19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

تاثیر بیوچار سبوس برنج و کم‌آبیاری بر غلظت کادمیم موجود در خاک و گیاه نعناع فلفلی

انیس کوشکی[۱]، افسانه عالی‌نژادیان بیدآبادی[۲*]، عباس ملکی[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان
۲- * دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان alinezhadian.a@lu.ac.ir
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

چکیده:

در شرایط کنونی، تنش خشکی و آلودگی خاک به فلزات سنگین، به‌ویژه کادمیم، از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و کشاورزی در مناطق نیمه‌خشک به‌شمار می‌روند که سلامت گیاهان دارویی را تهدید می‌کنند. در این پژوهش با هدف بررسی اثر بیوچار حاصل از سبوس برنج و سطوح مختلف آبیاری بر کاهش غلظت کادمیم در خاک و گیاه نعناع فلفلی، آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در آبان ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح بیوچار (صفر، ۳ و ۶ تن در هکتار) و چهار سطح آبیاری (۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی) با چهار تکرار بودند. برای ایجاد آلودگی یکنواخت، مقدار ثابتی از کادمیم به تمام گلدان‌ها افزوده شد. نتایج نشان داد کمترین غلظت کادمیم خاک در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و عدم کاربرد بیوچار) دیده شد و کاربرد بیوچار، به‌ویژه در سطح ۶ تن در هکتار، همراه با آبیاری ۶۰ و ۸۰ درصد، به‌طور معنی‌داری غلظت کادمیم را در ریشه و اندام هوایی کاهش داد. در مقابل، آبیاری بیش از حد موجب افزایش جذب کادمیم شد. به‌طور کلی، بیوچار از طریق بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و تغییر pH، نقش مؤثری در تثبیت کادمیم و کاهش انتقال آن به گیاه ایفا کرد.

واژگان کلیدی: تنش خشکی، بیوچار، کادمیم

مقدمه:

خشکسالی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده در تولید جهانی محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود. تنش‌های غیرزیستی معمولاً در طول دوره رشد گیاه، به‌ویژه در بازه‌های زمانی طولانی، بر رشد و عملکرد آن‌ها اثر منفی می‌گذارند (Narayanasamy et al., 2023). یکی دیگر از چالش‌های مهم در تولید محصولات کشاورزی، تجمع فلزات سنگین درگیاهان است. آلودگی ناشی از فلزات سنگین در خاک و آب، تهدیدی جدی برای سلامت انسان و پایداری اکوسیستم محسوب می‌شود. از این‌رو، یافتن راهکارهایی مؤثر برای حذف این فلزات از اولویت‌های مهم تولیدکنندگان محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود (Yu et al., 2021: Emenike et al., 2016). یکی از روش‌های رایج برای اصلاح خاک‌های آلوده، تثبیت فلزات سنگین در بستر خاک است. بیوچار نوعی ذغال حاصل از زیست توده‌های گیاهی است که نقش مؤثری در تثبیت این فلزات در خاک ایفا می‌کند (Amoah-Antwi et al., 2022). استفاده از بیوچار می‌تواند یک روش خوب برای مراقبت از گیاهان در شرایط تنش خشکی بوده و باعث جلوگیری از بعضی اثرات مخرب تنش خشکی شود (Hashem et al., 2019). از طرفی Xu و همکاران (2023) در پژوهشی نشان داده‌اند که می‌توان از روش کم‌آبیاری برای مدیریت منابع آب بهره گرفت، بدون آن‌که کاهش قابل توجهی در کمیت و کیفیت محصول مشاهده شود. با وجود انجام

مطالعات متعدد در زمینه تأثیر بیوچار و تنش خشکی به‌صورت جداگانه، تاکنون پژوهشی که اثر هم‌زمان این دو عامل را بر غلظت کادمیم در شرایط کشت گیاه نعناع فلفلی بررسی کرده باشد، گزارش نشده است. بر همین اساس، این تحقیق با هدف بررسی اثرات توأم بیوچار حاصل از سبوس برنج و کم‌آبیاری بر غلظت کادمیم در خاک و اندام‌های گیاه نعناع فلفلی انجام شد.

