور قابل توجهی ( $P < 0.05$ ) باعث کاهش قابلیت دسترس زیستی کادمیم، نیکل و سرب در مقایسه با شاهد می‌شود (۳۲).

با توجه به آزمون مقایسه میانگین دانکن، بیشترین میانگین فرم تبادل خاک (F1) مربوط به تیمار رقم بیدانه سفید که حاوی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم و بدون زغال زیستی است، می‌باشد و همچنین کمترین میانگین مربوط به تمامی تیمارهای بدون تنش کادمیم (با زغال زیستی و بدون زغال زیستی) در هر دو رقم می‌باشد. (شکل ۶). نتایج نشان داد که فراهمی زیستی فلزات سنگین در خاک با افزودن زغال زیستی کاهش می‌یابد. فرم تبادل رقم بیدانه سفید در حضور زغال زیستی و تنش ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم در خاک (۲۹/۳۶ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) نسبت به نمونه‌های بدون حضور زغال زیستی (۲۱/۶۶ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) به مقدار ۲۶/۲۳٪ کاهش در میانگین غلظت کادمیم داشت. در رقم پرلت درصد میزان کاهش ۲۲/۱۶٪ بود که همگی نشان از کاهش فرم تبادل در حضور زغال زیستی داشت. (شکل ۵). لذا با توجه به نتایج بدست آمده کاهش اشکال تبادل و محلول کادمیم در تیمار زغال زیستی در کاهش تنش موثر بوده است. مطالعه‌ای توسط لو و همکاران<sup>۲</sup> (۱۸) نشان داد که هر دو بخش قابل دسترس و محلول کادمیم پس از کاربرد زغال زیستی کاهش یافتند (۱۸). ضمناً در مقایسه بین ارقام، رقم بیدانه سفید در کاهش فرم تبادل در حالت تنش کادمیم موثر بود.

بیشترین میانگین فرم کربناتی خاک (F2) مربوط به تیمار رقم بیدانه سفید که حاوی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم و بدون زغال زیستی است، می‌باشد و همچنین کمترین میانگین مربوط به تمامی تیمارهای بدون تنش کادمیم (با زغال زیستی و بدون زغال زیستی) در هر دو رقم می‌باشد. (شکل ۷). در فرم کربناتی رقم بیدانه سفید در حضور زغال

3- Yang et al

4- Jing et al

5- Tan et al

1- Sayyadian et al

2- Lu et al

۳۰/۳۴٪ بود که همگی نشان از افزایش فرم باقیمانده در حضور زغال زیستی داشت (شکل ۱۰). نتایج نشان داد که کاربردهای زغال زیستی اثرات قابل توجهی بر جذب فلزات سنگین دارد که با میزان کاربرد و نوع زغال زیستی متفاوت است. میسر و همکاران<sup>۳</sup> (۲۲) گزارش کردند که زغال زیستی تولید شده از کود مرغی به طور قابل توجهی جزء قابل تعویض مس را کاهش داد، اما ماده آلی و بخش‌های باقیمانده آن را افزایش داد (۲۲). کاربرد زغال زیستی باعث تثبیت کادمیم در فرم باقیمانده و آلی گردید. با توجه به نتایج یو و همکاران<sup>۴</sup> (۴۱) کاربرد زغال زیستی ۱٪ به طور قابل توجهی غلظت قابل استخراج کادمیم، مس و سرب را کاهش داد.

نارگیل، تراشه چوب کاج و باگاس نیشکر را اعمال کردند. آن‌ها گزارش دادند که زغال زیستی بامبو برای بی-حرکتی کادمیم موثر است (۳۴). بیان و همکاران<sup>۵</sup> (۵)، گزارش نمودند زغال زیستی، قابلیت استخراج کادمیم را تا ۴۳ درصد کاهش داد و جذب کادمیم در برنج را تا ۶۱ درصد کاهش داد که موثرترین روش برای تثبیت کادمیم است (۵).

