Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 2, Summer 2025, p. 101-114

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Investigating the effect of different biochar levels of mushroom bed residues on some chemical properties of Drainage water

M. Valipour[1], S. Boroomand Nasab[2*], A. A. Naseri[3], L. Divband Hafshejani[4] and N. Alemzadeh Ansari[5]

1- *PhD Candidate, Department of Irrigation and Drainage, College of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.*
2*- *Corresponding Author,Professor, Department of Irrigation and Drainage, College of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. (Boroomand@Scu.ac.ir).*
3- *Professor, Department of Irrigation and Drainage, College of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz*
4- *Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, College of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.*
5- *Associate Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz*

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 03 September 2023
Revised: 16 December 2024
Accepted: 18 December 2024

Keywords:
Sodium, Calcium, Magnesium, Nitrate, Acidity, Electrical.

TO CITE THIS ARTICLE:

Valipour, M., Boroomand Nasab, S., Naseri, A. A., Divband Hafshejani, L., Alemzadeh Ansari, N. (2025). 'Investigating the effect of different biochar levels of mushroom bed residues on some chemical properties of Drainage water', *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(2), pp. 101-114. doi: 10.22055/jise.2023.44681.2093.

Introduction

Most of the soils of arid and semi-arid regions of Iran have less than 1% of organic matter, which causes a decrease in the quality of some physical characteristics of the soil, including a decrease in the stability of soil grains, destruction of the soil structure, and a decrease in saturated hydraulic conductivity (Gholami J, Emami, H., 2021). This has caused excessive use of chemical fertilizers, especially nitrogen fertilizers, and non-use of organic fertilizers in recent years (Diacono and Montemurro, 2011). One solution to increase the amount of organic matter in agricultural soils is the use of organic fertilizers. Every year, a large amount of plant residues are produced in the country, and farmers are often concerned about how to manage them (Amiri and Alinia, 2010). Another useful way to use plant residues is to convert them into biochar. Biochar is a type of charcoal prepared from plant biomass and agricultural waste, which are burned in the presence of low amounts of oxygen or its absence (Masto et al., 2013).Research has shown that the mineralization process of biochar takes place slowly due to its high stability (Salmani et al., 2014). In a research, the effect of adding biochar and a superabsorbent (independently of each other) on some physical properties of two types of sandy loam soil and clay loam soil was investigated. The results showed that the use of superabsorbent and biochar in the studied soils had the greatest effect on Ks and θpwp (Zare Abyaneh, H., et al, 2022). The production of biochar from the spent mushroom substrate stabilizes and preserves the nutrients of the spent mushroom substrate, and by increasing the pore volume of biochar compared to the mushroom substrate, it increases the water retention capacity and also reduces the pollution of underground water resources (Lou et al. 2017). The review of various studies has shown that factors such as the raw material of biochar, the temperature of biochar processing, as well as soil

characteristics, plant type and irrigation type are directly related to biochar performance (Shi et al., 2020).Therefore, this research was conducted with the aim of investigating the use of biochar produced from spent mushroom bed in the soil and its effect on the concentration of some elements, acidity and electrical conductivity in the effluent of lettuce cultivation.

Methodology

This study was carried out as a completely randomized design with six replications, with the aim of investigating the effect of different levels of biochar of mushroom litter on some chemical properties of the wastewater. In this research, biochar produced from the remains of the mushroom bed prepared at 300 degrees Celsius without the presence of oxygen was used. The cultivated plant, lettuce with the scientific name Lactuca Sativa is an annual plant from the chicory family and is cultivated as a vegetable. It is found that it is mainly consumed raw. Lettuce cultivation was carried out in pots with a height of 22 cm and a diameter of 21 cm. The mass of soil required to fill the pots was determined based on the apparent specific gravity of the field soil and the volume of the pot.So that 11 kg of soil with loam-sand texture was poured into each pot. The amount of biochar for zero (control), 10, 15, and 20 grams of biochar per kilogram of soil was calculated and uniformly mixed with the soil. These treatments were shown as B1, B2, B3, and B4, respectively.

Results and discussion

Based on the measured amounts of sand, clay and silt particles, this soil has a sandy-loamy texture is The amount of organic matter in the soil is less than one percent, which indicates the poverty of organic matter in this soil is According to the results of Table (1), treatments B2, B3, and B4 respectively increased the acidity by 0.4, 0.66, and 0.93% compared to the control. One of the reasons for increasing the acidity of water is the inherent properties of biochar. During the process of biochar production, oxygen and hydrogen are removed and basic elements remain in the structure of the biochar material (Sigua et al., 2015).In addition, the lowest amount of electrical conductivity of water was measured in B4 treatment with 1.92 decisiemens barmeter and the highest in B1 treatment with 2.33 decisiemens barmeter. With the increase in the concentration of elements in the soil solution due to the presence of biochar, the concentration of elements in the drainage decreased, which seems to have caused a decrease in the electrical conductivity of the drainage. The highest amount of nitrate was measured in the effluent from treatment B1. The main factor in maintaining anions such as nitrate can be considered the effect of biochar interaction with soil organic matter, and in the case of nitrate, the effects of biochar on the biological cycle of soil nitrogen. Also, the use of sugarcane bagasse biochar with an amount of 10 grams per kilogram of soil caused the greatest reduction of nitrate concentration in the washed water (Divband Hafshejani et al, 2017). Based on the results of comparing the averages, the greatest effect in reducing calcium leaching was obtained in B4 treatment.Studies show that biochar has the potential to reduce nutrient loss and improve water quality through its absorption properties (Libutti et al., 2019). In addition, according to the average comparison table. B4 treatment has the greatest effect on reducing sodium waste in the soil. At the end of the results of table number 1, it was shown that in treatments B2, B3, and B4, there was a decrease of 6.3, 16.6, and 19.2 percent in potassium leaching, respectively.

Table 1- The means comparison of different biochar treatments on some chemical characteristics of Drainage water

Treatment	K (mg/lit)	Na (mg/lit)	Ca (mg/lit)	NO_3^- (mg/lit)	EC (ds/m)	pH
B_1	31.86 ^{a}	158.56 ^{a}	173.15 ^{a}	315.58 ^{a}	2.33 ^{a}	7.55 ^{d}
B_2	29.84 ^{b}	147.92 ^{b}	148.65 ^{b}	230.36 ^{b}	2.20 ^{a,b}	7.58 ^{c}
B_3	26.59 ^{c}	137.27 ^{c}	132.95 ^{c}	194.11 ^{c}	2.07 ^{b}	7.60 ^{b}

B_4	25.74 c	131.95 d	123.48 d	180.03 d	1.92 c	7.62 a

Numbers with dissimilar letters in a column show a significant difference at the 1% level in the Duncan test.

Conclusion

The results of this research showed that the use of this type of biochar can have a positive effect on maintaining nutrients in the soil and prevent them from entering the drainage.The application of mushroom bed biochar at the rate of 20 grams per kilogram of soil (equivalent to two percent) caused a 43 percent reduction in nitrogen loss, 28.7 percent calcium, 19.2 percent potassium, and 16.8 percent sodium. Increasing this amount of biochar to the soil increased the electrical conductivity of the drainage by 36.84% and increased its acidity by 13.47%.