مواد و روش‌ها:

این پژوهش در آبان‌ماه سال ۱۳۹۸ در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان واقع در شهرستان خرم‌آباد به اجرا درآمد. خاک مورد استفاده برای پر کردن گلدان‌ها از اراضی زراعی همان دانشکده برداشت شد. پس از افزودن بیوچار بر اساس تیمارهای در نظر گرفته شده، خاک و بیوچار به‌خوبی با یکدیگر مخلوط شده و به مدت تقریبی چهار ماه در شرایط طبیعی خوابانیده شدند. سپس این ترکیب خاکی به گلدان‌هایی با ظرفیت ۱۰ کیلوگرم منتقل گردید و در هر گلدان، سه عدد ریزوم نعناع فلفلی کشت شد. برای بررسی تأثیر فلز سنگین کادمیم، مقدار مساوی از این عنصر به تمام گلدان‌ها افزوده شد تا شرایط تیماری یکنواختی برای مقایسه فراهم گردد. در طول فصل رشد و پس از استقرار گیاه، میزان آب مورد نیاز بر اساس توزین روزانه گلدان‌ها در حالت ظرفیت زراعی و با توجه به تیمارها محاسبه و اعمال شد. اندازه‌گیری کادمیم نیز به روش عصاره‌گیری با DTPA انجام شد. در نهایت، داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. ترسیم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث:

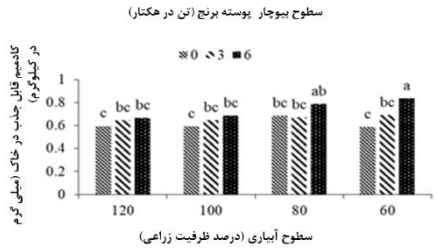
بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و بیوچار بر غلظت کادمیم خاک پس از برداشت، در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین، اثر اصلی بیوچار و آبیاری بر غلظت کادمیم در ریشه به‌ترتیب در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد، و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار تشخیص داده شد. علاوه بر این، هر دو عامل بیوچار و آبیاری به‌صورت مستقل، تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه داشتند.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر بیوچار پوسته برنج و سطوح آبیاری بر غلظت عنصر کادمیم در خاک، ریشه و اندام هوایی

		میانگین مربعات		
منابع تغییرات	درجه آزادی	کادمیم خاک	کادمیم ریشه	کادمیم اندام هوایی
بیوچار پوسته برنج	۲	۰/۰۳۰*	۰/۰۰۹*	۰/۰۲۷**
سطوح آبیاری	۳	۰/۰۲۶*	۰/۱۸۹**	۰/۰۲۳**
بیوچار پوسته برنج*سطوح آبیاری	۶	۰/۰۱۴*	۰/۰۰۶*	۰/۰۰۱ns
خطا	۲۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱

* و ** به ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج و یک درصد معنی دار می‌باشد. ns از لحاظ آماری معنی دار نمی‌باشد.

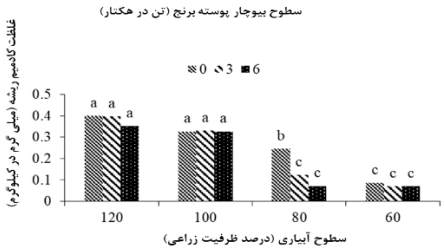
بیشترین غلظت کادمیم در خاک پس از برداشت مربوط به سطح رطوبتی ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و کاربرد ۶ تن در هکتار بیوچار پوسته برنج به مقدار ۰/۸۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد که با سطح رطوبتی ۸۰ درصد آبیاری و کاربرد ۶ تن در هکتار بیوچار، تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین غلظت کادمیم نیز در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و عدم کاربرد بیوچار) دیده شد هر چند با برخی سطوح دیگر از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱).