در جزء آلی (F4) بیشترین میانگین مربوط به تیمار رقم پرلت که حاوی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم و زغال زیستی است، می‌باشد و همچنین کمترین میانگین مربوط به تمامی تیمارهای بدون تنش کادمیم (با زغال زیستی و بدون زغال زیستی) در هر دو رقم می‌باشد. (شکل ۹). در فرم آلی رقم بیدانه سفید در حضور زغال زیستی و تنش ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم در خاک (۶/۵۷) نسبت به نمونه-های بدون حضور زغال زیستی (۳/۳۹) به مقدار ۴۸/۴۰٪ افزایش در میانگین غلظت کادمیم داشت. در رقم پرلت درصد میزان افزایش ۲۱/۴۵٪ بود که همگی نشان از افزایش فرم آلی در حضور زغال زیستی داشت (شکل ۹). فراهمی جزء آلی متوسط می‌باشد.

لو و همکاران<sup>۲</sup> (۱۷) نشان دادند که افزودن زغال زیستی باعث افزایش جزء آلی برای کادمیم، مس، سرب و روی به ترتیب ۳۷، ۵۸، ۶۸ و ۱۸ درصد شد که نشان می‌دهد فلزات تثبیت شده عمدتاً در بخش ماده آلی خاک محدود شده‌اند (۱۷).

بیشترین میانگین فرم باقیمانده خاک (F5) مربوط به تیمار رقم بیدانه سفید که حاوی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم و زغال زیستی است، می‌باشد (شکل ۱۰). در فرم باقیمانده رقم بیدانه سفید در حضور زغال زیستی و تنش ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم در خاک (۲۰/۸۸) نسبت به نمونه‌های بدون حضور زغال زیستی (۱۵/۴۷) به مقدار ۳۴/۹۷٪ افزایش در میانگین غلظت کادمیم داشت. در رقم پرلت درصد میزان افزایش

3- Meier et al

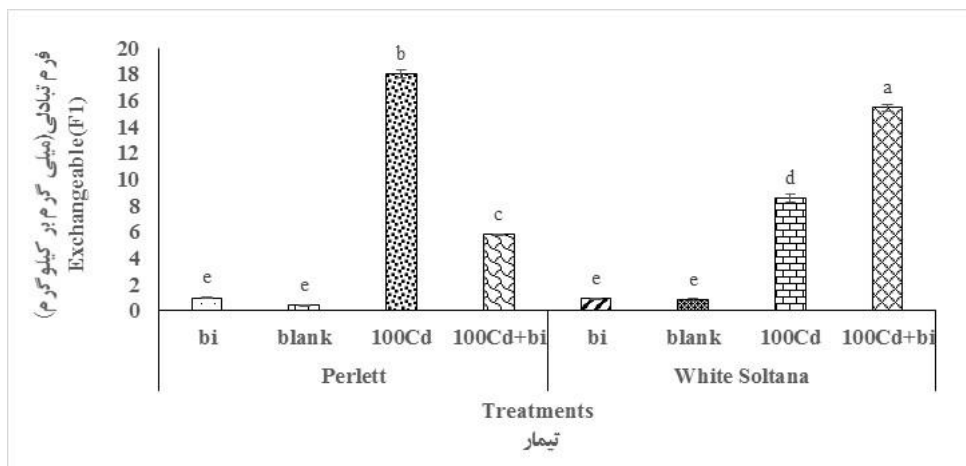
4- Yu et al

1- Bian et al

2- Lu et al

جدول (۳) متوسط برخی ویژگی‌های خاک‌های ریزوسفری پس از کاشت نهال‌ها و اعمال تیمار  
 Table(3) Average some characteristics of soil rhizosphere after planting seedlings and using treatments