Acknowledgements

Thanks to the honorable vice president for research and technology of Shahid Chamran University, Ahvaz, in terms of providing the research validity of this research in the form of a doctoral thesis, and also thanks to the respected personnel of the laboratories of the Faculty of Water and Environmental Engineering of Shahid Chamran University Ahvaz for his great help and assistance in conducting this research.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article .

Funding

The financial support of this research has been provided by Grant number SCU.WI1402.399.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Authors' contribution

First Author: Mohammad Valipour, Writing - Original Draft, Formal analysis, Visualization.
Second Author: Saeid Boroomand Nasab, Funding, Methodology.
Third Author: Abd Ali Naseri, Software, Project administration.
Fourth Author: Laleh Divband Hafshejani, Writing - review and editing, Supervision.
Fifth Author: Naser Alemzadeh Ansari, Writing - review and editing, Project administration.

Refrences

1- Amiri, Z. , Alinia, M ,2010. Plant Residue Management. *Barzgar Journal*, No. 1044, Section A. Alefband, (In Persian).

2- Diacono, M. and Montemurro, F., 2011. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. *Sustainable agriculture volume 2*, pp.761-786.

3- Divband Hafshejani, L., Naseri, A. A., Hooshmand, A., Abbasi, F., Soltani Mohammadi, A. (2017). 'Effect of Sugarcane Bagasse Biochar Application on Chemical Properties a Sandy Loam Soil', *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1), pp. 63-72. Doi: 10.22055/jise.2017.12667 (In Persian).

4- Gholami Jami, S. and Emami, H., 2021. Effect of organic matter and potassium chloride on soil structure stability indices. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *11*(1), pp.83-100. Doi: 10.22069/EJSMS.2021.18280.1969. (In Persian).

5- Libutti, A., Cammerino, A.R.B., Francavilla, M. and Monteleone, M., 2019. Soil amendment with biochar affects water drainage and nutrient losses by leaching: Experimental evidence under field-grown conditions. *Agronomy*, *9*(11), p.758. doi: 10.3390/agronomy9110758.

6- Lou, Z., Sun, Y., Bian, S., Baig, S.A., Hu, B. and Xu, X., 2017. Nutrient conservation during spent mushroom compost application using spent mushroom substrate derived biochar. *Chemosphere*, *169*, pp.23-31. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.11.044.

7- Masto, R.E., Kumar, S., Rout, T.K., Sarkar, P., George, J. and Ram, L.C., 2013. Biochar from water hyacinth (Eichornia crassipes) and its impact on soil biological activity. *Catena*, *111*, pp.64-71. Doi: 10.1016/j.catena.2013.06.025.

8- Salmani, M.S., Khorsandi, F., Yasrebi, J. and Karimian, N., 2014. Biochar effects on copper availability and uptake by sunflower in a copper contaminated calcareous soil. *International journal of plant, Animal and Environmental Sciences*, *4*(3), pp.389-394.

9- Shi, W., Ju, Y., Bian, R., Li, L., Joseph, S., Mitchell, D.R., Munroe, P., Taherymoosavi, S. and Pan, G., 2020. Biochar bound urea boosts plant growth and reduces nitrogen leaching. Science of the Total Environment, 701, p.134424.

10- Sigua, G.C., Stone, K.C., Hunt, P.G., Cantrell, K.B. and Novak, J.M., 2015. Increasing biomass of winter wheat using sorghum biochars. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, pp.739-748.

11- Zare Abyaneh, H., Khodabandehlo, Z., Bayat, H. and Jovzi, M., 2022. The effect of a superabsorbent and biochar on some physical and hydraulic properties of two arable sandy loam and clay loam soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*(2), pp.2557-2569.

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی۲، تابستان ۱۴۰۴، مقاله پژوهشی، ص. ۱۱۴-۱۰۱

بررسی تأثیر سطوح مختلف بیوچار بقایای بستر قارچ بر برخی خصوصیات شیمیایی زهاب

محمد والی پور[۱]، سعید برومند نسب[۲*]، عبدعلی ناصری[۳]، لاله دیوبند هفشجانی[۴] و ناصر عالم زاده انصاری[۵]

۱- دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز. Boroomand@Scu.ac.ir

۳- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴- استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۵- دانشیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷

چکیده

فقر مواد آلی در خاک‌های ایران موجب مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و به دنبال آن افزایش آبشویی عناصر غذایی و آلودگی منابع آبی گردیده است. بنابراین استفاده از بهبود دهنده‌های طبیعی خاک مانند بیوچار در سال‌های اخیر اهمیت زیادی پیدا کرده است. در همین راستا با توجه به صنعت رو به رشد تولید قارچ و بستر باقی‌مانده ناشی از آن، در این تحقیق به بررسی تأثیر کاربرد بیوچار بقایای بستر قارچ بر کاهش میزان آبشویی برخی عناصر شیمیایی در زهاب و در نتیجه افزایش عناصر غذایی در دسترس گیاه کاهو، رقم اهوازی پرداخته شد. طرح آزمایشی نیز به‌صورت کامل تصادفی با چهار تیمار و شش تکرار و به‌صورت گلدانی اجرا شد. سطوح مختلف تیمار، صفر، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم بیوچار به ازای یک کیلوگرم خاک به‌ترتیب با نام B_1 , B_2, B_3, B_4 نامگذاری شده‌اند. اندازه گیری‌ها شامل، اندازه‌گیری میزان نیترات، سدیم، کلسیم و پتاسیم، هدایت الکتریکی و اسیدیته زهاب در هشت مرحله زمانی از کشت به فواصل یک هفته‌ای انجام شد. نتایج نشان داد تیمار B_4 در سطح یک درصد ارتباط معناداری با تغییرات غلظت نیترات، کلسیم، سدیم، پتاسیم، EC و pH در زهاب داشت. تیمار B_4 موجب بیشترین تأثیر کاهشی شامل ۴۳، ۱۶/۸، ۲۸/۷، ۱۹/۲ و ۱۸ درصد به‌ترتیب در میزان نیترات، سدیم، کلسیم، پتاسیم، هدایت الکتریکی و افزایش ۰/۹۳ درصدی اسیدیته زهاب خروجی نسبت به تیمار شاهد شد. در حالی که بیشترین میزان اندازه‌گیری مقادیر نیترات، سدیم، کلسیم، پتاسیم، EC و کمترین مقدار pH زهاب، در تیمار B_1 بود.

کلید واژه‌ها: سدیم، کلسیم، منزیم: نیترات: اسیدیته، هدایت الکتریکی.

مقدمه

آب شیرین به‌عنوان یک منبع طبیعی، نقشی حیاتی و اساسی در توسعه هر کشور دارد. کمبود آب شیرین نه فقط ناشی از کمبود حجم آب در دسترس بلکه ناشی از مدیریت نادرست استفاده از کودهای شیمیایی و ایجاد آلودگی منابع آبی است (Mishra, 2023).

کشور ایران در کمربند خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته است و از منابع رطوبتی بسیار دور است(Raziei, 2015) . اکثر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران دارای کمتر از یک درصد ماده آلی هستند که این مسئله سبب کاهش کیفیت برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک ازجمله کاهش پایداری خاک‌دانه‌ها، تخریب ساختمان خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع می‌شود (Gholami Jami and Emami, 2021). این امر موجب مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و به‌خصوص کودهای ازته و عدم استفاده از کودهای آلی در چند سال اخیر شده است (Diacono and Montemurro, 2011). با توجه به اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه تولیدات صنعتی از جمله کودهای شیمیایی روز به روز بر اهمیت توجه به کشاورزی پایدار افزوده می‌شود (Chaitra et al., 2021).