شکل ۱- اثر متقابل بیوچار پوسته برنج و سطوح آبیاری بر غلظت کادمیم در خاک

احتمالا گروه‌های عاملی موجود در بیوچار پوسته برنج، منجر به افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی شده، که توانایی ویژه‌ای را به آن در جذب و تثبیت فلزات سنگین داده است. مکانیسم‌های متفاوتی می‌تواند سبب تثبیت کادمیم به‌وسیله خاک‌های تیمار شده با بیوچار شود که این مکانیسم‌ها می‌توانند به صورت ۱) تبادل یونی ۲) رسوب مجدد ۳) جذب فیزیکی و ۴) کمپلکس‌های سطحی تقسیم‌بندی شوند. افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و همچنین افزایش در شکل تبادلی کادمیم می‌تواند نشان دهد که تبادل یونی نقش مهمی را در تثبیت کادمیم ایفا می‌کند. کادمیم همچنین می‌تواند با یون‌های عنصری همچون کلسیم، پتاسیم، منیزیم و سدیم تبادل شود و رسوب مجدد از کادمیم را تشکیل بدهد. افزایش در جذب الکترواستاتیکی کادمیم می‌تواند به‌دلیل وجود مقادیر بزرگی از بار سطحی منفی بیوچار باشد. همچنین افزایش pH در نتیجه کاربرد بیوچار می‌تواند سبب پروتون دهی گروه‌های عامل و افزایش بار منفی و ایجاد جذب الکترواستاتیکی شود (صفاری، ۱۳۹۴).

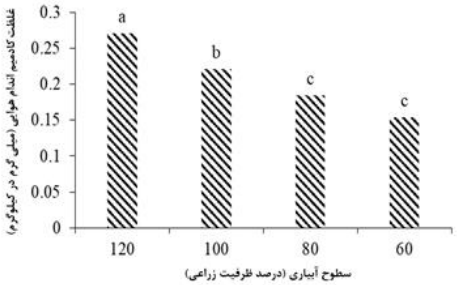
نتایج حاصل از شکل ۲، نشان داد که بیشترین مقدار غلظت کادمیم ریشه مربوط به سطح عدم کاربرد بیوچار و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه به مقدار ۰/۳۹۹ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد. همچنین کمترین مقدار غلظت کادمیم ریشه مربوط به کاربرد ۶ تن در هکتار بیوچار و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه به مقدار ۰/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده گردید.

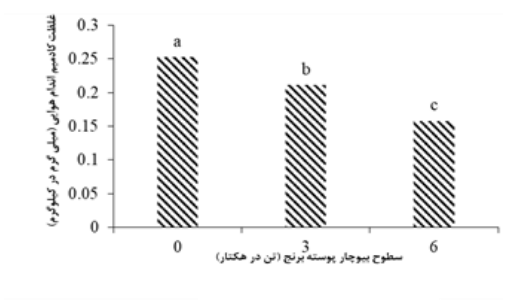


شکل ۲- اثر متقابل بیوچار پوسته برنج و سطوح آبیاری بر غلظت کادمیم ریشه نعناع فلفلی

بیوچار از طریق گروه‌های عاملی موجب کاهش تحرک و افزایش تثبیت کادمیم نسبت به تیمار بدون بیوچار گردید. بنابراین غلظت کادمیم در گیاه (اندام هوایی و ریشه) کاهش پیدا کرد (Kharea et sl., 2017).

سطح ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، غلظت کادمیم اندام هوایی را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری به ترتیب به مقدار ۱۶/۷۴ و ۳۰/۳۱ درصد کاهش داد. اعمال ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه سبب افزایش معنی‌دار غلظت کادمیم اندام هوایی به مقدار ۲۲/۶۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) شد (شکل ۳).





شکل

۳- اثر اصلی سطوح آبیاری بر غلظت کادمیم اندام هوایی نعناع فلفلی

شکل ۴- اثر اصلی سطوح بیوچار پوسته برنج بر غلظت کادمیم اندام هوایی نعناع فلفلی

کاربرد سطوح ۳ و۶ تن در هکتار بیوچار پوسته برنج، غلظت کادمیم اندام هوایی را در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب به‌طور معنی‌داری به مقدار ۱۶/۶۰ و ۳۷/۵۴ درصد کاهش داد (شکل ۴).

نتیجه‌گیری:

نتایج این پژوهش نشان داد که بیوچار پوسته برنج در ترکیب با مدیریت بهینه آبیاری، به‌طور مؤثری غلظت کادمیم را در خاک و گیاه کاهش می‌دهد. کاربرد ۶ تن در هکتار بیوچار همراه با آبیاری ۶۰ تا ۸۰ درصد نیاز آبی، بیشترین اثر در کاهش کادمیم را داشت. این کاهش به‌دلیل ویژگی‌های شیمیایی بیوچار از جمله افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، جذب سطحی و تغییر pH خاک است. همچنین، مصرف بی‌رویه آب (۱۲۰ درصد نیاز آبی) موجب افزایش جذب کادمیم شد، که اهمیت مدیریت دقیق منابع آب را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، استفاده از بیوچار روشی مؤثر برای کاهش آلودگی فلزات سنگین و بهبود سلامت خاک و گیاه است.