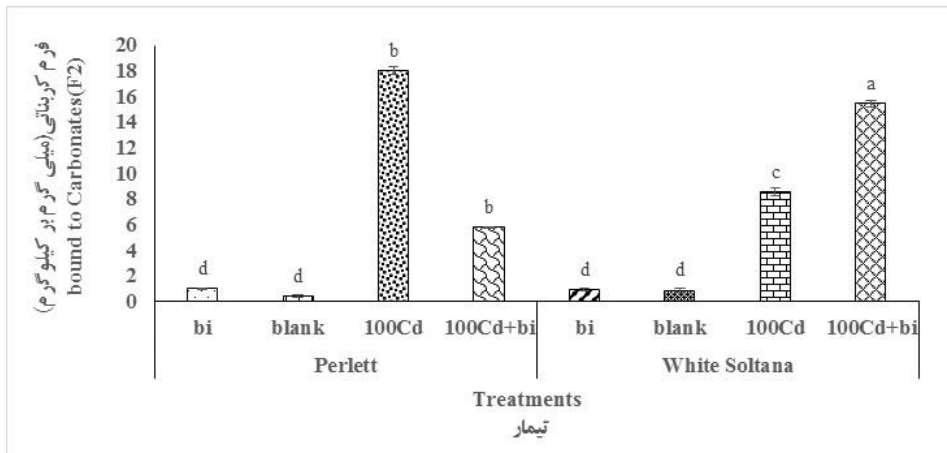
With Soltana بیدانه سفید				Perlett پرلت				
درصد	میلی گرم بر کیلوگرم	دسی زیمنس بر متر		درصد	میلی گرم بر کیلوگرم	دسی زیمنس بر متر		
%	mg/kg	dS/m		%	mg/kg	dS/m		
کربن آلی	کادمیم	هدایت الکتریکی	پ هاش	کربن آلی	کادمیم	هدایت الکتریکی	پ هاش	
O.C	Cd	EC	pH	O.C	Cd	EC	pH	
0.32	0.03	1.13	6.85	0.35	0.038	08.3	6.73	زغال زیستی (Biochar)
0.55	0.06	0.773	6.97	0.59	0.06	3.47	7.03	خاک شاهد (Blank)
0.55	70.3	1.47	6.66	0.37	41.2	2.04	7.07	خاک + کادمیم (soil+Cd)
0.35	19.0	0.96	7.15	0.47	26.2	1.08	7.11	خاک + کادمیم + زغال زیستی (soil+Cd+biochar)



شکل (۶) مقایسه میانگین فرم تبادل‌پذیر جزء بندی خاک در سطح احتمال ۱ درصد

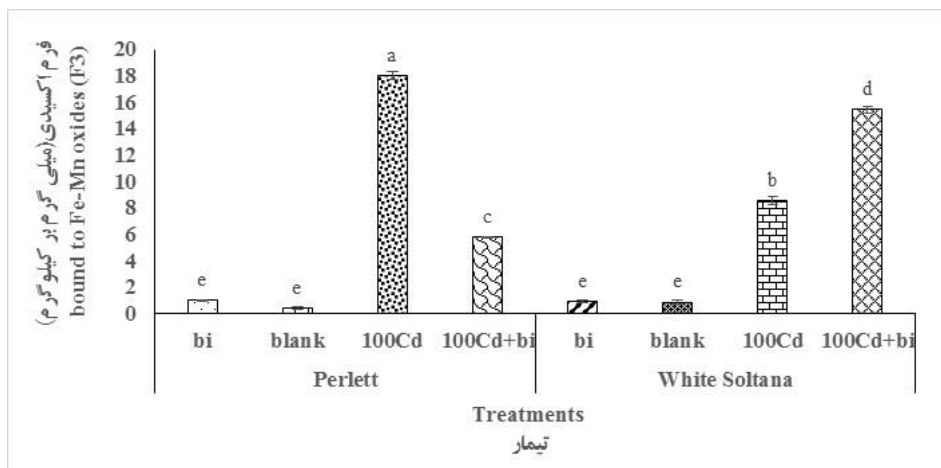
Figure(6) Mean comparisons of exchange form of soil fractionation at 1% probability level

کریمی و همکاران: اثر زغال زیستی بر محتوای نسبی آب...