یک راه حل برای افزایش مقدار ماده آلی خاک‌های کشاورزی، استفاده از کودهای آلی می‌باشد. سالانه در کشور مقدار زیادی بقایای گیاهی تولید می‌شود که کشاورزان اغلب در چگونگی مدیریت آن‌ها دغدغه دارند (Amiri and Alinia, 2010). بنابراین استفاده از روش‌های کم‌هزینه برای تبدیل بقایای کشاورزی به اصلاح کننده‌های آلی با ارزش، از اهمیت زیادی برخوردار است.

تولید قارچ خوراکی در کشور، در سال‌های اخیر توسعه یافته و به‌خصوص در مناطق شهری و پر جمعیت مصرف آن زیاد شده است. تولیدکنندگان قارچ خوراکی از کمپوست به‌عنوان محیط کشت برای

DOI: 10.22055/JISE.2023.44681.2093

تولید قارچ استفاده می‌کنند. بعد از چرخه برداشت قارچ خوراکی، حاصل‌خیزی بستر کاهش می‌یابد. به‌طور معمول، این بستر استفاده شده بعد از استفاده به‌عنوان ضایعات دور ریخته می‌شود، اگر چه از آن می‌توان در موارد دیگر استفاده نمود. باقی‌مانده بستر قارچ پس از مصرف شدن دارای مقادیر قابل توجهی هوموس و عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین دامنه گسترده‌ای از عناصر غذایی کم مصرف می‌باشد (Shahsavan Markadeh and Chamani 2015).

یکی دیگر از راه‌کارهای مفید استفاده از بقایای گیاهی، تبدیل آن‌ها به بیوچار است. بیوچار نوعی زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آن‌ها در حضور مقادیر کم اکسیژن یا عدم حضور آن انجام می‌شود (Masto et al., 2013). بیوچار به‌عنوان ماده‌ای که توانایی بهبود پدیده گرمایش زمین را دارد، توجه زیادی به خود جلب کرده است؛ زیرا این ماده ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد و می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی مدت در خاک ذخیره کند. همچنین بیوچار دارای شکل‌های پایدار کربن آلی می‌باشد که به‌دلیل کند بودن سرعت تجزیه، حتی در شرایط محیطی و بیولوژیکی مناسب به‌صورت دی اکسید کربن در محیط آزاد نمی‌شود. از این جهت گزینه مناسبی برای ترسیب کربن در خاک است. تحقیقات نشان داده است که فرآیند معدنی شدن بیوچار به‌علت پایداری بالای آن، به کندی صورت می‌گیرد (Salmani et al., 2014). در تحقیقی اثر افزودن بیوچار و یک سوپرجاذب (به صورت مستقل از یکدیگر) بر برخی از خصوصیات فیزیکی دو نوع خاک لومی شنی و خاک لومی رسی مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از ۱۰ گرم سوپرجاذب و ۲۰ گرم بیوچار به ازای هر کیلوگرم خاک بیشترین تأثیر را بر خصوصیات فیزیکی هر دو خاک مورد آزمایش داشت. افزودن ۲۰ گرم بیوچار به ازای هر کیلوگرم خاک لوم رسی، پارامترهای K_s، θ_s و θ_{pwp} را به ترتیب به میزان ۳۳/۳ و ۱۰/۹ و۲۳/۱ درصد افزایش داد و تأثیر معنی داری بر سایر خواص این خاک و خاک لوم شنی نداشت. کاربرد سوپرجاذب و بیوچار در خاک های مورد مطالعه بیشترین تأثیر را بر K_s و θ_{pwp} داشت (Zare Abyaneh et al., 2022).

تحقیقات نشان داده که بیوچار ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی را در خاک افزایش می‌دهد .علاوه بر این تهویه و فعالیت میکروبی خاک را کنترل می‌کند. در همین راستا با توجه به صنعت رو به رشد تولید قارچ و بستر باقی‌مانده ناشی از آن و مزایای بیوچار در بخش کشاورزی، می‌توان اقدام به تهیه بیوچار و استفاده از آن در کشاورزی نمود. در بررسی استفاده از بستر قارچ مصرف شده برای کشت گوجه‌فرنگی، نتیجه گرفتند که استفاده از این بستر باعث افزایش سرعت جوانه زنی گیاه و افزایش تولید نشاء و نیز تولید محصول می‌گردد (Collela et al., 2019). تولید بیوچار از بستر مصرف شده قارچ باعث تثبیت و حفظ مواد مغذی بستر مصرف شده قارچ شده و با افزایش حجم منافذ بیوچار نسبت به بستر قارچ، باعث افزایش قدرت نگهداشت آب و نیز کاهش الودگی منابع آب زیرزمینی می‌گردد (Lou et al . 2017). در تحقیقی دیگر با بررسی اثر کمپوست مصرف شده قارچ و بیوچار آن بر عملکرد گیاه جعفری تحت تنش شوری نشان داده شد که کاربرد بیوچار در مقایسه با نمونه کمپوست و شاهد باعث جذب بهتر عناصر غذایی و همچنین مؤلفه‌های رشدی گردید. ضمناً نتایج این آزمایش حاکی از توانایی کمپوست و ذغال زیستی در کاهش اثرات تنش شوری و به تبع آن تنش خشکی است که علت آن را می‌توان در قابلیت نگهداشت آب توسط کمپوست و بیوچار دانست (Karami Niya et. al,2019). بررسی تأثیر بیوچار پوسته شلتوک برنج بر آبشویی نیترات در یک خاک رسی، نشان می‌دهد که میزان آبشویی نیترات در سه ماه اول روندی به شدت کاهشی و در دوماه آخر روندی افزایشی داشت (Ghorbani. et al. 2016).

بررسی مطالعه‌های مختلف نشان داده است فاکتورهایی مانند ماده اولیه سازنده بیوچار، دمای فرآوری بیوچار و نیز خصوصیات خاک، نوع گیاه و نوع آبیاری ارتباط مستقیمی به عملکرد بیوچار دارد (Shi et al., 2020). نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد که تأثیر بیوچار بر توزیع اندازه منافذ و منحنی حفظ آب خاک بسته به نوع خاک و محتوای بیوچار متفاوت است. در خاک‌های ریزدانه، افزودن هشت درصد بیوچار بیشترین کاهش را در اندازه و درصد مزوپور داشت، در حالی که در خاک‌های با دانه متوسط، شش درصد بیوچار بیشترین تأثیر را داشت و در خاک‌های درشت دانه، درصد بیوچار بهینه دو درصد بود. در حالت‌های مکش کم، افزودن هشت و دو درصد بیوچار به‌ترتیب حفظ آب خاک‌های ریزدانه و متوسط را بهبود بخشید، اما تأثیر کمی بر خاک‌های درشت دانه داشت. به‌طور کلی، اثر بیوچار بر ویژگی‌های خاک–آب غیریکنواخت بود و به اندازه‌های نسبی بیوچار و ذرات خاک بستگی داشت (Chen et al., 2023). در تحقیقی استفاده از سوبسترای قارچ مصرف شده و باکتری‌های محرک رشد گیاه را روی رشد، عملکرد و پاسخ بیوشیمیایی گل کلم را در شرایط گلخانه با استفاده از شش تیمار کنترل، باکتری‌های محرک رشد گیاه، بیوچار و ترکیبی از این دو مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل بیوچار تولید شده از پیرولیز آهسته خواص ساختاری، عملکردی و مورفولوژیکی مفیدی را برای استفاده کشاورزی نشان داد. افزودن بیوچار و باکتری به‌طور قابل توجهی رشد، عملکرد و پارامترهای بیوشیمیایی گل کلم را بهبود بخشید، به‌طوری که بالاترین مقادیر مشاهده شده در تیمار ترکیب ۱۰ گرم بر کیلوگرم بیوچار و باکتری مشاهده شد (Širić et al.,2022). بررسی منابع و مقالات فوق بیانگر تأثیرهای مختلف بیوچار بر خاک، گیاه و خصوصیات زه آب خروجی بوده است و این