فهرست منابع

۱- صفاری، م. (۱۳۹۴). سینیتیک جذب-واجذب، شکل‌های شیمیایی و زیست‌فراهمی فلزات سنگین در یک خاک آهکی تیمار شده با بهساز. پایان‌نامه دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

2- Amoah-Antwi, C., Kwiatkowska-Malina, J., Thornton, S. F., Fenton, O., Malina, G., & Szara, E. (2020). Restoration of soil quality using biochar and brown coal waste: A review. Science of the Total Environment, 722(1), 137852.

3- Emenike, P. C., Omole, D. O., Ngene, B. U., & Tenebe, I. T. (2016). Potentially of agricultural adsorbent for sequestering of metal ions from wastewater. Global Journal of Environmental Science and Management, 2(4), 411–442.

4- Hashem, A., Kumar, A., Al-Dbass, A. M., Alqarawi, A. A., Al-Arjani, A. B. F., Singh, G., ... & Abd_Allah, E. F. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi and biochar improves drought tolerance in chickpea. Saudi journal of biological sciences, 26(3), 614-624.

5- Kharea, P., Dilshad, U., Rout, P. K., Yadav, V., and Jain, S. (2017). Plant refuses driven biochar: Application as metal adsorbent from acidic solutions. Arabian Journal of Chemistry, 10(2), 3054–3063.

6- Narayanasamy, S., Thankappan, S., Kumaravel, S., Ragupathi, S., & Uthandi, S. (2023). Complete genome sequence analysis of a plant growth-promoting phylloplane Bacillus altitudinis FD48 offers mechanistic insights into priming drought stress tolerance in rice. Genomics, 115(1), 110550.
7- Xu, J., Wan, W., Zhu, X., Zhao, Y., Chai, Y., Guan, S., and Diao, M. (2023). Effect of regulated deficit irrigation on the growth, yield, and irrigation water productivity of processing tomatoes under drip irrigation and mulching. Agronomy, 13, 2862.
8- Yu, S., Pang, H., Huang, S., Tang, H., Wang, S., Qiu, M., Chen, Z., Yang, H., Song, G., Fu, D., Hu, B., & Wang, X. (2021). Recent advances in metal-organic framework membranes for water treatment: A review. Science of the Total Environment, 800(1), 149662.

The Effect of Rice Husk Biochar and Deficit Irrigation on Cadmium Concentration in Soil and Peppermint Plant

Anis Koushki[1] , Afsaneh Alinezhadiyan Bidabadi[2*], Abbas Maleki[3]
1- Master's Degree Holder from the Faculty of Agriculture, Lorestan University
2- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University
alinezhadian.a@lu.ac.ir
3- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University

Abstract
Currently, drought stress and soil contamination with heavy metals particularly cadmium are among the most critical environmental and agricultural challenges in semi-arid regions, posing significant threats to the health of medicinal plants. This study was conducted to investigate the effects of rice husk-derived biochar and different irrigation levels on cadmium reduction in soil and peppermint (Mentha × piperita) plants. A factorial greenhouse experiment was carried out in a completely randomized design in November 2019. The treatments included three levels of biochar application (0, 3, and 6 tons per hectare) and four irrigation levels (60%, 80%, 100%, and 120% of the plant's water requirement), each with four replications. To induce uniform contamination, a constant amount of cadmium was added to all pots. The results showed that the lowest cadmium concentration in soil was observed in the control treatment (100% water requirement without biochar). However, biochar application, particularly at the rate of 6 tons per hectare combined with 60% and 80% irrigation, significantly reduced cadmium concentrations in both root and shoot tissues. In contrast, excessive irrigation increased cadmium uptake. Overall, biochar played an effective role in cadmium stabilization and limiting its translocation to the plant by improving soil chemical properties, such as enhancing cation exchange capacity and modifying soil pH.

Keywords: Biochar, Drought stress, Cadmium