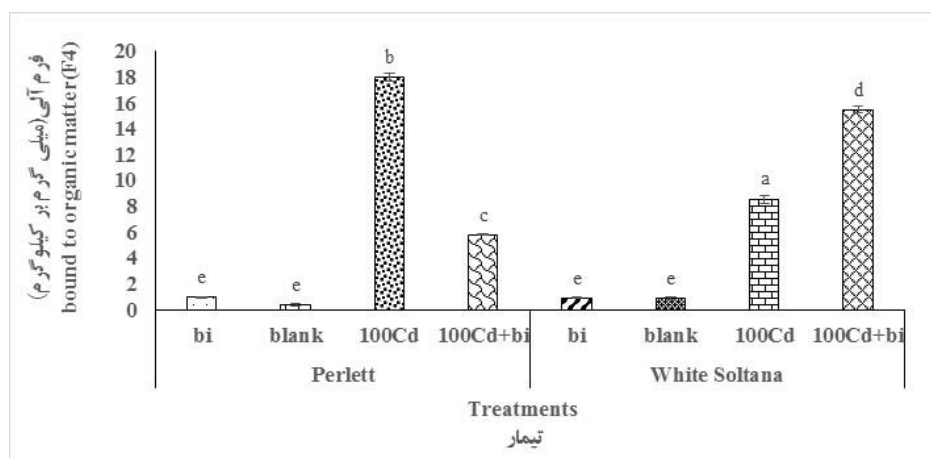
شکل (۷) مقایسه میانگین فرم کربناتی جزءبندی خاک در سطح احتمال ۱ درصد

Figure(7) Mean comparisons of carbonate form of soil fractionation at 1% probability level



شکل (۸) مقایسه میانگین فرم اکسیدی جزءبندی خاک در سطح احتمال ۱ درصد

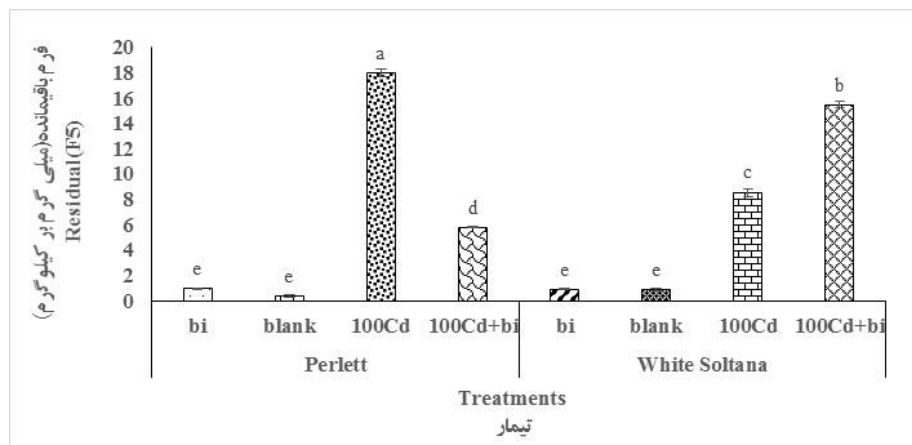
Figure(8) Mean comparisons of oxide form of soil fractionation at 1% probability level



شکل (۹) مقایسه میانگین فرم آلی جزءبندی خاک در سطح احتمال ۱ درصد

Figure (9): Mean comparisons of organic form of soil fractionation at 1% probability level





شکل (۱۰) مقایسه میانگین فرم باقیمانده جزء بندی خاک در سطح احتمال ۱ درصد

Figure(10) Mean comparisons of residual form of soil fractionation at 1% probability level

برای کنترل کادمیم در مناطق آلوده به این فلز سنگین در نظر گرفته شود.

کاربرد درست و علمی زغال زیستی می تواند یک فناوری اقتصادی و مفید برای کاهش آلودگی خاک و حفظ کیفیت خاک باشد. استفاده از زغال زیستی نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. زغال زیستی های مختلف دارای خواص متفاوتی هستند از این رو اثرات متفاوتی هم بر روی خاک ایجاد می کنند. می توان استفاده از زغال زیستی را همراه با مواد دیگر مورد آزمایش قرار داد تا بتوان به اثرات بهتری در زمینه کنترل آلودگی و افزایش بهره وری محصولات دست یافت.