تفاوت به خصوصیات بیوچار و نوع خاک و گیاه کشت شده مرتبط است. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی استفاده از بیوچار تولیدی از بستر مصرف شده قارچ در خاک و تأثیر آن بر غلظت برخی عناصر و اسیدیته و هدایت الکتریکی در زهاب خروجی کشت کاهو انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز به‌صورت طرح کاملاً تصادفی (شش تکرار) با هدف بررسی اثر سطوح مختلف بیوچار بقایای بسترقارچ (صفر، ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک) بر خصوصیات شیمیایی زهاب شامل (اسیدیته، هدایت الکتریکی، نیترات، کلسیم، سدیم و پتاسیم) انجام گردید.

خاک مورد استفاده

نمونه‌های خاک از عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری مزرعه آزمایشی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز با بافت سبک تهیه شد. دلیل انتخاب خاک نسبتاً سبک، درشت بودن منافذ این خاک‌ها و پایین بودن ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی در آن است. نمونه‌های خاک در هوا خشک شده تا به وزن ثابتی برسند. خاک‌های خشک شده با چکش پلاستیکی خرد شده و به‌منظور ایجاد یکنواختی از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند (O'Flynn et al, 2013 ؛ Marín-Benito et al., 2013). سپس خصوصیات خاک از جمله بافت خاک (روش هیدرومتری)، جرم مخصوص حقیقی خاک (روش پیکنومتر)، جرم مخصوص ظاهری خاک (استوانه)، تخلخل خاک، کربن آلی و ماده آلی خاک (روش والکلی بلک)، فسفر کل (اولسن)، ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی با روش جایگزینی $NaNO_3$ به جای HCl و KCl، هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک (عصاره اشباع)، ازت کل خاک (روش کجلدال) اندازه‌گیری شد.

بیوچار بستر قارچ

در این پژوهش، از بیوچار تولیدی از بقایای بستر قارچ تهیه شده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و بدون حضور اکسیژن استفاده گردید. دمای مطلوب برای تهیه بیوچار بستگی به خواص مورد نظر بیوچار و کاربرد مورد نظر آن دارد. نتایج تحقیقی نشان داد که بیوچارهای تولیدی در محدوده‌ی دمایی ۳۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد (دمای پایین)، شاخص بهره‌وری مواد آلی و مواد مغذی بالاتری دارند (Divband Hafshejani et al., 2017). علاوه بر آن بیوچار تولید شده در دماهای پایین‌تر (۳۰۰-۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) به‌دلیل وجود گروه‌های عملکردی مختلف، ویژگی‌های آلی متنوع‌تری را نشان می دهد (Tomczyk et al., 2020). قابل ذکر است که هدف این است که در این تحقیق بیوچار مواد مغذی خود را به‌صورت یک کود آهسته رهش در اختیار خاک و گیاه قرار دهد.

گیاه مورد استفاده

گیاه کاهو رقم اهوازی با نام علمی Lactuca Sativa گیاهی یک ساله از خانواده کاسنیان است و به‌عنوان سبزی پرورش می‌یابد که عمدتاً به‌صورت خام مصرف می‌شود. کاهو منبع خوبی برای ویتامین A و پتاسیم و سایر ویتامین‌ها و منابع معدنی است. کاهو برای رشد به دمای پایین از ۲۴ درجه سانتی‌گراد و بیشتر از هفت درجه سانتی‌گراد نیاز دارد. لذا بهترین درجه حرارت ۱۶ تا ۱۸ درجه سانتی گراد می باشد. زمان مناسب کشت آن در اهواز اوایل پاییز و دی ماه زمان برداشت محصول می باشد.

آماده‌سازی گلدان‌ها

در این پژوهش کشت کاهو درون گلدان‌هایی به ارتفاع ۲۲ و قطر ۲۱ سانتی‌متر انجام پذیرفت. جرم خاک مورد نیاز برای پر کردن گلدان‌ها براساس وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه و حجم گلدان تعیین شد. به‌طوری که در هر گلدان ۱۱ کیلوگرم خاک ریخته شد. مقدار بیوچار برای تیمارهای صفر (شاهد)، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم بیوچار به ازای هر کیلوگرم خاک محاسبه و به‌صورت یکنواخت با خاک مخلوط گردید ین تیمارها به‌ترتیب با نام B_1، B_2، B_3، B_4 نمایش داده شدند. برای تولید نشاهای کاهو در این مطالعه از بذر گیاه کاهو اهوازی استفاده شد. ابتدا بذرها به‌مدت ۲۴ ساعت خیس شدند و سپس به داخل سینی‌های نشا که با پرلیت پر شده بود (پرلیت‌ها، قبل از استفاده با قارچ‌کش ضدعفونی شدند)، منتقل گردیدند. این سینی‌ها در اتاقک رشد نگهداری و پس از ۲۰ روز به گلدان‌های اصلی در محیط گلخانه منتقل شدند. آبیاری گلدان‌ها در طی دوره رشد به‌صورت قطره‌ای و براساس نیاز آبی کاهو صورت پذیرفت. میزان نیاز آبی توسط روش تشت تبخیر کلاس A اندازه‌گیری شد. در محاسبات نیاز آبی، ضریب تشت تبخیر ۰/۷ و ضریب گیاهی در مراحل اول و دوم رشد ۰/۹ و در مراحل سوم و چهارم به‌ترتیب ۰/۹۵و ۰/۹ منظور گردید. بر این اساس نیاز آبی گیاه در طول دوره رشد ۴۸۶ میلی‌متر به ازاء هر گیاه به‌دست آمد. فواصل آبیاری سه روز و آبیاری به روش قطره‌ای توسط قطره چکان‌های با دبی چهار لیتر در ساعت انجام پذیرفت. قبل از کاربرد قطره‌چکان‌ها آزمایش ضریب یکنواختی دبی قطره‌چکان‌ها انجام شد. به‌دلیل کیفیت مناسب آب آبیاری از فیلتر در سیستم استفاده نشد. فشار مورد نیاز سیستم نیز توسط یک پمپ ۰/۵ اسب تأمین و برای اندازه‌گیری دبی با توجه به تعداد گلدان‌های موجود در هر ردیف کشت، از کنتور برای اندازه‌گیری دبی در هر لترال استفاده شد. طول دوره رشد ۷۰ روز بود. بذرها ابتدا در اتاقک رشد کشت و پس از ۲۰ روز به گلدان‌ها منتقل شدند. در هر گلدان تنها یک نشاء کاهو کشت شد. به‌منظور تعیین

DOI: 10.22055/JISE.2023.44681.2093

کاربرد سطوح مختلف بیوچار بر نگهداشت عناصر در خاک، زهاب خروجی از گلدان‌ها در هر هفته یک بار پس از آبیاری، جمع آوری و میزان نیترات، سدیم، کلسیم و پتاسیم، اسیدیته و هدایت الکتریکی در آن‌ها در شش مرحله اندازه‌گیری‌ها انجام شد.