### سپاس گذاری

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و همچنین آزمایشگاه های تخصصی گروه علوم خاک، فضای سبز و گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ملایر انجام گردید که نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از همکاران محترم در گروه های مذکور اعلام می دارند. همچنین از بنیاد ملی علم ایران (۴۰۰۳۱۴۳) کد طرح صندوق) نیز به خاطر حمایت هایشان در تامین مالی بخشی از کارکمال تشکر و قدردانی را داریم.

### نتیجه گیری

زغال زیستی به طور قابل توجهی در هر دو رقم انگور، نشت یونی را در مقایسه با خاک تیمار نشده کاهش و باعث افزایش محتوای نسبی آب، کلروفیل و فسفر گردید. محتوای فلز کادمیم موجود در خاک ریزوسفری پس از برداشت و در حضور زغال زیستی در خاک ریزوسفری در فرم های مختلف، متفاوت بود. نتایج نشان داد که در دسترس بودن فلزات سنگین در خاک به طور قابل توجهی با افزودن زغال زیستی در مقایسه با شاهد کاهش یافت. کادمیم موجود در خاک در اشکال تبدیلی و کربناتی پس از کاربرد زغال زیستی در اغلب موارد کاهش یافت. نتایج ما نشان داد که کاربرد زغال زیستی می تواند در دسترس بودن و سمیت کادمیم را کاهش دهد.

آلودگی کادمیم به دلیل جذب توسط گیاهان و ممانعت از رشد مناسب گیاه موجب کاهش کیفیت و کمیت محصولات زراعی شده است. طبق یافته های این پژوهش، در شرایط تنش کادمیم استفاده از زغال زیستی در خاک می تواند نقش بسیار مهمی در شاخص های گیاهی داشته باشد، بطوریکه مطابق با نتایج این پژوهش، کاربرد زغال زیستی در خاک می تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی

## References

1. Alimohammad Kalhori, A., Jafari, H., Yavari, A., Prohić, E., and Ahmadzadeh Kokya, T. 2012. Evaluation of anthropogenic impacts on soil and regolith materials based on BCR sequential extraction analysis. *International Journal of Environmental Research*, 6(1):185-194
2. Almaroai, Y. A., and Eissa, M. A. 2020. Effect of biochar on yield and quality of tomato grown on a metal-contaminated soil. *Scientia Horticulturae*, 265:109210.
3. Aslam, Z., Khalid, M., and Aon, M. 2014. Impact of biochar on soil physical properties. *Scholarly Journal of Agricultural Science*, 4(5): 280-284.
4. Atkinson, D., and Watson, C. 2000. *The beneficial rhizosphere: a dynamic entity*, Elsevier. *Applied Soil Ecology*, 15(2): 99-104.
5. Bian, R., Li, L., Bao, D., Zheng, J., Zhang, X., Zheng, J., Liu, X., Cheng, K., and Pan, G. 2016. Cd immobilization in a contaminated rice paddy by inorganic stabilizers of calcium hydroxide and silicon slag and by organic stabilizer of biochar. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 10028-10036.
6. Biria, M., Moezzi, A.A and AmeriKhah, H. 2017. Effect of Sugercan bagasse, s biochar on maize plant growth, grown in lead and cadmium contaminated soil, s. *Journal of Water and Soil*.31: 609-626 (In Persian with English abstract).
7. Cui, L., Li, L., Zhang, A., Pan, G., Bao, D., and Chang, A. 2011. Biochar amendment greatly reduces rice Cd uptake in a contaminated paddy soil: a two-year field experiment. *Bioresources*, 6(3): 2605-2618.
8. Dai, Y., Zhang, N., Xing, C., Cui, Q., and Sun, Q. 2019. The adsorption, regeneration and engineering applications of biochar for removal organic pollutants: a review. *Chemosphere*, 223: 12-27.
9. Fellet, G., Marchiol, L., Delle Vedove, G., and Peressotti, A. 2011. Application of biochar on mine tailings: effects and perspectives for land reclamation, *Chemosphere*, 83: 1262–1297.
10. Hassan, T. U., Bano, A., and Naz, I. 2017. Alleviation of heavy metals toxicity by the application of plant growth promoting rhizobacteria and effects on wheat grown in saline sodic field. *International Journal of Phytoremediation*, 19(6): 522-529.
11. Hayyat, A., Javed, M., Rasheed, I., Ali, S., Shahid, M. J., Rizwan, M., Javed, M.T., and Ali, Q. 2016. Role of biochar in remediating heavy metals in soil. *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants*, 3: 421-437.
12. Jaiswal, P. 2004. *Soil, Plant and Water Analysis*,(ed): Kalyani Publishers, New Delhi.
12. Ji, M., Wang, X., Usman, M., Liu, F., Dan, Y., Zhou, L., Campanaro, S., Luo, G., and Sang, W. 2022. Effects of different feedstocks-based biochar on soil remediation: A review. *Environmental Pollution*, 294: p.118655.
13. Jing, F., Chen, C., Chen, X., Liu, W., Wen, X., Hu, S., Yang, Z., Guo, B., Xu, Y., and Yu, Q. 2020. Effects of wheat straw derived biochar on cadmium availability in a paddy soil and its accumulation in rice. *Environmental Pollution*, 257: 113-592.
14. Kastori, R., Petrović, M., and Petrović, N. 1992. Effect of excess lead, cadmium, copper, and zinc on water relations in sunflower. *Journal of Plant Nutrition*, 15(11): 2427-2439.
15. Lehmann, J., and Joseph, S. 2015. Biochar for environmental management: an introduction. In *Biochar for Environmental Management*. Routledge. pp: 1-13

16. Lu, K., Yang, X., Gielen, G., Bolan, N., Ok, Y. S., Niazi, N. K., Xu, S., Yuan, G., Chen, X., Zhang, X., and Zhang, X. 2017. Effect of bamboo and rice straw biochars on the mobility and redistribution of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) in contaminated soil. *Journal of Environmental Management*, 186: 285-292.
17. Lu, W., Ding, W., Zhang, J., Li, Y., Luo, J., Bolan, N., & Xie, Z. 2014. Biochar suppressed the decomposition of organic carbon in a cultivated sandy loam soil: a negative priming effect. *Soil Biology and Biochemistry*, 76: 12-21.
18. Mansoor, S., Kour, N., Manhas, S., Zahid, S., Wani, O. A., Sharma, V., Wijaya, L., Alyemeni, M.N., Alsahli, A.A., El-Serehy, H.A., and El-Serehy, H. A. 2021. Biochar as a tool for effective management of drought and heavy metal toxicity. *Chemosphere*, 271: 129458.
19. Marschner, H.(eds) 1995. Mineral nutrition of higher plants 2nd edn. Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim: Germany.
20. 21. Marschner, H. 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants: Academic press.
21. Meier, S., Curaqueo, G., Khan, N., Bolan, N., Cea, M., Eugenia, G. M., Cornejo, P., Ok, Y.S., and Borie, F. 2017. Chicken-manure-derived biochar reduced bioavailability of copper in a contaminated soil. *Journal of Soils and Sediments*, 17: 741-750.
22. Mokarram-Kashtiban, S., Hosseini, S. M., Kouchaksaraei, M. T., and Younesi, H. 2019. Biochar improves the morphological, physiological and biochemical properties of white willow seedlings in heavy metal-contaminated soil. *Archives of Biological Sciences*, 71(2):281-291.
23. Mosa, A., El-Banna, M. F., and Gao, B. 2016. Biochar filters reduced the toxic effects of nickel on tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) grown in nutrient film technique hydroponic system. *Chemosphere*, 149: 254-262.
24. Noyce, G. L., Jones, T., Fulthorpe, R., and Basiliko, N. 2017. Phosphorus uptake and availability and short-term seedling growth in three Ontario soils amended with ash and biochar. *Canadian Journal of Soil Science*, 97(4): 678-691.
25. Park, J. H., Choppala, G. K., Bolan, N. S., Chung, J. W., and Chuasavathi, T. 2011. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant and Soil*, 348: 439-451.
26. Pinto, A., Mota, A. d., De Varennes, A., and Pinto, F. 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Science of the Total Environment*, 326(1-3): 239-247.
27. Plaza, C., Giannetta, B., Fernández, J. M., López-de-Sá, E. G., Polo, A., Gascó, G., Méndez, A., and Zaccane, C. 2016. Response of different soil organic matter pools to biochar and organic fertilizers. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 225: 150-159.
28. Qin, L., Wu, Y., Hou, Z., and Jiang, E. 2020. Influence of biomass components, temperature and pressure on the pyrolysis behavior and biochar properties of pine nut shells. *Bioresource Technology*, 313: 123-682.
29. Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., and Holaday, A. S. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30(1): 105-111.
30. 31. Sairam, K., Dorababu, M., Goel, R., and Bhattacharya, S. 2002. Antidepressant activity of standardized extract of *Bacopa monniera* in experimental models of depression in rats. *Phytomedicine*, 9(3): 207-211.
31. Sayyadian, K., Moezzi, A., Gholami, A., Panahpour, E., and Mohsenifar, K. 2019. Effect of biochar on cadmium, nickel and lead uptake and translocation in maize irrigated with heavy metal contaminated water. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(1):969-982.