اندازه‌گیری پارامترهای زهاب

برای اندازه‌گیری میزان نیترات از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR-5000 شرکت HACH مطابق با استاندارد متد ۱۰۰۴۹ با طول موج ۲۷۵ mm استفاده گردید. هدایت الکتریکی نمونه‌های آزمایش به‌وسیله دستگاه EC سنج مدل WTW InoLab اندازه‌گیری شد. میزان pH نیز بوسیله دستگاه pHسنج مدل InoLab تعیین گردید. برای اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم وکلسیم از دستگاه فلیم فوتومتر شعله‌ای Flame photometer مدل M410 استفاده گردید. پس از تهیه نمونه‌های زهاب از زیر گلدان ابتدا نسبت به عبور آن‌ها از صافی اقدام و برای اندازه‌گیری در ظروف دربسته نگهداری و همان روز قرائت‌ها انجام پذیرفت. قبل از شروع قرائت توسط دستگاه‌ها کالیبراسیون انجام پذیرفت. ضمناً با توجه به غلظت بالای نمونه‌ها قرائت پس از رقیق سازی انجام گرفت. لذا در هنگام ثبت داده‌ها در دفتر دو اصلاحیه کالیبراسیون و رقیق‌سازی بر ارقام نهایی تأثیر داده و ارقام به‌دست آمده اصلاح گردید.

نتایج و بحث

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول (۱) ارائه گردیده است. بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده ذرات شن، رس و سیلت، این خاک دارای بافت شنی- لومی می‌باشد. وجود کلسیم بالای خاک می‌تواند نشانه‌ای از قدرت بالای بافری خاک باشد. همچنین مقدار ماده آلی خاک نیز کمتر از یک درصد می‌باشد که بیان‌گر فقر ماده آلی در این خاک می‌باشد. پایین بودن ماده آلی در این خاک‌ها بر ساختار (تجمع)، زهکشی، هوادهی (خواص تبادل گاز)، ظرفیت نگهداری آب، pH، تراکم و رشد کلی گیاه تأثیر نامطلوب می‌گذارد (Diacono and Montemurro., 2011).

نتایج خصوصیات بیوچار تولید شده از بقایای بستر قارچ مصرف شده در جدول (۲) نمایش داده شده است. در تولید بیوچار تغییر در دمای تجزیه در اثر حرارت و نوع ماده‌ی خام، می‌تواند منجر به محصولاتی با طیف وسیعی از مقادیر pH، سطح ویژه، حجم منافذ، ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد فرار، خاکستر و محتوای کربن شود (Tomczyk et al., 2020). مقدار pH بیوچار در محدوده قلیایی است و این می‌تواند ناشی از خروج گازهای اکسیژن و هیدروژن در طی فرآیند تولید بیوچار باشد. قابل ذکر است که این گازها جزء اصلی ترکیبات اسیدی هستند. ذغال‌های زیستی که از مواد غیر چوبی مانند کودها و بقایای گیاهی تولید می‌شوند دارای pH بیشتر و کربن پایدار کمتری نسبت به ذغال زیستی چوبی می‌باشند (Sigua et al, 2015).

جدول۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1– Soil physical and chemical characteristics

Parameter	Value	Parameter	Value
Clay (٪)	9	ρb (g/cm^3)	1.43
Silt (٪)	34	n (٪)	46
Sand (٪)	57	N (٪)	0.05
Soil Texture	Loamy sand	Na (mg/kg)	16.2
ECe (dS/m)	2.8	Ca (mg/ kg)	182.8
pH (no units)	7.60	K (mg/ kg)	63.3
Organic Matter(٪)	0.73	CEC (cmol/kg)	7.23
FC (%)	19	AEC (cmol/kg)	1.42
PWP (%)	8		

جدول۲- برخی خصوصیات بیوچار باقی مانده بستر قارچ

Table 2– Biochar physical and chemical characteristics

Parameter	AEC	CEC	P	O	S	H	C	N	EC	pH
Unit	(cmol/kg)	(cmol/kg)	(mg/kg)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(dS/m)	-
Value	9.41	13.73	0.61	11.4	0.74	1.7	28.5	2.1	6.91	7.7

ذغال زیستی تولید شده از باقی مانده بستر قارچ دارای عناصر غذایی زیادی در خود است که این مسئله برای رشد گیاه و بهبود حاصل‌خیزی خاک بسیار مهم است. علاوه بر این تولید ذغال زیستی از این بستر باعث افزایش غلظت عناصر موجود در آن شده است. علت این موضوع را می‌توان ناشی از فرار عناصر از مواد آلی و تجمع آن‌ها در خاکستر باقی مانده دانست. بیوچار تولید شده در دمای پایین دارای مواد فرار بیشتر و کربن تثبیت شده و محتوای خاکستری کمتری نسبت به بیوچار تولیدی در دمای بالا است (Rafiq et al., 2016). علت بالا بودن هدایت الکتریکی در بیوچار را می‌توان به افزایش غلظت عناصر موجود در بیوچار نسبت به ماده خام دانست. در برخی از پژوهش ها افزودن بیوچار به خاک باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شده است (Hamzei et al, 2012).

بررسی تأثیر سطوح بیوچار بر برخی از خصوصیات شیمیایی زهاب

نتایج تجزیه واریانس در جدول (۳) نشان داد که افزودن بیوچار تأثیر معنی‌داری بر اسیدیته زهاب خروجی در سطح یک درصد دارد. تیمارهای B_2، B_3، B_4 به‌ترتیب اسیدیته را ۰/۴، ۰/۶۶ و ۰/۹۳ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۴). یکی از دلایل افزایش اسیدیته زهاب، خواص ذاتی بیوچار است. در طی فرآیند تولید بیوچار، اکسیژن و هیدروژن خارج شده و عناصر بازی در ساختار ماده بیوچار باقی می‌مانند (Sigua et al., 2015). دلیل دیگر به توانایی بیوچار در جذب فلزاتی مانند آلومینیوم (Al)، آهن (Fe)، کبالت (Co)، کادیوم (Cd)، نیکل (Ni) و روی (Zn) مربوط است. با جذب این فلزات توسط بیوچار، حضور آن‌ها در آب کاهش یافته و به دنبال آن pH افزایش می‌یابد (Kinnunen et al.,2021). قابل ذکر است که بیوچار تولیدی از مواد غیرچوبی مانند بقایای گیاهی و کودها دارای اسیدیته بیشتر و کربن کمتری نسبت به بیوچارهای تولیدی از ماده اولیه چوبی هستند (Sigua et al., 2015).

نتایج این تحقیق نشان داد که تأثیر سطوح بیوچار بر کاهش هدایت الکتریکی زهاب در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول۳). کمترین میزان هدایت الکتریکی زهاب در تیمار B_4 با ۱/۹۲ دسی‌زیمنس‌برمتر و بیشترین آن در تیمار B_1 به‌میزان ۲/۳۳ دسی‌زیمنس‌برمتر اندازه‌گیری شد. با مقایسه میانگین تیمارها در جدول (۴)، تأثیر تیمارهای B_1 و B_2 در یک سطح و تیمارهای B_2 و B_3 نیز در یک سطح معناداری قرار داشتند ولیکن بیشترین تأثیر کاهشی بیوچار در تیمار B_4 با سطح متفات معناداری از سایر تیمارها اتفاق افتاد. کاهش هدایت الکتریکی زهاب، بر اثر بیوچار را می‌توان مربوط به حضور نمک‌های محلول در بیوچار و بالاتر بودن آن نسبت به هدایت الکتریکی خاک دانست (Chintala et al . 2013). بررسی نتیجه تحقیقات نشان داده است که تاکنون مطالعه جامعی روی تاثیر بیوچار بر هدایت الکتریکی خروجی از کشت‌های مختلف انجام نشده و بیشتر تحقیقات مربوط به هدایت الکتریکی بیوچار تولید شده در دماهای مختلف است (Gabhi., et al., 2020). نتایج تحقیقات مختلف به‌طور کلی نشان داده است که تأثیر بیوچار بر خاک و زه‌آب خروجی به عواملی مانند منبع بیوچار، دمای تجزیه در اثر حرارت و نوع خاک بستگی دارد. در این تحقیق کاربرد بیوچار باعث کاهش هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی شد. از طرفی بیوچار بستر قارچ باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک گردیده است. شاید بتوان این رابطه دو طرفه (افزایش هدایت الکتریکی در خاک و کاهش آن در زه‌آب) را دلیل این فرآیند قلمداد کرد. از طرفی کاهش برخی پارامترهای تشکیل دهنده هدایت الکتریکی (آنیون‌ها و کاتیون‌ها) نیز در زه‌آب پیش از این نیز در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است. با افزایش غلظت عناصر در محلول خاک به‌واسطه حضور بیوچار، میزان غلظت عناصر درون زهاب کاهش یافته که به نظر می‌رسد این امر باعث کاهش هدایت الکتریکی زهاب شده است.

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بیوچار بر برخی خصوصیات شیمیایی زهاب

Table 3- Analysis of Variance of the effect of different biochar treatments on some chemical characteristics of Drainage water

References	Df	Mean of Squares					
		Ca	Na	K	NO_3^-	EC	pH
Treatment	3	2827.02 **	835.67 **	48.64 **	22219 **	0.187 **	0.005 **
Error	20	4.435	4.181	1.267	56.759	0.015	0.000
Total	23						

Significant at 1%: ** Significant at 5%: * Not significant: ns

جدول ٤- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بیوچار بر برخی خصوصیات شیمیایی زهاب

Table 4- The means comparison of different biochar treatments on some chemical characteristics of Drainage water

Treatment	K (mg/lit)	Na (mg/lit)	Ca (mg/lit)	NO_3^- (mg/lit)	EC (ds/m)	pH
B1	31.86 [a]	158.56 [a]	173.15 [a]	315.58 [a]	2.33 [a]	7.55 [d]
B2	29.84 [b]	147.92 [b]	148.65 [b]	230.36 [b]	2.20 [a,b]	7.58 [c]
B3	26.59 [c]	137.27 [c]	132.95 [c]	194.11 [c]	2.07 [b]	7.60 [b]
B4	25.74 [c]	131.95 [d]	123.48 [d]	180.03 [d]	1.92 [c]	7.62 [a]

Numbers with dissimilar letters in a column show a significant difference at the 1% level in the Duncan test.

بیشترین مقدار نیترات در زهاب خروجی از تیمار B_1 اندازه‌گیری گردید که نشان دهنده پایین بودن قدرت جذب خاک لومی–شنی در جذب نیترات و در نتیجه بالا بودن غلظت نیترات آبشویی شده از تیمار شاهد است. در صورتی‌که کاهش ۲۷، ۳۸/۵ و ۴۳ درصدی غلظت نیترات به‌ترتیب در زه‌آب تیمارهای B_4،B_3،B_2 حاصل گردید. عامل اصلی نگهداشت آنیون‌هایی همچون نیترات را می‌توان تأثیر برهم–کنش بیوچار با مواد آلی خاک و در مورد نیترات، اثرات بیوچار بر چرخه زیستی نیتروژن خاک دانست. از دیگر دلایل کاهش آبشویی عناصر غذایی می‌توان به مسئله ظرفیت تبادل کاتیونی بالای بیوچار اشاره کرد (Singh et al , 2010a). بیوچار تولیدی در دمای پایین، خواستار تثبیت و تحریک عناصر می‌باشد. این فرآیند می‌تواند منبع موضعی نیتروژن آلی را ایجاد کند که تمایل به کاهش پتانسیل آبشویی نیتروژن معدنی در خاک به‌شدت آبشویی شده را داراست (Steiner et al , 2008). علاوه بر آن اضافه کردن بیوچار باعث افزایش فعالیت زیست توده میکروبی و آنزیمی در خاک شد و ترکیب جامعه‌ی باکتری‌ها را تغییر داد، که نشان‌دهنده افزایش نیاز زیست توده میکروبی به نیتروژن و تحریک چرخه‌ی نیتروژن در خاک شامل فرآیندهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون بود این پاسخ‌های میکروبی در پاسخ به افزایش بیوچار منجر به افزایش بیشتر نگهداری نیترات و کاهش آبشویی آن شد (Chen et al., 2021). نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های سایر محققین مطابقت دارد به‌طوری که در کاربرد زغال زیستی بامبو تلفات تجمعی نیتروژن آمونیومی از راه آبشویی در عمق ۲۰ سانتی‌متری ۱۵/۲درصد کاهش یافت. یعنی از تحرک آن در اعماق مختلف و هدر رفت آن‌ها جلوگیری نمود (Ding et al , 2010). همچنین کاربرد بیوچار باگاس نیشکر با مقدار ۱۰گرم بر کیلوگرم خاک موجب بیشترین کاهش غلظت نیترات در آب آبشویی شده گردید (Divband Hafshejani et al., 2017).

براساس نتایج تجزیه واریانس تفاوت بین غلظت کلسیم در زهاب در تمامی تیمارها در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها در تیمارهای B_2، B_3، B_4 به ترتیب کاهش ۱۴/۲، ۳۲/۲ و ۲۸/۷ درصدی کلسیم نسبت به تیمار مشاهده شد. بنابراین بیشترین تأثیر در کاهش آبشویی کلسیم را در تیمار B_4 نسبت به‌دست آمد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیوچار پتانسیل کاهش تلفات مواد مغذی و بهبود کیفیت آب را از طریق ویژگی‌های جذب خود دارد (Libutti et al., 2019).