32. Sun, C., Liu, J., Wang, Y., Sun, L., and Yu, H. 2013. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and sources of heavy metals in agricultural soil in Dehui, Northeast China. *Chemosphere*, 92(5): 517-523.
33. Tan, X., Liu, Y., Gu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Sun, Z., and Yang, Z. 2015. Immobilization of Cd (II) in acid soil amended with different biochars with a long term of incubation. *Environmental Science and Pollution Research*, 22: 12597-12604.
34. Tessier, A., Campbell, P. G., and Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51(7): 844-851.
35. Wan, S., Wu, J., Zhou, S., Wang, R., Gao, B., and He, F. 2018. Enhanced lead and cadmium removal using biochar-supported hydrated manganese oxide (HMO) nanoparticles: Behavior and mechanism. *Science of the Total Environment*, 616: 1298-1306.
36. Wang, L., Chen, L., Tsang, D. C., Guo, B., Yang, J., Shen, Z., Hou, D., Ok, Y.S., and Poon, C. S. 2020. Biochar as green additives in cement-based composites with carbon dioxide curing. *Journal of Cleaner Production*, 258: p.120678.
37. Wang, R.-Z., Huang, D.-L., Liu, Y.-G., Zhang, C., Lai, C., Zeng, G.-M., Cheng, M., Gong, X.M., Wan, J., and Luo, H. 2018. Investigating the adsorption behavior and the relative distribution of Cd<sup>2+</sup> sorption mechanisms on biochars by different feedstock. *Bioresource Technology*, 261: 265-271.
38. Xu, D., Zhao, Y., Sun, K., Gao, B., Wang, Z., Jin, J., Zhang, Z., Wang, S., Yan, Y., Liu, X., and Wu, F. 2014. Cadmium adsorption on plant-and manure-derived biochar and biochar-amended sandy soils: impact of bulk and surface properties. *Chemosphere*, 111: 320-326.
39. Yang, X., Liu, J., McGrouther, K., Huang, H., Lu, K., Guo, X., He, L., Lin, X., Che, L., Ye, Z., and Wang, H. 2016. Effect of biochar on the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and enzyme activity in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 974-984.
40. Yu, H., Zou, W., Chen, J., Chen, H., Yu, Z., Huang, J., Tang, H., Wei, X., and Gao, B. 2019. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. *Journal of Environmental Management*, 232: 8-21.
41. Zhao, H., Guan, J., Liang, Q., Zhang, X., Hu, H., and Zhang, J. 2021. Effects of cadmium stress on growth and physiological characteristics of sassafras seedlings. *Scientific Reports*, 11(1): 9913.