کاهش آبشویی عناصر غذایی در اثر کاربرد بیوچار در خاک در آزمایش‌های گلدانی متعددی گزارش شده است به‌طوری که کاهش آبشویی کلسیم به هنگام کاربرد بیوچار به ظرفیت تبادل کاتیونی بالای این ماده نسبت داده شد (Lehmann et al., 2003 ، Laird et al., 2010 ، Novak., et al.2009 ، Major et al.2010 ، Singh et al., 2010b). بیوچار مواد غذایی موجود در منطقه ریشه را حفظ می‌کند. علاوه بر این، پژوهش‌ها نشان داده است که آبشویی عناصر غذایی در نیم‌رخ خاک کاهش خواهد یافت. مطالعه‌های گلدانی نشان داده است هنگامی که بیوچار به خاک اضافه شد، آبشویی عناصر غذایی کاهش یافت (Verheijen et al.2010).

نتایج جدول تجزیه واریانس جدول (۳) نشان داد که افزودن بیوچار به خاک بر کاهش سدیم اندازه‌گیری شده در زهاب تأثیر معنادری در سطح یک درصد دارد. با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها جدول (۴). این کاهش در تیمارهای B_2، B_3، B_4 به‌ترتیب ۶/۷، ۱۳/۴و ۱۶/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. بنابراین تیمار B_4 بیشترین تأثیر را بر کاهش هدر روی سدیم خاک را داراست. برای این تأثیر می‌توان بیان داشت که مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی بیوچار ارتباط نزدیکی با غلظت گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار دارد که در فرآیند جذب کاتیون-های مختلف از جمله سدیم نقش دارند (Wagner et al., 2023). Sun et al (2017)، اعلام کردند که بیوچار با جذب نمک‌های مانند سدیم به‌صورت جذب سطحی و به دام انداختن فیزیکی یون سدیم در منافذ خود می‌تواند در اثرات منفی آن در خاک موثر باشد.

نتایج تجزیه واریانس جدول (۳) نشان داد که تأثیر کاربرد بیوچار بقایای بستر قارچ بر کاهش غلظت پتاسیم در تمامی تیمارها نسبت به شاهد در سطح یک درصد معنادار بود ولی بین تیمارهای B_3 و B_4 تفاوت معناداری در کاهش آبشویی پتاسیم دیده نشد (جدول ۴). قابل ذکر است براساس نتایج به‌دست آمده تیمارهای B_2، B_3، B_4 به‌ترتیب

کاهش ۶/۳، ۱۶/۶ و ۱۹/۲ درصدی در آبشویی پتاسیم رخ داد. نتایج آزمایش‌ها روی بیوچارهای تولید شده از لجن فاضلاب در دماهای بین ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز نشان داد که اضافه‌کردن بیوچار باعث کاهش ۷/۹- ۲۳/۴ درصدی در آبشویی پتاسیم از خاک شده است (Yuan et al., 2016).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از این نوع بیوچار می‌تواند موجب تأثیر مثبت بر نگهداشت عناصر غذایی در خاک و جلوگیری از ورود آن‌ها به زهاب گردد.کاربرد بیوچار بستر قارچ به میزان ۲۰ گرم در هر کیلو گرم خاک (معادل دو درصد) موجب کاهش ۴۳ درصدی تلفات نیتروژن، ۲۸/۷ درصدی کلسیم، ۱۹/۲ درصدی پتاسیم و ۱۶/۸ درصدی سدیم گردید. افزایش این مقدار بیوچار به خاک باعث افزایش ۳۶/۸۴ درصدی هدایت الکتریکی زهاب و افزایش ۱۳/۴۷ درصدی اسیدیته آن شد.

تقدیر و تشکر

با تشکر از معاونت محترم پژوهشی و فنآوری دانشگاه شهید چمران اهواز به لحاظ فراهم نمودن اعتبار پژوهشی این تحقیق در قالب پایان نامه دکتری و نیز با سپاس از پرسنل محترم آزمایشگاه‌های دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز به دلیل کمک‌ها و مساعدت‌های فراوان در انجام این تحقیق.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

حمایت‌های مالی این تحقیق از محل اعتبار پژوهشی به شماره پژوهانه SCU.WI1402.399 صورت گرفته است.

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: محمد والی‌پور، نوشتن- پیش نویس اصلی، تحلیل، تصویرسازی

نویسنده دوم: سعید برومندنسب، جذب بودجه، روش شناسی.

نویسنده سوم: عبدعلی ناصری، استفاده از نرم‌افزار، مدیریت پروژه.

نویسنده چهارم: لاله دیوبند هفشجانی، نوشتن – بررسی و ویرایش، نظارت.

نویسنده پنجم: ناصر عالم زاده انصاری، نوشتن – بررسی و ویرایش، مدیریت پروژه.

Refrences

1- Amiri, Z. , Alinia, M ,2010. Plant Residue Management. *Barzgar Journal*, No. 1044, Section A. Alefband, (In Persian).

2- Chaitra, A.K.P., Ahuja, R., Sidhu, S.P.K. and Sikka, R., 2021. Importance of Nano Fertilizers in Sustainable Agriculture. *Environ. Sci. Ecol. Curr. Res.(ESECR)*, *5*, p.1029.

3- Chen, P., Liu, Y., Mo, C., Jiang, Z., Yang, J. and Lin, J., 2021. Microbial mechanism of biochar addition on nitrogen leaching and retention in tea soils from different plantation ages. *Science of The Total Environment*, *757*, p.143817. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143817.

4- Chen, X., Li, L., Li, X., Kang, J., Xiang, X., Shi, H., & Ren, X. (2023). Effect of Biochar on Soil-Water Characteristics of Soils: *A Pore-Scale Study. Water*, 15(10), 1909. Doi: /10.3390/w15101909.

5- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T.E., Papiernik, S.K., Malo, D.D., Clay, D.E., Kumar, S. and Gulbrandson, D.W., 2013. Nitrate sorption and desorption in biochars from fast pyrolysis. *Microporous and Mesoporous Materials*, *179*, pp.250-257. Doi: 10.1016/j.micromeso.2013.05.023.

6- Collela, C.F., Costa, L.M.A.S., Moraes, T.S.J.D., Zied, D.C., Rinker, D.L. and Dias, E.S., 2019. Potential utilization of spent Agaricus bisporus mushroom substrate for seedling production and organic fertilizer in tomato cultivation. Ciência e Agrotecnologia, 43. Doi: 10.1590/1413-7054201943017119.

7- Diacono, M. and Montemurro, F., 2011. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. *Sustainable agriculture volume 2*, pp.761-786.

8- Ding, Y., Liu, Y.X., Wu, W.X., Shi, D.Z., Yang, M. and Zhong, Z.K., 2010. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. *Water, Air, & Soil Pollution*, *213*, pp.47-55.

9- Divband Hafshejani, L., Naseri, A. A., Hooshmand, A., Abbasi, F., Soltani Mohammadi, A. (2017). 'Effect of Sugarcane Bagasse Biochar Application on Chemical Properties a Sandy Loam Soil', *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1), pp. 63-72. Doi: 10.22055/jise.2017.12667 (In Persian).

10- Gabhi, R., Basile, L., Kirk, D.W., Giorcelli, M., Tagliaferro, A. and Jia, C.Q., 2020. Electrical conductivity of wood biochar monoliths and its dependence on pyrolysis temperature. *Biochar*, *2*, pp.369-378.

11- Gholami Jami, S. and Emami, H., 2021. Effect of organic matter and potassium chloride on soil structure stability indices. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *11*(1), pp.83-100. Doi: 10.22069/EJSMS.2021.18280.1969. (In Persian).

11- Ghorbani, M., Asadi, H. and Abrishamkesh, S., 2016. Effect of rice husk biochar on nitrate leaching in a clayey soil. *Iranian Journal of Soil Research*, *29*(4), pp.127-434. Doi: 10.22092/IJSR.2016.105902. (In Persian).

12- Hamzei, A., Lakziyan, A., Astarai, A. and Fotovvat, E., 2012. Effect of biochar and waste water on cadmium uptake by mungbean. In *3 rd National Conference on Water Resource Management*.

13- Karami Niya, F., Rang Zan, N., Nadian Ghomsheh, H. and Lotfi Jalal Abadi, A., 2019. The Effect of spent mushroom compost and its biochar on parsley yield under salinity stress. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *50*(6), pp.1453-1465. Doi: 10.22059/ ijswr. 2019.269268.668052. (In Persian).

14- Kinnunen, N., Laurén, A., Pumpanen, J., Nieminen, T.M. and Palviainen, M., 2021. Biochar capacity to mitigate acidity and adsorb metals—Laboratory tests for acid sulfate soil drainage water. *Water, Air, & Soil Pollution*, *232*, pp.1-14.

15- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R. and Karlen, D., 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, *158*(3-4), pp.436-442.

16- Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and Glaser, B., 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and soil*, *249*, pp.343-357.

17- Libutti, A., Cammerino, A.R.B., Francavilla, M. and Monteleone, M., 2019. Soil amendment with biochar affects water drainage and nutrient losses by leaching: Experimental evidence under field-grown conditions. *Agronomy*, *9*(11), p.758. doi: 10.3390/agronomy9110758.

18- Lou, Z., Sun, Y., Bian, S., Baig, S.A., Hu, B. and Xu, X., 2017. Nutrient conservation during spent mushroom compost application using spent mushroom substrate derived biochar. *Chemosphere*, *169*, pp.23-31. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.11.044.

19- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J. and Lehmann, J., 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and soil*, *333*, pp.117-128.

20- Marín-Benito, J.M., Brown, C.D., Herrero-Hernández, E., Arienzo, M., Sánchez-Martín, M.J. and Rodríguez-Cruz, M.S., 2013. Use of raw or incubated organic wastes as amendments in reducing pesticide leaching through soil columns. Science of the total environment, 463, pp.589-599. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.06.051.

21- Masto, R.E., Kumar, S., Rout, T.K., Sarkar, P., George, J. and Ram, L.C., 2013. Biochar from water hyacinth (Eichornia crassipes) and its impact on soil biological activity. *Catena*, *111*, pp.64-71. Doi: 10.1016/j.catena.2013.06.025.

23- Mishra, R.K., 2023. Fresh water availability and its global challenge. *British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies*, *4*(3), pp.1-78. Doi: /10.37745/bjmas.2022.0208.

22- Novak, J.M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C., Ahmedna, M., Rehrah, D., Watts, D.W., Busscher, W.J. and Schomberg, H., 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. Annals of environmental science.

23- O'Flynn, C.J., Healy, M.G., Lanigan, G.J., Troy, S.M., Somers, C. and Fenton, O., 2013. Impact of chemically amended pig slurry on greenhouse gas emissions, soil properties and leachate. Journal of Environmental Management, 128, pp.690-698. Doi: 10.1016/j.jenvman.2013.06.020.

24- Rafiq, M. K., Bachmann, R. T., Rafiq, M. T., Shang, Z., Joseph, S. and Long, R. 2016. Influence of pyrolysis temperature on hysico-chemical properties of corn stover (Zea mays L.) biochar and feasibility for carbon capture and energy balance. PLoS One 11, e0156894.

24- Raziei, T., 2015. Investigation of drought characteristics in arid and semi-arid regions of of Iran. *Watershed Engineering and Management*, *7*(4), pp.363-378. Doi: 10.22092/ijwmse.2015.103082.

25- Salmani, M.S., Khorsandi, F., Yasrebi, J. and Karimian, N., 2014. Biochar effects on copper availability and uptake by sunflower in a copper contaminated calcareous soil. *International journal of plant, Animal and Environmental Sciences*, *4*(3), pp.389-394.

26- Shahsavan Markadeh, M. and Chamani, E., 2015. Effect of Various Mixtures of Substrate with Spent Mushroom Compost Residue on Growth and Flowering Characteristics of Cut. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *24*(4.1), pp.123-139. (In Persian).

27- Shi, W., Ju, Y., Bian, R., Li, L., Joseph, S., Mitchell, D.R., Munroe, P., Taherymoosavi, S. and Pan, G., 2020. Biochar bound urea boosts plant growth and reduces nitrogen leaching. Science of the Total Environment, 701, p.134424.

28- Sigua, G.C., Stone, K.C., Hunt, P.G., Cantrell, K.B. and Novak, J.M., 2015. Increasing biomass of winter wheat using sorghum biochars. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, pp.739-748.

29- Singh, B.P., Hatton, B.J., Singh, B., Cowie, A.L. and Kathuria, A., 2010. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of environmental quality*, *39*(4), pp.1224-1235. Doi: 10.2134/jeq2009.0138.

30- Singh, B., Singh, B.P. and Cowie, A.L., 2010. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Soil Research*, *48*(7), pp.516-525. Doi: 10.1071/SR10058.

31- Širić, I., Eid, E.M., Taher, M.A., El-Morsy, M.H., Osman, H.E., Kumar, P., Adelodun, B., Abou Fayssal, S., Mioč, B., Andabaka, Ž. and Goala, M., 2022. Combined use of spent mushroom substrate biochar and PGPR improves growth, yield, and biochemical response of cauliflower (Brassica oleracea var. botrytis): a preliminary study on greenhouse cultivation. *Horticulturae*, *8*(9), p.830. Doi: 10.3390/horticulturae8090830.

32- Steiner, C., Glaser, B., Geraldes Teixeira, W., Lehmann, J., Blum, W.E. and Zech, W., 2008. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *Journal of plant nutrition and soil science*, *171*(6), pp.893-899. Doi: 10.1002/jpln.200625199.

33- Sun, H., Lu, H., Chu, L., Shao, H. and Shi, W., 2017. Biochar applied with appropriate rates can reduce N leaching, keep N retention and not increase NH3 volatilization in a coastal saline soil. *Science of the Total Environment*, *575*, pp.820-825. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.137

34- Tomczyk, A., Sokołowska, Z. and Boguta, P., 2020. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 19, pp.191-215.

35- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., Van der Velde, M. and Diafas, I., 2010. Biochar application to soils. *A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. EUR*, *24099*(162), pp.2183-2207.

36- Wagner, B., Salisbury, A. and Midgley, M.G., 2023. Top dressed biochar increases tree seedling growth and decreases sodium leaching. *bioRxiv*, pp.2023-08. Doi: 10.1101/2023.08.03.551785.

37- Yuan, H., Lu, T., Wang, Y., Chen, Y. and Lei, T., 2016. Sewage sludge biochar: Nutrient composition and its effect on the leaching of soil nutrients. *Geoderma*, *267*, pp.17-23. Doi: 10.1016/j.geoderma.2015.12.020

38- Zare Abyaneh, H., Khodabandehlo, Z., Bayat, H. and Jovzi, M., 2022. The effect of a superabsorbent and biochar on some physical and hydraulic properties of two arable sandy loam and clay loam soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*(2), pp.2557-2569.